อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

รายงานวิจัยฉบับย่อ

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะการใช้จริง

Mathematical model development for prediction of photovoltaic module internal resistant variation under operating condition

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน ๕ - มิ.ค. ๒๕๕๗
เลขทะเบียน ๑.๒๒๑๑๙๙
เลขเรียกหนังสือ ว TJ
๘๑๒
๒๒๑๖๕
๒๕๕๗

โดย นายนิพนธ์ เกตุจ้อยและคณะ

มีนาคม 2557

สัญญาเลขที่ R2556B015

รายงานวิจัยฉบับย่อ

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะการใช้จริง

Mathematical model development for prediction of photovoltaic module internal resistant variation under operating condition

คณะผู้วิจัยสังกัด

1. นายนิพนธ์	เกตุจ้อย	สังกัด วิทยาลัยพลังงานทดแทน
2. นายฉัตรชัย	ศิริสัมพันธ์วงษ์	สังกัด วิทยาลัยพลังงานทดแทน
3. นายคงฤทธิ์	แม้นศิริ	สังกัด วิทยาลัยพลังงานทดแทน
4. นายณัฐวุฒิ	ขาวสะอาด	สังกัด วิทยาลัยพลังงานทดแทน
5. นายมรุพงศ์	กอนอยู่	สังกัด วิทยาลัยพลังงานทดแทน

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2556

รายงานวิจัยฉบับย่อของโครงการการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะการใช้จริง

1. ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะการใช้จริง

ชื่อโครงการวิจัย(ภาษาอังกฤษ) Mathematical model development for prediction of photovoltaic module internal resistant variation under operating condition

2. รายชื่อคณะผู้วิจัย พร้อมทั้งหน่วยงานที่สังกัด หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E - Mail

2.1 หัวหน้าโครงการ สัดส่วน 50%

ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย

คุณวุฒิ Dr.-Ing. (Renewable Energy Technology)

ตำแหน่ง พนักงานสายวิชาการ (อาจารย์)

สถานที่ทำงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

ถ.พิษณุโลก-นครสวรรค์ อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก 65000

โทรศัพท์ 055-963182

โทรสาร 055-963182

2.2 ผู้ร่วมโครงการ สัดส่วน 20 %

ชื่อ ดร.ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงษ์

คุณวุฒิ วท.ด. (พลังงานทดแทน)

ตำแหน่ง พนักงานสายวิชาการ (อาจารย์)

สถานที่ทำงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

ถ.พิษณุโลก-นครสวรรค์ อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก 65000

โทรศัพท์ 055-963182

โทรสาร 055-963182

2.3 ผู้ร่วมโครงการ สัดส่วน 10 %

ชื่อ นายคงฤทธิ์ แม้นศิริ

คุณวุฒิ วท.ม. (พลังงานทดแทน)

ตำแหน่ง พนักงานสายบริการ (เจ้าหน้าที่วิจัย)

สถานที่ทำงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

ถ.พิษณุโลก-นครสวรรค์ อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก 65000

โทรศัพท์ 055-963182
โทรสาร 055-963182

2.4 ผู้ร่วมโครงการ สัดส่วน 10%
ชื่อ นายณัฐวุฒิ ขาวสะอาด
คุณวุฒิ วท.ม. (พลังงานทดแทน)
ตำแหน่ง นิสิตปริญญาเอก (พลังงานทดแทน)
สถานที่ทำงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ถ.พิษณุโลก-นครสวรรค์ อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก 65000
โทรศัพท์ 055-963182
โทรสาร 055-963182

2.5 ผู้ร่วมโครงการ สัดส่วน 10%
ชื่อ นายมรุพงศ์ กอนอยู่
คุณวุฒิ วศ.บ. (สิ่งแวดล้อม)
ตำแหน่ง นิสิตปริญญาโท (พลังงานทดแทน)
สถานที่ทำงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ถ.พิษณุโลก-นครสวรรค์ อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก 65000
โทรศัพท์ 055-963182
โทรสาร 055-963182

3. บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะการใช้จริงซึ่งใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 5 ชนิด ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอสัณฐานซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell; a-Si) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell; p-Si) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมผสานซิลิกอน (Hybrid Crystalline Silicon Solar Cell; HIT) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไมโครซิลิกอน (Amorphous silicon/micro crystalline silicon;μc-Si:H) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์(Copper Indium DiselenideSolar Cell; CIS)ที่ติดตั้งใช้งานระหว่างปี2548 - 2556 ภายในสวนพลังงานของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1การพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลโดยต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงโดยเป็นการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมจากโครงการการศึกษาผลกระทบของการ

เปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่พบว่าสมการการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในที่ได้จากการวิเคราะห์ เมื่อนำมาคำนวณและเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานภายในที่ได้จากการทดลองจริง มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ซึ่งค่าความต้านทานภายในที่ได้นั้นมีความใกล้เคียงกับค่าความต้านทานภายในจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าสมการที่ได้จากทฤษฎี เนื่องจากมีการวิเคราะห์ข้อมูลจากสภาวะการใช้งานจริงในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย จึงสามารถนำสมการที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าความต้านทานภายในที่เปลี่ยนแปลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริงได้

ส่วนที่ 2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง พบว่าสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในสามารถนำมาทำนายค่าความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนั้นได้ โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ a-Si p-Si HIT μc-Si:H และ CIS มีค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายคาดเคลื่อนจากค่าความต้านทานจริงร้อยละ 1.11 1.88 0.87 0.97 และ 0.97 ตามลำดับ ค่าความต้านทานชันต์ที่ได้จากการทำนายคาดเคลื่อนจากค่าความต้านทานจริงร้อยละ 0.07 0.09 0.09 0.05 และ 0.05 ตามลำดับ

4. Abstract

This research presents the study result of Mathematical model development for prediction of photovoltaic (PV) module internal resistant variation under operating condition. 5 PV technologies that are Amorphous Silicon Solar Cell (a-Si), Poly Crystalline Silicon Solar Cell (p-Si), Hybrid Crystalline Silicon Solar Cell (HIT), Amorphous silicon/micro crystalline silicon (μc-Si:H) and Copper Indium DiselenideSolar Cell (CIS) are in study scope. The PV systems that using these PV technologies have been installed at School of Renewable Energy Technology (SERT) Naresuan University. The data that collected during 2005-2013 is used in this resuarch. The results of this research can be divided into two sections:

For the first section, the internal resistance changing measurement and analysis technique is developed to investigate the energy production decreasing effect of PV module under operating condition. The measurement and analysis technique is developed beased on "Study on Internal resistant changing effect of photovoltaic module in large scale solar power plant generation". The result of this section, the developed chaning PV internal resistance equation can be calculated the internal resistance value easier with no significant error from basic equation (E_{basic}). The

conclusion of this section, the new equations can be applied to measure the PV modules internal resistance value in the actual operating condition.

For the second section, the mathematical model that developed in the first section is used to predict the changing PV internal resistance value of the 5 PV technologies for their life time warranty. The result of this section indicates that the new equation (E_{new}) can be predicted the changing PV internal resistance value for 25 years with low error from from basic equation (E_{basic}). The series resistance of the E_{new} is higher than E_{basic} about 1.11 %, 1.88 %, 0.87 %, 0.97 %, and 0.97 % for a-Si, p-Si, HIT, μc-Si:H, and CIS respectively. The shunt resistance of the E_{new} is higher than E_{basic} about 0.07 %, 0.09 %, 0.09%, 0.05%, and 0.05% for a-Si, p-Si, HIT, μc-Si:H, and CIS respectively.

5.บทนำ

ในปัจจุบันการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มเพิ่มอย่างต่อเนื่องโดย ณ สิ้นปี พ.ศ. 2555 ทั่วโลกมีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นกว่า 38.5 GW คิดเป็นร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2554 เป็นผลมาจากการตื่นตัวของประชาคมโลกในเรื่องการนำพลังงานทดแทนมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าแทนการพลังงานฟอสซิล ซึ่งกำลังจะหมดไปและส่งผลต่อการเกิดสภาวะโลกร้อนที่ทวีความรุนแรงขึ้นทุกปี [1]

ในปัจจุบันแบ่งเซลล์แสงอาทิตย์จากซิลิกอนที่ใช้กันอยู่ออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน (Crystalline Silicon) และฟิล์มบาง (Thin Films) จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้ เริ่มมีสัดส่วนนี้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในปัจจุบันเซลล์กลุ่มฟิล์มบางได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีผลการศึกษา พบว่า ฟิล์มบางสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าผลึกซิลิกอน [2-6] ซึ่งในประเทศไทยมีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 กลุ่มมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เป็นผลจากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) หรือ Alternative Energy Development Plan: AEDP (2012-2021) นั้นได้กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ไว้สูงถึง 2,000 MW โดยปัจจุบันมีการกำลังติดตั้งสะสมอยู่ประมาณ 150 MW [7-8] ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการติดตั้งดังกล่าวและแนวโน้มของการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แล้วพบว่าเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจและใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันคือเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแนวโน้มการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกมีอัตราการติดตั้งใช้งานเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 5 ปีที่ผ่านมา

จากสถานการณ์ในปัจจุบันของประเทศมีกลุ่มผู้ลงทุนให้ความสนใจกับอุตสาหกรรมด้านการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก โดยคาดการณ์ว่ามีผู้อยู่ระหว่างดำเนินโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ประมาณ 500 – 600 MW ดังนั้นจึงยังคงมีขนาดของตลาดเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศเหลืออีกไม่น้อยกว่า 1,200 – 1,300 MW ซึ่งหากพิจารณาถึงเม็ดเงินลงทุนของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามเป้าหมายของภาครัฐที่ 2,000 MW แล้วจะมีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 120,000 ล้านบาท

และหากรวมมูลค่าของอุตสาหกรรมต่อเนื่องของการเดินโรงไฟฟ้า การดูแลและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าซึ่งมีอายุโครงการถึง 25 ปีแล้วจะหมายถึงเงินหมุนเวียนตลอดช่วงของอายุโรงไฟฟ้าอีกไม่น้อยกว่า 2,000 ล้านบาท/ปี ซึ่งเห็นได้ว่าการกำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของกระทรวงพลังงานดังกล่าวนั้นสามารถสร้างตลาดและมูลค่าของอุตสาหกรรมด้านการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้อย่างมหาศาล

ซึ่งจากผลงานวิจัยที่ ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติได้แก่ โครงการสมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐานภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น ระยะที่ 1 (สัญญาเลขที่ RE-AR-011/51) งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 โครงการสมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐานภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นระยะที่ 2 (สัญญาเลขที่ RE-AR-40/2552) งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552ที่ผ่านมาและจากผลการวิจัยโครงการการศึกษาการลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นในระยะยาว (สัญญาเลขที่ R2554C842) กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2554 และโครงการการศึกษาการลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นในระยะยาว ระยะที่ 2(สัญญาเลขที่ 2554B066) งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 พบว่าความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงทุกปี ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อการลงทุนในการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าในอุตสาหกรรมการสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ให้การรับประกันการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าฯ (energy yield) ซึ่งโดยส่วนใหญ่การรับประกันปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าจะผลิตได้ ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้รับงานในลักษณะดังกล่าว ดังนั้นวิทยาลัยพลังงานทดแทนจึงมีแนวคิดที่จะทำศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริงซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตให้ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการรับประกันซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งกับผู้ลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ และการรับประกันปริมาณพลังงานที่โรงไฟฟ้าจะผลิตได้

6. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในส่วนนี้จะนำเสนอเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยขั้นตอนการทดลอง วิธีการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆโดยจะทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ศึกษาหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง และศึกษาหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลโดยต่อการลดลงของความสามารถในการ

ผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่มีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

6.1 ศึกษาพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลโดยต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง มีรายละเอียดดังนี้

ในการพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและการวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้มีการสร้างสมการวิเคราะห์หาความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเป็นการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมจากโครงการการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ซึ่งสร้างจากสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายใน กับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m) และกระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m) เพื่อสะดวกต่อระบบที่ติดตั้งใช้งานจริง ซึ่งกระบวนการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

6.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

6.2.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV modules) 5ชนิดได้แก่ ชนิด a-Si p-Si HIT μc-Si:H และCIS

6.2.1.2 ไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) สำหรับวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

6.2.1.3 PVAnalyzer สำหรับวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความเข้มรังสีอาทิตย์ เป็นต้น

6.2.1.4 มัลติมิเตอร์ (Multimeter) สำหรับวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า

6.2.1.4 เทอร์โมคอปเปิล (thermocouple) สำหรับวัดค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

6.2.2 การเก็บบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลในการทำการวิจัย

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลการตรวจวัดและบันทึกค่าด้วยการบันทึกจดด้วยมือ โดยแต่ละการตรวจวัดและวิเคราะห์มีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนการทดลอง

1. วัดค่าและบันทึกความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (G_i) ทุกๆ 1 ชั่วโมง
2. วัดค่าและบันทึกอุณหภูมิแผงเซลล์ (T_m) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_{am}) ทุกๆ 1 ชั่วโมง
3. วัดค่าและบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้า (I) และแรงดันไฟฟ้า (V) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกๆ 1 ชั่วโมงจะใช้ PV Analyzer พร้อมกับมัลติมิเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดของเครื่องทั้งสองเครื่อง
4. ทำการทดลองตั้งแต่ช่วงเวลา 9.00 – 17.00 น. และทำการเก็บข้อมูล 1 ครั้งต่อเดือน

- ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำข้อมูลที่บันทึกปรับค่าเข้าสู่ที่สภาวะมาตรฐาน (STC)อ้างอิงจากIEC 61829 โดย

คัดกรองข้อมูลที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 700 วัตต์ต่อตารางเมตร ใช้สมการดังนี้

สมการใช้ในการปรับความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

กำลังไฟฟ้าสูงสุด

$$P_{1,000} = \frac{(1{,}000 \times P_{Irr})}{Irr} \tag{3.1}$$

กระแสไฟฟ้าสูงสุด

$$I_{1,000} = \frac{(1{,}000 \times I_{Irr})}{Irr} \tag{3.2}$$

แรงดันไฟฟ้าสูงสุด

$$V_{1,000} = V_T - (V_T \times k) \tag{3.3}$$

เมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีผลกับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (irradiance coefficient)(%/โวลต์)

k = 1.000 ที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

k = 0.996 ที่ 900 วัตต์ต่อตารางเมตร

k = 0.989 ที่ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร

k = 0.986 ที่ 700 วัตต์ต่อตารางเมตร

สมการใช้ในการปรับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

กำลังไฟฟ้าสูงสุด

$$P_{25} = \frac{P_T}{1 - (\frac{(T_{coe,P})}{100} \times (T_m - 25))} \tag{3.4}$$

แรงดันไฟฟ้าสูงสุด

$$V_{25} = \frac{V_T}{1 - (\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25))} \tag{3.5}$$

กระแสไฟฟ้าสูงสุด

$$I_{25} = \frac{I_T}{1+(\frac{(T_{coe,I})}{100}\times(T_m-25))} \quad (3.6)$$

เมื่อ

$P_{1,000}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

P_{Irr} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ใดๆ

$I_{1,000}$ คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

I_{Irr} คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ใดๆ

P_{25} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผง เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

P_T คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผงใดๆ

V_{25} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผง เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

V_T คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผงใดๆ

I_{25} คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผง เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

I_T คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผงใดๆ

$T_{coe,V}$ คือ สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิที่มีผลกับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Temperature coefficient)(%/โวลต์)

$T_{coe,I}$ คือ สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิที่มีผลกับกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Temperature coefficient)(%/แอมแปร์)

2. ดำเนินการวิเคราะห์หาความต้านทานอนุกรม โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 และ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร และปรับอุณหภูมิแผงให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปรับค่ากระแสไฟฟ้ามีความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และปรับอุณหภูมิแผงให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

3. ดำเนินการวิเคราะห์หาความต้านทานชันต์ โดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าให้มีความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 และ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร และปรับอุณหภูมิแผงให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปรับค่าแรงดันไฟฟ้ามีความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และปรับอุณหภูมิแผงให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

4. หลังจากวิเคราะห์หาความต้านทานภายในทั้ง 2 ตัว เสร็จเรียบร้อย ทำการหาความสัมพันธ์ของความต้านทานภายในกับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าสูงสุด หลักการสร้างสมการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) และทฤษฎีเมทริกซ์ในการวิเคราะห์สมการเชิงเส้น (linear regression)เพื่อสร้างสมการที่ใช้ในการคำนวณหาความต้านทานภายในทั้ง 2 ตัว ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากงานวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในระบบจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการเก็บข้อมูลของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไป การเก็บข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชุด โดยสมการที่สร้างใหม่เป็นการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์หาความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับระบบและสามารถประยุกต์ใช้ในการหาความต้านทานภายในและการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้ง่ายขึ้น

5. เมื่อได้สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความต้านทานภายในเรียบร้อยแล้ว คณะวิจัยจะทำการหาอัตราการการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หลังจากนั้นเมื่อทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเรียบร้อย จะนำอัตราการเปลี่ยนแปลงนั้นมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

6.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง

จากการวิเคราะห์หาความต้านทานภายในและการเปลี่ยนแปลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละชนิดข้างต้น จากสมการที่สร้างใหม่จะเกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสิ้น 3 ตัวแปร ได้แก่ ความต้านทานอนุกรม (R_s)ความต้านทานชันต์ (R_{sh})แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m) และกระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m) เนื่องจากเป็นไปตามลักษณะการเก็บข้อมูลของโรงไฟฟ้าโดยทั่วไปจะเป็นการเก็บข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้าไปยังภาระทางไฟฟ้าที่นำไปใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นสร้างสมการจากความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว ใช้หลักการสร้างจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ และทฤษฎีเมทริกซ์ในการวิเคราะห์สมการเชิงเส้น เพื่อสร้างสมการให้อยู่ในรูปแบบดังนี้“$R_s = a_0 + a_1 I_m + a_2 V_m$” และ “$R_{sh} = a_0 + a_1 I_m + a_2 V_m$”นำสมการที่สร้างใหม่นั้นใช้ในการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงความต้านทานและอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

7. ผลการทดลอง

ในส่วนนี้นำเสนอผลการศึกษา โดยจะทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ศึกษาหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง และศึกษาหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลโดยต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีรายละเอียดดังนี้

7.1 การศึกษาพัฒนาหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลโดยต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่

ในส่วนนี้จะมุ่งเน้นทำการศึกษาหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมและความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดที่ติดตั้งใช้งานในระบบ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

7.1.1 การวิเคราะห์หาความต้านทานภายในและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด มีรายละเอียดดังนี้

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดa-Si

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ซึ่งจากกฎของโอห์ม กล่าวไว้ว่า "สารใดที่มีความต้านทานสูงจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อย" ในปี 2550 2551 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีความต้านทานอนุกรมเท่ากับ 0.191 0.196 0.197 0.205 0.205 0.207 และ 0.208 โอห์มตามลำดับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมคิดเป็นร้อยละ 0.78 ต่อปี แสดงว่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลออกมาได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ซึ่งจากกฎของโอห์มกล่าวไว้ว่า"สารใดที่มีความต้านทานน้อยจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มาก" ในปี 2550 2551 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีความต้านทานชันต์ เท่ากับ 1.126 1.126 1.124 1.124 1.123 1.123 และ 1.122 โอห์มมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชันต์ คิดเป็นร้อยละ 0.03ต่อปี แสดงว่าเมื่อความต้านทานชันต์ลดลง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทานชันต์ได้มากขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง ซึ่งทั้ง 2 กรณีตรงกับกฎของโอห์มที่กล่าวไว้ข้างต้น

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si ซึ่งจากกฎของโอห์ม กล่าวไว้ว่า "สารใดที่มีความต้านทานสูงจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อย" ในปี 2550 2551 2552 2553 2254 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si มีความต้านทานอนุกรมเท่ากับ 0.146 0.147 0.147 0.147 0.149 0.149 และ 0.151 โอห์ม ตามลำดับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมคิดเป็นร้อยละ 0.36 ต่อปี แสดงว่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลออกมาได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si ซึ่งจากกฎของโอห์มกล่าวไว้ว่า "สารใดที่มีความต้านทานน้อยจะยอมให้

กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มาก" ในปี 2550 2551 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si มีความต้านทานชันต์ เท่ากับ 1.060 1.060 1.060 1.060 1.060 1.060 และ 1.059 โอห์ม มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชันต์ คิดเป็นร้อยละ 0.02 ต่อปี แสดงว่าเมื่อความต้านทานชันต์ลดลง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทานชันต์ได้มากขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดHIT ในปี 2550 2551 2552 2553 2254 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีความต้านทานอนุกรมเท่ากับ 0.139 0.144 0.144 0.145 0.146 0.149 และ 0.149 โอห์ม/ชุดตามลำดับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมคิดเป็นร้อยละ 0.49 ต่อปี แสดงว่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลออกมาได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT ในปี 2550 2551 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีความต้านทานชันต์เท่ากับ1.060 1.060 1.060 1.060 1.060 1.060 และ 1.059 โอห์ม มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชันต์ คิดเป็นร้อยละ 0.02 ต่อปี แสดงว่าเมื่อความต้านทานชันต์ลดลง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทานชันต์ได้มากขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด µc-Si:H

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดµc-Si:H ในปี 2552 2553 2254 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด µc-Si:H มีความต้านทานอนุกรมเท่ากับ 0.138 0.149 0.152 0.155 และ 0.156 โอห์ม/ชุดตามลำดับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมคิดเป็นร้อยละ 0.91 ต่อปี แสดงว่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลออกมาได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด µc-Si:H ในปี 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด µc-Si:H มีความต้านทานชันต์ เท่ากับ 1.052 1.052 1.051 1.051 และ 1.050 โอห์ม/ชุดตามลำดับ ตามลำดับมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชันต์ คิดเป็นร้อยละ 0.02 ต่อปี แสดงว่าเมื่อความต้านทานชันต์ลดลง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทานชันต์ได้มากขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS ซึ่งจากกฎของโอห์ม กล่าวไว้ว่า "สารใดที่มีความต้านทานสูงจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อย" ในปี2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS มีความต้านทานอนุกรมเท่ากับ 0.173 0.135 และ 0.135 โอห์มตามลำดับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมคิดเป็นร้อยละ 0.05 ต่อปี แสดงว่า

ความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลออกมาได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CISซึ่งจากกฎของโอห์มกล่าวไว้ว่า"สารใดที่มีความต้านทานน้อยจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มาก" ในปี2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CISมีความต้านทานชันต์ เท่ากับ 1.015 1.014 และ 1.014 โอห์มมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชันต์ คิดเป็นร้อยละ 0.026 ต่อปี แสดงว่าเมื่อความต้านทานชันต์ลดลง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทานชันต์ได้มากขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง ซึ่งทั้ง 2 กรณีตรงกับกฎของโอห์มที่กล่าวไว้ข้างต้น

สรุปการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานทั้ง 2 ชนิด สูงที่สุด เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะต่ำ เพราะมีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบ จึงทำให้โครงสร้างที่สามารถเสื่อมสภาพได้ง่ายกว่าชนิดอื่นๆ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงเช่นกัน เป็นผลมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด m-Si กับ a-Si จึงทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si มีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่ำที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด µc-Si:H และ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่สุด เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด µc-Si:H และ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS ติดตั้งใช้งานเป็นระยะสั้นกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ จึงทำให้การอัตราการต่ำกว่าความเป็นจริง ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด µc-Si:H แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS ต่อไป

ตารางที่ 1 สรุปการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	อัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรม (%)	อัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชันต์(%)
a-Si	0.78	0.03
p-Si	0.36	0.01
HIT	0.49	0.02
µc-Si:H	0.91	0.02
CIS	0.05	0.02

สำนักหอสมุด
๗ - ม.ค. ๒๕๕๔

7.1.2 สมการที่ได้จากใช้หลักการสร้างสมการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

ในการสร้างสมการให้อยู่ในรูปแบบ "$R_s = a_0 + a_1 I_m + a_2 V_m$" และ "$R_{sh} = a_0 + a_1 I_m + a_2 V_m$" สามารถใช้ทฤษฎีเมทริกซ์หาค่า a_0 a_1และ a_2 และการสร้างสมการในครั้งนี้จะสร้างสมการจากความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานอนุกรมกับกระแสไฟฟ้าสูงสุด และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด และระหว่างความต้านทานชันต์กับกระแสไฟฟ้าสูงสุด และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด จากการสร้างสมการความสัมพันธ์สามารถเขียน สมการใหม่ได้ดังนี้

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

ความต้านทานอนุกรม (R_s) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_s = 0.6631 - \left(0.0027 \times \left(\frac{I_T}{1 + \left(\frac{(T_{coe,I})}{100} \times (T_m - 25)\right)}\right)\right) - \left(0.0021 \times \left(\frac{V_T}{1 - \left(\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25)\right)}\right)\right) \quad (1)$$

ความต้านทานชันต์(R_{sh}) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_{sh} = 1.096 - \left(0.0037 \times \left(\frac{I_T}{1 + \left(\frac{(T_{coe,I})}{100} \times (T_m - 25)\right)}\right)\right) - \left(0.000089 \times \left(\frac{V_T}{1 - \left(\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25)\right)}\right)\right) \quad (2)$$

การเปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณจากสมการ $R_s(E_{new})$ สูงกว่า $R_s(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 1.11 ค่าความต้านทานชันต์ที่คำนวณจากสมการ $R_{sh}(E_{new})$สูงกว่า $R_{sh}(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.07

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

ความต้านทานอนุกรม (R_s) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_s = 0.2572 - \left(0.0015 \times \left(\frac{I_T}{1 + \left(\frac{(T_{coe,I})}{100} \times (T_m - 25)\right)}\right)\right) - \left(0.00137 \times \left(\frac{V_T}{1 - \left(\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25)\right)}\right)\right) \quad (3)$$

ความต้านทานชันต์(R_{sh}) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_{sh} = 1.194 - \left(0.0096 \times \left(\frac{I_T}{1 + \left(\frac{(T_{coe,I})}{100} \times (T_m - 25)\right)}\right)\right) - \left(0.00013 \times \left(\frac{V_T}{1 - \left(\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25)\right)}\right)\right) \quad (4)$$

การเปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณจากสมการ $R_s(E_{new})$สูงกว่า $R_s(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 1.88 ค่าความต้านทานชันต์ที่คำนวณจากสมการ $R_{sh}(E_{new})$ สูงกว่า $R_{sh}(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.09

-แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

ความต้านทานอนุกรม (R_s) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_s = 0.4145 - (0.0087 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{(T_{coe,I})}{100} \times (T_m - 25))})) - (0.00137 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (5)$$

ความต้านทานชันต์(R_{sh}) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_{sh} = 1.048 - (0.0053 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{(T_{coe,I})}{100} \times (T_m - 25))})) - (0.00013 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (6)$$

การเปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณจากสมการ $R_s(E_{new})$สูงกว่า $R_s(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.87 ค่าความต้านทานชันต์ที่คำนวณจากสมการ $R_{sh}(E_{new})$สูงกว่า $R_{sh}(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.09

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด μc-Si:H

ความต้านทานอนุกรม (R_s) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_s = 0.4451 - (0.0023 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{(T_{coe,I})}{100} \times (T_m - 25))})) - (0.0016 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (7)$$

ความต้านทานชันต์(R_{sh}) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_{sh} = 1.024 - (0.0087 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{(T_{coe,I})}{100} \times (T_m - 25))})) - (0.00009 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (8)$$

การเปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณจากสมการ $R_s(E_{new})$สูงกว่า $R_s(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.97 และค่าความต้านทานชันต์ที่คำนวณจากสมการ $R_{sh}(E_{new})$สูงกว่า $R_{sh}(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.05

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

ความต้านทานอนุกรม (R_s) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_s = 0.7318 - (0.06303 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{(T_{coe,I})}{100} \times (T_m - 25))})) - (0.0003351 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (9)$$

ความต้านทานชันต์(R_{sh}) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_{sh} = 1.004 - (0.001983 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{(T_{coe,I})}{100} \times (T_m - 25))})) - (1.16 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{(T_{coe,V})}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (10)$$

การเปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณจากสมการ $R_s(E_{new})$สูงกว่า $R_s(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.97 และการเปรียบเทียบค่าความต้านทานชันต์ที่วิเคราะห์หาจากสมการที่ 4.10 ($R_{sh}(E_{new})$) กับค่าความต้านทานชันต์ที่คำนวณจากสมการ $R_{sh}(E_{new})$สูงกว่า $R_{sh}(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.05

7.2 การเปรียบเทียบการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมและความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด มีรายละเอียดดังนี้

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดa-Si

สมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานอนุกรมตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{s(a\text{-}Si)n+1} = R_{s(a\text{-}Si)} + [R_{s(a\text{-}Si)} \times 0.78\%] \quad (11)$$

สมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานชันต์ตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{sh(a\text{-}Si)n+1} = R_{sh(a\text{-}Si)} - [R_{s(a\text{-}Si)} \times 0.03\%] \quad (12)$$

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดp-Si

สมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานอนุกรมตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{s(p\text{-}Si)n+a} = R_{s(p\text{-}Si)} + [R_{s(p\text{-}Si)} \times 0.36\%] \quad (13)$$

สมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานชันต์ตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{sh(p\text{-}Si)n+a} = R_{sh(p\text{-}Si)} - [R_{s(p\text{-}Si)} \times 0.01\%] \quad (14)$$

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดHIT

สมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานอนุกรมตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{s(HIT)n+1} = R_{s(HIT)} + [R_{s(HIT)} \times 0.49\%]) \quad (15)$$

สมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานชันต์ตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{sh(HIT)n+1} = R_{sh(HIT)} - [R_{s(HIT)} \times 0.02\%]) \quad (16)$$

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดμc-Si:H

สมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานอนุกรมตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{s(\mu c\text{-}Si:H)n+1} = R_{s(\mu c\text{-}Si:H)} + [R_{s(\mu c\text{-}Si:H)} \times 0.91\%]) \quad (17)$$

สมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานชันต์ตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{sh(\mu c\text{-}Si:H)n+1} = R_{sh(\mu c\text{-}Si:H)} - [R_{s(\mu c\text{-}Si:H)} \times 0.02\%]) \quad (18)$$

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดCIS

สมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานอนุกรมตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{s(CIS)n+1} = R_{s(CIS)} + [R_{s(CIS)} \times 0.05\%]) \quad (19)$$

สมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานชันต์ตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชันต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{sh(CIS)n+1} = R_{sh(CIS)} - [R_{s(CIS)} \times 0.02\%]) \quad (20)$$

สรุปของงานวิจัยนี้จะทำการแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลจากการพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลโดยต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงโดยเป็นการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมจากโครงการการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่พบว่าสมการการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในที่ได้จากการวิเคราะห์ เมื่อนำมาคำนวณและเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานภายในที่ได้จากการทดลองจริง มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ซึ่งค่าความต้านทานภายในที่ได้นั้นมีความใกล้เคียงกับค่าความต้านทานภายในจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าสมการที่ได้จากทฤษฎี เนื่องจากมีการวิเคราะห์ข้อมูลจากสภาวะการใช้งานจริงในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย จึงสามารถนำสมการที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าความต้านทานภายในที่เปลี่ยนแปลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริงได้

2. ผลจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง พบว่าสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในสามารถนำมาทำนายค่าความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนั้นได้ โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ a-Si แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด μc-Si:H และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS มีค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายคาดเคลื่อนจากค่าความต้านทานจริงร้อยละ 1.11 1.88 0.87 0.97 และ 0.97 ตามลำดับ ค่าความต้านทานชันต์ที่ได้จากการทำนายคาดเคลื่อนจากค่าความต้านทานจริงร้อยละ 0.07 0.09 0.09 0.05 และ 0.05 ตามลำดับ

8.บรรณานุกรม

[1] ArnulfJäger-WAldau. PV Status Report 2013: Research, Solar Cell Production and Market Implementation of Photovoltaic. EUR 26118 EN-2013

[2] David L. King, William E. Boyson, Jay A. Kratochvil. 2004. Photovoltaic Array Performance Model. Sandia National Laboratories. SAND2004-3535

[3] AchitponSaSitharanuwata, WattanapongRakwichian, NiponKetjoy, and SuchartYammen.(2006).Performance evaluation of a 10 kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand.Renewable Energy.

[4] KritwiputPhaokeaw, NiponKetjoy, WattanapongRakwichan and SuchatYammen.(2007). Performance of a-Si, p-Si and HIT PV Technological Comparison under Tropical Wet Climate Condition. International Journal of Renewable Energy (IIRE).p 23-34

[5] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด ฐิติพร เจาะจง และนิพนธ์ เกตุจ้อย.การศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้รายปีภายใต้สภาวะการใช้งานจริง. เทคโนโลยีอุตสาหกรรม. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เมษายน 2552 – กันยายน 2552.

[6] NiponKetjoy, ChatchaiSirisamphanwong and NattawutKhaosaad.(2012). Performance evaluation of 10 kWp photovoltaic power generator under hot climatic condition. สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2556,จากhttp://www.sciencedirect.com/.

[7] สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน.สืบค้นเมื่อพฤษภาคม 55.จ า ก http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article &id=85%3A-2552-&catid=52&Itemid=68&lang=th.

[8] Izumi Kaizuka, Latest trends and outlook for the global PV market, Feb 29, 2012, PV EXPO 2012.

[9] นิพนธ์ เกตุจ้อย. (2547). การบริหารจัดการโครงการบ้านพลังงานแสงอาทิตย์.เอกสารประกอบการฝึกอบรมการบริหารจัดการแบบยั่งยืนสำหรับโครงการบ้านพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[10] Kassel University.(2003). Photovoltaic Systems Technology SS 2003.Theoretical Description of the Solar Cell. p40.

[11] นิพนธ์ เกตุจ้อย. (2547). ความปลอดภัยสำหรับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์.การฝึกอบรมเรื่องการติดตั้งและดูแลรักษาระบบบ้านพลังงานแสงอาทิตย์.วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[12] NiponKetjoy. (2005). Photovoltaic Hybrid System for Rural Electrification in the Mekong Countries.Doctor of Engineering (Dr.-Ing).Kassel University.Germany.

[13] S.R.Wenham, M.A. Green, and M.E. Watt. (1994). Applied photovoltaics.Australia: National Library of Australia.

[14] Peter Hacke, Kent Terwilliger, Ryan Smith, Stephen Glick, Joel Pankow, Michael Kempe, Sarah Kurtz Ian Bennett, Mario Kloos. (2011). System Voltage Potential-Induced Degradation Mechanisms in PV Modules and Methods for Test. สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2556, จาก www.nrel.gov/docs/fy11osti/50716.pdf

[15] FarazEbneali . (2012) Potential Induced Degradation of Photovoltaic Modules: Influence of Temperature and Surface Conductivity. สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2556, จาก http://solaredon.files.wordpress.com/2012/10/asu.pdf

[16] Lele Peng, Yize Sun, ZhuoMeng, Yuling Wang, Yang Xu. (2013). A new method for determining the characteristics of solar cells.Journal of Power Sources 227.131-136.

1.6692199

สำนักหอสมุด
๗ - มี.ค. ๒๕๕๘

[17] S. Kaplanis and E. Kaplani.(2011). Energy performance and degradation over 20 years performance of BP c-Si PV modules.**Simulation Modelling Practice and Theory 19**.1201–1211.

[18] M. Fuentes, G. Nofuentes, J. Aguilera, D.L. Talavera, M. Castro. (2007). Application and validation of algebraic methods to predict the behaviour of crystalline silicon PV modules in Mediterranean climates.**Solar Energy 81**.1396–1408.

[19] E.E. van Dyk E.L. Meyer. (2003). Analysis of the effect of parasitic resistances on the performance of photovoltaic modules. Renewable Energy 29 ,(2004) 333–344. (Sciencedirect).สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550,จากhttp://www.sciencedirect.com/.

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย)

วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2557