

แบบจำลองและการคำนวณข้อมูลทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์  
และการประยุกต์ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

นายวรพต แสงสว่าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2554  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

MODELING AND TECHNICAL DATASHEET ESTIMATION OF PHOTOVOLTAIC  
GENERATION SYSTEM AND ITS APPLICATION IN LOAD FLOW CALCULATION

Mr. Voraprot Sangsawang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

ChulalongkornUniversity

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แบบจำลองและการคำนวณข้อมูลทางเทคนิคของระบบ  
ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ในการ  
คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

โดย

นายวรพต แสงสว่าง

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. สุรัชย์ ชัยทัศนีย์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัณวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทรงพล กาญจนชูชัย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(อาจารย์ ดร. สุรัชย์ ชัยทัศนีย์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย เตชสุนันต์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. จักรเพชร มัทราช)

วรพต แสงสว่าง: แบบจำลองและการคำนวณข้อมูลทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า. (MODELING AND TECHNICAL DATASHEET ESTIMATION OF PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEM AND ITS APPLICATION IN LOAD FLOW CALCULATION) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ดร. สุรัชย์ ชัยทัศน์ย์, 158 หน้า.

ปัจจุบันนี้ การผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยอาศัยก๊าซธรรมชาติมากที่สุด ซึ่งมีปริมาณประมาณร้อยละ 65 ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด อย่างไรก็ตามปริมาณสำรองก๊าซธรรมชาติมีจำนวนจำกัด ดังนั้นพลังงานหมุนเวียนจะเป็นพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าในอนาคตอันใกล้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่นิยมใช้ในการผลิตไฟฟ้า วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) เสนอขั้นตอนการพัฒนาของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยโปรแกรม MATLAB โดยวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การหาพารามิเตอร์ทั้งหมด เพื่อที่จะคำนวณกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ (2) ศึกษาโหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ประเภทที่เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วย 2 โหมดการทำงาน คือ โหมด PQ และโหมด PV สำหรับแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย 3 แบบจำลองย่อย คือ แบบจำลองส่วนวงจรกระแสตรง แบบจำลองส่วนอินเวอร์เตอร์ และแบบจำลองส่วนวงจรกระแสสลับ โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณร่วมกับโปรแกรมคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าได้ และ (3) ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการบ่งแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีส่วนแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จริง เพื่อยืนยันว่าแบบจำลองมีความถูกต้อง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ.....  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา.....2554.....

# # 5370335421: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: PHOTOVOLTAIC MODELING / DATASHEET / PHOTOVOLTAIC SYSTEM / SHADING EFFECT

VORAPROT SANGSAWANG: MODELING AND TECHNICAL DATASHEET ESTIMATION OF PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEM AND ITS APPLICATION IN LOAD FLOW CALCULATION ADVISOR: SURACHAI CHAITUSANEY, Ph.D., 158 pp.

At present, Thailand electricity is mostly generated by using natural gas, which accounts approximately for 65% of total electricity production. However, the amount of reserved natural gas is limited. Since renewable energy is one of the highly potential alternatives to generate electricity in the future, this thesis proposes the modeling of photovoltaic (PV) generation system. The three main components of thesis are as follows; (1) the modeling of a PV module developed by MATLAB program, in which the PV module parameters, i.e. current, voltage and real power, can be calculated by using data provided in commercial datasheet of PV module manufacturers, (2) the study of operation modes for PV grid connected system, which consists of PQ and PV modes and requires the three electrical modeling parts, i.e. DC part, inverter part and AC part that is integrated with load flow calculation, and (3) the study of shading effect of PV modules. Moreover, this thesis shows the comparison between the results from the PV module modeling and the measured data from a real PV system to confirm the accuracy of the developed modeling.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กระผมขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. สุรัชย์ ชัยทัศน์ย์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงพล กาญจนชูชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย เตชสุนันต์ พร้อมทั้ง ดร. จักรเพชร มัทราช ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ทุนการศึกษาในการเรียนระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ขอขอบคุณโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยแห่งชาติของสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาที่ได้อนุเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารเจริญวิศวกรรม ชั้น 20

ขอขอบคุณคณะนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ห้องปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลังอาคารเจริญวิศวกรรม ชั้น 12 ทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้ความคิดเห็นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ตลอดจนญาติทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ .....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
1.3 วัตถุประสงค์.....	6
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	6
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ .....	8
1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.1.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	11
2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	14
2.1.3 ข้อดี และข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	16
2.2 หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	16
2.2.1 แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.2.2 ผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	22
2.3 ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ .....	24
2.4 การบ่งแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ .....	28
2.4.1 แบบที่ 1: การบ่งแสงแดดโดยยังคงมีความเข้มแสงเหลืออยู่.....	31
2.4.2 แบบที่ 2: การบ่งแสงแดดขึ้นโดยไม่มี ความเข้มแสงเหลืออยู่ .....	32
2.5 สรุป.....	33

บทที่ 3 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	34
3.1 ประเภทระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ .....	34
3.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทแยกตัวอิสระ .....	35
3.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า ...	36
3.1.3 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผสมผสาน .....	37
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ .....	38
3.3 โหมดงานการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	38
3.3.1 โหมดการทำงานแบบ PQ .....	39
3.3.2 โหมดการทำงานแบบ PV.....	40
3.4 สรุป.....	40
บทที่ 4 การพัฒนาแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	41
4.1 หลักการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติมของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	41
4.1.1 กระแสอิ่มตัวของไดโอด .....	42
4.1.2 ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม .....	44
4.1.3 ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนาน .....	49
4.1.4 กระแสไฟโตอิเล็กทริก .....	52
4.2 ปัจจัยทางความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	53
4.2.1 ความเข้มแสง.....	53
4.2.2 อุณหภูมิ .....	54
4.3 ขั้นตอนการคำนวณพารามิเตอร์จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์.....	55
4.4 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	57
4.5 สรุป.....	58
บทที่ 5 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า.....	59
5.1 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า .....	59
5.1.1 แบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรง .....	60
5.1.2 แบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์.....	64
5.1.3 แบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ .....	65
5.2 ขั้นตอนการคำนวณของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ .....	73
5.3 สรุป.....	77



บทที่ 6 การบังแสงแดด.....	78
6.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอด.....	78
6.2 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอด.....	89
6.3 สรุป.....	91
บทที่ 7 ระบบทดสอบ.....	92
7.1 สถานที่.....	92
7.2 อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	93
7.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	93
7.2.2 อินเวอร์เตอร์.....	94
7.2.3 กล่องเซนเซอร์.....	95
7.2.4 ตัวเก็บข้อมูล.....	97
7.3 รายละเอียดการเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	98
7.4 ข้อมูลที่บันทึกได้จากการทดสอบ.....	99
7.5 สรุป.....	101
บทที่ 8 ผลการทดลอง.....	102
8.1 ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	102
8.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท เคียวกะว่า จำกัด.....	102
8.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัทโซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน).....	106
8.2 ผลการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	109
8.3 ผลการทดลองผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....	113
8.3.1 กรณีศึกษาที่ 1.....	113
8.3.2 กรณีศึกษาที่ 2.....	117
8.3.3 กรณีศึกษาที่ 3.....	120
8.3.4 กรณีศึกษาที่ 4.....	123
8.4 สรุปผลการทดลอง.....	125
บทที่ 9 การเปรียบเทียบผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	126
9.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	126
9.1.1 การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และ ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์.....	126

9.1.2 การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และผล การตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	131
9.2 ผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ .....	145
9.2.1 หลักการเปรียบเทียบ .....	146
9.2.2 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ.....	146
9.2.3 ผลการเปรียบเทียบ.....	148
9.2.4 การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ .....	152
บทที่ 10 สรุป .....	153
10.1 สรุปผลการวิจัย .....	153
10.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	154
รายการอ้างอิง.....	155
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	158

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางธาตุ .....	11
ตารางที่ 2.2 แพกเตอร์อุดมคติของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์.....	20
ตารางที่ 2.3 ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด .....	25
ตารางที่ 2.4 ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) .....	26
ตารางที่ 6.1 รายละเอียดการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด.....	78
ตารางที่ 7.1 รายละเอียดทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์รุ่นที่ 2100TL .....	95
ตารางที่ 7.2 ตัวอย่างพารามิเตอร์ในช่วงเวลาหนึ่ง .....	100
ตารางที่ 8.1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด .....	103
ตารางที่ 8.2 พารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) .....	106
ตารางที่ 8.3 พารามิเตอร์ของแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสามกรณีศึกษา .....	111
ตารางที่ 8.4 พารามิเตอร์ของแบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ และส่วนวงจรไฟฟ้า กระแสสลับทั้งสามกรณีศึกษา .....	111
ตารางที่ 8.5 จุดเชื่อมต่อเป็น PQ Mode โดยจะจ่าย $Q_{Grid}$ เป็น 53,166.97 VAr .....	112
ตารางที่ 8.6 รายละเอียดของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด .....	113
ตารางที่ 8.7 รายละเอียดของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 10 กรณี.....	121
ตารางที่ 8.8 กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละกรณีการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....	122
ตารางที่ 8.9 รายละเอียดของการทดลองกรณีศึกษาที่ 4.....	123
ตารางที่ 9.1 ความผิดพลาดของแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งหมดระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการ ตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบใหม่.....	144
ตารางที่ 9.2 ลักษณะการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	148
ตารางที่ 9.3 ข้อมูลขาเข้าจากการตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ .....	149
ตารางที่ 9.4 ความผิดพลาดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด .....	150
ตารางที่ 9.5 ความผิดพลาดของกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด .....	151
ตารางที่ 9.6 ความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด .....	151

## สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1	ลักษณะของ N-type layer .....	12
ภาพที่ 2.2	ลักษณะของ P-type layer.....	12
ภาพที่ 2.3	หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
ภาพที่ 2.4	ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ.....	15
ภาพที่ 2.5	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติจำนวนหนึ่งเซลล์.....	17
ภาพที่ 2.6	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณหนึ่งเซลล์ .....	18
ภาพที่ 2.7	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งเซลล์.....	19
ภาพที่ 2.8	แบบจำลองสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งโมดูล.....	27
ภาพที่ 2.9	แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษาการบังแสงแดดอย่างง่าย .....	29
ภาพที่ 2.10	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด.....	31
ภาพที่ 3.1	ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทแยกตัวอิสระ.....	36
ภาพที่ 3.2	ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า.....	37
ภาพที่ 3.3	ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผสมผสาน.....	38
ภาพที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล แบบอุดมคติและแบบที่มีการเชื่อมต่อความต้านทานแบบอนุกรม .....	45
ภาพที่ 4.2	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สองโมดูลเชื่อมต่อแบบอนุกรม.....	49
ภาพที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล แบบอุดมคติและแบบที่มีความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนาน .....	50
ภาพที่ 4.4	ขั้นตอนการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติม.....	55
ภาพที่ 4.5	ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์....	57
ภาพที่ 5.1	แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ .....	60
ภาพที่ 5.2	ขั้นตอนการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล.....	62
ภาพที่ 5.3	วงจรสมมูลของฟิลเตอร์หนึ่งเฟส .....	65
ภาพที่ 5.4	วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส .....	66
ภาพที่ 5.5	วงจรสมมูลของฟิลเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่เชื่อมต่อแบบวาย .....	66
ภาพที่ 5.6	รูปแบบการเชื่อมต่อแบบวายและเดลต้า.....	67

ภาพที่ 5.7 วงจรสมมูลของฟิลเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่เชื่อมต่อบนแบบเดลต้า .....	68
ภาพที่ 5.8 ขั้นตอนการคำนวณของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่เชื่อมต่อกับ ระบบกริดไฟฟ้า .....	74
ภาพที่ 5.9 ขั้นตอนการคำนวณเพิ่มเติม.....	76
ภาพที่ 6.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบัง แสงแดด .....	80
ภาพที่ 6.2 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 .....	83
ภาพที่ 6.3 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน.....	85
ภาพที่ 6.4 ขั้นตอนการคำนวณกระแสภายในหนึ่งแถวของกลุ่มที่ 2 และ 3 จากขั้นตอนที่ 4 .....	87
ภาพที่ 6.5 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบัง แสงแดด .....	90
ภาพที่ 7.1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารเจริญวิศวกรรม ชั้น 20.....	93
ภาพที่ 7.2 เซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SP120 .....	94
ภาพที่ 7.3 อินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL.....	94
ภาพที่ 7.4 เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	96
ภาพที่ 7.5 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และเซลล์แสงอาทิตย์ .....	97
ภาพที่ 7.6 ตัวเก็บข้อมูล.....	98
ภาพที่ 7.7 รายละเอียดการเชื่อมต่อบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ .....	99
ภาพที่ 8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อเกิด การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของบริษัท เคียวกะระ จำกัด.....	104
ภาพที่ 8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงของบริษัท เคียวกะระ จำกัด .....	104
ภาพที่ 8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อเกิด การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบริษัท เคียวกะระ จำกัด .....	105
ภาพที่ 8.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบริษัท เคียวกะระ จำกัด.....	105
ภาพที่ 8.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อเกิด การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) .....	107

ภาพที่ 8.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน).....	108
ภาพที่ 8.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อเกิด การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน).....	108
ภาพที่ 8.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน).....	109
ภาพที่ 8.9 โครงข่ายระบบไฟฟ้าท่าทราย.....	110
ภาพที่ 8.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 1.....	114
ภาพที่ 8.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถว ของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 1 .....	114
ภาพที่ 8.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 1.....	115
ภาพที่ 8.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของ กลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 1 .....	116
ภาพที่ 8.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของ กรณีศึกษาที่ 1 .....	116
ภาพที่ 8.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของ กรณีศึกษาที่ 1 .....	117
ภาพที่ 8.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 2.....	117
ภาพที่ 8.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถว ของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 2 .....	118
ภาพที่ 8.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 2.....	118
ภาพที่ 8.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง กลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 2 .....	119
ภาพที่ 8.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของ กรณีศึกษาที่ 2.....	119

ภาพที่ 8.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของ กรณีศึกษาที่ 2 .....	120
ภาพที่ 8.22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 10 กรณี.....	122
ภาพที่ 8.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของ กรณีศึกษาที่ 4 .....	124
ภาพที่ 8.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของ กรณีศึกษาที่ 4 .....	124
ภาพที่ 9.1 ขั้นตอนการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ .....	128
ภาพที่ 9.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงความเข้มแสงจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ [25] .....	129
ภาพที่ 9.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ [25].....	129
ภาพที่ 9.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ .....	130
ภาพที่ 9.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ .....	130
ภาพที่ 9.6 ขั้นตอนการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และ ผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	133
ภาพที่ 9.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ทำการบันทึก ข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	135
ภาพที่ 9.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูล ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	135
ภาพที่ 9.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจากการตรวจวัดของ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึก .....	136
ภาพที่ 9.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์ แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึก .....	136

ภาพที่ 9.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจากการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึก .....	137
ภาพที่ 9.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึก .....	138
ภาพที่ 9.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจากการตรวจวัดของเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ใช้ในการบันทึก .....	139
ภาพที่ 9.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ใช้ในการบันทึก .....	140
ภาพที่ 9.15 ขั้นตอนการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบใหม่ .....	141
ภาพที่ 9.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและความเข้มแสงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ณ อุณหภูมิในช่วงที่ 40-41°C .....	143
ภาพที่ 9.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์จากการวิเคราะห์ในรูปแบบใหม่ ณ อุณหภูมิในช่วงที่ 40-41°C .....	143
ภาพที่ 9.18 ขั้นตอนการเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ .....	147



## บทที่ 1

### บทนำ

เนื้อหาของบทนี้จะได้นำเสนอที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของวิทยานิพนธ์

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญของการดำรงชีวิตในสังคมยุคอุตสาหกรรมและข้อมูลข่าวสารเป็นอย่างมาก ซึ่งในปัจจุบันมีประเทศอุตสาหกรรมมากมายที่ส่วนใหญ่จะนิยมผลิตกระแสไฟฟ้าในปริมาณมาก ณ จุดศูนย์กลางการผลิตเพียงแค่จุดเดียวจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยแหล่งพลังงานหรือเชื้อเพลิงที่สำคัญของการนำมาขับเคลื่อนการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะประกอบไปด้วยหลากหลายประเภท ซึ่งส่วนใหญ่จะได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) ได้แก่ ถ่านหิน ลิกไนต์ ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล เป็นต้น หรือจะเป็นแหล่งเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ได้แก่ นิวเคลียร์ และพลังงานหมุนเวียน เป็นต้น แต่สำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าภายในประเทศไทยนั้นจะประกอบไปด้วย ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ลิกไนต์ น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล และพลังงานหมุนเวียน [1] ซึ่งแหล่งพลังงานที่ใช้เหล่านี้มีข้อดีคือค่าใช้จ่ายต่ำเมื่อเทียบกับขนาดของกำลังการผลิต ตลอดจนถึงการคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น ปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยภูมิศาสตร์ ปัจจัยทางธรณีวิทยา และปัจจัยทางด้านความปลอดภัย เป็นต้น การเลือกใช้แหล่งพลังงานโดยคำนึงถึงปัจจัยที่กล่าวมานั้นสามารถยกตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานถ่านหินต้องสร้างให้ห่างไกลออกจากบริเวณชุมชนเพื่อไม่ให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศกระทบต่อประชาชน และอาจสร้างให้ใกล้เหมืองถ่านหินเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง หรือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำจำเป็นต้องสร้างเขื่อนขนาดที่เหมาะสมตามลักษณะทางภูมิศาสตร์ เป็นต้น

จากที่กล่าวไปว่าประเทศไทยจะใช้เชื้อเพลิงหลากหลายชนิดในการผลิตไฟฟ้า แต่เชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจะเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติจะเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าคือประมาณ 65% ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งประเทศ [2] เพราะก๊าก๊าซธรรมชาติจะมีราคาที่ถูกลง ซึ่งแหล่งที่มาปัจจุบันของก๊าซธรรมชาติมาจะประกอบไปด้วย 2 แหล่ง คือ (1) การขุดขึ้นเองภายในประเทศ โดยขุดได้จากบริเวณอ่าวไทยและแหล่งพื้นที่พัฒนาร่วมไทย-มาเลเซีย

และจากแหล่งบนบก คือ แหล่งสิริกิติ์ แหล่งน้ำพองและแหล่งสินภูฮ่อม ข้อมูลดังกล่าวอ้างอิงจากรายงานน้ำมันเชื้อเพลิงของประเทศไทยของปี 2552 [2] และ (2) การนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งจากรายงานดังกล่าว [2] จะมีการนำเข้าก๊าซธรรมชาติจากประเทศสหภาพมาเพียงแค่ประเทศเดียวเท่านั้น หรือจะเป็นน้ำมันซึ่งประกอบไปด้วย 2 ชนิด คือ น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล [2] ซึ่งแหล่งน้ำมันในโลกมีจำกัดและกำลังจะหมดไปในอนาคต จึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานอื่นๆ มาทดแทน อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงประเภทที่ใช้แล้วหมดไป หรือมีจำนวนจำกัด และยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและทำให้เกิดปัญหาโลกร้อน ซึ่งในอนาคตการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจะมีจำนวนที่ลดลงไปเรื่อยๆ ดังนั้นเพื่อที่จะต้องการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในส่วนที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และต้องการกระจายสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงเพื่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้า ภาครัฐโดยกระทรวงพลังงานจึงมีโครงการส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เป็นจำนวนมากมาก เช่น ส่วนจ่ายเพิ่ม (Adder) สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดและกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก นอกจากนี้พลังงานหมุนเวียนจะหมายถึง พลังงานทดแทนจากแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เช่น เชื้อเพลิงชีวภาพของเหลว ก๊าซชีวภาพ พลังงานชีวมวลของแข็ง ชยะ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่น และพลังงานลม เป็นต้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นที่นิยมอันดับต้นๆ ของพลังงานหมุนเวียนเพียงประเภทเดียว เพราะว่าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีส่วนช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และอาศัยแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ทั่วไปมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจากสาเหตุข้างต้นทำให้มีประชาชนทั่วไปรวมทั้งภาคอุตสาหกรรมมีความสนใจในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันยังไม่สูงมากนัก การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ในแผนพัฒนาพลังงาน 15 ปี [3] ระบุว่าประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่า 50,000 เมกะวัตต์ (ความต้องการไฟฟ้า ณ ปัจจุบันประมาณ 24,000 เมกะวัตต์) ดังนั้นหากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ตัวเลขศักยภาพย่อมเพิ่มขึ้นอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะสามารถช่วยประหยัดเงินตราของประเทศได้เป็น

อย่างมากทั้งในแง่การจัดการแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อการผลิตไฟฟ้า การซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน อีกทั้งยังสามารถชะลอการก่อสร้างโรงไฟฟ้าใหม่

## 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะประกอบไปด้วยหลากหลายรูปแบบที่นักวิจัยได้ทำการศึกษาตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะศึกษา ซึ่งแต่ละงานวิจัยก็จะมีขั้นตอนในการคำนวณที่แตกต่างกัน หรือหลักการในการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่างเช่น

การศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ (Modeling of photovoltaic) ซึ่งแต่ละงานวิจัยก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการที่จะวิจัย หรืออาจจะมีวิธีการในการคำนวณแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวที่แตกต่างกัน ดังเช่น งานวิจัย [4]-[5] จะทำการศึกษเกี่ยวกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่ง ไดโอด (Single diode model) โดยแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นแบบจำลองแบบประมาณ หรือจะเป็นแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิจารณาเพียงแค่ความต้านทานที่เชื่อมต่อบนขานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งทำให้การคำนวณแบบจำลองดังกล่าวจะมีความผิดพลาดค่อนข้างมากเนื่องจากแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติจะต้องมีการคำนวณทั้งความต้านทานที่เชื่อมต่อบนขานและแบบอนุกรมร่วมกัน อย่างไรก็ตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่รวมทั้งความต้านทานที่เชื่อมต่อบนขานและขานร่วมกัน ซึ่งจะส่งผลให้มีความละเอียดและเสมือนจริงมากกว่าแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบการประมาณ นอกจากนี้ในบางงานวิจัย อาจจะไม่ได้อธิบายเป็นรูปแบบของหนึ่งไดโอดแต่อาจจะมีอธิบายเป็นรูปแบบของสองไดโอด [6]-[7] หรือรูปแบบสามไดโอด [8] โดยจะมีหลักการในการคำนวณที่มีลักษณะที่แตกต่างกับหนึ่งไดโอดเช่นกัน ซึ่งภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบหนึ่งไดโอด เนื่องจากเป็นแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะดวกและง่ายต่อการคำนวณเมื่อเทียบกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบสองและสามไดโอด

การศึกษาถึงปัจจัยของความเข้มแสงและอุณหภูมิที่ส่งผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ โดยถึงแม้ว่าจุดประสงค์ในการศึกษาเหมือนกัน อย่างไรก็ตามรูปแบบการศึกษาแต่ละงานวิจัยจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังเช่น งานวิจัย [4] จะเป็นการพัฒนาแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดที่มีการเชื่อมต่อ โดยจะใช้โปรแกรมของ Matlab-Simulink GUI Environment ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งจะศึกษาถึงผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิผ่านโปรแกรมดังกล่าว อย่างไรก็ตาม

ภายในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษารูปแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณ หรือไม่มี การคำนวณความต้านทานที่เชื่อมต่อกับแบบขนาน งานวิจัย [9] จะเป็นการสร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะทำการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ และความสัมพันธ์ของพลังงานและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าของความเข้มแสงและอุณหภูมิ ซึ่งแบบจำลองที่ทำการสร้างนั้นจะใช้วิธีการในการสร้างแบบจำลองเป็นรูปแบบ Empirical model และ ANFIS model ทั้ง 2 แบบนำมาเปรียบเทียบกัน และงานวิจัย [5] จะศึกษาถึงการสร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก และภายในงานวิจัยยังได้กล่าวถึงหลักการในการคำนวณหาพลังงานสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตได้ (Maximum power point tracking: MPPT)

การศึกษาเกี่ยวกับการนำข้อมูลรายละเอียดของเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic's datasheet) ของแต่ละผู้ผลิตมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยแต่ละงานวิจัยจะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการที่จะวิจัย ดังเช่น งานวิจัย [10] จะศึกษาการนำข้อมูลรายละเอียดของเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และนำแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวมาควบคุมผ่านโปรแกรม LabVIEW environment ซึ่งโปรแกรมห่วงจรมีข้อมูลขาเข้าที่ประกอบไปด้วย ความเข้มแสง อุณหภูมิ และรายละเอียดของเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ก็ยังมีความผิดพลาดเนื่องมาจากการคำนวณจะ ใช้การเพิ่มระดับของค่าความต้านทานที่เชื่อมต่อกับอนุกรมจนกระทั่งได้ค่าที่ต้องการ ซึ่งบางครั้ง อาจจะยังมีความละเอียดไม่พอ และแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวจะเป็นแบบหนึ่ง ไดโอดเท่านั้น งานวิจัย [11] จะทำการศึกษารูปแบบจำลองพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จากข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือต้องการที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จากข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว ซึ่งการพิจารณาภายในงานวิจัยนี้จะสังเกตจากจุดสามจุดของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ จุดที่แรงดันมีค่าเท่ากับแรงดันเปิดวงจร จุดที่กระแสมีค่าเท่ากับกระแสลัดวงจร และจุดที่ให้ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าสูงสุด และงานวิจัย [12] จะทำการนำเสนอถึงวิธีการการสร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยภายในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงการค้นหาพารามิเตอร์ภายในแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ และการประมาณค่าพารามิเตอร์อื่นๆของแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะมีขั้นตอนในการคำนวณแตกต่างกับงานวิจัย [11] ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองดังกล่าวจะใช้โปรแกรม Matlab และ Excel link โดยโปรแกรมห่วงจรมีความสะดวกในการสร้างข้อมูลขาเข้า และผลลัพธ์ขาออก

ของแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวจะเป็นรูปแบบของแบบจำลองหนึ่งไดโอดเท่านั้น

การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบทางด้านการบังแสงแดด (Shading) ที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดที่มีการเชื่อมต่อนั้น จะประกอบไปด้วยรูปแบบการศึกษามากมายที่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ดังเช่น งานวิจัย [13] ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบพลังงานที่ผลิตออกมาได้ของการบังแสงแดดที่เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัย [14] ได้มีการศึกษาผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะสามารถดูได้จากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งภายในงานวิจัยดังกล่าวจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 กรณีศึกษา โดยแต่ละกรณีศึกษาก็จะมีจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน ดังเช่น การศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด หรือศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด หรือศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด นอกจากนี้ภายในงานวิจัยจะมีการกล่าวเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย อย่างไรก็ตามจะยังมีความผิดพลาดภายในกรณีศึกษาเกี่ยวกับกรณีที่ไม่มีบายพาสไดโอด และงานวิจัย [15]-[16] ได้ศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการหาจุดที่ทำให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดผ่านขั้นตอนการการค้นหาแบบต่างๆ (Optimization) ซึ่งภายในขั้นตอนดังกล่าวจะเป็นการเพิ่มระดับค่าของกระแสไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะค้นหาจุดที่ทำให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด

นอกจากการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทราบกันว่าเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน หรือผลกระทบด้านการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ยังงานวิจัยอีกประเภทที่มีความสำคัญมากในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบไฟฟ้า นั่นคือ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic generation system: PVGS) ซึ่งรูปแบบของงานวิจัยในเรื่องของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีหลากหลายรูปแบบมากเมื่อนำมาเทียบกับการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ดังเช่น งานวิจัย [17] จะศึกษาเพียงระบบผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะอยู่ตัวเพียงอย่างเดียว โดยจะพิจารณาเกี่ยวกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่าย ซึ่งภายในงานวิจัยนี้จะทำการคำนึงถึงพารามิเตอร์ทุกจุดของแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบบจำลองดังกล่าวจะประกอบไปด้วยแบบจำลองย่อย 3 แบบจำลอง ซึ่งประกอบไปด้วย แบบจำลองวงจรไฟฟ้ากระแสตรง แบบจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์ และแบบจำลองวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ โดยแต่ละแบบจำลองภายในระบบผลิต

ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีหลักการในการคำนวณที่แตกต่างกัน และงานวิจัยนี้ยังกล่าวถึง โหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย ซึ่งจะประกอบไปด้วย 2 โหมดการทำงาน คือ โหมด PQ และ โหมด PV งานวิจัย [18] จะศึกษาถึงระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่เชื่อมต่อเข้าสู่การไฟฟ้า และพิจารณาถึงโหมดการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ร่วมด้วย โดยงานวิจัยนี้จะทำการคำนวณของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวร่วมกับการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow analysis) ผ่านโปรแกรม Matlab นอกจากนี้จุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้จะไม่ใช้จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด ซึ่งเป็นลักษณะที่แตกต่างกับงานวิจัยอื่นๆ และงานวิจัย [19] จะทำการศึกษาถึงรูปแบบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

### 1.3 วัตถุประสงค์

- 1) นำเสนอหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) พัฒนาแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ตามปัจจัยทางด้านความเข้มแสงและ อุณหภูมิที่ส่งผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) พัฒนาแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) พัฒนาแบบจำลองที่ศึกษาโหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า ร่วมกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

### 1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1) พิจารณาข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันทั่วไปมาพัฒนาแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) พิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย ความเข้มแสง และ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) อุปกรณ์ภายในแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ หม้อแปลง และฟิลเตอร์
- 4) พิจารณาอินเวอร์เตอร์ประเภท SPWM (Sinusoidal pulse width modulation) เพียงประเภทเดียว

- 5) พิจารณาระบบไฟฟ้าในรูปแบบ 3 เฟสสมดุล และทำงานในสภาวะอยู่ตัว (Steady-state)
- 6) พิจารณาการตรวจวัดกับเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) (Solartron) รุ่น SP120 และของบริษัท เคียวเซระ จำกัด (Kyocera) รุ่น KC200GT
- 7) ละเอียดมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ต่อเซลล์แสงอาทิตย์ (Air mass ratio)
- 8) ละเอียดแรงดันที่ตกคร่อมบายพาสไดโอดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีบายพาสไดโอด

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) ศึกษาแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า
- 3) พัฒนาแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า ร่วมกับการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า
- 4) ศึกษาปัจจัยทางด้านความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
- 5) พัฒนาแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับปัจจัยของความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์
- 6) ศึกษาข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิต
- 7) พัฒนาแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรองรับข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิตเป็นข้อมูลเริ่มต้นในการคำนวณ ร่วมกับปัจจัยทางด้านความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์
- 8) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- 9) พัฒนาแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- 10) ทดสอบแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบทดสอบท่าทราย 34 บัส
- 11) ทดสอบแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับข้อมูลทางเทคนิคของบริษัท เคียวเซระ จำกัด (Kyocera) รุ่น KC200GT และข้อมูลทางเทคนิคของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) (Solartron) รุ่น SP130

- 12) เปรียบเทียบผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างแบบจำลองที่พัฒนาและข้อมูลทางเทคนิคของบริษัทเคียวเซรา จำกัด (Kyocera) รุ่น KC200GT
- 13) บันทึกผลการตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัทโซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) (Solartron) รุ่น SP120
- 14) เปรียบเทียบผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างแบบจำลองที่พัฒนาและระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัทโซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) (Solartron) รุ่น SP120
- 15) สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

- 1) ฐานข้อมูลของความเข้มแสง และอุณหภูมิที่อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2) แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถรองรับข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิตมาประมวลผลได้ ร่วมกับปัจจัยทางด้านความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) แบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) แบบจำลองที่ศึกษาโหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า ร่วมกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
- 5) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 6) ข้อมูลที่ได้ทำการตรวจวัดจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

## 1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ ซึ่งสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 7 หัวข้อ คือ ที่มาและความสำคัญของปัญหา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ วิธีดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์



บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องเซลล์แสงอาทิตย์ จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 5 หัวข้อ คือ เซลล์แสงอาทิตย์ หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ การบ่งแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และ สรุป

บทที่ 3 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 4 หัวข้อ คือ ประเภทระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และ สรุป

บทที่ 4 การพัฒนาแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 5 หัวข้อ คือ หลักการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติมของเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจัยทางความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้นตอนการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติมของเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้นตอนของการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ และ สรุป

บทที่ 5 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อบนสู่ระบบของการไฟฟ้า จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 3 หัวข้อ คือ แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้นตอนการคำนวณของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และ สรุป

บทที่ 6 การบ่งแสงแดด จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 3 หัวข้อ คือ เซลล์แสงอาทิตย์ ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอด เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอด และสรุป

บทที่ 7 ระบบทดสอบ จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 5 หัวข้อ คือ สถานที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ รายละเอียดการเชื่อมต่อบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลที่บันทึกได้จากการทดสอบ และ สรุป

บทที่ 8 ผลการทดลอง จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 3 หัวข้อ คือ ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และ ผลการทดลองผลกระทบของการบ่งแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 9 การเปรียบเทียบผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 2 หัวข้อ คือ แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ และ ผลกระทบของการบ่งแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 10 สรุปวิทยานิพนธ์

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องของเซลล์แสงอาทิตย์

บทนี้จะกล่าวถึงความรู้โดยทั่วไปเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cells) ที่มีความสำคัญมากเป็นอันดับต้นๆ ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนทั้งหมด ซึ่งภายในบทนี้จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 5 หัวข้อ คือ

- 1) เซลล์แสงอาทิตย์
- 2) หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) การบ่งแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- 5) สรุป

#### 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เปลี่ยนความเข้มแสงจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าได้ โดยส่วนใหญ่เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้งานในทางปฏิบัติจะถูกผลิตมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เป็นวัสดุหลัก ซึ่งจุดเริ่มแรกของการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจะเริ่มจากการนำธาตุซิลิคอน (Silicon: Si) บริสุทธิ์มาใช้ในการผลิต ซึ่งจะเป็นธาตุที่อยู่ในคอลัมน์ที่ 4 ของตารางธาตุดังแสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อเวลาผ่านไป ธาตุเจอร์เมเนียม (Germanium: Ge) เป็นธาตุอีกชนิดหนึ่งของธาตุที่อยู่ในคอลัมน์ที่ 4 เช่นเดียวกับซิลิคอน ซึ่งธาตุดังกล่าวเริ่มมีการนำมาใช้ในการเป็นสารกึ่งตัวนำ และเริ่มถูกนำมาใช้งานภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิด แล้วค่อยเริ่มนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ หลังจากนั้นธาตุชนิดอื่นก็เริ่มมีบทบาทที่สำคัญมากขึ้นในการนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวอย่างเช่น โบรอน (Boron: B) และฟอสฟอรัส (Phosphorus: P) จากธาตุที่อยู่ในคอลัมน์ที่ 3 และ 5 ของตารางธาตุ ตามลำดับ นำมารวมกัน หรือจะเป็นธาตุแกลเลียม (Gallium: Ga) และธาตุอาร์เซไนต์หรือสารหนู (Arsenic: As) ที่นำมาวมกันเป็นแกลเลียมอาร์เซไนต์ (Gallium arsenide: GaAs) แล้วถูกนำมาใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ หรือจะเป็นธาตุแคดเมียม (Cadmium: Cd) และเทลลูเรียม (Tellurium: Te) ที่นำมาวมกันเป็นธาตุแคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium tellurium: CdTe) ก็จะสามารถนำมาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เป็นต้น [20], [21]

ตารางที่ 2.1 ตารางธาตุ

I	II	III	IV	V	VI
		5 B	6 C	7 N	8 O
		13 Al	14 Si	15 P	16 S
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se
47 Ag	48	49 In	50 Sn	51 Sb	51 Te

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงความรู้โดยทั่วไปเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะแบ่งการนำเสนอออกเป็นหัวข้อย่อย 3 หัวข้อย่อย คือ

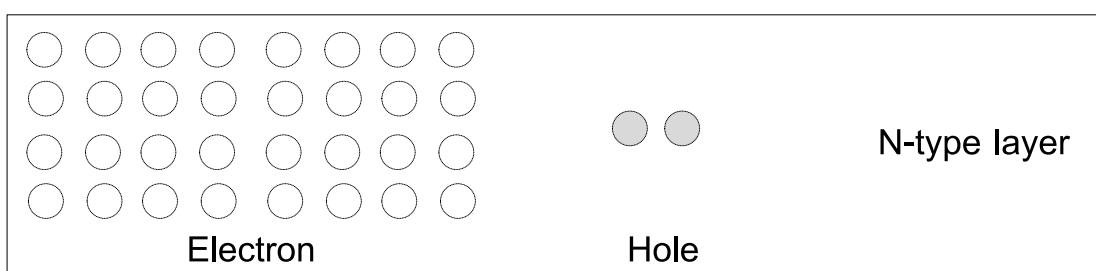
- หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
- ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์
- ข้อดีและข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.1.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

จากที่กล่าวมาแล้วว่าจุดประสงค์หลักของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปของแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าให้มากที่สุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถเปลี่ยนได้ ซึ่งหัวข้อย่อยนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะแสดงขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เมื่อแสงอาทิตย์ซึ่งมีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงาน ตกกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือโฟตอน (Photon) ไปเป็นอิเล็กตรอน (Electron) โดยการศึกษาจะเริ่มจากซิลิคอนซึ่งเป็นธาตุที่อยู่ในคอลัมน์ที่ 4 ของตารางธาตุ หรือหมายความว่า อิเล็กตรอนวงนอกสุดของธาตุซิลิคอนจะประกอบไปด้วย 4 อิเล็กตรอนของซิลิคอนหนึ่งเซลล์ ซึ่งการออกแบบสร้างเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์นั้นจะเริ่มจากนำซิลิคอนมาแบ่งการปลูกผลึกออกเป็น 2 ชั้น โดยแต่ละชั้นของซิลิคอนจะมีลักษณะที่แตกต่างกันซึ่งจะแสดงซิลิคอนแต่ละชั้นได้ดังต่อไปนี้ [20] - [22]

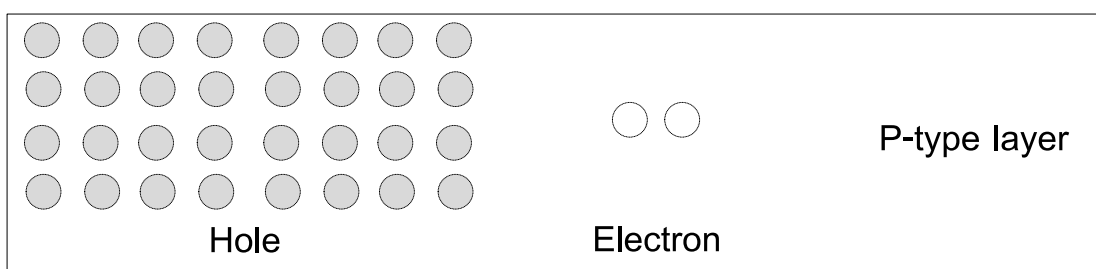
- ส่วนบน (Upper) หรือส่วนที่อยู่ด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำการโด๊ปปิ้ง (Doping) ให้อยู่ในรูปของ N-type layer ด้วยธาตุฟอสฟอรัส (P) (ธาตุฟอสฟอรัสจะมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด คือ 5 อิเล็กตรอน) โดยภายใน N-type layer จะมีส่วนประกอบ

ส่วนใหญ่เป็นอิเล็กตรอนที่พร้อมจะสามารถจ่ายอิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮล (Hole) ปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยดังแสดงในภาพที่ 2.1 ดังนั้น N-type layer จะมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของ N-type layer

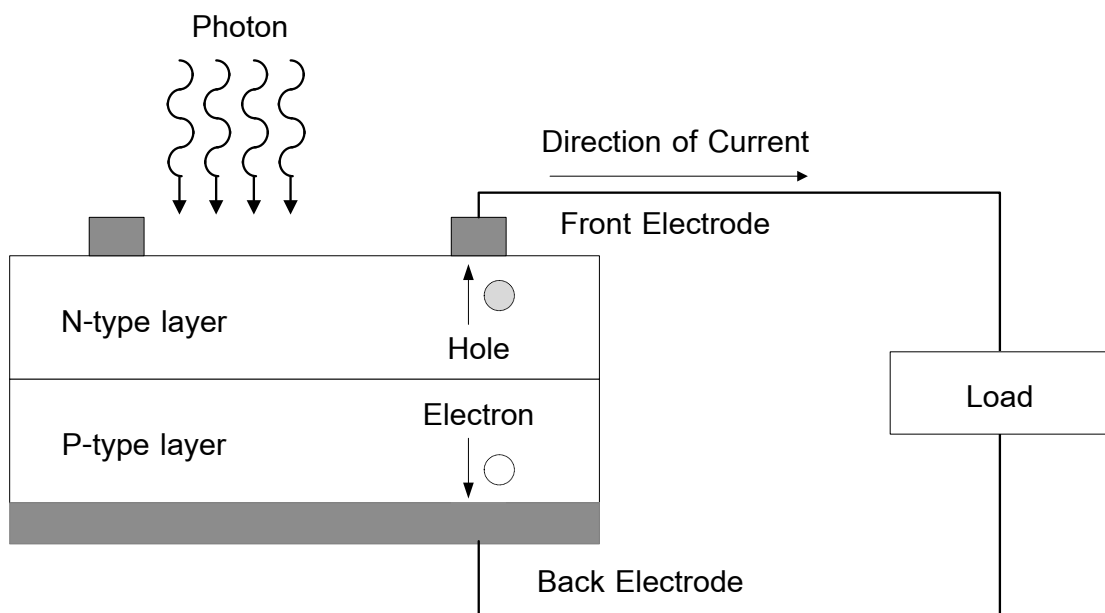
- ส่วนล่าง (Lower) หรือส่วนที่อยู่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ จะเป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำการโด๊ปปิ้งให้อยู่ในรูปของ P-type layer ด้วยธาตุโบรอน (B) (ธาตุโบรอนจะมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด คือ 3 อิเล็กตรอน) ซึ่งภายใน P-type layer จะมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นโฮลพร้อมที่จะสามารถรับอิเล็กตรอน แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย โดย P-type layer จะมีโครงสร้างของอะตอมแบบสูญเสียอิเล็กตรอน ซึ่งเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของ P-type layer

เมื่อนำโครงสร้างของส่วนบน และส่วนล่างมาเชื่อมต่อกันดังภาพที่ 2.3 จะถูกเรียกว่า P-N junction จึงทำให้เกิดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ โดยโครงสร้างดังกล่าวจะเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สุดที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งส่วนที่อยู่ด้านหน้าของ N-type layer จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และส่วนที่อยู่ด้านหลังของ P-type layer ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล หลังจากเกิดการ

เชื่อมต่อกันเป็น P-N junction ตรงส่วนที่อยู่ระหว่าง N-type layer และ P-type layer จะเกิดสนามไฟฟ้า (Depletion region) ซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนใน N-type layer เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลใน P-type layer จึงเกิดประจุไฟฟ้าลบใน P-type layer ขึ้น และ N-type layer ที่มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกไปจะเกิดประจุไฟฟ้าบวก ทั้งนี้สนามไฟฟ้านั้นจะเป็นช่องทางเดินของอิเล็กตรอนจากส่วนที่เป็นวงจรรายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ หรือไหลต่อไปยังส่วนที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกเชื่อมต่อกับโหลด ต่อมาเมื่อมีแสงอาทิตย์หรือโฟตอนดังแสดงในภาพที่ 2.3 ตกกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดการถ่ายเทของพลังงานให้กับอิเล็กตรอน และโฮลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไหว ซึ่งเมื่อมีพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าที่สูงมากพอ ทั้งอิเล็กตรอน และโฮลจะเกิดการวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปด้าน N-type layer และโฮลจะวิ่งไปด้าน P-type layer หรือก็คืออิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front electrode และโฮลจะวิ่งไปรวมกันที่ Back electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front electrode และ Back electrode ให้ครบวงจร ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน โดยทิศทางของกระแสไฟฟ้าจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.3 [20] - [21]



ภาพที่ 2.3 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

จากที่กล่าวไปแล้วว่าเซลล์แสงอาทิตย์มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอาจจะเป็นแสงที่มาจากดวงอาทิตย์หรือแสงที่มาจากหลอดไฟเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าจะอยู่ในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current: DC) นอกจากนี้ในปัจจุบันสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะประกอบไปด้วยหลากหลายชนิด ดังนั้นในหัวข้อย่อยนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับประเภทของสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะสามารถแบ่งตามกลุ่มสารประกอบที่นิยมนำมาสร้างเป็นเซลล์แสง ซึ่งจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม [21] - [22] คือ

- กลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน
- กลุ่มที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน

#### 2.1.2.1 กลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน

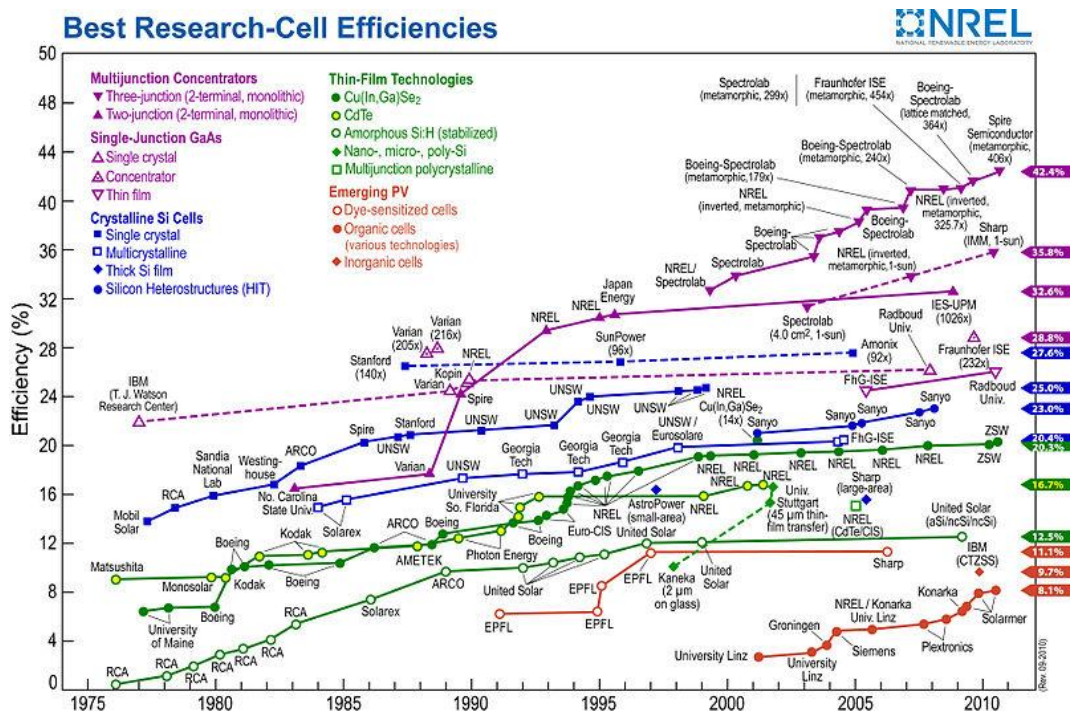
เซลล์แสงอาทิตย์จะนิยมนำสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนมาใช้ในการผลิต โดยจะแบ่งประเภทของซิลิคอนที่นำมาผลิตได้เป็น 3 ประเภท คือ

- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single crystalline silicon solar cell หรือ c-Si) ซิลิคอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาสูงที่สุด เนื่องจากซิลิคอนเป็นธาตุชนิดหนึ่งที่มีมากที่สุดในโลกสามารถถลุงได้จากหินและทราย โดยนิยมใช้ธาตุซิลิคอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์ และ ไอซี เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์เทคโนโลยี c-Si ซึ่งได้รับความนิยม และสามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะภายในพื้นที่ชนบทห่างไกล ความเจริญที่ไม่มีไฟฟ้าใช้
- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกพอลิซิลิคอน (Polycrystalline silicon solar cell หรือ pc-Si) ซึ่งมาจากความพยายามในการที่จะลดต้นทุนการผลิตของ c-Si จึงทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยี pc-Si ขึ้นส่งผลให้ต้นทุนการผลิต pc-Si ต่ำกว่า c-Si ร้อยละ 10 อย่างไรก็ตามเทคโนโลยี pc-Si ก็ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลายเช่นกัน
- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous silicon solar cell หรือ a-Si) โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิคอนเช่นกันแต่ไม่เป็นผลึก ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิคอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si คือ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

### 2.1.2.2 กลุ่มที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน

เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไปแต่จะมีราคาสูงมาก ซึ่งจะไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก โดยมักนำมาใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงอาทิตย์ (Concentrating solar power) เป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7% ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด) โดยวัสดุที่จะนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบด้วย แกลเลียมอาร์เซไนต์ (GaAs), แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และ คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper indiumdi selenide: CIS ) เป็นต้น ซึ่งจะมีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single crystalline) และ ผลึกพอลิ (Polycrystalline)

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผลึกเดี่ยวซิลิคอน ผลึกพอลิซิลิคอน และฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ

(ที่มา: National Renewable Energy Laboratory (NREL), <http://www.nrel.gov/pv/>)

### 2.1.3 ข้อดี และข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์

ดังที่ได้กล่าวว่าการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่นิยมอันดับต้นๆ ของพลังงานหมุนเวียนทั้งหมด ดังนั้นหัวข้อย่อๆนี้จะกล่าวถึงลักษณะเด่นหรือข้อดีหลายประการของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ [22] - [24] คือ

- เชื้อเพลิงของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมาจากแสงอาทิตย์เป็นเชื้อเพลิงหลัก ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด และไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ส่งผลทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ
- เชื้อเพลิงจากพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวจะเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นประเภทไม่มีวันหมดไปจากโลก และค่าใช้จ่ายการนำเชื้อเพลิงมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเป็นศูนย์
- เชื้อเพลิงจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก
- ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องการการบำรุงรักษาที่น้อยมาก

อย่างไรก็ตามระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงมีข้อเสียอยู่บ้างในทางปฏิบัติ โดยจะประกอบไปด้วยดังต่อไปนี้ [23] - [24] คือ

- ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีเชื้อเพลิงเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตได้จะแปรผันตามสภาพอากาศ
- ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีแบตเตอรี่จะไม่สามารถที่จะเก็บไฟฟ้าไว้ได้ เนื่องจากปัจจุบันแบตเตอรี่มีราคาที่สูงมากจึงทำให้ไม่นิยมนำมาใช้งาน
- ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้พลังงานที่ผลิตออกมาได้จะต่ำ ถึงแม้ว่าดวงอาทิตย์จะสามารถให้ความเข้มแสงของแสงแดดไม่มีวันหมด แต่ความเข้มนั้นจะมีค่าที่ไม่สูงมาก จึงส่งผลให้พลังงานที่ผลิตออกมาได้จะต่ำ
- ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีราคาค่อนข้างแพง

## 2.2 หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำมาสร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยหลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 หัวข้อย่อย คือ

- แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์
- ผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์



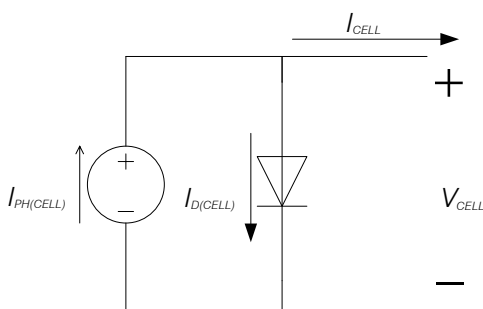
## 2.2.1 แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์เกิดจากการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำชนิด N-type layer และ P-type layer เข้าด้วยกันเป็น P-N junction ซึ่งเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเมื่อเชื่อมต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหล โดยหัวข้อย่อยนี้จะพิจารณาลักษณะของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ประเภท [10], [20] คือ

- แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติ
- แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณ
- แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติ

### 2.2.1.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติ

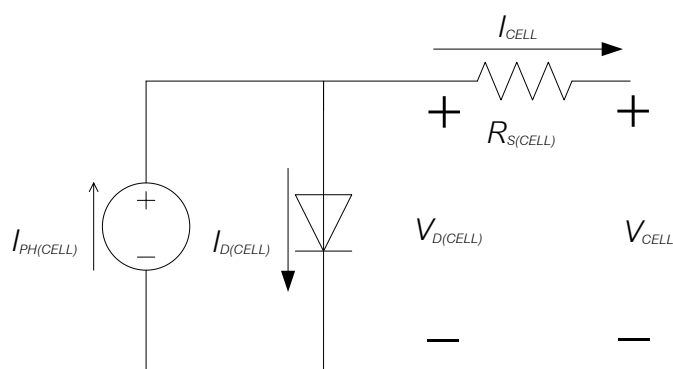
แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางไฟฟ้า (Element) เพียงแค่ 2 องค์ประกอบ คือ แหล่งจ่ายกระแส และ ไดโอด อย่างไรก็ตามแบบจำลองประเภทนี้จะไม่นิยมนำมาใช้ในการคำนวณแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะในทางปฏิบัติจะไม่มีเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะสามารถสมมติได้ว่ามีวงจรสมมูลเป็นแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติ ซึ่งแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติหนึ่งเซลล์สามารถแสดงการเชื่อมต่อได้ดังภาพที่ 2.5 ซึ่งแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติจะเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นรายละเอียดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติจะได้อธิบายในหัวข้อย่อยของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติอีกครั้งหนึ่ง



ภาพที่ 2.5 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติจำนวนหนึ่งเซลล์

### 2.2.1.2 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณ

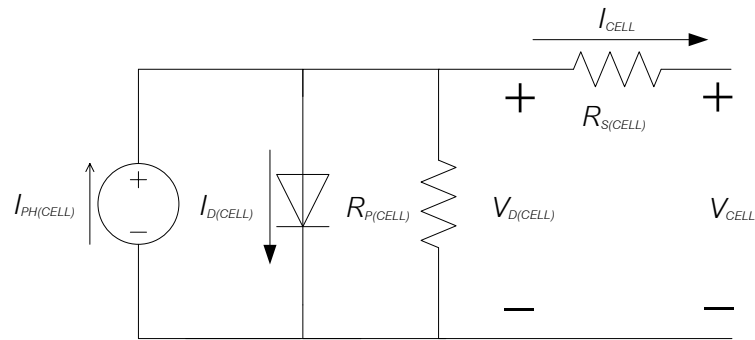
แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณ ซึ่งบางส่วนของแบบจำลองประเภทนี้จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติ โดยแบบจำลองประเภทนี้จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางไฟฟ้า 3 องค์ประกอบ คือ แหล่งจ่ายกระแส ไดโอด และความต้านทานที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม อย่างไรก็ตามบางงานวิจัยนิยมนำแบบจำลองประเภทนี้มาใช้ในการคำนวณของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณหนึ่งเซลล์จะสามารถแสดงการเชื่อมต่อได้ดังภาพที่ 2.6 ทั้งนี้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณจะเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นรายละเอียดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณจะได้อธิบายในหัวข้อย่อยของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติอีกครั้งหนึ่ง



ภาพที่ 2.6 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณหนึ่งเซลล์

### 2.2.1.3 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติ

แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติ ซึ่งบางส่วนของแบบจำลองประเภทนี้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณ โดยแบบจำลองแบบนี้จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางไฟฟ้า 4 องค์ประกอบ คือ แหล่งจ่ายกระแส ไดโอด ความต้านทานที่เชื่อมต่อในรูปแบบอนุกรม และ ความต้านทานที่เชื่อมต่อในรูปแบบขนาน โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติในการวิจัย ซึ่งแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งเซลล์จะสามารถแสดงลักษณะการเชื่อมต่อได้ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งเซลล์

จากภาพที่ 2.7 จะสามารถแสดงทิศทางของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตามแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งเซลล์ ซึ่งจากภาพจะสามารถนำมาเขียนสมการวงจรไฟฟ้า KCL (Kirchhoff's current law: KCL) ซึ่งผลรวมของค่ากระแสที่ไหลเข้าจะมีค่าที่เท่ากับผลรวมของค่ากระแสที่ไหลออก แสดงดังสมการที่ (2.1) [20]

$$I_{CELL} = I_{PH(CELL)} - I_{D(CELL)} - I_{P(CELL)} \quad (2.1)$$

โดย

$I_{CELL}$	คือ	กระแสที่ผลิตมาจากเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (A)
$I_{PH(CELL)}$	คือ	กระแสโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric current) ที่จะเกิดมาจากความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (A)
$I_{D(CELL)}$	คือ	กระแสไดโอด (Diode current) ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (A)
$I_{P(CELL)}$	คือ	กระแสที่ไหลผ่านความต้านทานที่มีลักษณะของการเชื่อมต่อแบบขนาน ( $R_p$ ) ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (A)

จากสมการที่ (2.1) นั้นจะสามารถเปลี่ยนภาพแบบของสมการให้อยู่ในภาพของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ( $V_{CELL}$ ) โดยจะเริ่มพิจารณาจากแรงดันที่ตกคร่อมตัวของไดโอด ( $V_{D(CELL)}$ ) และแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานที่เชื่อมต่อแบบขนาน ( $R_p$ ) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งจะสามารถแสดงกระแสที่ไหลผ่านไดโอด และกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานที่เชื่อมต่อแบบขนาน ได้ดังสมการที่ (2.2)

$$I_{D(CELL)} = I_{O(CELL)} \left[ \exp\left(\frac{V_{D(CELL)}}{aV_{TH}}\right) - 1 \right], I_{P(CELL)} = \frac{V_{D(CELL)}}{R_{P(CELL)}} \quad (2.2)$$

โดย

$I_{O(CELL)}$	คือ	กระแสอิ่มตัวไดโอด (Saturation current) ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (A)
$V_{D(CELL)}$	คือ	แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ โดยทิศทางของแรงดันจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.7 (V)
$a$	คือ	แฟกเตอร์อุดมคติ (Ideality factor) ไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของแต่ละผู้ผลิตที่จะนำมาใช้ ทั้งนี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.2 [10]

ตารางที่ 2.2 แฟกเตอร์อุดมคติของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์

ชนิดของสารที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์	$a$	$E_g$ (eV)
Mono-Si	1.026	1.12
Poly-Si	1.025	1.14
a-Si:H	1.800	1.65
a-Si:H tandem	3.300	2.90
a-Si:H triple	3.090	1.60
CdTe	1.500	1.48
CIS	1.500	1.00
GaAs	1.300	1.43

หมายเหตุ :  $E_g$  คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ทำไดโอด

$V_{TH}$	คือ	ความต่างศักย์เริ่มเปลี่ยน (Threshold voltage) ไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (V) โดยจะคำนวณความต่างศักย์เริ่มเปลี่ยนได้ดังสมการที่ (2.3)
$R_{P(CELL)}$	คือ	ความต้านทานที่มีการเชื่อมต่อแบบขนานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ โดยลักษณะการเชื่อมต่อจะแสดงได้ดังภาพที่ 2.7 ( $\Omega$ )

$$V_{TH} = \frac{kT}{q} \quad (2.3)$$

โดย

$T$	คือ	อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (K)
$q$	คือ	ค่าคงตัวประจุของอิเล็กตรอนหนึ่งอิเล็กตรอน ซึ่งจะมีค่าเป็น $1.6 \times 10^{-19}$ C
$K$	คือ	ค่าคงตัวโบลทซ์มันน์ (Boltzmann constant) ซึ่งจะมีค่าเป็น $1.38 \times 10^{-23}$ J/K

จากสมการที่ (2.2) นำค่าของกระแสที่ไหลผ่านไดโอด และกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานที่เชื่อมต่อแบบขนานมาแทนค่าในสมการที่ (2.1) จะสามารถแสดงได้ในสมการที่ (2.4)

$$I_{CELL} = I_{PH(CELL)} - I_{O(CELL)} \left[ \exp\left(\frac{V_{D(CELL)}}{aV_{TH}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{D(CELL)}}{R_{P(CELL)}} \quad (2.4)$$

จากภาพที่ 2.2 จะพบว่าค่าของแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดและค่าของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ จะมีความสัมพันธ์ที่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.5)

$$V_{D(CELL)} = V_{CELL} + I_{CELL} R_{S(CELL)} \quad (2.5)$$

โดย

$V_{CELL}$	คือ	แรงดันที่ตกคร่อมของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (V)
$R_{S(CELL)}$	คือ	ความต้านทานที่มีการเชื่อมต่อแบบอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ โดยลักษณะการเชื่อมต่อจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.7 ( $\Omega$ )

จากสมการที่ (2.4) และ (2.5) จะสามารถนำมารวมกันได้ โดยสมการนี้จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ได้ดังสมการที่ (2.6)

$$I_{CELL} = I_{PH(CELL)} - I_{O(CELL)} \left[ \exp \left( \frac{V_{CELL} + I_{CELL} R_{S(CELL)}}{aV_{TH}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{CELL} + I_{CELL} R_{S(CELL)}}{R_{P(CELL)}} \quad (2.6)$$

## 2.2.2 ผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นตัวแปรสำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และจะส่งผลให้จุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ภายในหนึ่งวัน ดังนั้นความสำคัญของผลดังกล่าวจึงต้องนำมาพิจารณาในแบบจำลองเช่นกัน

### 2.2.2.1 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (โดยปกติอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าที่ไม่เท่ากับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม) เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้จุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยจะส่งผลให้ค่าของแรงดันเปิดวงจรและกระแสที่ใช้ในการทำงานเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะแปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าของกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นต่างกันไปตามเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตามเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดเช่นกัน ทั้งนี้จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตรงกันข้ามกับกระแสไฟ โดยจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.7) และ (2.8) ตามลำดับ [20] - [21]

$$I_{PH(CELL)NEW} = I_{PH(CELL)} + K_I (T - T_{(ref)}) \quad (2.7)$$

$$V_{OC(CELL)NEW} = V_{OC(CELL)} + K_V (T - T_{C(ref)}) \quad (2.8)$$

โดย

$I_{PH(CELL)}$	คือ	กระแสไฟโตอิเล็กทริกที่เกิดจากความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ณ อุณหภูมิ $T_{(ref)}$ °C (A)
$I_{PH(CELL)NEW}$	คือ	กระแสไฟโตอิเล็กทริกที่เกิดจากความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ณ อุณหภูมิ $T$ °C (A)
$T$	คือ	อุณหภูมิ ณ เวลาที่พิจารณา หรืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจาก $T_{(ref)}$ °C (°C หรือ K)

$T_{(ref)}$	คือ	อุณหภูมิที่ให้ค่าของกระแสเป็น $I_{PH(CELL)}$ A ( $^{\circ}\text{C}$ หรือ K)
$K_I$	คือ	ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งองศาเซลเซียสหรือหนึ่งองศาเคลวิน ( $\text{A}/^{\circ}\text{C}$ หรือ $\text{A}/\text{K}$ )
$K_V$	คือ	ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเปิดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งองศาเซลเซียสหรือหนึ่งองศาเคลวิน ( $\text{V}/^{\circ}\text{C}$ หรือ $\text{V}/\text{K}$ )
$V_{OC(CELL)NEW}$	คือ	แรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ที่พิจารณา ณ อุณหภูมิ $T^{\circ}\text{C}$ (V)
$V_{OC(CELL)}$	คือ	แรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ที่พิจารณา ณ อุณหภูมิ $T_{(ref)}^{\circ}\text{C}$ (V)

### 2.2.2.2 ความเข้มแสง

กระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง ซึ่งหมายความว่าเมื่อความเข้มแสงมีค่าสูง กระแสจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะแปรไปตามความเข้มแสงไม่มากนัก ความเข้มแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐาน คือ ความเข้มแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอก และวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มแสงมาตรฐานจะมีค่าเท่ากับ  $1,000 \text{ W/m}^2$  หรือ  $100 \text{ mW/cm}^2$  (1-sun) ที่ AM 1.5 ดังนั้นความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปจะส่งผลต่อจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.9) [20] - [21]

$$I_{PH(CELL)NEW} = I_{PH(CELL)} \left( \frac{G}{G_{(ref)}} \right) \quad (2.9)$$

โดย

$I_{PH(CELL)}$	คือ	กระแสไฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ที่พิจารณา ณ ความเข้มแสง $G_{(ref)} \text{ W/m}^2$ (A)
$I_{PH(CELL)NEW}$	คือ	กระแสไฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ที่พิจารณา ณ ความเข้มแสง $G \text{ W/m}^2$ (A)
$G$	คือ	ความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ณ เวลาที่พิจารณา ( $\text{W/m}^2$ )

$G_{(ref)}$  คือ ความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ที่ให้กระแสเป็น  $I_{PH(CELL)}$  A ( $W/m^2$ )

นอกจากนี้ผลความเข้มแสงจะส่งผลต่อค่าของแรงดันเปิดวงจรเช่นกัน แต่จะส่งผลเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกระแสลัดวงจร โดยการคิดในกรณีที่มีการเปิดวงจรจะหมายความว่า ค่าเท่ากับ  $I_{(CELL)}$  มีค่าศูนย์ และ  $V_{(CELL)}$  จะมีค่าเท่ากับแรงดันเปิดวงจร ซึ่งเมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.4) จะสามารถแสดงสมการการหาแรงดันเปิดวงจรได้ดังสมการที่ (2.10)

$$0 = I_{PH(CELL)} - I_{O(CELL)} \left[ \exp\left(\frac{V_{OC(CELL)}}{aV_{TH}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{OC(CELL)}}{R_{P(CELL)}} \quad (2.10)$$

### 2.3 ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ (Commercial Datasheet) คือ พารามิเตอร์รายละเอียดเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิต ซึ่งพารามิเตอร์แต่ละตัวจะวัดมาจากการทดลองภายในห้องปฏิบัติการหรือห้องทดลองของแต่ละผู้ผลิต โดยประกอบไปด้วย 8 พารามิเตอร์ ซึ่งพารามิเตอร์จะเป็นค่าที่วัดจากเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (ไม่ใช่เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์) ดังนั้นแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติจะต้องเป็นรูปแบบของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล

สมการแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ของหัวข้อที่ 2.3 ที่ได้กล่าวมานั้นจะประกอบไปด้วยหลายพารามิเตอร์ในการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะไม่สามารถนำข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ในการคำนวณแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เนื่องจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพารามิเตอร์ไม่เพียงพอ ดังนั้นต้องมีการพัฒนาหลักการคำนวณแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรองรับข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ที่แต่ละผู้ผลิตกำหนดมาให้ได้

เซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิตส่วนใหญ่จะใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันไป แต่โดยทั่วไปข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการกำหนดที่คล้ายกัน โดยดังที่กล่าวไปข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์นั้นผู้ผลิตจะทราบข้อมูลต่างๆ จากข้อมูลการทดลองของเซลล์แสงอาทิตย์ในห้องปฏิบัติการหรือห้องทดลอง ซึ่งโดยปกติการทดลองในห้องปฏิบัติการนั้นจะนิยมทดสอบที่



อุณหภูมิมาตรฐานและความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard test condition: STC) คือ อุณหภูมิจะมีค่าเป็น 25 °C หรือ 278 K และความเข้มแสงจะมีค่า 1,000 W/m<sup>2</sup> ที่ AM 1.5 ซึ่งข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นสินค้าที่ขายทั่วไปของแต่ละผู้ผลิตนั้นจะบอกเป็นรูปแบบที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกประกอบกันเป็นโมดูล (Module) ซึ่งจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ที่สำคัญประมาณ 8 พารามิเตอร์ คือ

- กำลังสูงสุดที่จะผลิตได้ (Maximum power:  $P_{MPP}$ )
- แรงดันที่ทำให้เกิดกำลังสูงสุดที่จะผลิตได้ (Maximum power voltage:  $V_{MPP}$ )
- กระแสที่ทำให้เกิดกำลังสูงสุดที่จะผลิตได้ (Maximum power current:  $I_{MPP}$ )
- แรงดันเปิดวงจร (Open circuit voltage:  $V_{OC}$ )
- กระแสลัดวงจร (Short circuit current:  $I_{SC}$ )
- ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Temperature coefficient short circuit:  $K_I$ )
- ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเปิดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Temperature coefficient open circuit:  $K_V$ )
- จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล (Number per module:  $N_S$ )

จากข้อมูลทางเทคนิคที่กล่าวมานั้น จะสามารถแสดงตัวอย่างของข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท เคียวเซระ จำกัด (Kyocera) [25] และ บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) (Solartron) [26] ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท เคียวเซระ จำกัด

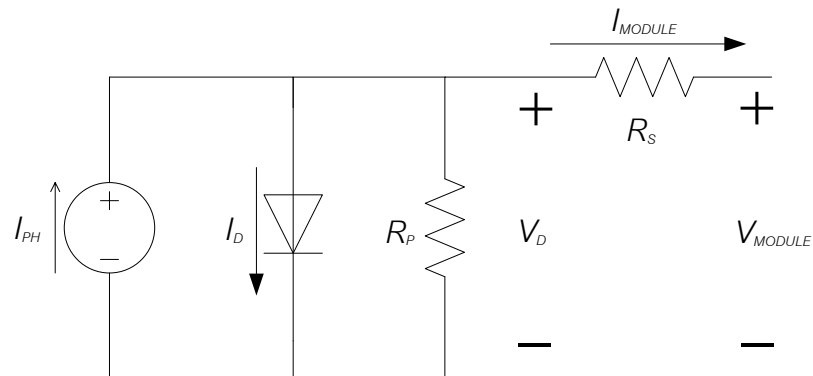
ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์	
กำลังสูงสุดที่จะผลิตได้ ( $P_{MPP}$ )	200.143 (W)
แรงดันที่ทำให้เกิดกำลังสูงสุดที่จะผลิตได้ ( $V_{MPP}$ )	26.3 (V)
กระแสที่ทำให้เกิดกำลังสูงสุดที่จะผลิตได้ ( $I_{MPP}$ )	7.61 (A)
แรงดันเปิดวงจร ( $V_{OC}$ )	32.9 (V)
กระแสลัดวงจร ( $I_{SC}$ )	8.21 (A)
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K_I$ )	0.00318 (A/°C)

ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเปิดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K_V$ )	-0.123 ( $V/^\circ C$ )
จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล ( $N_S$ )	54

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)

ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์	
กำลังสูงสุดที่จะผลิตได้ ( $P_{MPP}$ )	130.130 (W)
แรงดันที่ทำให้เกิดกำลังสูงสุดที่จะผลิตได้ ( $V_{MPP}$ )	16.9 (V)
กระแสที่ทำให้เกิดกำลังสูงสุดที่จะผลิตได้ ( $I_{MPP}$ )	7.70 (A)
แรงดันเปิดวงจร ( $V_{OC}$ )	22.0 (V)
กระแสลัดวงจร ( $I_{SC}$ )	8.20 (A)
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K_I$ )	0.0005 ( $A/^\circ C$ )
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเปิดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K_V$ )	-0.0036 ( $V/^\circ C$ )
จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล ( $N_S$ )	36

โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมซื้อขายกันในท้องตลาดจะเป็นรูปแบบของโมดูล (ไม่ใช่รูปแบบเซลล์) ซึ่งแบบจำลองในภาพที่ 2.7 ในหัวข้อที่ 2.2.1.3 จะเป็นแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งเซลล์ อย่างไรก็ตามแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งโมดูลนั้นจะมีลักษณะเป็นแบบเดียวกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งเซลล์ ดังนั้นแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งโมดูลจะแสดงได้ดังภาพที่ 2.8 [10] – [11]



ภาพที่ 2.8 แบบจำลองสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งโมดูล

จากภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติหนึ่งโมดูลจะแสดงได้ดังสมการที่ (2.11) ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับสมการที่ (2.6)

$$I_{MODULE} = I_{PH} - I_O \left[ \exp\left(\frac{V_{MODULE} + I_{MODULE} R_S}{a N_S V_{TH}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{MODULE} + I_{MODULE} R_S}{R_P} \quad (2.11)$$

โดย

$I_{MODULE}$	คือ	กระแสที่ผลิตออกมาได้ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (A)
$I_{PH}$	คือ	กระแสโฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (A)
$I_O$	คือ	กระแสอิ่มตัวของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (A)
$V_{MODULE}$	คือ	แรงดันที่ตกคร่อมของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (V)
$V_{TH}$	คือ	ความต่างศักย์เริ่มเปลี่ยนของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) (V)
$a$	คือ	แฟกเตอร์อุดมคติของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ซึ่งจะขึ้นกับเทคโนโลยีของผู้ผลิตที่ ซึ่งจะหาได้จากตารางที่ 2.2
$R_P$	คือ	ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ซึ่งมีมีลักษณะการเชื่อมต่อดังแสดงในภาพที่ 2.8 ( $\Omega$ )
$R_S$	คือ	ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ซึ่งมีมีลักษณะการเชื่อมต่อดังแสดงในภาพที่ 2.8 ( $\Omega$ )
$N_S$	คือ	จำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมรวมเป็นเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (เซลล์)

หลักการของความเข้มแสงที่ตกกระทบและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.2.2 นั้น จะสามารถนำมาใช้ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่กล่าวในหัวข้อนี้ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะใช้ในเรื่องผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิต่อเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะต้องเป็นพารามิเตอร์สมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

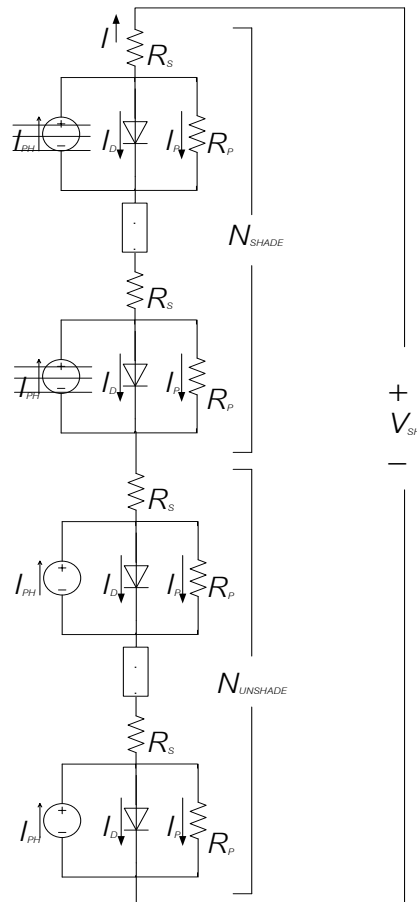
#### 2.4 การบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

การบังแสงแดด (Shading) หรือการบังเงา (Shadowing) ส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมากมายหลายประการ ดังเช่น ใบไม้ สิ่งก่อสร้าง และ เมฆที่เคลื่อนที่ผ่าน เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลให้พลังงานที่ผลิตออกมาได้ของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าที่ลดลงไปมาก และเมื่อเกิดการบังแสงแดดขึ้นกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะส่งผลทำให้เกิดค่าความร้อนที่ตัวเซลล์ขึ้น เนื่องมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดจะทำหน้าที่เป็นภาระทางไฟฟ้าแทนที่จะเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน หรือก็คือ เซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นโหลดแทนแหล่งจ่ายไฟ ดังที่จะกล่าวต่อไปในบทที่ 6 [20]

เมื่อเกิดการบังแสงแดดขึ้นสิ่งที่เกิดตามมา คือ ความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าที่ลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ต้องนำหลักการเกี่ยวกับความเข้มแสงที่ส่งผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในหัวข้อที่ 2.2.2 มาช่วยในการวิเคราะห์หาค่า โดยทั่วไปจะพบว่าเมื่อความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์เพียงแค่ 2 พารามิเตอร์ [10] – [11] คือ

- กระแสโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric current :  $I_{PH}$ )
- ความต้านทานที่เชื่อมต่อแบบต่อขนาน (Shunt resistance :  $R_p$ )

แบบจำลองที่ศึกษาการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่ายจะเริ่มจากการพิจารณาเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดและไม่เกิดการบังแสงแดดที่เชื่อมต่อกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.9 [20]



ภาพที่ 2.9 แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษาการบังแสงแดดอย่างง่าย

จากภาพที่ 2.9 จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดและเกิดการบังแสงแดดซึ่งมีจำนวน  $N_{UNSHADE}$  และ  $N_{SHADE}$  โมดูล ตามลำดับ นอกจากนี้พารามิเตอร์อื่นๆ ภายในภาพที่ 2.9 คือ  $I_{PH}$ ,  $I_D$ ,  $I_P$ ,  $R_S$  และ  $R_P$  จะเป็นพารามิเตอร์พื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ดังนั้นแรงดันของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมกันในหนึ่งแถว หรือหนึ่งสตริง ( $V_{SH}$ ) จะแสดงได้ดังสมการที่ (2.12) [20]

$$V_{SH} = (N_{UNSHADE})V_{UNSHADE} + (N_{SHADE})V_{SHADE} \quad (2.12)$$

โดย

$V_{SH}$  คือ แรงดันของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมกันในหนึ่งแถว หรือหนึ่งสตริง (V)

$N_{UNSHADE}$  คือ จำนวนโมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้เกิดการบังแสงแดด ภายในหนึ่งแถว (โมดูล)

$V_{UNSHADE}$	คือ	แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนหนึ่งโมดูลที่ไม่ได้เกิดการบังแสงแดด (V)
$N_{SHADE}$	คือ	จำนวนโมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดภายในหนึ่งแถว (โมดูล)
$V_{SHADE}$	คือ	แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนหนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด (V)

นอกจากนี้สมการที่ (2.12) จะเป็นสมการที่แสดงค่าพารามิเตอร์ของค่าแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนหนึ่งโมดูล ( $V_{UNSHADE}$ ) อย่างไรก็ตามจะสามารถแสดงสมการที่เป็นพารามิเตอร์ของค่าแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความเข้มแสงปกติของทั้งหนึ่งแถวได้ โดยจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.13) [9]

$$V_{SH} = \left( \frac{N_{UNSHADE}}{N_{TOTAL}} \right) V_{ROW} + (N_{SHADE}) V_{SHADE} \quad (2.13)$$

โดย

$N_{TOTAL}$	คือ	จำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดภายในหนึ่งแถว ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.14)
$V_{ROW}$	คือ	แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ภายในหนึ่งแถว หรือหนึ่งสตริง โดยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะไม่เกิดการบังแสงแดด (V)

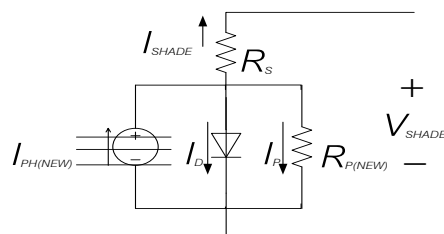
$$N_{TOTAL} = N_{UNSHADE} + N_{SHADE} \quad (2.14)$$

จากสมการที่ (2.13) จะพบว่าแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด ( $V_{SHADE}$ ) จะเป็นพารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณออกมาเพื่อหาค่าแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ภายในหนึ่งแถวออกมาได้ ดังนั้นหลักการคำนวณแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดจำนวนหนึ่งโมดูลจะสามารถพิจารณาได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ

- แบบที่ 1 : การบังแสงแดดโดยยังคงมีความเข้มแสงเหลืออยู่ ( $G > 0 \text{ W/m}^2$ )
- แบบที่ 2 : การบังแสงแดดขึ้นโดยไม่มี ความเข้มแสงเหลืออยู่ ( $G = 0 \text{ W/m}^2$ )

### 2.4.1 แบบที่ 1: การบังแสงแดดโดยยังคงมีความเข้มแสงเหลืออยู่

รูปแบบนี้แม้ว่าโมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเกิดการบังแสงแดดขึ้น อย่างไรก็ตามยังคงมีความเข้มแสงเหลืออยู่บ้างเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะส่งผลให้โมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ตัวนั้นยังคงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ในช่วงของกระแสบางช่วง แต่เนื่องมาจากความเข้มแสงที่ลดลงจากการบังแสงแดดจะส่งผลให้พลังงานที่ผลิตออกมาได้จะมีลักษณะที่ลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งก่อนที่จะมาหาค่าของแรงดันของส่วนที่เกิดการบังแสงแดดนั้น ควรจะมาศึกษาถึงแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดดเสียก่อน ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด

จากภาพเมื่อนำมาเขียนสมการของกระแสจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.15)

$$I_{SHADE} = I_{PH(NEW)} - I_D - I_P \quad (2.15)$$

โดย

$I_{SHADE}$	คือ	กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด (A)
$I_{PH(NEW)}$	คือ	กระแสโฟโตอิเล็กทริกที่เปลี่ยนไปเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยน (A)
$I_D$	คือ	กระแสไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ที่เกิดการบังแสงแดด (A)
$I_P$	คือ	กระแสที่ไหลผ่านความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนาน ( $R_p$ ) ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด (A)

จากสมการที่ (2.15) จะพบว่าสมการของแรงดันในส่วนที่เกิดการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลนั้นจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.16)

$$I_{SHADE} = I_{PH(NEW)} - I_o \left[ \exp \left( \frac{V_{SHADE} + I_{SHADE} R_s}{a N_s V_{TH}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{SHADE} + I_{SHADE} R_s}{R_{P(NEW)}} \quad (2.16)$$

โดย

$V_{SHADE}$	คือ	แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด (V)
$R_{P(NEW)}$	คือ	ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขานที่เปลี่ยนไปเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยน ( $\Omega$ )

ดังนั้นจากสมการที่ (2.16) จะพบว่า จะไม่สามารถจัดรูปสมการของ  $V_{SHADE}$  ให้อยู่ในรูปของ พารามิเตอร์ตัวอื่นได้ หรือเป็นสมการที่ไม่ใช่สมการเชิงเส้น จึงส่งผลให้การหาค่าของแรงดันในส่วนที่เกิดการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลนั้นจะต้องมีการผสมผสานหลักการการค้นหาลองง่าย ดังที่จะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4

#### 2.4.2 แบบที่ 2: การบังแสงแดดขึ้นโดยไม่มี ความเข้มแสงเหลืออยู่

หลักการของการบังแสงแดดนั้นจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับในภาพแบบที่ 1 ดังที่กล่าวมา ดังนั้นแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดแบบที่ 2 ซึ่งจากหลักการความเข้มแสงมีค่าเป็นศูนย์นั้นจะส่งผลให้ค่าของกระแสที่เกิดมาจากความเข้มแสง ( $I_{PH(NEW)}$ ) นั้นมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน เช่นนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มี ความเข้มแสงเลย จะไม่สามารถที่จะทำงานเป็นแหล่งจ่ายไฟได้ หรือเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นโหลดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ดังนั้นสมการของแรงดันในส่วนที่เกิดการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลนั้นจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.17)

$$I_{SHADE} = -I_o \left[ \exp \left( \frac{V_{SHADE} + I_{SHADE} R_s}{a N_s V_{TH}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{SHADE} + I_{SHADE} R_s}{R_{P(NEW)}} \quad (2.17)$$

นอกจากนี้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น จะสามารถแบ่งแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดอีกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดที่ไม่มีบายพาสไดโอด (Without bypass diode)
- แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดที่มีบายพาสไดโอด (Bypass diode)



## 2.5 สรุป

บทที่ 2 นี้ จะกล่าวถึงเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปว่าประกอบไปด้วยประเภทอะไรบ้าง และหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ว่าเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะมีกระบวนการอย่างไรเพื่อที่จะนำแสงนั้นมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า หรือจะมีการนำเสนอเกี่ยวกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติร่วมกันสมการที่ใช้ในการคำนวณของกระแส และแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว หรือจะกล่าวถึงรายละเอียดของข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลว่าประกอบไปด้วยพารามิเตอร์อะไรบ้าง และหลักการพื้นฐานของการคำนวณเกี่ยวกับผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

### บทที่ 3

#### ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ในบทที่ 2 จะกล่าวเกี่ยวกับความรู้โดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติ และการศึกษาเรื่องเกี่ยวกับผลกระทบของการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้เป็นที่ทราบกันว่าพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมาได้จะอยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าจริง (Active real power) และแรงดันที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมานั้นจะอยู่ในรูปของไฟฟ้ากระแสตรง อย่างไรก็ตาม โหลดโดยทั่วไป เช่น อาคารสำนักงาน โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น จะใช้ไฟฟ้าในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสสลับทั้งหมด ดังนั้นโดยปกติเมื่อต้องการที่จะเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่สถานประกอบการโดยตรงนั้นจะไม่สามารถทำได้ เพราะฉะนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อเพิ่มเติมเพื่อที่จะสามารถเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่โหลดโดยทั่วไปดังกล่าวได้ ซึ่งส่งผลให้ในหัวข้อนี้จะศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่โหลด โดยทั่วไปจะเรียกว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic generation system: PVGS) โดยบทนี้จะแบ่งการนำเสนอเป็น 4 หัวข้อ คือ

- 1) ประเภทระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) โหมดงานการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) สรุป

#### 3.1 ประเภทระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากที่กล่าวไปแล้วการนำเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวมาใช้ในการระบบไฟฟ้าจะไม่สามารถทำได้ จะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติม โดยเมื่อมีการเชื่อมอุปกรณ์อื่นและเซลล์แสงอาทิตย์จะเรียกรวมทั้งหมดว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งโดยทั่วไปประเภทของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะประกอบไปด้วย 3 ประเภท [20], [21], [23] คือ

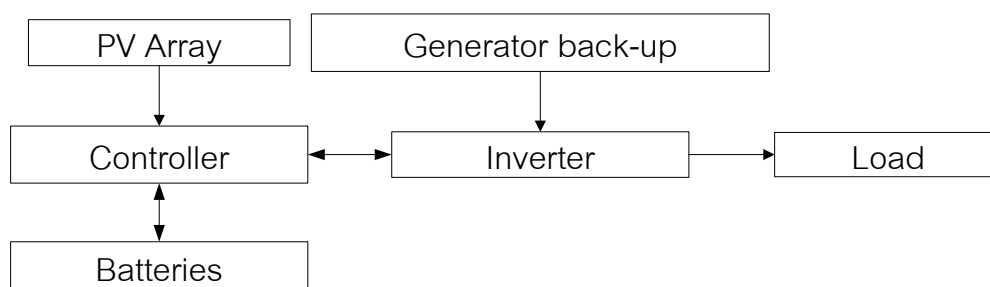
- ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทแยกตัวอิสระ (PV stand alone system)
- ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า (PV grid connected system)
- ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผสมผสาน (PV hybrid system)

### 3.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทแยกตัวอิสระ

ระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้เป็นระบบที่ไม่มีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้า ซึ่งจะเหมาะสมกับระบบที่ออกแบบไว้สำหรับบริเวณที่ห่างไกลมาก ๆ หรือในบริเวณที่เป็นพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบของการไฟฟ้าไฟฟ้าที่จะสามารถจ่ายไฟฟ้าให้ได้ โดยจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญคือ เซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ หรืออินเวอร์เตอร์ และบางครั้งอาจจะมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองด้วย ดังแสดงในภาพที่ 3.1 นอกจากนี้ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายสำหรับการนำแบตเตอรี่มาใช้งานจะสูงก็ตาม อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่นั้นจะเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากนั่นคือ เพื่อที่จะสามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินจากตอนกลางวันไว้ที่แบตเตอรี่ เพื่อนำมาใช้งานในตอนกลางคืนที่ไม่มีแสงแดด ซึ่งรูปแบบการเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระจะสามารถที่จะแสดงได้ดังภาพที่ 3.1 [20], [21], [23]

จากภาพที่ 3.1 จะแสดงถึงระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ โดยหลักการการทำงานของแบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์ (Combination charger-inverter) จะมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และการเปลี่ยนแปลงไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นรูปแบบการทำงานใน Combination charger-inverter ตามหลักการของแบตเตอรี่จะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อทำการเก็บพลังงานไว้ที่แบตเตอรี่ ทั้งนี้ไฟฟ้ากระแสสลับดังกล่าวจะมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เก็บสำรองไว้ และตามหลักการของอินเวอร์เตอร์จะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วค่อยส่งพลังงานดังกล่าวไปยังโหลดที่ต้องการ ซึ่งไฟฟ้ากระแสตรงจะมาจากแบตเตอรี่ นอกจากนี้บางครั้งแบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์จะมีการโหมดการทำงานที่จะยอมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เก็บสำรองไว้จะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดได้โดยตรง

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระจะต้องมีการดูแลรักษาที่ดีมากเพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้างดงกล่าวมีความแน่นอนมากขึ้น ดังเช่น การดูแลรักษานั้นจะต้องทำการตรวจสอบ และซ่อมแซมแบตเตอรี่, ผู้ใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าบางครั้งจะต้องเต็มใจที่จะปรับความต้องการไฟฟ้าลดลงตามสภาวะอากาศขณะนั้น ผู้ใช้งานควรจะต้องมีการเติมเชื้อเพลิง และซ่อมแซมทุกครั้งเมื่อเกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เก็บสำรองไว้ และผู้ใช้งานควรจะต้องมีความรับผิดชอบสำหรับการทำให้ระบบผลิตไฟฟ้ามีความปลอดภัยในการทำงาน



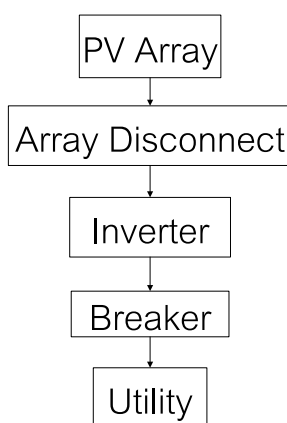
ภาพที่ 3.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทแยกตัวอิสระ

### 3.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า

ระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้จะเป็นระบบที่ออกแบบไว้สำหรับระบบที่จะสามารถเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า หรือภายในพื้นที่ที่มีระบบของการไฟฟ้าไฟฟ้าเข้าถึง ซึ่งการผลิตไฟฟ้านั้นจะต้องผ่านตัวของอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ หลังจากเปลี่ยนแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแล้วจะถูกนำเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ดังนั้นอุปกรณ์ที่สำคัญนั้นจะประกอบไปด้วย คือ เซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ (อุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ) และอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าแบบนี้ในช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์จะรับแสงแดดเพื่อผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งาน โดยถ้ามีพลังงานไฟฟ้าเกินจากการใช้งานจะถูกจ่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า และในส่วนของเวลากลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จึงต้องรับพลังงานไฟฟ้าจากระบบของการไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวเพื่อจ่ายให้กับโหลดบริเวณต่อไป ซึ่งรูปแบบการเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.2 [20], [21], [23]

หลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า จากการพิจารณาภาพที่ 3.2 ก่อนที่เซลล์แสงอาทิตย์จะส่งพลังงานผ่านไปยังอินเวอร์เตอร์จะต้องผ่านอุปกรณ์ประเภทหนึ่ง ได้แก่ Combiner box ซึ่งภายในอุปกรณ์ดังกล่าวจะประกอบไปด้วย Blocking diodes, ฟิวส์ ซึ่งจะอยู่ทุกสตริง (String) ของเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า (Lightning surge arrestor) ประกอบอยู่ภายในด้วย หลังจากนั้นจะทำการส่งพลังงานในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังสวิตช์ แล้วส่งต่อไปยังอินเวอร์เตอร์ที่จะส่งพลังงานในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งปกติแรงดันที่ออกจากรีเลย์อินเวอร์เตอร์จะมีค่าอยู่ที่ 240 V ผ่านเบรกเกอร์แล้วค่อยเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า นอกจากนี้จะยังมีส่วนประกอบเพิ่มเติมอีก คือ หลักการปรับหากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด (Maximum power point

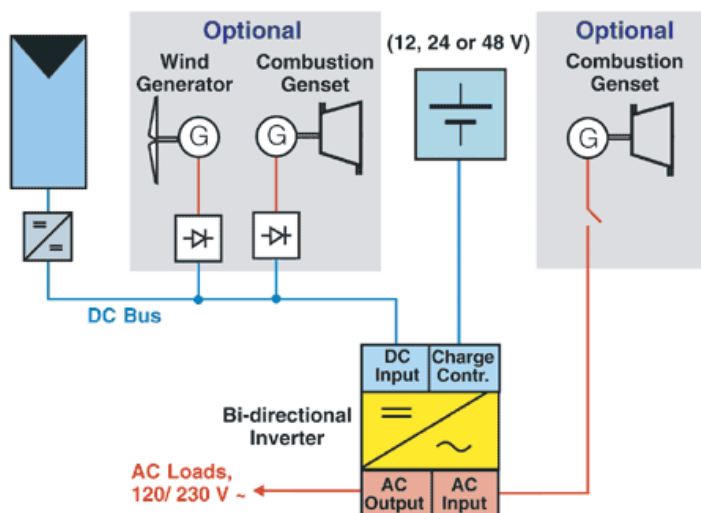
tracking: MPPT) และอุปกรณ์ตัดไฟ (Ground-fault circuit interrupter: GFCI) ที่จะตัดระบบถ้ามีกระแสไหลลงสู่พื้นดิน (Ground) ซึ่งจะอยู่ในตำแหน่งของ Array disconnect ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และในบางครั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะมีการเชื่อมต่อเข้ากับแบตเตอรี่ขนาดเล็กบ้างเพื่อที่จะสามารถสำรองพลังงานเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ระบบของการไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟได้



ภาพที่ 3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า

### 3.1.3 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผสมผสาน

ระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้จะเป็นระบบที่ออกแบบไว้สำหรับการทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าประเภทอื่นๆ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม เครื่องยนต์ดีเซล และกังหันน้ำ เป็นต้น ซึ่งรูปแบบของระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์เป็นแต่ละกรณีๆไป โดยจะสามารถแสดงการเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสานได้ดังภาพที่ 3.3 [20] – [21] และ [23]



ภาพที่ 3.3 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผสมผสาน  
(ที่มา [http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell\\_pg5.htm](http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_pg5.htm))

### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากที่กล่าวไปแล้วว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะประกอบไปด้วย 3 ประเภท ซึ่งจะพบว่าการนำเซลล์แสงอาทิตย์นำมาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือโหลดต่างๆ จำเป็นที่ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อที่จะแปลงพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือโหลดต่างๆได้ โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อจะประกอบไปด้วย 2 อุปกรณ์ คือ

- คอนเวอร์เตอร์ (Converter)
- อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

### 3.3 โหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะมีขั้นตอนการทำงานขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อภายในระบบดังกล่าว อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ชนิดใดที่ใช้ในการเชื่อมต่อนั้นจะสามารถพิจารณาโหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็น 2 โหมด [17] และ [29] คือ

- โหมดการทำงานแบบ PQ

- โหมดการทำงานแบบ PV

### 3.3.1 โหมดการทำงานแบบ PQ

โหมดการทำงานแบบ PQ เป็นการทำงานที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ในการทำงานเป็นส่วนใหญ่ โดยโหมดการทำงานแบบ PQ จะเป็นการทำงานที่ให้ค่าของกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด และไม่จ่ายกำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) (เนื่องมาจากการขายไฟฟ้าจะนิยมขายกำลังไฟฟ้าจริงเพียงอย่างเดียวเท่านั้น) ซึ่งการที่จะอธิบายเกี่ยวกับโหมดการทำงานแบบ PQ ก็จะต้องมีการศึกษาหลักการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตได้ (Maximum power point tracking: MPPT) โดยหลักการดังกล่าวส่วนใหญ่นั้นจะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ และอินเวอร์เตอร์หรือคอนเวอร์เตอร์ [29]

หลักการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตได้ดังกล่าวจะมีลักษณะการทำงาน คือ ภายในช่วงเวลาของหลักการทำงานของการทำงานจุดที่ให้ค่าของกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดนั้น ค่าของความต้านทานภายในของอินเวอร์เตอร์ได้รับการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยภายในช่วงเวลาเฉพาะบางช่วงเวลาเท่านั้น ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลาที่ยิ่งขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของแรงดันและกระแสดังกล่าวจะมีผลกระทบโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าจริงที่สามารถผลิตออกมาได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งค่าของแรงดันและกระแสที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลทำให้กำลังไฟฟ้าจริงดังกล่าวมีค่าที่เพิ่มขึ้น อินเวอร์เตอร์มีหน้าที่ในการปรับหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดจะยังคงค่าของแรงดันและกระแสที่เปลี่ยนแปลงเป็นค่าของแรงดันและกระแสใหม่ ณ เวลาขณะนั้น อย่างไรก็ตามถ้าเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเกิดการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้น อินเวอร์เตอร์จะยังคงที่ทำงานต่อไป โดยจุดทำงานของแรงดันและกระแสจะเป็นค่าดั้งเดิมก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันและกระแสจุดทำงานนี้จะถูกคงไว้ จนกระทั่งถึงช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการเปลี่ยนแปลง [29] โดยปกติงานวิจัยที่ได้นำเสนอหลักการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตได้จะประกอบไปด้วยหลากหลายวิธี ซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างเพียงแค่ 3 วิธีการที่นิยมนำมาใช้ [15] คือ

- Constant Voltage method (CV)
- Perturbation and Observation method (P&O)
- Incremental Conductance method (IncCond)

### 3.3.2 โหมดการทำงานแบบ PV

โหมดการทำงานแบบ PV เป็นหนึ่งในโหมดการทำงานทั้งหมดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามโหมดการทำงานแบบ PV นั้นจะไม่นิยมนำมาใช้งานจริงเนื่องจากขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับโหมดการทำงานแบบ PV นั้น ควรจะมีขนาดที่ใหญ่พอสมควรที่จะสามารถสร้างกำลังไฟฟ้าเสมือนเพื่อที่จะจ่ายให้แก่ระบบของการไฟฟ้า และในประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่การจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนจะไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการคิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมาได้ ซึ่งถึงแม้ว่าจะเป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใหญ่ก็ไม่นิยมใช้โหมดการทำงานแบบ PV [29]

## 3.4 สรุป

ภายในบทที่ 3 นี้ จะกล่าวถึงประเภทของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ว่าแต่ละประเภทจะมีลักษณะการเชื่อมต่อ และหน้าที่ที่แตกต่างกันเช่นไรบ้าง และยังกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อภายในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ว่าประกอบไปด้วยอะไรบ้าง และสิ่งไหนที่มีความสำคัญ อีกทั้งได้กล่าวถึงโหมดการทำงาน 2 โหมดว่ามีลักษณะการทำงานแตกต่างกันอย่างไร และส่วนใหญ่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะนิยมใช้โหมดใดในการทำงาน



## บทที่ 4

### การพัฒนาแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

บทนี้จะนำเสนอวิธีการคำนวณแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้พัฒนาขึ้นมา เพื่อที่จะคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้พัฒนาจะนำมาพิจารณาร่วมกับการคำนวณแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าในบทที่ 5 ด้วย โดยจะสามารถแบ่งการนำเสนอรายละเอียดได้เป็น 5 หัวข้อ ดังนี้

- 1) หลักการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติมของเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) ปัจจัยทางความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) ขั้นตอนการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติมของเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) ขั้นตอนของการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์
- 5) สรุป

#### 4.1 หลักการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติมของเซลล์แสงอาทิตย์

จากหัวข้อที่ 2.3 จะแสดงตัวอย่างข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งพบว่าพารามิเตอร์จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำนวน 8 พารามิเตอร์จะไม่เพียงพอที่จะคำนวณกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ณ สภาวะแวดล้อมต่างๆ ทั้งนี้ภายในบทนี้จะแสดงวิธีการคำนวณกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเริ่มจากสมการที่ (2.11) ที่ประกอบไปด้วยพารามิเตอร์จำนวน 7 พารามิเตอร์ คือ กระแสโฟโตอิเล็กทริก ( $I_{PH}$ ) กระแสอิ่มตัวของไดโอด ( $I_0$ ) ความต่างศักย์เริ่มเปลี่ยน ( $V_{TH}$ ) แฟกเตอร์อุดมคติของไดโอด ( $a$ ) ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนาน ( $R_p$ ) ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม ( $R_s$ ) และจำนวนของเซลล์ทั้งหมดที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม ( $N_s$ ) ซึ่งพารามิเตอร์ที่หาได้จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์มีจำนวน 3 พารามิเตอร์ คือ ความต่างศักย์เริ่มเปลี่ยน ( $V_{TH}$ ) แฟกเตอร์อุดมคติของไดโอด ( $a$ ) ที่หาได้จากตารางที่ 2.2 และจำนวนของเซลล์ทั้งหมดที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม ( $N_s$ ) ดังนั้นพารามิเตอร์ที่จะต้องหาเพิ่มเติมจะประกอบไปด้วย 4 พารามิเตอร์ คือ

- กระแสอิ่มตัวไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (Reverse saturation current :  $I_0$ )
- กระแสโฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (Photoelectric current :  $I_{PH}$ )

- ความต้านทานสมมูลที่มีการเชื่อมต่อแบบอนุกรม (Series resistance :  $R_s$ ) ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อในแบบจำลองจะแสดงได้ดังภาพที่ 2.8
- ความต้านทานสมมูลที่มีการเชื่อมต่อแบบขนาน (Shunt resistance :  $R_p$ ) ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อในแบบจำลองจะแสดงได้ดังภาพที่ 2.8

#### 4.1.1 กระแสอิ่มตัวของไดโอด

กระแสอิ่มตัวของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะสามารถคำนวณได้จากสมการของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงในสมการที่ (2.11) โดยคิดในกรณีของการเปิดวงจรของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ซึ่งการเปิดวงจรจะหมายความว่ากระแสของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเป็นศูนย์ ( $I_{MODULE}=0$ ) และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับแรงดันเปิดวงจร ( $V_{MODULE}=V_{OC}$ ) ดังนั้นสามารถแสดงสมการของการเปิดวงจรได้ดังสมการที่ (4.1) นอกจากนี้ได้กระแสอิ่มตัวที่คำนวณจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์จะถือว่าวัดมาจากสภาพแวดล้อมมาตรฐาน (STC) คือ อุณหภูมิมีค่า  $25^{\circ}\text{C}$  และความเข้มแสงมีค่า  $1,000 \text{ W/m}^2$  ที่ AM 1.5 เนื่องจากพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นค่าที่วัดมาจากสภาพแวดล้อมมาตรฐานด้วย ซึ่งจะสามารถแสดงหลักการหาค่ากระแสอิ่มตัวได้ดังต่อไปนี้

$$\left. \begin{array}{l} I_{MODULE} = 0 \\ V_{MODULE} = V_{OC} \end{array} \right\} I_{MODULE} = 0 = I_{PH} - I_O \left[ \exp\left(\frac{V_{OC}}{aN_S V_{TH}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{OC}}{N_S R_P} \quad (4.1)$$

จากสมการที่ (4.1) จะเป็นสมการของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยคิดในกรณีของการเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยการจัดรูปของสมการเพื่อที่จะหาค่าของกระแสอิ่มตัวของไดโอด ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.2)

$$I_O = \frac{I_{SC} - \frac{V_{OC}}{N_S R_P}}{\exp\left(\frac{V_{OC}}{aN_S V_{TH}}\right) - 1} \quad (4.2)$$

จากสมการที่ (4.2) เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจะสามารถประมาณกระแสลัดวงจรให้มีค่ามากกว่าพจน์ทางขวา ( $V_{OC}/N_s R_p$ ) มาก [11] ซึ่งจะสามารถแสดงการคำนวณกระแสลัดวงจรของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลได้ดังสมการที่ (4.3)

$$I_o = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{V_{OC}}{aN_s V_{TH}}\right) - 1} \quad (4.3)$$

กระแสลัดวงจรของไดโอดจะเป็นค่าที่วัดได้จากอุณหภูมิและความเข้มแสงมาตรฐาน ซึ่งปัจจัยที่ทำให้พารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการเปลี่ยนแปลงจะประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย คือ ความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 2.2.2 อย่างไรก็ตามปัจจัยที่จะส่งผลต่อกระแสลัดวงจรจะมีเพียงปัจจัยเดียวคือ คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจรไดโอดและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังสมการที่ (4.4) [10] – [12]

$$I_{O(NEW)} = I_o \left( \frac{T}{T_{(ref)}} \right)^3 \exp \left( \frac{qE_g}{ak} \left[ \frac{1}{T_{(ref)}} - \frac{1}{T} \right] \right) \quad (4.4)$$

โดย

$I_o$	คือ	กระแสลัดวงจรไดโอดที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.3) (A)
$I_{O(NEW)}$	คือ	กระแสลัดวงจรไดโอดที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการเปลี่ยนแปลง (A)
$T_{(ref)}$	คือ	อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้กระแสลัดวงจรมีค่า $I_o$ (K)
$T$	คือ	อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปจาก $T_{ref}$ (K)
$q$	คือ	ค่าคงตัวประจุของอิเล็กตรอนหนึ่งอิเล็กตรอนจะมีค่า $1.6 \times 10^{-19}$ C
$k$	คือ	ค่าคงตัวโบลทซ์มันน์ (Boltzmann constant) จะมีค่า $1.38 \times 10^{-23}$ J/K
$a$	คือ	แฟกเตอร์อุดมคติของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะหาได้จากตารางที่ 2.2
$E_g$	คือ	ค่าของช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (Energy gap) (eV)

อย่างไรก็ตามสมการที่ (4.4) จะไม่ค่อยนิยมใช้ในการคำนวณเนื่องจากจะต้องศึกษาว่า เซลล์แสงอาทิตย์ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดใด เพื่อที่จะหาค่าของช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำมาใช้ในสมการที่ (4.4) ดังนั้นจึงมีการแก้ปัญหา โดยจะนำค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์และค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเปิดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มาช่วยในการคำนวณกระแสลัดวงจรต่ออุณหภูมิเกิด การเปลี่ยนแปลงขึ้น ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.5) [11] ซึ่งจะมีที่มาจากสมการที่ (4.3)

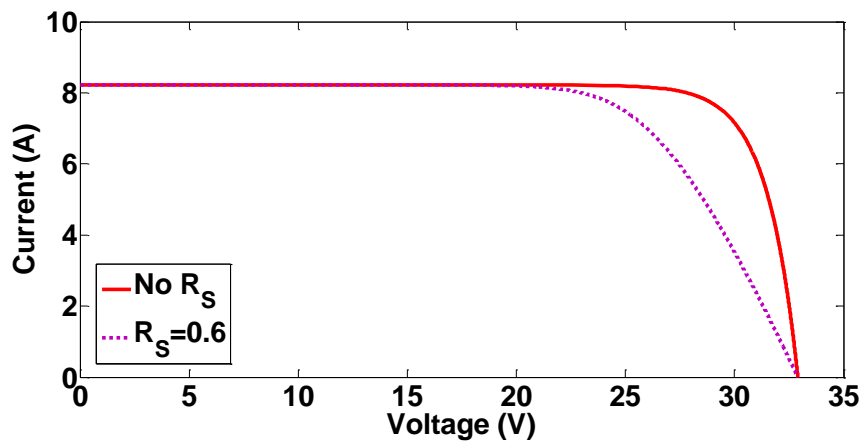
$$I_{O(NEW)} = \frac{I_{sc} + K_I \Delta T_C}{\exp\left(\frac{V_{oc} + K_V \Delta T_C}{a N_s V_{TH}}\right) - 1} \quad (4.5)$$

ดังนั้นจะพบว่าสมการที่ (4.5) จะเหมาะสมที่สุดในการหาค่ากระแสลัดวงจรต่ออุณหภูมิของไดโอด ซึ่งในสมการจะสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้ด้วย และนอกจากนี้พารามิเตอร์ต่างๆ ในสมการที่ (4.5) จะสามารถหาค่ามาได้จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้งหมด

#### 4.1.2 ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม

แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติ (Ideal model) จะเป็นแบบจำลองที่ไม่คิดผลของความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมและขนาน เมื่อนำข้อมูลของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด รุ่น KC200GT มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติจะสามารถแสดงออกมาได้ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นที่บภายในภาพดังกล่าว และเมื่อนำความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมมาคำนวณร่วมกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติพบว่าความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมจะเป็นส่วนในการควบคุมความชัน (Slope) ของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้กราฟเกิดการโค้งลงเร็วขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นประภายในภาพดังกล่าว เมื่อนำกราฟทั้งสองมาเปรียบเทียบกันจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งจะพบว่าความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมจะส่งผลต่อจุดทำงานที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตรงจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดดังแสดงในภาพที่ 4.1 โดยปกติความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมจะมาจากตัวเชื่อมต่อระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ และความต้านทานภายในของสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้

โดยทั่วไปข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิตนั้น จะมีการเชื่อมต่อกันเป็นรูปแบบของโมดูลแล้ว ซึ่งส่งผลให้ค่าของความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมที่จะคำนวณจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะเป็นความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมของทั้งโมดูลด้วยเช่นกัน (ค่าความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมของเซลล์หนึ่งเซลล์กับความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมของโมดูลหนึ่งโมดูลจะมีค่าที่แตกต่างกัน) [20]



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลแบบอุดมคติและแบบที่มีการเชื่อมต่อความต้านทานแบบอนุกรม

ซึ่งแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ภายในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาเกี่ยวกับความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมด้วย โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าของความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมนั้นจะใช้การคำนวณร่วมกับสมการที่ (2.11) เนื่องจากสมการที่จะใช้ในการคำนวณความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะไม่มี จึงต้องมีการนำสมการเพิ่มเติมมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม ซึ่งสมการที่จะใช้นำสมการเชิงอนุพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงเทียบกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งโมดูล โดยจะสามารถแสดงได้ในสมการที่ (4.6) [17]

$$\frac{dP_{MODULE}}{dV_{MODULE}} = \frac{d(I_{MODULE} V_{MODULE})}{dV_{MODULE}} = I_{MODULE} + V_{MODULE} \left( \frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right) \quad (4.6)$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ซึ่งจะทราบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวก็จะมีรูปกราฟเช่นเดียวกับหนึ่งเซลล์ ดังนั้นจุดที่ให้ค่ากำลังไฟฟ้า

จริงสูงสุด (MPP) จะเป็นจุดยอดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งถ้าพิจารณาว่าจุดทำงานเป็นจุดทำงานที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดนั้นจะสามารถบอกได้ว่าค่าของสมการเชิงอนุพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงเทียบกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งโมดูลจะมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.7)

$$\left. \frac{dP_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right|_{MPP} = \left. \frac{d(I_{MODULE} V_{MODULE})}{dV_{MODULE}} \right|_{MPP} = I_{MPP} + V_{MPP} \left( \left. \frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right|_{MPP} \right) = 0 \quad (4.7)$$

จากสมการที่ (4.7) จะต้องหาสมการเชิงอนุพันธ์ของกระแสเทียบกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยเริ่มจากสมการพื้นฐานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ดังในสมการที่ (2.11) ต่อมาทำการหาอนุพันธ์ที่เทียบกับกระแส ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.8)

$$\left. \frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right|_{MPP} = - \left[ I_0 \exp \left( \frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{a N_S V_{TH}} \right) \left( \frac{1}{a N_S V_{TH}} + \frac{R_S}{a N_S V_{TH}} \left. \frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right|_{MPP} \right) \right] - \left[ \frac{1}{R_P} + \frac{R_S}{R_P} \left. \frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right|_{MPP} \right] \quad (4.8)$$

จากสมการที่ (4.8) นำมาคูณ  $a N_S V_{TH} R_P$  ตลอดทั้งสมการ จะแสดงได้ดังสมการที่ (4.9)

$$a N_S V_{TH} R_P \left. \frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right|_{MPP} = - \left[ a N_S V_{TH} + a N_S V_{TH} R_S \left. \frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right|_{MPP} \right] - \left[ I_0 \exp \left( \frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{a N_S V_{TH}} \right) \left( R_P + R_S R_P \left. \frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right|_{MPP} \right) \right] \quad (4.9)$$

จัดรูปของสมการให้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ของกระแสเทียบกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.10) และ (4.11) ตามลำดับ

$$\left[ aN_s V_{TH} R_p + I_o R_s R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{aN_s V_{TH}}\right) + aN_s V_{TH} R_s \right] \frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \Big|_{MPP} = - \left[ I_o R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{aN_s V_{TH}}\right) - aN_s V_{TH} \right] \quad (4.10)$$

$$\frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \Big|_{MPP} = \frac{-I_o R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{aN_s V_{TH}}\right) - aN_s V_{TH}}{aN_s V_{TH} R_p + I_o R_s R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{aN_s V_{TH}}\right) + aN_s V_{TH} R_s} \quad (4.11)$$

นำค่าสมการเชิงอนุพันธ์ของกระแสเทียบกับแรงดันในสมการที่ (4.11) แทนลงในสมการที่ (4.7) ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.12)

$$I_{MAX} + V_{MAX} \left( \frac{-I_o R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{aN_s V_{TH}}\right) - aN_s V_{TH}}{aN_s V_{TH} R_p + I_o R_s R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{aN_s V_{TH}}\right) + aN_s V_{TH} R_s} \right) = 0 \quad (4.12)$$

จากสมการที่ (4.12) นำมาจัดรูปเพื่อที่จะหาค่าของความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนอนุกรม ซึ่งจะสามารถแสดงขั้นตอนของการหาค่าได้ดังสมการที่ (4.13) ถึง (4.16) [10]

$$\frac{-I_{MAX}}{V_{MAX}} = \frac{-I_o R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{aN_s V_{TH}}\right) - aN_s V_{TH}}{aN_s V_{TH} R_p + I_o R_s R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{aN_s V_{TH}}\right) + aN_s V_{TH} R_s} \quad (4.13)$$

$$\frac{V_{MAX}}{I_{MAX}} = \frac{aN_S V_{TH} R_P + I_O R_S R_P \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{aN_S V_{TH}}\right) + aN_S V_{TH} R_S}{I_O R_P \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{aN_S V_{TH}}\right) + aN_S V_{TH}} \quad (4.14)$$

$$\frac{V_{MAX}}{I_{MAX}} = \frac{aN_S V_{TH} R_P}{I_O R_P \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{aN_S V_{TH}}\right) + aN_S V_{TH}} + \frac{\left(I_O R_P \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{aN_S V_{TH}}\right) + aN_S V_{TH}\right) R_S}{I_O R_P \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{aN_S V_{TH}}\right) + aN_S V_{TH}} \quad (4.15)$$

$$R_S = \frac{V_{MAX}}{I_{MAX}} - \frac{aN_S V_{TH} R_P}{I_O R_P \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{aN_S V_{TH}}\right) + aN_S V_{TH}} \quad (4.16)$$

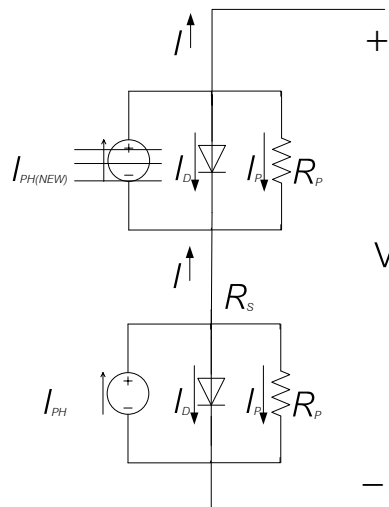
จากสมการที่ (4.16) จะพบว่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่จะคำนวณได้จากข้อมูลทางเทคนิค เซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิต อย่างไรก็ตามจะมีพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวที่ไม่ทราบจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์คือ ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนาน ( $R_P$ ) ดังนั้นสมการที่ (4.16) เพียงสมการเดียวจะไม่สามารถหาความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม ( $R_S$ ) ได้ เนื่องจากทางฝั่งขวาของสมการจะมีความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานอยู่ด้วย ดังนั้นจึงต้องมีสมการเพิ่ม ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.1.3 มาเพื่อที่จะสามารถคำนวณความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมได้

นอกจากนี้ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมเมื่อคำนวณออกมาได้ จะเป็นค่าที่วัดได้จากความเข้มแสงและอุณหภูมิมาตรฐาน (STC) เช่นเดียวกับกระแสอิ่มตัวของไดโอด โดยส่วนใหญ่ปัจจัยที่จะส่งผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย 2 ปัจจัยคือ ความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ดังที่แสดงในบทที่ 2 แต่สำหรับความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมจะไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ถึงแม้ว่าปัจจัยทั้ง 2 เกิดการเปลี่ยนแปลงไป [11] และ [12]



### 4.1.3 ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนาน

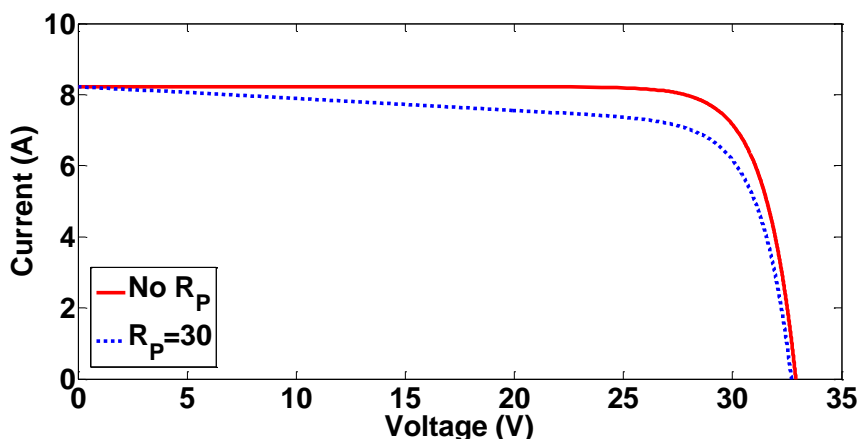
ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานได้ถูกค้นพบจากการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์สองเซลล์ที่อนุกรมกัน โดยมีหนึ่งเซลล์เกิดการบังแสงแดด (Shading) ขึ้น ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงไม่สมควรที่จะมีการกระแสไหลผ่านได้ ( $I_{PH}=0$ ) ดังนั้นวงจรสมมูลอย่างง่ายของการทดลองข้างต้นจะแสดงได้ดังภาพที่ 4.2 ซึ่งหากสมมติว่ามีกระแสไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามถ้าไม่มีความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานจะพบว่าค่าของกระแสที่จะไหลผ่านทางซ้ายของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดจะน้อยมากเกือบจะมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจาก ( $I_{PH}=0$ ) และกระแสที่จะไหลผ่านไดโอดจะเป็นแบบแรงดันไบอัสกลับ (Reverse bias voltage) ซึ่งจากการทดลองแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพต่ำมากเมื่อถูกการบังแสง แต่จะยังคงมีกระแสไหลผ่านได้ ทั้งนี้เมื่อทดลองตามกรณีดังกล่าวพบว่าจะมีกระแสไหลผ่านด้วย ดังนั้นจึงมีการสร้างแบบจำลองใหม่เพื่อให้มีความสามารถใช้ในทางปฏิบัติมากขึ้น คือ การรวมความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานภายในแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ [20]



ภาพที่ 4.2 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สองโมดูลเชื่อมต่อแบบอนุกรม

แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติจะมีความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลแบบอุดมคติ ซึ่งแสดงออกมาได้ดังภาพที่ 4.3 (ข้อมูลเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด รุ่น KC200GT) โดยจะมีลักษณะเป็นเส้นที่ภายในภาพดังกล่าวต่อมาเมื่อมีการเชื่อมต่อความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานจะทำให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความชัน (Slope) เพิ่มขึ้นในส่วนที่เกือบเป็นเส้นตรง (ช่วงแรงดันประมาณ 0-25 V) เมื่อเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ดังกล่าวแบบอุดมคติ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.3 โดยจะมีลักษณะเป็น

เส้นประภายในภาพดังกล่าว นอกจากนี้การเชื่อมต่อความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานที่เปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ดังกล่าวจะส่งผลต่อจุดทำงานที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดด้วย อย่างไรก็ตามการตามความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานที่คำนวณจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิตจะเป็นความต้านทานสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล [20]



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลแบบอุดมคติและแบบที่มีความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนาน

หลักการคำนวณความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะเริ่มคำนวณจากสมการแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลดังในสมการที่ (2.11) โดยจุดทำงานที่ใช้พิจารณาจะเป็นจุดทำงานที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด ณ สภาพแวดล้อมมาตรฐาน (STC) ซึ่งกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวมาแล้วนั้นจะสามารถหาได้จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิต ทั้งนี้จะสามารถแสดงสมการที่ใช้คำนวณความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานได้ดังสมการที่ (4.17) [11]

$$P_{MAX} = V_{MAX} I_{MAX} \quad (4.17)$$

จากสมการที่ (4.17) แทนค่าของกระแสจากสมการแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลดังแสดงในสมการที่ (2.11) โดยจุดทำงานจะพิจารณาเป็นจุดทำงานที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด ซึ่งจะสามารถแสดงสมการแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลได้ดังสมการที่ (4.18)

$$\frac{P_{MAX}}{V_{MAX}} = I_{MAX} = I_{PH} - I_O \left[ \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{a N_S V_{TH}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{R_P} \quad (4.18)$$

จากสมการที่ (4.18) นำมาจัดรูปสมการใหม่เพื่อที่จะนำมาคำนวณความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขานจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.19)

$$R_P = \frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{I_{PH} - I_{MAX} - I_O \left[ \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{a N_S V_{TH}}\right) - 1 \right]} \quad (4.19)$$

จากสมการที่ (4.19) จะเป็นสมการที่ใช้คำนวณความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขาน อย่างไรก็ตามจะพบว่าไม่สามารถคำนวณความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขานได้เพียงสมการเดียว เนื่องจากพารามิเตอร์จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิตจะไม่เพียงพอที่จะคำนวณออกมาได้ เพราะภายในสมการจะมีพารามิเตอร์ของความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขาน ( $R_S$ ) ที่ไม่ทราบค่า ดังนั้นจึงต้องนำสมการของความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขานและอนุกรมมาคิดร่วมกัน หรือนำสมการที่ (4.16) และ (4.19) มาคิดร่วมกัน

นอกจากนี้ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขานเมื่อคำนวณจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์จะถือว่าเป็นค่าวัดได้จากสภาพแวดล้อมมาตรฐาน (STC) เช่นเดียวกับกระแสอิ่มตัวของไดโอดและความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขาน ซึ่งปัจจัยที่จะส่งผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย คือ ความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ แต่สำหรับความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขานจะเปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าที่เปลี่ยนไปเพียงปัจจัยเดียว โดยจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขานและความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังสมการที่ (4.20) [10]

$$R_{P(NEW)} = R_P \left( \frac{G}{G_{(NEW)}} \right) \quad (4.20)$$

โดย

$R_P$  คือ ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขานของเซลล์แสงอาทิตย์  
หนึ่งโมดูล ณ ความเข้มแสงเป็น  $G \text{ W/m}^2$  ( $\Omega$ )

$R_{P(NEW)}$  คือ ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานของเซลล์แสงอาทิตย์  
หนึ่งโมดูล ณ ความเข้มแสงเปลี่ยนไปเป็น  $G_{(NEW)}$  W/m<sup>2</sup> ( $\Omega$ )

โดยทั่วไปจะมีการพิจารณากระแสลัดวงจร ( $I_{SC}$ ) และกระแสไฟโตอิเล็กทริก ( $I_{PH}$ ) มีค่าที่เท่ากัน [15] อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติกระแสทั้งสองจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นการพิจารณาแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความเสมือนจริงมากขึ้นควรที่จะพิจารณากระแสทั้งสองให้มีค่าที่ไม่เท่ากันด้วย ซึ่งถ้ากระแสทั้งสองมีค่าที่ไม่เท่ากันจะส่งผลให้การคำนวณความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานและอนุกรมจากสมการที่ (4.16) และ (4.19) เพียงสองสมการจะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากสมการที่ (4.19) จะมีกระแสไฟโตอิเล็กทริกอยู่ในสมการด้วย เพราะฉะนั้นจึงต้องหาสมการเพิ่มเติมที่จะใช้ในการคำนวณกระแสไฟโตอิเล็กทริกดังจะกล่าวในหัวข้อที่ 4.1.4

#### 4.1.4 กระแสไฟโตอิเล็กทริก

กระแสไฟโตอิเล็กทริก คือ กระแสจากแหล่งจ่ายกระแสในภาพที่ 2.8 โดยกระแสไฟโตอิเล็กทริกจะเกิดจากความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟโตอิเล็กทริกต่อความเข้มแสงจะแสดงในหัวข้อที่ 4.2 ซึ่งถ้าความเข้มแสงเป็นศูนย์จะส่งให้ค่าของกระแสไฟโตอิเล็กทริกมีค่าเป็นศูนย์ด้วย จากแบบจำลองในภาพที่ 2.3 จะสามารถประมาณกระแสไฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลได้ดังสมการที่ (4.21) [11]

$$I_{PH} = \frac{R_p + R_s}{R_p} I_{SC} \quad (4.21)$$

จากสมการที่ (4.21) จะพบว่าพารามิเตอร์จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่เพียงพอที่จะคำนวณกระแสไฟโตอิเล็กทริกได้ ดังนั้นจึงจะนำสมการการคำนวณความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมและแบบขนานมาใช้ร่วมกันในการคำนวณนั่นคือใช้สมการที่ (4.16), (4.19) และ (4.21) มาคำนวณร่วมกัน อย่างไรก็ตามสมการทั้งสามสมการจะไม่เป็นสมการเส้นตรง จึงทำให้ต้องมีวิธีการประยุกต์หลักการการค้นหาค่าอย่างง่ายเพื่อที่จะนำมาหาคำตอบที่ต้องการ

## 4.2 ปัจจัยทางความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

จากหัวข้อที่ 2.2.2 จะพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์นั้น จะประกอบไปด้วยความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจัยทั้งสองจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลด้วย ดังนั้นภายในหัวข้อนี้จะเป็นการปรับปรุงพารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ตามความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยหลักการหาพารามิเตอร์เพิ่มเติมดังแสดงในหัวข้อที่ 4.1.1 ถึง 4.1.4 จะเป็นพารามิเตอร์ที่พิจารณาว่าวัดจากสภาพแวดล้อมมาตรฐาน (STC) ดังนั้นหัวข้อนี้จะกล่าวถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์อย่างละเอียด ซึ่งจะประกอบไปด้วย 2 ปัจจัยดังที่กล่าวไปในบทที่ 2 [20] คือ

- ความเข้มแสง
- อุณหภูมิ

### 4.2.1 ความเข้มแสง

ความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปจะส่งผลต่อพารามิเตอร์ภายในเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลด้วย ซึ่งพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไปจะมีจำนวน 2 พารามิเตอร์ คือ

- กระแสไฟโตอิเล็กทริก
- ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขานาน

#### 4.2.1.1 กระแสไฟโตอิเล็กทริก

การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงต่อกระแสไฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.22) [4], [5], [10], [12]

$$I_{PH(NEW)} = I_{PH} \left( \frac{G_{(NEW)}}{G} \right) \quad (4.22)$$

โดย

$I_{PH}$	คือ	กระแสไฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ความเข้มแสง $G \text{ W/m}^2$ (A)
$I_{PH(NEW)}$	คือ	กระแสไฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ความเข้มแสง $G_{(NEW)} \text{ W/m}^2$ (A)

#### 4.2.1.2 ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนาน

การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงต่อความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบขนานจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.20) ดังที่แสดงไว้ในหัวข้อย่อยที่ 4.1.3 [10] – [12]

#### 4.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลต่อพารามิเตอร์ภายในเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลด้วยเช่นกัน ซึ่งพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไปจะมีจำนวน 3 พารามิเตอร์ คือ

- กระแสโฟโตอิเล็กทริก
- กระแสอิ่มตัวของไดโอด
- ความต่างศักย์เริ่มเปลี่ยน

##### 4.2.2.1 กระแสโฟโตอิเล็กทริก

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อกระแสโฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.23) [4], [5], [10], [12]

$$I_{PH(NEW)} = I_{PH} + K_I (T_{(NEW)} - T) \quad (4.23)$$

โดย

$I_{PH}$  คือ กระแสโฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่อุณหภูมิมีค่าเป็น  $T$  °C (A)

$I_{PH(NEW)}$  คือ กระแสโฟโตอิเล็กทริกของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่อุณหภูมิมีค่าเป็น  $T_{(NEW)}$  °C (A)

##### 4.2.2.2 กระแสอิ่มตัวของไดโอด

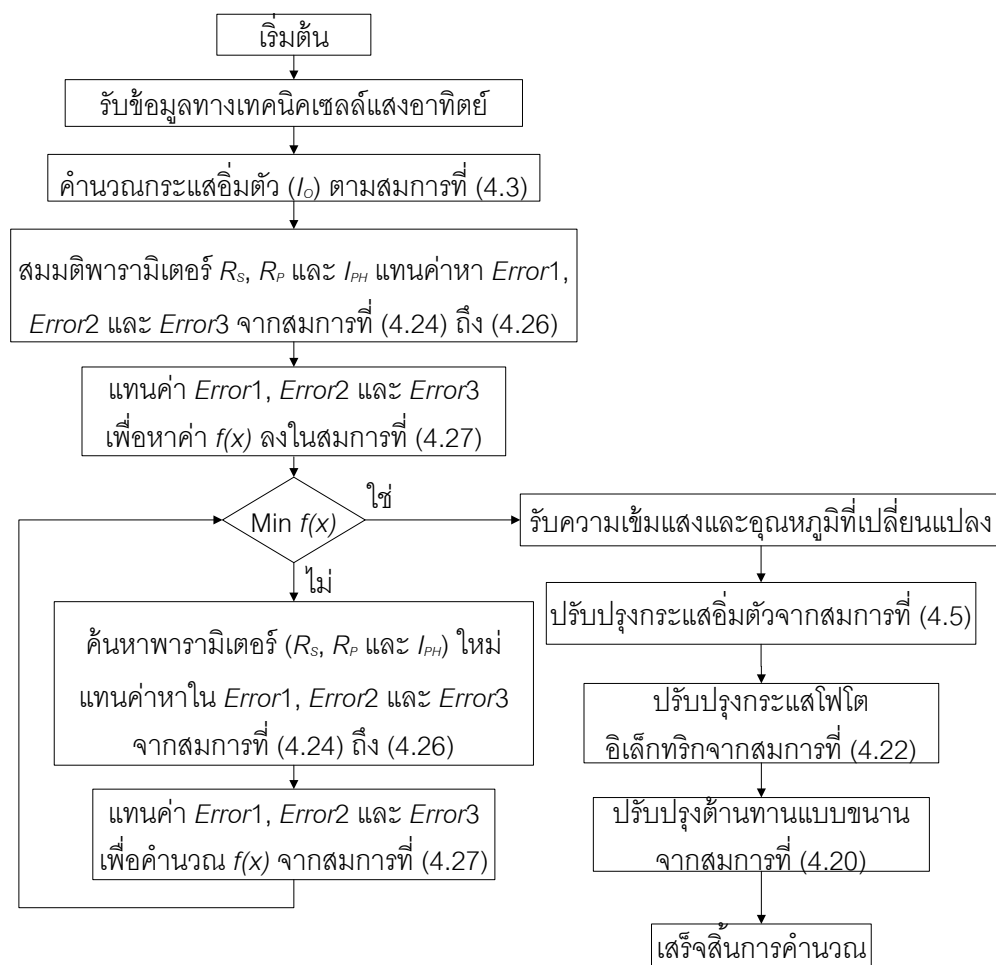
การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อกระแสอิ่มตัวของไดโอดจะได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.2.1 ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.5)

##### 4.2.2.3 ความต่างศักย์เริ่มเปลี่ยน

จากสมการที่ (2.3) นั้นจะเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณความต่างศักย์เริ่มเปลี่ยน ซึ่งภายในสมการจะมีพารามิเตอร์ของอุณหภูมิอยู่ภายในสมการด้วย

### 4.3 ขั้นตอนการคำนวณพารามิเตอร์จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติมซึ่งภายในหัวข้อที่ 4.1.1-4.1.4 นั้น จะพบว่าสมการการคำนวณต่างๆจะไม่ใช้สมการเส้นตรงจึงต้องมีการนำหลักการค้นหาอย่างง่ายมาช่วยในการคำนวณ และภายในขั้นตอนนี้จะรวมการเปลี่ยนแปลงปัจจัยของความเข้มแสงและอุณหภูมิดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.2 ด้วย ซึ่งขั้นตอนการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติม ณ สภาวะแวดล้อมต่างๆ จะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ขั้นตอนการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติม

ขั้นตอนที่ 1 : รับข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิตเป็นจำนวน 8 พารามิเตอร์

เช่น  $V_{OC}$ ,  $I_{SC}$ ,  $P_{MMP}$ ,  $V_{MMP}$ ,  $I_{MMP}$ ,  $K_p$ ,  $K_v$  และ  $N_s$

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณกระแสอิ่มตัวไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากสมการที่ (4.3)

ขั้นตอนที่ 3 : สมมติค่าเริ่มต้นความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนอนุกรมและขนาน และ

กระแสไฟโตอิเล็กทรอนิกส์ ( $R_s$ ,  $R_p$  และ  $I_{PH}$ )

ขั้นตอนที่ 4 : แทนค่าพารามิเตอร์  $R_s$ ,  $R_p$  และ  $I_{PH}$  เพื่อคำนวณ  $Error1$ ,  $Error2$  และ  $Error3$  จากสมการที่ (4.24) ถึง (4.26) ซึ่งมีที่มาจากสมการที่ (4.16), (4.19) และ (4.21)

$$Error1 = \frac{V_{MAX}}{I_{MAX}} - \frac{aN_s V_{TH} R_p}{I_o R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{aN_s V_{TH}}\right) + aN_s V_{TH}} - R_s \quad (4.24)$$

$$Error2 = \frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{I_{PH} - I_{MAX} - I_o \left[ \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{aN_s V_{TH}}\right) - 1 \right]} - R_p \quad (4.25)$$

$$Error3 = \left( \frac{R_p + R_s}{R_p} \right) I_{SC} - I_{PH} \quad (4.26)$$

ขั้นตอนที่ 5 : ค้นหาพารามิเตอร์  $R_s$ ,  $R_p$  และ  $I_{PH}$  ที่จะทำให้  $f(x)$  ต่ำที่สุด โดยสมการของ  $f(x)$  จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.27)

$$f(x) = Error1^2 + Error2^2 + Error3^2 \quad (4.27)$$

ขั้นตอนที่ 6 : รับข้อมูลของความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นตอนที่ 7 : ปรับปรุงค่ากระแสอิ่มตัวไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากสมการที่ (4.5) ตามความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ค่าใหม่

ขั้นตอนที่ 8 : ปรับปรุงค่าของกระแสไฟโตอิเล็กทรอนิกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากสมการที่ (4.22) ตามความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ค่าใหม่

ขั้นตอนที่ 9 : ปรับปรุงค่าความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากสมการที่ (4.20)

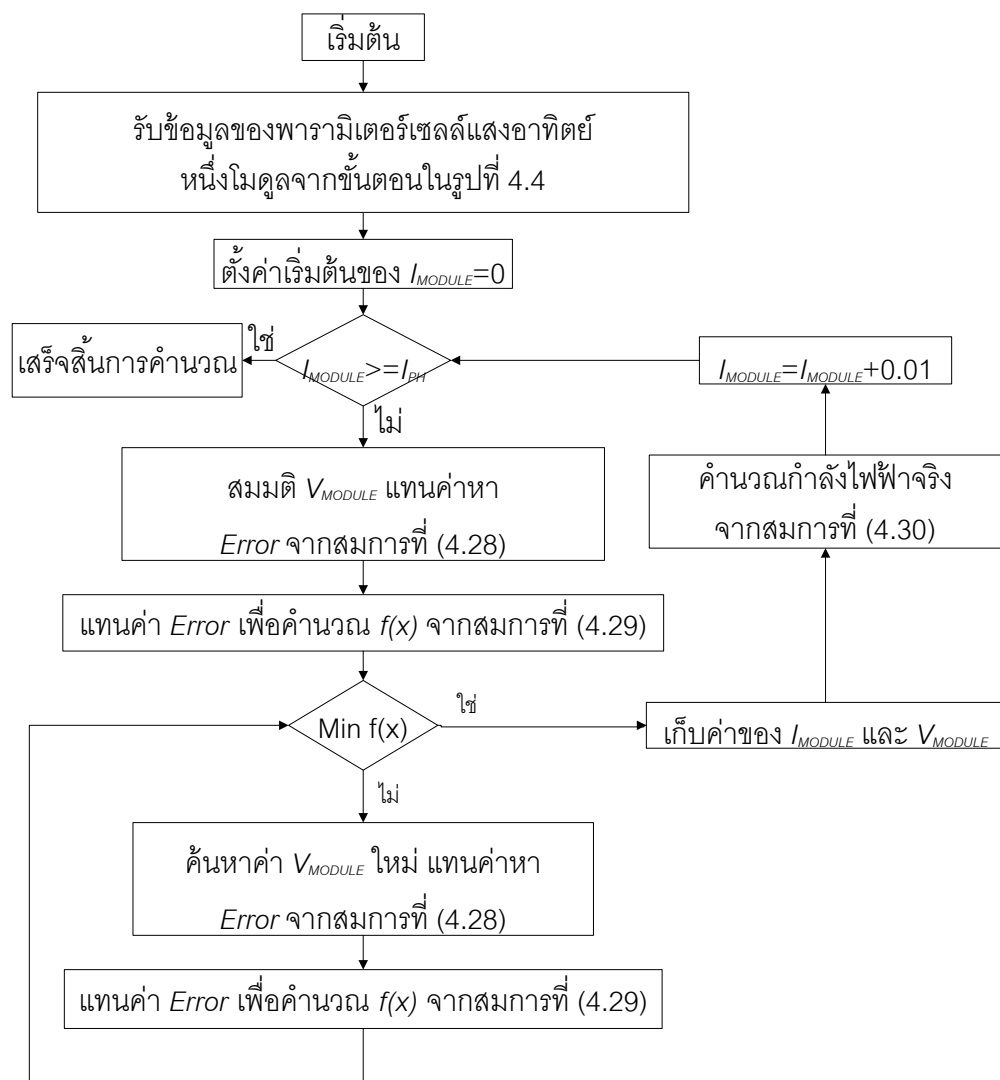
ขั้นตอนที่ 10 : เมื่อเสร็จสิ้นการคำนวณจะได้พารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์ คือ กระแสอิ่มตัวไดโอด กระแสไฟโตอิเล็กทรอนิกส์ ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขาน และ



ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม ( $I_O$ ,  $I_{PH}$ ,  $R_p$  และ  $R_s$ ) ตามลำดับ

#### 4.4 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

หัวข้อนี้จะนำเสนอขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ซึ่งจากสมการที่ (2.11) จะไม่ใช่สมการเชิงเส้นจึงนำหลักการค้นหาค่าอย่างง่ายมาช่วยคำนวณ ซึ่งขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

- ขั้นตอนที่ 1 : รับข้อมูลของพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากขั้นตอนในภาพที่ 4.4 ซึ่งประกอบไปด้วย  $I_{PH}$ ,  $I_O$ ,  $a$ ,  $V_{TH}$ ,  $N_S$ ,  $R_p$  และ  $R_s$
- ขั้นตอนที่ 2 : สมมติค่าเริ่มต้นของ  $I_{MODULE}$  ให้มีค่าเท่ากับศูนย์
- ขั้นตอนที่ 3 : สมมติค่า  $V_{MODULE}$  ในช่วงของ  $[0, V_{OC}]$  และแทนค่าลงสมการที่ (4.28) เพื่อหาค่า  $Error$  ซึ่งมีที่มาจากสมการที่ (2.11)

$$Error = I_{PH} - I_O \left[ \exp\left(\frac{V_{MODULE} + I_{MODULE} R_s}{a N_S V_{TH}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{MODULE} + I_{MODULE} R_s}{R_p} - I_{MODULE} \quad (4.28)$$

- ขั้นตอนที่ 4 : ค้นหาแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ( $V_{MODULE}$ ) ที่จะทำให้ค่าของ  $f(x)$  ต่ำที่สุด โดยสมการของ  $f(x)$  จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.29)

$$f(x) = Error^2 \quad (4.29)$$

- ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณกำลังไฟฟ้าจริงจากสมการที่ (4.30)

$$P_{MODULE} = I_{MODULE} V_{MODULE} \quad (4.30)$$

- ขั้นตอนที่ 6 : ปรับค่าของ  $I_{MODULE}$  ให้มีค่าเพิ่มขึ้น และนำมาหาค่าของแรงดันใหม่ตามขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่ง  $I_{MODULE}$  มีค่ามากกว่า  $I_{PH}$  จะหยุดการคำนวณ

## 4.5 สรุป

บทที่ 4 จะกล่าวถึงหลักการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติม โดยพารามิเตอร์ที่ขาดไปจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อคำนวณกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล จะประกอบไปด้วย 4 พารามิเตอร์ คือ กระแสอิ่มตัวของไดโอด ( $I_O$ ), กระแสโฟโตอิเล็กทริก ( $I_{PH}$ ), ความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนอนุกรมและขนาน ( $R_s$  และ  $R_p$ ) ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล นอกจากนี้จะพบว่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย คือ ความเข้มแสง และ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

## บทที่ 5

### ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า

จากบทที่ 4 ได้นำเสนอหลักการคำนวณแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามจากบทที่ 3 จะพบว่าในทางปฏิบัติจะไม่สามารถนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อเข้าสู่โหลดตามบ้านเรือนได้โดยตรง จะต้องมีการเพิ่มอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อนำกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้มาใช้งาน โดยบทนี้จะศึกษาแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า (Photovoltaic grid connected system: PVGS) ที่ได้กล่าวในบทที่ 3 เพียงประเภทเดียว เพราะระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวที่การใช้งานเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้จะสามารถแบ่งการนำเสนอออกได้เป็น 3 หัวข้อ คือ

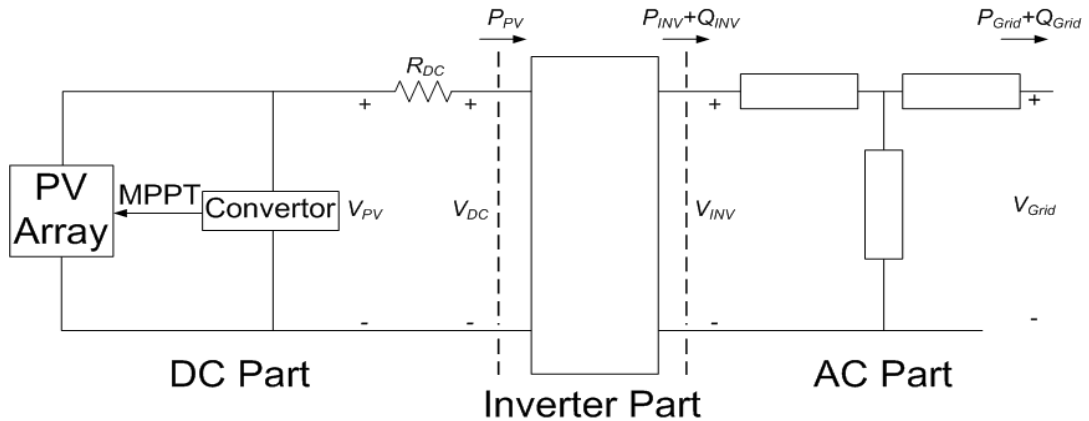
- 1) แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า
- 2) ขั้นตอนการคำนวณของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) สรุป

#### 5.1 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า

จากบทที่ 3 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย 3 ประเภทดังที่กล่าวไปแล้ว อย่างไรก็ตามภายในหัวข้อนี้จะศึกษาแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าเพียงประเภทเดียว โดยแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าจะสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 3 แบบจำลองย่อย [17] คือ

- แบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (DC part)
- แบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter part)
- แบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (AC part)

ลักษณะการเชื่อมต่อของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองดังที่กล่าวไปจะสามารถแสดง ได้ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

### 5.1.1 แบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

แบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรงประกอบไปด้วย เซลล์แสงอาทิตย์, คอนเวอร์เตอร์ (Converter) และ ความต้านทานที่มาจากสายไฟฟ้า ( $R_{DC}$ ) ซึ่งโดยปกติคอนเวอร์เตอร์จะมีหน้าที่ในการควบคุมเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด หรือทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด (Maximum power point: MPP) ดังนั้นหลักการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ (Maximum power point tracking: MPPT) อย่างง่ายจะเริ่มจากสมการของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็นสมการที่ (2.11) ซึ่งเมื่อพิจารณาที่จุดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด ( $P_{MAX}$ ) จะกล่าวได้ว่ากระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะเป็นกระแสและแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด ( $I_{MAX}$  และ  $V_{MAX}$ ) ซึ่งจะแสดงสมการของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลหลังจากแทนค่าจุดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดได้ดังสมการที่ (5.1) [17] และ [20]

$$I_{MAX} = I_{PH} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{a N_S V_{TH}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{R_P} \quad (5.1)$$

อย่างไรก็ตามสมการที่ (2.11) เพียงสมการเดียวจะไม่สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดได้จึงต้องหาสมการเพิ่มเติม โดยจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะพบว่าเมื่อพิจารณาที่จุดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดจะกล่าวได้ว่า

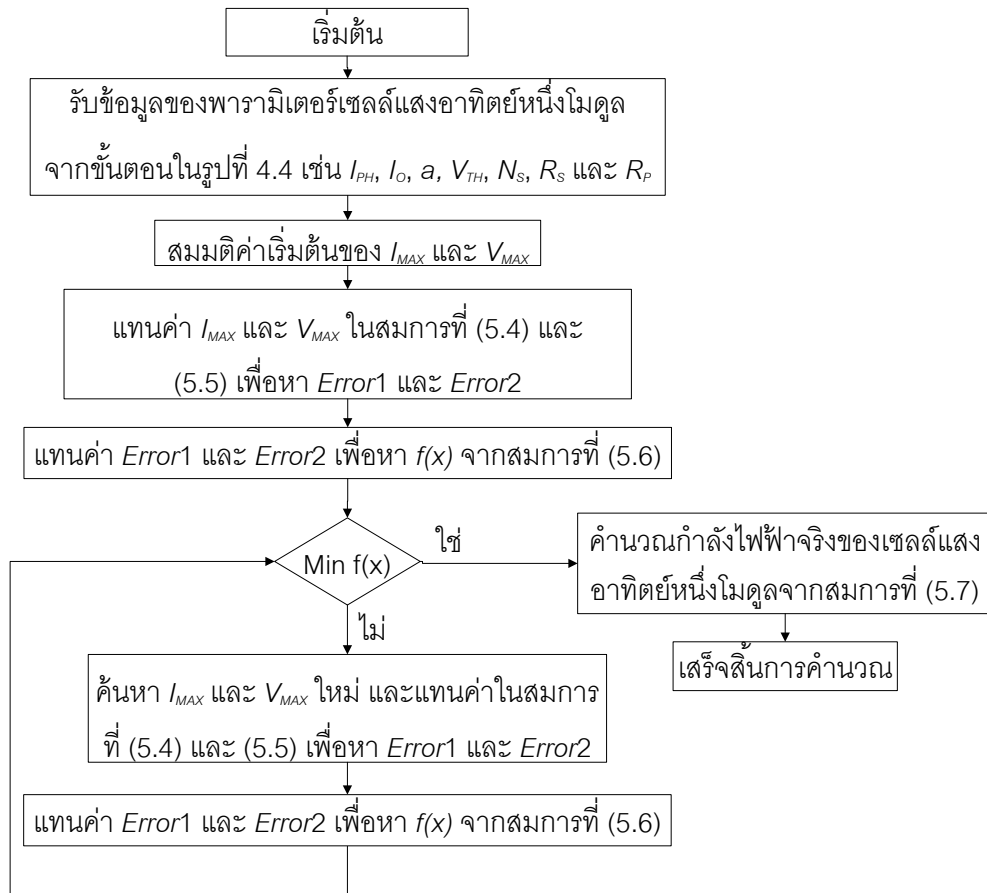
สมการเชิงอนุพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงเทียบกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลมีค่าเป็นศูนย์ ทั้งนี้สมการเชิงอนุพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.2)

$$\left. \frac{dP_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right|_{MAX} = \left. \frac{d(I_{MODULE} V_{MODULE})}{dV_{MODULE}} \right|_{MAX} = I_{MAX} + V_{MAX} \left( \left. \frac{dI_{MODULE}}{dV_{MODULE}} \right) \right|_{MAX} = 0 \quad (5.2)$$

จากสมการที่ (5.2) จะพบว่ามีความคล้ายคลึงกับสมการที่ (4.7) และสมการที่ (5.1) จะมีความคล้ายคลึงกับสมการที่ (2.11) ดังนั้นจะสามารถแปลงสมการที่ (5.2) ให้อยู่ในรูปของพารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยขั้นตอนการแปลงสมการจะใช้ขั้นตอนเช่นเดียวกับสมการที่ (4.7) ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.3)

$$I_{MAX} + V_{MAX} \left( \frac{-I_o R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{a N_s V_{TH}}\right) - a N_s V_{TH}}{a N_s V_{TH} R_p + I_o R_s R_p \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_s}{a N_s V_{TH}}\right) + a N_s V_{TH} R_s} \right) = 0 \quad (5.3)$$

อย่างไรก็ตามจากสมการที่ (5.1) และ (5.3) จะพบว่าไม่เป็นสมการเส้นตรงจึงทำให้ต้องมีการนำหลักการค้นหาอย่างง่ายมาช่วยในการคำนวณหาจุดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ซึ่งจะสามารถแสดงขั้นตอนการคำนวณหาจุดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลได้ดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 ขั้นตอนการคำนวณหากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล

- ขั้นตอนที่ 1 : รับข้อมูลพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากขั้นตอนในภาพที่ 4.4 ซึ่งจะมีการปรับปรุงตามปัจจัยทางด้านความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น  $I_{PH}$ ,  $I_O$ ,  $V_{TH}$ ,  $N_S$ ,  $R_P$  และ  $R_S$
- ขั้นตอนที่ 2 : สมมติค่าเริ่มต้นของกระแสและแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด ( $I_{MAX}$  และ  $V_{MAX}$ ) โดย  $I_{MAX}$  จะอยู่ในช่วง  $[0, I_{PH}]$  และ  $V_{MAX}$  จะอยู่ในช่วง  $[0, V_{OC}]$
- ขั้นตอนที่ 3 : แทนค่ากระแสและแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดลงในสมการที่ (5.4) เพื่อคำนวณ  $Error1$  ซึ่งจะมีที่มาจากสมการที่ (5.1)

$$Error1 = I_{PH} - I_O \left[ \exp \left( \frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{a N_S V_{TH}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{R_P} - I_{MAX} \quad (5.4)$$

- ขั้นตอนที่ 4 : แทนค่ากระแสและแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดลงในสมการที่ (5.5) เพื่อ

คำนวณ  $Error2$  ซึ่งจะมีที่มาจากสมการที่ (5.3)

$$Error2 = I_{MAX} + V_{MAX} \left( \frac{-I_O R_P \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{a N_S V_{TH}}\right) - a N_S V_{TH}}{a N_S V_{TH} R_P + I_O R_S R_P \exp\left(\frac{V_{MAX} + I_{MAX} R_S}{a N_S V_{TH}}\right) + a N_S V_{TH} R_S} \right) \quad (5.5)$$

ขั้นตอนที่ 5 : แทนค่า  $Error1$  และ  $Error2$  เพื่อหา  $f(x)$  โดยสมการการคำนวณ  $f(x)$  จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.6)

$$f(x) = Error1^2 + Error2^2 \quad (5.6)$$

ขั้นตอนที่ 6 : ทำค้นหาพารามิเตอร์ทั้ง 2 ค่า ( $I_{P_{MAX}}$  และ  $V_{MAX}$ ) ที่จะทำให้ค่าของ  $f(x)$  ต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 7 : นำพารามิเตอร์ทั้ง 2 ค่า มาคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (5.7)

$$P_{MAX} = I_{MAX} V_{MAX} \quad (5.7)$$

ขั้นตอนที่ 8 : เสร็จสิ้นการคำนวณจะได้พารามิเตอร์ออกมา 3 พารามิเตอร์ คือ กระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ณ ความเข้มแสง และอุณหภูมิใดๆ

นอกจากนี้โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ได้ถูกนำมาใช้งานเพียงหนึ่งโมดูล อย่างไรก็ตามจะเชื่อมต่อกันเป็นสตริง (String) และอาร์เรย์ (Array) โดยการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมจะช่วยให้เพิ่มแรงดันและการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานจะช่วยให้การเพิ่มกระแส ซึ่งจะสามารถแสดงการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดได้ดังสมการที่ (5.8) ถึง (5.10)

$$V_{PV} = N_{S.A.} V_{MAX} \quad (5.8)$$

$$I_{PV} = N_{P.A.} I_{MAX} \quad (5.9)$$

$$P_{PV} = I_{PV} V_{PV} \quad (5.10)$$

โดย

$N_{S.A}$	คือ	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมร่วมกัน (โมดูล)
$N_{P.A}$	คือ	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อแบบขนานร่วมกัน (โมดูล)
$V_{PV}$	คือ	แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด (V)
$I_{PV}$	คือ	กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด (A)
$P_{PV}$	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด (W)

จากภาพที่ 5.1 จะพบว่าแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรงนอกจากจะประกอบด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ และคอนเวอร์เตอร์แล้ว ยังมีความต้านทานที่มาจากสายไฟฟ้าอีก ซึ่งโดยปกติจะสามารถละเลยความต้านทานที่มาจากสายไฟฟ้าได้ ดังนั้นแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด จะมีค่าเท่ากับแรงดันของขาเข้าแบบจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์ ( $V_{DC}$ ) ซึ่งจะแสดงได้ดังสมการที่ (5.11)

$$V_{PV} = V_{DC} \quad (5.11)$$

โดย

$V_{DC}$	คือ	แรงดันของขาเข้าแบบจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์ (V)
----------	-----	----------------------------------------------

### 5.1.2 แบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์

แบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นกระแสที่เข้าแบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเป็นกระแสออกแบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยภายในแบบจำลองดังกล่าวจะประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์ครึ่งบริดจ์สามเฟส และ Sinusoidal pulse width modulation (SPWM) โดยแรงดันของเฟส A จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.12) และแรงดันของเฟส B และ C จะมีลักษณะที่คล้ายกับเฟส A คือ ขนาดแรงดันของทั้ง 3 เฟสจะมีค่าที่เท่ากัน อย่างไรก็ตามมุมของแรงดันในแต่ละเฟสจะต่างกัน 120 องศา

$$V_{INV} \angle \theta = \frac{\sqrt{2}}{4} M V_{DC} \angle \theta \quad (5.12)$$



โดย

$V_{INV}$	คือ	แรงดันขาออกของแบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ (V)
$M$	คือ	Modulation ratio
$\theta$	คือ	มุมของอินเวอร์เตอร์ (Phase shift angle) (degree)

นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงขาเข้าและขาออกของแบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ได้ดังสมการที่ (5.13)

$$P_{INV} = kP_{PV} \quad (5.13)$$

โดย

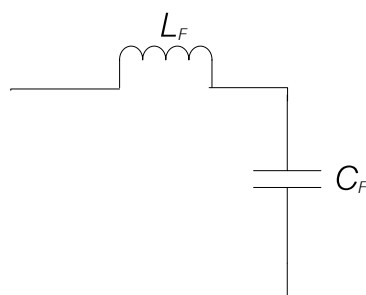
$k$	คือ	ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (%)
-----	-----	---------------------------------

### 5.1.3 แบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

แบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแบบจำลองที่มีไฟฟ้ากระแสสลับไหลภายในเพียงอย่างเดียว โดยภายในแบบจำลองดังกล่าวจะประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภท คือ

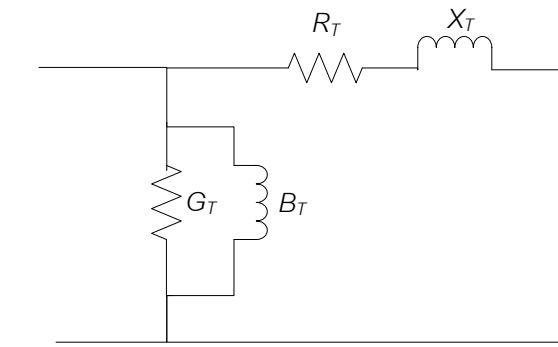
- ฟิลเตอร์
- หม้อแปลงไฟฟ้า

อุปกรณ์แรก คือ ฟิลเตอร์ โดยหลักการของฟิลเตอร์จะมีไว้ใช้ในการกรองความถี่ที่ไม่ต้องการทิ้งไป ซึ่งวงจรสมมูลของฟิลเตอร์จะประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำ ( $L_F$ ) และตัวเก็บประจุ ( $C_F$ ) โดยวงจรสมมูลของฟิลเตอร์หนึ่งเฟสจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.3



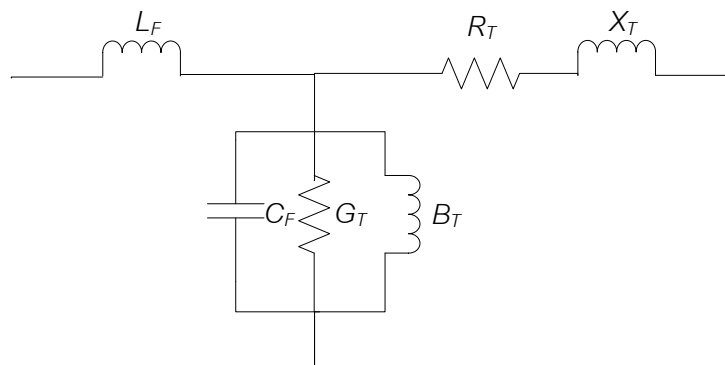
ภาพที่ 5.3 วงจรสมมูลของฟิลเตอร์หนึ่งเฟส

อุปกรณ์ที่สอง คือ หม้อแปลงไฟฟ้า จะมีหน้าที่ในการยกขนาดของแรงดันเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะสามารถเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าได้ ซึ่งวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.4



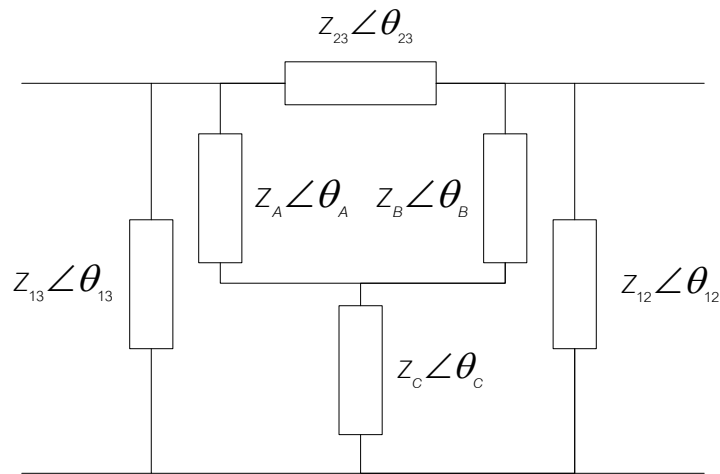
ภาพที่ 5.4 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส

เมื่อนำอุปกรณ์ทั้ง 2 ประเภทมารวมกันจะแสดงวงจรสมมูลของฟีดเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่เชื่อมต่อแบบวายได้ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 วงจรสมมูลของฟีดเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่เชื่อมต่อแบบวาย

จากภาพที่ 5.5 จะวิเคราะห์หาค่ากำลังปรากฏและแรงดันขาเข้าของแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ร่วมกับกำลังปรากฏและแรงดันขาออกของแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจากภาพที่ 5.5 แบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะมีการเชื่อมต่อแบบวายอย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อแบบวายจะยากต่อการคำนวณจึงต้องเปลี่ยนการเชื่อมต่อแบบวายเป็นแบบเดลต้า ทั้งนี้หลักการเปลี่ยนการเชื่อมต่อแบบวายเป็นแบบเดลต้าดังแสดงไว้ในภาพที่ 5.6 และสมการการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อแบบวายเป็นแบบเดลต้าสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.14) ถึง (5.16)



ภาพที่ 5.6 รูปแบบการเชื่อมต่อแบบวายและเดลต้า

$$Z_{12} \angle \theta_{12} = \frac{Z_A Z_B \angle (\theta_A + \theta_B) + Z_A Z_C \angle (\theta_A + \theta_C) + Z_B Z_C \angle (\theta_B + \theta_C)}{Z_C \angle \theta_C} \quad (5.14)$$

$$Z_{13} \angle \theta_{13} = \frac{Z_A Z_B \angle (\theta_A + \theta_B) + Z_A Z_C \angle (\theta_A + \theta_C) + Z_B Z_C \angle (\theta_B + \theta_C)}{Z_B \angle \theta_B} \quad (5.15)$$

$$Z_{23} \angle \theta_{23} = \frac{Z_A Z_B \angle (\theta_A + \theta_B) + Z_A Z_C \angle (\theta_A + \theta_C) + Z_B Z_C \angle (\theta_B + \theta_C)}{Z_A \angle \theta_A} \quad (5.16)$$

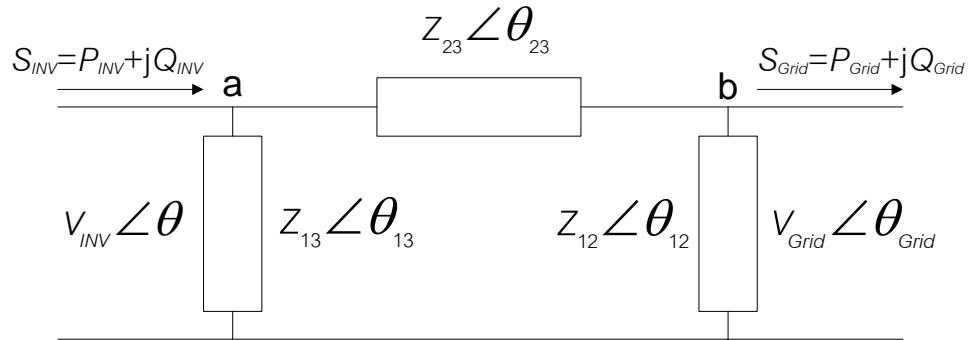
จากภาพที่ 5.6 จะพบว่าค่าของอิมพีแดนซ์  $Z_A$ ,  $\theta_A$ ,  $Z_B$ ,  $\theta_B$ ,  $Z_C$  และ  $\theta_C$  นั้น จะแสดงได้ดังสมการที่ (5.17) ถึง (5.19) ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์หาได้จากแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับดังที่แสดงได้ในภาพที่ 5.5

$$Z_A \angle \theta_A = j\omega L_F \quad (5.17)$$

$$Z_B \angle \theta_B = \frac{1}{j\omega C_F + G_T - jB_T} \quad (5.18)$$

$$Z_C \angle \theta_C = R_T + jX_T \quad (5.19)$$

เมื่อพารามิเตอร์จากการเชื่อมต่อแบบวายแปลงเป็นพารามิเตอร์ในรูปแบบการเชื่อมต่อแบบเดลต้าแล้ว จะสามารถแสดงการเชื่อมต่อพารามิเตอร์หลังจากการแปลงได้ดังภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5.7 วงจรสมมูลของฟิลเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่เชื่อมต่อแบบเดลต้า

การคำนวณกำลังปรากฏขาเข้าและขาออกของแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ( $S_{INV}$  และ  $S_{Grid}$ ) ซึ่งจะแสดงการคำนวณโดยเริ่มจากสมการที่ (5.20)

$$S_{INV} = V_{INV} I_{INV}^* \quad (5.20)$$

จากภาพที่ 5.7 พิจารณาที่จุด a โดยใช้หลักการของ Kirchhoff's current law คือ กระแสไหลเข้าที่จุด a จะมีค่าเท่ากับกระแสไหลออกจากจุด a ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.21)

$$\sum I_{in,a} = \sum I_{out,a} \quad (5.21)$$

แทนค่าของกระแสที่สามารถคำนวณได้จากภาพที่ 5.7 ลงในสมการที่ (5.21) จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.22)

$$I_{INV} = \frac{V_{INV} \angle \theta}{Z_{13} \angle \theta_{13}} + \frac{V_{INV} \angle \theta - V_{Grid} \angle \theta_{Grid}}{Z_{12} \angle \theta_{12}} \quad (5.22)$$

แทนค่าของกระแสจากสมการที่ (5.22) ลงในสมการที่ (5.20) ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.23)

$$S_{INV} = V_{INV} \angle \theta \left( \frac{V_{INV} \angle \theta}{Z_{13} \angle \theta_{13}} + \frac{V_{INV} \angle \theta - V_{Grid} \angle \theta_{Grid}}{Z_{12} \angle \theta_{12}} \right)^* \quad (5.23)$$

จัดรูปแบบของสมการที่ (5.23) ให้อยู่ในรูปของพหามิตเตอร์ที่แสดงในภาพที่ 5.7 ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.24)

$$S_{INV} = P_{INV} + jQ_{INV} = V_{INV} \angle \theta \left( \frac{V_{INV} \angle (\theta - \theta_{13})}{Z_{13}} + \frac{V_{INV} \angle (\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \angle (\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} \right)^* \quad (5.24)$$

จัดรูปแบบของสมการที่ (5.24) ให้อยู่ในรูปของส่วนจริงเท่ากับส่วนจริง และส่วนจินตภาพเท่ากับส่วนจินตภาพ ซึ่งในส่วนของจริงของสมการที่ (5.24) จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.25)

$$P_{INV} = (V_{INV} \cos \theta) \left[ \frac{V_{INV} \cos(\theta - \theta_{13})}{Z_{13}} + \frac{V_{INV} \cos(\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos(\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} \right] + (jV_{INV} \sin \theta) \left[ -\frac{jV_{INV} \sin(\theta - \theta_{13})}{Z_{13}} - \frac{jV_{INV} \sin(\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} + \frac{jV_{Grid} \sin(\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} \right] \quad (5.25)$$

จากสมการที่ (5.25) เมื่อนำมาคูณรวมกันของแต่ละวงเล็บ และจัดรูปแบบของแต่ละพจน์ในสมการดังกล่าวจะมีลักษณะเหมือนกับสมการตรีโกณมิติดังแสดงในสมการที่ (5.26)

$$\cos(A \pm B) = \cos A \cos B \mp \sin A \sin B \quad (5.26)$$

ซึ่งเมื่อลดรูปสมการที่ (5.25) ตามหลักการของสมการตรีโกณมิติดังแสดงในสมการที่ (5.26) จะสามารถแสดงสมการหลังจากการลดรูปได้ดังสมการที่ (5.27)

$$P_{INV} = V_{INV} \left( \frac{V_{INV} \cos \theta_{13}}{Z_{13}} + \frac{V_{INV} \cos \theta_{12}}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos(\theta - \theta_{Grid} + \theta_{12})}{Z_{12}} \right) \quad (5.27)$$

และในส่วนของจินตภาพของสมการที่ (5.24) จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.28)

$$jQ_{INV} = (jV_{INV} \sin \theta) \left[ \frac{V_{INV} \cos(\theta - \theta_{13})}{Z_{13}} + \frac{V_{INV} \cos(\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos(\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} \right] + (V_{INV} \cos \theta) \left[ -\frac{jV_{INV} \sin(\theta - \theta_{13})}{Z_{13}} - \frac{jV_{INV} \sin(\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} + \frac{jV_{Grid} \sin(\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} \right] \quad (5.28)$$

จากสมการที่ (5.28) เมื่อนำมาคูณรวมกันของแต่ละวงเล็บ และจัดรูปแบบของแต่ละพจน์ในสมการดังกล่าวจะมีลักษณะเหมือนกับสมการตรีโกณมิติดังแสดงในสมการที่ (5.29)

$$\sin(A \pm B) = \sin A \cos B \pm \cos A \sin B \quad (5.29)$$

ซึ่งเมื่อลดรูปสมการที่ (5.28) ตามหลักการของสมการตรีโกณมิติดังแสดงที่สมการที่ (5.29) จะสามารถแสดงสมการหลังจากการลดรูปได้ดังสมการที่ (5.30)

$$Q_{INV} = V_{INV} \left( \frac{V_{INV} \sin \theta_{13}}{Z_{13}} + \frac{V_{INV} \sin \theta_{12}}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \sin(\theta - \theta_{Grid} + \theta_{12})}{Z_{12}} \right) \quad (5.30)$$

ต่อมาจะพิจารณาส่วนทางด้านขาออกของแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจากภาพที่ 5.7 จะพบว่าค่าของกำลังปรากฏจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.31)

$$S_{Grid} = V_{Grid} I_{Grid}^* \quad (5.31)$$

จากภาพที่ 5.7 พิจารณาที่จุด b โดยใช้หลักการของ Kirchhoff's current law คือ กระแสไหลเข้าที่จุด a จะมีค่าเท่ากับกระแสไหลออกจากจุด a ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.32)

$$\sum I_{in.b} = \sum I_{out.b} \quad (5.32)$$

แทนค่าของกระแสที่สามารถคำนวณมาได้จากภาพที่ 5.7 ลงในสมการที่ (5.32) จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.33)

$$I_{Grid} = \frac{V_{INV} \angle \theta - V_{Grid} \angle \theta_{Grid}}{Z_{12} \angle \theta_{12}} - \frac{V_{Grid} \angle \theta_{Grid}}{Z_{23} \angle \theta_{23}} \quad (5.33)$$

แทนค่าของกระแสจากสมการที่ (5.33) ลงในสมการที่ (5.31) ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.34)

$$S_{Grid} = V_{Grid} \angle \theta_{Grid} \left( \frac{V_{INV} \angle \theta - V_{Grid} \angle \theta_{Grid}}{Z_{12} \angle \theta_{12}} - \frac{V_{Grid} \angle \theta_{Grid}}{Z_{23} \angle \theta_{23}} \right)^* \quad (5.34)$$

จัดรูปแบบของสมการที่ (5.34) ให้อยู่ในรูปของพารามิเตอร์ที่แสดงในภาพที่ 5.7 ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.35)

$$S_{Grid} = P_{Grid} + jQ_{Grid} = V_{Grid} \angle \theta_{Grid} \left( \frac{V_{INV} \angle (\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \angle (\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \angle (\theta_{Grid} - \theta_{23})}{Z_{23}} \right)^* \quad (5.35)$$

จัดรูปแบบของสมการที่ (5.35) ให้อยู่ในรูปของส่วนจริงเท่ากับส่วนจริง และส่วนจินตภาพเท่ากับส่วนจินตภาพ ซึ่งในส่วนจริงของสมการที่ (5.35) จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.36)

$$P_{Grid} = (V_{Grid} \cos \theta_{Grid}) \left[ \frac{V_{INV} \cos(\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos(\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos(\theta_{Grid} - \theta_{23})}{Z_{23}} \right] + (jV_{Grid} \sin \theta_{Grid}) \left[ -\frac{jV_{INV} \sin(\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} + \frac{jV_{Grid} \sin(\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} + \frac{V_{Grid} \sin(\theta_{Grid} - \theta_{23})}{Z_{23}} \right] \quad (5.36)$$

จากสมการที่ (5.36) เมื่อนำมาคูณรวมกันของแต่ละวงเล็บ และจัดรูปแบบของแต่ละพจน์ในสมการดังกล่าวจะมีลักษณะเหมือนกับสมการตรีโกณมิติดังแสดงในสมการที่ (5.26) จะสามารถแสดงสมการหลังจากการยุบได้ดังสมการที่ (5.37)

$$P_{Grid} = V_{Grid} \left( \frac{V_{INV} \cos(\theta_{Grid} - \theta + \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos \theta_{12}}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos \theta_{23}}{Z_{23}} \right) \quad (5.37)$$

และในส่วนของจินตภาพของสมการที่ (5.35) จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.38)

$$jQ_{INV} = (jV_{Grid} \sin \theta_{Grid}) \left[ \frac{V_{INV} \cos(\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos(\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos(\theta_{Grid} - \theta_{23})}{Z_{23}} \right] + \quad (5.38)$$

$$(V_{Grid} \cos \theta_{Grid}) \left[ -\frac{jV_{INV} \sin(\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} + \frac{jV_{Grid} \sin(\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} + \frac{V_{Grid} \sin(\theta_{Grid} - \theta_{23})}{Z_{23}} \right]$$

จากสมการที่ (5.38) เมื่อนำมาคูณรวมกันของแต่ละวงเล็บ และจัดรูปแบบของแต่ละพจน์ในสมการดังกล่าวจะมีลักษณะเหมือนกับสมการตรีโกณมิติดังแสดงในสมการที่ (5.29) จะสามารถแสดงสมการหลังจากการยุบได้ดังสมการที่ (5.39)

$$Q_{Grid} = V_{Grid} \left( \frac{V_{INV} \sin(\theta_{Grid} - \theta + \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \sin \theta_{12}}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos \theta_{23}}{Z_{23}} \right) \quad (5.39)$$

เนื่องมาจากสมการที่ (5.27), (5.30), (5.37) และ (5.39) ที่ใช้คำนวณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนขาเข้าและขาออกของแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้าสลับ ( $P_{INV}$ ,  $Q_{INV}$ ,  $P_{Grid}$  และ  $Q_{Grid}$ ) จะเป็นสมการที่หนึ่งเฟสเท่านั้น อย่างไรก็ตามการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะคำนวณในรูปแบบของไฟฟ้า 3 เฟส ดังนั้นจะสามารถแสดงสมการการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนขาเข้าและขาออกของแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้าสลับในรูปแบบกระแสไฟฟ้า 3 เฟสได้ดังสมการที่ (5.40) ถึง (5.43)

$$P_{INV} = 3V_{INV} \left( \frac{V_{INV} \cos \theta_{13}}{Z_{13}} + \frac{V_{INV} \cos \theta_{12}}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos(\theta - \theta_{Grid} + \theta_{12})}{Z_{12}} \right) \quad (5.40)$$



$$Q_{INV} = 3V_{INV} \left( \frac{V_{INV} \sin \theta_{13}}{Z_{13}} + \frac{V_{INV} \sin \theta_{12}}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \sin(\theta - \theta_{Grid} + \theta_{12})}{Z_{12}} \right) \quad (5.41)$$

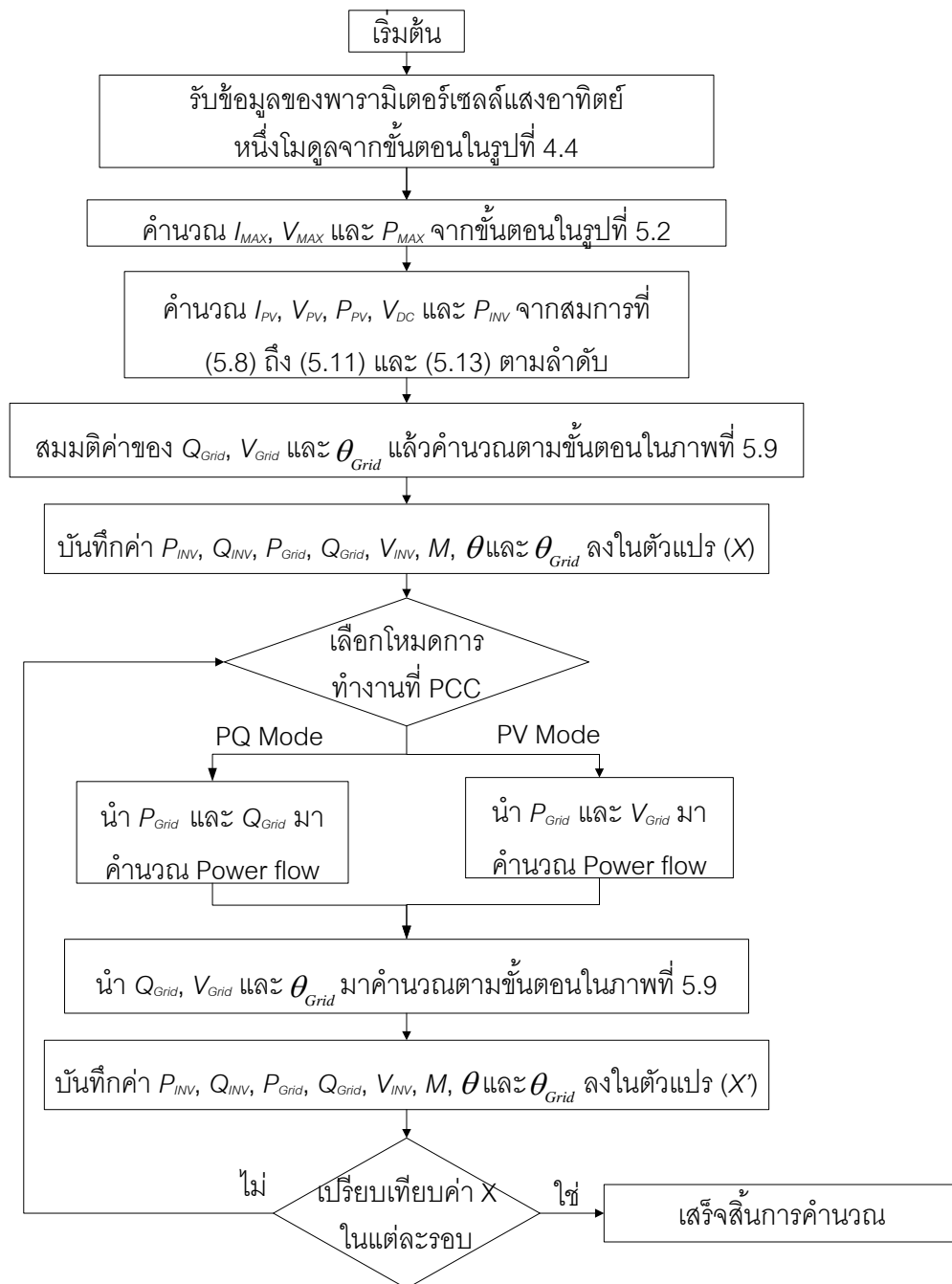
$$P_{Grid} = 3V_{Grid} \left( \frac{V_{INV} \cos(\theta_{Grid} - \theta + \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos \theta_{12}}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos \theta_{23}}{Z_{23}} \right) \quad (5.42)$$

$$Q_{Grid} = 3V_{Grid} \left( \frac{V_{INV} \sin(\theta_{Grid} - \theta + \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \sin \theta_{12}}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos \theta_{23}}{Z_{23}} \right) \quad (5.43)$$

## 5.2 ขั้นตอนการคำนวณของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นตอนการคำนวณในหัวข้อนี้จะแสดงการคำนวณของแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 แบบจำลองย่อย ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 5.1 โดยการวิเคราะห์แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้าจะพิจารณากำลังไฟฟ้าจริง (Real power) และ กำลังไฟฟ้่ารีแอกทีฟ (Reactive power) ที่อยู่ภายในทุกตำแหน่งของแบบจำลองทั้ง 3 ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว ซึ่งประกอบไปด้วย  $V_{PV}$ ,  $I_{PV}$ ,  $P_{PV}$ ,  $V_{DC}$ ,  $M$ ,  $V_{INV}$ ,  $\theta$ ,  $P_{INV}$ ,  $Q_{INV}$ ,  $V_{Grid}$ ,  $\theta_{Grid}$ ,  $P_{Grid}$  และ  $Q_{Grid}$  ดังแสดงในภาพที่ 5.1 ทั้งนี้การคำนวณพารามิเตอร์ภายในแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้าจะมีการประยุกต์รวมกับการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow calculation)

นอกจากนี้จากบทที่ 3 จะได้กล่าวว่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีโหมดการทำงาน 2 โหมด คือ PQ และ PV ซึ่งหลักการคำนวณภายในหัวข้อนี้จะได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี ตามประเภทของโหมดการทำงาน ซึ่งจะสามารถแสดงขั้นตอนการคำนวณของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้าได้ดังภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.8 ขั้นตอนการคำนวณของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบกริดไฟฟ้า

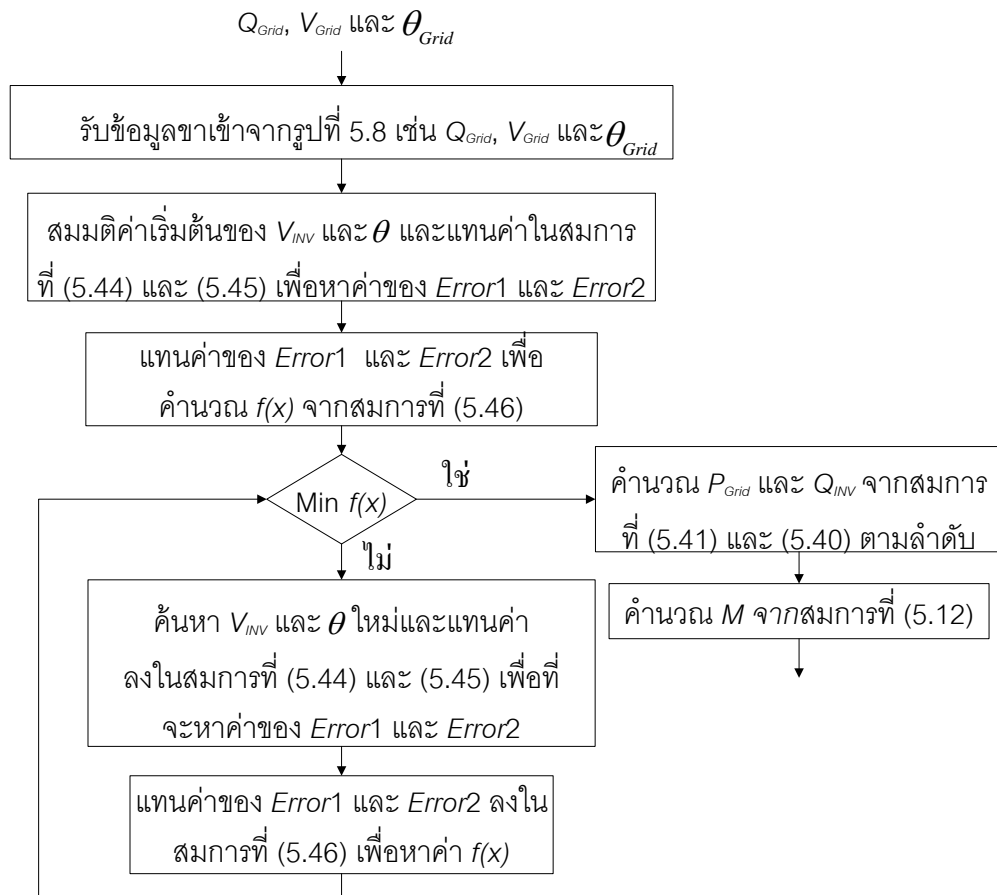
หมายเหตุ: จุดเชื่อมต่อ PCC คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบกริดไฟฟ้าและระบบของการไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 1 : รับข้อมูลพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากขั้นตอนในภาพที่ 4.4 ซึ่งประกอบไปด้วย  $I_{PH}$ ,  $I_0$ ,  $V_{TH}$ ,  $N_s$ ,  $R_p$  และ  $R_s$

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณ  $I_{MAX}$ ,  $V_{MAX}$  และ  $P_{MAX}$  จากขั้นตอนในภาพที่ 5.2

- ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณ  $I_{PV}$ ,  $V_{PV}$  และ  $P_{PV}$  จากสมการที่ (5.8) ถึง (5.10) และคำนวณ  $V_{DC}$  และ  $P_{INV}$  จากสมการที่ (5.11) และ (5.13) ตามลำดับ
- ขั้นตอนที่ 4 : สมมติค่าเริ่มต้นของ  $Q_{Grid}$ ,  $V_{Grid}$  และ  $\theta_{Grid}$  ต่อมานำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณตามขั้นตอนในภาพที่ 5.9
- ขั้นตอนที่ 5 : บันทึกข้อมูลขาออกจากขั้นตอนในภาพที่ 5.9 ซึ่งจะประกอบไปด้วย  $P_{Grid}$ ,  $Q_{Grid}$ ,  $P_{INV}$ ,  $Q_{INV}$ ,  $V_{Grid}$ ,  $V_{INV}$ ,  $\theta_{Grid}$  และ  $\theta$
- ขั้นตอนที่ 6 : เลือกรูปแบบโหมดการทำงานของจุดเชื่อมต่อ PCC โดยจะประกอบไปด้วย 2 โหมดการทำงาน คือ PQ และ PV
- โหมดการทำงานแบบ PQ จะนำ  $P_{Grid}$  และ  $Q_{Grid}$  มาคำนวณผ่านการไหลของกำลังไฟฟ้า
  - โหมดการทำงานแบบ PV จะนำ  $P_{Grid}$  และ  $V_{Grid}$  มาคำนวณผ่านการไหลของกำลังไฟฟ้า
- ขั้นตอนที่ 7 : นำ  $Q_{Grid}$ ,  $V_{Grid}$  และ  $\theta_{Grid}$  หลังจากเสร็จสิ้นการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้ามาเข้าการคำนวณตามขั้นตอนในภาพที่ 5.9
- ขั้นตอนที่ 8 : บันทึกข้อมูลขาออกจากขั้นตอนในภาพที่ 5.9 ซึ่งจะประกอบไปด้วย  $P_{Grid}$ ,  $Q_{Grid}$ ,  $P_{INV}$ ,  $Q_{INV}$ ,  $V_{Grid}$ ,  $V_{INV}$ ,  $\theta_{Grid}$  และ  $\theta$
- ขั้นตอนที่ 9 : เปรียบเทียบค่าที่บันทึกในตอนแรกจากขั้นตอนที่ 5 กับ ค่าที่บันทึกจากขั้นตอนที่ 8 ซึ่งถ้าค่าที่บันทึกมีค่าที่ไม่เท่ากันจะทำการย้อนกลับไปทำในขั้นตอนที่ 6 ใหม่อีกครั้ง โดยจะนำ  $Q_{Grid}$ ,  $V_{Grid}$  และ  $\theta_{Grid}$  จากขั้นตอนที่ 7 ไปคำนวณขั้นตอนที่ 6 จนกระทั่งเปรียบเทียบแล้วมีค่าที่ใกล้เคียงกันจะสิ้นสุดการคำนวณ

อย่างไรก็ตามขั้นตอนที่ได้แสดงไปใน 9 ขั้นตอนจะมีขั้นตอนที่ 5 และ 8 ที่พิจารณาเป็นเพียงแบบย่อ ซึ่งจะสามารแสดงขั้นตอนการคำนวณของขั้นตอนที่ 5 และ 8 อย่างละเอียดได้ดังภาพที่ 5.9



ภาพที่ 5.9 ขั้นตอนการคำนวณเพิ่มเติม

- ขั้นตอนที่ 1 : รับข้อมูลเข้าจากภาพที่ 5.8 ซึ่งจะประกอบไปด้วย  $Q_{Grid}, V_{Grid}$  และ  $\theta_{Grid}$
- ขั้นตอนที่ 2 : สมมติค่าเริ่มต้นของแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ ( $V_{INV}$ ) และมุมของอินเวอร์เตอร์ ( $\theta$ ) ของแบบจำลองอินเวอร์เตอร์
- ขั้นตอนที่ 3 : แทนค่าของแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ และ มุมของอินเวอร์เตอร์ลงในสมการที่ (5.44) เพื่อหาค่าของ  $Error1$  ซึ่งมีที่มาจากสมการที่ (5.40)

$$Error1 = 3V_{INV} \left( \frac{V_{INV} \cos(\theta - \theta_{13})}{Z_{13}} + \frac{V_{INV} \cos(\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} - \frac{V_{Grid} \cos(\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} \right) - P_{INV} \quad (5.44)$$

- ขั้นตอนที่ 4 : แทนค่าของแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ และ มุมของอินเวอร์เตอร์ลงในสมการที่ (5.45) เพื่อหาค่าของ  $Error2$  ซึ่งมีที่มาจากสมการที่ (5.43)

$$Error2 = V_{Grid} \left( -\frac{V_{INV} \sin(\theta - \theta_{12})}{Z_{12}} + \frac{V_{Grid} \sin(\theta_{Grid} - \theta_{12})}{Z_{12}} + \frac{V_{Grid} \sin(\theta_{Grid} - \theta_{23})}{Z_{23}} \right) - Q_{Grid} \quad (5.45)$$

ขั้นตอนที่ 5 : ค้นหาค่าของพารามิเตอร์ทั้ง 2 ค่า ( $V_{INV}$  และ  $P_{INV}$ ) ที่จะทำให้ค่าของ  $f(x)$  ต่ำที่สุด โดยสมการของ  $f(x)$  จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.46)

$$f(x) = Error1^2 + Error2^2 \quad (5.46)$$

ขั้นตอนที่ 6 : แทนค่าของ  $Q_{Grid}$ ,  $V_{Grid}$ ,  $V_{INV}$ ,  $\theta_{Grid}$  และ  $\theta$  ลงในสมการที่ (5.41) และ (5.42) เพื่อที่จะคำนวณค่าของ  $P_{Grid}$  และ  $Q_{INV}$  ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 7 : แทนค่าของ  $V_{INV}$  ลงในสมการที่ (5.12) เพื่อที่จะคำนวณค่าของ  $M$  ของอินเวอร์เตอร์

ขั้นตอนที่ 8 : เสร็จสิ้นการคำนวณ ซึ่งพารามิเตอร์ที่จะได้รับจะประกอบไปด้วย  $P_{Grid}$ ,  $Q_{Grid}$ ,  $P_{INV}$ ,  $Q_{INV}$ ,  $V_{Grid}$ ,  $V_{INV}$ ,  $\theta_{Grid}$  และ  $\theta$

### 5.3 สรุป

บทที่ 5 จะนำเสนอเกี่ยวกับแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า ซึ่งภายในแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวจะประกอบไปด้วยแบบจำลองย่อยอีก 3 ส่วน คือ แบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรง แบบจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์ และแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ โดยได้ศึกษาเกี่ยวกับโหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว ซึ่งจะประกอบไปด้วย 2 โหมดการทำงาน คือ PQ และ PV และได้มีการวิเคราะห์จากพารามิเตอร์ตามตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว นอกจากนี้ภายในขั้นตอนการคำนวณของแต่ละโหมดการทำงานจะมีหลักการการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าร่วมด้วย

## บทที่ 6

### การบังแสงแดด

จากหัวข้อที่ 2.4 จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเกิดการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะแบ่งการนำเสนอได้เป็น 3 หัวข้อ คือ

- 1) เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอด
- 2) เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอด
- 3) สรุป

#### 6.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอด

การวิเคราะห์ผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอด จะแบ่งการพิจารณาออกเป็นกลุ่ม ทั้งนี้แต่ละกลุ่มจะมีจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด ( $N_{SHADE}$ ) แตกต่างกัน โดยสมมติว่ารายละเอียดการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด แสดงได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

กลุ่ม	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ถูกบังแสง (โมดูล)	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง (โมดูล)	จำนวนแถวทั้งหมดของแต่ละกลุ่ม (String)	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดในแต่ละกลุ่ม (โมดูล)
1	10	0	40	400
2	8	2	30	300
3	4	6	30	300

จากตารางที่ 6.1 จะเป็นรายละเอียดการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะมีจำนวน 1,000 โมดูล และจะแบ่งการพิจารณาได้เป็นจำนวน 3 กลุ่ม โดยความหมายของแต่ละกลุ่มภายในตารางที่ 6.1 จะสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

**กลุ่มที่ 1, 2 และ 3:** หนึ่งแถวของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย 10 โมดูล โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้เกิดการบังแสงแดดของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 จะมีจำนวนเป็น 10, 8 และ 4 โมดูล ตามลำดับ และเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 จะมีจำนวนเป็น 0 ( $10-10=0$ ), 2 ( $10-8=2$ ) และ 6 ( $10-4=6$ ) โมดูล ตามลำดับ นอกจากนี้กลุ่มที่ 1, 2 และ 3 จะประกอบไปด้วย 40, 30 และ 30 แถว ตามลำดับ (แถวจะมีความหมายเหมือนกับ String) ดังนั้นกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดเป็นจำนวน 400, 300 และ 300 โมดูล ตามลำดับ

หลักการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถว และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของแต่ละกลุ่ม จะสามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

**กลุ่มที่ 1** จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดดเพียงประเภทเดียว ซึ่งสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลของกลุ่มที่ 1 จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6.1)

$$I_{UNSHADE} = I_{PH} - I_o \left[ \exp \left( \frac{V_{UNSHADE} + I_{UNSHADE} R_s}{a N_s V_{TH}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{UNSHADE} + I_{UNSHADE} R_s}{R_p} \quad (6.1)$$

โดย

$I_{UNSHADE}$  คือ กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ไม่เกิดการบังแสงแดด (A)  
 $V_{UNSHADE}$  คือ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ไม่เกิดการบังแสงแดด (V)

โดยทั่วไปการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยหลายโมดูลเชื่อมต่อกันดังได้แสดงในภาพที่ 2.9 ซึ่งภาพที่ 2.9 จะสมมติว่าเซลล์แสงอาทิตย์หลายโมดูลจะเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมเป็นจำนวน  $N_{TOTAL}$  โมดูล (โดย  $N_{TOTAL} = N_{UNSHADE} + N_{SHADE}$ ) ทั้งนี้จากตารางที่ 6.1 กลุ่มที่ 1 จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดดเพียงประเภทเดียว ซึ่งหมายความว่า  $N_{TOTAL} = N_{UNSHADE}$  หรือ  $N_{SHADE} = 0$  ดังนั้นเมื่อนำพารามิเตอร์ต่างๆ มาแทนค่าในสมการที่ (2.12) แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ภายในหนึ่งแถว ( $V_{SH}$ ) ของกลุ่มที่ 1 จะแสดงได้ดังสมการที่ (6.2)

$$V_{SH} = V_{ROW} = (N_{UNSHADE}) V_{UNSHADE} = (N_{TOTAL}) V_{UNSHADE} \quad (6.2)$$

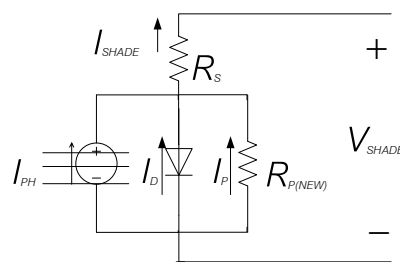
**กลุ่มที่ 2 และ 3** จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดและไม่เกิดการบังแสงแดด เชื่อมต่อร่วมกันภายในหนึ่งแถว โดยหลักการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ของกลุ่มที่ 2 และ 3 จะมีลักษณะแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 ดังนั้นจะแบ่งการพิจารณาเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลภายในกลุ่มที่ 2 และ 3 ได้เป็น 2 ประเภท คือ

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด
- เซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด

หลักการคำนวณเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลทั้ง 2 ประเภท จะพิจารณากระแสที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ประเภท โดยแบ่งช่วงของกระแสที่ไหลผ่านได้เป็น 2 ช่วง คือ

- ช่วงที่ 1:  $I_{PH} > I_{SHADE} > I_{PH(NEW)}$  และ  $I_{PH} > I_{UNSHADE} > I_{PH(NEW)}$

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดด ถ้ากระแสที่ไหลผ่านในช่วงนี้จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวทำหน้าที่เป็นโหลด (โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส) โดยการเป็นโหลดจะเป็นผลเนื่องมาจากกระแสที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ( $I_{SHADE}$ ) จะมีค่ามากกว่ากระแสไฟโตอิเล็กทรอนิกส์ใหม่ ( $I_{PH(NEW)}$ ) ที่คำนวณจากความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปเมื่อเกิดการบังแสงแดดจากสมการที่ (4.22) ซึ่งไดโอดจะเกิดการไบแอสกลับ (Reverse bias) ดังนั้นทิศทางกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดหนึ่งโมดูล โดยจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6.1 [20]



ภาพที่ 6.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดด

จากภาพที่ 6.1 จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดดสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6.3)



$$I_{SHADE} = I_{PH(NEW)} + I_o \left[ \exp\left(\frac{V_D}{aV_{TH}}\right) - 1 \right] + \frac{V_D}{R_{P(NEW)}} \quad (6.3)$$

โดย

$I_{SHADE}$  คือ กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดหนึ่งโมดูล (A)

จากภาพที่ 6.1 จะพบว่าแรงดันของไดโอด ( $V_D$ ) และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดด ( $V_{SHADE}$ ) จะแสดงได้ดังสมการที่ (6.4)

$$V_D = -V_{SHADE} - I_{SHADE} R_S \quad (6.4)$$

โดย

$V_{SHADE}$  คือ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด (V)

ซึ่งเมื่อนำสมการที่ (6.4) มาแทนค่าลงในสมการที่ (6.3) จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดดได้ดังสมการที่ (6.5) หรือจะสามารถประมาณได้ดังสมการที่ (6.6)

$$I_{SHADE} = I_{PH(NEW)} + I_o \left[ \exp\left(\frac{-V_{SHADE} - I_{SHADE} R_S}{aN_S V_{TH}}\right) - 1 \right] + \frac{-V_{SHADE} - I_{SHADE} R_S}{R_{P(NEW)}} \quad (6.5)$$

หรือ

$$I_{SHADE} \approx I_{PH(NEW)} + \frac{-V_{SHADE} - I_{SHADE} R_S}{R_{P(NEW)}} \quad (6.6)$$

จากสมการที่ (6.6) นำมาจัดรูปแบบของสมการใหม่เพื่อที่จะหาแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะพบว่าค่าของแรงดันดังกล่าวจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6.7) และมีทิศทางดังภาพที่ 6.1 โดยถ้าพิจารณากระแสที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในช่วงนี้ จะพบว่าแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้เกิดการบังแสงแดดจะมีค่าน้อยกว่าศูนย์เนื่องจาก  $I_{SHADE} > I_{PH(NEW)}$  ซึ่งส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นโหลด

$$V_{SHADE} \approx (I_{PH(NEW)} - I_{SHADE}) R_{P(NEW)} - I_{SHADE} R_S \quad (6.7)$$

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ซึ่งจะมีลักษณะแบบเดียวกับกลุ่มที่ 1 ดังนั้นแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ไม่เกิดการบังแสงแดดจะแสดงได้ดังสมการที่ (6.8)

$$I_{UNSHADE} = I_{PH} - I_o \left[ \exp \left( \frac{V_{UNSHADE} + I_{UNSHADE} R_s}{a N_s V_{TH}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{UNSHADE} + I_{UNSHADE} R_s}{R_p} \quad (6.8)$$

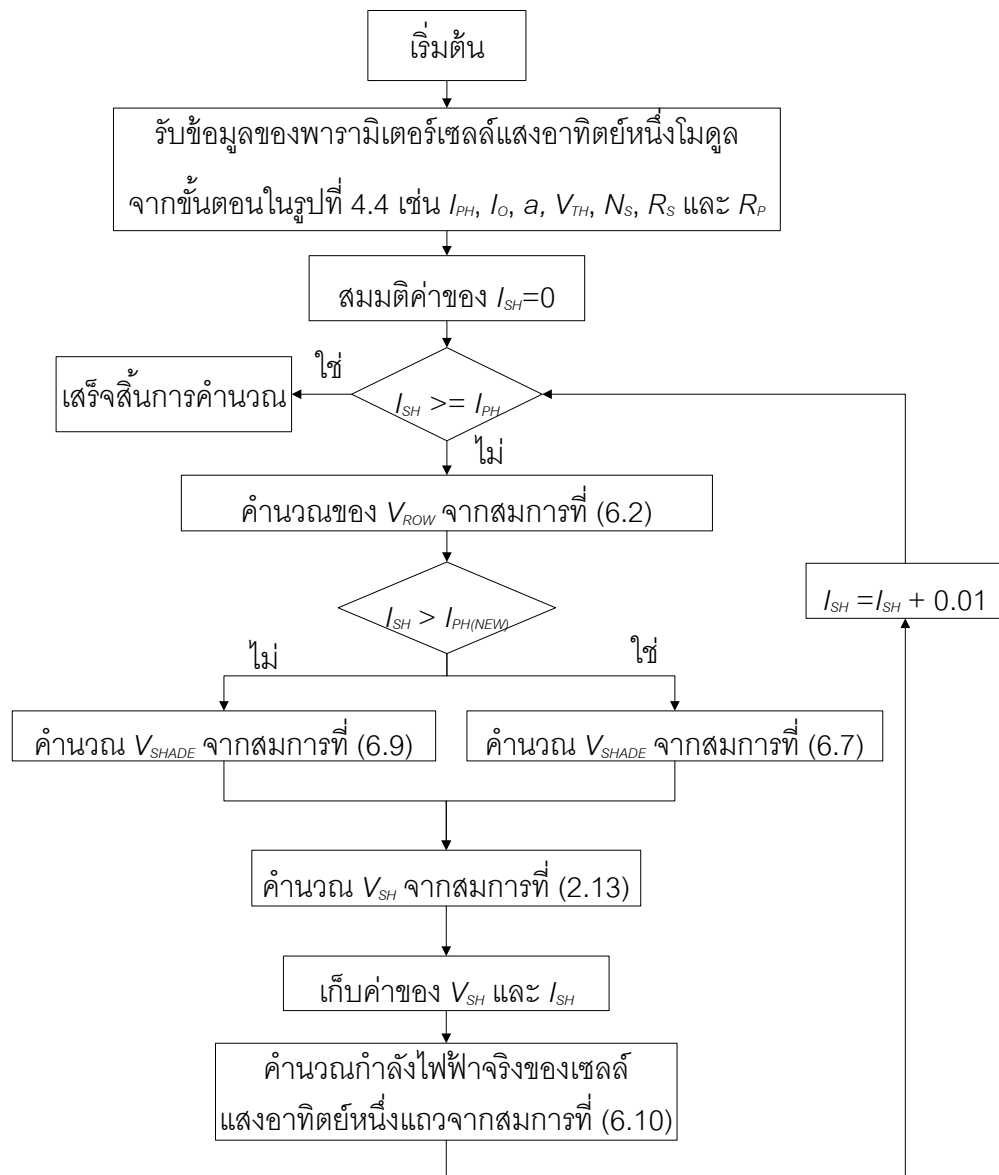
- ช่วงที่ 2:  $0 \leq I_{SHADE} \leq I_{PH(NEW)}$  และ  $0 \leq I_{UNSHADE} \leq I_{PH(NEW)}$

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดดมีกระแสที่ไหลภายในแถวอยู่ในช่วงนี้ จะส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดนั้นจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟปกติเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ดังนั้นแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดดจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6.9)

$$I_{SHADE} = I_{PH(NEW)} - I_o \left[ \exp \left( \frac{V_{SHADE} + I_{SHADE} R_s}{a N_s V_{TH}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{SHADE} + I_{SHADE} R_s}{R_{P(NEW)}} \quad (6.9)$$

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบังแสงแดดมีกระแสที่ไหลภายในแถวอยู่ในช่วงนี้ ซึ่งพบว่าจะมีหลักการคำนวณแบบเดียวกับกลุ่มที่ 1 ดังนั้นแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ไม่เกิดการบังแสงแดดจะแสดงได้ดังสมการที่ (6.8)

ในลำดับถัดไปจะแสดงขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถว และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวเมื่อเกิดการบังแสงแดด โดยการเชื่อมต่อภายในหนึ่งแถวจะเชื่อมต่อแบบอนุกรมดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ และไหลภายในหนึ่งแถวจะมีค่าเท่ากัน ( $I_{SH} = I_{SHADE} = I_{UNSHADE}$ ) ดังนั้นต้องคำนวณแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถว ซึ่งจะสามารถแสดงขั้นตอนการคำนวณได้ดังภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน  
ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3

- ขั้นตอนที่ 1 : รับข้อมูลพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากขั้นตอนในภาพที่ 4.4 ซึ่งประกอบไปด้วย  $I_{PH}$ ,  $I_0$ ,  $a$ ,  $V_{TH}$ ,  $N_s$ ,  $R_p$  และ  $R_s$
- ขั้นตอนที่ 2 : สมมติค่าเริ่มต้นของ  $I_{SH}$  (จากการเชื่อมต่อแบบอนุกรมจะพบว่า  $I_{SH} = I_{SHADE} = I_{UNSHADE} = I_{ROW}$ ) ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ และคำนวณ  $V_{ROW}$  จากสมการที่ (6.2)
- ขั้นตอนที่ 3 : นำข้อมูลของความเข้มแสงหลังจากที่เกิดการบังแสงแดดมาคำนวณกระแสไฟโตอิเล็กทริกใหม่ ( $I_{PH(NEW)}$ ) จากสมการที่ (4.22)

ขั้นตอนที่ 4 : เปรียบเทียบระหว่าง  $I_{SH}$  และ  $I_{PH(NEW)}$

- $I_{SH}$  มากกว่า  $I_{PH(NEW)}$  จะคำนวณแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด ( $V_{SHADE}$ ) จากสมการที่ (6.7)
- $I_{SH}$  น้อยกว่า  $I_{PH(NEW)}$  จะคำนวณแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดดจากสมการที่ (6.9)

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณหาแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวจากสมการที่ (2.13)

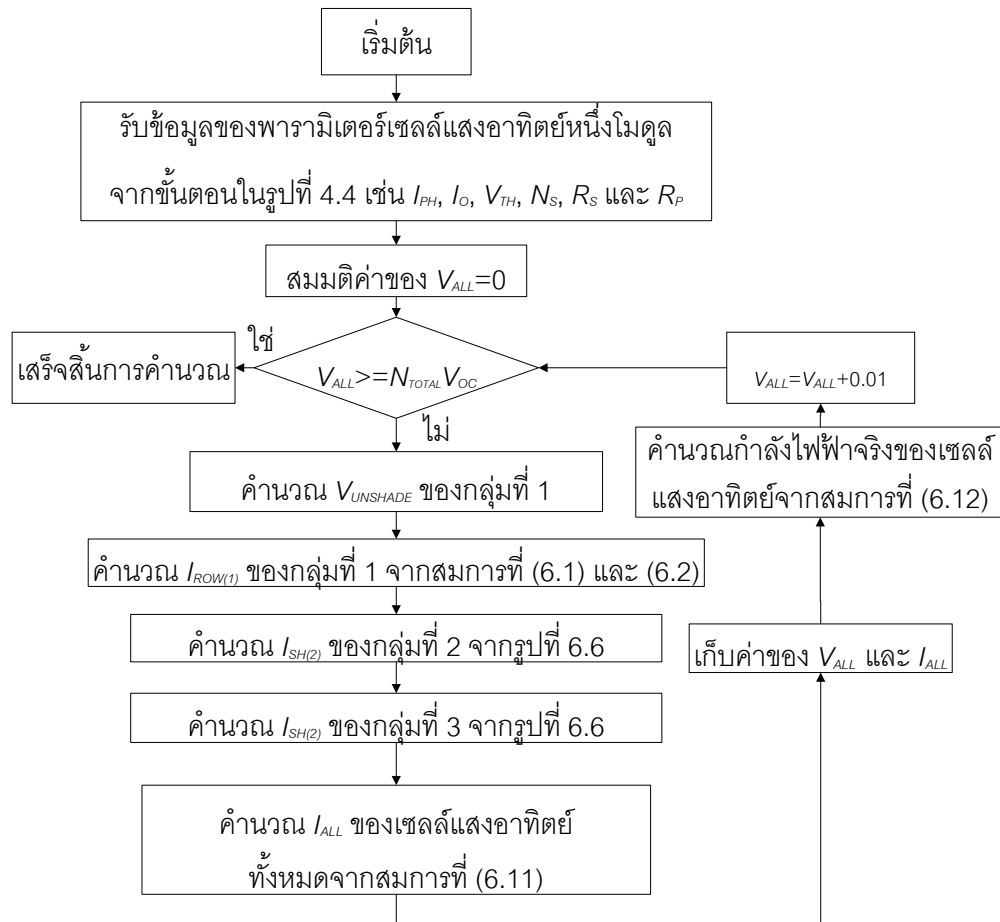
ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวจากสมการที่ (6.10)

$$P_{SH} = V_{SH} I_{SH} \quad (6.10)$$

ขั้นตอนที่ 7 : บันทึกค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3

ขั้นตอนที่ 8 : ปรับ  $I_{SH}$  ให้มีค่าเพิ่มขึ้น และนำมาคำนวณแรงดันใหม่ตามขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่ง  $I_{SH}$  มีค่ามากกว่า  $I_{PH}$  จะหยุดการคำนวณ

หลังจากคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของแต่ละกลุ่ม จะนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งจะพบว่าแต่ละแถวนั้นจะเชื่อมต่อกันแบบขนาน ดังนั้นแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถว และของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะมีค่าเท่ากัน ( $V_{PV} = V_{SH} = V_{ROW}$ ) ดังนั้นต้องคำนวณกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละแถว ซึ่งจะสามารถแสดงขั้นตอนการคำนวณได้ดังภาพที่ 6.3



ภาพที่ 6.3 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน  
ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

- ขั้นตอนที่ 1 : รับข้อมูลของพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่มาจากขั้นตอนในภาพที่ 4.4 เช่น  $I_{PH}$ ,  $I_O$ ,  $V_{TH}$ ,  $N_S$ ,  $R_P$  และ  $R_S$
- ขั้นตอนที่ 2 : สมมติพารามิเตอร์เริ่มต้นของ  $V_{ALL}$  (จากแต่ละกลุ่มจะมีการเชื่อมต่อแบบขนานซึ่งทำให้แต่ละแถวจะเชื่อมต่อแบบขนานด้วย ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า  $V_{ALL} = V_{SH} = V_{ROW}$ ) ให้มีค่าเท่ากับศูนย์เป็นค่าเริ่มต้น
- ขั้นตอนที่ 3 : ค่าของ  $I_{ROW(1)}$  ของกลุ่มที่ 1 จากสมการที่ (6.1) และ (6.2)
- ขั้นตอนที่ 4 : ค่าของ  $I_{SH(2)}$  และ  $I_{SH(3)}$  ของกลุ่มที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จากขั้นตอนในภาพที่ 6.6
- ขั้นตอนที่ 5 : ค่าของ  $I_{ALL}$  ของทั้ง 3 กลุ่ม จากสมการที่ (6.11)

$$I_{ALL} = N_{ROW(1)} I_{ROW(1)} + N_{ROW(2)} I_{SH(2)} + N_{ROW(3)} I_{SH(3)} \quad (6.11)$$

โดย

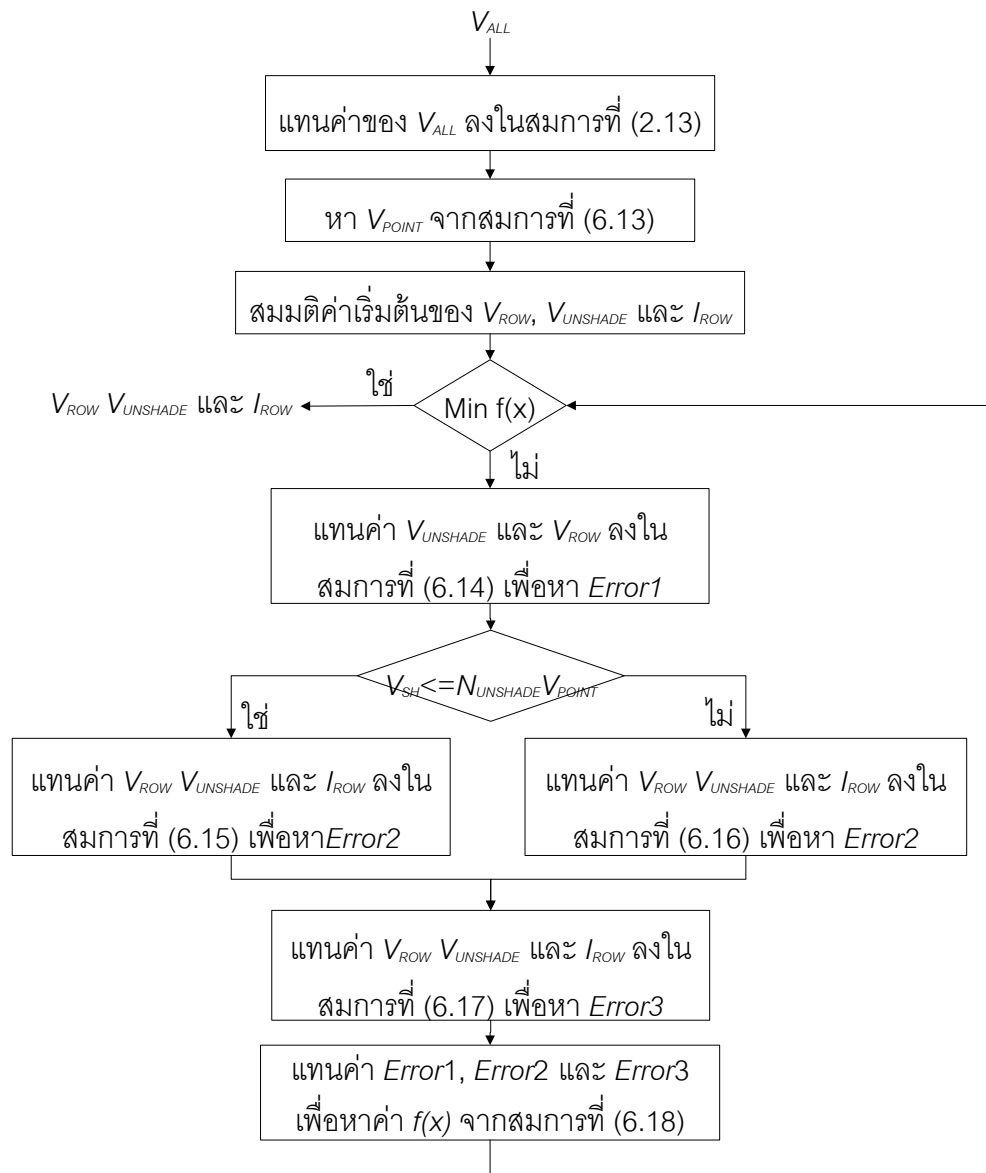
$I_{ALL}$	คือ	กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด
$I_{ROW(1)}$	คือ	กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1 (A)
$I_{SH(2)}$	คือ	กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 2 (A)
$I_{SH(3)}$	คือ	กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 3 (A)
$N_{ROW(1)}$	คือ	จำนวนแถวที่มีการเชื่อมต่อกันของกลุ่มที่ 1
$N_{ROW(2)}$	คือ	จำนวนแถวที่มีการเชื่อมต่อกันของกลุ่มที่ 2
$N_{ROW(3)}$	คือ	จำนวนแถวที่มีการเชื่อมต่อกันของกลุ่มที่ 3

ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6.12)

$$P_{ALL} = V_{ALL} I_{ALL} \quad (6.12)$$

ขั้นตอนที่ 7 : ปรับ  $V_{ALL}$  ให้มีค่าเพิ่มขึ้น และนำมาหาค่าแรงดันใหม่ย้อนกลับไปทำที่ขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่ง  $V_{ALL}$  มีค่ามากกว่า  $N_{TOTAL} V_{OC}$  จะหยุดการคำนวณ

จากขั้นตอนในภาพที่ 6.3 จะพบว่าขั้นตอนที่ 4 จะได้กล่าวว่าการคำนวณ  $I_{SH(2)}$  และ  $I_{SH(3)}$  ของกลุ่มที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เพียงเล็กน้อย ซึ่งขั้นตอนการคำนวณ  $I_{SH(2)}$  และ  $I_{SH(3)}$  ของกลุ่มที่ 2 และ 3 ตามลำดับ อย่างละเอียดจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6.4



ภาพที่ 6.4 ขั้นตอนการคำนวณกระแสภายในหนึ่งแถวของกลุ่มที่ 2 และ 3 จากขั้นตอนที่ 4

- ขั้นตอนที่ 1 : แทนค่าของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด (โดยแต่ละแถวจะเชื่อมต่อแบบขนาน ดังนั้น  $V_{ALL} = V_{SH} = V_{ROW}$ ) ลงในสมการที่ (2.13)
- ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ไม่เกิดการบังแสงแต่ ( $V_{POINT}$ ) เมื่อกระแสมีค่าเท่ากับกระแสลัดวงจรเมื่อความเข้มแสงเกิดการเปลี่ยนแปลง ( $I_{SC(NEW)}$ ) จากสมการที่ (6.13)

$$I_{SC(NEW)} = I_{PH} - I_o \left[ \exp \left( \frac{V_{POINT} + I_{SC(NEW)} R_s}{a N_s V_{TH}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{POINT} + I_{SC(NEW)} R_s}{R_p} \quad (6.13)$$

โดย

$V_{POINT}$  คือ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ไม่เกิดการบังแสงแดด เมื่อกระแสที่ไหลผ่านมีค่าเท่ากับกระแสลัดวงจรเมื่อความเข้มแสงเกิดการเปลี่ยนแปลง ( $I_{SC(NEW)}$ ) (V)

ขั้นตอนที่ 3 : แทนค่าพารามิเตอร์  $V_{ROW}$  และ  $V_{SHADE}$  ลงในสมการที่ (6.14) เพื่อที่จะคำนวณ  $Error1$

$$Error1 = \left( \frac{N_{UNSHADE}}{N_{TOTAL}} \right) V_{ROW} + (N_{SHADE}) V_{SHADE} - V_{SH} \quad (6.14)$$

ขั้นตอนที่ 4 : เปรียบเทียบระหว่าง  $V_{SH}$  และ  $N_{UNSHADE} V_{POINT}$

- $V_{SH}$  น้อยกว่า  $N_{UNSHADE} V_{POINT}$  จะแทนค่าพารามิเตอร์  $V_{ROW}$ ,  $V_{SHADE}$  และ  $I_{ROW}$  ลงในสมการที่ (6.15) เพื่อที่จะคำนวณ  $Error2$
- $V_{SH}$  มากกว่า  $N_{UNSHADE} V_{POINT}$  จะแทนค่าพารามิเตอร์  $V_{ROW}$ ,  $V_{SHADE}$  และ  $I_{ROW}$  ลงในสมการที่ (6.16) เพื่อที่จะคำนวณ  $Error2$

(เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวจะมีการเชื่อมต่อแบบอนุกรม ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า  $I_{ROW} = I_{SH} = I_{SHADE}$ )

$$Error2 = (I_{PH(NEW)} - I_{ROW}) R_{P(NEW)} - I_{ROW} R_s - V_{SHADE} \quad (6.15)$$

$$Error2 = I_{PH(NEW)} - I_o \left[ \exp \left( \frac{V_{SHADE} + I_{ROW} R_s}{a N_s V_{TH}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{SHADE} + I_{ROW} R_s}{R_{P(NEW)}} - I_{SH} \quad (6.16)$$

ขั้นตอนที่ 5 : แทนค่าพารามิเตอร์  $V_{ROW}$ ,  $V_{SHADE}$  และ  $I_{ROW}$  ลงในสมการที่ (6.17) เพื่อที่จะคำนวณ  $Error3$



$$Error3 = I_{PH} - I_o \left[ \exp \left( \frac{V_{ROW} + I_{ROW} N_{TOTAL} R_S}{a N_S N_{TOTAL} V_{TH}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{ROW} + I_{ROW} N_{TOTAL} R_S}{N_{TOTAL} R_P} - I_{ROW} \quad (6.17)$$

ขั้นตอนที่ 7 : ค้นหาพารามิเตอร์ทั้งสาม  $V_{ROW}$ ,  $V_{SHADE}$  และ  $I_{ROW}$  ที่จะทำให้ค่าของ  $f(x)$  ต่ำที่สุด โดยสมการของ  $f(x)$  จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6.18)

$$f(x) = Error1^2 + Error2^2 + Error3^2 \quad (6.18)$$

ขั้นตอนที่ 8 : เมื่อเสร็จสิ้นการคำนวณจะได้พารามิเตอร์  $V_{ROW}$ ,  $V_{SHADE}$  และ  $I_{ROW}$  ของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแถว

## 6.2 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอด

หัวข้อนี้จะศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีการเชื่อมต่อบายพาสไดโอด โดยสมมติว่ารายละเอียดของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แสดงได้ดังตารางที่ 6.1 ดังนั้นจะแบ่งการพิจารณาออกเป็นตามชนิดของกลุ่มดังต่อไปนี้

**กลุ่มที่ 1** จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้เกิดการบังแสงแดดเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อในกลุ่มที่ 1 จะไม่มีช่วงของกระแสที่จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นโหลด ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มี และมีบายพาสไดโอดหนึ่งโมดูลจะมีหลักการคำนวณเหมือนกัน ซึ่งสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลของกลุ่มที่ 1 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6.1)

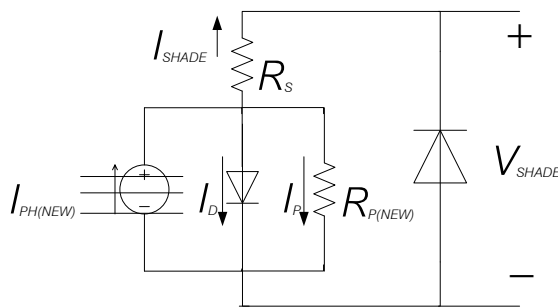
**กลุ่มที่ 2 และ 3** จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดและไม่เกิดการบังแสงแดดเชื่อมต่อร่วมกันภายในหนึ่งแถว โดยหลักการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ของกลุ่มที่ 2 และ 3 จะมีลักษณะแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 ดังนั้นจะแบ่งการพิจารณาเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลภายในกลุ่มที่ 2 และ 3 ได้เป็น 2 ประเภท คือ

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด
- เซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด

หลักการคำนวณเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลทั้ง 2 ประเภท จะพิจารณากระแสที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ประเภท โดยแบ่งช่วงของกระแสที่ไหลผ่านได้เป็น 2 ช่วง คือ

- ช่วงที่ 1:  $I_{PH} > I_{SHADE} > I_{PH(NEW)}$  และ  $I_{PH} > I_{UNSHADE} > I_{PH(NEW)}$

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดด ซึ่งจากการวิเคราะห์ช่วงกระแสเดียวกันของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอด จะพบว่าแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะมีค่าติดลบ โดยแรงดันที่ติดลบจะส่งผลให้บายพาสไดโอดทำหน้าที่เป็นการไบแอสตรง (Forward bias) ดังแสดงที่ภาพที่ 6.5 จึงทำให้กระแสไหลผ่านบายพาสไดโอดอย่างเดียว ซึ่งจะไม่เหมือนกับแบบจำลองของการบังแสงแดดที่กล่าวไปแล้วในภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.5 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดด

ถ้ากระแสที่ไหลผ่านอยู่ภายในช่วงของกระแสนี้จะพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอดจะส่งผลให้เปรียบเสมือนการที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นโหลดหายไป ดังนั้นจะคำนวณแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดดได้ดังสมการที่ (6.19)

$$V_{SHADE} \approx 0 \quad (6.19)$$

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบังแสงแดดจะมีลักษณะการคำนวณเหมือนกับเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบังแสงแดดของกลุ่มที่ 1 ดังนั้นแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบังแสงแดดจะแสดงได้ดังสมการที่ (6.8)

- ช่วงที่ 2:  $0 \leq I_{SHADE} \leq I_{PH(NEW)}$  และ  $0 \leq I_{UNSHADE} \leq I_{PH(NEW)}$

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดดที่มีกระแสที่ไหลภายในแถวอยู่ในช่วงนี้ จะทำให้หลักการคำนวณของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีและมีบายพาสไดโอดจะเหมือนกัน ดังนั้นแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดดจะแสดงได้ดังสมการที่ (6.9)

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบังแสงแดดที่มีกระแสที่ไหลภายในแถวอยู่ในช่วงนี้ จะมีหลักการคำนวณของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีและมีบายพาสไดโอดจะเหมือนกัน ดังนั้นแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบังแสงแดดจะแสดงได้ดังสมการที่ (6.8)

ในลำดับถัดไปจะแสดงขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถว และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวเมื่อเกิดการบังแสงแดด ซึ่งจะมีขั้นตอนการคำนวณคล้ายกับขั้นตอนการคำนวณในภาพที่ 6.2 โดยจะแตกต่างที่จะมีการเปลี่ยนสมการที่ (6.7) ไปเป็นสมการที่ (6.19)

หลังจากคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของแต่ละกลุ่ม จะนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งจะมีขั้นตอนการคำนวณคล้ายกับขั้นตอนการคำนวณในภาพที่ 6.3 โดยจะแตกต่างที่จะมีการเปลี่ยนสมการที่ (6.15) ไปเป็นสมการที่ (6.20)

$$Error2 = V_{SHADE} = 0 \quad (6.20)$$

### 6.3 สรุป

บทที่ 6 นี้จะขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด และแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิจารณาจะประกอบไปด้วย 2 ประเภท คือแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีและมีบายพาสไดโอด โดยแบบจำลองทั้งสองจะมีลักษณะการคำนวณที่คล้ายคลึงกัน

## บทที่ 7

### ระบบทดสอบ

บทนี้จะนำเสนอระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นระบบทดสอบในการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้นำเสนอและผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จริง ซึ่งการเปรียบเทียบจะได้กล่าวอีกครั้งในบทที่ 9 โดยภายในบทนี้จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น 3 หัวข้อ คือ

- 1) สถานที่
- 2) อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) รายละเอียดการเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) ข้อมูลที่บันทึกได้จากการทดสอบ
- 5) สรุป

#### 7.1 สถานที่

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จาก “โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยแห่งชาติของสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา” โดยมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์อื่นๆ เช่น อินเวอร์เตอร์ เป็นต้น ซึ่งบริษัท SMA Solar จำกัด (มหาชน) เข้ามามาร่วมในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะมีการทดสอบร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาเปรียบเทียบแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้พัฒนาขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากอุปสรรคด้านอุปกรณ์ การเปรียบเทียบจะเน้นที่แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งสถานที่ที่ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารเจริญวิศวกรรม ชั้น 20 โดยจะสามารถแสดงภาพสถานที่ได้ดังภาพที่ 7.1



ภาพที่ 7.1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารเจริญวิศวกรรม ชั้น 20

## 7.2 อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้เชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ติดตั้งไว้ที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารเจริญวิศวกรรม ชั้น 20 ซึ่งจะประกอบไปด้วย 4 อุปกรณ์ คือ

- เซลล์แสงอาทิตย์
- อินเวอร์เตอร์
- เซนเซอร์
- ตัวเก็บข้อมูล

### 7.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นรุ่น SP120 ของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) จำนวน 10 โมดูล ซึ่งข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์จะได้อธิบายในหัวข้อที่ 2.3 ของบทที่ 2 นอกจากนี้บทที่ 4 จะกล่าวถึงหลักการคำนวณหาพารามิเตอร์เพิ่มเติมจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะแสดง

ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7.2



ภาพที่ 7.2 เซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SP120

### 7.2.2 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับดังที่กล่าวไว้บทที่ 3 ซึ่งการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารเจริญวิศวกรรม ชั้น 20 ใช้อินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL (Sunny Boy 2100TL) โดยภาพลักษณะของอินเวอร์เตอร์จะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7.3



ภาพที่ 7.3 อินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL

อินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL เป็นของบริษัท SMA Solar จำกัด (มหาชน) โดยอินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL จะมีไว้ใช้สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดเล็กและแรงดันต่ำ ซึ่งรายละเอียดของอินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL จะประกอบไปด้วย เช่น จะเป็นแบบอินเวอร์เตอร์ที่ไม่มีหม้อแปลง (Transformerless inverter) และเป็นอินเวอร์เตอร์รุ่นแรกๆที่เป็นอินเวอร์เตอร์ประเภทที่ไม่ได้ประกอบด้วยหม้อแปลงภายใน นอกจากนี้อินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL จะประกอบไปด้วยข้อดีอีกหลายประการ เช่น มีน้ำหนักที่เบา และการติดตั้งจะมีวิธีการที่ง่าย โดยจะสามารถติดตั้งได้ทั้งที่อยู่ภายใน หรือภายนอกอาคาร โดยรายละเอียดทางเทคนิคพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์รุ่นที่ 2100TL สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 รายละเอียดทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์รุ่นที่ 2100TL

รายละเอียดของอินเวอร์เตอร์	
กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	2,200 (W)
แรงดันสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	600 (V)
กระแสสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	11 (A)
ช่วงของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้	200-480 (V)
กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	2,100 (W)
กระแสสูงสุดที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	11 (A)
ช่วงของแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	220-240 (V)
ประสิทธิภาพ	96%

### 7.2.3 กล่องเซนเซอร์

กล่องเซนเซอร์ (SensorBox) ตรวจวัดภายในจะประกอบไปด้วย เซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลทางด้านความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จะตรวจวัดอุณหภูมิได้เป็น 2 ประเภท นั่นคือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งโดยทั่วไปอุณหภูมิทั้งสองค่าจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะสามารถแสดงภาพของกล่องเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ดังภาพที่ 7.4 และ 7.5



ภาพที่ 7.4 เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีรายละเอียดที่จำเป็นต้องปฏิบัติเพื่อสามารถตรวจวัดความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ใกล้เคียงความเข้มแสงจริงมากที่สุด ซึ่งรายละเอียดจะประกอบไปด้วย [5]

- สถานที่ที่กล่องเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ควรจะต้องมีการติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร
- อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอกของกล่องเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ควรที่จะอยู่ระหว่าง  $-25^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+70^{\circ}\text{C}$
- การติดตั้งกล่องเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงที่ของเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องติดตั้งอยู่ในมุมที่วัดจากพื้นดิน และทิศทางที่เหมือนกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง เพื่อที่จะทำให้การวัดความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าตรงกับความเข้มแสงจริง และจะสามารถเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกต้องมากขึ้น





ภาพที่ 7.5 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งเซนเซอร์ภายนอกตรวจวัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และเซลล์แสงอาทิตย์จะมีรูปแบบการเชื่อมต่อที่แตกต่างกับกล่องเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งเซนเซอร์ภายนอกจะมีรายละเอียดที่ประกอบไปด้วย

- สถานที่ที่ใช้ในการติดตั้งจะขึ้นอยู่กับความยาวของสายเคเบิลที่จะใช้ส่งข้อมูลอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล
- โดยทั่วไปการติดตั้งของเซนเซอร์ภายนอกจะติดตั้งไว้ที่ด้านหลังของกล่องเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

#### 7.2.4 ตัวเก็บข้อมูล

ตัวเก็บข้อมูล (Data recorder) เป็นอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน โดยปกติตัวเก็บข้อมูลจะใช้ในการสะสมข้อมูลทุกรูปแบบ ซึ่งที่มาของข้อมูลจะมาจากหลายแห่ง เช่น จากอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยข้อมูลจากอินเวอร์เตอร์จะประกอบไปด้วยสภาวะโหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ หรือจะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น หรือมาจากเซนเซอร์เก็บข้อมูลที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลของความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้ตัวเก็บข้อมูลจะมีความสามารถในการเตือน โดยเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการดำเนินงานที่ผิดพลาดตัวเก็บข้อมูลจะมีการส่งข้อความที่แสดงว่ามีการทำงานผิดพลาดไปยังอีเมล (E-mail) และถึงแม้ว่าพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งตัวเก็บ

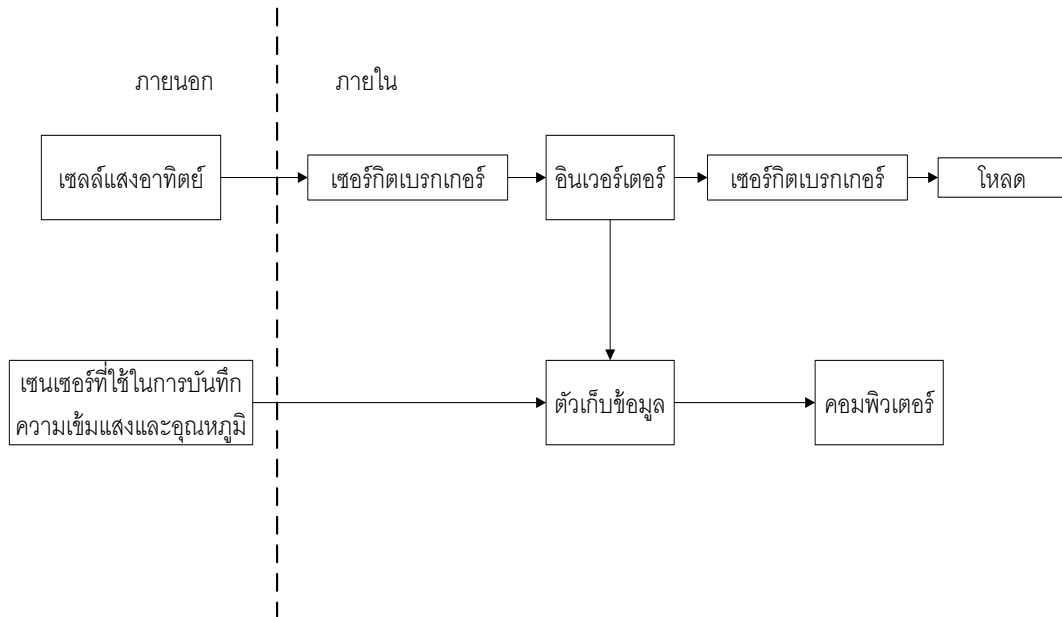
ข้อมูลจะไม่มี การเชื่อมต่อของสายโทรศัพท์ ข้อมูลที่ตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถถูกส่งผ่านโดยผ่านพอร์ทัลสื่อสาร (Global system for mobile communications modem: GSM modem) ได้ ซึ่งภาพลักษณะของตัวเก็บข้อมูลจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7.6



ภาพที่ 7.6 ตัวเก็บข้อมูล

### 7.3 รายละเอียดการเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 7.2 จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งภายในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ดังกล่าวไปแล้ว โดยจะสามารถแสดงรายละเอียดของการเชื่อมต่อได้ดังภาพที่ 7.5



ภาพที่ 7.7 รายละเอียดการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 7.5 จะกล่าวได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร โดยเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SP120 จะมีการเชื่อมต่อแบบอนุกรมเป็นจำนวน 10 โมดูล โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะเชื่อมต่อกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit breaker) 1 ชุด ไว้ใช้ในการป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์จากเหตุการณ์ที่จะทำให้อันตรายต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อมาจะเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์รุ่น SB2100TL ซึ่งมีหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อที่จะจ่ายเข้าสู่โหลดภายในอาคาร ถัดจากอินเวอร์เตอร์จะแบ่งการเชื่อมต่อออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 7.5 ส่วนแรกเป็นส่วนที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้เข้าสู่ตัวเก็บข้อมูล นอกจากนี้ข้อมูลทางด้านความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกบันทึกจากเซนเซอร์ แล้วจะส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังตัวเก็บข้อมูล แล้วตัวเก็บข้อมูลจะส่งข้อมูลที่ทำการตรวจวัดไว้ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะแสดงข้อมูลต่างๆที่ได้ทำการตรวจวัดได้ และส่วนที่สองจากอินเวอร์เตอร์จะส่งผ่านไปยังเซอร์กิตเบรกเกอร์อีก 1 ชุด เพื่อป้องกันภัยอันตรายจากภายนอก แล้วค่อยทำการเชื่อมต่อเข้าสู่โหลดของอาคาร

#### 7.4 ข้อมูลที่บันทึกได้จากการทดสอบ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงความหมายของข้อมูลที่ได้นบันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตัวเก็บข้อมูล (Data recorder) ดังที่กล่าวไปในหัวข้อย่อยที่ 7.2.4 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะประกอบไปด้วยหลายหลายพารามิเตอร์ โดยจะสามารถแสดงตัวอย่างพารามิเตอร์ที่สำคัญได้ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ตัวอย่างพารามิเตอร์ในช่วงเวลาหนึ่ง

Time	IntSolIrr	TmpAmb	TmpMdul	dl	Fac	h-On	h-Total
hh:mm	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	mA	Hz	h	h
8:25	391.22	30.42	37.63	4	49.95	2576.7	2347.1

lac	Ipv	Pac	Status	Uac	Upv	Zac
mA	mA	W		V	V	Ohm
1422.25	2190	321.4	Mpp	226.23	159.8	0.46

โดย

Time	คือ	เวลาที่ได้ทำการบันทึกข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการบันทึกจะบันทึกทุก 5 นาที
IntSolIrr	คือ	ความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยความเข้มแสงดังกล่าวจะเป็นความเข้มแสงเฉลี่ยภายในทุก 5 นาที
TmpAmb	คือ	อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอุณหภูมิดังกล่าวจะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยทุก 5 นาที
TmpMdul	คือ	อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอุณหภูมิดังกล่าวจะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยทุก 5 นาที
dl	คือ	กระแสรั่วไหล (Leakage current) ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยกระแสดังกล่าวจะเป็นกระแสเฉลี่ยทุก 5 นาที
Fac	คือ	ความถี่ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
h-On	คือ	จำนวนชั่วโมงทั้งหมดที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงาน
h-Total	คือ	จำนวนชั่วโมงทั้งหมดที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลด ซึ่งได้แก่ระบบไฟฟ้าที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารเจริญวิศวกรรม
lac	คือ	ไฟฟ้ากระแสสลับที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตึก 4 ชั้น 20 โดยกระแสดังกล่าวจะเป็นกระแสเฉลี่ยทุก 5 นาที

Ipv	คือ	ไฟฟ้ากระแสตรงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด โดยกระแสดังกล่าวจะเป็นกระแสเฉลี่ยทุก 5 นาที
Pac	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยกำลังไฟฟ้าจริงดังกล่าวจะเป็นกำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ยทุก 5 นาที (จะไม่ใช้กำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด)
Status	คือ	สภาวะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
Uac	คือ	แรงดันของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ณ จุดเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบไฟฟ้าที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารเจริญวิศวกรรม ชั้น 20 โดยแรงดันดังกล่าวจะเป็นแรงดันเฉลี่ยทุก 5 นาที
Upv	คือ	แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด โดยแรงดันดังกล่าวจะเป็นแรงดันเฉลี่ยทุก 5 นาที
Zac	คือ	ความต้านทานของระบบไฟฟ้าที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารเจริญวิศวกรรม ชั้น 20

## 7.5 สรุป

บทที่ 7 นี้กล่าวเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นระบบทดสอบในการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นและผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งภายในบทนี้จะได้กล่าวถึงสถานที่ติดตั้ง ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ รายละเอียดของการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และข้อมูลที่บันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

## บทที่ 8

### ผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอผลการทดลองเป็น 3 ส่วนงานวิจัย ซึ่งทั้ง 3 ส่วนงานวิจัยได้นำเสนอไปในบทที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ ดังนั้นบทนี้จะแบ่งการนำเสนอออกได้เป็น 4 หัวข้อ คือ

- 1) ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) ผลการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) ผลการทดลองผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) สรุปผลการทดลอง

#### 8.1 ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

หัวข้อนี้นำเสนอผลการคำนวณจากพารามิเตอร์เพิ่มเติมของข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 4 โดยจะแบ่งการนำเสนอผลการคำนวณของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 2 หัวข้อย่อย คือ

- เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท เคียวเซร่า จำกัด
- เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)

การที่ต้องคำนวณข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองบริษัทเนื่องมาจากการเปรียบเทียบของแต่ละบริษัทจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังจะแสดงไว้ในบทที่ 9 ต่อไป

##### 8.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท เคียวเซร่า จำกัด

หัวข้อย่อยนี้จะนำข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด ตามที่แสดงในตารางที่ 2.3 มาคำนวณหาพารามิเตอร์เพิ่มเติมเพื่อที่จะคำนวณกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าจริงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยจะสามารถแสดงพารามิเตอร์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด ได้ดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด

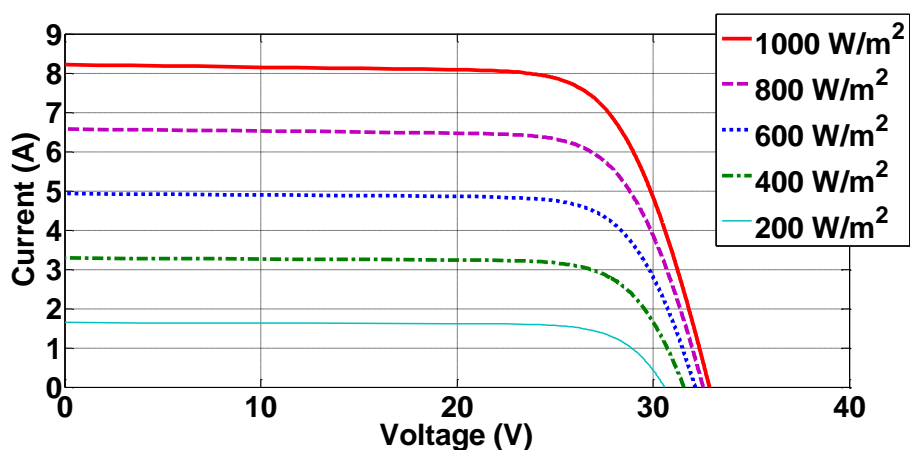
พารามิเตอร์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล	
แรงดันเปิดวงจร ( $V_{OC}$ )	32.9 (V)
กระแสลัดวงจร ( $I_{SC}$ )	8.210 (A)
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K_I$ )	0.00318 ( $A/^{\circ}C$ )
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเปิดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K_V$ )	-0.12300 ( $V/^{\circ}C$ )
จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล ( $N_S$ )	54
กระแสอิ่มตัวของไดโอด ( $I_0$ )	$7.28 \times 10^{-10}$ (A)
กระแสไฟโตอิเล็กทริก ( $I_{PH}$ )	8.226 (A)
ความต้านทานสมมูลที่มีการเชื่อมต่อแบบอนุกรม ( $R_S$ )	0.323 ( $\Omega$ )
ความต้านทานสมมูลที่มีการเชื่อมต่อแบบขนาน ( $R_P$ )	168.69 ( $\Omega$ )

จากหัวข้อที่ 4.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย ความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะแบ่งการพิจารณาปัจจัยทั้งสองเป็น 2 การทดลอง คือ

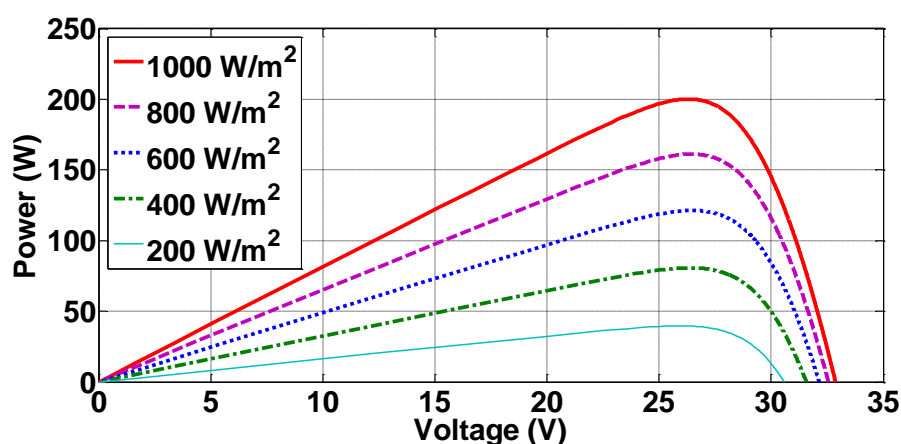
- ความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์
- อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

#### 8.1.1.1 ความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด จะมีพารามิเตอร์ทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 8.1 ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงจาก 1,000, 800, 600, 400 จนกระทั่งถึง 200  $W/m^2$  ณ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็น 25 $^{\circ}C$  ได้ดังภาพที่ 8.1 และ 8.2 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด



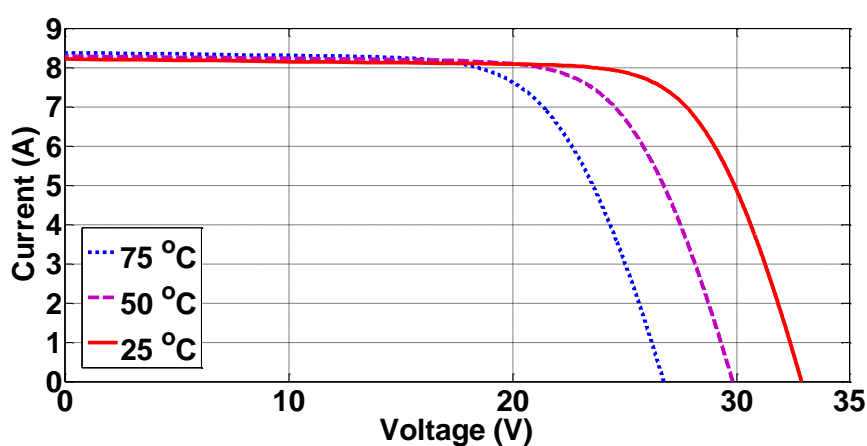
ภาพที่ 8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด

จากภาพที่ 8.1 และ 8.2 จะพบว่าเมื่อความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล และความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะมีลักษณะที่ลดลงด้วยทั้งสอง ความสัมพันธ์ ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าเมื่อความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงกำลังไฟฟ้าจริง สูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่สามารถผลิตได้จะมีค่าลดลง

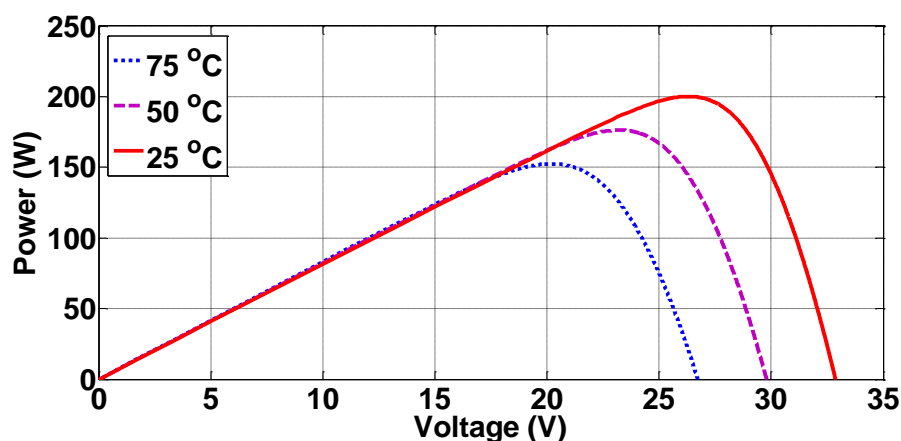


### 8.1.1.2 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด จะมีพารามิเตอร์ทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 8.1 ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล และความสัมพัทธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 75, 50 จนกระทั่งถึง 25 °C ณ ความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็น 1,000 W/m<sup>2</sup> ได้ดังภาพที่ 8.3 และ 8.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด



ภาพที่ 8.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบริษัท เคียวเซร่า จำกัด

จากภาพที่ 8.3 และ 8.4 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าที่ลดลง จะทำให้กระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ( $I_{SC}$ ) จะมีค่าที่ลดลง อย่างไรก็ตามกระแสลัดวงจรจะลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะเป็นผลเนื่องมาจากค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K_I$ ) จะมีค่าน้อยมาก และเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง จะทำให้แรงดันเปิดวงจร ( $V_{OC}$ ) มีค่าที่สูงขึ้นด้วย ดังแสดงในความสัมพันธ์ทั้งสอง ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าเมื่ออุณหภูมิมูลค่าลดลงจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่สามารถผลิตได้มีค่าที่เพิ่มขึ้น

### 8.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัทโซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)

หัวข้อย่อยนี้จะนำข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) ตามที่แสดงในตารางที่ 2.4 มาคำนวณหาพารามิเตอร์เพิ่มเติมเพื่อที่จะคำนวณกระแสแรงดัน และกำลังไฟฟ้าจริงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 พารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)

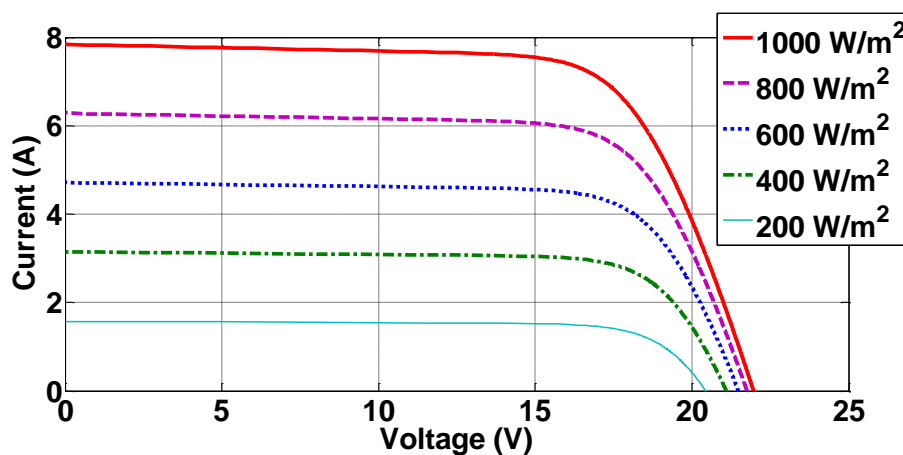
พารามิเตอร์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล	
แรงดันเปิดวงจร ( $V_{OC}$ )	22 (V)
กระแสลัดวงจร ( $I_{SC}$ )	7.84 (A)
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K_I$ )	0.0032 ( $A/^{\circ}C$ )
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเปิดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K_V$ )	-0.0916 ( $V/^{\circ}C$ )
จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล ( $N_S$ )	36
กระแสอิ่มตัวของไดโอด ( $I_0$ )	$6.4757 \times 10^{-10}$ (A)
กระแสไฟโตอิเล็กทริก ( $I_{PH}$ )	7.8791 (A)
ความต้านทานสมมูลที่มีการเชื่อมต่อแบบอนุกรม ( $R_S$ )	0.3357 ( $\Omega$ )
ความต้านทานสมมูลที่มีการเชื่อมต่อแบบขนาน ( $R_P$ )	87.3234 ( $\Omega$ )

จากหัวข้อที่ 4.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย ความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะแบ่งการพิจารณาปัจจัยทั้งสองเป็น 2 การทดลอง คือ

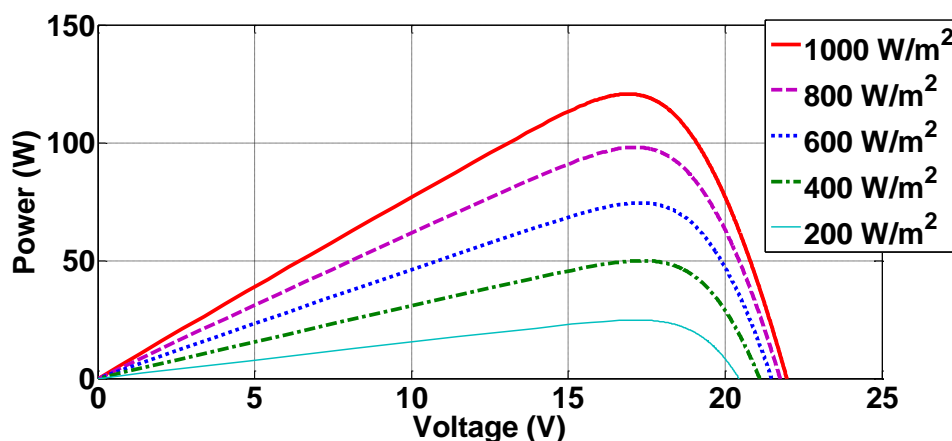
- ความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์
- อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

#### 8.1.2.1 ความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) จะมีพารามิเตอร์ทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 8.2 ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงจาก 1,000, 800, 600, 400 จนกระทั่งถึง 200  $W/m^2$  ณ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็น 25°C ได้ดังภาพที่ 8.5 และ 8.6 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)

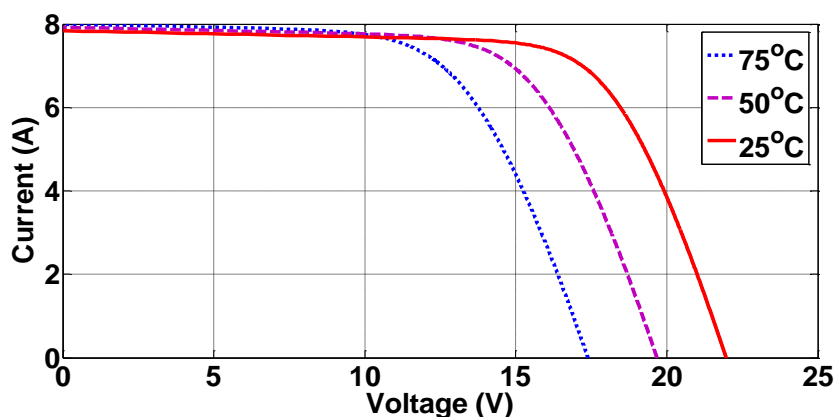


ภาพที่ 8.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)

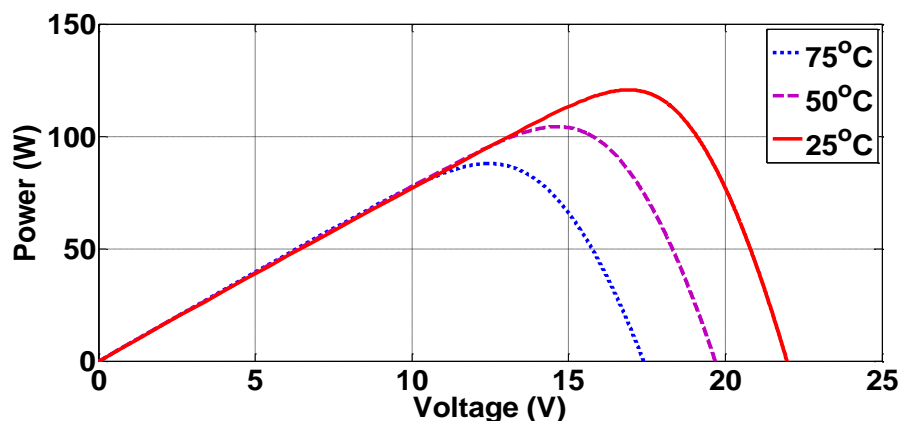
จากภาพที่ 8.5 และ 8.6 จะมีรูปร่างคล้ายกับภาพที่ 8.1 และ 8.2 ดังนั้นเมื่อความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง กำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะลดลงด้วย

#### 8.1.2.2 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) จะมีพารามิเตอร์ทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 8.2 ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล และความสัมพัทธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 75, 50 จนกระทั่งถึง 25 °C ณ ความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็น 1,000 W/m<sup>2</sup> ได้ดังภาพที่ 8.7 และ 8.8 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)



ภาพที่ 8.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)

จากภาพที่ 8.7 และ 8.8 จะมึลักษณะคล้ายกับภาพที่ 8.5 และ 8.6 ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง กำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

## 8.2 ผลการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

หัวข้อนี้จะกล่าวเกี่ยวกับผลการคำนวณของแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่เชื่อมต้อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าดังได้กล่าวไปในบทที่ 5 โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย

เซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท เคียวเซรา จำกัด รุ่น KC200GT โดยพิจารณาอยู่ในสภาวะมาตรฐาน (STC) ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงในตารางที่ 8.1 และจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในเชื่อมต่อ คือ

- จำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต้อแบบอนุกรมร่วมกัน ( $N_{s,A}$ ) เป็นจำนวน 50 โมดูล
- จำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต้อแบบขนานร่วมกัน ( $N_{p,A}$ ) เป็นจำนวน 150 โมดูล

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาจะมีประสิทธิภาพ 98% [28]

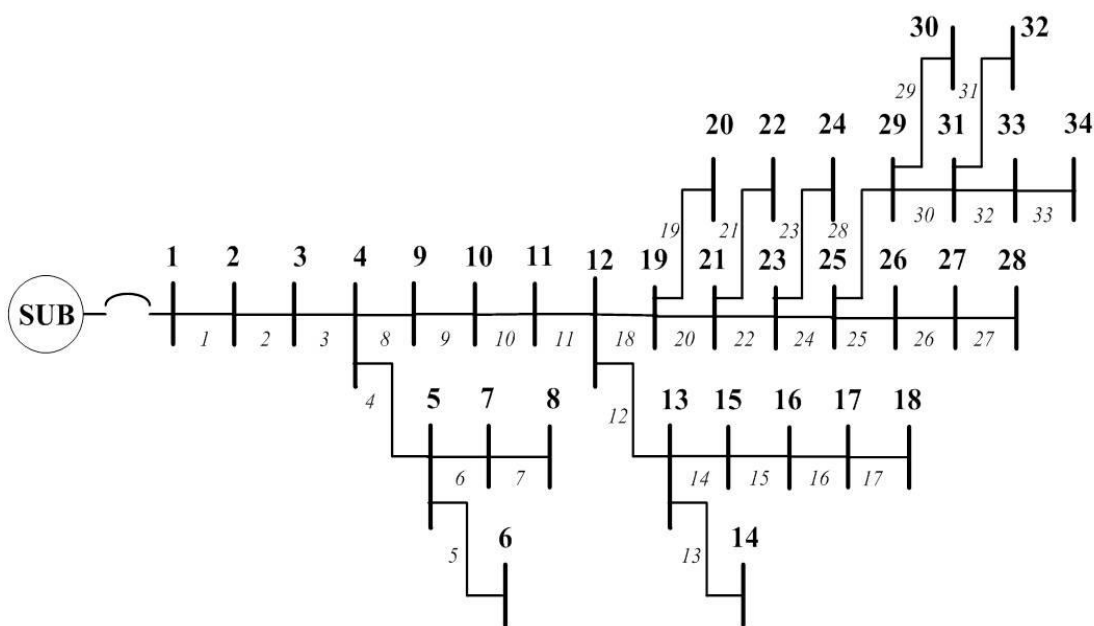
ฟิลเตอร์จะมีรายละเอียดพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลหนึ่งเฟสของอุปกรณ์ ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้ [17]

- ตัวเหนี่ยวนำของฟิลเตอร์ ( $L_f$ ) จะมีค่า  $250 \mu H$
- ตัวเก็บประจุของฟิลเตอร์ ( $C_f$ ) จะมีค่า  $450 \mu F$

หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีพิกัดเป็น 100 kVA จะมีรายละเอียดพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลหนึ่งเฟส ซึ่งแสดงได้ดังต่อไปนี้ [17]

- ความต้านทานของหม้อแปลงไฟฟ้า ( $R_T$ ) จะมีค่า  $0.00321 \Omega$
- รีแอกแตนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า ( $X_T$ ) จะมีค่า  $0.01023 \Omega$
- ความนำไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า ( $G_T$ ) จะมีค่า  $0.01524 \text{ S}$
- ซัสเซปแทนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า ( $B_T$ ) จะมีค่า  $0.05194 \text{ S}$

ระบบทดสอบจะเป็นระบบไฟฟ้าท่าทราย 34 บัส โดยมีขนาด 34 บัส สายจำหน่าย 33 เส้น มีปริมาณความต้องการไฟฟารวมประมาณ 9.1 MW และ 5.5 MVAr และระบบจะรับกำลังไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าต้นทางที่บัส 1 ระบบทดสอบท่าทรายสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8.9 ซึ่งมีการเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 31



ภาพที่ 8.9 โครงข่ายระบบไฟฟ้าท่าทราย

การวิเคราะห์โหมดทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 จะสามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณีศึกษา คือ

- กรณีศึกษาที่ 1: จุดเชื่อมต่อเป็นโหมดการทำงาน PQ โดยไม่มีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟ
- กรณีศึกษาที่ 2: จุดเชื่อมต่อเป็นโหมดการทำงาน PV โดยรักษาแรงดันที่  $0.9648 \text{ p.u.}$
- กรณีศึกษาที่ 3: จุดเชื่อมต่อเป็นโหมดการทำงาน PV โดยรักษาแรงดันที่  $0.9650 \text{ p.u.}$

เมื่อนำข้อมูลดังที่กล่าวไปเข้าสู่อุปกรณ์คำนวณในภาพที่ 5.8 และ 5.9 จะสามารถแสดงผลการทดลองของแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรงดังตารางที่ 8.3 ซึ่งจะมีค่าเท่ากันทั้งสามกรณีศึกษาและแบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ และส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับดังตารางที่ 8.4

ตารางที่ 8.3 พารามิเตอร์ของแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสามกรณีศึกษา

ส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรง	$P_{PV} = 90,011.83 \text{ W}$ , $V_{PV} = 789 \text{ V}$
-----------------------	-----------------------------------------------------------

ตารางที่ 8.4 พารามิเตอร์ของแบบจำลองส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ และส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับทั้งสามกรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่ 1 คือ จุดเชื่อมต่อเป็นโหมดการทำงาน PQ ( $Q_{Grid} = 0$ )	
ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์	$P_{INV} = 88,212.74 \text{ W}$ , $Q_{INV} = 6,994.63 \text{ VAR}$ , $V_{INV} = 211.6296 \text{ V}$ , $\theta = 12.6030^\circ$ , $M = 0.7084$
ส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	$P_{Grid} = 85,911.88 \text{ W}$ , $Q_{Grid} = 0 \text{ VAR}$ , $V_{Grid} = 212.1990 \text{ V}$ , $\theta_{Grid} = -0.0212^\circ$
กรณีศึกษาที่ 2 คือ จุดเชื่อมต่อเป็นโหมดการทำงาน PV ที่ 0.9648 p.u.	
ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์	$P_{INV} = 88,212.74 \text{ W}$ , $Q_{INV} = 39,456.29 \text{ VAR}$ , $V_{INV} = 218.0403 \text{ V}$ , $\theta = 12.5998^\circ$ , $M = 0.7298$
ส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	$P_{Grid} = 85,139.79 \text{ W}$ , $Q_{Grid} = 45,818.56 \text{ VAR}$ , $V_{Grid} = 212.2560 \text{ V}$ , $\theta_{Grid} = -0.0214^\circ$
กรณีศึกษาที่ 3 คือ จุดเชื่อมต่อเป็นโหมดการทำงาน PV ที่ 0.9650 p.u.	
ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์	$P_{INV} = 88,212.74 \text{ W}$ , $Q_{INV} = 77,203.54 \text{ VAR}$ , $V_{INV} = 222.9891 \text{ V}$ , $\theta = 12.5973^\circ$ , $M = 0.7464$
ส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	$P_{Grid} = 84,695.18 \text{ W}$ , $Q_{Grid} = 81,205.14 \text{ VAR}$ , $V_{Grid} = 212.3000 \text{ V}$ , $\theta_{Grid} = -0.0215^\circ$

**กรณีศึกษาที่ 1:** ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานในรูปแบบโหมดการทำงาน PQ โดยไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ( $Q_{Grid}=0$ ) ซึ่งจะพบว่ากำลังไฟฟ้าจริง ( $P_{Grid}$ ) ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 กรณี

**กรณีที่ 2:** ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานในรูปแบบโหมดการทำงาน PV โดยรักษาแรงดันของบัสที่เชื่อมต่อที่ 0.9648 p.u. ซึ่งจากตารางที่ 8.4 กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ( $Q_{Grid}$ ) ที่จ่ายให้แก่ระบบของการไฟฟ้ามีค่าเป็น 45,818.56 VAr อย่างไรก็ตามการจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟให้แก่ระบบของการไฟฟ้าจะมีค่าที่จำกัด ทั้งนี้กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟมากที่สุดที่สามารถจ่ายได้จะสามารถคำนวณได้จาก  $S^2_{Grid(MAX)} = P^2_{Grid} + Q^2_{Grid(MAX)}$  ซึ่งถูกกำหนดโดยหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีพิกัด ( $S_{Grid(MAX)}$ ) 100 kVA ดังนั้นเมื่อแทนค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏและกำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า ( $P_{Grid}$ ) ลงสมการดังกล่าว จะสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟมากที่สุดที่สามารถจ่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าได้ ( $Q_{Grid(MAX)}$ ) มีค่าเป็น 52,452.03 VAr ดังนั้นกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่จ่ายให้แก่ระบบของการไฟฟ้าจะน้อยกว่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟมากที่สุดที่จะจ่ายได้ เพราะฉะนั้นการรักษาระดับแรงดันของบัสที่เชื่อมต่อที่ 0.9648 p.u. จะสามารถรักษาได้

**กรณีที่ 3:** ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานในรูปแบบโหมดการทำงาน PV โดยรักษาแรงดันของบัสที่เชื่อมต่อที่ 0.9650 p.u. ซึ่งจากตารางที่ 8.4 กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ( $Q_{Grid}$ ) ที่จ่ายให้แก่ระบบของการไฟฟ้ามีค่าเป็น 81,205.14 VAr อย่างไรก็ตามการจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟให้แก่ระบบของการไฟฟ้าจะมีค่าที่จำกัด ทั้งนี้กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟมากที่สุดที่สามารถจ่ายได้จะคำนวณจากหลักการเดียวกับกรณีที่ 2 ดังนั้นกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟมากที่สุดสามารถจ่ายได้มีค่าเป็น 53,166.97 VAr ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่จ่ายให้แก่ระบบของการไฟฟ้า เพราะฉะนั้นการรักษาระดับแรงดันของบัสที่เชื่อมต่อที่ 0.9650 p.u. จะไม่สามารถทำได้ ซึ่งถ้าเกิดเหตุการณ์แบบนี้ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต้องเปลี่ยนโหมดการทำงาน PV ไปเป็นแบบ PQ แทน โดยจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟให้แก่ระบบของการไฟฟ้ามากที่สุด คือ 53,166 VAr ซึ่งแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 8.5

ตารางที่ 8.5 จุดเชื่อมต่อเป็น PQ Mode โดยจะจ่าย  $Q_{Grid}$  เป็น 53,166.97 VAr

กรณีที่ 3 คือ จุดเชื่อมต่อเป็นโหมดการทำงาน PQ ( $Q_{Grid} = 53,166.97$ VAr)	
ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์	$P_{INV} = 88,212.74$ W, $Q_{INV} = 47,160.75$ VAr, $V_{INV} = 219.0681$ V, $\theta = 12.5992^\circ$ , $M = 0.7333$
ส่วนวงจรไฟฟ้า กระแสสลับ	$P_{Grid} = 85,016.14$ W, $Q_{Grid} = 53,166$ VAr, $V_{Grid} = 212.2651$ V, $\theta_{Grid} = -0.0214^\circ$



การทดสอบทั้ง 3 กรณีศึกษา จะพบว่าแรงดันของบัสที่ 31 ( $V_{Grid}$ ) ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายให้แก่ระบบของการไฟฟ้า ( $Q_{Grid}$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามถ้าจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมากขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายให้แก่ระบบของการไฟฟ้า ( $P_{Grid}$ ) มีค่าที่ลดลงแทน อย่างไรก็ตามถ้าระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟตามกรณีศึกษาที่ 1 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายให้แก่ระบบของการไฟฟ้าจะมีค่ามากที่สุด

### 8.3 ผลการทดลองผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ผลกาทดลองผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะแบ่งได้เป็น 4 กรณีศึกษา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

- กรณีศึกษาที่ 1: แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีการบายพาสไดโอด
- กรณีศึกษาที่ 2: แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีการบายพาสไดโอด
- กรณีศึกษาที่ 3: ผลของการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์บางส่วน (เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีการบายพาสไดโอด)
- กรณีศึกษาที่ 4: แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบางส่วนร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีการบายพาสไดโอด)

#### 8.3.1 กรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ 1 ศึกษาแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีการเชื่อมต่อบายพาสไดโอด และรายละเอียดการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 8.6

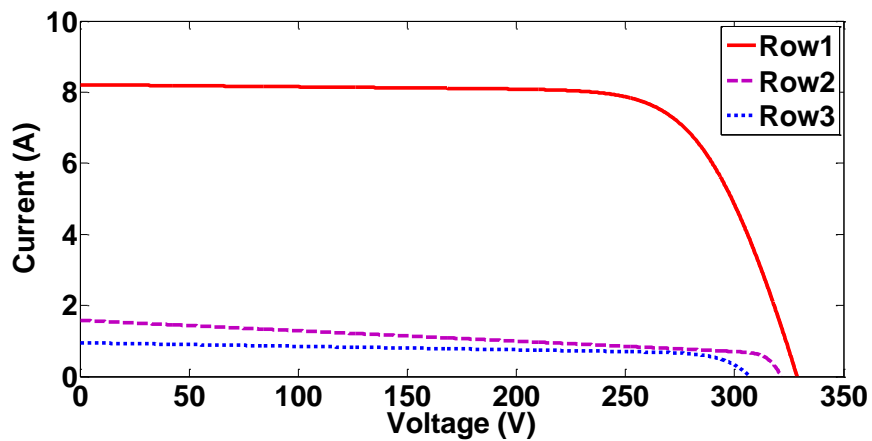
ตารางที่ 8.6 รายละเอียดของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

กลุ่ม (Group)	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ถูกบังแสง(โหนด)	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง(โหนด)	จำนวนแถวของแต่ละกลุ่ม (Row)	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดในแต่ละกลุ่ม(โหนด)
1	10	0	40	400
2	8	2	30	300
3	4	6	30	300

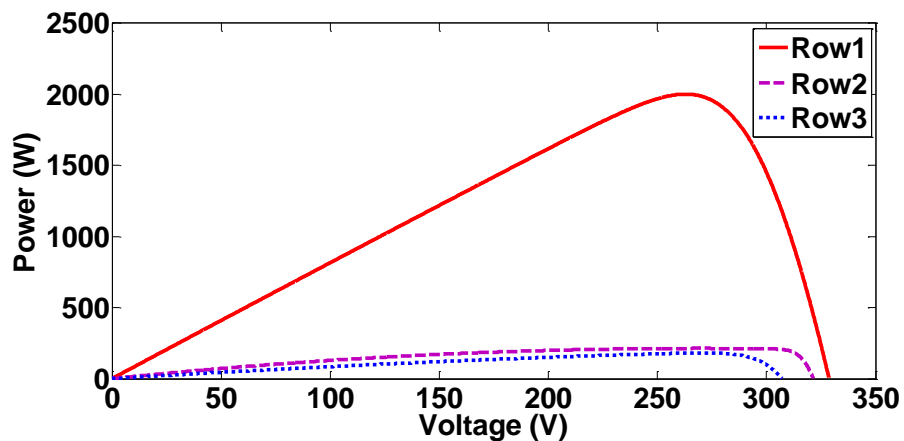
หมายเหตุ : ความเข้มแสงปกติ คือ  $1,000 \text{ W/m}^2$

ความเข้มแสงที่ลดลง คือ  $100 \text{ W/m}^2$

เมื่อนำขั้นต้นการคำนวณจากภาพที่ 6.2 มาคำนวณตามข้อมูลที่ได้อ้างอิงไว้ในตารางที่ 8.6 จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 และความสัมพัทธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ได้ดังภาพที่ 8.10 และ 8.11 ตามลำดับ



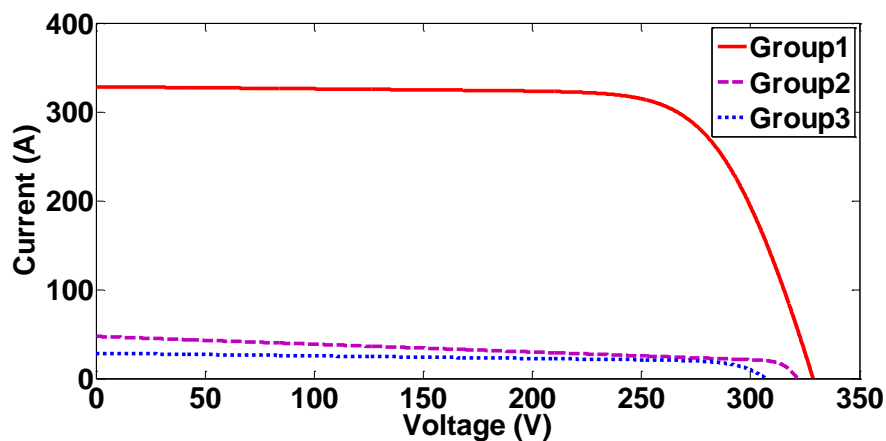
ภาพที่ 8.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 1



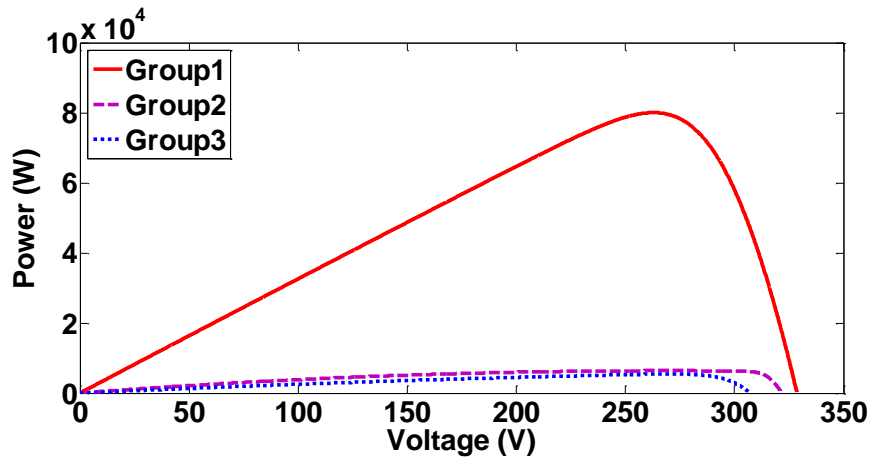
ภาพที่ 8.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 1

จากภาพที่ 8.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 2 จะพบว่ากระแสลัดวงจร (คิดกรณีที่  $V_{SH}=0$ ) จะมีค่าที่ต่ำมากเมื่อนำมาเทียบกับความสัมพันธ์แบบเดียวกันของกลุ่มที่ 1 ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดเพียง 2 โมดูลจากจำนวนทั้งหมด 10 โมดูล และจากภาพที่ 8.11 ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดของกลุ่มที่ 2 เป็นจำนวน 20% ของจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดภายในหนึ่งแถว อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าจริงที่ลดลงไปจะมากกว่า 50% ของกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการบังแสงแดดของกลุ่มที่ 1 เพราะว่าเป็นผลมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอด ซึ่งจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกระแสไหลผ่านอยู่ในช่วง  $I_{PH} > I_{SHADE} > I_{PH(NEW)}$  และ  $I_{PH} > I_{UNSHADE} > I_{PH(NEW)}$  จะทำหน้าที่เป็นโหลด

จากตารางที่ 8.6 จะพบว่า การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ได้มีการเชื่อมต่อกันเพียงแค่นั้น เพราะฉะนั้นจะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ได้ดังภาพที่ 8.12 และ 8.13 ตามลำดับ

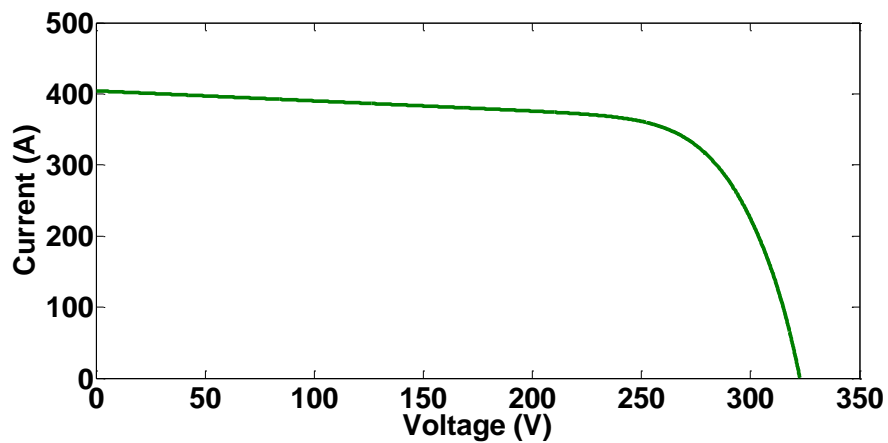


ภาพที่ 8.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 1

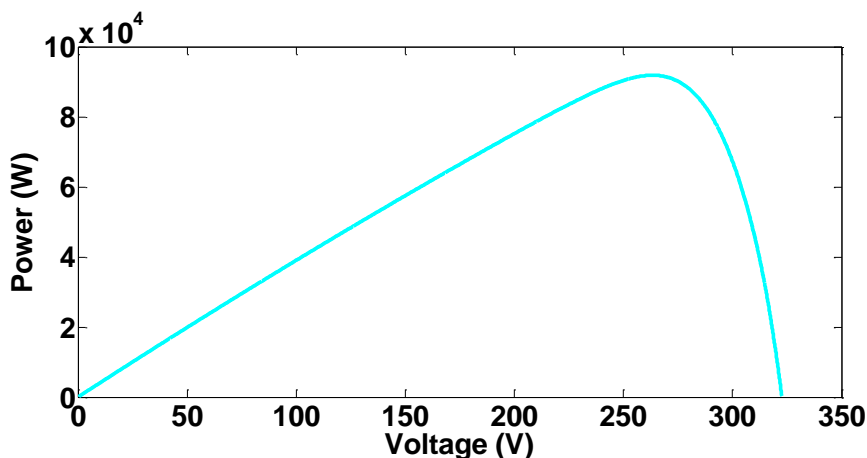


ภาพที่ 8.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 1

เมื่อนำขั้นตอนการคำนวณจากภาพที่ 6.3 มาคำนวณตามข้อมูลที่ได้อ้างอิงไว้ในตารางที่ 8.6 จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด และความสัมพัทธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ได้ดังภาพที่ 8.14 และ 8.15 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 1

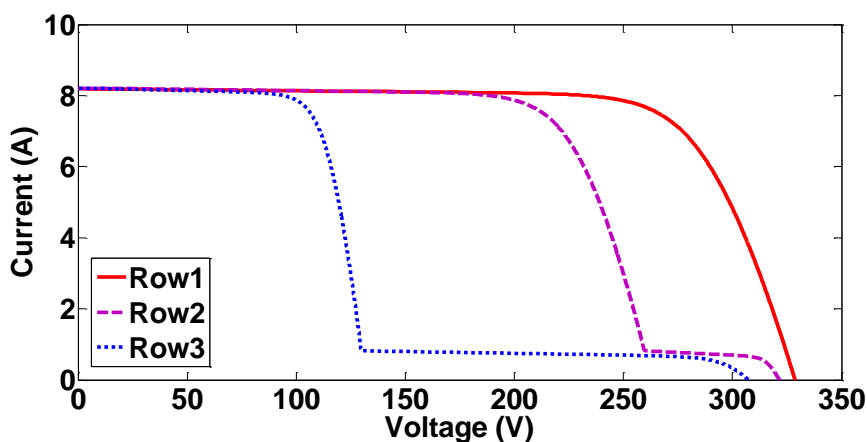


ภาพที่ 8.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดัน  
ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 1

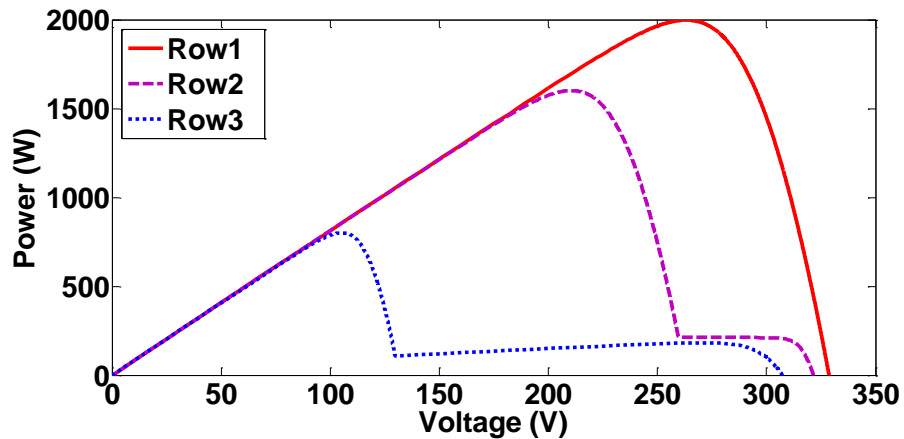
### 8.3.2 กรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ 2 ศึกษาแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีการเชื่อมต่อบายพาสไดโอด และรายละเอียดการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 8.6

เมื่อนำขั้นตอนการคำนวณจากหัวข้อที่ 6.2 มาคำนวณตามข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 8.6 จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 และความสัมพัทธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ได้ดังภาพที่ 8.16 และ 8.17 ตามลำดับ



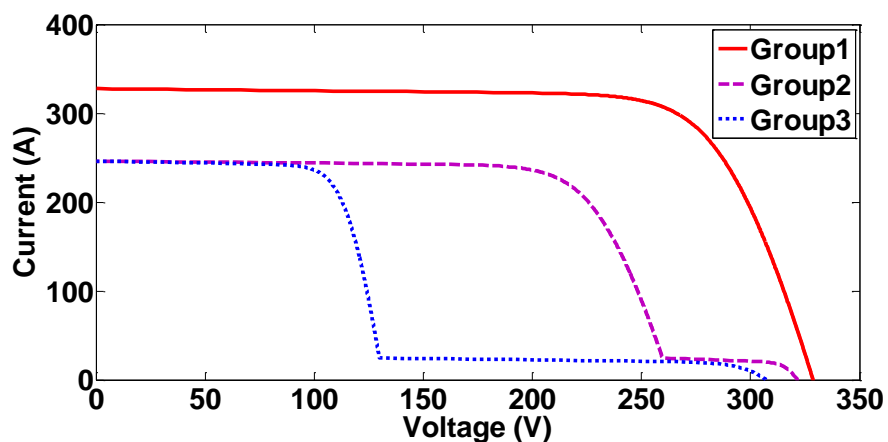
ภาพที่ 8.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน  
ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 2



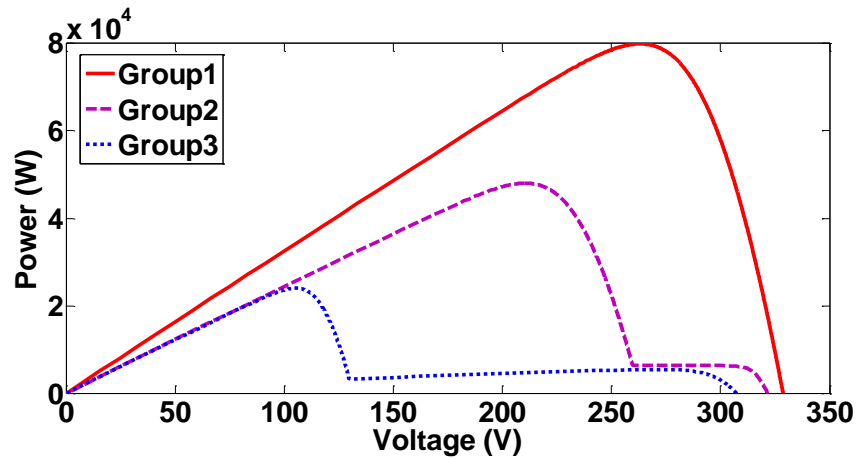
ภาพที่ 8.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 2

จากภาพที่ 8.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแถวของกลุ่มที่ 2 จะพบว่ากระแสลัดวงจร (กรณีที่  $V_{SH}=0$ ) จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อนำมาเทียบกับความสัมพันธ์แบบเดียวกันในกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอด ซึ่งจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์จะไม่มีช่วงที่ทำหน้าที่เป็นโหลด

จากตารางที่ 8.6 จะพบว่าการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ได้มีการเชื่อมต่อกันเพียงแค่นำมาเรียงกัน เพราะฉะนั้นจะสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ได้ดังภาพที่ 8.18 และ 8.19 ตามลำดับ

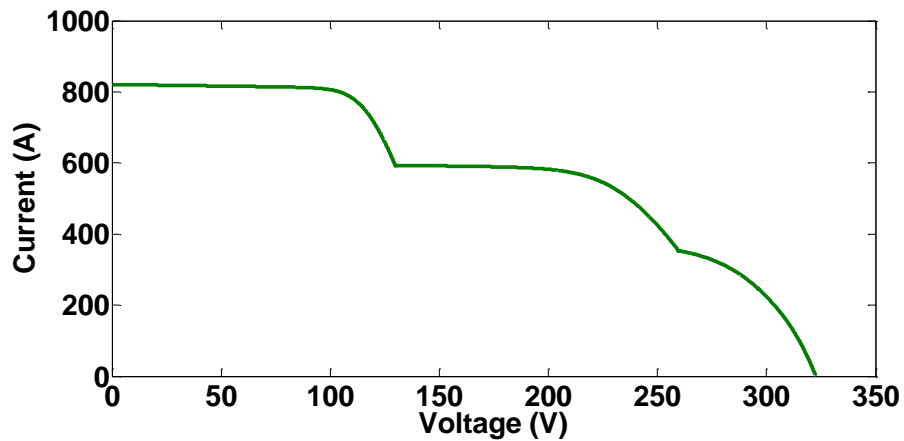


ภาพที่ 8.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 2

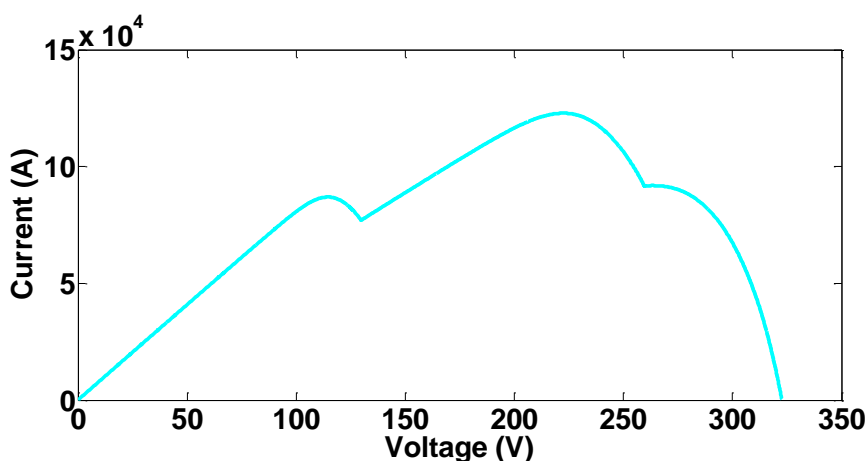


ภาพที่ 8.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งกลุ่มของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ของกรณีศึกษาที่ 2

เมื่อนำขั้นตอนการคำนวณจากหัวข้อที่ 6.2 มาคำนวณตามข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 8.6 จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ได้ดังภาพที่ 8.20 และ 8.21 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 8.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 2

### 8.3.3 กรณีศึกษาที่ 3

หัวข้อที่ 4.2 จะกล่าวว่ากำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยทั้งสอง คือ ความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้ปัจจัยดังกล่าวกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ (หมายถึงจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์) และลักษณะของการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ (หมายถึงจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เชื่อมต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน) ดังนั้นกรณีศึกษาที่ 3 จะศึกษาลักษณะของการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขของการบังแสงแดดที่เหมือนกัน

รายละเอียดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลยังคงจะใช้รายละเอียดเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 และใช้เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอดเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 2 และสมมติว่าเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะมีจำนวน 600 โมดูล (การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 600 โมดูล ซึ่งไม่เท่ากับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เพราะว่าการศึกษารูปแบบลักษณะการเชื่อมต่อหลายกรณี) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะการบังแสงแดดที่ใช้พิจารณา เช่นนั้นรายละเอียดของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถแบ่งได้เป็น 10 กรณี ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8.7



ตารางที่ 8.7 รายละเอียดของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 10 กรณี

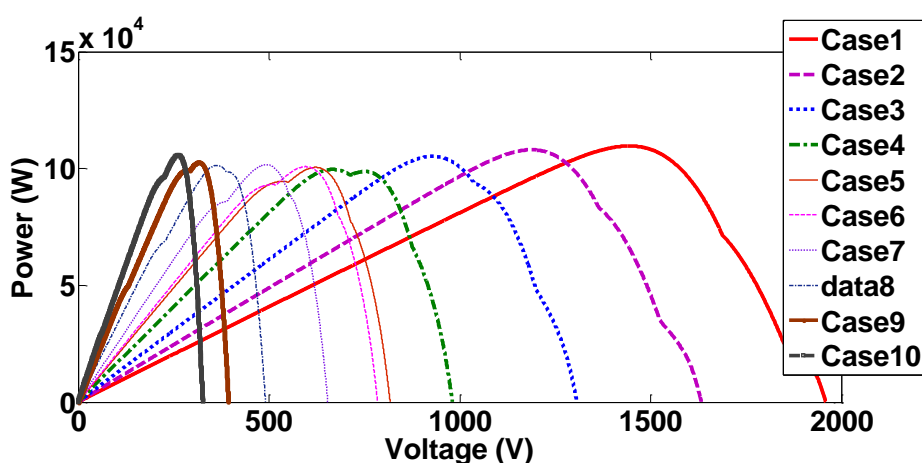
กรณีที่	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ (โมดูล)									ลักษณะการเชื่อมต่อ เซลล์แสงอาทิตย์ (แถว X คอลัมน์)
	กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2			กลุ่มที่ 3			
	USH	SH	R	USH	SH	R	USH	SH	R	
1	52	8	3	57	3	5	60	0	2	60 x 10
2	42	8	3	47	3	5	50	0	4	50 x 12
3	32	8	3	37	3	5	40	0	7	40 x 15
4	22	8	3	27	3	5	30	0	12	30 x 20
5	17	8	3	22	3	5	25	0	16	25 x 24
6	16	8	3	21	3	5	24	0	17	24 x 25
7	12	8	3	17	3	5	20	0	22	20 x 30
8	7	8	3	12	3	5	15	0	32	15 x 40
9	4	8	3	9	3	5	12	0	42	12 x 50
10	2	8	3	7	3	5	10	0	52	10 x 60

โดยความหมายของตารางที่ 8.7 จะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

**กรณีที่ 1** จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวน 3 กลุ่ม ซึ่งช่องสุดท้ายจะบอกลักษณะของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ โดยหมายความว่าเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 600 โมดูล จะเชื่อมต่อรวมกันเป็นแบบอนุกรมเป็นหนึ่งแถวเป็นจำนวน 60 โมดูล และมีจำนวนแถวของเป็นจำนวน 10 แถว ต่อมาคอลัมน์ของกลุ่มที่ 1 จะประกอบไปด้วย 3 คอลัมน์ โดยคอลัมน์ที่ 1 ของกลุ่มที่ 1 ที่เขียนว่า USH หมายความว่าภายในหนึ่งแถวจะมีจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดดเป็นจำนวน 52 โมดูล ส่วนคอลัมน์ที่ 2 ของกลุ่มที่ 1 ที่เขียนว่า SH หมายความว่าภายในหนึ่งแถวจะมีจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดเป็นจำนวน 8 โมดูล ( $60-52=8$ ) และคอลัมน์ที่ 3 ของกลุ่มที่ 1 ที่เขียนว่า R หมายความว่าจำนวนแถวทั้งหมดของเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มที่ 1 ส่วนความหมายของแต่ละคอลัมน์ของกลุ่มที่ 2 และ 3 จะมีความหมายที่เหมือนกับแต่ละคอลัมน์ของกลุ่มที่ 1

**กรณีที่ 2-10** แต่ละช่องของแต่ละกรณีจะมีความหมายเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 แต่จะแตกต่างกันตามลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์

จากตารางที่ 8.7 จะมีลักษณะของการเชื่อมต่อที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้แต่ละกรณีจะมีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดที่แตกต่างกันตามลักษณะการเชื่อมต่อ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะสามารถหาออกมาได้จากหลักการคำนวณแบบเดียวกับกรณีศึกษาที่ 2 ทั้งนี้เมื่อนำข้อมูลแต่ละกรณีจากตารางที่ 8.7 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของแต่ละกรณีจะแสดงได้ดังภาพที่ 8.22



ภาพที่ 8.22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 10 กรณี

จากภาพที่ 8.22 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของแต่ละกรณีจะมีค่าที่ต่างกัน ดังนั้นจะสามารถแสดงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละกรณีได้ดังตารางที่ 8.8

ตารางที่ 8.8 กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละกรณีการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์

กรณี	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (W)	กรณี	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (W)
1	109,676.22	6	100,832.30
2	108,049.06	7	101,702.00
3	105,227.91	8	101,385.51
4	99,627.90	9	102,732.83
5	100,533.86	10	105,570.04

ดังนั้นจะทราบว่าเมื่อเกิดการบังแสงแดดในรูปแบบดังกล่าวพบว่าการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบกรณีที่ 1 จะให้ค่าของกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด

### 8.3.4 กรณีศึกษาที่ 4

ในความเป็นจริง การบังแสงแดดจะไม่ใช้ว่าความเข้มแสงลดลงเป็น 10% ของความเข้มแสงปกติ อาจจะมีมากกว่าหรือน้อยกว่า 10% ก็เป็นไปได้ (โดยกลุ่มที่ 2 และ 3 จากกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ความเข้มแสงจากการบังแสงแดดมีค่าเป็น 10% ของความเข้มแสงปกติ) นอกจากนี้ อุณหภูมิจะมีค่าที่ไม่เท่ากันเมื่อเกิดการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ การศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความถูกต้องมากขึ้นควรที่จะคิดผลของอุณหภูมิด้วย

สมมติเหตุการณ์ทดลองของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งรายละเอียดเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจะใช้รายละเอียดเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 และจะมีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีการเชื่อมต่อบายพาสไดโอดเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 2 โดยกรณีศึกษาที่ 4 จะดูผลของความเข้มแสงร่วมกับอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละกลุ่มที่มีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งจะประกอบไปด้วยรายละเอียดดังแสดงได้ในตารางที่ 8.9

ตารางที่ 8.9 รายละเอียดของการทดลองกรณีศึกษาที่ 4

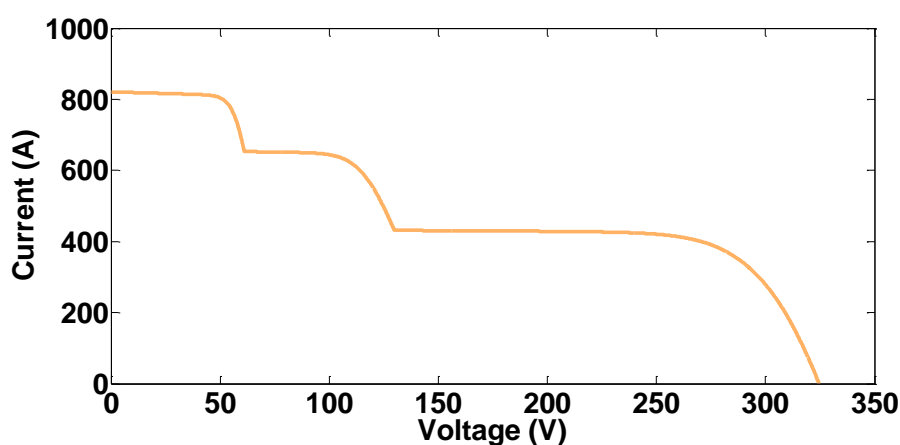
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
ความเข้มแสงปกติ ( $W/m^2$ )	1,000	1,000	1,000
อุณหภูมิปกติ ( $^{\circ}C$ หรือ $K$ )	25	25	25
ความเข้มแสงหลังเกิดการบังแสงแดด ( $W/m^2$ )	-	500	100
อุณหภูมิหลังเกิดการบังแสงแดด ( $^{\circ}C$ หรือ $K$ )	-	23	21
จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ถูกบังแสง (โมดูล)	10	8	4
จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง (โมดูล)	0	2	6
จำนวนแถวทั้งหมดของแต่ละกลุ่ม	40	30	30
จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดในแต่ละกลุ่ม (โมดูล)	400	300	300

โดยความหมายของตารางที่ 8.9 จะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

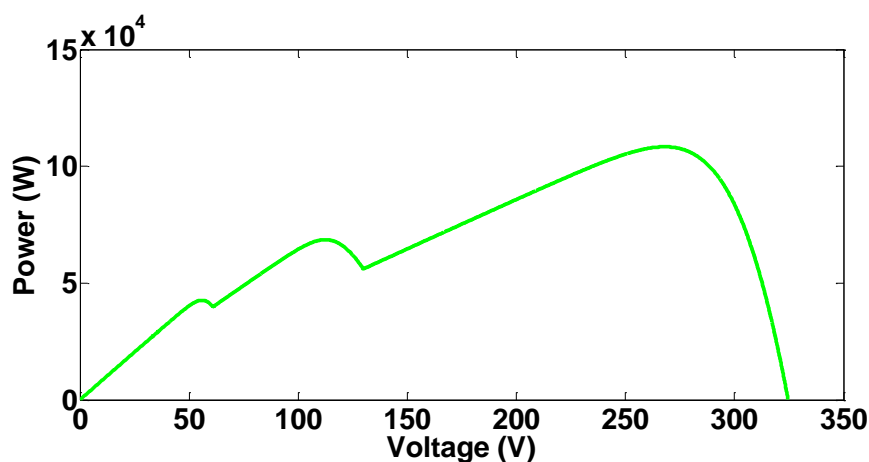
**กลุ่มที่ 1, 2 และ 3** ภายในหนึ่งแถวจะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อบนอนุกรมกันเป็นจำนวน 10 โมดูล โดยจะประกอบไปด้วยจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดดเป็นจำนวน 10, 8 และ 4 โมดูล ตามลำดับ และจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดเป็นจำนวน 0, 2 และ 6 โมดูล ตามลำดับ ความเข้มแสงก่อนการบังแสงแดดจะมีค่าที่เท่ากันทั้ง 3 กลุ่ม คือ  $1,000 W/m^2$  อย่างไรก็ตามความเข้มแสงหลังการบังแสงแดดจะมีไม่มีค่า

(เนื่องจากไม่มีเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด), 500 และ 100  $W/m^2$  ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิก่อนการบังแสงแดดจะมีค่าที่เท่ากันทั้ง 3 กลุ่ม คือ  $25^{\circ}C$  และอุณหภูมิหลังการบังแสงแดดจะมีค่า ไม่มี , 23 และ  $21^{\circ}C$  ตามลำดับ ส่วนจำนวนแอมป์มีจำนวน 40, 30 และ 30 แอมป์ตามลำดับ ดังนั้นจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดมีจำนวน 400, 300 และ 300 โมดูล ตามลำดับ

จากขั้นตอนคำนวณของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีการเชื่อมต่อบายพาสไดโอดของกรณีศึกษาที่ 2 จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดได้ดังภาพที่ 8.23 และ 8.24 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 4



ภาพที่ 8.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 4

## 8.4 สรุปผลการทดลอง

การสรุปผลการทดลองบทนี้จะแบ่งการนำเสนอได้ออกเป็น 3 ส่วนย่อย ตามที่ได้แสดงไปแล้วในหัวข้อที่ 8.1, 8.2 และ 8.3 ตามลำดับ ซึ่งประกอบไปด้วย

ส่วนย่อยที่ 1 ศึกษาหลักการคำนวณพารามิเตอร์เพื่อสามารถนำข้อมูลทางเทคนิคของแต่ละผู้ผลิตมาใช้ร่วมกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้ได้แสดงถึงปัจจัยทางด้านความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่าเมื่อมีความเข้มแสงเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะมีค่าที่สูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าจริงออกมาได้น้อยลง

ส่วนย่อยที่ 2 พิจารณาเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวจะมีโหมดการทำงานเป็น 2 โหมดการทำงาน คือ PQ และ PV โดยโหมดทำงานรูปแบบของ PQ ที่ไม่มีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟ ( $Q_{Grid}=0$ ) จะให้กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายให้แก่ระบบของการไฟฟ้ามากที่สุด อย่างไรก็ตามโหมดการทำงานรูปแบบของ PV จะพบว่าระดับแรงดัน ณ จุดที่เชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบของการไฟฟ้าจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ทุกระดับแรงดัน แต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของหม้อแปลง และขนาดของอินเวอร์เตอร์

ส่วนย่อยที่ 3 ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการพิจารณาจะแบ่งออกเป็นกรณีศึกษา 4 กรณีศึกษา ซึ่งจะกล่าวได้ว่าปัจจัยที่จะส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าจริงที่จะผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะประกอบไปด้วย ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ ความเข้มแสง อุณหภูมิ และลักษณะการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์

## บทที่ 9

### การเปรียบเทียบผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

จากบทที่ 8 ได้กล่าวถึงผลการทดลองของเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะประกอบไปด้วย 3 หัวข้อ คือ (1) แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (2) แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า และ (3) ผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งภายในบทนี้จะนำเสนอการตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้กล่าวไปในบทที่ 7 ทั้งนี้ผลการทดลองของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จากบทที่ 8 จะพบว่าไม่สามารถทำการเปรียบเทียบได้ ทุกผลการทดลอง เนื่องจากอุปสรรคทางด้านอุปกรณ์ที่มีไม่เพียงพอ ดังนั้นบทนี้จะเน้นเปรียบเทียบผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เป็นประเด็นหลัก และเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเล็กน้อย ซึ่งจะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 หัวข้อ คือ

- 1) แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) ผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

#### 9.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

ดังที่กล่าวไปว่าภายในบทนี้จะทำการเปรียบเทียบเกี่ยวกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นประเด็นหลัก ซึ่งการเปรียบเทียบภายในหัวข้อนี้จะแบ่งการนำเสนอได้เป็น 2 หัวข้อ ตามข้อมูลที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ คือ

- การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์
- การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

##### 9.1.1 การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์

หัวข้อย่อยนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และรายละเอียดของข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการเปรียบเทียบในหัวข้อย่อยนี้จะเป็น

การเปรียบเทียบเบื้องต้น โดยเป็นการประมาณจากภาพกราฟที่ได้นำเสนอมาภายในข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ดังจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อย่อยที่ 9.1.1.3 ดังนั้นความถูกต้องของการเปรียบเทียบดังกล่าวภายในหัวข้อย่อยนี้จะมีค่าที่น้อยกว่า ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากต้องใช้สายตาในการประมาณกราฟ เมื่อเทียบกับการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป ดังนั้นภายในหัวข้อย่อยนี้จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 4 หัวข้อย่อย คือ

- หลักการเปรียบเทียบ
- ขั้นตอนการเปรียบเทียบ
- ผลการเปรียบเทียบ
- การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ

#### 9.1.1.1 หลักการเปรียบเทียบ

ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ โดยส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วย 8 พารามิเตอร์ดังที่กล่าวในบทที่ 2 อย่างไรก็ตามนอกจากทั้ง 8 พารามิเตอร์แล้ว โดยปกติข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์จะมีรายละเอียดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลด้วย ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ความสัมพันธ์ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง และความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นการเปรียบเทียบภายในหัวข้อที่ 9.1.1 จะเป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทั้งสองดังที่กล่าวมาแล้ว

#### 9.1.1.2 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ

หลักการเปรียบเทียบในหัวข้อที่ 9.1.1.1 จะเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง และความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นขั้นตอนการเปรียบเทียบอันดับแรกจะหาความสัมพันธ์ทั้งสองจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้พัฒนาไว้ในบทที่ 4 ซึ่งขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ทั้งสองจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลดังที่แสดงไว้ในบทที่ 4 ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการเปรียบเทียบได้ดังภาพที่ 9.1 โดยระดับความเข้มแสง และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ที่แสดงไว้ในข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 9.1 ขั้นตอนการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์

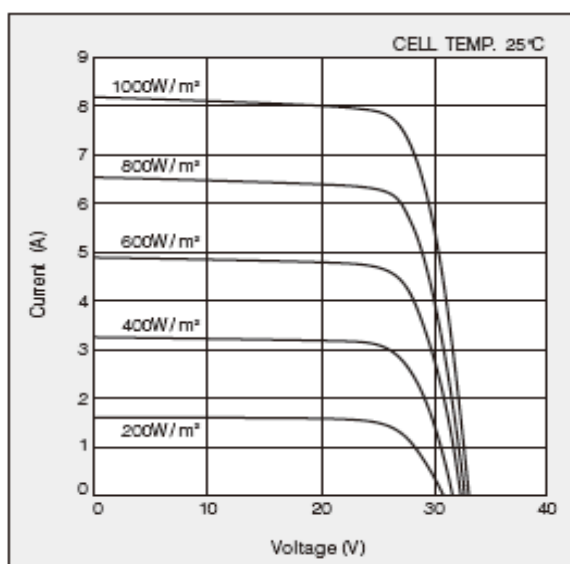
- ขั้นตอนที่ 1: รับข้อมูลของพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากขั้นตอนในภาพที่ 4.4 ซึ่งประกอบไปด้วย  $I_{PH}$ ,  $I_O$ ,  $a$ ,  $V_{TH}$ ,  $N_S$ ,  $R_P$  และ  $R_S$
- ขั้นตอนที่ 2: รับความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ตามข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์
- ขั้นตอนที่ 3: ปรับปรุงพารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ณ สภาวะความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จากขั้นตอนในภาพที่ 4.4
- ขั้นตอนที่ 4: คำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากขั้นตอนในภาพที่ 4.5
- ขั้นตอนที่ 5: เปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์

### 9.1.1.3 ผลการเปรียบเทียบ

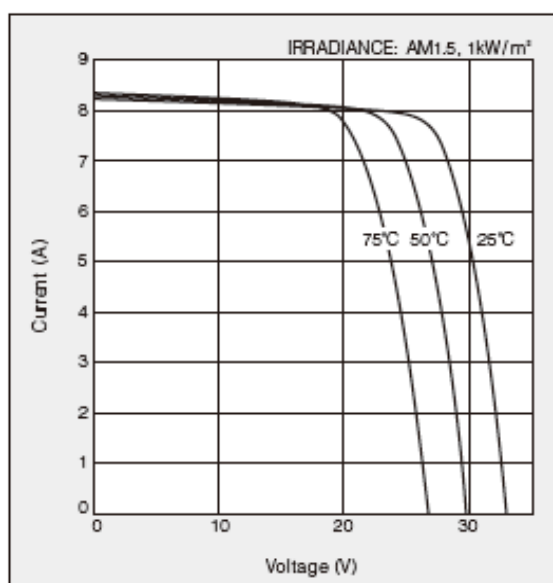
ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อย่อยที่ 9.1.1.2 จะเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง และเมื่อมีการ



เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท เคียวเซรา จำกัด จะแสดงความสัมพันธ์ทั้งสองได้ดังภาพที่ 9.2 และ 9.3 ตามลำดับ (บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) จะไม่เปรียบเทียบดังแสดงในหัวข้อย่อยนี้เนื่องจากจะไม่มีความสัมพันธ์ทั้งสองดังกล่าว)

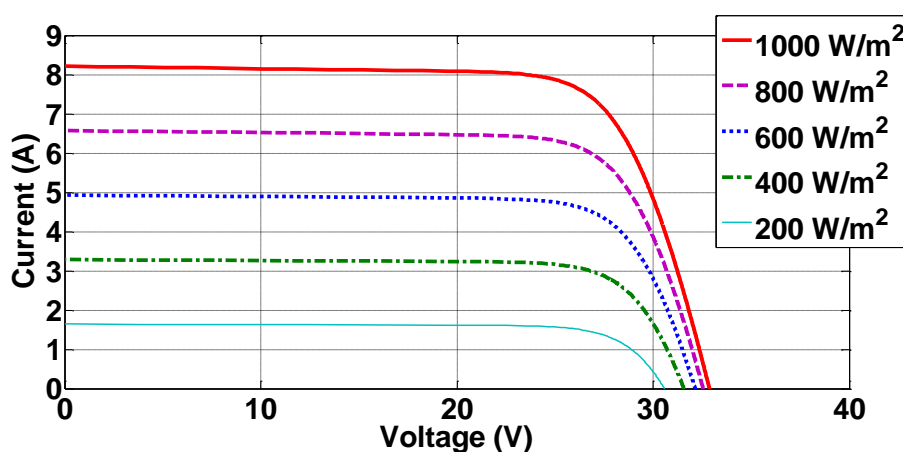


ภาพที่ 9.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ [25]

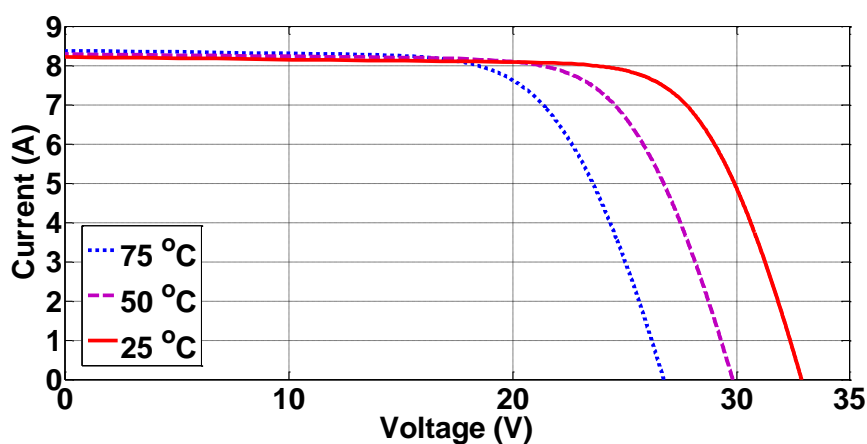


ภาพที่ 9.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ [25]

จากภาพที่ 9.2 และ 9.3 จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง และอุณหภูมิจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปในภาพที่ 9.2 จะมีค่าเป็น 200, 400, 600, 800 และ 1,000 W/m<sup>2</sup> และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในภาพที่ 9.3 จะมีค่าเป็น 25, 50 และ 75 °C ดังนั้นเมื่อทำตามขั้นตอนการคำนวณในภาพที่ 9.1 จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงดังแสดงในภาพที่ 9.4 และความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังแสดงในภาพที่ 9.5



ภาพที่ 9.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 9.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

#### 9.1.1.4 การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ

การวิเคราะห์จะเริ่มจากการเปรียบเทียบระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ และจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 9.2 และ 9.4 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าจุดตัดแกน X ของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก โดยเมื่อความเข้มแสงมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งจุดตัดแกน X ก็จะลดลงประมาณครึ่งหนึ่งเช่นกัน อย่างไรก็ตามจุดตัดแกน Y ของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะไม่มีลักษณะการลดลงเหมือนกับจุดตัดแกน X โดยถึงแม้ว่าความเข้มแสงมีค่าที่ลดลงครึ่งหนึ่ง แต่จุดตัดแกน Y จะลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งจากภาพทั้งสองพบว่าจุดตัดแกน Y จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้จุดตัดภายในความสัมพันธ์ดังกล่าวระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง และเส้นประที่อยู่ในภาพทั้งสองจะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก

การวิเคราะห์จะเปรียบเทียบระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ และจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 9.3 และ 9.5 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าจุดตัดแกน X ของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะสังเกตได้ยาก เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจุดตัดแกน X จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (โดยปกติเมื่ออุณหภูมิลดลง จุดตัดแกน X จะลดลงด้วยแต่มีค่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น) ซึ่งเนื่องจากค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงกระแสลัดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K$ ) จะมีค่าน้อย และสำหรับจุดตัดแกน Y ของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิลดลง ค่าของจุดตัดแกน Y จะเพิ่มขึ้นตามค่าคงตัวของ การเปลี่ยนแปลงแรงดันเปิดวงจรต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $K_V$ ) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจุดตัดแกน Y จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน และจุดตัดภายในกราฟของความสัมพันธ์ดังกล่าวระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเส้นประที่อยู่ในภาพทั้งสองจะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก

#### 9.1.2 การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

หัวข้อย่อจะเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ติดตั้งไว้ที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารเจริญวิศวกรรม ชั้น 20 ซึ่งการเปรียบเทียบในหัวข้อย่อจะจะไม่เหมือนการเปรียบเทียบใน

หัวข้อที่ 9.1.1 เนื่องจากผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีข้อมูลที่บันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์หลากหลายพารามิเตอร์ดังที่แสดงไปแล้วในหัวข้อที่ 7.4 อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถเปรียบเทียบพารามิเตอร์ได้ทุกพารามิเตอร์ โดยจะเน้นการเปรียบเทียบที่ผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นการพิจารณาพารามิเตอร์ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นข้อมูลขาเข้าของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์ คือ เวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์
- พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นข้อมูลขาออกของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์ คือ แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

โดยการเปรียบเทียบภายในหัวข้อย่อยนี้จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้ออกเป็น 4 หัวข้อย่อย คือ

- หลักการเปรียบเทียบ
- ขั้นตอนการเปรียบเทียบ
- ผลการเปรียบเทียบ
- การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ

#### 9.1.2.1 หลักการเปรียบเทียบ

หลักการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะที่แตกต่างกับหลักการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของหัวข้อย่อยที่ 9.2.1 โดยภายในหัวข้อย่อยนี้จะเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่บันทึกไว้ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะได้กล่าวไปแล้วที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ข้อมูลขาออกของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์ คือ แรงดัน และกระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

### 9.1.2.2 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ

จากหลักการเปรียบเทียบในหัวข้อที่ 9.1.2.1 จะพบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เปรียบเทียบจะประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์ และสภาวะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์อาทิตย์ ณ ขณะบันทึกพารามิเตอร์ควรจะเป็นโหมดการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด (MPP) ซึ่งจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาในบทที่ 4 จะเป็นเพียงการหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลภายในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ดังนั้นหลักการคำนวณของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในบทที่ 4 จะไม่เพียงพอที่จะเปรียบเทียบภายในหัวข้อย่อยนี้ได้ โดยจากบทที่ 5 จะพบว่าหลักการคำนวณของแบบจำลองส่วนวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (DC part) ในหัวข้อย่อยที่ 5.1.1 จะเป็นการคำนวณการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด เพราะฉะนั้นการเปรียบเทียบภายในหัวข้อย่อยนี้จะต้องเป็นการรวมหลักการคำนวณของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จากบทที่ 4 และหลักการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดจากหัวข้อย่อยที่ 5.1.1 ซึ่งขั้นตอนการเปรียบเทียบจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9.6

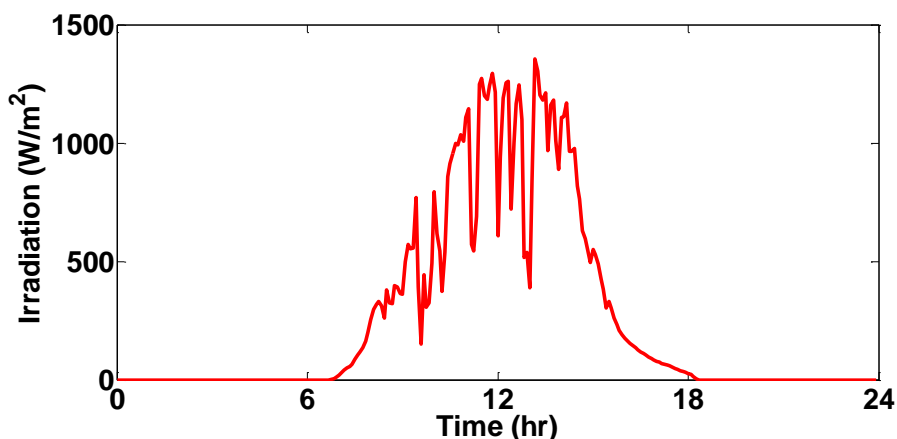


ภาพที่ 9.6 ขั้นตอนการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

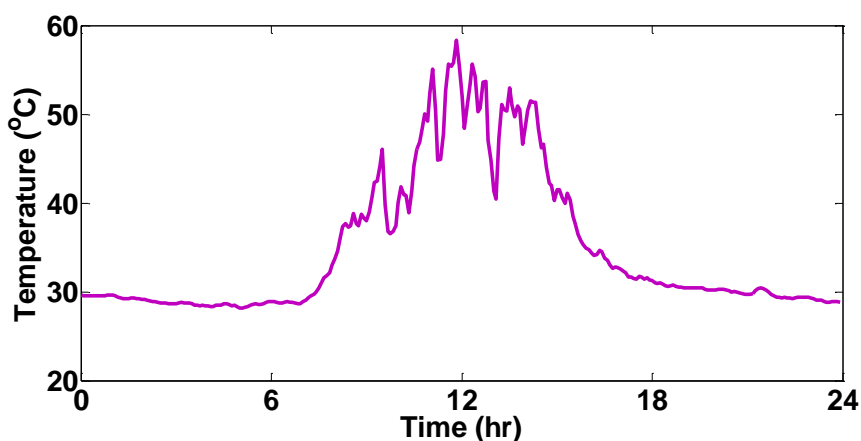
- ขั้นตอนที่ 1 รับข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิตเป็นจำนวน 8 พารามิเตอร์ เช่น  $V_{OC}$ ,  $I_{SC}$ ,  $P_{MMP}$ ,  $V_{MMP}$ ,  $I_{MMP}$ ,  $K_1$ ,  $K_V$  และ  $N_S$
- ขั้นตอนที่ 2 รับความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ตามข้อมูลที่บันทึกของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- ขั้นตอนที่ 3 คำนวณพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากขั้นตอนในภาพที่ 4.4 ซึ่งประกอบไปด้วย  $I_{PH}$ ,  $I_0$ ,  $a$ ,  $V_{TH}$ ,  $N_S$ ,  $R_p$  และ  $R_s$
- ขั้นตอนที่ 4 คำนวณแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ( $V_{PV}$ ,  $I_{PV}$  และ  $P_{PV}$  ตามลำดับ)จากขั้นตอนในภาพที่ 5.2
- ขั้นตอนที่ 5 เปรียบเทียบแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- ขั้นตอนที่ 6 คำนวณความผิดพลาดของแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

### 9.1.2.3 ผลการเปรียบเทียบ

ก่อนการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นข้อมูลขาออกของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 พารามิเตอร์ดังกล่าวไปแล้ว จะศึกษาพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นข้อมูลขาเข้าของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ก่อน ซึ่งพารามิเตอร์ขาเข้าจะประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์ คือ เวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำข้อมูลที่บันทึกในวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2555 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ และเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9.7 และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ และเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9.8



ภาพที่ 9.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 9.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ในทางทฤษฎี ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการกระจายตัวในรูปแบบของการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ซึ่งจากภาพที่ 9.7 จะพบว่าการกระจายของความเข้มแสงจะมีแนวโน้มเป็นการกระจายตัวเป็นแบบการแจกแจงแบบปกติเช่นเดียวกัน

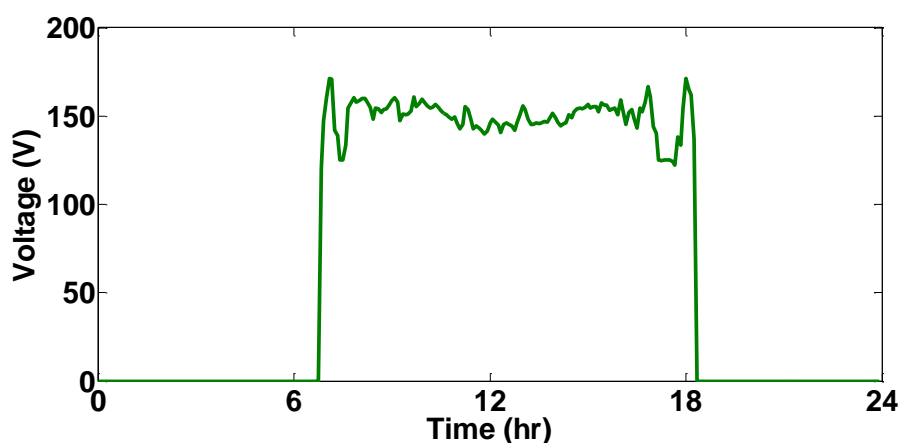
การเปรียบเทียบผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์ ดังนั้นภายในหัวข้อนี้จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อย่อย คือ

- แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ( $U_{PV}$ )
- กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ( $I_{PV}$ )

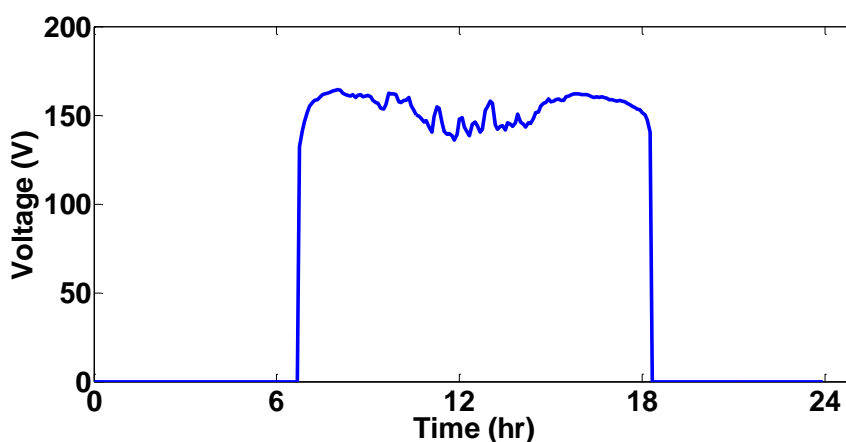
➤ กำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ( $P_{PV}$ )

### 9.1.2.3.1 แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

เมื่อนำข้อมูลที่บ้านที่ทุก 5 นาทีของวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2555 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจากการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึกได้ดังภาพที่ 9.9 จากนั้นนำข้อมูลวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2555 มาคำนวณตามขั้นตอนในภาพที่ 9.6 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึกได้ดังภาพที่ 9.10



ภาพที่ 9.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจากการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึก



ภาพที่ 9.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึก

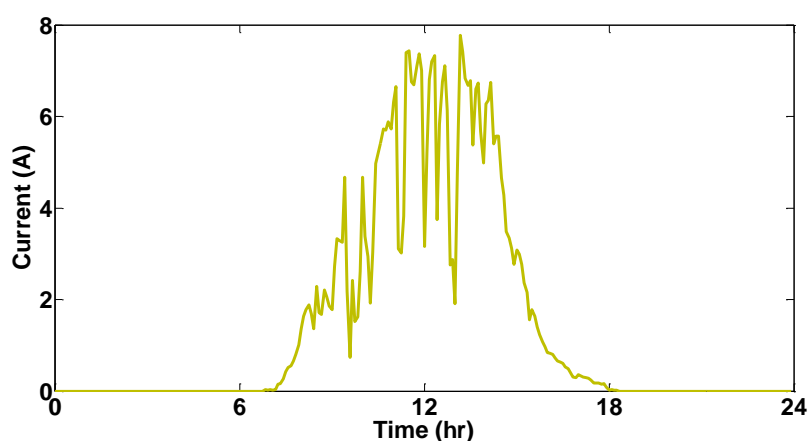


จากภาพที่ 9.9 จะพบว่าช่วงเริ่มต้น (แรงดันเพิ่มขึ้นจากศูนย์) และสิ้นสุด (แรงดันลดลงเป็นศูนย์) การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีแรงดันที่แปรผันขึ้นลงสูง เนื่องจากสภาวะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ใช้สภาวะโหมดการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด แต่จะเป็นสภาวะเริ่มต้นและสิ้นสุดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นแรงดันภายในสภาวะช่วงนี้จะไม่ถูกนำมาคำนวณหาความผิดพลาดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดระหว่างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

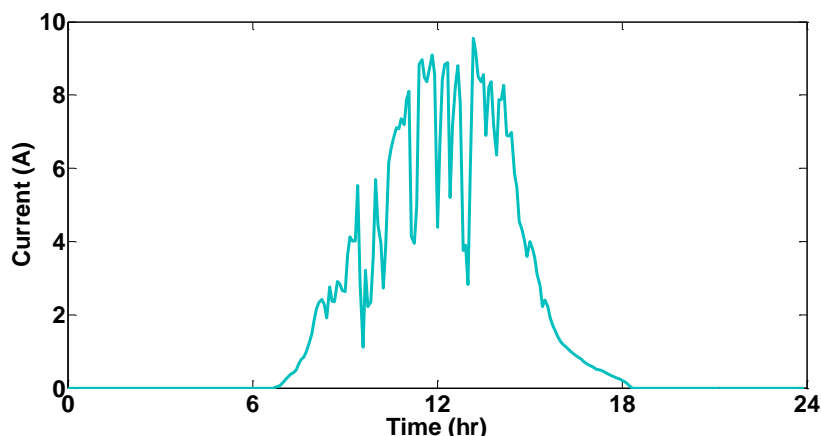
จากข้อมูลที่ได้บันทึกในวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2555 มาหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะกล่าวได้ว่าความผิดพลาดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะมีค่าเป็น 5.03%

#### 9.1.2.3.2 กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

เมื่อนำข้อมูลที่บันทึกทุก 5 นาทีของวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2555 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจากการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึกได้ดังภาพที่ 9.11 จากนั้นนำข้อมูลวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2555 มาคำนวณตามขั้นตอนในภาพที่ 9.6 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึกได้ดังภาพที่ 9.12



ภาพที่ 9.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจากการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึก



ภาพที่ 9.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด  
ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึก

จากภาพที่ 9.9 จะพบว่าช่วงเริ่มต้น (แรงดันเพิ่มขึ้นจากศูนย์) และสิ้นสุด (แรงดันลดลงเป็นศูนย์) การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีกระแสที่แปรผันขึ้นลงสูง เนื่องจากสภาวะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ใช้สภาวะโหมดการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดเช่นเดียวกับแรงดัน ดังนั้นกระแสภายในสภาวะช่วงนี้จะไม่ถูกนำมาคำนวณหาความผิดพลาดกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดระหว่างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากข้อมูลที่ได้บันทึกในวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2555 มาหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะกล่าวได้ว่าความผิดพลาดกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะมีค่าเป็น 12.85%

### 9.1.2.3.3 กำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

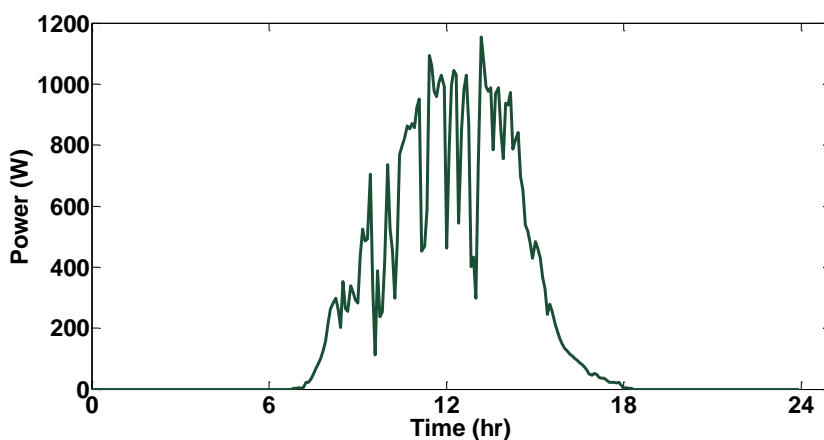
จากหัวข้อที่ 7.4 พบว่าจะไม่มีพารามิเตอร์ที่แสดงความหมายของกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามจากหัวข้อที่ 9.1.2.3.1 และ 9.1.2.3.2 ได้มีการอธิบายพารามิเตอร์ของแรงดัน และกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งจะพบว่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 จะสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด โดยจะสามารถแสดงสมการที่ใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดได้ดังสมการที่ (9.1)

$$P_{PV} = U_{PV} I_{PV} \quad (9.1)$$

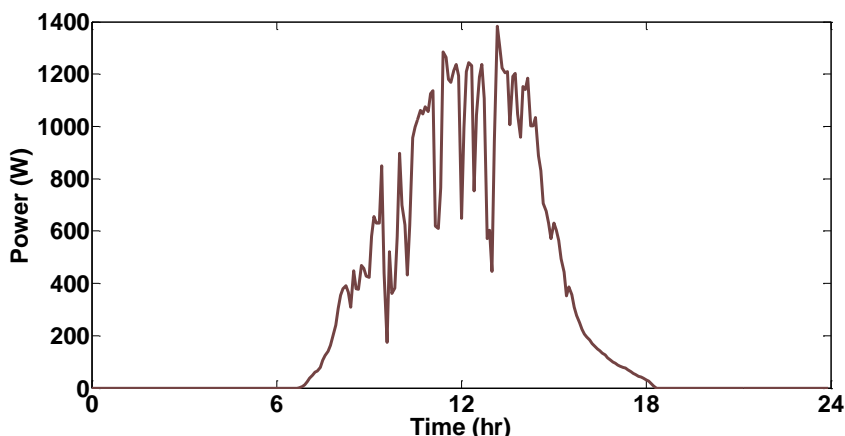
โดย

$P_{PV}$	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด (W)
$U_{PV}$	คือ	แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งจะสามารถหามาได้จากข้อมูลที่ ที่ได้ทำการบันทึก โดยมีการอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 7.4 (V)
$I_{PV}$	คือ	กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งจะสามารถหามาได้จากข้อมูลที่ ที่ได้ทำการบันทึก โดยมีการอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 7.4 (A)

เมื่อนำข้อมูลที่บันทึกทุก 5 นาทีของวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2555 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจากการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึกได้ดังภาพที่ 9.11 จากนั้นนำข้อมูลวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2555 มาคำนวณตามขั้นตอนในภาพที่ 9.6 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ได้ทำการบันทึกได้ดังภาพที่ 9.12



ภาพที่ 9.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจากการตรวจวัดของเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ใช้ในการบันทึก



ภาพที่ 9.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด  
ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ใช้ในการบันทึก

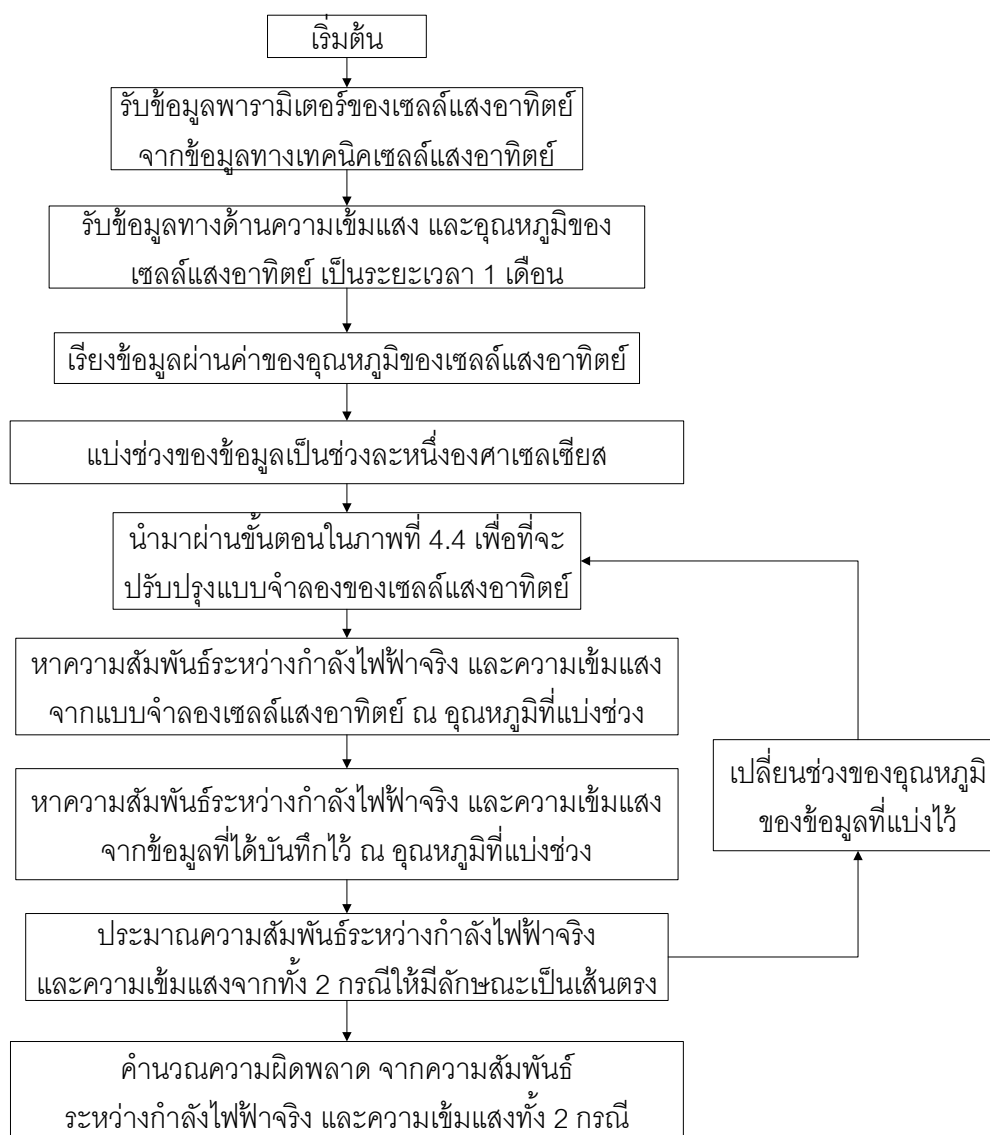
จากภาพที่ 9.13 จะพบว่าช่วงเริ่มต้น (แรงดันเพิ่มขึ้นจากศูนย์) และสิ้นสุด (แรงดันลดลงเป็นศูนย์) การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีกำลังไฟฟ้าจริงที่แปรผันขึ้นลงสูงเนื่องจากสภาวะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ใช้สภาวะโหมดการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดเช่นเดียวกับแรงดัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจริงภายในสภาวะช่วงนี้จะไม่ถูกนำมาคำนวณหาความผิดพลาดกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดระหว่างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากข้อมูลที่ได้บันทึกในวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2555 มาหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะกล่าวได้ว่าความผิดพลาดกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะมีค่าเป็น 9.47%

ความผิดพลาดแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจากการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าที่สูง ซึ่งเป็นผลเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น ตัวเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดค่าของความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีความผิดพลาดประมาณ 7% [28] เซลล์แสงอาทิตย์จะมีความผิดพลาดประมาณ 5% [25] และอินเวอร์เตอร์จะมีความผิดพลาดประมาณ 2% [28] ผลของความผิดพลาดนี้จะเป็นผลเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีความผิดพลาดที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ผลของฝุ่นละอองต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะมีความผิดพลาดประมาณ 2% เป็นต้น

จากความผิดพลาดจากอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ค่อนข้างสูงจึงทำให้ความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบแรงดัน กระแส

และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะมีค่าที่ค่อนข้างสูงด้วย จึงทำให้ต้องวิเคราะห์ในรูปแบบใหม่เพื่อที่จะสามารถประมาณความผิดพลาดจากอุปกรณ์และสิ่งแวดล้อมภายนอกให้มีค่าลดลง ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการคำนวณได้ดังภาพที่ 9.15 (การเปรียบเทียบในรูปแบบใหม่จะใช้ข้อมูลเป็นระยะเวลาหนึ่งเดือน ซึ่งต่างจากช่วงแรกที่ใช้ข้อมูลเพียงหนึ่งวัน)

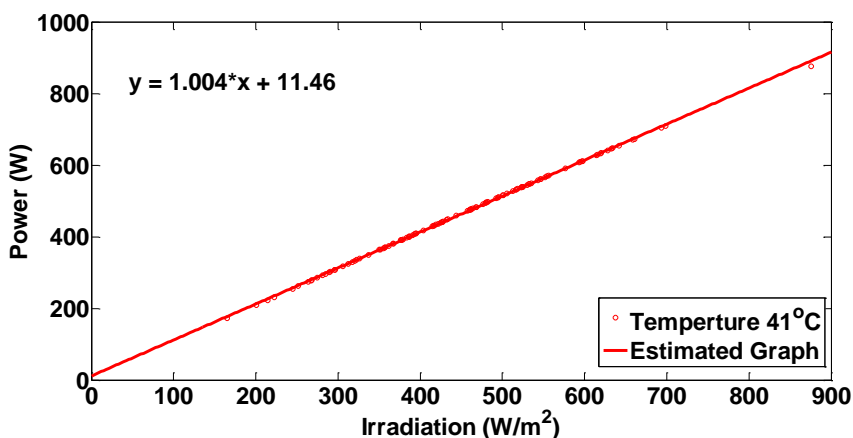


ภาพที่ 9.15 ขั้นตอนการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบใหม่

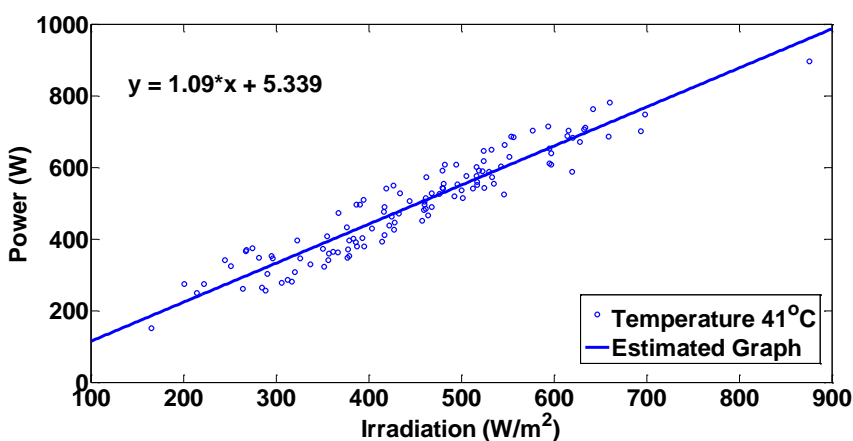
ขั้นตอนที่ 1 นำข้อมูลที่บันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ออกมาเป็นจำนวน 1 เดือน

- ขั้นตอนที่ 2 ทำการเรียงข้อมูลดังกล่าว โดยจะทำการเรียงอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จากน้อยไปมาก
- ขั้นตอนที่ 3 ทำการแบ่งสรรข้อมูลดังกล่าว โดยแยกตามค่าของอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะแบ่งช่วงเป็นดังต่อไปนี้ 28-29, 29-30, 30-31, 31-32, 32-33, 33-34, 34-35, 35-36, 36-37, 37-38, 38-39, 40-41, 41-42, 43-44, 44-45, 45-46, 47-48, 49-50, 51-52, 52-53, และ 53-54
- ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาชั่วของอุณหภูมิแต่ละช่วง โดยสมมติว่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ภายในช่วงมีค่าที่เท่ากัน หรือภายในช่วงดังกล่าวอุณหภูมิจะไม่ส่งผลกระทบต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์
- ขั้นตอนที่ 5 นำมาหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตออกมาได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ และความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์
- ขั้นตอนที่ 6 ประมาณความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดเป็นสมการเส้นตรง (Linear Curve)
- ขั้นตอนที่ 7 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงระหว่างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และจากกราฟเส้นตรงที่ประมาณในขั้นตอนที่ 6 ภายในสภาวะของความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ขณะนั้น
- ขั้นตอนที่ 8 คำนวณความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้าจริงในแต่ละช่วงของอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้แบ่งสรรไว้ในขั้นตอนที่ 3

เมื่อนำข้อมูลที่บันทึกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 มาทำตามขั้นตอนการคำนวณในภาพที่ 9.15 จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงที่ประมาณเป็นกราฟเส้นตรงจากข้อมูลที่บันทึกของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแบ่งการพิจารณาออกเป็นตามช่วงของอุณหภูมิที่ได้กำหนดไว้ ดังที่แสดงในภาพที่ 9.15 ของขั้นตอนที่ 3 ทั้งนี้ภายในหัวข้อนี้จะแสดงเพียงแค่ช่วงอุณหภูมิเดียว คือ อุณหภูมิในช่วงที่ 40-41°C ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง และความเข้มแสงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง และความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์จากการวิเคราะห์ในรูปแบบใหม่ได้ดังภาพที่ 9.16 และ 9.17 ตามลำดับ



ภาพที่ 9.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและความเข้มแสงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ณ อุณหภูมิในช่วงที่ 40-41°C



ภาพที่ 9.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์จากการวิเคราะห์ในรูปแบบใหม่ ณ อุณหภูมิในช่วงที่ 40-41°C

จากขั้นตอนการคำนวณในภาพที่ 9.15 นอกจากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และจากผลการตรวจวัดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประมาณเป็นกราฟเส้นตรง ณ ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแสได้ด้วยหลักการเดียวกัน หลังจากได้ความสัมพันธ์ของทั้ง 3 พารามิเตอร์ คือ แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะสามารถคำนวณความผิดพลาดของแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบใหม่ ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 ความผิดพลาดของแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด  
ระหว่างผลการทดลองของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดระบบผลิต  
ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบใหม่

°C	ความผิดพลาดของแรงดัน (%)	ความผิดพลาดของกระแส (%)	ความผิดพลาดของ กำลังไฟฟ้าจริง (%)
28	1.7266	6.4725	2.6919
29	3.2223	7.4972	2.6960
30	3.0035	0.4630	2.1884
31	3.2949	5.5614	1.8078
32	3.0385	3.5910	1.5174
33	2.9033	4.8259	1.6020
34	2.7021	5.9619	1.3267
35	2.4488	3.8043	0.8462
36	1.6830	4.0774	1.5062
37	1.3874	3.3990	0.8260
38	1.1170	2.7013	0.4015
39	1.3541	1.4783	0.3350
40	0.9454	1.5719	0.2610
41	0.7437	1.3055	0.5246
42	0.5856	1.5769	0.7312
43	0.5709	1.4148	0.2428
44	0.6615	0.2933	0.2345
45	0.4026	0.5276	0.2780
46	0.3225	1.0549	0.3528
47	0.2263	1.2154	0.3375
48	0.1001	2.1504	0.6491
49	0.2749	1.2508	0.3940
50	0.6844	1.0246	0.3018
51	0.7946	0.7785	0.4144



52	1.1200	2.1943	0.8871
53	1.3116	0.7786	0.7640

#### 9.1.2.4 การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ

จากการวิเคราะห์ในรูปแบบใหม่ของหัวข้อย่อยที่ 9.1.2.3 จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบ พารามิเตอร์ทั้ง 3 จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และจากผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้า จากเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบใหม่ ซึ่งจะพบว่าความผิดพลาดของทั้ง 3 พารามิเตอร์จะมีค่านี้น้อยลงอย่างมากเมื่อเทียบกับการเปรียบเทียบแบบภายในหนึ่งวัน โดยเป็นผลเนื่องจากการประมาณกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง และความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีลักษณะเป็นเส้นตรงของข้อมูลที่ได้นั้นทำให้สามารถละเลยความผิดพลาดจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และจากสิ่งแวดล้อมภายนอก

### 9.2 ผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

จากบทที่ 2 ในหัวข้อที่ 2.4 จะได้มีการกล่าวถึงหลักการพื้นฐานเบื้องต้นของผลกระทบการบังแสงแดดต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ และภายในบทที่ 6 จะได้กล่าวถึงหลักการและขั้นตอนที่ใช้ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากอุปสรรคทางด้านระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบมีไม่เพียงพอที่จะทำการเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้ง 4 กรณีศึกษา เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะประกอบไปด้วย 10 โมดูล และรูปแบบการเชื่อมต่อจะเป็นแบบอนุกรมเพียงอย่างเดียว (จะไม่สามารถปรับรูปแบบการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ได้) จึงทำให้ไม่สามารถทดสอบทั้ง 4 กรณีศึกษา นอกจากนี้เซนเซอร์ที่ตรวจวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะประกอบไปด้วยเพียงตัวเดียว ซึ่งทำให้การวัดความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนและหลังการบังแสงแดดพร้อมกันไม่ได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพียงบางกรณี โดยจะสามารถแบ่งการนำเสนอออกได้เป็น 4 หัวข้อ คือ

- หลักการเปรียบเทียบ
- ขั้นตอนการเปรียบเทียบ
- ผลการเปรียบเทียบ

- การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ

### 9.2.1 หลักการเปรียบเทียบ

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าไม่สามารถวัดความเข้มแสงก่อนและหลังการบังแสงแดดพร้อมกันได้ จึงทำให้ความเข้มแสงบางค่าในการเปรียบเทียบในหัวข้อนี้จะเป็นความเข้มแสงที่เกิดการประมาณจากเวลาที่ใกล้เคียง เช่น

เซนเซอร์บันทึกข้อมูลในช่วงเวลา 12.00-12.05 น. ว่าตรวจวัดความเข้มแสงได้เป็น  $900 \text{ W/m}^2$  ต่อมาพิจารณาช่วงเวลา 12.05-12.10 น. โดยจะทำการบังแสงแดดกับเซลล์แสงอาทิตย์ และเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดพร้อมกัน ซึ่งความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้มีค่าเป็น  $40 \text{ W/m}^2$  ดังนั้นจะสรุปได้ว่าภายในช่วงเวลา 12.05-12.10 น. จะมีความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์หลังเกิดการบังแสงแดดมีค่าเป็น  $40 \text{ W/m}^2$  จากการตรวจวัดและความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนเกิดการบังแสงแดดจะมีค่าเป็น  $900 \text{ W/m}^2$  จากการประมาณให้มีค่าเท่ากับช่วงเวลา 12.00-12.05 น. ซึ่งพบว่า ณ ช่วงเวลา 12.05-12.10 น. จะสามารถตรวจวัดความเข้มแสงก่อนและหลังการบังแสงแดดพร้อมกันได้

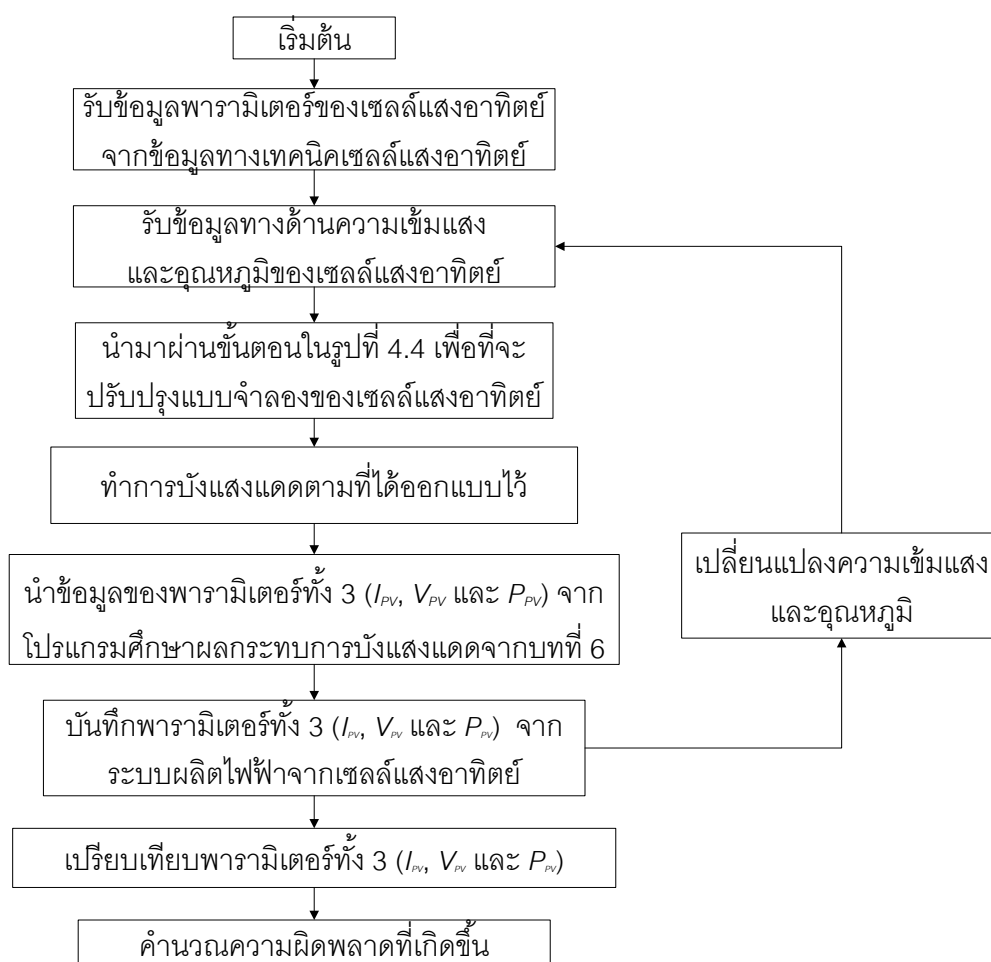
ส่วนอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จะเลือกอุณหภูมิในช่วงที่บันทึกให้มีค่าต่างกันไม่มาก เช่น ช่วงเวลา 12.00-12.05 น. และ 12.05-12.10 น. จากการตรวจวัดอุณหภูมิมีค่าเป็น  $40.0^\circ\text{C}$  และ  $40.4^\circ\text{C}$  ตามลำดับ ซึ่งจะเลือกข้อมูลชุดนี้เป็นข้อมูลที่จะใช้ในการเปรียบเทียบกับแบบจำลองศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

นอกจากนี้การตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการบันทึกพารามิเตอร์ต่างๆดังแสดงในหัวข้อที่ 7.4 อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์ที่จะใช้เปรียบเทียบจะประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์ คือ แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

### 9.2.2 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ

จากหลักการเปรียบเทียบในหัวข้อที่ 9.2.1 จะกล่าวได้ว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เปรียบเทียบจะประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์ และในช่วงเวลาที่พารามิเตอร์ทั้ง 3 ได้บันทึกจะต้องมีสภาวะการทำงาน of ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นโหมดหลักการการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด อย่างไรก็ตามผลการทดลองแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ภายในบทที่ 6 ที่ได้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด จึงทำให้มีการปรับปรุงแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะพิจารณาที่จุดให้กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดเพียงจุดเดียว ซึ่งขั้นตอนการเปรียบเทียบจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9.18



ภาพที่ 9.18 ขั้นตอนการเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

- ขั้นตอนที่ 1 รับข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิตเป็นจำนวน 8 พารามิเตอร์ เช่น  $V_{OC}$ ,  $I_{SC}$ ,  $P_{MMP}$ ,  $V_{MMP}$ ,  $I_{MMP}$ ,  $K_I$ ,  $K_V$  และ  $N_S$
- ขั้นตอนที่ 2 ทำการบังแสงแดดตามรูปแบบที่ได้ออกแบบ
- ขั้นตอนที่ 3 รับความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ตามข้อมูลที่บันทึกของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- ขั้นตอนที่ 4 คำนวณพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากขั้นตอนในภาพที่ 4.4 ซึ่ง

- ประกอบไปด้วย  $I_{PH}$ ,  $I_O$ ,  $a$ ,  $V_{TH}$ ,  $N_S$ ,  $R_P$  และ  $R_S$
- ขั้นตอนที่ 5 คำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด จากแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- ขั้นตอนที่ 6 หาจุดที่ให้แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงที่สูงสุด
- ขั้นตอนที่ 7 คำนวณความผิดพลาดของแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

### 9.2.3 ผลการเปรียบเทียบ

การเปรียบเทียบจะต้องออกแบบการทดลองที่จะใช้ในการการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากไม่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลให้รูปแบบการเชื่อมต่อในการเปรียบเทียบจะมีเพียงแค่รูปแบบเดียว คือ เซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 โมดูล เชื่อมต่อแบบอนุกรมเป็นหนึ่งแถว โดยภายในหนึ่งแถวจะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดและไม่เกิดการบังแสงแดดเป็นจำนวน 3 และ 7 โมดูล ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 ลักษณะการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์

กลุ่ม	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ถูกบังแสง (โมดูล)	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง (โมดูล)	จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดหนึ่งแถว (โมดูล)
1	7	3	10

เมื่อทดลองการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ตามที่ออกแบบไว้ในตารางที่ 9.2 จะสามารถบันทึกข้อมูลขาเข้าที่ใช้ในแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้สร้างไว้ในบทที่ 6 จากที่กล่าวมาเกี่ยวกับการประมาณแทนความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ก่อน และหลังเกิดการบังแสงแดด และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ก่อน และหลังการบังแสงแดดดังที่กล่าวในหัวข้อย่อยที่ 9.2.1 ซึ่งจะสามารถแสดงข้อมูลดังกล่าวได้ดังตารางที่ 9.3

ตารางที่ 9.3 ข้อมูลขาเข้าจากการตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

กลุ่ม	เวลา (hh:mm)	ความเข้มแสงก่อน การบังแสงแดด (W/m <sup>2</sup> )	ความเข้มแสงหลัง การบังแสงแดด (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิก่อน การบัง แสงแดด (°C)	อุณหภูมิหลัง การบัง แสงแดด (°C)
1	10.40	986.57	-	55.34	-
	10.45	986.57	85.74	55.34	54.8
2	12:40	864.5	-	54.27	-
	12:45	864.5	85.76	54.27	54.00
3	12.40	609.69	-	54.26	-
	12.45	609.69	85.76	54.26	53.98
4	13.05	806.55	-	40.18	-
	13.10	806.55	93.45	40.18	40.79
5	13.15	759.14	-	38.8	-
	13.20	759.14	60.13	38.8	38.22
6	13.25	773.69	-	53.74	-
	13.30	773.69	60.13	53.74	51.99
7	13.40	910.77	-	58.1	-
	13.45	910.77	97.56	58.1	57.67
8	14.05	1083.72	-	48.54	-
	14.10	1083.72	92.35	48.54	48.12
9	14.45	688.19	-	39.39	-
	14.50	688.19	50.25	39.39	39.12
10	15.15	809.96	-	48.29	-
	15.20	809.96	78.63	48.29	48.00

หลังจากได้ข้อมูลขาเข้าที่จะใช้ในแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อมาจะเป็นการแสดงผลของการเปรียบเทียบ ซึ่งผลของการเปรียบเทียบจะสามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อย่อย ตามจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ

- แรงแต้นของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

- กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด
- กำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

### 9.2.3.1 แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

อย่างที่ได้อธิบายไปแล้วแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะเป็นหนึ่งในสามพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 9.3 ไปคำนวณตามขั้นตอนการเปรียบเทียบในภาพที่ 9.18 จะแสดงความผิดพลาดของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดได้ดังตารางที่ 9.4

ตารางที่ 9.4 ความผิดพลาดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

ครั้งที่	ความผิดพลาดของแรงดัน (%)	ครั้งที่	ความผิดพลาดของแรงดัน (%)
1	6.78	6	7.26
2	8.79	7	6.50
3	4.91	8	1.15
4	9.12	9	1.54
5	6.12	10	8.56

เมื่อนำความผิดพลาดจำนวน 10 ครั้ง มารวมกัน จะพบว่าความผิดพลาดเฉลี่ยของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดระหว่างแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเป็น 6.07%

### 9.2.3.2 กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

อย่างที่ได้อธิบายไปแล้วกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะเป็นหนึ่งในสามพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 9.3 ไปคำนวณตามขั้นตอนการเปรียบเทียบในภาพที่ 9.18 จะแสดงความผิดพลาดของกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดได้ดังตารางที่ 9.5

ตารางที่ 9.5 ความผิดพลาดของกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

ครั้งที่	ความผิดพลาดของกระแส (%)	ครั้งที่	ความผิดพลาดของกระแส (%)
1	4.65	6	3.65
2	7.75	7	3.10
3	6.30	8	3.26
4	9.36	9	3.28
5	9.75	10	11.6

เมื่อนำความผิดพลาดจำนวน 10 ครั้ง มารวมกัน จะพบว่าความผิดพลาดเฉลี่ยของกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดระหว่างแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเป็น 6.27%

### 9.2.3.3 กำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

อย่างที่ได้อธิบายไปกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะเป็นหนึ่งในสามพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 9.3 ไปคำนวณตามขั้นตอนการเปรียบเทียบในภาพที่ 9.18 จะแสดงความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดได้ดังตารางที่ 9.6

ตารางที่ 9.6 ความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด

ครั้งที่	ความผิดพลาดกำลังไฟฟ้าจริง (%)	ครั้งที่	ความผิดพลาดกำลังไฟฟ้าจริง (%)
1	5.46	6	6.27
2	8.96	7	9.81
3	1.07	8	3.56
4	17.81	9	1.69
5	15.9	10	15.95

เมื่อนำความผิดพลาดจำนวน 10 ครั้ง มารวมกัน จะพบว่าความผิดพลาดเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดระหว่างแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดด

ต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเป็น 8.62%

#### 9.2.4 การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ

จากการเปรียบเทียบผลกระทบบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 พารามิเตอร์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด จะพบว่าความผิดพลาดจะมีค่าที่สูง เมื่อเทียบกับการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการตรวจวัดจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 9.1 โดยจะมีสาเหตุมาจากเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดความเข้มแสง และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีเพียงตัวเดียว และความผิดพลาดของอุปกรณ์จากเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดด้วย



## บทที่ 10

### สรุป

บทนี้จะเป็นการสรุปงานวิจัยทั้งหมดภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งบทนี้จะสามารถแบ่งการนำเสนอได้ออกเป็น 2 หัวข้อ คือ

- 1) สรุปผลการวิจัย
- 2) ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

#### 10.1 สรุปผลการวิจัย

การสรุปผลการทดลองของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบไปด้วย 3 งานวิจัย นั่นคือ

(1) ข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์จะมีข้อมูลที่ไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ร่วมกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติ ซึ่งทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดที่มีการเชื่อมต่อร่วมกัน โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการสร้างสมการเพิ่มเติมเพื่อที่จะใช้ในการคำนวณหาพารามิเตอร์เพิ่มเติม เพื่อที่จะสามารถคำนวณแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ และยังคงวิจัยทางด้านความเข้มแสงที่ตกกระทบ และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมอยู่ในการคำนวณด้วย

(2) เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะไม่สามารถนำมาใช้กับอาคารสำนักงาน หรือโหลดประเภทอื่นได้โดยตรง ซึ่งทำให้ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมเชื่อมต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเชื่อมต่อรวมกันระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์เพิ่มเติมจะเรียกว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic generation system) ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงโหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วย 2 โหมด คือ โหมดการทำงานแบบ PQ และ PV โดยการวิเคราะห์แต่ละโหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะพิจารณาจากพารามิเตอร์แต่ละตำแหน่งของแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า และภายในการคำนวณแต่ละโหมดการทำงานจะมีการคำนวณร่วมกับกระแสของกำลังไฟฟ้าด้วย

(3) ผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าจริง ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงหลักการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการบังแสงแดด แบบที่ไม่มี การเชื่อมต่อกับบายพาสไดโอด และแบบที่มีการเชื่อมต่อกับ

บายพาสไดโอด และยังมีการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบว่าจะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจริงแตกต่างกันอย่างไร และโปรแกรมที่ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะรวมผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดการบังแสงแดดด้วย

## 10.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

- 1) หลักการการคำนวณของการนำข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติควรที่จะมีวิธีการคำนวณรูปแบบอื่นเพื่อที่จะใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของการคำนวณแต่ละแบบ
- 2) แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาจะเป็นประเภทที่เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ควรที่จะศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทอื่น เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ และระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
- 3) การศึกษาเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตออกมาได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเกิดการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะยังไม่มีผลละเอียดยในการคำนวณพอ เพราะว่าการวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาการบังแสงแดดทั้งหมดแผงโมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่สามารถคำนวณเมื่อเกิดการบังแสงแดดเพียงครึ่งแผงโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองจากโปรแกรมที่ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และผลการตรวจวัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดด จะยังมีการประมาณค่าของความเข้มแสง และอุณหภูมิหลังจากเกิดการบังแสงแดด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิมียิ่งขึ้นเดียว

## รายการอ้างอิง

- [1] พลังงาน, กระทรวง. Energy Statistics 2011. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: [http://www.eppo.go.th/info/1summary\\_stat.htm](http://www.eppo.go.th/info/1summary_stat.htm) [1 มกราคม 2555]
- [2] พลังงาน, กระทรวง. Thailand Alternative Energy Situation 2009. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: [http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1841%3A2010-09-22-07-02-07&catid=128&lang=en](http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=1841%3A2010-09-22-07-02-07&catid=128&lang=en) [10 มกราคม 2555]
- [3] พลังงาน, กระทรวง. ความต้องการไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดทำ PDP 2007. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: [www.eppo.go.th/power/poo2/egat-pdp-doc.pdf](http://www.eppo.go.th/power/poo2/egat-pdp-doc.pdf) [11 มกราคม 2555]
- [4] Altas, I.H. and Sharaf, A.M. A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment. International Conference Clean Electrical Power, Page 341 – 345. 2007
- [5] Dondi, D., Brunelli, D., Benini, L., Pavan, P., Bertacchini, A. and Larcher, L. Photovoltaic Cell Modeling for Solar Energy Powered Sensor Networks. International Workshop Advances in Sensors and Interface, Page 1-6. 2007
- [6] Salam, Z., Ishaque, K. and Taheri, H. An improved two-diode photovoltaic (PV) model for PV system. Power Electronics Drives and Energy Systems, Page 1 – 5. 2010.
- [7] Gow J. A. and Manning C. D. Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies. Electric Power Applications, Page 193–200. 1999.
- [8] Nishioka K., Sakitani N., Uraoka Y. and Fuyuki T. Analysis of multicrystalline silicon solar cells by modified 3-diode equivalent circuit model taking leakage current through periphery into consideration. Solar Energy Mater. Page 1222–1227. 2007.

- [9] Durgadevi A. Photovoltaic Modeling and Its Characteristics. International Conference Emerging Trends in Electrical and Computer Technology. Page 469-475. 2011.
- [10] Chih-Hao Chang, Jia-Jun Zhu and Huan-Liang Tsai. Model-Based Performance Diagnosis for PV Systems. SICE Annual Conference. Page 2139 - 2145. 2010.
- [11] Villalva, M.G., Gazoli, J.R. and Filho, E.R. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. IEEE Transactions Power Electronics. Page 1198 - 1208. 2009.
- [12] Elkholy A., A New Technique for Photovoltaic Module Performance Mathematical Model. International Conferenc Chemistry and Chemical Engineering. Page 6 – 10. 2010.
- [13] Meyer, E.L. and Ernest van Dyk, E. The Effect of Reduced Shut Resistance And Shading on Photovoltaic Module Performance. Photovoltaic Specialists Conference. Page 1331–1334. 2005.
- [14] Patel, H. and Agarwal, V. MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics. IEEE Transactions Energy Conversion. Page 302 - 310. 2008.
- [15] Wang NianCHun, Sun Zuo, Yukita, K., Goto, Y. and Ichiyanagi, K. Research of PV Model and MPPT Methods in Matlab. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. Page 1 – 4. 2010.
- [16] Paraskevadaki, E.V. and Papathanassiou, S.A. Evaluation of MPP Voltage and Power of mc-Si PV Modules in Partial Shading Conditions. IEEE Transactions Energy Conversion. Page 923 – 932. 2009.
- [17] W. Yi-Bo, W. Chun-Sheng, L. Hua and X. Hong-Hua. Steady-State Model and Power Flow Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Power System. International Conference Industrial Technology. Page 1-6. 2008.
- [18] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. เซลล์แสงอาทิตย์. 2551. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.html> [10 มกราคม 2555]

- [19] บริษัท ลีโอนิกส์ จำกัด. ความรู้เซลล์แสงอาทิตย์. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: [http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar\\_knowledge.php](http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php) [8 ธันวาคม 2555]
- [20] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. เซลล์แสงอาทิตย์: ข้อดี ข้อเสีย. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: <http://www.nstda.or.th/sci-kids-menu/2326-solar-cell-advantage-disadvantage> [10 มกราคม 2555]
- [21] Kyocera. KC200GT Photovoltaic Module Datasheet. [ออนไลน์]. 2548. แหล่งที่มา: <http://www.kyocera.com.sg/products/solar/pdf/kc200gt.pdf> [5 มกราคม 2555]
- [22] บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน). Multi-Crystalline Silicon Solar Modules 130 Watt SP130. 2548. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.solartron.co.th/Catalog/SP130\\_TH.pdf](http://www.solartron.co.th/Catalog/SP130_TH.pdf) [30 มกราคม 2555]
- [23] วิทยาลัยการอาชีพบางละมุง. หลักการเบื้องต้นของคอนเวอร์เตอร์. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.blmiacec.ac.th/E-learning/elec/8-1.htm> [18 มกราคม 2555]
- [24] SMA Solar (Thailand) Co. Ltd. Sunny Boy and Sunny Mini Central Solar Inverters for Photovoltaic Plants. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [www.rpc.com.au/pdf/SB\\_SMC-11-FE3206-ops.pdf](http://www.rpc.com.au/pdf/SB_SMC-11-FE3206-ops.pdf) [25 กุมภาพันธ์ 2555]

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรพต แสงสว่าง เกิดวันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

ในระหว่างการศึกษาระดับปริญญาตรีและระดับปริญญาโท นายวรพต แสงสว่าง ได้ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัยห้องปฏิบัติการไฟฟ้ากำลัง (Power System Laboratory Research: PSRL) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในงานวิจัย/โครงการที่ปรึกษาต่างๆ ได้แก่ (1) โครงการมาตรฐานคุณภาพบริการไฟฟ้าของสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (2) โครงการศึกษาเพื่อกำหนดแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (3) โครงการศึกษาพัฒนาแผนการจัดหาไฟฟ้าของประเทศของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (4) โครงการศึกษาเพื่อกำหนดแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และ (5) โครงการศึกษาเพื่อกำหนดนโยบายและแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน

นอกจากนี้งานวิจัยจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ 2 แห่ง คือ (1) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering Conference ครั้งที่ 34) (EECON 34) และ (2) การประชุมวิชาการของสมาคมวิชาการไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศ (Electrical Engineering Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association of Thailand) (ECTI 2012)