รหัสโครงงาน 57EE206

การเพิ่มจำนวนโซล่าเซลล์เพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้า ที่ลดลงเนื่องจากการติดตั้งบนหลังคา

The Solar Cell Increasing to Power Compensation for The Effect of Roof Installing Problem Solving

บทคัดย่อ (Abstract)

ในการติดตั้งโซล่าเซลล์บนหลังคา เราไม่สามารถติดตั้งโซล่าเซลล์ที่มุมอะซิมุท 180 องศา และมุมรับแสงอาทิตย์ที่ 14 องศา ซึ่งเป็นมุมอะซิมุทและมุมรับแสงที่สามารถรับแสงอาทิตย์ของพื้นที่ประเทศไทยได้ดีที่สุด ทำให้มีความต้องการทราบถึงการลดลงของกำลังไฟฟ้านั้น เพื่อจะได้ชดเชยกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป เพื่อให้ได้ผลรวมของกำลังไฟฟ้าตามขนาดที่กำหนด โครงงานนี้ได้ตอบคำถามว่า ถ้าติดตั้งโซล่าเซลล์บนหลังคาที่มุมอะซิมุทและมุมรับแสงอาทิตย์ที่ค่าต่างๆนั้น โซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา จะมีประสิทธิภาพ ลดลงเหลือคิดเป็นเปอร์เซ็นเท่าใดของกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้ง ในโครงงานนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้า การคำนวณหาประสิทธิภาพที่ลดลงของโซล่าเซลล์ที่มุมอะซิมุทและมุมรับแสงต่างๆ ซึ่งสูตรความสัมพันธ์นั้นพิจารณาเปลี่ยนมาจากข้อมูลพลังงานแสงตลอดทั้งปี และนำไปสร้างโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยของโซล่าเซลล์ โปรแกรมจะบอกว่าโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา ประสิทธิภาพจะลดเหลือคิดเป็นเปอร์เซ็นเท่าใดของกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้ง โปรแกรมจะทำให้ทราบกำลังไฟฟ้าที่เหลือ กำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยนั้นเป็นเท่าใด เพื่อให้ได้ผลรวมของกำลังไฟฟ้าตามขนาดที่กำหนด อีกทั้งได้ทดลองวัดค่าและเก็บข้อมูลของกำลังไฟฟ้าของโซล่าเซลล์ที่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ เทียบกับกำลังไฟฟ้าของโซล่าเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากมุมตั้งฉาก ด้วยการเปลี่ยนแปลงองศาทีละ 5 องศา โดยพิจารณาที่มุมรับแสง 0 – 45 องศา และพิจารณาด้านรับแสงทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์ที่มุมอะซิมุทต่างๆ ผลที่ได้ไม่เหมือนกัน แล้วนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับโปรแกรม ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน โปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยของโซล่าเซลล์ การคำนวณด้วยโปรแกรมนั้น จะช่วยเพิ่มความสะดวก และลดเวลาจากการคำนวณด้วยมือ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

โครงงาน “การเพิ่มจำนวนโซล่าเซลล์เพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการติดตั้งบนหลังคา” ได้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาตลอดจนช่วยเหลือในส่วนของการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการปฏิบัติงานทางผู้จัดทำจึงกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงในความกรุณาครั้งนี้

และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.อำนาจ วังจีน ผู้อำนวยการสำนักงานวิชาศึกษาทั่วไป อาจารย์มณีรัตน์ เกตุไสว อาจารย์ประจำสำนักวิชาศึกษาทั่วไป คุณวลีพร จิตรพงษ์ เจ้าหน้าที่ประจำคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ อาจารย์อดิศกดิ์ ศุภธนสินเขษม อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ รวมถึงเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ทุกฝ่ายที่ได้มีส่วนในช่วยเหลือจนโครงงานสำเร็จได้ด้วยดีและขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ได้มีส่วนร่วมช่วยเหลือในคำแนะนำ อีกทั้งยังคอยให้กำลังใจในการจัดทำโครงนี้ด้วย คณะผู้จัดทำจึงมีความรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของทุกๆท่านเป็นอย่างยิ่งจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำได้พยายามอย่างยิ่งที่จะให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี แต่หากมีข้อผิดพลาดและข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 โครงสร้างของโครงงาน	2
1.5 ประโยชน์ของโครงงาน	4
1.6 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโซล่าเซลล์	6
2.2 ทิศทางและมุมรับแสงของการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์	14
2.3 การใช้เครื่องมือวัด	23
2.4 การติดตั้งโซล่าเซลล์บนหลังคา	29
บทที่ 3 การออกแบบโครงงาน	30
3.1 การปรับปรุงสมการประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์	30
3.2 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ที่มุมอะซิมุทและมุมรับแสงต่างๆของหลังคา	48
3.3 การแทนค่าลงในสูตร	54
3.4 การออกแบบโปรแกรม	65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 78
4.1 การทดลองใช้โปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยของโซล่าเซลล์ 78
4.2 การทดลองและผลการทดลอง 80
4.3 การเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยจากการทดลอง
กับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรม 101
4.4 การประยุกต์ใช้กับหลังคาจริง 114

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 120
เอกสารอ้างอิง 122
ภาคผนวก การเขียนโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยของโซล่าเซลล์ 123

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนเป็นเปอร์เซ็นต์ของด้านรับแสงจากทิศใต้ 31
ตารางที่ 3.2 ประสิทธิภาพจากสมการที่ 2.1 ที่มุมรับแสงเดียวกันกับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศใต้ 32
ตารางที่ 3.3 ประสิทธิภาพจากสมการที่ 3.1 ที่มุมรับแสงเดียวกันกับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศใต้ 34
ตารางที่ 3.4 ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนเป็นเปอร์เซ็นต์ของด้านรับแสงจากทิศเหนือ 36
ตารางที่ 3.5 ประสิทธิภาพจากสมการที่ 2.2 ที่มุมรับแสงเดียวกันกับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศเหนือ 37
ตารางที่ 3.6 ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนเป็นเปอร์เซ็นต์ของด้านรับแสงจากทิศเหนือโดยเทียบจากค่าสูงสุดความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศใต้ 40
ตารางที่ 3.7 ประสิทธิภาพจากสมการที่ 3.2 ที่มุมรับแสงเดียวกันกับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศเหนือ 41
ตารางที่ 3.8 ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนเป็นเปอร์เซ็นต์ของด้านรับแสงจากทิศตะวันออก – ตะวันตก 43
ตารางที่ 3.9 ประสิทธิภาพจากสมการที่ 2.3 และ 2.4 ที่มุมรับแสงเดียวกันกับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศตะวันออก – ตะวันตก 44
ตารางที่ 3.10 ประสิทธิภาพจากสมการที่ 3.3 และ34 ที่มุมรับแสงเดียวกันกับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศตะวันออก – ตะวันตก 47
ตารางที่ 4.1 ตารางการเปรียบเทียบผลระหว่างการคำนวณผลด้วยมือ และการคำนวณผลด้วยโปรแกรม ที่มุมอะซิมุทที่ 180 องศา มุมรับแสงที่ 30 องศา 79
ตารางที่ 4.2 ตารางการเปรียบเทียบผลระหว่างการคำนวณผลด้วยมือ และ การคำนวณผลด้วยโปรแกรม ที่มุมอะซิมุทที่ 90 องศา มุมรับแสงที่ 30 องศา 79
ตารางที่ 4.3 ตารางการเปรียบเทียบผลระหว่างการคำนวณผลด้วยมือ และ การคำนวณผลด้วยโปรแกรม ที่มุมอะซิมุทที่ 45 องศา มุมรับแสงที่ 30 องศา 80
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองระหว่างด้านรับแสงจากทิศใต้และมุมรับแสงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา 84

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองระหว่างด้านรับแสงจากทิศใต้และมุมรับแสงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 10 องศา 85
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองระหว่างด้านรับแสงจากทิศเหนือและมุมรับแสงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา 87
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองระหว่างด้านรับแสงจากทิศเหนือและมุมรับแสงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 10 องศา 89
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองระหว่างด้านรับแสงจากทิศตะวันออกและมุมรับแสงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา 91
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองระหว่างด้านรับแสงจากทิศตะวันออกและมุมรับแสงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 10 องศา 93
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองระหว่างด้านรับแสงจากทิศตะวันตกและมุมรับแสงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา 95
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองระหว่างด้านรับแสงจากทิศตะวันตกและมุมรับแสงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 10 องศา 97
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยจากประสิทธิภาพด้านรับแสงทิศต่างๆ 100
ตารางที่ 4.13 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยจากการทดลองกับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศใต้ 103
ตารางที่ 4.14 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยจากการทดลองกับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศเหนือ 106
ตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพด้านรับแสงจากทิศตะวันออก – ตะวันตก จากการคำนวณโดยเปลี่ยนมุมรับแสงเพิ่มทีละ 5 องศา 110
ตารางที่ 4.16 การคำนวณประสิทธิภาพของโปรแกรมในมุมมองของทิศตะวันออก – ตะวันตก 111
ตารางที่ 4.17 การคำนวณประสิทธิภาพเฉลี่ยจากการทดลองที่จุดมุมรับแสง 14 องศา ให้มาอยู่ที่จุดมุมรับแสง 0 องศา 112
ตารางที่ 4.18 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยจากการทดลองที่จุดมุมรับแสง 0 องศา กับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศตะวันออก – ตะวันตก 113

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของโครงงาน 3
ภาพที่ 2.1 แสดงถึงการผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าเซลล์ 7
ภาพที่ 2.2 แสดงถึงการนำเซลล์หลายๆตัวมาต่อรวมกันในแผงโซล่าเซลล์ 7
ภาพที่ 2.3 แสดงถึงการต่อแผงโซล่าเซลล์แบบอนุกรม 8
ภาพที่ 2.4 แสดงถึงการต่อแผงโซล่าเซลล์แบบขนาน 8
ภาพที่ 2.5 แสดงถึงแผงโซล่าเซลล์ชนิดต่างๆ 10
ภาพที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะ I-V Curve & P-V Curve ของโซล่าเซลล์ 11
ภาพที่ 2.7 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อสมบัติทางไฟฟ้าของโซล่าเซลล์ 12
ภาพที่ 2.8 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าของโซล่าเซลล์ 13
ภาพที่ 2.9 เข็มทิศที่แสดงถึงองศาต่างของมุมอะซิมุท 15
ภาพที่ 2.10 แสดงถึงมุมรับแสงของแผงโซล่าเซลล์ที่องศาต่างๆ 16
ภาพที่ 2.11 แสดงถึงความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ได้รับต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตรใน 1 ปี kWh/year โดยเป็นข้อมูลของกรุงเทพมหานคร และ หันหน้าไปทางทิศใต้ ที่มุมอะซิมูท 180 องศา 17
ภาพที่ 2.12 แสดงถึงความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ได้รับต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตรใน 1 ปี kWh/year โดยเป็นข้อมูลของ กรุงเทพมหานคร และ หันหน้าไปทางทิศเหนือ 18
ภาพที่ 2.13 แสดงถึงความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ได้รับต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตรใน 1 ปี kWh/year โดยเป็นข้อมูลของ กรุงเทพมหานคร และ หันหน้าไปทางทิศตะวันออก และตะวันตก 19
ภาพที่ 2.14 ระบบพิกัดทรงกลม 21
ภาพที่ 2.15 ระบบพิกัดทรงกลมที่นำประยุกต์ใช้กับโซล่าเซลล์ 22
ภาพที่ 2.16 หน้าตาแอพพลิเคชั่นเข็มทิศวัดมุมอะซิมุทบนโทรศัพท์ 24
ภาพที่ 2.17 จำลองวิธีการวัดมุมอะซิมุท 24
ภาพที่ 2.18 หน้าตาแอพพลิเคชั่น Angle Meter วัดมุมรับแสงบนโทรศัพท์ 25
ภาพที่ 2.19 การวัดองศามุมรับแสงของหลังคา 26
ภาพที่ 2.20 เครื่องมือวัด PV- Analyzer พร้อมทั้งอุปกรณ์ที่ต้องใช้ร่วมกับเครื่องมือวัด 26
ภาพที่ 2.21 การต่อเครื่องมือวัดเข้ากับโซลล่าเซลล์ 27
ภาพที่ 2.22 การเริ่มต้นวัดค่ากำลังไฟฟ้า 27

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 2.23 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากโซลล่าเซลล์ 28
ภาพที่ 2.24 การวัดกำลังแสง 29
ภาพที่ 3.1 ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศใต้ และค่าที่เปลี่ยนเป็นเปอร์เซ็นต์ เทียบกับ ค่าประสิทธิภาพจากสมการที่ 2.1 33
ภาพที่ 3.2 ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศใต้ เทียบกับ ค่าประสิทธิภาพ จากสมการที่ 3.1 35
ภาพที่ 3.3 ค่าที่เปลี่ยนเป็นเปอร์เซ็นต์ เทียบกับ ค่าประสิทธิภาพจากสมการที่ 2.2 38
ภาพที่ 3.4 ความต่อเนื่องจากความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงทิศใต้ สู่ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงทิศเหนือ 39
ภาพที่ 3.5 ค่าที่เปลี่ยนเป็นเปอร์เซ็นต์ เทียบกับ ค่าประสิทธิภาพจากสมการที่ 3.2 42
ภาพที่ 3.6 ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศตะวันออก - ตะวันตก และ ค่าที่เปลี่ยนเป็นเปอร์เซ็นต์ เทียบกับ ค่าประสิทธิภาพจากสมการที่ 2.3 และค่าประสิทธิภาพจากสมการที่ 2.4 45
ภาพที่ 3.7 ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ด้านรับแสงจากทิศตะวันออก – ตะวันตก เทียบกับ ค่าประสิทธิภาพจากสมการที่ 3.3 และ3.4 48
ภาพที่ 3.8 ลำดับการทำงานของการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ที่ มุมอะซิมุทและมุมรับแสงต่างๆของหลังคา 52
ภาพที่ 3.9 ลำดับการทำงานของโปรแกรมเพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ ที่มุมอะซิมุทและมุมรับแสงต่างๆของหลังคา 69
ภาพที่ 3.10 การคำนวณเบื้องต้นโดยใช้ Microsoft Excel 72
ภาพที่ 3.11 การนำไปประยุกต์ในโหมดพัฒนาบน Microsoft Excel ซึ่งเขียนด้วย VBA (Visual Basic For Applications) 72
ภาพที่ 3.12 โปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยของโซล่าเซลล์ที่เสร็จแล้ว 73
ภาพที่ 3.13 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยของโซล่าเซลล์ 74
ภาพที่ 3.14 หน้าต่างการใช้งานของโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยของโซล่าเซลล์ 74
ภาพที่ 3.15 ให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม ซึ่งต้องทำการวัดมาก่อน 75
ภาพที่ 3.16 แสดง Out Put ของโปรมแกรม หลังจากผู้ใช้ป้อนข้อมูลลง In Put ของโปรแกรม 75
ภาพที่ 3.17 แสดงประสิทธิภาพรวมของโซล่าเซลล์จากทิศทั้ง 4 ทิศ ที่คำนวณด้วยโปรแกรม 76

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการทดลอง 82
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างด้านรับแสงจากทิศใต้และมุมรับแสง กับประสิทธิภาพที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา 84
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา กับ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 10 องศา ด้านรับแสงจากทิศใต้ 86
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างด้านรับแสงจากทิศเหนือและมุมรับแสงกับ ประสิทธิภาพที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา 88
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา กับ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 10 องศา ด้านรับแสงจากทิศเหนือ 90
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างด้านรับแสงจากทิศตะวันออกและมุมรับแสงกับ ประสิทธิภาพที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา 92
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา กับ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 10 องศา ด้านรับแสงจากทิศตะวันออก 94
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างด้านรับแสงจากทิศตะวันตกและมุมรับแสงกับ ประสิทธิภาพที่ได้รับของโซล่าเซลล์ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา 96
ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 5 องศา กับ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสงทีละ 10 องศา ด้านรับแสงจากทิศตะวันตก 98
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ประสิทธิภาพกับด้านรับแสงจากทิศทั้ง 4 ทิศ การวัดที่เพิ่มมุมรับแสง ทีละ 5 องศา หนีแนวตั้งฉากในระยะที่เท่าๆกัน 99
ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์มุมรับแสงกับประสิทธิภาพที่ได้ของโซล่าเซลล์ จากการนำ ประสิทธิภาพด้านรับแสงทิศต่างๆ มาเฉลี่ย 100
ภาพที่ 4.13 มุมรับแสงกับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศใต้ 101
ภาพที่ 4.14 มุมรับแสงกับประสิทธิภาพจากการวัดเปรียบเทียบกับมุมรับแสงกับประสิทธิภาพ จากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศใต้ 102
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยจากการทดลองกับประสิทธิภาพจากการ คำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศใต้ 104
ภาพที่ 4.16 มุมรับแสงกับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศเหนือ 105

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.17 มุมรับแสงกับประสิทธิภาพจากการวัดเปรียบเทียบกับมุมรับแสงกับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศเหนือ 105
ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยจากการทดลองกับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศเหนือ 107
ภาพที่ 4.19 มุมรับแสงกับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศตะวันออก – ตก 108
ภาพที่ 4.20 มุมรับแสงกับประสิทธิภาพจากการวัดเปรียบเทียบกับมุมรับแสงกับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศตะวันออก – ตะวันตก 109
ภาพที่ 4.21 ประสิทธิภาพเฉลี่ยจากการทดลอง ที่มุมรับแสงทุกองศา คูณกับประสิทธิภาพของด้านรับแสงจากทิศเหนือ ที่มุมรับแสง 0 องศา 109
ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยจากการทดลองที่จุดมุมรับแสง 0 องศากับประสิทธิภาพจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในมุมมองของทิศตะวันออก – ตะวันตก 114
ภาพที่ 4.23 หลังคาทรงปั้นหยาบ้านที่ต้องการติดตั้งโซล่าเซลล์ 115
ภาพที่ 4.24 การวัดมุมอะซิมุทของหลังคาที่ต้องการติดตั้งโซล่าเซลล์ 116
ภาพที่ 4.25 การวัดมุมรับแสงของหลังคาที่ต้องการติดตั้งโซล่าเซลล์ 117
ภาพที่ 4.26 ป้อนข้อมูลลงโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยของโซล่าเซลล์ 118
ภาพที่ 4.27 บ้านหลังคาแบบเพลิงหมาแหงน 118
ภาพที่ 4.28 ป้อนข้อมูลลงโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยของโซล่าเซลล์ 119