

การจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับตัวได้เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดดต่อการ
ผลิตไฟฟ้า



นายอนุชา เล็กเครื่องสุวรรณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 University Graduate School.

ADAPTIVE PHOTOVOLTAIC ARRAY CONFIGURATION FOR ALLEVIATING IMPACT OF
SHADING ON POWER GENERATION

Mr. Anucha Lekkrusuwan



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับตัวได้เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงต่อการผลิตไฟฟ้า
โดย	นายอนุชา เล็กเครื่องสุวรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. สุรัชชัย ชัยทัศน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แนบบุญ หุ่นเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. สุรัชชัย ชัยทัศน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ภาวัน สยามชัย)

อนุชา เล็กเครือสุวรรณ : การจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับตัวได้เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดดต่อการผลิตไฟฟ้า. (ADAPTIVE PHOTOVOLTAIC ARRAY CONFIGURATION FOR ALLEVIATING IMPACT OF SHADING ON POWER GENERATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร. สุรัชชัย ชัยทัศนีย์, 225 หน้า.

ในปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยแหล่งพลังงานหลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป อีกทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้มีการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้เพิ่มมากขึ้น ประกอบกับตำแหน่งที่ตั้งของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เป็นปริมาณมาก จึงทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพเนื่องจากผลการบังแสงแดดของวัตถุแวดล้อม ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลง

โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ การศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดที่มีผลต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการนำเสนอแนวคิดในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบจากการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้สามารถได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นภายใต้เงื่อนไขของการบังแสงแดดที่มีจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดดที่เท่ากัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5570445021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: PHOTOVOLTAIC / SHADING

ANUCHA LEKKRUASUWAN: ADAPTIVE PHOTOVOLTAIC ARRAY CONFIGURATION FOR ALLEVIATING IMPACT OF SHADING ON POWER GENERATION. ADVISOR: PROF. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D., CO-ADVISOR: SURACHAI CHAITUSANEY, 225 pp.

Electrical power demand of Thailand keeps increasing continuously, resulting in depletion of fossil energy sources, e.g. natural gas and lignite. Combining with environmental issues from fossil energy utilization, renewable energy is used and widely increased. Since Thailand is located in the area with high potential of solar energy, photovoltaic (PV) generation system is a good option for Thailand. However, photovoltaic generation system still cannot perform at maximum potential due to the shading of its surrounding objects, which decrease the overall amount of generated electrical power.

This thesis proposes a modeling methodology of photovoltaic module, taking into account shading on photovoltaic generation system with the implementation of photovoltaic array arrangement concept. The proposed arrangement can decrease the impacts of shading, and consequently can increase the generated electrical power even though the number of shaded photovoltaic modules remains the same.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Electrical Engineering

Student's Signature

Field of Study: Electrical Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2013

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำอย่างดียิ่งจากบุคคลผู้มีความเชี่ยวชาญมากมาย ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ และ อาจารย์ ดร.สุรัชย์ ชัยทัศนีย์ ซึ่งกรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษา ชี้แนะและให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุ่นเจริญ และ ดร.ภาวัน สยามชัย ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนการศึกษาตลอดช่วงการศึกษาในระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ขอขอบคุณบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) สำหรับความรู้และข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวที่ให้กำลังใจและการสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด รวมทั้ง พี่น้อง และเพื่อนทุกคน ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	6
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	6
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.1.1 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
2.1.3 ข้อดีและข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.2 หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
2.2.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
2.2.2 ผลของอุณหภูมิและความเข้มแสงต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....	21
2.3 ข้อมูลเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์.....	23
2.4 เซลล์ โมดูล และอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์.....	27
2.5 การหาพารามิเตอร์และการคำนวณ.....	28
2.5.1 การหาพารามิเตอร์เพิ่มเติมของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	28
2.5.2 ตัวอย่างการคำนวณ.....	33

บทที่ 3	ข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย.....	36
3.1	สถานะโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน	36
3.2	การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	37
3.2.1	การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ (Fixed system).....	37
3.2.2	การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตาม (Tracking system)	38
3.2.3	การออกแบบการติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	39
3.2.4	ตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย.....	40
3.3	ทิศทางการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคต	44
บทที่ 4	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์.....	46
4.1	เมฆ.....	46
4.1.1	ตระกูลของเมฆ	46
4.1.2	ระดับความสูงของเมฆ	49
4.1.3	การเคลื่อนที่ของเมฆและผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์ แสงอาทิตย์.....	49
4.2	ลม.....	51
4.2.1	ลมมรสุมของประเทศไทย	51
4.2.2	การวัดทิศทางลม	53
4.2.3	ข้อมูลความเร็วลม.....	54
บทที่ 5	การบังแสงแดด.....	57
5.1	สาเหตุของการบังแสงแดด.....	57
5.2	ผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์	59
5.3	ผลของการบังแสงแดดต่อจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	65
5.4	การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอด.....	67
5.5	การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอด.....	69
5.6	ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งสตรึง เมื่อเกิดการบังแสงแดด.....	70
5.7	ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งอาร์เรย์ เมื่อเกิดการบังแสงแดด.....	74

บทที่ 6	การจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์.....	82
6.1	รูปแบบการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์.....	82
6.2	การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า.....	84
6.3	อาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้.....	87
6.4	หลักการทำงานของสวิตช์.....	88
6.5	หลักการพิจารณาในการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์.....	89
6.6	แนวคิดในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์.....	92
บทที่ 7	ระบบทดสอบ.....	96
7.1	ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	96
7.2	ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 2.....	102
7.3	ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 3.....	105
บทที่ 8	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	109
8.1	ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	109
8.1.1	การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับโปรแกรมสำเร็จรูป..	109
8.1.2	การเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลองและข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์.....	111
8.1.3	การเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดจริงจากระบบทดสอบ.....	114
8.1.3.1	การเปรียบเทียบค่ากระแสที่ได้จากการวัดจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	118
8.1.3.2	การเปรียบเทียบค่าแรงดันที่ได้จากการวัดจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	119
8.1.3.3	การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัดจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	121
8.2	ผลการทดลองผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....	124
8.2.1	การเปรียบเทียบผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับข้อมูลตรวจวัดจริง.....	124
8.2.2	ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งสตรึงเมื่อโดนบังแสงแดด.....	130
8.3	ผลการทดลองผลกระทบของการบังแสงแดดต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์.....	138

8.3.1	ร้อยละการบังแสงแดดที่แตกต่างกัน	139
8.3.1.1	การเปรียบเทียบผลกระทบบร้อยละการบังแสงแดดของระบบทดสอบระบบที่ 2	140
8.3.1.2	การเปรียบเทียบผลกระทบบร้อยละการบังแสงแดดของระบบทดสอบระบบที่ 3	146
8.3.2	การบังแสงแดดในฤดูกาลที่แตกต่างกัน	152
8.3.2.1	การเปรียบเทียบผลกระทบบการบังแสงแดดในฤดูหนาว	152
8.3.2.2	การเปรียบเทียบผลกระทบบการบังแสงแดดในฤดูร้อน	170
8.3.2.3	การเปรียบเทียบผลกระทบบการบังแสงแดดในฤดูฝน	188
บทที่ 9	สรุปวิทยานิพนธ์	208
9.1	สรุป	208
9.2	ข้อเสนอแนะ	209
	รายการอ้างอิง	210
	ภาคผนวก ก	214
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	225

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	สถิติและการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในการจัดทำแผน PDP 2010 และแผน พีดีพี 2010 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3	2
ตารางที่ 1.2	ราคาของอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์	3
ตารางที่ 2.1	ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) รุ่น SP120.....	24
ตารางที่ 2.2	ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท ชันเทค จำกัด รุ่น STP285-24/Vd....	25
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลสถานะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในปัจจุบัน	37
ตารางที่ 4.1	ระดับความสูงของฐานเมฆชั้นต่างๆ	49
ตารางที่ 4.2	จำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ยต่อ 1 วัน/เดือน ที่เกิดขึ้นบนระบบผลิตไฟฟ้า	51
ตารางที่ 4.3	ตัวอย่างข้อมูลทิศทางและความเร็วลมของแต่ละวันในระดับความสูงต่างๆ	55
ตารางที่ 4.4	ทิศทางของลมที่ระดับความสูง 2 กิโลเมตรจากระดับน้ำทะเลในแต่ละเดือน	56
ตารางที่ 5.1	ลักษณะการบังแสงแดดของอาเรียในภาพที่ 5.5(ค).....	62
ตารางที่ 5.2	ค่าของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ 1 โมดูลเมื่อโดนบังแสงแดด	64
ตารางที่ 5.3	ค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของหนึ่งสตริงเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด	77
ตารางที่ 5.4	ค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของหนึ่งสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบไม่มี บายพาสไดโอด	78
ตารางที่ 5.5	ค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของหนึ่งสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบมี บายพาสไดโอด	79
ตารางที่ 7.1	ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL (Sunny Boy 2100TL).....	98
ตารางที่ 7.2	ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกได้จริงจากระบบทดสอบ ณ วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2557	101
ตารางที่ 7.3	ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท ชันเทค จำกัด รุ่น STP295-24/Vd..	104
ตารางที่ 7.4	ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์รุ่น SC630HE (Sunny Central 630HE)	104
ตารางที่ 7.5	ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท แอสโทรเนอร์ยี จำกัด รุ่น CHSM6612P-285W.....	107
ตารางที่ 7.6	ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์รุ่น SC800CP-US (Sunny Central 800 CP- US).....	107
ตารางที่ 8.1	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SP120 ระหว่าง โปรแกรม PVSYSTและค่าจากแบบจำลอง	110

ตารางที่ 8.2	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น STP295-24/Vd ระหว่างโปรแกรม PVSYST และค่าจากแบบจำลอง.....	110
ตารางที่ 8.3	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น CHSM6612-285W ระหว่างโปรแกรม PVSYST และค่าจากแบบจำลอง.....	111
ตารางที่ 8.4	ผลการคำนวณการบังแสงแดดจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และจากโปรแกรม PVSYST	130
ตารางที่ 8.5	ผลการทดลองการบังแสงแดดในกรณีที่ 1 ถึงกรณีที่ 6 ภายใต้สภาวะมาตรฐาน (STC).....	137
ตารางที่ 8.6	ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 8 เมษายน 2557 ณ ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองร้อยละการบังแสงแดดที่แตกต่างกัน.....	139
ตารางที่ 8.7	ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 2 มกราคม 2556 ณ ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองการบังแสงแดดในฤดูกาลที่แตกต่างกัน.....	152
ตารางที่ 8.8	กำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด	169
ตารางที่ 8.9	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์	169
ตารางที่ 8.10	ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 2 เมษายน 2556 ณ ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองการบังแสงแดดในฤดูกาลที่แตกต่างกัน.....	170
ตารางที่ 8.11	กำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด	187
ตารางที่ 8.12	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์	187
ตารางที่ 8.13	ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 1 กันยายน 2556 ณ ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองการบังแสงแดดในฤดูกาลที่แตกต่างกัน	188
ตารางที่ 8.14	กำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด	205
ตารางที่ 8.15	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์	205

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อไม่เกิดการบ่งแสงแดด.....	5
ภาพที่ 1.2	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อเกิดการบ่งแสงแดด.....	5
ภาพที่ 1.3	โครงสร้างเนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	11
ภาพที่ 2.1	หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
ภาพที่ 2.2	เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำซิลิคอน.....	16
ภาพที่ 2.3	ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ.....	17
ภาพที่ 2.4	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งไดโอด.....	19
ภาพที่ 2.5	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดขนาดหนึ่งโมดูล.....	25
ภาพที่ 2.6	เซลล์ โมดูล และ อาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์.....	27
ภาพที่ 2.7	ผลของกระแสและแรงดันเมื่อต่ออาร์เรย์แบบอนุกรม.....	28
ภาพที่ 2.8	ผลของกระแสและแรงดันเมื่อต่ออาร์เรย์แบบขนาน.....	28
ภาพที่ 2.9	ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์.....	30
ภาพที่ 2.10	ขั้นตอนคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองแบบ หนึ่งไดโอด.....	32
ภาพที่ 3.1	การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่.....	38
ภาพที่ 3.2	การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตาม.....	39
ภาพที่ 3.3	พื้นที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งที่ 1.....	40
ภาพที่ 3.4	การเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งที่ 1.....	41
ภาพที่ 3.5	พื้นที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งที่ 2.....	42
ภาพที่ 3.6	การเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งที่ 2.....	43
ภาพที่ 3.7	พื้นที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งที่ 3.....	43
ภาพที่ 3.8	การเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งที่ 3.....	44
ภาพที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและเวลาที่ทำการบันทึก.....	50
ภาพที่ 4.2	ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้.....	52
ภาพที่ 4.3	ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ.....	53
ภาพที่ 4.4	ทิศของลมตามองศาจากทิศจริง.....	54
ภาพที่ 5.1	การบ่งแสงแดดที่เกิดจากเงาของต้นไม้.....	57
ภาพที่ 5.2	การบ่งแสงแดดที่เกิดจากเมฆเคลื่อนที่ผ่าน.....	58
ภาพที่ 5.3	ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและเวลาที่ทำการบันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้า.....	58

ภาพที่ 5.4	แบบจำลองการบังแสงแดดอย่างง่าย	60
ภาพที่ 5.5	(ก) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดดในหนึ่งสตรึง (ข) กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์ และ (ค) อาเรย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบไปด้วยกลุ่มที่ถูกบังแสงแดด จำนวนสองกลุ่ม	61
ภาพที่ 5.6	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด.....	62
ภาพที่ 5.7	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด	65
ภาพที่ 5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด	66
ภาพที่ 5.9	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด	66
ภาพที่ 5.10	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด.....	66
ภาพที่ 5.11	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทไม่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด	68
ภาพที่ 5.12	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทมีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด	70
ภาพที่ 5.13	ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งสตรึงเมื่อเกิดการบังแสงแดด	72
ภาพที่ 5.14	ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งอาเรย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด	75
ภาพที่ 5.15	วงจรสมมูลของสตรึงเซลล์แสงอาทิตย์	80
ภาพที่ 5.16	ลักษณะของสตรึงเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีต่างๆ	80
ภาพที่ 5.17	ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันกรณีไม่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด	81
ภาพที่ 5.18	ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันกรณีมีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด ..	81
ภาพที่ 6.1	โครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Series-Parallel.....	82
ภาพที่ 6.2	โครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Total Cross-Tied.....	83
ภาพที่ 6.3	โครงสร้างอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์.....	85
ภาพที่ 6.4	โครงสร้างสตรึงอินเวอร์เตอร์	86
ภาพที่ 6.5	โครงสร้างมัลติสตรึงอินเวอร์เตอร์	86
ภาพที่ 6.6	โครงสร้างอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างได้.....	87
ภาพที่ 6.7	โครงสร้างสวิตช์ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	88
ภาพที่ 6.8	ลักษณะการบังแสงแดดบนอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์	90

ภาพที่ 6.9	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด.....	90
ภาพที่ 6.10	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด.....	91
ภาพที่ 6.11	แนวคิดในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดด	92
ภาพที่ 7.1	อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	96
ภาพที่ 7.2	เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) รุ่น SP120	97
ภาพที่ 7.3	อินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL (Sunny Boy 2100TL).....	97
ภาพที่ 7.4	อุปกรณ์วัดความเข้มแสง รุ่น Sunny SENSORBOX	98
ภาพที่ 7.5	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ จากบริษัท Jumo.....	99
ภาพที่ 7.6	ตัวเก็บข้อมูล (Data recorder) รุ่น Sunny webbox	100
ภาพที่ 7.7	การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบ.....	100
ภาพที่ 7.8	โรงไฟฟ้าของระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 2.....	102
ภาพที่ 7.9	การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2.....	103
ภาพที่ 7.10	การเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2	105
ภาพที่ 7.11	โรงไฟฟ้าของระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 3.....	105
ภาพที่ 7.12	การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 3.....	106
ภาพที่ 7.13	การเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 3	108
ภาพที่ 8.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน กับ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP295-24/Vd เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง.....	111
ภาพที่ 8.2	ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	112
ภาพที่ 8.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP295-24/Vd เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง.....	113
ภาพที่ 8.4	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP295-24/Vd เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง.....	113
ภาพที่ 8.5	ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงในรูปแบบของไฟล์ Excel	115

ภาพที่ 8.6	ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	116
ภาพที่ 8.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลาที่ทำการบันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของวันที่ 8 เมษายน 2557	117
ภาพที่ 8.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์กับเวลาที่ทำการบันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของวันที่ 8 เมษายน 2557	117
ภาพที่ 8.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและเวลาที่บันทึกจากระบบทดสอบของวันที่ 8 เมษายน 2557.....	118
ภาพที่ 8.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่บันทึกข้อมูล	118
ภาพที่ 8.11	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและเวลาที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าการวัดจริง	119
ภาพที่ 8.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันและเวลาที่บันทึกจากระบบทดสอบของวันที่ 8 เมษายน 2557.....	120
ภาพที่ 8.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่บันทึกข้อมูล	120
ภาพที่ 8.14	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและเวลาที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าการวัดจริง	121
ภาพที่ 8.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่บันทึกจากระบบทดสอบของวันที่ 8 เมษายน 2557	122
ภาพที่ 8.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่บันทึกข้อมูล	122
ภาพที่ 8.17	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าการวัดจริง	123
ภาพที่ 8.18	ลักษณะของการบ่งแสงแดดบนระบบทดสอบ	124
ภาพที่ 8.19	ระบบทดสอบผลกระทบการบ่งแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์	125
ภาพที่ 8.20	ขั้นตอนการเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับผลการวัดจริงเมื่อเกิดการบ่งแสงแดด.....	126
ภาพที่ 8.21	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและเวลาที่ทำการบันทึกของระบบทดสอบ	127

ภาพที่ 8.22	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาทำการบันทึกของระบบทดสอบในวันที่ 20 เมษายน 2557	127
ภาพที่ 8.23	การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่ได้จากการวัดจริงในวันที่ 20 เมษายน 2557	128
ภาพที่ 8.24	การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่ได้จากการวัดจริงในวันที่ 20 เมษายน 2557	128
ภาพที่ 8.25	การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่ได้จากการวัดจริงในวันที่ 20 เมษายน 2557	129
ภาพที่ 8.26	ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน (บน) และ กำลังไฟฟ้าและแรงดัน (ล่าง) ของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 โมดูล	131
ภาพที่ 8.27	ลักษณะของสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล	132
ภาพที่ 8.28	ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน (บน) และกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (ล่าง) ของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ...	133
ภาพที่ 8.29	ลักษณะของสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 โมดูล	133
ภาพที่ 8.30	ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน (บน) และกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (ล่าง) ของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 โมดูล ...	134
ภาพที่ 8.31	ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน (บน) และกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (ล่าง) ของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล และร้อยละของการโดนบังแสงแดดเป็น 25%	135
ภาพที่ 8.32	ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน (บน) และกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (ล่าง) ของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล และร้อยละของการโดนบังแสงแดดเป็น 50%	136
ภาพที่ 8.33	ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน (บน) และกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (ล่าง) ของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล และร้อยละของการโดนบังแสงแดดเป็น 70%	137
ภาพที่ 8.34	ลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นบนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2	140
ภาพที่ 8.35	ตำแหน่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2	141

ภาพที่ 8.36	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดด ร้อยละ 30	142
ภาพที่ 8.37	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดด ร้อยละ 50	142
ภาพที่ 8.38	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียง อาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2.....	143
ภาพที่ 8.39	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดด ร้อยละ 30	144
ภาพที่ 8.40	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดด ร้อยละ 50	144
ภาพที่ 8.41	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์และ หลังการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ที่การบังแสงแดดร้อยละ 30.....	145
ภาพที่ 8.42	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์และ หลังการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ที่การบังแสงแดดร้อยละ 50.....	145
ภาพที่ 8.43	ลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นบนอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบ ระบบที่ 3	146
ภาพที่ 8.44	ตำแหน่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบ ระบบที่ 3	147
ภาพที่ 8.45	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดด ร้อยละ 30	148
ภาพที่ 8.46	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดด ร้อยละ 50	148
ภาพที่ 8.47	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียง อาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 3.....	149
ภาพที่ 8.48	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดด ร้อยละ 30	150
ภาพที่ 8.49	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดด ร้อยละ 50	150
ภาพที่ 8.50	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์และ หลังการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ที่การบังแสงแดดร้อยละ 30.....	151

ภาพที่ 8.51	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และ หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่การบังแสงแดดร้อยละ 50.....	151
ภาพที่ 8.52	ลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา.....	154
ภาพที่ 8.53	ตำแหน่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบ ระบบที่ 2.....	155
ภาพที่ 8.54	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาที่การเกิดการบังแสงแดด .	155
ภาพที่ 8.55	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 1.....	156
ภาพที่ 8.56	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 2.....	157
ภาพที่ 8.57	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 3.....	158
ภาพที่ 8.58	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 4.....	159
ภาพที่ 8.59	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 5.....	160
ภาพที่ 8.60	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 6.....	161
ภาพที่ 8.61	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 7.....	162
ภาพที่ 8.62	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 8.....	163
ภาพที่ 8.63	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 9.....	164
ภาพที่ 8.64	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 10.....	165
ภาพที่ 8.65	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 11.....	166
ภาพที่ 8.66	ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จาก ลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 12.....	167

ภาพที่ 8.99	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาหลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์.....	204
ภาพที่ 8.100	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์	204



บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการศึกษาวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ โดยเนื้อหาในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเศรษฐกิจและดำเนินชีวิต อาทิเช่น การคมนาคม การสื่อสาร การศึกษา เป็นต้น โดยพลังงานไฟฟ้าปริมาณมหาศาลถูกใช้ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ซึ่งในแต่ละปีปริมาณความต้องการการใช้ไฟฟ้าภายในประเทศไทยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง พิจารณาได้จากข้อเสนอแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า (Power Development Plan: PDP) พ.ศ. 2555-2573 หรือแผน PDP 2010 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 1.1 [1] จากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า (แผน PDP2010 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3) จะพบว่า ความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาจทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยประเทศไทยมีแหล่งพลังงานหรือเชื้อเพลิงที่สำคัญในการผลิตไฟฟ้าหลากหลายประเภท เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 95 พลังงานนิวเคลียร์ร้อยละ 2 และพลังงานอื่นๆ เช่น พลังงานหมุนเวียนในอัตราส่วนร้อยละ 3 แต่สำหรับสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยปี 2556 จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยได้ใช้ก๊าซธรรมชาติร้อยละ 71.5 ลิกไนต์และถ่านหินร้อยละ 21.7 น้ำมันร้อยละ 2.3 พลังงานหมุนเวียนและพลังงานอื่นๆ ร้อยละ 2.3 [2] ในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ซึ่งพลังงานจำพวกก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ ถ่านหิน หรือ น้ำมัน มีข้อดี คือ มีต้นทุนที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดกำลังการผลิต แต่อย่างไรก็ตาม แหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไปและเชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณที่ลดลงสวนทางกับปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งเชื้อเพลิงฟอสซิลยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก เพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและก๊าซธรรมชาติและทำให้เกิดการกระจายสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงเพื่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้า ภาครัฐโดยกระทรวงพลังงานจึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เพิ่มมากขึ้น เพราะพลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานสะอาดและกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก นอกจากนั้นพลังงานหมุนเวียนยังหมายรวมถึงพลังงานที่นอกจากใช้เป็นพลังงานทดแทนแล้วยังสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีก อาทิเช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

ตารางที่ 1.1 สถิติและการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในการจัดทำแผน PDP 2010 และแผนพีดีพี 2010 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3

ปี	PDP 2010				PDP 2012				โหลด แพค เตอร์ (%)
	กำลังไฟฟ้าสูงสุด			พลังงาน GWh	กำลังไฟฟ้าสูงสุด			พลังงาน GWh	
	กำลังไฟฟ้า MW	เพิ่มขึ้นต่อปี			กำลังไฟฟ้า MW	เพิ่มขึ้นต่อปี			
		MW	%			MW	%		
2554	24,568	0	0.00%	160,331	23,900*	0*	0.00%	155,972	74.50
2555	25,913	1,345	5.47%	168,049	24,731	831	3.48%	160,385	74.03
2556	27,188	2,620	10.66%	175,631	25,562	1,662	6.95%	165,129	73.74
2557	28,341	3,773	15.36%	183,452	26,393	2,493	10.43%	170,845	73.89
2558	29,436	4,895	19.81%	191,224	27,225	3,325	13.91%	176,696	74.09
2559	30,754	6,186	25.18%	200,012	28,056	4,156	17.39%	182,463	74.24
2560	32,225	7,657	31.17%	209,329	28,887	4,987	20.87%	187,645	74.15
2561	33,688	9,120	37.12%	218,820	29,718	5,818	24.34%	193,033	74.15
2562	34,988	10,420	42.41%	227,599	30,549	6,649	27.82%	198,724	74.26
2563	36,336	11,768	47.90%	236,956	31,380	7,480	31.30%	204,639	74.44
2564	37,856	13,288	54.09%	246,730	32,211	8,311	34.77%	209,941	74.40
2565	39,308	14,740	60.00%	256,483	33,043	9,143	38.26%	215,601	74.49
2566	40,781	16,213	65.99%	266,488	33,874	9,974	41.73%	221,352	74.60
2567	42,236	17,668	71.91%	276,805	34,705	10,805	45.21%	227,448	74.81
2568	43,962	19,394	78.94%	287,589	35,536	11,636	48.69%	232,468	74.68
2569	45,621	21,053	85.69%	298,779	36,367	12,467	52.16%	238,174	74.76
2570	47,344	22,785	92.71%	310,387	37,198	13,298	55.64%	243,870	74.84
2571	49,039	24,480	99.61%	322,427	38,861	14,129	62.60%	250,040	74.06
2572	50,959	26,400	107.42%	334,921	38,861	14,961	62.60%	255,406	74.03
2573	52,890	28,331	115.28%	347,947	39,692	15,792	66.08%	261,120	74.10

* ตัวเลขในพื้นที่แรเงาเป็นค่าจริง ที่ไม่ได้จากค่าประมาณการณ

จากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า (Power Development Plan: PDP) พ.ศ. 2555-2573 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3 นโยบายของรัฐบาลมีเป้าหมายจะใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกเพื่อ

ทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 25 ภายใน 10 ปี แผนพัฒนาฯ จึงได้บรรจุโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนใหม่ จำนวน 14,580.4 เมกะวัตต์ เมื่อรวมกับกำลังผลิตในปัจจุบัน จำนวน 6,340.2 เมกะวัตต์ และหักออกด้วยกำลังผลิตที่หมดอายุจำนวน 374.3 เมกะวัตต์ จะทำให้กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรวมสุทธิ ณ สิ้นแผนฯ ในปี 2573 เท่ากับ 20,546.3 เมกะวัตต์ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 29 ของกำลังผลิตไฟฟ้าทั้งระบบซึ่งมีค่าเท่ากับ 71,698.4 เมกะวัตต์ ซึ่งในปัจจุบันมีสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียนเพียงร้อยละ 18.3 ของพลังงานทั้งหมด และจากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกร้อยละ 25 ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) หรือ Alternative Energy Development Plan : AEDP (2012-2021) ได้กำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นจาก 7,413 ktoe ในปี 2555 เป็น 25,000 ktoe ในปี 2564 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 25 ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด และเป้าหมายกำลังการผลิตรวมของพลังงานแสงอาทิตย์ในปี 2564 คือ 3,000 MW [3]

จากพลังงานหมุนเวียนทั้งหมด พลังงานหมุนเวียนจากแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และมีต้นทุนในการติดตั้งรวมถึงราคาของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมีราคาลดต่ำลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 1.2 [4]

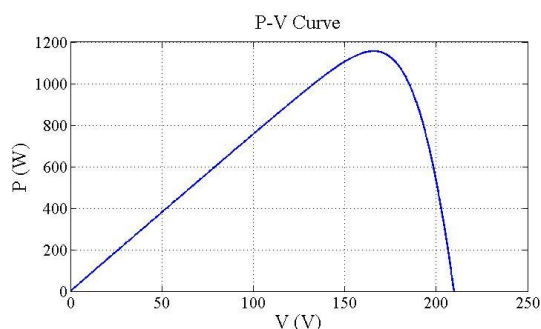
ตารางที่ 1.2 ราคาของอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

		Sep 2554	Oct 2554	Nov 2554	Dec 2554	Jan 2555	Feb 2555	Mar 2555
Module	US \$/Wp (≥125 W)	2.65	2.6	2.49	2.43	2.42	2.3	2.29
	Euro €/Wp (≥125 W)	2.43	2.37	2.33	2.33	2.31	2.28	2.17
Inverter	US \$/ Continuous Watt	0.714	0.714	0.714	0.713	0.712	0.711	0.711
	Euro €/ Continuous Watt	0.500	0.528	0.528	0.534	0.548	0.540	0.526
Battery	US \$/Output Watt Hour	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213
	Euro €/ Output	0.149	0.158	0.158	0.160	0.164	0.162	0.158

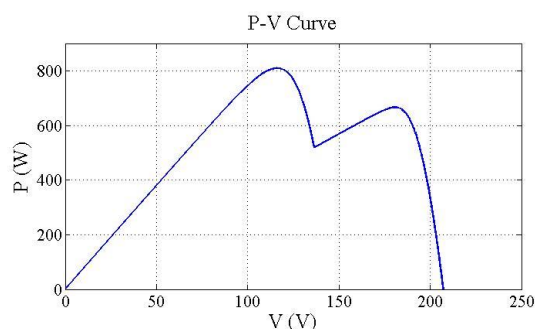
		Sep 2554	Oct 2554	Nov 2554	Dec 2554	Jan 2555	Feb 2555	Mar 2555
	Watt Hour							
Solar Systems	Residential c/kWh	29.53	29.38	29.25	29.20	29.14	29.00	28.91
	Commercial c/kWh	19.97	19.85	19.72	19.68	19.63	19.51	19.42
	Industrial c/kWh	15.56	15.47	15.37	15.34	15.31	15.21	15.15

จากตารางที่ 1.2 เป็นราคามาตรฐานจากบริษัททั่วโลก ซึ่งจะพบว่าแนวโน้มที่ราคาของอุปกรณ์ชนิดต่างๆ จะมีราคาที่ต่ำลงอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งทางรัฐบาลยังให้การส่งเสริมในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จากที่กล่าวมาจึงทำให้มีประชาชนทั่วไปรวมทั้งภาคอุตสาหกรรมมีความสนใจในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จากข้อมูลจากสำนักงานกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) [5] ทำให้ทราบว่ามีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่มากมาย โดยมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 262 โรง ได้จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิงพาณิชย์แล้ว (Commercial Operation Date: COD) คิดเป็นกำลังการผลิต 993.56 เมกะวัตต์ และมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 38 โรง ได้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้า (Power Purchase Agreement: PPA) เรียบร้อยแล้วแต่ยังไม่ได้จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิงพาณิชย์ คิดเป็นกำลังการผลิต 320.23 เมกะวัตต์

ถึงแม้ว่าพลังงานหมุนเวียนจากแสงอาทิตย์จะได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก แต่เทคโนโลยีในปัจจุบันนั้นประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นยังไม่สูงมากนัก อีกทั้งปัจจัยทางธรรมชาติยังส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง โดยปัจจัยทางธรรมชาติที่เวลานั้น ได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ฝุ่น เมฆ และ ตำแหน่งที่ตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแต่ละปัจจัยมีผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันไป วิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาผลกระทบของการเคลื่อนที่ของเมฆพาดผ่านระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เกิดการบังแสงแดดขึ้นบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผลของการบังแสงแดดจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง เนื่องจากการบังแสงแดดนั้นจะส่งผลทำให้เกิดค่าความร้อนที่เซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น และแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นโหลดแทนที่จะเป็นแหล่งจ่ายไฟ อีกทั้งเมื่อเกิดการบังแสงแดดขึ้นจะส่งผลให้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีได้หลายค่า (Multiple peaks) ดังในภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด



ภาพที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด

จากภาพที่ 1.1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด ซึ่งมีจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพียงค่าเดียว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,156 วัตต์ แต่ในภาพที่ 1.2 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดหลายค่า จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่หาได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 813 วัตต์ อาจไม่ใช่จุดทำงานที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ หากกระบวนการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) ที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไม่ใช่กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ที่ไม่มีประสิทธิภาพจะไม่สามารถหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ (Global Maximum Power Point) พบ ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้ปัจจัยทางธรรมชาติที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้า รูปแบบการบังแสงแดดยังส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าอีกด้วย ลักษณะหรือรูปร่างของเงาที่มบบังแสงแดดบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งรูปแบบการบังแสงแดดที่แตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงแตกต่างกัน โดยประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจะมีค่าลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปแบบการบังแสงแดด ขนาดของกลุ่มเมฆที่เคลื่อนที่ผ่าน และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกลุ่มเมฆ ถ้าหากสามารถจัดรูปแบบส่วนที่โดนบังแสงแดดบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าให้ลดน้อยลงได้ จะทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นภายใต้เงื่อนไขของการบังแสงแดดที่มีจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ถูกบังแสงแดดเท่ากัน

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงมีการศึกษาวิจัยที่ได้เริ่มพัฒนาวิธีการในการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะที่เกิดการบังแสงแดด ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาผลกระทบการบังแสงแดดที่มีผลต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับระบบอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างใหม่ได้ ซึ่งทำให้สามารถจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบจากการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นบนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นกว่าแบบปกติภายใต้เงื่อนไขของการบังแสงแดดที่เหมือนกัน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) พัฒนาแบบจำลองผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) พัฒนาแบบจำลองระบบการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดด

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1) พิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย ความเข้มแสง อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ เมฆและทิศทางของลมชั้นบน
- 2) ความเข้มแสงของการบังแสงแดดเป็นแบบสม่ำเสมอทั่วทั้งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) พิจารณาการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม-ขนาน (Series-Parallel connection configuration)
- 4) พิจารณาการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมมุมฉาก
- 5) ข้อมูลความเข้มแสง อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในระบบทดสอบต่างๆเป็นข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจากอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 6) ระบบทดสอบที่ได้นำเสนอ เป็นระบบทดสอบที่ใช้ข้อมูลการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จริงจากทางโรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ที่อยู่ในประเทศไทย
- 7) พิจารณาการบังแสงแดดบนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพียงกลุ่มเดียว
- 8) ละเลยพิกัดสายไฟและแรงดันตกของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในระบบทดสอบ
- 9) ละเลยผลของแรงดันตกคร่อมบายพาสไดโอด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) ศึกษาปัจจัยด้านความเข้มแสงและอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) พัฒนาแบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- 5) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างได้
- 6) จำลองการบังแสงแดดโดยใช้ฟิล์มกรองแสงบังโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเก็บค่ากระแสแรงดันและกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังแสงแดด

- 7) เก็บข้อมูลความเข้มแสง อุณหภูมิ ค่าของกระแส แรงดันและกำลังไฟฟ้า ที่ผลิตได้จาก ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยตลอดปี
- 8) เปรียบเทียบผลการบ่งแสงแดดระหว่างข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงและค่าที่ได้จาก แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
- 9) วิเคราะห์ผลกระทบของการบ่งแสงแดดต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 10) ขอข้อมูลการเชื่อมต่ออาคารเซลล์แสงอาทิตย์และข้อมูลพื้นฐานจากโรงไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ในประเทศไทย
- 11) เก็บข้อมูลพื้นฐานจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ให้การตอบรับการขอข้อมูล
- 12) ขอข้อมูลความเร็วลมชั้นบนจากกรมอุตุนิยมวิทยา
- 13) นำข้อมูลที่ได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาออกจำลองเป็นระบบทดสอบ
- 14) ออกแบบโครงสร้างอาคารเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างได้โดยอ้างอิงจาก โครงสร้างอาคารเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าที่อนุเคราะห์ข้อมูลมา
- 15) ทดสอบแนวคิดการจัดเรียงอาคารเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบของการบ่งแสงแดด กับระบบทดสอบต่างๆ
- 16) สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) แบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบของการบ่งแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) แนวคิดการจัดเรียงอาคารเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบของการบ่งแสงแดด
- 3) โครงสร้างอาคารเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างได้เพื่อลดผลกระทบของ การบ่งแสงแดด
- 4) ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมีย้อนหลังที่ได้จากการเก็บข้อมูลของอาคารเจริญ วิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 5) ข้อมูลโครงสร้างอาคารเซลล์แสงอาทิตย์และข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับโรงไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย
- 6) ข้อมูลความเร็วลมชั้นบนย้อนหลังที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะประกอบไปด้วยหลากหลายรูปแบบที่ นักวิจัยได้ทำการศึกษตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะศึกษา ซึ่งแต่ละงานวิจัยก็จะมีขั้นตอนในการ

ค่านวมที่แตกต่างกัน หรือหลักการในค่านวมที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยที่ได้ศึกษาแบ่งออกเป็น 4 เรื่อง ได้แก่

- 1) การศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) การศึกษาถึงปัจจัยของค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบเนื่องจากผลของการบังแสงแดด
- 4) การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างใหม่ได้

1) การศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ (Modeling of photovoltaic cell) ซึ่งในแต่ละงานวิจัยก็จะมีคามแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ หรืออาจมีการใช้แบบจำลองที่แตกต่างกันไป บทความที่ [6]-[7] จะทำการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งไดโอด (Single diode model) โดยแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นแบบจำลองแบบประมาณหรือเป็นแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิจารณาเพียงแค่ความต้านทานที่เชื่อมต่อแบบขนานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งทำให้การค่านวมแบบจำลองดังกล่าวจะมีความผิดพลาดค่อนข้างมากเนื่องจากแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติจะต้องมีการค่านวมทั้งความต้านทานที่เชื่อมต่อแบบขนานและแบบอนุกรมร่วมกัน อย่างไรก็ตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่รวมทั้งความต้านทานที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมและขนานร่วมกัน ซึ่งจะส่งผลให้มีความละเอียดและเสมือนจริงมากกว่าแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบการประมาณ นอกจากนี้ในงานวิจัยอาจจะไม่ได้พิจารณาเป็นรูปแบบของหนึ่งไดโอดแต่อาจจะมีการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบไดโอดคู่หรือบางตำราเรียกว่าแบบสองไดโอด (Double diode model) [8]-[9] โดยจะมีหลักการในการค่านวมที่มีลักษณะที่แตกต่างกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งไดโอด ซึ่งภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งไดโอด เนื่องจากเป็นแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะดวกและง่ายต่อการค่านวมเมื่อเทียบกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองไดโอด

2) การศึกษาถึงปัจจัยของค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังเช่นบทความที่ [10] ซึ่งศึกษาผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิที่มีผลต่อจุดทำงานกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point: MPP) รวมถึงผลของแพกเตอร์อุณหภูมิ ซึ่งได้พิจารณาผลโดยละเอียดของความต้านทานสมมูลต่อขนานและค่านึงถึงเพียงผลของความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมที่มีขนาดต่างๆ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของ แรงดันกับกระแส และแรงดันกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ณ ค่าความเข้มแสง อุณหภูมิ และค่าความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมที่แตกต่างกัน บทความที่ [11] เป็นการสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน และความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนหนึ่ง

เซลล์โดยที่จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าของความเข้มแสงและอุณหภูมิซึ่งแบบจำลองดังกล่าวนั้นจะใช้วิธีสร้างแบบจำลองในรูปของ Empirical model และ ANFIS Model แล้วจึงนำผลที่ได้ของแบบจำลองแต่ละแบบมาทำการเปรียบเทียบกัน และบทความที่ [7] จะศึกษาถึงการสร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก และภายในงานวิจัยยังได้กล่าวถึงหลักการในการคำนวณหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตได้

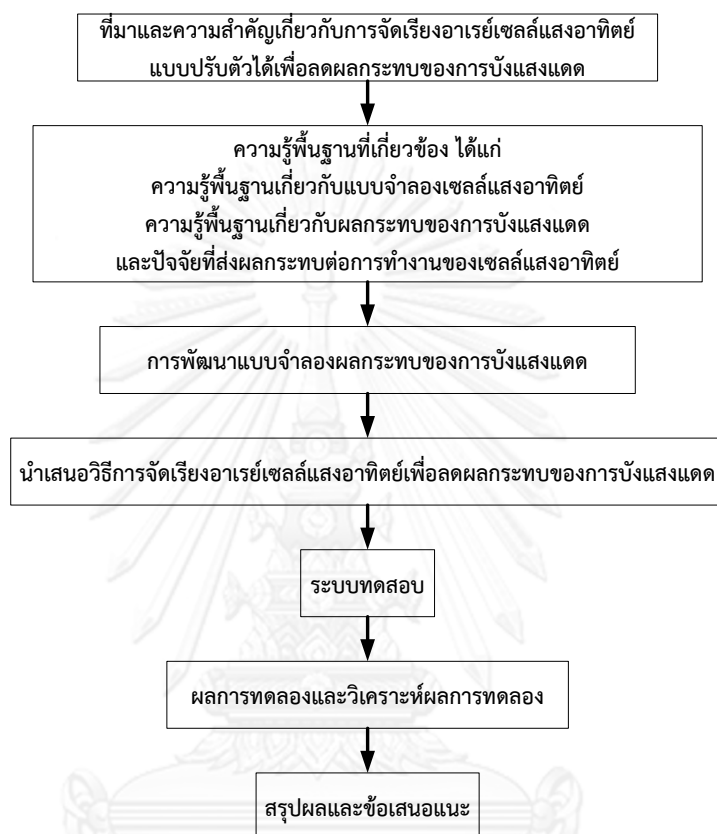
3) การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบเนื่องจากผลของการบังแสงแดด (Shading) ต่อเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ประกอบไปด้วยรูปแบบการศึกษามากมายที่สามารถศึกษาเป็นหัวข้อวิจัยเกี่ยวกับผลของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เช่น บทความที่ [12] ได้พิจารณาถึงผลของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการต่อเป็นอาร์เรย์ (Array) ขนาดใหญ่โดยมีกระบวนการในการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อมีจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากกว่าหนึ่งจุดเนื่องจากผลของการบังแสงแดด ซึ่งทำให้กระบวนการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกรณีปกติที่ไม่มีการบังแสงแดดนั้นจะไม่สามารถหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเกิดการบังแสงแดดได้ ดังนั้นเมื่อเกิดการบังแสงแดดขึ้นเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่สามารถทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด บทความที่ [13] ได้มีการศึกษาผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะสามารถดูได้จากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งภายในงานวิจัยดังกล่าวจะแบ่งการพิจารณาออกเป็นหลายกรณีศึกษาโดยในแต่ละกรณีศึกษาก็จะมีจุดประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น การศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด หรือศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด หรือศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการเชื่อมต่อของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด บทความที่ [14] เป็นการสร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดดและมีการเปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับผลจากการทดลองจริงภายใต้เงื่อนไขการเกิดการบังแสงแดดแบบต่างๆกัน หรือบทความที่ [15] เป็นงานวิจัยที่พัฒนาแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ทำงานในสภาวะแวดล้อมต่างๆ โดยพิจารณาถึงปัจจัยทางความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อพัฒนาแบบจำลองให้สามารถทำงานได้ทั้งในสภาวะปกติ สภาวะที่เกิดการบังแสงแดด และสภาวะที่เกิดความไม่เข้ากันของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยงานวิจัยได้พยายามนำเสนอความแม่นยำของผลลัพธ์เมื่อพิจารณาสมการแบบไม่เชิงเส้น

4) การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างใหม่นั้น ประกอบไปด้วยรูปแบบการศึกษามากมายที่สามารถศึกษาเป็นหัวข้อวิจัยเกี่ยวกับการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เช่น บทความที่ [16] เป็นงานวิจัยที่พัฒนาโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างได้เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดด โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่จัดเรียงโครงสร้างได้เพียงครั้งหนึ่ง เพื่อที่จะได้ลดจำนวนสวิทช์ที่จำเป็นต้องใช้ในการจัดเรียงโครงสร้างลง บทความที่ [17] เป็น

งานวิจัยที่ได้ศึกษาโครงสร้างการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในเงื่อนไขการบังแสงแดดของรูปแบบการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม-ขนาน (Series-Parallel connection configuration) โดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของแรงดันและกระแสในแต่ละสตริงและใช้วิธีการประมาณพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อหารูปแบบในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ บทความที่ [18] เป็นงานวิจัยที่พัฒนาโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างได้เพื่อเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอสามารถจัดเรียงใหม่ได้ทั้งอาร์เรย์ พร้อมทั้งได้นำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งกระบวนการการแก้ปัญหาจะเป็นการคำนวณรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการจัดเรียงเป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นการคำนวณแบบไม่เวลาจริง และบทความที่ [19] เป็นงานวิจัยที่พัฒนาโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างได้เพื่อเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอเป็นการเชื่อมต่อแบบอนุกรม-ขนานและเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าโดยใช้โครงสร้างอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ (Centralized inverter) ซึ่งสามารถจัดเรียงโครงสร้างใหม่เพื่อผลิตไฟฟ้าให้ได้สูงสุดภายใต้เงื่อนไขของการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นบนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ได้ในเวลาจริง

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้ สามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของโครงสร้างเนื้อหาวิทยานิพนธ์ ดังแสดงในภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 โครงสร้างเนื้อหาวิทยานิพนธ์

จากโครงสร้างเนื้อหาวิทยานิพนธ์ สามารถแบ่งแยกรายละเอียดเนื้อหาวิทยานิพนธ์นี้แบ่งออกได้เป็น 9 ส่วน ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 7 หัวข้อ คือ ที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 5 หัวข้อ คือ เซลล์แสงอาทิตย์ หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์-โมดูลและอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ และ การหาพารามิเตอร์และการคำนวณ

- บทที่ 3 ข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อ คือ สถานะโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน การติดตั้งอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และ ทิศทางการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคต
- บทที่ 4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 หัวข้อ คือ เมฆ และ ลม
- บทที่ 5 การบังแสงแดด จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 7 หัวข้อ คือ สาเหตุของการบังแสงแดด ผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ผลของการบังแสงแดดต่อจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอด การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอด ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดด และ ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งอาเรียเมื่อเกิดการบังแสงแดด
- บทที่ 6 การจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 6 หัวข้อ คือ รูปแบบการเชื่อมต่ออาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า อาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้ หลักการทำงานของสวิตช์ หลักการพิจารณาในการเชื่อมต่ออาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ และ แนวคิดในการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์
- บทที่ 7 ระบบทดสอบ จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อ คือ ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าระบบที่ 2 และ ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าระบบที่ 3
- บทที่ 8 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อ คือ ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดลองผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และ ผลการทดลองผลกระทบของการบังแสงแดดต่ออาเรียเซลล์แสงอาทิตย์
- บทที่ 9 สรุปวิทยานิพนธ์ จะแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 หัวข้อ คือ สรุป และ ข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ในขณะที่เชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณจำกัด นอกจากนี้เชื้อเพลิงฟอสซิลดังกล่าวมีปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงส่งผลให้มีการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น โดยพลังงานหมุนเวียนดังกล่าวประกอบด้วยหลายประเภท อาทิเช่น พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม เป็นต้น โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด อีกทั้งประเทศไทยมีศักยภาพทางด้านการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวในบทนี้จะนำเสนอความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell) ซึ่งการนำเสนอจะถูกแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อ ได้แก่

- 1) เซลล์แสงอาทิตย์
- 2) หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) ข้อมูลเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) เซลล์ โมดูล และอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์
- 5) การหาพารามิเตอร์และการคำนวณ

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) คือ สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในทางปฏิบัติมักทำจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เป็นส่วนใหญ่ โดยสารกึ่งตัวนำดังกล่าวที่นิยมใช้ผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ซิลิคอน (Silicon : Si) บริสุทธิ์ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิปในคอมพิวเตอร์และเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้ซิลิคอนเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ อีกทั้งมีการนำมาผลิตโซลาร์เซลล์ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาถูก คงทน และเชื่อถือได้

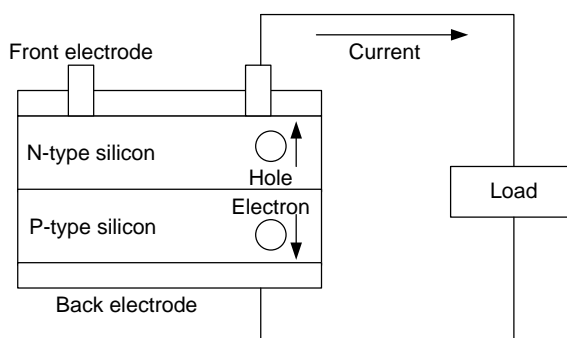
2.1.1 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่อยู่ในรูปของพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า โดยที่เนื้อหาในส่วนนี้จะอธิบายถึงหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ และขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อแสงอาทิตย์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้รับพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงอาทิตย์ดังกล่าวจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าหรือ

อิเล็กตรอนขึ้นในสารกึ่งตัวนำ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าไปใช้งานได้ ทั้งนี้การออกแบบสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มจากการนำเอาซิลิคอนมาทำการปลูกผลึก 2 ชั้น โดยในแต่ละชั้นจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังนี้ [20]

- 1) ชั้นบน (Upper) หรือส่วนที่อยู่ด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เรียกว่า n-type silicon คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้จากการโด๊ป (Doping) ด้วยสารฟอสฟอรัส โดยภายใน n-type silicon มีส่วนประกอบส่วนมากเป็นอิเล็กตรอน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ตาม ในส่วนของ n-type silicon ยังคงมีโฮล (Hole) ปะปนอยู่
- 2) ชั้นล่าง (Lower) หรือส่วนที่อยู่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ เรียกว่า p-type silicon คือสารกึ่งตัวนำที่ได้จากการโด๊ปด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) ดังนั้นโครงสร้างดังกล่าวเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน แต่อย่างไรก็ตาม ในส่วนของ p-type silicon ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนอยู่

จากที่ได้กล่าวมา เมื่อนำโครงสร้างชั้นบนและชั้นล่างมาเชื่อมต่อกัน จะเกิดเป็นรอยต่อของ n-type silicon และ p-type silicon เรียกว่า p-n junction จึงทำให้เกิดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สุดสำหรับใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้หลังจากการเชื่อมต่อจนเกิดเป็น p-n junction แล้ว บริเวณตำแหน่งตรงกลางระหว่าง n-type silicon กับ p-type silicon จะเกิดเป็นสนามไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการที่อิเล็กตรอนใน n-type silicon เคลื่อนที่ผ่านรอยต่อของ p-n junction ไปรวมกับโฮลในส่วนของ p-type silicon ทั้งนี้สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นช่องทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากส่วนที่อยู่ภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์หรือโหนด ไปยังส่วนที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับโหนด เพราะฉะนั้นเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจากโฟตอนสู่อิเล็กตรอน เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานมากเพียงพอจะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมตัวกับโฮล โดยอิเล็กตรอนจะวิ่งผ่านโหนดและ Front electrode เข้าสู่ n-type silicon เพื่อไปรวมตัวกับโฮล แต่ในทางกลับกัน โฮลก็จะวิ่งสวนทางกับอิเล็กตรอน โดยผ่านโหนดและ Back electrode เข้าสู่ p-type silicon เพื่อรวมกับอิเล็กตรอน จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น [21]



ภาพที่ 2.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell) คือ สิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถสร้างมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยที่แสงดังกล่าวอาจเป็นแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟ โดยพลังงานไฟฟ้าจะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) ทั้งนี้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อมในขณะที่ใช้งาน โดยกลุ่มสารประกอบที่นิยมนำมาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ [20], [22]

- (1) กลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำซิลิคอน
- (2) กลุ่มที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน

2.1.2.1 กลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำซิลิคอน

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในปัจจุบันมักนิยมสร้างจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน โดยสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ ประเภทรูปผลึก (Crystal) และ ประเภทที่ไม่เป็นรูปผลึกหรืออะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon) โดยที่รายละเอียดในแต่ละประเภท มีดังนี้

- 1) เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทรูปผลึก สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Mono crystalline silicon solar cell) และ เซลล์แสงอาทิตย์ผลึกพอลิซิลิคอน (Poly crystalline silicon solar cell)
 - 1.1) เซลล์แสงอาทิตย์ผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Mono crystalline silicon solar cell หรือ c-Si) เนื่องจากซิลิคอนเป็นวัตถุดิบสารกึ่งตัวนำที่มีราคาสูงที่สุด เพราะซิลิคอนนั้นเป็นธาตุชนิดหนึ่งที่มีมากที่สุดในโลกจากกระบวนการถลุงหินและทราย ทำให้ธาตุซิลิคอนมักนิยมใช้เป็นสารกึ่งตัวนำในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์ และ ไอซี เป็นต้น สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ c-Si ได้รับความนิยมและ

ใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น ในชนบทที่ห่างไกลความเจริญ หรือ ในพื้นที่ที่การเข้าถึงของสาธารณูปโภคไฟฟ้าเข้าถึงได้ยาก เช่น บนดอยทางภาคเหนือของประเทศไทย

- 1.2) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกพอลิซิลิคอน (Poly crystalline silicon solar cell หรือ pc-Si) เป็นผลจากความพยายามในการลดต้นทุนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ c-Si จึงทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยี pc-Si ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของ pc-Si ต่ำกว่า c-Si ประมาณร้อยละ 10 ดังนั้นทำให้เทคโนโลยี pc-Si ได้รับความนิยมแพร่หลายเช่นกัน
- 2) เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่เป็นรูปผลึกหรืออะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon) ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous silicon solar cell หรือ a-Si)
- 2.1) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous silicon solar cell หรือ a-Si) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จัดเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิคอนเช่นกันแต่ไม่อยู่ในรูปของผลึก ผลของสารอะมอร์ฟัสซิลิคอนทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มบางของซิลิคอนซึ่งมีความบางเพียง 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย มีจุดเด่น คือ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น



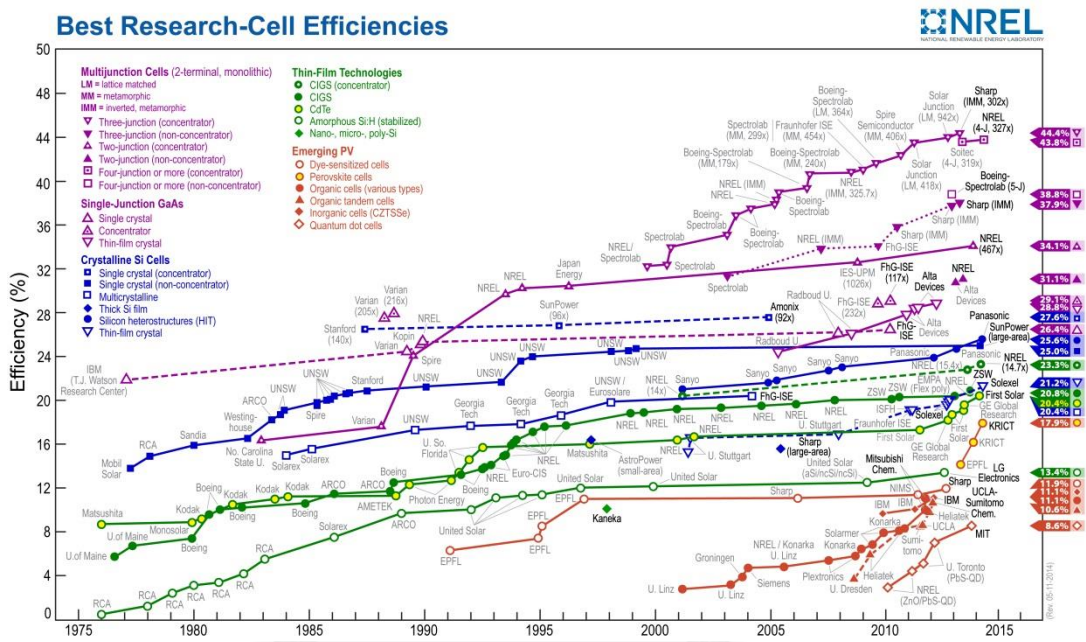
ภาพที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำซิลิคอน

2.1.2.2 กลุ่มที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน

เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้ผลิตจากสารประกอบที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นที่ไม่ใช่ซิลิคอนนำมาทำการโด๊ปแบบหลายชั้น เช่น สองชั้น (double junction), สามชั้น (triple junction), และมากกว่าสามชั้น (multi junction) โดยวัสดุที่นำมาใช้ คือ แกลเลียม (Ga) เป็นต้น โดยจุดเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้ คือ ประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 25 ขึ้นไป แต่มีราคาที่สูงมาก จึงไม่ค่อยนิยม

นำมาใช้บนพื้นโลก มักจะใช้งานในอวกาศ เช่น ดาวเทียม ระบบรวมแสงอาทิตย์ (Concentrated solar power) เป็นต้น แต่การพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีราคาต่ำลงและมีแนวโน้มที่จะนำมาใช้ในอวกาศมากขึ้น โดยปัจจุบันมีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้เพียงร้อยละ 7 ของทั้งหมด ทั้งนี้วัสดุที่นำมาใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของกลุ่มนี้ได้แก่ แกลเลียมอาร์เซไนต์ (GaAs) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และ คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIS) เป็นต้น ซึ่งจะมีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single crystalline) และผลึกรวม (Poly crystalline)

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผลึกเดี่ยวซิลิคอน ผลึกโพลีซิลิคอน และฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.3 [23]



ภาพที่ 2.3 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ

2.1.3 ข้อดีและข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์

ในปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมสูงมากเป็นลำดับต้นๆของพลังงานหมุนเวียนทั้งหมด อย่างไรก็ตามการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นก็มีข้อเสียหลายประการ ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงข้อดีและข้อเสียของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยในส่วนของข้อดีของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ [24]-[25]

- 1) การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นการใช้พลังงานจากแหล่งธรรมชาติอย่างคุ้มค่าและไม่มีวันหมด นอกจากนี้ไม่มีต้นทุนในการขนส่ง
- 2) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่และพลังงานไฟฟ้าที่ได้สามารถใช้ได้โดยตรง

- 3) เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้มาจากพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหลักซึ่งเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม
- 4) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ
- 5) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซประเภทต่างๆ ในบรรยากาศ อาทิเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO_2), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), ไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_2) เป็นต้น ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ส่งผลให้โลกร้อนขึ้น นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาฝนกรดและอากาศเป็นพิษ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นยังคงมีข้อเสียในทางปฏิบัติ ดังนี้ [24]-[25]

- 1) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีแหล่งพลังงานหลักจากแสงอาทิตย์ ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะแปรผันตามสภาพอากาศ
- 2) ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงไม่มีแบตเตอรี่ที่สามารถสำรองพลังงานไฟฟ้าไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้แบตเตอรี่ยังมีราคาที่สูงมาก
- 3) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่ต่ำ เนื่องจากความเข้มแสงที่เป็นพลังงานในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกจำกัดอยู่ในช่วงระดับหนึ่ง จึงทำให้พลังงานที่ผลิตได้มีขอบเขตที่จำกัด
- 4) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาที่สูง

2.2 หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

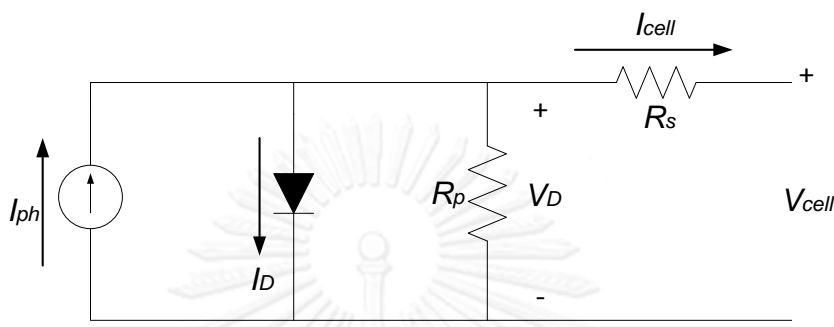
หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 หัวข้อ ได้แก่

- (1) แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
- (2) ผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิต่อเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เกิดจากการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำสองชนิด คือ n-type และ p-type เข้าด้วยกันเกิดเป็นบริเวณรอยต่อ p-n junction ทั้งนี้เมื่อแสงอาทิตย์มาตกกระทบจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทำให้เกิดเป็นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บริเวณขั้วเซลล์ เมื่อทำการเชื่อมต่อให้ครบวงจรจะก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร โดยวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาแบบจำลองเซลล์

แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งไดโอด เนื่องจากการคำนวณไม่ซับซ้อนและมีความแม่นยำ ซึ่งประกอบด้วย องค์ประกอบทางไฟฟ้า 4 องค์ประกอบ ได้แก่ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าอุดมคติ ไดโอด ความต้านทาน สมมูลต่ออนุกรม และความต้านทานสมมูลต่อขนาน โดยแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งไดโอด สามารถแสดงได้ดังในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งไดโอด

จากภาพที่ 2.4 ได้แสดงทิศทางของกระแสและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งไดโอด ซึ่งสามารถเขียนสมการเคอร์ชอฟของกระแส (Kirchhoff's Current Law : KCL) แสดงได้ดังสมการที่ (2.1) [20]

$$I_{cell} = I_{ph} - I_D - I_{Rp} \quad (2.1)$$

โดย

I_{cell} คือ กระแสที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (A)

I_{ph} คือ กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ (Photoelectric current) ที่เกิดจากความเข้มแสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (A)

I_D คือ กระแสที่ไหลผ่านไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (A)

I_{Rp} คือ กระแสที่ไหลผ่านความต้านทานสมมูลต่อขนานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์

(A)

จากสมการ (2.1) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (V_{cell}) ได้ โดยพิจารณาพจน์ของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดและพจน์ของกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานสมมูลต่อขนาน ทั้งนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของแรงดันตกคร่อมไดโอด (V_D) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.2) และ (2.3) ตามลำดับ และสามารถหาค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มได้ดังสมการที่ (2.4)

$$I_D = I_o \left[\exp\left(\frac{V_D}{aV_{th}}\right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

$$I_{Rp} = \frac{V_D}{R_p} \quad (2.3)$$

$$V_{th} = \frac{kT}{q} \quad (2.4)$$

โดย

- I_D คือ กระแสที่ไหลผ่านไดโอด (A)
- I_{Rp} คือ กระแสที่ไหลผ่านความต้านทานสมมูลต่อขนาน (A)
- I_o คือ กระแสอิ่มตัว (Saturation current) ของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (A)
- V_D คือ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (V)
- a คือ แฟกเตอร์อุดมคติ (Ideality factor) ของไดโอด ซึ่งบอกถึงความใกล้เคียงกับความเป็นอุดมคติ ($a=1$) ของไดโอด โดยจะมีค่าขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์
- V_{th} คือ ค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม (Threshold voltage) ของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (V)
- R_p คือ ค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (Ω)
- k คือ ค่าคงของโบลทซ์มันน์ (Boltzmann constant) มีค่า 1.38×10^{-23} (J/K)
- T คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (K)
- q คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอน มีค่า 1.6×10^{-19} (C)

ดังนั้นเมื่อนำค่าของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดและค่าของกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานสมมูลต่อขนานจากสมการที่ (2.2) และ (2.3) ตามลำดับ แทนค่าลงในสมการที่ (2.1) จะได้สมการที่ (2.5)

$$I_{cell} = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V_D}{aV_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V_D}{R_p} \quad (2.5)$$

แต่เนื่องจากภาพที่ 2.4 พบว่าค่าของแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดและค่าของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ (2.6)

$$V_D = V_{cell} + I_{cell} R_s \quad (2.6)$$

โดย

V_{cell} คือ ค่าแรงดันตกคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (V)

R_s คือ ค่าความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (Ω)

ดังนั้นเมื่อนำสมการที่ (2.6) แทนค่าลงในสมการ (2.5) สามารถเขียนสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ได้ดังสมการที่ (2.7)

$$I_{cell} = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V_{cell} + I_{cell}R_s}{aV_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{cell} + I_{cell}R_s}{R_p} \quad (2.7)$$

2.2.2 ผลของอุณหภูมิและความเข้มแสงต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของอุณหภูมิและความเข้มแสงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานในแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน และจะเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ภายในแต่ละวันตามปัจจัยที่มีผลดังต่อไปนี้

2.2.2.1 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปกติจะมีค่าไม่เท่ากับอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมและเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าแรงดันเปิดวงจร (Open Circuit voltage: V_{OC}) และกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ (Photoelectric current: I_{ph}) เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าของกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์จะมีค่าสูงขึ้น แต่ในขณะที่แรงดันเปิดวงจรจะมีค่าลดลง ทั้งนี้ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อแรงดันเปิดวงจรและกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ สามารถแสดงได้ในสมการที่ (2.8) และ (2.9) ตามลำดับ

$$V_{OC,T} = V_{OC,Tref} + K_v (T - T_{ref}) \quad (2.8)$$

$$I_{ph,T} = I_{ph,Tref} + K_i (T - T_{ref}) \quad (2.9)$$

โดย

$I_{ph,T}$ คือ กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ณ อุณหภูมิ T (A)

$I_{ph,Tref}$ คือ กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ณ อุณหภูมิ T_{ref} (A)

T คือ อุณหภูมิ ณ ขณะพิจารณา หรืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจาก T_{ref} (K)

T_{ref} คือ อุณหภูมิที่ทำให้ค่ากระแสโฟโตอิเล็กทริกส์มีค่าเท่ากับ $I_{ph,Tref}$ (K)

K_i คือ ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเปิดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งเคลวิน (A/K)

K_v คือ ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเปิดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
หนึ่งเคลวิน (V/K)

$V_{OC,T}$ คือ แรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ณ อุณหภูมิ T (V)

$V_{OC,Tref}$ คือ แรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ณ อุณหภูมิ T_{ref} (V)

สมมติว่า ให้ $V_{OC,Tref}$ เท่ากับ 21.7 V, $I_{ph,Tref}$ เท่ากับ 7.617 A, K_i เท่ากับ 0.003 A/K, K_v
เท่ากับ -0.074 V/K, T_{ref} เท่ากับ 25 °C และให้ T เท่ากับ 45.6 °C จะได้ว่า

$$V_{OC,T} = 21.7 + (-0.074)(45.6 - 25)$$

$$V_{OC,T} = 20.1756 \text{ V และ}$$

$$I_{ph} = (7.617 + (0.003)(45.6 - 25))$$

$$I_{ph} = 7.6788 \text{ A}$$

2.2.2.2 ความเข้มแสง

ความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์และค่าความต้านทานสมมูลต่อขนาน กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงของกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความเข้มแสง แต่ค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความเข้มแสง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ค่าความเข้มแสงมาตรฐาน คือ ค่าความเข้มแสงบริเวณพื้นผิวโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งที่ระดับน้ำทะเลซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,000 W/m² ที่ AM (Air Mass Ratio) มีค่าเท่ากับ 1.5 โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปกับค่าของกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์สามารถแสดงได้ในสมการที่ (2.10)

$$I_{ph,G} = I_{ph,Gref} \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) \quad (2.10)$$

โดย

$I_{ph,G}$ คือ กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ณ ความเข้มแสง G (A)

$I_{ph,Gref}$ คือ กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ณ ความเข้มแสง G_{ref}

(A)

G คือ ค่าความเข้มแสงขณะที่พิจารณา หรือค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปจาก G_{ref} (W/m²)

G_{ref} คือ ค่าความเข้มแสงที่ทำให้ค่ากระแสโฟโตอิเล็กทริกส์มีค่าเป็น $I_{ph,Gref}$ (W/m^2)

เนื่องจากค่าความเข้มแสงส่งผลต่อแรงดันเปิดวงจรเพียงเล็กน้อย ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในวิทยานิพนธ์นี้จึงไม่ขอกล่าวถึงค่าความเข้มแสงที่มีผลต่อแรงดันเปิดวงจร ทั้งนี้สำหรับความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานเมื่อค่าความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงนั้นสามารถแสดงได้ในสมการที่ (2.11)

$$R_{p,G} = R_{p,Gref} \left(\frac{G_{ref}}{G} \right) \quad (2.11)$$

โดย

$R_{p,G}$ คือ ค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ขณะที่ค่าความเข้มแสงมีค่าเท่ากับ G (Ω)

$R_{p,Gref}$ คือ ค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ ขณะที่ค่าความเข้มแสงมีค่าเท่ากับ G_{ref} (Ω)

สมมติว่า $I_{ph,Gref}$ เท่ากับ 7.6788 A, $R_{p,Gref}$ เท่ากับ 198.09 Ω , G_{ref} เท่ากับ 1000 W/m^2 และให้ G เท่ากับ 952.6 W/m^2 จะได้ว่า

$$I_{ph,G} = 7.6788 \times \left(\frac{952.6}{1000} \right)$$

$$I_{ph,G} = 7.315 \text{ A และ}$$

$$R_{p,G} = 198.09 \times \left(\frac{1000}{952.6} \right)$$

$$R_{p,G} = 207.95 \text{ } \Omega$$

2.3 ข้อมูลเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ (Commercial data sheet) คือ ค่าพารามิเตอร์รายละเอียดเซลล์แสงอาทิตย์ของผู้ผลิตแต่ละราย ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวได้มาจากการทดลองภายในห้องปฏิบัติการหรือห้องทดลองของผู้ผลิต โดยข้อมูลนี้ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์พื้นฐานจำนวน 8 ค่า ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่วัดจากเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (ไม่ใช่หนึ่งเซลล์) ดังนั้นแบบจำลองในทางปฏิบัติที่นำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้ไปใช้จะต้องใช้ในรูปแบบของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล

เซลล์แสงอาทิตย์ของผู้ผลิตแต่ละรายส่วนใหญ่จะมีเทคโนโลยีในการผลิตที่แตกต่างกันไป แต่โดยทั่วไปแล้วข้อมูลทางเทคนิคของผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละรายจะมีการกำหนดที่คล้ายคลึงกัน เนื่องจากข้อมูลพารามิเตอร์ที่ได้จากผู้ผลิตจะได้ออกมาจากการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard Test Condition: STC) คือ สภาวะที่มีอุณหภูมิเป็น 25°C หรือ 278 K และค่าความเข้มแสงที่ $1,000\text{ W/m}^2$ ที่ AM 1.5 ซึ่งข้อมูลทางเทคนิคจากผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะอยู่ในรูปของพารามิเตอร์ของโมดูล (Module) ซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์จำนวน 8 ค่า ได้แก่

1. กำลังสูงสุดที่สามารถผลิตได้ (Maximum power: P_{MPP}) (W)
2. แรงดันที่ผลิตได้เมื่อเกิดกำลังสูงสุด (Maximum power voltage: V_{MPP}) (V)
3. กระแสที่ผลิตได้เมื่อเกิดกำลังสูงสุด (Maximum power current: I_{MPP}) (A)
4. แรงดันเปิดวงจร (Open circuit voltage: V_{OC}) (V)
5. กระแสลัดวงจร (Short circuit current: I_{SC}) (A)
6. ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงกระแสลัดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งเคลวิน (Temperature coefficient short circuit: K_i) (A/K)
7. ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงแรงดันเปิดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งเคลวิน (Temperature coefficient open circuit: K_v) (V/K)
8. จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล (Number of cell per module: N_s)

จากข้อมูลทางเทคนิคที่กล่าวไปข้างต้น สามารถแสดงตัวอย่างข้อมูลทางเทคนิคเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) (Poly-crystalline) [26] บริษัท ชันเทค จำกัด (Single-crystalline) [27] ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ตามลำดับ

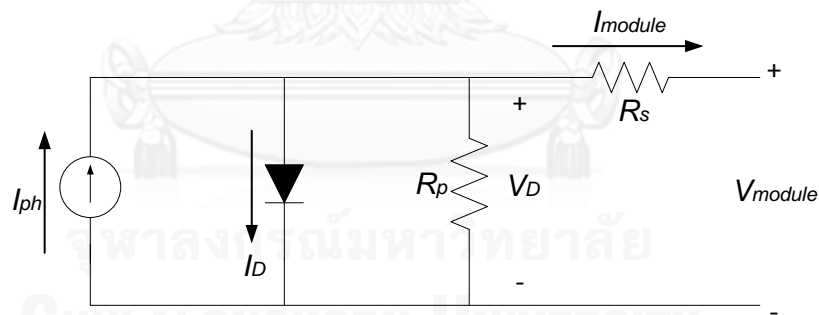
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) รุ่น SP120

ปริมาณทางไฟฟ้า	ค่าของพารามิเตอร์
กำลังสูงสุดที่สามารถผลิตได้ (P_{MPP})	120 W
แรงดันที่ผลิตได้เมื่อเกิดกำลังสูงสุด (V_{MPP})	17.28 V
กระแสที่ผลิตได้เมื่อเกิดกำลังสูงสุด (I_{MPP})	7 A
แรงดันเปิดวงจร (V_{OC})	21.7 V
กระแสลัดวงจร (I_{SC})	7.45 A
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงกระแสลัดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งเคลวิน (K_i)	0.003 A/K
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงแรงดันเปิดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งเคลวิน (K_v)	-0.074 V/K
จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล (N_s)	36 Cells

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท ซันเทค จำกัด รุ่น STP285-24/Vd

ปริมาณทางไฟฟ้า	ค่าของพารามิเตอร์
กำลังสูงสุดที่สามารถผลิตได้ (P_{MPP})	285 W
แรงดันที่ผลิตได้เมื่อเกิดกำลังสูงสุด (V_{MPP})	35.4 V
กระแสที่ผลิตได้เมื่อเกิดกำลังสูงสุด (I_{MPP})	8.06 A
แรงดันเปิดวงจร (V_{OC})	44.9 V
กระแสลัดวงจร (I_{SC})	8.37 A
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงกระแสลัดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งองศาเซลเซียส (K_I)	0.055 A/°C
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงแรงดันเปิดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งองศาเซลเซียส (K_V)	-0.33 V/°C
จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล (N_s)	72 Cells

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันทั่วไปนั้นจะอยู่ในรูปแบบของโมดูล เพราะฉะนั้นพารามิเตอร์ที่ปรากฏในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 จึงเป็นพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล แต่แบบจำลองในภาพที่ 2.4 ที่ได้นำเสนอไปนั้นเป็นแบบจำลองในรูปแบบของเซลล์ อย่างไรก็ตามแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบของโมดูลนั้นมีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองหนึ่งเซลล์ ซึ่งแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งไดโอดขนาดหนึ่งโมดูลนั้นสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดขนาดหนึ่งโมดูล

จากภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดหนึ่งโมดูลสามารถแสดงได้ในสมการที่ (2.12)

$$I_{module} = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V_{module} + I_{module} R_s}{a N_s V_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{module} + I_{module} R_s}{R_p} \quad (2.12)$$

โดย

- I_{module} คือ กระแสที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (A)
- V_{module} คือ แรงดันที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (V)
- I_{ph} คือ กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (A)
- I_o คือ กระแสอิ่มตัว (Saturation current) ของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (A)
- a คือ แฟกเตอร์อุดมคติ (Ideality factor) ของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล
- V_{th} คือ ค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม (Threshold voltage) ของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4) (V)
- R_p คือ ค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อแสดงในภาพที่ 2.5 (Ω)
- R_s คือ ค่าความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อแสดงในภาพที่ 2.5 (Ω)
- N_s คือ จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล

สมมติให้ค่าเริ่มต้นของ I_{ph} เท่ากับ 7.315 A, I_o เท่ากับ 6.464×10^{-6} A, a เท่ากับ 1.025, V_{th} เท่ากับ 0.02748 V, R_p เท่ากับ 207.95 Ω , R_s เท่ากับ 0.158 Ω , N_s เท่ากับ 36 และ สมมติค่าความเข้มแสง มีค่าเท่ากับ 952.6 W/m^2 และ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 45.6 $^{\circ}C$ จะได้ค่า I_{module} , V_{module} และ P_{module} ดังตารางที่ 2.3

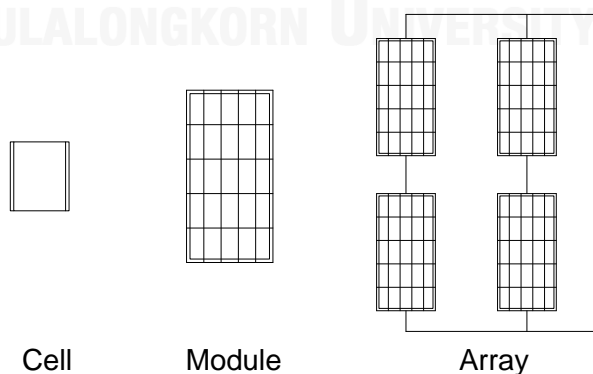
ตารางที่ 2.3 ค่าของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ 1 โมดูล

I_{module} (A)	V_{module} (V)	P_{module} (W)
7.310	0	0
7.307	0.50	3.654
7.305	1.00	7.305
7.300	2.00	14.600
7.295	3.00	21.886
7.290	4.00	29.161
7.285	5.00	36.426
7.280	6.00	43.678
7.273	7.00	50.913
7.265	8.00	58.123

I_{module} (A)	V_{module} (V)	P_{module} (W)
7.254	9.00	65.284
7.235	10.00	72.347
7.200	11.00	79.198
7.132	12.00	85.587
6.998	13.00	90.972
6.731	14.00	94.237
6.653	14.20	94.474
6.578	14.37	94.530
6.564	14.40	94.524
6.463	14.60	94.363
6.349	14.80	93.965
6.220	15.00	93.300
5.302	16.00	84.836
3.808	17.00	64.728
1.632	18.00	29.377
0	18.60	0

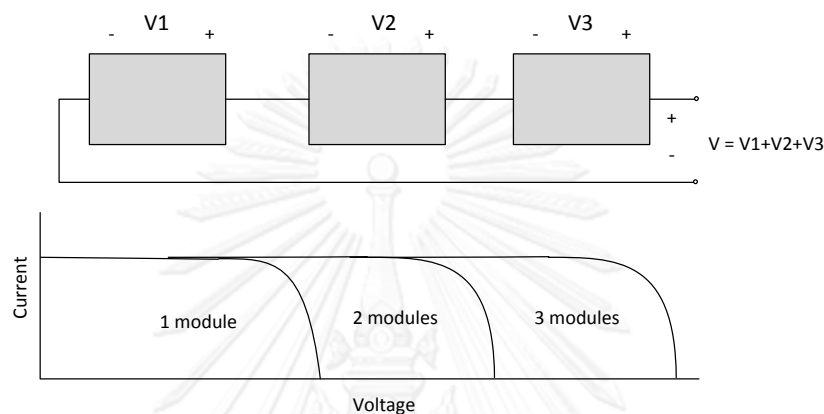
2.4 เซลล์ โมดูล และอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เพียง 0.5 V ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ ดังนั้นจึงต้องมีการผลิตบล็อกเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้เซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรมกัน อยู่ในภาชนะที่ทนต่อสภาพอากาศได้ ทั้งนี้สำหรับโมดูลทั่วไปที่ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 36 เซลล์ ต่ออนุกรมกันเรียกว่า “12-V module” ถึงแม้ว่าโมดูลนี้จะสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 12 V ก็ตาม [20]

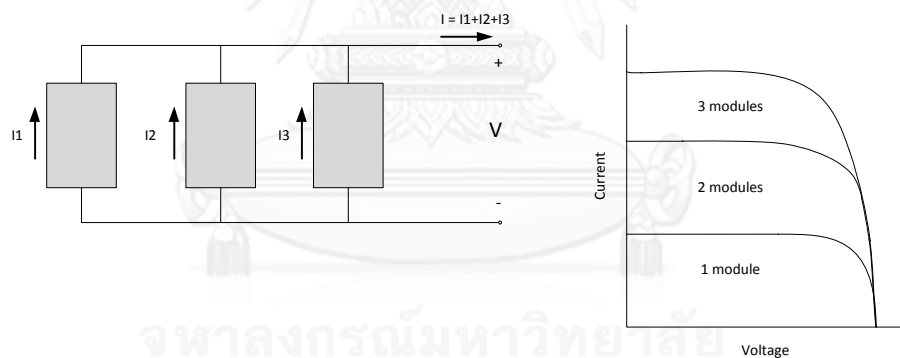


ภาพที่ 2.6 เซลล์ โมดูล และ อาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปโมดูลสามารถนำมาประกอบเข้ากันแบบอนุกรมได้เพื่อเพิ่มขนาดของแรงดันที่ผลิตตามภาพที่ 2.7 และต่อแบบขนานเพื่อเพิ่มขนาดของกระแสได้ ดังภาพที่ 2.8 ทั้งนี้การต่ออนุกรมและขนานของเซลล์แสงอาทิตย์จนได้ขนาดที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าได้ เรียกว่า อาเรย์ โดยปกติการประกอบโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาเรย์นั้นจะต้องคำนึงถึงวิธีการต่อแบบอนุกรมก่อนเนื่องจากต้องทำให้แรงดันที่ผลิตได้รองรับกับระบบไฟฟ้า ต่อจากนั้นจึงคำนึงถึงวิธีการต่อแบบขนานเพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ



ภาพที่ 2.7 ผลของกระแสและแรงดันเมื่อต่ออาเรย์แบบอนุกรม



ภาพที่ 2.8 ผลของกระแสและแรงดันเมื่อต่ออาเรย์แบบขนาน

2.5 การหาพารามิเตอร์และการคำนวณ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอวิธีการค้นหาค่าของพารามิเตอร์พื้นฐานเพิ่มเติม เพื่อให้มีพารามิเตอร์เพียงพอต่อการนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และนำเสนอตัวอย่างการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง

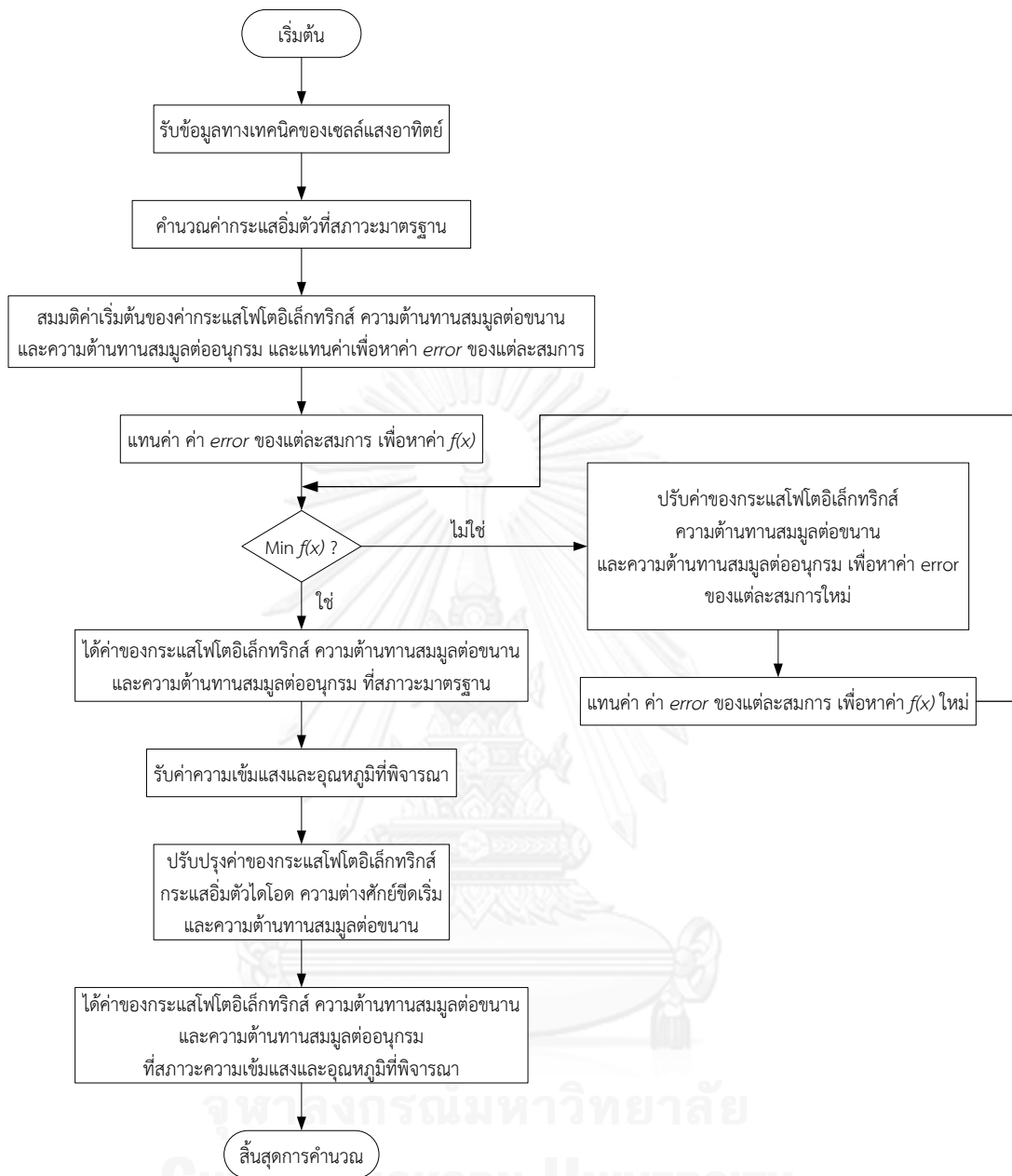
2.5.1 การหาพารามิเตอร์เพิ่มเติมของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

การพัฒนาแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ พารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆ จากข้อมูลเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ของผู้ผลิต จากหัวข้อที่ 2.3 จะพบว่าข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์จะมี

จำนวน 8 พารามิเตอร์ซึ่งยังไม่เพียงพอที่จะใช้ในการคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันเพื่อหาจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จากสมการที่ (2.12) เพื่อให้มีพารามิเตอร์เพียงพอต่อการนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลอง (ทางคณิตศาสตร์) ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งคำนึงถึงปัจจัยทั้งด้านความเข้มแสงและอุณหภูมิด้วย จึงเสนอวิธีการในการหาค่าพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆจากข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ของผู้ผลิตเพิ่มเติม โดยพารามิเตอร์ที่จะต้องหาเพิ่มเติมมี 4 ค่า คือ

- 1) กระแสอิ่มตัวของไดโอด (Saturation current: I_0)
- 2) กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ (Photoelectric current: I_{ph})
- 3) ความต้านทานสมมูลต่อขนาน (Shunt resistance: R_p)
- 4) ความต้านทานต่ออนุกรม (Series resistance: R_s)

ในการหาพารามิเตอร์เพิ่มเติมทั้ง 4 ค่า กระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ต้องมีการประยุกต์การหาค่าที่เหมาะสมมาช่วยในการคำนวณ เนื่องจากสมการในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นสมการไม่เชิงเส้น (Non-linear equation) โดยขั้นตอนของการหาค่าของพารามิเตอร์ได้รวมผลของปัจจัยทั้งความเข้มแสงและอุณหภูมิ โดยขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแสดงได้ในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นตอนที่ 1 : จะต้องทราบค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่ได้จากผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 8 ค่า

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณค่ากระแสอิ่มตัวไดโอดที่สภาวะมาตรฐานจากสมการที่ (2.13)

$$I_o = \frac{I_{sc}}{\exp\left[\frac{V_{oc}}{aN_s V_{th}}\right] - 1} \quad (2.13)$$

ขั้นตอนที่ 3 : สมมติค่าเริ่มต้นของค่าความต้านทานสมมูลต่ออนุกรม ค่าความต้านทานสมมูลต่อขนาน และค่ากระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ และคำนวณค่าความต้านทานต่อขนาน ความต้านทานต่ออนุกรม และ กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ที่สภาวะมาตรฐาน (STC: Standard test condition) โดยใช้วิธีการวนซ้ำในสมการที่ (2.14) สำหรับการค่า $f(x)$ ให้มีค่าต่ำที่สุด เพื่อจะได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความต้านทานต่อขนาน ความต้านทานต่ออนุกรม และกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ แสดงได้ดังสมการที่ (2.15) ถึง (2.17) ตามลำดับ

$$f(x) = error1^2 + error2^2 + error3^2 \quad (2.14)$$

$$error1 = \frac{V_{MPP}}{I_{MPP}} - \frac{aN_s V_{th} R_p}{I_o R_p \exp \left[\frac{V_{MPP} + I_{MPP} R_s}{aN_s V_{th}} \right] + aN_s V_{th}} - R_s \quad (2.15)$$

$$error2 = \frac{V_{MPP} + I_{MPP} R_s}{I_{ph} - I_o \left[\exp \left[\frac{V_{MPP} + I_{MPP} R_s}{aN_s V_{th}} \right] - 1 \right] - I_{MPP}} - R_p \quad (2.16)$$

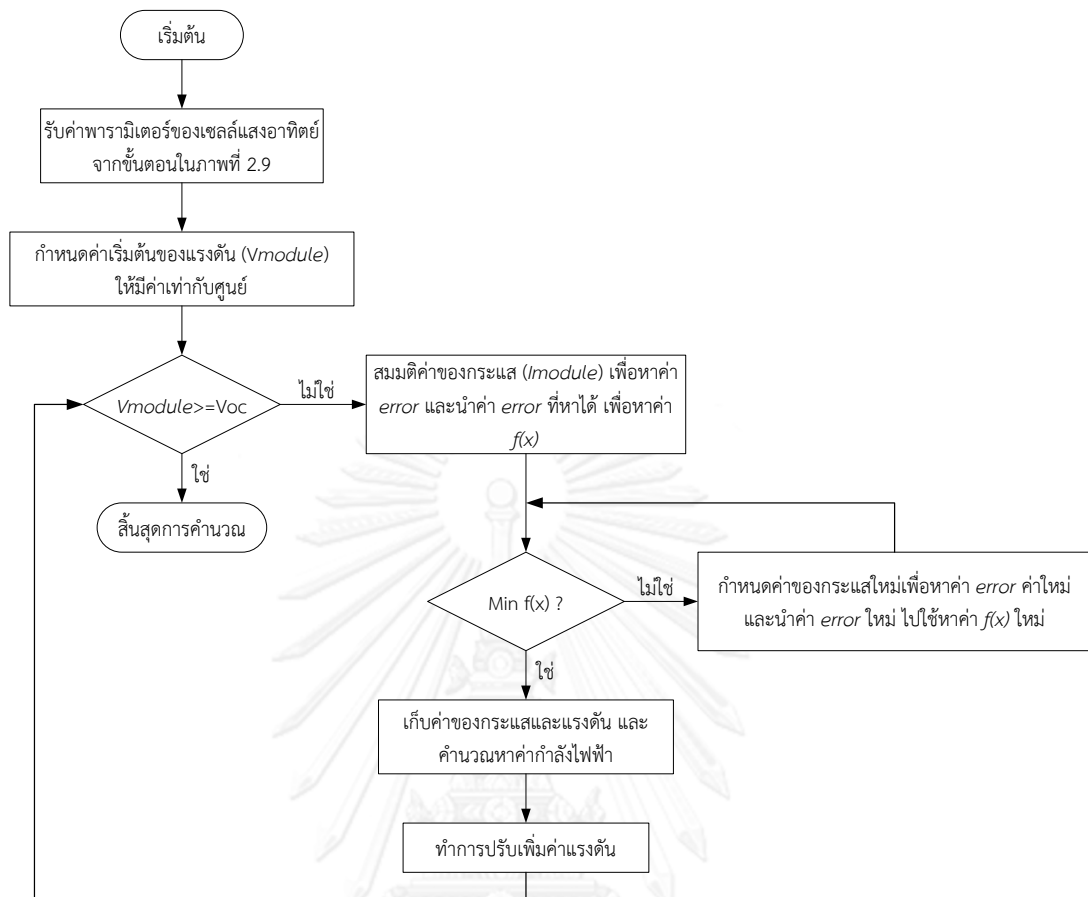
$$error3 = \frac{R_p + R_s}{R_p} I_{sc} - I_{ph} \quad (2.17)$$

ขั้นตอนที่ 4 : รับค่าความเข้มแสง และ อุณหภูมิใดๆ เพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานต่อขนานตามสมการที่ (2.11) ค่าของกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ตามสมการที่ (2.9) และ (2.10) ค่าของแรงดันเปิดวงจรตามสมการที่ (2.8) ค่าของกระแสอิ่มตัวของไดโอดตามสมการที่ (2.18) และค่าของความต่างศักย์ซีดเริ่มตามสมการที่ (2.4)

$$I_o = \frac{I_{sc} + K_i (T - T_{stc})}{\exp \left[\frac{V_{oc} + K_v (T - T_{stc})}{aN_s V_{th}} \right] - 1} \quad (2.18)$$

ขั้นตอนที่ 5 : สิ้นสุดการคำนวณ จะได้ค่าของพารามิเตอร์ R_s , R_p และ I_{ph}

และขั้นตอนการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองแบบหนึ่งไดโอด สามารถแสดงได้ในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ขั้นตอนคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองแบบหนึ่งไดโอด

ขั้นตอนที่ 1 : หาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน โดยรับข้อมูลพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากภาพที่ 2.9 ซึ่งประกอบไปด้วย I_o , I_{ph} , V_{th} , a , N_s , R_p และ R_s

ขั้นตอนที่ 2 : เริ่มกำหนดค่าเริ่มต้นของแรงดันให้มีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วสมมติค่าแรงดันเริ่มต้นในช่วง $(0, I_{sc})$ เพื่อหาค่า error จากสมการที่ (2.19) ซึ่งมีที่มาจากสมการที่ (2.12)

$$error = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V_{module} + I_{module} R_s}{a N_s V_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{module} + I_{module} R_s}{R_p} - I_{module} \quad (2.19)$$

ขั้นตอนที่ 3 : ค้นหาค่ากระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล (I_{module}) ที่จะทำให้ค่าของ $f(x)$ จากสมการที่ (2.20) มีค่าต่ำที่สุดโดยใช้วิธีการวนซ้ำ และคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า

$$f(x) = error^2 \quad (2.20)$$

ขั้นตอนที่ 4 : ปรับเพิ่มค่าของ V_{module} ให้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และกลับสู่ขั้นตอนที่ 2 เพื่อคำนวณหากระแส I_{module} ใหม่จนกระทั่ง V_{module} มีค่ามากกว่า V_{oc} จึงหยุดการคำนวณ

2.5.2 ตัวอย่างการคำนวณ

ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และการหาค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้ โดยเริ่มต้นจากรับค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่ได้จากผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 8 ค่า โดยใช้พารามิเตอร์ของ บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด รุ่น SP120 ในตารางที่ 2.1

และใช้ค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ของวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2557 ที่เวลา 11.30 น. โดยมีค่าความเข้มแสงเท่ากับ 952.6 W/m^2 และอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ $45.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และทำการคำนวณดังภาพที่ 2.9 และ 2.10 โดยการคำนวณได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

ที่สภาวะมาตรฐาน :

$$I_{o_stc} = \frac{7.45}{\exp\left(\frac{21.7}{(1.025)(36)\left(\frac{(1.38 \times 10^{-23}) \times 298}{(1.6 \times 10^{-19})}\right)}\right) - 1} = 212.6 \times 10^{-9} \text{ A}$$

$$R_{p_stc} = 198.09 \text{ } \Omega$$

$$R_{s_stc} = 0.158 \text{ } \Omega$$

$$I_{ph_stc} = 7.617 \text{ A}$$

ที่ความเข้มแสง 952.6 W/m^2 และ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ $45.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ การคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆจะได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

$$V_{th} = \frac{(1.38 \times 10^{-23})(273 + 45.6)}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.02748 \text{ V}$$

$$V_{oc} = 21.7 + (-0.074)(45.6 - 25) = 20.1756 \text{ V}$$

$$R_p = 198.09 \times \frac{1000}{952.6} = 207.947 \text{ } \Omega$$

$$I_{ph} = (7.617 + (0.003)(45.6 - 25)) \times \frac{952.6}{1000} = 7.315 \text{ A}$$

$$I_o = \frac{7.45 + (0.003)(45.6 - 25)}{\exp\left[\frac{21.7 + (-0.074)(45.6 - 25)}{(1.025)(36)\left(\frac{(1.38 \times 10^{-23})(273 + 45.6)}{(1.6 \times 10^{-19})}\right)}\right] - 1} = 6.464 \times 10^{-6} \text{ A}$$

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ความเข้มแสง 952.6 W/m^2 และ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ $45.6 \text{ }^\circ\text{C}$ เรียบร้อยแล้วจะคำนวณหาค่า I_{module} , V_{module} และ P_{module} ได้ดังตารางที่ 2.3

I_{module} (A)	V_{module} (V)	P_{module} (W)
7.310	0.00	0.000
7.307	0.50	3.654
7.305	1.00	7.305
7.300	2.00	14.600
7.295	3.00	21.886
7.290	4.00	29.161
7.285	5.00	36.426
7.280	6.00	43.678
7.273	7.00	50.913
7.265	8.00	58.123
7.254	9.00	65.284
7.235	10.00	72.347
7.200	11.00	79.198
7.132	12.00	85.587
6.998	13.00	90.972
6.731	14.00	94.237
6.653	14.20	94.474
6.578	14.37	94.530
6.564	14.40	94.524
6.463	14.60	94.363
6.349	14.80	93.965
6.220	15.00	93.300
5.302	16.00	84.836
3.808	17.00	64.728
1.632	18.00	29.377
0	18.60	0

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าที่ V_{module} เท่ากับ 14.37 V และที่ I_{module} เท่ากับ 6.578 A จะได้ค่า P_{module} ที่มีค่ามากที่สุดที่ 94.530 W และข้อมูลจริงที่วัดได้ ณ วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2557 เวลา 11.30 น. ซึ่งมีค่ากระแสของข้อมูลจริงที่ค่าเท่ากับ 6.427 A ค่าแรงดันของข้อมูลจริงมีค่าเท่ากับ 147.68 V แต่เนื่องจากข้อมูลจริงเป็นการต่ออนุกรมกันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 โมดูล

จากหัวข้อที่ 2.4 จะพบว่าการต่ออนุกรม คือ การนำแรงดันมาบวกกัน จะได้ว่า แรงดันที่ได้จากการวัดจริง 1 โหมดูล จะมีค่าเท่ากับ 14.768 V และกำลังไฟฟ้าของข้อมูลจริงมีค่าเท่ากับ 949.14 W เมื่อพิจารณาเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของ 1 โหมดูล จะมีค่าเท่ากับ 94.914 W เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองและข้อมูลจากการวัดจริง ได้ผลดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบ กระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 โหมดูล

	ค่ากระแส (A)	ค่าแรงดัน (V)	ค่ากำลังไฟฟ้า (W)
ผลจากแบบจำลอง	6.578	14.370	94.530
ผลจากการวัดจริง	6.427	14.768	94.914

จากตารางที่ 2.4 จะพบว่า ค่าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากการวัดจริงเพียงเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองสามารถใช้จำลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวิทยานิพนธ์นี้ได้เนื่องจากมีความแม่นยำ

บทที่ 3

ข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

โรงไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ หรือที่เรียกว่า โซลาร์ฟาร์ม (Solar Farm) เป็นอีกหนึ่งธุรกิจที่นักลงทุนในอุตสาหกรรมพลังงานทั่วโลกให้ความสนใจและมีแนวโน้มขยายตัวต่อเนื่อง เพราะเป็นพลังงานสะอาดที่ใช้ไม่มีวันหมดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีอัตราการลดลงอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งที่ตั้งของประเทศไทยอยู่ในเขตศูนย์สูตร ทำให้มีช่วงเวลาในการรับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ได้รับแสงอาทิตย์เฉลี่ยวันละประมาณ 5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร จึงเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงสำหรับธุรกิจโซลาร์ฟาร์มเป็นอย่างมาก ประกอบกับการสนับสนุนของกระทรวงพลังงานในหลายๆด้าน ทำให้นักลงทุนรายเล็ก รายใหญ่หันมาลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กันมากขึ้น ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยจะแบ่งการนำเสนอ ดังนี้

- 3.1 สถานะโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน
- 3.2 การติดตั้งอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
- 3.3 ทิศทางการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคต

3.1 สถานะโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน

จากการสนับสนุนเชิงนโยบายของภาครัฐบาลที่มีเป้าหมายจะใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 25 ภายใน 10 ปี จากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า (PDP2010) [1] และ แผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP: 2012-2021) [3] ส่งผลให้ประชาชนทั่วไปรวมทั้งภาคอุตสาหกรรมมีความสนใจในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษาข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ทำให้ทราบว่ามีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่จำนวนมาก โดยมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 262 โรง ได้จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิงพาณิชย์แล้ว (Commercial Operation Date: COD) คิดเป็นกำลังการผลิต 993.56 เมกะวัตต์ และมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 38 โรง ได้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้า (Power purchase agreement: PPA) เรียบร้อยแล้วแต่ยังไม่ได้จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิงพาณิชย์ คิดเป็นกำลังการผลิต 320.23 เมกะวัตต์ อีกทั้งยังมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ยื่นคำขอแล้วแต่ยังไม่ได้รับการตอบรับซื้ออีกทั้งสิ้นจำนวน 168 โรง คิดเป็นกำลังการผลิตจำนวน 927.38 เมกะวัตต์ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 [5]

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลสถานะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในปัจจุบัน

สถานะ	จำนวน โรงไฟฟ้า	กำลังการผลิต ติดตั้ง (MW)	ปริมาณการขาย ไฟฟ้าตามสัญญา (MW)
จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิงพาณิชย์แล้ว (Commercial Operation Date: COD)	262	1,053.64	993.56
ได้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้า (Power purchase agreement: PPA) เรียบร้อย แล้วแต่ยังไม่ได้จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิง พาณิชย์	38	331.48	320.23
ได้รับการตอบรับแล้วแต่ยังไม่ได้ทำสัญญา ซื้อขายไฟฟ้า (Power purchase agreement: PPA)	2	4.40	4.25
ยื่นคำขอแล้วแต่ยังไม่ได้รับการตอบรับการ ซื้อไฟฟ้า	168	951.61	927.38

3.2 การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ปัจจุบันโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย ทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก จะมีการเลือกเทคโนโลยีในการติดตั้งเซลล์อาทิตย์ที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับเงินลงทุนของแต่ละบริษัท ที่นิยมใช้กันอยู่เวลานี้จะมีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ การติดตั้งแบบอยู่กับที่ (Fixed system) ซึ่งเป็นการติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบระบุตำแหน่งชัดเจน โดยใช้การคำนวณจากข้อมูลเฉลี่ยของระดับความเข้มของแสงในแต่ละพื้นที่ เพื่อกำหนดองศาของการติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรับแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด และการติดตั้งแบบหมุนตามดวงอาทิตย์ (Tracking system)

3.2.1 การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ (Fixed system)

การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ (Fixed system) ทำให้ได้รับค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ดีเพียงบางช่วงเวลาหรือประมาณ 5-6 ชั่วโมงต่อวัน เนื่องจากดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดจากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตก การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย นิยมที่จะติดตั้งให้ด้านหน้าของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ โดยแต่ละพื้นที่ที่ติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่จะมีมุมเอียงที่ทำมุมกับพื้นโลกแตกต่างกันออกไปซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ อาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่จะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ในเวลาเที่ยงวันเท่านั้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เต็มศักยภาพเท่าที่ควร แต่ข้อดีของ

การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้จะมีต้นทุนในการติดตั้งไม่สูงมากนัก และการดูแลรักษาง่าย ลักษณะการติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ แสดงได้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

3.2.2 การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตาม (Tracking system)

การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตาม (Tracking system) จะทำให้ได้รับค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ เนื่องจากอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถหมุนตามดวงอาทิตย์ เพื่อรับความเข้มของแสงได้สูงสุดตลอดวัน ซึ่งระบบดังกล่าวจะมีลักษณะเป็น “แกนกล” ทำหน้าที่หมุนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ โดยอาศัยการทำงานของซอฟต์แวร์ที่เก็บข้อมูลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ย้อนหลัง 10 ปี ซึ่งโปรแกรมนี้จะตั้งองศาการหันของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ตามมุมที่รับแสงได้มากที่สุดในแต่ละช่วงเวลา อาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จะหมุนตามดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกในหน่วยนาที่ เช่น ทุกๆ 8 นาที การหมุนหนึ่งครั้งจะเปลี่ยนมุมไป 2 องศา และใช้เวลาหมุน 20 วินาที โดยค่ามุมที่มากที่สุดที่สามารถหมุนได้ คือ 45 องศาในแนวขนานกับพื้นดิน นอกจากนี้เมื่อแสงอาทิตย์หมดในตอนเย็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จะปรับมาอยู่ในตำแหน่ง Home ซึ่งเป็นตำแหน่งขนานกับพื้นดิน หรือ เมื่อมีลมพัดแรงเกินกว่า 20 เมตรต่อวินาทีนาน 15 วินาทีอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จะปรับมาอยู่ในตำแหน่ง Home ซึ่งเป็นตำแหน่งขนานด้วยเช่นกันเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ โดยหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามจะมากกว่าระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ถึงร้อยละ 20 แต่มีข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงมากเนื่องจากต้องมีระบบ PLC ในการควบคุมแกนกลสำหรับการหมุนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ การดูแลรักษาค่อนข้างยุ่งยากต้องคอยตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมทำงานเสมอ ลักษณะการติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตาม แสดงได้ดังภาพที่ 3.2 [28]



ภาพที่ 3.2 การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตาม

3.2.3 การออกแบบการติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในประเทศไทยมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ (Fixed system) ประมาณร้อยละ 80-90 ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดในประเทศไทย โดยปกติแล้ว การติดตั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย นิยมที่จะติดตั้งให้ด้านหน้าของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุมประมาณ 10-18 องศากับพื้นโลก (ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ) เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของประเทศไทยอยู่ทางซีกโลกเหนือ ในประเทศไทยโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ ส่วนใหญ่จะเชื่อมต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานโดยเชื่อมต่อในรูปแบบอนุกรม-ขนาน (Series-Parallel configuration) ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในบทที่ 6 ต่อไป โดยทั่วไปการเชื่อมต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบอนุกรม-ขนานนั้น ส่วนมากมักจะออกแบบให้แรงดันไฟฟ้าของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 800-1,200 โวลต์กระแสตรง (V_{DC}) ตามมาตรฐาน IEC 60364-7-712 [29] ซึ่งค่าแรงดันไฟฟารวมทั้งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ จะกำหนดค่าตามขนาดพิกัดแรงดันของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้โดยจะไม่ให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าเกินกว่า 1,000 โวลต์กระแสตรง (V_{DC}) ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์จะกำหนดค่าไว้ที่ค่าพิกัด

นอกจากนี้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการเว้นระยะห่างระหว่างแถวของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ให้มีระยะห่างกันพอสมควรเพื่อหลีกเลี่ยงการบังแสงแดดที่เกิดจากเงาของแถวที่อยู่ติดกันบังซึ่งกันและกันในตอนเช้าและตอนเย็น เนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวเดียวกับอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ โดยระยะห่างระหว่างแถวที่ติดกันจะกำหนดไว้ที่ประมาณ 3-4 เมตร และวัสดุที่ใช้ทำเสาโครงสร้างของแถวอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เป็นท่อเหล็กอบสังกะสีขนาดกลาง (BS-M) และต้องชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot dip galvanizing) ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ความสูงของเสาไม่น้อยกว่า 1.20 เมตรจาก

พื้นผิวดิน วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ยึดอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และใช้ยึดชุดโครงสร้างรองรับชุดอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องเป็นวัสดุที่ทำจากสแตนเลส และมีขนาดที่เหมาะสม ตอม่อที่ใช้สำหรับรองรับชุดโครงสร้างอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ต้องเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อความมั่นคงและแข็งแรง และตำแหน่งที่ดีในการเลือกติดตั้งอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ต้องเป็นตำแหน่งที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดีตลอดทั้งวัน โดยต้องไม่มีสิ่งปลูกสร้างหรือสิ่งของอื่นใดมาบดบังแสงอาทิตย์ และไม่ควรเป็นสถานที่ที่มีฝุ่นหรือไอระเหยจากน้ำมันมากเกินไป

3.2.4 ตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ในปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยได้รับความนิยมเป็นจำนวนมาก เนื่องจากพื้นที่ประเทศไทยส่วนใหญ่ได้รับแสงอาทิตย์เฉลี่ยวันละประมาณ 5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร จึงเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงสำหรับธุรกิจโซลาร์ฟาร์ม โดยประเทศไทยมีการตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวนมาก ในหัวข้อนี้จะยกตัวอย่างโรงไฟฟ้าในประเทศไทยจำนวน 3 แห่งโดยไม่เปิดเผยชื่อโรงไฟฟ้า ดังนี้

(1) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งที่ 1

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งนี้ตั้งอยู่ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พื้นที่โครงการประมาณ 500 ไร่ โรงไฟฟ้าแห่งนี้มีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 44 เมกะวัตต์ มีจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 150,000 โมดูล ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ การประมาณการคาดว่าโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งนี้จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ปีละ 70 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมง [30] ซึ่งพื้นที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.3

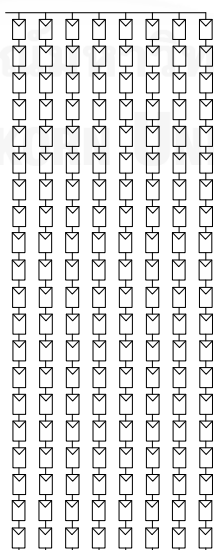


ภาพที่ 3.3 พื้นที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งที่ 1

ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งนี้ ได้เลือกใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) ของบริษัท ซันเทค (SUNTECH) จำกัด จากประเทศจีน เนื่องจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีอายุของการพัฒนาเทคโนโลยีมานานกว่า 30 ปี ทำให้มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ยาวนานตามที่ผู้ผลิตโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์รับประกันไว้ที่ 25 ปี โดยประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเฉลี่ยปีละประมาณร้อยละ 0.8 ร่วมกับการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ จากบริษัท SMA Solar จำกัด (มหาชน) ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะอยู่ในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง (DC current) ทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องทำการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพิ่มเติมเพื่อแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ได้ให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC current) ด้วย

เซลล์แสงอาทิตย์ที่โรงไฟฟ้าแห่งนี้นำมาใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ จากบริษัท ซันเทค จำกัด รุ่น STP295-24/Vd และใช้อินเวอร์เตอร์ของบริษัท SMA จากประเทศเยอรมัน ซึ่งติดตั้งอินเวอร์เตอร์ขนาด 630 กิโลวัตต์ รุ่น Sunny Central 630HE จำนวน 61 เครื่อง และหม้อแปลงจำนวน 10 ลูก สำหรับการเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าทั้งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในการขายไฟฟ้า

ขนาดของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ในการเชื่อมต่อของโรงไฟฟ้าแห่งนี้ใช้การเชื่อมต่อแบบอนุกรม-ขนาน (Series-Parallel configuration) ซึ่งมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 20 โมดูลถือเป็น 1 สตริง และนำสตริงจำนวน 8 สตริงมาเชื่อมต่อกันแบบขนาน ให้เป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20x8 โมดูล โดยอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งนี้สามารถแสดงได้ในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งที่ 1

(2) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งที่ 2

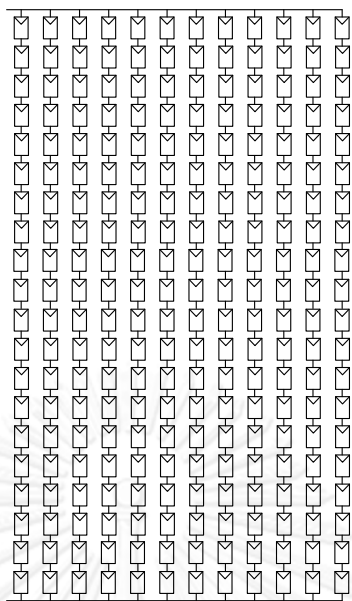
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งนี้เป็นโรงไฟฟ้าในเครือบริษัท เอคโค กรุ๊ป จำกัด โรงไฟฟ้าแห่งนี้มีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 9.6 เมกะวัตต์ โดยพื้นที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 พื้นที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งที่ 2

ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งนี้ ได้เลือกใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) ของบริษัท แอสโตรเนอร์ยี (ASTRONERGY) จำกัด รุ่น CHSM6612P-285W ซึ่งผลิตจากประเทศไต้หวัน ร่วมกับการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ จากบริษัท SMA Solar จำกัด (มหาชน) รุ่น Sunny Central 800CP-US จำนวน 10 เครื่อง ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะอยู่ในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง (DC current) ทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้านั้น จำเป็นที่จะต้องทำการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพิ่มเติมเพื่อแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC current) ด้วย อีกทั้งยังมีการติดตั้งหม้อแปลงในโรงไฟฟ้าจำนวน 5 ตัว สำหรับการเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในการขายไฟฟ้า

ขนาดของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ในการเชื่อมต่อของโรงไฟฟ้าแห่งนี้ใช้การเชื่อมต่อแบบอนุกรม-ขนาน (Series-Parallel configuration) ซึ่งมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 20 โมดูล ถือเป็น 1 สตริง และนำสตริงจำนวน 12 สตริงมาเชื่อมต่อกันแบบขนาน ให้เป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20x12 โมดูล โดยอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งนี้แสดงได้ในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งที่ 2

(3) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งที่ 3

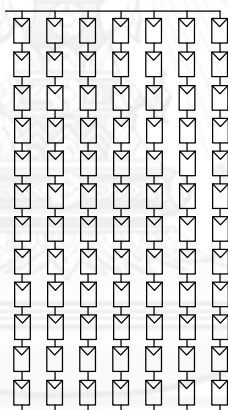
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งนี้ตั้งอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในความดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [31] ซึ่งโรงไฟฟ้าแห่งนี้มีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 0.5 เมกะวัตต์ มีจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ 1,680 โมดูล ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยพื้นที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 พื้นที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งที่ 3

ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งนี้ ได้เลือกใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) ของบริษัท RWE SCHOTT Solar จำกัด รุ่น ASE-300-DGF/50 จากประเทศสหรัฐอเมริกา ร่วมกับการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีขนาด 250 kVA จำนวน 2 เครื่อง ซึ่งใช้แปลงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะอยู่ในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง (DC current) พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC current) เพื่อให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าได้ และมีการติดตั้งคอนเวอร์เตอร์เพื่อใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ ซึ่งมีขนาด 200 kVA จำนวน 2 เครื่อง

ขนาดของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ในการเชื่อมต่อของโรงไฟฟ้าแห่งนี้ใช้การเชื่อมต่อแบบอนุกรม-ขนาน (Series-Parallel configuration) ซึ่งมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 12 โมดูล ถือเป็น 1 สตริง มีทั้งสิ้น 140 สตริง และนำสตริงจำนวน 7 สตริงมาเชื่อมต่อกันแบบขนาน ให้เป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12x7 โมดูล โดยอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งนี้แสดงได้ในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 การเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแห่งที่ 3

3.3 ทิศทางการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคต

ในปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีต้นทุนการผลิตต่ำลงเรื่อยๆ เห็นได้จากผลการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน พบว่า ราคาโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยของทุกเทคโนโลยี มีการปรับลดลงจาก 1.14 ดอลลาร์สหรัฐต่อวัตต์ ในเดือนธันวาคม 2554 มาเหลือเพียง 0.84 ดอลลาร์สหรัฐต่อวัตต์ในเดือนตุลาคม 2555 หรือลดลงมาประมาณร้อยละ 26 ส่งผลให้ต้นทุนโดยรวมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยปรับตัวลดลงจาก 70.4 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์ ลงมาอยู่ที่ 60 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์ หรือลดลงประมาณร้อยละ 15 และยังมีการคาดว่าในปี 2556 ต้นทุนการผลิตจะลดลงมาอยู่ที่ระดับ 55 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์ หรือส่งผลให้ต้นทุนค่าไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 5-6 บาทต่อหน่วยเท่านั้น หากเป็นเช่นนั้น ต้นทุนการผลิต

ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ กำลังขยับลงมาใกล้กับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ที่อยู่ในระดับ 30-40 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์ ซึ่งอาจจะจูงใจให้เอกชนเข้ามาลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นได้ เนื่องจากการศึกษาพบว่าประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากกว่า 10,000 เมกะวัตต์ ขณะที่ปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบแล้วประมาณ 1,000 เมกะวัตต์ ดังนั้น โอกาสในการเติบโตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีอีกมาก และกล่าวได้ว่าเกินกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 10 ปี (2555-2564) ที่กำหนดไว้เพียง 3,000 เมกะวัตต์

แต่ในช่วงกลางปี 2553 กระทรวงพลังงานหยุดรับซื้อไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติม เพื่อศึกษารูปแบบการรับซื้อไฟฟ้าใหม่ โดยจากเดิมที่เป็นการส่งเสริมแบบการให้ส่วนเพิ่มรับซื้อไฟฟ้า (Adder) 6.50 - 8 บาทต่อหน่วย เป็นระยะเวลา 10 ปี เปลี่ยนมาเป็นรูปแบบการรับซื้อไฟฟ้าตามต้นทุนจริงหรือ Feed-in Tariff (FiT) ในระยะเวลา 25 ปี โดยอยู่ระหว่างการหาข้อสรุปว่าควรอยู่ที่อัตราใด โดยในเบื้องต้น สนพ. ได้มีข้อเสนอออกมาอยู่ที่ 5.12 บาทต่อหน่วย แต่ภาคเอกชนยังมองว่าเป็นอัตราที่ต่ำเกินไป เนื่องจากมองว่าต้นทุนการพัฒนาโครงการยังอยู่ในระดับกว่า 70 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์ ยังไม่ได้ลดลงตามที่ สนพ. ได้ศึกษา และรูปแบบการรับซื้อไฟฟ้าแบบ Feed-in Tariff ควรจะนำมาใช้สำหรับโครงการใหม่ในอีก 3 ปีข้างหน้า เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อผู้ที่อยู่ระหว่างดำเนินโครงการ และเมื่อวันที่ 16 ก.ค. 2556 ที่ประชุมคณะกรรมการพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เห็นชอบให้ กระทรวงพลังงานร่วมกับสำนักงานกองทุนหมู่บ้านและชุมชนเมืองแห่งชาติ จัดทำโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชุมชน ซึ่งกระทรวงพลังงานจะกำหนดอัตรารับซื้อไฟฟ้าพิเศษสำหรับโครงการดังกล่าว เพื่อสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน และสามารถดำเนินโครงการได้อย่างยั่งยืน โดยเห็นชอบให้รับซื้อไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชุมชนมีเป้าหมายกำลังการผลิตติดตั้งรวม 800 เมกะวัตต์ และมีอัตรารับซื้อไฟฟ้าพิเศษตามแผนจะดำเนินการจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบได้ภายในปี 2557 ดังนี้

ปีที่ 1-3 ระบบ FiT อัตราหน่วยละ 9.75 บาท

ปีที่ 4-10 ระบบ FiT อัตราหน่วยละ 6.50 บาท

ปีที่ 11-25 ระบบ FiT อัตราหน่วยละ 4.50 บาท

จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ทางภาครัฐได้ให้การสนับสนุนและต้นทุนการผลิตก็มีค่าลดลงเรื่อยๆ อีกทั้งโอกาสในการเติบโตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีอีกมากเนื่องจากกำลังการผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ยังห่างไกลจากเป้าหมายของแผนพัฒนาพลังงานทดแทน ที่กำหนดไว้ 3,000 เมกะวัตต์ในอีก 10 ปีข้างหน้า ทำให้การลงทุนในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีความน่าสนใจมากขึ้น

บทที่ 4

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควร โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ คือ เรื่องเมฆ เมฆที่เคลื่อนที่ผ่านระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เกิดเงาพาดผ่านบนระบบผลิตไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงมีค่าที่ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น การเคลื่อนที่ของเมฆนั้นได้รับอิทธิพลมาจากลมชั้นบน ในบทนี้จะแบ่งการนำเสนอเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

4.1 เมฆ

4.2 ลม

4.1 เมฆ

เมฆ (Cloud) คือ กลุ่มของละอองน้ำขนาดเล็กซึ่งเกิดจากการควบแน่นของหยดน้ำในอากาศ แต่เมฆชั้นสูงซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจะเป็นกลุ่มของผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก โดยปกติน้ำบริสุทธิ์และไอน้ำโปร่งแสงจนไม่สามารถมองเห็นได้ แต่หยดน้ำและผลึกน้ำแข็งมีพื้นผิว (Surface) ซึ่งสะท้อนแสงทำให้เราสามารถมองเห็นเป็นก้อนสีขาว และในบางครั้งมุมตกกระทบของแสงและเงาจากเมฆชั้นบนหรือเมฆที่อยู่ข้างเคียง หรือความหนาแน่นของหยดน้ำในก้อนเมฆ ก็อาจทำให้เมฆปรากฏเป็นสีเทา

ตามธรรมชาติ เมฆที่เกิดขึ้นจะมีรูปร่าง 2 ลักษณะ คือ เมฆก้อนและเมฆแผ่น โดยเมฆก้อนเรียกว่า “เมฆคิวมูลัส” (Cumulus) และเมฆแผ่นเรียกว่า “เมฆสตราตัส” (Stratus) ถ้าหากเมฆก้อนและเมฆแผ่นลอยชิดรวมกัน เราจะนำชื่อทั้งสองกลุ่มเมฆมารวมกันและเรียกว่า “เมฆสตราโตคิวมูลัส” (Stratocumulus) ในกรณีที่เมฆฝนจะเพิ่มคำว่า “นิมโบ” หรือ “นิมบัส” ซึ่งแปลว่า “ฝน” เข้าไปในกลุ่มเมฆนั้นๆ โดยเมฆก้อนที่ทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองเรียกว่า “เมฆคิวมูโลนิมบัส” (Cumulonimbus) และเรียกเมฆแผ่นที่มีฝนตกปรอยๆ อย่างสงบว่า “เมฆนิมโบสตราตัส” (Nimbostratus)

4.1.1 ตระกูลของเมฆ

โดยทั่วไป เราสามารถแบ่งกลุ่มของเมฆ ออกได้ทั้งหมด 10 ตระกูล ดังนี้ [32]

4.1.1.1 เซอรัส (Cirrus) เป็นตระกูลเมฆที่จัดอยู่ในเมฆชั้นสูง เป็นเมฆที่อยู่กันแบบกระจายตัว มีลักษณะเป็นเส้นใยละเอียดสีขาว เป็นหย่อมๆ หรือ เป็นแถบสีขาวมีลักษณะเป็นปุยคล้ายขนสัตว์

เมฆตระกูลเซอร์รัสเป็นเมฆที่ไม่มีเงา ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเมฆตระกูลนี้เป็นผลึกน้ำแข็งเกือบทั้งหมด และเมฆตระกูลนี้อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์วงแสง (Halo) ไม่เต็มวงรอบดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ และ ไม่ทำให้เกิดน้ำฟ้า

4.1.1.2 เซอโรคิวมูลัส (Cirrocumulus) เป็นตระกูลเมฆที่จัดอยู่ในเมฆชั้นสูง เป็นเมฆที่อยู่กันเป็นหย่อมหรือเป็นแผ่นหรือเป็นชั้นบางๆ สีขาวก็ได้ โดยเมฆตระกูลนี้ประกอบด้วยเมฆก้อนเล็กๆ รวมตัวกันและมักมีการเรียงตัวเป็นระเบียบ เมฆก้อนเล็กๆ เหล่านี้จะทำมุมกับสายตาน้อยกว่า 1 องศา เมฆตระกูลเซอร์คิวมูลัสเป็นเมฆที่ไม่มีเงา ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเมฆตระกูลนี้เป็นผลึกน้ำแข็งเกือบทั้งหมด และ เมฆนี้อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ทรงกลม (Corona) และปรากฏการณ์แถบสี (Irisation) ถ้าเซอร์คิวมูลัสเกิดเหนือภูเขาอาจมีรูปร่างคล้ายเลนส์ และเมฆตระกูลเซอร์คิวมูลัสไม่ทำให้เกิดน้ำฟ้า

4.1.1.3 เซอโรสตราตัส (Cirrostratus) เป็นตระกูลเมฆที่จัดอยู่ในเมฆชั้นสูง เป็นเมฆที่มีสีขาว โปร่งแสงคล้ายม่านบางๆ ลักษณะเป็นปุยคล้ายขนสัตว์หรืออาจมองดูเรียบปกคลุมท้องฟ้าบางส่วนหรือทั้งหมด เมฆตระกูลเซอร์สตราตัสเป็นเมฆที่ไม่มีเงา ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเมฆตระกูลนี้เป็นผลึกน้ำแข็ง เมฆนี้มักทำให้เกิดปรากฏการณ์วงแสงและอาจทำให้เกิดดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ทรงกลม และเมฆตระกูลเซอร์สตราตัสไม่ทำให้เกิดน้ำฟ้า

4.1.1.4 อัลโตคิวมูลัส (Alto cumulus) เป็นตระกูลเมฆที่จัดอยู่ในเมฆชั้นกลาง เป็นเมฆที่มีสีขาวหรือสีเทาหรือทั้งสองสี เป็นเมฆที่อยู่กันเป็นหย่อมหรือเป็นแผ่นหรือเป็นชั้น โดยเมฆตระกูลนี้ประกอบด้วยเมฆก้อนเล็กๆ รวมตัวกันและมักมีการเรียงตัวเป็นระเบียบ เมฆก้อนเล็กๆ ซึ่งทำมุมกับสายตาระหว่าง 1 – 5 องศา เมื่อพิจารณาดูเมฆตระกูลนี้จะเห็นเป็นเกล็ด ก้อนกลม เป็นม้วนปุยหรือเป็นผ้า เมฆตระกูลอัลโตคิวมูลัสประกอบด้วยละอองน้ำเป็นส่วนมากและเป็นเมฆที่ไม่มีเงา มักทำให้เกิดปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์ทรงกลมหรือดวงจันทร์ทรงกลมได้หรืออาจทำให้เกิดปรากฏการณ์วงแสงหรือแถบสี เมฆตระกูลอัลโตคิวมูลัสไม่ทำให้เกิดน้ำฟ้า

4.1.1.5 อัลโตสตราตัส (Altostratus) เป็นตระกูลเมฆที่จัดอยู่ในเมฆชั้นกลาง เป็นเมฆที่มีสีเทาอ่อนหรือสีฟ้าอ่อน มีลักษณะเป็นแผ่น เป็นปุยหรือเป็นเนื้อเดียวกันและปกคลุมท้องฟ้าบางส่วนหรือทั้งหมด เมฆตระกูลอัลโตสตราตัสเป็นเมฆที่ทำให้เกิดเงาบ้างเล็กน้อย ซึ่งประกอบด้วยละอองน้ำและผลึกน้ำแข็ง อาจทำให้เกิดฝน หิมะ หรือลูกปรายน้ำแข็ง (Ice pellet) ได้

4.1.1.6 นิมโบสตราตัส (Nimbostratus) เป็นตระกูลเมฆที่จัดอยู่ในเมฆชั้นกลาง เป็นเมฆที่เป็นชั้นสีเทาและเป็นเมฆที่มีลักษณะรุ่งเรืองอยู่ในระดับต่ำได้ชั้นเมฆ โดยปกคลุมท้องฟ้าเป็นบริเวณกว้างและมีความหนามาก เมฆตระกูลนี้มีความหนาพอที่จะบังดวงอาทิตย์ได้ จึงเป็นเมฆที่ทำให้เกิดเงา ทำ

ให้ท้องฟ้ามีดคริมและดูลัว องค์ประกอบของเมฆตระกูลนี้ประกอบไปด้วยละอองน้ำและเม็ดฝน (Raindrop) ผลึกหิมะ (Snow crystal) และเกล็ดหิมะ (Snow flake) เมฆนิมโบสตราตัสเป็นเมฆที่ทำให้เกิดฝน และบางครั้งอาจทำให้เกิดหิมะหรือลูกปรายน้ำแข็ง (Ice pellet)

4.1.1.7 สตราโตคิวมูลัส (Stratocumulus) เป็นตระกูลเมฆที่จัดอยู่ในเมฆชั้นต่ำ เป็นเมฆที่มีสีเทาหรือค่อนข้างขาว มีลักษณะเป็นหย่อมหรือเป็นแผ่นหรือเป็นชั้น ซึ่งมักจะมีส่วนที่มีดคริมอยู่ด้วยเสมอ มวลของเมฆมีลักษณะเป็นก้อนหรือเป็นมันๆ โดยเมฆก้อนเล็กๆ ที่เรียงตัวกันอย่างมีระเบียบเหล่านั้นทำมุมกับสายตามากกว่า 5 องศา เมฆตระกูลสตราโตคิวมูลัสประกอบด้วยละอองน้ำ อาจมีเม็ดฝน ผลึกหิมะ และเกล็ดหิมะ รวมอยู่ด้วยบ้าง ซึ่งเมฆนี้อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ทรงกลมหรือแถบสี และ อาจทำให้เกิดฝน หิมะ หรือลูกปรายหิมะ (Snow pellet) ได้

4.1.1.8 สตราตัส (Stratus) เป็นตระกูลเมฆที่จัดอยู่ในเมฆชั้นต่ำ เป็นเมฆที่เป็นชั้นสีเทา เป็นเมฆที่มีลักษณะของฐานค่อนข้างเรียบและลักษณะเป็นหย่อมรุ่งรัง เมฆตระกูลนี้อาจทำให้เกิดดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ทรงกลมหรือวงแสง และ อาจทำให้เกิดฝนละออง (Drizzle) หิมะ หรือละอองหิมะ (Snow grain)

4.1.1.9 คิวมูลัส (Cumulus) เป็นตระกูลเมฆที่จัดอยู่ในเมฆชั้นต่ำ เป็นเมฆที่มีลักษณะเป็นก้อน หนาและมีขอบเมฆชัดเจน ฐานเมฆมีดคริมและเกือบเป็นแนวราบ เมฆชั้นนี้จะก่อตัวในแนวตั้งพอกพูนสูงขึ้นในลักษณะของโดมหรือหอคอย ส่วนบนที่นูนขึ้นไปมักดูคล้ายดอกกะหล่ำ บริเวณที่ถูกแสงอาทิตย์มักจะสีขาวจ้า เมฆตระกูลคิวมูลัส ประกอบด้วยละอองน้ำเป็นส่วนมาก อาจทำให้เกิดดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ทรงกลมหรือรุ่ง และ เมฆนี้อาจทำให้เกิดฝน หิมะ หรือลูกปรายหิมะ (Snow pellet)

4.1.1.10 คิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) เป็นตระกูลเมฆที่จัดอยู่ในเมฆชั้นต่ำ มีลักษณะเป็นก้อนใหญ่หนาทึบ เมฆตระกูลนี้มีการก่อตัวในแนวตั้งขึ้นไปสูงมาก ดูคล้ายภูเขาหรือหอคอยขนาดมหึมา ยอดบนสุดของเมฆมีส่วนที่เรียบเป็นปุยหรือเป็นแนว ส่วนนี้มักแผ่กว้างออกไปคล้ายรูปทั่งหรือขนนกขนาดใหญ่ ใต้ฐานเมฆจะมีดคริมมากและมีลักษณะรุ่งรังและอยู่ในระดับต่ำ เมฆตระกูลคิวมูโลนิมบัสประกอบด้วยละอองน้ำและผลึกน้ำแข็งโดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนบนของเมฆจะมีเม็ดฝนขนาดใหญ่ เกล็ดหิมะ ลูกปรายหิมะ ลูกปรายน้ำแข็งหรือลูกเห็บรวมอยู่ด้วย อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์วงแสงรอบดวงอาทิตย์หรือรุ่ง เมฆตระกูลนี้มักทำให้เกิดฝน และอาจทำให้เกิดหิมะ ลูกปรายหิมะ เกล็ดหิมะ ลูกปรายน้ำแข็งหรือลูกเห็บได้ อีกทั้งยังทำให้เกิดฟ้าแลบ ฟ้าร้อง และฟ้าผ่าด้วย

4.1.2 ระดับความสูงของเมฆ

จากกลุ่มเมฆที่ได้แบ่งตามหัวข้อที่ 4.1.1 จะเห็นได้ว่าเมฆแต่ละกลุ่มที่ได้กล่าวมาจะมีความสูงที่แตกต่างกันโดยแบ่งออกเป็นชั้นๆ ซึ่งนักอุตุนิยมวิทยาแบ่งเมฆออกเป็น 3 ระดับ คือ เมฆชั้นสูง เมฆชั้นกลาง และ เมฆชั้นต่ำ โดยมีรายละเอียดระดับความสูงของฐานเมฆแต่ละชั้น ดังในตารางที่ 4.1 [33]

ตารางที่ 4.1 ระดับความสูงของฐานเมฆชั้นต่างๆ

ชั้นของเมฆ	ระดับความสูงของฐานเมฆ
เมฆชั้นต่ำ	ต่ำกว่า 2,000 เมตร
เมฆชั้นกลาง	2,000-6,000 เมตร
เมฆชั้นสูง	สูงกว่า 6,000 เมตร

โดยเมฆชั้นต่ำ อยู่สูงจากพื้นดินไม่เกิน 2 กิโลเมตร มี 5 ชนิด ได้แก่ เมฆสตราตัส เมฆคิวมูลัส เมฆสตราโตคิวมูลัส เมฆนิมโบสตราตัส และเมฆคิวโมโลนิมบัส ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.1.1

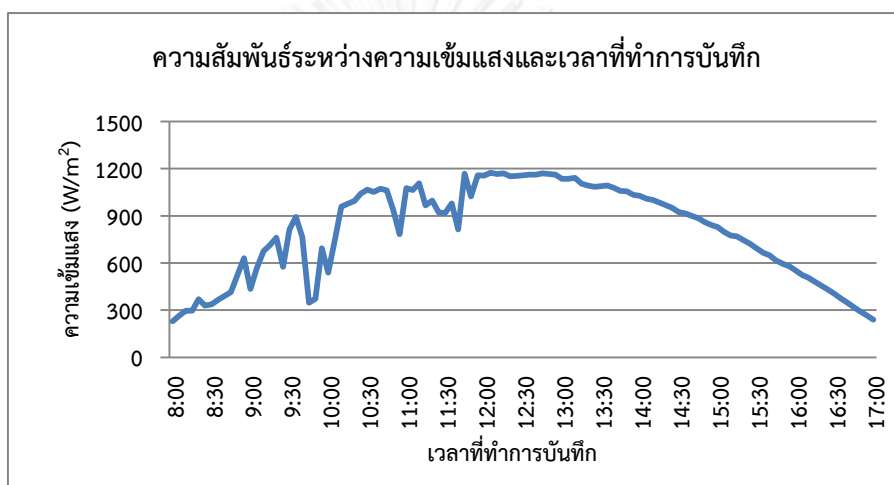
เมฆชั้นกลาง เกิดขึ้นที่ระดับสูง 2 - 6 กิโลเมตร ในการเรียกชื่อจะเติมคำว่า “อัลโต” ซึ่งแปลว่า “ชั้นกลาง” ไว้ข้างหน้า เช่น เมฆแผ่นชั้นกลางเรียกว่า “เมฆอัลโตสตราตัส” (Altostratus) เมฆก้อนชั้นกลางคือ “เมฆอัลโตคิวมูลัส” (Alto cumulus) ส่วนเมฆชั้นสูง เกิดขึ้นที่ระดับความสูงมากกว่า 6 กิโลเมตร ในการเรียกชื่อจะเติมคำว่า “เซอร์” ซึ่งแปลว่า “ชั้นสูง” ไว้ข้างหน้า เช่น เมฆแผ่นชั้นสูงเรียกว่า “เมฆเซอร์สตราตัส” (Cirrostratus) เมฆก้อนชั้นสูงเรียกว่า “เมฆเซอร์คิวมูลัส” (Cirrocumulus) นอกจากนั้นยังมีเมฆชั้นสูงที่มีรูปร่างเหมือนขนนก เรียกว่า “เมฆเซอร์รัส” (Cirrus) โดยชั้นเมฆที่ก่อให้เกิดการบังแสงแดดซึ่งนำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ คือ เมฆชั้นต่ำและเมฆชั้นกลาง

4.1.3 การเคลื่อนที่ของเมฆและผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

การเคลื่อนที่ของเมฆนั้นส่งผลต่อการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเมฆเคลื่อนที่พาดผ่านระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดเงาบนระบบผลิตไฟฟ้า ทำให้การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพเนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความเข้มแสงที่ต่ำกว่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากผลของการบังแสงแดด ทำให้พลังงานที่ผลิตออกมาได้ของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าที่ลดลง

ปัจจัยที่ทำให้เมฆสามารถเคลื่อนที่ได้ นั่นคือ ความเร็วลม โดยความเร็วลมที่กล่าวถึงนี้จะหมายถึงความเร็วลมชั้นบน เป็นความเร็วลมที่ความสูงต่างๆ ตั้งแต่ 1 กิโลเมตรขึ้นไป ที่ส่งผลต่อการ

เคลื่อนที่ของเมฆที่ระดับความสูงต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 ทำให้เมฆสามารถเคลื่อนที่ไปยังทิศทางต่างๆได้ และเมฆจะทำให้เกิดเงาบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความเข้มแสงต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เมื่อพิจารณาจากข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมปี 2556 ที่ทำการบันทึกจากอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าในแต่ละวันจะเกิดการบังแสงแดดเกิดขึ้นบนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและเวลาที่ทำการบันทึก ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างดังในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและเวลาที่ทำการบันทึก

จากภาพที่ 4.1 สามารถแยกแยะความเข้มแสงในส่วนของการบังแสงแดดได้จากการพิจารณาเงื่อนงำดังนี้

- 1) ความเข้มแสงที่ลดลงมากกว่าร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ ถือว่าเป็นความเข้มแสงที่เกิดจากการบังแสงแดด
- 2) ความเข้มแสงที่ลดลงเป็นช่วงเวลาที่มากกว่าร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ ถือว่าเป็นความเข้มแสงที่เกิดการบังแสงแดด
- 3) ช่วงเวลาเกิดการบังแสงแดดที่เกินกว่า 3 ชั่วโมงขึ้นไป จะไม่พิจารณาเป็นการบังแสงแดด จัดว่าเป็นลักษณะที่ท้องฟ้ามีดีคริม ความเข้มแสงลดลงทั่วทุกพื้นที่

จำนวนการบังแสงแดดและระยะเวลาที่เกิดการบังแสงแดดในแต่ละวันมีความแตกต่างกันออกไป ด้วยเหตุนี้จึงทำการเก็บสถิติจำนวนการบังแสงแดดในแต่ละวันมาหาค่าเฉลี่ยจำนวนการบังแสงแดดในแต่ละเดือน โดยแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 จำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ยต่อ 1 วัน/เดือน ที่เกิดขึ้นบนระบบผลิตไฟฟ้า

เดือน	จำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ย (ครั้ง)
มกราคม	1
กุมภาพันธ์	2
มีนาคม	3
เมษายน	3
พฤษภาคม	3
มิถุนายน	4
กรกฎาคม	4
สิงหาคม	5
กันยายน	5
ตุลาคม	6
พฤศจิกายน	3
ธันวาคม	1

จากตารางที่ 4.2 พบว่าในแต่ละเดือนมีจำนวนการเกิดการบังแสงแดดเฉลี่ยที่แตกต่างกัน โดยในช่วงเดือนมิถุนายน ถึง เดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนจะมีจำนวนการเกิดการบังแสงแดดเฉลี่ยสูงมากประมาณ 4-6 ครั้งต่อวัน ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวมีจำนวนการเกิดการบังแสงแดดเฉลี่ยประมาณ 1-3 ครั้งต่อวัน และในช่วงเดือนมีนาคม ถึง เดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนมีจำนวนการเกิดการบังแสงแดดเฉลี่ย 3 ครั้งต่อวัน

4.2 ลม

ลม คือ กระแสอากาศที่เคลื่อนที่ในแนวนอน ส่วนกระแสอากาศ คือ อากาศที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง การเรียกชื่อลมนั้นเรียกตามทิศทางที่ลมนั้นๆ พัดมา เช่น ลมที่พัดมาจากทิศเหนือเรียกว่า ลมเหนือ และลมที่พัดมาจากทิศใต้เรียกว่า ลมใต้ เป็นต้น

4.2.1 ลมมรสุมของประเทศไทย

ประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยลมทั้ง 2 ชนิด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [34]

1) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม โดยมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูง ในซีกโลกใต้บริเวณมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งพัดออกจากศูนย์กลางเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้ และเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้เมื่อพัดข้ามเส้นศูนย์

สูตร มรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียมาสู่ประเทศไทย ทำให้มีเมฆมากและฝนชุกทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามบริเวณชายฝั่งทะเล และเทือกเขาด้านรับลมจะมีฝนมากกว่าบริเวณอื่น



ภาพที่ 4.2 ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

2) ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

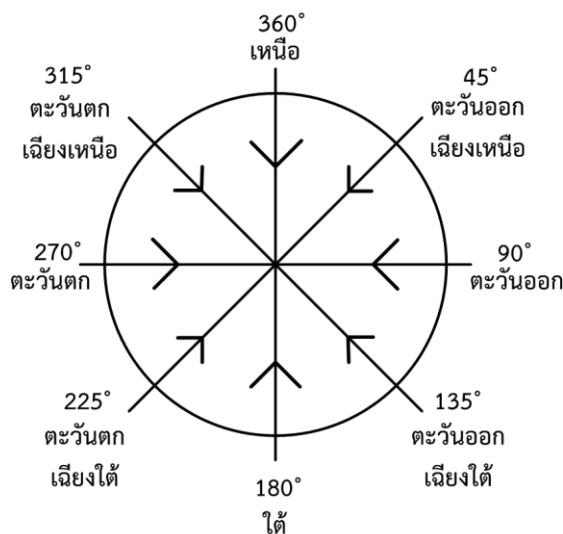
หลังจากหมดอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แล้ว ประมาณกลางเดือนตุลาคม จะมีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทย จนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มรสุมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงบนซีกโลกเหนือ แถบประเทศมองโกเลียและจีน จึงพัดพาเอามวลอากาศเย็น และแห้งจากแหล่งกำเนิดเข้ามาปกคลุมประเทศไทย ทำให้ท้องฟ้าโปร่ง อากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งทั่วไป โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคใต้จะมีฝนชุกโดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออก เนื่องจากมรสุมนี้นำความชื้นขึ้นจากอ่าวไทยเข้ามาปกคลุม การเริ่มต้นและสิ้นสุดมรสุมทั้งสองชนิดอาจผันแปรไปจากปกติได้ในแต่ละปี



ภาพที่ 4.3 ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

4.2.2 การวัดทิศทางลม

ทิศลม อาจเรียกชื่อตามทิศต่างๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาจากทิศจริง ปัจจุบันการวัดทิศลมนิยมวัดทิศลมตามเข็มทิศ และวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศลมด้วยเข็มทิศ เข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็นทิศใหญ่ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศ เมื่อแบ่งย่อยอีกจะเป็น 8 ทิศ โดยจะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศ ให้ย่อยเป็น 16 ทิศ หรือ 32 ทิศ ได้อีก แต่การรายงานทิศนั้นมักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศ เท่านั้น ส่วนการวัดทิศลมที่เป็นองศาบอกมุมของลมจากทิศจริง ในลักษณะที่เวียนไปตามเข็มนาฬิกา ใช้สเกลจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา เช่น ลมทิศ 0 องศา หรือ 360 องศา เป็นทิศเหนือ, ลมทิศ 45 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ลมทิศ 90 องศา เป็นทิศตะวันออก, ลมทิศ 135 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้, ลมทิศ 180 องศา เป็นทิศใต้, ลมทิศ 225 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้, ลมทิศ 270 องศา เป็นทิศตะวันตก และลมทิศ 315 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.4 [35]



ภาพที่ 4.4 ทิศของลมตามองศาจากทิศจริง

4.2.3 ข้อมูลความเร็วลม

ข้อมูลความเร็วลมที่นำมาใช้ประกอบในวิทยานิพนธ์นี้เป็นความเร็วลมของลมชั้นบน โดยความเร็วลมชั้นบนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของเมฆ โดยเมฆแต่ละความสูงจะถูกความเร็วลมที่ความสูงนั้นๆ กระทำ ทำให้เมฆสามารถเคลื่อนที่ได้ โดยมีทิศทางที่แตกต่างกันไปตามทิศทางของความเร็วลมที่ระดับความสูงนั้นๆ โดยความเร็วลมที่ความสูงที่แตกต่างกันจะมีทิศทางที่ไม่เหมือนกัน โดยข้อมูลความเร็วลมชั้นบนได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยข้อมูลความเร็วลมชั้นบนที่ทางกรมอุตุนิยมวิทยาได้เก็บสถิติไว้จะมีทิศทางของความเร็วลม และความเร็วลมในหน่วยนอต การเก็บข้อมูลความเร็วลมชั้นบนของกรมอุตุนิยมวิทยา ใน 1 วัน จะเก็บค่าทั้งหมด 4 ครั้ง ได้แก่ ที่เวลา 00.00 น., 07.00 น., 13.00 น. และ 19.00 น. ที่ระดับความสูงที่แตกต่างกัน โดยมีสถานีวัดความเร็วลมชั้นบน มีทั้งหมด 11 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ พิษณุโลก อุตรธานี อุบลราชธานี นครราชสีมา กรุงเทพมหานคร จันทบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต และ สงขลา โดยตัวอย่างข้อมูลความเร็วลมที่ได้รับจากกรมอุตุนิยมวิทยาแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลทิศทางและความเร็วลมของแต่ละวันในระดับความสูงต่างๆ

	Height in kilometres above mean sea level								
	1			2			3		
Day	ddd (องศา)	ff (knots)	ff (m/s)	ddd (องศา)	ff (knots)	ff (m/s)	ddd (องศา)	ff (knots)	ff (m/s)
1	260	13	6.68	250	5	2.57	270	15	7.71
2	60	6	3.08	90	10	5.14	340	4	2.06
3	340	7	3.60	10	6	3.08	360	5	2.57
4	30	18	9.25	50	20	10.28	60	16	8.22
5	60	21	10.79	40	18	9.25	90	23	11.82
6	100	19	9.77	100	26	13.36	130	15	7.71

จากตารางที่ 4.3 ตำแหน่ง ddd แทนทิศทางของความเร็วลม ซึ่งแสดงเป็นเลของศาโดยสามารถอ่านทิศทางได้จากภาพที่ 4.4 ตำแหน่ง ff แทนระดับของความเร็วลม ซึ่งความเร็วลมที่แสดงในตารางเป็นความเร็วลมในหน่วยนอต (knots) ซึ่ง 1 knots เท่ากับ 0.514 m/s [35] และจากข้อมูลในตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าทิศทางความเร็วลมและความเร็วลมในแต่ละวันและในแต่ละความสูงมีขนาดและทิศทางที่ต่างกันอย่างชัดเจน จึงทำให้การคาดการณ์ทิศทางในการเคลื่อนที่ของเมฆนั้นมีความเป็นไปได้ต่ำมาก เนื่องจากความเร็วลมที่เป็นปัจจัยหลักในการเคลื่อนที่ของเมฆนั้นมีทิศทางที่ไม่แน่นอน และการคำนวณระยะเวลาที่เมฆเคลื่อนที่ผ่านระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นไปได้ยาก เนื่องจากความเร็วลมในแต่ละวัน ในแต่ละความสูง มีระดับความเร็วลมที่ไม่แน่นอน อีกทั้งขนาดของเมฆที่เกิดขึ้นยังไม่มีข้อมูลบันทึกไว้ ดังนั้นในการพิจารณาทิศทางความเร็วลมในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ทิศทางความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 2 กิโลเมตรจากระดับน้ำทะเลเนื่องจากเป็นระดับความสูงที่อยู่ระหว่างเมฆชั้นต่ำและเมฆชั้นกลางซึ่งเป็นชั้นเมฆที่ก่อให้เกิดการบังแสงแดด ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 และพิจารณาทิศทางความเร็วลมที่เวลา 07.00 น. และ 13.00 น. เนื่องจากเป็นเวลากลางวัน การเคลื่อนที่ของเมฆมีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยข้อมูลที่นำมาหาทิศทางเฉลี่ยเป็นข้อมูลจากสถานีวัดกรุงเทพมหานคร และในการหาทิศทางความเร็วลมเฉลี่ยของแต่ละเดือน ได้พิจารณาจากทิศทางของความเร็วลมในแต่ละวันแล้วเลือกทิศทางที่มีจำนวนมากที่สุดเป็นทิศทางความเร็วลมตัวแทนของเดือนนั้น

จากข้อมูลความเร็วลมที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาที่แสดงตัวอย่างในภาคผนวก ก. สามารถหาทิศทางเฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคมปี 2556 ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ทิศทางของลมที่ระดับความสูง 2 กิโลเมตรจากระดับน้ำทะเลในแต่ละเดือน

เดือน	ทิศทางเฉลี่ยที่เวลา 07.00 น. (องศา)	ทิศทางเฉลี่ยที่เวลา 13.00 น. (องศา)
มกราคม	135	135
กุมภาพันธ์	90	90
มีนาคม	90	180
เมษายน	180	180
พฤษภาคม	225	225
มิถุนายน	270	270
กรกฎาคม	315	315
สิงหาคม	270	315
กันยายน	270	90
ตุลาคม	45	270

บทที่ 5

การบังแสงแดด

การบังแสงแดดจะส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง เนื้อหาของบทนี้จะนำเสนอความรู้โดยทั่วไปเกี่ยวกับการบังแสงแดด ผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่มีบายพาสไดโอด และไม่มีบายพาสไดโอด และ ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด

5.1 สาเหตุของการบังแสงแดด

การบังแสงแดด (Shading) หรือการบังเงา (Shadowing) ส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมากมายหลายประการ ดังเช่น ใบไม้ สิ่งก่อสร้าง และเมฆที่เคลื่อนที่ผ่าน เป็นต้น ซึ่งการบังแสงแดดจะส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความเข้มแสงที่ต่ำกว่าที่ควร พลังงานที่ผลิตออกมาได้ของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าที่ลดลง และเมื่อเกิดการบังแสงแดดขึ้นกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะส่งผลทำให้เกิดค่าความร้อนที่ตัวเซลล์ขึ้น เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดจะทำหน้าที่เป็นโหลดแทนแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปนั้น จะมีการออกแบบการติดตั้งให้หลีกเลี่ยงผลจากการบังแสงแดดให้ได้มากที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงที่สุด สำหรับบ้านพักอาศัย จะมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar rooftop) ดังในภาพที่ 5.1 ซึ่งสถานที่ที่ติดตั้งนั้นอาจจะไม่โปร่งโล่ง เช่น มีเงาของต้นไม้พาดผ่าน ซึ่งเป็นข้อจำกัดด้านสถานที่ทำให้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการบังแสงแดดได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำการติดตั้งโมดูลเซลล์อาทิตย์จำนวนมากในพื้นที่โล่งกว้าง ปราศจากสิ่งกีดขวางในบริเวณโรงไฟฟ้าเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ นั่นก็คือ เมฆที่เคลื่อนที่ผ่านดังในภาพที่ 5.2 ซึ่งทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง

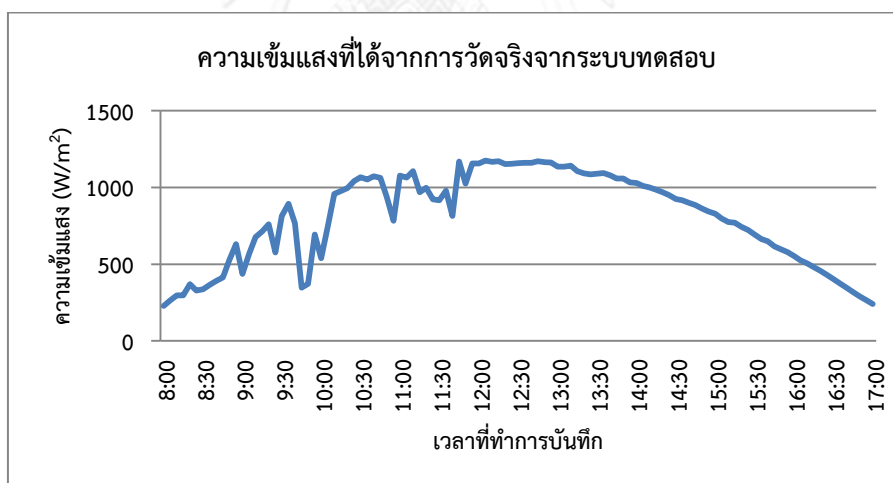


ภาพที่ 5.1 การบังแสงแดดที่เกิดจากเงาของต้นไม้



ภาพที่ 5.2 การบังแสงแดดที่เกิดจากเมฆเคลื่อนที่ผ่าน

การบังแสงแดดนั้นมีรูปแบบการบังแสงแดดมากมายหลากหลายแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะหรือรูปร่างของเงาที่มาบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใดการบังแสงแดดจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ซึ่งประสิทธิภาพจะลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปแบบการบังแสงแดด ขนาดของกลุ่มเมฆที่เคลื่อนที่ผ่าน และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกลุ่มเมฆ โดยความเข้มแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงใน 1 วันที่ได้รับผลกระทบของการบังแสงแดดแสดงได้ดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและเวลาที่ทำการบันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและเวลาที่ทำการบันทึกที่แสดงในภาพที่ 5.3 เป็นข้อมูลความเข้มแสงในวันที่ 20 เมษายน 2557 โดยเป็นข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงใน 1 วัน เมื่อพิจารณาจากข้อมูลจะพบว่าช่วงที่ค่าความเข้มแสงลดลงนั้นมีผลมาจากเมฆเคลื่อนที่พาดผ่านระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้เกิดการบังแสงแดดเกิดขึ้นบนระบบผลิตไฟฟ้า ทำให้ส่วนที่โดนบังแสงแดดได้รับความเข้มแสงลดลง

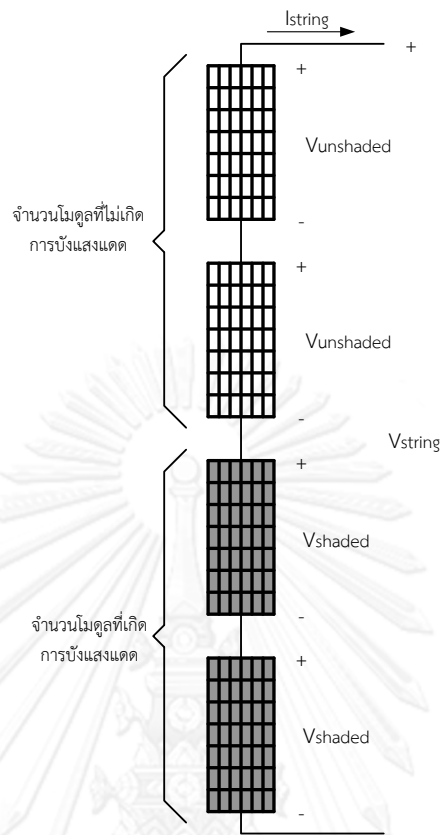
5.2 ผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อเกิดการบังแสงแดดขึ้นสิ่งที่เกิดตามมา คือ ความเข้มแสงที่ตกกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าลดลงดังแสดงตัวอย่างในหัวข้อที่ 5.1 ซึ่งจะทำให้ต้องนำหลักการเกี่ยวกับความเข้มแสงที่ส่งผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในหัวข้อที่ 2.2.2 มาช่วยในการวิเคราะห์ด้วย โดยจะพบว่าเมื่อค่าของความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์เพียงแค่ 2 พารามิเตอร์ คือ

- 1) กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ (Photoelectric current : I_{ph})
- 2) ความต้านทานสมมูลต่อขนาน (Shunt resistance : R_p)

ปัญหาอีกประการหนึ่งของการเกิดการบังแสงแดดต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ คือ เมื่อเกิดการบังแสงแดดขึ้นจะส่งผลให้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีได้หลายค่า (Multiple peaks) จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเดิมในขณะที่ไม่เกิดการบังแสงแดดอาจไม่ใช่จุดทำงานที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ หากกระบวนการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) ที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไม่ใช่กระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) ที่มีประสิทธิภาพก็จะไม่สามารถหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ (Global maximum power point) พบทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้านั้นต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

แบบจำลองที่ศึกษาการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่ายจะเริ่มจากการพิจารณาเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดและไม่เกิดการบังแสงแดดกรณีที่มีการต่อร่วมกันแบบอนุกรมดังแสดงในภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 แบบจำลองการบังแสงแดดอย่างง่าย

จากภาพที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดดซึ่งจะมีจำนวนเป็น $N_{unshaded}$ โมดูล และส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดขึ้นซึ่งจะมีจำนวนเป็น N_{shaded} โมดูล นอกจากนี้พารามิเตอร์ตัวอื่นๆ ภายในภาพที่ 5.4 คือ I_{ph} , I_D , I_o , R_s และ R_p จะเป็นพารามิเตอร์พื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 ดังนั้นค่าแรงดันของการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมกันในหนึ่งแถว (V_{string}) จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.1)

$$V_{string} = (N_{unshaded})V_{unshaded} + (N_{shaded})V_{shaded} \quad (5.1)$$

โดย

V_{string} คือ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่รวมส่วนที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่เกิดการบังแสงแดดกับส่วนที่เซลล์แสงอาทิตย์เกิดการบังแสงแดดรวมเป็นหนึ่งแถว (V)

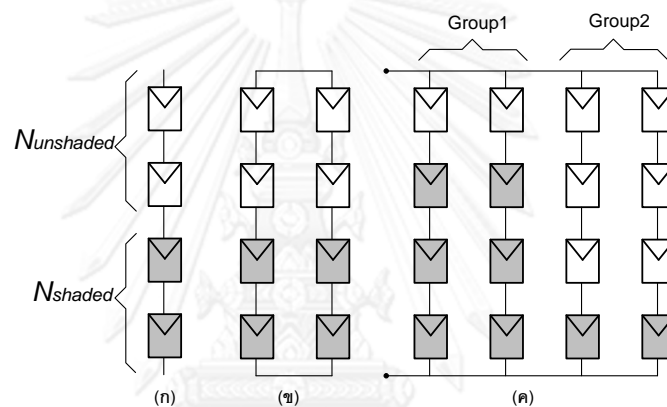
$N_{unshaded}$ คือ จำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความเข้มแสงปกติหรือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้เกิดการบังแสงแดด (โมดูล)

$V_{unshaded}$ คือ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนหนึ่งโมดูลที่มีความเข้มแสงปกติหรือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้เกิดการบังแสงแดด (V)

N_{shaded} คือ จำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความเข้มแสงลดลงหรือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้เกิดการบังแสงแดด (โมดูล)

V_{shaded} คือ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนหนึ่งโมดูลที่มีความเข้มแสงลดลงหรือเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดขึ้น (V)

เมื่อวิเคราะห์ผลของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น เราสามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็นกลุ่มได้ โดยในกลุ่มเดียวกันจะมีจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดด (N_{shaded}) และปริมาณการถูกบังความเข้มแสงที่เท่ากัน ดังแสดงได้ในภาพที่ 5.5 [13]



ภาพที่ 5.5 (ก) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดดในหนึ่งสตริง (ข) กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์ และ (ค) อาเรย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบไปด้วยกลุ่มที่ถูกบังแสงแดดจำนวนสองกลุ่ม

จากภาพที่ 5.5(ก) จะพบว่าในหนึ่งสตริง จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดดจำนวน $N_{unshaded}$ โมดูลและเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดจำนวน N_{shaded} โมดูล ดังนั้นในหนึ่งสตริงจะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจำนวน N_{total} โมดูล ดังสมการที่ (5.2)

$$N_{total} = N_{unshaded} + N_{shaded} \quad (5.2)$$

เราเรียกสตริงที่มีลักษณะการบังแสงแดดเหมือนกันที่มีการต่อขนานกันว่า “กลุ่ม” ดังภาพที่ 5.5(ข) อย่างไรก็ตามในหนึ่งอาเรย์ของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถประกอบไปด้วยกลุ่มที่เกิดการบังแสงแดดมากกว่าหนึ่งกลุ่มได้ ดังภาพที่ 5.5(ค) ซึ่งสามารถแสดงลักษณะของการบังแสงแดดของอาเรย์ได้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ลักษณะการบังแสงแดดของอาเรียในภาพที่ 5.5(ค)

กลุ่มที่	จำนวนโมดูลที่ไม่ถูกบังแสงแดด	จำนวนโมดูลที่ถูกบังแสงแดด	จำนวนสตริงของแต่ละกลุ่ม	จำนวนโมดูลในแต่ละกลุ่ม
1	1	3	2	8
2	3	1	2	8

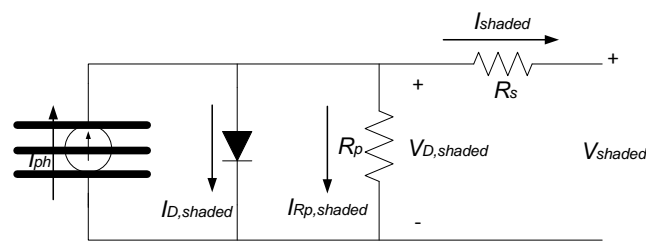
จากภาพที่ 5.5(ก) จะพบว่าในแต่ละสตริงของเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดดจำนวน $N_{unshaded}$ โมดูลและเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดจำนวน N_{shaded} โมดูล โดยแรงดันของแต่ละสตริง (V_{string}) จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.1) ซึ่งในการพิจารณาการบังแสงแดดออกเป็นกลุ่ม เพราะลักษณะการบังแสงแดดที่ต่างกันความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันก็จะมีค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อลดความซับซ้อนในการหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันรวมของอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับผลกระทบจากการบังแสงแดด เราจึงพิจารณาการบังแสงแดดออกเป็นกลุ่ม

จากสมการที่ (5.1) จะพบว่าค่าของแรงดันของส่วนที่เกิดการบังแสงแดดขึ้น (V_{shaded}) จะเป็นพารามิเตอร์ที่จะต้องหาค่าออกมาเพื่อที่จะสามารถคำนวณหาค่าแรงดันของทั้งแถวออกมาได้ ดังนั้นหลักการหาค่าของแรงดันของส่วนที่เกิดการบังแสงแดดจำนวนหนึ่งโมดูลจะสามารถพิจารณาได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ

- (1) กรณีการบังแสงแดดโดยยังคงมีความเข้มแสงเหลืออยู่ ($G > 0 \text{ W/m}^2$)
- (2) กรณีการบังแสงแดดโดยไม่มีค่าความเข้มแสงเหลืออยู่ ($G = 0 \text{ W/m}^2$)

(1) กรณีการบังแสงแดดโดยยังคงมีความเข้มแสงเหลืออยู่ ($G > 0 \text{ W/m}^2$)

แม้ว่าโมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเกิดการบังแสงแดดขึ้น แต่ยังคงมีความเข้มแสงเหลืออยู่บ้าง ซึ่งจะส่งผลให้โมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์แผ่นนั้นยังสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ในช่วงของกระแสบางช่วง แต่เนื่องมาจากความเข้มแสงที่ลดลงจากการบังแสงแดดจะส่งผลต่อค่ากระแสโฟโตอิเล็กทริกส์เนื่องจากการบังแสงแดดจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับโฟตอนลดลง ทำให้ค่ากระแสโฟโตอิเล็กทริกส์จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้จะมีลักษณะที่ลดลงด้วย ในการหาค่าของแรงดันและกระแสของส่วนที่เกิดการบังแสงแดดนั้น จะต้องศึกษาแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดด ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด

จากภาพที่ 5.6 เมื่อนำมาเขียนสมการของกระแสจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.3)

$$I_{shaded} = I_{ph,shaded} - I_{D,shaded} - I_{Rp} \quad (5.3)$$

โดย

- I_{shaded} คือ ค่าของกระแสที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด (A)
- $I_{ph,shaded}$ คือ ค่าของกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ที่เกิดมาจากความเข้มแสง แต่ทว่าเมื่อเกิดการบังแสงแดดขึ้นต่อเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ค่ากระแสนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเวลาคำนวณหาค่าพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด จึงมีการคำนวณตามหลักการในหัวข้อที่ 2.2.2 (A)
- $I_{D,shaded}$ คือ ค่ากระแสไหลผ่านไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดหนึ่งโมดูล (A)
- I_{Rp} คือ ค่าของกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานสมมูลต่อขนาน (R_p) ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดหนึ่งโมดูล (A)

จากสมการที่ (5.3) จะพบว่าสมการของแรงดันในส่วนที่เกิดการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลนั้นจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.4)

$$I_{shaded} = I_{ph,shaded} - I_{o,shaded} \left[\exp\left(\frac{V_{shaded} + I_{shaded} R_s}{a N_s V_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{shaded} + I_{shaded} R_s}{R_{p,shaded}} \quad (5.4)$$

โดย

- V_{shaded} คือ ค่าของแรงดันที่ตกคร่อมของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดหนึ่งโมดูล (V)
- $R_{p,shaded}$ คือ ค่าความต้านทานสมมูลที่เชื่อมต่อบนขนานที่เปลี่ยนไปเมื่อความเข้มแสงที่ตกกระทบเกิดการเปลี่ยนแปลง (Ω)

ดังนั้นจากสมการที่ (5.4) จะพบว่าจะไม่สามารถจัดรูปสมการของ V_{shaded} ให้อยู่ในรูปของพารามิเตอร์ตัวอื่นได้ หรือเป็นสมการที่ไม่ใช่สมการเชิงเส้น จึงส่งผลให้การหาค่าของแรงดันในส่วนที่เกิดการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลนั้นจะต้องมีการผสมผสานหลักการการค้นหาค่าอย่างง่ายต่อไป

เพื่อประกอบความเข้าใจจึงได้แสดงตารางค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังแสงแดด โดยสมมติให้ค่าเริ่มต้นของ I_o เท่ากับ 6.464×10^{-6} A, a เท่ากับ 1.025, V_{th} เท่ากับ 0.02748 V, R_s เท่ากับ 0.158 Ω , N_s เท่ากับ 36 และสมมติค่าความเข้มแสงที่เกิดจากการบังแสงแดด มีค่าเท่ากับ 476.3 W/m^2 และ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 45.6°C ซึ่งจะได้ค่า

I_{ph} เท่ากับ 3.6577 A, R_p เท่ากับ 415.91 Ω และจะได้ค่า I_{shaded} , V_{shaded} และ P_{shaded} ดังตารางที่

5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ 1 โมดูลเมื่อ โดนบังแสงแดด

I_{shaded} (A)	V_{shaded} (V)	P_{shaded} (W)
3.656	0	0
3.655	0.50	1.873
3.654	1.00	3.654
3.651	2.00	7.303
3.649	3.00	10.948
3.647	4.00	14.586
3.644	5.00	18.219
3.641	6.00	21.846
3.638	7.00	25.464
3.633	8.00	29.065
3.626	9.00	32.637
3.615	10.00	36.180
3.593	11.00	39.518
3.549	12.00	42.588
3.461	13.00	44.990
3.387	13.50	45.725
3.306	13.90	49.959
3.297	13.94	45.961
3.282	14.00	45.955
3.135	14.50	45.463
2.930	15.00	43.955
2.269	16.00	36.301
1.124	17.00	19.114
0	17.68	0

(2) การบังแสงแดดโดยไม่มี ความเข้มแสงเหลืออยู่ ($G = 0 \text{ W/m}^2$)

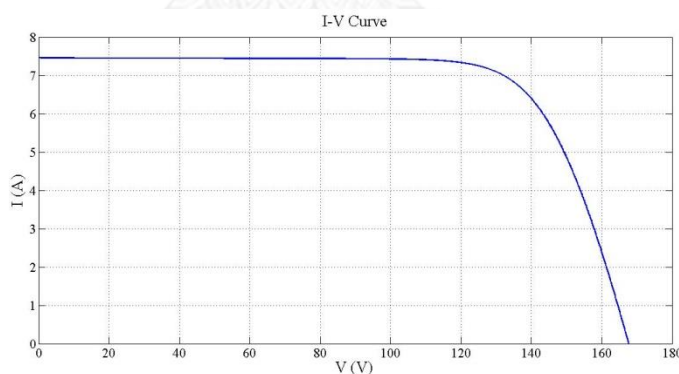
หลักการของการบังแสงแดดนั้นจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับในกรณีที่ (1) ดังนั้นแบบจำลอง เซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดในกรณีนี้ จะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.6 ซึ่งจากหลักการ ความเข้มแสงมีค่าเป็นศูนย์นั้นจะส่งผลให้ค่าของกระแสที่เกิดมาจากความเข้มแสง ($I_{ph,shaded}$) นั้นมีค่า เป็นศูนย์เช่นกัน เซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มี ความเข้มแสงเลยจะไม่สามารถที่จะทำงานเป็นแหล่งจ่ายไฟได้

หรือเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นโหลดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ดังนั้นสมการของแรงดันในส่วนที่เกิดการบังแสงแดดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลนั้นจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.5)

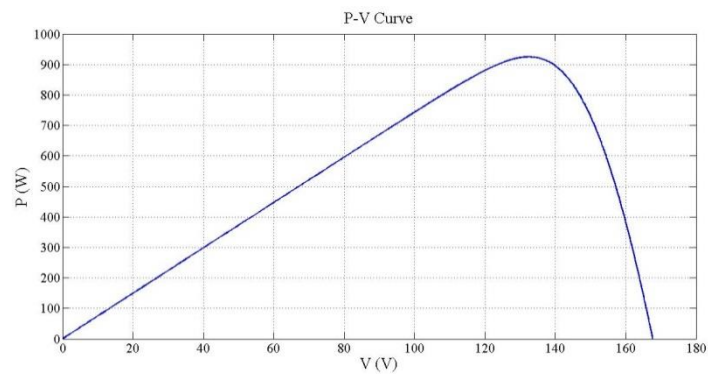
$$I_{shaded} = -I_{o,shaded} \left[\exp\left(\frac{V_{shaded} + I_{shaded}R_s}{aN_sV_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{shaded} + I_{shaded}R_s}{R_{p,shaded}} \quad (5.5)$$

5.3 ผลของการบังแสงแดดต่อจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

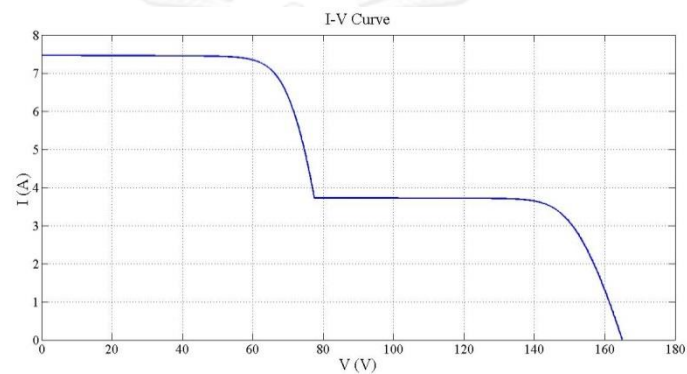
การบังแสงแดดมีผลต่อจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และกระบวนการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) โดยในส่วนนี้จึงขอนำเสนอตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสและแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าและแรงดันเปรียบเทียบในกรณีปกติและกรณีที่เกิดการบังแสงแดดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะอนุกรมกันจำนวน 10 โมดูล แต่ละโมดูลมีค่าแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) เท่ากับ 21.7 โวลต์และค่ากระแสลัดวงจร (I_{sc}) เท่ากับ 7.45 แอมแปร์ สำหรับโมดูลไมโดนบังแสงแดดทดสอบที่ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ และอุณหภูมิ 25°C ส่วนโมดูลที่โดนบังแสงแดดจะทดสอบที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 โดยภาพที่ 5.7 กับภาพที่ 5.8 และภาพที่ 5.9 กับภาพที่ 5.10 แสดงถึงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าและแรงดันในกรณีที่ไมเกิดการบังแสงแดดและกรณีที่เกิดการบังแสงแดดตามลำดับ



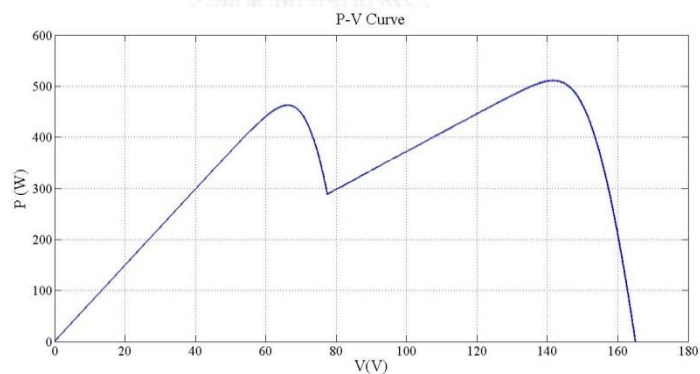
ภาพที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด



ภาพที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด



ภาพที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด



ภาพที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด

จากภาพที่ 5.10 จะพบว่าจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีมากกว่าหนึ่งจุด (Multiple peaks) ส่งผลให้กระบวนการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดอาจไม่สามารถทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร หากกระบวนการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่สามารถหาจุดสูงสุดตลอดช่วง (Global peak) ได้ กล่าวคือเมื่อเกิดการบังแสงแดดขึ้น การหาจุดทำงานกำลังไฟฟ้าสูงสุดต้องสามารถแยกแยะความแตกต่างของจุดสูงสุดตลอดช่วง (ซึ่งให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดของกรณีเกิดการ

บั้งแสงแดด) และจุดสูงสุดเฉพาะช่วง (Local peak) ที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงการทำงานที่จำกัด และมีประสิทธิภาพไม่เท่ากับจุดสูงสุดตลอดช่วงออกจากกันได้

5.4 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอด

ผลของการบั้งแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดนั้นจะแบ่งการพิจารณาออกเป็นสองส่วน คือ

5.4.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบั้งแสงแดด

สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบั้งแสงแดดนั้น จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ดังสมการที่ (5.6)

$$I_{unshaded} = I_{ph,unshaded} - I_{o,unshaded} \left[\exp\left(\frac{V_{unshaded} + I_{unshaded} R_s}{a N_s V_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{unshaded} + I_{unshaded} R_s}{R_p} \quad (5.6)$$

โดย

$I_{unshaded}$ คือ กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อไม่เกิดการบั้งแสงแดด (A)

$V_{unshaded}$ คือ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อไม่เกิดการบั้งแสงแดด (V)

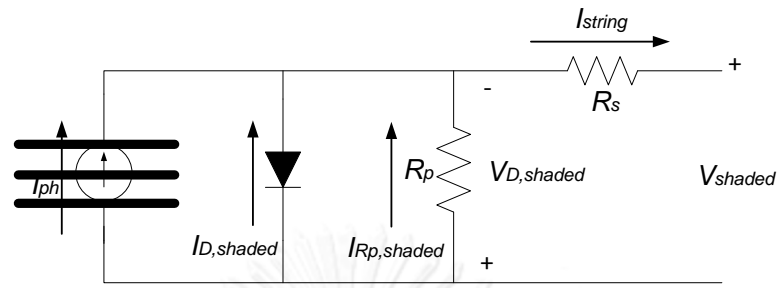
5.4.2 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบั้งแสงแดด

เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบั้งแสงแดด เมื่อเกิดการบั้งแสงแดด จะทำให้ค่าของกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์มีค่าลดลง ($I_{ph,shaded}$) ต่ำกว่าในสภาวะปกติที่ไม่เกิดการบั้งแสงแดด ($I_{ph,unshaded}$) ทำให้ในช่วงของกระแสในสตริง (I_{string}) ดังที่แสดงในภาพที่ 5.3 ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ถูกบั้งแสงแดดนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นโหลด ($I_{ph,shaded} \leq I_{string} \leq I_{ph,unshaded}$) และในช่วงของกระแสในสตริงที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ถูกบั้งแสงแดดนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟปกติ ($0 < I_{string} < I_{ph,shaded}$) ดังนั้นจึงแบ่งพิจารณาออกเป็นสองช่วงกระแส ดังต่อไปนี้

(1) ช่วงกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นโหลด ($I_{ph,shaded} \leq I_{string} \leq I_{ph,unshaded}$)

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบั้งแสงแดด หากมีกระแสที่ไหลผ่านในช่วงนี้จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวทำหน้าที่เป็นโหลดแทนที่จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส ซึ่งเป็นผลจากการที่กระแสในสตริง (I_{string}) ที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลมีค่ามากกว่ากระแสโฟโตอิเล็กทริกส์เมื่อเกิดการบั้งแสงแดด ($I_{ph,shaded}$) ที่สามารถคำนวณได้จาก

สมการที่ (2.10) ทำให้ไดโอดเกิดการไบแอสย้อนกลับ (Reverse bias) โดยทิศทางของกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ไม่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.11 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทไม่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด

จากภาพที่ 5.11 จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทไม่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดดสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.7)

$$I_{string} = I_{ph,shaded} + I_{o,shaded} \left[\exp\left(\frac{-V_{shaded} - I_{string} R_s}{a N_s V_{th}}\right) - 1 \right] + \frac{-V_{shaded} - I_{string} R_s}{R_p} \quad (5.7)$$

โดย

I_{string} คือ กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ไหลในสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดด (A)

หรือเมื่อพิจารณาว่าค่าของกระแสอิ่มตัว (I_o) มีค่าน้อยมาก สมการที่ (5.8) จะลดรูปเป็น

$$I_{string} \cong I_{ph(shade)} + \frac{-V_{shade} - I_{string} R_s}{R_{p(shade)}} \quad (5.8)$$

จากสมการที่ (5.8) นำมาจัดรูปให้อยู่ในรูปของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลเมื่อเกิดการบังแสงแดด จะได้เป็นสมการที่ (5.9) และมีทิศทางแสดงในภาพที่ 5.11 อย่างไรก็ตามแรงดันที่ได้จะมีค่าเป็นลบ เนื่องจากค่ากระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลที่ไหลในสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดมีค่ามากกว่ากระแสโฟโตโวลเทอิกเมื่อเกิดการบังแสงแดด ($I_{string} > I_{ph,shaded}$) จึงส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นโหลด

$$V_{shade} \cong (I_{ph(shade)} - I_{string}) R_{p(shade)} - I_{string} R_s \quad (5.9)$$

(2) ช่วงกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่าย ($0 < I_{string} < I_{ph,shaded}$)

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดด หากมีกระแสที่ไหลผ่านในช่วงนี้จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟปกติเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดดในช่วงกระแสนี้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.10)

$$I_{shade} = I_{ph,shaded} - I_{o,shaded} \left[\exp\left(\frac{V_{shaded} + I_{string} R_s}{aN_s V_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{shaded} + I_{string} R_s}{R_{p,shaded}} \quad (5.10)$$

5.5 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอด

ผลของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอด (ซึ่งในทางปฏิบัติจะระบุอยู่ในข้อมูลทางเทคนิค) นั้นจะแบ่งการพิจารณาออกเป็นสองส่วน คือ

5.5.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบังแสงแดด

เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบังแสงแดดนั้น จะมีหลักการคำนวณเช่นเดียวกันกับเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ไม่เกิดการบังแสงแดด โดยความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันสามารถหาได้จากสมการที่ (5.6)

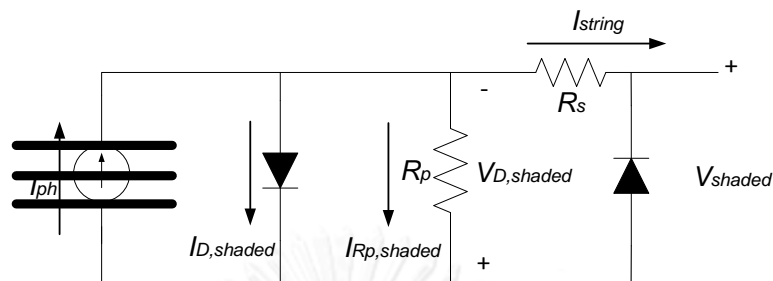
5.5.2 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดด

เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดด เมื่อเกิดการบังแสงแดดจะทำให้ค่าของกระแสโฟโตอิเล็กทริกส์มีค่าลดลง ($I_{ph,shaded}$) ต่ำกว่าในสภาวะปกติที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ($I_{ph,unshaded}$) แต่ด้วยผลของบายพาสไดโอดทำให้ในบางช่วงของกระแสในสตริง (I_{string}) ที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ถูกบังแสงแดดนั้นเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันเข้าใกล้ศูนย์ ($I_{ph,shaded} \leq I_{string} \leq I_{ph,unshaded}$) และในบางช่วงของกระแสในสตริงที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอดที่ถูกบังแสงแดดนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟปกติ ($I_{ph,unshaded} < I_{string} < I_{ph,shaded}$) ดังนั้นจึงแบ่งพิจารณาออกเป็นสองช่วงกระแส

(1) ช่วงกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันเข้าใกล้ศูนย์ ($I_{ph,shaded} \leq I_{string} \leq I_{ph,unshaded}$)

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดด หากมีกระแสที่ไหลผ่านในช่วงนี้จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันที่มีค่าเป็นลบ ทำให้บายพาสไดโอดเกิดการ

ฟอเวิร์ดไบแอส (Forward bias) ดังแสดงในภาพที่ 5.12 ทำให้กระแสในสตริงไหลผ่านบายพาสไดโอดเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 5.12 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทมีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด

หากค่าของกระแสในสตริงที่ไหลผ่านมีค่าอยู่ในช่วงนี้ จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทมีบายพาสไดโอดมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับแรงดันฟอเวิร์ดไบแอสของบายพาสไดโอดซึ่งมีค่าน้อยมากโดยแรงดันตกคร่อมของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทมีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดดจะสามารถประมาณได้ดังสมการที่ (5.11)

$$V_{shaded} \cong 0 \quad (5.11)$$

(2) ช่วงกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่าย ($0 < I_{string} < I_{ph,shaded}$)

เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทที่มีบายพาสไดโอดที่เกิดการบังแสงแดด หากมีกระแสที่ไหลผ่านในช่วงนี้จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟปกติเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลประเภทมีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดดในช่วงกระแสนี้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.10)

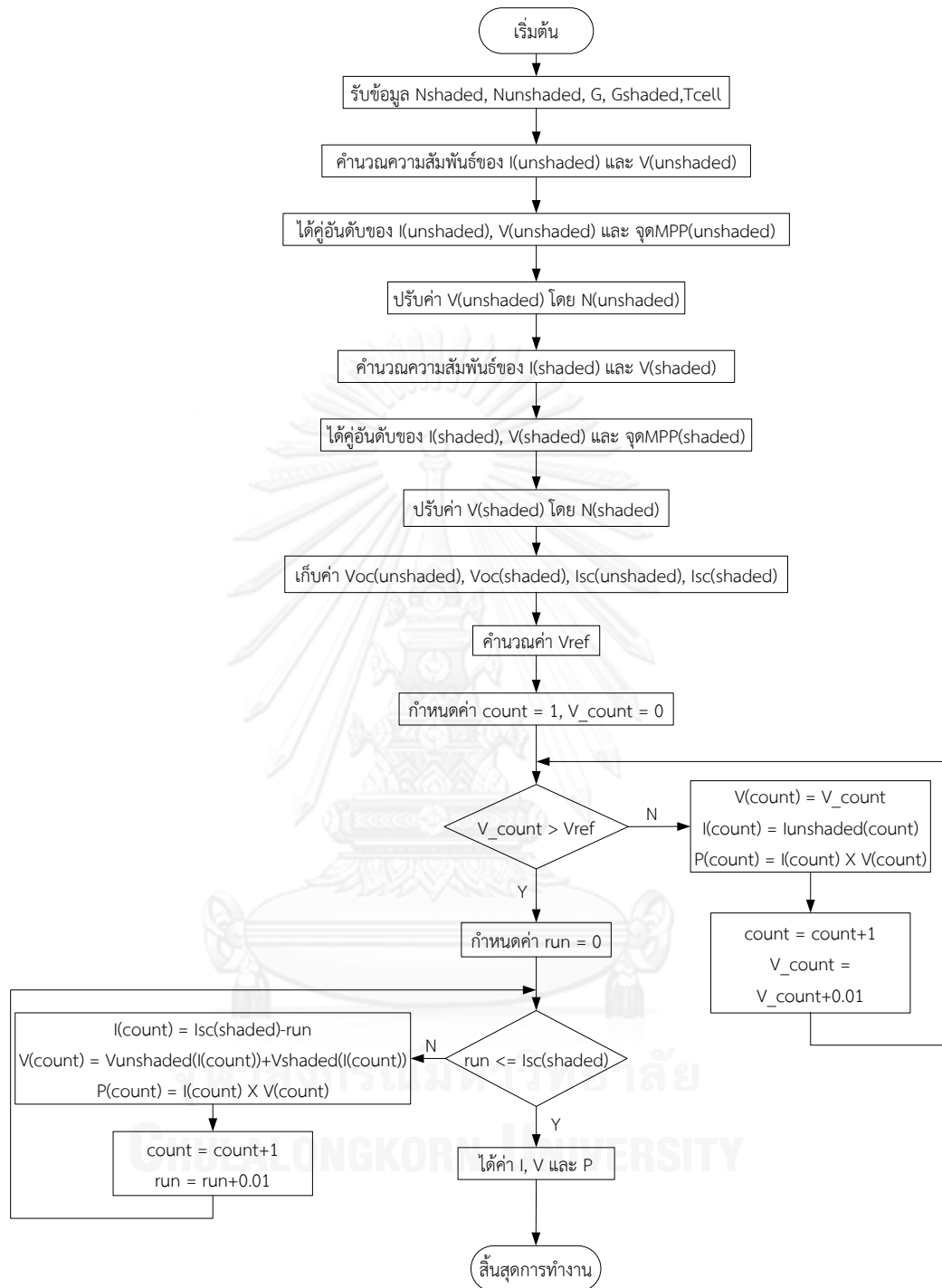
5.6 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดด

ในส่วนนี้จะนำเสนอขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งสตริง ดังแสดงในภาพที่ 5.4 จะพบว่าในหนึ่งสตริงสามารถแบ่งเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็นสองประเภท คือ ประเภทที่โดนบังแสงแดด และไม่โดนบังแสงแดด และเนื่องจากในหนึ่งสตริงจะเป็นการต่อเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรมกันเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้กระแสที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละโมดูลของสตริงเดียวกันจะมีค่าเท่ากัน และแรงดันรวมของสตริงสามารถหาได้จากผลบวกของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละโมดูลดังสมการที่ (5.1) ซึ่งการค้นหาค่าสมการทั่วไปที่สามารถแสดงคุณลักษณะของสตริงจะมีความซับซ้อนมาก เนื่องจากรูปแบบการบังแสงแดดของสตริงที่สามารถ

เปลี่ยนแปลงได้ตามแต่ช่วงเวลา อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเซลล์แสงอาทิตย์พวกที่โตนบังแสงแดด แล้วใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลหาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์พวกที่โตนบังแสงแดด แล้วจึงพิจารณาร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์พวกที่ไม่โตนบังแสงแดด แล้วใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลหาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์พวกที่ไม่โตนบังแสงแดดร่วมกันแล้วจึงหาค่าความสัมพันธ์รวมของสตริงระหว่างกระแสและแรงดันออกมา ก็จะสามารถลดความซับซ้อนลงไปได้มาก โดยขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดนั้นสามารถแสดงได้ในภาพที่ 5.13



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 5.13 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งสตริง เมื่อเกิดการบังแสงแดด

จากภาพที่ 5.13 สามารถอธิบายขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดด ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : รับข้อมูลของการบังแสงแดดของสตริง ซึ่งประกอบไปด้วย N_{shaded} , $N_{unshaded}$ ค่าความเข้มแสงของส่วนที่ไม่เกิดการบังแสงแดด (G), ค่าความเข้มแสงของส่วนที่เกิดการบังแสงแดด (G_{shaded}) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (T_{cell})

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์พวกที่ไม่เกิดการบังแสงแดด โดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดในการหาความสัมพันธ์

ขั้นตอนที่ 3 : ได้ใช้ค่าอันดับค่าของกระแส ($I_{unshaded}$) แรงดัน ($V_{unshaded}$) และจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด

ขั้นตอนที่ 4 : ปรับเพิ่มค่าของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ($V_{unshaded}$) ตามจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ($N_{unshaded}$) จาก

$$V_{unshaded} = V_{unshaded} \times N_{unshaded}$$

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์พวกที่เกิดการบังแสงแดด โดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดในการหาความสัมพันธ์

ขั้นตอนที่ 6 : ได้ใช้ค่าอันดับค่าของกระแส (I_{shaded}) แรงดัน (V_{shaded}) และจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด

ขั้นตอนที่ 7 : ปรับเพิ่มค่าของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด (V_{shaded}) ตามจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด (N_{shaded}) จาก

$$V_{shaded} = V_{shaded} \times N_{shaded}$$

ขั้นตอนที่ 8 : เก็บค่าของแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด ($V_{OCshaded}$), แรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ($V_{OCunshaded}$), กระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด ($I_{SCshaded}$) และกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ($I_{SCunshaded}$)

ขั้นตอนที่ 9 : กำหนดค่าเริ่มต้น $V_{count} = 0$, $count = 1$ และ คำนวณค่าของ V_{ref} จาก

$$V_{ref} = V_{unshaded} | I = I_{SCunshaded}$$

ขั้นตอนที่ 10 : ทำการคำนวณค่าของเซตของกระแส (I) แรงดัน (V) และกำลังไฟฟ้า (P) ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสตริง จากสมการดังต่อไปนี้

$$I(count) = I_{unshaded}(count) ; count = 1,2,3,\dots$$

$$V(count) = V_count ; count = 1,2,3,\dots$$

$$P(count) = I(count) * V(count) ; count = 1,2,3,\dots$$

ขั้นตอนที่ 11 : ทำการปรับเพิ่มค่าของตัวแปร $count$ ขึ้นอีก 1 และ V_count ขึ้นอีก 0.01

ขั้นตอนที่ 12 : ทำตามขั้นตอนที่ 10 และ 11 จนกระทั่งค่าของ V_count มากกว่า V_{ref}

ขั้นตอนที่ 13 : กำหนดค่าเริ่มต้น $run = 0$

ขั้นตอนที่ 14 : ทำการคำนวณค่าของเซตของกระแส (I) แรงดัน (V) และกำลังไฟฟ้า (P) ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสตริง จาก

$$I(count) = I_{sc_shaded}(count) ; count = 1,2,3,\dots$$

$$V(count) = V_{unshaded} | I=I(count) + V_{shaded} | I=I(count) ; count = 1,2,3,\dots$$

$$P(count) = I(count) * V(count) ; count = 1,2,3,\dots$$

ขั้นตอนที่ 15: ทำการปรับเพิ่มค่าของตัวแปร $count$ ขึ้นอีก 1 และ run ขึ้นอีก 0.01

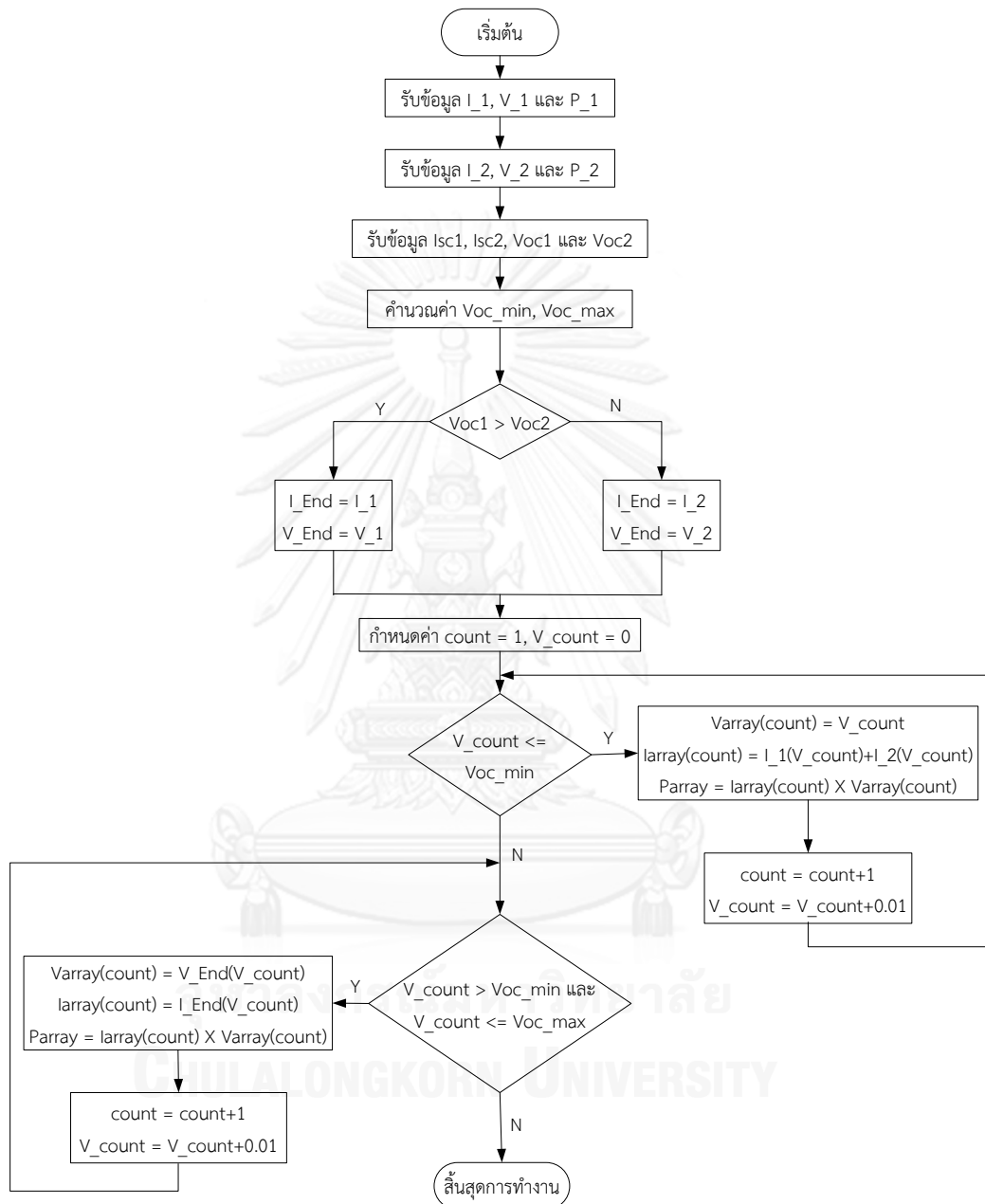
ขั้นตอนที่ 16: ทำตามขั้นตอนที่ 14 และ 15 จนกระทั่งค่าของ run มากกว่าหรือเท่ากับ $I_{sc}(shade)$

ขั้นตอนที่ 17: ได้ค่าของ กระแส แรงดัน และกำลัง ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสตริง

5.7 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งอาร์เรย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด

ในส่วนนี้จะนำเสนอขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งอาร์เรย์ จะพบว่าในหนึ่งอาร์เรย์จะประกอบไปด้วยสตริงที่ต่อขนานกันตามแต่ขนาดความต้องการกระแสที่จะนำไปจ่ายโหลด และเนื่องจากแต่ละสตริงจะเป็นการเชื่อมต่อกันแบบขนานส่งผลให้แรงดันของแต่ละสตริงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากัน และกระแสรวมของอาร์เรย์สามารถหาได้จากผลบวกของกระแสของแต่ละสตริง ซึ่งการค้นหาค่าสมการทั่วไปที่สามารถแสดงคุณลักษณะของอาร์เรย์จะมีความซับซ้อนมาก เนื่องจากรูปแบบการบังแสงแดดของอาร์เรย์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามแต่ช่วงเวลา อย่างไรก็ตามหากพิจารณาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งอาร์เรย์โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของแต่ละสตริงที่เชื่อมต่อกันแบบขนาน ก็จะสามารถลดความ

ซับซ้อนลงไปได้มาก โดยขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในอาร์เรย์เมื่อเกิดการบังแสงแดดนั้นสามารถแสดงได้ในภาพที่ 5.14



ภาพที่ 5.14 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งอาร์เรย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด

จากภาพที่ 5.14 สามารถอธิบายขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งอาร์เรย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : รับข้อมูลของการบังแสงแดดของสตริงกลุ่มที่หนึ่งและสตริงกลุ่มที่สอง ซึ่งประกอบไปด้วย เซ็ตค่ากระแสรวมของสตริงกลุ่มที่หนึ่ง (I_1) เซ็ตของค่าแรงดันรวมของสตริงกลุ่มที่หนึ่ง (V_1) เซ็ตค่ากำลังไฟฟ้าของสตริงกลุ่มที่หนึ่ง (P_1) กระแสลัดวงจรของสตริงกลุ่มที่หนึ่ง (I_{sc1}) ค่าแรงดันเปิดวงจรของสตริงกลุ่มที่หนึ่ง (V_{oc1}) เซ็ตค่ากระแสรวมของสตริงกลุ่มที่สอง (I_2) เซ็ตของค่าแรงดันรวมของสตริงกลุ่มที่สอง (V_2) เซ็ตค่ากำลังไฟฟ้าของสตริงกลุ่มที่สอง (P_2) กระแสลัดวงจรของสตริงกลุ่มที่สอง (I_{sc2}) และค่าแรงดันเปิดวงจรของสตริงกลุ่มที่สอง (V_{oc2})

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณค่าของ V_{oc_min} และ V_{oc_max} จากสมการที่

$$V_{oc_min} = \min(V_{oc1}, V_{oc2})$$

$$V_{oc_max} = \max(V_{oc1}, V_{oc2})$$

ขั้นตอนที่ 3 : พิจารณาว่า $V_{oc1} > V_{oc2}$ หรือ $V_{oc1} < V_{oc2}$

ถ้าค่าของ V_{oc1} มากกว่า V_{oc2} ให้ $V_{End} = V_1$ และ $I_{End} = I_1$ หรือถ้าค่าของ V_{oc1} น้อยกว่า V_{oc2} ให้ $V_{End} = V_2$ และ $I_{End} = I_2$

ขั้นตอนที่ 4 : กำหนดค่าเริ่มต้น $V_count = 0$ และ $count = 1$

ขั้นตอนที่ 5 : ทำการคำนวณค่าของเซ็ตของกระแส (I_{array}) แรงดัน (V_{array}) และกำลัง (P_{array}) ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งอาร์เรย์ จาก

$$V_{array}(count) = V_count ; count = 1, 2, 3, \dots$$

$$I_{array}(count) = I_1(V_{array}=V_count) + I_2(V_{array}=V_count) ; count = 1, 2, 3, \dots$$

$$P_{array}(count) = I_{array}(count) * V_{array}(count) ; count = 1, 2, 3, \dots$$

ขั้นตอนที่ 6 : เพิ่มค่าของ $count$ ขึ้นอีก 1 และ V_count ขึ้นอีก 0.01

ขั้นตอนที่ 7 : ทำตามขั้นตอนที่ 5 และ 6 จนกระทั่งค่าของ V_count มากกว่า V_{oc_min}

ขั้นตอนที่ 8 : เมื่อค่าของ V_count มากกว่า V_{oc_min} ทำการคำนวณค่าของเซ็ตของกระแส (I_{array}) แรงดัน (V_{array}) และกำลัง (P_{array}) ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งอาร์เรย์ จาก

$$V_{array}(count) = V_{End}(V_{End}=V_count) ; count = 1, 2, 3, \dots$$

$$I_{array}(count) = I_{End}(V_{End}=V_count) ; count = 1, 2, 3, \dots$$

$$P_{array}(count) = I_{array}(count) * V_{array}(count) ; count = 1, 2, 3, \dots$$

ขั้นตอนที่ 9 : เพิ่มค่าของ *count* ขึ้นอีก 1 และ V_count ขึ้นอีก 0.01

ขั้นตอนที่ 10 : ทำตามขั้นตอนที่ 8 และ 9 จนกระทั่งค่าของ V_count มากกว่า V_{oc_max}

เพื่อประกอบความเข้าใจจึงได้แสดงตารางค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของหนึ่งสตริง เมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด เมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบไม่มีบายพาสไดโอดและเมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบมีบายพาสไดโอด โดยสมมติให้ค่าเริ่มต้นของ I_0 เท่ากับ 6.464×10^{-6} A, a เท่ากับ 1.025, V_{th} เท่ากับ 0.02748 V, R_s เท่ากับ 0.158 Ω , N_s เท่ากับ 36 และสมมติค่าความเข้มแสงปกติ มีค่าเท่ากับ 952.6 W/m² ค่าความเข้มแสงที่เกิดจากการบังแสงแดด มีค่าเท่ากับ 476.3 W/m² และ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 45.6°C ในหนึ่งสตริงประกอบด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 10 โมดูลต่ออนุกรมกัน ซึ่งในกรณีที่เกิดการบังแสงแดด กำหนดให้มีโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดดจำนวน 2 โมดูล ซึ่งจะได้ค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของหนึ่งสตริงเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด เมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบไม่มีบายพาสไดโอดและเมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบมีบายพาสไดโอดดังตารางที่ 5.3 ถึงตารางที่ 5.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.3 ค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของหนึ่งสตริงเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด

I_{string} (A)	V_{string} (V)	P_{string} (W)
7.310	0	0
7.305	10.00	73.050
7.300	20.00	146.004
7.295	30.00	218.859
7.290	40.00	291.615
7.285	50.00	364.259
7.280	60.00	436.781
7.273	70.00	509.131
7.265	80.00	581.225
7.254	90.00	652.834
7.235	100.00	723.468
7.200	110.00	791.979
7.132	120.00	855.866
6.998	130.00	909.712
6.731	140.00	942.366
6.588	143.50	945.308
6.220	150.00	932.998

I_{string} (A)	V_{string} (V)	P_{string} (W)
5.302	160.00	848.368
3.808	170.00	647.288
1.632	180.00	293.772
0	186.00	0

ตารางที่ 5.4 ค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของหนึ่งสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบไม่มีบายพาสไดโอด

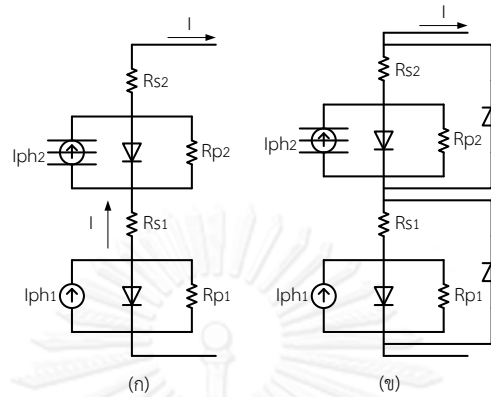
I_{string} (A)	V_{string} (V)	P_{string} (W)
3.656	0	0
3.654	10.00	36.539
3.651	20.00	73.029
3.649	30.00	109.472
3.647	40.00	145.860
3.644	50.00	182.195
3.641	60.00	218.459
3.638	70.00	254.635
3.633	80.00	290.650
3.626	90.00	326.368
3.615	100.00	361.456
3.593	110.00	395.183
3.549	120.00	425.873
3.461	130.00	449.905
3.282	140.00	459.545
2.930	150.00	439.556
2.269	160.00	363.016
1.124	170.00	191.141
0	176.80	0

ตารางที่ 5.5 ค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของหนึ่งสตรึงเมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบมีบายพาสไดโอด

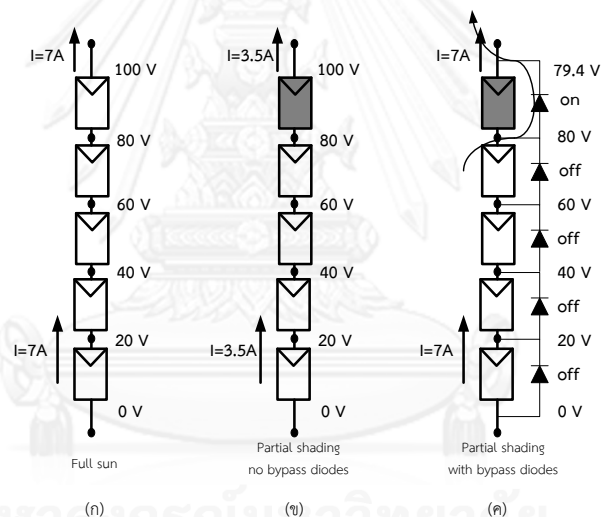
I_{string} (A)	V_{string} (V)	P_{string} (W)
7.310	0	0
7.304	10.07	73.579
7.298	20.07	146.45
7.292	30.06	219.20
7.285	40.06	291.82
7.278	50.05	364.28
7.270	60.04	436.50
7.257	70.04	508.28
7.234	80.03	579.00
7.186	90.03	646.97
7.075	100.02	707.68
6.812	110.02	749.46
6.592	114.65	755.80
6.213	120.01	745.63
4.975	130.00	646.78
3.656	136.64	499.60
3.642	140.04	510.07
3.629	150.06	544.57
3.566	160.00	570.52
2.866	170.00	487.16
1.033	180.00	186.00
0	184.10	0

ในกรณีของสตรึงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอด ดังวงจรมูลที่แสดงในภาพที่ 5.15(ก) เมื่อเกิดการบังแสงแดดเพียงบางโมดูลจากทั้งหมดนั้น ค่ากระแสไฟฟ้ารวมของทั้งสตรึงจะมีค่าลดลงเนื่องจากถูกจำกัดจากผลของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่โดนบังแสงแดดที่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ลดลง และสำหรับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ถูกบังแสงแดดที่อยู่ภายในสตรึงนั้น จะมีจุดทำงานเปลี่ยนไปโดยจะมีการปรับจุดทำงานเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและลดค่าของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ ดังนั้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสตรึงจะมีค่าใกล้เคียงกับกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่โดนบังแสงแดด ทำให้กำลังไฟฟ้ารวมของทั้งสตรึงจะมีค่าลดลง จากผลของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนที่โดนบังแสงแดดที่ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 5.16(ข) โดยความสัมพันธ์ของกระแส

และแรงดันของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแบบไม่มีบายพาสไดโอดจากข้อมูลในตารางที่ 5.4 แสดงได้ดังภาพที่ 5.17



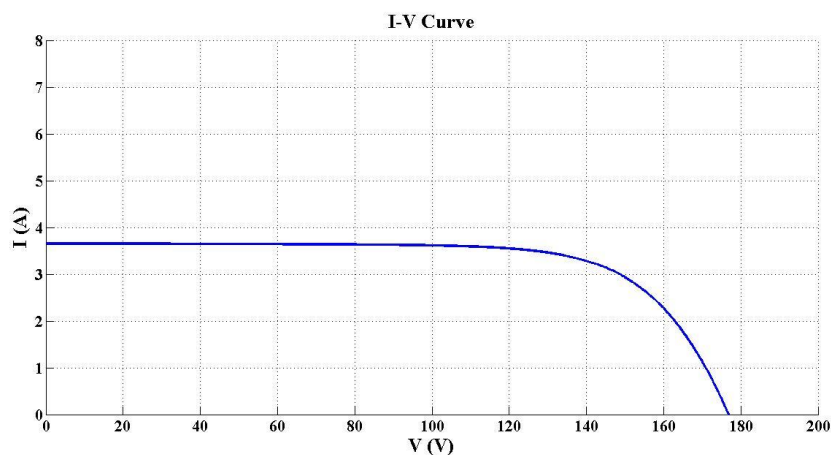
ภาพที่ 5.15 วงจรสมมูลของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์



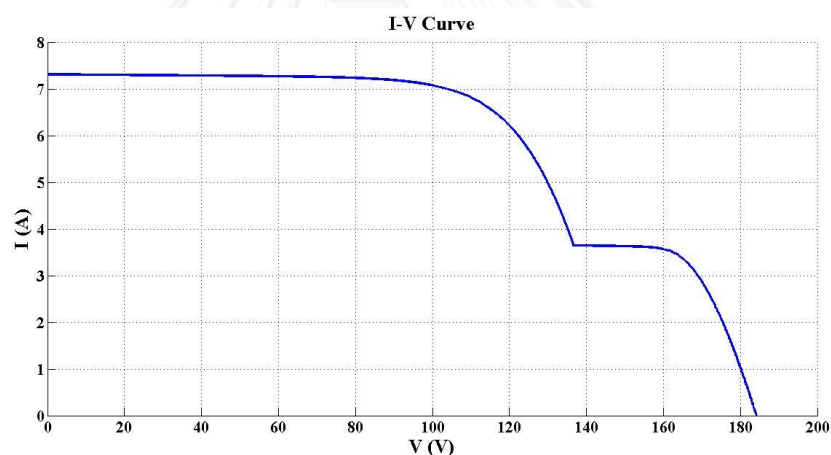
ภาพที่ 5.16 ลักษณะของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีต่างๆ

ในกรณีของสตริงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีบายพาสไดโอด ดังวงจรสมมูลที่แสดงในภาพที่ 5.15(ข) เมื่อเกิดการบังแสงแค่เพียงบางโมดูลจากทั้งหมดนั้น โมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่โดนบังแสงแดดจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้ลดลง ทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้าบางส่วนไหลย้อนผ่านค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานขึ้นไป ส่งผลให้บายพาสไดโอดอยู่ในช่วงฟอเวิร์ตไบแอส (Forward bias) และยอมให้กระแสไฟฟ้าที่มาจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์อื่นไหลผ่านลัดข้ามโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่โดนการบังแสงแดดไป ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่โดนบังแสงแดดมีค่าต่ำมากและช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียได้ ดังแสดงในภาพที่ 5.16(ค) โดยความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของสตริง

เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบมีบายพาสไดโอดจากข้อมูลในตารางที่ 5.5 แสดงได้ดังภาพที่ 5.18



ภาพที่ 5.17 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันกรณีไม่มีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด



ภาพที่ 5.18 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันกรณีมีบายพาสไดโอดเมื่อเกิดการบังแสงแดด

จากตารางที่ 5.3 ถึงตารางที่ 5.5 พบว่าเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าประมาณ 945 W เมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบไม่มีบายพาสไดโอด จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าประมาณ 460 W เมื่อเกิดการบังแสงแดดแบบมีบายพาสไดโอด จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าประมาณ 756 W จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดการบังแสงแดดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าลดลงแต่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในกรณีที่มีบายพาสไดโอดจะมีค่ามากกว่าในกรณีที่ไม่มีบายพาสไดโอด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดบายพาสไดโอด โดยทำการติดบายพาสไดโอด 1 ตัวต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ 1 โมดูล

บทที่ 6

การจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์

จากบทที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการบังแสงแดดจะส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ในบทนี้จะนำเสนอ (1) ความรู้โดยทั่วไปเกี่ยวกับการรูปแบบการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ (2) แนวคิดในการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดดที่เกิดขึ้น

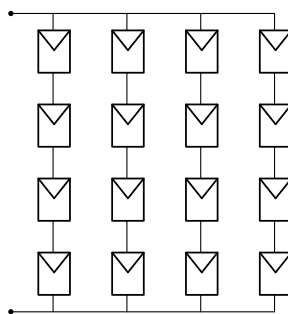
6.1 รูปแบบการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์

ในปัจจุบัน มีรูปแบบการเชื่อมต่อจำนวนมากสำหรับการสร้างอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ความแตกต่างของรูปแบบการเชื่อมต่อจะขึ้นอยู่กับกระแสดำเนินสายไฟของรูปแบบการเชื่อมต่อ การระบุตำแหน่งการทำงานผิดปกติและพฤติกรรมในสถานการณ์ที่เกิดการบังแสงแดด โดยรูปแบบการเชื่อมต่อที่พบมากที่สุดของอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่จะนำเสนอในส่วนนี้ ได้แก่

- (1) Series-parallel connection configuration
- (2) Total Cross-Tied connection configuration

(1) Series-Parallel connection configuration

การเชื่อมต่อรูปแบบอนุกรม-ขนานนี้ ลักษณะโครงสร้างอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จะเชื่อมต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะอนุกรมกันให้เป็นสตริง เพื่อให้ได้ขนาดแรงดันตามที่ต้องการ ซึ่งการต่ออนุกรมโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้ได้แรงดันเพิ่มขึ้นดังในภาพที่ 2.7 เมื่อต่ออนุกรมโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสตริงเรียบร้อยแล้ว จะนำสตริงที่ได้มาต่อขนานกันเพื่อให้ได้ขนาดกระแสที่สูงขึ้นจะได้เป็นอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ดังในภาพที่ 6.1 โดยตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่ใช้โครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบนี้ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของบริษัท บางจากโซลาร์เอ็นเนอร์ยี จำกัด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผาบ่อง จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นต้น



ภาพที่ 6.1 โครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Series-Parallel

จากภาพที่ 6.1 การคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันของการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม-ขนาน หาได้จากสมการที่ (6.1) และ (6.2)

$$V_{array} = \sum_{i=1}^m V_i \quad (6.1)$$

$$I_{array} = \sum_{j=1}^n I_j \quad (6.2)$$

โดย

V_{array} คือ แรงดันรวมของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ (V)

V_i คือ แรงดันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โมดูลที่ i (V)

I_{array} คือ กระแสรวมของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ (A)

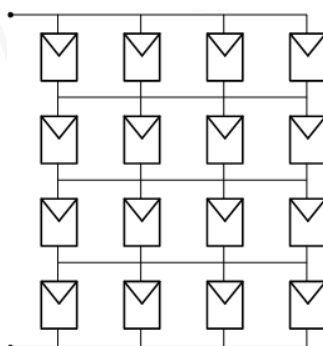
I_j คือ กระแสของสตริงที่ j (A)

m คือ จำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งสตริง

n คือ จำนวนสตริงในหนึ่งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

(2) Total Cross-Tied connection configuration

การเชื่อมต่อรูปแบบ Total Cross-Tied นี้ ลักษณะการเชื่อมต่อจะแปลงมาจากการเชื่อมต่อแบบอนุกรม-ขนาน ซึ่งการเชื่อมต่อแบบ Total Cross-Tied จะเชื่อมต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะขนานกันในแนวแถวซึ่งผลรวมของกระแสในแต่ละแถวจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกันในลักษณะขนาน โดยขนาดแรงดันในแต่ละแถวมีค่าเท่ากัน หลังจากนั้นเชื่อมต่อแต่ละแถวในลักษณะอนุกรมกันเป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ดังในภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 โครงสร้างการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Total Cross-Tied

จากภาพที่ 6.2 การคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันของการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Total-Cross-Tied หาได้จากสมการที่ (6.3) และ (6.4)

$$V_{array} = \sum_{r=1}^m V_r \quad (6.3)$$

$$I_r = \sum_{i=1}^n I_i \quad (6.4)$$

โดย

V_r คือ แรงดันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แถวที่ r (V)

I_r คือ กระแสรวมของแถวที่ r (A)

I_i คือ กระแสของโมดูลที่ i (A)

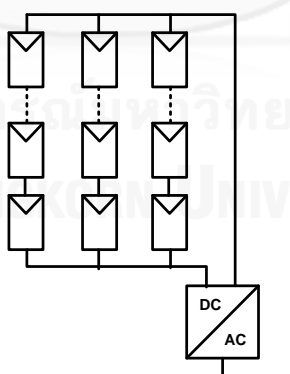
การวิจัยบางส่วนในอดีต [13]-[16] ได้ดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับการจัดเรียงโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีจุดมุ่งหมาย คือ ช่วยลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการบังแสงแดด (Shading) บนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำให้เกิดความไม่เข้ากันของระบบ (Mismatch) โดยการเปลี่ยนการเชื่อมต่อของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในเงื่อนไขที่ความเข้มแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลง การใช้อาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างใหม่ได้จะส่งผลทำให้ลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเนื่องจากความไม่เข้ากันของระบบ (Mismatch loss) ภายใต้เงื่อนไขการบังแสงแดด ซึ่งจะเป็นการเพิ่มกำลังไฟฟ้าผลิตได้ของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดเรียงโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้เงื่อนไขการบังแสงแดด

6.2 การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าจะมีอุปกรณ์เชื่อมต่อที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งก็คือ คอนเวอร์เตอร์และอินเวอร์เตอร์ โดยคอนเวอร์เตอร์จะแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาออกซึ่งขนาดแรงดันจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้ ส่วนอินเวอร์เตอร์จะแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาออก ซึ่งขนาดและความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามารถควบคุมได้ อินเวอร์เตอร์จะเชื่อมต่อกับอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และระบบโครงข่ายไฟฟ้าซึ่งมีหน้าที่หลักสองอย่าง คือ ตรวจสอบว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point) และ เชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า

เราสามารถเชื่อมต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าในรูปแบบที่แตกต่างกันได้ ยกตัวอย่างเช่น โครงสร้างอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ (Centralized inverter configuration), โครงสร้างสตริงอินเวอร์เตอร์ (String inverter configuration) และโครงสร้างมัลติสตริงอินเวอร์เตอร์ (Multi-string inverter configuration) การเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างที่ต่างกัันจะมีเกณฑ์การประเมินในการพิจารณา ได้แก่ ประสิทธิภาพการทำงานภายใต้เงื่อนไขการบังแสงแดด ค่าใช้จ่ายในการลงทุน เป็นต้น

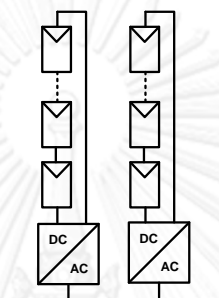
โครงสร้างอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ [36] ดังในภาพที่ 6.3 เป็นโครงสร้างที่พบมากที่สุด โดยอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์จะเชื่อมต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากไปยังระบบโครงข่ายไฟฟ้า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะเชื่อมต่อในลักษณะอนุกรมเพื่อให้ได้ระดับแรงไฟฟ้าที่สูงขึ้น และนำการเชื่อมต่อแบบอนุกรมเหล่านี้มาเชื่อมต่อแบบขนานเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ โครงสร้างอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์เป็นรูปแบบที่ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ระดับเมกะวัตต์เพราะว่าอินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้า ประโยชน์ของโครงสร้างนี้ คือ การบำรุงรักษาง่าย อย่างไรก็ตามโครงสร้างนี้ยังมีข้อบกพร่องบางอย่าง เช่น การสูญเสียพลังงานจากการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ ความเสี่ยงต่อแรงดันเกินในสาย ความต่อเนื่องในการผลิตกำลังไฟฟ้าต่ำที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำ และระบบนี้ไม่มีความยืดหยุ่นในการออกแบบทำให้ความสามารถในการปรับปรุงระบบทำได้ยาก โดยตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่ใช้โครงสร้างนี้ในการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของบริษัท บางจากโซลาร์เอ็นเนอร์ยี จำกัด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผาบ่อง จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นต้น



ภาพที่ 6.3 โครงสร้างอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์

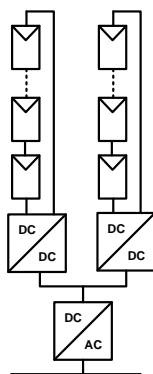
โครงสร้างสตริงอินเวอร์เตอร์ [36] เป็นโครงสร้างที่หนึ่งสตริงจะเชื่อมต่อกับหนึ่งอินเวอร์เตอร์ ดังในภาพที่ 6.4 ทุกสตริงจะถูกควบคุมแยกจากกัน ดังนั้นการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบจึงมีประสิทธิภาพมากกว่า ระบบจะตอบสนองต่อการบังแสงแดดน้อยกว่าและสูญเสียกำลังไฟฟ้าเนื่องจาก

ความต่างของแผงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจะสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดใหญ่จะสูงกว่าอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดเล็กก็ตาม นอกจากนี้โครงสร้างสตริงอินเวอร์เตอร์สามารถเพิ่มสตริงเข้าไปในระบบได้ครั้งละหนึ่งสตริงทำให้ระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าได้ แต่ข้อเสียของโครงสร้างสตริงอินเวอร์เตอร์คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงเนื่องจากแต่ละสตริงจะต้องมีการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้าไป ทำให้ต้องใช้จำนวนอินเวอร์เตอร์จำนวนมาก



ภาพที่ 6.4 โครงสร้างสตริงอินเวอร์เตอร์

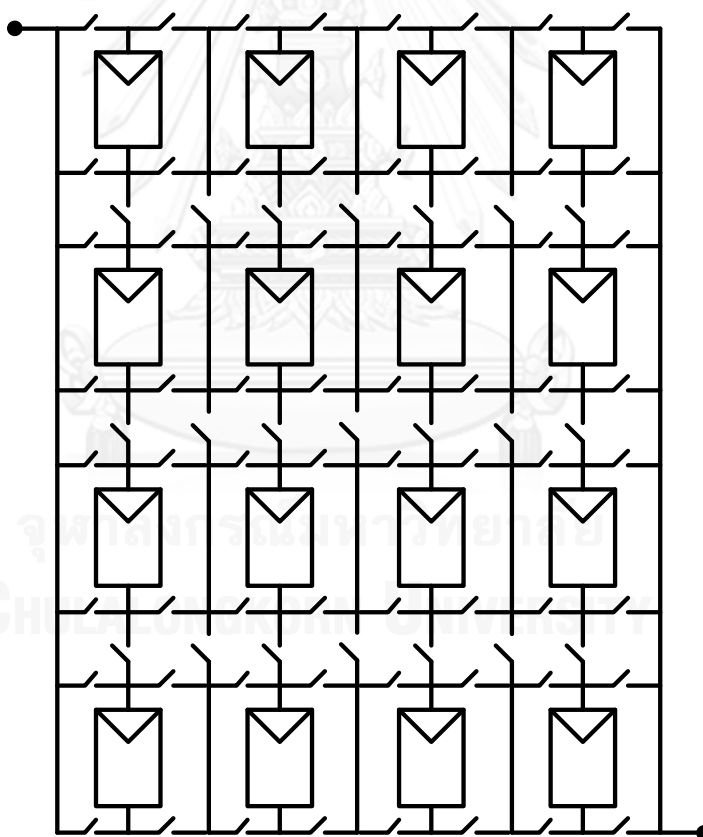
โครงสร้างมัลติสตริงอินเวอร์เตอร์ [36] เป็นโครงสร้างที่รวมโครงสร้างอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์กับโครงสร้างสตริงอินเวอร์เตอร์เข้าด้วยกัน ทุกสตริงจะเชื่อมต่อกับคอนเวอร์เตอร์ของสตริงนั้นๆ และทุกคอนเวอร์เตอร์จะเชื่อมต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าต่อไป ดังในภาพที่ 6.5 ทุกสตริงจะถูกควบคุมแยกจากกันดังนั้นการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด การป้องกันระบบ การตอบสนองต่อผลกระทบของการบังแสงแดดและการช่วยเหลือระบบจะมีความยืดหยุ่นมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงระบบให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นได้ โดยการเชื่อมต่อสตริงเพิ่มเข้าไปในระบบ แต่จะต้องไม่เกินข้อกำหนดของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งข้อเสียของโครงสร้างมัลติสตริงอินเวอร์เตอร์คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงและความเชื่อถือได้อยู่ในระดับต่ำเนื่องจากมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก



ภาพที่ 6.5 โครงสร้างมัลติสตริงอินเวอร์เตอร์

6.3 อารีย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้

เนื่องจากโครงสร้างการเชื่อมต่ออารีย์เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปที่ใช้กันในโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในปัจจุบัน เป็นโครงสร้างการเชื่อมต่ออารีย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม-ขนาน คือ จำนวนการต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งสตริงและการต่อขนานแต่ละสตริงเข้าด้วยกัน เป็นอารีย์เซลล์แสงอาทิตย์ (ลักษณะโครงสร้างได้อธิบายในหัวข้อที่ 6.1) ซึ่งจะมีจำนวนโมดูลและขนาดอารีย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ตายตัว ไม่สามารถจัดเรียงโครงสร้างใหม่ได้ เมื่อมีการบังแสงแดดเกิดขึ้น จะทำให้กำลังไฟฟ้าโดยรวมที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอโครงสร้างการเชื่อมต่ออารีย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างใหม่ได้ ดังในภาพที่ 6.6 เพื่อลดผลกระทบจากการบังแสงแดดบนอารีย์เซลล์แสงอาทิตย์และช่วยให้ได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยโครงสร้างการเชื่อมต่ออารีย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้นำเสนอนี้มีต้นแบบมาจากโครงสร้างการเชื่อมต่ออารีย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม-ขนาน (Series-Parallel connection configuration)



ภาพที่ 6.6 โครงสร้างอารีย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างได้

จากภาพที่ 6.6 จะเห็นได้ว่าการที่อารีย์เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจัดเรียงโครงสร้างได้ใหม่ เนื่องจากการมีการต่อสวิตช์เพิ่มเติมจากโครงสร้างอารีย์เซลล์แสงอาทิตย์เดิม ทำให้สามารถตัดและต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ใหม่ได้ ซึ่งสามารถจัดเรียงโครงสร้างอารีย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบ

จากการบังแสงแดดได้ โดยจะนำเสนอในส่วนถัดไป โดยจำนวนสวิตช์ที่ใช้ในโครงสร้างอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอจะขึ้นอยู่กับขนาดของอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ดังสมการที่ (6.5)

$$N_{switch} = 4mn + (2n - 1)(m - 1) \quad (6.5)$$

โดย

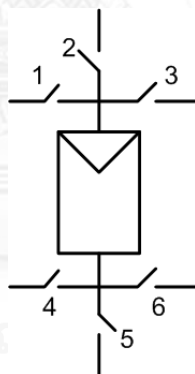
N_{switch} คือ จำนวนสวิตช์ที่ใช้สำหรับโครงสร้างอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างใหม่ได้

m คือ จำนวนโมดูลของหนึ่งสตริง

n คือ จำนวนสตริงของหนึ่งอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์

6.4 หลักการทำงานของสวิตช์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้รูปแบบสวิตช์ดังในภาพที่ 6.7 โดยสวิตช์ที่ใช้จะเป็นสวิตช์แบบสองสถานะ คือ สถานะเปิด (Off) กับสถานะปิด (On) จากภาพที่ 6.7 จะเห็นได้ว่าในหนึ่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยสวิตช์ทั้งหมดหกตัว ซึ่งสวิตช์ที่ต่ออยู่กับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีไว้เพื่อใช้ในการเลือกเส้นทางการต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นสตริงตามที่ต้องการ



ภาพที่ 6.7 โครงสร้างสวิตช์ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

โดยหลักการทำงานของโครงสร้างสวิตช์ในเชื่อมต่อจากโมดูลเป็นอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ในหนึ่งโมดูลจะมีสวิตช์จำนวน 2 ตัวที่อยู่ในสถานะปิด อีก 4 ตัวจะอยู่ในสถานะเปิด โดยค่าเริ่มต้นของโครงสร้างสวิตช์นี้ คือ สวิตช์หมายเลข 2 และ 5 จะอยู่ในสถานะปิด ส่วนสวิตช์ที่เหลือจะอยู่ในสถานะเปิด การทำงานของสวิตช์ มีดังนี้

- สวิตช์หมายเลข 1, 2 และ 3 จะไม่อยู่ในสถานะปิดพร้อมกัน และ สวิตช์หมายเลข 4, 5 และ 6 จะไม่อยู่ในสถานะปิดพร้อมกัน

- สวิตช์หมายเลข 1 กับหมายเลข 4 และ สวิตช์หมายเลข 3 กับหมายเลข 6 จะไม่อยู่ในสถานะปิดพร้อมกัน
- ถ้าสวิตช์หมายเลข 1 อยู่ในสถานะปิด สวิตช์หมายเลข 5 หรือ 6 จะอยู่ในสถานะปิดได้ส่วน สวิตช์ที่เหลืออยู่ในสถานะเปิดหมด
- ถ้าสวิตช์หมายเลข 2 อยู่ในสถานะปิด สวิตช์หมายเลข 4, 5 หรือ 6 จะอยู่ในสถานะปิดได้ ส่วนสวิตช์ที่เหลืออยู่ในสถานะเปิดหมด
- ถ้าสวิตช์หมายเลข 3 อยู่ในสถานะปิด สวิตช์หมายเลข 4 หรือหมายเลข 5 จะอยู่ในสถานะ ปิดได้ สวิตช์ที่เหลืออยู่ในสถานะเปิดหมด

6.5 หลักการพิจารณาในการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดนนั้น จะมี หลักการพิจารณาในการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ดังนี้

1. การจัดลักษณะการบังแสงแดดให้อยู่ในแนวคอลัมน์

การบังแสงแดดบนอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่มา สาเหตุมาจากเมฆเคลื่อนที่ผ่านโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้เกิดการบังแสงแดดเกิดขึ้นบนอาเรย์ เซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพลดลง การบังแสงแดด จากการที่เมฆเคลื่อนที่ผ่านนั้นเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบมาก ในแต่ละรูปแบบส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าจาก เซลล์แสงอาทิตย์ลดลงมาก-น้อยไม่เท่ากัน สำหรับโครงสร้างอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม- ขนาน (ดังในภาพที่ 6.1) การบังแสงแดดในแนวแถวจะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงเมื่อ เปรียบเทียบกับการบังแสงแดดในแนวคอลัมน์เมื่อพิจารณาจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบัง แสงแดดเท่ากัน เนื่องจากการบังแสงแดดในแนวแถวจะมีผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในทุก สตริงของอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ดังในสมการที่ (6.6)

$$I_j = \begin{cases} I_{ph} - I_D - I_{Rp} & ; V \in [0, (N_{unshaded} \times V_{oc,unshaded})] \\ I_{ph,shaded} - I_{D,shaded} - I_{Rp,shaded} & ; V \in [(N_{unshaded} \times V_{oc,unshaded}), \\ & ((N_{unshaded} \times V_{oc,unshaded}) + \\ & (N_{shaded} \times V_{oc,shaded}))] \end{cases} \quad (6.6)$$

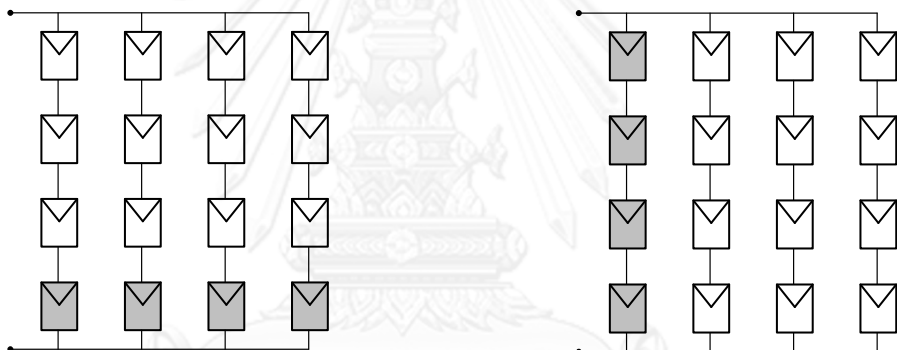
$$I_D = I_{o,unshaded} \left[\exp\left(\frac{V_{unshaded} + I_{unshaded} R_s}{a n_s V_{th}}\right) - 1 \right] \quad (6.7)$$

$$I_{Rp} = \frac{V_{unshaded} + I_{unshaded} R_s}{R_{p,unshaded}} \quad (6.8)$$

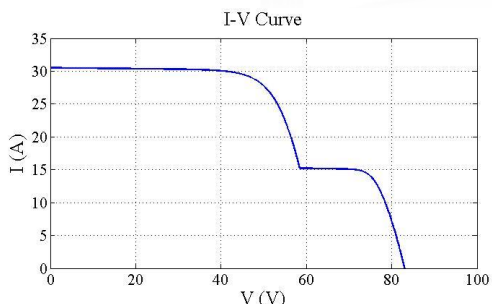
$$I_{D,shaded} = I_{o,shaded} \left[\exp\left(\frac{V_{shaded} + I_{shaded} R_s}{a n_s V_{th}}\right) - 1 \right] \tag{6.9}$$

$$I_{Rp,shaded} = \frac{V_{shaded} + I_{shaded} R_s}{R_{p,shaded}} \tag{6.10}$$

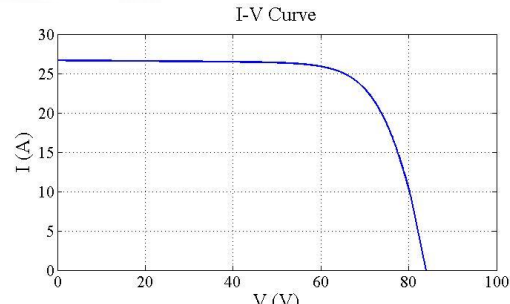
จากสมการที่ (6.6) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดดจะมีสองช่วงดังในภาพที่ 6.9(ก) และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันมีจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสองจุดดังในภาพที่ 6.10(ก) ทำให้กำลังไฟฟารวมที่อาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มีค่าลดลง ในทางกลับกัน ถ้าการบังแสงแดดในแนวคอลัมน์ของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์มีจำนวนคอลัมน์ที่โดนบังแสงแดดน้อยลง จะทำให้สตริงที่ได้รับผลกระทบของการบังแสงแดดมีจำนวนน้อยลง และสตริงส่วนที่ไม่โดนบังแสงแดดที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพมีจำนวนมากขึ้น ทำให้ได้กำลังไฟฟารวมที่ผลิตได้จากอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นดังในภาพที่ 6.10(ข)



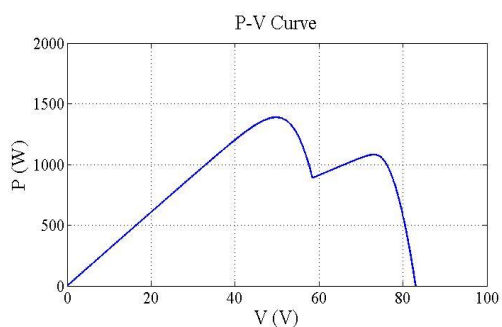
ภาพที่ 6.8(ก) การบังแสงแดดในแนวแถว ภาพที่ 6.8(ข) การบังแสงแดดในแนวคอลัมน์
ภาพที่ 6.8 ลักษณะการบังแสงแดดบนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์



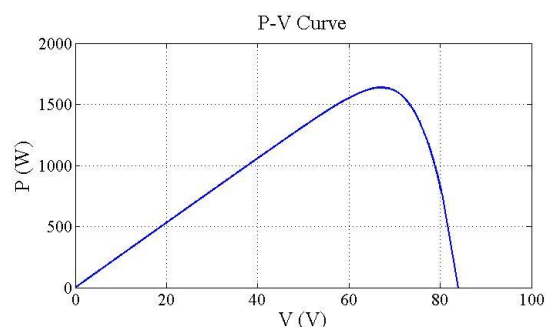
ภาพที่ 6.9(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดดในแนวแถว
ภาพที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด



ภาพที่ 6.9(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดดในแนวคอลัมน์



ภาพที่ 6.10(ก) ความสัมพันธ์ระหว่าง
กำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด
ในแนวแถว



ภาพที่ 6.10(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า
และแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดดในแนวคอลัมน์

ภาพที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันเมื่อเกิดการบังแสงแดด

2. การจัดการการเชื่อมต่อรูปแบบอนุกรมและขนานให้มีขนาดเท่าเดิม

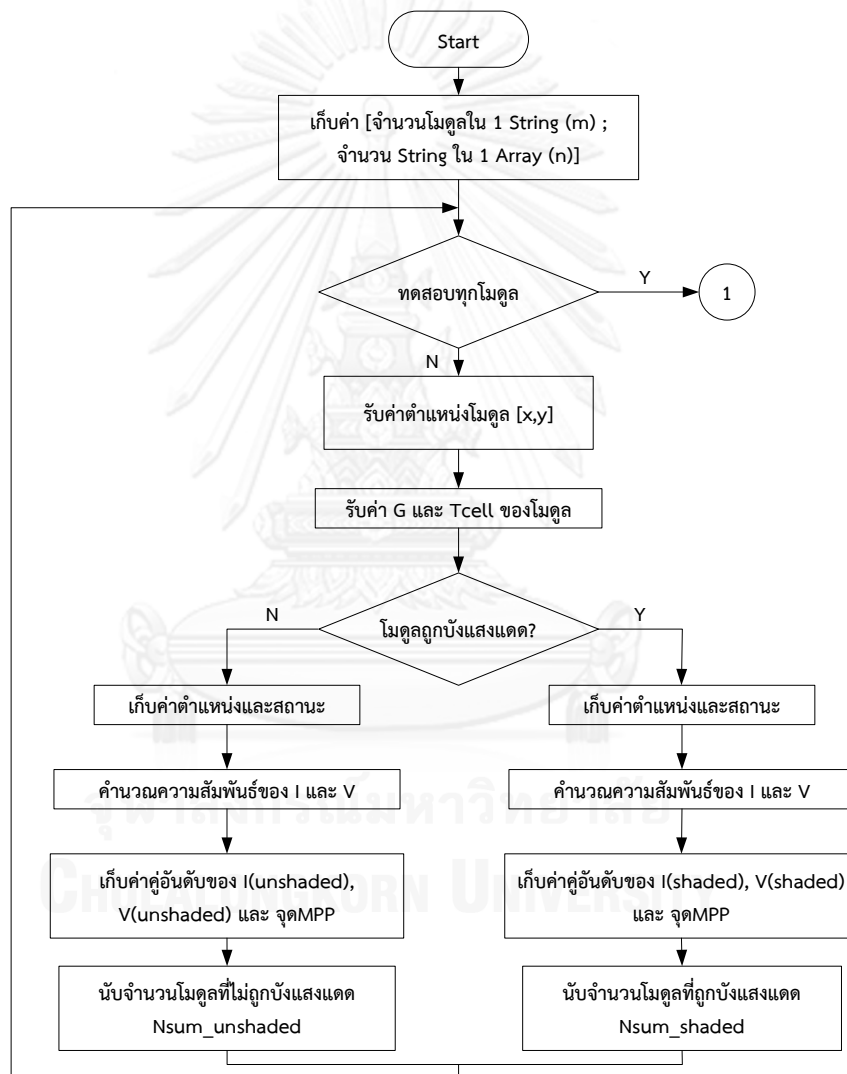
ในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ เราสามารถต่ออนุกรมโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนเท่าใดก็ได้ในหนึ่งสตริงตามที่ต้องการ เนื่องจากอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบนั้นเป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงโครงสร้างใหม่ได้ ในการจัดเรียงโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ได้ใหม่นั้นจะต้องมีการใช้สวิตช์แบบสองสถานะเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ทุกโมดูลดังในภาพที่ 6.7 จึงจะสามารถทำได้ ในการเชื่อมต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำได้หลากหลายรูปแบบมาก โดยขนาดอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจัดเรียงได้นั้น จะขึ้นอยู่กับจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งอาร์เรย์นั้น ดังสมการที่ (6.11)

$$\text{จำนวนการจัดการขนาดอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{จำนวนตัวประกอบของจำนวนโมดูลในหนึ่งอาร์เรย์}}{\text{อาร์เรย์}} \quad (6.11)$$

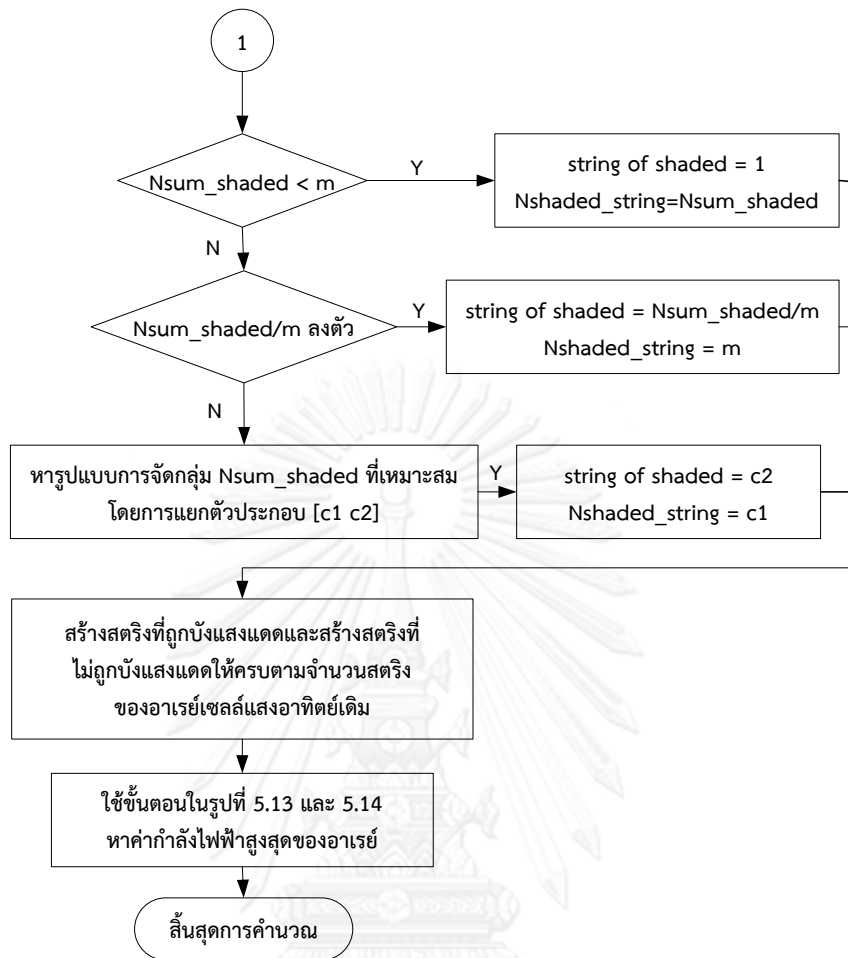
แต่การจัดการอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะต้องคำนึงถึงเรื่องแรงดันตก ความยาวของสายไฟ กำลังสูญเสียในระบบ และค่าพิกัดแรงดันของอินเวอร์เตอร์ด้วย โดยเฉพาะค่าพิกัดแรงดันของอินเวอร์เตอร์ ถ้าขนาดแรงดันเกินหรือต่ำกว่าค่าพิกัดแรงดันของอินเวอร์เตอร์ จะทำให้อินเวอร์เตอร์ไม่ทำงาน นั่นคือ อาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ ดังนั้นการจัดการอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ใหม่นั้น ควรจะให้ขนาดการต่ออนุกรมโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีจำนวนเท่ากับขนาดสตริงของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เดิมก่อนการจัดการเรียง เพื่อหลีกเลี่ยงขนาดแรงดันไฟฟ้าเกินค่าพิกัดแรงดันของอินเวอร์เตอร์

6.6 แนวคิดในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

ในส่วนนี้จะนำเสนอแนวคิดในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดด การจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในการทดลองนี้จะเชื่อมต่อกับอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม-ขนาน (Series-Parallel connection configuration) โดยแนวคิดในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดด เมื่อเกิดการบังแสงแดดนั้นสามารถแสดงได้ในภาพที่ 6.11



ภาพที่ 6.11 แนวคิดในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดด



ภาพที่ 6.11(ต่อ) แนวคิดในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดด

จากภาพที่ 6.11 สามารถอธิบายแนวคิดในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดด ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : เก็บค่าของจำนวนโมดูลที่อนุกรมกันในหนึ่งสตริง และ จำนวนสตริงที่ต่อขนานกัน เป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทำการจัดเรียง

ขั้นตอนที่ 2 : อ่านค่าตำแหน่งที่อยู่ของโมดูลบนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 3 : รับค่าความเข้มแสง (G) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (T_{cell})

ขั้นตอนที่ 4 : ตรวจสอบสถานะของโมดูลว่าถูกบังแสงแดดหรือไม่

ถ้าโมดูลไม่ถูกบังแสงแดด ทำตามขั้นตอนที่ 5, 6, 7 และ 8

ถ้าโมดูลถูกบังแสงแดด ทำตามขั้นตอนที่ 5, 6, 9 และ 10

- ขั้นตอนที่ 5 : ทำการเก็บค่าตำแหน่งและสถานะของโมดูล
- ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดในการหาความสัมพันธ์
- ขั้นตอนที่ 7 : ได้ใช้ตัวคูณอันดับค่าของกระแส ($I_{unshaded}$) แรงดัน ($V_{unshaded}$) และจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด
- ขั้นตอนที่ 8 : ทำการเพิ่มค่า $N_{sum_unshaded}$ สำหรับใช้นับจำนวนโมดูลที่ไม่ถูกบังแสงแดด
- ขั้นตอนที่ 9 : ได้ใช้ตัวคูณอันดับค่าของกระแส (I_{shaded}) แรงดัน (V_{shaded}) และจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด
- ขั้นตอนที่ 10 : ทำการเพิ่มค่า N_{sum_shaded} สำหรับใช้นับจำนวนโมดูลที่ถูกบังแสงแดด
- ขั้นตอนที่ 11 : ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 10 จนกระทั่งทดสอบครบทุกโมดูลของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์
- ขั้นตอนที่ 12 : ทำการจัดรูปแบบโมดูลที่ถูกบังแสงแดดให้เป็นไปตามหลักการที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อที่ 4.5 ถ้าจำนวนโมดูลของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดด (N_{sum_shaded}) มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนโมดูลที่ต่ออนุกรมกันในหนึ่งสตริง (m) จำนวนสตริงที่เกิดการบังแสงแดด (*string of shaded*) จะมีเพียงหนึ่งสตริง และสตริงที่เกิดการบังแสงแดดนี้ในหนึ่งสตริงจะมีจำนวนโมดูลที่ถูกบังแสงแดด (N_{shaded_string}) เท่ากับจำนวนโมดูลของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดด
- ขั้นตอนที่ 13 : ถ้าจำนวนโมดูลของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดด (N_{sum_shaded}) มีค่าเป็นจำนวนเท่าของจำนวนโมดูลที่ต่ออนุกรมกันในหนึ่งสตริง (m) จำนวนสตริงที่เกิดการบังแสงแดดจะมีค่าเท่ากับจำนวนโมดูลของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดดหารด้วยจำนวนโมดูลที่ต่ออนุกรมกันในหนึ่งสตริง และ สตริงที่เกิดการบังแสงแดดนี้ในหนึ่งสตริงจะมีจำนวนโมดูลที่ถูกบังแสงแดดเท่ากับจำนวนโมดูลที่ต่ออนุกรมกันในหนึ่งสตริง
- ขั้นตอนที่ 14 : ถ้าจำนวนโมดูลของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดด (N_{sum_shaded}) มีค่ามากกว่าจำนวนโมดูลที่ต่ออนุกรมกันในหนึ่งสตริง (m) และหารไม่ลงตัว ระบบจะหารูปแบบโมดูลที่ถูกบังแสงแดดที่เหมาะสมที่สุด โดยจะนำจำนวนโมดูลของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดดมาแยกตัวประกอบ [$C1$ $C2$] เพื่อหาค่า $C1$ และ

C2 ที่เหมาะสมที่สุด โดย C1 จะแทนจำนวนโมดูลที่ถูกบังแสงแดดในหนึ่งสตริงและ C2 จะแทนจำนวนสตริงที่เกิดการบังแสงแดดเป็นซึ่งผลคูณของทั้งสองจำนวนจะเท่ากับจำนวนโมดูลของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสงแดด

ขั้นตอนที่ 15 : นำจำนวนโมดูลที่ถูกบังแสงแดดในหนึ่งสตริง (N_{shaded_string}) และจำนวนสตริงที่ถูกบังแสงแดด (*string of shaded*) ที่หาได้จากขั้นตอนที่ 12, 13 หรือ 14 มาสร้างสตริงที่ถูกบังแสงแดดให้ครบตามจำนวนและสร้างสตริงที่ไม่ถูกบังแสงแดดให้ครบซึ่งสตริงที่ถูกบังแสงแดดรวมกับสตริงที่ไม่ถูกบังแสงแดดจะต้องเท่ากับจำนวนสตริงของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เดิม

ขั้นตอนที่ 16 : ใช้ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดในภาพที่ 5.13 ในการหาค่ากระแส แรงดันและกำลังไฟฟ้าในแต่ละสตริง และใช้ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งอาร์เรย์เมื่อเกิดการบังแสงแดดในภาพที่ 5.14 ในการหาค่ากระแส แรงดันและกำลังไฟฟารวมของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 7

ระบบทดสอบ

ในบทนี้ได้นำเสนอระบบทดสอบที่ใช้ทำการทดสอบแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยจะประกอบไปด้วยระบบทดสอบหลักสามแห่ง คือ ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นระบบทดสอบขนาดเล็ก ใช้ในการทดสอบแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดจริง และทดสอบผลของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเมื่อเกิดการบังแสงแดด และระบบทดสอบขนาดใหญ่ระบบที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัทเอกชนในประเทศไทย (ขอสงวนนาม) ใช้ในการทดสอบผลกระทบของการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็นดังนี้

- 7.1 ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 7.2 ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 2
- 7.3 ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 3

7.1 ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ติดตั้งที่ชั้น 20 อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังในภาพที่ 7.1



ภาพที่ 7.1 อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นระบบทดสอบขนาดเล็ก ซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 1.2 กิโลวัตต์ มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) ร่วมกับการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ จากบริษัท SMA Solar จำกัด (มหาชน) ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะอยู่ในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง (DC current)

ทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้านั้นจำเป็นที่จะต้องทำการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพิ่มเติมเพื่อแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ได้ให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC current)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งไว้ ณ ระบบทดสอบที่อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้น เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline จากบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) รุ่น SP120 โดยมีข้อมูลทางเทคนิคดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 มีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 10 โมดูล กำลังการผลิตสูงสุด 1.2 กิโลวัตต์ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบทดสอบดังกล่าวสามารถแสดงได้ในภาพที่ 7.2



ภาพที่ 7.2 เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) รุ่น SP120

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ คือ อินเวอร์เตอร์ โดยระบบทดสอบนี้ใช้อินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL (Sunny Boy 2100TL) จากบริษัท SMA Solar จำกัด (มหาชน) โดยแสดงได้ดังภาพที่ 7.3 และข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL [37] แสดงได้ดังตารางที่ 7.1



ภาพที่ 7.3 อินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL (Sunny Boy 2100TL)

ตารางที่ 7.1 ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์รุ่น 2100TL (Sunny Boy 2100TL)

รายละเอียดของอินเวอร์เตอร์ SMA Sunny Boy 2100TL	
ขาเข้าอินเวอร์เตอร์ (DC)	
กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	2,200 kW
แรงดันสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	600 V
ช่วงของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้	200 V - 480 V
แรงดันต่ำสุด/แรงดันขีดเริ่ม	125 V / 150 V
กระแสสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	12 A
ขาออกอินเวอร์เตอร์ (AC)	
กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	2,100 VA
กระแสสูงสุดที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	11 A
ช่วงของแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	180 V – 260 V
ประสิทธิภาพสูงสุด	96 %

อุปกรณ์ตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์จากบริษัท SMA Solar จำกัด (มหาชน) รุ่น Sunny SENSORBOX ภายในจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมินั้นจะสามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้สองค่า คือ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งโดยปกติที่อุณหภูมิทั้งสองค่านี้จะมีค่าไม่เท่ากัน โดยในภาพที่ 7.4 คือ อุปกรณ์วัดความเข้มแสง และ ในภาพที่ 7.5 คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 7.4 อุปกรณ์วัดความเข้มแสง รุ่น Sunny SENSORBOX

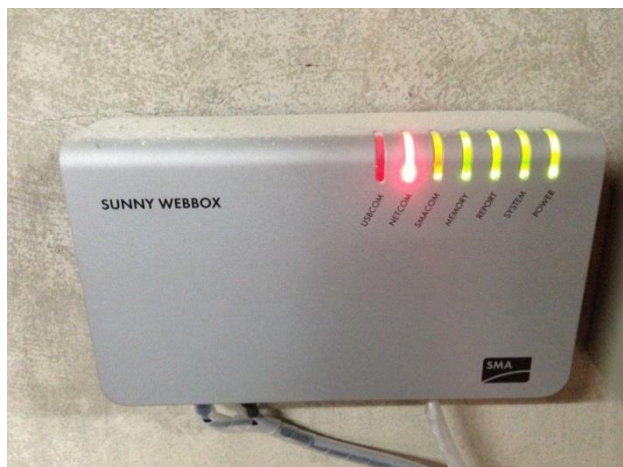


ภาพที่ 7.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ จากบริษัท Jumo

ในการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเข้มแสงดังในภาพที่ 7.4 จะต้องทำการติดตั้งเพื่อให้สามารถรับความเข้มแสงได้ใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับมากที่สุด โดยมีลักษณะการพิจารณา ดังนี้

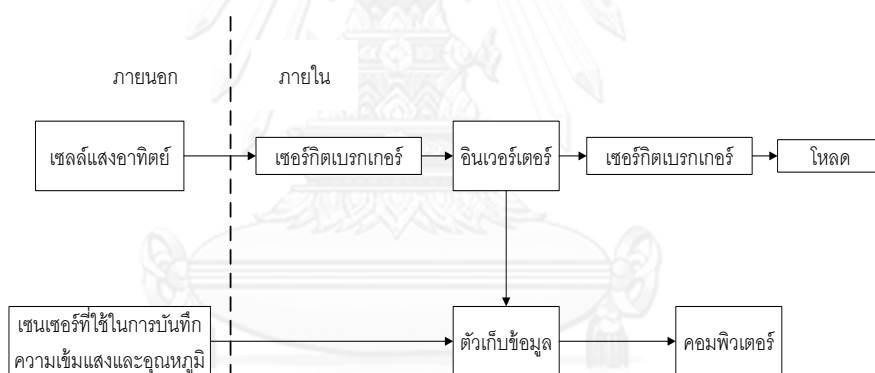
การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเข้มแสงควรติดตั้งไว้ภายนอกอาคารและให้ใกล้เคียงกับสถานที่ที่ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้มากที่สุด ควรมีตำแหน่ง ทิศทาง และมุมเปรียบเทียบกับพื้นระดับเหมือนกับเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้การวัดความเข้มแสงได้ผลที่แม่นยำที่สุด และ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการทำงานของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงจะอยู่ในช่วง -25°C ถึง $+70^{\circ}\text{C}$

ตัวเก็บข้อมูล (Data recorder) จากบริษัท SMA Solar จำกัด (มหาชน) รุ่น Sunny webbox นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ โดยปกติจะใช้เก็บข้อมูลทุกรูปแบบซึ่งมีที่มาแตกต่างกันไป เช่น ข้อมูลจากอินเวอร์เตอร์จะประกอบไปด้วย สภาวะโหมดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ณ เวลาที่พิจารณา หรือข้อมูลของกำลังไฟฟ้าจริงที่เข้าสู่ระบบ เป็นต้น และข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดก็จะประกอบไปด้วยความเข้มแสงขณะนั้น อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะนั้น เป็นต้น และตัวเก็บข้อมูลยังสามารถทำการส่งสัญญาณเตือนเมื่อระบบเกิดความผิดปกติได้ ถึงแม้ว่าบริเวณที่ทำการติดตั้งตัวเก็บข้อมูลจะไม่มี การเชื่อมต่อสายโทรศัพท์ แต่ตัวเก็บข้อมูลก็สามารถส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสาร (Global System for Mobile communications modem: GSM modem) ได้ โดยตัวเก็บข้อมูลที่ใช้แสดงได้ดังภาพที่ 7.6



ภาพที่ 7.6 ตัวเก็บข้อมูล (Data recorder) รุ่น Sunny webbox

จากรายละเอียดของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้กล่าวไปข้างต้น รายละเอียดการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7.7



ภาพที่ 7.7 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบ

จากภาพที่ 7.7 จะพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์วัดความเข้มแสง และ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ถูกติดตั้งไว้บริเวณภายนอกอาคาร ซึ่งเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 10 โมดูลและทำการเชื่อมต่อเข้าสู่เซอริทิตเบรกเกอร์เพื่อทำหน้าที่ป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์จากความเสียหายจากระบบไฟฟ้า แล้วจึงต่อเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ซึ่งถูกติดตั้งภายในอาคารเพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แล้วจึงต่อผ่านเซอริทิตเบรกเกอร์อีกตัวที่ทำหน้าที่ป้องกันอินเวอร์เตอร์จากความเสียหาย ก่อนเข้าสู่โหลด โดยอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิและอินเวอร์เตอร์จะมีการเชื่อมต่อเข้ากับตัวเก็บข้อมูลเพื่อส่งผ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดและ

อินเวอร์เตอร์มาเก็บไว้ซึ่งตัวเก็บข้อมูลจะมีการเชื่อมต่อเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถเรียกดูข้อมูลต่างๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จากคอมพิวเตอร์ได้

สำหรับข้อมูลที่บันทึกได้จากการตรวจวัดจริงนี้ คือ ข้อมูลที่สามารถตรวจสอบได้จากตัวเก็บข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ดังปรากฏในภาพที่ 7.7 โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญสามารถแสดงได้ในตารางที่ 7.2 ซึ่งในแถวแนวนอนแถวที่หนึ่งแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ และในแถวแนวนอนแถวที่สองแสดงหน่วยของพารามิเตอร์นั้น

ตารางที่ 7.2 ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกได้จริงจากระบบทดสอบ ณ วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2557

Time	IntSolrr	TmpAmb	TmpMdul	WindVel	dl	E-Total	Fac	h-On
hh:mm	W/m ²	°C	°C	m/s	mA	kWh	Hz	hr
10:30	829.6	32.13	44.56	0	4	3,589.35	49.97	11,315.7

h-Total	lac-Ist	lpv	Pac	Status	Uac	Upv-Soll	Zac
hr	mA	mA	W		V	V	Ohm
8,442.94	3,237.50	5,214.14	734	7: Mpp	151.36	151.53	0.44

โดย

Time	คือ เวลาที่ทำการบันทึกข้อมูล ซึ่งมีการบันทึกทุก 5 นาที (Hr:min)
IntSolrr	คือ ความเข้มแสงเฉลี่ยในช่วง 5 นาที ณ เวลาที่พิจารณา (W/m ²)
TmpAmb	คือ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมเฉลี่ยในช่วง 5 นาที ณ เวลาที่พิจารณา (°C)
TmpMdul	คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยในช่วง 5 นาที ณ เวลาที่พิจารณา (°C)
dl	คือ กระแสรั่ว (Leakage current) ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยในช่วง 5 นาที ณ เวลาที่พิจารณา (mA)
E-Total	คือ พลังงานสุทธิที่จ่ายเข้าสู่ระบบ (kWh)
Fac	คือ ความถี่ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Hz)
h-On	คือ จำนวนชั่วโมงทั้งหมดที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงาน (Hr)
h-Total	คือ จำนวนชั่วโมงทั้งหมดที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลด (Hr)
lac-Ist	คือ กระแสไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับระบบ (mA)

I _{pv}	คือ กระแสไฟฟ้าที่ออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ (DC) เฉลี่ยในช่วง 5 นาที ณ เวลาที่พิจารณา (mA)
P _{ac}	คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย ในช่วง 5 นาที ณ เวลาที่พิจารณา (W)
Status	คือ โหมดการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะนั้น
U _{ac}	คือ แรงดันของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ณ จุดเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ (V)
U _{pv-Soll}	คือ แรงดันที่ออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ (DC) เฉลี่ยในช่วง 5 นาที ณ เวลาที่พิจารณา (V)
Z _{ac}	คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของกริด (Ω)

7.2 ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 2

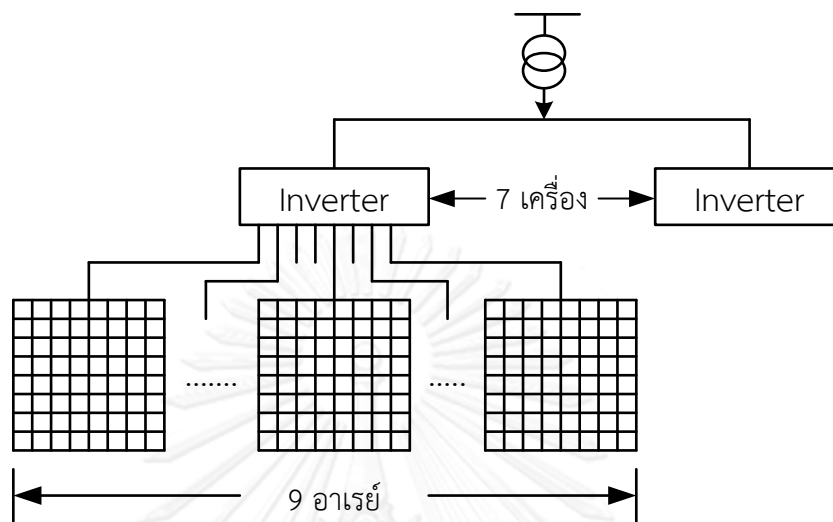
ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 2 เป็นระบบทดสอบที่ตั้งอยู่ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีพื้นที่ประมาณ 500 ไร่ มีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 44 เมกะวัตต์ ดังในภาพที่ 7.8



ภาพที่ 7.8 โรงไฟฟ้าของระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 2

โดยระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบทดสอบระบบที่ 2 เป็นระบบทดสอบขนาดใหญ่ ซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 38 เมกะวัตต์ โดยข้อมูลอุปกรณ์การเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบที่ 2 นี้ ได้ทำการขอข้อมูลมาจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยทำการส่งจดหมายไปขอรายละเอียดจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้รับความ

อนุเคราะห์ข้อมูลและได้ติดต่อขอรายละเอียดเพิ่มเติมทางโทรศัพท์จึงได้เป็นข้อมูลของระบบทดสอบที่ 2 ดังในภาพที่ 7.9



ภาพที่ 7.9 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2

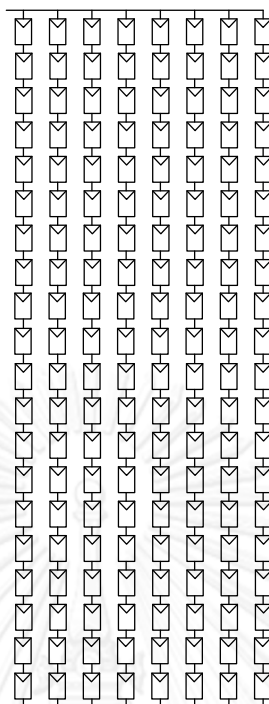
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบทดสอบระบบที่ 2 มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท ชันเทค จำกัด ร่วมกับการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ จากบริษัท SMA Solar จำกัด (มหาชน) โดยโรงไฟฟ้า แห่งนี้มีจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 150,000 โมดูล ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท ชันเทค รุ่น STP295-24/Vd [27] โดยมีข้อมูลทางเทคนิคดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.3 ใช้หม้อแปลง ทั้งสิ้นจำนวน 10 ลูกและใช้อินเวอร์เตอร์ทั้งสิ้น 61 เครื่องจากบริษัท SMA รุ่น Sunny Central 630HE [38] ซึ่งมีข้อมูลทางเทคนิคดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.4 โดยโรงไฟฟ้าแห่งนี้มีการเชื่อมต่อเข้ากับ ระบบของการไฟฟ้าทั้งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในการขาย ไฟฟ้า จากภาพที่ 7.9 จะพบว่าหม้อแปลง 1 ลูก จะเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์ประมาณ 7 เครื่อง ส่วน อินเวอร์เตอร์ 1 เครื่องจะเชื่อมต่อกับอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 9 อาเรย์ด้วยกันโดยแต่ละ อาเรย์ก็จะมีขนาดที่แตกต่างกัน โดยระบบทดสอบที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาในส่วนของ อาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพียง 1 อาเรย์เท่านั้น โดยมีลักษณะการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ดังใน ภาพที่ 7.10 โดยขนาดของอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบนี้มีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม จำนวน 20 โมดูล ถือเป็น 1 สตริง และนำสตริงจำนวน 8 สตริงมาเชื่อมต่อกันแบบขนาน ให้เป็น อาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20x8 โมดูล

ตารางที่ 7.3 ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท ชันเทค จำกัด รุ่น STP295-24/Vd

ปริมาณทางไฟฟ้า	ค่าของพารามิเตอร์
กำลังสูงสุดที่สามารถผลิตได้ (P_{MPP})	295 W
แรงดันที่ผลิตได้เมื่อเกิดกำลังสูงสุด (V_{MPP})	35.7 V
กระแสที่ผลิตได้เมื่อเกิดกำลังสูงสุด (I_{MPP})	8.27 A
แรงดันเปิดวงจร (V_{OC})	45.1 V
กระแสลัดวงจร (I_{SC})	8.57 A
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงกระแสลัดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งองศาเซลเซียส (K_I)	0.055 A/°C
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงแรงดันเปิดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งองศาเซลเซียส (K_V)	-0.33 V/°C
จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล (N_s)	72 Cells

ตารางที่ 7.4 ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์รุ่น SC630HE (Sunny Central 630HE)

รายละเอียดของอินเวอร์เตอร์ SMA Sunny Central 630HE	
กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	642 kW
แรงดันสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	1,000 V
กระแสสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	1,350 A
ช่วงของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้	500 V - 820 V
กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	630 kVA
กระแสสูงสุดที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	1,155 A
แรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	315 V
ประสิทธิภาพสูงสุด	98.6 %



ภาพที่ 7.10 การเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2

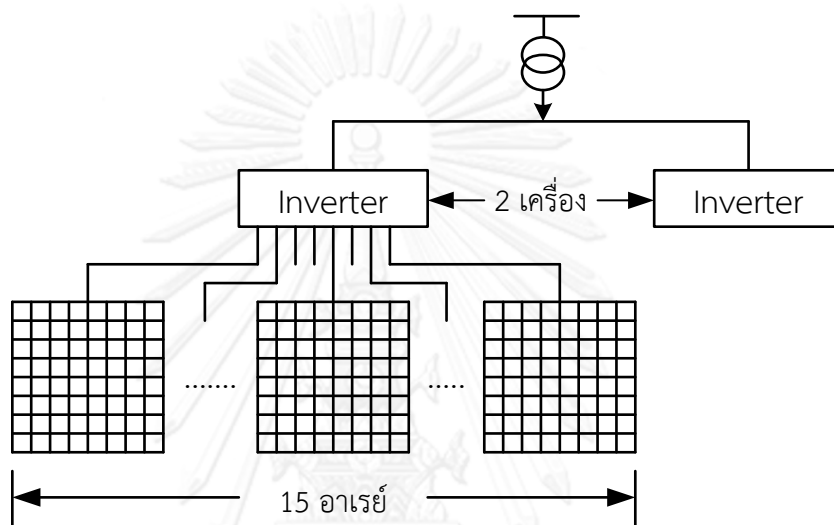
7.3 ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 3

ระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 3 เป็นระบบทดสอบที่มีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 9.6 เมกะวัตต์ ดังในภาพที่ 7.11



ภาพที่ 7.11 โรงไฟฟ้าของระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ 3

โดยระบบทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบทดสอบระบบที่ 3 เป็นระบบทดสอบขนาดใหญ่ ซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 8 เมกะวัตต์ โดยข้อมูลอุปกรณ์การเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบที่ 3 นี้ ได้ทำการขอข้อมูลมาจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยทำการส่งจดหมายไปขอรายละเอียดจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลและได้ติดต่อขอรายละเอียดเพิ่มเติมทางโทรศัพท์จึงได้เป็นข้อมูลของระบบทดสอบที่ 3 ดังในภาพที่ 7.12



ภาพที่ 7.12 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 3

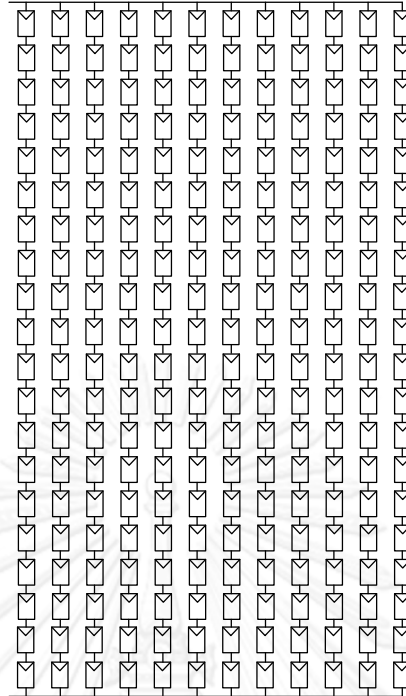
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบทดสอบระบบที่ 3 มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท Astronergy จำกัด รุ่น CHSM6612P-285W [39] โดยมีข้อมูลทางเทคนิคดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.5 ร่วมกับการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ จากบริษัท SMA Solar จำกัด (มหาชน) รุ่น Sunny Central 800 CP-US [40] ซึ่งมีข้อมูลทางเทคนิคดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.6 โดยระบบของโรงไฟฟ้าแห่งนี้มีหม้อแปลงจำนวน 5 ลูก อินเวอร์เตอร์จำนวน 10 เครื่อง จากภาพที่ 7.12 จะพบว่า หม้อแปลง 1 ลูก จะเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์ประมาณ 2 เครื่อง ส่วนอินเวอร์เตอร์ 1 เครื่องจะเชื่อมต่อกับอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 15 อาร์เรย์ด้วยกันโดยแต่ละอาร์เรย์ก็จะมีขนาดที่แตกต่างกัน โดยระบบทดสอบที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาในส่วนของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพียง 1 อาร์เรย์เท่านั้น โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อกับอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ดังในภาพที่ 7.13 โดยขนาดของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบนี้มีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 20 โมดูล ถือเป็น 1 สตริง และนำสตริงจำนวน 12 สตริงมาเชื่อมต่อกันแบบขนาน

ตารางที่ 7.5 ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท แอสโตรเนอร์ยี จำกัด รุ่น CHSM6612P-285W

ปริมาณทางไฟฟ้า	ค่าของพารามิเตอร์
กำลังสูงสุดที่สามารถผลิตได้ (P_{MPP})	285 W
แรงดันที่ผลิตได้เมื่อเกิดกำลังสูงสุด (V_{MPP})	35.66 V
กระแสที่ผลิตได้เมื่อเกิดกำลังสูงสุด (I_{MPP})	8.04 A
แรงดันเปิดวงจร (V_{OC})	44.77 V
กระแสลัดวงจร (I_{SC})	8.80 A
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงกระแสลัดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งองศาเซลเซียส (K_I)	0.087 A/K
ค่าคงตัวของการเปลี่ยนแปลงแรงดันเปิดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งองศาเซลเซียส (K_V)	-0.332 V/K
จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล (N_s)	72 Cells

ตารางที่ 7.6 ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์รุ่น SC800CP-US (Sunny Central 800 CP-US)

รายละเอียดของอินเวอร์เตอร์ SMA Sunny Central 800 CP-US	
กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	898 kW
แรงดันสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	1,000 V
กระแสสูงสุดที่เข้าสู่อินเวอร์เตอร์	1,600 A
ช่วงของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้	570 V - 820 V
กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	800 kVA
กระแสสูงสุดที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	1,411 A
ช่วงของแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์	324 V – 396 V
ประสิทธิภาพสูงสุด	98.7 %



ภาพที่ 7.13 การเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 3

บทที่ 8

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการทฤษฎีและหลักการที่ได้นำเสนอในบทที่ 2 ถึงบทที่ 6 โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- 8.1 ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
- 8.2 ผลการทดลองผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์
- 8.3 ผลการทดลองผลกระทบของการบังแสงแดดต่ออาเรียเซลล์แสงอาทิตย์

8.1 ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

ในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะปกติ โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อ คือ

- 8.1.1 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับโปรแกรมสำเร็จรูป
- 8.1.2 การเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลองและข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์
- 8.1.3 การเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดจริงจากระบบทดสอบ

8.1.1 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับโปรแกรมสำเร็จรูป

จากที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 เรื่องค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่เป็นข้อมูลทางเทคนิคจากผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 พารามิเตอร์ เมื่อพิจารณาร่วมกับสมการที่ (2.12) จะพบว่าไม่เพียงพอต่อการหาจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะต้องคำนวณหาค่าพารามิเตอร์เพิ่มจำนวน 4 พารามิเตอร์ ได้แก่

- กระแสอิ่มตัวของไดโอด (I_0)
- กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ (I_{ph})
- ความต้านทานสมมูลต่อขนาน (R_p)
- ความต้านทานสมมูลต่ออนุกรม (R_s)

ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์เพิ่มเติม สามารถหาได้จากวิธีการในบทที่ 2 ภายใต้สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition: STC) ที่ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ และอุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานและความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับโปรแกรม PVSYS

เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรมนี้เป็นพารามิเตอร์ภายใต้สภาวะมาตรฐานเช่นเดียวกัน เป็นค่าที่ได้จากห้องทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยได้มาจากฐานข้อมูลของผู้ผลิตเซลล์อาทิตย์หลายบริษัทมากมาย โดยโปรแกรม PVSYST ได้ใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดเป็นแบบจำลองหลักของโปรแกรม

โดยในการเปรียบเทียบค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานและความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับโปรแกรม PVSYST นั้น จะทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานและความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 3 รุ่น ได้แก่ 1) เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด รุ่น SP120 2) เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท ชันเทค จำกัด รุ่น STP295-24/Vd และ 3) เซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท แอสโทรเนอร์ยี จำกัด รุ่น CHSM6612-285W โดยการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่ได้จากโปรแกรม PVSYST ในแต่ละรุ่นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8.1 ตารางที่ 8.2 และตารางที่ 8.3

ตารางที่ 8.1 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SP120 ระหว่างโปรแกรม PVSYST และค่าจากแบบจำลอง

ความต้านทาน	ค่าที่ได้จากโปรแกรม PVSYST	ค่าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
R_p	190	198.09	4.26
R_s	0.20	0.158	21

ตารางที่ 8.2 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น STP295-24/Vd ระหว่างโปรแกรม PVSYST และค่าจากแบบจำลอง

ความต้านทาน	ค่าที่ได้จากโปรแกรม PVSYST	ค่าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
R_p	600	610.54	1.76
R_s	0.26	0.34	30.77

ตารางที่ 8.3 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น CHSM6612-285W ระหว่างโปรแกรม PVSYST และค่าจากแบบจำลอง

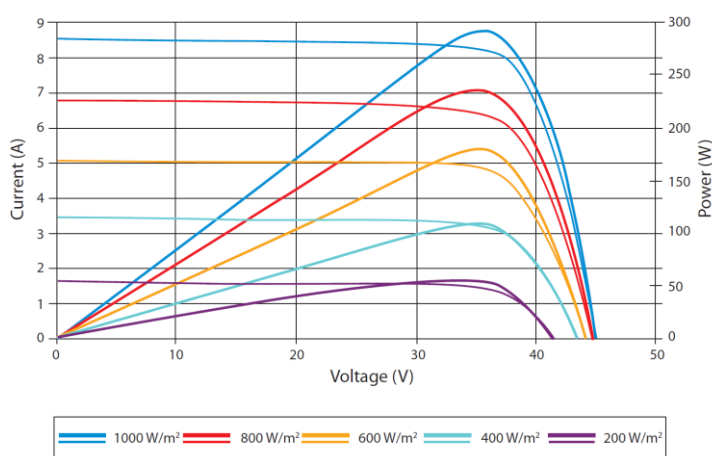
ความต้านทาน	ค่าที่ได้จากโปรแกรม PVSYST	ค่าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
R_p	220	241.17	9.62
R_s	0.43	0.416	3.26

จากตารางที่ 8.1 ถึง ตารางที่ 8.3 พบว่าค่าของความต้านทานสมมูลต่อขนานและความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละรุ่นที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากฐานข้อมูลของโปรแกรม PVSYST แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีความแม่นยำในการคำนวณ

8.1.2 การเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลองและข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์

ในส่วนนี้จะทำการการเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลองและข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ ในลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่เปลี่ยนแปลง เมื่อค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งข้อมูลของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเป็นข้อมูลในเอกสารข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ผลิต

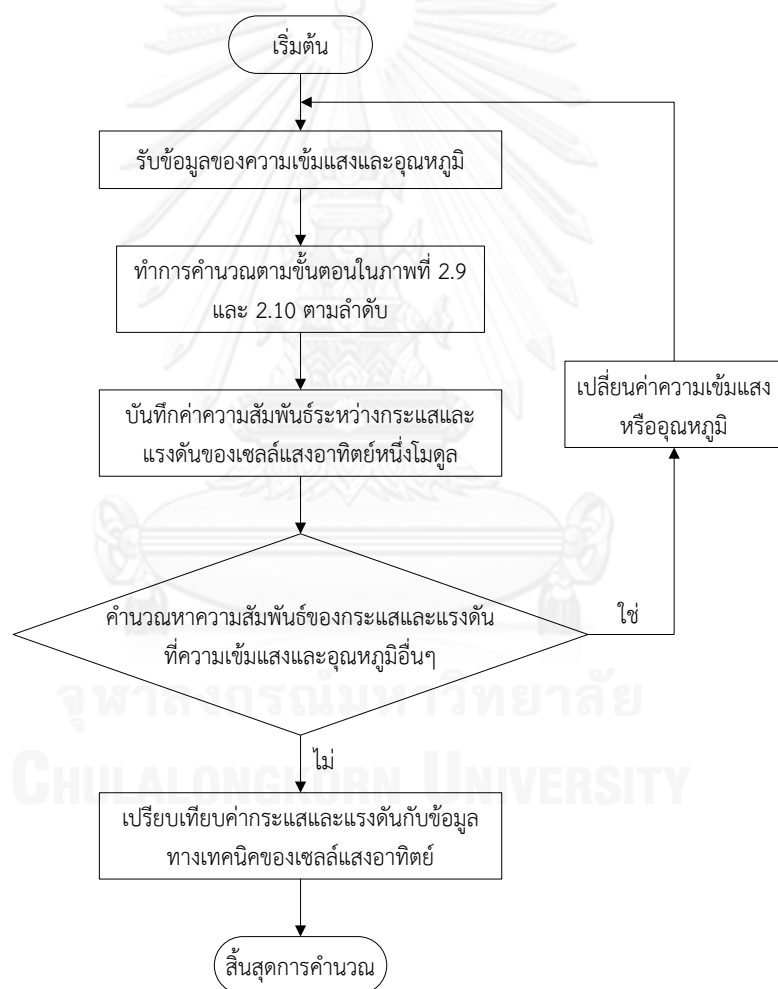
สำหรับการเปรียบเทียบจะใช้ข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท ซันเทค จำกัด รุ่น STP295-24/Vd ดังแสดงในภาพที่ 8.1 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด รุ่น SP120 จะไม่ทำการเปรียบเทียบเนื่องจากไม่มีกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันจากข้อมูลของผู้ผลิต



ภาพที่ 8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน กับ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP295-24/Vd เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง

จากภาพที่ 8.1 จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน กับ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลภายใต้ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ $1,000 \text{ W/m}^2$, 800 W/m^2 , 600 W/m^2 , 400 W/m^2 และ 200 W/m^2 โดยมีอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์คงที่ที่ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

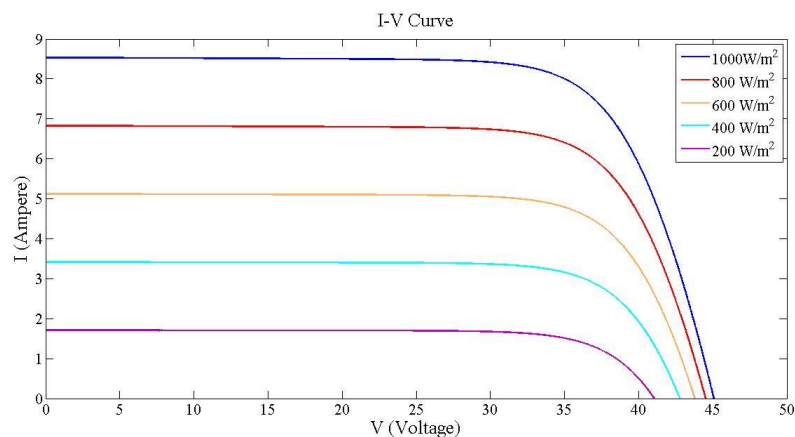
จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น จะทำการเปรียบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลจากผู้ผลิตในภาพที่ 8.1 โดยขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำการคำนวณโดยใช้หลักการที่แสดงไว้ในบทที่ 2 ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ได้ดังภาพที่ 8.2



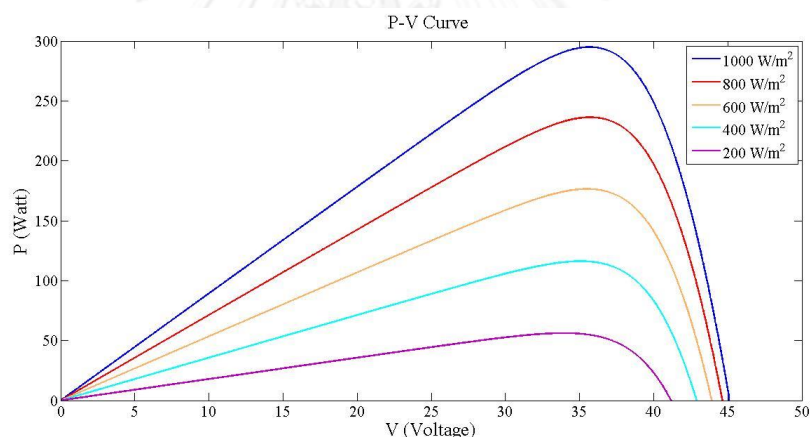
ภาพที่ 8.2 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการคำนวณดังที่แสดงในรูปที่ 8.2 จะได้ผลของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน กับ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จาก บริษัท ชันเทค

จำกัด รุ่น STP295-24/Vd จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ดังในภาพที่ 8.3 และ 8.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP295-24/Vd เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง



ภาพที่ 8.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP295-24/Vd เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับข้อมูลทางเทคนิค เมื่อพิจารณาผลของความเข้มแสงที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน โดยเปรียบเทียบผลของภาพที่ 8.1 และภาพที่ 8.3 ซึ่งเป็นภาพของความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของข้อมูลทางเทคนิค และแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ตามลำดับ หากพิจารณาจุดตัดแกน Y จะพบว่าจุดตัดแกน Y ของกราฟความสัมพันธ์ที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับจุดตัดแกน Y จากข้อมูลทางเทคนิค แต่มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างเนื่องจากผลของความต้านทานสมมูลต่อขนานและความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมที่คำนวณได้จาก

แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และเมื่อพิจารณาจุดตัดแกน X จะพบว่าความสัมพันธ์ที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกับจุดตัดแกน X จากข้อมูลทางเทคนิคเช่นเดียวกัน

8.1.3 การเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดจริงจากระบบทดสอบ

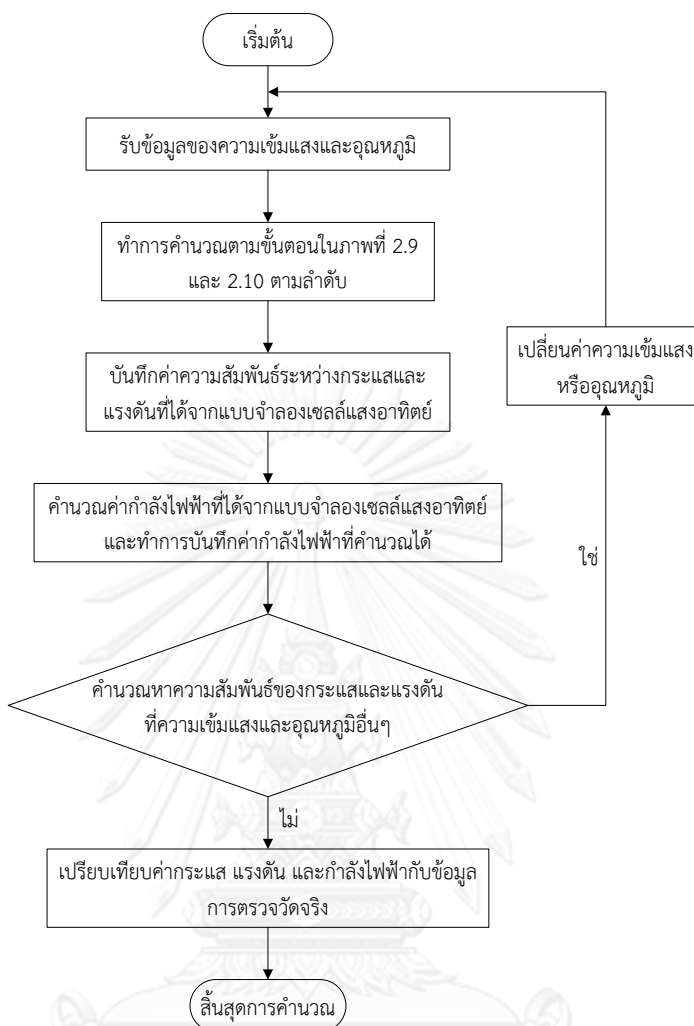
ในการทดลองส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่ได้จากการวัดจริงจากระบบทดสอบ ณ อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งประกอบด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จาก บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) รุ่น SP120 จำนวน 10 โมดูลทำการเชื่อมต่ออนุกรมกัน

ข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงของระบบทดสอบ จะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์จำนวน 16 พารามิเตอร์ซึ่งอยู่ในรูปแบบของไฟล์ Excel ซึ่งแสดงได้ดังตัวอย่างในภาพที่ 8.5 และมีรายละเอียดของพารามิเตอร์แต่ละตัวดังแสดงในตารางที่ 7.1 สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาเพียงพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบผลของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้แก่ เวลาที่ทำการบันทึกข้อมูล (Time) ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยในช่วงเวลา 5 นาทีที่ทำการบันทึกข้อมูล ณ เวลานั้น (IntSolIrr) อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยในช่วงเวลา 5 นาทีที่ทำการบันทึกข้อมูล ณ เวลานั้น (TmpMdul) เพื่อใช้เป็นข้อมูลขาเข้า (Input) สำหรับใช้ในการคำนวณแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ในส่วนค่าของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (ในส่วนของไฟฟ้ากระแสตรง) เฉลี่ยในช่วงเวลา 5 นาที ณ เวลานั้น (Ipv) ค่าแรงดันที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (ในส่วนของไฟฟ้ากระแสตรง) เฉลี่ยในช่วงเวลา 5 นาที ณ เวลานั้น (Upv-soll) และค่ากำลังไฟฟ้าจริงในส่วนของไฟฟ้ากระแสตรง (Pdc) ที่ได้จากผลคูณของค่าของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (ในส่วนของไฟฟ้ากระแสตรง) เฉลี่ยในช่วงเวลา 5 นาที ณ เวลานั้น กับ ค่าแรงดันที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (ในส่วนของไฟฟ้ากระแสตรง) เฉลี่ยในช่วงเวลา 5 นาที ณ เวลานั้น เพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลการเปรียบเทียบผลที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with a data table. The table has columns labeled A through X. The data includes time stamps (e.g., 9:30, 9:35, 9:40), solar irradiance (W/m²), and various electrical parameters such as SMA-h-On, TrpAmb C, TrpMod C, Windvel, dt, E-Total, Fac, Fehler, h-On, h-Total, Fac-ist, lpv, Netz-Ein, Pac, RErd-Start, Seriennum, Status, Uac, Upp-ist, Upp-Soil, and Zac. The values are numerical and represent measurements over time.

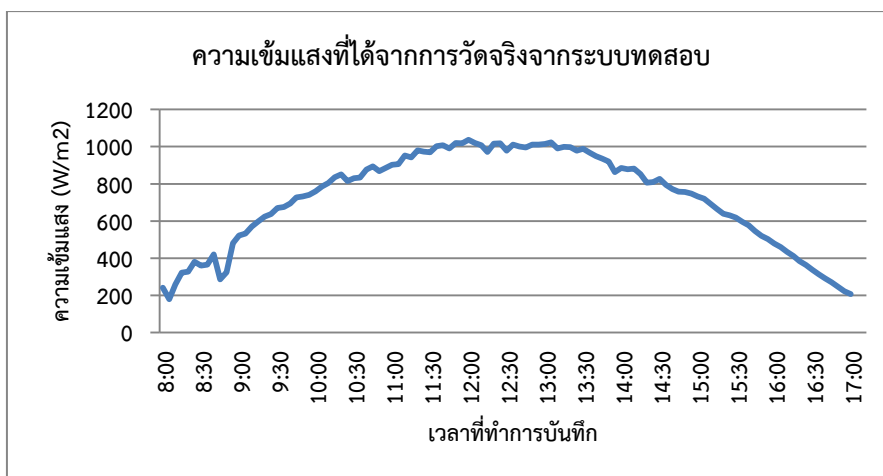
ภาพที่ 8.5 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงในรูปแบบของไฟล์ Excel

การเปรียบเทียบผลของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะทำการเปรียบเทียบผลของค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัดจริงจากระบบทดสอบกับค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ในช่วงเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของอาคารเจริญวิศวกรรม แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง โดยขั้นตอนการคำนวณค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำการคำนวณโดยใช้หลักการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ของวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 8.6

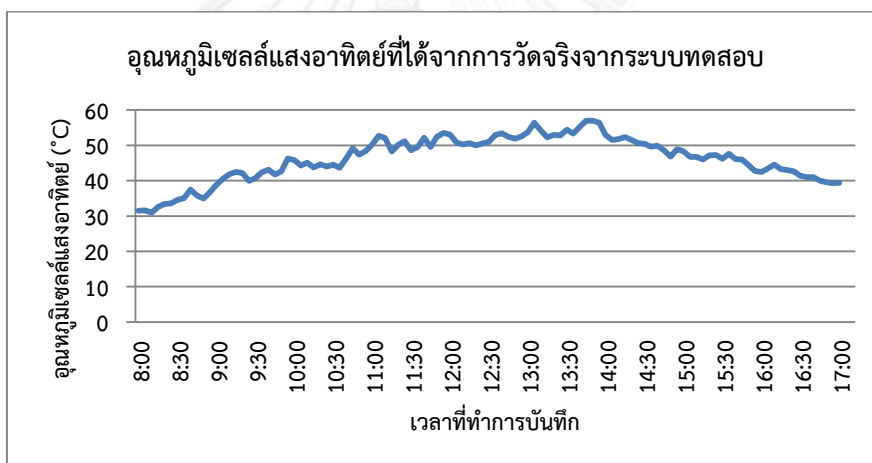


ภาพที่ 8.6 ขั้นตอนการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง เซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับการเปรียบเทียบผลของค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า จะเริ่มพิจารณาจากข้อมูล ขาเข้าของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ นั่นคือ ความเข้มแสงและอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดย ขั้นตอนในการเปรียบเทียบผลการวัดจริงกับผลจากแบบจำลองในแต่ละวันมีรายละเอียดที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงแสดงการเปรียบเทียบโดยละเอียดเพียงหนึ่งวัน โดยจะแสดงตัวอย่างข้อมูลของวันที่ 8 เมษายน 2557 โดยภาพที่ 8.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลาที่ทำการบันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และภาพที่ 8.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์กับเวลาที่ทำการบันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 8.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลาทำการบันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของวันที่ 8 เมษายน 2557



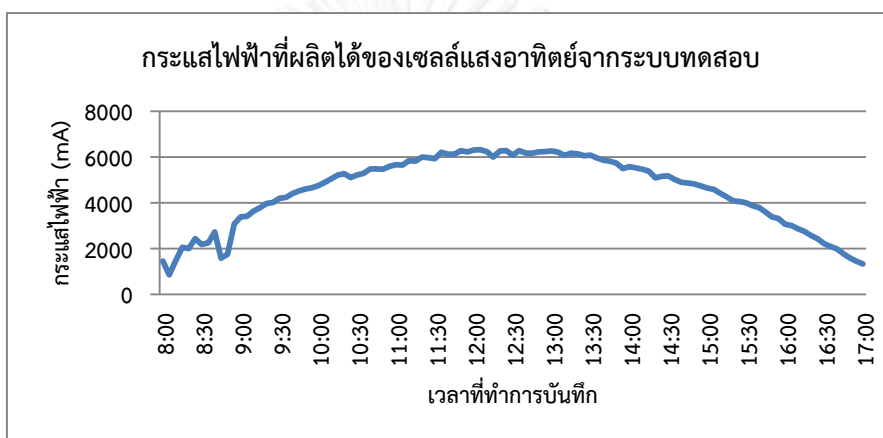
ภาพที่ 8.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์กับเวลาทำการบันทึกจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของวันที่ 8 เมษายน 2557

จากภาพที่ 8.7 และภาพที่ 8.8 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ เมื่อความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีค่าเพิ่มขึ้นตาม

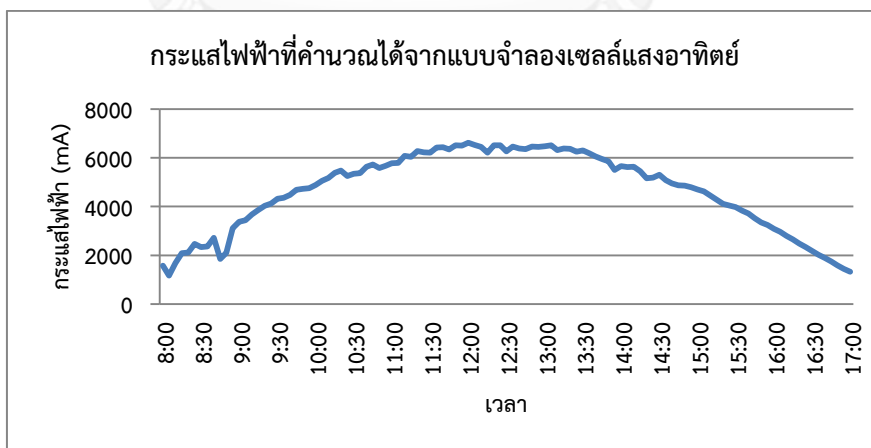
ในส่วนของการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์กับข้อมูลจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ส่วน คือ การพิจารณาค่ากระแส การพิจารณาค่าแรงดัน และ การพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้า

8.1.3.1 การเปรียบเทียบค่ากระแสที่ได้จากการวัดจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

จากข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบทดสอบที่บันทึกได้ทุก 5 นาทีของวันที่ 8 เมษายน 2557 มาแสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ของกระแสและเวลาที่ทำการบันทึก สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8.9 และจากการนำข้อมูลของความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่บันทึกได้จากภาพที่ 8.7 และภาพที่ 8.8 มาทำการคำนวณตามขั้นตอนในภาพที่ 8.6 จะได้ความสัมพันธ์ของค่ากระแสที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับเวลาที่ทำการบันทึก ได้ดังภาพที่ 8.10

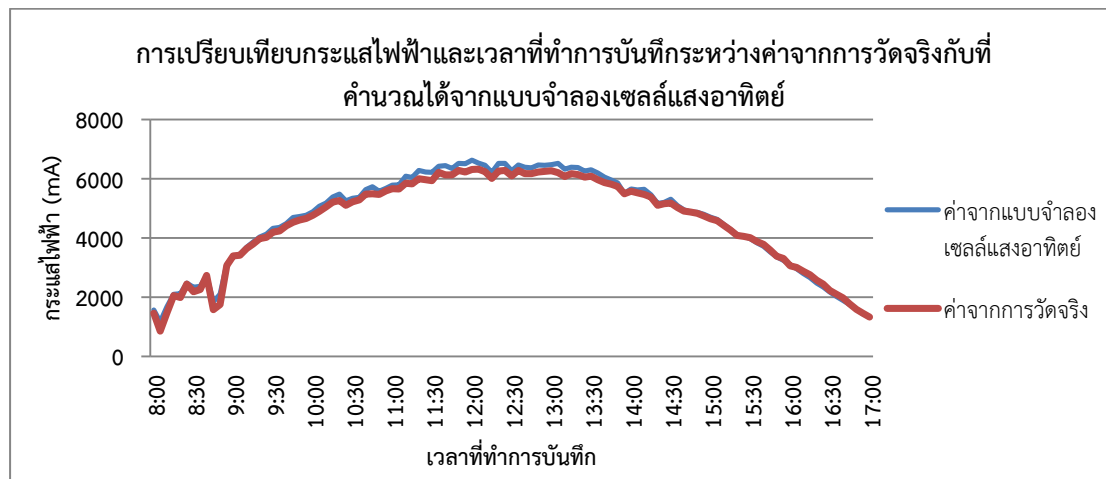


ภาพที่ 8.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและเวลาที่บันทึกจากระบบทดสอบของวันที่ 8 เมษายน 2557



ภาพที่ 8.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่บันทึกข้อมูล

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าจากการวัดจริงและกระแสไฟฟ้าจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แสดงได้ดังภาพที่ 8.11

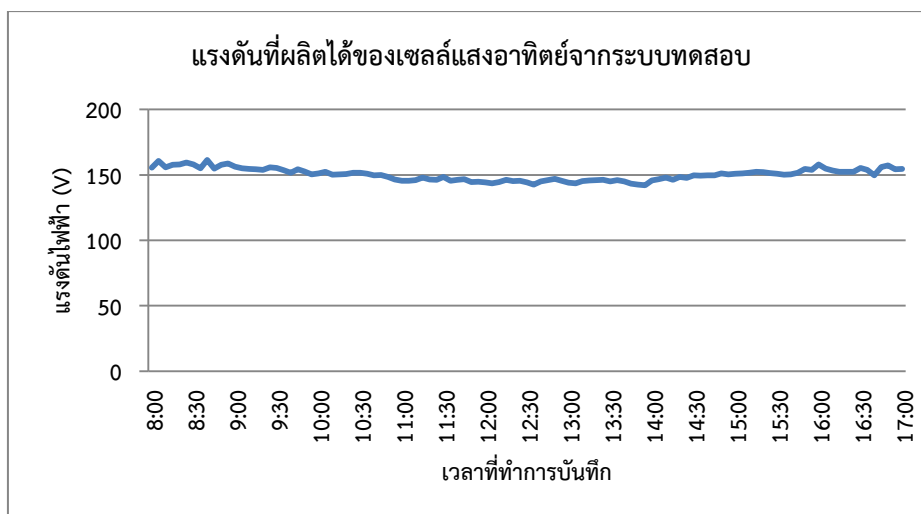


ภาพที่ 8.11 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและเวลาที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าการวัดจริง

จากภาพที่ 8.11 พบว่าค่าของกระแสที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริง สำหรับค่ากระแสที่ได้จากการตรวจวัดจะทำการบันทึกทุก 5 นาที ซึ่งค่าบันทึกไว้จะเป็นค่ากระแสเฉลี่ยในช่วงเวลา 5 นาที ดังนั้นในการคำนวณค่ากระแสโดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จึงทำการคำนวณค่าของกระแสในช่วง 5 นาทีแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าจากการตรวจวัด โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณร้อยละ 3.34

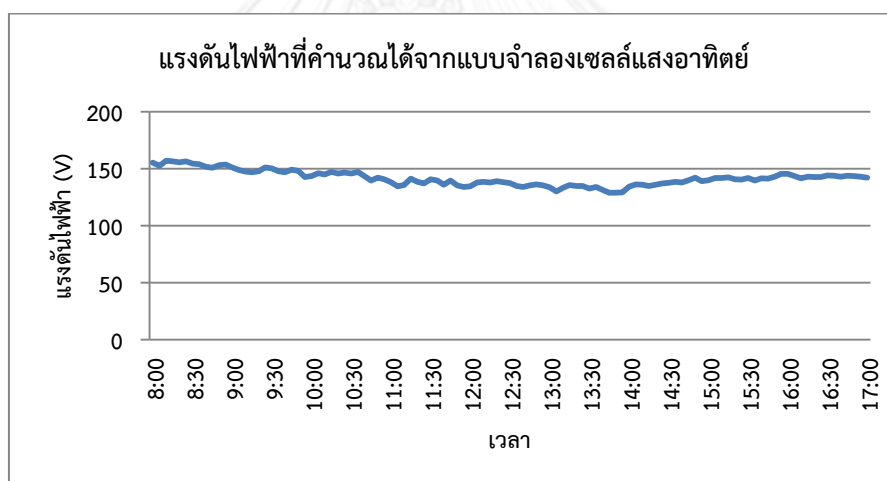
8.1.3.2 การเปรียบเทียบค่าแรงดันที่ได้จากการวัดจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

จากข้อมูลแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบทดสอบที่บันทึกได้ทุก 5 นาทีของวันที่ 8 เมษายน 2557 มาแสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ของแรงดันและเวลาที่ทำการบันทึก สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8.12 และจากการนำข้อมูลของความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่บันทึกได้จากภาพที่ 8.7 และภาพที่ 8.8 มาทำการคำนวณตามขั้นตอนในภาพที่ 8.6 จะได้ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับเวลาที่ทำการบันทึก ได้ดังภาพที่ 8.13



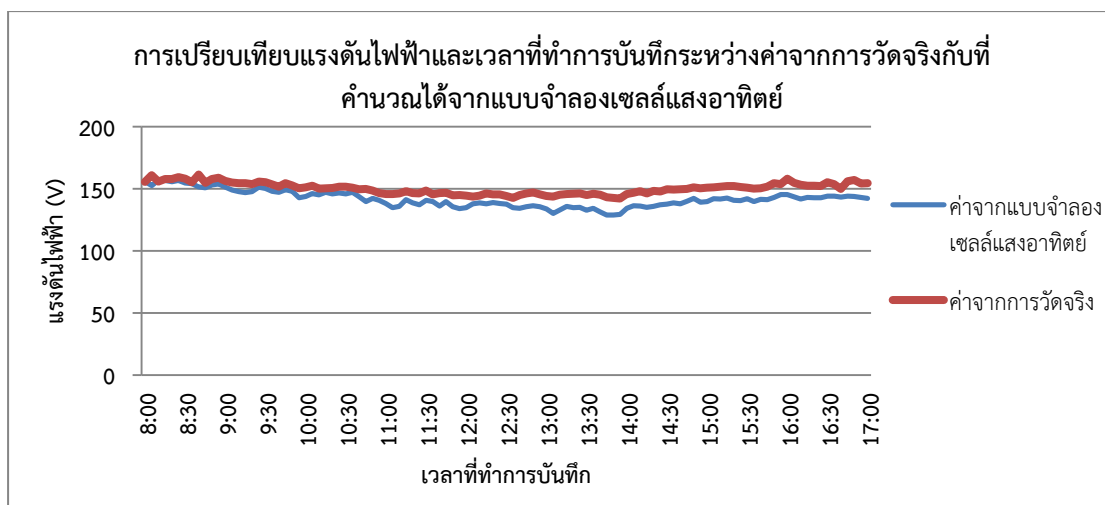
ภาพที่ 8.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันและเวลาที่บันทึกจากระบบทดสอบของวันที่ 8 เมษายน

2557



ภาพที่ 8.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่บันทึกข้อมูล

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าจากการวัดจริงและกระแสไฟฟ้าจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แสดงได้ดังภาพที่ 8.14



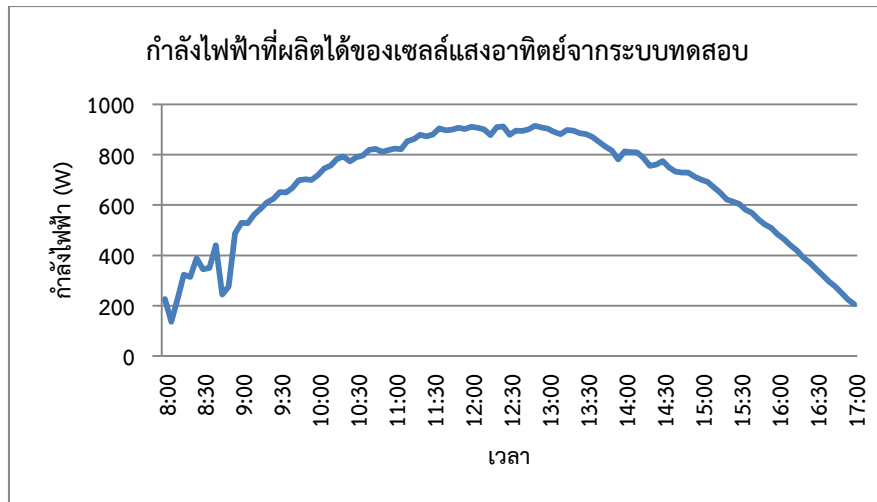
ภาพที่ 8.14 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและเวลาที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าการวัดจริง

จากภาพที่ 8.14 พบว่าค่าแรงดันที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาภาพที่ 8.8 จะพบว่าในช่วงเช้าและช่วงเย็นที่ความเข้มแสงมีค่าน้อย ค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีค่าน้อย และในช่วงกลางวันที่ความเข้มแสงมีค่ามาก ค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีค่าสูงตาม โดยค่าของอุณหภูมินั้นส่งผลต่อค่าแรงดันซีดีเริ่ม แรงดันเปิดวงจร และค่าความต้านทานสมมูลต่อขานานดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 ดังนั้นในช่วงกลางวันเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าแรงดันที่ผลิตได้ควรจะมีค่าลดลงซึ่งค่าแรงดันที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์นั้นก็มีการลดลงในช่วงกลางวัน ดังที่เห็นในภาพที่ 8.13

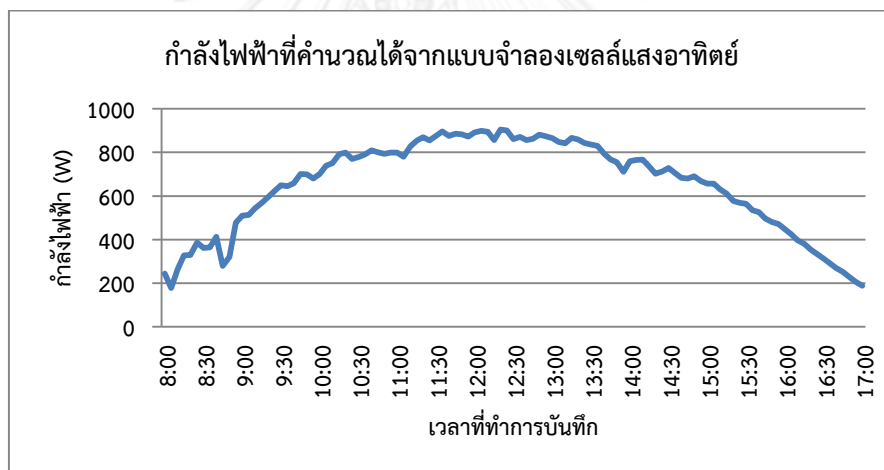
สำหรับค่าแรงดันที่ได้จากการตรวจวัดจะทำการบันทึกทุก 5 นาที ซึ่งค่าบันทึกไว้จะเป็นค่าแรงดันเฉลี่ยในช่วงเวลา 5 นาที ดังนั้นในการคำนวณค่าแรงดันโดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จึงทำการคำนวณค่าของแรงดันในช่วง 5 นาทีแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าจากการตรวจวัด โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณร้อยละ 5.701

8.1.3.3 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัดจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

จากข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้จากระบบทดสอบที่บันทึกได้ทุก 5 นาทีของวันที่ 8 เมษายน 2557 มาแสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ทำการบันทึก สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8.15 และจากการนำข้อมูลของความเข้มแสงและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่บันทึกได้จากภาพที่ 8.7 และภาพที่ 8.8 มาทำการคำนวณตามขั้นตอนในภาพที่ 8.6 จะได้ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับเวลาที่ทำการบันทึก ได้ดังภาพที่ 8.16

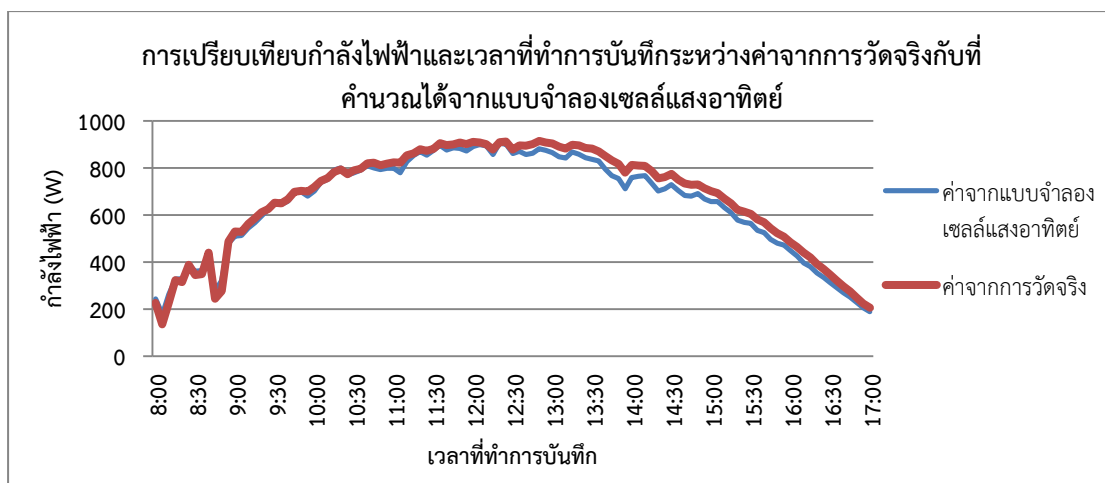


ภาพที่ 8.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่บันทึกจากระบบทดสอบของวันที่ 8
เมษายน 2557



ภาพที่ 8.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และ
เวลาที่บันทึกข้อมูล

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจากการวัดจริงและกระแสไฟฟ้าจาก
แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงได้ดังภาพที่ 8.17



ภาพที่ 8.17 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าการวัดจริง

จากภาพที่ 8.17 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริง โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัดจะทำการบันทึกทุก 5 นาที ซึ่งค่าบันทึกไว้จะเป็นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงเวลา 5 นาที ดังนั้นในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จึงทำการคำนวณค่าของกำลังไฟฟ้าในช่วง 5 นาทีแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าจากการตรวจวัด โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณร้อยละ 5.004

ถึงแม้ว่าแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้จะมีจะคำนวณทางคณิตศาสตร์อย่างละเอียด แต่ค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ ซึ่งผลของความคลาดเคลื่อนมีหลายสาเหตุ ได้แก่

- 1) ผลความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์วัดความเข้มแสงและอุปกรณ์วัดอุณหภูมิซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ประมาณร้อยละ 7
- 2) ผลของฝุ่นละอองที่ตกค้างบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนประมาณร้อยละ 5 เนื่องจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับปริมาณแสงแดดที่ตกกระทบลดน้อยลงเนื่องจากผลของฝุ่นละออง ในขณะที่อุปกรณ์วัดความเข้มแสงได้รับความเข้มแสงที่สภาพแวดล้อมจริง
- 3) ผลของอัตราการเสื่อมสภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอัตราการเสื่อมสภาพอยู่ที่ร้อยละ 0.5 ต่อปี ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลงกว่าที่ควร

8.2 ผลการทดลองผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษาผลการทดลองผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์จากแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ตรอน รุ่น SP120 ประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 โมดูลที่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมเป็นระบบทดสอบ ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

8.2.1 การเปรียบเทียบผลกระทบของการบังแสงแดดกับข้อมูลตรวจวัดจริง

8.2.2 ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งสตรึงเมื่อโดนบังแสงแดด

8.2.1 การเปรียบเทียบผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับข้อมูลตรวจวัดจริง

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการเปรียบเทียบผลกระทบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างผลจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับผลการตรวจวัดจริงจากระบบทดสอบ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นระบบทดสอบขนาดเล็ก ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 10 โมดูลเชื่อมต่อแบบอนุกรม โดยกรณีการทดสอบ คือ ทำการบังแสงแดดเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 โมดูลจากเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 โมดูล ซึ่งแสดงลักษณะการเชื่อมต่อได้ดังภาพที่ 8.18 โดยทำการทดสอบที่อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ณ วันที่ 9 เมษายน 2557 ถึงวันที่ 20 เมษายน 2557



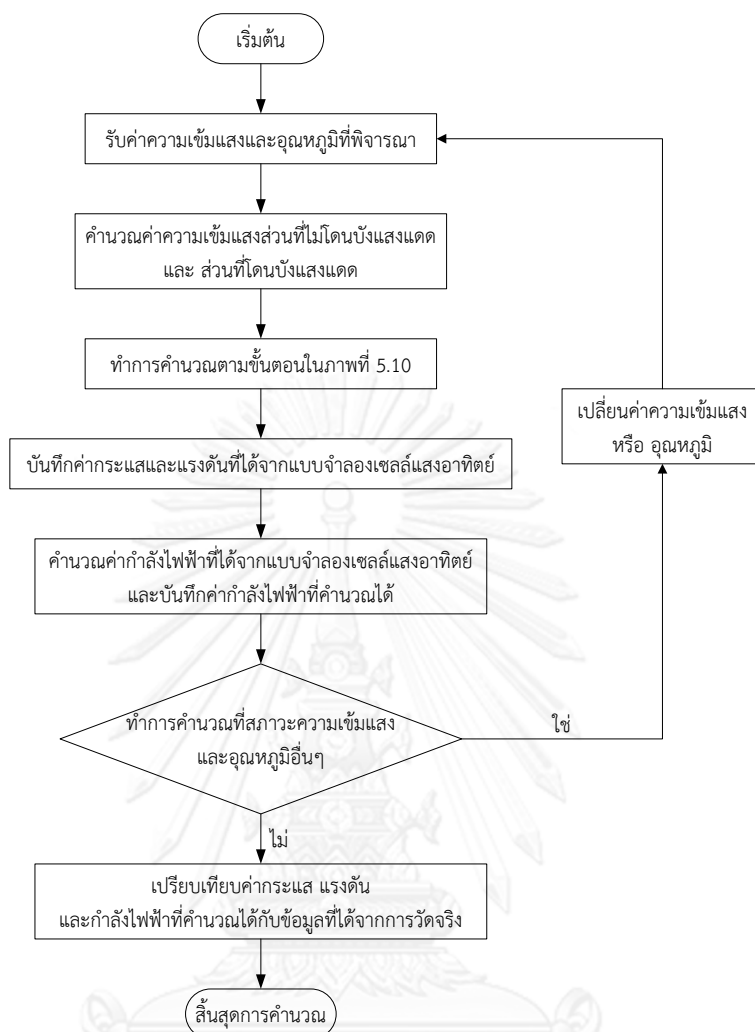
ภาพที่ 8.18 ลักษณะของการบังแสงแดดบนระบบทดสอบ

เนื่องจากอุปกรณ์วัดความเข้มแสงและอุปกรณ์วัดอุณหภูมิมีเพียงชิ้นเดียว ทำให้ไม่สามารถวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิส่วนที่โดนบังแสงแดดและส่วนที่ไม่โดนบังแสงแดดได้พร้อมกัน จึงถือว่าค่าอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนที่โดนบังแสงแดดมีค่าเท่ากับอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนที่ไม่โดนบังแสงแดด ในการบังแสงแดดได้ใช้ฟิล์มกรองแสงของบริษัท 3M รุ่น FX-HP30 ที่มีความสามารถในการสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร้อยละ 45 [41] ติดบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 โมดูล จากนั้นจึงคำนวณค่าความเข้มแสงที่ผ่านฟิล์มกรองแสงจากความเข้มแสงปกติเป็นค่าความเข้มแสงส่วนที่โดนบังแสงแดด ซึ่งระบบทดสอบผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์แสดงได้ดังภาพที่ 8.19



ภาพที่ 8.19 ระบบทดสอบผลกระทบการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

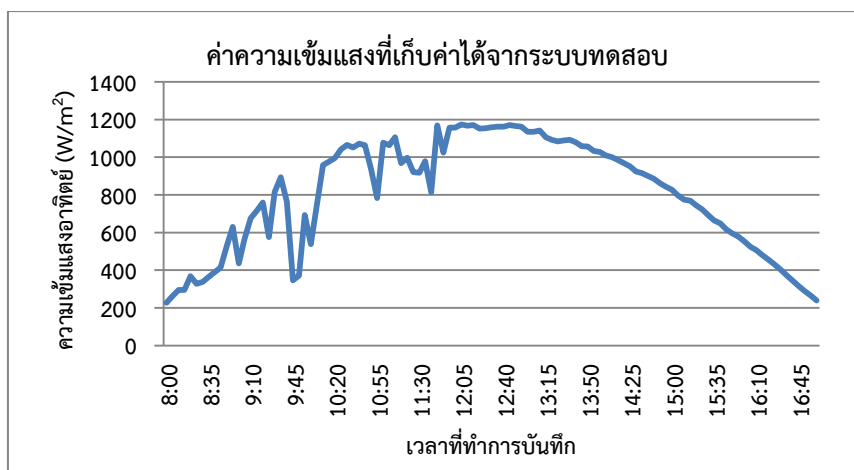
การเปรียบเทียบของการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยพิจารณาสภาพการบังแสงแดด กับ ค่าค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัดจริงจากระบบทดสอบในช่วงที่ระบบทดสอบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบไฟฟ้าของอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ พร้อมทั้งคิดค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง โดยขั้นตอนในการคำนวณค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีมีผลกระทบจากการบังแสงแดดเปรียบเทียบกับผลการวัดจริง แสดงได้ดังภาพที่ 8.20



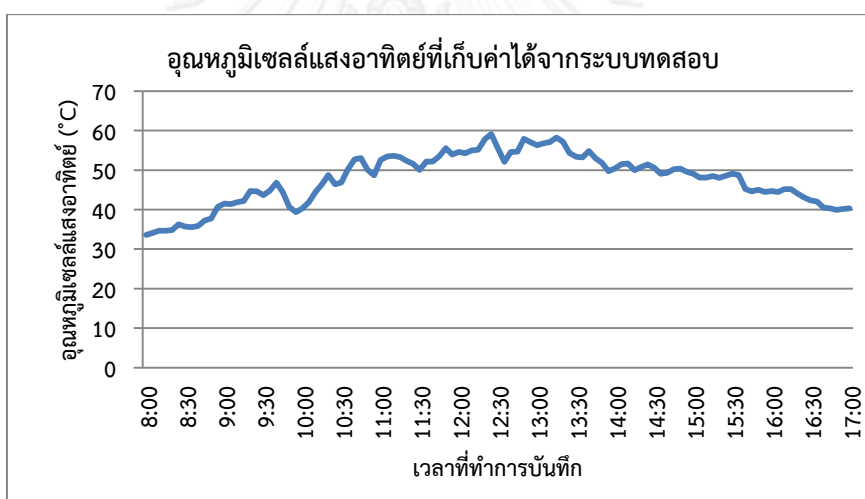
ภาพที่ 8.20 ขั้นตอนการเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับผลการวัดจริงเมื่อเกิดการบังแสงแดด

ในการเปรียบเทียบผลการบังแสงแดดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ จะยกตัวอย่างข้อมูลในวันที่ 20 เมษายน 2557 มาแสดงอย่างละเอียด

ในการทดสอบแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะพิจารณาจากความเข้มแสงและอุณหภูมิที่ระบบทดสอบได้รับใน 1 วัน โดยภาพที่ 8.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและเวลาที่ทำการบันทึกของระบบทดสอบ และภาพที่ 8.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์กับเวลาที่ทำการบันทึกของระบบทดสอบในวันที่ 20 เมษายน 2557

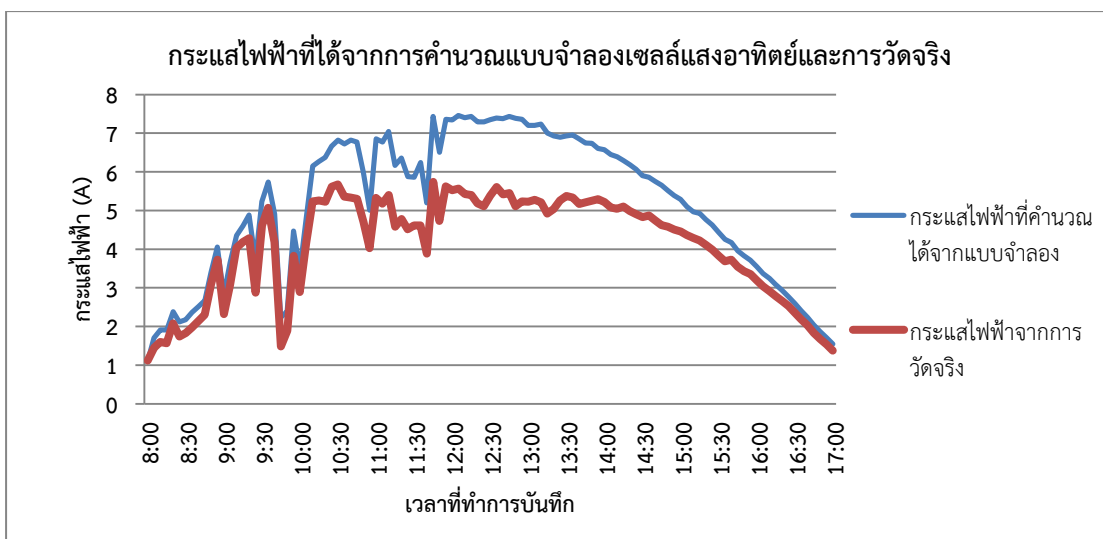


ภาพที่ 8.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและเวลาที่ทำการบันทึกของระบบทดสอบ
ในวันที่ 20 เมษายน 2557

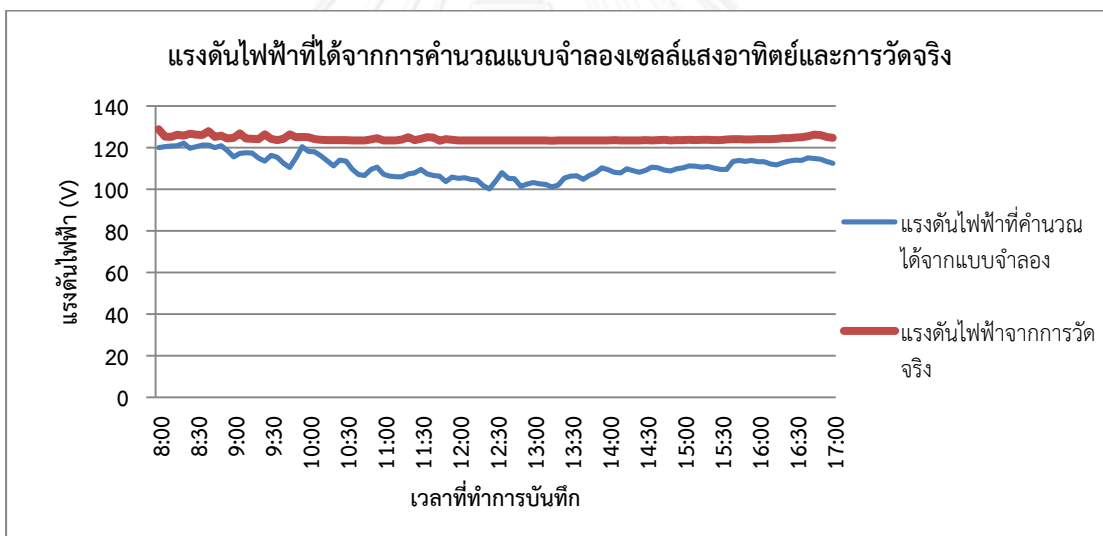


ภาพที่ 8.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์และเวลาที่ทำการบันทึกของระบบ
ทดสอบในวันที่ 20 เมษายน 2557

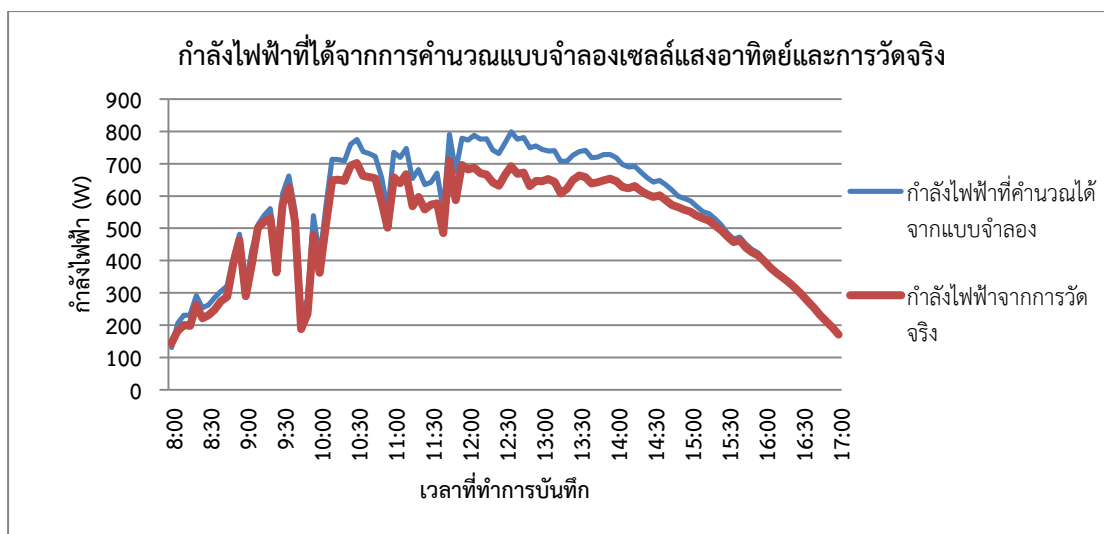
จากข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 8.21 และภาพที่ 8.22 สามารถมาคำนวณหาค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และทำการเปรียบเทียบกับค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัดจริงจากระบบทดสอบ โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่ากระแส แรงดันและกำลังไฟฟ้าได้ดังภาพที่ 8.23 ภาพที่ 8.24 และภาพที่ 8.25 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.23 การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่ได้จากการวัดจริงในวันที่ 20 เมษายน 2557



ภาพที่ 8.24 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่ได้จากการวัดจริงในวันที่ 20 เมษายน 2557



ภาพที่ 8.25 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่ได้จากการวัดจริงในวันที่ 20 เมษายน 2557

จากภาพที่ 8.23 จะพบว่าค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกับค่ากระแสที่ได้จากการวัดจริงในช่วงเช้าและช่วงเย็นเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิมีค่าไม่สูงมากทำให้ส่งผลต่อค่ากระแสที่คำนวณได้ไม่มาก แต่ในช่วงเวลากลางวันค่ากระแสที่คำนวณได้จากการคำนวณจะมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าในช่วงเช้าและเย็น เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อค่ากระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ที่คำนวณได้มีค่าเพิ่มขึ้นมาก จึงทำให้ผลการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อน โดยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริงมีค่าประมาณร้อยละ 23.11

จากภาพที่ 8.24 จะพบว่าค่าแรงดันที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันที่ได้จากการวัดจริง แต่มีค่าที่ต่ำกว่าเนื่องจากผลของอุณหภูมิของโมดูลที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อแรงดันเปิดวงจรมีค่าลดลง จึงทำให้ค่าแรงดันที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการวัดจริง โดยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของค่าแรงดันที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริงมีค่าประมาณร้อยละ 10.73

จากภาพที่ 8.25 จะพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัดจริง โดยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริงมีค่าประมาณร้อยละ 9.73

เมื่อเปรียบเทียบผลของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับโปรแกรม PVSYSY โดยตรวจสอบผลการบ่งแสงแดดภายใต้สภาวะการบ่งแสงแดดเดียวกัน ดังในภาพที่ 8.18 โดยทดสอบที่ความเข้มแสง

1,000 W/m² และอุณหภูมิ 25 °C และได้ผลการคำนวณจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และจากโปรแกรม PVSYST ดังตารางที่ 8.4

ตารางที่ 8.4 ผลการคำนวณการบังแสงแดดจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และจากโปรแกรม PVSYST

ระบบทดสอบ	กำลังไฟฟ้าเมื่อไม่เกิดการบังแสงแดด (W)	กำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังแสงแดด (W)	ร้อยละการสูญเสีย
PVSYST	1,205	957	20.58
แบบจำลอง	1,186.51	952.55	19.72

จากตารางที่ 8.4 จะพบว่าผลการคำนวณจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของรูปแบบทดสอบด้วยแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม PVSYST อยู่บ้าง แต่ร้อยละของกำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อเกิดการบังแสงแดดของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และโปรแกรม PVSYST มีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณร้อยละ 20

8.2.2 ผลการทดลองแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งสตรึงเมื่อโดนบังแสงแดด

หลังจากทำการแบบเปรียบเทียบผลการบังแสงแดดจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงแล้ว จึงทำการทดลองผลของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งสตรึงเมื่อเกิดการบังแสงแดด โดยการทดลองแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การจำลองข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ตรอน รุ่น SP120 เชื่อมต่อเป็นสตรึงที่ประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 โมดูลที่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรม เมื่อเกิดการบังแสงแดดในรูปแบบต่างๆกันภายใต้สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition : STC) ซึ่งแบ่งการทดลองของแบบจำลองออกเป็น 6 กรณี ดังนี้

- (1) กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 45%
- (2) กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 45%
- (3) กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 45%
- (4) กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 25%
- (5) กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 50%

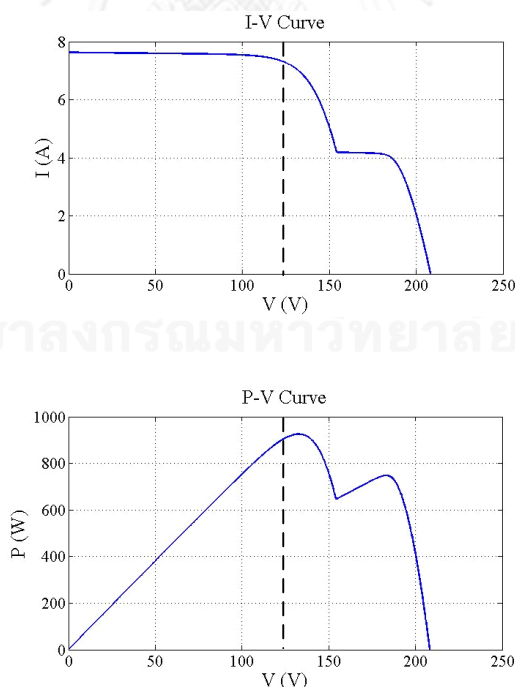
(6) กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 70%

โดยกรณีที่ 1 ถึงกรณีที่ 3 จะเป็นกรณีศึกษาจำนวนของโมดูลที่เกิดการบังแสงแดดต่อผลของการทำงานของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีที่ 4 ถึงกรณีที่ 6 จะเป็นกรณีศึกษาปริมาณร้อยละของการโดนบังแสงแดดต่อการผลการทำงานของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์

กรณีที่ 1 : กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 45%

สำหรับกรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 โมดูลนี้ จะมีลักษณะของสตริงดังแสดงในภาพที่ 8.18

จากภาพที่ 8.18 พบว่าจำนวนโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด (N_{shaded}) มีจำนวน 2 โมดูล และจำนวนโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด ($N_{unshaded}$) มีจำนวน 8 โมดูล จากนั้นทำการคำนวณค่าของจุดทำงานของสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดด้วยวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 5 จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าและแรงดันของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังในภาพที่ 8.26



ภาพที่ 8.26 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน (บน) และ กำลังไฟฟ้าและแรงดัน (ล่าง) ของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 โมดูล

จากภาพที่ 8.26 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันจะเกิดจุดยอด กำลังไฟฟ้าสูงสุดจำนวนสองยอด คือ 925.55 W และ 723.17 W โดยจุดยอดจุดแรกจะเกิดจากกลุ่มของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด และจุดยอดจุดที่สองจะเกิดจากกลุ่มของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด จะเห็นได้ว่าจุดยอดด้านซ้ายมือจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่าจุดยอดด้านขวามือ ดังนั้นอินเวอร์เตอร์จึงควรมีกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการค้นหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกรณีที่เกิดการบังแสงแดดได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้จุดทำงานที่ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอย่างแท้จริง

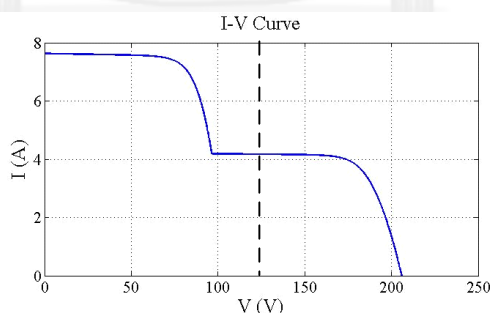
กรณีที่ 2 : กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 45%

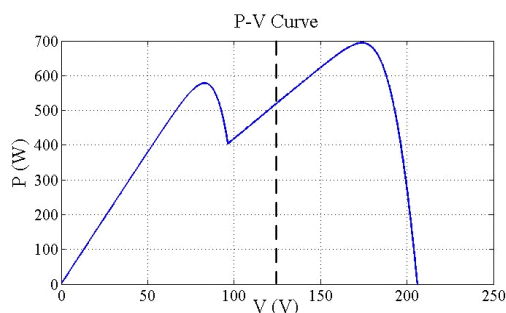
สำหรับกรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูลนี้ จะมีลักษณะของสตริงดังแสดงในภาพที่ 8.27



ภาพที่ 8.27 ลักษณะของสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล

จากภาพที่ 8.27 พบว่าจำนวนโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด (N_{shaded}) มีจำนวน 5 โมดูล และจำนวนโมดูลที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ($N_{unshaded}$) มีจำนวน 5 โมดูล จากนั้นทำการคำนวณค่าของจุดทำงานของสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดด้วยวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 5 จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าและแรงดันของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังในภาพที่ 8.28



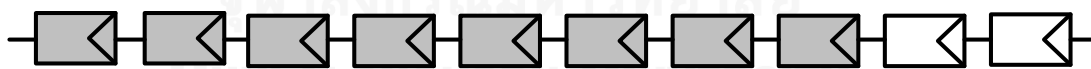


ภาพที่ 8.28 ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน (บน) และกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (ล่าง) ของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล

จากภาพที่ 8.28 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันจะเกิดจุดยอดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจำนวนสองยอด คือ 578.47 W และ 685.56 W โดยจุดยอดจุดแรกจะเกิดจากกลุ่มของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด และจุดยอดจุดที่สองจะเกิดจากกลุ่มของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด จะเห็นได้ว่าจุดยอดด้านซ้ายมือจะมีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำกว่าจุดยอดด้านขวามือ ซึ่งจะแตกต่างกับกรณีที่ 1 ดังนั้นอินเวอร์เตอร์จึงควรมีกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการค้นหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกรณีที่เกิดการบังแสงแดดได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้จุดทำงานที่ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอย่างแท้จริง ไม่ว่าจะจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเป็นจุดยอดใดก็ตาม

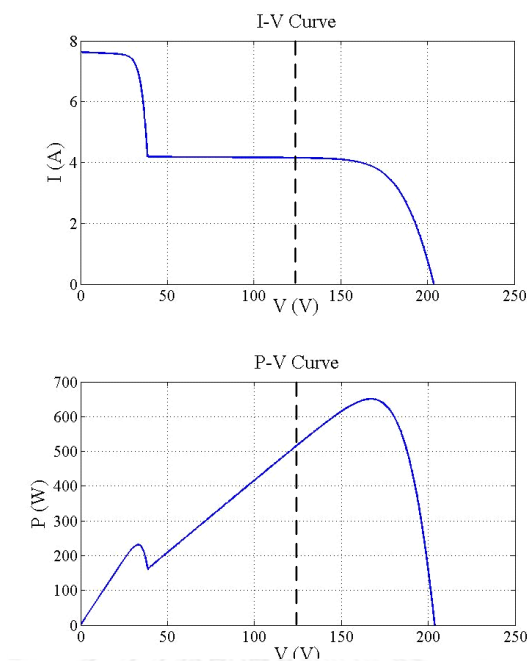
กรณีที่ 3 : กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 45%

สำหรับกรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 โมดูลนี้ จะมีลักษณะของสตริงดังแสดงในภาพที่ 8.29



ภาพที่ 8.29 ลักษณะของสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 โมดูล

จากภาพที่ 8.29 พบว่าจำนวนโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด (N_{shaded}) มีจำนวน 8 โมดูล และจำนวนโมดูลที่ไม่เกิดการบังแสงแดด ($N_{unshaded}$) มีจำนวน 2 โมดูล จากนั้นทำการคำนวณค่าของจุดทำงานของสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดด้วยวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 5 จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าและแรงดันของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังในภาพที่ 8.30



ภาพที่ 8.30 ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน (บน) และกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (ล่าง) ของสตริง เซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 โมดูล

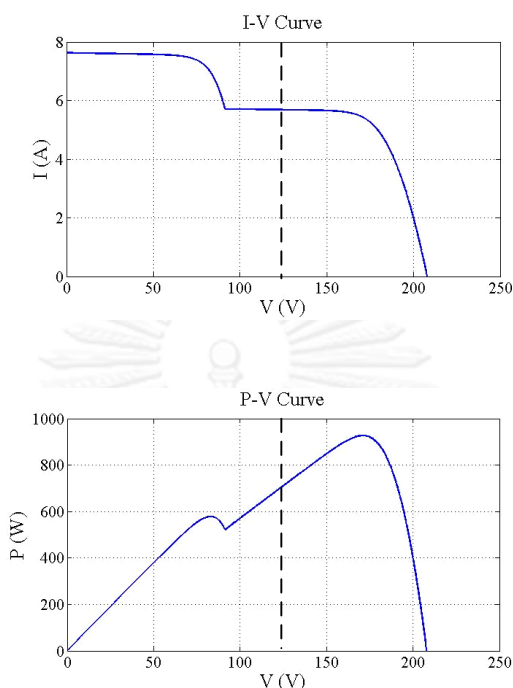
จากภาพที่ 8.30 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันจะเกิดจุดยอด กำลังไฟฟ้าสูงสุดจำนวนสองยอด คือ 231.39 W และ 648.40 W โดยจุดยอดจุดแรกจะเกิดจากกลุ่ม ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เกิดการบังแสงแดด และจุดยอดจุดที่สองจะเกิดจากกลุ่มของโมดูล เซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดด จะเห็นได้ว่าจุดยอดด้านซ้ายมือจะมีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำกว่าจุด ยอดด้านขวามือ ซึ่งจะแตกต่างกับกรณีที่ 1 และมีลักษณะเดียวกับกรณีที่ 2 ดังนั้นอินเวอร์เตอร์จึง ควรมีกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการค้นหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกรณีที่เกิดการบังแสงแดดได้ อย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้จุดทำงานที่ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอย่างแท้จริง

ในกรณีที่ 4 ถึงกรณีที่ 6 จะมีร้อยละของการโดนบังแสงแดดที่แตกต่างกันตามแต่ละกรณี แต่ มีจำนวนโมดูลที่เกิดการบังแสงแดดเท่ากัน คือ 5 โมดูล นั่นคือ มีจำนวนโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด (N_{shaded}) มีจำนวน 5 โมดูล และจำนวนโมดูลที่เกิดการบังแสงแดด ($N_{unshaded}$) มีจำนวน 5 โมดูล

กรณีที่ 4 : กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ร้อยละของการบัง แสงแดดเป็น 25%

สำหรับกรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 25% นี้ จะมีลักษณะของสตริงดังแสดงในภาพที่ 8.27 เช่นเดียวกับกรณีที่ 2 และทำการคำนวณค่า ของจุดทำงานของสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดด้วยวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 5 จะทำให้ได้

ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าและแรงดันของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังในภาพที่ 8.31

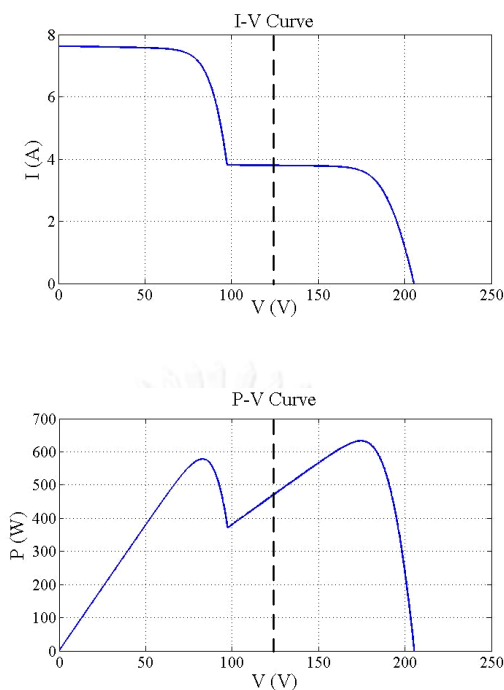


ภาพที่ 8.31 ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน (บน) และกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (ล่าง) ของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล และร้อยละของการโดนบังแสงแดดเป็น 25%

จากภาพที่ 8.31 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันจะเกิดจุดยอดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจำนวนสองยอด คือ 578.47 W และ 918 W

กรณีที่ 5 : กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 50%

สำหรับกรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 50% นี้ จะมีลักษณะของสตริงดังแสดงในภาพที่ 8.27 และทำการคำนวณค่าของจุดทำงานของสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดด้วยวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 5 จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าและแรงดันของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังในภาพที่ 8.32

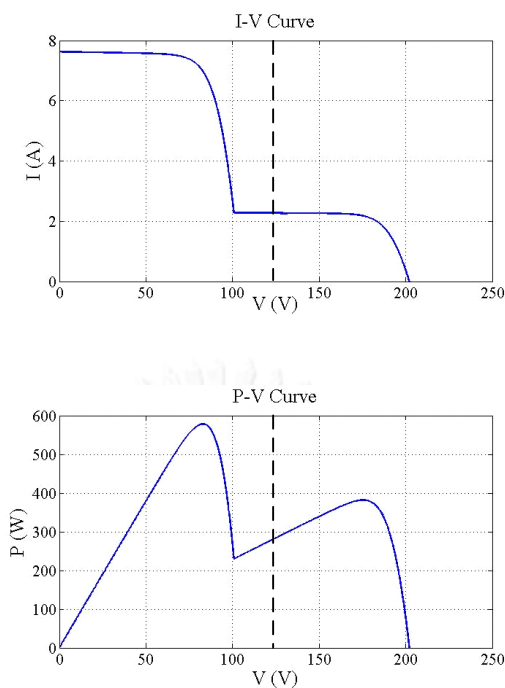


ภาพที่ 8.32 ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน (บน) และกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (ล่าง) ของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล และร้อยละของการโดนบังแสงแดดเป็น 50%

จากภาพที่ 8.32 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันจะเกิดจุดยอดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจำนวนสองยอด คือ 578.47 W และ 624.60 W

กรณีที่ 6 : กรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 70%

สำหรับกรณีที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล ร้อยละของการบังแสงแดดเป็น 70% นี้ จะมีลักษณะของสตริงดังแสดงในภาพที่ 8.27 และทำการคำนวณค่าของจุดทำงานของสตริงเมื่อเกิดการบังแสงแดดด้วยวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 5 จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าและแรงดันของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังในภาพที่ 8.33



ภาพที่ 8.33 ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน (บน) และกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (ล่าง) ของสตริง เซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแดดบนเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 5 โมดูล และร้อยละของการโดนบังแสงแดดเป็น 70%

จากภาพที่ 8.33 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันจะเกิดจุดยอดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจำนวนสองยอด คือ 578.47 W และ 380.01 W

จากกรณีที่ 1 ถึงกรณีที่ 6 จะสามารถสรุปผลของการทดลองการบังแสงแดดในแต่ละกรณีได้ดังตารางที่ 8.5

ตารางที่ 8.5 ผลการทดลองการบังแสงแดดในกรณีที่ 1 ถึงกรณีที่ 6 ภายใต้สภาวะมาตรฐาน (STC)

กรณี	ร้อยละของการบังแสงแดด	จำนวนโมดูลที่ถูกบังแสงแดด	จุดยอดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	
			จุดยอดที่ 1	จุดยอดที่ 2
1	45	2	925.55 W	723.17 W
2	45	5	578.47 W	685.56 W
3	45	8	231.39 W	648.40 W
4	25	5	578.47 W	918 W
5	50	5	578.47 W	624.60 W
6	70	5	578.47 W	380.01 W

จากตารางที่ 8.5 พบว่า ในกรณีที่ 1 ถึงกรณีที่ 3 เมื่อจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแต่มีจำนวนเพิ่มขึ้น ค่าของกำลังไฟฟ้าที่สตริงผลิตได้จะมีค่าลดลง ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าของจุดยอดกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้งสองจุดมีค่าลดลงด้วย

สำหรับในกรณีที่ 4 ถึงกรณีที่ 6 พบว่าเมื่อจำนวนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแต่มีจำนวนคงที่และร้อยละของการโดนบังแสงแต่มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าของกำลังไฟฟ้าที่สตริงผลิตได้มีค่าลดลง

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากรณีที่ 3 และ กรณีที่ 5 ในแง่ของความเข้มแสงรวมที่ทั้งสตริงได้รับจะพบว่าสำหรับกรณีที่ 3 จะได้รับค่าความเข้มแสงน้อยกว่ากรณีที่ 5 แต่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งก็คือจุดยอดที่ 2 ในทั้งสองกรณี จะพบว่าจุดทำงานกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกรณีที่ 3 กลับมีค่ามากกว่าจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกรณีที่ 5 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ในการพิจารณาผลของการบังแสงแต่โดยแบ่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งสตริงออกเป็น ส่วนที่โดนบังแสงแต่และส่วนที่ไม่โดนบังแสงแต่ เนื่องจากทุกโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในสตริงเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม ดังนั้นเมื่อความเข้มแสงลดลงเนื่องจากเกิดการบังแสงแต่ในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ค่าของกระแสตัวจรของทุกๆโมดูลในกลุ่มของโมดูลที่เกิดการบังแสงแต่มีค่าลดลง แต่เมื่อมีการเพิ่มจำนวนของโมดูลที่เกิดการบังแสงแต่ จะทำให้ค่าของกระแสตัวจรแค่เพียงของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแต่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยลงเท่านั้น หรือกล่าวได้ว่าการลดลงของความเข้มแสงเนื่องจากการบังแสงแต่จะส่งผลต่อกำลังการผลิตของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าจำนวนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดการบังแสงแต่

8.3 ผลการทดลองผลกระทบของการบังแสงแต่ต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

ในการทดลองส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลกระทบของการบังแสงแต่ต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผลกระทบการบังแสงแต่ต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์มีผลมาจากการเคลื่อนที่ของเมฆ ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ให้เกิดการบังแสงแต่ ในการเปรียบเทียบผลกระทบของการบังแสงแต่ต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ก่อนและหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ตามที่ได้นำเสนอแนวคิดตั้งในบทที่ 6 ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ใช้ข้อมูลทางเทคนิคและลักษณะการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบที่ 2 และ ระบบทดสอบที่ 3 ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 7 ในการทดลองส่วนนี้ จะแบ่งหัวข้อการทดลองออกเป็นดังนี้

8.3.1 ร้อยละความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

8.3.2 ฤดูกาลที่แตกต่างกัน

8.3.1 ร้อยละการบังแสงแดดที่แตกต่างกัน

ในการทดลองนี้เป็นการทดลองผลกระทบการบังแสงแดดต่อระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพิจารณาร้อยละการบังแสงแดดที่แตกต่างกัน โดยที่มีลักษณะการโดนบังแสงแดดที่เหมือนกันและระยะเวลาในการบังแสงแดดที่เท่ากัน และทำการเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ระหว่างก่อนจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวคิดที่ได้นำเสนอ ในการทดลองได้ใช้ระบบทดสอบระบบที่ 2 และ 3 เป็นระบบในการทดลอง ซึ่งระบบทดสอบระบบที่ 2 และ 3 นี้เป็นแบบจำลองอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับข้อมูลมาจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยโดยแบบจำลองมีลักษณะการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ดังในภาพที่ 7.9 และภาพที่ 7.11 ตามลำดับ

ในการทดลองได้ใช้ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 8 เมษายน 2557 ที่ทำการบันทึกจากอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสมมติให้ทำการทดลองการบังแสงแดดดังแสดงในตารางที่ 8.6 และให้ร้อยละของการบังแสงแดดแต่ละระบบมีค่าเป็นร้อยละ 30 และ 50 ตามลำดับ โดยลักษณะของการบังแสงแดดตลอดระยะเวลาทำการทดลองเป็นรูปแบบเดียว ซึ่งผลการทดลองและการเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละระบบได้ดังต่อไปนี้

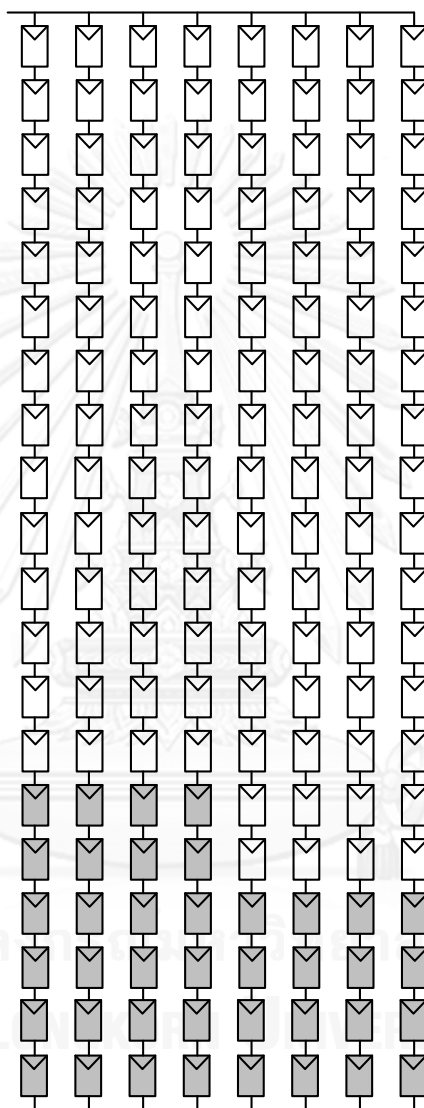
ตารางที่ 8.6 ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 8 เมษายน 2557 ณ ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองร้อยละการบังแสงแดดที่แตกต่างกัน

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	5	10	15	20	25	30
ความเข้มแสง (W/m^2)	833.53	876.37	893.41	868.52	884.46	902.47
อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	43.62	46.33	49.19	47.34	48.34	50.27

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	35	40	45	50	55	60
ความเข้มแสง (W/m^2)	905.70	951.88	941.69	979.50	973.31	969.08
อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	52.70	52.07	48.22	50.14	51.17	48.57

8.3.1.1 การเปรียบเทียบผลกระทบร้อยละการบังแสงแดดของระบบทดสอบระบบที่ 2

การทดลองผลกระทบการบังแสงแดดต่อระบบทดสอบระบบที่ 2 นี้ ได้จำลองเหตุการณ์การบังแสงแดดเกิดขึ้นบนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เป็นพื้นที่ร้อยละ 25 ของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 8.34



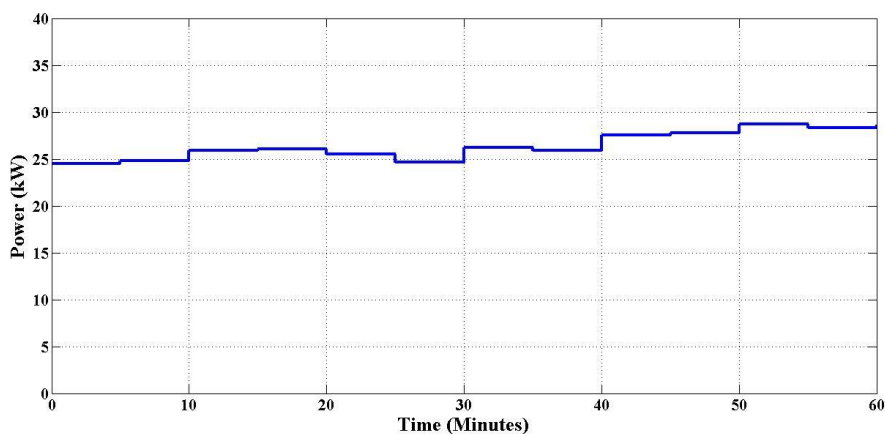
ภาพที่ 8.34 ลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นบนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2

จากภาพที่ 8.34 สามารถเขียนระบุตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละโมดูลที่เชื่อมต่อกันเป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2 ได้ดังภาพที่ 8.35

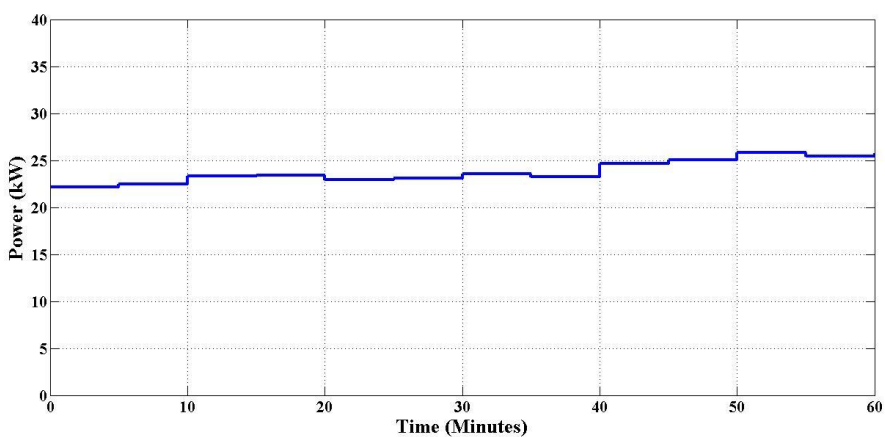
1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6
1,7	2,7	3,7	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7
1,8	2,8	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8
1,9	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9
1,10	2,10	3,10	4,10	5,10	6,10	7,10	8,10
1,11	2,11	3,11	4,11	5,11	6,11	7,11	8,11
1,12	2,12	3,12	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12
1,13	2,13	3,13	4,13	5,13	6,13	7,13	8,13
1,14	2,14	3,14	4,14	5,14	6,14	7,14	8,14
1,15	2,15	3,15	4,15	5,15	6,15	7,15	8,15
1,16	2,16	3,16	4,16	5,16	6,16	7,16	8,16
1,17	2,17	3,17	4,17	5,17	6,17	7,17	8,17
1,18	2,18	3,18	4,18	5,18	6,18	7,18	8,18
1,19	2,19	3,19	4,19	5,19	6,19	7,19	8,19
1,20	2,20	3,20	4,20	5,20	6,20	7,20	8,20

ภาพที่ 8.35 ตำแหน่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2

จากลักษณะการบังแสงแดดของระบบทดสอบระบบที่ 2 ดังในภาพที่ 8.34 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาโดยใช้ขั้นตอนในการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่แสดงในภาพที่ 5.14 ซึ่งสามารถหาค่าของกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดดโดยร้อยละของการบังแสงแดดมีค่าเป็น 30 และ 50 ได้ดังภาพที่ 8.36 และ ภาพที่ 8.37 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.36 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดดร้อยละ 30



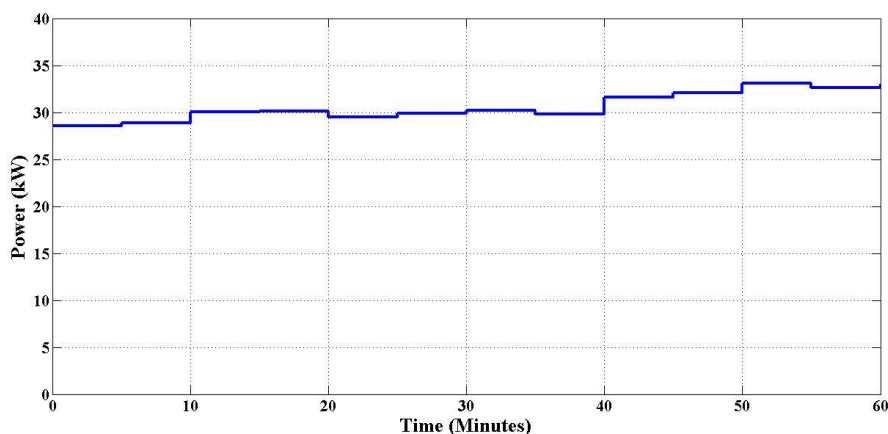
ภาพที่ 8.37 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดดร้อยละ 50

จากภาพที่ 8.35 สามารถจัดเรียงโครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรียเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบการบังแสงแดดต่อระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวคิดที่นำเสนอในหัวข้อที่ 6.5 โดยใช้ขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 6.11 ทำการจัดเรียงโครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 8.38

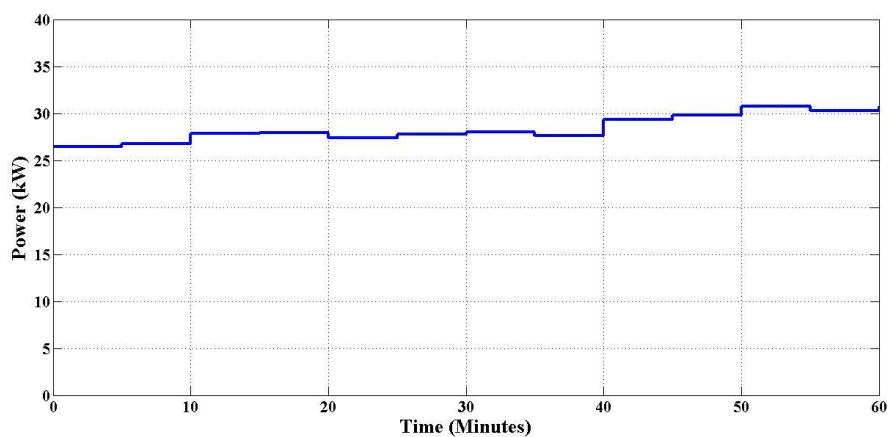
1,18	1,15	1,13	1,11	1,8	1,6	1,3	1,1
1,19	1,16	1,14	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,17	2,13	2,11	1,10	2,6	1,5	2,1
2,18	2,15	2,14	2,12	2,8	2,7	2,3	2,2
2,19	2,16	3,13	3,11	2,9	3,6	2,4	3,1
2,20	2,17	3,14	3,12	2,10	3,7	2,5	3,2
3,18	3,15	4,13	4,11	3,8	4,6	3,3	4,1
3,19	3,16	4,14	4,12	3,9	4,7	3,4	4,2
3,20	3,17	5,14	5,11	3,10	5,6	3,5	5,1
4,18	4,15	5,15	5,12	4,8	5,7	4,3	5,2
4,19	4,16	5,16	5,13	4,9	5,8	4,4	5,3
4,20	4,17	6,14	6,11	4,10	6,6	4,5	6,1
5,19	5,17	6,15	6,12	5,9	6,7	5,4	6,2
5,20	5,18	6,16	6,13	5,10	6,8	5,5	6,3
6,19	6,17	7,14	7,11	6,9	7,6	6,4	7,1
6,20	6,18	7,15	7,12	6,10	7,7	6,5	7,2
7,19	7,17	7,16	7,13	7,9	7,8	7,4	7,3
7,20	7,18	8,14	8,11	7,10	8,6	7,5	8,1
8,19	8,17	8,15	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	8,18	8,16	8,13	8,10	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.38 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2

จากภาพที่ 8.38 สามารถหาค่าของกำลังไฟฟ้าหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดดโดยร้อยละของการบังแสงแดดมีค่าเป็น 30 และ 50 ได้ดังภาพที่ 8.39 และ ภาพที่ 8.40 ตามลำดับ

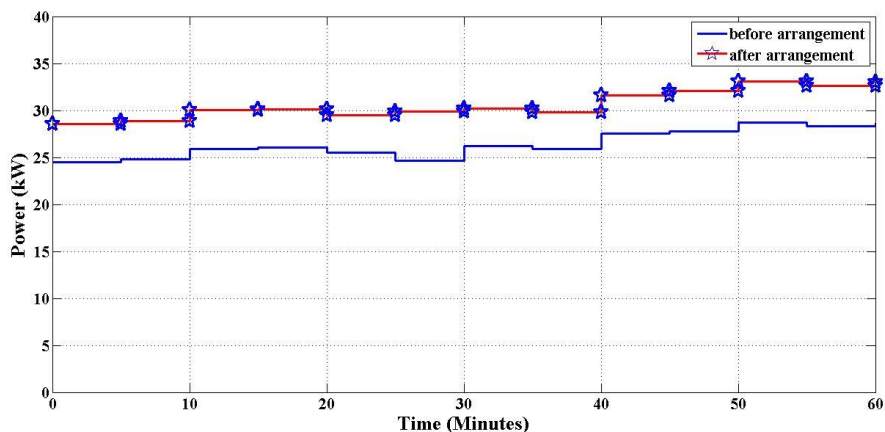


ภาพที่ 8.39 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดดร้อยละ 30

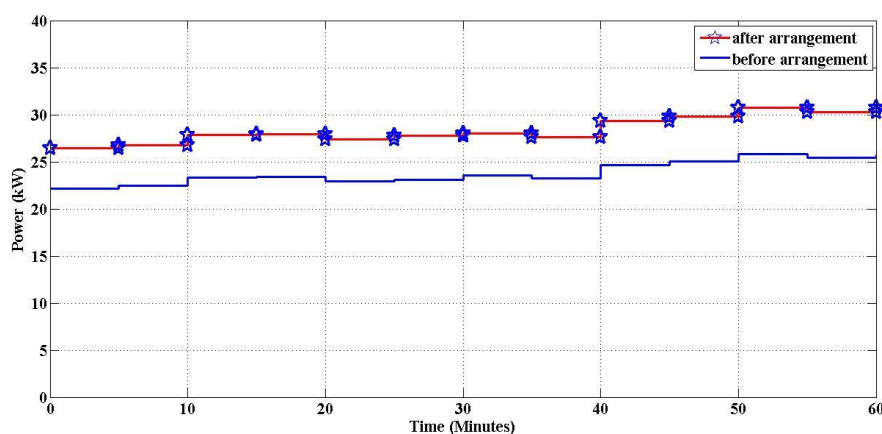


ภาพที่ 8.40 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดดร้อยละ 50

เมื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ทั้งก่อนการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว จะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ระหว่างก่อนการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ในร้อยละของการบังแสงแดดที่มีค่า 30 และ 50 ได้ดังภาพที่ 8.41 และ ภาพที่ 8.42 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.41 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่การบังแสงแดดร้อยละ 30

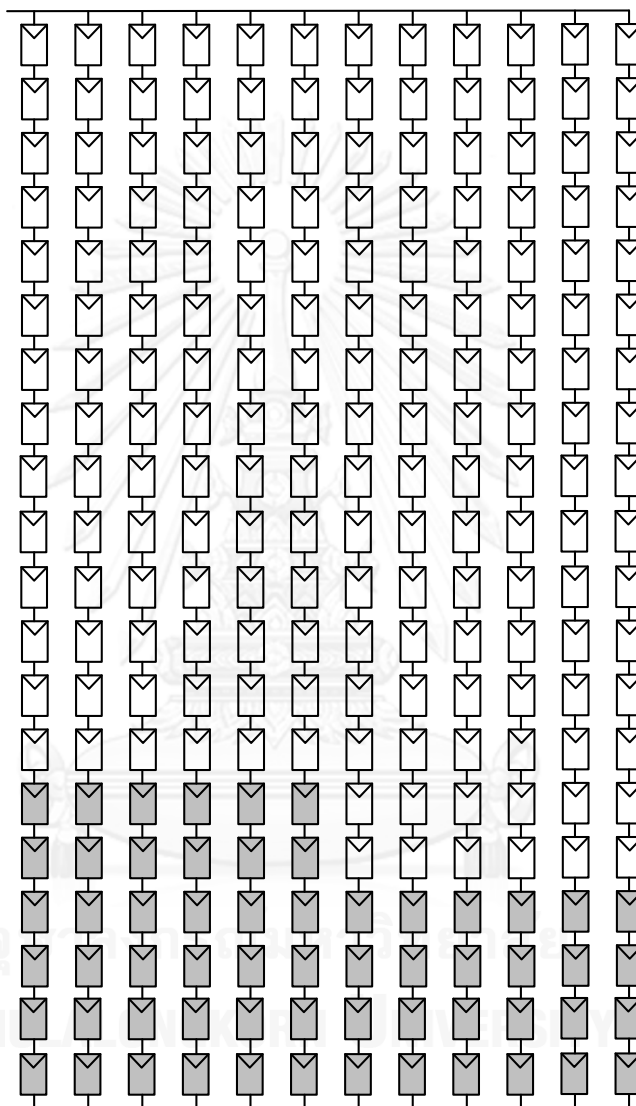


ภาพที่ 8.42 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่การบังแสงแดดร้อยละ 50

จากภาพที่ 8.41 และภาพที่ 8.42 พบว่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้หลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยในภาพที่ 8.41 เป็นเหตุการณ์ที่เกิดการบังแสงแดดร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 เทียบกับก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 274 kWh และในภาพที่ 8.42 เป็นเหตุการณ์ที่เกิดการบังแสงแดดร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 19 เทียบกับก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 300 kWh

8.3.1.2 การเปรียบเทียบผลกระทบบริ่ย่อยละการบังแสงแดดของระบบทดสอบระบบที่ 3

การทดลองผลกระทบบริ่ย่อยละการบังแสงแดดต่อระบบทดสอบระบบที่ 3 นี้ ได้จำลองเหตุการณ์การบังแสงแดดเกิดขึ้นบนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เป็นพื้นที่ร้อยละ 25 ของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 8.43



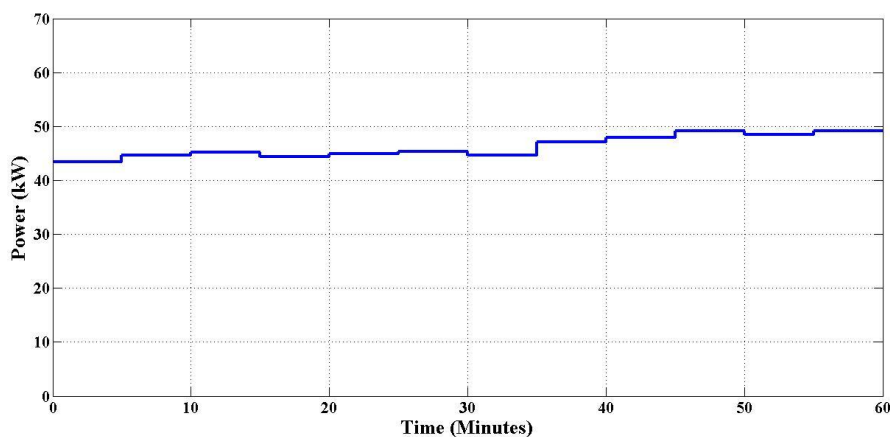
ภาพที่ 8.43 ลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นบนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 3

จากภาพที่ 8.43 สามารถเขียนระบุตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละโมดูลที่เชื่อมต่อกันเป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 3 ได้ดังภาพที่ 8.44

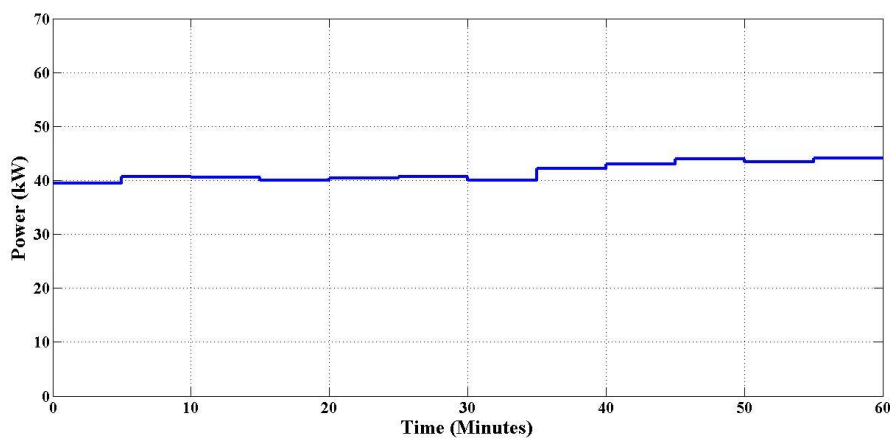
1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	9,1	10,1	11,1	12,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2	9,2	10,2	11,2	12,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	9,3	10,3	11,3	12,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4	9,4	10,4	11,4	12,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5
1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6	9,6	10,6	11,6	12,6
1,7	2,7	3,7	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7	9,7	10,7	11,7	12,7
1,8	2,8	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8	9,8	10,8	11,8	12,8
1,9	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9	9,9	10,9	11,9	12,9
1,10	2,10	3,10	4,10	5,10	6,10	7,10	8,10	9,10	10,10	11,10	12,10
1,11	2,11	3,11	4,11	5,11	6,11	7,11	8,11	9,11	10,11	11,11	12,11
1,12	2,12	3,12	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12	9,12	10,12	11,12	12,12
1,13	2,13	3,13	4,13	5,13	6,13	7,13	8,13	9,13	10,13	11,13	12,13
1,14	2,14	3,14	4,14	5,14	6,14	7,14	8,14	9,14	10,14	11,14	12,14
1,15	2,15	3,15	4,15	5,15	6,15	7,15	8,15	9,15	10,15	11,15	12,15
1,16	2,16	3,16	4,16	5,16	6,16	7,16	8,16	9,16	10,16	11,16	12,16
1,17	2,17	3,17	4,17	5,17	6,17	7,17	8,17	9,17	10,17	11,17	12,17
1,18	2,18	3,18	4,18	5,18	6,18	7,18	8,18	9,18	10,18	11,18	12,18
1,19	2,19	3,19	4,19	5,19	6,19	7,19	8,19	9,19	10,19	11,19	12,19
1,20	2,20	3,20	4,20	5,20	6,20	7,20	8,20	9,20	10,20	11,20	12,20

ภาพที่ 8.44 ตำแหน่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 3

จากลักษณะการบังแสงแดดของระบบทดสอบระบบที่ 3 ดังในภาพที่ 8.43 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาโดยใช้ขั้นตอนในการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่แสดงในภาพที่ 5.14 ซึ่งสามารถหาค่าของกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดดโดยร้อยละของการบังแสงแดดมีค่าเป็น 30 และ 50 ได้ดังภาพที่ 8.45 และ ภาพที่ 8.46 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.45 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดดร้อยละ 30



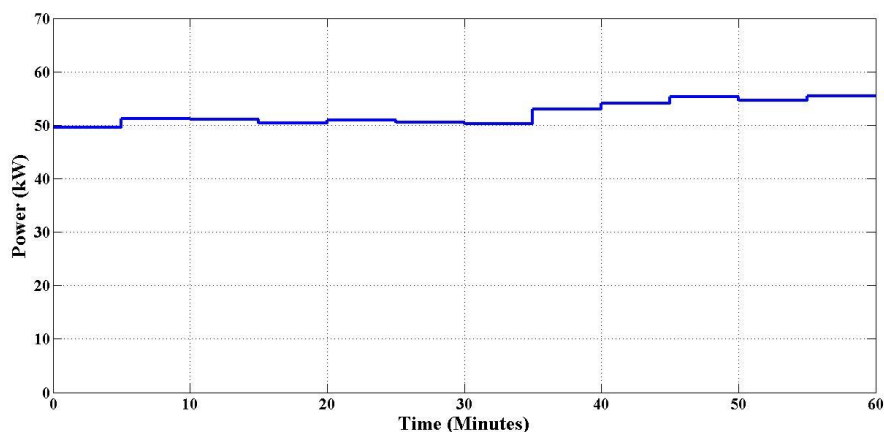
ภาพที่ 8.46 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดดร้อยละ 50

จากภาพที่ 8.44 สามารถจัดเรียงโครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรียเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบการบังแสงแดดต่อระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวคิดที่นำเสนอในหัวข้อที่ 6.5 โดยใช้ขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 6.11 ทำการจัดเรียงโครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 8.47

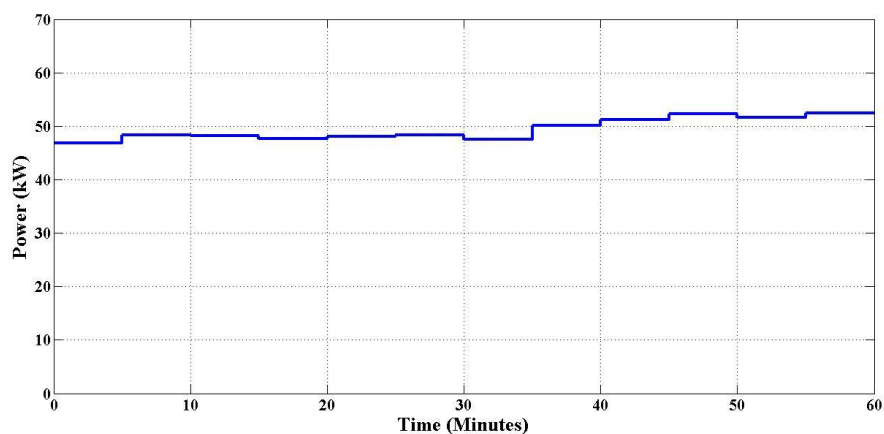
1,19	1,17	1,15	1,14	1,12	1,11	1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1
1,20	1,18	1,16	2,14	1,13	2,11	1,10	1,8	2,6	1,5	1,3	2,1
2,19	2,17	2,15	3,14	2,12	3,11	2,9	2,7	3,6	2,4	2,2	3,1
2,20	2,18	2,16	4,14	2,13	4,11	2,10	2,8	4,6	2,5	2,3	4,1
3,19	3,17	3,15	5,14	3,12	5,11	3,9	3,7	5,6	3,4	3,2	5,1
3,20	3,18	3,16	6,14	3,13	5,12	3,10	3,8	5,7	3,5	3,3	5,2
4,19	4,17	4,15	7,14	4,12	6,11	4,9	4,7	6,6	4,4	4,2	6,1
4,20	4,18	4,16	7,15	4,13	6,12	4,10	4,8	6,7	4,5	4,3	6,2
5,19	5,18	5,15	7,16	5,13	7,11	5,9	5,8	7,6	5,4	5,3	7,1
5,20	6,18	5,16	8,14	6,13	7,12	5,10	6,8	7,7	5,5	6,3	7,2
6,19	7,18	5,17	8,15	7,13	8,11	6,9	7,8	8,6	6,4	7,3	8,1
6,20	8,18	6,15	8,16	8,13	8,12	6,10	8,8	8,7	6,5	8,3	8,2
7,19	9,18	6,16	9,15	9,13	9,11	7,9	9,8	9,6	7,4	9,3	9,1
7,20	9,19	6,17	9,16	9,14	9,12	7,10	9,9	9,7	7,5	9,4	9,2
8,19	10,18	7,17	10,15	10,13	10,11	8,9	10,8	10,6	8,4	10,3	10,1
8,20	10,19	8,17	10,16	10,14	10,12	8,10	10,9	10,7	8,5	10,4	10,2
9,20	11,18	9,17	11,15	11,13	11,11	9,10	11,8	11,6	9,5	11,3	11,1
10,20	11,19	10,17	11,16	11,14	11,12	10,10	11,9	11,7	10,5	11,4	11,2
11,20	12,18	11,17	12,15	12,13	12,11	11,10	12,8	12,6	11,5	12,3	12,1
12,20	12,19	12,17	12,16	12,14	12,12	12,10	12,9	12,7	12,5	12,4	12,2

ภาพที่ 8.47 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 3

จากภาพที่ 8.47 สามารถหาค่าของกำลังไฟฟ้าหลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดดโดยร้อยละของการบังแสงแดดมีค่าเป็น 30 และ 50 ได้ดังภาพที่ 8.48 และ ภาพที่ 8.49 ตามลำดับ

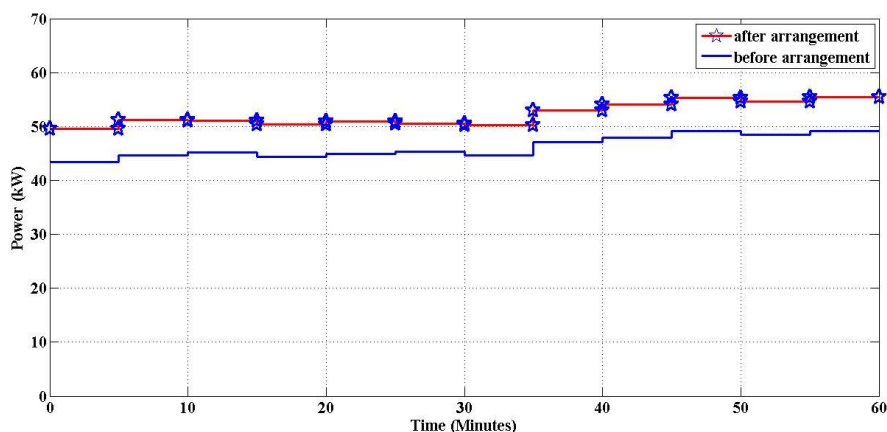


ภาพที่ 8.48 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดดร้อยละ 30

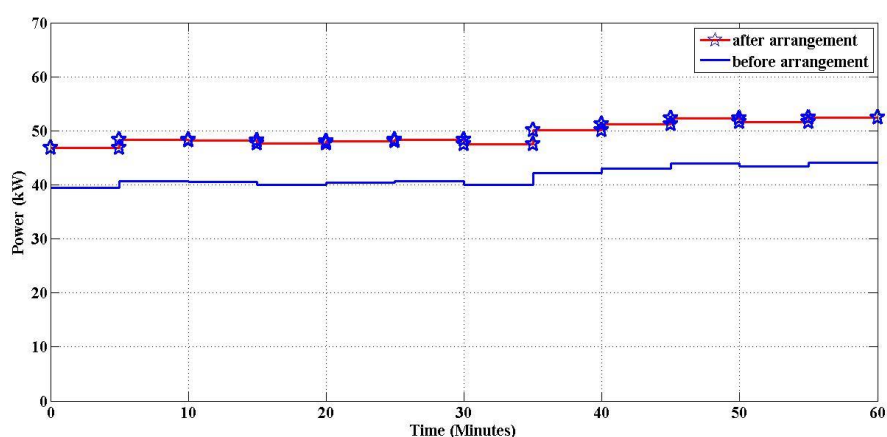


ภาพที่ 8.49 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาซึ่งเกิดการบังแสงแดดร้อยละ 50

เมื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ทั้งก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์แล้ว จะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ระหว่างก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในร้อยละของการบังแสงแดดที่มีค่า 30 และ 50 ได้ดังภาพที่ 8.50 และ ภาพที่ 8.51 ตามลำดับ



ภาพที่ 8.50 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่การบังแสงแดดร้อยละ 30



ภาพที่ 8.51 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่การบังแสงแดดร้อยละ 50

จากภาพที่ 8.50 และภาพที่ 8.51 พบว่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้หลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยในภาพที่ 8.50 เป็นเหตุการณ์ที่เกิดการบังแสงแดดร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 14 เทียบกับก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 400 kWh และในภาพที่ 8.51 เป็นเหตุการณ์ที่เกิดการบังแสงแดดร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 19 เทียบกับก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 500 kWh

8.3.2 การบังแสงแดดในฤดูกาลที่แตกต่างกัน

ในหัวข้อที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการเกิดการบังแสงแดดที่มีสาเหตุจากการเคลื่อนที่ของเมฆผ่านระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนมีจำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ยไม่เท่ากัน โดยในช่วงฤดูฝนจะมีจำนวนการบังแสงแดดเกิดขึ้นมากที่สุด ช่วงฤดูร้อนมีจำนวนการบังแสงแดดเกิดขึ้นปานกลาง และฤดูหนาวมีจำนวนการบังแสงแดดเกิดขึ้นน้อยที่สุด ในการทดลองนี้จึงพิจารณาผลกระทบการบังแสงแดดต่อระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในฤดูกาลที่แตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลจำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเดือนจากตารางที่ 4.2 และทิศทางของลมที่ระดับความสูง 2 กิโลเมตรจากระดับน้ำทะเลในแต่ละเดือนจากตารางที่ 4.4 ร่วมกับข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดจริงมาใช้ในการออกแบบการทดลอง

ในการทดลอง จะทำการเลือกวันและเดือนของข้อมูลในแต่ละฤดูกาลเพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลของฤดูกาลนั้นๆ โดยให้ร้อยละของการบังแสงแดดในการทดลองนี้ คือ ร้อยละ 50 จากความเข้มแสงปกติ และใช้ระบบทดสอบระบบที่ 2 เป็นระบบในการทดลอง ซึ่งผลการทดลองและการเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ได้ผลดังต่อไปนี้

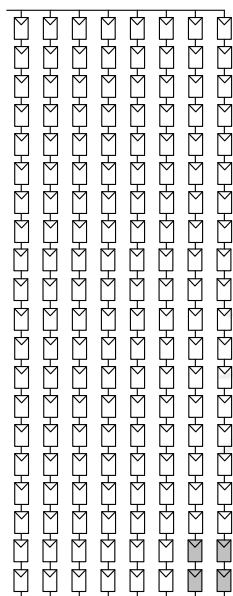
8.3.2.1 การเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดในฤดูหนาว

การเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดในฤดูหนาวได้เลือกตัวแทนข้อมูลของความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 2 มกราคม 2556 ดังแสดงในตารางที่ 8.7 และสมมติทิศทางเคลื่อนที่ของเมฆโดยใช้ข้อมูลทิศทางของลมในเดือนมกราคมจากตารางที่ 4.4 โดยทิศทางของลมในเดือนมกราคมเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปยังทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และจำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคมจากตารางที่ 4.2 โดยจำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ยต่อวันในเดือนมกราคมมีจำนวน 1 ครั้ง การทดลองกำหนดให้ระยะเวลาการบังแสงแดดเกิดขึ้น 1 ครั้ง โดยให้มีลักษณะการเคลื่อนที่ของการบังแสงแดดแสดงดังภาพที่ 8.52

ตารางที่ 8.7 ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 2 มกราคม 2556 ณ ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองการบังแสงแดดในฤดูกาลที่แตกต่างกัน

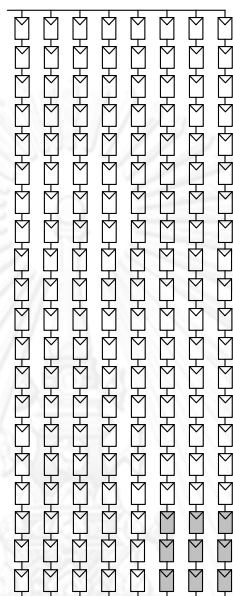
เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	5	10	15	20	25	30
ความเข้มแสง (W/m^2)	840.79	843.97	842.41	855.65	873.33	889.36
อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	46.36	44.84	44.42	44.86	47.97	49.88

เวลาที่พิจารณา (นาทีที่)	35	40	45	50	55	60
ความเข้มแสง (W/m^2)	901.47	914.19	917.29	918.58	940.58	952.04
อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	50.87	50.61	50.64	49.14	48.51	49.19



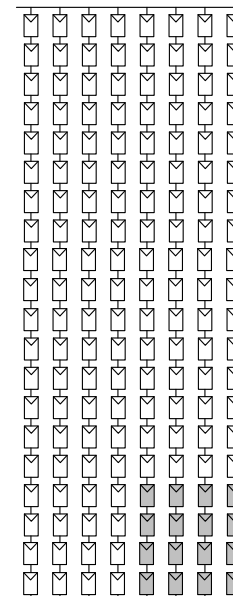
ลักษณะการบังแสงแดด

ลักษณะที่ 1



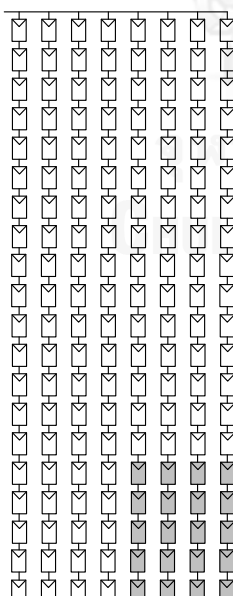
ลักษณะการบังแสงแดด

ลักษณะที่ 2



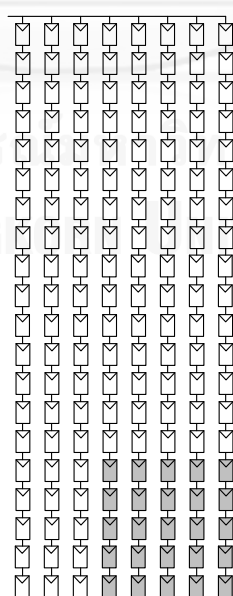
ลักษณะการบังแสงแดด

ลักษณะที่ 3



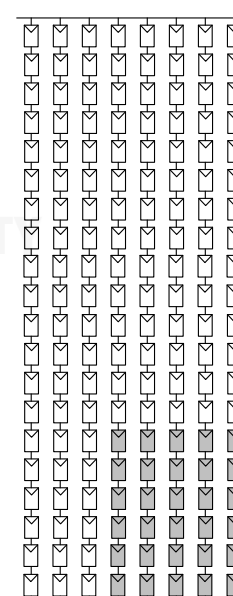
ลักษณะการบังแสงแดด

ลักษณะที่ 4



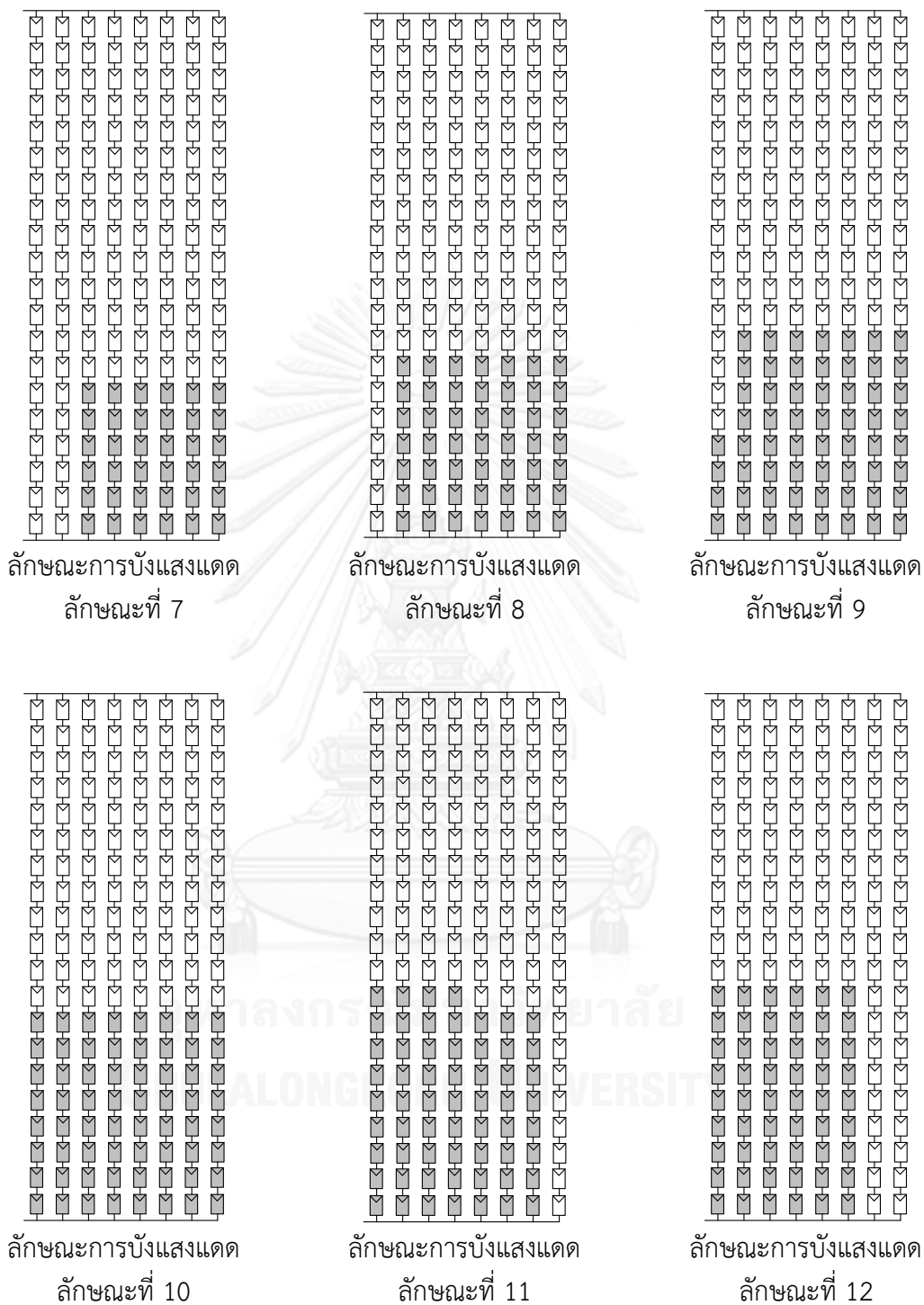
ลักษณะการบังแสงแดด

ลักษณะที่ 5



ลักษณะการบังแสงแดด

ลักษณะที่ 6



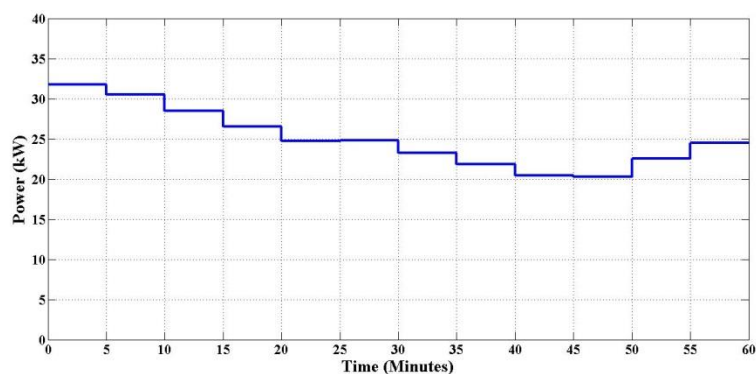
ภาพที่ 8.52 ลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา

จากอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2 สามารถระบุตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละโมดูลที่เชื่อมต่อกัน ได้ดังภาพที่ 8.53

1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6
1,7	2,7	3,7	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7
1,8	2,8	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8
1,9	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9
1,10	2,10	3,10	4,10	5,10	6,10	7,10	8,10
1,11	2,11	3,11	4,11	5,11	6,11	7,11	8,11
1,12	2,12	3,12	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12
1,13	2,13	3,13	4,13	5,13	6,13	7,13	8,13
1,14	2,14	3,14	4,14	5,14	6,14	7,14	8,14
1,15	2,15	3,15	4,15	5,15	6,15	7,15	8,15
1,16	2,16	3,16	4,16	5,16	6,16	7,16	8,16
1,17	2,17	3,17	4,17	5,17	6,17	7,17	8,17
1,18	2,18	3,18	4,18	5,18	6,18	7,18	8,18
1,19	2,19	3,19	4,19	5,19	6,19	7,19	8,19
1,20	2,20	3,20	4,20	5,20	6,20	7,20	8,20

ภาพที่ 8.53 ตำแหน่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2

จากลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นบนระบบทดสอบระบบที่ 2 ดังในภาพที่ 8.52 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาโดยใช้ขั้นตอนในการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่แสดงในภาพที่ 5.14 ซึ่งสามารถหาของค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดด ได้ดังภาพที่ 8.54



ภาพที่ 8.54 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดด

จากภาพที่ 8.52 สามารถจัดเรียงโครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบการบังแสงแดดต่อระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวคิดที่นำเสนอในหัวข้อที่ 6.5 โดยใช้ขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 6.11 ทำการจัดเรียงโครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ได้ ดังภาพที่ 8.55 ถึงภาพที่ 8.77

8,18	8,16	8,13	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,19	8,17	8,14	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	7,16	8,15	7,11	8,10	7,6	8,5	7,1
7,18	7,17	7,13	7,12	7,8	7,7	7,3	7,2
7,19	6,16	7,14	6,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,20	6,17	7,15	6,12	7,10	6,7	7,5	6,2
6,18	5,16	6,13	5,11	6,8	5,6	6,3	5,1
6,19	5,17	6,14	5,12	6,9	5,7	6,4	5,2
6,20	4,16	6,15	4,11	6,10	4,6	6,5	4,1
5,18	4,17	5,13	4,12	5,8	4,7	5,3	4,2
5,19	4,18	5,14	4,13	5,9	4,8	5,4	4,3
5,20	3,16	5,15	3,11	5,10	3,6	5,5	3,1
4,19	3,17	4,14	3,12	4,9	3,7	4,4	3,2
4,20	3,18	4,15	3,13	4,10	3,8	4,5	3,3
3,19	2,16	3,14	2,11	3,9	2,6	3,4	2,1
3,20	2,17	3,15	2,12	3,10	2,7	3,5	2,2
2,19	2,18	2,14	2,13	2,9	2,8	2,4	2,3
2,20	1,16	2,15	1,11	2,10	1,6	2,5	1,1
1,19	1,17	1,14	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,18	1,15	1,13	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.55 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 1

8,18	8,16	8,13	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,19	8,17	8,14	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	7,16	8,15	7,11	8,10	7,6	8,5	7,1
7,18	7,17	7,13	7,12	7,8	7,7	7,3	7,2
7,19	6,16	7,14	6,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,20	6,17	7,15	6,12	7,10	6,7	7,5	6,2
6,18	5,16	6,13	5,11	6,8	5,6	6,3	5,1
6,19	5,17	6,14	5,12	6,9	5,7	6,4	5,2
6,20	4,16	6,15	4,11	6,10	4,6	6,5	4,1
5,18	4,17	5,13	4,12	5,8	4,7	5,3	4,2
5,19	4,18	5,14	4,13	5,9	4,8	5,4	4,3
5,20	3,16	5,15	3,11	5,10	3,6	5,5	3,1
4,19	3,17	4,14	3,12	4,9	3,7	4,4	3,2
4,20	3,18	4,15	3,13	4,10	3,8	4,5	3,3
3,19	2,16	3,14	2,11	3,9	2,6	3,4	2,1
3,20	2,17	3,15	2,12	3,10	2,7	3,5	2,2
2,19	2,18	2,14	2,13	2,9	2,8	2,4	2,3
2,20	1,16	2,15	1,11	2,10	1,6	2,5	1,1
1,19	1,17	1,14	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,18	1,15	1,13	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.56 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 2

8,17	8,16	8,13	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,18	7,16	8,14	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,19	6,16	8,15	7,11	8,10	7,6	8,5	7,1
8,20	5,16	7,13	7,12	7,8	7,7	7,3	7,2
7,17	4,16	7,14	6,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,18	4,17	7,15	6,12	7,10	6,7	7,5	6,2
7,19	4,18	6,13	5,11	6,8	5,6	6,3	5,1
7,20	4,19	6,14	5,12	6,9	5,7	6,4	5,2
6,17	3,16	6,15	4,11	6,10	4,6	6,5	4,1
6,18	3,17	5,13	4,12	5,8	4,7	5,3	4,2
6,19	3,18	5,14	4,13	5,9	4,8	5,4	4,3
6,20	3,19	5,15	3,11	5,10	3,6	5,5	3,1
5,17	2,16	4,14	3,12	4,9	3,7	4,4	3,2
5,18	2,17	4,15	3,13	4,10	3,8	4,5	3,3
5,19	2,18	3,14	2,11	3,9	2,6	3,4	2,1
5,20	2,19	3,15	2,12	3,10	2,7	3,5	2,2
4,20	1,16	2,14	2,13	2,9	2,8	2,4	2,3
3,20	1,17	2,15	1,11	2,10	1,6	2,5	1,1
2,20	1,18	1,14	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,19	1,15	1,13	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.57 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 3

8,16	8,13	8,11	8,9	8,8	8,6	8,3	8,1
8,17	8,14	8,12	8,10	7,8	8,7	8,4	8,2
8,18	8,15	7,11	7,9	6,8	7,6	8,5	7,1
8,19	7,13	7,12	7,10	5,8	7,7	7,3	7,2
8,20	7,14	6,11	6,9	5,9	6,6	7,4	6,1
7,16	7,15	6,12	6,10	4,9	6,7	7,5	6,2
7,17	6,13	5,11	5,10	3,9	5,6	6,3	5,1
7,18	6,14	5,12	4,10	2,9	5,7	6,4	5,2
7,19	6,15	4,11	3,10	1,9	4,6	6,5	4,1
7,20	5,13	4,12	2,10	1,10	4,7	5,3	4,2
6,16	5,14	3,11	2,11	1,11	4,8	5,4	4,3
6,17	5,15	3,12	2,12	1,12	3,6	5,5	3,1
6,18	4,13	3,13	2,13	1,13	3,7	4,4	3,2
6,19	4,14	3,14	2,14	1,14	3,8	4,5	3,3
6,20	4,15	3,15	2,15	1,15	2,6	3,4	2,1
5,16	4,16	3,16	2,16	1,16	2,7	3,5	2,2
5,17	4,17	3,17	2,17	1,17	2,8	2,4	2,3
5,18	4,18	3,18	2,18	1,18	1,6	2,5	1,1
5,19	4,19	3,19	2,19	1,19	1,7	1,4	1,2
5,20	4,20	3,20	2,20	1,20	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.58 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 4

8,17	8,14	8,12	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,18	8,15	8,13	7,11	8,9	8,7	8,4	8,2
8,19	8,16	7,12	6,11	8,10	7,6	8,5	7,1
8,20	7,14	7,13	5,11	7,8	7,7	7,3	7,2
7,17	7,15	6,12	4,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,18	7,16	6,13	4,12	7,10	6,7	7,5	6,2
7,19	6,14	5,12	3,11	6,8	5,6	6,3	5,1
7,20	6,15	5,13	3,12	6,9	5,7	6,4	5,2
6,17	6,16	4,13	2,11	6,10	4,6	6,5	4,1
6,18	5,14	4,14	2,12	5,8	4,7	5,3	4,2
6,19	5,15	3,13	1,11	5,9	4,8	5,4	4,3
6,20	5,16	3,14	1,12	5,10	3,6	5,5	3,1
5,17	4,15	2,13	1,13	4,9	3,7	4,4	3,2
5,18	4,16	2,14	1,14	4,10	3,8	4,5	3,3
5,19	3,15	2,15	1,15	3,9	2,6	3,4	2,1
5,20	3,16	2,16	1,16	3,10	2,7	3,5	2,2
4,17	3,17	2,17	1,17	2,9	2,8	2,4	2,3
4,18	3,18	2,18	1,18	2,10	1,6	2,5	1,1
4,19	3,19	2,19	1,19	1,9	1,7	1,4	1,2
4,20	3,20	2,20	1,20	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.59 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 5

8,18	8,15	8,13	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,19	8,16	8,14	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	8,17	7,13	7,11	8,10	7,6	8,5	7,1
7,18	7,15	7,14	7,12	7,8	7,7	7,3	7,2
7,19	7,16	6,13	6,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,20	7,17	6,14	6,12	7,10	6,7	7,5	6,2
6,18	6,15	5,13	5,11	6,8	5,6	6,3	5,1
6,19	6,16	5,14	5,12	6,9	5,7	6,4	5,2
6,20	6,17	4,14	4,11	6,10	4,6	6,5	4,1
5,18	5,15	3,14	4,12	5,8	4,7	5,3	4,2
5,19	5,16	3,15	4,13	5,9	4,8	5,4	4,3
5,20	5,17	3,16	3,11	5,10	3,6	5,5	3,1
4,18	4,15	2,14	3,12	4,9	3,7	4,4	3,2
4,19	4,16	2,15	3,13	4,10	3,8	4,5	3,3
4,20	4,17	2,16	2,11	3,9	2,6	3,4	2,1
3,19	3,17	2,17	2,12	3,10	2,7	3,5	2,2
3,20	3,18	1,14	2,13	2,9	2,8	2,4	2,3
2,19	2,18	1,15	1,11	2,10	1,6	2,5	1,1
2,20	1,18	1,16	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,19	1,17	1,13	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.60 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 6

8,17	8,15	8,13	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,18	8,16	8,14	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,19	7,15	7,13	7,11	8,10	7,6	8,5	7,1
8,20	7,16	7,14	7,12	7,8	7,7	7,3	7,2
7,17	6,15	6,13	6,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,18	6,16	6,14	6,12	7,10	6,7	7,5	6,2
7,19	6,17	5,13	5,11	6,8	5,6	6,3	5,1
7,20	5,15	5,14	5,12	6,9	5,7	6,4	5,2
6,18	5,16	4,14	4,11	6,10	4,6	6,5	4,1
6,19	5,17	3,13	4,12	5,8	4,7	5,3	4,2
6,20	4,15	2,14	4,13	5,9	4,8	5,4	4,3
5,18	4,16	2,15	3,11	5,10	3,6	5,5	3,1
5,19	4,17	2,16	3,12	4,9	3,7	4,4	3,2
5,20	3,15	2,17	3,13	4,10	3,8	4,5	3,3
4,18	3,16	2,18	2,11	3,9	2,6	3,4	2,1
4,19	3,17	1,14	2,12	3,10	2,7	3,5	2,2
4,20	3,18	1,15	2,13	2,9	2,8	2,4	2,3
3,20	3,19	1,16	1,11	2,10	1,6	2,5	1,1
2,20	2,19	1,17	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,19	1,18	1,13	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.61 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 7

8,17	8,15	8,13	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,18	8,16	8,14	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,19	7,15	7,13	7,11	8,10	7,6	8,5	7,1
8,20	7,16	7,14	7,12	7,8	7,7	7,3	7,2
7,17	6,15	6,13	6,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,18	6,16	6,14	6,12	7,10	6,7	7,5	6,2
7,19	6,17	5,13	5,11	6,8	5,6	6,3	5,1
7,20	5,15	5,14	5,12	6,9	5,7	6,4	5,2
6,18	5,16	4,14	4,11	6,10	4,6	6,5	4,1
6,19	5,17	3,14	4,12	5,8	4,7	5,3	4,2
6,20	4,15	3,15	4,13	5,9	4,8	5,4	4,3
5,18	4,16	2,14	3,11	5,10	3,6	5,5	3,1
5,19	4,17	2,15	3,12	4,9	3,7	4,4	3,2
5,20	3,16	1,14	3,13	4,10	3,8	4,5	3,3
4,18	3,17	1,15	2,11	3,9	2,6	3,4	2,1
4,19	2,16	1,16	2,12	3,10	2,7	3,5	2,2
4,20	2,17	1,17	2,13	2,9	2,8	2,4	2,3
3,18	2,18	1,18	1,11	2,10	1,6	2,5	1,1
3,19	2,19	1,19	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
3,20	2,20	1,20	1,13	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.62 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 8

8,17	8,15	8,13	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,18	8,16	8,14	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,19	7,15	7,13	7,11	8,10	7,6	8,5	7,1
8,20	7,16	7,14	7,12	7,8	7,7	7,3	7,2
7,18	7,17	6,13	6,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,19	6,15	6,14	6,12	7,10	6,7	7,5	6,2
7,20	6,16	5,13	5,11	6,8	5,6	6,3	5,1
6,18	6,17	5,14	5,12	6,9	5,7	6,4	5,2
6,19	5,15	4,13	4,11	6,10	4,6	6,5	4,1
6,20	5,16	4,14	4,12	5,8	4,7	5,3	4,2
5,18	5,17	4,15	3,11	5,9	4,8	5,4	4,3
5,19	4,16	3,13	3,12	5,10	3,6	5,5	3,1
5,20	4,17	3,14	2,11	4,9	3,7	4,4	3,2
4,19	4,18	3,15	2,12	4,10	3,8	4,5	3,3
4,20	3,16	2,13	1,11	3,9	2,6	3,4	2,1
3,19	3,17	2,14	1,12	3,10	2,7	3,5	2,2
3,20	3,18	2,15	1,13	2,9	2,8	2,4	2,3
2,19	2,18	2,16	1,14	2,10	1,6	2,5	1,1
2,20	1,18	2,17	1,15	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,19	1,17	1,16	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.63 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 9

8,18	8,16	8,13	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,19	8,17	8,14	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	7,16	8,15	7,11	8,10	7,6	8,5	7,1
7,18	7,17	7,13	7,12	7,8	7,7	7,3	7,2
7,19	6,16	7,14	6,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,20	6,17	7,15	6,12	7,10	6,7	7,5	6,2
6,18	5,16	6,13	5,11	6,8	5,6	6,3	5,1
6,19	5,17	6,14	5,12	6,9	5,7	6,4	5,2
6,20	4,16	6,15	4,11	6,10	4,6	6,5	4,1
5,18	4,17	5,13	4,12	5,8	4,7	5,3	4,2
5,19	4,18	5,14	4,13	5,9	4,8	5,4	4,3
5,20	3,16	5,15	3,11	5,10	3,6	5,5	3,1
4,19	3,17	4,14	3,12	4,9	3,7	4,4	3,2
4,20	3,18	4,15	3,13	4,10	3,8	4,5	3,3
3,19	2,16	3,14	2,11	3,9	2,6	3,4	2,1
3,20	2,17	3,15	2,12	3,10	2,7	3,5	2,2
2,19	2,18	2,14	2,13	2,9	2,8	2,4	2,3
2,20	1,16	2,15	1,11	2,10	1,6	2,5	1,1
1,19	1,17	1,14	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,18	1,15	1,13	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.64 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 10

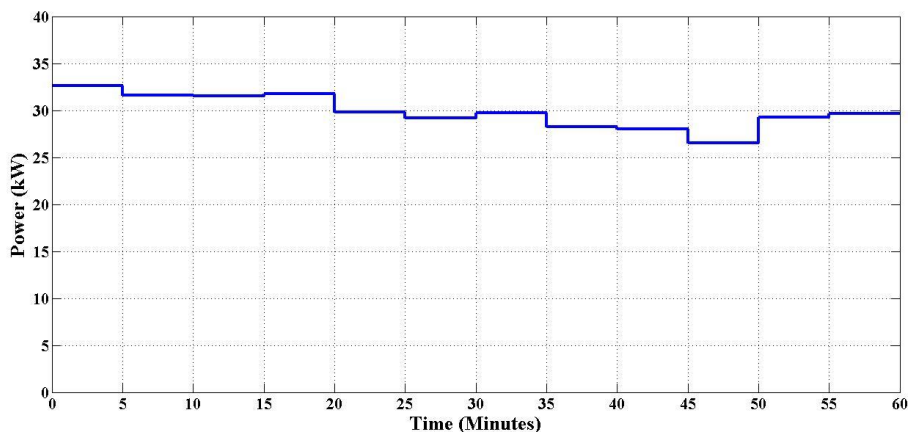
1,17	1,14	1,12	1,11	1,8	1,6	1,3	1,1
1,18	1,15	1,13	2,11	1,9	1,7	1,4	1,2
1,19	1,16	2,12	3,11	1,10	2,6	1,5	2,1
1,20	2,14	2,13	4,11	2,8	2,7	2,3	2,2
2,17	2,15	3,12	5,11	2,9	3,6	2,4	3,1
2,18	2,16	3,13	5,12	2,10	3,7	2,5	3,2
2,19	3,14	4,12	6,11	3,8	4,6	3,3	4,1
2,20	3,15	4,13	6,12	3,9	4,7	3,4	4,2
3,17	3,16	5,13	7,11	3,10	5,6	3,5	5,1
3,18	4,14	5,14	7,12	4,8	5,7	4,3	5,2
3,19	4,15	6,13	8,11	4,9	5,8	4,4	5,3
3,20	4,16	6,14	8,12	4,10	6,6	4,5	6,1
4,17	5,15	7,13	8,13	5,9	6,7	5,4	6,2
4,18	5,16	7,14	8,14	5,10	6,8	5,5	6,3
4,19	6,15	7,15	8,15	6,9	7,6	6,4	7,1
4,20	6,16	7,16	8,16	6,10	7,7	6,5	7,2
5,17	6,17	7,17	8,17	7,9	7,8	7,4	7,3
5,18	6,18	7,18	8,18	7,10	8,6	7,5	8,1
5,19	6,19	7,19	8,19	8,9	8,7	8,4	8,2
5,20	6,20	7,20	8,20	8,10	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.65 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 11

1,16	1,13	1,11	1,9	1,8	1,6	1,3	1,1
1,17	1,14	1,12	1,10	2,8	1,7	1,4	1,2
1,18	1,15	2,11	2,9	3,8	2,6	1,5	2,1
1,19	2,13	2,12	2,10	4,8	2,7	2,3	2,2
1,20	2,14	3,11	3,9	4,9	3,6	2,4	3,1
2,16	2,15	3,12	3,10	5,9	3,7	2,5	3,2
2,17	3,13	4,11	4,10	6,9	4,6	3,3	4,1
2,18	3,14	4,12	5,10	7,9	4,7	3,4	4,2
2,19	3,15	5,11	6,10	8,9	5,6	3,5	5,1
2,20	4,13	5,12	7,10	8,10	5,7	4,3	5,2
3,16	4,14	6,11	7,11	8,11	5,8	4,4	5,3
3,17	4,15	6,12	7,12	8,12	6,6	4,5	6,1
3,18	5,13	6,13	7,13	8,13	6,7	5,4	6,2
3,19	5,14	6,14	7,14	8,14	6,8	5,5	6,3
3,20	5,15	6,15	7,15	8,15	7,6	6,4	7,1
4,16	5,16	6,16	7,16	8,16	7,7	6,5	7,2
4,17	5,17	6,17	7,17	8,17	7,8	7,4	7,3
4,18	5,18	6,18	7,18	8,18	8,6	7,5	8,1
4,19	5,19	6,19	7,19	8,19	8,7	8,4	8,2
4,20	5,20	6,20	7,20	8,20	8,8	8,5	8,3

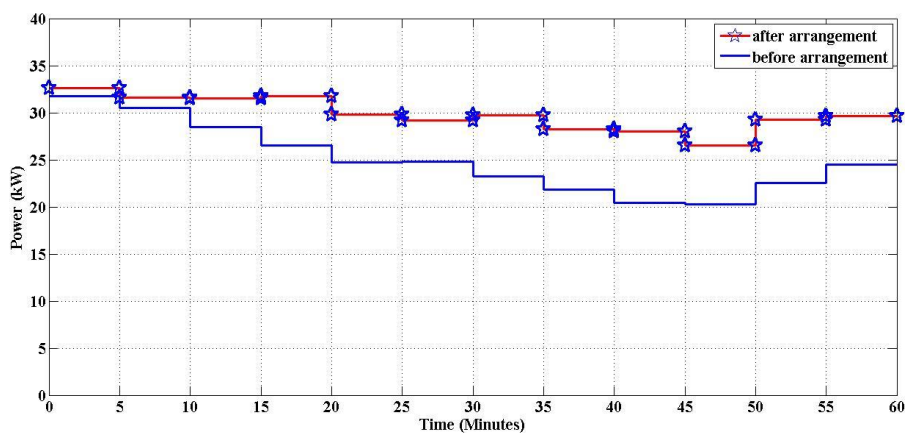
ภาพที่ 8.66 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 12

จากภาพที่ 8.55 ถึงภาพที่ 8.66 สามารถหาค่าของกำลังไฟฟ้าหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์
แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดด ได้ดังภาพที่ 8.67



ภาพที่ 8.67 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ทั้งก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แล้ว จะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ได้ดังภาพที่ 8.68



ภาพที่ 8.68 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 8.68 กำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8.8 และค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละช่วงเวลาก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8.9

ตารางที่ 8.8 กำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	5	10	15	20	25	30
ก่อนการจัดเรียง (W)	31,722.82	30,540.23	28,452.57	26,537.52	24,725.19	24,768.3
หลังการจัดเรียง (W)	32,595.77	31,580.86	31,500.98	31,766.65	29,770.83	29,211.25
กำลังไฟฟ้าที่ได้ เพิ่มขึ้น (W)	872.95	1,040.63	3,048.41	5,229.13	5,045.64	4,442.95
ร้อยละของ กำลังไฟฟ้าที่ เพิ่มขึ้น	2.75	3.41	10.71	19.707	20.41	17.94

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	35	40	45	50	55	60
ก่อนการจัดเรียง (W)	23,274.82	21,872.1	20,452.28	20,310.06	22,533.48	24,459.37
หลังการจัดเรียง (W)	29,716.49	28,212.98	27,978.3	26,519.43	29,252.56	29,662.76
กำลังไฟฟ้าที่ได้ เพิ่มขึ้น (W)	6,441.67	6,340.88	7,526.02	6,209.37	6,719.08	5,203.39
ร้อยละของ กำลังไฟฟ้าที่ เพิ่มขึ้น	27.68	28.99	36.80	30.57	29.82	21.27

ตารางที่ 8.9 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาก่อนการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	5	10	15	20	25	30
ก่อนการจัดเรียง (V)	542.8	524.6	491.1	594.6	590.8	568.6
หลังการจัดเรียง (V)	568.6	572.4	576.0	570.4	553.8	531.4

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	35	40	45	50	55	60
ก่อนการจัดเรียง (V)	570.4	574.2	584.9	587.1	580.0	570.4
หลังการจัดเรียง (V)	528.0	533.6	533.6	546.4	544.6	542.8

จากตารางที่ 8.8 เมื่อทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้หลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดดมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 290 kWh และจากตารางที่ 8.9 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลามีค่าที่อยู่ในช่วงค่าพิกัดแรงดันที่อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้

เมื่อพิจารณาลักษณะการเคลื่อนที่ของการบังแสงแดดในภาพที่ 8.52 กับความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาในภาพที่ 8.54 พบว่าเมื่อจำนวนคอลัมน์ของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่โดนบังแสงแดดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลง ถึงแม้ว่าความเข้มแสงในช่วงนั้นๆ จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นก็ตาม แต่เมื่อทำการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แล้ว จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงมีค่าเพิ่มขึ้นดังที่เห็นในภาพที่ 8.68

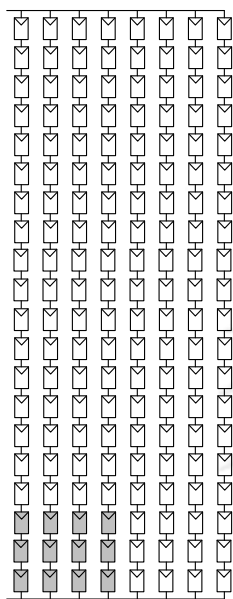
8.3.2.2 การเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดในฤดูร้อน

การเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดในฤดูร้อนได้เลือกตัวแทนข้อมูลของความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 2 เมษายน 2556 ดังแสดงในตารางที่ 8.10 และสมมติทิศทางการเคลื่อนที่ของเมฆโดยใช้ข้อมูลทิศทางของลมในเดือนเมษายนจากตารางที่ 4.4 โดยทิศทางของลมในเดือนเมษายนเคลื่อนที่จากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ และจำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในเดือนเมษายนจากตารางที่ 4.2 โดยจำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ยต่อวันในเดือนเมษายนมีจำนวน 3 ครั้ง การทดลองกำหนดให้ระยะเวลาการบังแสงแดดเกิดขึ้น 1 ครั้ง โดยให้มีลักษณะการเคลื่อนที่ของการบังแสงแดดแสดงดังภาพที่ 8.69

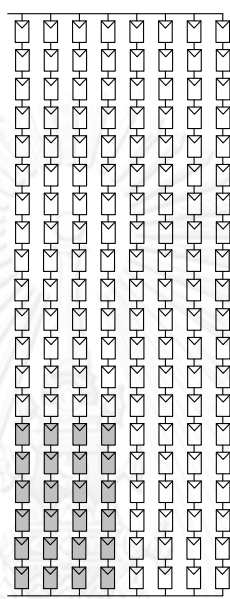
ตารางที่ 8.10 ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 2 เมษายน 2556 ณ ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองการบังแสงแดดในฤดูกาลที่แตกต่างกัน

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	5	10	15	20	25	30
ความเข้มแสง (W/m^2)	811.3	803.6	844.74	855.41	879.81	911.06
อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	46.97	47.90	49.33	48.32	47.13	47.06

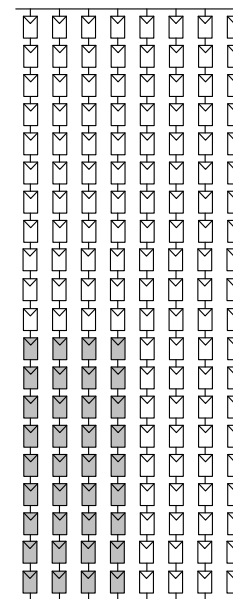
เวลาที่พิจารณา (นาทีที่)	35	40	45	50	55	60
ความเข้มแสง (W/m^2)	935.41	937.75	951.49	958.57	977.38	965.62
อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	48.32	48.21	48.52	49.10	49.82	48.86



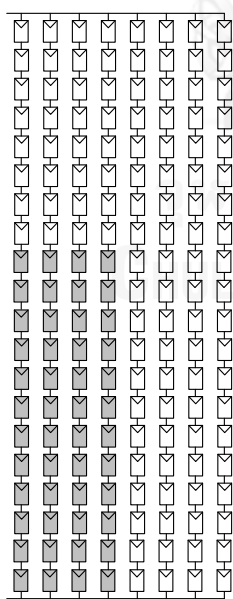
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 1



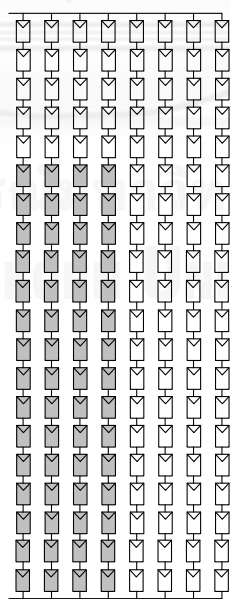
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 2



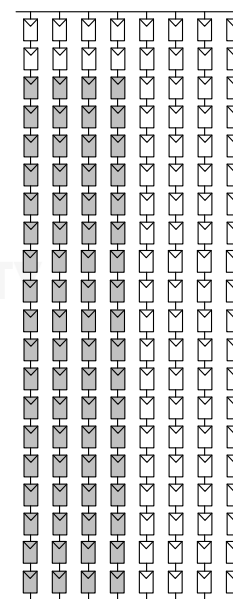
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 3



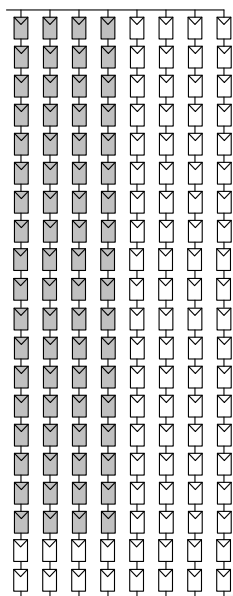
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 4



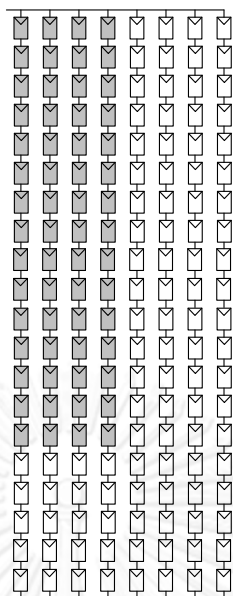
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 5



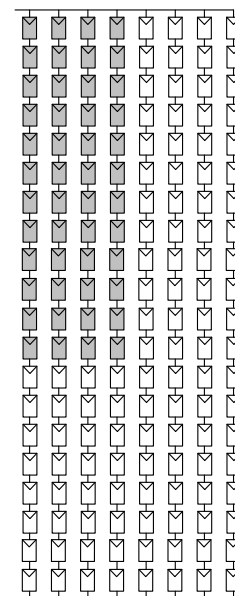
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 6



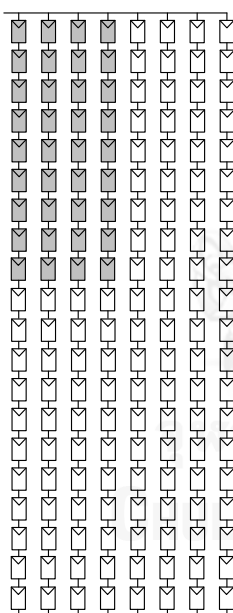
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 7



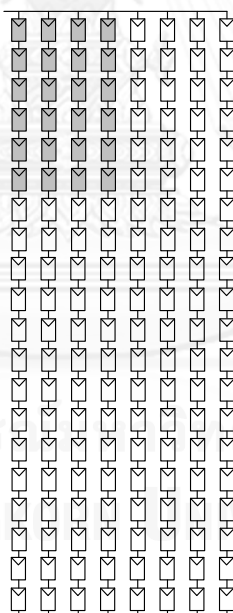
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 8



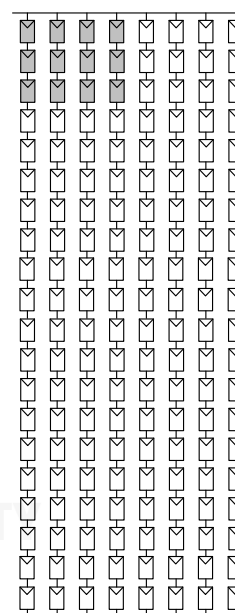
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 9



ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 10



ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 11

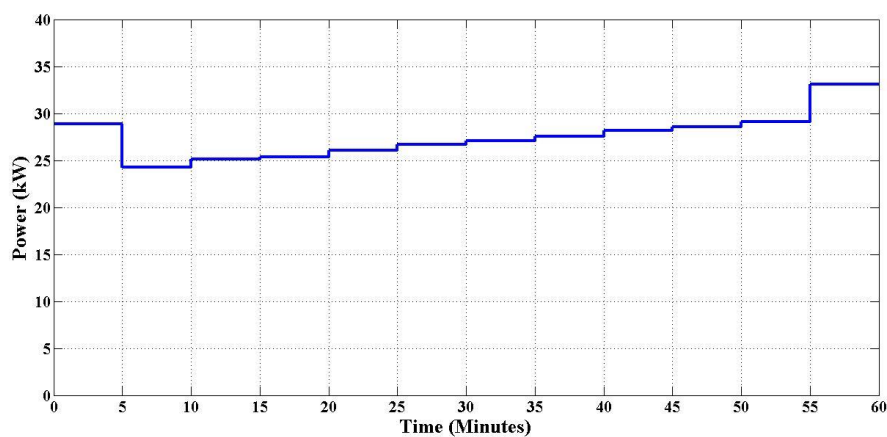


ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 12

ภาพที่ 8.69 ลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา

จากอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทดสอบระบบที่ 2 สามารถระบุตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละโมดูลที่เชื่อมต่อกัน ได้ดังภาพที่ 8.53 โดยลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นบนระบบทดสอบระบบที่ 2 ดังในภาพที่ 8.69 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาโดยใช้

ขั้นตอนในการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่แสดงในภาพที่ 5.14 ซึ่งสามารถหาของค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดด ได้ดังภาพที่ 8.70



ภาพที่ 8.70 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาที่การเกิดการบังแสงแดด

จากภาพที่ 8.69 สามารถจัดเรียงโครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรียเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบการบังแสงแดดต่อระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวคิดที่นำเสนอในหัวข้อที่ 6.5 โดยใช้ขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 6.11 ทำการจัดเรียงโครงสร้างการเชื่อมต่ออาเรียเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 8.71 ถึงภาพที่ 8.82

1,18	1,16	1,13	1,11	1,8	1,6	1,3	1,1
1,19	1,17	1,14	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	2,16	1,15	2,11	1,10	2,6	1,5	2,1
2,18	2,17	2,13	2,12	2,8	2,7	2,3	2,2
2,19	3,16	2,14	3,11	2,9	3,6	2,4	3,1
2,20	3,17	2,15	3,12	2,10	3,7	2,5	3,2
3,18	4,16	3,13	4,11	3,8	4,6	3,3	4,1
3,19	4,17	3,14	4,12	3,9	4,7	3,4	4,2
3,20	5,16	3,15	5,11	3,10	5,6	3,5	5,1
4,18	5,17	4,13	5,12	4,8	5,7	4,3	5,2
4,19	5,18	4,14	5,13	4,9	5,8	4,4	5,3
4,20	6,16	4,15	6,11	4,10	6,6	4,5	6,1
5,19	6,17	5,14	6,12	5,9	6,7	5,4	6,2
5,20	6,18	5,15	6,13	5,10	6,8	5,5	6,3
6,19	7,16	6,14	7,11	6,9	7,6	6,4	7,1
6,20	7,17	6,15	7,12	6,10	7,7	6,5	7,2
7,19	7,18	7,14	7,13	7,9	7,8	7,4	7,3
7,20	8,16	7,15	8,11	7,10	8,6	7,5	8,1
8,19	8,17	8,14	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	8,18	8,15	8,13	8,10	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.71 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 1

1,18	1,15	1,13	1,11	1,8	1,6	1,3	1,1
1,19	1,16	1,14	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,17	2,13	2,11	1,10	2,6	1,5	2,1
2,18	2,15	2,14	2,12	2,8	2,7	2,3	2,2
2,19	2,16	3,13	3,11	2,9	3,6	2,4	3,1
2,20	2,17	3,14	3,12	2,10	3,7	2,5	3,2
3,18	3,15	4,13	4,11	3,8	4,6	3,3	4,1
3,19	3,16	4,14	4,12	3,9	4,7	3,4	4,2
3,20	3,17	5,14	5,11	3,10	5,6	3,5	5,1
4,18	4,15	5,15	5,12	4,8	5,7	4,3	5,2
4,19	4,16	5,16	5,13	4,9	5,8	4,4	5,3
4,20	4,17	6,14	6,11	4,10	6,6	4,5	6,1
5,19	5,17	6,15	6,12	5,9	6,7	5,4	6,2
5,20	5,18	6,16	6,13	5,10	6,8	5,5	6,3
6,19	6,17	7,14	7,11	6,9	7,6	6,4	7,1
6,20	6,18	7,15	7,12	6,10	7,7	6,5	7,2
7,19	7,17	7,16	7,13	7,9	7,8	7,4	7,3
7,20	7,18	8,14	8,11	7,10	8,6	7,5	8,1
8,19	8,17	8,15	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	8,18	8,16	8,13	8,10	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.72 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 2

1,15	1,12	1,11	1,9	1,8	1,6	1,3	1,1
1,16	1,13	2,11	1,10	2,8	1,7	1,4	1,2
1,17	1,14	3,11	2,9	3,8	2,6	1,5	2,1
1,18	2,12	4,11	2,10	4,8	2,7	2,3	2,2
1,19	2,13	5,11	3,9	4,9	3,6	2,4	3,1
1,20	2,14	5,12	3,10	5,9	3,7	2,5	3,2
2,15	3,12	5,13	4,10	6,9	4,6	3,3	4,1
2,16	3,13	5,14	5,10	7,9	4,7	3,4	4,2
2,17	3,14	5,15	6,10	8,9	5,6	3,5	5,1
2,18	3,15	5,16	7,10	8,10	5,7	4,3	5,2
2,19	4,12	6,11	7,11	8,11	5,8	4,4	5,3
2,20	4,13	6,12	7,12	8,12	6,6	4,5	6,1
3,16	4,14	6,13	7,13	8,13	6,7	5,4	6,2
3,17	4,15	6,14	7,14	8,14	6,8	5,5	6,3
3,18	4,16	6,15	7,15	8,15	7,6	6,4	7,1
3,19	4,17	6,16	7,16	8,16	7,7	6,5	7,2
3,20	5,17	6,17	7,17	8,17	7,8	7,4	7,3
4,18	5,18	6,18	7,18	8,18	8,6	7,5	8,1
4,19	5,19	6,19	7,19	8,19	8,7	8,4	8,2
4,20	5,20	6,20	7,20	8,20	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.73 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 3

1,14	1,11	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
1,15	1,12	1,10	1,7	2,6	2,5	2,3	1,2
1,16	1,13	2,9	1,8	3,7	3,6	2,4	2,1
1,17	2,11	2,10	2,7	4,7	4,6	3,3	2,2
1,18	2,12	3,9	2,8	5,7	5,6	3,4	3,1
1,19	2,13	3,10	3,8	6,7	6,6	3,5	3,2
1,20	3,11	4,9	4,8	6,8	7,7	4,3	4,1
2,14	3,12	4,10	5,8	7,8	8,8	4,4	4,2
2,15	3,13	5,9	6,9	7,9	8,9	4,5	5,1
2,16	3,14	5,10	6,10	7,10	8,10	5,4	5,2
2,17	4,11	5,11	6,11	7,11	8,11	5,5	5,3
2,18	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12	6,4	6,1
2,19	4,13	5,13	6,13	7,13	8,13	6,5	6,2
2,20	4,14	5,14	6,14	7,14	8,14	7,4	6,3
3,15	4,15	5,15	6,15	7,15	8,15	7,5	7,1
3,16	4,16	5,16	6,16	7,16	8,16	7,6	7,2
3,17	4,17	5,17	6,17	7,17	8,17	8,4	7,3
3,18	4,18	5,18	6,18	7,18	8,18	8,5	8,1
3,19	4,19	5,19	6,19	7,19	8,19	8,6	8,2
3,20	4,20	5,20	6,20	7,20	8,20	8,7	8,3

ภาพที่ 8.74 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 4

1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6
1,7	2,7	3,7	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7
1,8	2,8	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8
1,9	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9
1,10	2,10	3,10	4,10	5,10	6,10	7,10	8,10
1,11	2,11	3,11	4,11	5,11	6,11	7,11	8,11
1,12	2,12	3,12	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12
1,13	2,13	3,13	4,13	5,13	6,13	7,13	8,13
1,14	2,14	3,14	4,14	5,14	6,14	7,14	8,14
1,15	2,15	3,15	4,15	5,15	6,15	7,15	8,15
1,16	2,16	3,16	4,16	5,16	6,16	7,16	8,16
1,17	2,17	3,17	4,17	5,17	6,17	7,17	8,17
1,18	2,18	3,18	4,18	5,18	6,18	7,18	8,18
1,19	2,19	3,19	4,19	5,19	6,19	7,19	8,19
1,20	2,20	3,20	4,20	5,20	6,20	7,20	8,20

ภาพที่ 8.75 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 5

1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6
1,7	2,7	3,7	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7
1,8	2,8	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8
1,9	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9
1,10	2,10	3,10	4,10	5,10	6,10	7,10	8,10
1,11	2,11	3,11	4,11	5,11	6,11	7,11	8,11
1,12	2,12	3,12	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12
1,13	2,13	3,13	4,13	5,13	6,13	7,13	8,13
1,14	2,14	3,14	4,14	5,14	6,14	7,14	8,14
1,15	2,15	3,15	4,15	5,15	6,15	7,15	8,15
1,16	2,16	3,16	4,16	5,16	6,16	7,16	8,16
1,17	2,17	3,17	4,17	5,17	6,17	7,17	8,17
1,18	2,18	3,18	4,18	5,18	6,18	7,18	8,18
1,19	2,19	3,19	4,19	5,19	6,19	7,19	8,19
1,20	2,20	3,20	4,20	5,20	6,20	7,20	8,20

ภาพที่ 8.76 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 6

1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6
1,7	2,7	3,7	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7
1,8	2,8	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8
1,9	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9
1,10	2,10	3,10	4,10	5,10	6,10	7,10	8,10
1,11	2,11	3,11	4,11	5,11	6,11	7,11	8,11
1,12	2,12	3,12	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12
1,13	2,13	3,13	4,13	5,13	6,13	7,13	8,13
1,14	2,14	3,14	4,14	5,14	6,14	7,14	8,14
1,15	2,15	3,15	4,15	5,15	6,15	7,15	8,15
1,16	2,16	3,16	4,16	5,16	6,16	7,16	8,16
1,17	2,17	3,17	4,17	5,17	6,17	7,17	8,17
1,18	2,18	3,18	4,18	5,18	6,18	7,18	8,18
1,19	2,19	3,19	4,19	5,19	6,19	7,19	8,19
1,20	2,20	3,20	4,20	5,20	6,20	7,20	8,20

ภาพที่ 8.77 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 7

1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6
1,7	2,7	3,7	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7
1,8	2,8	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8
1,9	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9
1,10	2,10	3,10	4,10	5,10	6,10	7,10	8,10
1,11	2,11	3,11	4,11	5,11	6,11	7,11	8,11
1,12	2,12	3,12	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12
1,13	2,13	3,13	4,13	5,13	6,13	7,13	8,13
1,14	2,14	3,14	4,14	5,14	6,14	7,14	8,14
1,15	2,15	3,15	4,15	5,15	6,15	7,15	8,15
1,16	2,16	3,16	4,16	5,16	6,16	7,16	8,16
1,17	2,17	3,17	4,17	5,17	6,17	7,17	8,17
1,18	2,18	3,18	4,18	5,18	6,18	7,18	8,18
1,19	2,19	3,19	4,19	5,19	6,19	7,19	8,19
1,20	2,20	3,20	4,20	5,20	6,20	7,20	8,20

ภาพที่ 8.78 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 8

3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	8,14	8,18
3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2	8,15	8,19
3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	8,16	8,20
3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4	8,17	7,18
3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	7,15	7,19
2,1	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6	7,16	7,20
2,2	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7	7,17	6,18
2,3	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8	6,16	6,19
2,4	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9	6,17	6,20
2,5	3,6	5,10	6,10	7,10	8,10	5,16	5,18
1,1	3,7	5,11	6,11	7,11	8,11	5,17	5,19
1,2	3,8	5,12	6,12	7,12	8,12	4,16	5,20
1,3	3,9	4,10	6,13	7,13	8,13	4,17	4,18
1,4	2,6	4,11	5,13	6,14	7,14	3,16	4,19
1,5	2,7	4,12	4,13	5,14	6,15	3,17	4,20
1,6	2,8	3,10	3,13	4,14	5,15	2,17	3,18
1,7	2,9	3,11	2,13	3,14	4,15	2,18	3,19
1,8	2,10	3,12	1,13	2,14	3,15	1,18	3,20
1,9	2,11	2,12	1,14	2,15	2,16	1,19	2,19
1,10	1,11	1,12	1,15	1,16	1,17	1,20	2,20

ภาพที่ 8.79 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 9

3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	8,12	8,17
3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2	8,13	8,18
3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	8,14	8,19
3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4	8,15	8,20
2,1	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	8,16	7,17
2,2	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6	7,13	7,18
2,3	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7	7,14	7,19
2,4	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8	7,15	7,20
2,5	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9	7,16	6,17
2,6	3,5	5,10	6,10	7,10	8,10	6,14	6,18
2,7	3,6	4,10	6,11	7,11	8,11	6,15	6,19
2,8	3,7	3,10	5,11	6,12	7,12	6,16	6,20
1,1	3,8	2,10	4,11	5,12	6,13	5,15	5,18
1,2	3,9	2,11	3,11	4,12	5,13	5,16	5,19
1,3	2,9	2,12	3,12	4,13	5,14	5,17	5,20
1,4	1,9	2,13	3,13	4,14	4,15	4,17	4,19
1,5	1,10	2,14	3,14	3,15	4,16	4,18	4,20
1,6	1,11	1,14	2,15	3,16	3,17	3,18	3,19
1,7	1,12	1,15	2,16	2,17	2,18	2,19	3,20
1,8	1,13	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	2,20

ภาพที่ 8.80 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 10

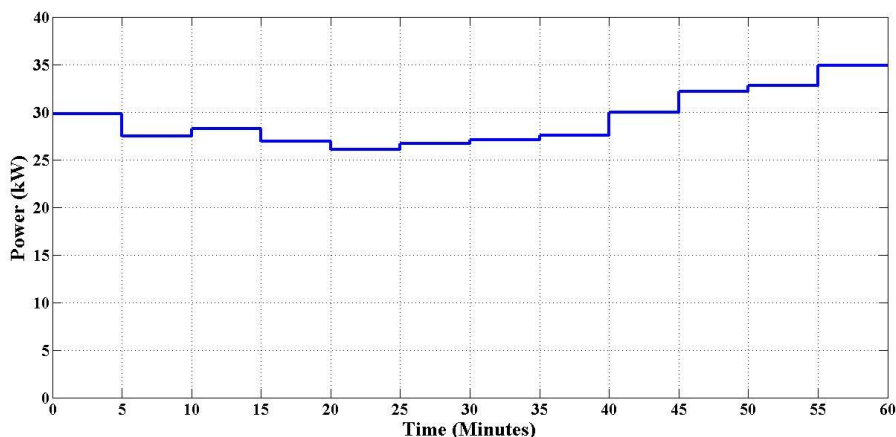
4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	8,7	8,10	8,14
4,2	5,2	6,2	7,2	8,2	8,8	8,11	8,15
4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	8,9	8,12	8,16
4,4	5,4	6,4	7,4	8,4	7,8	8,13	8,17
4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	7,9	7,10	8,18
3,1	5,6	6,6	7,6	8,6	6,9	7,11	8,19
3,2	4,6	5,7	6,7	7,7	6,10	7,12	8,20
3,3	3,6	4,7	5,8	6,8	5,10	7,13	7,14
3,4	2,6	3,7	4,8	5,9	5,11	6,11	7,15
3,5	1,6	2,7	3,8	4,9	5,12	6,12	7,16
2,1	1,7	2,8	3,9	4,10	5,13	6,13	7,17
2,2	1,8	2,9	3,10	4,11	5,14	6,14	7,18
2,3	1,9	2,10	3,11	4,12	5,15	6,15	7,19
2,4	1,10	2,11	3,12	4,13	5,16	6,16	7,20
2,5	1,11	2,12	3,13	4,14	5,17	6,17	6,19
1,1	1,12	2,13	3,14	4,15	4,17	6,18	6,20
1,2	1,13	2,14	3,15	4,16	4,18	5,18	5,19
1,3	1,14	2,15	3,16	3,17	3,18	4,19	5,20
1,4	1,15	2,16	2,17	2,18	2,19	3,19	4,20
1,5	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	2,20	3,20

ภาพที่ 8.81 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 11

4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	8,6	8,8	8,12
4,2	5,2	6,2	7,2	8,2	8,7	8,9	8,13
4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	7,7	8,10	8,14
3,1	5,4	6,4	7,4	8,4	7,8	8,11	8,15
3,2	4,4	6,5	7,5	8,5	6,8	7,9	8,16
3,3	3,4	5,5	6,6	7,6	6,9	7,10	8,17
2,1	2,4	4,5	5,6	6,7	6,10	7,11	8,18
2,2	2,5	3,5	4,6	5,7	6,11	7,12	8,19
2,3	2,6	3,6	4,7	5,8	6,12	7,13	8,20
1,1	2,7	3,7	4,8	5,9	6,13	7,14	7,15
1,2	2,8	3,8	4,9	5,10	5,13	6,14	7,16
1,3	2,9	3,9	4,10	5,11	5,14	6,15	7,17
1,4	2,10	3,10	4,11	5,12	5,15	6,16	7,18
1,5	2,11	3,11	4,12	4,13	5,16	6,17	7,19
1,6	2,12	3,12	3,13	4,14	5,17	6,18	7,20
1,7	1,12	2,13	3,14	4,15	4,17	5,18	6,19
1,8	1,13	2,14	3,15	4,16	4,18	5,19	6,20
1,9	1,14	2,15	3,16	3,17	3,18	4,19	5,20
1,10	1,15	2,16	2,17	2,18	2,19	3,19	4,20
1,11	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	2,20	3,20

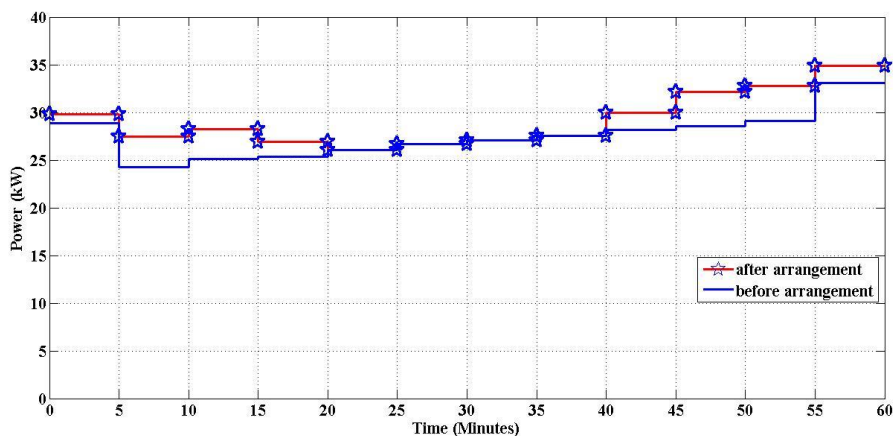
ภาพที่ 8.82 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 12

จากภาพที่ 8.70 ถึงภาพที่ 8.82 สามารถหาค่าของกำลังไฟฟ้าหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดด ได้ดังภาพที่ 8.83



ภาพที่ 8.83 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ทั้งก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แล้ว จะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ได้ดังภาพที่ 8.84



ภาพที่ 8.84 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 8.84 กำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8.11 และค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละช่วงเวลาก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8.12

ตารางที่ 8.11 กำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	5	10	15	20	25	30
ก่อนการจัดเรียง (W)	28,331.82	24,299.08	25,087.99	25,367.84	26,056.53	26,675.29
หลังการจัดเรียง (W)	29,780.31	27,468.04	28,278.41	26,940.76	26,056.53	26,675.29
กำลังไฟฟ้าที่ได้ เพิ่มขึ้น (W)	948.49	3,238.96	3,190.42	1572.92	0	0
ร้อยละของ กำลังไฟฟ้าที่ เพิ่มขึ้น	3.18	11.79	11.28	5.84	0	0

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	35	40	45	50	55	60
ก่อนการจัดเรียง (W)	27,099.40	27,535.89	28,191.71	28,541.34	29,113.37	33,100.68
หลังการจัดเรียง (W)	27,099.40	27,535.89	29,933.87	32,165.70	32,776.11	34,862.72
กำลังไฟฟ้าที่ได้ เพิ่มขึ้น (W)	0	0	1,742.16	3,624.36	3,662.84	1761.86
ร้อยละของ กำลังไฟฟ้าที่ เพิ่มขึ้น	0	0	5.82	11.27	11.18	5.05

ตารางที่ 8.12 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	5	10	15	20	25	30
ก่อนการจัดเรียง (V)	500.3	570.6	553.8	555.8	563.0	557.6
หลังการจัดเรียง (V)	557.6	557.2	541.0	548.4	563.0	557.6

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	35	40	45	50	55	60
ก่อนการจัดเรียง (V)	548.0	552.2	555.6	557.6	557.8	500.2
หลังการจัดเรียง (V)	548.0	552.2	550.1	544.6	551.3	546.6

จากตารางที่ 8.11 เมื่อทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้หลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดดมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 5.45 เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 99 kWh และจากตารางที่ 8.12 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลามีค่าที่อยู่ในช่วงค่าพิกัดแรงดันที่อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้

เมื่อพิจารณาลักษณะการเคลื่อนที่ของการบังแสงแดดในภาพที่ 8.69 กับความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาในภาพที่ 8.70 พบว่าจำนวนคอลัมน์ของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่โดนบังแสงแดดในกรณีนี้มีค่าเท่ากันทุกกรณี ผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิจะมีผลต่อการผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าจำนวนโมดูลที่โดนบังแสงแดดเพิ่มในแนวคอลัมน์ แต่เมื่อทำการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในบางช่วงมีค่าเพิ่มขึ้นดังที่เห็นในภาพที่ 8.84

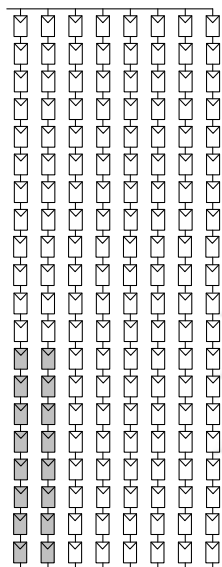
8.3.2.3 การเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดในฤดูฝน

การเปรียบเทียบผลกระทบการบังแสงแดดในฤดูฝนได้เลือกตัวแทนข้อมูลของความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 1 กันยายน 2556 ดังแสดงในตารางที่ 8.13 และสมมติทิศทางเคลื่อนที่ของเมฆโดยใช้ข้อมูลทิศทางของลมในเดือนกันยายนจากตารางที่ 4.4 โดยทิศทางของลมในเดือนกันยายนเคลื่อนที่จากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก และจำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในเดือนกันยายนจากตารางที่ 4.2 โดยจำนวนการบังแสงแดดเฉลี่ยต่อวันในเดือนกันยายนมีจำนวน 6 ครั้ง การทดลองกำหนดให้ระยะเวลาการบังแสงแดดเกิดขึ้น 1 ครั้ง โดยให้มีลักษณะการเคลื่อนที่ของการบังแสงแดดแสดงดังภาพที่ 8.85

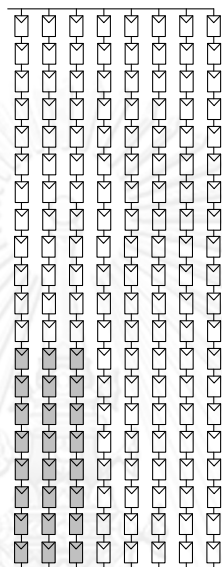
ตารางที่ 8.13 ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่ 1 กันยายน 2556 ณ ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองการบังแสงแดดในฤดูกาลที่แตกต่างกัน

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	5	10	15	20	25	30
ความเข้มแสง (W/m^2)	885.5	897.13	914.89	928.35	933.65	947.35
อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	44.72	49.39	50.98	50.93	52.22	49.12

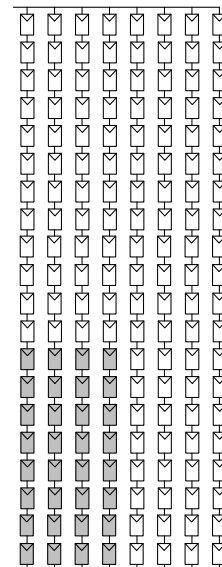
เวลาที่พิจารณา (นาทีที่)	35	40	45	50	55	60
ความเข้มแสง (W/m^2)	953.57	956.16	968.66	986.22	997.71	1003.7
อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	46.43	45.98	47.37	48.33	51.57	51.86



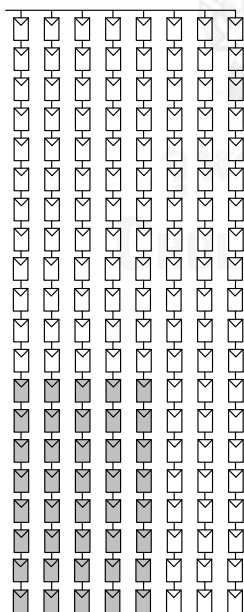
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 1



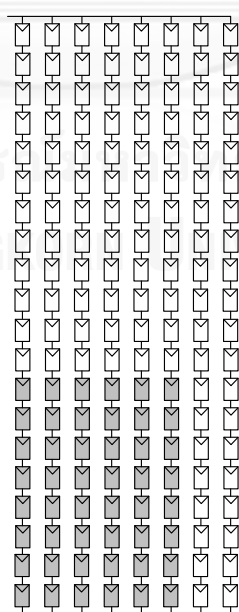
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 2



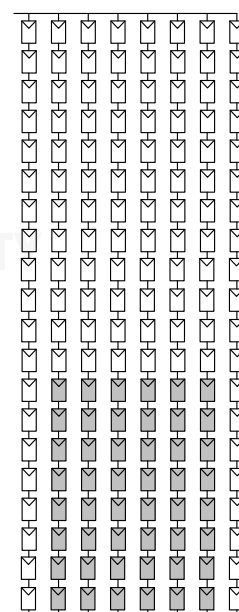
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 3



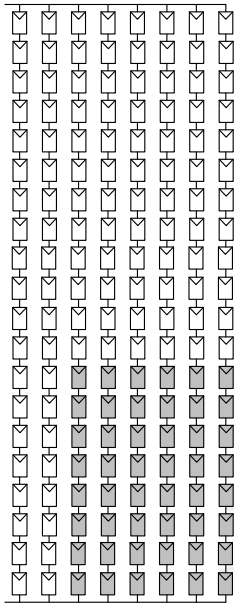
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 4



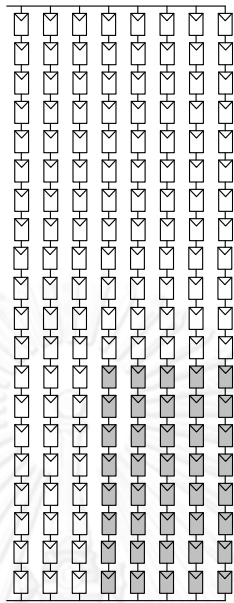
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 5



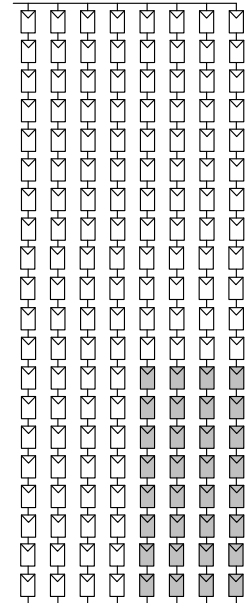
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 6



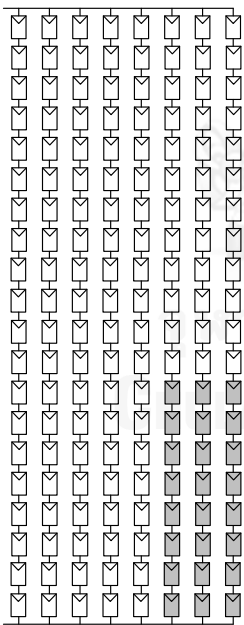
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 7



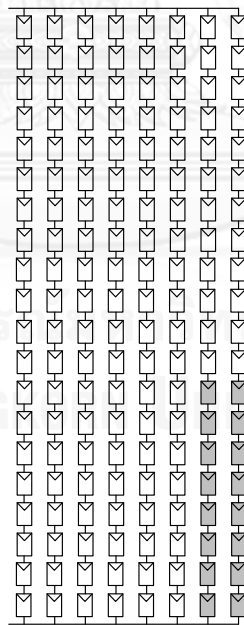
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 8



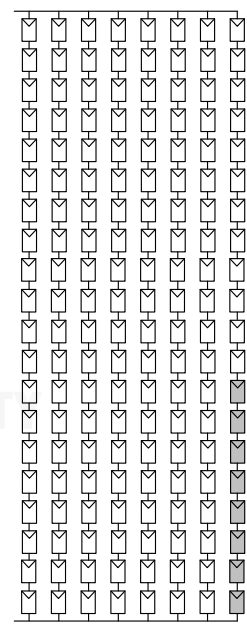
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 9



ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 10



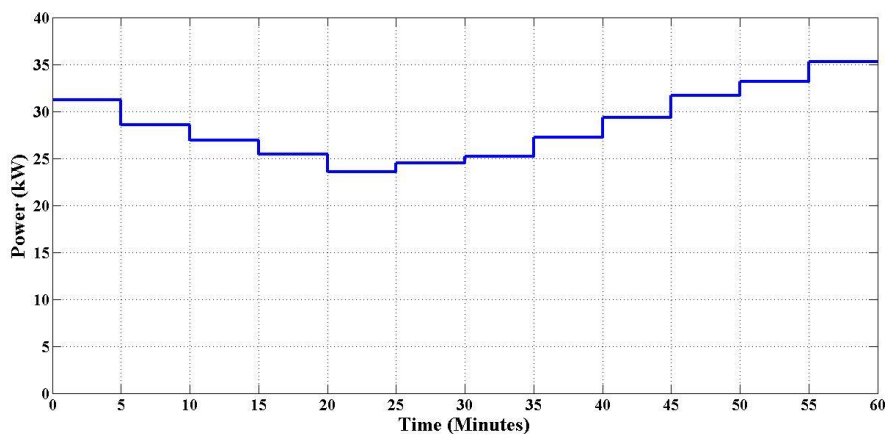
ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 11



ลักษณะการบังแสงแดด
ลักษณะที่ 12

ภาพที่ 8.85 ลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา

จากลักษณะการบังแสงแดดที่เกิดขึ้น ดังในภาพที่ 8.85 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาโดยใช้ขั้นตอนในการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่แสดงในภาพที่ 5.14 ซึ่งสามารถหาของค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดด ได้ดังภาพที่ 8.86



ภาพที่ 8.86 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาที่พิจารณาที่การเกิดการบังแสงแดด

จากภาพที่ 8.85 สามารถจัดเรียงโครงสร้างการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบการบังแสงแดดต่อระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวคิดที่นำเสนอในหัวข้อที่ 6.5 โดยใช้ขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 6.11 ทำการจัดเรียงโครงสร้างการเชื่อมต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 8.87 ถึงภาพที่ 8.98

1,13	1,12	1,11	1,10	1,8	1,6	1,3	1,1
1,14	2,12	2,11	2,10	1,9	1,7	1,4	1,2
1,15	3,12	3,11	3,10	2,8	2,6	1,5	2,1
1,16	3,13	4,11	4,10	2,9	2,7	2,3	2,2
1,17	3,14	4,12	5,10	3,8	3,6	2,4	3,1
1,18	3,15	4,13	5,11	3,9	3,7	2,5	3,2
1,19	3,16	4,14	5,12	4,8	4,6	3,3	4,1
1,20	3,17	4,15	5,13	4,9	4,7	3,4	4,2
2,13	3,18	4,16	5,14	5,9	5,6	3,5	5,1
2,14	3,19	5,16	5,15	6,9	5,7	4,3	5,2
2,15	4,17	5,17	6,12	6,10	5,8	4,4	5,3
2,16	4,18	6,16	6,13	6,11	6,6	4,5	6,1
2,17	4,19	6,17	6,14	7,9	6,7	5,4	6,2
2,18	5,18	7,16	6,15	7,10	6,8	5,5	6,3
2,19	5,19	7,17	7,13	7,11	7,6	6,4	7,1
2,20	6,18	8,16	7,14	7,12	7,7	6,5	7,2
3,20	6,19	8,17	7,15	7,9	7,8	7,4	7,3
4,20	7,18	8,18	8,13	7,10	8,6	7,5	8,1
5,20	7,19	8,19	8,14	7,11	8,7	8,4	8,2
6,20	7,20	8,20	8,15	7,12	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.87 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 1

1,16	1,13	1,12	1,11	1,8	1,6	1,3	1,1
1,17	1,14	2,12	2,11	1,9	1,7	1,4	1,2
1,18	1,15	3,12	3,11	1,10	2,6	1,5	2,1
1,19	2,13	4,12	4,11	2,8	2,7	2,3	2,2
1,20	2,14	4,13	5,11	2,9	3,6	2,4	3,1
2,17	2,15	4,14	5,12	2,10	3,7	2,5	3,2
2,18	2,16	4,15	5,13	3,8	4,6	3,3	4,1
2,19	3,13	4,16	5,14	3,9	4,7	3,4	4,2
2,20	3,14	5,15	6,11	3,10	5,6	3,5	5,1
3,18	3,15	5,16	6,12	4,8	5,7	4,3	5,2
3,19	3,16	5,17	6,13	4,9	5,8	4,4	5,3
3,20	3,17	6,15	6,14	4,10	6,6	4,5	6,1
4,19	4,17	6,16	7,11	5,9	6,7	5,4	6,2
4,20	4,18	6,17	7,12	5,10	6,8	5,5	6,3
5,19	5,18	7,15	7,13	6,9	7,6	6,4	7,1
5,20	6,18	7,16	7,14	6,10	7,7	6,5	7,2
6,19	7,18	7,17	8,11	7,9	7,8	7,4	7,3
6,20	8,18	8,15	8,12	7,10	8,6	7,5	8,1
7,19	8,19	8,16	8,13	8,9	8,7	8,4	8,2
7,20	8,20	8,17	8,14	8,10	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.88 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 2

1,16	1,13	1,12	1,11	1,8	1,6	1,3	1,1
1,17	1,14	2,12	2,11	1,9	1,7	1,4	1,2
1,18	1,15	3,12	3,11	1,10	2,6	1,5	2,1
1,19	2,13	4,12	4,11	2,8	2,7	2,3	2,2
1,20	2,14	5,12	5,11	2,9	3,6	2,4	3,1
2,16	2,15	5,13	6,11	2,10	3,7	2,5	3,2
2,17	3,13	5,14	6,12	3,8	4,6	3,3	4,1
2,18	3,14	5,15	6,13	3,9	4,7	3,4	4,2
2,19	3,15	5,16	6,14	3,10	5,6	3,5	5,1
2,20	4,13	5,17	6,15	4,8	5,7	4,3	5,2
3,16	4,14	5,18	7,11	4,9	5,8	4,4	5,3
3,17	4,15	6,16	7,12	4,10	6,6	4,5	6,1
3,18	4,16	6,17	7,13	5,9	6,7	5,4	6,2
3,19	4,17	6,18	7,14	5,10	6,8	5,5	6,3
3,20	4,18	7,16	7,15	6,9	7,6	6,4	7,1
4,20	4,19	7,17	8,11	6,10	7,7	6,5	7,2
5,20	5,19	7,18	8,12	7,9	7,8	7,4	7,3
6,20	6,19	8,16	8,13	7,10	8,6	7,5	8,1
7,20	7,19	8,17	8,14	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	8,19	8,18	8,15	8,10	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.89 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 3

1,16	1,13	1,11	1,9	1,8	1,6	1,3	1,1
1,17	1,14	1,12	1,10	2,8	1,7	1,4	1,2
1,18	1,15	2,11	2,9	3,8	2,6	1,5	2,1
1,19	2,13	2,12	2,10	4,8	2,7	2,3	2,2
1,20	2,14	3,11	3,9	4,9	3,6	2,4	3,1
2,16	2,15	3,12	3,10	5,9	3,7	2,5	3,2
2,17	3,13	4,11	4,10	6,9	4,6	3,3	4,1
2,18	3,14	4,12	5,10	7,9	4,7	3,4	4,2
2,19	3,15	5,11	6,10	8,9	5,6	3,5	5,1
2,20	4,13	5,12	7,10	8,10	5,7	4,3	5,2
3,16	4,14	6,11	7,11	8,11	5,8	4,4	5,3
3,17	4,15	6,12	7,12	8,12	6,6	4,5	6,1
3,18	5,13	6,13	7,13	8,13	6,7	5,4	6,2
3,19	5,14	6,14	7,14	8,14	6,8	5,5	6,3
3,20	5,15	6,15	7,15	8,15	7,6	6,4	7,1
4,16	5,16	6,16	7,16	8,16	7,7	6,5	7,2
4,17	5,17	6,17	7,17	8,17	7,8	7,4	7,3
4,18	5,18	6,18	7,18	8,18	8,6	7,5	8,1
4,19	5,19	6,19	7,19	8,19	8,7	8,4	8,2
4,20	5,20	6,20	7,20	8,20	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.90 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 4

1,18	1,15	1,13	1,11	1,8	1,6	1,3	1,1
1,19	1,16	1,14	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,17	2,13	2,11	1,10	2,6	1,5	2,1
2,18	2,15	2,14	2,12	2,8	2,7	2,3	2,2
2,19	2,16	3,13	3,11	2,9	3,6	2,4	3,1
2,20	2,17	3,14	3,12	2,10	3,7	2,5	3,2
3,18	3,16	3,15	4,11	3,8	4,6	3,3	4,1
3,19	3,17	4,13	4,12	3,9	4,7	3,4	4,2
3,20	4,16	4,14	5,11	3,10	5,6	3,5	5,1
4,18	4,17	4,15	5,12	4,8	5,7	4,3	5,2
4,19	5,16	5,13	6,11	4,9	5,8	4,4	5,3
4,20	5,17	5,14	6,12	4,10	6,6	4,5	6,1
5,19	5,18	5,15	7,11	5,9	6,7	5,4	6,2
5,20	6,16	6,13	7,12	5,10	6,8	5,5	6,3
6,19	6,17	6,14	7,13	6,9	7,6	6,4	7,1
6,20	6,18	6,15	7,14	6,10	7,7	6,5	7,2
7,19	7,17	7,15	8,11	7,9	7,8	7,4	7,3
7,20	7,18	7,16	8,12	7,10	8,6	7,5	8,1
8,19	8,17	8,15	8,13	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	8,18	8,16	8,14	8,10	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.91 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 5

1,18	1,15	1,13	1,11	1,8	1,6	1,3	1,1
1,19	1,16	1,14	1,12	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,17	2,13	2,11	1,10	2,6	1,5	2,1
2,18	2,15	2,14	2,12	2,8	2,7	2,3	2,2
2,19	2,16	3,13	3,11	2,9	3,6	2,4	3,1
2,20	2,17	3,14	3,12	2,10	3,7	2,5	3,2
3,18	3,15	4,13	4,11	3,8	4,6	3,3	4,1
3,19	3,16	4,14	4,12	3,9	4,7	3,4	4,2
3,20	3,17	5,13	5,11	3,10	5,6	3,5	5,1
4,18	4,15	5,14	5,12	4,8	5,7	4,3	5,2
4,19	4,16	5,15	6,11	4,9	5,8	4,4	5,3
4,20	4,17	6,13	6,12	4,10	6,6	4,5	6,1
5,18	5,16	6,14	7,11	5,9	6,7	5,4	6,2
5,19	5,17	6,15	7,12	5,10	6,8	5,5	6,3
5,20	6,16	7,13	8,11	6,9	7,6	6,4	7,1
6,18	6,17	7,14	8,12	6,10	7,7	6,5	7,2
6,19	7,17	7,15	8,13	7,9	7,8	7,4	7,3
6,20	7,18	7,16	8,14	7,10	8,6	7,5	8,1
7,20	7,19	8,17	8,15	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	8,19	8,18	8,16	8,10	8,8	8,5	8,3

ภาพที่ 8.92 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 6

8,18	8,15	8,13	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,19	8,16	8,14	8,12	8,9	8,7	8,4	8,2
8,20	8,17	7,13	7,11	8,10	7,6	8,5	7,1
7,18	7,15	7,14	7,12	7,8	7,7	7,3	7,2
7,19	7,16	6,13	6,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,20	7,17	6,14	6,12	7,10	6,7	7,5	6,2
6,18	6,16	6,15	5,11	6,8	5,6	6,3	5,1
6,19	6,17	5,13	5,12	6,9	5,7	6,4	5,2
6,20	5,16	5,14	4,11	6,10	4,6	6,5	4,1
5,18	5,17	5,15	4,12	5,8	4,7	5,3	4,2
5,19	4,16	4,13	3,11	5,9	4,8	5,4	4,3
5,20	4,17	4,14	3,12	5,10	3,6	5,5	3,1
4,19	4,18	4,15	2,11	4,9	3,7	4,4	3,2
4,20	3,16	3,13	2,12	4,10	3,8	4,5	3,3
3,19	3,17	3,14	2,13	3,9	2,6	3,4	2,1
3,20	3,18	3,15	2,14	3,10	2,7	3,5	2,2
2,19	2,17	2,15	1,11	2,9	2,8	2,4	2,3
2,20	2,18	2,16	1,12	2,10	1,6	2,5	1,1
1,19	1,17	1,15	1,13	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.93 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 7

8,16	8,13	8,11	8,9	8,8	8,6	8,3	8,1
8,17	8,14	8,12	8,10	7,8	8,7	8,4	8,2
8,18	8,15	7,11	7,9	6,8	7,6	8,5	7,1
8,19	7,13	7,12	7,10	5,8	7,7	7,3	7,2
8,20	7,14	6,11	6,9	5,9	6,6	7,4	6,1
7,16	7,15	6,12	6,10	4,9	6,7	7,5	6,2
7,17	6,13	5,11	5,10	3,9	5,6	6,3	5,1
7,18	6,14	5,12	4,10	2,9	5,7	6,4	5,2
7,19	6,15	4,11	3,10	1,9	4,6	6,5	4,1
7,20	5,13	4,12	2,10	1,10	4,7	5,3	4,2
6,16	5,14	3,11	2,11	1,11	4,8	5,4	4,3
6,17	5,15	3,12	2,12	1,12	3,6	5,5	3,1
6,18	4,13	3,13	2,13	1,13	3,7	4,4	3,2
6,19	4,14	3,14	2,14	1,14	3,8	4,5	3,3
6,20	4,15	3,15	2,15	1,15	2,6	3,4	2,1
5,16	4,16	3,16	2,16	1,16	2,7	3,5	2,2
5,17	4,17	3,17	2,17	1,17	2,8	2,4	2,3
5,18	4,18	3,18	2,18	1,18	1,6	2,5	1,1
5,19	4,19	3,19	2,19	1,19	1,7	1,4	1,2
5,20	4,20	3,20	2,20	1,20	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.94 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 8

8,16	8,13	8,12	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,17	8,14	7,12	7,11	8,9	8,7	8,4	8,2
8,18	8,15	6,12	6,11	8,10	7,6	8,5	7,1
8,19	7,13	5,12	5,11	7,8	7,7	7,3	7,2
8,20	7,14	4,12	4,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,16	7,15	4,13	3,11	7,10	6,7	7,5	6,2
7,17	6,13	4,14	3,12	6,8	5,6	6,3	5,1
7,18	6,14	4,15	3,13	6,9	5,7	6,4	5,2
7,19	6,15	4,16	3,14	6,10	4,6	6,5	4,1
7,20	5,13	4,17	3,15	5,8	4,7	5,3	4,2
6,16	5,14	4,18	2,11	5,9	4,8	5,4	4,3
6,17	5,15	3,16	2,12	5,10	3,6	5,5	3,1
6,18	5,16	3,17	2,13	4,9	3,7	4,4	3,2
6,19	5,17	3,18	2,14	4,10	3,8	4,5	3,3
6,20	5,18	2,16	2,15	3,9	2,6	3,4	2,1
5,20	5,19	2,17	1,11	3,10	2,7	3,5	2,2
4,20	4,19	2,18	1,12	2,9	2,8	2,4	2,3
3,20	3,19	1,16	1,13	2,10	1,6	2,5	1,1
2,20	2,19	1,17	1,14	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,19	1,18	1,15	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.95 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 9

8,16	8,13	8,12	8,11	8,8	8,6	8,3	8,1
8,17	8,14	7,12	7,11	8,9	8,7	8,4	8,2
8,18	8,15	6,12	6,11	8,10	7,6	8,5	7,1
8,19	7,13	5,12	5,11	7,8	7,7	7,3	7,2
8,20	7,14	5,13	4,11	7,9	6,6	7,4	6,1
7,17	7,15	5,14	4,12	7,10	6,7	7,5	6,2
7,18	7,16	5,15	4,13	6,8	5,6	6,3	5,1
7,19	6,13	5,16	4,14	6,9	5,7	6,4	5,2
7,20	6,14	4,15	3,11	6,10	4,6	6,5	4,1
6,18	6,15	4,16	3,12	5,8	4,7	5,3	4,2
6,19	6,16	4,17	3,13	5,9	4,8	5,4	4,3
6,20	6,17	3,15	3,14	5,10	3,6	5,5	3,1
5,19	5,17	3,16	2,11	4,9	3,7	4,4	3,2
5,20	5,18	3,17	2,12	4,10	3,8	4,5	3,3
4,19	4,18	2,15	2,13	3,9	2,6	3,4	2,1
4,20	3,18	2,16	2,14	3,10	2,7	3,5	2,2
3,19	2,18	2,17	1,11	2,9	2,8	2,4	2,3
3,20	2,19	1,15	1,12	2,10	1,6	2,5	1,1
2,20	1,18	1,16	1,13	1,9	1,7	1,4	1,2
1,20	1,19	1,17	1,14	1,10	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.96 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 10

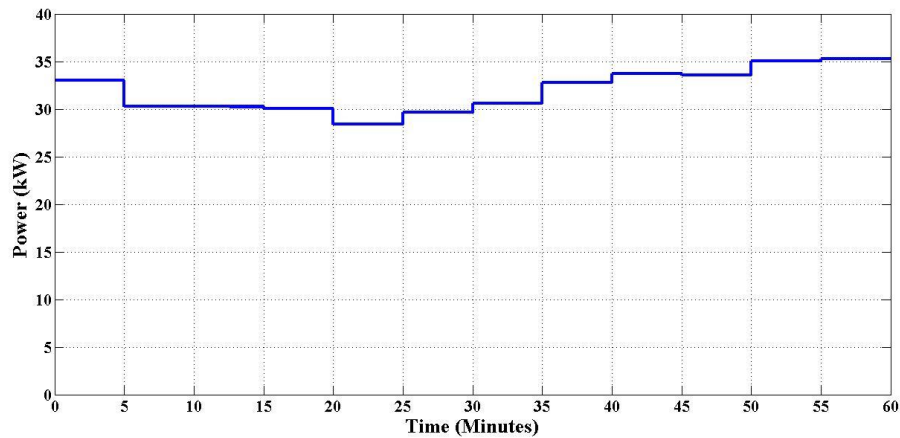
8,13	8,12	8,11	8,10	8,8	8,6	8,3	8,1
8,14	7,12	7,11	7,10	8,9	8,7	8,4	8,2
8,15	6,12	6,11	6,10	7,8	7,6	8,5	7,1
8,16	6,13	5,11	5,10	7,9	7,7	7,3	7,2
8,17	6,14	5,12	4,10	6,8	6,6	7,4	6,1
8,18	6,15	5,13	4,11	6,9	6,7	7,5	6,2
8,19	6,16	5,14	4,12	5,8	5,6	6,3	5,1
8,20	6,17	5,15	4,13	5,9	5,7	6,4	5,2
7,13	6,18	5,16	4,14	4,9	4,6	6,5	4,1
7,14	6,19	4,16	4,15	3,9	4,7	5,3	4,2
7,15	5,17	4,17	3,12	3,10	4,8	5,4	4,3
7,16	5,18	3,16	3,13	3,11	3,6	5,5	3,1
7,17	5,19	3,17	3,14	2,9	3,7	4,4	3,2
7,18	4,18	2,16	3,15	2,10	3,8	4,5	3,3
7,19	4,19	2,17	2,13	2,11	2,6	3,4	2,1
7,20	3,18	1,16	2,14	2,12	2,7	3,5	2,2
6,20	3,19	1,17	2,15	1,9	2,8	2,4	2,3
5,20	2,18	1,18	1,13	1,10	1,6	2,5	1,1
4,20	2,19	1,19	1,14	1,11	1,7	1,4	1,2
3,20	2,20	1,20	1,15	1,12	1,8	1,5	1,3

ภาพที่ 8.97 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะ
การบังแสงแดดลักษณะที่ 11

1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6
1,7	2,7	3,7	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7
1,8	2,8	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8
1,9	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9
1,10	2,10	3,10	4,10	5,10	6,10	7,10	8,10
1,11	2,11	3,11	4,11	5,11	6,11	7,11	8,11
1,12	2,12	3,12	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12
1,13	2,13	3,13	4,13	5,13	6,13	7,13	8,13
1,14	2,14	3,14	4,14	5,14	6,14	7,14	8,14
1,15	2,15	3,15	4,15	5,15	6,15	7,15	8,15
1,16	2,16	3,16	4,16	5,16	6,16	7,16	8,16
1,17	2,17	3,17	4,17	5,17	6,17	7,17	8,17
1,18	2,18	3,18	4,18	5,18	6,18	7,18	8,18
1,19	2,19	3,19	4,19	5,19	6,19	7,19	8,19
1,20	2,20	3,20	4,20	5,20	6,20	7,20	8,20

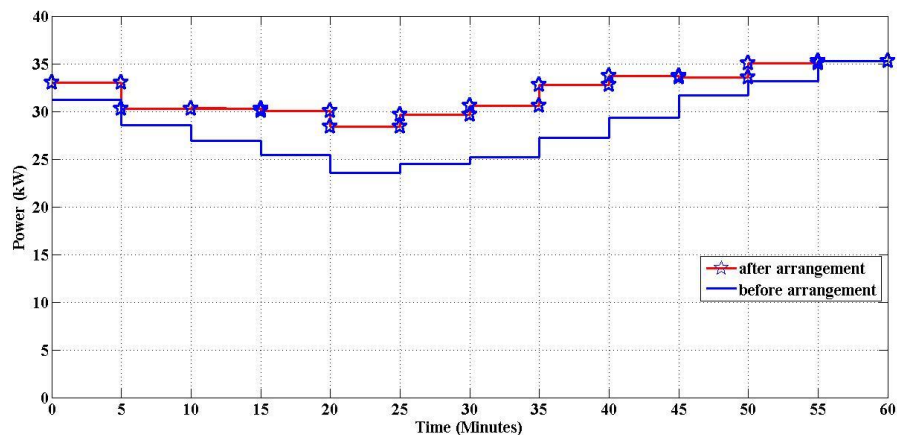
ภาพที่ 8.98 ตำแหน่งของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จากลักษณะการบังแสงแดดลักษณะที่ 12

จากภาพที่ 8.87 ถึงภาพที่ 8.98 สามารถหาค่าของกำลังไฟฟ้าหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการบังแสงแดด ได้ดังภาพที่ 8.99



ภาพที่ 8.99 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ทั้งก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แล้ว จะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ได้ดังภาพที่ 8.100



ภาพที่ 8.100 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 8.100 กำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8.14 และค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละช่วงเวลาก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8.15

ตารางที่ 8.14 กำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	5	10	15	20	25	30
ก่อนการจัดเรียง (W)	31,218.30	28,557.96	26,877.17	25,452.62	23,545.62	24,513.88
หลังการจัดเรียง (W)	33,025.12	30,287.56	30,241.56	30,019.23	28,413.51	29,666.91
กำลังไฟฟ้าที่ได้ เพิ่มขึ้น (W)	1,806.82	1,729.60	3,364.39	4,566.61	4,867.89	5,153.03
ร้อยละของ กำลังไฟฟ้าที่ เพิ่มขึ้น	5.79	6.06	12.52	17.94	20.67	21.02

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	35	40	45	50	55	60
ก่อนการจัดเรียง (W)	25,190.11	27,231.45	29,329.72	31,665.81	33,154.44	35,306.48
หลังการจัดเรียง (W)	30,560.61	32,787.84	33,672.73	33,590.67	35,018.91	35,306.48
กำลังไฟฟ้าที่ได้ เพิ่มขึ้น (W)	5,370.50	5,556.39	4,343.01	1,924.86	1,864.77	0
ร้อยละของ กำลังไฟฟ้าที่ เพิ่มขึ้น	21.32	20.40	14.81	6.08	5.62	0

ตารางที่ 8.15 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	5	10	15	20	25	30
ก่อนการจัดเรียง (V)	584.8	553.0	548.4	555.8	555.4	574.0
หลังการจัดเรียง (V)	574.0	548.4	533.4	528.0	522.6	550.0

เวลาที่พิจารณา (นาทิตี่)	35	40	45	50	55	60
ก่อนการจัดเรียง (V)	592.0	597.0	574.0	561.2	535.4	524.4
หลังการจัดเรียง (V)	563.2	563.2	554.0	555.4	524.4	524.4

จากตารางที่ 8.14 เมื่อทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้หลังจากการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดดมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 13.84 เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้ก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 200 kWh และจากตารางที่ 8.15 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลามีค่าที่อยู่ในช่วงค่าพิกัดแรงดันที่อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้

เมื่อพิจารณาลักษณะการเคลื่อนที่ของการบังแสงแดดในภาพที่ 8.85 กับ ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่พิจารณาในภาพที่ 8.86 พบว่าเมื่อจำนวนคอลัมน์ของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่โดนบังแสงแดดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลง ถึงแม้ว่าความเข้มแสงในช่วงนั้นๆ จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นก็ตาม แต่เมื่อทำการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์แล้ว จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงมีค่าเพิ่มขึ้นดังที่เห็นในภาพที่ 8.68

ในส่วนของผลกระทบของการบังแสงแดดต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ได้มีการเปรียบเทียบผลของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีต่างๆ ในการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์มีวัตถุประสงค์ คือ ช่วยลดผลกระทบการบังแสงแดดต่อการผลิตไฟฟ้า โดยพยายามจัดส่วนที่โดนบังแสงแดดให้อยู่ในแนวคอลัมน์ และลดจำนวนคอลัมน์ที่โดนบังแสงแดดลงให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งพบว่าการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่จำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดนบังแสงแดดที่เท่ากัน

จากการทดลองในส่วนผลกระทบของการบังแสงแดดต่ออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ จะพบว่าการบังแสงแดดในรูปแบบที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์มากน้อยแตกต่างกัน โดยลักษณะการบังแสงแดดในแนวคอลัมน์ ซึ่งมีจำนวนคอลัมน์ที่โดนบังแสงแดดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จะทำให้ผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบในกรณีจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดนบังแสงแดดที่เท่ากัน เพราะฉะนั้นในการวาง

โครงสร้างอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการก่อสร้างใหม่นั้น นอกจากจะออกแบบให้อาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์มีมุมเอียงทำมุม 15 องศากับแนวระดับและหันไปทางทิศใต้แล้ว ควรจะมีการออกแบบให้แต่ละสตริงของอาเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับแนวของทิศทางของลมเพื่อให้ผลกระทบของการบังแสงแดดที่มาจากการเคลื่อนที่ของเมฆมีค่าน้อยที่สุด



บทที่ 9

สรุปวิทยานิพนธ์

ในบทนี้จะเป็นการสรุปงานทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยสามารถแบ่งการนำเสนอได้เป็น

- 1) สรุป
- 2) ข้อเสนอแนะ

9.1 สรุป

- 1) ส่วนของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ในวิทยานิพนธ์ได้ใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งไดโอด ในการคำนวณหากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลทางเทคนิคที่ได้จากเอกสารของผู้ผลิตมีพารามิเตอร์ไม่เพียงพอสำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณหาจุดทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จึงต้องมีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์เพิ่มเติม เมื่อคำนวณพารามิเตอร์ได้เรียบร้อยแล้ว จึงคำนวณค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ภายใต้สภาวะความเข้มแสงและอุณหภูมิที่กำหนด และมีการนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากผู้ผลิตและการตรวจวัดจริง ซึ่งผลการทดลองถือว่ามีความแม่นยำและมีค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
- 2) ส่วนของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด ได้พัฒนาแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้สามารถคำนวณจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเกิดการบังแสงแดด โดยการคำนวณจะแบ่งอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะการบังแสงแดดเหมือนกันออกเป็นกลุ่มเดียวกัน เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา ซึ่งในแต่ละกลุ่มจะพิจารณาแยกเป็นส่วนที่เกิดการบังแสงแดดและส่วนที่ไม่เกิดการบังแสงแดด แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถหากระแส แรงดัน และ กำลังไฟฟ้าในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์เกิดการบังแสงแดด ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะกรณีที่ไม่ดูเซลล์แสงอาทิตย์มีการติดตั้งบายพาสไดโอดแล้ว และมีการนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดจริง ซึ่งผลการทดลองถือว่ามีความแม่นยำพอสมควรและมีค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
- 3) ส่วนของการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลของการบังแสงแดด ได้ศึกษารูปแบบการบังแสงแดด นำเสนอแนวคิดในการลดผลกระทบและออกแบบโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดดต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ได้มีการทดลองและเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากแบบจำลองระหว่างก่อนการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์

และหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเกิดการบังแสงแดด ซึ่งผลการทดลองพบว่าหลังการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

9.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการทดลองการบังแสงแดดกับระบบจริงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อศึกษาผลจากการตรวจวัดจริง และทำการเปรียบเทียบกับผลของแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลที่มีความแม่นยำมากขึ้น
- 2) ส่วนของโปรแกรมควรมีการปรับปรุงให้สามารถรองรับรูปแบบการบังแสงแดดที่เกิดขึ้นบนระบบผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น อาจใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ในการหารูปแบบการจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเรียงให้ได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น
- 3) ปรับปรุงโครงสร้างอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอให้มีความยุ่งยากทางกายภาพลดลง เพื่อที่จะได้นำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้จริง

รายการอ้างอิง

1. ชื่นชม สง่าราศรี กริเชน. ข้อเสนอแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า 2555-2573 (แผนพีดีพี2012). 2555 9 มิถุนายน 2556]; Available from: <http://www.palangthai.org/docs/PDP2012-Thai.pdf>.
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยปี 2556. 15 พฤษภาคม 2557]; Available from: http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/sit_56/sit_dec.pdf.
3. กระทรวงพลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564). 15 พฤษภาคม 2557]; Available from: <http://www.efe.or.th/datacenter/ckupload/files/aedp25.pdf>.
4. Solarbuzz. *Retail Pricing Environment 2555*. 10 เมษายน 2557]; Available from: <http://www.solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment/module-prices>.
5. สำนักงานกำกับกิจการพลังงาน. ฐานข้อมูลโรงไฟฟ้า SPP/VSPP. 28 มีนาคม 2557]; Available from: <http://www.erc.or.th/ERCSP/>.
6. L. Fialho, et al., *Parameter identification and shading effect of PV systems with a heuristic procedure*. Sustainable Energy Technologies and Assessments.
7. Dondi, D., et al. *Photovoltaic cell modeling for solar energy powered sensor networks*. in *Advances in Sensors and Interface, 2007. IWASI 2007. 2nd International Workshop on*. 2007.
8. Salam, Z., K. Ishaque, and H. Taheri. *An improved two-diode photovoltaic (PV) model for PV system*. in *Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010 Joint International Conference on*. 2010.
9. Gow, J.A. and C.D. Manning, *Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies*. Electric Power Applications, IEE Proceedings -, 1999. **146**(2): p. 193-200.
10. E.M.G. Rodrigues, et al. *Simulation of a Solar Cell considering Single-Diode Equivalent Circuit Model*. in *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPO11)*. 2011.
11. Durgadevi, A., S. Arulselvi, and S.P. Natarajan. *Photovoltaic modeling and its characteristics*. in *Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICETECT), 2011 International Conference on*. 2011.
12. Ramaprabha, R. and B.L. Mathur. *MATLAB Based Modelling to Study the Influence of Shading on Series Connected SPVA*. in *Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET), 2009 2nd International Conference on*. 2009.

13. Patel, H. and V. Agarwal, MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics. *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, 2008. 23(1): p. 302-310.
14. Moballegheh, S. and J. Jiang. Partial shading modeling of photovoltaic system with experimental validations. in *Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE*. 2011.
15. G.Petrone, G.Spagnuolo, and M.Vitelli, A model of mismatched photovoltaic fields for simulating hybrid solar vehicles, in *2nd International Workshop on Hybrid and Solar Vehicles*. 2007.
16. El-Dein, M.Z.S., M. Kazerani, and M.M.A. Salama, Optimal Photovoltaic Array Reconfiguration to Reduce Partial Shading Losses. *Sustainable Energy, IEEE Transactions on*, 2013. 4(1): p. 145-153.
17. Bastidas-Rodriguez, J.D., C.A. Ramos-Paja, and A.J. Saavedra-Montes, Reconfiguration analysis of photovoltaic arrays based on parameters estimation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2013. 35(0): p. 50-68.
18. Velasco-Quesada, G., et al., Electrical PV Array Reconfiguration Strategy for Energy Extraction Improvement in Grid-Connected PV Systems. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 2009. 56(11): p. 4319-4331.
19. Alahmad, M., et al., An adaptive utility interactive photovoltaic system based on a flexible switch matrix to optimize performance in real-time. *Solar Energy*, 2012. 86(3): p. 951-963.
20. Gilbert M, *Renewable and Efficient Electric Power System*. 2004, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
21. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์. 9 มกราคม 2556]; Available from: http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_pg5.htm.
22. A. Goetzberger and V.U. Hoffmann, *Photovoltaic Solar Energy Generation*.
23. National Renewable Energy Laboratory. *Research Cell Efficiency Records*. 23 มีนาคม 2557]; Available from: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg.
24. LEONICS. ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์. 7 เมษายน 2556]; Available from: http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php.
25. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. เซลล์แสงอาทิตย์ : ข้อดี-ข้อเสีย. 2545; Available from: <http://www.nstda.or.th/sci-kids-menu/2326-solar-cell-advantage-disadvantage>.
26. Multi-Crystalline Silicon Solar Modules 130 Watt SP130. 18 ตุลาคม 2555]; Available from: http://www.solartron.co.th/Catalog/SP130_TH.pdf.

27. Poly-Crystalline Silicon Solar Modules 285-295 Watt STP285-24/Vd, STP290-24/Vd, STP295-24/Vd. 25 กรกฎาคม 2556]; Available from:
http://www.redasolar.nl/bestanden/documenten/Suntech/STP_Vd_285-295_156-72_EN.pdf.
28. EGCO. การติดตั้งแบบหมุนตามดวงอาทิตย์. 26 เมษายน 2557]; Available from:
http://www.egco.com/th/energy_knowledge_solar5.asp.
29. Bender. Electrical Safety of PV installation. 30 มีนาคม 2557]; Available from:
<http://omtechnicalsolutions.com/download/Photovoltaik.pdf>.
30. โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ SUNNY BANGCHAK. 28 มีนาคม 2557]; Available from: <http://www.bangchak.co.th/sunny-bangchak/download/sunny-bangchak-overview.pdf>.
31. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จังหวัดแม่ฮ่องสอน. 28 มีนาคม 2557]; Available from:
http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/pdf_pv/pv_mhs500kw.pdf.
32. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ว่าด้วยเรื่องเมฆ. 30 มกราคม 2557]; Available from:
http://secondsci.ipst.ac.th/index.php?option=com_content&view=article&id=245:2011-10-19-06-58-30&catid=19:2009-05-04-05-01-56&Itemid=34.
33. ฝ่ายข่าวอากาศแผนกสนับสนุนการบินกองบิน 23. เมฆและชนิดของเมฆ. 30 มกราคม 2557]; Available from: <http://weatherwing23.6te.net/index.php/2012-10-23-07-33-49>.
34. กรมอุตุนิยมวิทยา. หนังสืออุตุนิยมวิทยา. 30 มกราคม 2557]; Available from:
<http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52>
35. ศูนย์อุตุนิยมวิทยาทะเล. ลม. 30 มกราคม 2557]; Available from:
<http://www.marine.tmd.go.th/thai/>.
36. Mohamed Amer Chaaban, ADAPTIVE PHOTOVOLTAIC CONFIGURATIONS FOR DECREASING THE ELECTRICAL MISMATCHING LOSSES, in Architectural Engineering. 2011, University of Nebraska-Lincoln. p. 109.
37. SMA Solar Technology. SUNNY BOY 1300TL / 1600TL / 2100TL. 9 พฤศจิกายน 2556]; Available from: http://files.sma.de/dl/1348/CEI0-21_B-IA-it-en-de-20.pdf.
38. SMA Solar Technology. SUNNY CENTRAL 630HE. 20 กุมภาพันธ์ 2557]; Available from: <http://www.proinso.net/pub/doc/File/ingl/sc630he.pdf>.
39. Astronergy. Datasheet Cystalline PV Module CHSM6612P Series. 5 มีนาคม 2557]; Available from:
http://www.astronergy.com/attch/product/20130913_CHSM6612P_with_50mm_frame.pdf.

40. SMA Solar Technology. SUNNY CENTRAL /630CP-US/800CP-US. 20 กุมภาพันธ์ 2557]; Available from: http://www.sma-america.com/en_US/products/grid-tied-inverters/sunny-central/sunny-central-500cp-us-630cp-us-720cp-us-750cp-us-800cp-us-850cp-us-900-cp-us.html.
41. Product_Catalogue_3M. Automotive window film. 1 ตุลาคม 2556]; Available from: http://catalogue.3m.eu/en_EU/EU-awf/Automotive_Window_Films/3M_FX-HP_Series/td~Automotive_Window_Film~FX-HP_30/Automotive_Window_Film.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก.
ความเร็วลมชั้นบนปี 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง ก.2 ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมชั้นบนเดือนกุมภาพันธ์ 2556

Day	Surface		0.5		1		1.5		2		2.5		3		4		5		6		7		8		9		
	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	
	Height in kilometres above mean sea level																										
1	0	0	50	6	100	8	140	6																			
2	40	2	80	9	110	7	120	8																			
3	0	0	70	10	90	16	100	14	110	13	130	13	160	13	150	16	200	11	230	15							
4	0	0	20	6	60	7	110	6	130	6	130	6	190	5	200	15	220	14	230	20	250	23	250	42			
5	0	0	10	2	90	7	110	9	120	13																	
6	200	2	180	3	60	2	40	2	50	2	70	3	70	6													
7	0	0	210	8	250	4	340	5	360	3	310	2	160	4	130	6	120	11	120	19	100	21	130	20	160	12	
8	0	0	180	9	230	4	110	3	120	6	140	6	110	7	240	4	190	6	120	7							
9	200	4	200	9	160	5	120	6	80	5																	
10	0	0	170	5																							
11	0	0	80	5	70	7	100	11	70	16	80	11	110	7	140	9	120	9	130	5	150	7	180	6	290	3	
12	0	0	240	2	100	5	90	8	110	7	110	9	120	13													
13	0	0	110	14	110	16	100	11	110	9																	
14	0	0	70	6	90	12	120	11	130	5																	
15	0	0	30	8	40	11	50	11	100	12	120	9	70	10	110	16	100	7	120	14	120	14	160	19	160	11	
16	0	0	180	14	150	3	50	11	60	14	80	15	100	13	110	12	100	17	130	16	110	12	140	12	150	17	
17	120	1	130	14	140	21	130	17	120	17	130	8	150	6	170	15	70	6	10	4	0	0	160	6	290	2	
18	180	2	210	11	190	7	130	6	130	3	0	0	130	10	150	18	150	13	200	2	150	9	170	9	220	7	
19	0	0	180	3	180	3	120	6	80	10	60	12	70	9	140	6	170	5	160	2	150	8	140	10	160	17	
20	230	2	220	8	360	2	90	8	110	10	110	13	130	11	130	11	100	11	70	9	140	12	160	13	170	15	
21																											
22	0	0	70	8	80	14	60	13																			
23	70	6	80	18	90	16	100	7	100	8	80	18	80	21	110	13	130	11	140	10	140	9	140	11	170	16	
24	0	0	60	5	70	8	70	10	60	9	40	4	90	11	110	17	110	5	160	11							
25	20	1	50	3	110	2	70	8	70	11																	
26	0	0	140	4	80	8	100	9	100	8	100	7	90	8													
27	0	0	210	4	80	4	70	10	80	13	90	14	80	10	120	10	100	10	90	10	100	13	140	16	140	18	
28	180	2	200	12	220	10	190	6	130	9	110	10	100	10	100	7	130	9	140	12	130	14	110	14	140	14	

ตาราง ก.4 ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมชั้นบนเดือนเมษายน 2556

Day	Surface		0.5		1		1.5		2		2.5		3		4		5		6		7		8		9		
	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	
1	190	4	200	17	210	20	200	14	180	7	160	7	120	6	30	5	360	5	360	19	350	11	10	17	300	17	
2	0	0	200	9	220	9	160	6	90	8	80	9	90	7	30	7	60	5	200	6	300	9	280	11	270	13	
3																											
4	190	4	200	13	250	8	260	6	240	4																	
5	200	2	230	8	280	9	300	10	280	8	280	7	330	8													
6	0	0	280	20	300	16	310	15	320	15	320	13	330	16	270	17	250	16	310	10	90	6	70	8	360	1	
7	250	3	290	24	300	16	310	8	290	12	240	11	240	6	250	20	290	10	190	4	50	2	140	6	210	4	
8	0	0	280	14	260	8	230	16	210	22	210	26	210	22	230	10	300	10	330	8	350	6	310	5	240	11	
9	0	0	190	7	180	6	170	11	200	16	210	20	210	15	330	1	60	2	340	6	330	13	310	12	340	10	
10	0	0	190	8	210	8																					
11	0	0	190	5	200	6																					
12	0	0	240	5	140	4																					
13	90	2	100	16	110	25	110	18	100	10	80	9															
14	0	0	190	4	110	5	100	13	110	16	110	14	120	13	100	15											
15																											
16																											
17	0	0	230	4	270	9	320	6	360	8	360	9	340	6													
18	0	0	290	7	320	12	330	13	310	9	260	4	290	8	260	12	280	15									
19	0	0	290	13	300	8	240	6	270	5	300	2	300	2	300	14	260	8	260	7							
20	0	0	250	3	240	6	150	6	110	6	70	6	340	4													
21	0	0	200	8	230	9	210	8	180	10	150	9	100	11	130	14	170	9	170	10	170	13	190	9	210	12	
22	120	2	130	7	150	10	140	11	140	13																	
23	100	2	150	4	190	6	130	8	110	8	140	5	160	4	350	1	220	2									
24	0	0	130	4	150	4	110	6	120	6	130	6	120	9	140	6	50	7	70	12	310	3	260	5	220	11	
25	0	0	200	8	190	11	160	11	160	9	150	9	130	6	90	3	40	3	250	3	200	4	210	9			
26	0	0	200	7	210	10	220	10	210	8	180	7	160	4	190	2	260	6	240	7	230	8	270	6	280	9	
27																											
28	0	0	200	5	230	3	210	2	220	3	260	3	220	5	240	5	230	4									
29	0	0	200	10	200	13	190	13	190	11	180	9	210	4	240	2	260	4	280	6	270	7					
30	0	0	210	10	210	10	220	7	210	4	190	3	170	4	220	4											

ตาราง ก.7 ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมชั้นบนเดือนกรกฎาคม 2556

Day	Height in kilometres above mean sea level																																							
	Surface		0.5		1		1.5		2		2.5		3		4		5		6		7		8		9															
	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff												
1	280	2	310	18	310	17	330	11	330	12	310	11	280	10	260	7	200	2	140	11	80	13	110	13	100	15														
2	250	2	260	11	280	17	280	11	250	8	240	9	260	7	240	6																								
3	0	0	280	9	290	10	290	6	290	5	250	6	210	5	180	4	100	3	50	7	80	8	70	10	80	12														
4	0	0	330	6	330	3	210	5	200	7	200	5	190	6	170	5	180	2	90	2	210	5																		
5																																								
6	0	0	160	4	180	5	160	6																																
7	0	0	240	4	220	7	210	6	200	5	120	4	70	5	80	4	110	7	120	11	130	12	110	14	110	14														
8																																								
9	0	0	200	11	230	8	290	8	260	7	240	9																												
10	0	0	260	8	270	11	270	11	270	11																														
11	0	0	230	3	250	4	250	5	220	8	250	13	270	20	270	22																								
12																																								
13	270	2	300	19	310	18	310	16	310	16	320	19	320	16	310	9	270	4	320	4	90	6	70	12	60	14														
14	260	3	280	14	300	18	300	10	280	9	270	10	280	2																										
15	0	0	250	10	290	14	310	16	300	9	250	6	250	8	220	7	200	5	130	8	140	11	150	8																
16	0	0	280	13	280	20	300	19	300	13	300	14																												
17	0	0	280	16	290	23	300	26	320	20	320	16	290	14	280	8	230	9																						
18	0	0	280	13	300	22	310	18	310	10	300	8																												
19	270	3	280	14	290	21	300	21	300	16	310	10	350	9																										
20	250	3	270	13	280	18																																		
21	0	0	280	14	290	22	300	20	310	19																														
22	0	0	260	10	280	14																																		
23	240	1	260	7	290	13	310	10	320	10																														
24																																								
25	0	0	240	8	280	13	290	23	300	26	300	26	290	27	270	24																								
26	220	2	230	9	270	13	280	16	290	19	290	17	290	17	270	15																								
27	220	2	250	10	270	13	290	15	310	14	320	12	290	13	290	12	260	9	250	10																				
28	0	0	240	11	270	17	290	21	290	20	290	20	290	18	290	21																								
29																																								
30	230	2	210	18	200	16	220	18	230	14	240	12	250	16	270	20	250	28	240	22	230	14	310	6	340	11														
31	250	2	220	14	240	16	250	20	260	16	270	17	270	19	280	21	260	15	260	24	320	8	360	5	340	8														

ตาราง ก.8 ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมชั้นบนเดือนสิงหาคม 2556

Day	Surface		Height in kilometres above mean sea level																							
	0.5		1		1.5		2		2.5		3		4		5		6		7		8		9			
	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff	ddd	ff		
1	0	0	230	10	270	18	280	20	310	23	320	30	310	26	310	18	290	12	340	3	30	2	50	5	40	5
2	270	2	280	21	300	17	310	22	310	20	310	14	330	14	310	11	290	4	150	4	160	4	80	2	100	6
3	280	1	210	14	250	16	280	14	270	14	260	17	230	17	270	11	210	8	260	5	290	10	300	10	290	5
4	0	0	190	16	200	15	210	19	210	14	230	12	230	20	250	23	240	18	250	8	270	5	320	6	80	8
5	120	1	210	7	220	10	210	6	180	3	200	6	220	8	220	10	270	3	30	10	70	7	70	6	140	8
6	300	2	280	19	300	18	310	9	300	12	300	12	310	8	20	8	30	8	50	14	70	16	60	18	70	22
7	260	10	290	21	300	12	290	10	300	12	300	13	290	12	310	5	330	5	360	6	70	8	90	14	100	12
8	0	0	270	10	280	12	290	13	280	9	310	9	290	10	290	13	280	12								
9	0	0	230	9	230	10	230	11	220	12	230	8	240	10	210	7	220	10	240	18	210	19	230	19	230	10
10	90	4	180	13	210	14	220	15	210	14	220	16	220	16	220	16	250	6	280	8	260	3	220	4	50	4
11	220	4	190	11	200	9	180	7	140	6	190	7	230	5	250	3	40	3	80	7	70	15	70	13	70	24
12	50	2	260	4	270	8	240	6	270	3	50	2	30	4	340	8	10	9	60	14	70	16	80	20	80	20
13	70	4	280	6	300	9	320	9	320	8	340	6	360	5	360	11	310	8	20	10	70	12	80	12	90	14
14	110	2	210	12	230	16	220	15	220	14	240	9	250	11	280	9	10	3	20	4	60	4	60	5	90	5
15	0	0	220	12	230	17	240	23	240	18	250	17	240	20	220	22	210	28	230	21	260	10	280	6	90	3
16	0	0	230	11	260	22	270	27	270	26	260	20	270	21	260	21	260	24	220	13	300	9	270	4	60	8
17	260	1	250	17	270	21	270	30	280	30	280	28	270	22	280	26	260	16	290	8	300	17	320	8	30	18
18	0	0	240	12	270	22	290	32	290	32	290	30	290	28	280	21	280	14	320	9	350	10	340	7	50	13
19	0	0	260	18	270	22	280	32	280	35	290	36	300	22	300	11	280	12	360	14	50	12	50	11	60	19
20	240	4	230	16	260	21	280	36	280	37	290	33	300	24	270	16	330	16	20	9	10	12	60	9	60	13
21	250	4	240	14	250	19	270	26	270	30	280	32	280	30	270	16	250	12	20	8	20	12	10	17	10	18
22	230	2	260	12	290	19	300	24																		
23	0	0	230	14	260	19	280	32	280	36	280	33	260	29	250	31	220	29	260	35	260	20	310	15	340	8
24	0	0	240	14	250	16	270	29	270	28	270	25	270	25	270	22	250	25	270	13	300	6	340	2	130	12
25	0	0	220	15	230	20	270	26	280	29	270	26	280	18	270	21	260	25	220	8	80	5	110	6	80	4
26	280	4	230	11	250	13	270	17	270	19	270	13	270	12	270	19	320	11	290	3	240	4	360	6	50	17
27	0	0	280	10	280	14	290	16	300	12	300	14	300	12	300	9	330	4	310	6	340	10	360	12	40	14
28	260	6	290	21	290	14	290	11	340	10	350	12	350	13	20	15	40	13	360	8	320	12	320	9	30	2
29	270	4	280	25	290	30	290	20	280	16	280	12	290	8	360	6	20	9	50	8	70	6	100	3	50	11
30	0	0	250	20	280	24	290	15	290	16	280	13	290	10	270	6	300	6	260	8	10	11	20	6	60	10
31	90	2	260	7	280	5	270	6	220	9	210	10	180	9	210	12	220	13	240	21	240	21	260	12	210	3

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอนุชา เล็กเครือสุวรรณ เกิดวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533 ที่จังหวัดสมุทรสงคราม สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2554 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขณะทำการศึกษา ผู้เขียนวิทยานิพนธ์มีผลงานตีพิมพ์ จำนวน 2 บทความ ได้แก่ (1) “การจัดเรียงอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลกระทบของการบังแสงแดดต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า” ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36 (EECON-36) วันที่ 11-13 ธันวาคม พ.ศ. 2556 และ (2) “Adaptive Photovoltaic Array Configuration for Alleviating Impact of Shading on Power Generation” ในการประชุม Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2014 11th International Conference วันที่ 14-17 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

นอกจากนี้ ขณะทำการศึกษา ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ได้ทำหน้าที่ ผู้ช่วยวิจัยโครงการ จำนวน 2 โครงการ ได้แก่ (1) โครงการศึกษาทบทวนระบบเชื่อมโยงโครงข่ายไฟฟ้าภายในประเทศและระหว่างประเทศ สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน และ (2) โครงการการออกแบบเชิงรายละเอียดและศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการนำร่องระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะจังหวัดแม่ฮ่องสอน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย