

การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ในระบบโฟโตโวลตาอิก

STUDY AND ANALYSIS OF SHADING EFFECT
ON SOLAR MODULE IN PHOTOVOLTAIC SYSTEM

อเนก ทอนสูงเนิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ในระบบโฟโตโวลตาอิก



อเนก ทอนสูงเนิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใน
ระบบโฟโตโวลตาอิก
Study and Analysis of Shading Effect on Solar Module in Photovoltaic
System

ชื่อ-นามสกุล นายอเนก ทอนสูงเนิน

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย หิรัญวโรดม, Ph.D.

ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์, Ph.D.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชชัย แสงอุดม, Dr.-Ing.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย หิรัญวโรดม, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ เดือน พ.ศ.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโฟโตโวลตาอิก
ชื่อ – นามสกุล	นายอเนก ทอนสูงเนิน
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย หิรัญวโรดม, Ph.D.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโฟโตโวลตาอิก เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นโดยเชื่อมต่อจำนวน 36 เซลล์แบบอนุกรมในหนึ่งแผง เพื่อที่จะได้รับแรงดันใช้งานตามความต้องการ การเกิดการบังเงาบางส่วนบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เกิดความร้อนสะสมบนตัวเซลล์ที่ถูกบังเงา ผลทำให้การผลิตกำลังสูงสุดลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาผลกระทบจากการบังเงาที่มีผลต่อการผลิตกำลังไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบจริงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับความเข้มแสงอาทิตย์จริงและสร้างสถานะที่มีการบังเงาเกิดขึ้นบางส่วน โดยทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK มีการทดสอบเปรียบเทียบในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความเข้มแสงเต็มที่ทุกเซลล์หรือไม่มีการบังเงา และกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกบังเงาที่ตัวเซลล์บางตัวโดยคิดค่าเป็นร้อยละของจำนวนเซลล์ทั้งหมด มีการทดสอบการจ่ายโหลดจริง ที่สภาวะอากาศแตกต่างกันและเปรียบเทียบการทดสอบจริงกับการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการทดสอบจริงและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกการบังเงาร้อยละ 20 ของจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด เซลล์ที่ถูกบังเงาจะทำให้กำลังสูงสุดที่ผลิตลดลง เมื่อเพิ่มการบังเงาเป็นร้อยละ 40 ทำให้กำลังสูงสุดที่ผลิตลดลงอีกต่อไป เมื่อเพิ่มการบังเงาอีกเรื่อย ๆ กำลังไฟฟ้าก็ลดลงอีกเช่นกัน และจากการเปรียบเทียบผลการทดสอบจริงกับแบบจำลอง ค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังอยู่ระหว่างร้อยละ 0.3-4.76 ค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันอยู่ระหว่างร้อยละ 0-0.56 และค่าความคลาดเคลื่อนของกระแสอยู่ระหว่างร้อยละ 0.24-2.86 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถใช้แทนการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

คำสำคัญ: การบังเงาบนเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบโฟโตโวลตาอิก กำลังสูงสุด

Thesis Title Study and Analysis of Shading Effect on Solar Module
in Photovoltaic System

Name – Surname Mr. Anak Thonsungnoen

Program Electrical Engineering

Thesis Advisor Assistant Professor Somchai Hiranvarodom, Ph.D

Academic Year 2014

ABSTRACT

The aim of research is to study and analyze the shading effect on solar module. Due to the fact that a solar module consists of 36 cells connected in series to produce desired voltage. The partial shading effect causes the cumulative heat on shaded cells then the maximum power produced is really reduced. Accordingly, it is necessary to study the shading effect on solar modules.

In this research work, the solar modules were examined with actual sun intensity and to be compared with the results of simulation by MATLAB/SIMULINK program. In fact, the conditions of no shading and partial shading of cells in terms of percentage were actually examined and to be compared with the simulative results from the computer program. In addition, different weather conditions were parameters for testing on actual loads to also compare with the simulative results.

The results of actual test and simulation can be stated that when the 20 percent and 40 percent of solar cells of all cells in a solar module were shaded, the maximum power produced is reduced respectively. If more cells were additionally shaded, maximum power produced were also significantly reduced respectively. When comparing between the results of actual test and simulation found that the error in terms of power was between 0.3 and 4.76 percent. The errors in terms of voltage and current were 0 and 0.56 percent, and 0.24 and 2.86 percent respectively. These errors can be accepted by statistical issue. It means that simulation model developed can be used for solar module operating.

Keywords: shading on solar cells, pv system, maximum power

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยการให้คำแนะนำด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย หิรัญวโรดม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ ชนม์ ภูมิภคิตพิชญ์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชชัย แสงอุดม ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ประเมินผลรับรองต้นแบบชิ้นงานวิจัยและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน ที่สละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำอันเป็นผลให้งานวิจัยมีความชัดเจน ครบถ้วนและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริง ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาและวิทยาลัยเทคนิคหลวงพ่อกุศล ปรีสุทโธ ที่ได้ให้เวลาและมอบทุนสนับสนุนเพื่อพัฒนาบุคลากรตลอดระยะเวลาในการศึกษา ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถ นำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

อเนก ทอนสูงเนิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(10)
สารบัญภาพ.....	(11)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(15)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความสำคัญของปัญหา.....	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
1.4 สมมุติฐานของการศึกษา.....	5
1.5 ขอบเขตของการศึกษา.....	5
1.6 ขั้นตอนของการวิจัย.....	5
1.7 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	6
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์.....	7
2.1.1 ดวงอาทิตย์.....	7
2.1.2 แสงอาทิตย์.....	8
2.1.3 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย.....	9
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์.....	12
2.3 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
2.5 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์.....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
2.6.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว	18
2.6.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม	19
2.6.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนและแบบอะมอร์ฟัส	21
2.7 คุณลักษณะและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	22
2.7.1 ผลกระทบจากระดับความเข้มแสง.....	23
2.7.2 ผลกระทบจากอุณหภูมิ	24
2.7.3 วงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	28
2.8 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	30
2.8.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ.....	32
2.8.2 ระบบไฟฟ้ากระแสตรง	32
2.8.3 ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ.....	33
2.8.4 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน.....	33
2.8.5 ระบบผลิตไฟฟ้าในครัวเรือน.....	34
2.8.6 สถานีไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หมู่บ้าน	35
2.8.7 สถานีประจุแบตเตอรี่	36
2.9 ระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	37
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	44
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	44
3.2 การทดสอบในสภาพจริง.....	47
3.2.1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้ มีการต่อโหลด.....	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อโหลด.....	50
3.2.3 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง เกิดการบังเงาและมีการต่อโหลด.....	50
3.2.4 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ในสภาพจริงที่สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน.....	51
3.3 การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	51
3.4 การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในสภาวะที่เกิดการบังเงา....	60
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	63
4.1 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อโหลด.....	63
4.1.1 ผลการทดสอบในสภาพจริง.....	63
4.1.2 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink.....	67
4.1.3 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink	68
4.2 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อโหลด	70
4.2.1 ผลการทดสอบในสภาพจริง.....	70
4.2.2 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink.....	72
4.2.3 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink	73

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง เกิดการบังเงาและมีการต่อโหลด.....	75
4.3.1 ผลการทดสอบในสภาพจริง.....	75
4.3.2 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink.....	77
4.3.3 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink	81
4.4 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ในสภาพจริงที่สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน.....	82
4.4.1 ผลการทดสอบในสภาพจริง.....	83
4.4.2 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink.....	84
4.4.3 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink.....	85
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	90
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	90
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	91
รายการอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก การใช้งาน โปรแกรม Matlab/Simulink.....	96
ภาคผนวก ข m-file Matlab/Simulink.....	109
ภาคผนวก ค เอกสารข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	111
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	114
ประวัติผู้เขียน.....	173

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าพิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Sharp รุ่น NE-80E2E.....	47
ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Sharp รุ่น NE-80E2E.....	47
ตารางที่ 3.3 ความเข้มแสงของการแผ่รังสีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในสถานะต่างๆ.....	51
ตารางที่ 3.4 ค่าที่ได้จากการทดสอบจริง.....	53
ตารางที่ 3.5 การใช้ใช้ระเบียบวิธีนิวตัน-กราฟหาค่า I_s	54
ตารางที่ 3.6 สัญลักษณ์และรายละเอียดของ Block ดำเนินการต่างๆใน Simulink.....	55
ตารางที่ 3.7 สมการทางคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้ใน Matlab/Simulink.....	57
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการ ต่อโหลด.....	64
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่มีโหลดและไม่มีการ บังเงา.....	68
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อ โหลด.....	71
ตารางที่ 4.4 ผลเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink.....	74
ตารางที่ 4.5 การทดสอบการบังเงาร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 80.....	81
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาพท้องฟ้าโปร่ง.....	83
ตารางที่ 4.7 ผลเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink.....	86
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink.....	89

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 การกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	2
ภาพที่ 1.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	3
ภาพที่ 1.3 สาเหตุของปัญหาที่เกิดจากการบังเงา.....	4
ภาพที่ 2.1 ระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์.....	8
ภาพที่ 2.2 พลังงานแสงอาทิตย์จากประเทศต่างๆทั่วโลก	9
ภาพที่ 2.3 พลังงานแสงอาทิตย์ภายในประเทศไทย.....	11
ภาพที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็นของผลึกซิลิกอนในปี ค.ศ.1954.....	13
ภาพที่ 2.5 ผลึกสารซิลิกอนบริสุทธิ์.....	14
ภาพที่ 2.6 แกลเลียมอาเซไนด์.....	14
ภาพที่ 2.7 แคดเมียมเทลลูไรด์.....	14
ภาพที่ 2.8 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	16
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างภายในรอยต่อ PN junction.....	16
ภาพที่ 2.10 โครงสร้างภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
ภาพที่ 2.11 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว	19
ภาพที่ 2.12 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกเดี่ยว.....	19
ภาพที่ 2.13 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบผลึกรวม.....	20
ภาพที่ 2.14 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม.....	20
ภาพที่ 2.15 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous Silicon Cell).....	21
ภาพที่ 2.16 การต่อของเซลล์แสงอาทิตย์.....	21
ภาพที่ 2.17 การทดสอบเพื่อสร้างกราฟกระแสและแรงดัน I-V curve.....	22
ภาพที่ 2.18 ค่าต่างๆที่สามารถหาได้ใน I-V curve.....	23
ภาพที่ 2.19 กราฟ I-V curve กรณีความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง.....	23
ภาพที่ 2.20 กราฟ P-V curve กรณีความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง.....	24
ภาพที่ 2.21 กราฟ I-V curve กรณีอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง.....	26
ภาพที่ 2.22 กราฟ P-V curve กรณีอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง.....	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.23 กราฟแสดงการหาค่าฟิลต์แฟกเตอร์.....	27
ภาพที่ 2.24 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติ.....	28
ภาพที่ 2.25 ประเภทของระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	30
ภาพที่ 2.26 ส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	31
ภาพที่ 2.27 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power System).....	32
ภาพที่ 2.28 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power System).....	33
ภาพที่ 2.29 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid Power System).....	34
ภาพที่ 2.30 ระบบผลิตไฟฟ้าในครัวเรือนหรือระบบบ้านเซลล์แสงอาทิตย์	35
ภาพที่ 2.31 สถานีไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หมู่บ้าน.....	36
ภาพที่ 2.32 สถานีประจุแบตเตอรี่.....	36
ภาพที่ 2.33 กราฟเปรียบเทียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	37
ภาพที่ 2.34 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB.....	39
ภาพที่ 2.35 ผลการจำลองกราฟ I-V curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง.....	40
ภาพที่ 2.36 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	41
ภาพที่ 2.37 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM.....	41
ภาพที่ 2.38 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยใช้ DC-DC Converter	42
ภาพที่ 2.39 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK.....	42
ภาพที่ 2.40 จุดเปลี่ยนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง.....	43
ภาพที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	45
ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	48
ภาพที่ 3.3 การทดสอบในสภาพจริงกลางแจ้งแดดจัด.....	48
ภาพที่ 3.4 การทดสอบในสภาพจริงที่สภาวะแวดล้อมฟ้าครึ้มมีเมฆมาก.....	49
ภาพที่ 3.5 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อ โหลด.....	49
ภาพที่ 3.6 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อโหลด.....	50
ภาพที่ 3.7 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยมีการบังเงาเกิดขึ้น.....	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.8 การกำหนดค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิในโปรแกรม Matlab/Simulink.....	56
ภาพที่ 3.9 แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 6 แผง ที่ทำการทดสอบในสภาวะที่แตก ต่างกัน.....	58
ภาพที่ 3.10 ภายใน Subsystem จะประกอบไปด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์.....	59
ภาพที่ 3.11 ภายใน Subsystem แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบการบังเงา.....	62
ภาพที่ 4.1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อ โหลด.....	63
ภาพที่ 4.2 นำผลการทดสอบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและ แรงดัน V_{oc}	65
ภาพที่ 4.3 นำผลการทดสอบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและ กระแส I_{sc}	65
ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงระหว่าง กระแส I_{sc} และแรงดัน V_{oc}	66
ภาพที่ 4.5 แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง.....	67
ภาพที่ 4.6 เส้นโค้ง I-V ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน.....	67
ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าแรงดันขณะเปิดวงจรที่ทดสอบจริงกับค่าแรงดันที่ทดสอบด้วย แบบจำลอง.....	69
ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรที่ทดสอบจริงกับค่ากระแสที่ทดสอบด้วยแบบ จำลอง.....	69
ภาพที่ 4.9 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อ โหลด.....	70
ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบโดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อ โหลดที่ความเข้มแสง 600 W/m^2 ...	71
ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบโดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อ โหลดที่ความเข้มแสง 800 W/m^2	72
ภาพที่ 4.12 เส้นโค้ง P-V ความเข้มแสง 800 W/m^2 ทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink.....	72

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.13 เส้นโค้ง I-V ความเข้มแสง 800 W/m^2 ทดสอบด้วยแบบจำลอง.....	73
ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับแบบจำลองที่ความเข้มแสง 600 W/m^2	74
ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับแบบจำลองที่ความเข้มแสง 800 W/m^2	75
ภาพที่ 4.16 การทดสอบคุณสมบัติแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพแวดล้อมจริง.....	76
ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองที่ความเข้มแสงต่างกัน.....	76
ภาพที่ 4.18 เส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 20.....	77
ภาพที่ 4.19 เส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 50.....	78
ภาพที่ 4.20 เส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 80.....	79
ภาพที่ 4.21 เส้นโค้ง I-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 20.....	79
ภาพที่ 4.22 เส้นโค้ง I-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 50.....	80
ภาพที่ 4.23 เส้นโค้ง I-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 80.....	80
ภาพที่ 4.24 ผลการทดสอบการบังเงาร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 80 ที่โหลด $R_L = 0.1 \Omega$	81
ภาพที่ 4.25 ผลการทดสอบการบังเงาร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 80 ที่โหลด $R_L = 10 \Omega$	82
ภาพที่ 4.26 เส้นโค้ง P-V ในสถานะท้องฟ้าโปร่งช่วง $600\text{-}1000 \text{ W/m}^2$ ด้วยแบบจำลอง.....	84
ภาพที่ 4.27 เส้นโค้ง P-V ในสถานะท้องฟ้ามีเมฆและหมอก ช่วง $200\text{-}400 \text{ W/m}^2$	84
ภาพที่ 4.28 เส้นโค้ง P-V ในสถานะท้องฟ้าครึ้ม ช่วง $50\text{-}150 \text{ W/m}^2$ ด้วยแบบจำลอง.....	86
ภาพที่ 4.29 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสถานะท้องฟ้าโปร่ง.....	87
ภาพที่ 4.30 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสถานะท้องฟ้ามีเมฆและหมอก.....	87
ภาพที่ 4.31 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสถานะท้องฟ้าครึ้ม.....	88

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

I	กระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A)
I_s	กระแสรั่วในสภาวะอิ่มตัวขณะจ่ายไบอัสกลับ (A)
I_D	กระแสไดโอด (A)
I_{sh}	กระแสวงจรมืด (A)
I_{ph}	กระแสโฟตอน (A)
q	ประจุอิเล็กตรอน $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
V	แรงดันตกคร่อมไดโอด (V)
N	แฟกเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์
K	ค่าคงที่ของ Boltzman $1.3806504 \times 10^{-23} \text{ J/Kelvin}$
T	อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์ (K)
R_{sh}	ความต้านทานขนาน (Ω)
R_s	ความต้านทานอนุกรม (Ω)
FF	ฟิลล์แฟกเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
V_{mp}	แรงดันสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)
I_{mp}	กระแสสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A)
V_{oc}	แรงดันวงจรเปิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)
I_{sc}	กระแสลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A)
η	ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)
P_{mp}	กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W)
n_p	จำนวนเซลล์ขนานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
n_s	จำนวนเซลล์อนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
V_t	Thermal Voltage
E_g	Band gap energy of semiconductor
PV	Photovoltaic
AM	Air Mass
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

<i>mm</i>	มิลลิเมตร
<i>W</i>	วัตต์
<i>sec</i>	วินาที
<i>% Shaded</i>	ร้อยละของการบังเงา
<i>W/m²</i>	วัตต์ต่อตารางเมตร
<i>I_{light}</i>	กระแสของเซลล์ที่ได้รับความเข้มแสงเต็มที่
<i>I_{shaded}</i>	กระแสของเซลล์ที่ถูกบังเงา
<i>nS_{light}</i>	จำนวนเซลล์ที่ได้รับความเข้มแสงเต็มที่



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ.2553 เพิ่มขึ้นจากปี 2552 ร้อยละ 9.6 การใช้ในสาขาบ้านและที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 ส่วนสาขาธุรกิจเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.5 มีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปีก่อน ทั้งธุรกิจกลุ่มโรงแรม ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าปลีก ซึ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามชนิดของเชื้อเพลิงนั้นร้อยละ 71 มาจากก๊าซธรรมชาติ ส่วนหนึ่งของก๊าซที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น นำเข้าจากประเทศพม่าทำให้ขาดความมั่นคงทางระบบไฟฟ้าของประเทศ ดังนั้นแนวทางการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่หลากหลายจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง เพื่อลดการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติ [1]

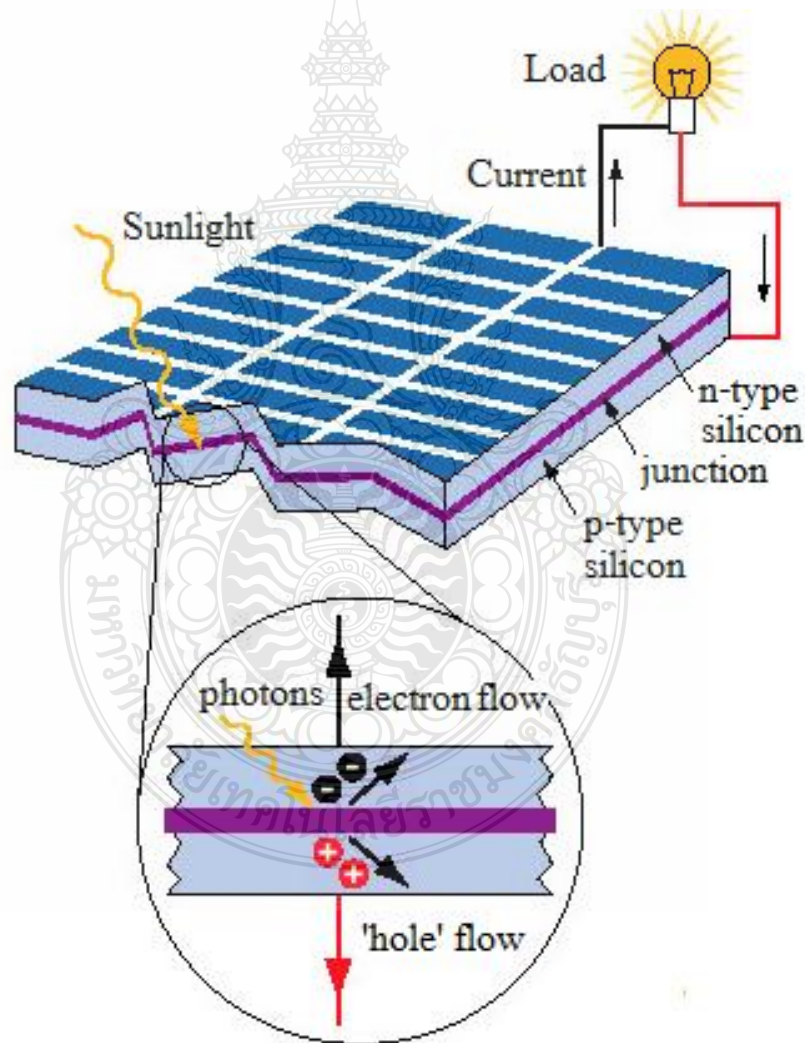
กระทรวงพลังงาน ได้มียุทธศาสตร์พลังงาน โดยกำหนดนโยบายด้านพลังงานทดแทน และให้การสนับสนุนงานวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเช่น ไฮโดรเจนและเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้รองรับการพัฒนาการใช้งานและการผลิตโดยทำทั้งในระดับการต่อยอดเทคโนโลยีจากต่างประเทศ และในระดับที่คิดค้นพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ที่มาจากภูมิปัญญาคนไทย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ สร้างเทคโนโลยีที่เป็นของคนไทย เพื่อลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ [2]

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตใกล้เส้นศูนย์สูตรระหว่างเส้นรุ้งที่ 5° เหนือ ถึง 22° เหนือ และเส้นแวง 96° ตะวันออก ถึง 106° ตะวันออก จึงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ของประเทศไทยโดยเฉลี่ยประมาณ 18.2 MJ/m^2 ต่อวัน (5.05 kWh/m^2 ต่อวัน) หากประเทศไทยสามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ส่องลงมาบนพื้นที่ของประเทศไทยเพียงหนึ่งในร้อยส่วนของพื้นที่ทั้งหมดจะสามารถผลิตพลังงานเทียบเท่าการใช้น้ำมันดิบประมาณ 7 ล้านตันต่อปี

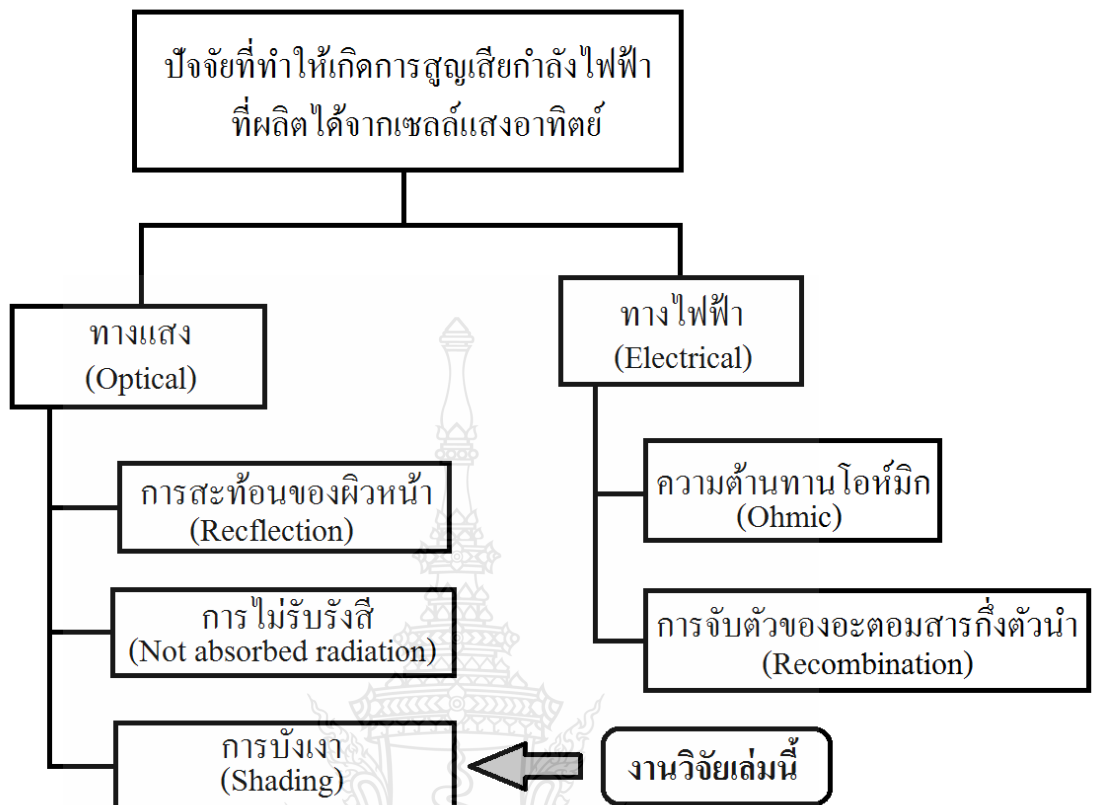
แต่ระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีข้อเสียดังที่ใช้จ่ายต้นทุนการผลิตและต้นทุน ในการติดตั้งค่อนข้างสูง ในการทดลองนั้นมักจะมีข้อจำกัดในเรื่องปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์และอุณหภูมิที่มากน้อยต่างกันไปในแต่ละวัน ก็ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถที่จะใช้ประโยชน์ในการศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงโถ่เซลล์แสงอาทิตย์โดยสามารถจ่ายโหลดได้จริง [3]

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน

ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้น โลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบ ที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำ จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม(atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน [4]



ภาพที่ 1.1 การกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

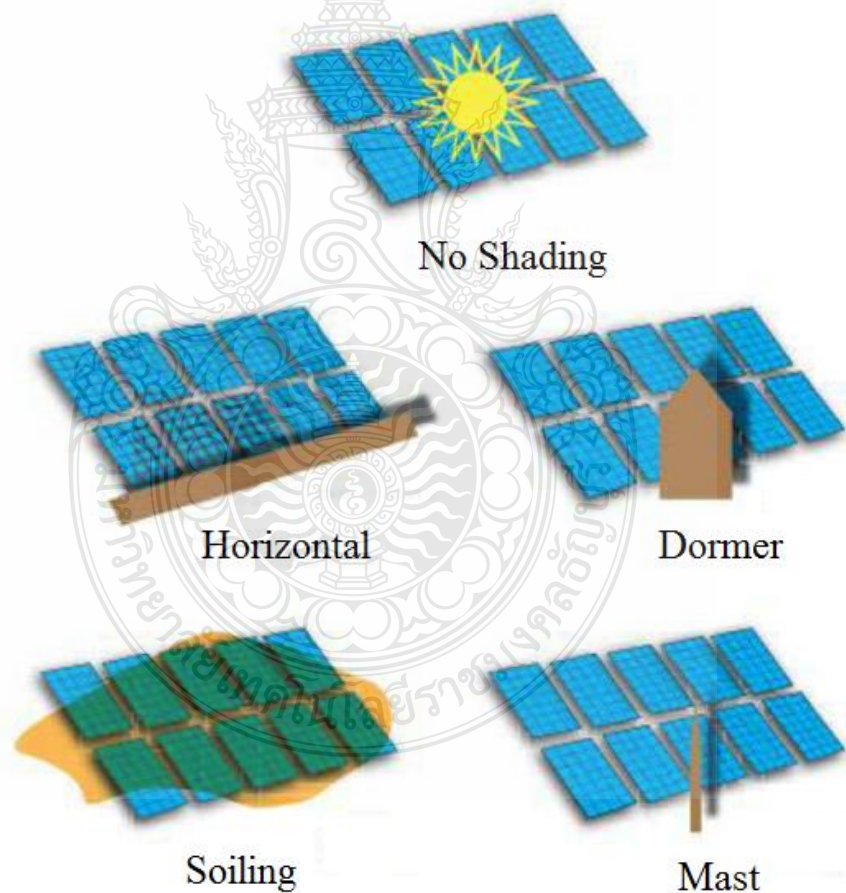


ภาพที่ 1.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังเอาต์พุต ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาจาก 2 สาเหตุหลักคือ ทางด้านแสง (Optical) และทางด้านทางไฟฟ้า (Electrical) สำหรับทางด้านแสงนั้น มีการสะท้อน (Reflection) การบังเงา (Shading) และ ไม่รับรังสี (Not absorbed radiation) เป็นสาเหตุทำให้รับแสงได้ไม่ดี ซึ่งการลดการสะท้อนแสงนั้นทำได้โดยการเคลือบสารป้องกันการสะท้อน (Antireflection coating) ลงบนผิวหน้าของเซลล์ และการทำเซอร์เฟซเทคเจอร์ริง (Surface texturing) ส่วนทางด้านไฟฟ้าแบ่งการสูญเสียออกเป็น 2 ส่วนคือ โอห์มมิก (Ohmic losses) และการจับตัวของอะตอมสารกึ่งตัวนำ (Recombination) ด้านการสูญเสียอันเนื่องมาจากโอห์มมิกนั้นเป็นผลที่เกิดขึ้นจากในตัววัสดุสารกึ่งตัวนำโดยเฉพาะที่เกิดขึ้นบนชั้นอิมิตเตอร์ (Emitter layer) ซึ่งส่วนที่ชั้นอิมิตเตอร์ถูกเชื่อมติดกับโลหะตัวนำฟิงเกอร์มีส่วนร่วมอยู่ด้วย รอยต่อระหว่างโลหะตัวนำกับสารกึ่งตัวนำทั้งด้านบนและล่างของตัวเซลล์ถูกแทนด้วยความต้านทานคอนแทค (Contact resistance) [2]

1.2 ความสำคัญของปัญหา

การถูกบังเงาในแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อทุกเซลล์ ถ้าแต่ละเซลล์ไม่ได้รับพลังงานแสงในปริมาณที่เท่ากัน เซลล์ทั้งหมดที่อยู่ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีเพียงไม่กี่เซลล์เท่านั้นที่สามารถทำงานได้ตามปกติ และเซลล์ที่ถูกบังเงาจะกลายเป็นโหลดหรือเป็นตัวรับกระแสจากเซลล์อื่น ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าขึ้น ถ้าหากไม่มีการแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะได้รับความเสียหายเป็นอย่างมาก ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ เราไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาจากการบังเงานี้ได้เลย เช่น เมื่อเราติดตั้งบนหลังคาบ้าน ปัญหาก็คือการบังเงาอาจเกิดได้จากอาคารใกล้เคียง ซึ่งการบังเงานี้จะเกิดขึ้นหนึ่งวันเป็นบางช่วงเวลาเท่านั้น แต่มันก็จะเกิดขึ้นตลอดทั้งปีได้เช่นกัน ซึ่งเป็นปัญหาทางกายภาพ [5]



ภาพที่ 1.3 สาเหตุของปัญหาที่เกิดจากการบังเงา

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในหัวข้องานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการบดบังเงาของแสงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทดลองหาวิธีลดค่าสูญเสียเนื่องจากการถูกบดบังแสงและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ลดลงเนื่องจากการบังเงาในสถานะต่างๆ เช่น การบังเงาในสถานะที่ความเข้มแสงมากหรือแคดจัด การบังเงาในสถานะที่ความเข้มแสงน้อยหรือมีเมฆหมอกมาบัง

1.4 สมมติฐานของการศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการบดบังเงาของแสงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยตั้งสมมติฐานว่าการบังเงาในสถานะที่แตกต่างกันจะทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกมา ข้อแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะนำมาเปรียบเทียบและใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาถึงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.5.1 ทดสอบการบังเงาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด $80 W_p$
- 1.5.2 สร้างสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด $80 W_p$
- 1.5.3 ทดสอบการบังเงาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด $80 W_p$ ด้วยการจำลอง
- 1.5.4 เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการจำลอง

1.6 ขั้นตอนของวิจัย

- 1.6.1 ศึกษาความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
 - ก. ศึกษาทฤษฎีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และวงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 - ข. ศึกษาการสร้างแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์
 - ค. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาทดสอบ
- 1.6.2 ขั้นตอนของการทดลอง
 - ก. ทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สถานะจริง โดยการทดสอบกลางแจ้ง
 - ข. ทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์
 - ค. ทำการทดสอบและเปรียบเทียบข้อมูลจากการทดสอบในการปฏิบัติจริงกับการจำลอง

ง. สรุปและข้อเสนอแนะ

1.6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง ตามผลขั้นตอนการทดลอง

1.6.4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.7 ข้อจำกัดของการวิจัย

1.7.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองนี้ มีขนาดไม่เกิน 80 W_p

1.7.2 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองกำหนดค่าคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบซิลิคอนผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Cells)

1.7.3 การทดลองในสถานที่จริง ใช้สถานที่ในเขตอำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 มีความรู้ความเข้าใจในผลกระทบของการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สภาวะแวดล้อม ที่แตกต่างกัน

1.8.2 มีความรู้ความเข้าใจในการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ได้

1.8.3 มีความรู้ความเข้าใจในการสร้างแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังเงาในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ได้

1.8.4 เป็นข้อมูลในการศึกษาผลกระทบของการบังเงาในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ต่อไปอีก

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

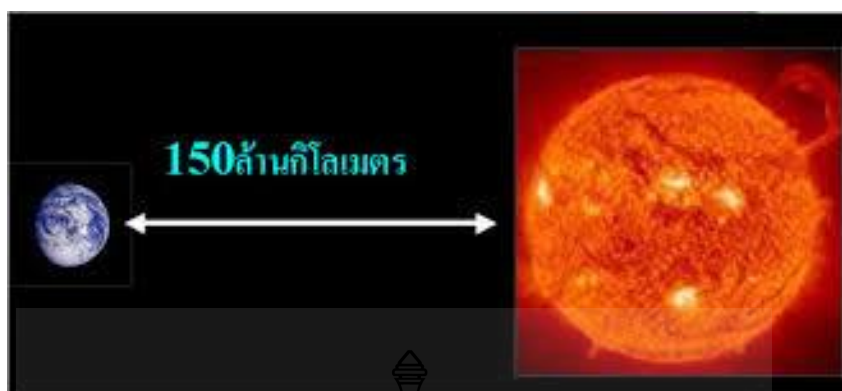
ในงานวิจัยการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบ โฟโตโวลตาอิก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดและลำดับหัวข้อ ดังนี้

1. พลังงานแสงอาทิตย์
2. เซลล์แสงอาทิตย์
3. การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์
4. หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
5. โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์
6. ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์
7. คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์
8. ระบบเซลล์แสงอาทิตย์
9. ระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton - Raphson)
10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

2.1.1 ดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ เป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.39×10^9 เมตร และมีระยะห่างเฉลี่ยจากโลกประมาณ 1.5×10^{11} เมตร ดังภาพที่ 2.1 เมื่อสังเกตจากโลก ดวงอาทิตย์จะใช้เวลาในการหมุนรอบแกนตัวเองประมาณ 4 สัปดาห์ อย่างไรก็ตาม ดวงอาทิตย์ไม่ได้หมุนอย่างขึง การหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ที่บริเวณศูนย์กลางจะใช้เวลาประมาณ 27 วัน และสำหรับบริเวณขั้วโลกประมาณ 30 วัน ดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประสิทธิผล 5,777 K อุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 8×10^6 ถึง 40×10^6 K และมีความหนาแน่นประมาณ 100 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ [3]



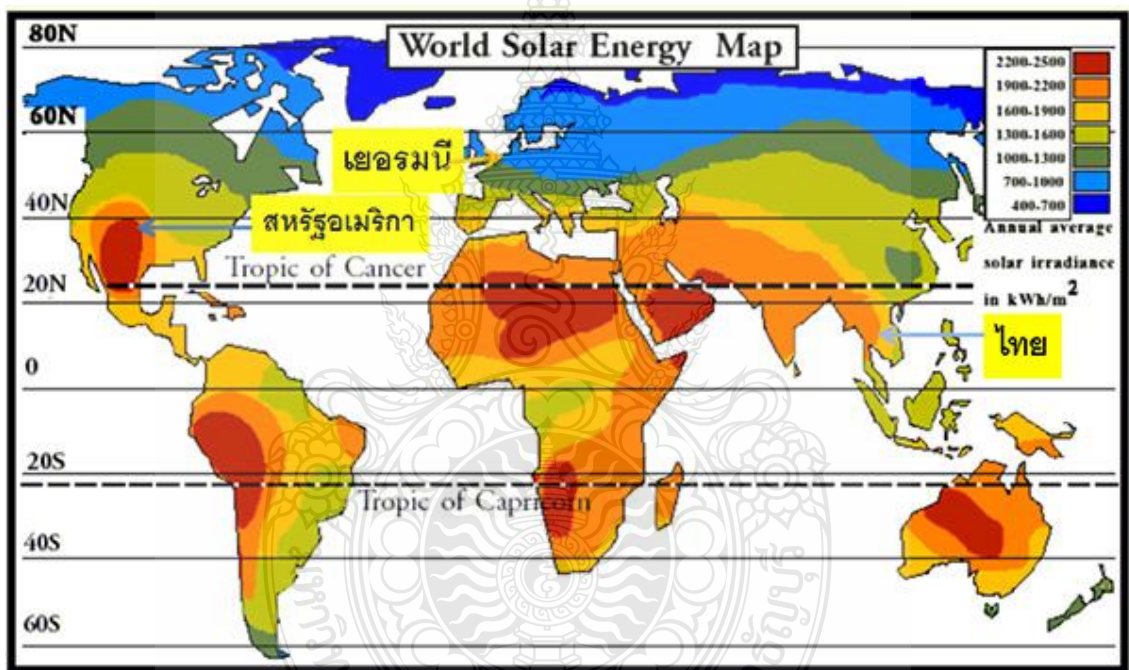
ภาพที่ 2.1 ระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์

2.1.2 แสงอาทิตย์

แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เป็นพลังงานสะอาดและมีอยู่ทั่วไป แต่การนำมาใช้ประโยชน์อาจยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เนื่องจากแสงอาทิตย์มีเฉพาะในตอนกลางวัน ตลอดจนมีความเข้มของแสงที่ไม่แน่นอน เพราะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและฤดูกาลที่เปลี่ยนไป แสงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ในดวงอาทิตย์ เมื่อแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงนอกชั้นบรรยากาศของโลก จะมีความเข้มของแสงโดยเฉลี่ยประมาณ 1,350 วัตต์/ตารางเมตร แต่ที่จะลงมาถึงพื้นโลก พลังงานบางส่วนต้องสูญเสียไปเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ที่ห่อหุ้มโลก เช่น ชั้นโอโซน ชั้นไอน้ำ ชั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ความเข้มของแสงลดลงเหลือประมาณ 1,000 วัตต์/ตารางเมตร (หรือประมาณร้อยละ 70) ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง จะมีปริมาณสูงสุดเมื่อพื้นที่นั้นทำมุมตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ดังนั้นหากต้องการให้พื้นที่ใดรับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดต่อวัน ก็จะต้องปรับพื้นที่รับแสงนั้นๆ ตามการเคลื่อนที่ของแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตกเสมอ นอกจากนั้น จากการที่โลกเอียง ทำให้ซีกโลกเหนือหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ในฤดูร้อน และเอียงซีกโลกใต้หันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ในฤดูหนาว ดังนั้นเราจึงต้องปรับมุมพื้นที่รับแสงนั้นๆ ในแนวเหนือใต้ (มุมก้มและมุมเงย) ให้สอดคล้องตามฤดูกาลด้วย เพื่อให้พื้นที่นั้นๆ รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดตลอดทั้งปี ประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างเส้นขนานที่ 6-10 องศาเหนือ จะได้รับแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ประมาณ 4-5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน ซึ่งหาก

สามารถปรับพื้นที่รับแสงให้ติดตามแสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลาแล้ว คาดว่าจะสามารถรับแสงได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1.3-1.5 เท่า [4]

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ อันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ เซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า เนื่องจากสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ปัจจุบันในประเทศไทย มีหลายหน่วยงาน ได้ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในลักษณะต่างๆ กัน



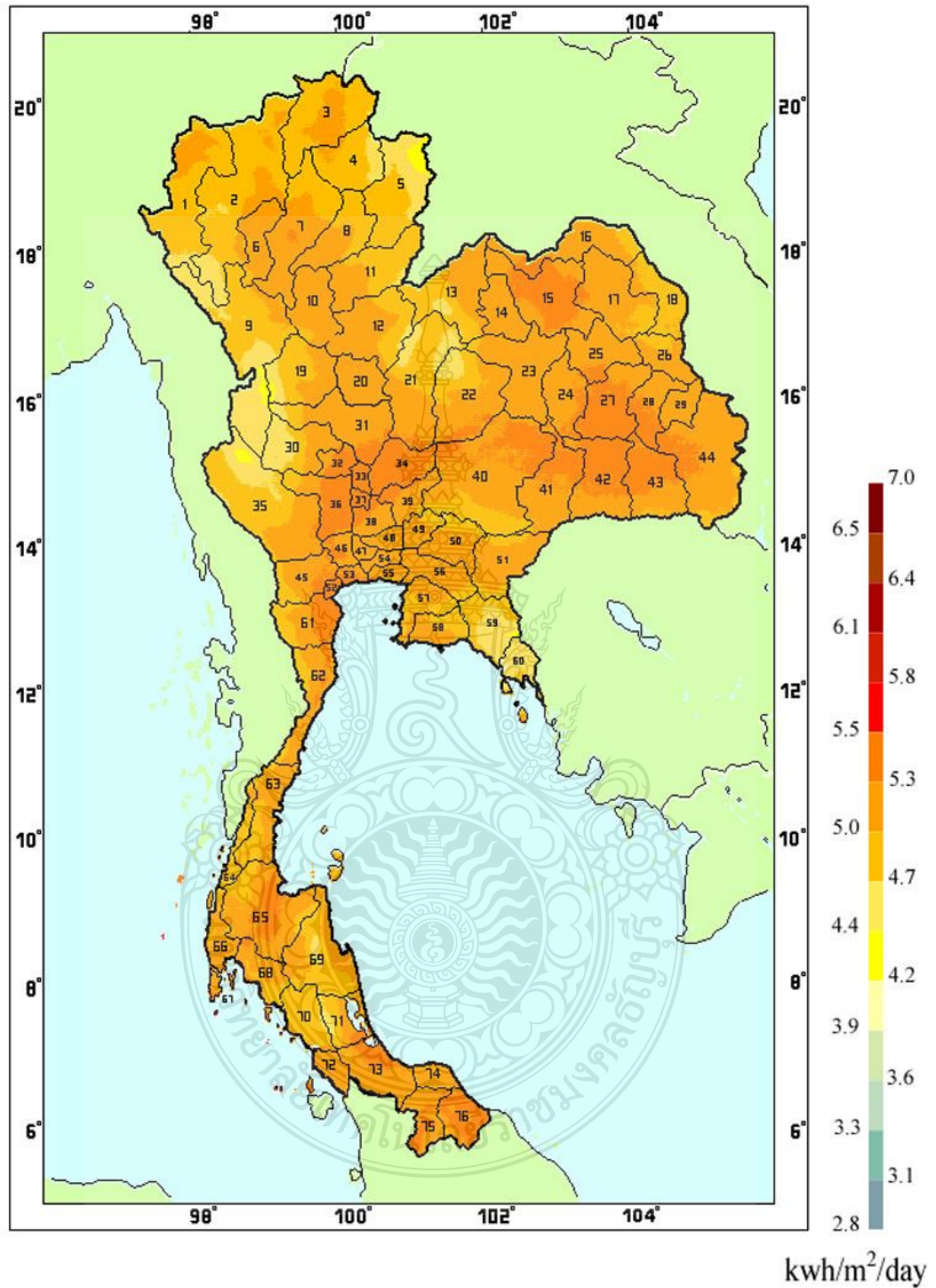
ภาพที่ 2.2 พลังงานแสงอาทิตย์จากประเทศต่างๆทั่วโลก

2.1.3 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศ ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวง

อาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m²-day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 MJ/m²-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง 18-19 MJ/m²-day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2MJ/m²-day จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง [2]

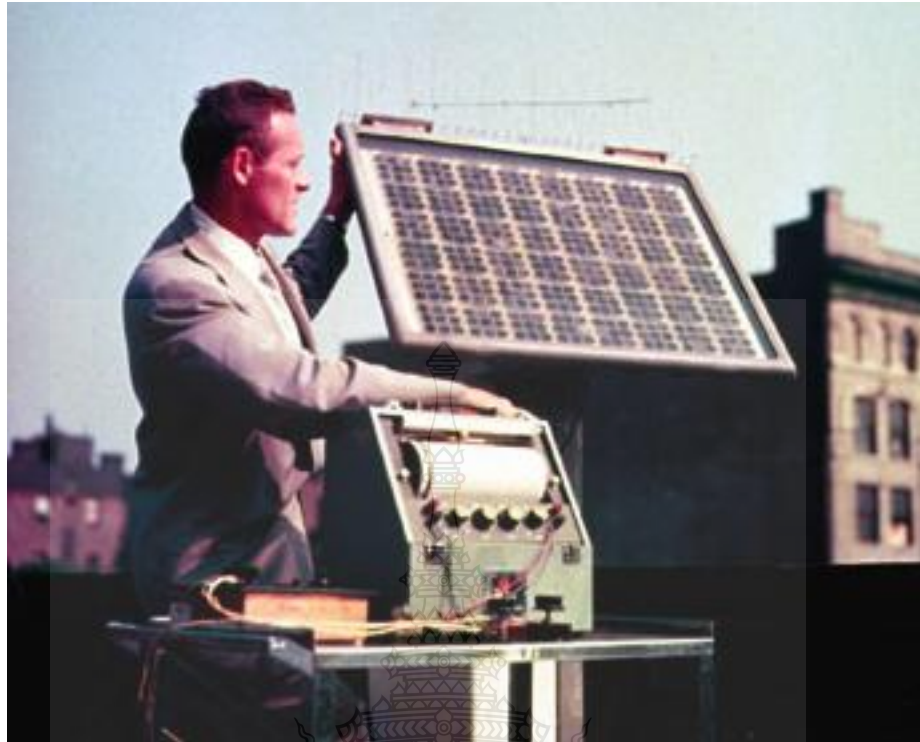




ภาพที่ 2.3 พลังงานแสงอาทิตย์ภายในประเทศไทย

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ชนิดหนึ่งซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยอาศัยคุณสมบัติสำคัญที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก” (Photovoltaic effect) ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1839 โดยนักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อ Alexander Edmond Becquerel ได้สังเกตเห็นการเกิดแรงดันไฟฟ้าปริมาณหนึ่งขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เมื่อมีแสงมาตกกระทบและในปี ค.ศ.1876 ก็ได้มีการค้นพบปรากฏการณ์นี้ขึ้นในสาร Selenium ต่อมาได้มีการพัฒนาโดยที่ใช้สาร Selenium และสารประกอบของ Cuprous oxide และเมื่อในปี ค.ศ.1941 เริ่มมีการค้นพบเทคโนโลยีของการสร้างรอยต่อสาร พี-เอ็น (P-N junction) โดยวิธีการที่เรียกว่า Grown junction เทคโนโลยีดังกล่าวมีส่วนอย่างมากในการพัฒนาของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ จนกระทั่งในปี ค.ศ.1954 กลุ่มนักวิจัยจากบริษัท Bell telephone ได้ประกาศความสำเร็จในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็นของผลึกซิลิคอนขึ้นมาเป็นผลสำเร็จ แต่ในครั้งแรกนี้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 6 เท่านั้น ตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 เป็นต้นมาเซลล์แสงอาทิตย์ก็ได้ถูกพัฒนาและสร้างขึ้นให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยเฉพาะการเพิ่มประสิทธิภาพ และการลดต้นทุนในตัวโครงสร้าง การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานจึงมีการขยายการใช้งานเป็นวงกว้าง เพราะเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง และไฟฟ้าที่ได้นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current; DC) ที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆ ในขณะที่ใช้งาน เพียงแค่ติดตั้งไว้กลางแสงแดดก็สามารถใช้งานได้ทันที และทำงานได้โดยไม่สร้างเสียงรบกวน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ขณะทำงานจึงไม่มีปัญหาด้านการสึกหรอหรือต้องการการบำรุงรักษาเหมือนอุปกรณ์การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น ข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือต้นทุนการติดตั้งสูง ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่นำมาผลิต โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 10–20 [3]



ภาพที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกซิลิคอนในปี ค.ศ.1954

2.3 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

วัสดุสำคัญที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบันได้แก่ สารซิลิคอน (Si) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิปในคอมพิวเตอร์และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ซิลิคอนเป็นสารซึ่งไม่เป็นพิษ มีการนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูก คงทน และเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่นที่สามารถนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ CIS และแคดเมียมเทลลูไรด์ แต่ยังมีราคาสูงและบางชนิดยังไม่มี การพิสูจน์เรื่องอายุการใช้งานว่าสามารถใช้งานได้ นาน ข้อเสียของ Si: การทำให้บริสุทธิ์และอยู่ในรูปสารที่พร้อมจะทำเซลล์ฯ มีราคาแพงและแตกหักง่ายในขบวนการผลิต [1]



ภาพที่ 2.5 ผลึกสารซิลิคอนบริสุทธิ์



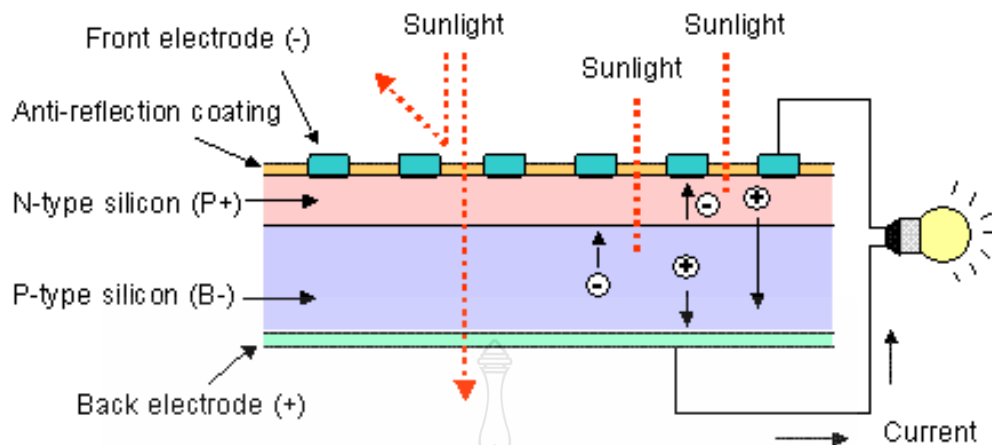
ภาพที่ 2.6 แกลเลียมอาร์เซไนด์



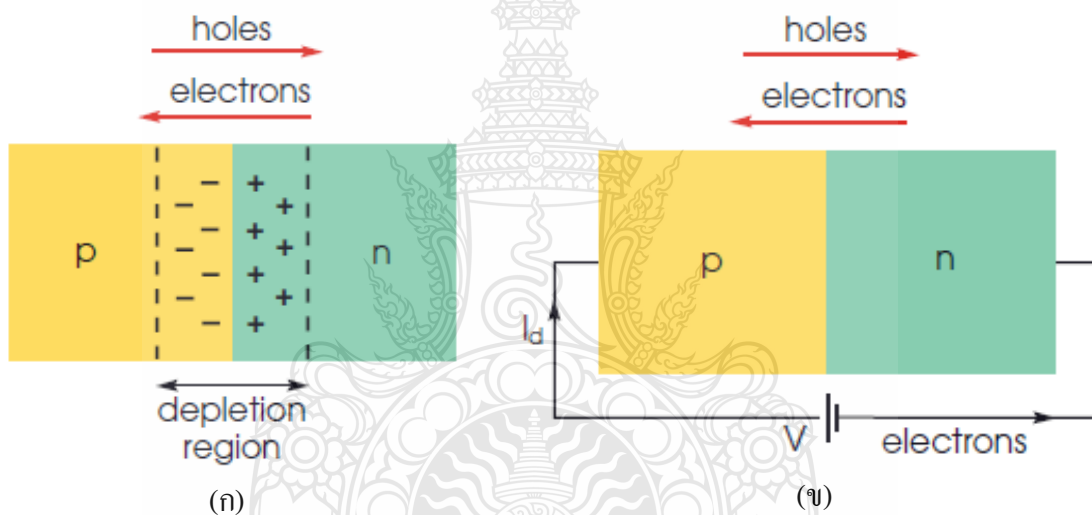
ภาพที่ 2.7 แคดเมียมเทลลูไรด์

2.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อพลังงานจากแสงมาตกกระทบบนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า “โฟตอน” (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้ อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น วัสดุสำคัญที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ สารซิลิคอน (Si) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิพในคอมพิวเตอร์ และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ซิลิคอนเป็นสารซึ่งไม่เป็นพิษ มีการนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูก คงทน และเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่นที่สามารถนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ CIS และ แคดเมียมเทลลูไรด์ แต่ยังมีราคาสูง และบางชนิดยังไม่มีการพิสูจน์เรื่องอายุการใช้งานว่าสามารถใช้งานได้ยาวนาน ข้อเสียของ Si : การทำให้บริสุทธิ์และอยู่ในรูปสารที่พร้อมจะทำเซลล์แสงอาทิตย์ มีราคาแพง และ แดกหักง่ายในขบวนการผลิต การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ N-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ให้การโคปปี้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ P-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ให้การโคปปี้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิดมาประกบต่อกันด้วย P-n junction จึงทำให้เกิดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ในสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด N-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ N-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า “Front Electrode” ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน P-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ P-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า “Back Electrode” ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล [2]



ภาพที่ 2.8 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างภายในรอยต่อ PN junction

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวเมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กันอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น N-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น P-type เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น N-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น P-type อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front

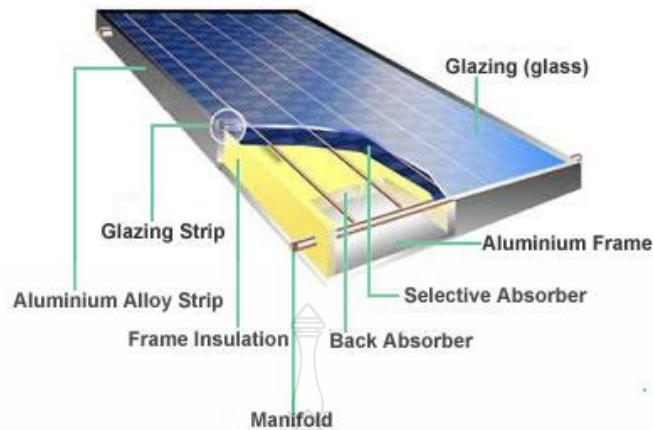
Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน [3]

ในการการผลิตเซลล์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดได้มีการปรับปรุงใน 2 ลักษณะคือ ทำให้หน้าสัมผัสเชื่อมติดกับผิวหน้าของเซลล์เพื่อที่จะรวบรวมประจุโดยไม่มี การบดบังแสงที่มากกระทบมากนัก และสุดท้ายคือการเคลือบสารลดการสะท้อนที่ด้านหน้าของเซลล์เพื่อลดการสะท้อนกลับของแสง คุณสมบัติเด่นของสารเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนคือ สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 0.5 V มีอายุการใช้งานที่ยาวนานถ้ามีการป้องกันความชื้นที่ดี [4]

2.5 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกได้แก่ซิลิคอน ซึ่งถลุงได้จากแร่ควอตซ์ และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ตลอดจนการทำให้เป็นผลึก สารซิลิคอนบริสุทธิ์ปกติจะมีความเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ต่ำมากเพราะอิเล็กตรอนไม่มีการเคลื่อนที่ในบอนด์ แต่เมื่อใช้วิธีการโดปิ้ง (Doping) โดยสารโบรอน จะทำให้ความเป็นตัวนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพราะ โบรอนจะทำหน้าที่เป็นตัวเป็นตัวพาประจุ (Charge Carrier) ซึ่งเป็นประจุบวกคือไม่มีอิเล็กตรอน แต่จะเป็นช่องว่างที่เรียกว่า “Gaps” หรือ “โฮล (holes)” ซึ่งอิเล็กตรอนจะมาจับคู่ด้วยในโครงสร้างของรูปผลึกเมื่อผ่านขบวนการนี้แล้ว เรียกว่า “P-type” การโดปิ้งอีกแบบหนึ่งใช้สารฟอสฟอรัส (Phosphorous) สารซิลิคอนที่ผ่านขบวนการโดปิ้งแล้ว เรียกว่า “N-type” ซึ่งหมายความว่าฟอสฟอรัสจะทำหน้าที่เป็นตัวพาอิเล็กตรอนหรือประจุลบ

ซิลิคอนเกือบทั้งหมดในเซลล์แสงอาทิตย์ คือส่วนที่เป็น P-type ในขณะที่ผิวส่วนหน้าของเซลล์ด้านที่แสงตกกระทบจะเป็นเพียงชั้นบางๆแบบ N-type รอยต่อที่อยู่ระหว่างชั้นทั้งสอง เรียกว่า “PN junction” ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในเซลล์แสงอาทิตย์เพราะจะเป็นบริเวณที่มีประจุอิสระเคลื่อนที่ผ่าน และทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นระหว่าง junction ในส่วนของสารซิลิคอนที่เป็น N-type นั้นอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่ซิลิคอนส่วนที่เป็น P-type มีส่วนที่เรียกว่า “โฮล” คือส่วนที่อิเล็กตรอนขาดหายไป (Electron space) สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระที่อุณหภูมิห้องเช่นเดียวกัน [6]



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.6 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

วัสดุที่นำมาใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์นั้นส่วนมากจะเป็นซิลิคอน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีอยู่มาก และมีราคาถูก เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานแล้วในเชิงพาณิชย์แบ่งได้ 3 ชนิดดังต่อไปนี้

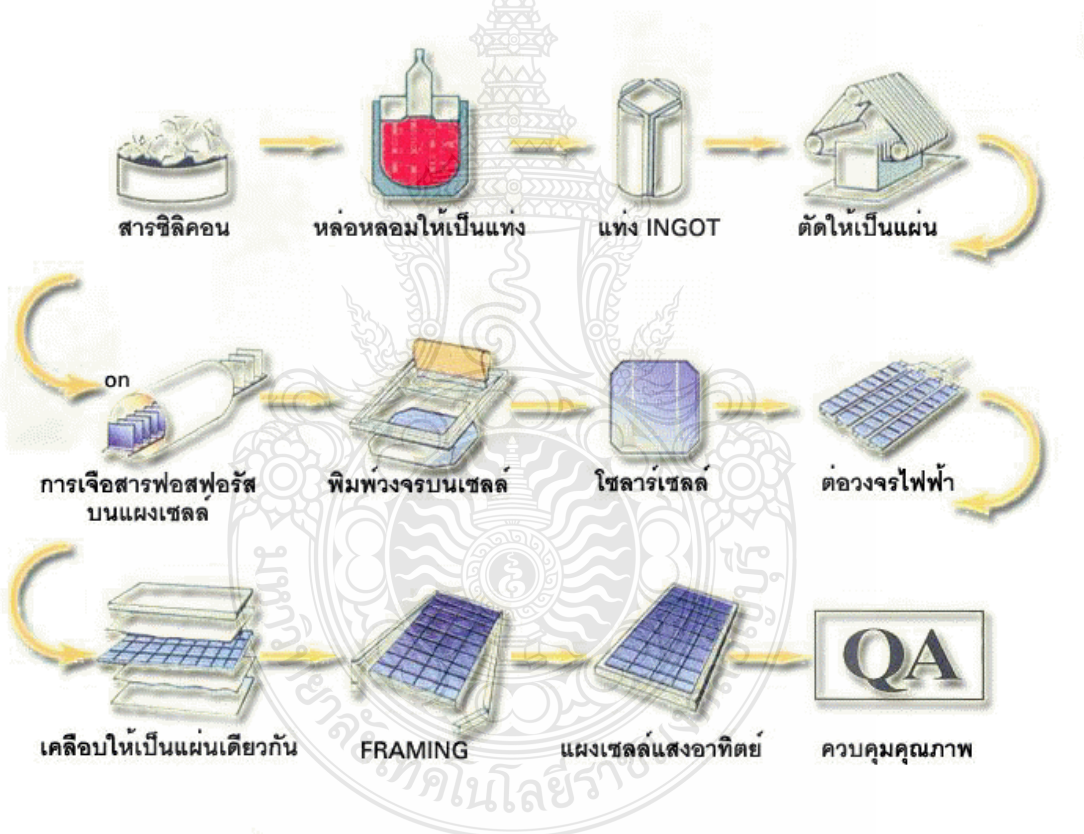
2.6.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline)

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Mono Crystalline การเตรียมสารซิลิคอนชนิดนี้ เริ่มต้นจากนำสารซิลิคอน ซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อน ที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก ร้อยละ 99.999 มาหลอมละลายในเตา Induction Furnace ที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 องศาเซลเซียส เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยว ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 นิ้ว พร้อมกับใส่สารเจือปน Boron เพื่อทำให้เกิด P-type แล้วทำให้เกิดการเย็นตัว จับตัวกัน เป็นเทคโนโลยีการดึงผลึก จะได้แท่งผลึกยาวเป็นรูปทรงกระบอก คุณภาพของผลึกเดี่ยวจะสำคัญมาก ต่อคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

จากนั้นนำแท่งผลึกมาตัดให้เป็นแผ่นบางๆ ด้วยลวดตัดเพชร (Wire Cut) ที่เรียกว่า “เวเฟอร์” ซึ่งจะได้แผ่นผลึก มีการทำให้เกิดเป็น P-n junction ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธีการ Diffusion ที่อุณหภูมิระดับ 1,000 องศาเซลเซียสจากนั้นนำไปทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟฟ้าออกมาเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุด ตอนนี้จะได้เซลล์ที่พร้อมใช้งาน หลังจากนั้นก็นำไปประกอบเข้าแผงโดยใช้กระจกเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์และใช้ซิลิโคนและอีวีเอ (Ethelele Vinyl Acetate) ช่วยป้องกันความชื้น ในการใช้งานจริงจะนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ได้ตามต้องการ [2]



ภาพที่ 2.11 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว



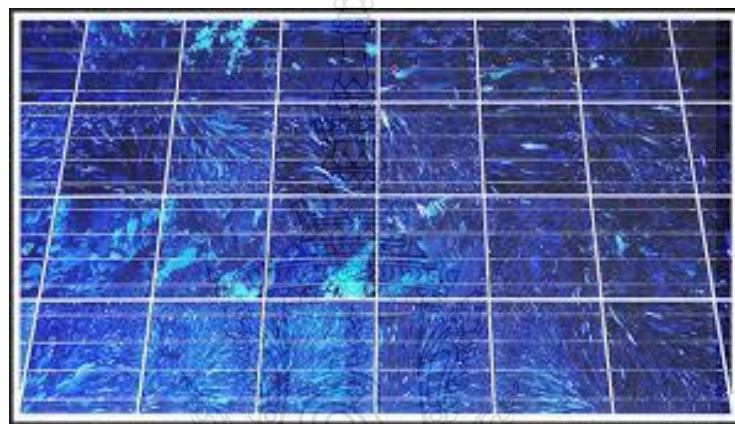
ภาพที่ 2.12 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

2.6.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly Crystalline)

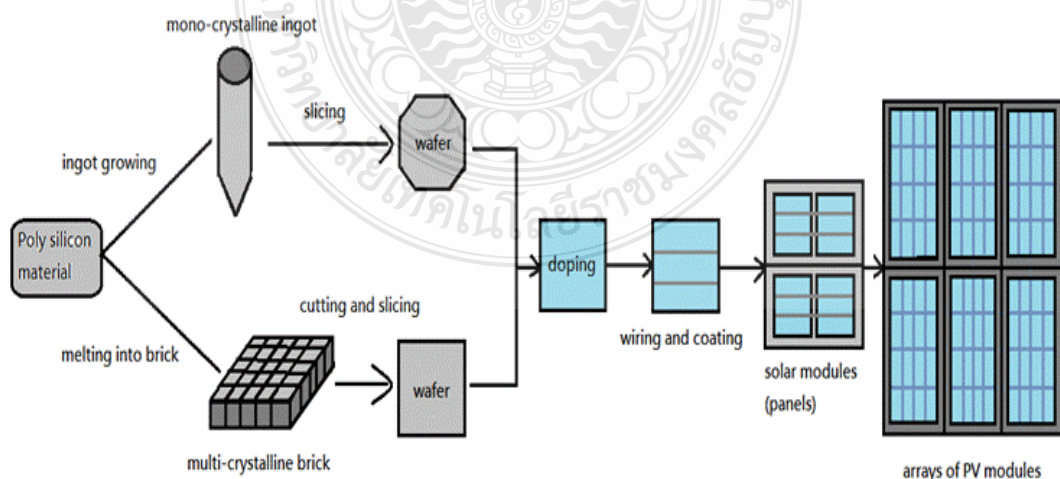
การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly Crystalline) การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีนี้ จะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าวิธีแรก คือการทำแผ่นเซลล์ จะใช้วิธีการหลอมสารซิลิคอน ให้ละลายพร้อมกับใส่สารเจือปน Boron เพื่อทำให้เกิด P-type แล้วเทลงในแบบพิมพ์ เมื่อสารละลายซิลิคอน

แข็งตัวก็จะได้เป็นแท่งซิลิคอนแบบผลึกรวม (ตกผลึกไม่พร้อมกัน) จากนั้นนำไปตัดเป็นแผ่น เช่นเดียวกับแบบผลึกเดี่ยว ความแตกต่างระหว่างแบบผลึกเดี่ยวและแบบผลึกรวมสังเกตได้จากผิวผลึก ถ้ามีโหนดสีที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากผลึกเล็ก P-type หลายผลึกในแผ่นเซลล์จะเป็นแบบผลึกรวม ในขณะที่แบบผลึกเดี่ยวจะเห็นเป็นผลึกเนื้อเดียว คือ มีสีเดียวตลอดทั้งแผ่น [3]

ส่วนกรรมวิธีการผลิตเซลล์ที่เหลือนี้จะเหมือนกัน เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly Crystalline) จะให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบผลึกเดี่ยว ประมาณร้อยละ 2-3 อย่างไรก็ตามเซลล์ทั้ง 2 ชนิด มีข้อเสียในการผลิตคือ แรกหักง่ายเช่นกัน [2]



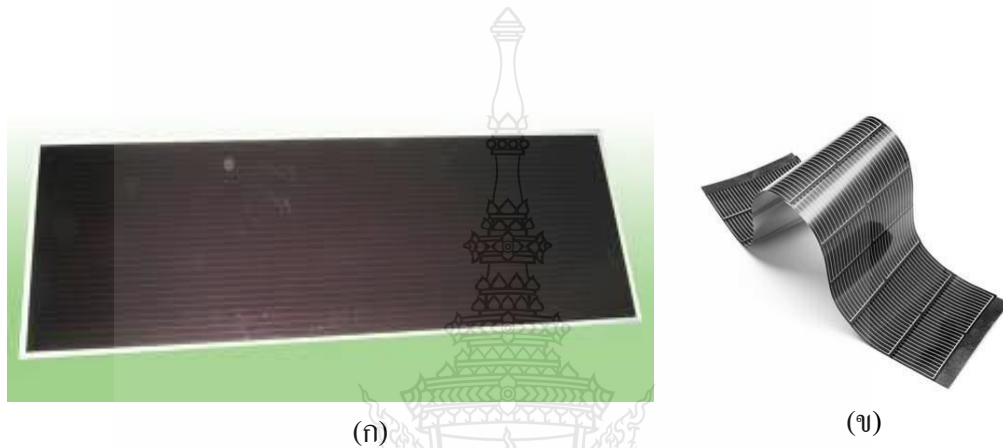
ภาพที่ 2.13 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกรวม



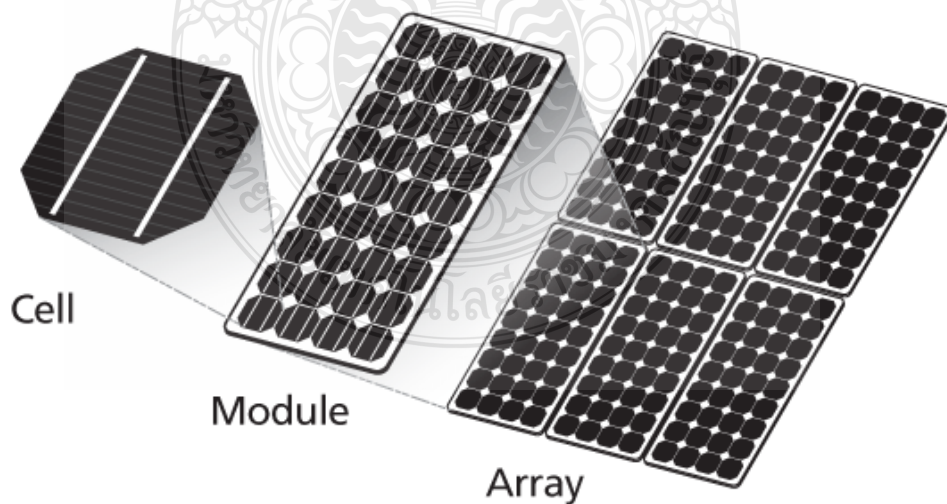
ภาพที่ 2.14 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม

2.6.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous Silicon Cells)

เป็นฟิล์มบางที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้ามีความหนาประมาณ 0.5–1.0 ไมครอน ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในเครื่องคิดเลขซึ่งมีลักษณะสีม่วงน้ำตาล มีความบางเบา ราคาถูก ผลิตให้เป็นพื้นที่เล็กจนถึงใหญ่หลายตารางเมตร มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 6-8 ดังภาพที่ 2.15 [2]



ภาพที่ 2.15 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบอะมอร์ฟัส

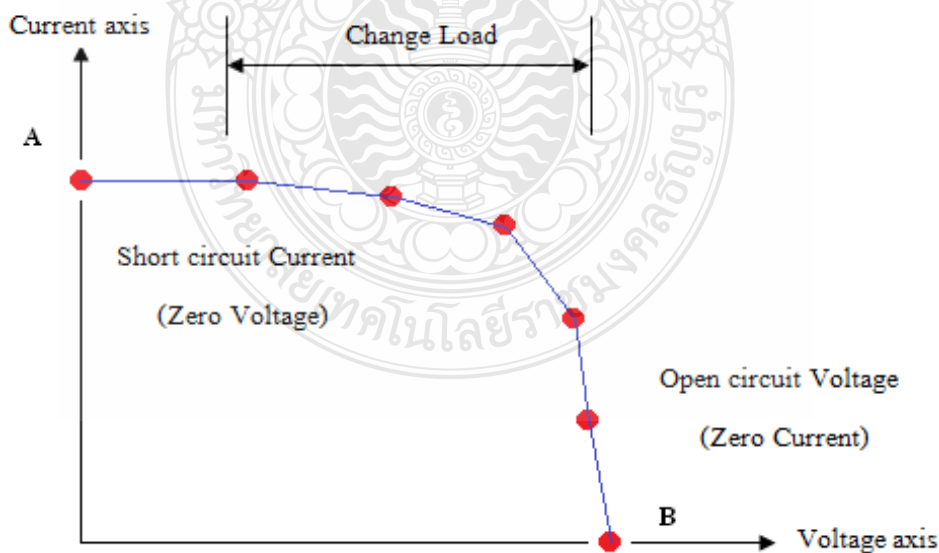


ภาพที่ 2.16 การต่อของเซลล์แสงอาทิตย์

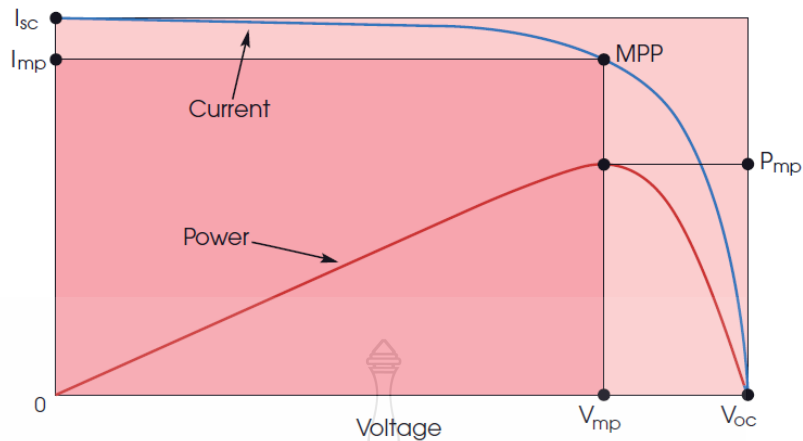
โดยทั่วไปแล้วเซลล์แสงอาทิตย์จะให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 10-20 mA และสามารถให้แรงดันไฟฟ้าขณะวงจรเปิดประมาณ 0.6-0.7 V ดังนั้นการใช้งานโซลาร์เซลล์จะไม่นำมาใช้งานเพียงเซลล์เดียว (Cell) เนื่องจากให้กำลังไฟฟ้าน้อย จึงนำเซลล์มาต่อขนานกันเพื่อให้กระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น หรือถ้าต้องการแรงดันสูงก็นำเซลล์มาต่ออนุกรมกัน ที่เรียกว่า “โมดูล (Module)” และหากนำโมดูลมาต่อรวมกันอีกจะเรียกว่า “อัลเรย์ (Array)” ดังภาพที่ 2.16 [6]

2.7 คุณลักษณะและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ [9]

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นสามารถแสดงได้โดยใช้ I-V curve ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับใช้ตรวจสอบกำลังผลิตสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ โดย (I) หมายถึงกระแสไฟฟ้าซึ่งแทนด้วยเส้นกราฟแนวตั้ง และ (V) หมายถึงแรงดันไฟฟ้าซึ่งแทนด้วยเส้นกราฟแนวนอน ที่อุณหภูมิของเซลล์และปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่สามารถสร้างกราฟ I-V curve ได้โดยวัดแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีการต่อโหลด เรียกว่า “Open circuit voltage” (V_{oc}) จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุด A จากนั้นให้เซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจ่ายกระแสจนถึงค่ากระแสสูงสุดในสภาวะลัดวงจร ที่จุดนี้จะให้ค่ากระแสสูงสุด เรียกว่า “Short circuit current” (I_{sc}) ซึ่งเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่จุด B จากนั้นลากเส้นผ่านจุดทุกจุดที่ทดสอบจะเกิดเป็น I-V curve ขึ้น ดังภาพที่ 2.17 [7]



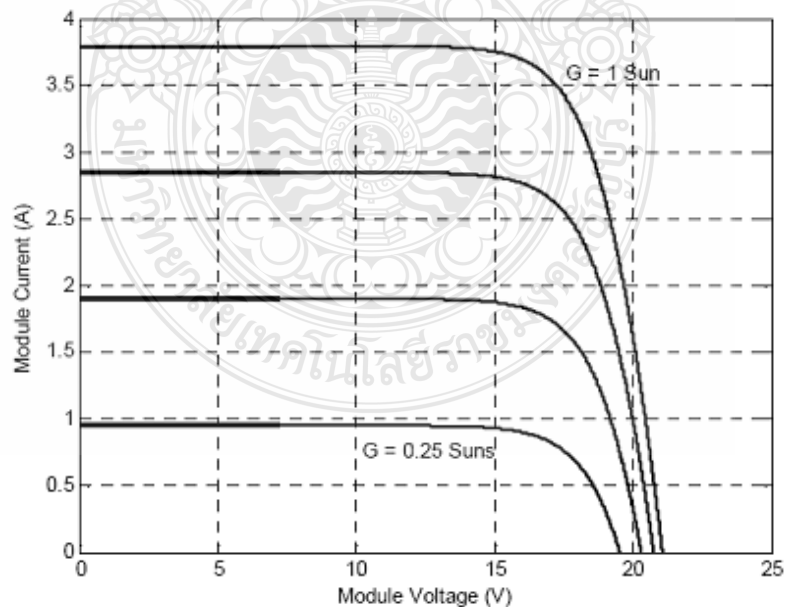
ภาพที่ 2.17 การทดสอบเพื่อสร้างกราฟกระแสและแรงดัน I-V curve



ภาพที่ 2.18 ค่าต่างๆที่สามารถหาได้ใน I-V curve

ดังนั้นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีอยู่ 2 ตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ ปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิที่แผงเซลล์ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกที่มีผลกระทบ เช่น โหลดที่ต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ลักษณะการบังเงา อาจรวมไปถึงชนิดและการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ [8]

2.7.1 ผลกระทบจากระดับความเข้มแสง



ภาพที่ 2.19 กราฟ I-V curve กรณีความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

ตามความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความเข้มแสงนั้นคือ หากความเข้มแสงมีค่าสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังภาพที่ 2.10 ความเข้มแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐาน คือความเข้มแสงที่วัดได้บนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆบังและวัดที่ระดับน้ำทะเลในขณะที่รับแสงจากดวงอาทิตย์ 1.5 AM และความเข้มแสงจะมีค่า 1000 W/m^2 [9]

ความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตกับความเข้มแสงอาทิตย์ สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.1)

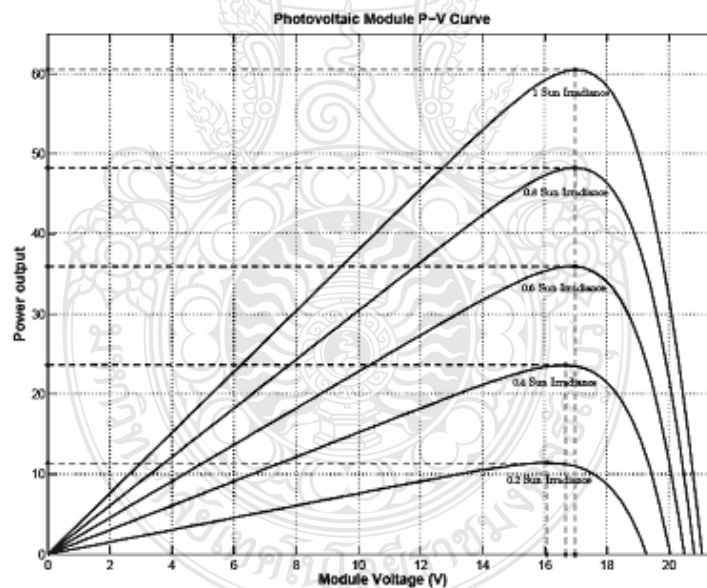
$$I_{ph} = [I_{sc} + k_I (T - T_{ref})] \cdot \lambda \quad (2.1)$$

เมื่อ I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์ที่ 25°C ; A

k_I คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสลัดวงจร; A/ $^\circ\text{C}$

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์ ; Kelvin

λ คือ ความเข้มแสง; kW/m^2



ภาพที่ 2.20 กราฟ P-V curve กรณีความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

2.7.2 ผลกระทบของอุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้าที่ตัวเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงมากขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1°C ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้

แรงดันไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5 และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือที่ค่าอุณหภูมิ 25 °C เช่น หากกำหนดไว้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open circuit voltage ; V_{oc}) ที่ 21 โวลต์ ณ ที่ค่าอุณหภูมิ 25 °C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิที่ 25 °C จะเท่ากับ 21 โวลต์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 °C เช่น 30 °C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ร้อยละ 2.5 นั่นคือ แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อไม่มีโหลด ลดลง 0.525 โวลต์ จะเหลือเพียง 20.475 โวลต์ เท่านั้นจากสมการไดโอดในอุดมคติที่บรรยายคุณสมบัติกระแส-แรงดันของรอยต่อพีเอ็นตลอดช่วงกว้างของกระแสและแรงดัน สามารถเขียนได้ตามสมการที่ (2.2) [7]

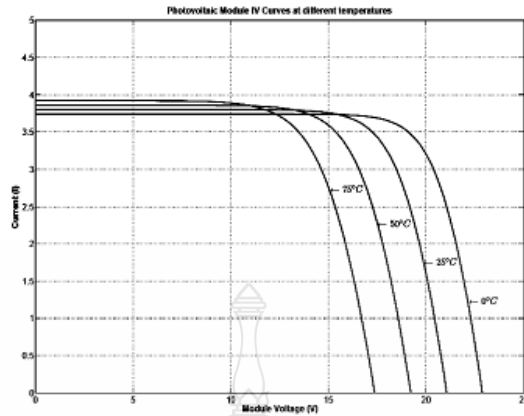
$$I = I_s(t) \left[\exp\left(\frac{q \cdot V}{k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

เมื่อ I_s คือ Cell 's reverse saturation current of diode; A
 V คือ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด; V
 ค่ากระแสรั่วในสภาวะอิมิตัวขณะจ่ายไบอัสกลับสามารถหาได้จากสมการที่ (2.3)

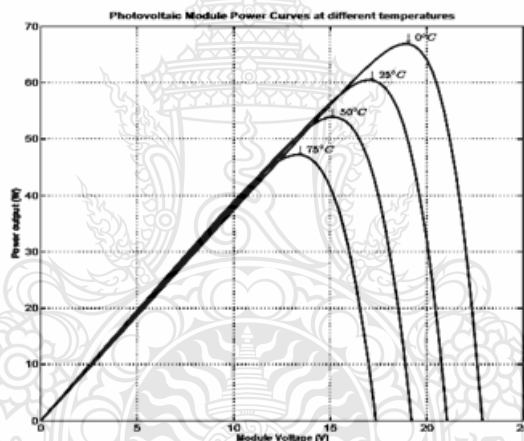
$$I_s(t) = I_s \left[\frac{T}{T_{ref}} \right]^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{T}{T_{ref}} - 1 \right) \cdot \frac{E_g}{N \cdot V_t} \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ E_g คือ Band gap energy of semiconductor
 V_t คือ Thermal voltage at room temperature
 T คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์; Kelvin degree
 T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์; Kelvin degree
 N คือ Ideal factor

จากสมการที่ 2.3 อุณหภูมิทำงานของเซลล์ที่สูงขึ้นมีผลต่อแรงดันขาออกของเซลล์ที่ลดลง ได้ผลกราฟกระแส-แรงดันตามภาพที่ 2.21 และกราฟกำลังไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้าตามภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.21 กราฟ I-V curve กรณีอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 2.22 กราฟ P-V curve กรณีอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง

ในการพิจารณาคูณลักษณะทางกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะต้องเกี่ยวข้องดังนี้ [10]

1 แรงดันขณะเปิดวงจร (V_{oc}) เป็นค่าแรงดันที่วัดขณะเปิดวงจร หรือเป็นแรงดันไฟฟ้าเมื่อโหลดทางไฟฟ้ามีค่าสูงมาก โดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มแสงในรูปลอการิทึม (Logarithm)

2 กระแสขณะลัดวงจร (I_{sc}) เป็นค่ากระแสที่วัดจากการลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หรือค่ากระแสของเซลล์เมื่อภาระทางไฟฟ้าเป็นศูนย์ โดยที่ค่ากระแสลัดวงจรนี้จะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มของแสงที่ตกกระทบบนตัวเซลล์แสงอาทิตย์

3 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) เป็นค่ากำลังสูงสุดที่ปริมาณความเข้มของแสงที่ตกกระทบบและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่าหนึ่งๆ โดยที่นำโหลดทางไฟฟ้าที่เหมาะสมมาต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

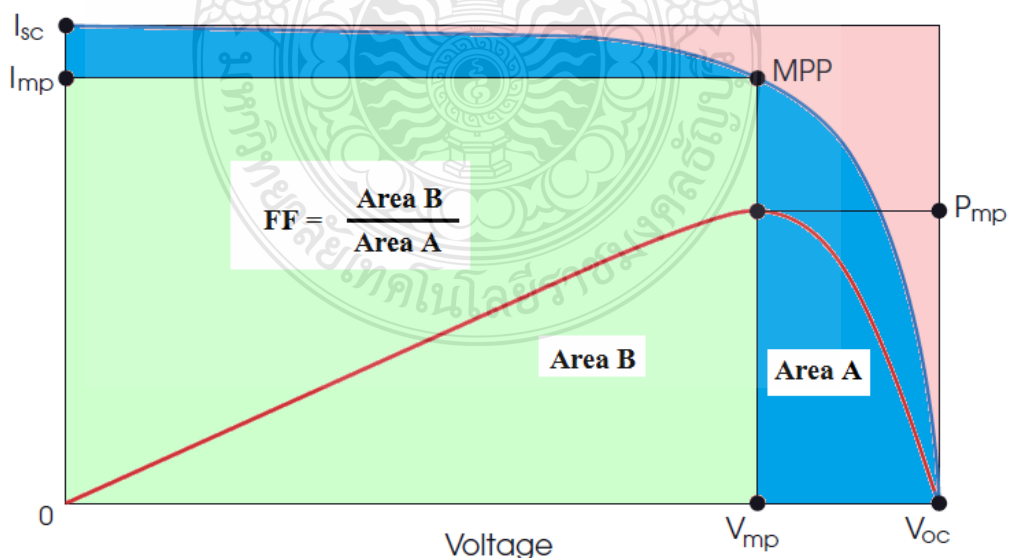
4 กระแสสูงสุด (I_{mp}) เป็นค่ากระแสที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดโดยที่นำโหลดทางไฟฟ้าที่เหมาะสมมาต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

5 แรงดันสูงสุด (V_{mp}) เป็นค่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลดทางไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังงานสูงสุด

6 ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) เป็นค่าอัตราส่วนของกำลังสูงสุดต่อผลคูณระหว่างกระแสลัดวงจรกับค่าแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรดังภาพที่ 2.23 ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ เป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.4)$$

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณภาพดี ควรมีค่าฟิลล์แฟกเตอร์เข้าใกล้ 1 เพื่อที่จะทำงาน (Operation point) ใกล้เคียงกับจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด [9]



ภาพที่ 2.23 กราฟแสดงการหาค่าฟิลล์แฟกเตอร์

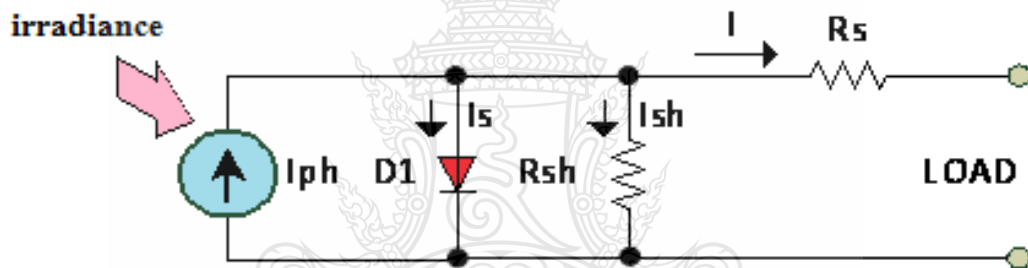
7 ประสิทธิภาพสูงสุด (η_m) เป็นค่าอัตราส่วนของกำลังต่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\eta = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (2.5)$$

เมื่อ P_{in} คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์ได้รับต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ; (W/m²)

2.7.3 วงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะต้องแทนเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ดังแสดงในภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 วงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติ

สำหรับวงจรทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติจะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแสแบบคงที่ที่ต่อขนานกับไดโอด และค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมเกิดจากความต้านทานของซิลิคอนที่เรียงกันเป็นชั้นและความต้านทานของขั้วโลหะด้านหน้าและด้านหลังที่เป็นผลมาจากการต่อกับขั้วต่อภายนอก ส่วนค่าความต้านทานที่ต่อขนานส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วไหลของกระแสเนื่องจากรอยต่อ P-N junction ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดการลัดวงจรบางส่วน โดยเฉพาะใกล้กับขอบเซลล์แสงอาทิตย์ค่าต่างๆเหล่านี้จะมีผลกับค่าของ Fill Factor จะส่งผลให้ค่ากำลังด้านออกสูงสุดลดลง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [10]

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{N \cdot K \cdot T} - 1 \right] - \frac{(V + I \cdot R_s)}{R_{sh}} \quad (2.6)$$

- เมื่อ I คือ กระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์; A
 I_s คือ กระแสรั่วในสภาวะอิ่มตัวขณะจ่ายไปอัสกลับของไดโอด; A
 q คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} C
 N คือ ค่า Ideal factor
 K คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$; J/Kelvin
 T คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์; Kelvin degree
 V คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด; V
 R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์; Ω
 R_{sh} คือ ค่าความต้านทานขนานของเซลล์; Ω

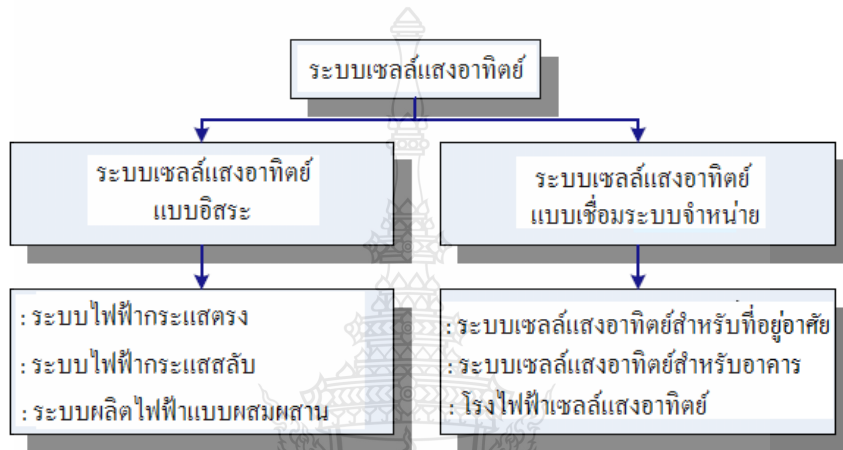
แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมดูล เป็นการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันให้เหมาะสมกับพิกัดแรงดันของแบตเตอรี่คือ 12 โวลต์ ส่วนการต่อแบบขนานจะเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้า โดยแรงดันและกระแสของเซลล์จะแปรผันตามตัวแปรในสมการที่ (2.6) หากไม่คิดผลของ R_s และ R_{sh} จะได้สมการของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามสมการที่ (2.7) [10]

$$I = n_p \cdot I_{ph} - n_p \cdot I_s \left[\exp \frac{q \cdot V}{N \cdot K \cdot T \cdot n_s} - 1 \right] \quad (2.7)$$

- เมื่อ n_p คือ จำนวนเซลล์ที่ต่อขนาน
 n_s คือ จำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรม

2.8 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์หรือระบบโฟโตโวลตาอิก คือ ระบบผลิตไฟฟ้าที่มีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งผลิตพลังงานหลัก สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักตามลักษณะการเชื่อมต่อบรรยากาศ คือ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระและระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศ ดังไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ในภาพที่ 2.25



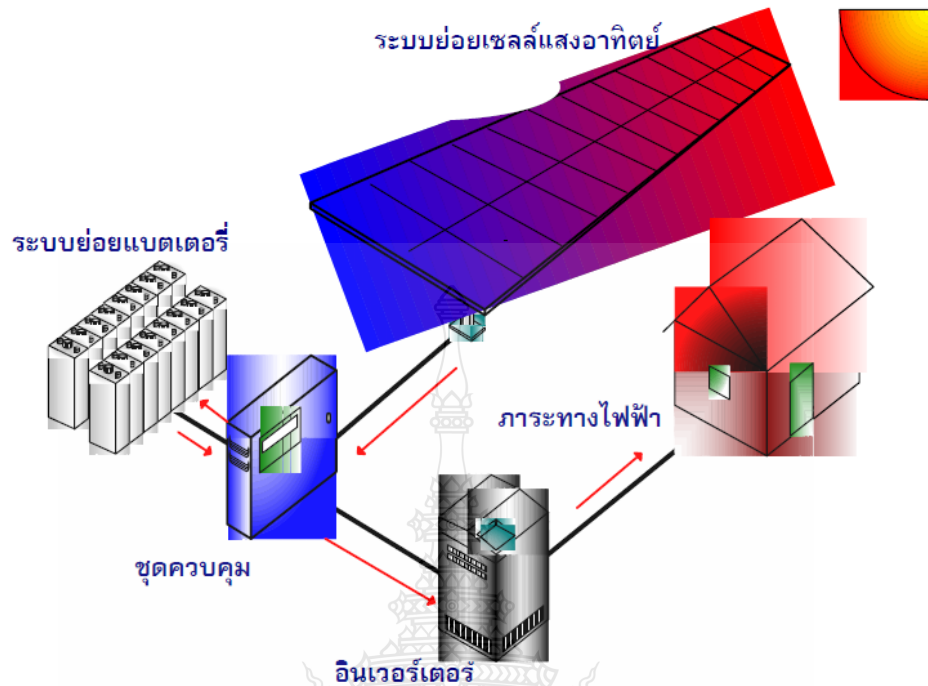
ภาพที่ 2.25 ประเภทของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระหมายถึง ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการเชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้กับงานเฉพาะด้านหรือเฉพาะแห่งโดยเฉพาะในแหล่งทุรกันดารหรือห่างไกลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งระบบจะถูกออกแบบให้ผลิตไฟฟ้าโดยมีปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมกับปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จำกัด ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถจำแนกตามประเภทของสัญญาณไฟฟ้าหรือแหล่งผลิตไฟฟ้าได้ดังนี้

1. ระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นการผลิตไฟฟ้ากระแสตรงป้อนสู่วงจรไฟฟ้า สำหรับภาระทางไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง
2. ระบบไฟฟ้ากระแสสลับผลิตไฟฟ้ากระแสสลับป้อนสู่วงจรไฟฟ้าและหากมีแหล่งผลิตไฟฟ้า หลายแหล่งเชื่อมต่อเป็นระบบเดียวกันเช่น ไฟฟ้าจากพลังงานลม ไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ปั่นไฟฟ้า เป็นต้น ระบบดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า “ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน”

โดยทั่วไประบบเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยส่วนประกอบ 4 ส่วนหลักดังแสดงในภาพที่

2.26



ภาพที่ 2.26 ส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

โดยที่แต่ละส่วนประกอบมีหน้าที่ดังนี้

1. ระบบย่อยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอาจเป็นแผงเซลล์เพียงแผงเดียว หรือหลายแผงเซลล์ต่อรวมกัน ทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า
2. ระบบย่อยแบตเตอรี่ อาจเป็นแบตเตอรี่เพียงหนึ่งเดียวหรือแบตเตอรี่หลายชุดต่อรวมกัน ทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานเคมี ทั้งนี้แหล่งพลังงานอาจได้จากแหล่งพลังงานอื่น อาทิเช่นในกรณีของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ทั้งนี้การเก็บสะสมพลังงานเพื่อจะจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ให้กับภาระทางไฟฟ้าในช่วงเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์หรือพลังงานอื่นไม่สามารถจ่ายพลังงานให้ภาระทางไฟฟ้าได้
3. ระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุและควบคุมการคายประจุของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า เพื่อรักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

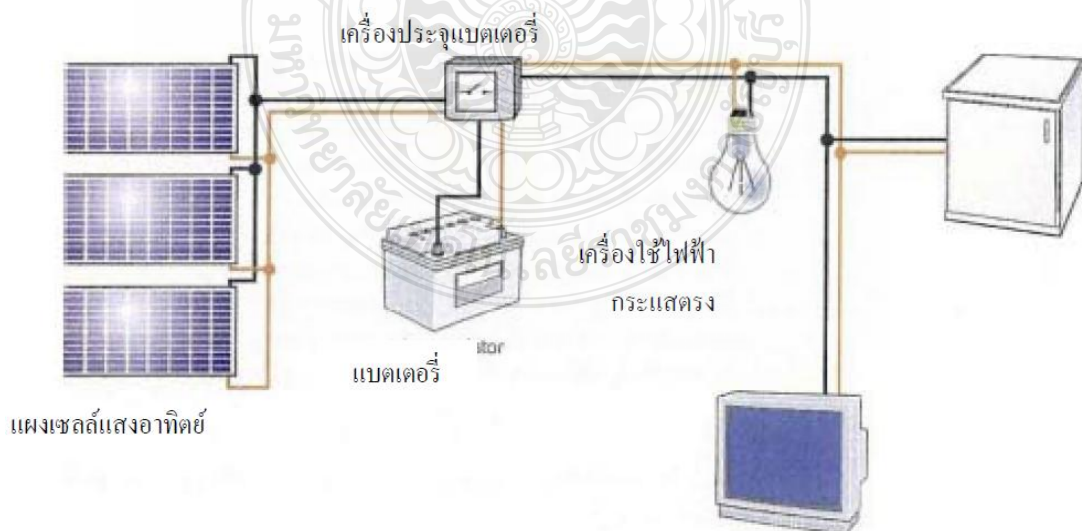
4. ระบบแปลงสัญญาณไฟฟ้าหรืออินเวอร์เตอร์ ในกรณีที่ภาระทางไฟฟ้าของระบบเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จึงจำเป็นต้องมีอินเวอร์เตอร์เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

2.8.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand Alone PV System)

ระบบผลิตไฟฟ้าประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งผลิตพลังงานหลักและไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถจำแนกตามประเภทของสัญญาณไฟฟ้าหรือแหล่งผลิตไฟฟ้าเป็น 3 ประเภท คือ ระบบไฟฟ้ากระแสตรง ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ และระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

2.8.2 ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power System)

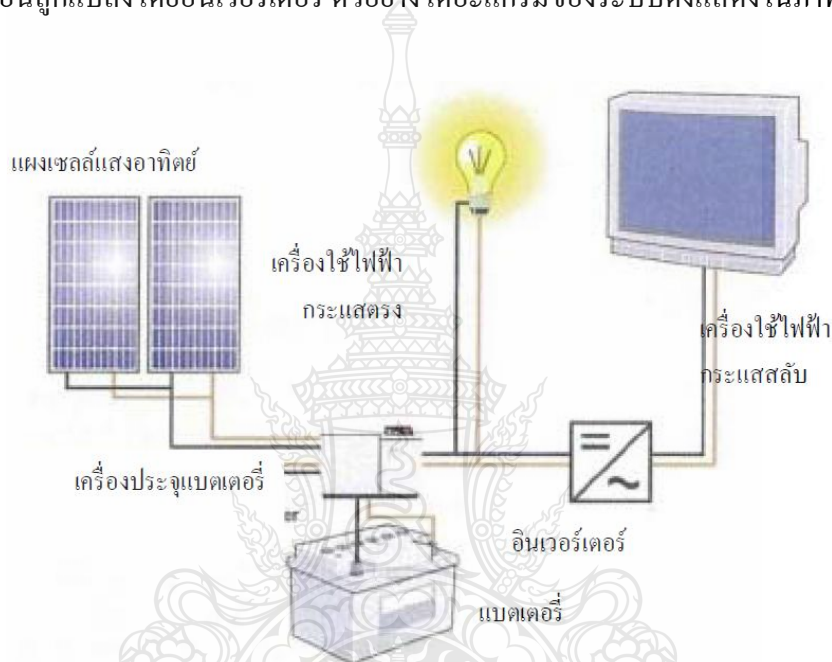
แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้แก่วงจรไฟฟ้าโดยไม่มีอุปกรณ์แปลงสัญญาณไฟฟ้าแต่อาจมีอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าประเภทอื่น เช่น หากระบบมีแบตเตอรี่ต้องมีเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Battery Charge Controller) ร่วมในระบบหรืออาจมีเครื่องควบคุมและปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในระบบเพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้า หรือเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบ ต้องเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น ตัวอย่างไดอะแกรมของระบบดังแสดงในภาพที่ 2.27



ภาพที่ 2.27 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้ากระแสตรง

2.8.3 ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power System)

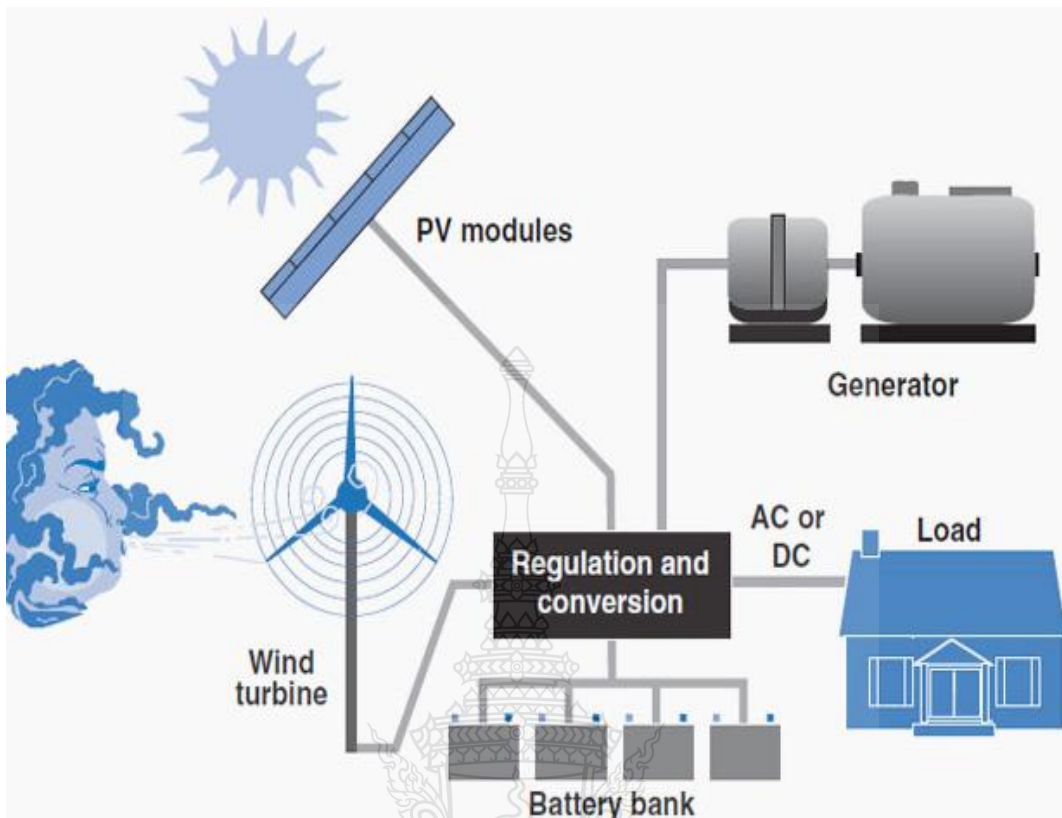
แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้แก่อุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ ซึ่งเรียกว่า “อินเวอร์เตอร์” (Inverter) โดยส่วนใหญ่จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าพร้อมทั้งควบคุมและปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าด้วย เครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรืออาจมีเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงร่วมอยู่ด้วยในส่วนที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อนถูกแปลงโดยอินเวอร์เตอร์ ตัวอย่างไดอะแกรมของระบบดังแสดงในภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

2.8.4 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid Power System)

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันระหว่างแหล่งพลังงานหลายแหล่ง เนื่องจากระบบที่มีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานเพียงอย่างเดียวไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานเป็นระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ เพราะต้องลงทุนสูง ส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่จำนวนมากเพื่อผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอกับภาระทางไฟฟ้าที่ต้องการ แม้กระทั่งในช่วงที่พลังงานแสงอาทิตย์มีค่าน้อยเช่น ช่วงฤดูฝน ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพและความเชื่อถือ ผลที่เกิดขึ้นกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน คือ ขนาดของระบบย่อยโดยเฉพาะแหล่งผลิตพลังงานในระบบลดลงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนลดลง ลักษณะระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแสดงในภาพที่ 2.29

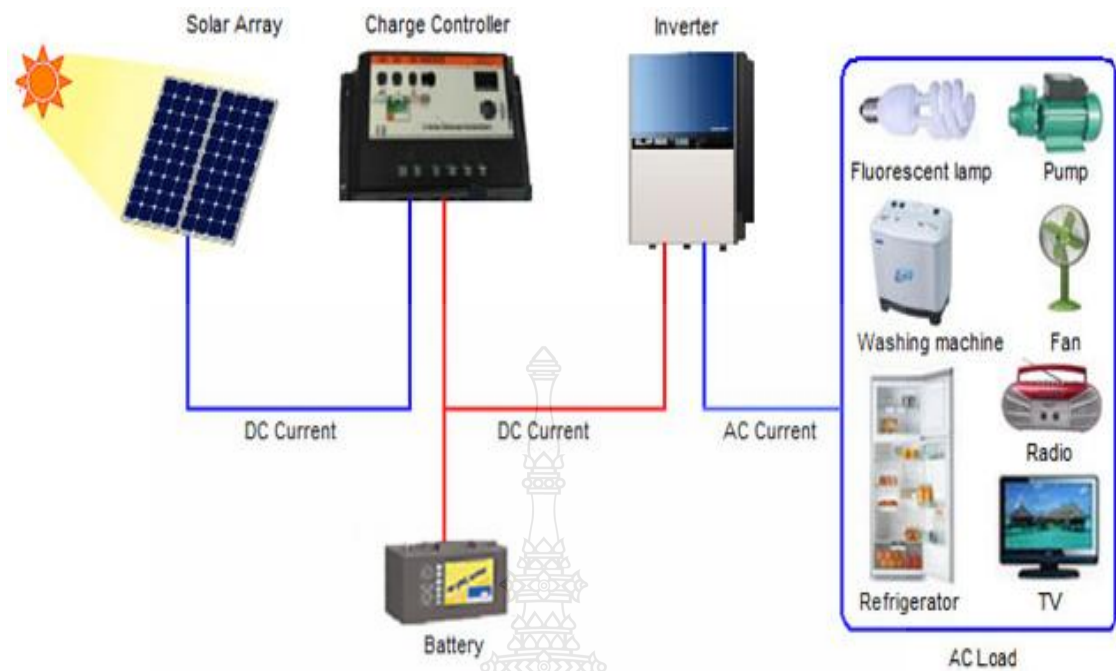


ภาพที่ 2.29 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

จากการจำแนกประเภทของระบบผลิตไฟฟ้าตามประเภทสัญญาณหรือแหล่งผลิตไฟฟ้าแล้วยังมีการจำแนกระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระตามความสามารถนำไปใช้งานได้แก่ ระบบผลิตไฟฟ้าในครัวเรือน (Solar Home System) หรืออาคาร เช่น โรงเรียน สถานีนามัย วัด แหล่งชุมชน หรือหมู่บ้าน เป็นต้น ระบบผลิตไฟฟ้าใช้งานเฉพาะด้านเช่น ระบบแสงสว่างบนถนน ระบบไฟเตือนการจราจรระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ระบบประจุแบตเตอรี่ และระบบสูบน้ำ เป็นต้น

2.8.5 ระบบผลิตไฟฟ้าในครัวเรือนหรือระบบบ้านเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Home System: SHS)

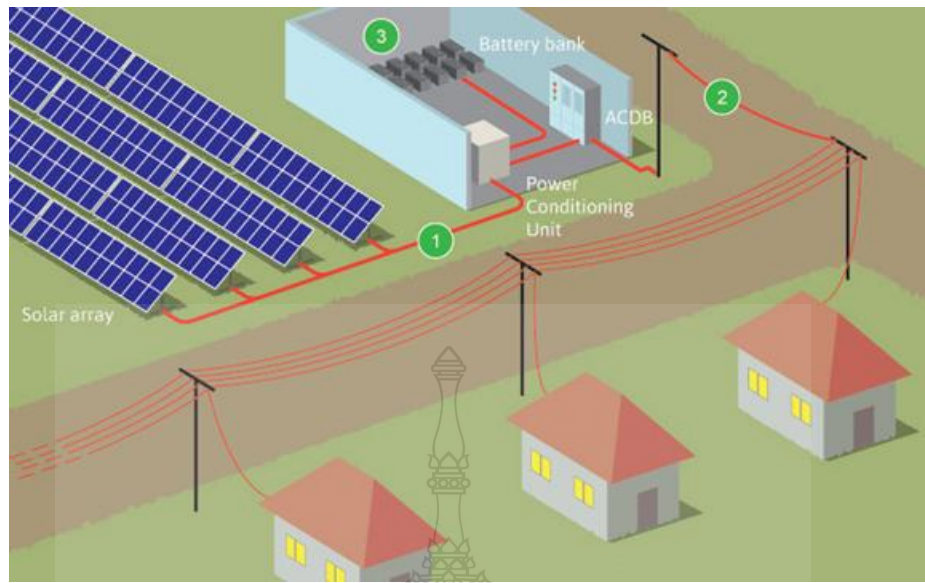
ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่ใช้งานเฉพาะบ้านแต่ละหลังนั้นในระบบประกอบด้วย ระบบย่อยเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบย่อยแบตเตอรี่ ชุดควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบย่อยเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ในการประจุแบตเตอรี่และจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า รวมถึงใช้อินเวอร์เตอร์ ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับในกรณีที่ภาระทางไฟฟ้าของระบบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ดังแสดงในภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.30 ระบบผลิตไฟฟ้าในครัวเรือน

2.8.6 สถานีไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หมู่บ้าน (Village Electricity Station)

สถานีไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หมู่บ้าน เป็นระบบรวมที่ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับ หมู่ บ้านขนาดเล็กที่มีภาระทางไฟฟ้าไม่สูงมากนัก ระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ แบตเตอรี่จำนวนมากต่อเข้าด้วยกัน พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบย่อยเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ในการ ประจุแบตเตอรี่ ผลผลิตไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มี แรงดันไฟฟ้าและความถี่มาตรฐาน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากสถานีไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะ จำหน่ายไปยังบ้านเรือนภายในหมู่บ้านผ่านระบบจำหน่าย ตัวอย่างสถานีไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ใน ภาพที่ 2.31 [11]



ภาพที่ 2.31 สถานีไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หมู่บ้าน

2.8.7 สถานีประจุแบตเตอรี่ (Battery Charging Station)

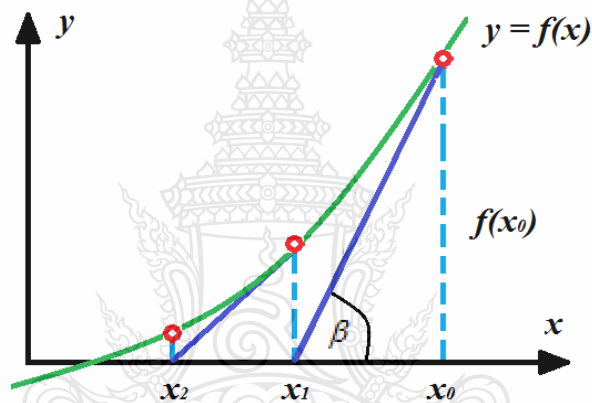
สถานีประจุแบตเตอรี่ ประกอบด้วยระบบย่อยเซลล์แสงอาทิตย์ และชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่ โดยติดตั้งใช้งานภายในหมู่บ้าน ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องนำแบตเตอรี่มาประจุที่สถานีประจุแบตเตอรี่ และรอนแบตเตอรี่ประจุเต็มแล้วจึงนำกลับไปใช้งาน ลักษณะของสถานีประจุแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 2.32



ภาพที่ 2.32 สถานีประจุแบตเตอรี่

2.9 ระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton - Raphson) [12]

วิธีนิวตัน-ราฟสัน เป็นวิธีหนึ่งสำหรับแก้สมการ $f(x) = 0$ โดยมีข้อสมมติว่า f มีอนุพันธ์ f' ที่ต่อเนื่อง วิธีนี้นิยมใช้กันมากเพราะไม่ยุ่งยากและมีอัตราการลู่เข้าสูง แนวคิดของวิธีนี้คือจะประมาณกราฟของ f โดยเส้นสัมผัสที่เหมาะสม เริ่มจากจุด $(x_0, f(x_0))$ บนกราฟของ f ลากเส้นสัมผัสกราฟที่จุดนี้ ตัดแกน x ที่จุด x_1 ต่อไปลากเส้นสัมผัสกราฟที่จุดตัดแกน x ที่จุด $(x_1, f(x_1))$ ตัดแกน x ที่จุด x_2 (ดูภาพที่ 2.33) ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จะได้ลำดับของจุดตัดแกน x คือ x_1, x_2, x_3, \dots ถ้าเลือกค่าเริ่มต้น x_0 ได้เหมาะสมจะได้ลำดับที่ลู่เข้าสู่คำตอบ $x = S$ ด้วยอัตราสูง



ภาพที่ 2.33 กราฟระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน

การหาสูตรการทำซ้ำ

จากกราฟได้ความชันที่จุด x_0 คือ

$$\tan \beta = f'(x) = \frac{f(x_0)}{x_0 - x_1} \quad (2.8)$$

ดังนั้น

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)} \quad (2.9)$$

ต่อไปคำนวณหา x_2 โดยวิธีการเดียวกัน

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)} \quad (2.10)$$

และหาค่า x_3, x_4, \dots ต่อไปเรื่อยๆ จะได้สูตร

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}, \quad n=1,2,3,\dots \quad (2.11)$$

สูตรนี้อาจจะได้มาจากการกระจายเทย์เลอร์สำหรับ $f(x)$ รอบ x_0 กล่าวคือ

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!} (x-x_0)^n \quad (2.12)$$

$$= f(x_0) + f'(x_0)(x-x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!}(x-x_0)^2 + \dots \quad (2.13)$$

เมื่อตัดทิ้งเทอมกำลังสองขึ้นไป จะได้ $f(x)$ ประมาณโดย

$$f(x) \approx f(x_0) + f'(x_0)(x-x_0) \quad (2.14)$$

เนื่องจาก $f(x)=0$ จะได้

$$x = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)} \quad (2.15)$$

โดยขบวนการทำซ้ำ จะได้สูตรสำหรับ x_n ดังสมการ (2.11) ในสมการ (2.11) อาจพบ $f'(x_n)=0$ สำหรับบางค่าของ n ถ้าเป็นเช่นนี้ ต้องเลือก x_0 ใหม่ การหยุดการคำนวณจะอยู่บนพื้นฐานที่ว่าเราต้องการประมาณคำตอบ ให้มีความแม่นยำแค่ไหน เงื่อนไขการจบการคำนวณคือ $|x_{n+1} - x_n| \leq \epsilon$ เช่น ต้องการคำตอบที่ถูกต้องถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 3 จะกำหนดให้ $\epsilon = 0.5 \times 10^{-3}$ ถ้าคำตอบของสมการ $f(x)=0$ มีค่ามากกว่าหนึ่งคำตอบ การเลือก x_0 ที่ต่างกัน บางครั้งลำดับการทำซ้ำ อาจจะให้ผลที่ลู่ออกเข้าสู่คำตอบที่ต่างกันไปจากที่คาดไว้

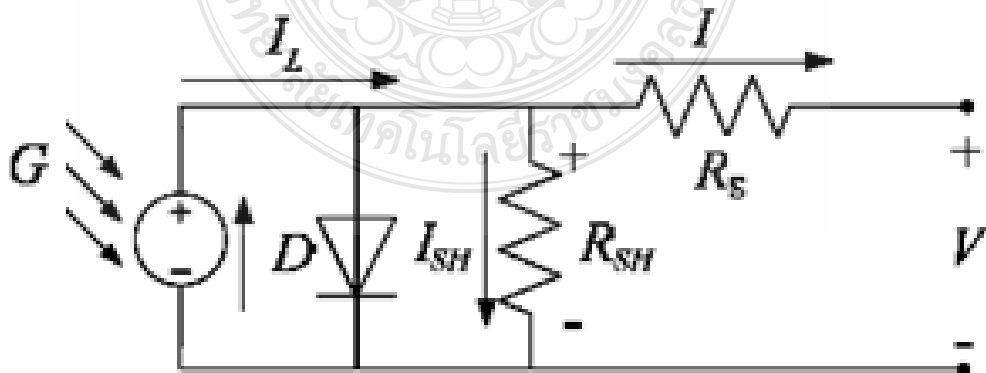
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนบทความงานวิจัยด้านการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น มีหลายงานที่นำเสนอถึงวิธีการศึกษาผลกระทบของปริมาณแสง, อุณหภูมิ และความต้านทาน ต่อคุณสมบัติการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีในแต่ละงานต่างมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไปดังนี้

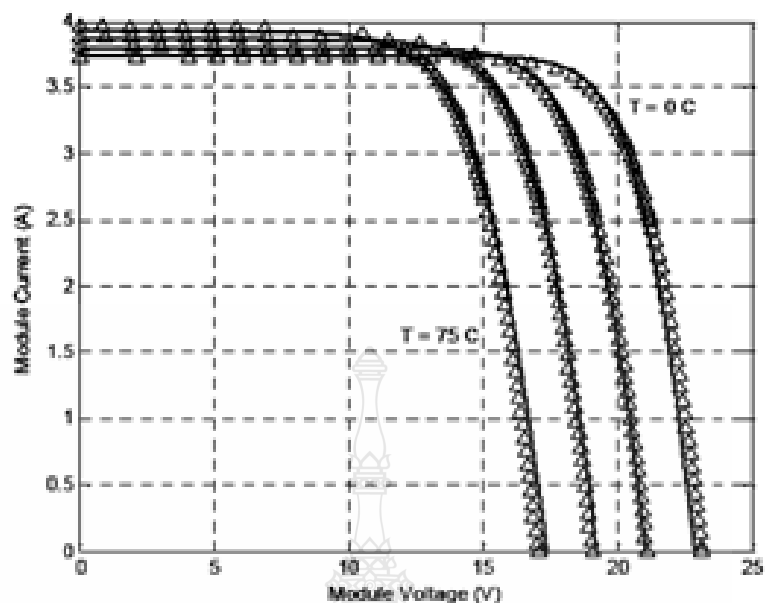
1. Model of Photovoltaic Module in Matlab ปี 2005 โดย Francisco M. Gonzalez-Longatt [13]

งานที่ได้นำเสนอคือการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์พิกัดขนาด 60 W, 36 Cell ชนิด Polycrystalline โดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ในการศึกษาพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์แทนการทดลองในห้องปฏิบัติการ ข้อดีของงานวิจัยนี้คือ สามารถเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์และสามารถจำลองกราฟกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า (I-V curve) เมื่อปริมาณความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง และกราฟ I-V curve เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง ทั้งยังได้ศึกษาผลกระทบของค่าความต้านทานอนุกรม (Series resistance ; R_s) ต่อกราฟ I-V curve และค่าฟิลแฟกเตอร์ (Fill Factor ; FF) ด้วย ดังภาพที่ 2.34 และภาพที่ 2.35 ข้อด้อยในงานวิจัยชิ้นนี้คือ สามารถจำลองขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ได้จำกัดเพียง 36 เซลล์และเป็นเพียงการจำลองในคอมพิวเตอร์ไม่ได้มีการพัฒนานำแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมาทดสอบการจ่ายโหลดจริง

ซึ่งงานวิจัยเล่มนี้สามารถจำลองการจ่ายโหลดจริงและยังสามารถเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโหลดได้อีกด้วย



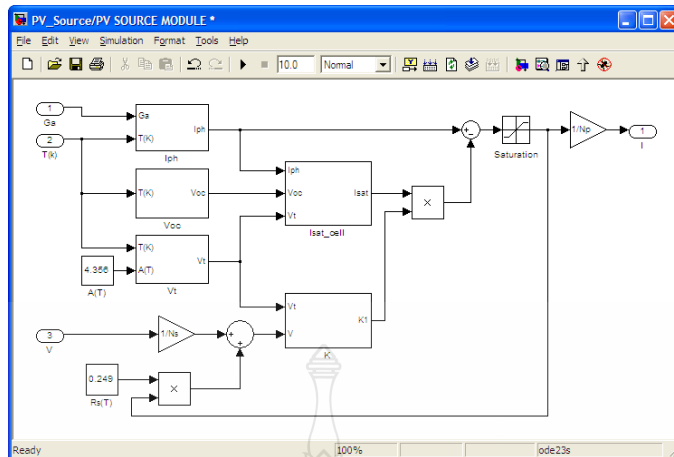
ภาพที่ 2.34 วงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB



ภาพที่ 2.35 ผลการจำลองกราฟ I-V curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

2. A Mathematical Model of PV Cells for Accuracy PV Source Model. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับ แบบจำลองแหล่งจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้อง ปี 2006, โดย เอก เอื้อตระการวิวัฒน์, วิศิษฐ์ ชูรักษ์ และวิจิตร กิณเรศ [7]

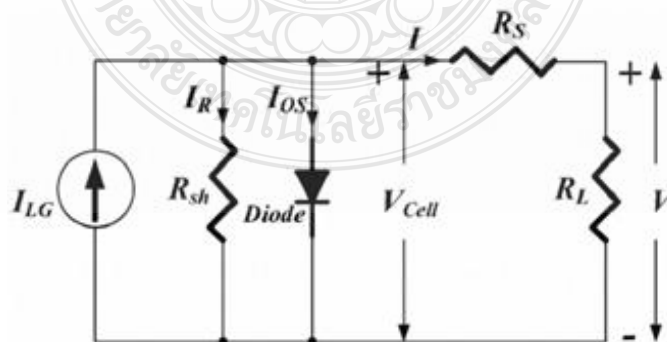
งานนี้ได้กล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสม สำหรับการเลียนแบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายที่ไม่เป็นเชิงเส้น ในการเลียนแบบการทำงานของระบบที่ใช้แหล่งจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีคุณสมบัติของแรงดันและกระแส ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง, อุณหภูมิเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์จริง บทความนี้ได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ของบริษัทผู้ผลิต สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณสมบัติแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสมการไม่เป็นเชิงเส้น ผลการจำลองแสดงให้เห็นจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และรวมถึงการเปรียบเทียบผลจากการจำลองกับผลที่ได้จากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จาก โรงงานผู้ผลิต ที่สภาวะการทำงานจุดต่างๆ



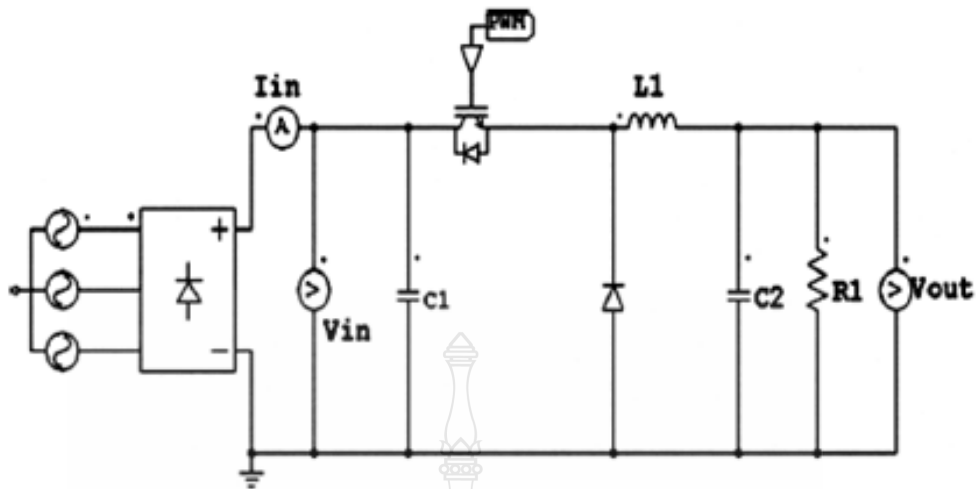
ภาพที่ 2.36 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

3. Development of Photovoltaic Simulator based on DC-DC Converter โดย Ho Lee Min-Jung Lee , Se-Na Lee , Hwa-Chun Lee , Hae-Kon Nam , Sung-Jun Parkn [14]

Ho Lee และคณะได้นำเสนอการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม PSIM เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถหากราฟ P-I-V curve เมื่อความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงได้ ข้อดีของงานวิจัยชิ้นนี้คือ ได้แบบจำลองที่พิกัดกำลังไฟฟ้าสูง อีกทั้งยังมีการนำเสนอการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยวงจร DC-DC Converter เพื่อพัฒนาไปสู่การสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองแบบสัญญาณจริง ข้อดีในงานวิจัยนี้คือไม่ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์และความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งเป็นเพียงการจำลองในคอมพิวเตอร์ ไม่ได้มีการนำมาทดสอบการจ่ายโหลดจริงดังในภาพที่ 2.37 และภาพที่ 2.38



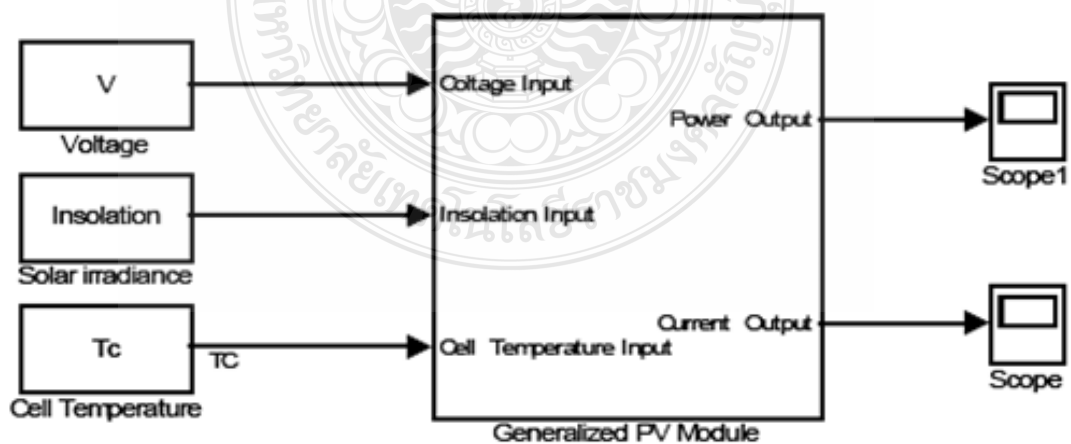
ภาพที่ 2.37 วงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM



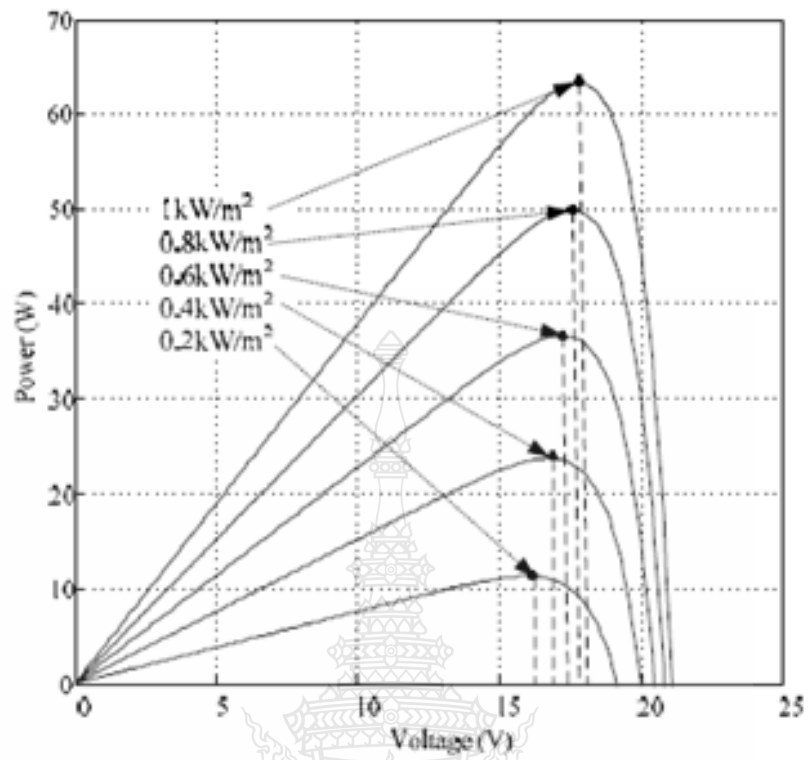
ภาพที่ 2.38 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยใช้ DC-DC Converter

4. Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK ปี 2008 โดย Huan-Liang Tsai , Ci-Siang Tu and Yi-Jie Su [15]

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ขนาดพิกัด 60 W จำนวน 36 Cell โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ข้อดีของงานวิจัยนี้คือ ได้มีการศึกษาจุดเปลี่ยนของกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อเกิดผลกระทบในด้านความเข้มแสงและอุณหภูมิ ซึ่งสามารถจำลองกราฟ I-V curve และ P-V curve ได้ ทั้งยังสามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ในการต่อแบบอนุกรมหรือการต่อแบบขนานได้อีกด้วย ข้อดีในงานวิจัยนี้คือผลการทดสอบเป็นเพียงการจำลองในคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2.39 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK



ภาพที่ 2.40 จุดเปลี่ยนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

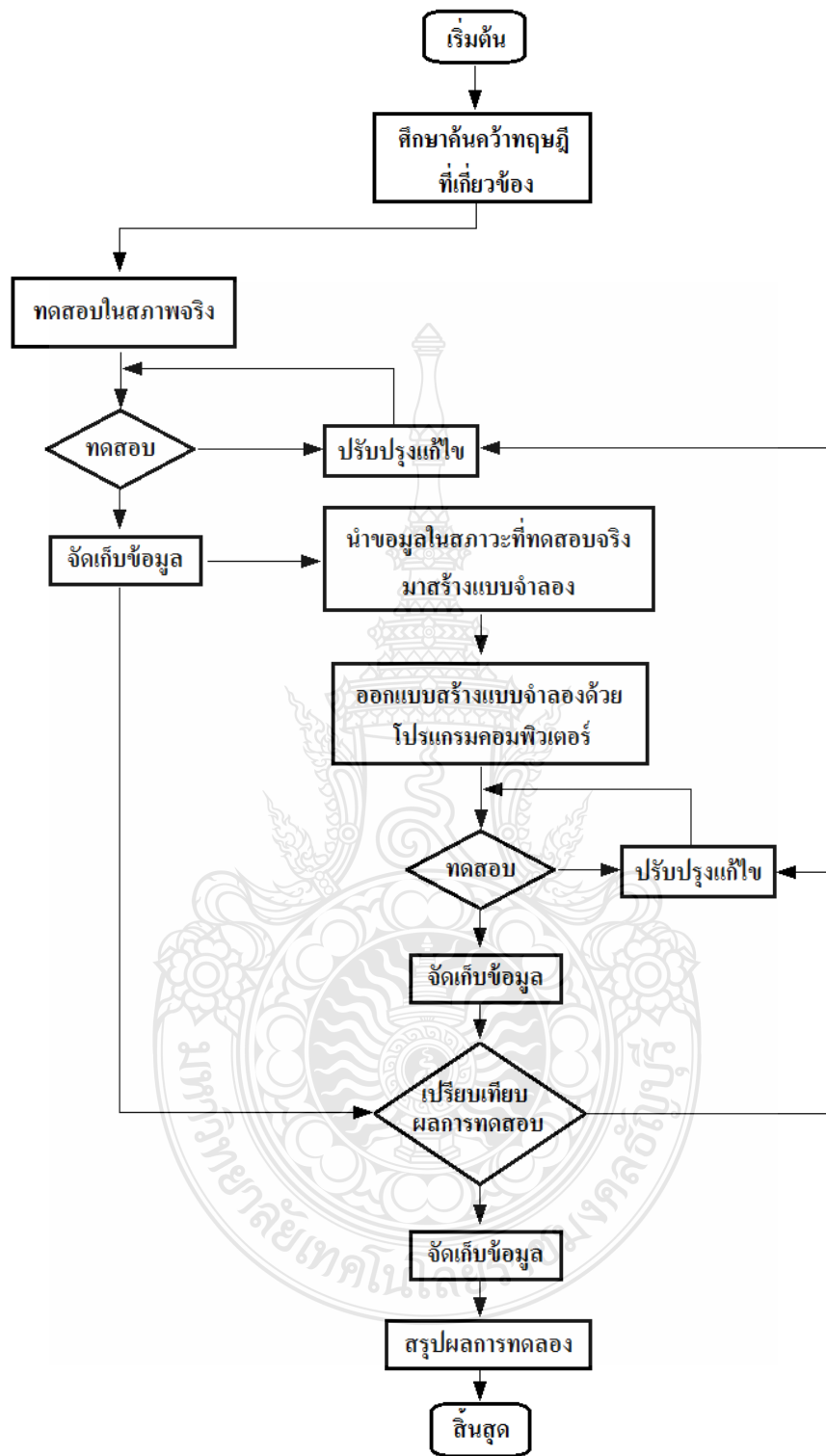
งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาในระบบโฟโตโวลตาอิก เนื่องจากแผงเซลล์จะมีการต่อเซลล์แบบอนุกรมกันทั้งหมด 36 เซลล์ เมื่อแต่ละเซลล์ ได้รับความเข้มแสงที่สม่ำเสมอทุกเซลล์ จะผลิตพลังงาน ไฟฟ้าออกมา แต่เมื่อแต่ละเซลล์ ได้รับความเข้มแสงที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากบางส่วนถูกบังเงา จากสาเหตุใดๆก็ตาม เมื่อเซลล์ แสงอาทิตย์ถูกการบังเงาร้อยละ 20 ของจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด เซลล์ที่ถูกบังเงา จะทำให้กำลังสูงสุดที่แผงเซลล์ผลิตได้นั้นลดลง เมื่อเพิ่มการบังเงาเป็นร้อยละ 40 ของจำนวนเซลล์ทั้งหมด ทำให้กำลังสูงสุดที่ผลิตได้นั้นลดลงอีกต่อไป เมื่อเพิ่มการบังเงาอีกเรื่อยๆกำลังจะลดลงอีกเช่นกัน [16]

ซึ่งในขั้นต้นจะศึกษาการสร้างวงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงซึ่งมีจำนวนเซลล์ 36 เซลล์ต่ออนุกรมกันอยู่ โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ตั้งแต่การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ทดสอบหาคกราฟเส้นโค้ง P-V และ I-V ขณะยังไม่มีโหลดและต่อโหลด จนถึงการบังเงาบนแผงเซลล์ตั้งแต่ การบังเงาร้อยละ 20 จนถึง ร้อยละ 80 ขณะต่อโหลดอยู่ และทำการเปรียบเทียบกับ การทดสอบในสภาวะจริง โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E [17]

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานทั้งในส่วนของการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาเกี่ยวกับสมการทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบในสภาพจริงโดยการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E ทำการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ที่ค่าความเข้มของแสงที่ระดับต่างๆและสร้างสถานการณ์สมมติให้เกิดการบังเงาขึ้นมา โดยการใช่วัดคูทึบแสงมาปิดบังแสงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงและอีก 1 แผงเซลล์ให้ได้รับแสงตามปกติ ในส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกปิดบังแสงนี้จะปิดบังแสงในสัดส่วนที่ระดับต่างๆตั้งแต่ ถูกบังแสงร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 100 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการทดสอบในสภาพพื้นที่จริง ภายในวิทยาลัยเทคนิคหลวงพ่อดูณ ประสิษฐโช อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา

ขั้นตอนที่ 3 นำผลการทดสอบในสภาพจริงและข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ผลิตมาใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น โดยการใช้ระเบียบวิธีนิวตันราฟสัน เช่น ค่ากระแสรั่วในสภาวะอิ่มตัวขณะจ่ายไบอัสกลับของไดโอด I_s , ค่าความต้านทานอนุกรม R_s และค่า Ideal factor (N) และนำค่าต่างๆเหล่านี้มาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดสอบแบบจำลองและบันทึกผลการทดสอบด้วยแบบจำลองปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองให้มีผลใกล้เคียงกับการทดสอบในสภาพจริง

ขั้นตอนที่ 5 นำผลการทดสอบกับแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในสภาพจริง แล้วอธิบายข้อแตกต่างและผลจากการเปรียบเทียบ

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลจากงานวิจัยเล่มนี้

3.2 การทดสอบในสภาพจริง

ตารางที่ 3.1 ค่าพิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Sharp รุ่น NE-80E2E

Cell	Polycrystalline silicon solar cells, 125.5 mm ²
No. of cells and connections	36 in series
Application	DC 12 V system
Maximum system voltage	DC 540 V
Series fuse rating	10 A
Nominal power	80 W
Dimensions	1,200X530X35 mm
Weight	8.5 kg
Type of output terminal	Lead wire with connector

ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Sharp รุ่น NE-80E2E

Parameters	Symbol	Min	Typ.	Unit
Open circuit voltage	V_{oc}	-	21.3	V
Maximum power voltage	V_{pm}	-	17.1	V
Short circuit current	I_{sc}	-	5.31	A
Maximum power current	I_{pm}	-	4.67	A
Maximum power	P_m	76.0	80.0	W
Encapsulated solar cell efficiency	η_c	-	14.0	%
Module efficiency	η_m	-	12.6	%

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ NE-80E2E 2 แผง
2. เครื่องวัดความเข้มแสง W/mm^2
3. DC Voltage meter และ DC Ammeter
4. โหลดแสงสว่างขนาด 100 W, 200 W และ 300 W
5. แผ่นพลาสติกทึบแสงสำหรับบังเงา



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.3 แสดงการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์กลางแจ้งแดดจัด



(ก)



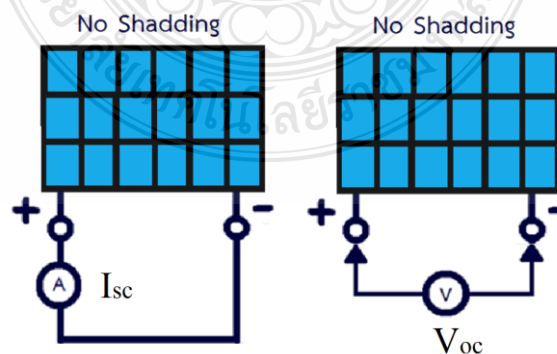
(ข)

ภาพที่ 3.4 การทดสอบในสภาพจริงที่สภาวะแวดล้อมฟ้าครึ้มมีเมฆมาก

ในการทดสอบการบังเงาในสภาพจริงนั้น จะใช้วิธีวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต่อกับโหลดที่เป็นตัวต้านทานและนำผลการทดสอบที่ได้ นำมาเขียนเส้นโค้ง I-V, เส้นโค้ง I-P และเส้นโค้ง P-V เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยแบบจำลองโปรแกรม Matlab/Simulink ซึ่งการทดสอบในสภาพจริง เราจะทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนี้

3.2.1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อโหลด [18]

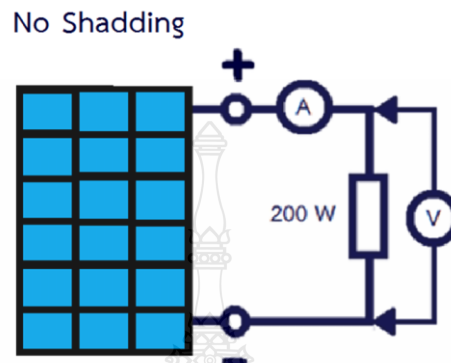
ในการทดสอบการแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่มีการต่อโหลดแบบนี้ จะสามารถวัดค่าได้ 2 ค่าคือ ค่ากระแสลัดวงจร (Short Circuit Current; I_{sc}) และค่าแรงดันขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage; V_{oc}) แสดงได้ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อโหลด

3.2.2 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อโหลดการ [19]

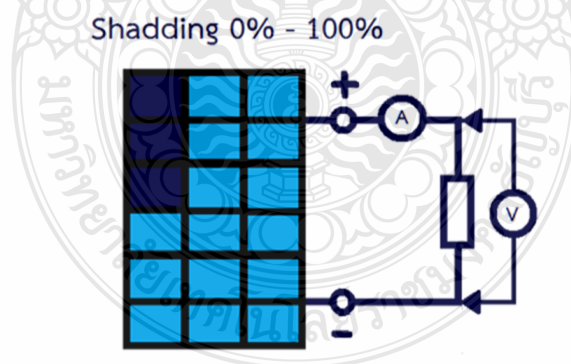
ในการทดสอบการแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีการต่อโหลดดังภาพที่ 3.6 เราจะสามารถวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อม โหลด ค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลด และค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลได้



ภาพที่ 3.6 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อโหลด

3.2.3 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง เกิดการบังเงาและมีการต่อโหลด

ในการทดสอบการแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีการต่อโหลดดังภาพที่ 3.7 เราจะสามารถวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อม โหลด ค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลด และค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลได้ ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการบังเงา



ภาพที่ 3.7 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยมีการบังเงาเกิดขึ้น

หลังจากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆแล้ว ทำการจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบกลางแจ้ง และนำค่าพารามิเตอร์บ้างค่า เช่น ค่าความเข้มแสง ค่าอุณหภูมิแวดล้อมขณะทำการทดสอบมาใช้ประกอบในการสร้างแบบจำลอง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.2.4 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ในสภาพจริงที่สภาวะแวดล้อมแตกต่างกัน

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพจริงที่สภาวะแวดล้อมแตกต่างกันนี้ เป็นการทดสอบที่ต้องอาศัยระยะเวลาซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลในแต่ละรอบปี ซึ่งสภาวะแวดล้อมที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องเจอในสภาพจริงนี้ จะสรุปได้ดังตารางที่ 3.3 [20]

ตารางที่ 3.3 ความเข้มแสงของการแผ่รังสีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในสภาวะต่างๆ [9]

สภาพอากาศ	ท้องฟ้าโปร่ง	ท้องฟ้ามีเมฆและหมอก	ท้องฟ้าครึ้ม
ความเข้มแสง	600-1000 W/m ²	200-400 W/m ²	50-150 W/m ²
ส่วนที่แผ่	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
กระจาย	10-20	20-80	80-100

ซึ่งการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในสภาวะต่างๆกันนี้ จะทดสอบเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 แบบได้แก่

1. การทดสอบในสภาวะท้องฟ้าโปร่ง
2. การทดสอบในสภาวะท้องฟ้ามีเมฆและหมอก
3. การทดสอบในสภาวะท้องฟ้าครึ้ม

3.3 การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ [21]

ออกแบบและสร้างเซลล์แสงอาทิตย์จำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้สมการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆต่อจุดจ่ายกำลังไฟฟ้า

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมดูลจากสมการที่ (2.6) ถ้าเราไม่คิดผลของ R_{sh} จะได้สมการของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังสมการ (3.1)

$$I = n_p \cdot I_{ph} - n_p \cdot I_s \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{N \cdot K \cdot T \cdot n_s}\right) - 1 \right] \quad (3.1)$$

เมื่อ n_p คือ จำนวนเซลล์ที่ต่อขนาน และ n_s คือ จำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรม $n_p = 1$

ต้องการเปรียบเทียบแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับการทดสอบจริง จากคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E ค่า $n_p = 1$ และ $n_s = 36$ แทนใน (3.1) จะได้

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{N \cdot K \cdot T \cdot 36}\right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

เมื่อ กำหนดให้ Thermal Voltage ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ $V_t = \frac{N \cdot K \cdot T}{q}$

ดังนั้นแทนค่า V_t ในสมการ (2) จะได้

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{(V + I \cdot R_s)}{36 \cdot V_t}\right) - 1 \right] \quad (3.3)$$

และกำหนดให้ $Q_1 = \frac{1}{36 \cdot V_t}$ เป็นค่าคงที่ใดๆ ; $Q_1 \neq 0$ แทนค่าใน (3.3) จะได้

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp(Q_1 (V + I \cdot R_s)) - 1 \right] \quad (3.4)$$

$$f(I_s) = I_{ph} - I_s \left[\exp(Q_1 (V + I \cdot R_s)) - 1 \right] \quad (3.5)$$

$$f'(I_s) = -\exp(Q_1 (V + I \cdot R_s)) \quad (3.6)$$

จากสมการ (2.11) ใช้ระเบียบวิธีนิวตันราฟสัน จะได้

$$I_{s_{n+1}} = I_{s_n} - \frac{f(I_{s_n})}{f'(I_{s_n})}, \quad n=1,2,3,\dots \quad (3.7)$$

แทน (3.4), (3.5) และ (3.6) ใน (3.7) จะได้

$$I_s = I_{s0} - \frac{I_{ph} - I_{s0} [\exp(Q_1(V + I \cdot R_s)) - 1]}{-\exp(Q_1(V + I \cdot R_s))} \quad (3.8)$$

จาก (3.8) กำหนดค่าเริ่มต้น $I_{s0} = 1.9 \times 10^{-7}$

และ $I_{ph} = I_{sc}, V = V_{mp}, I = I_{mp}, R_s = 0.01 \Omega$

$$I_s = I_{s0} - \frac{I_{sc} - I_{s0} [\exp(Q_1(V_{mp} + I_{mp} \cdot R_s)) - 1]}{-\exp(Q_1(V_{mp} + I_{mp} \cdot R_s))} \quad (3.9)$$

ใช้ระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน 10 รอบ ดังตารางที่ 3.3 ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ภายในวงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะใช้ข้อมูลจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ามาตรฐานที่ส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้กัน ดังนี้

q คือ ประจุอิเล็กตรอน = $1.602 \times 10^{-19} C$

K คือ ค่าคงที่ของ Boltzman = $1.3806504 \times 10^{-23} J / Kevin$

E_g คือ ค่า Band gap energy of semiconductor = 1.115

และจากผลการทดสอบจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มแสงได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าที่ได้จากการทดสอบจริง [20]

ค่าความเข้มแสง (W/m ²)	I _{sc} (A)	V _{oc} (V)
864	4.6	20.3
840	4.5	20.2

จากตารางที่ 3.1 และ 3.2 นำค่าที่ได้มาประมาณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยเลือกใช้วิธีการนิวตัน-ราฟสัน และได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม คือค่า

I_s คือ ค่ากระแสอิ่มตัวของไดโอดที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิ;

$$I_s = 1.83 \times 10^{-7} \text{ A}$$

N คือ ค่า Ideality Factor; $N = 1.1753$

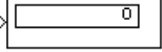








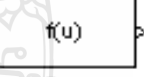
R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรม; $R_s = 0.0012 \text{ } \Omega$

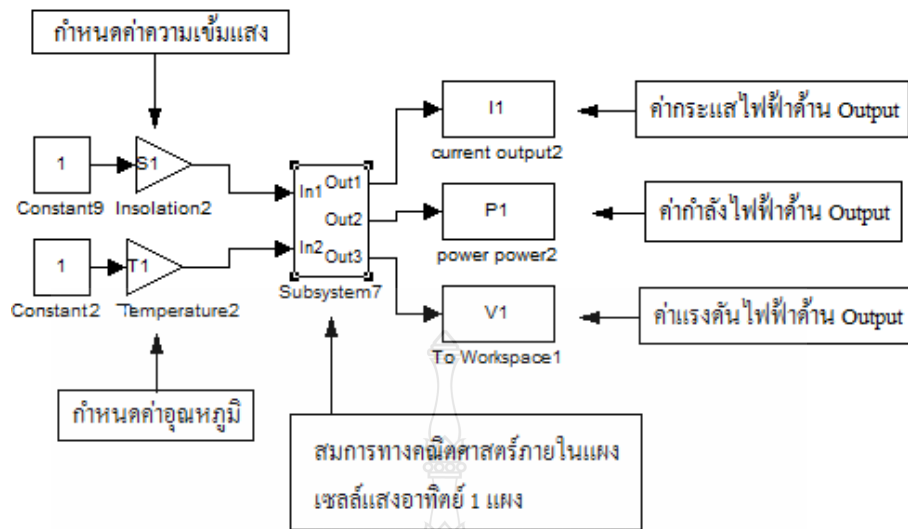
ตารางที่ 3.5 การใช้วิธีเปรียบเทียบวิธีนิวตัน-ราฟสันหาค่า I_s

รอบที่	ค่ากระแส I_s (A)
1	1.859×10^{-7}
2	1.86×10^{-7}
3	1.858×10^{-7}
4	1.857×10^{-7}
5	1.856×10^{-7}
6	1.855×10^{-7}
7	1.854×10^{-7}
8	1.84×10^{-7}
9	1.8301×10^{-7}
10	1.83×10^{-7}

ดังนั้นได้ค่ากระแสรั่วในสภาวะอิ่มตัวขณะจ่ายไบอัสกลับของไดโอด $I_s = 1.83 \times 10^{-7} \text{ A}$ และจากสมการ (3.4) จะใช้เปรียบเทียบวิธีนิวตัน-ราฟสันเช่นเดียวกับการหาค่า I_s หาค่า $R_s = 0.0012 \text{ } \Omega$ ของไดโอด $N = 1.1753$ จากนั้นใช้แบบจำลองดังกล่าวพัฒนาเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module) โดยทดลองใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Matlab/Simulink

ตารางที่ 3.6 สัญลักษณ์และรายละเอียดของ Block ดำเนินการต่างๆใน Simulink [22]

 <p>Display</p> <p>1. การแสดงผลข้อมูลเป็นตัวเลข</p>	 <p>Scope</p> <p>2. การแสดงผลสัญญาณบนออสซิลโลสโคป</p>
 <p>Constant</p> <p>3. ค่าคงที่</p>	 <p>Gain</p> <p>4. การคูณอินพุตด้วยค่าที่กำหนด</p>
 <p>Product</p> <p>5. การรับอินพุตเข้ามา 2 ค่ามาคูณกัน มี 1 เอาท์พุต</p>	 <p>6. การบวกหรือลบอินพุตที่เข้ามา ผลลัพธ์มี 1 เอาท์พุต</p>
 <p>Add</p> <p>7. การรับอินพุตเข้ามา 2 ค่ามาบวกกัน มี 1 เอาท์พุต</p>	 <p>Math Function</p> <p>8. การรับอินพุตเข้ามาเป็น u ของฟังก์ชันเอกโพเนนเชียล</p>
 <p>Bias</p> <p>9. การรับอินพุตเข้ามาแล้วบวกด้วยค่าที่กำหนด</p>	 <p>Fcn</p> <p>10. การกำหนดสมการทางคณิตศาสตร์</p>



ภาพที่ 3.8 การกำหนดค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิในโปรแกรม Matlab/Simulink

จากภาพที่ 3.8 และ 3.9 ในการทดสอบแบบจำลอง จะกำหนดค่าความเข้มแสง, อุณหภูมิ, และ ค่าความต้านทานโหลด (R_L) ลงใน m-file ของโปรแกรม Matlab/Simulink ซึ่งถ้าจะทำการทดสอบในขณะที่ไม่มีโหลด จะกำหนดค่า $R_L = 0 \Omega$ ส่วนค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ $R_s = 0.0012 \Omega$ ค่ากระแสรั่วในสภาวะอิ่มตัวขณะจ่ายไบอัสกลับของไดโอด $I_s = 1.83 \times 10^{-7} \text{ A}$, ค่า Ideality Factor; $N = 1.1753$, จะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบนี้ ตลอดการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกกรณี

จากภาพที่ 3.9 ภายใน Subsystem จะประกอบไปด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังนี้

$$I_{ph} = (I_{sc} + K_I [(T + 273) - 298]) \left(\frac{S}{1000} \right) \quad (3.10)$$

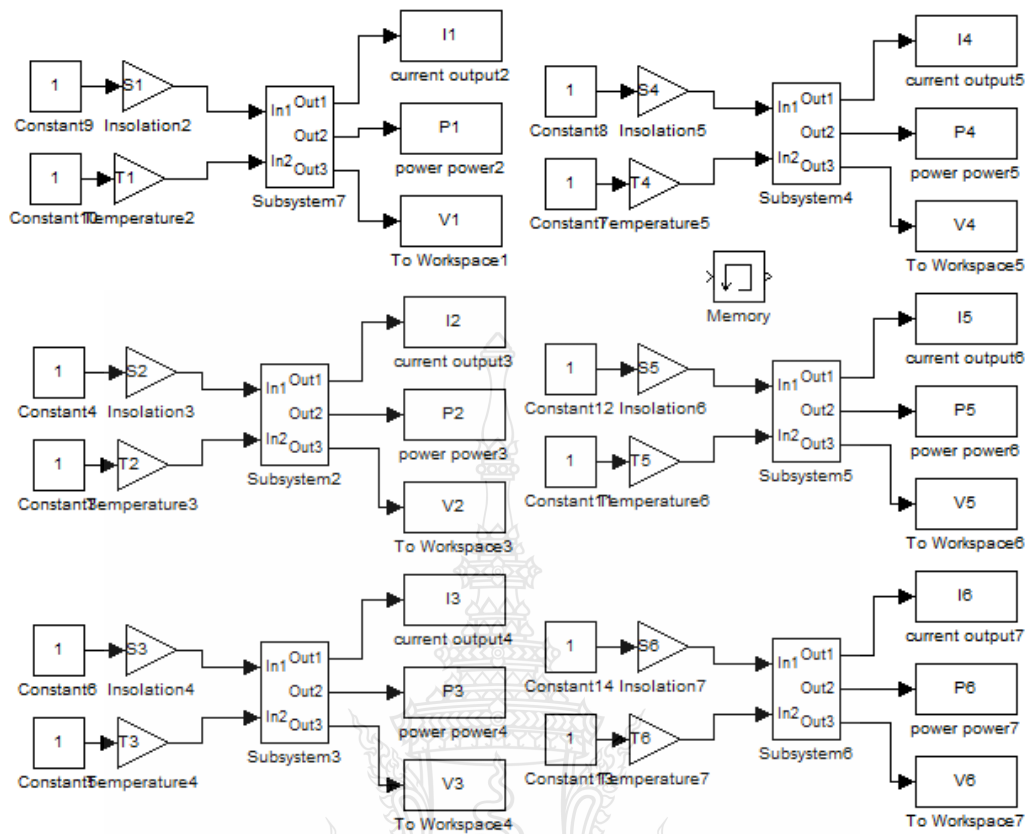
สมการที่ 3.10 เป็นสมการที่แสดงค่ากระแสใน โปรแกรม Matlab/Simulink ซึ่งเป็นสมการที่ประยุกต์จากสมการของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สมการที่ 2.1 ในบทที่ 2 และสามารถแสดงสมการทางคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับสมการที่นำมาประยุกต์ใช้งานในโปรแกรม Matlab/Simulink ได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สมการทางคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้ใน Matlab/Simulink

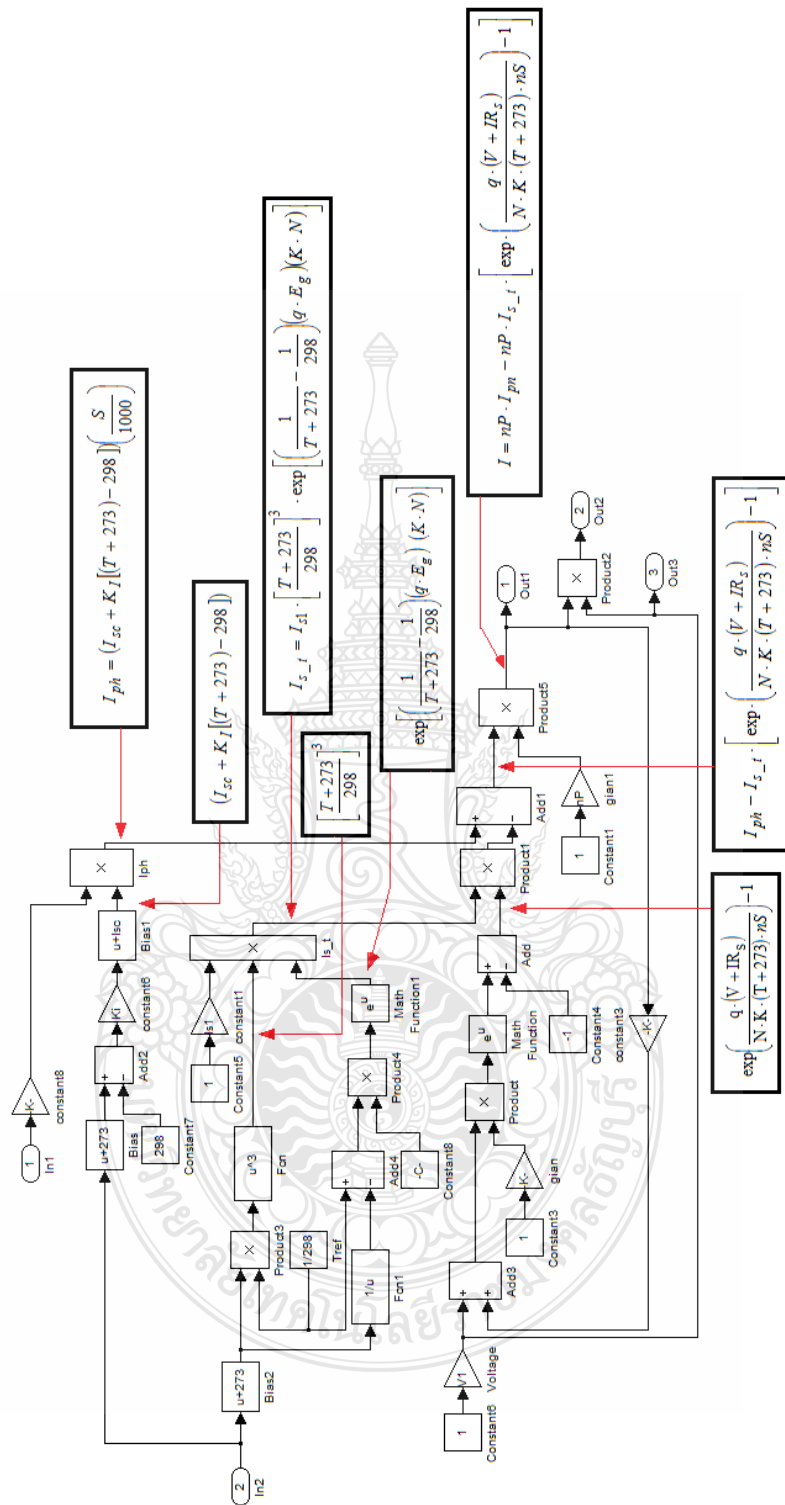
สมการทางคณิตศาสตร์	สมการที่ประยุกต์ใช้ใน โปรแกรม Matlab/Simulink
$I_{ph} = (I_{sc} + KI[T - T_{ref}])^n$	$I_{ph} = (I_{sc} + KI[(T + 273) - 298]) \left(\frac{S}{1000} \right)$
$I_s(t) = I_s \left[\frac{T}{T_{ref}} \right]^3 \exp \left[\left(\frac{T}{T_{ref}} - 1 \right) \frac{E_g}{N \cdot V_t} \right]$	$I_{s_t} = I_{s1} \cdot \left[\frac{T + 273}{298} \right]^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{1}{T + 273} - \frac{1}{298} \right) (q \cdot E_g) (K \cdot N) \right]$
$I = I_{ph} - I_s \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot (V + IR_s)}{N \cdot K \cdot T \cdot nS} \right) - 1 \right]$	$I = I_{ph} - I_{s_t} \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot (V + IR_s)}{N \cdot K \cdot (T + 273) \cdot nS} \right) - 1 \right]$
$I = n_p \cdot I_{ph} - n_p \cdot I_s \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot (V + IR_s)}{N \cdot K \cdot T \cdot nS} \right) - 1 \right]$	$I = n_p \cdot I_{ph} - n_p \cdot I_{s_t} \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot (V + IR_s)}{N \cdot K \cdot (T + 273) \cdot nS} \right) - 1 \right]$

เมื่อสร้างแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจึงทำการทดสอบคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งในการทดสอบที่สภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน หรือสภาวะที่อุณหภูมิแตกต่างกันนั้น จะใช้วิธีการสร้างแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนหลายๆแผง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการจำนวนทั้งสิ้น 6 แผง แล้วให้ค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน 6 ค่า และนำค่าที่ได้มาแสดงในกราฟ I-V Curves, P-V Curves และ P-I Curves ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันก็สามารถที่จะทดสอบได้ในลักษณะเดียวกัน โดยกำหนดค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันป้อนค่า 6 ค่าลงในแบบจำลอง [20]

เมื่อนำค่าที่ทดสอบจากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่ทดสอบในสภาวะจริง ค่าที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถนำแบบจำลองนี้มาประยุกต์ใช้ในการทดสอบในสภาวะที่เกิดจากการบังเงาต่อไป



ภาพที่ 3.9 แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 6 แผง ที่ทำการทดสอบในสถานะที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 3.10 ภายใน Subsystem จะประกอบไปด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.4 การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในสถานะที่เกิดการบังเงา

ในการสร้างแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะที่เกิดการบังเงานั้นจะวิธีการพิจารณาถึง ค่าความเข้มแสงเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงเต็มที่กับค่าความเข้มแสงเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดสถานะการบังเงา และจะต้องพิจารณาถึงจำนวนเซลล์ภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวนเซลล์ที่ไม่ถูกบังเงา กับจำนวนเซลล์ที่เกิดสถานะการบังเงา โดยอาศัยสมการที่ 2.7 ในบทที่ 2 ซึ่งจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ $n_p = 1$ และ $n_s = 36$ จะได้

$$I = I_{ph} - I_s \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot (V + IR_s)}{N \cdot K \cdot T \cdot 36} \right) - 1 \right] \quad (3.11)$$

จากสมการ 3.11 ถ้าเราพิจารณาที่ค่าความเข้มแสงจะเห็นว่าเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงที่ได้รับค่าความเข้มแสงเต็มที่ทุกเซลล์ และถ้าเราจะแยกส่วนที่ถูกบังเงากับส่วนที่ได้รับแสงเต็มที่ภายในแผงเดียวกันนั้น สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.12 และ 3.13

$$I_{light} = I_{ph} - I_s \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot (V + IR_s)}{N \cdot K \cdot T \cdot nS_{light}} \right) - 1 \right] \quad (3.12)$$

$$I_{shaded} = I_{ph} - I_s \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot (V + IR_s)}{N \cdot K \cdot T \cdot (36 - nS_{light})} \right) - 1 \right] \quad (3.13)$$

เมื่อกำหนดให้

I_{light} คือ ค่ากระแสออกจากกลุ่มเซลล์ที่ได้ค่ารับความเข้มแสงเต็มที่

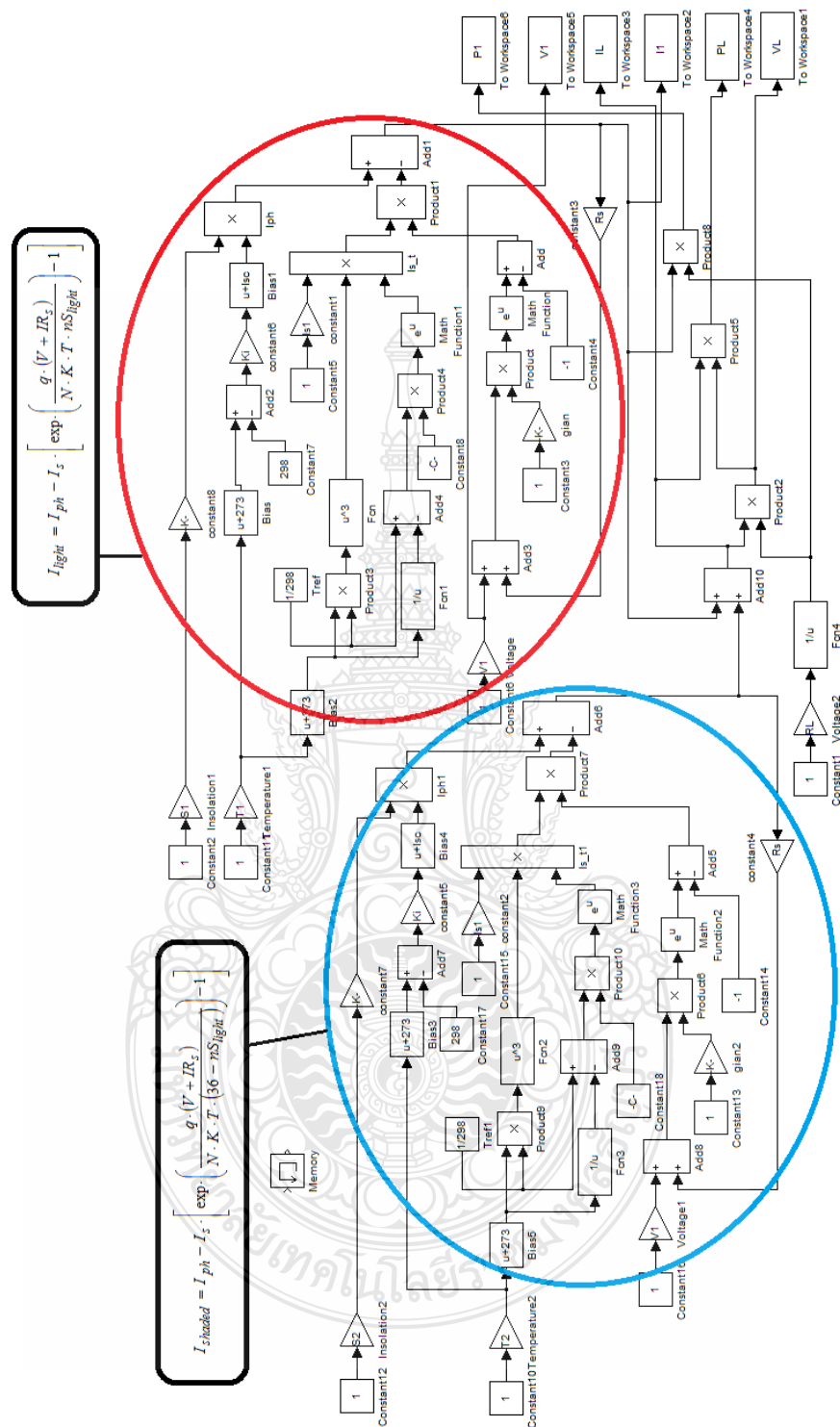
I_{shaded} คือ ค่ากระแสออกจากกลุ่มเซลล์ที่เกิดการบังเงา

nS_{light} คือ จำนวนกลุ่มเซลล์ที่ได้ค่ารับความเข้มแสงเต็มที่

จากสมการ 3.12 และ 3.13 นำมาสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink โดยการประยุกต์ดัดแปลงเพิ่มเติมจากแบบจำลองเดิม จะได้แบบจำลองที่ช่วยในการทดสอบผลจากการบังเงาดังภาพที่ 3.11

จากภาพที่ 3.11 เป็นแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ซึ่งใช้ในสภาวะการบังเงา ส่วนของวงกลมสีแดงในภาพที่ 3.11 เป็นส่วนที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความเข้มแสงเต็มที่ ซึ่งสามารถกำหนดค่าได้ว่าจะได้รับแสงเต็มที่เป็นร้อยละเท่าไร ส่วนของวงกลมสีฟ้าในภาพที่ 3.11 เป็นส่วนที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความเข้มแสงน้อยลงจากเดิม เนื่องจากถูกบังเงา ซึ่งสามารถกำหนดค่าได้ว่าจะได้รับผลการบังเงาเป็นร้อยละเท่าไร และเมื่อทดสอบแล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ การทดสอบจริง ซึ่งรายละเอียดผลของการทดสอบจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 4





ภาพที่ 3.11 ภายใน Subsystem แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบการบังเงา

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้จะประกอบไปด้วยผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพจริงซึ่งมีผลการทดสอบทั้งแบบได้รับแสงเต็มที่ไม่มีเกิดการบังเงา กับกรณีที่เกิดการบังเงา ในส่วนต่อไปจะเป็นผลการทดสอบด้วยแบบจำลองทั้งแบบได้รับแสงเต็มที่ไม่มีเกิดการบังเงา กับกรณีที่เกิดการบังเงา

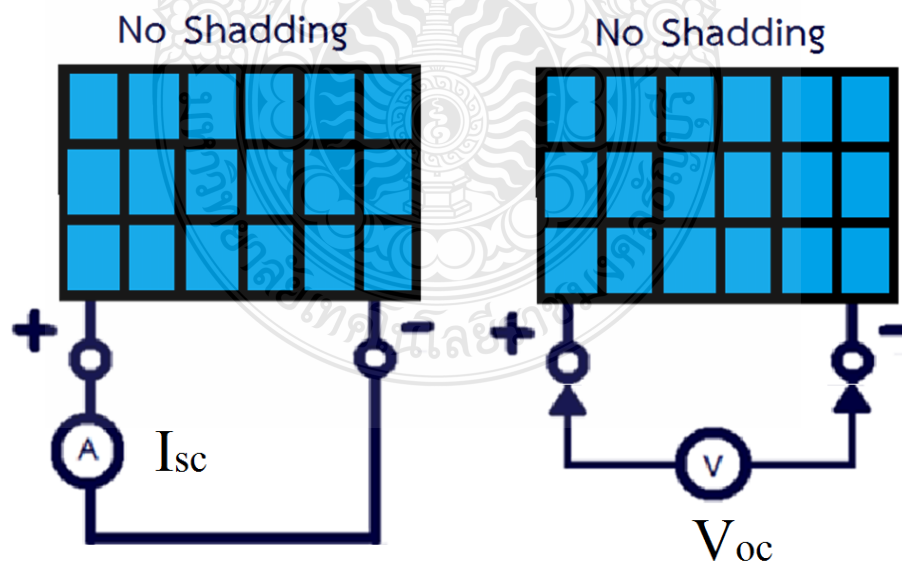
4.1 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อโหลด

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อโหลด จะแสดงผลการทดสอบดังนี้

1. ผลการทดสอบในสภาพจริง
2. ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink
3. เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง

Matlab/Simulink

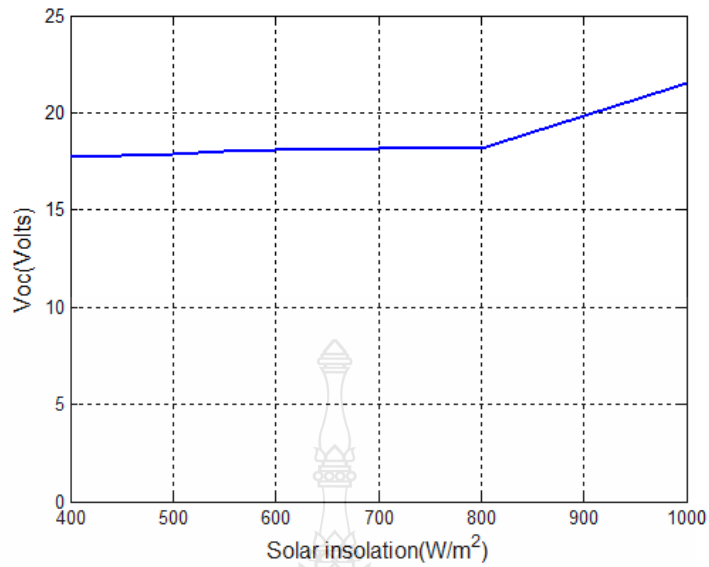
4.1.1 ผลการทดสอบในสภาพจริง



ภาพที่ 4.1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อโหลด

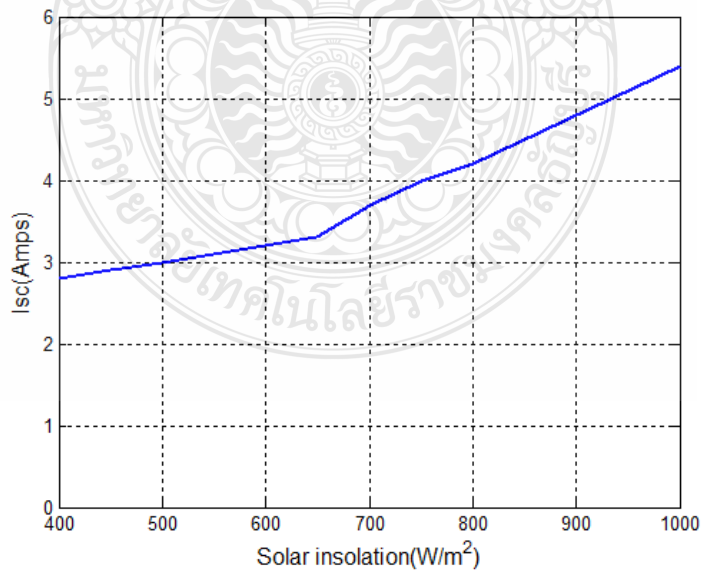
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อโหลด

ค่าความเข้มแสง (W/m^2)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)
400	17.7	2.8
450	17.8	2.9
500	17.9	3.0
550	18	3.1
600	18.1	3.2
650	18.12	3.3
700	18.14	3.7
750	18.17	4.0
800	18.2	4.2



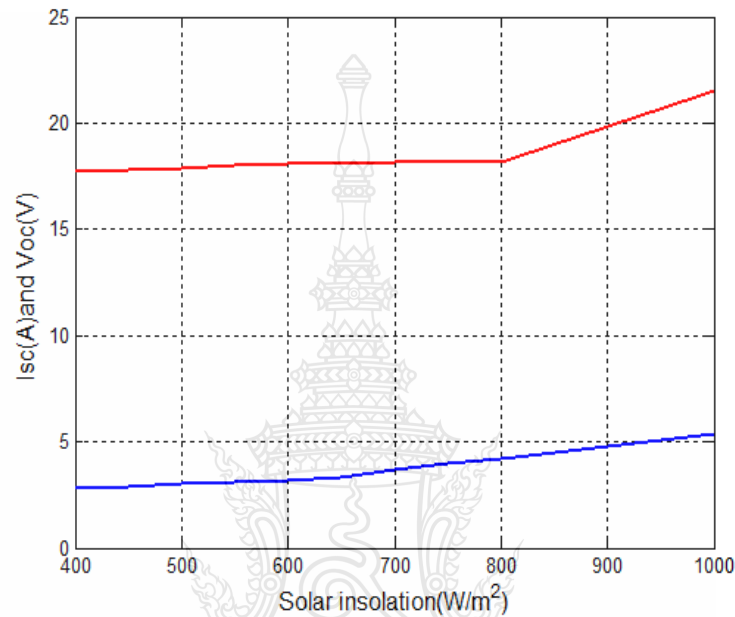
ภาพที่ 4.2 นำผลการทดสอบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและแรงดัน V_{oc}

ภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้น ค่าแรงดันขณะเปิดวงจรจะค่อยๆ เพิ่มมากขึ้น จนเมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 800 W/m^2 ขึ้นไป ค่าแรงดันขณะเปิดวงจรจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าช่วงแรก แสดงให้เห็นว่าที่ค่าความเข้มแสงประมาณ 800 W/m^2 ขึ้นไป นั้นเป็น ช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 4.3 นำผลการทดสอบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและกระแส I_{sc}

ภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้น ค่ากระแสขณะลัดวงจรจะค่อยๆเพิ่มมากขึ้น จนเมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 650 W/m^2 ขึ้นไป ค่ากระแสขณะลัดวงจรจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าช่วงแรก แสดงให้เห็นว่าที่ค่าความเข้มแสงประมาณ 650 W/m^2 ขึ้นไป นั้นเป็นช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เช่นเดียวกัน

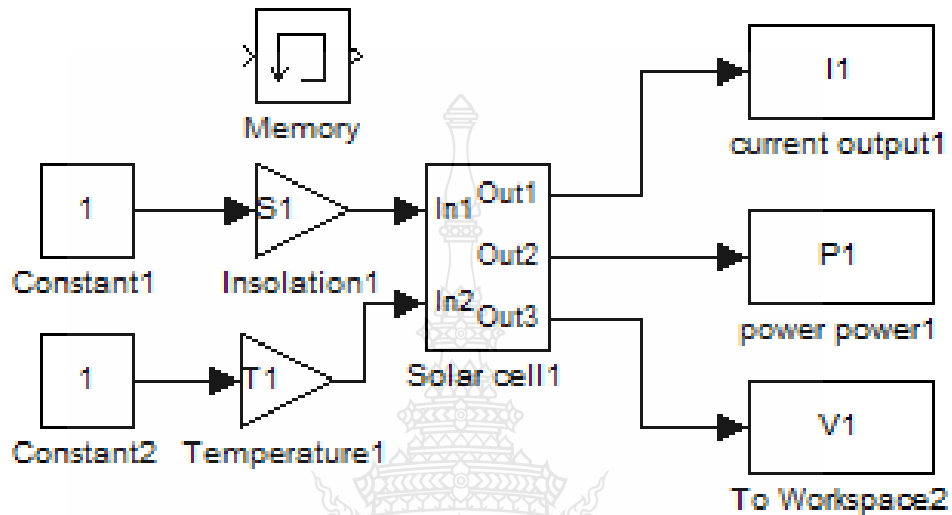


ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงระหว่าง กระแส I_{sc} และแรงดัน V_{oc}

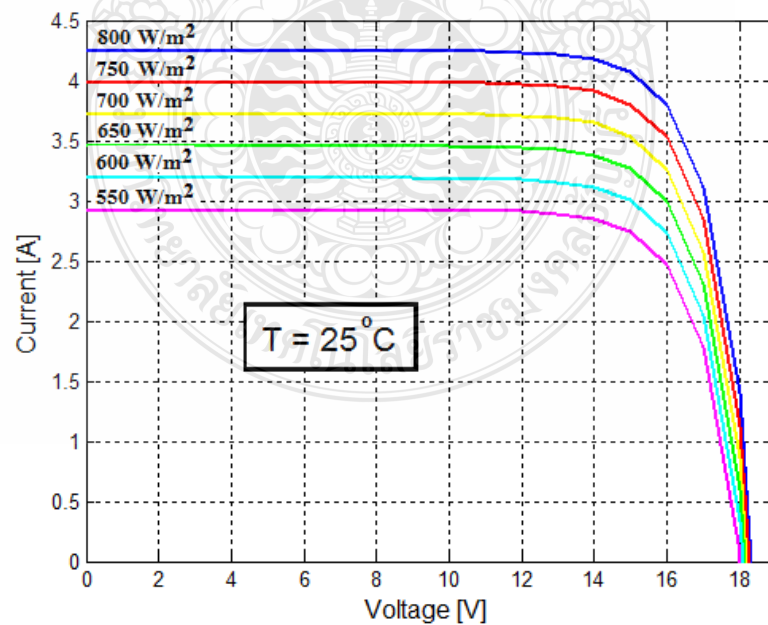
ภาพที่ 4.4 เส้นสีแดงคือค่าแรงดันขณะเปิดวงจร เส้นสีน้ำเงินคือค่ากระแสขณะลัดวงจร เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วจะเห็นว่า ค่าความเข้มแสงประมาณ 800 W/m^2 ขึ้นไป นั้นเป็นช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้ค่ากระแสและค่าแรงดันเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็วหรือทำงานได้เต็มที่

4.1.2 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

การทดสอบคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลองโปรแกรม Matlab/Simulink โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงและไม่มีภาระบังเงา



ภาพที่ 4.5 แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง



ภาพที่ 4.6 เส้นโค้ง I-V ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน

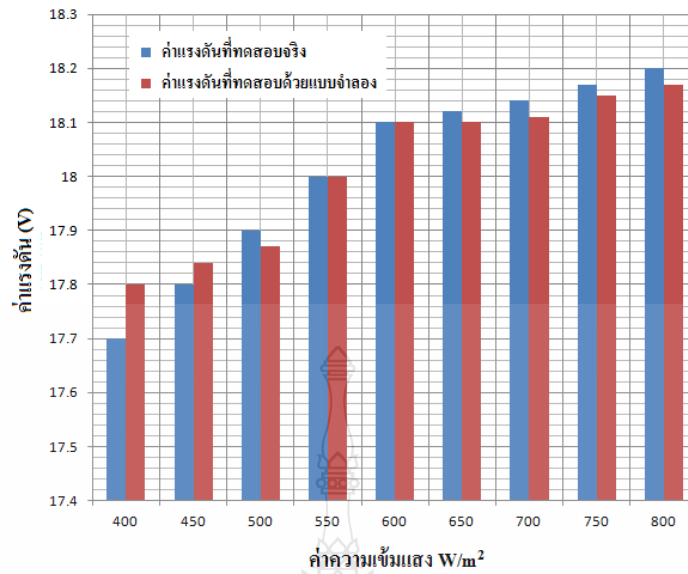
จากภาพที่ 4.6 เป็นผลการทดสอบด้วยแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink แสดงค่าแรงดันและกระแสที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน ซึ่งมีความใกล้เคียงกับเอกสารข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตแผงเซลล์ที่มีให้แล้ว

4.1.3 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลองโปรแกรม Matlab/Simulink โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงและไม่มีภาระบังเงา ได้เส้นโค้ง I-V ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัณดังภาพที่ 4.6 และจากภาพที่ 4.6 สามารถหาค่า I_{sc} และ V_{oc} เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองในสภาพจริง ได้ดังตารางที่ 4.2

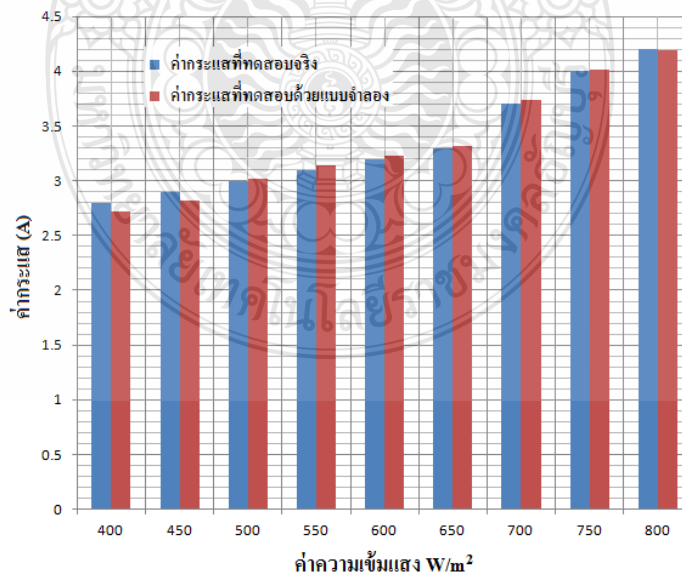
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่มีโหลดและไม่มีภาระบังเงา

ค่าความเข้มแสง (W/m ²)	การทดสอบ ในสภาพจริง		การทดสอบ ด้วยแบบจำลอง		ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	
	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_{oc}	I_{sc}
400	17.70	2.80	17.80	2.72	0.56	2.86
450	17.80	2.90	17.84	2.82	0.22	2.76
500	17.90	3.00	17.87	3.02	0.16	0.6
550	18.00	3.10	18.00	3.14	0	1.29
600	18.10	3.20	18.10	3.23	0	0.90
650	18.12	3.30	18.10	3.32	0.11	0.61
700	18.14	3.70	18.11	3.74	0.17	1.08
750	18.17	4.00	18.15	4.01	0.11	0.25
800	18.20	4.20	18.17	4.19	0.16	0.24



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าแรงดันขณะเปิดวงจรที่ทดสอบจริงกับค่าแรงดันที่ทดสอบด้วยแบบจำลอง

จากผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลองที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน ในภาพที่ 4.7 ค่าแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) มีค่าใกล้เคียงกัน และเป็นไปตามสมการทางคณิตศาสตร์คือ เมื่อความเข้มแสงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าแรงดันมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จนถึงจุดอิ่มตัวค่าแรงดันจะมีค่าคงที่



ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรที่ทดสอบจริงกับค่ากระแสที่ทดสอบด้วยแบบจำลอง

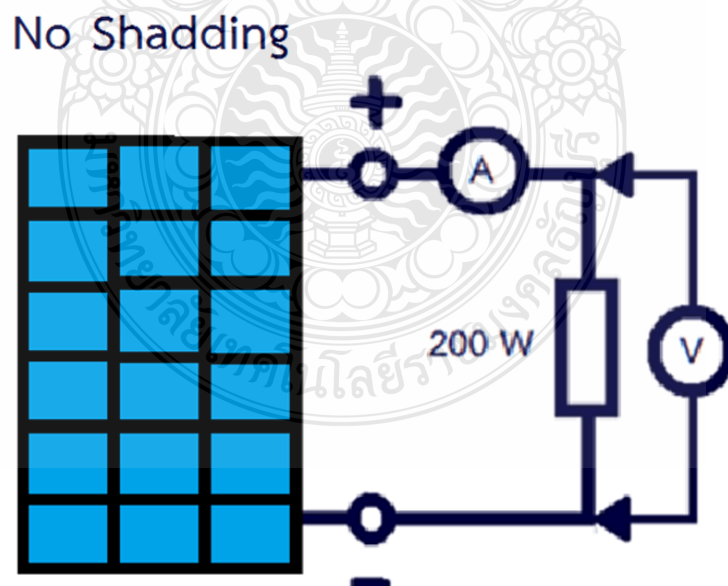
จากผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลองที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน ในภาพที่ 4.8 ค่ากระแสลัดวงจร (I_{sc}) มีค่าใกล้เคียงกัน และเป็นไปตามสมการทางคณิตศาสตร์คือ เมื่อความเข้มแสงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่ากระแสมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จนถึงจุดอิ่มตัวค่ากระแสจะมีค่าคงที่ [22]

4.2 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อโหลด

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อโหลด จะแสดงผลการทดสอบดังนี้

1. ผลการทดสอบในสภาพจริง
2. ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink
3. เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

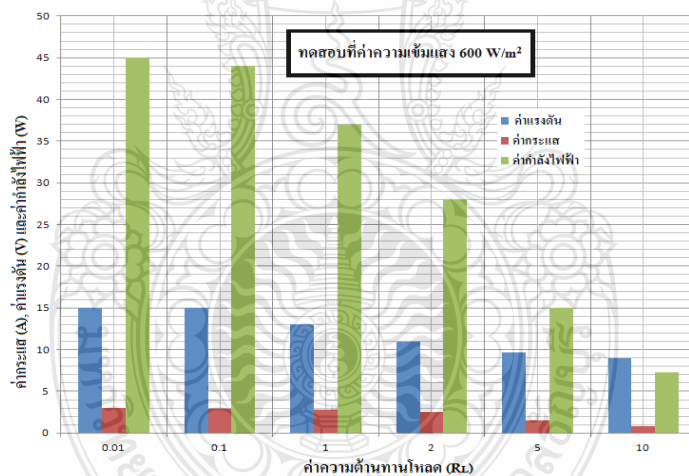
4.2.1 ผลการทดสอบในสภาพจริง



ภาพที่ 4.9 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อโหลด

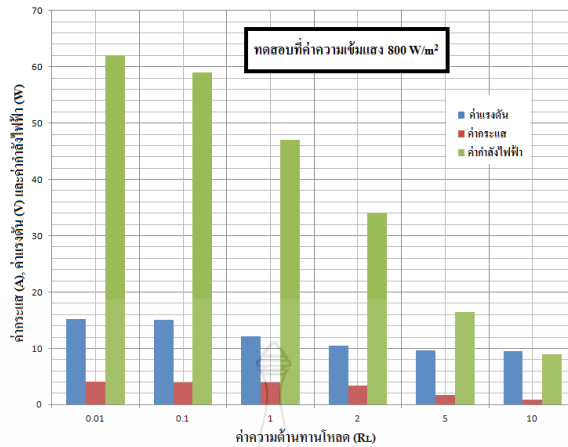
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อโหลด

R_L (Ω)	ค่าความเข้มแสง (W/m^2)														
	600			650			700			750			800		
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
0.01	15	3	45	15	3.3	49	15	3.5	53	15	3.8	57	15.2	4.1	62
0.1	15	2.9	44	15	3.2	48	15	3.5	52	15	3.73	56	15	3.9	59
1	13	2.8	37	12.7	3	38	13	3.2	42	13	3.4	44	12.2	3.9	47
2	11	2.5	28	10.5	2.8	30	11	2.9	32	10.5	3.14	33	10.5	3.4	34
5	9.7	1.5	15	9.8	1.6	15.5	9.8	1.6	15.6	9.5	1.7	16	9.7	1.7	16.5
10	9	0.8	7.3	9.7	0.8	8	9.5	0.8	8	9.5	0.9	8.6	9.5	0.9	9



ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบโดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อ โหลดที่ความเข้มแสง 600 W/m²

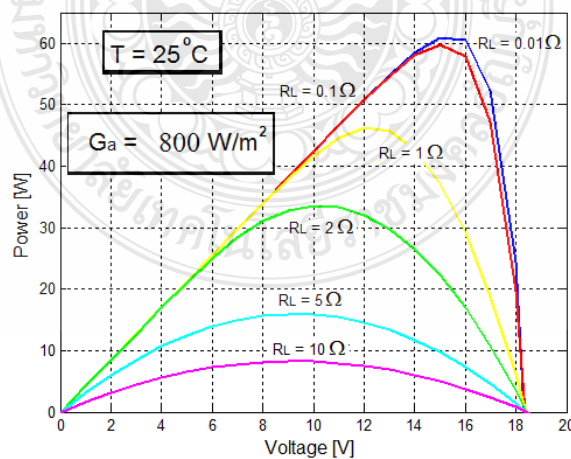
ภาพที่ 4.10 ที่ระดับความเข้มแสง 600 W/m² จะเห็นว่าค่าความต้านทานโหลดมีค่าสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเนื่องจากค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ $R_s = 0.0012 \Omega$ ซึ่งมีค่าน้อยมาก ตามหลักการของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้ว ค่าความต้านทานที่โหลดต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อค่าความต้านทานโหลดมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ ค่ากำลังไฟฟ้าย่อมมีค่าลดลงเช่นกัน



ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบโดยไม่มีกรบังเงาและมีการต่อโหลดที่ความเข้มแสง 800 W/m²

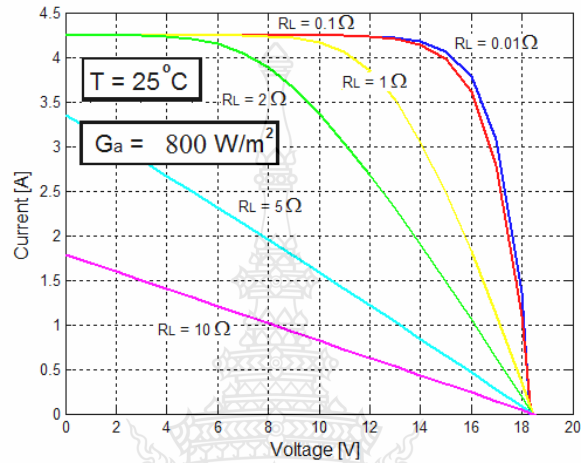
ภาพที่ 4.11 ที่ระดับความเข้มแสง 800 W/m² จะเห็นว่าค่าความต้านทานโหลดมีค่าสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเนื่องจากค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ $R_s = 0.0012 \Omega$ ซึ่งมีค่าน้อยมาก ตามหลักการของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้ว ค่าความต้านทานที่โหลดต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อค่าความต้านทานโหลดมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ ค่ากำลังไฟฟ้าย่อมมีค่าลดลงเช่นกัน [20]

4.2.2 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink



ภาพที่ 4.12 เส้นโค้ง P-V ที่ความเข้มแสง 800 W/m² ทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

ภาพที่ 4.12 ที่ระดับความเข้มแสง 800 W/m^2 จะเห็นว่าค่าความต้านทานโหลดมีค่าสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเนื่องจากค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ $R_s = 0.0012 \Omega$ ซึ่งมีค่าน้อยมาก ตามหลักการของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้ว ค่าความต้านทานที่โหลดต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 4.13 เส้นโค้ง I-V ความเข้มแสง 800 W/m^2 ทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

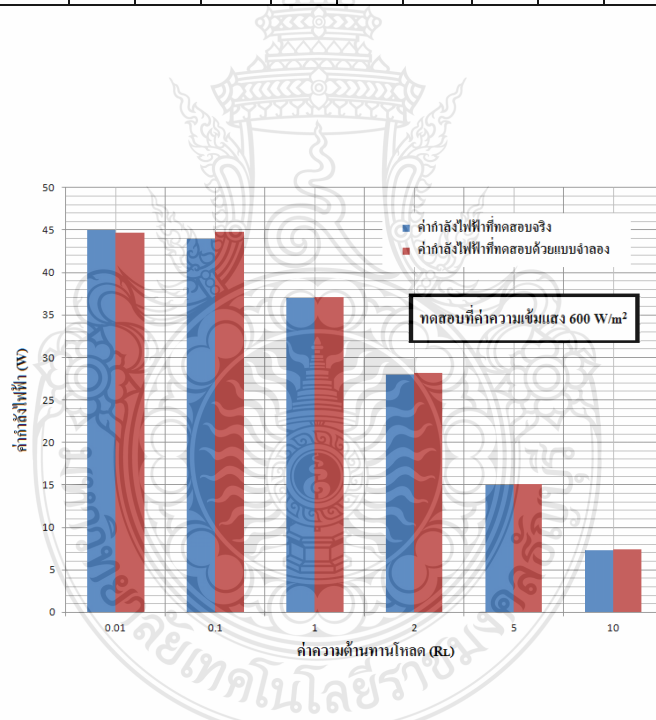
ภาพที่ 4.13 ที่ระดับความเข้มแสง 800 W/m^2 จะเห็นว่าค่าความต้านทานโหลดมีค่าสูงขึ้น เส้นโค้ง I-V จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เนื่องจากจุดหักโค้งที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้น ไม่มี แต่ถ้าค่าความต้านทานที่โหลดต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จุดหักโค้งที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเริ่มมีและเด่นชัดขึ้น [23]

4.2.3 ผลเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

ผลเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink จะแสดงผลการเปรียบเทียบในส่วนของค่ากำลังไฟฟ้างดตารางที่ 4.4 โดยค่า P_1 จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดสอบจริง ส่วนค่า P_2 จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ทดสอบด้วยแบบจำลอง

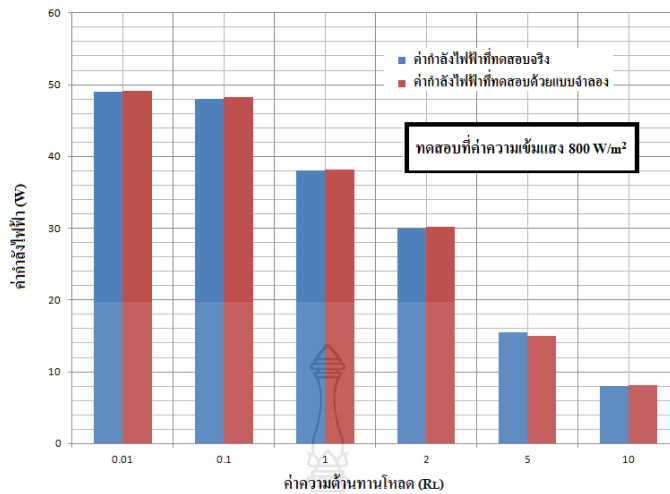
ตารางที่ 4.4 ผลเปรียบเทียบการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

R_L (Ω)	ค่าความเข้มแสง (W/m^2)														
	600			650			700			750			800		
	P_1 (W)	P_2 (W)	% Error	P_1 (W)	P_2 (W)	% Error	P_1 (W)	P_2 (W)	% Error	P_1 (W)	P_2 (W)	% Error	P_1 (W)	P_2 (W)	% Error
0.01	45	44.7	0.67	49	49.1	0.2	49	49.1	0.2	49	49.1	0.2	49	49.1	0.2
0.1	44	44.8	1.81	48	48.3	0.63	48	48.3	0.63	48	48.3	0.63	48	48.3	0.63
1	37	37.1	0.27	38	38.2	0.53	38	38.2	0.53	38	38.2	0.67	38	38.2	0.53
2	28	28.2	0.71	30	30.2	0.67	30	30.2	0.67	30	30.2	0.67	30	30.2	0.67
5	15	15.1	0.67	15.5	15	3.33	15.5	15	3.23	15.5	15	3.2	15.5	15	3.33
10	7.3	7.4	1.37	8	8.1	1.25	8	8.1	1.25	8	8.1	1.25	8	8.1	1.25



ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับแบบจำลองที่ความเข้มแสง 600 W/m²

จากตารางที่ 4.4 นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้ากับค่าความต้านทานโหลดที่ระดับความเข้มแสง 600 W/m² ได้ดังภาพที่ 4.14 จะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ความต้านทานโหลดที่แตกต่างกัน ค่ากำลังไฟฟ้าจากการทดสอบจริงและการทดสอบด้วยแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับแบบจำลองที่ความเข้มแสง 800 W/m²

จากตารางที่ 4.4 นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้ากับค่าความต้านทานโหลดที่ระดับความเข้มแสง 800 W/m² ได้ดังภาพที่ 4.15 จะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ความต้านทานโหลดที่แตกต่างกัน ค่ากำลังไฟฟ้าจากการทดสอบจริงและการทดสอบด้วยแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน

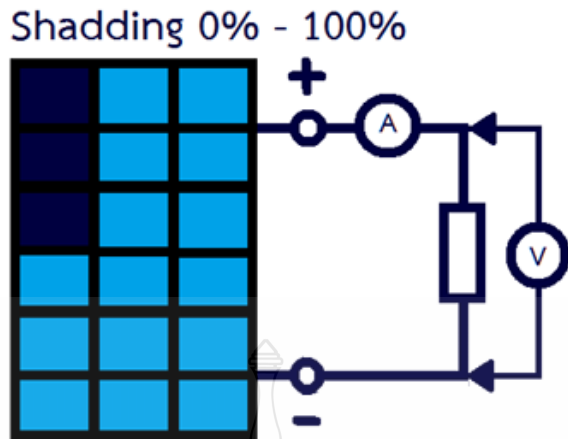
4.3 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง เกิดการบังเงาและมีการต่อโหลด

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง เกิดการบังเงาและมีการต่อโหลด จะแสดงผลการทดสอบดังนี้

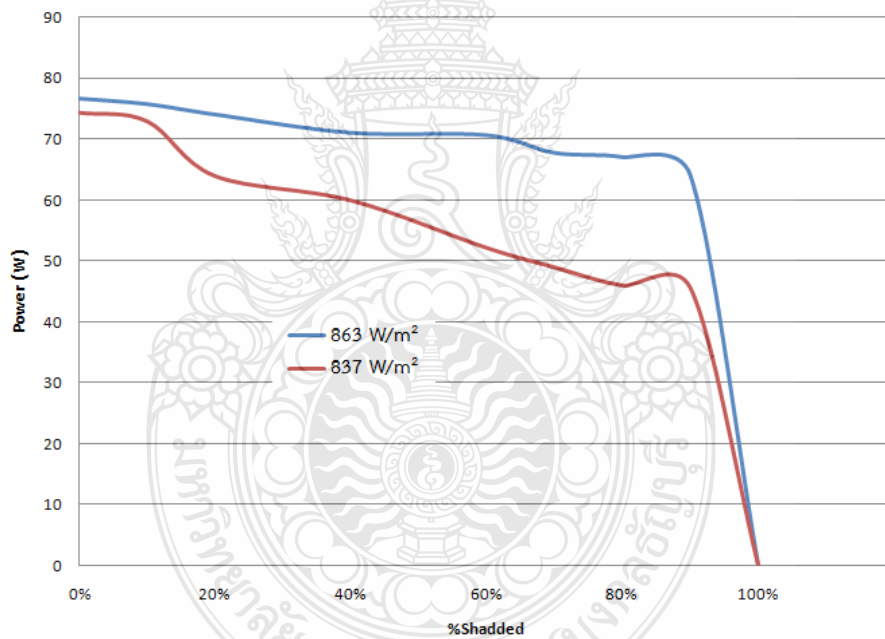
1. ผลการทดสอบในสภาพจริง
2. ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab Simulink
3. เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

4.3.1 ผลการทดสอบในสภาพจริง

ทดสอบกลางแจ้งใช้เซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E 1 แผง ขณะถูกบดบังคิดเป็นร้อยละ 0 จนถึง ร้อยละ 100 ของพื้นที่ที่ถูกบังเงา (ที่ความเข้มแสง 863 W/m²) วัดค่าแรงดันกระแส และกำลังไฟฟ้า วงจรการทดสอบดังภาพที่ 4.16 และได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.16 การทดสอบคุณสมบัติแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพแวดล้อมจริง



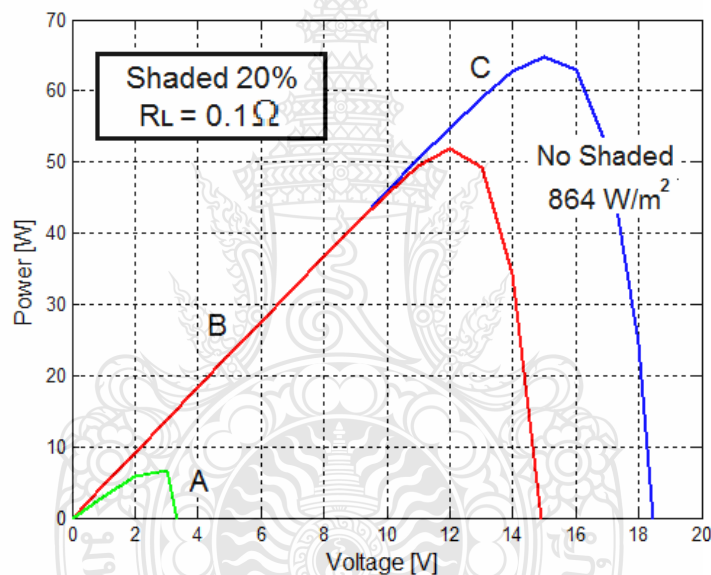
ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองที่ความเข้มแสงต่างกัน

จากภาพที่ 4.17 เมื่อมีการบังเงาเกิดขึ้นค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลง เมื่อมีการบังเงาเพิ่มขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลงอีก จนเมื่อการบังเงาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 90 ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพลังงานที่ผลิตได้ในช่วงนี้มีค่าน้อยมากจนเกือบจะเป็นศูนย์ กราฟจึงแสดงค่าความชันในช่วงนี้มากกว่าช่วงอื่น [24]

4.3.2 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

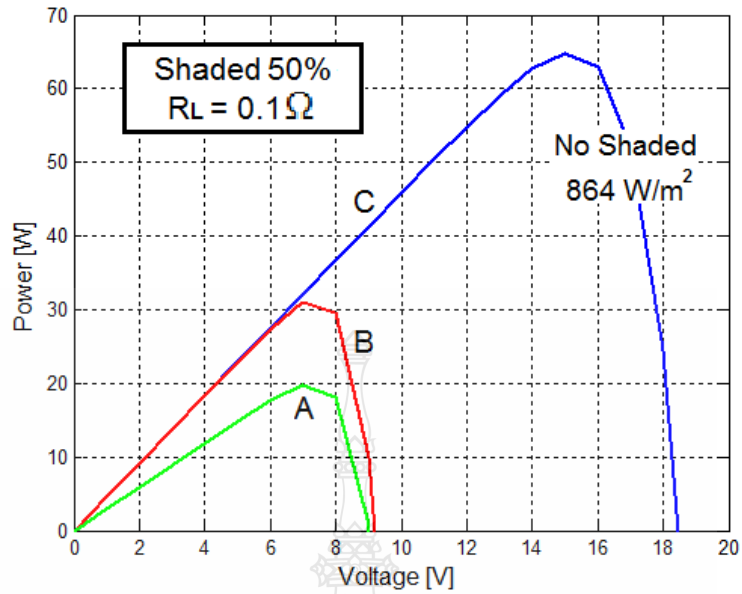
ในการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ และอาศัยข้อมูลในตารางที่ 3.2

จากตารางที่ 3.2 ในการสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการทดสอบจริงนั้นต้องทดสอบในสภาวะจริงก่อนแล้วนำค่าที่วัดได้ในสภาวะนั้น มากำหนดลงในแบบจำลองแล้วเปรียบเทียบผลการทดลอง ซึ่งในสภาวะจริงท้องฟ้าโปร่งนั้น วัดค่าความเข้มแสงได้ 864 W/m^2 และในส่วนที่มีการถูกบังเงานั้น วัดค่าความเข้มแสงได้ 557 W/m^2 ในการสร้างแบบจำลองจะใช้ค่าความเข้มแสงข้างต้น มาสร้างเป็นแบบจำลอง โดยต่อโหลดที่มีค่าความต้านทาน 0.1Ω



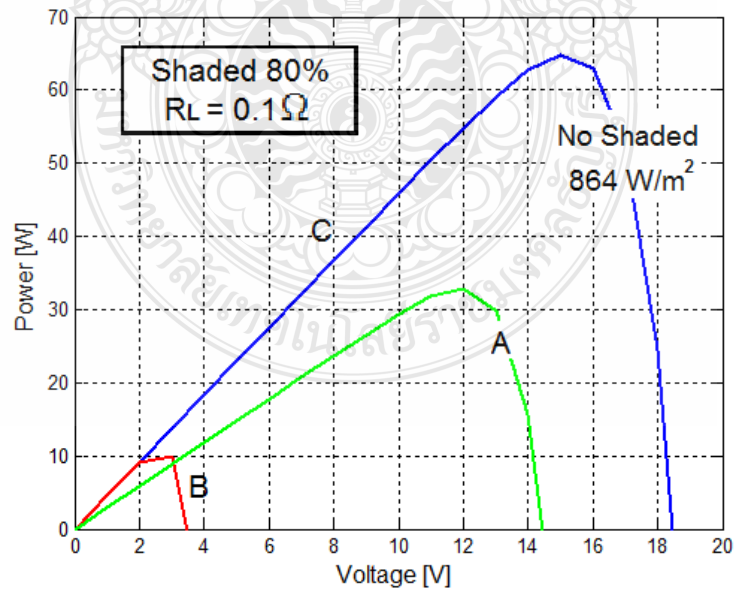
ภาพที่ 4.18 เส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 20

ภาพที่ 4.18 แสดงเส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาเกิดขึ้นระหว่างร้อยละ 20 ในเส้นโค้ง C (สีน้ำเงิน) คือเส้นโค้งที่ไม่เกิดการบังเงาเลย ทั้งเซลล์ 36 เซลล์ได้รับความเข้มแสงที่ค่าความเข้มแสงประมาณ 864 W/m^2 เส้นโค้ง A (สีเขียว) คือส่วนที่เกิดการบังเงาซึ่งค่าความเข้มแสงจากการทดสอบจริงมีค่า 557 W/m^2 เส้นโค้ง B (สีแดง) คือเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนที่ไม่ได้ถูกบังเงา จะเห็นว่าเส้นโค้ง B กับเส้นโค้ง C นั้น ในช่วงที่แรงดันมีค่าไม่มาก ทั้ง 2 เส้นซ้อนทับกันอยู่ ซึ่งหมายความว่า 2 ส่วนนี้ ได้รับค่าความเข้มแสงที่เท่ากัน ส่วนเส้นโค้ง A ได้รับค่าความเข้มแสงที่น้อยกว่า ที่ค่าโหลด R_L เป็น 0.1Ω เนื่องจากเส้นโค้ง A เป็นส่วนที่ถูกบังเงาเพียงร้อยละ 20 กำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจึงมีค่าน้อยมาก



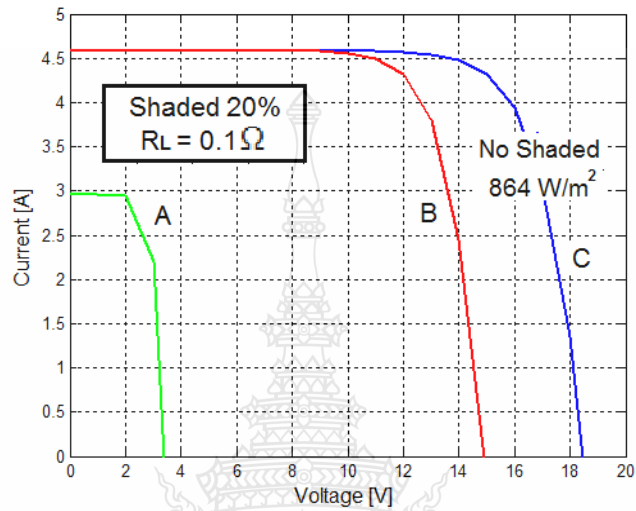
ภาพที่ 4.19 เส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 50

ภาพที่ 4.19 แสดงเส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาเกิดขึ้นระหว่างร้อยละ 50 เส้นโค้ง A เป็นส่วนที่ถูกบังเงาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 กำลังไฟฟ้าจึงมีค่ามากขึ้น ส่วนเส้นโค้ง B กำลังไฟฟ้าจะลดลงด้วยเนื่องจากส่วนที่ได้รับ ความเข้มแสงเต็มที่ลดลงเป็นร้อยละ 50



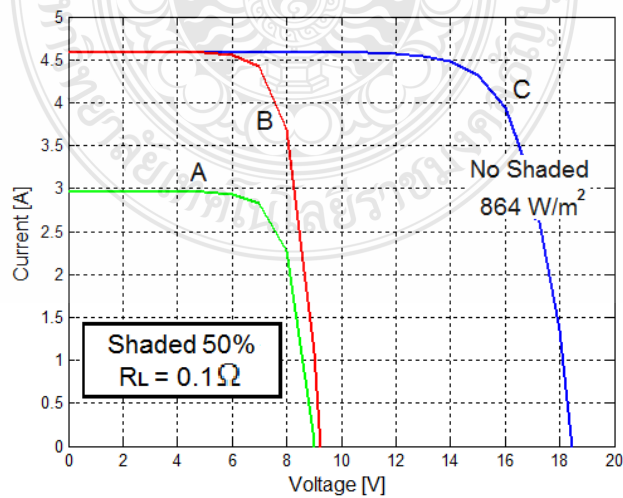
ภาพที่ 4.20 เส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 80

ภาพที่ 4.20 แสดงเส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาเกิดขึ้นระหว่างร้อยละ 80 เส้นโค้ง A เป็นส่วนที่ถูกบังเงาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80 กำลังไฟฟ้าจึงมีค่ามากขึ้น ส่วนเส้นโค้ง B กำลังไฟฟ้าจะลดลงด้วยเนื่องจากส่วนที่ได้รับความเข้มแสงเต็มที่ลดลงเป็นร้อยละ 20



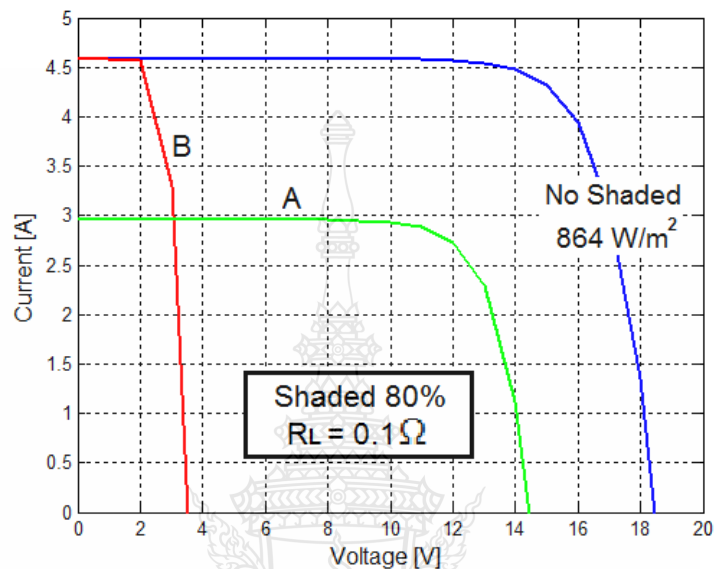
ภาพที่ 4.21 เส้นโค้ง I-V เมื่อมีการบังเงา ร้อยละ 20

ภาพที่ 4.21 แสดงเส้นโค้ง I-V เมื่อมีการบังเงาเกิดขึ้นระหว่างร้อยละ 20 เส้นโค้ง A เป็นส่วนที่ถูกบังเงาเป็นร้อยละ 20 ค่ากระแสและแรงดันจึงมีค่ามากขึ้น ส่วนเส้นโค้ง B ค่ากระแสและแรงดันจะลดมีค่ามากกว่าเส้นโค้ง A เนื่องจากเส้นโค้ง B เป็นส่วนที่ได้รับความเข้มแสงเต็มที่ถึงร้อยละ 80



ภาพที่ 4.22 เส้นโค้ง I-V เมื่อมีการบังเงา ร้อยละ 50

ภาพที่ 4.22 แสดงเส้น โคง I-V เมื่อมีการบังเงาเกิดขึ้นระหว่างร้อยละ 50 เส้น โคง A เป็นส่วนที่ถูกบังเงาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ค่าแรงดันและกระแสจึงมีค่ามากขึ้น ส่วนเส้น โคง B ค่าแรงดันและกระแสจะลดลงด้วยเนื่องจากส่วนที่ได้รับความเข้มแสงเต็มที่ลดลงเป็นร้อยละ 50



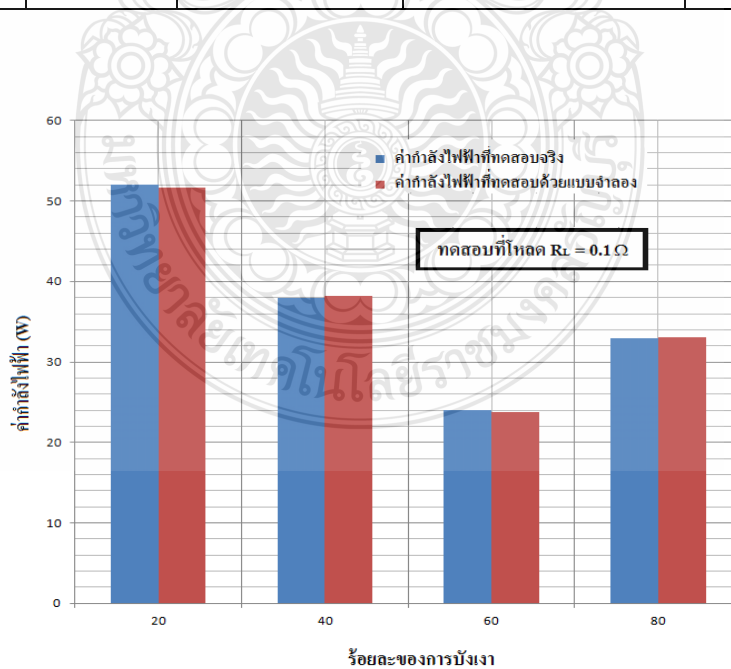
ภาพที่ 4.23 เส้น โคง I-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 80

ภาพที่ 4.23 แสดงเส้น โคง I-V เมื่อมีการบังเงาเกิดขึ้นระหว่างร้อยละ 80 เส้น โคง A เป็นส่วนที่ถูกบังเงาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80 ค่าแรงดันและกระแสจึงมีค่ามากขึ้น ส่วนเส้น โคง B ค่าแรงดันและกระแสจะลดลงด้วยเนื่องจากส่วนที่ได้รับความเข้มแสงเต็มที่ลดลงเป็นร้อยละ 20

4.3.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

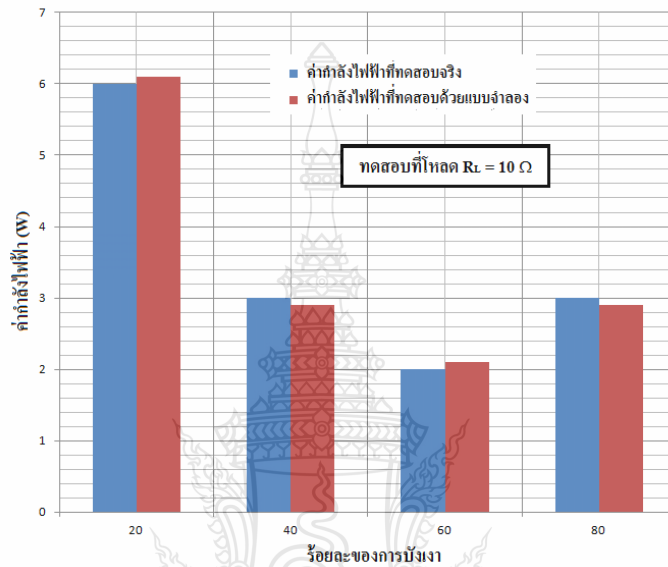
ตารางที่ 4.5 การทดสอบการบ่งเงาร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 80

ค่าโหลด RL (Ω)	ร้อยละการบ่งเงา	ผลจากแบบจำลองกำลัง (W)	ผลจากการทดสอบกำลัง (W)	ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
0.1	20	52	51.7	0.58
	40	38	38.2	0.52
	60	24	23.8	0.84
	80	33	33.1	0.3
1	20	36	35.8	0.56
	40	24	24.5	2.04
	60	18	18.2	1.09
	80	26	25.7	1.167
10	20	6	6.1	1.6
	40	3	2.9	3.44
	60	2	2.1	4.76
	80	3	2.9	3.44



ภาพที่ 4.24 ผลการทดสอบการบ่งเงาร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 80 ที่โหลด $R_L = 0.1 \Omega$

ภาพที่ 4.24 เป็นเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบจริงและการทดสอบด้วยแบบจำลอง ที่โหลด $R_L = 0.1 \Omega$ จะเห็นว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันมากแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้ในการทดสอบแทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้



ภาพที่ 4.25 ผลการทดสอบการบ่งงร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 80 ที่โหลด $R_L = 10 \Omega$

ภาพที่ 4.25 เป็นเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบจริงและการทดสอบด้วยแบบจำลอง ที่โหลด $R_L = 10 \Omega$ จะเห็นว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันมากแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้ในการทดสอบแทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

4.4 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ในสภาพจริงที่สภาวะแวดล้อมแตกต่างกัน

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ในสภาพจริงที่สภาวะแวดล้อมแตกต่างกัน จะแสดงผลการทดสอบดังนี้

1. ผลการทดสอบในสภาพจริง
2. ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab Simulink
3. เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

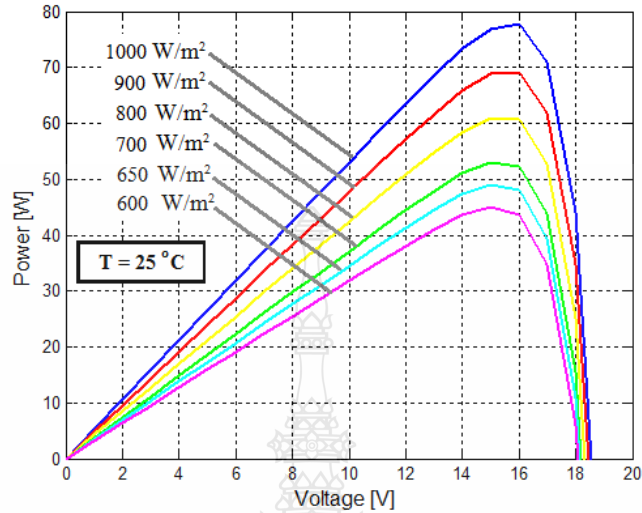
4.4.1 ผลการทดสอบในสภาพจริง

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ในสภาพจริงนั้นได้ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน และบันทึกผลการทดสอบลงในตารางที่ 4.6 ซึ่งการทดสอบในสภาพจริงนั้น ไม่สามารถกำหนดค่าความเข้มแสงได้ จำเป็นที่จะต้องอาศัยระยะเวลา ในการวัดค่าที่สภาพอากาศนั้นๆ ซึ่งใช้ระยะเวลาหลายเดือนมาก จนสามารถทดสอบได้แล้วเสร็จ

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

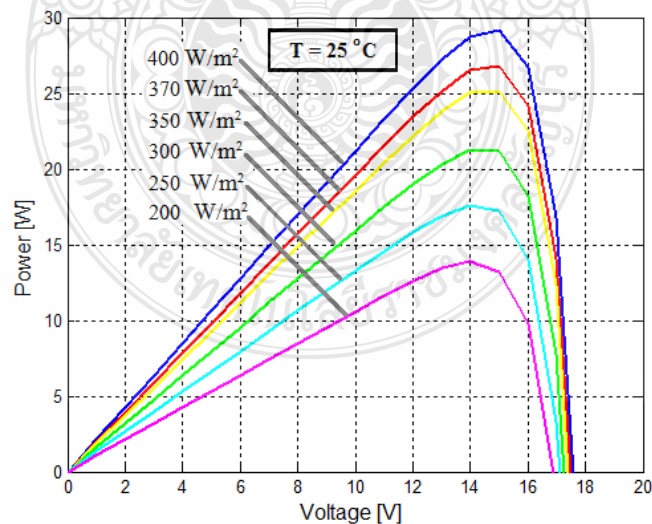
สภาพอากาศ	ค่าความเข้มแสง (W/m ²)	ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด Pmax (W)
ท้องฟ้าโปร่ง	600	45
	650	49
	700	54
	800	63
	900	68
	1000	77
ท้องฟ้ามีเมฆและหมอก	200	14
	250	17.5
	300	22
	350	25
	370	27.5
	400	28.5
ท้องฟ้าครึ้ม	50	3
	60	3.7
	80	5.3
	90	5.8
	100	6.5
	120	10.2

4.4.2 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink



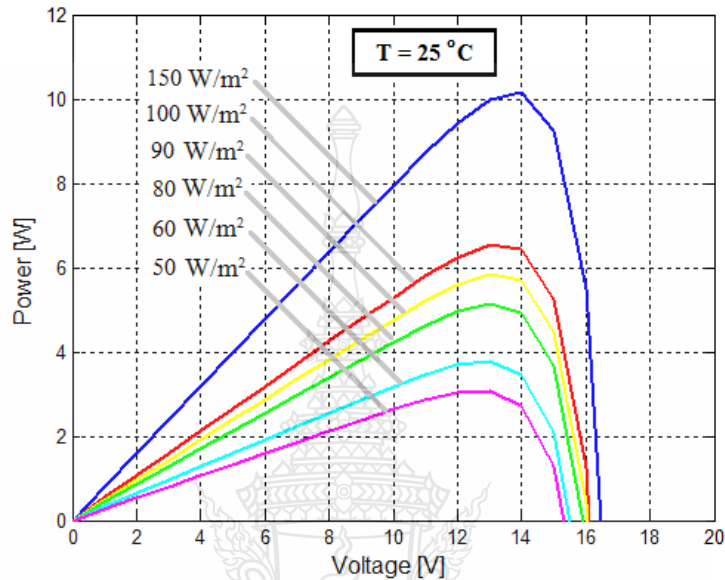
ภาพที่ 4.26 เส้นโค้ง P-V การทดสอบในสภาวะท้องฟ้าโปร่งช่วง 600-1000 W/m² ด้วยแบบจำลอง

ภาพที่ 4.26 จะเห็นว่าเส้นโค้ง P-V มีลักษณะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มแสง ระดับกำลังไฟฟ้าที่ได้ก็จะอยู่ในช่วง 40 W–80 W ซึ่งแสดงว่าในสภาวะท้องฟ้าโปร่งนี้ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้ตั้งแต่ 40 W–80 W



ภาพที่ 4.27 เส้นโค้ง P-V ในสภาวะท้องฟ้ามีเมฆและหมอกช่วง 200-400 W/m² ด้วยแบบจำลอง

ภาพที่ 4.27 จะเห็นว่าเส้น โคงง P-V มีลักษณะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มแสง ระดับกำลังไฟฟ้าที่ได้จะอยู่ในช่วง 15 W–30 W ซึ่งแสดงว่าในในสภาวะที่ท้องฟ้ามีเมฆและหมอก สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้ตั้งแต่ 15 W–30 W ซึ่งถือว่าไม่มากนักแต่ก็ยังสามารถใช้งานได้อยู่



ภาพที่ 4.28 เส้น โคงง P-V ในสภาวะที่ท้องฟ้าครึ้ม ช่วง 50-150 W/m² ด้วยแบบจำลอง

ภาพที่ 4.28 จะเห็นว่าเส้น โคงง P-V มีลักษณะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มแสง ระดับกำลังไฟฟ้าที่ได้จะอยู่ในช่วง 3 W–10 W ซึ่งแสดงว่าในสภาวะที่ท้องฟ้าครึ้ม สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้ตั้งแต่ 3 W–10 W ซึ่งถือว่าน้อยมาก ดังนั้นสภาวะที่ท้องฟ้าครึ้ม ไม่ควรใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการจ่ายกำลังไฟฟ้า

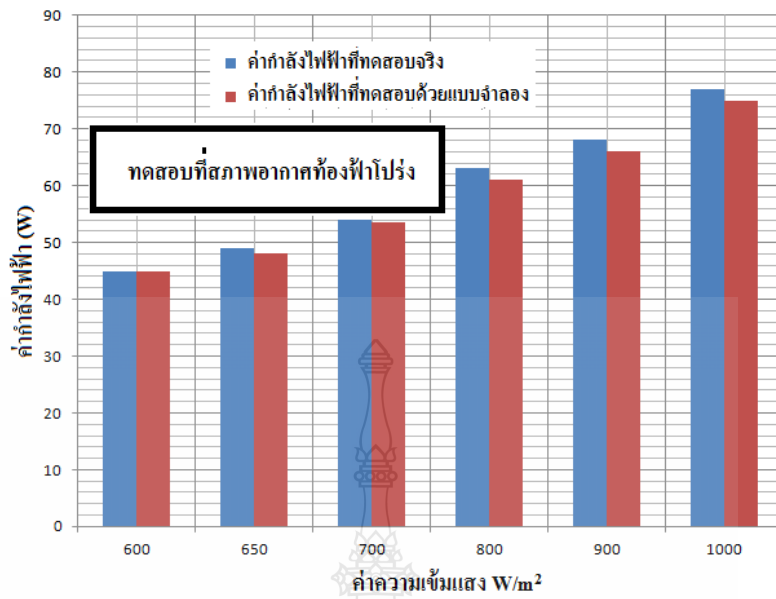
4.4.3 ผลเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง

Matlab/Simulink

ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink นั้น ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.7

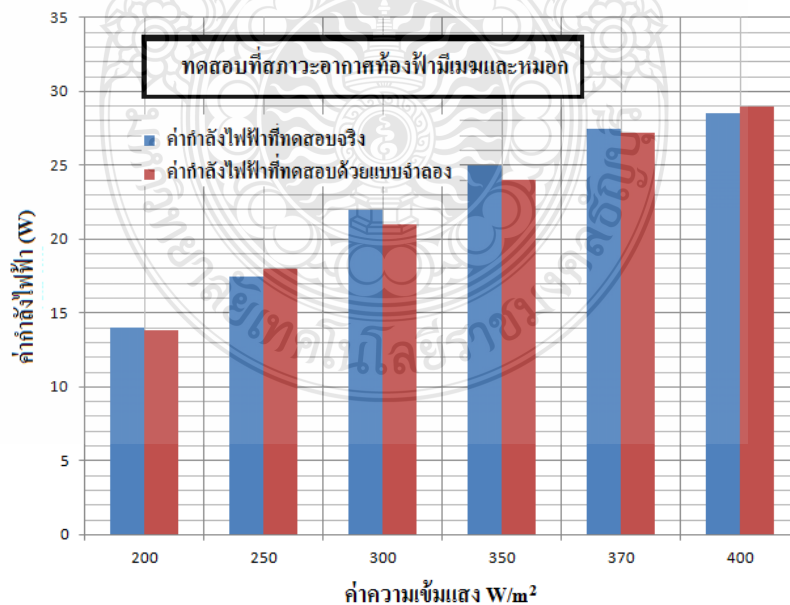
ตารางที่ 4.7 ผลเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink

สภาพอากาศ	ค่าความเข้มแสง (W/m ²)	ทดสอบในสภาพจริง ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (W)	ทดสอบด้วยแบบจำลอง ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (W)	ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
ห้องฟ้าโปร่ง	600	45	44.8	0.44
	650	49	48	2.04
	700	54	53.5	0.93
	800	63	61	1.64
	900	68	66	2.94
	1000	77	75	2.60
ห้องฟ้ามีเมฆและหมอก	200	14	13.8	1.43
	250	17.5	18	2.86
	300	22	21	4.55
	350	25	24	4
	370	27.5	27.2	1.09
	400	28.5	29	1.82
ห้องฟ้าครึ้ม	50	3	3.1	3.33
	60	3.7	3.6	2.70
	80	5.3	5.1	3.77
	90	5.8	6	3.44
	100	6.5	6.6	1.54
	120	10.2	10	1.96



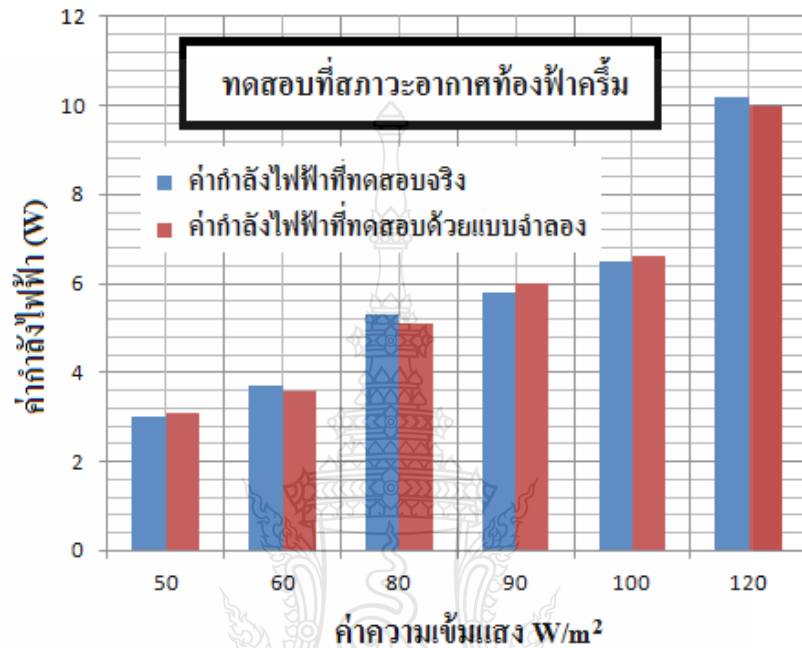
ภาพที่ 4.29 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาวะท้องฟ้าโปร่ง

ภาพที่ 4.29 ในสภาพอากาศท้องฟ้าโปร่ง จะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลองนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถใช้จำลองแทนการทดสอบจริงได้ และค่ากำลังไฟฟ้าก็จะอยู่ในช่วง 40 W–80 W



ภาพที่ 4.30 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาวะท้องฟ้ามีเมฆและหมอก

ภาพที่ 4.30 ในสภาพอากาศท้องฟ้ามีเมฆและหมอก จะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลองนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถใช้จำลองแทนการทดสอบจริงได้ และค่ากำลังไฟฟ้าก็จะอยู่ในช่วง 15 W–30 W



ภาพที่ 4.31 เปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาวะท้องฟ้าครึ้ม

ภาพที่ 4.31 ในสภาพอากาศท้องฟ้าครึ้ม จะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลองนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถใช้จำลองแทนการทดสอบจริงได้ และค่ากำลังไฟฟ้าก็จะอยู่ในช่วง 3 W–10 W ซึ่งถือว่าน้อยมาก ดังนั้นสภาวะท้องฟ้าครึ้ม ไม่ควรใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการจ่ายกำลังไฟฟ้า [20]

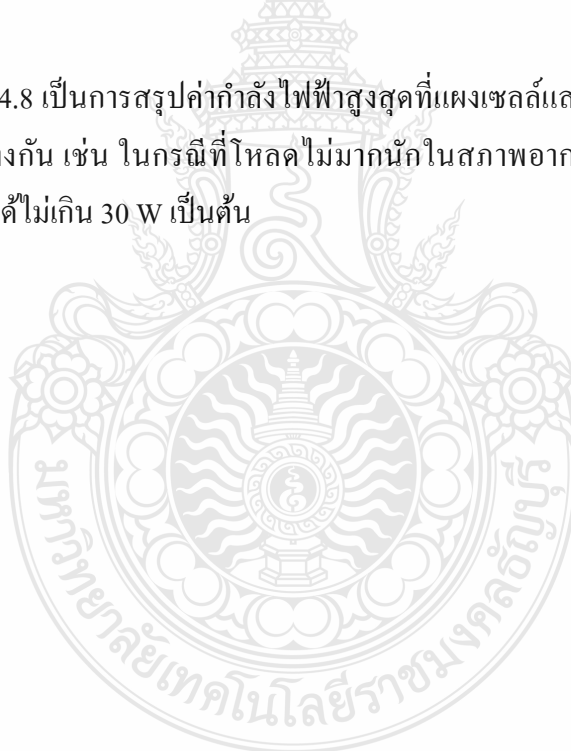
และจากตารางที่ 4.7 ผลเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง Matlab/Simulink นั้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มแสงลดลง ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าลดลงตามไปด้วย เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีค่า 80 W (ที่ความเข้มแสง $1000 W/m^2$) เพื่อหาสัดส่วนในการลดลงของกำลังไฟฟ้า ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ผลการทดสอบในสภาพจริงกับการทดสอบด้วยแบบจำลอง

Matlab/Simulink

สภาพอากาศ	ค่ากำลังไฟฟ้าใช้งานจริง (W)	ค่ากำลังไฟฟ้าใช้งานจริง ต่อค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ความเข้มแสง 1000 W/m ² (ร้อยละ)
ท้องฟ้าโปร่ง	40 - 80	50 - 100
ท้องฟ้ามีเมฆและหมอก	15 - 30	20 - 40
ท้องฟ้าครึ้ม	3 - 10	4 - 15

จากตารางที่ 4.8 เป็นการสรุปค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน เช่น ในกรณีที่โหลดไม่มากนักในสภาพอากาศท้องฟ้ามีเมฆและหมอกสามารถใช้งานโหลดได้ไม่เกิน 30 W เป็นต้น



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์นี้มีการแยกการทดสอบที่ประกอบด้วย 3 ส่วน หลักๆ คือ

1. การทดสอบในสภาพจริง
 - การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อโหลด
 - การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อโหลด
 - การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีการบังเงาและมีการต่อโหลด
2. การทดสอบด้วยแบบจำลองโปรแกรม Matlab/Simulink
 - การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่มีการบังเงาและไม่ได้มีการต่อโหลด
 - การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่มีการบังเงาและมีการต่อโหลด
 - การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีการบังเงาและมีการต่อโหลด
3. การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน
 - การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพอากาศท้องฟ้าโปร่ง
 - การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพอากาศท้องฟ้ามีเมฆและหมอก
 - การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพอากาศท้องฟ้าครึ้ม

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพจริง กับการทดสอบด้วยแบบจำลอง ในการทดสอบเบื้องต้น ยังไม่ได้พิจารณาถึงผลของการบังเงา เป็นการทดสอบคุณลักษณะเบื้องต้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่มีการต่อโหลดและไม่มีการต่อโหลดดังแสดงในตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันขณะวงจรเปิด (V_{oc}) และค่ากระแสลัดวงจร (I_{sc}) นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าแรงดันขณะวงจรเปิด (V_{oc}) มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0-0.56 ส่วนค่ากระแสลัดวงจร (I_{sc}) มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.24-2.86 การทดสอบเมื่อมีการต่อโหลดเพื่อกำหนดกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4 ซึ่งได้กำหนดให้ค่า P_1 แทนค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบในสภาพจริง และค่า P_2 เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบด้วยแบบจำลอง ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.2-

3.33 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้น สามารถใช้ทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการนำไปใช้งานในแบบต่างๆได้

จากการทดสอบการบังเงาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงให้เห็นได้ในตารางที่ 4.5 ซึ่งสรุปได้ว่าผลของเซลล์ที่ถูกบังเงากับเซลล์ที่ได้รับแสงเต็มที่ สัดส่วนของกำลังที่ส่งออกมา นั้น ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงกับจำนวนเซลล์ ของส่วนที่ถูกบังเงากับส่วนที่ไม่ได้ถูกบัง ในส่วนที่ถูกบังเงาน้อยกว่าร้อยละ 50 นั้น กำลังที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าส่วนที่ไม่ได้ถูกบังเงา แต่ถ้าเกินร้อยละ 50 ขึ้นไปกำลังที่ได้จะมีค่ามากกว่า แต่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าจะมีค่ามากกว่าที่ร้อยละเท่าไร เพราะขึ้นอยู่กับปริมาณค่าความเข้มแสงของส่วนที่ถูกบังเงา และจำนวนเซลล์ที่ถูกบังด้วย

ผลจากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพอากาศที่แตกต่างกันแสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6-4.8 แสดงให้เห็นว่าช่วงสภาพอากาศท้องฟ้าโปร่งนั้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้จะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 50-100 ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงที่เกิดขึ้น ส่วนในสภาพอากาศท้องฟ้ามีเมฆและหมอกค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15-30 และในสภาพอากาศจะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4-15 ซึ่งอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 4.7 นี้ สามารถนำมาใช้ในการจัดเตรียมโหลดใช้งานสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นแนวทางในการศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการศึกษาผลของการบังเงา ผลของการใช้งานในสภาวะอากาศที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาสร้างวงจรควบคุมการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การควบคุมโหลดให้เหมาะสมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เกิดการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่มีความสนใจงานทางด้านเทคโนโลยีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การประยุกต์ใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อไป

รายการอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (Online) 2004,
Available: http://www.egat.co.th/re/solarcell_technology.htm (2 กุมภาพันธ์ 2557).
- [2] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร เทคนิคการ
ประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผู้ออกแบบระบบ, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและ
อนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ. พฤษภาคม 2552.
- [3] นาย ชิวเกตุ และชนานัญ บัวเขียว, การผลิตไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์ (Online) 2543,
Available:<http://www.eppo.go.th/vrs/VRS49-09-Solar.html> (15 สิงหาคม 2557).
- [4] บริษัท ลีโอนิกส์ จำกัด, ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ (Online) 2002, Available:
http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php (5 กุมภาพันธ์ 2557).
- [5] R. Ramaprabha and Dr.B.L.Mathur, **Impact of Partial Shading on Solar PV Module
Containing Series Connected Cells**, International Journal of Recent Trends In
Engineering, Vol 2, No.7, November 2009.
- [6] สมชัย หิรัญวโรดม, เอกสารประกอบการสอนรายวิชา ระบบโฟโตโวลตาอิกและการประยุกต์ใช้
งาน, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี, ปทุมธานี. 2548.
- [7] เอก เอื้อตระการ, วิวัฒน์ วิฒิชัย และชรักันย์ วิจิตรภินเรศ, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์
แสงอาทิตย์สำหรับแบบจำลองแหล่งจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้อง, วิศวสาร
ลาดกระบัง ปีที่ 23 ฉบับที่ 3, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ลาดกระบัง กรุงเทพฯ. กันยายน 2549. หน้า 18-23.
- [8] เชนดิธร อิมปริดา และวันชัย ทรัพย์สิงห์, **แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยโปรแกรม
Matlab/Simulink แบบทันเวลา**, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทน
สู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4, มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ลำปาง. พฤศจิกายน 2554.
หน้า 37-44.
- [9] บุญยัง ปลั่งกลาง, **ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี. 2553.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [10] S.R. Wenham, M.A. Green, M.E. Watt, **Applied Photovoltaics**, Centre for Photovoltaic Devices and Systems, UNSW.
- [11] T. E. Graedel and P. J. Crutzen, 1989, The Changing Atmosphere, Scientific American, Vol. 261, No.3, pp. 28-36.
- [12] โตศักดิ์ ทัศนานุกฤติยะ, การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ, 2540. หน้า 135-140.
- [13] Francisco M. Gonzalez-Longatt, **Model of Photovoltaic Module in Matlab**, II CIBELEC, USA. 2005.
- [14] Ho Lee Min-Jung Lee ,Se-Na Lee ,Hwa-Chun Lee ,Hae-Kon Nam ,Sung-Jun Parkn , **Development of Photovoltaic Simulator based on DC-DC Converter**, INTELEC 09 – 31st International Telecommunications Energy Conference , Incheon Korea. 18-22 October 2009.
- [15] Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, and Yi-Jie Su, Member, IAENG, **Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK**, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science WCECS, October 22-24, 2008, San Francisco, USA.
- [16] อนนก ทอนสูงเนิน และสมชัย หิรัญวโรดม, การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบจากการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 5 (EENET2013), 27-29 มีนาคม 2556, โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า, ประจวบคีรีขันธ์, 2556 . หน้า 449-452.
- [17] อนนก ทอนสูงเนิน และสมชัย หิรัญวโรดม, การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบจากการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโฟโตโวลตาอิก, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9 (E-NETT 9), 8-10 พฤษภาคม 2556, ชลพฤกษ์ รีสอร์ท, นครนายก, 2556. หน้า 51-56.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [18] อเนก ทอนสูงเนินและสมชัย หิรัญวโรดม, การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเกิดบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 6 (TREC-6), 13-15 พฤศจิกายน 2556.
- [19] อเนก ทอนสูงเนิน และสมชัย หิรัญวโรดม, การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเกิดบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 (EENET 2014), 26-27 มีนาคม 2557, โรงแรมมารีไทม์ ปาร์คแอนสปาร์ตอร์ต, กระบี่, 2557. หน้า 229-232.
- [20] อเนก ทอนสูงเนิน และสมชัย หิรัญวโรดม, การวิเคราะห์ผลกระทบจากปริมาณความเข้มแสงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37 (EECON - 37), 19-21 พฤศจิกายน 2557, โรงแรมพลูแมน ขอนแก่นราชอาอคิด, ขอนแก่น, 2557. หน้า 177-180.
- [21] Savita Nema, R.K. Nema, Gayatri Agnihotri, **Matlab/simulink based of photovoltaic cells/modules/array and their experimental verification**, International Journal of energy and environment, volume 1, issue 3, 2010, pp. 487-500.
- [22] A. Bilsalam J. Haema, I. Boonyaroonate nd V. Chunkag, **Simulation and Study of Photovoltaic Cell Power Output Characteristics With Buck Converter Load**, 8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia May 30-June 3, 2011, The Shilla Jeju, Korea, pp. 3033-3036.
- [23] IEA International Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Program (IEA - PVPS), 2006, **Trend in Photovoltaic Application Survey report of selected IEA Countries between 1992 and 2005**, pp. 1-28.
- [24] K. L. Coulson, 1975, **Solar and Terrestrial Radiation**, Academic Press, New York.
M.S. Imamura, P. Helm, and W. Palz, **Photovoltaic System Technology**, A European Handbook, Commission of the European Committee, 1992.

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

การใช้งานโปรแกรม Matlab/Simulink

โปรแกรม MATLAB/SIMULINK

โปรแกรม Matlab หรือ Matrix Laboratory ได้เริ่มพัฒนาครั้งแรกโดย Dr. Cleve Moler ซึ่งเขียนโปรแกรมนี้ขึ้นมาด้วยภาษา Fortran โดยโปรแกรมนี้ได้พัฒนาภายใต้โครงการ LINPACK และ EISPACK Matlab เป็นโปรแกรมที่ออกแบบมาสำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวณเวกเตอร์และเมทริกซ์ทั้งในระบบจำนวนจริงและระบบจำนวนเชิงซ้อน ซึ่งเป็นการเหมาะสมเป็นอย่างมากสำหรับการใช้งานในการคำนวณวิเคราะห์และออกแบบระบบ (System Design) ในทางวิศวกรรมทุกสาขา

Matlab เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงใช้ในการคำนวณทางเทคนิค Matlab ได้รวมการคำนวณ การเขียนโปรแกรม และการแสดงผลรวมกันอยู่ในตัวโปรแกรมเดียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอยู่ในลักษณะที่ง่ายต่อการใช้งาน นอกจากนี้ลักษณะของการเขียนสมการในโปรแกรมก็จะเหมือนการเขียนสมการคณิตศาสตร์งานที่ใช้ Matlab ก็เช่น การคำนวณทั่วไป การสร้างแบบจำลอง การวิเคราะห์ข้อมูล การแสดงผลในรูปแบบกราฟแบบทั่วไปและกราฟทางด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมสามารถสร้างโปรแกรมในลักษณะที่ติดต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก

การทำงานของ Matlab จะสามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรง (Interactive) คือการเขียนคำสั่งเข้าไปทีละคำสั่ง เพื่อให้ Matlab ประมวลผลไปเรื่อยๆ หรือสามารถที่จะรวบรวมชุดคำสั่งเหล่านั้นเป็นโปรแกรมก็ได้ ข้อสำคัญอย่างหนึ่งของ Matlab คือข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บในลักษณะของ array โดยในแต่ละตัวแปรจะได้รับการแบ่งเป็นส่วนย่อยเล็กๆ ขึ้น (หรือจะได้รับการแบ่งเป็น element นั้นเอง) ซึ่งการใช้ตัวแปรเป็น array ใน Matlab นี้เราไม่จำเป็นที่จะต้องจอง dimension เหมือนกับการเขียนโปรแกรมในภาษาต่างๆไป ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแก้ปัญหาของตัวแปร ที่อยู่ในลักษณะ เวกเตอร์และเมทริกซ์ได้โดยง่าย ทำให้ลดเวลาการทำงานลงได้อย่างมาก เมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมโดย C หรือ Fortran นอกเหนือจากตัวโปรแกรม Matlab เองแล้ว บริษัท Math Works ผู้ผลิต Matlab ยังได้ผลิตเครื่องมือที่เรียกว่า Toolbox หรือ Simulink ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อประกอบกับการใช้ Matlab สำหรับงานที่จำเพาะเจาะจงหลายประเภท Simulink นั้น เป็นการนำเอาโปรแกรมที่เขียนขึ้นเป็นฟังก์ชัน

สำหรับ Matlab เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการเรียกใช้มากขึ้น ทำให้ผู้ใช้ไม่จำเป็นที่จะต้องสร้างโปรแกรมขึ้นมาใช้งานเองโดย Simulink ที่สร้างขึ้นจะครอบคลุมการทำงานด้านต่างๆ มากมาย ลำดับการคำนวณหรืออัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์สามารถนำมาเขียนเป็น

ฟังก์ชันที่ต้องการมีการผ่านค่าตัวแปรเข้าออกจากฟังก์ชันหรือ โปรแกรมที่ไม่ต้องผ่านค่าตัวแปรเข้าออกของผู้ใช้เองเรียกว่า m file Matlab สามารถที่จะทำการคำนวณตามลำดับ (Sequential Execution) ในโปรแกรม m file ที่ผู้ใช้เขียนขึ้นและ m file เหล่านี้ ก็อาจจะถูกมองเป็นฟังก์ชันจากโปรแกรมอื่นๆ อีก ซึ่งการผ่านค่าเข้าออกฟังก์ชัน ในโปรแกรม Matlab มีความสะดวกเรียนรู้ได้ง่ายกว่าการใช้ภาษาคอมพิวเตอร์อื่นในการเขียนและเนื่องจากฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์อื่นๆ ก็มีอยู่พร้อมแล้วเป็นจำนวนมาก ทำให้การเขียนโปรแกรมด้วย Matlab เป็นไปด้วยความรวดเร็ว

การอ่านและเก็บ (Read and Write) ค่าตัวแปรก็สามารถทำได้ทั้งในรูปแบบของ Matlab (Binary and File) หรือ ASCII File ก็ได้ทำให้การเชื่อมต่อ (Interface) ทางข้อมูลระหว่าง Matlab กับโปรแกรมอื่นเป็นไปโดยง่าย

1. การเริ่มต้นใช้งาน

เมื่อเข้ามาที่หน้าต่างโปรแกรม Matlab จะเจอหน้าต่างคำสั่งเป็นหน้าต่างแรกที่พบ เมื่อเปิดโปรแกรม Matlab การป้อนคำสั่งต่างๆ จะป้อนลงในหน้าต่างนั้นเพื่อทำการคำนวณและประมวลผลต่างๆ และเป็นหน้าต่างที่ใช้แสดงผลที่ได้จากการประมวลผลยกเว้นรูปภาพซึ่งจะแยกไปแสดงผลในหน้าต่างกราฟ ในการป้อนคำสั่งสำหรับการประมวลผลของโปรแกรม Matlab สามารถป้อนได้ 2 วิธีด้วยกันคือเป็นการป้อนคำสั่งหรือค่าตัวแปรต่างๆ บนหน้าต่างคำสั่งทีละคำสั่งตามขั้นตอนของการแก้ปัญหา หรือเป็นการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ และชุดคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ทำการประมวลผลตามขั้นตอนของการคำนวณเพื่อแก้ปัญหาลงในไฟล์ซึ่งจะต้องเก็บไว้ด้วยนามสกุล .m โดยที่จะเรียกชุดตัวแปรและชุดคำสั่งทั้งหมดที่เขียนในลักษณะนี้ว่าโปรแกรม .m file

สำหรับผู้ใช้โปรแกรมคำสั่ง Matlab ครั้งแรกโปรแกรม Matlab มีคำสั่งซึ่งช่วยคุณลักษณะการใช้งานและความสามารถในการทำงานของโปรแกรม Matlab และคำสั่ง Computer ซึ่งจะแสดงชนิดของเครื่อง Computer ที่เรากำลังใช้งานอยู่ในขณะนั้นนอกจากนั้นยังมีคำสั่ง Help ซึ่งจะอธิบายการใช้คำสั่งต่างๆ รวมถึงรูปแบบคำสั่งที่มีใช้ในโปรแกรม Matlab สัญลักษณ์หนึ่งตัวที่ใช้บ่อยในโปรแกรม Matlab คือ % สัญลักษณ์ % เมื่อเป็นตัวแรกของคำสั่งหรือข้อความใดๆ จะเป็นเครื่องหมายที่บอกให้เครื่องทราบว่าไม่ต้องทำการประมวลผลใดๆ ต่อคำสั่งหรือข้อความที่อยู่หลังเครื่องหมายนี้ วัตถุประสงค์ของการใช้เครื่องหมายนี้ ก็เพื่อเป็นการเขียนคำอธิบายโปรแกรมในคำสั่งของบรรทัดต่อไป ที่เราได้เขียนไว้ทั้งนี้เป็นการเตือนความจำของเราเองถึงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม หรือผู้ที่นำโปรแกรมไปใช้ให้เข้าใจถึงตัวโปรแกรมที่เราเขียนนั้นหรือเรียกว่า Script file ซึ่งหมายถึงไฟล์ที่ถูกเก็บในรูปแบบของรหัส ASCII

Code โดย m file หรือ Script file นี้สามารถสร้างมาจากโปรแกรม Editor ใดๆ หรือโปรแกรม Word Processor ใดๆ ก็ได้ในการเรียกใช้โปรแกรม m-file นี้ สามารถทำได้ง่าย โดยเพียงแค่พิมพ์ชื่อของ m file โดยไม่ต้องตามด้วยนามสกุล .m ลงในหน้าต่างคำสั่ง โปรแกรม Matlab ก็จะไปทำการอ่านคำสั่งใน m file ชื่อนั้นๆ และทำการประมวลผลไปที่ละบรรทัดจนจบโปรแกรม

2. การคำนวณพื้นฐาน

เมื่อพิมพ์คำสั่งการคำนวณที่เครื่องหมาย “>>” Matlab จะทำการคำนวณแล้วจะแสดงผลคำตอบได้ทันทีแบบเดียวกับเครื่องคิดเลข สมมติว่าต้องการคำนวณ $25+90$ สามารถพิมพ์เข้าไปได้ทันทีดังนี้ >> 25+90 แล้วกด Enter ซึ่ง Matlab จะตอบออกมาทันทีในบรรทัดถัดมาว่า ans = 115 ดังภาพที่ ก.1

ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะการเขียนประโยคคณิตศาสตร์จะเหมือนกับการเขียนภาษาสูงทั่วไป โดยจะกระทำในวงเล็บก่อนแล้วค่อยทำข้างนอก



```
Command Window
To get started, select MATLAB Help or Demos from the Help menu.
>> 25+90
ans =
    115
>> 30*15.5
ans =
    465
>> 125/6*2+50
ans =
    91.6667
```

ภาพที่ ก.1 ผลที่ได้จากการคำนวณใน Matlab

3. เมทริกซ์

โปรแกรม Matlab มีการใช้ฟังก์ชันหลายๆ ตัวเพื่อสร้างเมทริกซ์พิเศษขึ้น โดยเมทริกซ์เหล่านี้ อาจมีการใช้เฉพาะงาน หรืออาจใช้ในการคำนวณตามเทคนิคการคำนวณต่างๆ โดยส่วนมากเมทริกซ์เหล่านี้ มักตั้งขึ้นใกล้เคียงกับการทำงานของเมทริกซ์นั้นๆ การป้อนค่าให้กับสมาชิกในเมทริกซ์

สามารถทำได้โดยสมาชิกในหนึ่งแถวจะแบ่งด้วยการเว้นวรรค (Space) แต่ละแถวจะแบ่งด้วยเครื่องหมาย “;” (Semicolon) หรือด้วยการกด Enter เช่น

```
>> F = [3 5 7 ; 11 17 18]; Enter
```

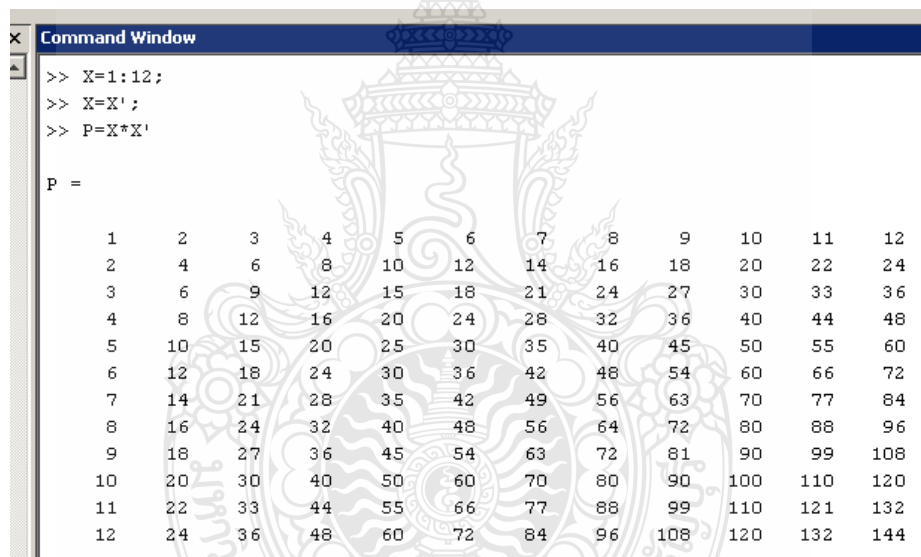
ตัวอย่างเช่น ต้องการทำตารางสูตรคูณ ในการคิดคือ ให้มองตารางสูตรคูณเป็นเมทริกซ์เกิดจาก

$P = XX^T$ เมื่อ X เป็นเวกเตอร์หลัก (Column Vector) ดังนั้นสร้างเวกเตอร์ขึ้นมาหนึ่งเวกเตอร์ มีค่าจาก 1 ถึง 12 โดยใช้คำสั่งคือ

```
>>X=1:12; Enter
```

```
>>X=X'; Enter
```

```
>>P=X*X' Enter
```



```
Command Window
>> X=1:12;
>> X=X';
>> P=X*X'

P =

     1     2     3     4     5     6     7     8     9    10    11    12
     2     4     6     8    10    12    14    16    18    20    22    24
     3     6     9    12    15    18    21    24    27    30    33    36
     4     8    12    16    20    24    28    32    36    40    44    48
     5    10    15    20    25    30    35    40    45    50    55    60
     6    12    18    24    30    36    42    48    54    60    66    72
     7    14    21    28    35    42    49    56    63    70    77    84
     8    16    24    32    40    48    56    64    72    80    88    96
     9    18    27    36    45    54    63    72    81    90    99   108
    10    20    30    40    50    60    70    80    90   100   110   120
    11    22    33    44    55    66    77    88    99   110   121   132
    12    24    36    48    60    72    84    96   108   120   132   144
```

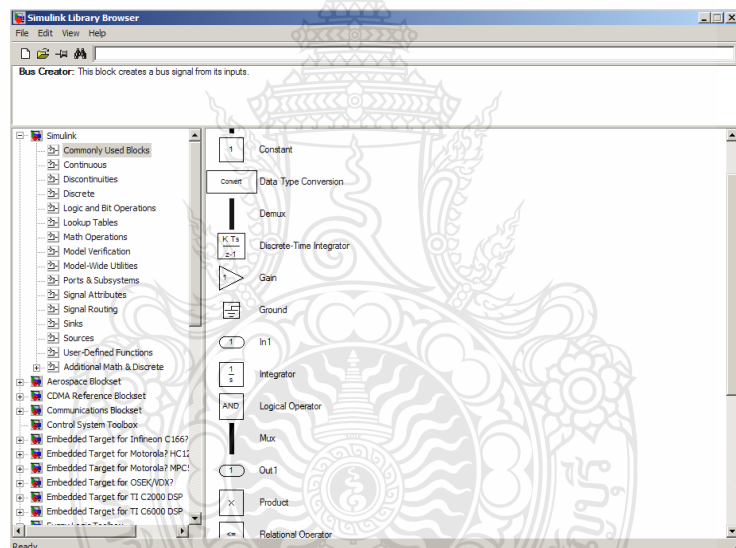
ภาพที่ ก.2 ตารางสูตรคูณแม่ 2 ถึงแม่ 12

4. SIMULINK เบื้องต้น

โปรแกรม Matlab สามารถจำลองทดสอบ และวิเคราะห์การทำงานของระบบพลศาสตร์ในเชิงเวลา ได้โดยการใช้ Simulink ซึ่งเป็นเครื่องมือ Toolbox ที่อยู่ในโปรแกรม Matlab โดยจะทำงานภายใต้หน้าต่างที่เป็นการเชื่อมต่อทางรูปภาพ (GUI) ของ Simulink เท่านั้น คำว่า Simulink มาจากคำสองคำคือ Simulation และ Link การใช้งาน Simulink จะกระทำโดยการนำ Block ในหน้าต่าง

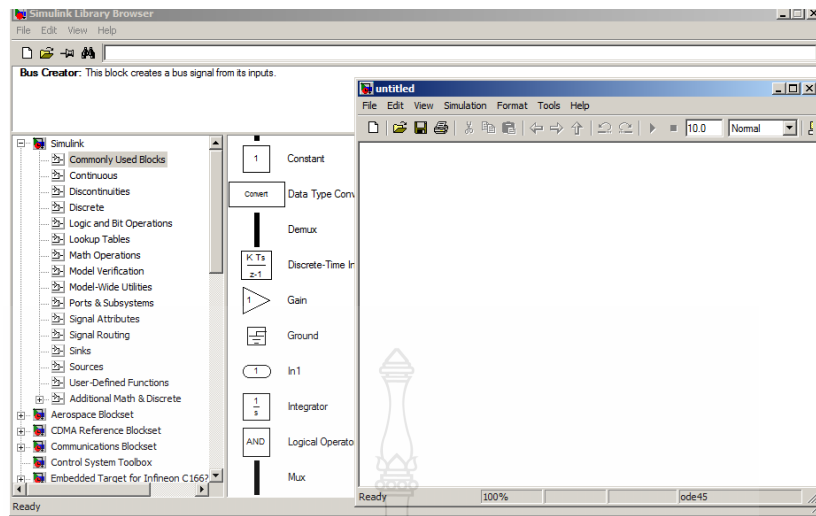
Library-Simulink มาต่อกันตามที่เราต้องการและสามารถจำลองระบบได้ทั้งระบบที่เป็นเชิงเส้น ไม่เป็นเชิงเส้น ระบบเวลาต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องการจำลองระบบสามารถกระทำได้โดยป้อนอินพุตที่ป้อนเข้าไป

โปรแกรม MATLAB/Simulink เป็น โปรแกรมในส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาใน โปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณเชิงตัวเลขที่มีประโยชน์อย่างหลากหลาย เช่น การใช้งานฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง ,การคำนวณในเชิงตัวแปรเพื่อแก้สมการ ,การใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์รูปแบบต่างๆ เป็นต้น ในส่วนของ Simulink นั้นเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อหาคำตอบของสมการทางคณิตศาสตร์ โดยใช้รูปแบบของ block Diagram เป็นหลักทำให้มีความง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น สำหรับองค์ประกอบของโปรแกรมนั้น จะสามารถสร้างแบบจำลองได้โดยใช้ Building Blocks ที่มีมาให้จาก Simulink Library Browser ดังภาพที่ ก.3

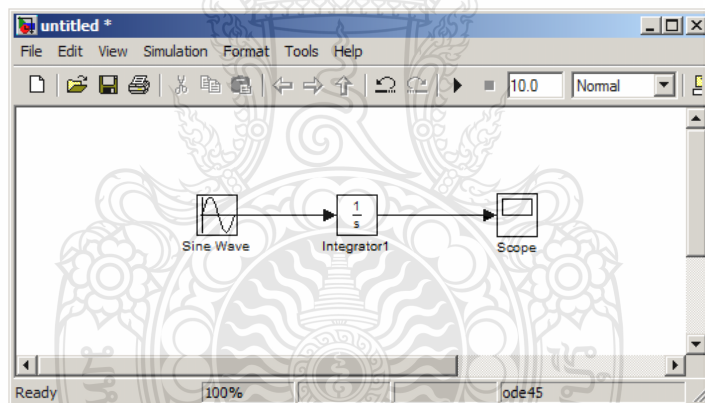


ภาพที่ ก.3 Block Diagram พื้นฐานใน Simulink Library Browser

ในโปรแกรม Simulink นั้น การจำลองปัญหาจะอาศัยการสร้างแผนภูมิ (Simulation Diagram) เพื่อการกำเนิด การรับ และส่งผ่านสัญญาณ ข้อมูลจาก block หนึ่งจะถูกส่งผ่านไปอีก block หนึ่ง โดยจะผ่านเส้นเชื่อมต่อกัน โดยที่สามารถดูผลลัพธ์ของข้อมูลได้หลายลักษณะทั้ง Oscilloscope หรือ Display โดยสามารถเลือกจากในส่วนของ Sink ดังภาพที่ ก.4 และ ก.5



ภาพที่ ก.4 หน้าต่างสำหรับสร้างระบบจำลองของ Simulink



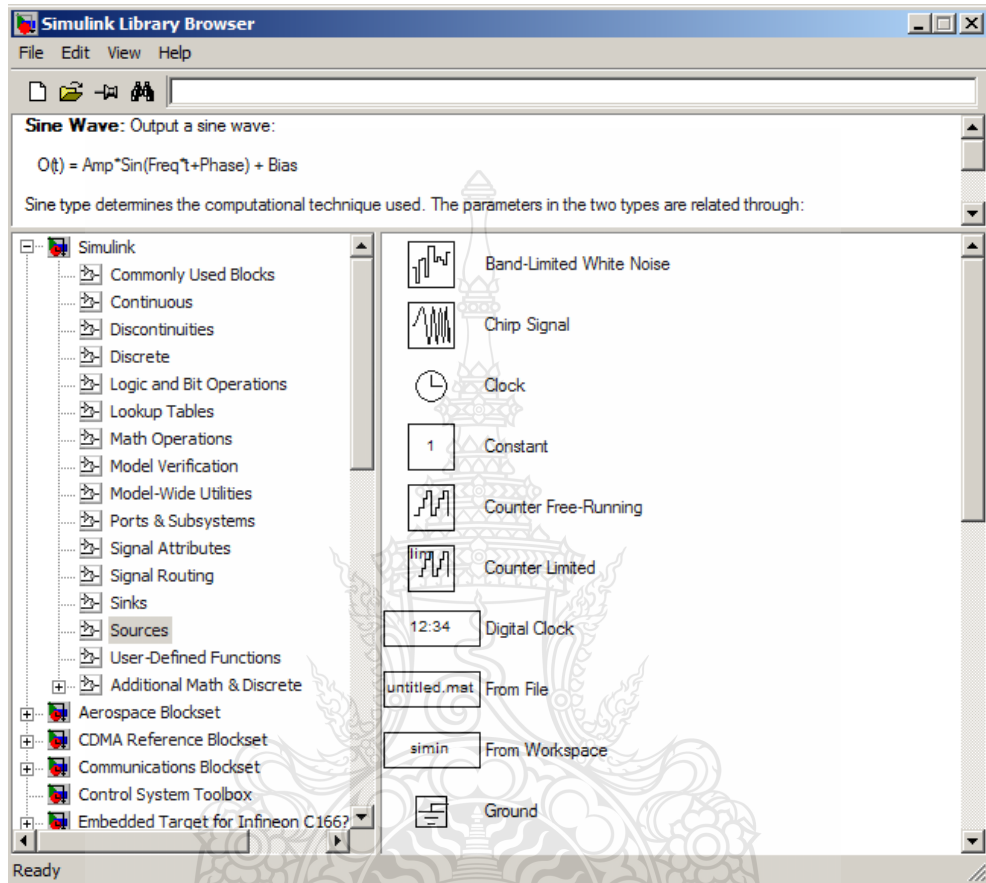
ภาพที่ ก.5 การเชื่อมต่อระหว่าง block ของ Simulink

5. กลุ่มของ block พื้นฐานใน Simulink

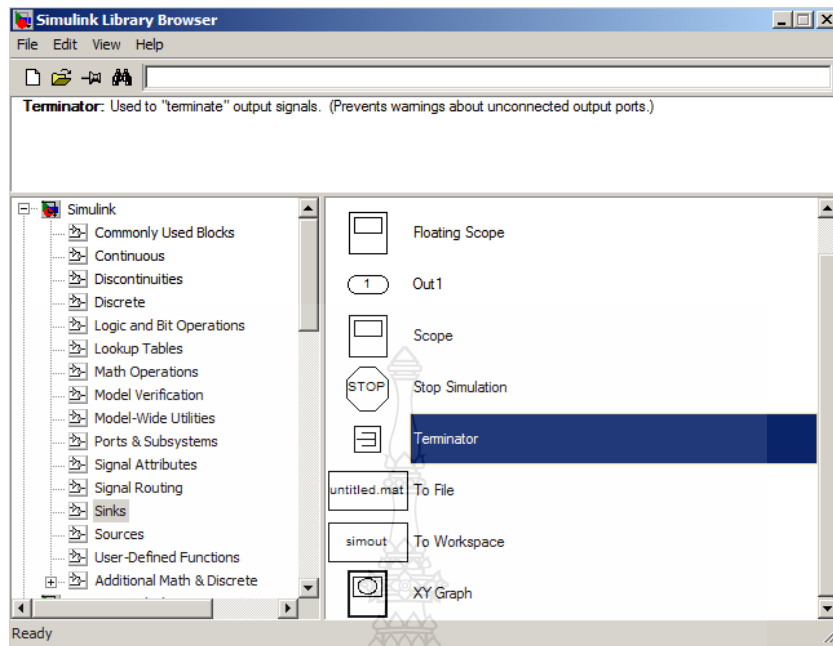
ก. แหล่งกำเนิดสัญญาณ (Source) และแหล่งแสดงสัญญาณ (Sinks)

กลุ่มของ Source ที่กำหนดมาให้จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดข้อมูลหรือสัญญาณ เช่น แหล่งกำเนิดค่าคงที่ (Constant), แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator), แหล่งกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ (Sine Wave) หรือแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock) ที่มักใช้เพื่อจับเวลาการจำลองปัญหา

เป็นต้น ดังภาพที่ 2.28 กลุ่มของ Sinks เป็นกลุ่มที่จะใช้สำหรับเก็บข้อมูล (To Workspace) และแสดงผลของการแก้ปัญหา (Scope ,Display) เป็นต้น ดังภาพที่ ก.6



ภาพที่ ก.6 กลุ่ม block ของ Source



ภาพที่ ก.7 กลุ่ม block ของ Sinks

จากภาพที่ 6.7 กลุ่มของ Sinks มีดังนี้

Scope คือ การแสดงผลสัญญาณระหว่างการจำลองระบบบนออสซิลโลสโคป

To Workspace คือ เก็บค่าข้อมูลไว้ใน Workspace

Stop Simulation คือ หยุดการจำลองระบบเมื่อค่าอินพุตมีความแตกต่างจากศูนย์

Display คือ การแสดงค่าข้อมูลบน Block

ข. การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (Math Operations)

กลุ่ม Math Operations มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการคณิตศาสตร์ต่างๆ มีดังนี้

Sum คือ การรวมผลรวมอินพุต

Product คือ การหาค่า Dot Product ของเวกเตอร์อินพุต

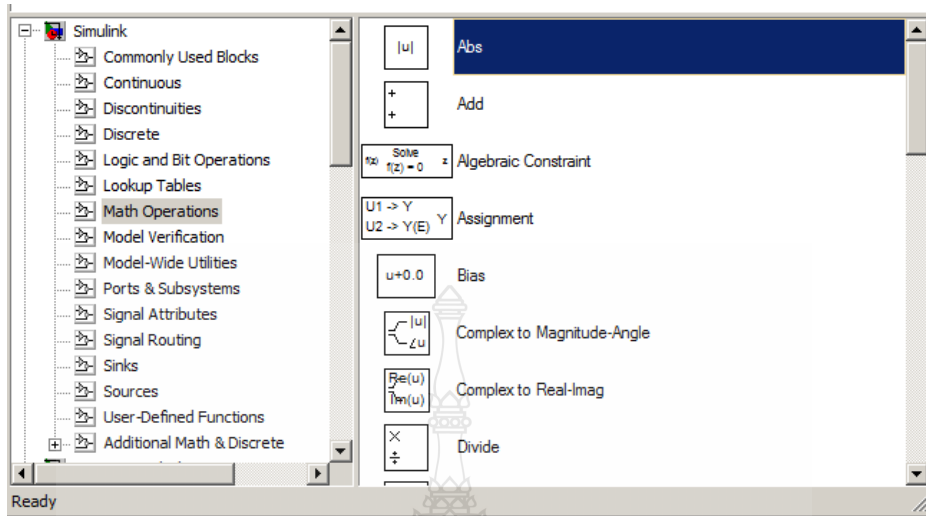
Gain คือ การคูณอินพุตด้วยค่าคงที่ (Gain) ที่กำหนด

Abs คือ การหาค่า Absolute ของอินพุต

Math Function คือ การหาค่าฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของอินพุต

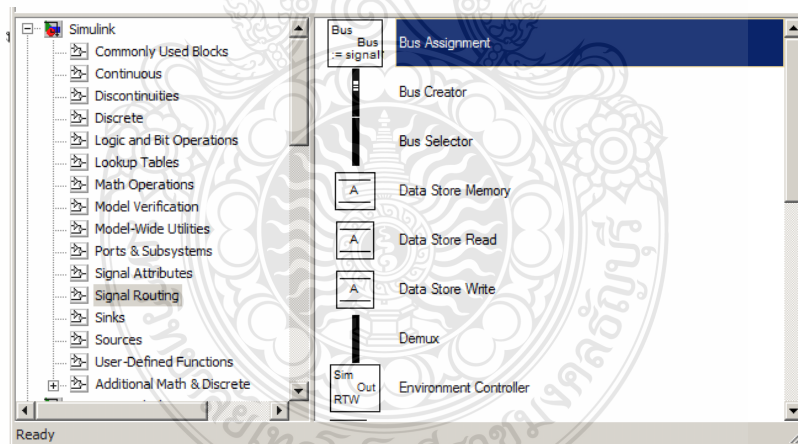
Trigonometric Function คือ การหาฟังก์ชันตรีโกณมิติของอินพุต

Rounding Function คือ การหาฟังก์ชันการปัดเศษของอินพุต



ภาพที่ ก.8 กลุ่ม block ของ Math Operations

ก. ทางเดินสัญญาณ (Signal Routing)



ภาพที่ ก.9 กลุ่ม block ของ Signal Routing

ในการจำลองระบบที่มีความซับซ้อน บางครั้งมีความจำเป็นต้องมีการรับส่งสัญญาณจากส่วนหนึ่งของระบบ ไปสู่อีกส่วนหนึ่งของระบบ ซึ่งการใช้เส้นเชื่อมอาจไม่สะดวกในการทำงาน ซึ่ง block ในกลุ่มนี้เป็นประเภท GOTO, FROM, Multiplexing จะทำให้แผนภูมิมีความเป็นระเบียบมากขึ้น

ง. Continuous

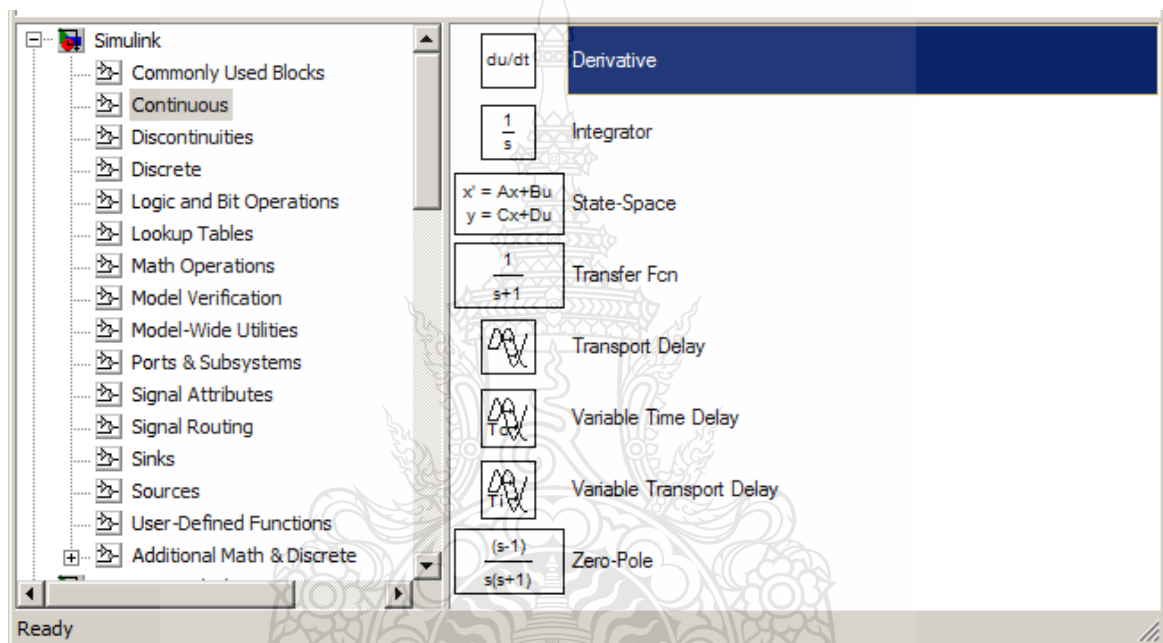
จะประกอบด้วยกลุ่ม block ที่ใช้อธิบายฟังก์ชันเชิงเส้น ดังนี้

Integrator คือ การอินทิเกรตสัญญาณ

Derivative คือ การหาอนุพันธ์ในเชิงเวลาของสัญญาณ

State-Space คือ การสร้างระบบ Line-Time Invariant ในรูปแบบ State-Space

Zero-Pole คือ การสร้าง Transfer Function ในรูปแบบ Zero-Pole



ภาพที่ ก.10 กลุ่ม block ของ Continuous

จ. Discrete

จะประกอบด้วยกลุ่ม block ที่ใช้จำลองระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง ดังนี้

Zero-Order Hold คือการสร้างฟังก์ชัน Sample-and-Hold

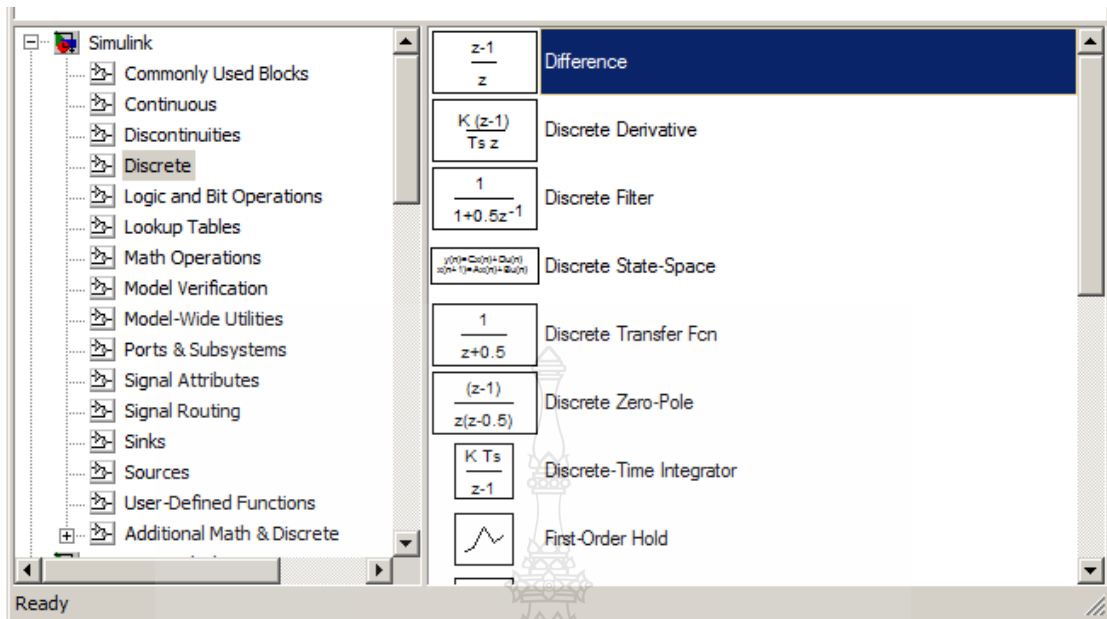
Unit Delay คือ การ Delay อินพุตไปหนึ่งคาบตัวอย่าง

Discrete-Time Integrator คือ การสร้างอินทิเกรต Discrete-Time

Discrete State-Space คือ การสร้างระบบ Discrete-Time ในรูปแบบ State-Space

Discrete Transfer Fcn คือ การสร้าง Discrete-Time Transfer Function

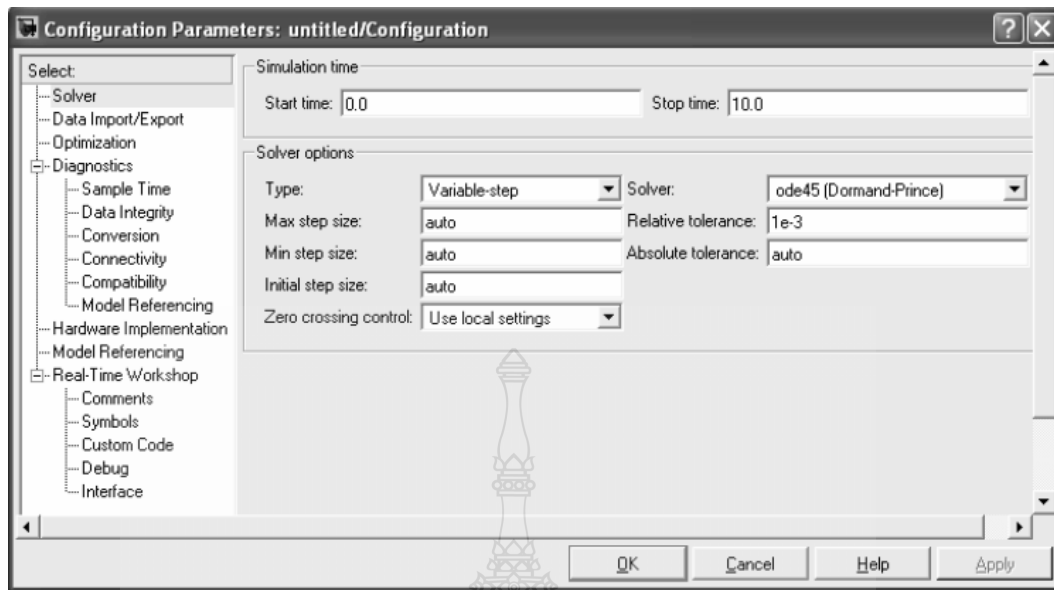
Discrete Zero-Pole คือ การสร้าง Discrete-Time Transfer Function ในรูปแบบ Zero-Pole



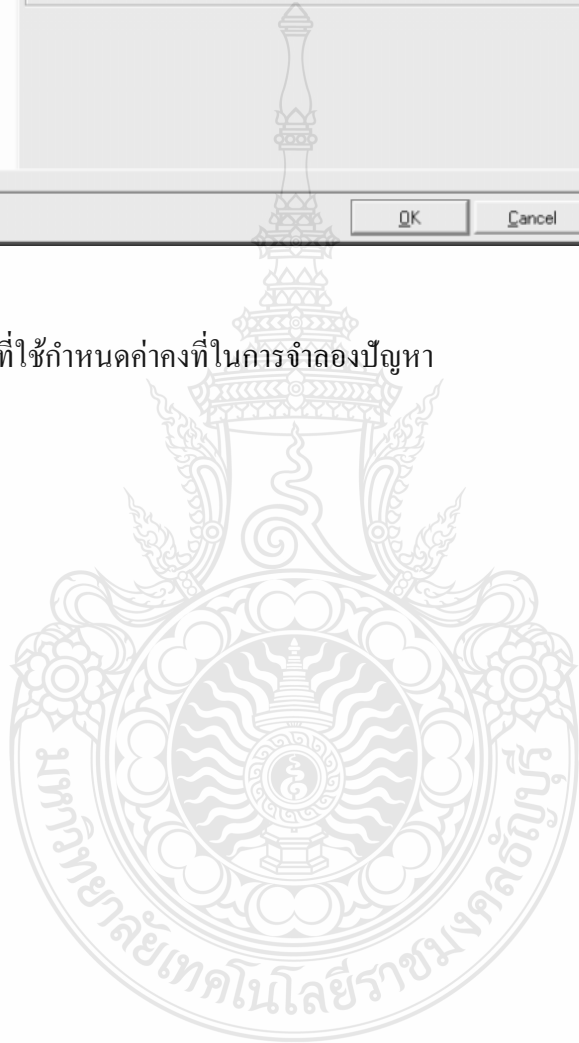
ภาพที่ ก.11 กลุ่ม block ของ Discrete

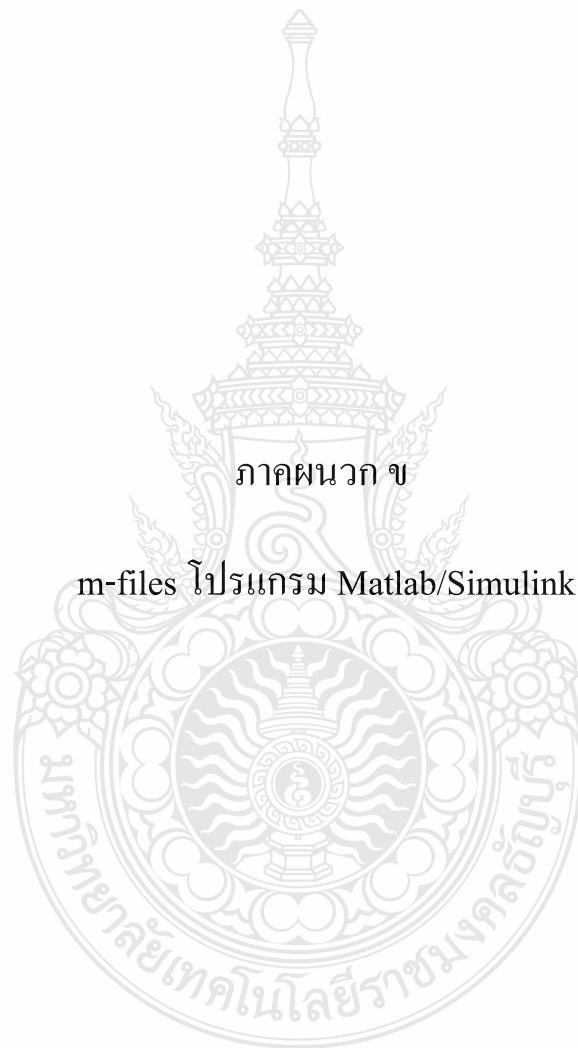
6. การกำหนดค่าคงที่ในการจำลองปัญหา (Parameters Configuration)

การจำลองปัญหาในคอมพิวเตอร์นั้น มีข้อสังเกตที่ต้องพึงระวัง คือระยะเวลาที่สนใจในการจำลองปัญหากับระยะเวลาในการจำลองปัญหา เช่นคอมพิวเตอร์อาจจะใช้ระยะเวลาในการจำลองการตอบสนองในช่วง 10 นาที ของระบบที่สนใจเพียง 1 วินาที ทำให้ระยะเวลาที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาที่สนใจไม่ตรงกันในการจำลองปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ Step Size มีค่าไม่คงที่ (Variable Step Size) ค่า Step Size ที่มากที่สุดและน้อยที่สุดสามารถกำหนดได้ อย่างไรก็ตามระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ Step Size มีค่าคงที่ (Fixed Step Size) เป็นวิธีที่มีกจะนิยมใช้ในการจำลองปัญหา เนื่องจากสามารถระบุช่วงเวลาหรือจุดของเวลาที่สนใจได้อย่างแม่นยำ ดังภาพที่ ก.12



ภาพที่ ก.12 หน้าต่างที่ใช้กำหนดค่าคงที่ในการจำลองปัญหา





ภาคผนวก ข

m-files โปรแกรม Matlab/Simulink

```

% Model of Photovoltaic using MATLAB/simulink

k = 1.381e-23;      % boltzmann constant (J/K)
q = 1.602e-19;     % Electron Charge (C)
Is1=1.83e-7;       % reverse saturation current of diode (A)
N = 1.1753;        % Ideality factor of the diode : 1~2
Eg = 1.115;        % band gap energy of semiconductor
T1 = 25;           % temperature (Celcius)
S1 = 864;          % Solar insolation (W/m^2)
Voc = 21.3;        % Open circuit Voltage (v)
Isc = 5.31;        % Short circuit current(A)
Rs = 0.0012;       % Series resistance (Ohm)
Ki = 0.053/100;    % Short circuit current temperature
coefficient(A/C)

V1=(0:1:Voc);      % Voltage across diode (v)
T2 = 25;           % temperature (Celcius)
S2 = 864;          % Solar insolation (W/m^2)
V2=(0:1:Voc);     % Voltage across diode (v)
T3 = 25;           % temperature (Celcius)
S3 = 557;          % Solar insolation (W/m^2)
V3=(0:1:Voc);     % Voltage across diode (v)
T4 = 25;           % temperature (Celcius)
S4 = 700;          % Solar insolation (W/m^2)
V4=(0:1:Voc);     % Voltage across diode (v)
T5 = 25;           % temperature (Celcius)
S5 = 600;          % Solar insolation (W/m^2)
V5=(0:1:Voc);     % Voltage across diode (v)
T6 = 25;           % temperature (Celcius)
S6 = 500;          % Solar insolation (W/m^2)
V6=(0:1:Voc);     % Voltage across diode (v)
nS=36;
nS1=36;nS2=18;nS3=18;nS4=36;nS5=36;
nS6=36;nP=1;RL=0.1;a=0.8;b=1-a;
P12=P1+P2;

figure(1)
plot(V1,P1,'blue',V2,P2,'red',V3,P3,'green','LineWidth',1.5);
grid on;
xlabel('Voltage [V] ','FontSize',12);
ylabel('Power [W] ','FontSize',12);
axis([0 20 0 70]);
hold on

figure(2)
plot(V1,I1,'blue',V2,I2,'red',V3,I3,'green','LineWidth',1.5);
grid on;
xlabel('Voltage [V] ','FontSize',12);
ylabel('Current [A] ','FontSize',12);
axis([0 20 0 5]);
hold on

```

ภาคผนวก ค

เอกสารข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ SHARP NE80E2E



SHARP

..... *be sharp*

NE80E2E

80 W

Photovoltaic module polycrystalline



POLYCRYSTALLINE SILICON PHOTOVOLTAIC MODULE WITH 80 W MAXIMUM POWER

Sharp's NE80E2E photovoltaic module is designed for large electrical power requirements. Based on the technology of crystal silicon solar cells cultivated for over 40 years, this module has superb durability to withstand rigorous operating conditions and is suitable for grid connected systems.

Features

- High-power module (80 W) using 125.5 mm square polycrystalline silicon solar cells with 12.6 % module conversion efficiency
- Photovoltaic module with bypass diode minimises the power drop caused by shade. Anti reflection coating and BSF (Back Surface Field) structure to improve cell conversion efficiency: 14.0 %
- Using white tempered glass, EVA resin, and a weather-proof film along with an aluminium frame for extended outdoor use
- DC 12 V system
- Output terminal: Lead wire with waterproof connector



Specifications NE80E2E

Cell	Polycrystalline silicon solar cells, 125.5 mm square
No. of cells and connections	36 in series
Application	DC 12 V system
Maximum system voltage	DC 540 V
Series fuse rating	10 A
Nominal power	80 W
Dimensions	1,200 x 530 x 35 mm
Weight	8.5 kg
Type of output terminal	Lead wire with connector

Absolute maximum ratings

Parameters	Rating	Unit
Operating temperature	-40 to +90	°C
Storage temperature	-40 to +90	°C

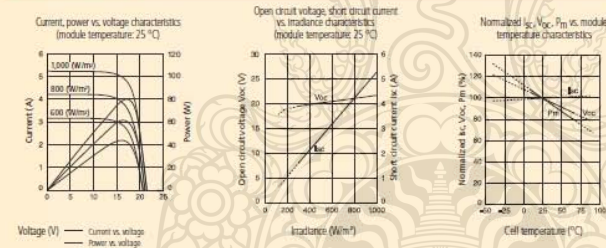
Temperature coefficients

αP_m	-0.485% / °C
αI_{sc}	+0.053% / °C
αV_{oc}	-78.1 mV / °C

Electro-optical characteristics

Parameters	Symbol	Min.	Typ.	Unit	Conditions
Open circuit voltage	V_{oc}		21.3	V	Standard test conditions (STC)
Maximum power voltage	V_{pm}		17.1	V	
Short circuit current	I_{sc}		5.31	A	Irradiance: 1,000 W/m ²
Maximum power current	I_{pm}		4.67	A	
Maximum power	P_m	76.0	80.0	W	AM 1.5
Encapsulated solar cell efficiency	η_c		14.0	%	Module temperature: 25 °C
Module efficiency	η_m		12.6	%	

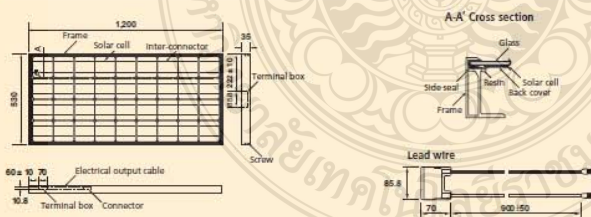
Characteristics



Applications

- Grid connected residential systems
- Office buildings
- Solar power stations
- Solar villages
- Villas, mountain cottages
- Pumps
- Lighting equipment
- Traffic signs
- Radio relay stations
- Beacons
- Telemeter systems
- Telecommunication systems

Outline dimensions



In the absence of confirmation by specification sheets, Sharp takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any Sharp products shown in catalogs, data books, etc. Contact Sharp in order to obtain the latest specification sheets before using any Sharp products.

Specifications are subject to change without notice.

SHARP

Central & Eastern Europe
Tel: +43-(0)1-72 71 90 · Fax: +43-(0)1-72 71 91 41
www.sharp-cee.com

France
Tel: +33-(0)1-49 90 34 00 · Fax: +33-(0)1-48 63 26 21
www.sharp.fr

Germany & Austria
Tel: +49-(0)40-2 371 60 · Fax: +49-(0)40-23 76 21 93
www.sharp.de/solar

Italy
Tel: +39-02-89 59 51 · Fax: +39-02-89 53 08 95
www.sharp.it

Spain & Portugal
Tel: +34-(0)93-5 81 97 00 · Fax: +34-(0)93-6 75 46 11
www.sharp.es

Nordic countries
Tel: +46-(0)8-6 34 36 00 · Fax: +46-(0)8-6 34 36 10
www.sharp.se

Switzerland
Tel: +41-(0)1-8 46 61 11 · Fax: +41-(0)1-8 46 62 25
www.sharp.ch

Benelux
Tel: +31-(0)30-6 35 95 00 · Fax: +31-(0)30-6 35 95 95
www.sharp.nl | www.sharp.be

United Kingdom
Tel: +44-(0)1 61-2 05 23 33 · Fax: +44-(0)1 61-2 05 70 76
www.sharp.co.uk/solar



ภาคผนวก ง

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

2013
EENET



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

บทความวิจัย

- ไฟฟ้ากำลัง
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- ไฟฟ้าสื่อสารและโทรคมนาคม
- ระบบควบคุมและการวัดคุม
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า

บทความวิชาการ

27-29 มีนาคม 2556 โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

EENET2013



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ผู้ทรงคุณวุฒิ	หน่วยงาน
ศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ	สุระก่าพลธร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์	วัฒน์กุล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย	อารีย์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์	จางวนิชเลิศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.ฟูศักดิ์	ชีวสุวิทย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร	กิมเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิสูตร	ฐิติรุ่งเรือง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร	สิริสำราญนุกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์	หวังสถิตยั้งศ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์	ชื่นแจก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.บัลลังก์	เนียมมณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ธনীชัย	กุลรวรณิชาพงษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน	ปิยรัตน์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แนนนบุญ	หุนเจริญ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย	เดชสอมนต์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์	สุวรรณฉวีวิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์	คำฝอย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษยามา	ข้าสุวรรณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาวิไลย์	นาคทรัพย์ มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์	บาทมงคล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ ดร.นาดยา	คล้ายเรือง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
อาจารย์ ดร.ขงพุทธ	นราภรณ์ มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.นิมิต	บุญภิรมย์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อาจารย์ ดร.สมมาตร	แสงเงิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ผู้ทรงคุณวุฒิ	หน่วยงาน
อาจารย์ ดร. วุฒิวัฒน์	กรุงธนประเสริฐ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร. สายชล	ชุดเจ้อจิ้น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์ชัชณรงค์	วิเศษศักดิ์วิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีโรจน์	เพชรพันธุ์ศรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุกน	พลสิงห์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิพนธ์	ทางทอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ประหัด	กองสุข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์ภัทรพงษ์	อัญชันภณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์สมพล	โคศรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์สมยศ	สันติมาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์ทัศนพันธุ์	สุวรรณทัต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์ชนม์	ภูมิภักดีพิชญ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย	ทรัพย์สิงห์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักริ	สรินนทีลดา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. ลัดดาชัย	ศุภพิทักษ์สกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. กิตติวัฒน์	นันทิผล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. บุญยัง	ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. สุรินทร์	นางมงาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชัย	หิรัญวโรดม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. อำนาจ	วีรียงวารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. ณัฐภัทร	พันธ์คง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย	แดงเอน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัฐวุฒิ	โสมะเกษศรีนทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์พินิจ	จิตจริง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์สมชาย	เบียนสูงเนิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ สำหรับการพิจารณาบทความ
 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ผู้ทรงคุณวุฒิ	หน่วยงาน	
อาจารย์พร้อมศักดิ์	อภิวัดกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์นิตติพงษ์	ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ธีระพล	เหมือนขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริญญ์	ดาบมิ่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. ไพฑูรย์	รักเหลือ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์วิโรจน์	ไพรงามชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. ณัฐพงษ์	พันธุณะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร. นัฐ ใจดี	รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์พันธุ์ศรี	วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ทอง	ลานธรราทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ชอุรงศรี	จตุรเชิดชัยสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์เวทรินทร์	ธัญญาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์สาคร	วุฒิพัฒน์พันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์สมเกียรติ	ทองแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์อรุณ	ชั่งสุทธิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์มนัส	บุญเพชรทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไศล	นิตติโสภณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรินทร์	จุลวานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กมลทิพย์	วิมลดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัจฉา	ลักษณะอำนาจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ธนะกิจ	วิมลดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์นิตมิต	นิตาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร. ชลกาญจน์	วงศ์ก่อเกียรติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร. ณพพร	จินตประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ สำหรับการพิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ผู้ทรงคุณวุฒิ	หน่วยงาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.มนตรี สมคุดยกรนถ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์อติศักดิ์ แข็งสารกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนต์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ เขษขันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.พิชิต กิตติสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์กาญจน์บัญชา พานิชเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ดิศพล จำเริญกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์โสภา แจ่มแสง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์สิทธิ์ชัย บุญปิยทัศน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
รองศาสตราจารย์สมพันธ์ ชำพวัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิฑูรย์ พงศ์พฤกษ์ธาตุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์ ดร.พิบิจ ศรีธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์ ดร.วรรณวิทย์ วงศ์ไครรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิมพ์พงศ์ อภิชาติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิชัย สว่างงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์รุ่งเพชร ถ่องนอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ันท์ พันโพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤตวิทย์ บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประเสริฐ เหมือนหมื่นไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์กิตติวุฒิ จินณะบุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์ ดร.มงคล คูพิมาย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์ ดร.ประจวบ อินระวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)



ตารางบทความพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
ES26	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากคลื่นน้ำต่ำ ศักดิ์ระวี ระเบียบกุล วิไลพร เงินบาท วิชาญ แดงนา พัลลภ ภูมิธิ วราวุธ วังศิริ และณัฐพงษ์ โนนเปือย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	421
ES27	การผลิตกระแสไฟฟ้าจากปล่องลมแคบขนาดเล็ก ศักดิ์ระวี ระเบียบกุล กิรติ วงศ์คำแสน รวิศักดิ์ แพงมา และศุภชัย แก้วสาธิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	425
ES28	เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแรงดันน้ำไหลในท่อน้ำประปา ขวัญใจ นาชัยภูมิ ศักดิ์ระวี ระเบียบกุล ชโลธร มาใจหัด เจษฎา ปัญญาไส และปัญญา ทองเหลา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	429
ES29	ความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำที่ยั่งยืนที่มีการก่อสร้างระบบกักน้ำร่วมกับระบบ ไฮบริดสำหรับ ตำบลอ่างจิ้งหวัดน้ำในด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ 'โครรัตน์ ปะที' กฤษณ์จันมี ภูมิศักดิ์พิชญ์ และสุรินทร์ แหมงงาม ¹ ¹ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ² มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	433
ES30	การจำลองการทำงานระบบไมโครกริดขนาด 5 kW ด้วยโปรแกรม MATLAB/simulink มงคล บุญอง และกฤษณ์จันมี ภูมิศักดิ์พิชญ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	437
ES31	การศึกษาการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบ รีเจนเนอเรทีฟที่จากลิฟต์ เอกรัตน์ นภกานต์ และบุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	441
ES32	การศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับแผงรับความร้อนแบบพาราโบลิก อนุพงศ์ คนสูง จุฑิษา ชื่นสีวา นรินทร์ วัฒนกุล เอกชาติ หัตถา และพีนิช เขื่อนสูงวงศ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	445
ES33	การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อนเนก ทอนสูงเนิน และสมชัย หิรัญวโรดม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	449
ES34	การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในอำเภอธัญบุรี องอาจ แสดใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	453

การศึกษาระยะวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Study and Analysis of Shading Effect on Solar Module

อนก ทองสูงเนิน¹ และณรัชต์ หิรัญโรดม²

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110 โทรศัพท์: 08-8082-2789 E-mail: Anake_12@hotmail.com

²สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110 โทรศัพท์: 08-1843-3200 E-mail: hiranvarodom@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงา เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้น โดยการเชื่อมต่อกันจำนวน 36 เซลล์แบบอนุกรมในหนึ่งแผง เพื่อที่จะได้รับแรงดันไฟฟ้าใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเกิดการบังเงาบางส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นับว่าเป็นส่วนหนึ่งในสาเหตุหลักของการเกิดความร้อนภายในเซลล์ ทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการบังเงา งานวิจัยนี้ทำการทดสอบจริงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและสภาวะที่การบังเงาเกิดขึ้นบางส่วน โดยทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สร้างแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น ซึ่งจากการทดสอบพบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้น จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของจำนวนเซลล์ที่ถูกบังเงากับจำนวนเซลล์ที่ได้รับความเข้มแสง กล่าวคือเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกการบังเงาร้อยละ 20 ของจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด เซลล์ที่ถูกบังเงาจะทำให้กำลังสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้นั้นลดลง เมื่อเพิ่มการบังเงาเป็นร้อยละ 40 จำนวนเซลล์ ทำให้กำลังสูงสุดที่ผลิตนั้นลดลงอีกต่อไป คำสำคัญ: การบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์, ระบบไฟโวลตาอิก, กำลังสูงสุด

Abstract

This paper presents the study and analysis of shading effect on solar module. Due to the fact that a solar module consists of 36 cells connected in series to produce desired voltage. The partial shading effect causes the cumulative heat on shaded cells then the maximum power produced is really reduced. Accordingly, it is necessary to study of shading effect on solar module. In this research work, the solar modules are examined on partial shading effect with actual sun intensity and to be compared to the results of simulation by computer program. The experimental results are able to be stated that the power loss of solar module is based on the number of shaded cells.

In fact, while the cells are approximately shaded of 20 percent, the maximum power produced is reduced. When shaded cells are increased to 40 percent, the maximum power produced is also reduced significantly.

Keywords: shading on solar cells, PV system, maximum power

1. บทนำ

การถูกบังเงาในแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อทุกเซลล์ อันเนื่องมาจากไม่ได้รับพลังงานแสงในปริมาณที่เท่ากัน เซลล์ทั้งหมดที่อยู่ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีเพียงไม่กี่เซลล์เท่านั้นที่สามารถทำงานได้ตามปกติ และเซลล์ที่ถูกบังเงาจะกลายเป็นโหลดหรือเป็นตัวรับกระแสจากเซลล์อื่น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ถ้าหากไม่มีการแก้ไขปัญหานี้อย่างเหมาะสมนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะได้รับความเสียหายเป็นอย่างมาก [1] ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ เราไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาจากการบังเงาได้เลย เช่น เมื่อเรติดตั้งบนหลังคาบ้าน ปัญหาที่ถือว่าการบังเงาจากเกิดได้ก็คือ ทารกใกล้สิ่ง ซึ่งการบังเงาจะเกิดขึ้นนั้นเป็นบางช่วงเวลาเท่านั้น แต่มันก็จะเกิดขึ้นตลอดทั้งปีเช่นกัน ซึ่งเป็นปัญหาทางกายภาพ

ส่วนการศึกษาในหัวข้อนี้จะศึกษาผลกระทบเนื่องจากการบังเงาเพียงบางส่วน โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์จะถูกบังเงาในสัดส่วนที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ถูกบังเงา ร้อยละ 10 จนถึง ร้อยละ 100 ของพื้นที่ทั้งหมดในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบังเงา

2. ทฤษฎี

2.1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

ในสมการที่ (1) แสดงถึงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียล (exponential equation)

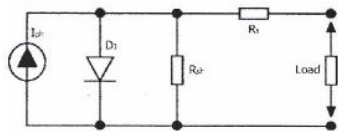
$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{N \cdot K \cdot T} \right) - 1 \right) - \frac{(V + IR_s)}{R_{sh}} \quad (1)$$

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการหรือข่าววิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceedings of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

จากผลการที่ (1) สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

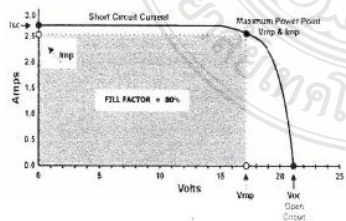
2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

[2] แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมดูล (PV module) เป็นการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันให้เหมาะสมกับพิกัดแรงดันของแบตเตอรี่คือ 12 V ส่วนการต่อแบบขนานจะเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้า

[3] เซลล์ที่มีคุณสมบัติที่คล้ายกันจะนำมาเชื่อมต่อกันและห่อหุ้มในรูปแบบ โมดูล ซึ่งในที่สุดก็มีการกำหนดรูปแบบเป็นบล็อก (Blocks) ขึ้นมา ใช้สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเริ่มตั้งแต่แรงดันสูงสุดของซิลิคอน 1 เซลล์ ซึ่งมีแรงดัน 600 mV นำมาต่อกัน 36 เซลล์ เพื่อให้ได้แรงดันในการประจุให้กับระบบขนาด 12 V ภายใต้ความเข้มแสงสูงสุด (100W/cm²) รั้งกระแสสูงสุดโดยประมาณ 30 mA/cm² โดยเซลล์จะถูกต่อขนานกันเพื่อให้ได้กระแสสูงสุด

2.2 กราฟคุณสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

[4] คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ โดยใช้ I-V curve ซึ่งใช้ตรวจสอบค่าถึงผลิตสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ หากดูคุณสมบัติของเซลล์จะประมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่ สามารถสร้าง I-V curve ได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งจะมีจุดสำคัญที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเรียกว่า Maximum Power Point (MPP หรือ P_{max})



รูปที่ 2 คุณสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

3. การทดสอบการบ่งเงาในสภาพจริง

จากการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E ทำการทดสอบหาลำโพงไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ ที่ค่าความเข้มของแสงที่ระดับต่างๆและสร้างสถานการณ์การล้มสมมติให้เกิดการบ่งเงาขึ้นมา โดยการใช้อุปกรณ์บ่งเงาปิดบังแสงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงและอีก 1 แผงเซลล์ให้ได้รับแสงตามปกติ ในส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกปิดบังแสงนี้ จะปิดบังแสงในสัดส่วนที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ถูกบ่งเงาร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 100 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการทดสอบในสภาพที่บ่งเงาจริง ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมด้วยโปรแกรม ปร๊อบรูโธ อันกอด้านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา

ตารางที่ 1 ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Sharp รุ่น NE-80E2E

Cell	Polycrystalline silicon solar cells, 125.5 mm ²
No. of cells and connections	36 in series
Application	DC 12 V system
Maximum system voltage	DC 540 V
Series fuse rating	10 A
Nominal power	80 W
Dimensions	1,200X530X35 mm
Weight	8.5 kg
Type of output terminal	Lead wire with connector

Parameters	Symbol	Min	Typ.	Unit
Open circuit voltage	V _{oc}	-	21.3	V
Maximum power voltage	V _{mp}	-	17.1	V
Short circuit current	I _{sc}	-	5.31	A
Maximum power current	I _{mp}	-	4.67	A
Maximum power	P _m	76.0	80.0	W
Encapsulated solar cell efficiency	η _c	-	14.0	%
Module efficiency	η _m	-	12.6	%

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

- 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ NE-80E2E 2 แผง
- 2) เครื่องวัดความเข้มแสง W/m²
- 3) DC voltmeter (และ DC ammeter)
- 4) โหลดแรงดันขนาด 100 W

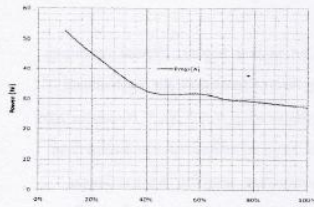
3.1 ทดลองครั้งที่ 1

ทดสอบกลางแจ้งใช้เซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E 1 แผง ขณะถูกบ่งเงา คิดเป็นร้อยละของพื้นที่ที่ถูกบ่งเงา (ที่ความเข้มแสง 863 W/m²) วัดค่าแรงดันสูงสุดและค่ากระแสสูงสุด

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

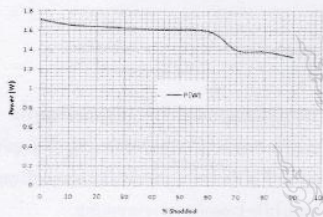
Proceedings of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)



รูปที่ 3 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดขณะถูกบังเงา ที่ความเข้มแสง 863 W/m²

3.2 ทดลองครั้งที่ 2

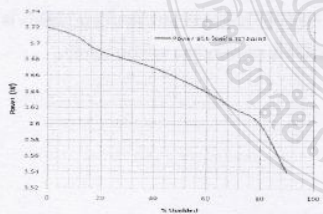
ทดลองกลางแจ้ง ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E 1 แผง ขณะถูกบังเงา (ที่ความเข้มแสง 837 W/m²) ต่อกับโหลด ได้ผลการวัดกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4 ค่ากำลังไฟฟ้าขณะถูกบังเงา

3.3 ทดลองครั้งที่ 3

ทดลองกลางแจ้ง ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E 2 แผงอนุกรมกัน ขณะถูกบังเงา ได้ผลดังตารางที่ 5 (ความเข้มแสง 856 W/m²) ต่อกับ โหลด 200 W และบดบังที่แผงเดียว

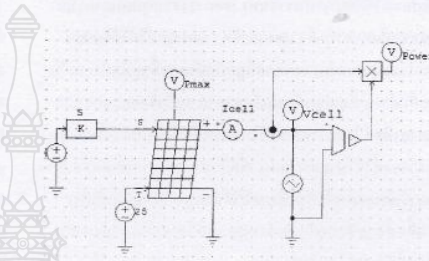


รูปที่ 5 กำลังไฟฟ้าสูงสุดขณะถูกบังเงา ที่ความเข้มแสง 856 W/m²

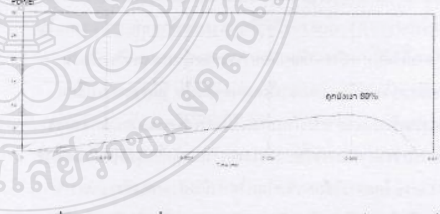
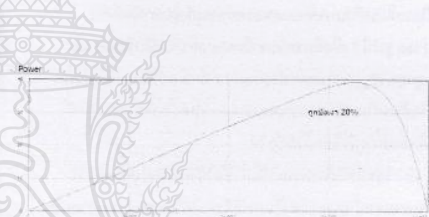
4. การสร้างแบบจำลองและส่วนประกอบของระบบ

สร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ใน โปรแกรม Psim

โดยทราบค่าต่างๆ ตามคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Sharp รุ่น NE-80E2E ลงในแบบจำลอง



รูปที่ 6 แบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จาก โปรแกรม Psim



รูปที่ 7 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จาก โปรแกรม Psim ถูกบังเงาร้อยละ 20, 40 และ 80

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceedings of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

5. สรุป

จากการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E จำนวน 2 แผง นำมาต่ออนุกรมกันแล้วทำการทดสอบหากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ ที่ค่าความเข้มของแสงที่ระดับต่างๆและสร้างสถานการณ์สมมติให้เกิดการบังเงาขึ้นมา โดยการใช่วัดดูที่บัสแรงแบบปิดบังแสงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงและอีก 1 แผงเซลล์ให้ได้รับแสงความปกติ ในส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกปิดบังแสงนี้จะปิดบังเงาในสัดส่วนที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ถูกบังแสงร้อยละ 10 จนถึงร้อยละ 100 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการทดสอบในสภาพพื้นที่จริงและเปรียบเทียบผลกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม Psim เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบังเงาว่ามีผลอย่างไรบ้าง ซึ่งผลที่ได้มีสรุปได้ว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของจำนวนเซลล์ที่ถูกบังเงากับจำนวนเซลล์ที่ได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอ

จากการทดสอบในข้อ 3.1) เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 20 เป็นเป็นร้อยละ 40 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) จะลดลงประมาณ 12.4 W จากรูปที่ 3 และเปรียบเทียบแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Psim รูปที่ 7 เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 20 เป็นเป็นร้อยละ 40 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) จะลดลงประมาณ 13 W ถือว่ามีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน แต่การลดลงของจำนวนวัตต์นั้นยังไม่เท่ากัน ข้อแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะนำไปแก้ไขต่อไป

ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ เพื่อให้ใช้ในการเลือก โมเดลที่เหมาะสมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีกำลังไฟฟ้าลดลงเนื่องจากการถูกบังเงา โมเดลที่เลือกอยู่จะไม่เกิดความเสียหาย และเพื่อศึกษารายละเอียดของการถูกบังเงาโดยธรรมชาติที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ กรณีก่อนหมดอายุการใช้งาน ไม่ทนหรือ โขไม่ทนไฟได้ ว่ามีผลต่ออายุขัยและค่าซ่อมแซมหรือเพียงไร พยายาม ใ้เห็นหรือไม่

6. แนวทางการวิจัย

จากการสร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ ในโปรแกรม Psim โดยการกำหนดค่าต่างๆ ตามคุณสมบัติของแผงนั้น เราสามารถที่จะสร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ในภาวะที่เกิดจากการบังเงาหรือไม่ได้และนำผลที่ได้ขึ้นมาเปรียบเทียบกับการทดลองในสภาพจริงหรือในสภาพแวดล้อมจริง แต่การทดลองในสภาพจริงนั้น ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงได้ หรือกำหนดค่าให้คงที่ได้ และจากแบบจำลองด้วยโปรแกรม Psim สามารถที่จะสร้างวงจร โมเดลอิเล็กทรอนิกส์เพื่อที่จะวัดค่า IV Curve โดยการใช้ออสซิลโลสโคป เป็นตัวแสดงสัญญาณ I-V Curve ได้ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรม Psim เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบังเงาว่ามีผลอย่างไรบ้าง วิธีแก้ไขปัญหาคือข้อเสนอนี้จะนำมาปรับปรุงต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.Ramaprabha and Dr.B.L.Mathur, Impact of Partial Shading on Solar PV Module Containing Series Connected Cells, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No. 7, November 2009
- [2] เชนนิตธร อัมปริดา และ วันชัย ทรัพย์ถึงที่"แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วย โปรแกรม Matlap /Simulink แบบพื้นที่เวลา" การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, พฤศจิกายน 2554
- [3] S.R. Wenham, M.A. Green, M.E. Watt and R. Corkish, Applied photovoltaics, 2nd ed., Earthscan in the UK and USA in 2007
- [4] บุญยง ปัตถ์กลาง "PHOTOVOLTAIC SYSTEMS" มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายเอก ทอนสูงเนิน กำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี ปัจจุบันรับราชการครู ผนวกช่างไฟฟ้ากำลัง วิชาद्यเทคนิคการสอนฟิสิกส์ วิชางานวิจัยที่สนใจ ระบบไฟโวลตาอิก พลังงานทดแทน



นายสมชาย ธีรวัชร ไรดม ดำรงการศึกษาระดับปริญญาเอก ณ Northumbria University ที่เมืองนิวคาสเซิล ประเทศอังกฤษ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ปัจจุบันทำหน้าที่ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจ ระบบไฟโวลตาอิก ระบบไฟฟ้ากำลัง พลังงานทดแทน

บทความวิชาการ

ฉบับรวมเล่ม

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงาน แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9

9th Conference on Energy Network of Thailand



พลังงานสีเขียวเพื่อโลกที่สดใส Green Energy Brightens Our World

ณ ชลพฤกษ์ รีสอร์ท อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก
8-10 พฤษภาคม 2556

จัดการประชุมโดย
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ผศ.ดร. กอศขวัญ นามสรวน
ผศ.ดร. ศิระ อัจฉริยวิริยะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศ.ดร. สมชาติ โภภณวรรณฤทธิ์
รศ.ดร. สลักกมล เทพหังสิน ณ อยุธยา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ดร. เจริญธวัชรินทร์ จินดา
ดร. ยี่นางจ บุญลอย
ดร. นิตยาชัย นิรมล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.ดร. สมพันธ์ เอี่ยมสะอาด
รศ.ดร. ธราณิษฐ์ เมธียานนท์
ผศ.ดร. บุญภาพ แยมไธสงพัฒน์
ผศ.ดร. พรชัย นิเวศน์วิมลสารดี
ผศ.ดร. วิภาดา คงเกียรติไพฑูริย์
ผศ.ดร. สมชาย ศรีพัฒน์พิพัฒน์
ผศ.ดร. ศุภเกียรติ ศรีพนมณารท
ผศ.ดร. ชวีญจิต วงษ์ชาวี
ผศ.ดร. สนิททิพย์ สันตกุลธรรมา
ผศ.ดร. ประสาน สนิทวิจิตรศักดิ์
ดร. วาโย ช้างเจริญ
ดร. สมศักดิ์ เข็มศรีกุล
ดร. วิไลลักษณ์ สระบุญ
ดร. ชูติภาพ หุตะนันท์
อ. กิตติศักดิ์ ยงศิริ
อ. ชวีญชัย ทนายนัน
อ. ปุณยภัทร ภูนิภาค
อ. ไบลวี กระมุขพิจิตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ดร. กฤษณ์ชานน์ ภูมิกิตติพิชญ์
ดร. สมชัย ธีรวิญญโรตม

ดร. สถาพร ทองวิค

ดร. เสรีชา เจริญชัย
ดร. สราภรณ์ ภวสุปรีดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผศ. วิศิษฐ์ อีถาภาสิกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดร. ชลธร ชวรมแท้
ดร. กวีดี สุภักษ์
ดร. ชีระชาติ พรพิบูลย์

มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ผศ.ดร. สมชาย มณีวรรณ
ดร. อรุณ ชนบดีอภิรักษ์
ดร. สิวิมล เสงวีคมี
ดร. สันต์ จันทร์แสงศักดิ์
ดร. สุพรรณนิภา วัฒนา
ดร. ศราภรณ์ วิบูลย์

มหาวิทยาลัยบูรพา

ดร. มิ่งขานา วัจโยภาส
ดร. ธีระวิเศษ พรบึง

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผศ.ดร. เจริญพร เมธีภักดีธนกร
ผศ.ดร. ณัฐพล ภูมิตะฮาด
ดร. ชีวพัฒน์ ชนธูธำ
ดร. โสภกา สุวณชัย
ดร. นิตยา ชัยบุญ
ดร. นนธิสานะ อังศวรรณดี

มหาวิทยาลัยมหิดล

ดร. ฟูง กิตติพิชัย
ดร. วรศิษฐ์ ตูว์รัตนวิมล
รศ. ศุภชัย นาทะพันธ์

มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร. สมพร ธนความณีชัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร. กิตติ สถาพรประสาธน์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ดร. เทพฤทธิ์ ทองชูป
ดร. กิรติ ขยะกุลศิริ
ดร. วิชชากร เองศรีธวัช
ดร. ชลธิศ เอี่ยมวราวุฒิกุล
ดร. วริศรา เลิศไพฑูรย์พันธ์
ดร. นิमित บุญภิรมย์
อ. อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ
อ. เฉษิณ จันทร์สา

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร. ชยุต นันทกุลิต

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. อำไพศักดิ์ ทีบุญมา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์
รศ.ดร. ชินวัชร์ เฮียรพงษ์
รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข
รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว
ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร
ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เดิโปวา
ดร. ดอน อิศรากร
ดร. วิฑาดา เจษฎารัตนชัย
ดร. กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์

คณะกรรมการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยทักษิณ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารบัญบทความ

สาขาลงงานประยุกต์: Applied Energy (AE)		
รหัสอ้างอิงบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
AE001	ผลของอัตราการเติม R-134a และอัตราส่วนความยาวท่อวาล์วโปรเตอร์ต่อประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน	1
AE002	ผลของรูปทรงฝาครอบสำหรับเครื่องตากแห้งข้าวกล้องงอกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิภายใน	7
AE003	ผลของมุมเอียงฝาครอบรูปทรงพีระมิดที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิภายในและประสิทธิภาพเครื่องตากแห้งข้าวกล้องงอกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	14
AE004	การประยุกต์ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะสำหรับกระบวนการผลิตน้ำร้อน	20
AE005	การศึกษาเชิงทดลองการเติมสารทำงานที่เหมาะสมของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราส่วนแอดเดติกเท่ากับ 4.42	29
AE006	การศึกษาเปรียบเทียบค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดด้วยระบบไมโครเวฟ และระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดหลังการอบแห้ง	35
AE007	เครื่องยิงงานโดยหลักการแม่เหล็กไฟฟ้า	45
AE008	การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโฟโตโวลตาอิก	51
AE009	การหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมของถังน้ำร้อนสำหรับระบบทำความเย็นพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวล	57
AE010	การอบแห้งเมล็ดกาแฟสดในเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	66
AE011	การจำลองวงจรเลียนแบบคุณลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โฟโต้ไดโอดเป็นอินพุต	71
AE012	การศึกษาสมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกขนาดกลางสำหรับอบกล้วยเล็บมือนาง	78
AE013	ลักษณะการกระจายอุณหภูมิและการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหลังคาสามเหลี่ยมหน้าจั่ว	82
AE014	การศึกษาระดับการสิ้นของสะพานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับเซนเซอร์	89
AE015	อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อยส่วนจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์	94
AE016	แบบจำลองการอบแห้งชิ้นบางของกล้วยเล็บมือนาง	100
AE017	การทำแผ่นน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุโพลีไวนิลคลอไรด์ผสมเขม่าคาร์บอนและการใช้งาน	104
AE018	การวิเคราะห์และออกแบบคัปเปิลคู่ล้อคู่คอนเวอร์เตอร์สำหรับประยุกต์ใช้กับระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	111
AE019	การจำลองวงจรคอนเวอร์เตอร์อัตราขยายแรงดันสูงสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	117
AE020	เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวเก็บรังสีแบบรวมแสงแบบพาราโบลิก	124
AE021	การเปรียบเทียบการปรับอากาศของบ้านพักอาศัยในฤดูหนาวกรณีใช้และไม่ใช้ปล้องความร้อนที่ติดตั้งตำแหน่งหลังคา	130
AE022	ผลกระทบของความยาวท่อลมเป่าและความสูงของชั้นเบตต่อจลนศาสตร์การอบแห้งและการสิ้นเปลืองพลังงานในเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่น-ทลันอิสระ	137
AE023	ผลของการกระจายอุณหภูมิและไหลเวียนอากาศภายในโรงอบแห้งยางพาราพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหลังคาคลุมเอียง	148
AE024	การเก็บเกี่ยวพลังงานจากข้อต่อหัวเข้าโดยใช้สเตปเปอร์มอเตอร์	154
AE025	การเก็บเกี่ยวพลังงานจากรถเข็นข้อปิ้ง	160
AE026	นวัตกรรมการป้องกันการกัดกร่อนแบบคาโทดิกสำหรับประยุกต์ใช้งานกับพลังงานลม	166



รหัสบทความ:
AE008

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงา
บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโฟโตโวลตาอิก
Study and Analysis of Shading Effect
on Solar Module in Photovoltaic System

อเนก ทอนสูงเนิน, สมชัย หิรัญโรตม

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110 โทรศัพท์ 08-8082-2789

*อเนก ทอนสูงเนิน : Anake_121212@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอ การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาในระบบโฟโตโวลตาอิก เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นโดยการเชื่อมต่อจำนวน 36 เซลล์แบบอนุกรมในหนึ่งแผงเพื่อที่จะได้รับแรงดันไฟฟ้าใช้งานได้จริงตามความต้องการ การเกิดการบังเงาบางส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นับว่าเป็นส่วนหนึ่งในสาเหตุหลักของการเกิดความร้อนภายในเซลล์ทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษผลกระทบที่เป็นอันตราย จากการบังเงา งานวิจัยนี้ทำการทดสอบจริงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับความเข้มแสงอาทิตย์จริงและสร้างสถานะที่มีการบังเงาเกิดขึ้นบางส่วน โดยทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น ซึ่งจากการทดสอบพบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของจำนวนเซลล์ที่ถูกบังเงากับจำนวนเซลล์ที่ได้รับความเข้มแสง กล่าวคือเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกการบังเงาร้อยละ 20 ของจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด เซลล์ที่ถูกบังเงาจะทำให้กำลังสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้นั้นลดลง เมื่อเพิ่มการบังเงาเป็นร้อยละ 40 จำนวนเซลล์ ทำให้กำลังสูงสุดที่ผลิตได้นั้นลดลงอีกต่อไป เมื่อเพิ่มการบังเงาอีกเรื่อยๆกำลังไฟฟ้าก็ลดลงอีกเช่นกัน

คำหลัก: การบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบโฟโตโวลตาอิก กำลังสูงสุด

Abstract

This paper presents the study and analysis of shading effect on solar module. Due to the fact that a solar module consists of 36 cells connected in series to produce desired voltage. The partial shading effect causes the cumulative heat on shaded cells then the maximum power produced is really reduced. Accordingly, it is necessary to study of shading effect on solar module. In this research work, the solar modules are examined on partial shading effect with actual sun intensity and to be compared to the results of simulation by computer program. The experimental results are able to be addressed that the power loss of solar module is based on the number of shaded cells. In fact, while the cells are shaded of 20 percent approximately then the maximum power produced is reduced. When shaded cells are increased to 40 percent, the maximum power produced is maximum power produced is maximum power produced is also reduced significantly.

Keywords: shading on solar cells, PV system, maximum power

1. บทนำ

การถูกบังเงาในแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อทุกเซลล์ ถ้าแต่ละเซลล์ไม่ได้รับพลังงานแสงในปริมาณที่เท่ากัน เซลล์ทั้งหมดที่อยู่ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีเพียงไม่กี่เซลล์เท่านั้นที่สามารถทำงานได้ตามปกติ และเซลล์ที่

ถูกบังเงาจะกลายเป็นโหลดหรือเป็นตัวรับกระแสจากเซลล์อื่น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ถ้าหากไม่มีการแก้ไขปัญหานี้ที่เหมาะสมนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะได้รับความเสียหายเป็นอย่างมาก [1] ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ เราไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาจากการ

บังเงาได้เลย เช่น เมื่อเราติดตั้งบนหลังคาบ้าน ปัญหาที่
คือการบังเงาอาจเกิดได้จากอาคารใกล้เคียง ซึ่งการบังเงา
นี้จะเกิดขึ้นหนึ่งวันเป็นบางช่วงเวลาเท่านั้น แต่มันก็จะ
เกิดขึ้นตลอดทั้งปีเช่นกัน ซึ่งเป็นปัญหาทางกายภาพ

ส่วนการศึกษาในหัวข้อนี้จะศึกษาผลกระทบเนื่องจาก
การบังเงาเพียงบางส่วน โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์จะถูกปิด
บังแสงในสัดส่วนที่ระดับต่างๆตั้งแต่ ถูกบังเงา ร้อยละ 10
จนถึงร้อยละ 100 ของพื้นที่ทั้งหมดในแผงเซลล์แสง-
อาทิตย์และเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม
คอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการ
บังเงา

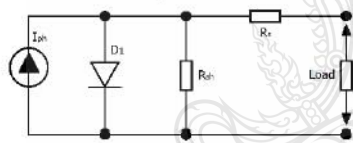
2. ทฤษฎี

2.1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

ในสมการที่ (1) แสดงถึงคุณลักษณะทางกระแสและ
แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของ
ฟังก์ชัน เอ็กโปเนนเชียล (exponential equation)

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{N \cdot K \cdot T} \right) - 1 \right) - \frac{(V + IR_s)}{R_{sh}} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลของเซลล์
แสงอาทิตย์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

[2] แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมดูล (PV module)

เป็นการนำ เซลล์แสงอาทิตย์มาต่อแบบอนุกรมเพื่อเพิ่ม
แรงดันให้เหมาะสมกับกักตุนแรงดันของแบตเตอรี่คือ 12 V
ส่วนการต่อแบบขนานจะเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้า โดย
แรงดันและกระแสของเซลล์

เซลล์ที่มีคุณสมบัติที่คล้ายกันจะนำมาเชื่อมต่อกัน
และห่อหุ้มในรูปแบบโมดูล ซึ่งในที่สุดก็มีการกำหนด
รูปแบบเป็นบล็อก (Blocks) ขึ้นมา ใช้สำหรับแผงเซลล์
แสงอาทิตย์ โดยเริ่มตั้งแต่แรงดันสูงสุดของซิลิคอน 1
เซลล์ ซึ่งมีแรงดัน 600 mV นำมาต่ออนุกรมกัน 36 เซลล์
เพื่อให้ได้แรงดันในการประจุให้กับระบบขนาด 12 V
ภายใต้ความเข้มแสงสูงสุด (100W/cm²) สร้างกระแส
สูงสุดโดยประมาณ 30 mA/cm² โดยเซลล์จะถูกต่อ
ขนานกันเพื่อให้ได้กระแสสูงสุดดังสมการที่ (2)

$$I_{ph} = \left[I_{sc} + k(T - T_{ref}) \right] \lambda \quad (2)$$

เมื่อ I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์ที่ 25°C (A)

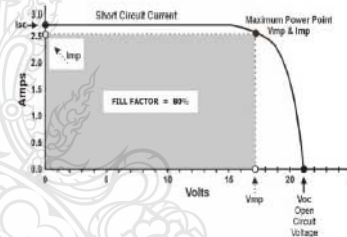
k คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสลัดวงจร
(A/°C)

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์ (Kelvin)

λ คือ ความเข้มแสง (kW/m²)

2.2 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์ แสงอาทิตย์ (I-V Curve)

[3] คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถ
แสดงได้โดยใช้ I-V curve ซึ่งใช้ตรวจสอบกำลังผลิตสูงสุด
ของเซลล์แสงอาทิตย์ หากอุณหภูมิของเซลล์และปริมาณ
ความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่
สามารถสร้าง I-V curve ได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งจะมียุคสำคัญที่
ทำให้เกิดกำลังไฟสูงสุดเรียกว่า Maximum Power
Point (MPP หรือ P_{max})

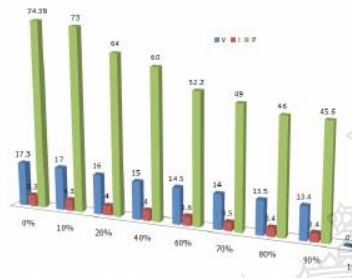
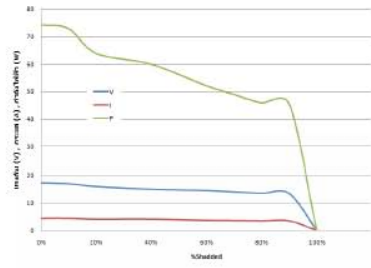


รูปที่ 2 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

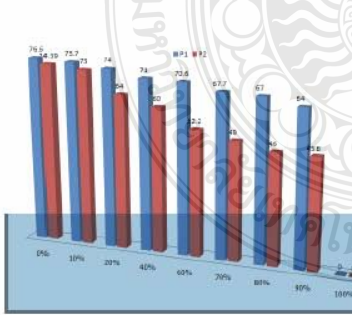
ในการพิจารณาคณะลักษณะทางกระแสและแรงดัน
ของเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะต้อง
เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร, กระแส
ขณะลัดวงจร, กำลังไฟสูงสุด, กระแสไฟสูงสุดและ
แรงดันไฟสูงสุด

3 การทดสอบการบังเงาในสภาพจริง

จากการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Sharp
รุ่น NE-80E2E ทำการทดสอบหา กำลังไฟสูงสุดที่ผลิต
ได้ที่ค่าความเข้มของแสงที่ระดับต่างๆและสร้าง
สถานการณ์สมมติให้เกิดการบังเงาขึ้นมา โดยการใช้วัสดุ
ทึบแสงมาปิดบังแสงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงและอีก
1 แผงเซลล์ที่ได้รับแสงตามปกติ ในส่วนแผงเซลล์

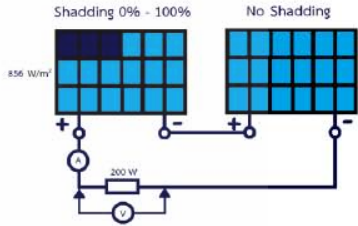


รูปที่ 6 ค่าแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของอุปกรณ์
บังเงา ที่ความเข้มแสง 837 W/m²

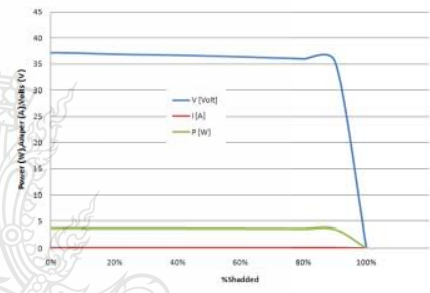


รูปที่ 7 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองครั้งที่ 3.1 และ 3.2

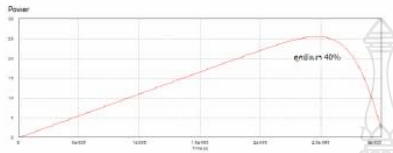
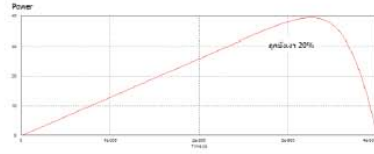
3.3) ทดลองกลางแจ้งใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ บริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E 2 แผงอนุกรมกันขณะถูกบัง ร้อยละ 10 จนถึง ร้อยละ 100 (ความเข้มแสง 856 W/m² ต่อกับโหลด 200 W และบดบังที่แผงเดียว



รูปที่ 8 การทดลองครั้งที่ 3.1



รูปที่ 9 ค่าแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าขณะถูกบังเงา
ที่ความเข้มแสง 856 W/m² (2 แผงอนุกรมกัน)



รูปที่ 14 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
จากโปรแกรม Psim ถูกบังแสงร้อยละ 20, 40 และ 80

5. สรุป

จากการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E จำนวน 2 แผง นำมาต่ออนุกรมกันแล้วทำการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ที่ค่าความเข้มของแสงที่ระดับต่างๆและสร้างสถานการณ์สมมติให้เกิดการบังเงาขึ้นมา โดยการใช้วัสดุทึบแสงมาปิดบังแสงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงและอีก 1 แผงเซลล์ที่ได้รับแสงตามปกติ ในส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกปิดบังแสงนี้จะปิดบังแสงในสัดส่วนที่ระดับต่างๆตั้งแต่ ถูกบังแสงร้อยละ 10 จนถึง ร้อยละ 100 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการทดสอบในสภาพพื้นที่จริงและเปรียบเทียบผลกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม Psim เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบังเงามีผลอย่างไรบ้าง ซึ่งผลที่ได้ก็นับสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดสอบครั้งที่ 1 เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 20 เพิ่มเป็นร้อยละ 40 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) จะลดลงประมาณ 4 W และเปรียบเทียบกับแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Psim เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 20 เพิ่มเป็นร้อยละ 40 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) จะ

ลดลงประมาณ 12 W ถือว่ามีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน แต่การลดลงของจำนวนวัตต์นั้นยังไม่เท่ากัน

2. จากการทดสอบการต่อแบบอนุกรมและขนานนั้น ผลกระทบจากการบังเงาจะส่งผลกระทบต่อแบบขนานมากกว่าเนื่องจากผลของแรงดันที่ลดลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแผงพร้อมกัน

3. ผลจากการบังเงาทำให้เกิด Power loss

6. แนวทางการวิจัย

จากการสร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรม Psim โดยการกำหนดค่าต่างๆ ตามคุณสมบัติของแผงนั้นเราสามารถที่จะสร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะที่เกิดจากการบังเงาต่อไปได้ และนำผลที่ได้ขึ้นมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในสภาพจริงหรือในสภาพแวดล้อมจริง แต่การทดสอบในสภาพจริงนั้น ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงได้ หรือกำหนดค่าให้คงที่ได้ และจากแบบจำลองด้วยโปรแกรม Psim สามารถที่จะสร้างวงจรโพลดิโกลเทรอนิกส์เพื่อที่จะวัดค่า IV Curve โดยการใช้ออสซิลอสโคป เป็นตัวแสดงสัญญาณ I-V Curve ได้ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรม Psim เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบังเงา

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.Ramaprabha and Dr.B.L.Mathur, Impact of Partial Shading on Solar PV Module Containing Series Connected Cells, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No. 7, November 2009
- [2] เดชนิติธร อิมปริตา และ วันชัย ทรัพย์สิงห์ "แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink แบบทันเวลา"การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทน สุขุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, พฤศจิกายน 2554
- [3] บุญยั้ง ปลั่งกลาง "PHOTOVOLTAIC SYSTEMS" มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553



การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ

พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6

The 6th Thailand Renewable Energy for Community Conference

TREC-6

13-15 พฤศจิกายน 2556

ณ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

CP ไฟฟ้าชุมชน

CF เชื้อเพลิงชุมชน

CT ความร้อนชุมชน

EC การประหยัดพลังงาน

CE สิ่งแวดล้อมชุมชน



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบทางวิชาการ

การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 6

ชื่อ	สกุล	มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.สิงห์ทอง	พัฒนเศรษฐานนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ อธิพนธ์	พุทธิภูมิแก้ววงศ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ศักดิ์เดช	สังคพัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมตะ	ทัศนภักดิ์	มหาวิทยาลัยศรีประทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์	มณีโชติ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักษกร	ศรีนันทฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ	ประทุมพรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภุชงค์ชนม์	ภูมิภคิตพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อานวย	เรืองวารีย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี	อริยวิริยะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์	เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพิธาร์	ธนรักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์	มณีโชติ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรนุช	แจ้งสว่าง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวงศ์	เหล่าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต	ภุชงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนิรุท	มุกกันต์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุสรณ์	แสงประจักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วีระวุฒิ	อรณวรรณะ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิจ	วรศิลป์ชัย	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะแห่งชาติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนพล	มีนา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รัฐศักดิ์	พรหมมาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.กิตติศักดิ์	วิธินันทกิตต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์ ดร.บวรกิตต์	เนคมานุรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ศุภชัย	ฤทธิเจริญวิฑู	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.ประเมษฐ์	จันทร์เพ็ญ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.สุชาติ	โอษคลัง	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.อภิพงษ์	พุ่มคำ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.วิจิตรรา	สิงห์หิรัญสรณ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.นิชุดา	สุวแพทย์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.สุภกร	หาญสูงเนิน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.สุรชัย	จันทร์ศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบทางวิชาการ

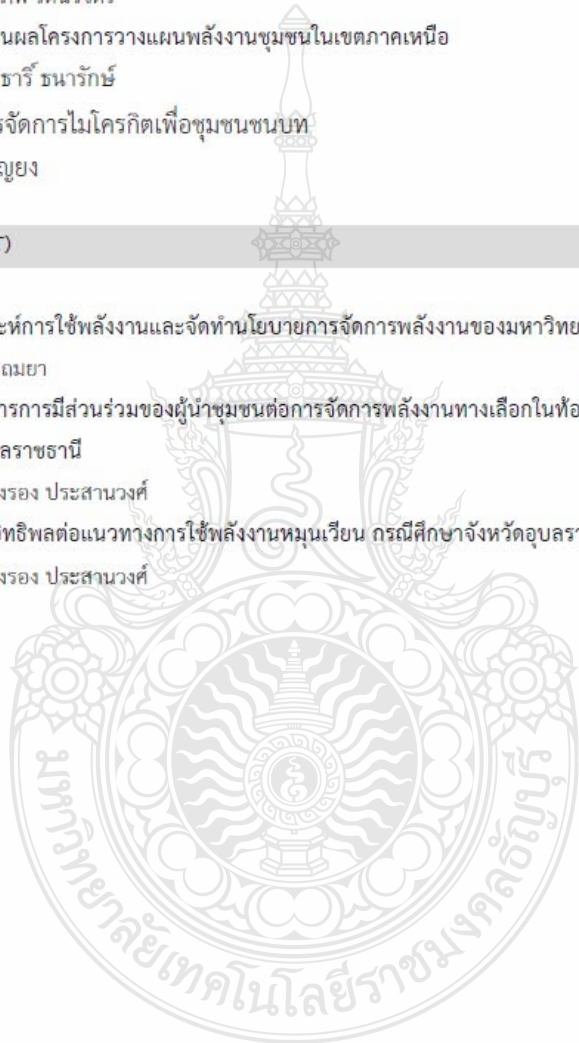
การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 6

ชื่อ	สกุล	มหาวิทยาลัย
อาจารย์ ดร.เพชรรัตน์	ใจบุญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
อาจารย์ ดร.พิมลวรรณ	กำพลานท์วัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.วรจิต	เศรษฐพรพรค	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.วิจิตรา	สิงห์หิรัญสุนทรณี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.สถาพร	ทองวิค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.วิรัชชัย	โรยรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ประจวบ	อินระวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
อาจารย์ นุอร	ชูทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ปรีชา	ศรีประภาคาร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ วุฒิสาสตร์	โชคเกื้อ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ธีรภัทร์	อนุชาติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
อาจารย์ ยุทธนา	อุไรชื่น	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.อาทิตย์	ฉิ่งสูงเนิน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.ประธาน	ศรีวิไล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.คาริน	อ่อนขาว	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร. อำพล	อภาชนากร	สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ



บทความวิจัย: การประหยัดพลังงาน (EC)		หน้า
EC012	การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเกิดบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ นายอเนก ทอนสูงเนิน	590
EC013	การลดพลังงานไฟฟ้าสำหรับลูกโมโนอุตสาหกรรมแป้งมัน นายจักรพงษ์ ไชยรงค์ศรี	605
EC014	การออกแบบและวิเคราะห์กังหันลมสำหรับการใช้งานที่ความเร็วลมรอบต่ำ นายกรณ์ปกพ รัตนวิจิตร	611
EC015	การประเมินผลโครงการวางแผนพลังงานชุมชนในเขตภาคเหนือ นายประพิชาริ ธนารักษ์	623
EC016	ระบบการจัดการไมโครกิตเพื่อชุมชนชนบท มงคล บุญยุง	635

การนำเสนอโปสเตอร์ (PT)		หน้า
PT001	การวิเคราะห์การใช้พลังงานและจัดทำนโยบายการจัดการพลังงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง นายอดิศร ถมยา	647
PT002	กระบวนการการมีส่วนร่วมของผู้นำชุมชนต่อการจัดการพลังงานทางเลือกในท้องถิ่น จังหวัดอุบลราชธานี นางสาววิรอรอง ประสานวงศ์	652
PT003	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวทางการใช้พลังงานหมุนเวียน กรณีศึกษาจังหวัดอุบลราชธานี นางสาววิรอรอง ประสานวงศ์	661



EC012

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเกิดบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
Program Analysis of Shading Effect on Solar Module using Computer

อเนก ทอนสูงเนิน สมชัย ทิริญาโรตม

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 08-8082-2789

Email: Anake_12@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงา ในระบบโฟโตโวลตาอิก โดยแบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกสร้างขึ้น โดยการเชื่อมต่อจำนวน 36 เซลล์แบบอนุกรมในหนึ่งแผงเพื่อที่จะได้รับแรงดันไฟฟ้าใช้งานได้จริงตามความต้องการ การเกิดการบังเงาบางส่วน ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นับว่าเป็นส่วนหนึ่งในสาเหตุหลักของการเกิดความร้อนภายในเซลล์ทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการบังเงา งานวิจัยนี้ทำการทดสอบจริง ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับความเข้มแสงอาทิตย์จริงและสร้างสภาวะที่มีการบังเงาเกิดขึ้นบางส่วน โดยทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง ที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น ซึ่งจากการทดสอบ พบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้น จะขึ้นอยู่กับสัดส่วน ของจำนวนเซลล์ที่ถูกบังเงา กับจำนวนเซลล์ที่ได้รับความเข้มแสง กล่าวคือเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกการบังเงาร้อยละ 20 ของจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด เซลล์ที่ถูกบังเงาจะทำให้กำลังสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้นั้นลดลง เมื่อเพิ่มการบังเงาเป็นร้อยละ 40 จำนวนเซลล์ ทำให้กำลังสูงสุดที่ผลิตได้นั้นลดลงอีกต่อไป เมื่อเพิ่มการบังเงาอีกเรื่อยๆ กำลังไฟฟ้าก็ลดลงอีกเช่นกัน

คำสำคัญ: การบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์, ระบบโฟโต, โวลตาอิก, กำลังสูงสุด

1. บทนำ

การถูกบังเงาในแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อทุกเซลล์ ถ้าแต่ละเซลล์ไม่ได้รับพลังงานแสงในปริมาณที่เท่ากัน เซลล์ทั้งหมดที่อยู่ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีเพียงไม่กี่เซลล์เท่านั้นที่สามารถทำงานได้ตามปกติ และเซลล์ที่ถูกบังเงาจะกลายเป็นโหลดหรือเป็นตัวรับกระแสจากเซลล์อื่น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ถ้าหากไม่มีการแก้ไขปัญหานี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะได้รับความเสียหายเป็นอย่างมาก [1] ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ เราไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาจากการบังเงานี้ได้เลย เช่น เมื่อเราติดตั้งบนหลังคาบ้าน ปัญหาที่คือการบังเงาอาจเกิดได้จากอาคารใกล้เคียง ซึ่งการบังเงาจะเกิดขึ้นหนึ่งวันเป็นบางช่วงเวลาเท่านั้น แต่มันก็จะเกิดขึ้นตลอดทั้งปีเช่นกัน ซึ่งเป็นปัญหาทางกายภาพ

ส่วนการศึกษาในหัวข้อนี้จะศึกษาผลกระทบเนื่องจากการบังเงาเพียงบางส่วน โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์จะถูกบังเงาในสัดส่วนที่ระดับต่างๆตั้งแต่ ถูกบังเงา ร้อยละ 10 จนถึงร้อยละ 100 ของพื้นที่ทั้งหมดในแผงเซลล์แสง-อาทิตย์และเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบังเงา

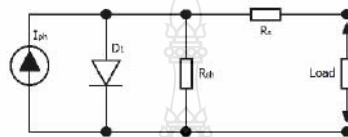
2. ทฤษฎี

2.1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

ในสมการที่ (1) แสดงถึงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชัน เอ็กโพเนนเชียล (exponential equation)

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \frac{q(V + IR_s)}{N \cdot K \cdot T} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

[2] แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมดูล (PV module) เป็นการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันให้เหมาะสมกับพิกัดแรงดันของแบตเตอรี่คือ 12 V ส่วนการต่อแบบขนานจะเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้า โดยแรงดันและกระแสของเซลล์

เซลล์ที่มีคุณสมบัติที่คล้ายกันจะนำมาเชื่อมต่อกันและห่อหุ้มในรูปแบบโมดูล ซึ่งในที่สุดก็มีการกำหนดรูปแบบเป็นบล็อก (Blocks) ขึ้นมา ใช้สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเริ่มตั้งแต่แรงดันสูงสุดของซิลิคอน 1 เซลล์ ซึ่งมีแรงดัน 600 mV นำมาต่ออนุกรมกัน 36 เซลล์ เพื่อให้ได้แรงดันในการประจุให้กับระบบขนาด 12 V ภายใต้ความเข้มแสงสูงสุด (100W/cm²) สร้างกระแสสูงสุดโดยประมาณ 30 mA/cm² โดยเซลล์จะถูกต่อขนานกันเพื่อให้เกิดกระแสสูงสุดดังสมการที่ (2)

$$I_{ph} = [I_{sc} + k(T - T_{ref})] \lambda \quad (2)$$

เมื่อ I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์ที่ 25°C (A)

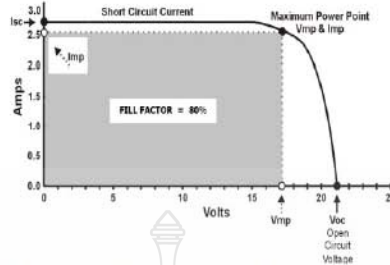
k คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสลัดวงจร (A/°C)

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์ (Kelvin)

λ คือ ความเข้มแสง (kW/m²)

2.2 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)

3) คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้โดยใช้ I-V curve ซึ่งใช้ตรวจสอบกำลังผลิตสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ หากอุณหภูมิของเซลล์และปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่สามารถสร้าง I-V curve ได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งจะมีจุดสำคัญที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเรียกว่า Maximum Power Point (MPP หรือ P_{max})

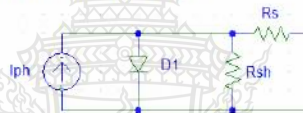


รูปที่ 2 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

ในการพิจารณาคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะต้องเกี่ยวข้องกับค่าต่อไปนี้แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร, กระแสขณะลัดวงจร, กำลังไฟฟ้าสูงสุด, กระแสไฟฟ้าสูงสุดและแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

3. การสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

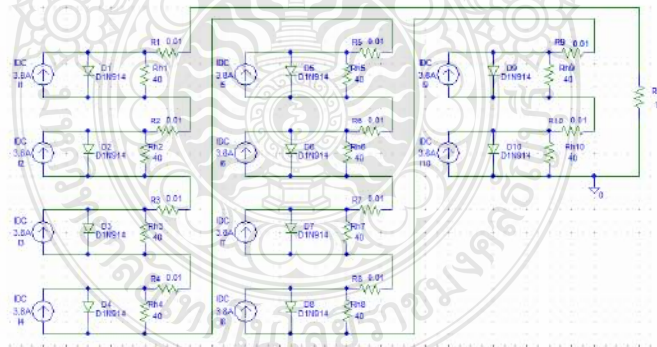
สร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม Pspice



รูปที่ 3 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 เซลล์

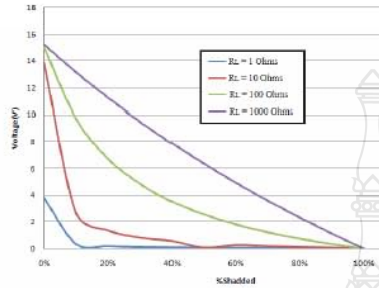
3.1 การสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ 10 เซลล์ต่ออนุกรมกัน

สร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 เซลล์ต่ออนุกรมกัน แล้วจำลองการเกิดการบังเงาตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 100 ดังรูปที่ 4

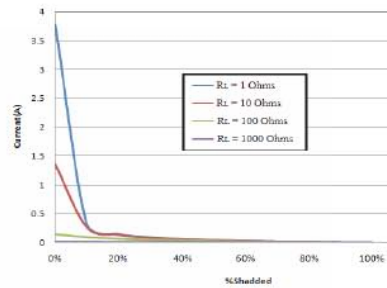


รูปที่ 4 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 เซลล์ต่ออนุกรมกัน

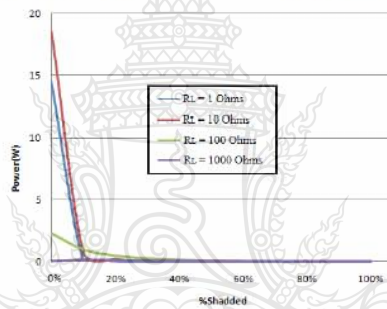
จากแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 เซลล์ต่อกันแล้วจำลองการเกิดการบังเงาตั้งแต่ ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 100 โดยใช้โหลด R_L มีค่า ตั้งแต่ 0.01 Ohms, 0.1 Ohms, 1 Ohms, 10 Ohms, 100 Ohms, 1k Ohms และ 10k Ohms ตามลำดับได้ผลการ Simulations ดังรูปที่ 5-7



รูปที่ 5 ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากการบังเงา



รูปที่ 6 ค่ากระแสไฟฟ้าเอาต์พุตจากการบังเงา



รูปที่ 7 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตจากการบังเงา

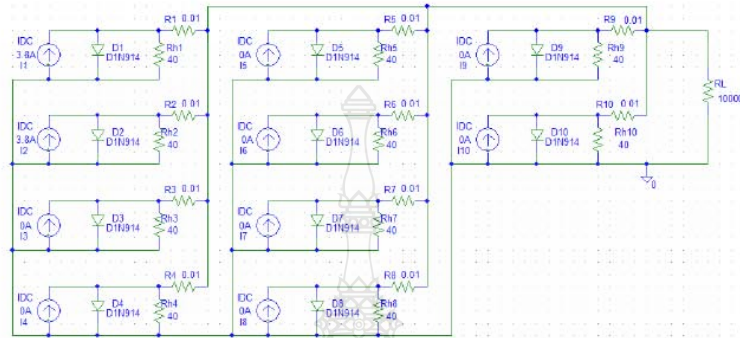
จากการสร้างแบบจำลองในหัวข้อ 3.1

รูปที่ 5 เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด R_L มีค่า 1 Ohms - 10k Ohms จะเห็นว่าเมื่อเกิดการบังเงาขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 ค่าแรงดันไฟฟ้าจะลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่การลดลงของแรงดันนั้น จะดูสม่ำเสมอและเป็นเส้นตรงมากที่สุด เมื่อค่าโหลด R_L มีค่าน้อยที่สุดคือ 1 Ohms

รูปที่ 6 เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด R_L มีค่า 1 Ohms - 10k Ohms จะเห็นว่าเมื่อเกิดการบังเงาขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 ค่ากระแสไฟฟ้าจะลดลงอย่างต่อเนื่องในลักษณะเป็นเส้นตรงในช่วงแรก คือช่วงเริ่มบังเงาจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 10 จากนั้นการลดลงของกระแสจะลดลงอย่างช้าๆ

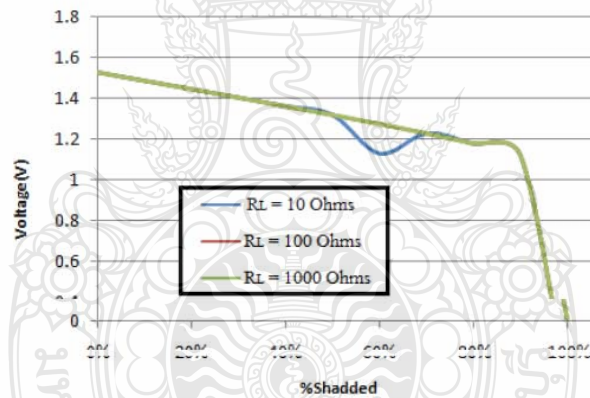
รูปที่ 7 เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด R_L มีค่า 1 Ohms - 10k Ohms จะเห็นว่าเมื่อเกิดการบังเงาขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 ค่ากำลังไฟฟ้าจะลดลงในลักษณะเช่นเดียวกับค่ากระแสไฟฟ้ารูปที่ 6 คือ ช่วงเริ่มบังเงาจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 10 จากนั้นการลดลงของกำลังไฟฟ้าจะลดลงอย่างช้าๆ

3.2 การสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ 10 เซลล์ต่อขนานกัน
สร้างแบบจำลองของเซลล์เซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 เซลล์ต่ออนุกรมกันและต่อบายพาสไดโอดทุกเซลล์
แล้วจำลองการเกิดการบังเงาตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 100 ดังรูปที่ 8

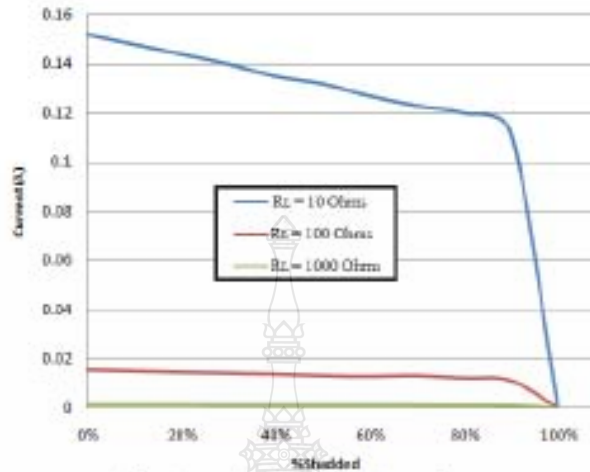


รูปที่ 8 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 เซลล์ต่อขนานกัน

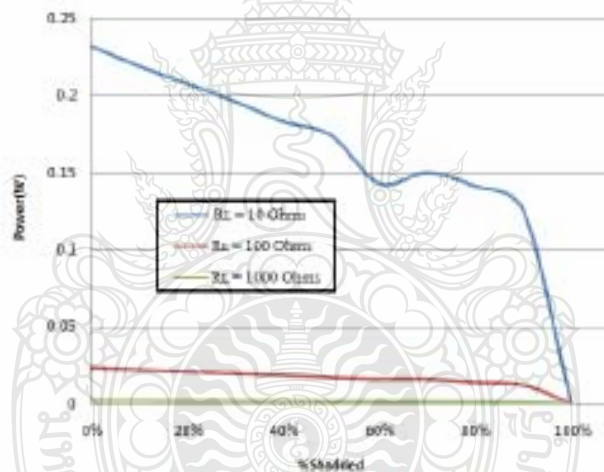
ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 100 โดยใช้โหลด R_L มีค่า ตั้งแต่ 0.01 Ohms, 0.1 Ohms, 1 Ohms, 10 Ohms, 100 Ohms, 1k Ohms และ 10k Ohms ตามลำดับได้ผลการ Simulations ดังรูปที่ 9-13



รูปที่ 9 ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทเมื่อต่อเซลล์



รูปที่ 10 ค่ากระแสไฟฟ้าในเวลาที่จุดเมื่อตัดเซมิคอนดักเตอร์



รูปที่ 11 ค่ากำลังไฟฟ้าในเวลาที่จุดเมื่อตัดเซมิคอนดักเตอร์

จากการสร้างแบบจำลองในหัวข้อ 3.2

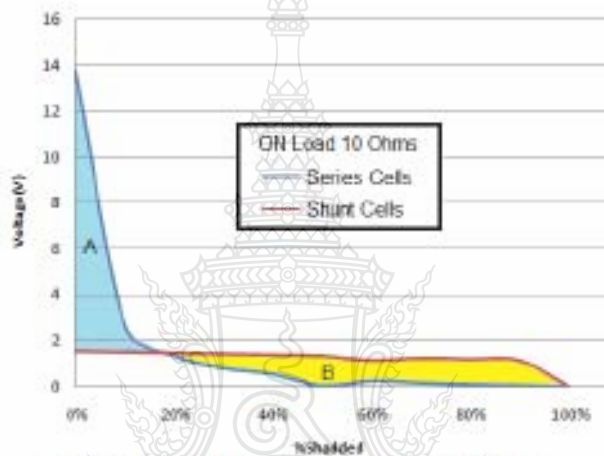
รูปที่ 9 เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด R_L มีค่า 10 Ohms, 100 Ohms และ 1k Ohms จะเห็นว่าเมื่อเกิดการบังเงาขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 ค่าแรงดันไฟฟ้าจะลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่การลดลงของแรงดันนั้น จะดูชันบ้างและจะเป็นเส้นตรงมากที่สุด เมื่อเทียบกับการตอบสนองของแอมพลิจูด ค่าโหลด R_L ที่เปลี่ยนไปก็ไม่มีการต่อค่าแรงดัน

รูปที่ 10 เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด R_L มีค่า 10 Ohms, 100 Ohms และ 1k Ohms จะเห็นว่าเมื่อเกิดการบังเงาขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 ค่ากระแสไฟฟ้าจะลดลงอย่างต่อเนื่องในลักษณะเป็นเส้นตรง

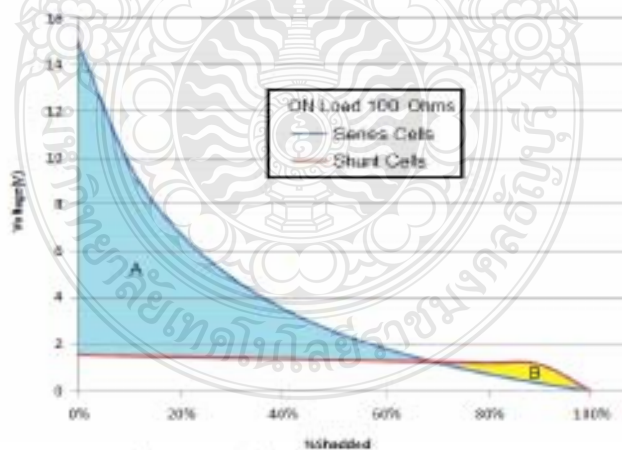
เหมือนกับค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 9 แต่ค่าโหลด R_L ที่เปลี่ยนไปมีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าคือ ยิ่งค่าโหลด R_L มีค่ามากขึ้น ค่ากระแสก็จะน้อยลง

รูปที่ 11 เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด R_L มีค่า 10 Ohms, 100 Ohms และ 1k Ohms จะเห็นว่าเมื่อเกิดการบังเงาขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 ค่ากำลังไฟฟ้าจะลดลงอย่างต่อเนื่องในลักษณะเป็นเส้นตรง เหมือนกับค่ากระแสไฟฟ้าในรูปที่ 10 แต่ค่าโหลด R_L ที่เปลี่ยนไปมีผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าคือ ยิ่งค่าโหลด R_L มีค่ามากขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าก็จะน้อยลง

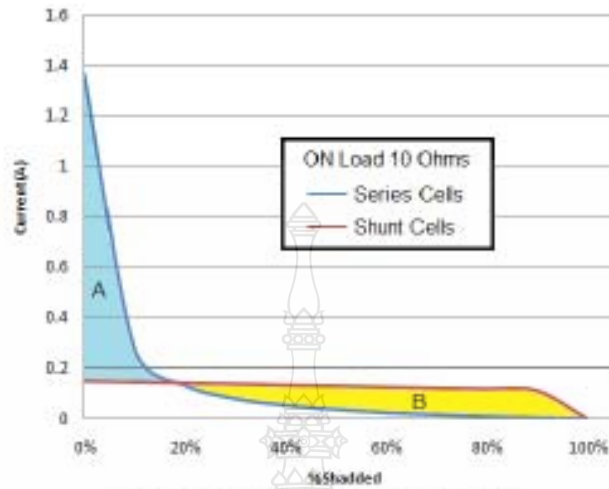
3.3 เปรียบเทียบผลจากการบังเงาจากการต่อเซลล์ต่ออนุกรมและแบบขนาน
เปรียบเทียบผลจากการบังเงาจากการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนาน ได้ดังรูปที่ 12-17



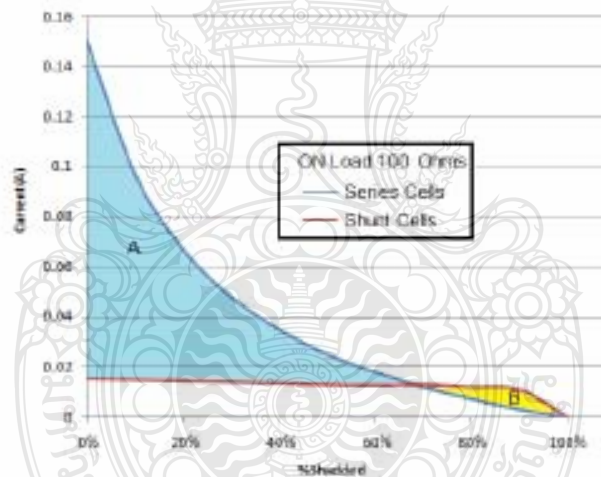
รูปที่ 12 ค่าแรงดันไฟฟ้า เมื่อต่อเซลล์ต่ออนุกรมและขนาน (10 Ω)



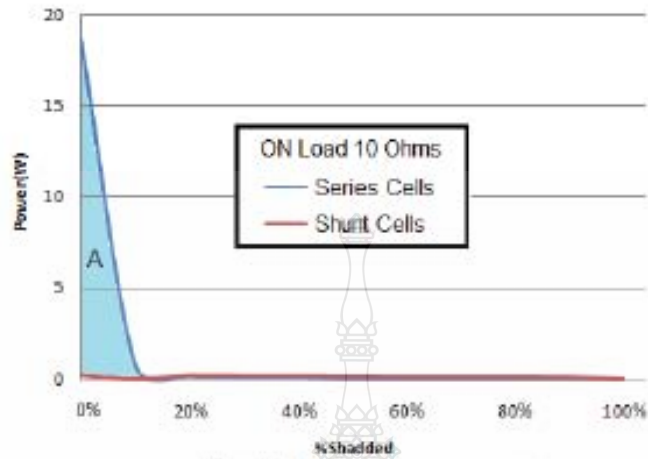
รูปที่ 13 ค่าแรงดันเมื่อต่อเซลล์ต่ออนุกรมและขนาน (100 Ω)



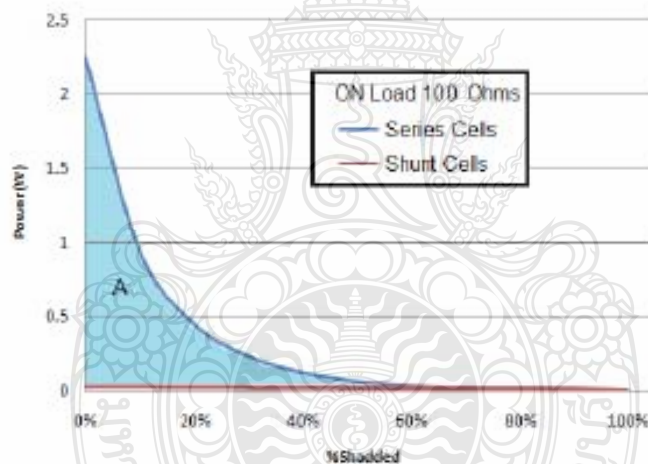
รูปที่ 14 ค่ากระแสเมื่อมีเซลล์ต่ออนุกรมและขนาน (10 Ω)



รูปที่ 15 ค่ากระแสเมื่อมีเซลล์ต่ออนุกรมและขนาน (100 Ω)



รูปที่ 16 ค่ากำลังเมื่อปิดเซลล์สุ่มรวมและขนาด (10 Ω)



รูปที่ 17 ค่ากำลังเมื่อปิดเซลล์สุ่มรวมและขนาด (100 Ω)

เปรียบเทียบผลจากการนำเงาจากการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนาน

รูปที่ 12 และ 13 เป็นการเปรียบเทียบผลจากการนำเงาจากการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนานโดยพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด R_L มีค่า 10 Ohms และ 100 Ohms ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเกิดการบังเงาขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 ค่าแรงดันไฟฟ้าของการต่อเซลล์แบบอนุกรมจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการต่อเซลล์แบบขนาน

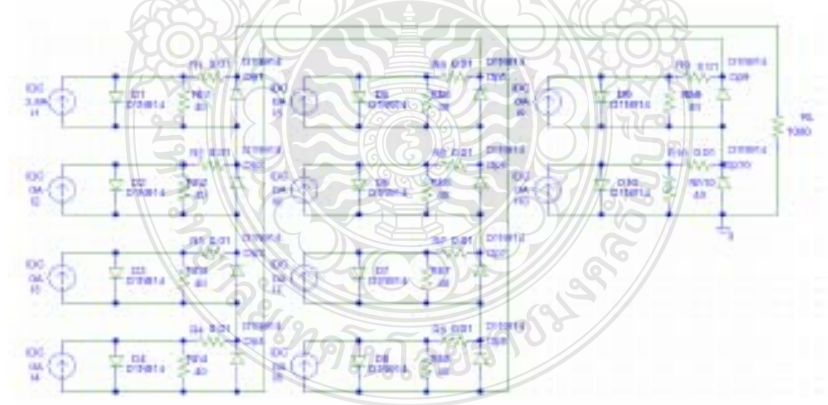
รูปที่ 14 และ 15 เป็นการเปรียบเทียบผลจากการนำเงาจากการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนานโดยพิจารณาค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด R_L มีค่า 10 Ohms และ 100 Ohms ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเกิดการบังเงาขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 ค่ากระแสไฟฟ้าของการต่อเซลล์แบบอนุกรมจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการต่อเซลล์แบบขนาน

รูปที่ 16 และ 17 เป็นการเปรียบเทียบผลจากการนำเงาจากการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนานโดยพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด R_L มีค่า 10 Ohms และ 100 Ohms ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเกิดการบังเงาขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 ค่ากำลังไฟฟ้าของการต่อเซลล์แบบอนุกรมจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการต่อเซลล์แบบขนาน

ดังนั้น เราสามารถสรุปได้ว่าผลกระทบขบชกรบังเงานั้นจะมีผลมากสำหรับการต่อเซลล์แบบอนุกรมมากกว่าการต่อเซลล์แบบขนาน แต่อย่างไรก็ตามค่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งออกมาถึงโหลดนั้นการต่อเซลล์แบบอนุกรมสามารถที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้านอกมาได้มากกว่าแบบขนานมาก การพิจารณารูปที่ 16 และ 17 ถ้าโหลดไม่ต้องการกำลังไฟฟ้ามากเราสามารถต่อเซลล์แบบขนานผลกระทบที่เกิดจากการบังเงาก็แทบจะไม่มีผลกระทบมาก แต่ในความเป็นจริงแล้วเราต้องการให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงมาก ถึงมากที่สุด ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จึงต้องต่อเซลล์แบบอนุกรม ซึ่งการต่อแบบอนุกรมนั้นแน่นอน การบังเงามีผลกระทบต่อเซลล์แบบอนุกรมมากกว่าการต่อแบบขนาน โหลดข้อที่ 3.4 จึงนำเสนอวิธีการลดผลกระทบจากการบังเงาของการต่อเซลล์แบบอนุกรมให้น้อยลง โดยการต่อ Bypass Diode

3.4 การสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มี 10 เซลล์ต่ออนุกรมกันและต่อบายพาสไดโอดทุกเซลล์

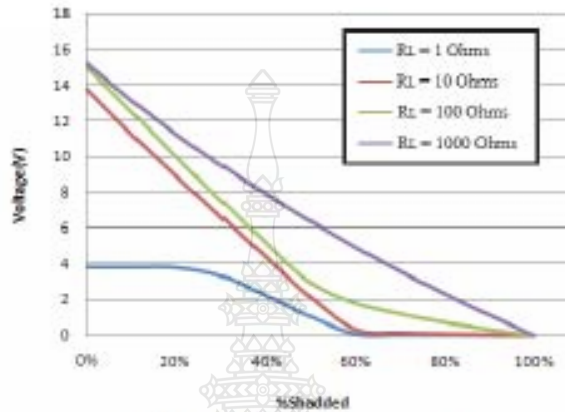
สร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 เซลล์ต่ออนุกรมกันและต่อบายพาสไดโอดทุกเซลล์ แล้วจำลองการเกิดการบังเงาตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 100 ดังรูปที่ 18



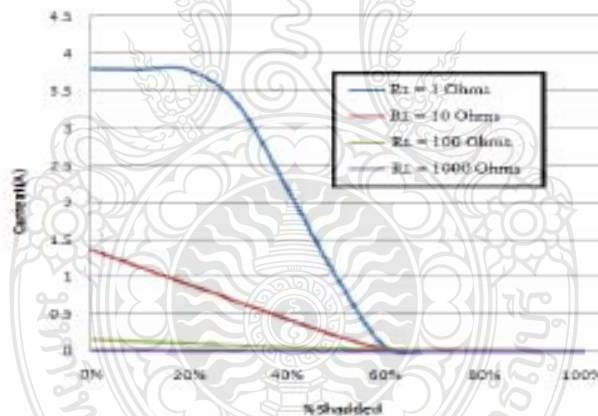
รูปที่ 18 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 เซลล์ต่ออนุกรมกันและต่อบายพาสไดโอดทุกเซลล์



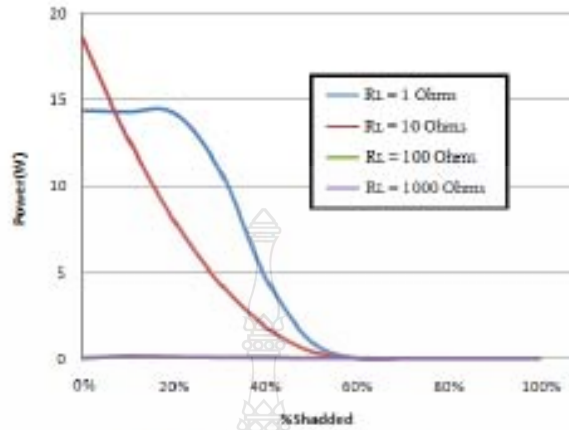
จากแบบจำลองของเซมิคอนดักเตอร์และฮาร์ดแวร์จำนวน 10 เซมิคอนดักเตอร์และพ่วงเอาต์พุตไฮโดรเจนเซลล์ แล้วจำลองการเกิดการบังเงาตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 100 โดยโหลด R_L มีค่า ตั้งแต่ 0.01 Ohms, 0.1 Ohms, 1 Ohms, 10 Ohms, 100 Ohms, 1k Ohms และ 10k Ohms ตามลำดับ ได้ผลการ Simulations ดังรูปที่ 19-21



รูปที่ 19 ค่าแรงดันไฟฟ้า แยกจุดจากการบังเงา



รูปที่ 20 ค่ากระแสไฟฟ้า แยกจุดจากการบังเงา



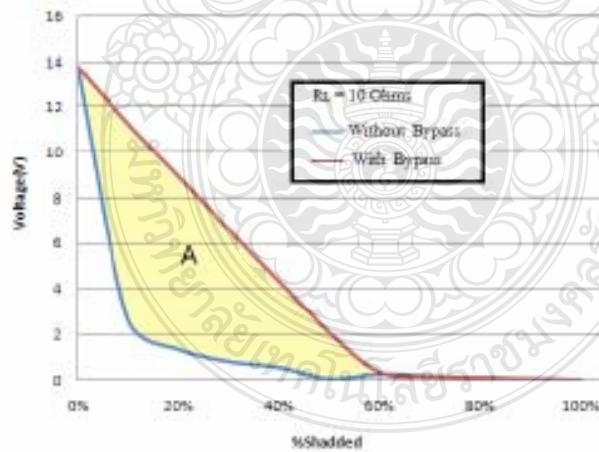
รูปที่ 21 ค่ากระแสไฟฟ้าที่สูญเสียจากการบังเงา

รูปที่ 19, 20 และ 21 เป็นการแสดงผลจากการบังเงาจากการต่อเซลล์แบบอนุกรมและต่อสายพาสไดโอดทุกเซลล์

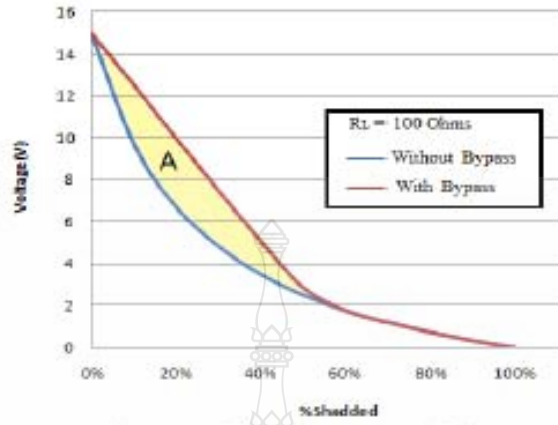
โดยแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าตามลำดับ เราสังเกตได้ว่าเมื่อต่อสายพาสไดโอดทุกเซลล์แล้ว ค่าแรงดันแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าตามลำดับ จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น

3.5 เปรียบเทียบผลการบังเงาจากสายต่อเซลล์แบบอนุกรมระหว่างพิกัดกับแบบอนุกรมที่มีการต่อสายพาสไดโอดทุกเซลล์

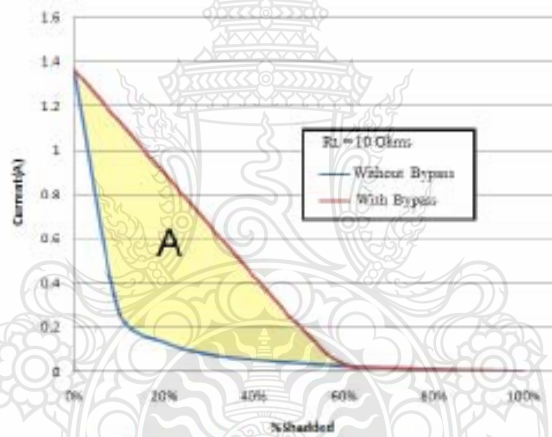
จากการทดลองในหัวข้อ 3.1 และ 3.4 นำผลการ Simulations มาเปรียบเทียบกัน แสดงดังรูป 22-27



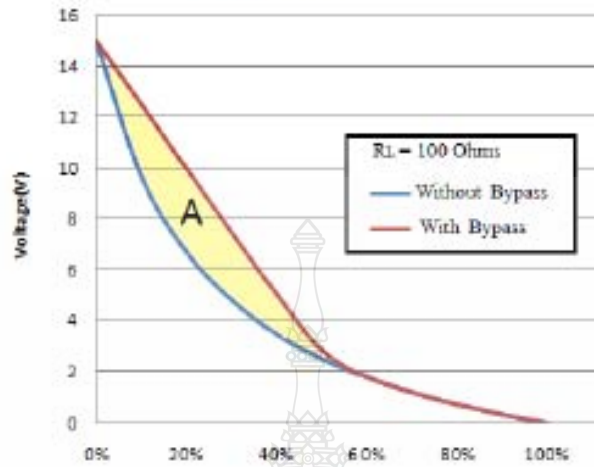
รูปที่ 22 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูญเสียเปรียบเทียบ(10 โอห์ม)



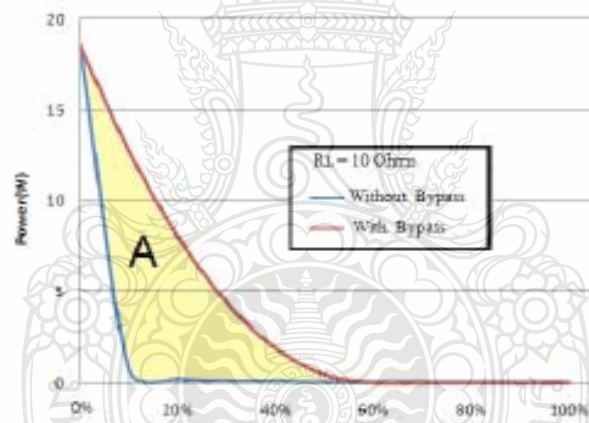
รูปที่ 23 ค่าแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่พดเปรียบเทียบกับ (100 โอห์ม)



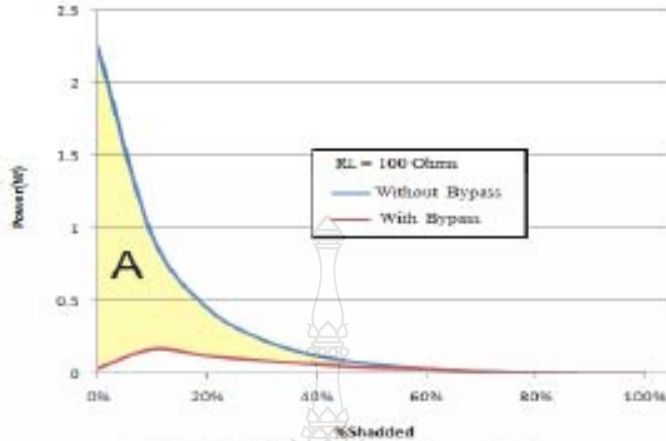
รูปที่ 24 ค่ากระแสไฟฟ้าในกรณีที่พดเปรียบเทียบกับ (10 โอห์ม)



รูปที่ 25 ค่าแรงดันไฟฟ้าในสายพ่วงเมื่อเทียบ (100 โอห์ม)



รูปที่ 26 ค่ากำลังไฟฟ้าในสายพ่วงเมื่อเทียบ (10 โอห์ม)



รูปที่ 27 ค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อโหลดเบี่ยงเบน(100 โอห์ม)

รูปที่ 26 และ 27 เราจะเห็นว่า การต่อบายพาสไดโอดนั้น สามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโหลด ได้มากขึ้นเกือบ 3 เท่า โดยดูจากพื้นที่ A ในรูปที่ 26 และ 27 แต่อย่างไรก็ตาม การต่อบายพาสไดโอดนั้นจะช่วยได้ตั้งแต่ช่วงการบังเงาร้อยละ 10 ถึง 60 เท่านั้น จากรูปที่ 22-27 เราจะเห็นว่า เมื่อเกิดการบังเงาร้อยละ 60 ขึ้นไปนั้น การต่อบายพาสไดโอดนั้น จะไม่มีผลเลย

4. สรุป

จากการสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยการนำเซลล์ 10 เซลล์มาต่ออนุกรมกัน แล้วทำการบังแสงที่ระดับต่างๆตั้งแต่ ถูกบังเงาร้อยละ 10 จนถึง ร้อยละ 100 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลคือค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการต่อเซลล์แบบขนานกัน 10 เซลล์แล้วทำการบังเงา แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากการบังเงานั้นมีผลกระทบต่อทั้งการต่อเซลล์แบบอนุกรมมากกว่าแบบขนาน แต่การต่อเซลล์แบบขนานนั้นการผลิตกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์มีค่าเฉลี่ยมาก เมื่อเทียบกับ การต่อแบบอนุกรม ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยมากจะต่อเซลล์แบบอนุกรม ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดจากการบังเงาโดยวิธีการต่อบายพาสไดโอดจากเซลล์ที่ต่ออนุกรมกัน ซึ่งผลก็คือทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้นเกือบสามเท่า แต่การต่อบายพาสไดโอดก็มีข้อจำกัดคือถ้าแผงเซลล์เกิดการบังเงาร้อยละ 60 ขึ้นไป การต่อบายพาสไดโอดก็จะไม่สามารถทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มสูงได้สัก

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.Ramaprabha and Dr.B.L.Moithur, Impact of Partial Shading on Solar PV Module Containing Series Connected Cells, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No. 7, November 2009
- [2] เพรณิดิธ อัมภีระ และ วิจัย ทรัพย์ธีรภัทร์ "แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของห้องโปรแกรม Matlab/Simulink แบบกึ่งแนวๆ" การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบห้องจากพหุคูณระบบแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, พฤศจิกายน 2554
- [3] บุญยัง ปลั่งกลาง "PHOTOVOLTAIC SYSTEMS" มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล **ครั้งที่ ๖**

6th Electrical Engineering Network 2014
of Rajamangala University of Technology Conference

นวัตกรรมวิจัยแห่งเทคโนโลยี คอบสนองเออีซีด้านโครงข่ายพลังงาน
Technology Research Innovation for Responding to the Energy Network of AEC

Volume I

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)

๒๖ - ๒๘ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๗

ณ มาริไทม์ ปาร์คแอนสปารีสอร์ท จังหวัดกระบี่



ดำเนินโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนเดชะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร ทิมระศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวณิชลิต	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริณี โชติคุณศิริ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เป็ญณเฒ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร. เต็มดี หวังนิเทศน์	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร ชัยบุญศรีวัฒน์	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ คุณนพพรมาคุณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร. กายสิทธิ์ ภูมิพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โยหาว โยโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาลย์ ภูมิศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ ย่ำหาวัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวดี คุณเกษียร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัชกรณี ทรัพย์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ สาธุกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิศักดิ์พิศมัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย พิริพวง ไวยม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย ปะติงการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริณี ศรีนันทน์ศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธำมวดี เวียงวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวนีย์ นันทาโม	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ ชูภูมิธร	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมล ศรีถนงกิจพิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉวีรัตน์ คุณาเทพารณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉวีรุ่ง สัตยวงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติวัฒน์ อิ่มสงศ์ศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลวิภา น้าใบบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนสิริยา งามบุญสมพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลพันธ์ หวังชัยยศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรุตพงศ์ ภูมิธอสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เศรษฐาโมรศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ คำราม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัน ไร่ยศ คำรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนาวิภา อินท๊ะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจักษ์ ปิ่นนงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมล ชองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภาพยา ศักดิ์เรือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ ประชาทแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศ. เต็มดี โสภณ โยม	มหาวิทยาลัยสุรนารี

26-28 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี จังหวัดสุรินทร์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษชัย ศิลปวิจารณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สวัสดิศ คัมภนุช	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิรัช ทงรัตน์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย แดงเอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทง ลานธารถอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ ดารางษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภกฤติ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรารุช ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราวุฒิ กรุดพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พันธ์พงศ์ อภิชาติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ พงษ์พฤกษ์ธาตุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมคิด ลีลาชนะชัยพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร. วุทธิ วิชกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อาจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ฉัตรชัย สุขพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.พฤษยน นินทนาวงศา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ศิริชัย เจริญล้ำเลิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.วิเชียร ตูบแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.สุริยา แก้วอำมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.กฤตยา สมสัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.พรเทพ บุญญาแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.พิชัย อยู่เปล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.เมธา ทิศกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.นำพน นีพัฒน์ใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.สันหวังนั ทองแดง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.เสกสรร พตสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.ณัฐโชติ รักรไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.พนา คูสีดากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ เดชพิง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.พินิจ สุวรรณกิจการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.อุมารินทร์ แสงพานิช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

26-28 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

C-II

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

อาจารย์พูนศรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์วรินทร์ ธีญศิริประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์จตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์อดิศักดิ์ วิยกรรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ธนารัตน์ ต้นมณีประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์อานนท์ สิงห์เสถียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์อภิภา ทองรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์นิลมิต นิลาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์พัชรินทร์ ศรีธนาอุทัยกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์มาลียา คังจิตเจษฎา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ธานี สมวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ปวีติ บุญมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์อานนท์ พ่วงชิงงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์วิสุทธิ์ คันคิรุ่งเรือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ชูศักดิ์ กมลขันดิธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์บุญช่วย เจริญผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์เอกพล อนุสุเรนทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์วินัย เมธาวิทิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์มงคล ค่านบำรุงตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์อดิศักดิ์ แข็งสารกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์โสภา แจ่มแจ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ศิสพล ฉ่ำเลี้ยงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์กาญจน์ญา พานิชเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ปรภณี ฟูไธระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ชาญยุทธ คูปัสโกศล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์พีรวัฒน์ มีสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์อภาพล มหาวิระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์นิกร แสงงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์คนโท ปานทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์อัมพร บุญราม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์พิทักษ์ สติฉวรธนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์กิติ มินา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ชัช สัตยรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ธีรพงษ์ ฉิมเพชร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ภราดร เรืองกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ศำณ ละเอียดโชค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทความสาขาไฟฟ้ากำลัง (PW)		หน้า
PW-G		
PW51	การศึกษาวิธีการลดสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูงโดยใช้โคโรนาซีลด์ส์ครึ่งวง กึ่งวง ถึงสุข วีรวัฒน์ มีสุข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	201
บทความสาขาพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)		
ES-A		
ES01	การออกแบบเคอร์เนลผสมสำหรับเรียนรู้แพทเทิร์นและพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว 'ทัศนัย พลอยสุวรรณ 'ยงยุทธ นารายณ์ 'ประสิทธิ์ ทิมพูนี 'ประมุขพงศ์ อัครทวีโชค 'มหาวิทยาลัยสยาม 'จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	205
ES02	การแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อต่อเข้ากับกริดระบบแหล่งจ่ายการไฟฟ้าสำหรับ ภาระใช้งานขนาดเล็กเฟสเดียว บุญเรือง วงศ์ลาบัตร์ เสถียร ธีชญศรีรัตน์ อัครพงษ์ อรุณศรี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	209
ES03	การจำลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์สามเฟสสำหรับประยุกต์ใช้กับกังหันลมเพื่อเชื่อมต่อกับ ระบบการไฟฟ้า 'ฐเกียรติ ทวี 'บุญเรือง วงศ์ลาบัตร์ 'เสถียร ธีชญศรีรัตน์ 'วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี 'สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	213
ES04	ศึกษาแหล่งกำเนิดแสงสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ สุทิพัฒน์ พานิชชานาคม มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์	217
ES05	ระบบเตือนภัยดินถล่มพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชน กิตติกร ชันแก้ว นภัทร จันทร์พุ่ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	221
ES06	แบบจำลองความสว่าง ณ จุดยอดฟ้า สำหรับทุกสภาพท้องฟ้า พื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย 'จักรกฤษณ์ จันทร์ศิริ 'สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ 'มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม 'มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	225
ES07	การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเกิดบั้งงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ อนเนก ทอนสูงเนิน สมชัย ทิรัญวโรคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	229

บทความวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเกิดบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

Program Analysis of Shading Effect on Solar Module using Computer

อเนก ทอนสูงเนิน¹และสมชัย หิรัญวารอดม²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110 โทรศัพท์: 08-8082-2789 E-mail: Anake_12@hotmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110 โทรศัพท์: 08-1843-3200 E-mail: hiranvarodom@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นงานนำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงา ในระบบโฟโตโวลตาอิก โดยแบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกสร้างขึ้น โดยการเชื่อมต่อจำนวน 36 เซลล์แบบอนุกรมในหนึ่งแผงเพื่อที่จะได้รับแรงดันไฟฟ้าใช้งานได้จริง ตามความต้องการ การเกิดการบังเงาบางส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นับว่าเป็นส่วนหนึ่งในสาเหตุหลักของการเกิดความร้อนภายในเซลล์ทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการบังเงา งานวิจัยนี้ทำการทดสอบจริง ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับความเข้มแสงอาทิตย์จริง และสร้างสถานะที่มีการบังเงาเกิดขึ้นบางส่วน โดยทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง ที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น ซึ่งจากการทดสอบ พบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้น จะขึ้นอยู่กับสัดส่วน ของจำนวนเซลล์ที่ถูกบังเงากับจำนวนเซลล์ที่ได้รับความเข้มแสง กล่าวคือเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกการบังเงาร้อยละ 20 ของจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด เซลล์ที่ถูกบังเงาจะทำให้กำลังสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้นั้นลดลง เมื่อเพิ่มการบังเงาเป็นร้อยละ 40 จำนวนเซลล์ ทำให้กำลังสูงสุดที่ผลิตได้นั้นลดลงอีกต่อไป เมื่อเพิ่มการบังเงาอีกเรื่อยๆกำลังไฟฟ้าก็ลดลงอีกเช่นกัน

คำสำคัญ: การบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์, ระบบโฟโตโวลตาอิก, กำลังสูงสุด

Abstract

This paper presents the study and analysis of shading effect on solar module. Due to the fact that a solar module consists of 36 cells connected in series to produce desired voltage. The partial shading effect causes the cumulative heat on shaded cells then the maximum power produced is really reduced. Accordingly, it is necessary to study of shading effect on solar module. In this research work, the solar modules are examined on partial shading effect with actual sun intensity and to be compared to the results of simulation by computer program. The experimental results are able to be stated that the power loss of solar module is based on the number of shaded cells. In fact, while the cells are approximately shaded of 20 percent, the maximum power produced is reduced. When shaded cells are increased to 40 percent, the maximum power produced is also reduced significantly.

Keywords: shading on solar cells, PV system, maximum power

26-28 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

1. บทนำ

การถูกบังเงาในแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อทุกเซลล์ ถ้าแต่ละเซลล์ไม่ได้รับพลังงานแสงในปริมาณที่เท่ากัน เซลล์ทั้งหมดที่อยู่ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีเพียงไม่กี่เซลล์เท่านั้นที่สามารถทำงานได้ตามปกติ และเซลล์ที่ถูกบังเงาจะกลายเป็นโหลดหรือเป็นตัวรับกระแสจากเซลล์อื่น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ถ้าหากไม่มีการแก้ไขปัญหานี้อาจเหมาะสมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะได้ความเสียหายเป็นอย่างมาก ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ เราไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาจากการบังเงาได้เลย เช่น เมื่อเราติดตั้งหลังคาบ้าน ปัญหาก็คือการบังเงาอาจเกิดได้จากอาคารใกล้เคียง ซึ่งการบังเงาจะเกิดขึ้นหนึ่งวันเป็นบางช่วงเวลาเท่านั้น แต่มันก็จะเกิดขึ้นตลอดทั้งปีเช่นกัน ซึ่งเป็นปัญหาทางกายภาพ [1]

ส่วนการศึกษานี้หัวข้อนี้จะศึกษาผลกระทบเนื่องจากการบังเงาเพียงบางส่วน โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์จะถูกบังเงาในสัดส่วนที่ระดับต่างๆตั้งแต่ ถูกบังเงา ร้อยละ 10 จนถึง ร้อยละ 100 ของพื้นที่ทั้งหมดในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบผลกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบังเงา

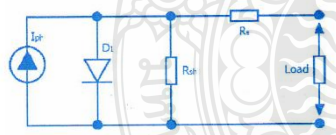
2. ทฤษฎี

2.1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

ในสมการที่ (1) แสดงถึงลักษณะทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชัน เอกซ์โพเนนเชียล (exponential equation)

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{V + IR_s}{N \cdot K \cdot T} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

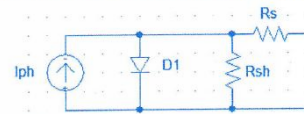
แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมดูล (PV module) เป็นกรนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันให้เหมาะสมกับพิกัดแรงดันของแบตเตอรี่คือ 12 V ส่วนการต่อแบบขนานจะเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้า โดยแรงดันและกระแสของเซลล์ [2]

เซลล์ที่มีคุณสมบัติที่คล้ายกันจะนำมาเชื่อมต่อกันและห่อ

หุ้มในรูปแบบโมดูล ซึ่งในที่สุด ก็มีการกำหนดรูปแบบเป็นบล็อกขึ้นมา ใช้สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเริ่มตั้งแต่แรงดันสูงสุดของซิลิคอน 1 เซลล์ ซึ่งมีแรงดัน 600 mV นำมาต่ออนุกรมกัน 36 เซลล์ เพื่อให้ได้แรงดันในการประจุ ให้กับระบบขนาด 12 V ภายใต้ความเข้มแสงสูงสุด (100W/cm²) สร้างกระแสสูงสุดโดยประมาณ 30 mA/cm² โดยเซลล์จะถูกต่อขนานกันเพื่อให้เกิดกระแสสูงสุด [3]

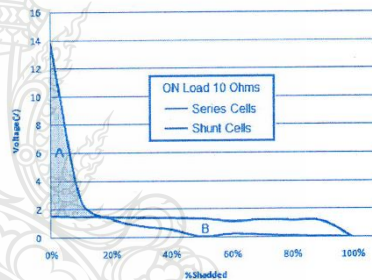
3. การสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

สร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย โปรแกรม Pspice

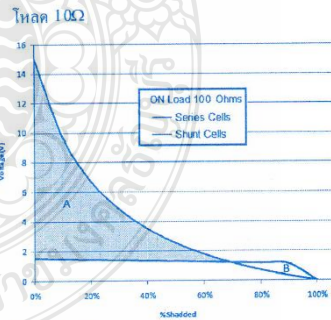


รูปที่ 2 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 เซลล์

3.1 เปรียบเทียบผลจากการบังเงาจากการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนาน



รูปที่ 3 ค่าแรงดันการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนาน เมื่อต่อกับ

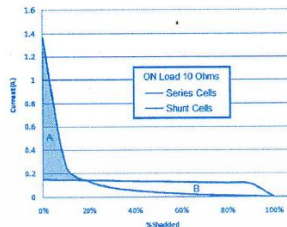


รูปที่ 4 ค่าแรงดันการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนาน เมื่อต่อกับ โหลด 100Ω

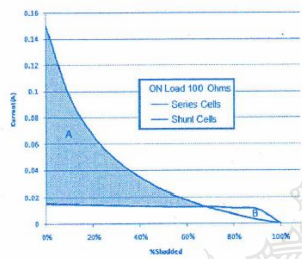
บทความวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

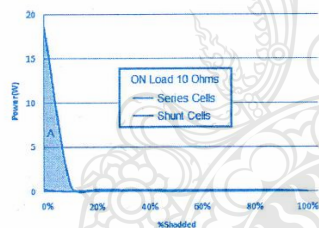
Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)



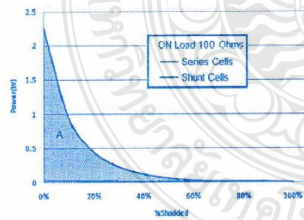
รูปที่ 5 ค่ากระแสการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนานเมื่อต่อกับโหลด 10Ω



รูปที่ 6 ค่ากระแสการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนานเมื่อต่อกับโหลด 100Ω

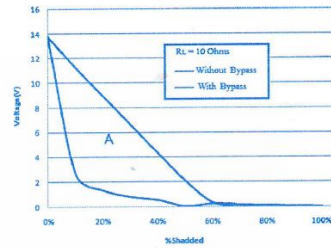


รูปที่ 7 ค่ากำลังไฟที่ทำการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนานเมื่อต่อกับโหลด 10Ω

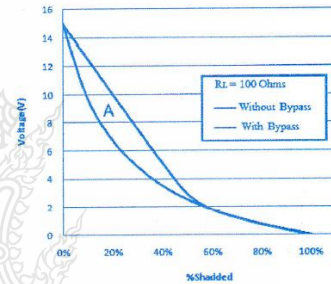


รูปที่ 8 ค่ากำลังไฟที่ทำการต่อเซลล์แบบอนุกรมและแบบขนานเมื่อต่อกับโหลด 100Ω

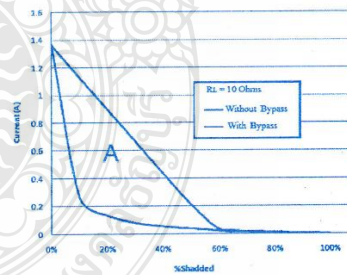
3.2 เปรียบเทียบผลการบ่งเงาจากการต่อเซลล์แบบอนุกรมธรรมดา กับแบบอนุกรมที่มีการต่อบายพาสไดโอดทุกเซลล์



รูปที่ 9 ค่าแรงดันจากการบ่งเงาโดยการต่อเซลล์แบบอนุกรมธรรมดา กับแบบอนุกรมที่มีการต่อบายพาสไดโอด เมื่อต่อกับโหลด 10Ω



รูปที่ 10 ค่าแรงดันจากการบ่งเงาโดยการต่อเซลล์แบบอนุกรมธรรมดา กับแบบอนุกรมที่มีการต่อบายพาสไดโอด เมื่อต่อกับโหลด 100Ω



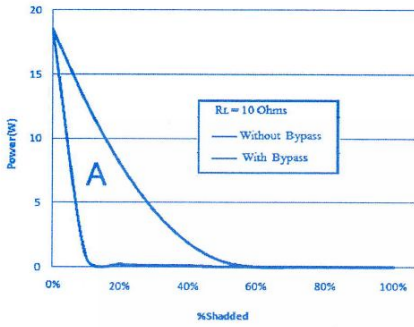
รูปที่ 11 ค่ากระแสจากการบ่งเงาโดยการต่อเซลล์แบบอนุกรมธรรมดา กับแบบอนุกรมที่มีการต่อบายพาสไดโอด เมื่อต่อกับโหลด 10Ω

26-28 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพมหานคร

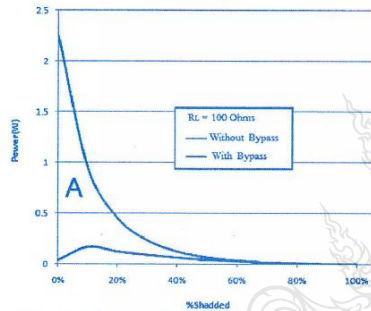
บทความวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology, 2014 (EENET 2014)



รูปที่ 12 ค่ากำลังจากการบังเงาโดยการต่อเซลล์แบบอนุกรมธรรมดา กับแบบอนุกรมที่มีการต่อบายพาสไดโอด เมื่อเทียบกับโหลด 10Ω



รูปที่ 13 ค่ากำลังจากการบังเงาโดยการต่อเซลล์แบบอนุกรมธรรมดา กับแบบอนุกรมที่มีการต่อบายพาสไดโอด เมื่อเทียบกับโหลด 100Ω

4. สรุป

จากการสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยการนำเซลล์ 36 เซลล์มาต่ออนุกรมกันแล้วทำการบังแสงที่ระดับต่างๆตั้งแต่ ถูกบังแสงร้อยละ 10 จนถึง ร้อยละ 100 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลคือค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการต่อเซลล์แบบขนานกัน 36 เซลล์แล้วทำการบังเงา แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากการบังเงานั้นมีผลกระทบกับการต่อเซลล์แบบอนุกรมมากกว่าแบบขนาน แต่การต่อเซลล์แบบขนานนั้นการผลิตกำลังไฟฟ้มาจากแผงเซลล์มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับขต่อแบบอนุกรม ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยมากจะต่อเซลล์แบบอนุกรม

ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดจากการบังแสง โดยวิธีการต่อบายพาสไดโอดทุกเซลล์ที่ต่ออนุกรมกัน ซึ่งผลคือทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้นเกือบสามเท่า แต่การต่อบายพาสไดโอดก็มีข้อจำกัดคือถ้าแผงเซลล์เกิดการบังแสงร้อยละ 60 ขึ้นไป การต่อบายพาสไดโอดก็ จะไม่สามารถทำให้การส่งกำลังไฟฟ้าเพิ่มสูงได้อีก

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.Ramaprabha and Dr.B.L.Mathur, Impact of Partial Shading on Solar PV Module Containing Series Connected Cells, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No. 7, November 2009
- [2] เคนนิคิดร อิมปริลา และ วันชัย ทรรศิณห์ “แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยโปรแกรม Matlap /Simulink แบบทันสมัย” การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทน ผู้ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, พฤศจิกายน 2554
- [3] S.R. Wenham, M.A. Green, M.E. Watt and R. Corkish, Applied photovoltaics, 2nd ed., Earthscan in the UK and USA in 2007
- [4] บุญยัง ปลั่งกลาง “PHOTOVOLTAIC SYSTEMS” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายอเนก นอนสูงเนิน กำลังศึกษา ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี ปัจจุบันทำงาน รับผิดชอบงาน รับผิดชอบงาน กำลัง วิชาลัยเทคนิคทองพูนคุณบุรีสุโข งานวิจัยที่สนใจ ระบบ ไฟโตโวลตาอิก พลังงานทดแทน



นายสมรัช หิรัญโรดม สำเร็จการศึกษาปริญญาเอก ณ Northumbria University ที่เมืองนิวคาสเซิล ประเทศอังกฤษ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ปัจจุบันทำหน้าที่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจ ระบบไฟโตโวลตาอิก ระบบไฟฟ้ากำลัง พลังงานทดแทน

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37
The 37th Electrical Engineering Conference
(EECON-37)

วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2557 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด

Vol.1
PW, PE



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
KHON KAEN UNIVERSITY





คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง (PW)

- | | |
|---------------------------------|--|
| ผศ. ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| รศ. ดร. ตฤณ แสงสุวรรณ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| อ. ดร. เชิดชัย ประภาณวรัตน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| ผศ. ดร. ชีรธรรม บุญยะกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| รศ. อำนวย สุขศรี | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| ผศ. ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผศ. ดร. สลิลทิพย์ สันธุสนธิชาติ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร |
| อ. ดร. ธนาธิป สุ่มอ้อม | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |
| รศ. ดร. กิรติ ขยะกุลศิริ | มหาวิทยาลัยศรีปทุม |
| ผศ. ดร. อาทิตย์ ไสตรโยม | มหาวิทยาลัยสยาม |
| ผศ. ดร. วิญญู แสงสิงนกสิกิจ | มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต |
| ผศ. ดร. วันชัย ฉิมฉวี | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย |
| รศ. บุญเลิศ สือเฉย | มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ |
| ผศ. ดร. นัฐโยติ รักไทยเจริญชีพ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ. ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| ผศ. ดร. นิตย์ เพ็ชรรักษ์ | มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต |
| ผศ. ธนากร น้ำหอมจันทร์ | มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย |
| ผศ. ดร. วิวัฒน์ ทิพย์จอร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| รศ. ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ |
| อ. ดร. จงลักษณ์ พาหะชา | มหาวิทยาลัยพะเยา |

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)

- | | |
|-----------------------------------|--|
| ผศ. เจ็ดสกุล โสภานิตย์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ผศ. ดร. ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ผศ. ดร. กุสุมาลย์ เฉลิมยานนท์ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| ผศ. ดร. สาคร โพธิ์งาม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| รศ. ดร. วิบูลย์ ชื่นแขก | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| ผศ. ดร. ปานหทัย บัวศรี | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| ผศ. ดร. วันชัย ทรัพย์สิงห์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



รศ. ดร. ไพบุลย์ นาคมหาชลาสินธุ์
รศ. ดร. เวณิน ปิยรัตน์
ผศ. วันชัย จันไกรผล
ผศ. ดร. ยงยุทธ นาราษฎร์
ผศ. อนุชิต เจริญ
ผศ. ดร. เกษม อุทัยใจฟ้า
ผศ. ชูเกียรติ พงษ์พานิช
อ. จตุรงค์ จตุรเจติชัยสกุล
อ. ยุทธนา จงเจริญ
ผศ. ชุตินันท์ อู่ยายโสเม
ผศ. ดร. อุเทน คำนำน
อ. ดร. สายชล ชุตเจือจิน
อ. ดร. ดำรงค์ อมรเดชาพล

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยสยาม
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยพะเยา

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร (CM)

รศ. ดร. วาทีต เบญจพลกุล
ผศ. ดร. วิกลม ธีรภาพจรจเรศ
ผศ. ดร. พินิจ กำหอม
ผศ. ดร. ชาดรี มัทธนาจาดุภัทร
ผศ. ดร. อาคม แก้วระวีง
อ. ดร. ไพฑูรย์ รักเหลือ
ผศ. ดร. สวัสดิ์ บุญยะเวศ
รศ. ดร. สมชาติ โขชัยธรรม
อ. ดร. กำพล วรดิษฐ์
รศ. ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม
พล.ท. ดร. สมพงษ์ ตุ่มสวัสดิ์
ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีพิมานวัฒน์
ผศ. ดร. สันต์ชัย รัตนนนท์
ผศ. ณัฐ จันท์ครบ
อ. ดร. ชัยพร เขมะภาดะพันธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยสยาม
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



อ. ดร. ศุภกิจ แก้วดวงตา
ผศ. นิพนธ์ ทางทอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (EL)

รศ. ดร. สมชัย รัตนธรรมพันธ์
ผศ. ดร. ชูเกียรติ การะเกตุ
รศ. ดร. ภาณุมาศ คำสัตย์
ผศ. ดร. กมล จิระศรีอมรกุล
ผศ. ดร. บัลลังก์ เนียมมณี
อ. ดร. สถาพร พรพรหมลิขิต
ผศ. ดร. อำนวย เรืองวารี
ผศ. ดร. ธีรยศ เรียงทอง
ผศ. ศิริพงษ์ ฉายสินธ์
อ. ดร. สันญา คุณขาว
ผศ. วิภาวัลย์ นาคทรัพย์
ผศ. สุภานันท์ ตันวรรณรักษ์
รศ. ดร. อธิพงษ์ชัย สายัณห์
ผศ. โกศล นิธิโสภา
อ. ดร. สุวิทย์ กิระวิทยา
ผศ. ดร. กฤษดา ยิ่งขยัน
ผศ. สุภณ พลสิงห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยสยาม
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด (CT)

ผศ. ดร. สุทิน อรรถสวัสดิ์วงศ์
ผศ. ดร. วินิจกร เลื่อนวารี
รศ. ดร. สุขสันต์ นุ่นงาม
ผศ. ดร. อานุกาฬ มีสมบุญณ์
อ. ดร. ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
ผศ. ดร. มานพ อ้อพิมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



- ผศ. ดร. ศุภชัย วรจพงษ์พิศุทธิ์
- อ. ดร. กฤษชัย วิถีพานิช
- ผศ. ดร. นิमित บุญภิรมย์
- อ. ณธธรรม เกิดสำอางค์
- ผศ. ดร. ศุภเชษฐ์ อินทร์เนตร
- รศ. ดร. เดชา พวงดาวเรือง
- ผศ. ดร. ณัฐพงศ์ พันธนะ
- อ. ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์
- รศ. ดร. โกศล โอฬารไพโรจน์
- อ. ดร. สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล

- มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- มหาวิทยาลัยศรีปทุม
- มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
- มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
- มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- มหาวิทยาลัยนเรศวร
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- มหาวิทยาลัยพะเยา

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (CP)

- ผศ. ดร. วันเฉลิม ไปรา
- รศ. ดร. มงคล รักษาพัชรวงศ์
- ผศ. ดร. ณัฐฐา จินดาเพ็ชร
- รศ. ดร. ช่างรัตน์ อมรรักษา
- รศ. ดร. วรา วราวิทย์
- อ. ดร. ศิริชัย เตรียมล้ำเลิศ
- ผศ. ดร. ธันวา ศรีประโม่ง
- ผศ. ดร. สมภพ รอดอัมพร
- อ. ดร. วรายุทธ์ แสนเงิน
- ผศ. ณัฐพร ฤทธิ์นุ้ม
- ผศ. น.อ. ไชโย ธรรมรัตน์ ร.น.
- ผศ. ทง ลานธารทอง
- อ. ดร. สุรเดช จิตประไพกุลศาล
- อ. ดร. ณรงค์เดช กิรติพรานนท์
- อ. ดร. ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล
- ผศ. ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์
- อ. ดร. พรเทพ ไรจนวาสุ

- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- มหาวิทยาลัยศรีปทุม
- มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
- มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- มหาวิทยาลัยนเรศวร
- มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- มหาวิทยาลัยพะเยา



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



สาขาวิศวกรรมระบบประมวลสัญญาณ (DS)

ผศ. ดร. สุภาวดี อร่ามวิทย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ. ดร. วุฒิพงศ์ อาริกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ. ดร. พรชัย พงษ์ภัทรานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ. ดร. บัณฑิต ทิพากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ดร. วิไลพร แซ่ลี้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ. ดร. วิระสิทธิ์ อัมถวิล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ. ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ. ดร. พิระพล ยุวภูษิตานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ. ดร. ปรีชา กอเจริญ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อ. ดร. ทศนัย พลอยสุวรรณ	มหาวิทยาลัยสยาม
อ. ชัยยุทธ จันทร์แจ่ม	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ. วรินทร์ วงษ์มณี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผศ. สมศักดิ์ สิธิไพราณานนท์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ. ดร. อัศวพันธ์ วงศ์กั้งแห	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ. ดร. บงการ หอมนาน	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
อ. ดร. นพดล มณีเสียว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อ. ดร. ธนาทิพย์ จันทร์คง	มหาวิทยาลัยพะเยา

สาขาวิศวกรรมไฟโตนิคส์ (PH)

รศ. ดร. ดวงฤดี วรสุชีพ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อ. ดร. พิสุทธิ รัตติกดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ. ดร. ประยุทธ์ อัศวเอกดาลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ. ดร. นันทกานต์ วงศ์เกษม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ. ดร. วิสิทธิ์ ล้อธรรมจักร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ. ดร. สมมาตร แสงเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ. ดร. วันชัย ไพจิตรโรจนา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อ. เอกชัย ตีศิริ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผศ. ดร. ธานัท รุ่งศิริธนะ	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รศ. สิทธิวิช ทัตสวน	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ. ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา	มหาวิทยาลัยนเรศวร



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)

ผศ. ดร. อากรณ ศรีมงคลรัมย์
ผศ. ดร. คุณิศา ธนเพทาย
รศ. บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา
ผศ. ดร. บุญยิ่ง เจริญ
อ. ดร. กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล
รศ. ดร. นกมล อุชายภิชาติ
ผศ. ดร. ชัยพันธ์ุ เจริญพงษ์
อ. เพชร นันทวิวัฒนา
อ. ดร. ศุภฤกษ์ มานิตพรสุทธิ์
ผศ. ดร. สมเกียรติ เพียงพรานทอง
ผศ. ดร. วรพล พงษ์เพ็ชร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

รศ. ดร. มานะ ศิริยุทธศักดิ์
ผศ. ดร. วชิระ จงบุรี
ดร. เกียรติศักดิ์ วงษ์โสพานกุล
ศ. ดร. โกสินทร์ จ่านงไทย
รศ. ไชยวัฒน์ สุวรรณชีวะศิริ
รศ. กิตติพงษ์ ตันมิตร
ผศ. ดร. สมชัย ธีระภูวโรตม
รศ. ดร. สุเจตน์ จันทร์ภักดิ์
รศ. ณรงค์ บวบทอง
ผศ. พิณิจ เทพสาธิต
ผศ. พศวีร์ ศรีโหมม
ผศ. ไวยพจน์ ศุภบวรเสถียร
อ. สุธี รุกขพันธ์ุ
อ. มนตรี ห่วงอาษา
ผศ. วิชัย แซ่ลี
ผศ. สมเกียรติ ทองแก้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยสยาม
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

PW022	การตรวจจับฮาร์มอนิกโดยใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ต สุรียา แก้วอาษา นครินทร์ ศรีปัญญา ล้ามน หลวงเสลาต และ กิตติ อัครกิมมงคล	141
PW023	การศึกษาคุณภาพไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กร 1 MW ต่อเข้ากับสายส่งการไฟฟ้า 22 kV ธีรวัฒน์ ผูกสมัคร และ บุญยัง ปลั่งกลาง	145
PW024	การควบคุมการจ่ายพลังงานจากตัวชดเชยแรงดันกลับคืนแบบพลวัตอย่างเหมาะสมโดยใช้การควบคุมแบบฟuzzyลอจิก มงคล คำนำรุ่งตระกูล และ ตฤณ แสงสุวรรณ	149
PW025	ผลกระทบจากบริเวณติดตั้งของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่มีต่อชั้นที่คาปาซิเตอร์ และคุณภาพไฟฟ้าของระบบจำหน่าย วิชชากร เสงศรีอวัช และ อวิชชัย เดชสุนันต์	153
PW026	การศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อทั้งหมวลผลิตไฟฟ้าในภาคใต้ พลอยพิมพ์ แก้วทอง วุฒิ วิชกุล กุศลมาลัย เฉลิมยานนท์ และ อนุวัตร ประเสริฐสิทธิ์	157
PW027	การควบคุมประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยหลักการควบคุมค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว และ ประสาน ติกที	161
PW028	การเปรียบเทียบวิธีการประมาณโหมลตมอเตอร์สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในสภาวะ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ ต่ำกว่าปกติ และไม่สมดุล กมลวิช บุรุษเวศน์ สลิลทิพย์ สินธุสนธิชาติ และ นนทวัฒน์ จุลเศษ	165
PW029	การปรับปรุงประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของโคมไฟถนน LED สมชาย เปียนสูงเนิน	169
PW030	Impacts of PV Generation on Static Voltage Stability in Distribution System Tong Duy Anh and Kulyos Audomvongseeree	173
PW031	การวิเคราะห์ผลกระทบจากปริมาณความเข้มแสงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK อนนท ทอนสูงเนิน และ สมชัย หิรัญโรตม	177
PW032	การส่งพลังงานไฟฟ้าสู่ระบบจ่ายกำลังไฟตรงสำหรับบ้านด้วยการควบคุมแรงบิดของจักรยานออกกำลังกาย วรภกต กาญจนโสภาก อุทัยวุฒ นนทสูงเนิน ชัยรัตน์ คำเรือง และ กิตติพันธุ์ เตชะกิตติโรจน์	181
PW033	การประเมินผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทบนหลังคาต่อแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ปาติดา คงธนคณากุล และ สุรชัย ชัยทัศน์ย์	185
PW034	การพัฒนาเครื่องวัดสำหรับหาขีดจำกัดการส่งกระแสแบบพลวัตของสายส่งไฟฟ้าแรงสูง อภิรักษ์ เจริญทรัพย์นันท์ และ เอกชัย สีสวรรค์	189
PW035	การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบต่อเข้าระบบกริด ภาณุพล ปิ่นรายนนท์ และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	193
PW036	การระบุเอกลักษณ์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว พีระ รัตน์ กอภิน อารีรักษ์ กอภล อารีรักษ์ และ โภศน ชัยเจริญอุดมรุ่ง	197
PW037	การออกแบบคอนโทรลฟังกชันสำหรับพยากรณ์ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวโดยกระบวนการเกาส์เซียน ทัศนัย พลอยสุวรรณ	201
PW038	การจัดวางตัวเก็บประจุอย่างเหมาะสมโดยใช้ NSPSO กฤติเดช บัวใหญ่ ประจวบ อินระวงศ์ ประเสริฐ เฝื่อนหมื่นไวย กิตติวุฒิ จีนนะบุตร และ กานท์ เกิดชื่น	205

การวิเคราะห์ผลกระทบจากปริมาณความเข้มแสงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK
Effect of Light Intensity Analysis on Solar Module using MATLAB/SIMULINK

อนุก ทอนสูงเนิน¹ และสมชัย หิริยวโรดม²

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี Anake161@gmail.com

²อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี hiranvarodom@yahoo.com

PW031

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นงานนำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบ จากปริมาณความเข้มแสงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยสาเหตุเกิดการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในระบบโฟโตโวลตาอิก โดยทั่วไป แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งแผงนั้น จะมีการต่อเซลล์แบบอนุกรมกัน ทั้งหมด 36 เซลล์เมื่อแต่ละเซลล์ได้รับความเข้มแสงที่สม่ำเสมอทุกเซลล์ ก็จะผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมา ที่ค่าหนึ่ง แต่เมื่อแต่ละเซลล์ได้รับความเข้มแสงที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากบางส่วนของถูกบังเงา จากสาเหตุใดๆก็ตาม

จากการทดสอบและการจำลอง โปรแกรม MATLAB/SIMULINK พบว่าเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกการบังเงาร้อยละ 20 ของจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด เซลล์ที่ถูกบังเงาจะทำให้กำลังสูงสุดที่ผลิตได้นั้นลดลง เมื่อเพิ่มการบังเงาเป็นร้อยละ 40 ทำให้กำลังสูงสุดที่ผลิตนั้นลดลงอีกต่อไป เมื่อเพิ่มการบังเงาอีกเรียกว่ากำลังไฟฟ้าก็ลดลงอีกเช่นกัน

คำสำคัญ : การบังเงาบนเซลล์แสงอาทิตย์, ระบบโฟโตโวลตาอิก, กำลังสูงสุด

Abstract

This paper presents the study and analysis of effect of light intensity caused by shading effect on solar modules. Due to the fact that a solar module consists generally of 36 cells connected in series to produce desired voltage. The partial shading effect causes the power loss on shaded cells then the maximum power produced is really reduced. Accordingly, it is necessary to analyze the shading effect on solar modules. In this research work, the solar modules are examined on partial shading effect with actual sun intensity and to be compared to the results from simulation by MATLAB/SIMULINK program. The experimental results are able to be addressed that the power loss of solar module is based on the number of shaded cells. In fact, while the solar cells are shaded of 20 percent approximately then the maximum power produced is reduced. When shaded cells are fully increased to 40 percent, the maximum power produced is also reduced significantly.

Keywords: shading on solar cells, PV system, maximum power

1. บทนำ

การถูกบังเงาในแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อทุกเซลล์ ถ้าแต่ละเซลล์ไม่ได้รับความเข้มแสงในปริมาณที่เท่ากัน เซลล์ทั้งหมดที่อยู่ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีเพียงไม่กี่เซลล์เท่านั้นที่สามารถทำงานได้ตามปกติ และเซลล์ที่ถูกบังเงาจะจ่ายพลังงานออกมาน้อยกว่าเซลล์อื่น ส่วนการศึกษานี้ เริ่มจากการ สร้างวงจรสมมูลของ แผง เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงซึ่งประกอบด้วยจำนวนเซลล์ 36 เซลล์ต่อแบบอนุกรม โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ตั้งค่าการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ทดสอบหากราฟเส้นโค้ง P-V และ I-V ขณะไม่มีโหลดและต่อโหลด จนถึงการบังเงาบนแผงเซลล์ตั้งแต่ การบังเงาร้อยละ 20 จนถึงร้อยละ 80 ขณะต่อ โหลดอยู่ และทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาวะจริงโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ของบริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E

ตารางที่ 1 ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Sharp รุ่น NE-80E2E

Parameters	Symbol	Min	Typ.	Unit
Open circuit voltage	V_{oc}	-	21.3	V
Maximum power voltage	V_{mp}	-	17.1	V
Short circuit current	I_{sc}	-	5.31	A
Maximum power current	I_{mp}	-	4.67	A
Maximum power	P_m	76.0	80.0	W
Encapsulated solar cell efficiency	η_c	-	14.0	%

2. เนื้อหา

2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module) เป็นการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันให้เหมาะสมกับพิกัดแรงดันของแบตเตอรี่ คือ 12 V ส่วนการต่อแบบขนานจะเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้า

$$I = n_p \cdot I_{ph} - n_p \cdot I_s \left[\exp\left(\frac{q \cdot V}{N \cdot K \cdot T \cdot n_s}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

เมื่อ n_p คือจำนวนเซลล์ต่อขนานและ n_s คือจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรม

2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการถูกบังเงาบางส่วน

จากสมการที่ 1 เมื่อต้องการเปรียบเทียบแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กับการทดสอบจริง จากคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Sharp รุ่น NE-80E2E ค่า $n_p = 1$ จะได้

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{q \cdot V}{N \cdot K \cdot T \cdot n_s}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

3. การกำหนดค่าพารามิเตอร์ภายในวงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการ กำหนดค่าพารามิเตอร์ภายในวงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะใช้ข้อมูลจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ามาตรฐานที่ส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้กัน ดังนี้

q คือประจุอิเล็กตรอน = $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

K คือค่าคงที่ของ Boltzman = $1.3806504 \times 10^{-23} \text{ J/Kelvin}$

E_g คือค่า Band gap energy of semiconductor = 1.115

และจากผลการทดสอบจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มแสง ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการทดสอบจริง

ค่าความเข้มแสง(W/m ²)	I _{sc} (A)	V _{oc} (V)
864	4.6	20.3
840	4.5	20.2

จากตารางที่ 2 นำค่าที่ได้มาประมาณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยเลือกใช้วิธีการนิวตันราฟสัน และได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม คือค่า

I_s คือค่ากระแสอิ่มตัวของไดโอดที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสง

และอุณหภูมิ $I_s = 1.83 \times 10^{-7} \text{ A}$

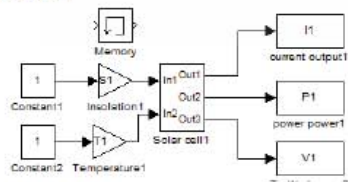
N คือค่า Ideality Factor $N = 1.1753$

R_s คือค่าความต้านทานอนุกรม $R_s = 0.0012 \Omega$

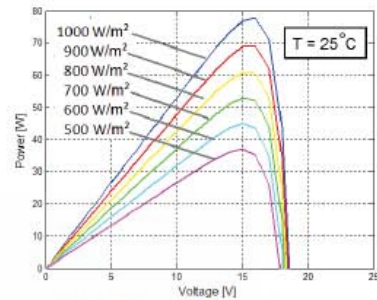
4. การสร้างแบบจำลองและการทดสอบเปรียบเทียบ

4.1 แบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

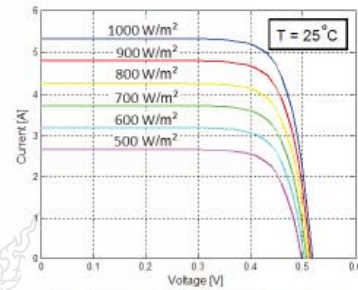
จากสมการที่ 2 สร้างแบบจำลอง ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากข้อ 3 และทำการ Simulation ได้ผลดังรูปที่ 1 ถึง 4



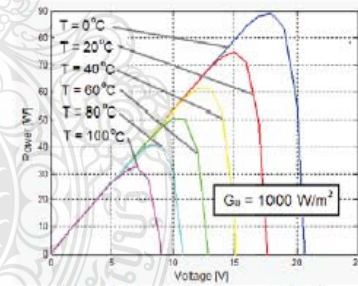
รูปที่ 1 แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง



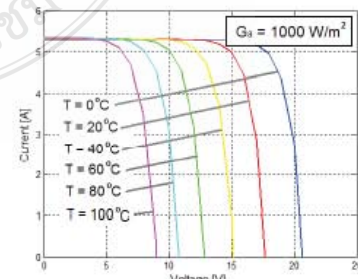
รูปที่ 2 เส้นโค้ง P-V ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน



รูปที่ 3 เส้นโค้ง I-V ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน



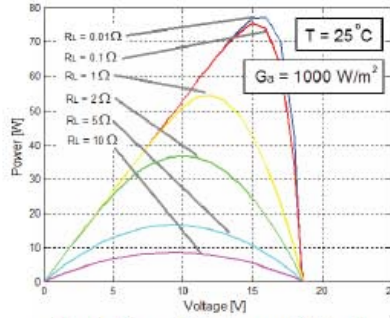
รูปที่ 3 เส้นโค้ง P-V ที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน



รูปที่ 4 เส้นโค้ง I-V ที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน

4.2 แบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่อโหลด

สร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากข้อ 3 และทำการSimulationได้ผลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เส้นโค้ง P-V เมื่อต่อโหลด RL ที่ค่าต่างกัน

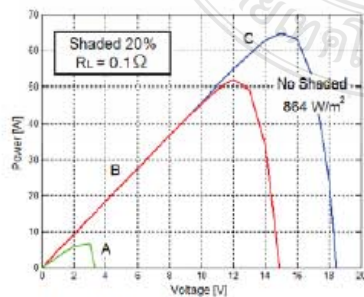
4.3 แบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดถูกบังเงา

ในการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สมการที่ 3 และข้อมูลในตารางที่ 3

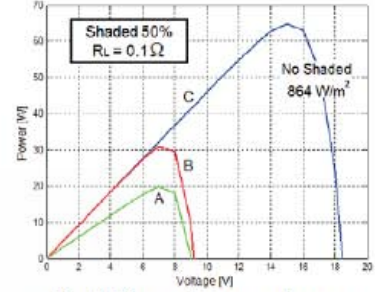
ตารางที่ 3 ความเข้มแสงของการแผ่รังสีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในสภาวะต่างๆ

สภาพอากาศ	ท้องฟ้าโปร่ง	ท้องฟ้ามีเมฆและหมอก	ท้องฟ้าครึ้ม
ความเข้มแสง	600-1000 W/m ²	200-400 W/m ²	50-150 W/m ²
ส่วนที่แผ่กระจาย	ร้อยละ 10-20	ร้อยละ 20-80	ร้อยละ 80-100

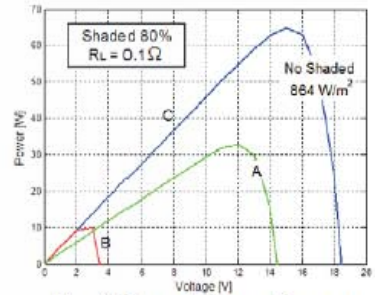
จากตารางที่ 3 ในการสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการทดสอบจริงนั้นต้องทดสอบในสภาวะจริงก่อนแล้วนำค่าที่วัดได้ในสภาวะนั้น มากำหนดลงในแบบจำลองแล้วเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งในสภาวะจริงท้องฟ้าโปร่งนั้น วัดค่าความเข้มแสงได้ 864 W/m² และในส่วนที่มีการถูกบังเงานั้น วัดค่าความเข้มแสงได้ 557 W/m² ในการสร้างแบบจำลองจะใช้ค่าความเข้มแสงข้างต้น มาสร้างเป็นแบบจำลอง โดยต่อโหลดที่มีค่าความต้านทาน 0.1 Ω



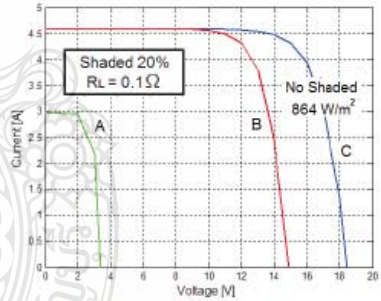
รูปที่ 6 เส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงา ร้อยละ 20



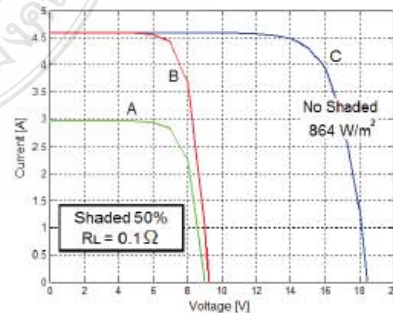
รูปที่ 7 เส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงา ร้อยละ 50



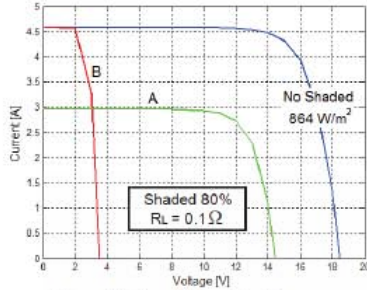
รูปที่ 8 เส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 80



รูปที่ 9 เส้นโค้ง I-V เมื่อมีการบังเงา ร้อยละ 20



รูปที่ 10 เส้นโค้ง I-V เมื่อมีการบังเงา ร้อยละ 50



รูปที่ 11 เส้นโค้ง I-V เมื่อมีการบังเงาร้อยละ 80

จากรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 11 แสดงเส้นโค้ง P-V เมื่อมีการบังเงาเกิดขึ้นระหว่างร้อยละ 20 และ ร้อยละ 80 ในเส้นโค้ง C (สีน้ำเงิน) คือเส้นโค้งที่ไม่เกิดการบังเงาเลย ทั้งเซลล์ 36 เซลล์ได้รับความเข้มแสงที่ค่าความเข้มแสงประมาณ 864 W/m² ในเส้นโค้ง A (สีเขียว) คือส่วนที่เกิดการบังเงาซึ่งค่าความเข้มแสงจากการทดสอบจริงมีค่า 557 W/m² เส้นโค้ง B (สีแดง) คือเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนที่ไม่ได้ถูกบังเงา จะเห็นว่าเส้นโค้ง B กับเส้นโค้ง C นั้นในช่วงที่แรงดันมีค่าไม่มาก ทั้ง 2 เส้นซ้อนทับกันอยู่ ซึ่งหมายถึงว่า 2 ส่วนนี้ได้รับค่าความเข้มแสงที่เท่ากัน ส่วนเส้นโค้ง A ได้รับค่าความเข้มแสงที่น้อยกว่า (รูปที่ 9 ถึงรูปที่ 14 การบังเงาที่ร้อยละ 40 และร้อยละ 60 ไม่ได้แสดงไว้ แต่ได้ทำการทดลองไว้แล้ว

จากรูปที่ 9 ถึงรูปที่ 14 เปลี่ยนค่าโหลด RL เป็น 1 Ω และ 10 Ω และทำการทดสอบให้เกิด การบังเงาระหว่างร้อยละ 20 และร้อยละ 80 พร้อมเปรียบเทียบผลจากการทดสอบจริงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การทดสอบการบังเงาร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 80

ค่าโหลด RL (Ω)	ร้อยละการบังเงา	ผลจากแบบจำลองกำลัง (W)	ผลจากการทดสอบกำลัง (W)	ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
0.1	20	52	51.7	0.58
	40	38	38.2	0.52
	60	24	23.8	0.84
	80	33	33.1	0.3
1	20	36	35.8	0.56
	40	24	24.5	2.04
	60	18	18.2	1.09
	80	26	25.7	1.167
10	20	6	6.1	1.6
	40	3	2.9	3.44
	60	2	2.1	4.76
	80	3	2.9	3.44

5. สรุป

จากการทดสอบการบังเงาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลของเซลล์ที่ถูกบังเงากับเซลล์ที่ได้รับแสงเต็มที่ สัดส่วนของกำลังที่ส่งออกมานั้นขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงกับจำนวนเซลล์ ของส่วนที่ถูกบังเงากับส่วนที่

ไม่ได้ถูกบัง ในส่วนที่ถูกบังเงาน้อยกว่าร้อยละ 50 นั้น กำลังที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าส่วนที่ไม่ได้ถูกบังเงา แต่ถ้าเกินร้อยละ 50 ขึ้นไป กำลังที่ได้จะมีค่ามากกว่า แต่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าจะมีค่ามากกว่าที่ร้อยละเท่าไร เพราะขึ้นอยู่กับปริมาณค่าความเข้มแสงของส่วนที่ถูกบังเงา และจำนวนเซลล์ที่ถูกบังเงาคือ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทุกท่าน และคณะกรรมการวิชาการช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคหลวงพ่อกุ่ม ปรีสุทโธ ที่ได้สนับสนุน ข้อมูลเพื่อใช้ศึกษาวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.Ramaprabha and Dr.B.L.Mathur, Impact of Partial Shading on Solar PV Module Containing Series Connected Cells International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No.7, November 2009
- [2] เชนนิศรธรมปริศาและ วันชัยทรัพย์สิงห์ “แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink แบบทวนเวลา” การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4, พฤศจิกายน 2554
- [3] บุญยั้งปลั่งกลาง “PHOTOVOLTAIC SYSTEMS” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553
- [4] เอกอรรถระการ, วิวัฒน์วิดิชัย และ ชูรัชชวิจิตรภิรมศ “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับแบบจำลองแหล่งจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้อง” วิศวกรรมลาดกระบัง, กันยายน 2549



นายเอก ทอนสูงเนินสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปัจจุบัน รับราชการครู แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคหลวงพ่อกุ่มปรีสุทโธ งานวิจัยที่สนใจ ระบบไฟโต โวลตาอิกและพลังงานทดแทน



นายสมชัย ทวีวุฒโรดม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกที่ University of Northumbria, Newcastle, United Kingdom ปัจจุบันอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจ ระบบไฟโต โวลตาอิก ระบบไฟฟ้ากำลัง และพลังงานทดแทน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล นายอนเนก ทอนสูงเนิน
วัน เดือน ปีเกิด 5 สิงหาคม 2516
ที่อยู่ 119/1 ซอยกิ่งสวายเรียง ตำบลโนนเมือง
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
การศึกษา ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ประสบการณ์การทำงาน ครูชำนาญการ แผนกไฟฟ้ากำลัง
วิทยาลัยเทคนิคหลวงพ่อกุณ ประสิทธิ์
อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา
เบอร์โทรศัพท์ 08-8082-2789
อีเมล Anake161@gmail.com

