

การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์
เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์

ALGORITHM DESIGN FOR SOLAR PANELS
TO MEASURE SOLAR INTENSITY

เสาวรีย์ อรุณรัตน์วงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์
เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์

เสาวรีย์ อรุณรัตน์วงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์
ชื่อ - นามสกุล นางสาวเสาวรีย์ อรุณรัตน์วงศ์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

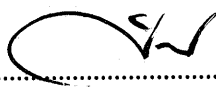

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐภัทร พันธุ์คง, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา ชัยวงษ์, วศ.ด.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรินทร์ แห่งมงาม, Ph.D.)


..... กรรมการ
(อาจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ตีวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 22 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวเสาวรีย์ อรุณรัตน์วงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

ความเข้มแสงอาทิตย์เป็นพารามิเตอร์ที่มีความจำเป็นในการทดสอบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ รวมไปถึงการวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์หรือไพรานอร์มิเตอร์ ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านราคา อย่างไรก็ตามถ้าสามารถนำเซ็นเซอร์ทางแสง เช่น แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้ในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ จะสามารถลดข้อจำกัดดังกล่าวได้

วิทยานิพนธ์นี้เสนอการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก เพื่อวัดความเข้มแสงอาทิตย์ให้มีความสามารถใกล้เคียงกับการวัดด้วยไพรานอร์มิเตอร์ โดยนำข้อมูลที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กมาทำการปรับเส้นโค้งกับข้อมูลที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์มาตรฐาน แล้วนำไปฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ เพื่อใช้ในการปรับค่าข้อมูลที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ หลังจากนั้นค่าที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์นำไปป้อนเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนแล้ว และนำค่าที่ได้จากเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดของไพรานอร์มิเตอร์มาตรฐาน

จากการทดลองนำวิธีที่นำเสนอไปใช้กับแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ เปรียบเทียบผลการวัดกับไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.16 และ 1.07 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ ตามลำดับ สรุปได้ว่าวิธีที่นำเสนอสามารถนำไปใช้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กที่มีราคาถูกได้

คำสำคัญ: ความเข้มแสงอาทิตย์ การปรับเส้นโค้ง โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ ไพรานอร์มิเตอร์

Thesis Title	Algorithm Design for Solar Panels to Measure Solar Intensity
Name-Surname	Miss Saowaree Arunrattanawong
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Mr. Chatchai Suppitaksakul, Ph.D.
Academic Year	2017

ABSTRACT

Solar intensity is a necessary parameter in testing and installing a photovoltaic power system including research on the use of solar cells. Its intensity is generally measured by using a solar intensity sensor or pyranometer which has limitation on its price. However, if light sensors such as small solar panels could be used to measure solar intensity, this limitation would be reduced.

This thesis proposes an algorithm design for small solar panels to measure solar intensity which had almost the same results as those measured by a pyranometer. Data from the small panels were firstly used to make curve fitting with the data obtained from the standard pyranometer. Then they were used to train a backpropagation artificial neural network in order to adjust the data from the solar panels. After that, the light values drawn from the panels were directly fed as the trained neural network input. Finally, the values obtained from the output of neural network were compared with those obtained from the standard pyranometer.

Based on the proposed method applied to 3-volt and 5-volt photovoltaic panels, compared with the results of using the SP-110 pyranometer for a 10-day period, similar results were found with an average error of 1.16% and 1.07% for 3-volt and 5-volt photovoltaic panels, respectively. Hence, it can be concluded that the proposed low-cost small solar panels could be used to measure solar intensity.

Keywords: solar intensity, curve fitting, backpropagation neural network, pyranometer

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม กรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันวิสา ชัชวงษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบุคลากร สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้คำชี้แนะและคำปรึกษาเกี่ยวกับการสร้างอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์และการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ ขอขอบคุณ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้วิจัยทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์บทความและงานวิจัยที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามีความพยายาม มุ่งมานะในการทำวิทยานิพนธ์สมบูรณ์ด้วยดีตลอดมา คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เสาวรีย์ อรุณรัตน์วงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	13
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	14
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	14
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	14
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	14
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา.....	15
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell).....	16
2.2 อุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์.....	20
2.3 วงจรขยายสัญญาณ.....	21
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR.....	23
2.5 การบันทึกข้อมูล.....	25
2.6 ทฤษฎีของการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting).....	26
2.7 ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks).....	29
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review).....	37
2.9 สรุป.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1 แผนผังโครงสร้างของระบบ.....	40
3.2 การออกแบบและจัดสร้างชุดความเข้มแสงอาทิตย์.....	41
3.3 การออกแบบอัลกอริทึมด้วยการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) และการฝึกสอนด้วย โครงข่ายประสาทเทียม.....	45
3.4 สรุป.....	54
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	55
4.1 การทดสอบของชุดความเข้มแสงอาทิตย์.....	55
4.2 สรุป.....	85
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	86
5.1 สรุปงานวิจัย.....	86
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
บรรณานุกรม.....	88
ภาคผนวก.....	91
ภาคผนวก ก รวมตารางผลการทดสอบ.....	92
ภาคผนวก ข งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่.....	124
ประวัติผู้เขียน.....	150

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์.....	47
ตารางที่ 3.2 สมการเชิงเส้นทั้ง 8 ช่วง	48
ตารางที่ 3.3 ผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์หลังจากการปรับเส้นโค้ง.....	49
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลในการทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม	51
ตารางที่ 3.5 ผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์.....	52
ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 27 ธันวาคม 2560.....	56
ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 27 ธันวาคม 2560.....	57
ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 5 มกราคม 2561	59
ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 5 มกราคม 2561	60
ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 8 มกราคม 2561	62
ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 8 มกราคม 2561	63
ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 13 มกราคม 2561	65
ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 13 มกราคม 2561	66
ตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 19 มกราคม 2561	68
ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 19 มกราคม 2561	69

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ.....	17
รูปที่ 2.2 มุมมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	18
รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	18
รูปที่ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ออปแอมป์.....	21
รูปที่ 2.5 วงจรขยายแรงดันแบบกลับเฟส	22
รูปที่ 2.6 วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟส	23
รูปที่ 2.7 บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ตระกูล AVR (Arduino Uno R3).....	24
รูปที่ 2.8 รายละเอียดบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ตระกูล AVR (Arduino Uno R3)	25
รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อโมดูลบันทึกข้อมูลกับบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์.....	26
รูปที่ 2.10 การปรับเส้นโค้ง.....	28
รูปที่ 2.11 กราฟของวิธีการประมาณค่าในช่วง	28
รูปที่ 2.12 กราฟของวิธีการถดถอย	29
รูปที่ 2.13 โครงสร้างเซลล์ประสาททางชีววิทยา	30
รูปที่ 2.14 โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม	31
รูปที่ 2.15 แบบจำลองนิเวรอน 1 อินพุต	32
รูปที่ 2.16 แบบจำลองของนิเวรอนหลายอินพุต	32
รูปที่ 2.17 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว	34
รูปที่ 2.18 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	34
รูปที่ 2.19 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning).....	35
รูปที่ 2.20 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning).....	36
รูปที่ 2.21 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ 2 ชั้นซ่อน	36
รูปที่ 3.1 แผนผังโครงสร้างของระบบที่ทำการจัดสร้างขึ้น.....	40
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของระบบชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์	41
รูปที่ 3.3 ไพรานอร์มิเตอร์มาตรฐานของบริษัท Apogee รุ่น SP-110	42
รูปที่ 3.4 วงจรการต่อใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์.....	42
รูปที่ 3.5 วงจรการต่อใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.6 วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟสด้วย TL072A	43
รูปที่ 3.7 วงจรชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328	44
รูปที่ 3.8 โครงสร้างของการออกแบบอัลกอริทึม.....	45
รูปที่ 3.9 การปรับเส้นโค้งโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel	46
รูปที่ 3.10 กราฟสมการการปรับเส้นโค้ง	48
รูปที่ 3.11 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ	50
รูปที่ 3.12 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์และ แผงโซลาร์เซลล์	53
รูปที่ 3.13 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์และแผงโซลาร์ เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์	53
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์และ แผงโซลาร์เซลล์	58
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์และแผงโซลาร์ เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์	58
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์และ แผงโซลาร์เซลล์	61
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์และแผงโซลาร์ เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์	61
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์และ แผงโซลาร์เซลล์	64
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์และแผงโซลาร์ เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์	64
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์และ แผงโซลาร์เซลล์	67
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์และแผงโซลาร์ เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานได้จากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานจากธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยม เพราะเป็นพลังงานสะอาด ที่สามารถใช้ได้ไม่มีมลพิษหรือมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และได้รับการสนับสนุนให้มีการใช้งานจากหน่วยงานของรัฐบาล เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้แนวเส้นศูนย์สูตร สามารถใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่นิยมนำมาเปลี่ยนรูปแบบของพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งสะดวกในการนำพลังงานไปใช้ต่อไป เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด มาต่อกันซึ่งเรียกว่า “P-N Junction” [1] เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟ เซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น โดยทั่วไปจะกำหนดอยู่ที่ 20 ปี ขึ้นไปหรือตามแต่บริษัทที่ผลิตจะระบุไว้ เนื่องจากการนำเซลล์แสงอาทิตย์ใช้งานจริงนั้นในประเทศไทยมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยไม่เกิน 700 W/m^2 [2] และสภาพของภูมิอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งมีปัจจัยอื่น ที่ทำให้การคำนวณค่าต่างๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง และไม่สามารถที่จะกำหนดค่าการเสื่อมสภาพให้สอดคล้องกับความเป็นจริงทำให้ยากในการที่จะคำนวณหาจุดคุ้มทุนที่แท้จริงของการติดตั้งระบบการตรวจสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่จริงหลังจากทำการติดตั้งไปแล้วนั้นทำได้ยากเนื่องจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้มีราคาแพง และตัวเครื่องส่วนมากมีขนาดใหญ่ ไม่ได้ถูกออกแบบให้มีการเคลื่อนย้ายไปใช้งานในพื้นที่ติดตั้งระบบจริงทำให้ไม่คุ้มค่าที่จะทำการตรวจสอบ

จากปัญหาที่ได้กล่าวมา จึงทำให้เกิดแนวคิดในการจัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่องการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่มีจำหน่ายทั่วไป [3] เพื่อประยุกต์ใช้ทดแทนอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยทำการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง โดยเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กจะถูกออกแบบใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาอัลกอริทึมเพื่อประยุกต์ใช้กับแผงโซลาร์เซลล์ในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและหาอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้ทดแทนไพแรนอ์มิเตอร์
- 1.2.3 เพื่อให้ได้อัลกอริทึมต้นแบบสำหรับวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ตั้งสมมติฐานของการศึกษา โดยพิจารณาผลการทดลองที่ได้จากการวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากอุปกรณ์ที่ออกแบบ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) กับค่าที่ได้จากไพแรนอ์มิเตอร์มาตรฐานมาทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ หลังจากนั้นทำการทดลองโดยนำค่าที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ โดยตรงในวันต่อมาป้อนเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนแล้วและนำค่าที่ได้จากเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดของไพแรนอ์มิเตอร์มาตรฐานของบริษัท Apogee รุ่น SP-110

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 ออกแบบชุดเก็บพารามิเตอร์ของแผงโซลาร์เซลล์
- 1.4.2 ออกแบบอัลกอริทึมเพื่อประยุกต์ใช้กับแผงโซลาร์เซลล์ในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์
- 1.4.3 ประเมินผลและเปรียบเทียบชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ต้นแบบกับไพแรนอ์มิเตอร์มาตรฐาน

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 ศึกษาหลักการและทฤษฎีการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์
- 1.5.3 ศึกษาวงจรขยายแรงดันและทำการออกแบบวงจร
- 1.5.4 ศึกษาหลักการและทฤษฎีการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR
- 1.5.5 ศึกษาโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.5.6 ศึกษาทฤษฎีของการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting)

- 1.5.7 ศึกษาทฤษฎีของโครงข่ายประสาทเทียม
- 1.5.8 ศึกษาการใช้ Neural Networks Toolbox ของโปรแกรม MATLAB
- 1.5.9 ศึกษาอัลกอริทึมเพื่อประยุกต์ใช้กับแผงโซลาร์เซลล์
- 1.5.10 ออกแบบชุดเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ และชุดเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากไพรานอรัมิเตอร์ รุ่น SP-110
- 1.5.11 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อวัดความเข้มแสงอาทิตย์ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กจะถูกออกแบบใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นทำการทดลองโดยนำค่าที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ มาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากไพรานอรัมิเตอร์มาตรฐานของบริษัท Apogee รุ่น SP-110

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ได้อุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้ทดแทนไพรานอรัมิเตอร์
- 1.7.2 ได้อัลกอริทึมต้นแบบสำหรับวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์
- 1.7.3 สามารถใช้เป็นต้นแบบเพื่อนำไปพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นหรือผลิตเพื่อจัดจำหน่ายในเชิงอุตสาหกรรมได้
- 1.7.4 เป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้งานเนื่องจากราคาถูกและสามารถเคลื่อนย้ายหรือนำไปใช้งานได้สะดวก

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อประกอบการพิจารณาใช้ในการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วยหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่สำคัญคือ

- 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)
- 2.2 อุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์
- 2.3 วงจรขยายสัญญาณ
- 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR
- 2.5 การบันทึกข้อมูล
- 2.6 ทฤษฎีของการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting)
- 2.7 ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)
- 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)
- 2.9 สรุป

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

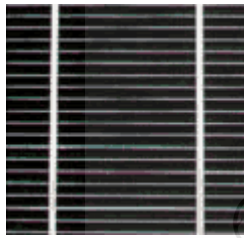
เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน มาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบ โฟตรอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะสามารถหลุดจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) ขึ้น ถือได้ว่าพลังงานไฟฟ้าเกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์นี้ เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อมในขณะใช้งาน

2.1.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

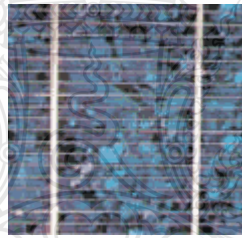
เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึกคือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมากไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7 % ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)



(ก) แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystal)



(ข) แบบผลึกรวม (Poly Crystal)



(ค) แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous)

รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ [4]

2.1.2 ตัวแปรที่สำคัญของการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้ [4, 5]

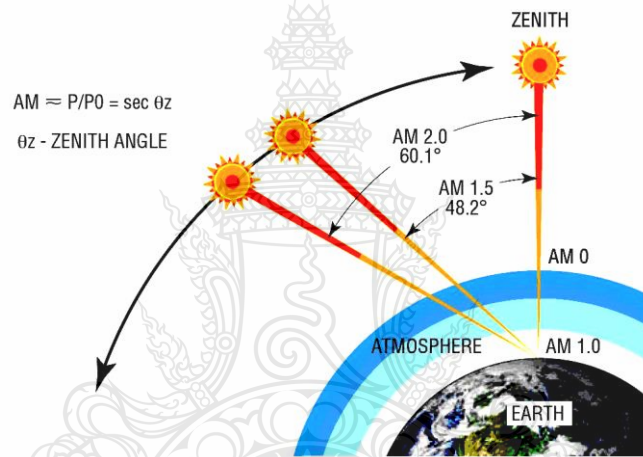
1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟฟ้า (Current) ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของ

แสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้น โลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอก และวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้น โลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) ทำมุม 48.2° กับพื้น โลกเป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

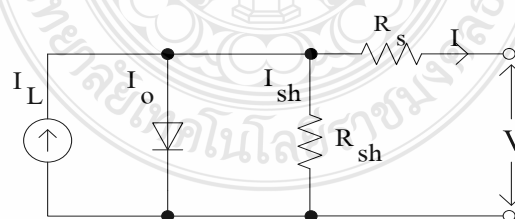
2. อุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้าจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่แรงดันแรงไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1°C ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีมาตรฐานของการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้อุณหภูมิ 25°C สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าจะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลง



รูปที่ 2.2 มุมมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [6]

2.1.3 วงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [7, 8]

$$I = I_L - I_o \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{kT}} - 1 \right) - \frac{(V + IR_s)}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

เมื่อ

I_L คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์สร้างขึ้นเมื่อได้รับแสง (A)

I_0 คือ ค่ากระแสไฟฟ้าอิ่มตัวย้อนกลับ (A)

q คือ ประจุอิเล็กตรอน (Coulomb)

k คือ ค่าคงที่ของโบลมันซ์ (J/K)

T คือ อุณหภูมิในหน่วยขององศาเคลวิน ($^{\circ}\text{K}$)

I คือ กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)

R_S คือ ความต้านทานที่ต่ออนุกรม (Ω)

R_{sh} คือ ความต้านทานที่ต่อขนาน (Ω)

2.1.4 การประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [9, 10]

การประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array yield)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference yield)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final yield)

พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture losses)

พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System losses)

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance ratio)

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array efficiency)

ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (PV inverter efficiency)

ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (System efficiency)

2.1.5 การลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากตัวเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [11, 12]

1. เกิดจากการสึกกร่อนของรอยต่อหรือเกิดจากการลดลงของแรงยึดเหนี่ยวโครงสร้างเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2. เกิดจากการเสื่อมของโลหะผสมที่อยู่ระหว่างรอยต่อพีเอ็น (p-n junction) ทำให้ค่าความต้านทานชั้นลดลง ความต้านทานชั้นเกิดจากการเกิดรั่วของกระแสไฟฟ้าที่ขอบของเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของผลึก

ดังนั้นงานวิจัยได้เลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กชนิดผลึกรวม มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ และทำการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์

2.2 อุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์

ในการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์สามารถวัดได้โดยใช้ไพรานอมีเตอร์ (Pyranometer) โดยมีหน่วยของการวัด คือวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) สามารถแบ่งไพรานอมีเตอร์ได้ 3 ชนิด คือ [13]

1. ไพรานอมีเตอร์ ที่ใช้ Thermo mechanical Sensor หรือแบบ Bimetallic ซึ่งมี Sensor เป็นแถบโลหะ 2 แถบ โดยแถบหนึ่งเป็นสีขาว และอีกแถบหนึ่งเป็นสีดำ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ ตกกระทบแถบสีดำจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ และขยายตัวได้มากกว่าแถบสีขาว แรงที่เกิดจากการขยายตัวดังกล่าวจะไปขับเคลื่อนหัวปากกาให้บันทึกข้อมูลเป็นลายเส้นลงบนกระดาษกราฟ ซึ่งฟังก์ชันรอบกระบอกกลมที่มีการขับเคลื่อนด้วยระบบโซลารหรือระบบนาฬิกาใช้แบตเตอรี่

2. ไพรานอมีเตอร์ ที่ใช้ Thermo electric Sensor หรือแบบ Thermopile ซึ่งมี Sensor ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งเชื่อมปลายทั้งสองติดกัน โดยปลายข้างหนึ่งทำหน้าที่เป็น Hot Junction และอีกข้างหนึ่งเป็น Cold Junction เมื่อ Hot Junction ถูกรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ Junction ทั้งสองและก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force) ขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะทั้งสองจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้

3. ไพรานอมีเตอร์ ที่ใช้กึ่งตัวนำเช่น สารซิลิกอนในการสร้างขึ้นหรือที่เรียกว่า “สารซิลิกอนไพรานอมีเตอร์ (Silicon Pyranometer)” มีหลักการทำงาน โดยการใช้สารซิลิกอนในการรับรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น ไพรานอมีเตอร์จะเปลี่ยนแปลงปริมาณแรงดันไฟฟ้าตามความเข้มแสงที่ได้รับ

ดังนั้นงานวิจัยได้เลือกใช้ไพรานอมีเตอร์มาตรฐานของบริษัท Apogee รุ่น SP-110 เพื่อเป็นต้นแบบเปรียบเทียบการทำงาน ซึ่งค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้อยู่ในช่วง 300-1000 nm

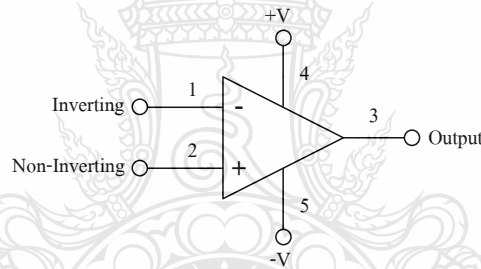
2.3 วงจรขยายสัญญาณ [14, 15]

จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ตัวต้านทานแปรผันตรงกับพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 10-250 มิลลิโวลต์ ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ดังนั้นจึงทำการออกแบบวงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟส ด้วย TL072A

ออปแอมป์ (Operational Amplifier) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติในการนำเอา มาประยุกต์ใช้งานเป็นวงจขยายสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีความหลากหลาย เช่น วงจร Inverting Amplifier, วงจร Noninverting Amplifier, วงจร Differential Amplifier, วงจร Voltage follower, วงจร Filter และวงจร Oscillator เป็นต้น

2.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ออปแอมป์ (Op-Amp)

ออปแอมป์มีขาใช้งานอยู่ 5 ขา แบ่งเป็นขาไฟเลี้ยง 2 ขา และอีก 3 ขา เป็นขาอินพุตแบบกลับเฟส (Inverting Input) ขาอินพุตแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) และขาเอาต์พุต (Output) โครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ออปแอมป์ จะประกอบไปด้วยขาที่นำมาใช้งาน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ออปแอมป์ [14]

ออปแอมป์มีขาใช้งานพื้นฐานอยู่ดังนี้

1. ขา Inverting ซึ่งเป็นขาอินพุตของออปแอมป์ โดยมีไว้เพื่อป้อนสัญญาณที่เป็นได้ทั้งสัญญาณไฟกระแสตรงและสัญญาณไฟกระแสสลับ ซึ่งสัญญาณที่ถูกป้อนเข้าไปที่ขา Inverting จะได้สัญญาณที่ตรงกันข้ามหรือแบบกลับเฟสที่จะออกมาทางขา Output
2. ขา Non-Inverting ซึ่งเป็นขาอินพุตของออปแอมป์ โดยมีไว้เพื่อป้อนสัญญาณที่เป็นได้ทั้งสัญญาณไฟกระแสตรงและสัญญาณไฟกระแสสลับ ซึ่งสัญญาณที่ถูกป้อนเข้าไปที่ขา Non-Inverting จะได้สัญญาณแบบไม่กลับเฟสหรืออินเฟสที่จะออกมาทางขา Output
3. ขา Output ซึ่งเป็นขาเอาต์พุตของออปแอมป์ โดยมีไว้เพื่อบอกสถานะการทำงานของออปแอมป์ ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการที่ทำการป้อนสัญญาณเข้าที่ขาอินพุตทั้งสองของออปแอมป์

4. ขา +V ซึ่งเป็นขาป้อนไฟบวก โดยจะมีค่าแรงดันไฟประมาณ 9 V ถึง 18 V ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้แรงดันไฟประมาณ 15 V

5. ขา -V ซึ่งเป็นขาป้อนไฟลบ โดยจะมีค่าแรงดันไฟประมาณ -9 ถึง -1 V 8 V ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้แรงดันไฟประมาณ -15 V

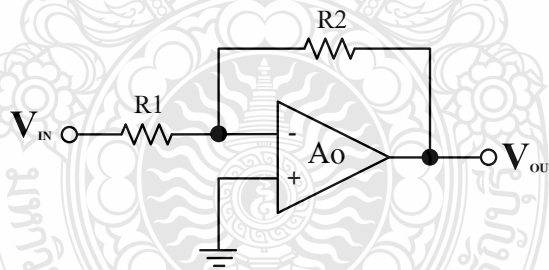
2.3.2 วงจรการใช้นานออปแอมป์พื้นฐาน [16]

วงจรการใช้นานออปแอมป์พื้นฐานจะมีทั้งวงจรขยายแรงดันแบบกลับเฟส วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟส และวงจรอื่นๆ หลักการต่างๆ ของวงจรจะเป็นพื้นฐานที่จะนำออปแอมป์ไปใช้สร้างวงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณไซน์ เพื่อนำไปใช้งานในลักษณะต่างๆ

1. วงจรขยายแรงดันแบบกลับเฟส (Inverting amplifier)

วงจรขยายแบบกลับเฟส คือ วงจรขยายที่มีสัญญาณเอาต์พุตกลับเฟสกับสัญญาณอินพุต 180° ดังรูปที่ 2.5 แสดงวงจรขยายแบบกลับเฟส ซึ่งวงจรประกอบด้วยออปแอมป์ ตัวต้านทาน R_1 ต่อระหว่างอินพุตกับขาลบของออปแอมป์ และตัวต้านทาน R_2 ต่อระหว่างอินพุตขาลบกับเอาต์พุตของออปแอมป์ ในลักษณะป้อนกลับแบบลบ อัตราขยายของวงจรสามารถออกแบบได้จากสมการที่ 2.2

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2.2)$$

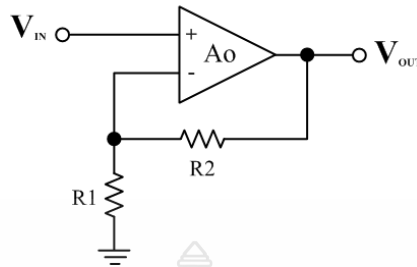


รูปที่ 2.5 วงจรขยายแรงดันแบบกลับเฟส [16]

2. วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟส (Non inverting amplifier)

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส คือ วงจรขยายที่มีสัญญาณเอาต์พุตเฟสเดียวกับสัญญาณอินพุต ดังรูปที่ 2.6 แสดงวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ซึ่งวงจรประกอบด้วยออปแอมป์ ตัวต้านทาน R_1 ต่อกับอินพุตขาลบของออปแอมป์กับกราวด์ และตัวต้านทาน R_2 ต่อระหว่างอินพุตขาลบกับเอาต์พุตของออปแอมป์ในลักษณะป้อนกลับแบบลบ อัตราขยายของวงจรสามารถออกแบบได้จากสมการที่ 2.3

$$A_V = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.6 วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟส [16]

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR [17]

ดังนั้น งานวิจัยได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นบอร์ด Arduino Uno R3 ผลิตโดยบริษัท arduino.cc ประเทศอิตาลี ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino Uno R3 เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งานถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายและได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากราคาไม่แพง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นบอร์ดอาคิโน (Arduino) ซึ่งเป็นภาษาอิตาลี โดยใช้เป็นชื่อของโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบโอเพนซอร์สที่ได้รับการปรับปรุงมาจากโครงการพัฒนาโอเพนซอร์สของ AVR อีกโครงการหนึ่งที่ชื่อว่า Wiring แต่เนื่องจากโครงการของ Wiring เลือกใช้ AVR เบอร์ ATmega128 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีจำนวนของหน่วยความจำและอินพุต เอาต์พุตที่ค่อนข้างมาก และที่สำคัญ ATmega128 เป็นชิพที่มีตัวถังแบบ SMD จึงทำให้เป็นอุปสรรคสำหรับผู้เริ่มต้นในการสร้างบอร์ดและต่อวงจรขึ้นมาใช้งานกันเอง และบอร์ดจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ซึ่งอาจดูว่าเกินความจำเป็นสำหรับผู้เริ่มต้น จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควร แต่หลังจากที่ทีมงานอาคิโนนำซอร์สโค้ดของ Wiring มาพัฒนาปรับปรุงใหม่โดยให้สามารถใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก เช่น Mega8, Mega168, Mega328 ได้จึงทำให้ระบบวงจรของบอร์ดมีขนาดเล็กกว่า Wiring มากและยังใช้อุปกรณ์น้อยชิ้นทำให้ง่ายต่อการต่อวงจรและยังประหยัดต้นทุนในการสร้างบอร์ด

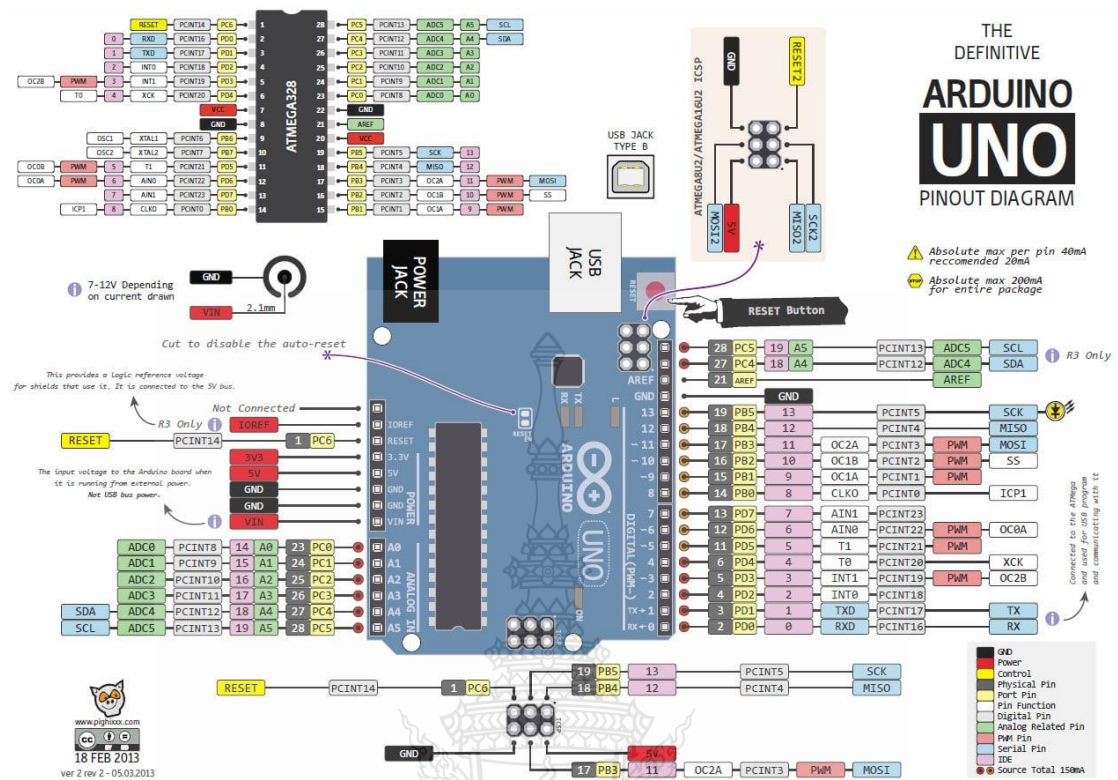
อาคิโนเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ AVR ขนาดเล็กเป็นตัวประมวลผลและสั่งงาน ควบคุม เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตต่างๆ ในแบบที่เป็นการทำงานตัวเดียวอิสระหรือเชื่อมต่อสั่งงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ อาคิโนสนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุต เอาต์พุตต่างๆ แบบดิจิทัลและแอนะล็อก เช่น การรับค่าจากสวิทช์หรือ

อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) แบบต่างๆ รวมไปถึงการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่างๆ โดยมีรายละเอียดของบอร์ดดังนี้

- ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega328
- ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
- รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 - 12 V
- รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 - 20 V
- พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
- พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
- กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40 mA
- กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3 V	50 mA
- พื้นที่โปรแกรมภายใน	32 KB พื้นที่โปรแกรม 500 B ใช้โดย Bootloader
- พื้นที่แรม	2 KB
- พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1 KB
- ความถี่คริสตัล	16 MHz
- ขนาด	68.6 x 53.4 mm
- น้ำหนัก	25 กรัม



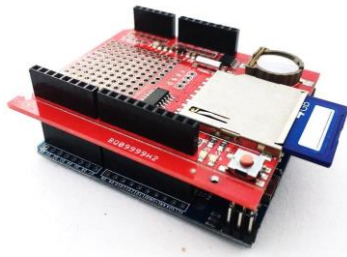
รูปที่ 2.7 บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ตระกูล AVR (Arduino Uno R3) [17]



รูปที่ 2.8 รายละเอียดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (Arduino Uno R3) [17]

2.5 การบันทึกข้อมูล

ในการจะบันทึกข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ทำการเก็บค่าได้นั้น สามารถทำได้หลายวิธีในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้การบันทึกค่าลงใน SD Card เพื่อสะดวกในการใช้งาน แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ไม่สามารถส่งค่าไปเก็บลง SD Card ได้โดยตรงจำเป็นต้องมี Data Logger Shield สำหรับการเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ มาบันทึกไว้ใน SD Card แล้วต้องการให้ได้ค่าของเวลาและของแต่ละช่วงเวลา จะต้องใช้โมดูลอยู่ 2 ตัว คือ โมดูล Real Time Clock เบอร์ DS1307 เพื่อไว้ตั้งค่าของเวลา และ โมดูล SD Card เพื่อบันทึกข้อมูลที่อ่านได้จากค่าเซ็นเซอร์ และเก็บข้อมูลลงใน SD Card สำหรับบอร์ด Arduino Data Logger Shield ตัวนี้ได้ออกแบบสำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO



รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อโมดูลบันทึกข้อมูลกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ [18]

2.6 ทฤษฎีของการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) [19]

การปรับเส้นโค้งเป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบค่าสมการที่เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลโดยการทำการปรับเส้นโค้งจะเป็นการนำเอาค่าของตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามหลายๆ ค่ามาวิเคราะห์แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะทำได้ค่าสมการที่เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนั้นได้ใกล้เคียงกับชุดข้อมูลที่สุด การปรับเส้นโค้งมีอยู่สองแบบ

จากสมการสมมติให้ $(x_i, Y_i), i=1,2,\dots,n$ เป็นชุดข้อมูลที่ต้องการหาฟังก์ชัน $y = f(x)$ ที่ผ่านชุดข้อมูลดังกล่าว ดังรูปที่ 2.10

2.6.1 สมการความสัมพันธ์ที่มีผลรวมของกำลังสองของความผิดพลาดทั้งหมด มีค่าน้อยที่สุด

หลักการหาสมการความสัมพันธ์ที่มีผลของกำลังสองของความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด คือต้องหาค่า a และ b ของสมการ

$$y(x) = ax + b \quad (2.4)$$

ที่ทำให้ค่า R มีค่าน้อยที่สุดโดยที่

$$\begin{aligned} R &= \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (Y_i - y(x_i))^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (Y_i - ax_i - b)^2 \end{aligned} \quad (2.5)$$

สามารถจัดรูปแบบใหม่ได้ดังสมการที่

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i Y_i \quad (2.6)$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + bn = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (2.7)$$

ซึ่งเป็นระบบสมการเชิงเส้นสองสมการ สองตัวแปรคือ a และ b หลังจากทำการหาคำตอบของสมการแล้วนำค่าไปแทนลงในสมการ $y(x) = ax + b$ ก็จะได้สมการเส้นตรงออกมา

2.6.2. การประมาณค่าฟังก์ชันด้วยฟังก์ชันเอกโปเนนเชียล

เนื่องจากชุดข้อมูลส่วนใหญ่ที่ได้จากการทดลองหรือปัญหาจริงนั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปลักษณะฟังก์ชันเอกโปเนนเชียล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ฟังก์ชันเอกโปเนนเชียลในการปรับเส้นโค้งของชุดข้อมูลที่มีโดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$y(x) = k_1 e^{k_2 x} \quad (2.8)$$

โดยที่

k_1, k_2 เป็นค่าคงที่ใดๆ

สามารถหาค่า k_1, k_2 ได้ดังสมการ

$$\ln y = \ln k_1 + k_2 x \quad (2.9)$$

กำหนดให้

$$\ln y = z, \ln k_1 = c_1, k_2 = c_2 \quad (2.10)$$

จะได้สมการเชิงเส้น

$$z(x) = c_1 + c_2 x \quad (2.11)$$

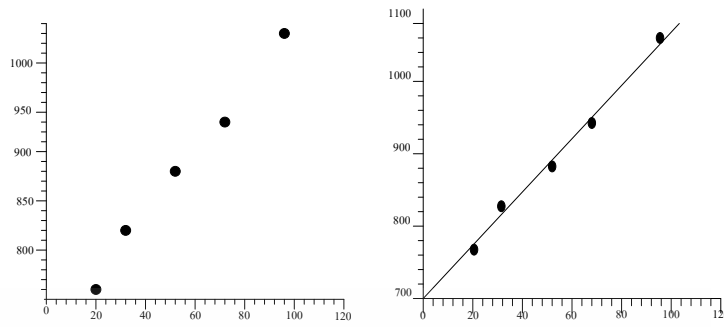
สามารถหาค่า $c_1 + c_2$ โดยใช้สมการความสัมพันธ์ที่มีผลรวมของกำลังสองของความผิดพลาดทั้งหมด มีค่าน้อยที่สุด แล้วนำมาแทนค่าลงในสมการ (2.8) เพื่อหาค่า k_1, k_2 แล้วนำค่ามาแทนลงในสมการที่ (2.11) แล้วจะได้ฟังก์ชันที่ต้องการ

ข้อจำกัดของการประมาณค่าฟังก์ชันด้วยฟังก์ชันเอกโปเนนเชียลคือ ค่าของ $y_i, i = 1, 2, \dots, n$ ต้องเป็นค่าบวกเสมอ

จากสมการเส้นตรง

$$Y = a + bX \quad (2.12)$$

การปรับเส้นโค้งเป็นการหาค่าของค่าของค่าที่ (a) และค่าความชันของเส้นกราฟ (b) ที่ทำให้สมการเส้นตรงผ่านชุดข้อมูลที่ใกล้เคียงที่สุด

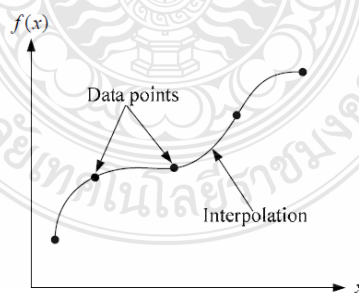


รูปที่ 2.10 การปรับเส้นโค้ง [19]

จากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ จะพบว่าข้อมูลที่ได้โดยส่วนใหญ่จะเป็นจุดไม่ต่อเนื่อง จึงมีความต้องการที่จะวาดเส้นกราฟที่ต่อเนื่องผ่านจุด เพื่อเป็นข้อมูลหรือต้องการค่าที่อยู่ระหว่างจุดของข้อมูลที่มีในทางวิศวกรรม โดยอาศัยเทคนิคที่เรียกว่า Curve Fitting ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. วิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) จะลากเส้นกราฟผ่านจุดทุกจุดของข้อมูลที่มี ดังรูปที่ 2.11 วิธีนี้เหมาะสำหรับจุดข้อมูลที่มีความถูกต้องสูง เช่น ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณที่ซับซ้อน หรือได้ทำการทดลองตามวิธีมาตรฐานด้วยเครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องสูง วิธีการประมาณค่าในช่วงแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

1. การประมาณค่าในช่วงฟังก์ชันพหุนามแบบนิวตัน
2. การประมาณค่าในช่วงฟังก์ชันพหุนามแบบลากรางจ์
3. การประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้ง

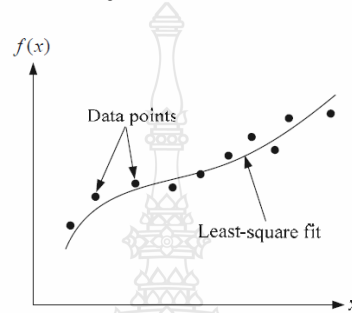


รูปที่ 2.11 กราฟของวิธีการประมาณค่าในช่วง [19]

2. วิธีการถดถอย (Regression) จะสร้างกราฟเส้นโค้งลากให้ผ่านจุดข้อมูลที่มีให้มากที่สุดดังรูปที่ 2.12 โดยเส้นกราฟที่สร้างขึ้นจะเป็นข้อมูล โดยมีความสัมพันธ์กันหรือมีแนวโน้มจะ

เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณในแกนหนึ่งเพิ่มขึ้น วิธีนี้จะเหมาะกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยเฉพาะข้อมูลจากการทดลองในภาคสนาม ซึ่งมีความแปรปรวนได้มาก วิธีการถดถอยแบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ

1. การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression)
2. การถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression)
3. การถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression)
4. การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression)



รูปที่ 2.12 กราฟของวิธีการถดถอย [19]

2.7 ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) [20]

โครงข่ายประสาทเทียม เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) ที่เน้นด้านการคำนวณ และได้รับแรงบันดาลใจจากโมเดลทางชีวภาพ โดยมีความพยายามที่ลอกเลียนแบบการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์ ยกตัวอย่าง เช่น การเรียนรู้ของเด็ก ตั้งแต่แรกเกิดจนถึงสามขวบ โดยระยะเริ่มต้น เด็กจะเรียนรู้ว่าผู้ใดคือ พ่อ แม่ หรือคนแปลกหน้า และมีการตอบสนองเมื่อเด็กถูกเรียกชื่อ รู้จักแยกแยะสี และสิ่งของต่างๆ เริ่มเปล่งเสียงพูดได้เป็นคำ และเริ่มแสดงความรู้สึกความคิดเห็น เป็นต้น

จะเห็นได้ว่า ความสามารถในการเรียนรู้ของสมองมนุษย์จะมีการพัฒนาขึ้นตามลำดับ และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ นั้น จะพบว่ามีการทำงานตามคำสั่งอย่างตรงไปตรงมาเท่านั้น เช่น การใช้งานอินเทอร์เน็ต และการสืบค้นข้อมูล เป็นต้น การทำงานดังกล่าวของเครื่องคอมพิวเตอร์นี้ ไม่มีประสิทธิภาพพอที่เครื่องจะสามารถแสดงความคิดเห็น หรือวิพากษ์วิจารณ์เกี่ยวกับข้อมูลต่างๆ ได้ จะเห็นว่าการทำงานของสมองมนุษย์มีความซับซ้อนกว่ามาก ซึ่งนักประสาทวิทยาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้พยายามที่จะศึกษาค้นคว้าวิจัยมาอย่างต่อเนื่องที่จะสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะการประมวลผลคล้ายการทำงานของสมองมนุษย์ และจากที่ผ่านมาส่วนหนึ่งก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

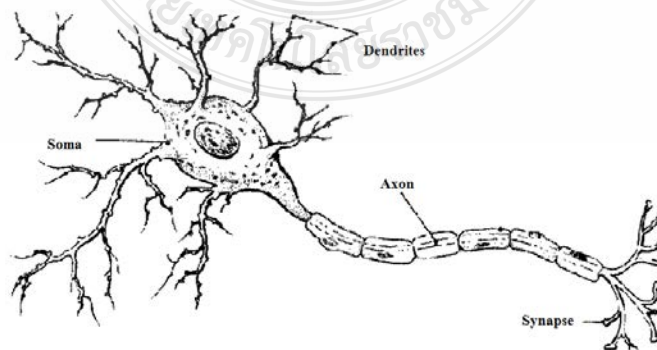
รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมนั้น เป็นความก้าวหน้าอย่างหนึ่งของความพยายามที่จะพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันให้สามารถที่จะทำนายสิ่งต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมสามารถหาความสัมพันธ์ของข้อมูลนำเข้าอินพุต และข้อมูลส่งออกเอาต์พุต ได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลที่นำเข้าและข้อมูลส่งออก

2.7.1 ความหมายและหลักการของโครงข่ายประสาทเทียม [20]

โครงข่ายประสาทเทียม คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ โดยที่โครงข่ายประสาทของมนุษย์ จะประกอบไปด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) และจุดประสานของประสาทหรือไซแนปส์ (Synapses) โดยโครงสร้างของการส่งสัญญาณประสาทประกอบจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทหลายพันล้านเซลล์ โดยเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะประกอบไปด้วยแขนงรับสัญญาณซึ่งเป็นเสมือนหน่วยรับข้อมูลป้อนเข้า เรียกว่า เดนไดรต์ (Dendrites) และส่วนปลายของเซลล์ประสาทในการส่งสัญญาณประสาท ซึ่งเป็นเสมือนหน่วยส่งข้อมูลของเซลล์ เรียกว่า แอกซอน (Axon) โดยการส่งสัญญาณประสาทดังกล่าวนี้ อาจทำให้เกิดได้ทั้งการกระตุ้นและยับยั้ง นอกจากนี้แล้ว วิธีการประมวลผลภายในเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ยังมีการขยายหรือลดขนาดของสัญญาณได้อีกด้วย โดยสัญญาณจากเดนไดรต์ต่างๆ จะรวมกันเข้าสู่เซลล์ประสาท (Cell Body or Soma) และมีความแรงของสัญญาณเกินค่าระดับ (Threshold) ของเซลล์ประสาทรุ่นๆ เซลล์ประสาทจะส่งสัญญาณออกไปทางแอกซอนต่อไป

กระบวนการเรียนรู้ในสิ่งมีชีวิตจะเป็นผลให้เกิดการสร้างไซแนปส์ระหว่างเซลล์ประสาทขึ้นมาใหม่ หรือเกิดการทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสภาพของไซแนปส์ต่างๆ ในโครงข่ายของเซลล์ประสาท ฉะนั้นโครงข่ายประสาทของสิ่งมีชีวิตจึงไม่ได้ทำงานแบบเป็นลำดับขั้นตอน (Sequential) แต่เพียงอย่างเดียว

ลักษณะโดยทั่วไปของโครงสร้างระบบประสาททางชีววิทยาแสดงดังรูปที่ 2.13

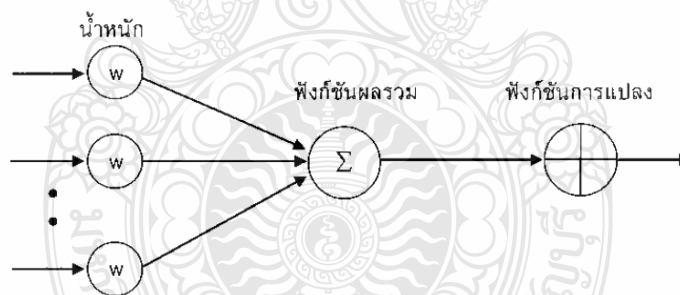


รูปที่ 2.13 โครงสร้างเซลล์ประสาททางชีววิทยา [21]

โครงข่ายประสาทเทียมจะมีลักษณะคล้ายกับการส่งผ่านสัญญาณประสาทในสมองของมนุษย์ คือ มีความสามารถในการรวบรวมความรู้ (Knowledge) โดยผ่านกระบวนการการเรียนรู้ (Learning process) และความรู้เหล่านี้จะถูกจัดเก็บอยู่ในโครงข่ายในรูปแบบค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งสามารถที่จะปรับเปลี่ยนค่าได้เมื่อมีการเรียนรู้สิ่งใหม่ๆ

โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม มีองค์ประกอบดังนี้

1. ข้อมูลป้อนเข้าอินพุต (Input) เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลข หากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ จะต้องมีการแปลงข้อมูลที่โครงข่ายประสาทเทียมยอมรับได้
2. ข้อมูลส่งออกเอาต์พุต (Output) คือ ผลลัพธ์ที่เกิดจากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
3. ค่าน้ำหนัก (Weight) คือ สิ่งที่ได้มาจากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ค่านี้อาจถูกเก็บเป็นทักษะเพื่อใช้ในการเรียนรู้จดจำข้อมูลอื่นๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน
4. ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function : S) เป็นผลรวมของข้อมูลป้อนเข้าและค่าน้ำหนัก
5. ฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function) เป็นการคำนวณจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม เช่น ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function) เป็นต้น



รูปที่ 2.14 โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม [21]

2.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทกับเซลล์ประสาทเทียม [20]

โครงข่ายประสาทเทียมนั้นเป็นอัลกอริทึมที่เลียนแบบการเรียนรู้จดจำของสมองมนุษย์ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานที่สามารถเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทกับเซลล์ประสาทเทียมได้ดังนี้

เซลล์ประสาท

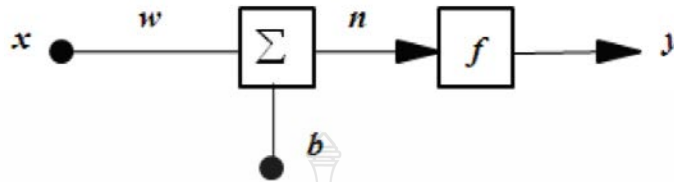
- ตัวเซลล์ (Cell Body or Soma)
- เดนไดรต์ (Dendrites)

เซลล์ประสาทเทียม

- ยูนิต (Unit)
- ตัวแปรอินพุต (Input Layer)

- แอกซอน (Axon)
- ซินแนปส์ (Synapse)
- ตัวแปรเอาต์พุต (Output Layer)
- ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight Value)

2.7.2.1 แบบจำลองนิวรอน 1 อินพุต (Single-Input Neuron)



รูปที่ 2.15 แบบจำลองนิวรอน 1 อินพุต [20]

โครงสร้างพื้นฐานของนิวรอนที่มีหนึ่งอินพุต ดังรูปที่ 2.15 อินพุต x จะคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) w โดยมีไบอัส (Bias) b เป็นอีกอินพุตที่มีค่าน้ำหนัก โดยอินพุตทั้งหมดจะถูกรวมได้เอาต์พุตเป็น n เรียกว่า เน็ตอินพุต (Net Input) เป็นอินพุตของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) f และจะได้เอาต์พุตนิวรอน y ตามสมการที่ 2.13 ดังนี้

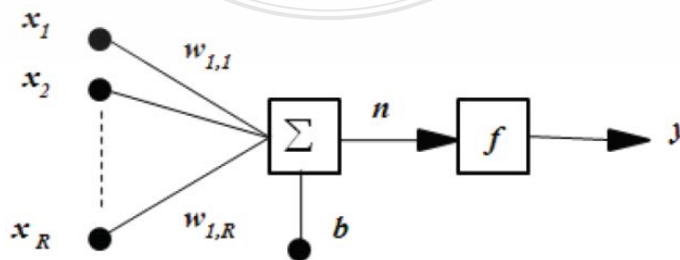
$$y = f(wx + b) \quad (2.13)$$

โดยที่

- x คือ อินพุต
- w คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก
- b คือ ไบอัส
- f คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน
- y คือ เอาต์พุต

และค่าถ่วงน้ำหนัก w และไบอัส b สามารถปรับค่าได้ตามกฎการเรียนรู้และค่าเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันถ่ายโอน f ซึ่งสามารถกำหนดได้โดยผู้ใช้งาน

2.7.2.2 แบบจำลองนิวรอนหลายอินพุต (Multiple-Input Neuron)



รูปที่ 2.16 แบบจำลองของนิวรอนหลายอินพุต [20]

โครงข่ายประสาทที่มีอินพุตหลายอินพุตนั้น จะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละอินพุต ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งสามารถเขียนเป็นเมตริกซ์ได้เรียกว่า เมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีสัญลักษณ์เป็น W จะถูกรวมเข้ากับอินพุตของฟังก์ชันถ่ายโอน n ตามสมการที่ 2.14

$$n = w_{1,1}x_1 + w_{1,2}x_2 + \dots + w_{1,R}x_R + b \quad (2.14)$$

เขียนอยู่ในรูปเมตริกซ์ตามสมการที่ 2.15

$$n = Wx + b \quad (2.15)$$

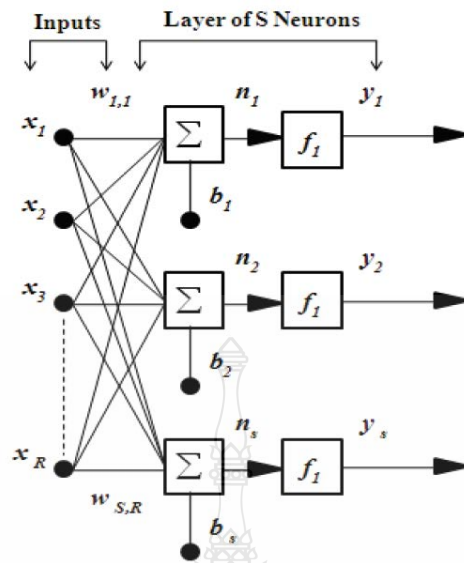
โดยที่เมตริกซ์ w เป็น Row Matrix มีเพียง 1 แถว จะได้เอาต์พุตนิเวรอนตามสมการที่ 2.16

$$y = f(Wx + b) \quad (2.16)$$

2.7.3 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม [20]

จากลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประกอบไปด้วยตัวเซลล์จำนวนมากเชื่อมต่อกัน ซึ่งการเชื่อมต่อแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย โดยมีชั้นแรก เป็นชั้นรับข้อมูลป้อนเข้า คือ ตัวแปรอินพุต (Input Layer) และมีชั้นสุดท้ายเป็นชั้นส่งข้อมูลออก คือ ตัวแปรเอาต์พุต (Output Layer) และระหว่างชั้นรับข้อมูลเข้ากับชั้นส่งข้อมูลออก จะมีชั้นที่เรียกว่าชั้นแฝง (Hidden Layer) ซึ่งโดยทั่วไปอาจมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมได้ 2 แบบ คือ โครงข่ายแบบชั้นเดียว (Single-Layer Network) กับ โครงข่ายแบบหลายชั้น (Multiple-Layer Network) ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันไป

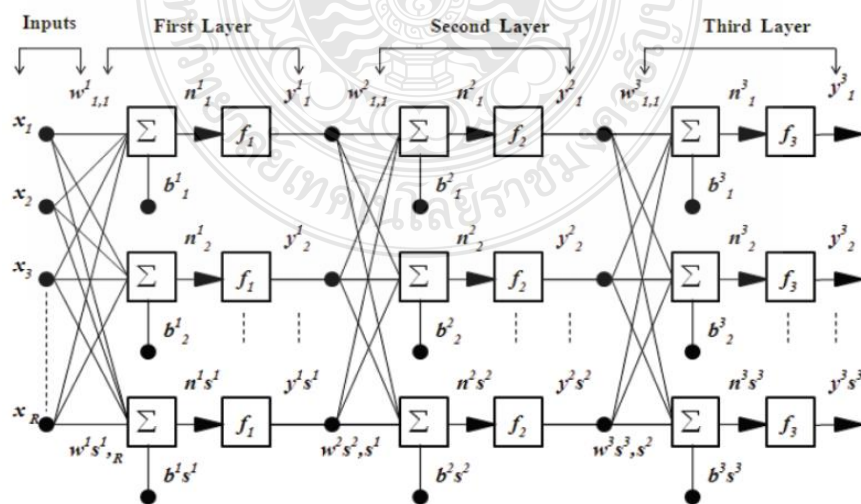
1. โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single-Layer Network) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายที่ประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทเทียมจัดเรียงอยู่ในชั้นต่างๆ ได้แก่ ชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต สาเหตุที่จัดโครงสร้างเป็นแบบชั้นเดียว เนื่องมาจากนับชั้นเอาต์พุตเพียงชั้นเดียวเท่านั้น เพราะชั้นอินพุตจะไม่มีผลกระทบใดๆ จึงไม่พิจารณาว่าเป็นชั้นของเซลล์ประสาททำหน้าที่แค่เพียงรับข้อมูลเข้ามาและส่งต่อไปยังชั้นถัด



รูปที่ 2.17 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว [20]

2. โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multiple-Layer Network)

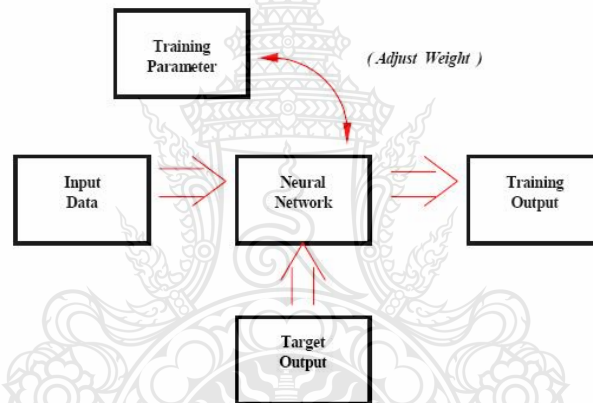
โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวนั้นจะมีข้อจำกัด คือไม่สามารถนำมาแก้ไขในบางกรณีที่ซับซ้อนได้ นักวิจัยจึงเสนอรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ซึ่งมีโครงสร้างของตัวเซลล์ประสาทตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป (ไม่นับรวมชั้นอินพุต) โดยรูปแบบของการทำงานจะป้อนไปข้างหน้า (Feedforward) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุตและเอาต์พุต เรียกว่า “ชั้นซ่อน (Hidden Layer)” ซึ่งเป็นตัวเพิ่มความสามารถให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม ทั้งนี้จำนวนของชั้นซ่อนสามารถมีได้มากกว่า 1 ชั้น และแต่ละชั้นอาจมีจำนวนนิวรอนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้



รูปที่ 2.18 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น [20]

2.7.4 ประเภทการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม [18]

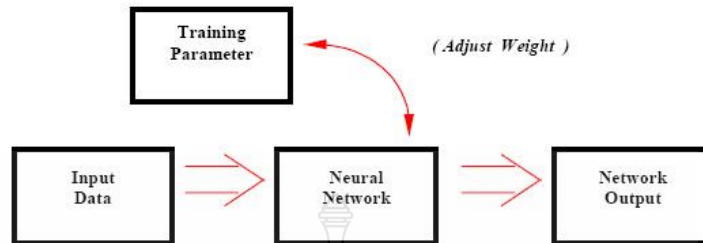
1. การเรียนรู้แบบควบคุม (Supervised Learning) ข้อมูลจะประกอบด้วยตัวอย่างที่ต้องการสอน และผลลัพธ์ที่ต้องการ กำหนดคู่กันของการฝึกสอนที่เรียกว่า “เทรนนิ่งแพร์ (Training Pairs)” เมื่อมีการนำข้อมูลในลักษณะเดียวกันมาเป็นข้อมูลป้อนเข้า โครงข่ายประสาทเทียมจะกำหนดค่าผลลัพธ์ที่เป็นเป้าหมายให้กับข้อมูลป้อนเข้าแต่ละตัว และโครงข่ายประสาทเทียม จะนำค่าผิดพลาดระหว่างเป้าหมายกับค่าผลลัพธ์ที่ได้ ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะถูกป้อนเข้าไปในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อมาใช้ในการปรับค่าน้ำหนัก (Weight) เพื่อให้ค่าผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุด (ถ้าเปรียบเทียบกับมนุษย์ก็เหมือนการสอนนักเรียน โดยมีครูผู้สอนคอยให้คำแนะนำ) โครงข่ายประสาทเทียมประเภทนี้จะแบ่งออกเป็น Feedforward Neural Network และ Radial Basis Function Network ซึ่งนิยมนำไปแก้ปัญหาลักษณะการประมาณค่าฟังก์ชัน (Function Approximation)



รูปที่ 2.19 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) [21]

2. การเรียนรู้แบบไม่มีการควบคุม (Unsupervised Learning) การเรียนรู้แบบนี้จะทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยการนำข้อมูลป้อนเข้าอย่างต่อเนื่องเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการส่งค่าผลลัพธ์เป้าหมายให้กับข้อมูลป้อนเข้าแต่ละตัว โดยการปรับค่าน้ำหนักนั้นจะปรับจากข้อมูลที่นำมาสอน โดยปรับตามกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน (เปรียบเทียบกับงานที่สมองมนุษย์เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ ตามลักษณะรูปร่างของมันได้ด้วยตัวเอง) การสอนโดยวิธีนี้จะไม่สามารถระบุได้ว่าข้อมูลเอาต์พุตไหนคือเป็นข้อมูลกลุ่มไหน ผู้ใช้งานจะต้องกำหนดเอง ต่างจากการสอนแบบรู้ควบคุมที่สามารถระบุกลุ่มเอาต์พุตได้อย่างแน่นอน โครงข่ายประสาทเทียมประเภทนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ Kohonen Network นิยมใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะการแยกแยะ

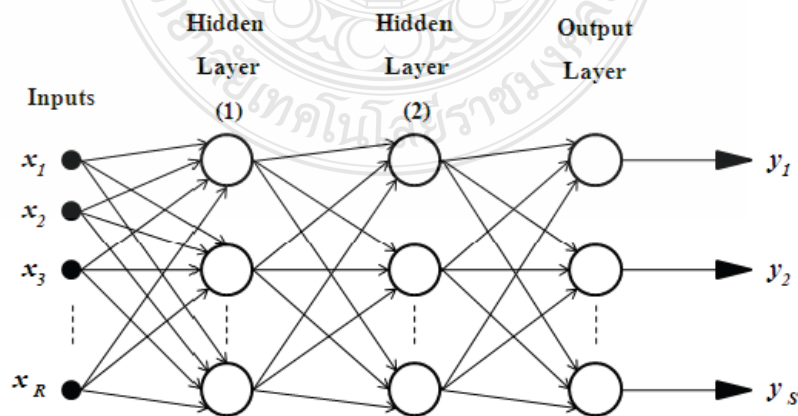
(Classification Problem) และ Hopfield Network ซึ่งนิยมใช้แก้ปัญหาลักษณะการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Problem)



รูปที่ 2.20 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) [21]

2.7.5 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ (Backpropagation) [18]

เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างเป็นแบบหลายชั้น (Multiple-Layer Network) ประกอบด้วย ชั้นอินพุต (Inputs) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) โดยมีการเชื่อมโยงในแต่ละชั้นแบบต่อกันหมด โดยทุกๆ นิวรอนในชั้นอินพุตจะส่งสัญญาณไปยังชั้นซ่อนแรก ส่งต่อไปจนถึงชั้นซ่อนสุดท้ายและส่งสัญญาณไปยังชั้นเอาต์พุต วิธีการคำนวณลักษณะนี้มีชื่อตามลักษณะว่า Forward-Propagation และขั้นต่อไปจะเป็นการคำนวณแบบ Backward-Propagation ซึ่งจะนำค่าเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมาเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตเป้าหมายเพื่อคำนวณค่าผิดพลาด และค่าผลต่างจะถูกส่งกลับไปยังชั้นซ่อน ชั้นตอนสุดท้ายก็จะนำค่าผิดพลาดมาใช้เป็นค่าปรับถ่วงน้ำหนัก โดยจะมีอัลกอริทึมสำหรับปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัส โดยกระบวนการจะกลับไปทำซ้ำในชั้นตอนแรกจนกระทั่งค่าผิดพลาดที่ได้มีค่าน้อยหรือต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ 2 ชั้นซ่อน [21]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

ในระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำเป็นต้องใช้ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานซึ่งประกอบไปด้วย กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสงอาทิตย์ ในส่วนของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีใช้งานในปัจจุบันเป็นเครื่องมือที่สร้างจากต่างประเทศและมีราคาแพง ดังนั้นจึงได้ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ ดังต่อไปนี้

อนูรักษ์ เกษวัฒนากุล และฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล [3] นำเสนอการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC ของบริษัท Microchip มาประยุกต์ใช้ในการเก็บค่าพารามิเตอร์และประมวลผล โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการเก็บค่ามีดังนี้คือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ในส่วนของอุปกรณ์ในการวัดความเข้มแสงแสงของดวงอาทิตย์ (Pyranometer) นั้นมีราคาแพง ต้องการให้ชุดวัดค่าพารามิเตอร์มีราคาถูกลง ได้ทำการศึกษาคูสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่มีจำหน่ายทั่วไป เพื่อประยุกต์ใช้ทดแทนอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์

ธวัช เกษสติดิษฐ์ [22] ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้ม ของปริมาณรังสีเพื่อศึกษาข้อมูลตลอดจนแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการนำไปพิจารณาออกแบบระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคตให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตกระแสไฟฟ้า

Joel Cruz-Colon [23] นำเสนอการออกแบบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์แบบต้นทุนต่ำโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการตรวจวัดความเข้มแสงของแรงดันไฟฟ้าเปิดและกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์และได้คำนวณหารังสีดวงอาทิตย์ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพ ซึ่งอุปกรณ์ไพแรนอมิเตอร์มีราคาแพงประกอบกับเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาที่ถูกกว่า ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A ในการประมวลผลการตรวจวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

เกษม ตรีภาค และคณะฯ [24] นำเสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์หรือไพแรนอมิเตอร์ โดยใช้โฟโตไดโอดเป็นเซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ จากนั้นนำแรงดันที่วัดคร่อมตัวต้านทานที่ต่อขนาดกัับโฟโตไดโอด มาขยายแรงดันแล้วนำมาสอบเทียบกับไพแรนอมิเตอร์ เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าของเครื่องวัดที่ออกแบบกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากไพแรนอมิเตอร์ แล้วนำสมการที่ได้มาเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ซึ่งผลการทดสอบวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบเทียบกับไพแรนอมิเตอร์ พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยนำไปสอบเทียบกับไพแรนอมิเตอร์ ยี่ห้อ KIPP & ZONER รุ่น CMP3 แล้วมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.69 เปอร์เซ็นต์ ที่ส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.08 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 4.4 เปอร์เซ็นต์

มรกต แสนกุล และสมชาย กฤตพลวิวัฒน์ [25] นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์แบบพกพา โดยใช้โซลาร์เซลล์เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ ลักษณะการทำงานจะใช้ตัวกระจายแสงแบบเทปลอน เพื่อลดความผิดพลาดโคซายน์ของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหัววัด และทำการวัดรังสีแสงอาทิตย์โดยวัดจากค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและอุณหภูมิของโซลาร์เซลล์โดยทำการสอบเทียบกับไพรานอมิเตอร์ของบริษัท Kipp & Zonen Model CM11 จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และบันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำอย่างอัตโนมัติ การควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA2560 ทำการเขียนการควบคุมด้วยภาษาซี ผลการทดสอบหัววัดรังสีดวงอาทิตย์ในภาคสนามเปรียบเทียบกับค่าหัววัดไพรานอมิเตอร์ จะได้ค่ารังสีรวมเฉลี่ยที่วัดได้จากหัววัดทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าความผิดพลาดบวกลบ 1.1 เปอร์เซ็นต์

สิริกร กรมโพธิ์ และนวพร วิสิฐพงษ์พันธ์ [26] นำเสนอการพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการเดินทางในอนาคตโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล GPS ที่ได้จากกลุ่มยานพาหนะอาสาจำนวนมากที่เดินทางบนสภาวะการจราจรจริง เพื่อให้ผู้ขับขี่ยานยนต์สามารถประเมินเวลาที่ต้องใช้ในการเดินทางและเลือกเส้นทางก่อนการเดินทางเพื่อประหยัดเวลาบนท้องถนน ผลการวิจัยพบว่าข้อมูลที่ศึกษาให้ความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นกรณีนี้สามารถใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นเข้ามาช่วยทำนายเวลาในการเดินทาง และความเร็วเฉลี่ยจากข้อมูล GPS สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์เวลาประมาณในการเดินทางได้ถูกต้องประมาณ 86.56 เปอร์เซ็นต์ ความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

2.9 สรุป

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในปัจจุบันพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในประเทศไทย เพราะเป็นพลังงานที่สะอาดสามารถใช้ได้ไม่มีมลพิษหรือมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 แบบคือการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน ในการนำความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ จะต้องมีองค์ประกอบความรู้ด้านศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ ในพื้นที่ต่างๆ ซึ่งสามารถทำได้โดยการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ แต่ในปัจจุบันเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์หรือไพรานอมิเตอร์แบบมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ต่างประเทศจะมี

ราคาสูง จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้นำเสนอวิธีการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง เช่น โฟโตไดโอด, โฟโตทรานซิสเตอร์, LDR และ แผงโซลาร์เซลล์ แต่พบว่ายังมีค่าความคลาดเคลื่อน จึงได้ศึกษาวิธีที่จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลง โดยทำการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อใช้กับแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก



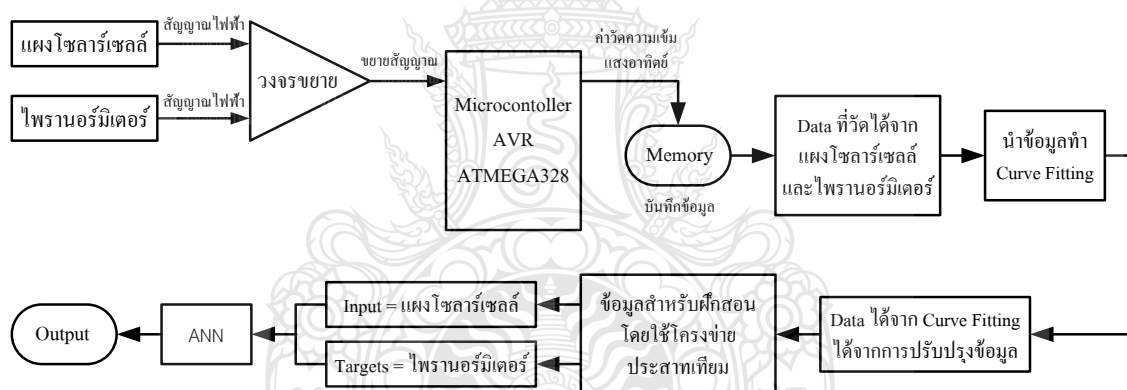
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

บทนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนและวิธีการดำเนินการในส่วนต่างๆ ภายในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย แผนผังโครงสร้างของระบบ, การออกแบบและจัดสร้างชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์, การออกแบบอัลกอริทึมด้วยการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) และการฝึกสอนด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และสรุปวิธีการดำเนินการวิจัยโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 แผนผังโครงสร้างของระบบ

โครงสร้างของการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.1



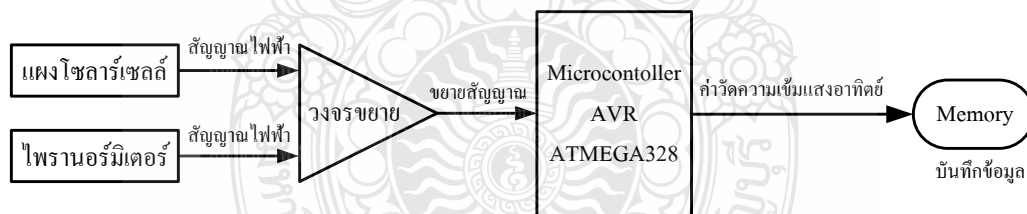
รูปที่ 3.1 แผนผัง โครงสร้างของระบบที่ทำการจัดสร้างขึ้น

จากรูปที่ 3.1 ส่วนของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ ได้เลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ เป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยนำมาต่อขนานกับความต้านทานขนาด 22 โอห์ม และเลือกใช้ไพรมิเตอร์มาตรฐาน รุ่น SP-110 ในการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ แล้วทำการขยายแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในย่านที่สามารถนำไปใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยใช้วงจรถ่ายขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟสด้วย TL072A ดังนั้นจะได้อัตราการขยายแรงดันที่ต่อกับแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 2 เท่า และอัตราการขยายแรงดันที่ต่อกับไพรมิเตอร์ เท่ากับ 20 เท่า จากนั้นทำการวัดและบันทึกค่าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA328 [17] โดยบันทึกค่าทุก 2 นาที ตั้งแต่พระ

อาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งพระอาทิตย์ตก โดยเขียน โปรแกรมให้รับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) จากไพรานอ์มิเตอร์และแผงโซลาร์เซลล์ แล้วนำค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอ์มิเตอร์มาทำการปรับเส้นโค้ง โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาสมการเชิงเส้นแบบถดถอย ในแต่ละช่วงของค่าแรงดันที่วัดได้ [27] จากนั้นนำค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์มาแทนค่าในตัวแปร X ในสมการเชิงเส้นแบบถดถอย เมื่อได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่ได้จากการแทนค่าในสมการและค่าที่ได้จากไพรานอ์มิเตอร์ ไปทำการฝึกสอนด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยกำหนดให้อินพุตเป็นค่าข้อมูลของการปรับเส้นโค้งที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ เอมาริเรียนรู้ด้วยเอาต์พุตที่เป็นผลจากไพรานอ์มิเตอร์ ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ หลังจากนั้นทำการทดลองโดยนำค่าที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ โดยตรงในวันต่อมาป้อนเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนแล้วและนำค่าที่ได้จากเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดของไพรานอ์มิเตอร์มาตรฐานของบริษัท Apogee รุ่น SP-110

3.2 การออกแบบและจัดสร้างชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์

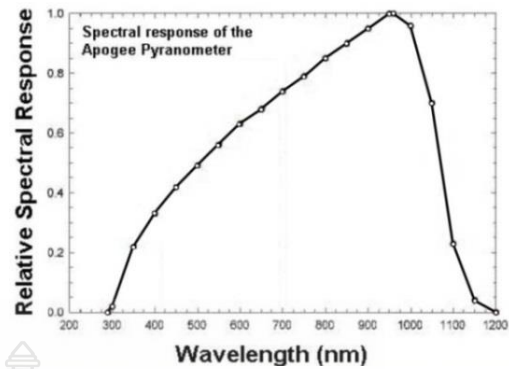
โครงสร้างของการออกแบบและจัดสร้างชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของระบบชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์

3.2.1 วงจรวัดความเข้มแสงอาทิตย์

จากการศึกษาพบว่าเครื่องวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์หรือไพรานอ์มิเตอร์ที่มีใช้ในปัจจุบันนั้นผลิตที่ต่างประเทศจะมีราคาสูง ทำให้ต้นทุนในการสร้างมีราคาแพงตามไปด้วย ดังนั้นจึงทำการศึกษาแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กชนิดผลึกรวมที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ ในการวัดค่าความเข้มแสงแทนไพรานอ์มิเตอร์ โดยใช้ไพรานอ์มิเตอร์มาตรฐานของบริษัท Apogee รุ่น SP-110 [13] เป็นต้นแบบเปรียบเทียบการทำงาน ซึ่งค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้อยู่ในช่วง 300-1000 nm ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ไพรานอร์มิเตอร์มาตรฐานของบริษัท Apogee รุ่น SP-110

ในการเลือกอุปกรณ์ในการนำมาสร้างเป็น ไพรานอร์มิเตอร์นั้น มีข้อกำหนดเบื้องต้นดังต่อไปนี้

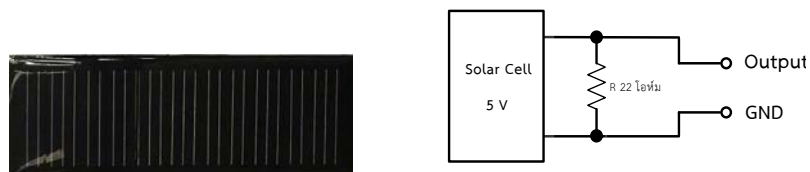
1. สามารถหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศ
2. ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอนหรือทำงานด้วยแสง
3. ราคาต้องไม่แพง

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ 50 มิลลิแอมป์ 0.15 วัตต์ มีขนาด 2 x 10.7 มิลลิเมตร เป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกรวมดั่งรูป ทำการออกแบบวงจรการใช้งานโดยนำความต้านทานขนาด 22 โอห์ม ต่อขนานกับแผงโซลาร์เซลล์ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรการต่อใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ [28]

2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์ 80 มิลลิแอมป์ 0.44 วัตต์ มีขนาด 30 x 60 มิลลิเมตร เป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกรวมดั่งรูป ทำการออกแบบวงจรการใช้งานโดยนำความต้านทานขนาด 22 โอห์ม ต่อขนานกับแผงโซลาร์เซลล์ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรการต่อใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์ [28]

3.2.2 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.4 และ 3.5 เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ได้รับแสงอาทิตย์ ที่ชี้ของแผงโซลาร์เซลล์จะเกิดกระแสไหลผ่าน ดังนั้นเมื่อนำตัวต้านมาต่อขนานกระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านตัวต้านทานครบวงจรได้ ซึ่งขนาดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ แล้วจึงนำไปทดสอบโดยให้แสงอาทิตย์ตกกระทบบนที่แผงโซลาร์เซลล์ จากนั้นวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะแปรผันกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรตามกฎของโอห์ม ผลจากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ตัวต้านทานแปรผันตรงกับพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 10-250 มิลลิโวลต์ และทำการขยายแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในย่านที่สามารถนำไปใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยใช้วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟสด้วย TL072A และคำนวณอัตราขยายแรงดันด้วยสมการที่ 1

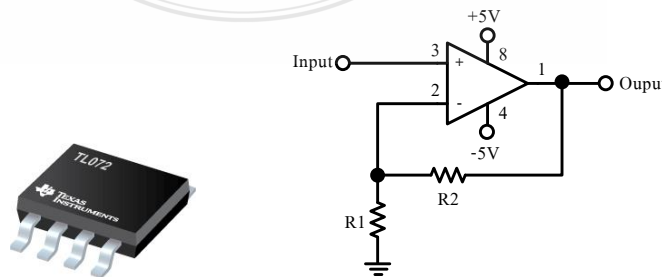
$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3.1)$$

สมการที่ 3.1 A_v คืออัตราขยายแรงดัน V_{OUT} คือแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการขยายให้มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ ส่วน V_{IN} คือแรงดันไฟฟ้าก่อนการขยายมีค่าสูงสุดที่ 250 มิลลิโวลต์ ดังนั้นจะได้อัตราขยายแรงดันที่ต่อกับแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 2 เท่า และอัตราขยายแรงดันที่ต่อกับไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 เท่ากับ 20 เท่า จากนั้นนำอัตราขยายแรงดันที่ได้คำนวณหาขนาดของตัวต้านทานที่ใช้ต่อในวงจรขยายแรงดันด้วย TL072A โดยสมการที่ 3.2 และ 3.3

$$A_v = 1 + \frac{10\Omega}{R_1} \quad (3.2)$$

$$A_v = 1 + \frac{470\Omega}{R_1} \quad (3.3)$$

R_1 คือขนาดตัวต้านทานที่ต้องนำมาต่อในวงจรขยาย เมื่อใช้อัตราขยายแรงดันที่ได้จากสมการที่ 3.1 มาแทนในสมการที่ 3.2 จะได้ R_1 เท่ากับ 10 โอห์ม ได้อัตราขยายเท่ากับ 2 เท่า และแทนในสมการที่ 3.3 จะได้ R_1 เท่ากับ 24 โอห์ม ได้อัตราขยายเท่ากับ 20 เท่า แสดงการต่อวงจรดังรูปที่ 3.6

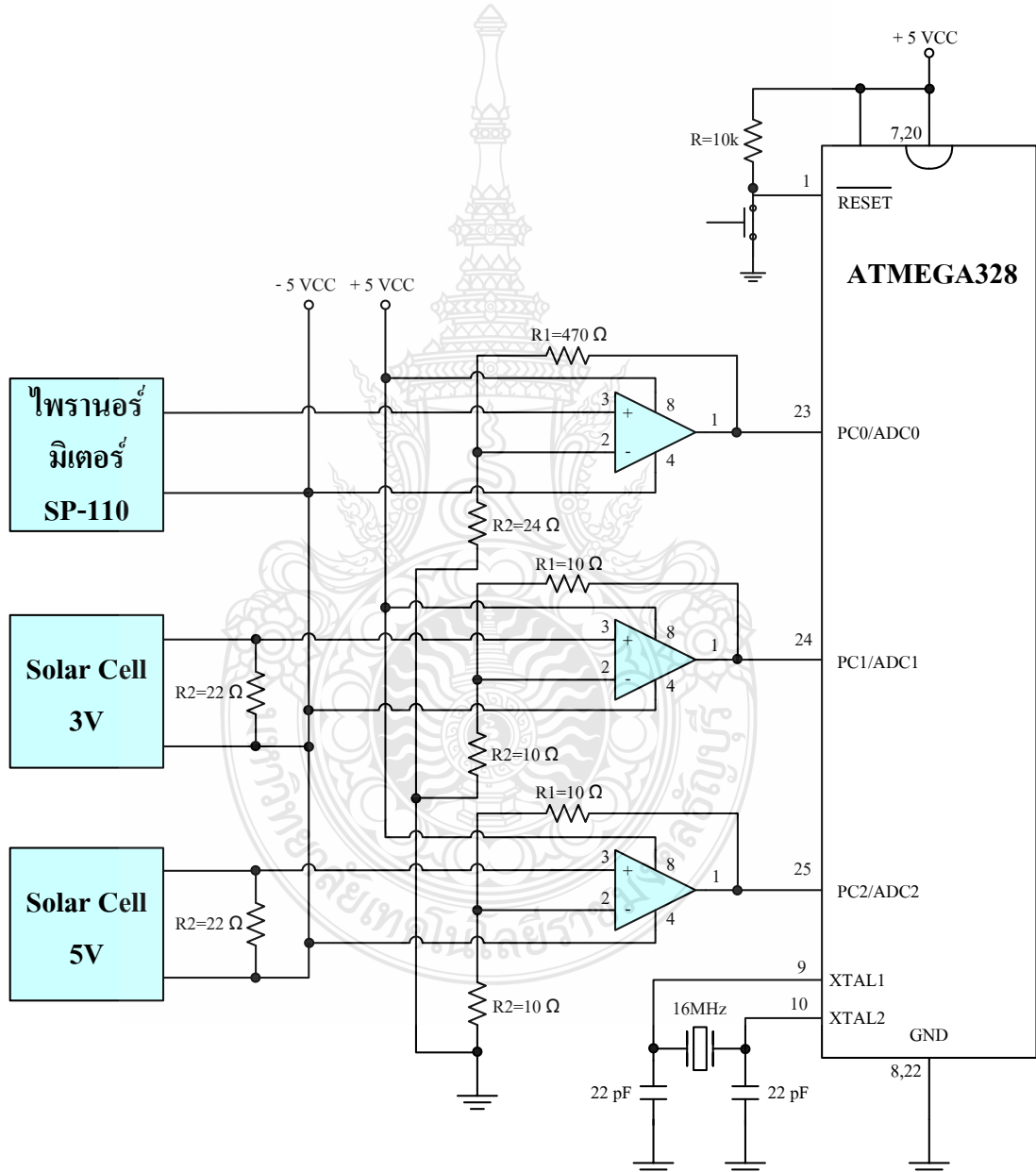


รูปที่ 3.6 วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟสด้วย TL072A [14]

3.2.3 วงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการควบคุมการทำงานของระบบได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA328 [17] ดังรูปที่ 3.7 โดยมีหน้าที่ในการทำงานดังนี้

1. ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ
2. รับและส่งข้อมูล
3. บันทึกค่า



รูปที่ 3.7 วงจรชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328

จากรูปที่ 3.7 การทำงานเริ่มจากการรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ เพื่อจ่ายให้อุปกรณ์ต่างๆ บนบอร์ด หลังจากนั้นทำการต่อวงจรของชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328 โดยกำหนดให้ขาไพรมิเตอร์ต่อเข้ากับ PC0 ขาที่ 23 แสงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ ต่อเข้ากับ PC1 ขาที่ 24 และแสงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 โวลต์ ต่อเข้ากับ PC2 ขาที่ 25 จากนั้นทำการวัดและบันทึกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยบันทึกค่าทุก 2 นาที ตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งพระอาทิตย์ตก โดยเขียนโปรแกรมให้รับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากไพรมิเตอร์และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่อขนานกับแสงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 และ 5 โวลต์ เก็บข้อมูลลงใน SD Card

3.3 การออกแบบอัลกอริทึมด้วยการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) และการฝึกสอนด้วย

โครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างของการออกแบบอัลกอริทึมด้วยการปรับเส้นโค้งและการฝึกสอนด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของการออกแบบอัลกอริทึม

3.3.1 การปรับเส้นโค้ง

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกใช้วิธีการถดถอย (Regression) โดยใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่ตัวแปรอิสระส่วนใหญ่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ส่วนตัวแปรตามจะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณเท่านั้น รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สามารถแทนได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเชิงเส้น ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเป็นการนำข้อมูลจากตัวแปรที่ทำการศึกษามาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่สามารถบอก

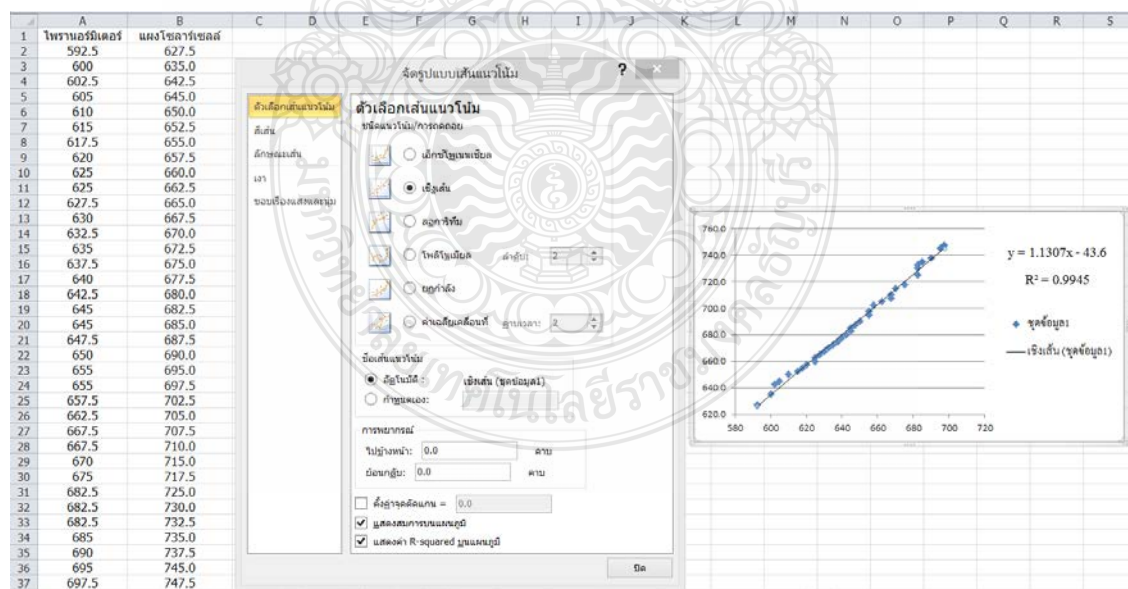
แนวโน้มของความสัมพันธ์โดยใช้แผนภาพเส้นตรงแทนได้ และจะทำการหาเส้นตรงที่ดีที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา เส้นตรงที่ดีที่สุดจะมีเพียงเส้นเดียวโดย

การปรับเส้นโค้งเป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบค่าสมการที่เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลโดยการทำการปรับเส้นโค้งจะเป็นการนำเอาค่าของตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระและตัวแปรตามหลายๆ ค่ามาวิเคราะห์แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้ได้ค่าสมการที่เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนั้นได้ใกล้เคียงกับชุดข้อมูลที่สุด โดยทำการปรับเส้นโค้งด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

1. เมื่อได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดจากไพรานอร์มิเตอร์และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่อขนานกับแผงโซลาร์เซลล์ แล้วนำค่ามาจัดเรียงจากค่าน้อยไปหาค่ามาก เพื่อแบ่งช่วงระหว่างของแรงดันที่วัดได้ตั้งแต่ 0-0.50, 0.51-1.00, 1.01-1.50, 1.51-2.00, 2.01-2.50, 2.51-3.00, 3.00-3.50 และ 3.51-4.00

2. นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดจากไพรานอร์มิเตอร์และแผงโซลาร์เซลล์ แปลงให้เป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) ดังตารางที่ 3.1

3. นำค่าความเข้มแสงอาทิตย์ จากตารางที่ 3.1 ไปทำการปรับเส้นโค้งกับค่าที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์มาตรฐาน เพื่อให้ได้สมการเชิงเส้นแบบถดถอยในแต่ละช่วง ในส่วนของแกน Y จะเป็นข้อมูลของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ และแกน X จะเป็นข้อมูลของไพรานอร์มิเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ 3.9

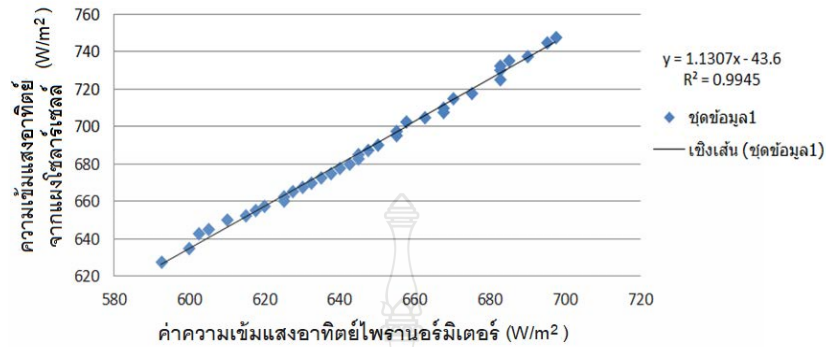


รูปที่ 3.9 การปรับเส้นโค้งโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

ตารางที่ 3.1 ผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

ค่าความเข้มแสงอาทิตย์			ค่าความเข้มแสงอาทิตย์		
(W/m ²)		% ความ	(W/m ²)		% ความ
ไพรานอร์	แผงโซลาร์	คลาดเคลื่อน	ไพรานอร์	แผงโซลาร์	คลาดเคลื่อน
มิเตอร์	เซลล์		มิเตอร์	เซลล์	
627.5	592.5	5.6	685	645	5.8
635	600	5.5	687.5	647.5	5.8
642.5	602.5	6.2	690	650	5.8
645	605	6.2	695	655	5.8
650	610	6.2	697.5	655	6.1
652.5	615	5.7	702.5	657.5	6.4
655	617.5	5.7	705	662.5	6.0
657.5	620	5.7	707.5	667.5	5.7
660	625	5.3	710	667.5	6.0
662.5	625	5.7	715	670	6.3
665	627.5	5.6	717.5	675	5.9
667.5	630	5.6	725	682.5	5.9
670	632.5	5.6	730	682.5	6.5
672.5	635	5.6	732.5	682.5	6.8
675	637.5	5.6	735	685	6.8
677.5	640	5.5	737.5	690	6.4
680	642.5	5.5	745	695	6.7
682.5	645	5.5	747.5	697.5	6.7

4. ตัวอย่างสมการเชิงเส้นแบบถดถอยที่ได้จากการปรับเส้นโค้งของช่วงที่วัดแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 2.51-3.00 โวลต์ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 กราฟสมการการปรับเส้นโค้ง

พิจารณาจากกราฟรูปที่ 3.10 พบว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองสามารถเขียนออกมาเป็นสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ 3.4

$$Y = mX + b \quad (3.4)$$

โดยในแต่ละช่วงของค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีค่าความชัน (m) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงแบ่งช่วงของพลังงานแสงอาทิตย์ออกเป็น 8 ช่วง แล้วสร้างสมการเส้นตรงในแต่ละช่วงสรุปได้ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สมการเชิงเส้นทั้ง 8 ช่วง

ช่วงที่	สมการความเข้มแสงอาทิตย์: Y (W/m ²)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้: X (V)
1	$Y = 1.1033x - 11.441$	0 - 0.50
2	$Y = 1.0651x - 6.0627$	0.51 - 1.00
3	$Y = 1.0598x - 5.463$	1.01 - 1.50
4	$Y = 1.0835x - 13.559$	1.51 - 2.00
5	$Y = 1.0639x - 2.3124$	2.01 - 2.50
6	$Y = 1.1307x - 43.6$	2.51 - 3.00
7	$Y = 1.3248x - 176.8$	3.01 - 3.50
8	$Y = 1.2675x - 127.49$	3.51 - 4.00

จากตารางที่ 3.2 ตัวแปร Y ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) ส่วนตัวแปร X ค่าแรงดันไฟฟ้าของช่วงที่วัดได้ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

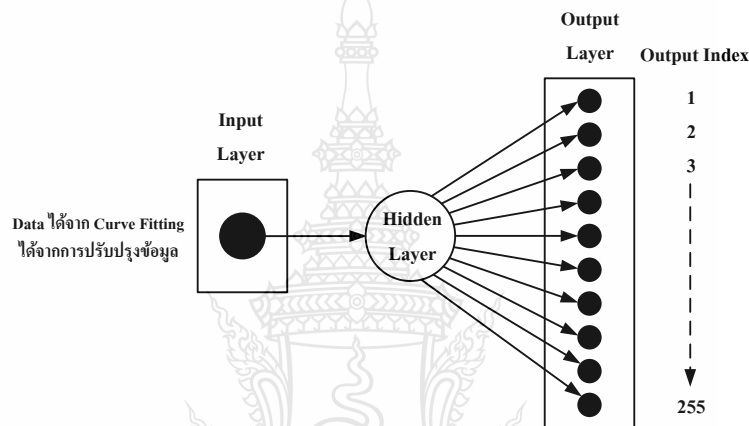
5. จากนั้นนำค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ตารางที่ 3.1 มาแทนค่าในตัวแปร X ในสมการเชิงเส้นแบบถดถอยดังตารางที่ 3.2 จะได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์จากการปรับเส้นโค้ง ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์หลังจากการปรับเส้นโค้ง

ค่าความเข้มแสงอาทิตย์			ค่าความเข้มแสงอาทิตย์		
(W/m^2)		% ความคลาดเคลื่อน	(W/m^2)		% ความคลาดเคลื่อน
ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์		ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์	
627.5	626.3	0.2	685	685.7	0.1
635	634.8	0.0	687.5	688.5	0.1
642.5	637.6	0.8	690	691.4	0.2
645	640.5	0.7	695	697.0	0.3
650	646.1	0.6	697.5	697.0	0.1
652.5	651.8	0.1	702.5	699.8	0.4
655	654.6	0.1	705	705.5	0.1
657.5	657.4	0.0	707.5	711.1	0.5
660	663.1	0.5	710	711.1	0.2
662.5	663.1	0.1	715	714.0	0.1
665	665.9	0.1	717.5	719.6	0.3
667.5	668.7	0.2	725	728.1	0.4
670	671.6	0.2	730	728.1	0.3
672.5	674.4	0.3	732.5	728.1	0.6
675	677.2	0.3	735	730.9	0.6
677.5	680.0	0.4	737.5	736.6	0.1
680	682.9	0.4	745	742.2	0.4
682.5	685.7	0.5	747.5	745.1	0.3

3.3.2 การพิจารณาและกำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

ข้อมูลที่ได้จากการกำหนดค่าตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตเป็นปัญหาชนิดฟังก์ชันต่อเนื่องไม่เป็นเชิงเส้น จากการศึกษาในบทที่ 2 สามารถเลือกโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multiple-Layer Network) โดยการทำงานเลือกแบบป้อนไปข้างหน้า (Feedforward) ส่วนการฝึกสอนใช้แบบชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ (Backpropagation) โดยโครงสร้างลักษณะนี้นิยมเรียกว่าโครงข่ายประสาทเทียมเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multilayer Perceptron Network : MLP) ลักษณะตามรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ

3.3.3 เงื่อนไขการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

เงื่อนไขที่กำหนดขอบเขตการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะมีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ Neural Networks Toolbox ของโปรแกรม MATLAB ฝึกสอน ดังนั้นองค์ประกอบบางชนิดที่มีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่โปรแกรม MATLAB ได้กำหนดไว้แล้วกเว้นองค์ประกอบบางอย่าง เช่น รูปแบบอินพุตและเอาต์พุต, จำนวนข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ เป็นต้น ซึ่งผู้ใช้งานจะเป็นผู้กำหนดจุดมุ่งหมายของการฝึกสอนเอง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ฝึกสอนให้ได้เอาต์พุตที่ต้องการ คือ ผลของไพรมานอร์มิเตอร์ การฝึกสอนจะประมวลผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ CPU : Intel Core i7 ความเร็ว 2.5 GHz RAM : 16 GB

3.3.4 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเป็นกระบวนการที่ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต โดยอัลกอริทึมที่ช่วยในการฝึกสอนเร็วใช้วิธีการแพร่ค่าย้อนกลับ

1. ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมนำผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยกำหนดให้ Inputs เป็นข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากการปรับเส้นโค้ง และ Targets เป็นข้อมูลที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลในการทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

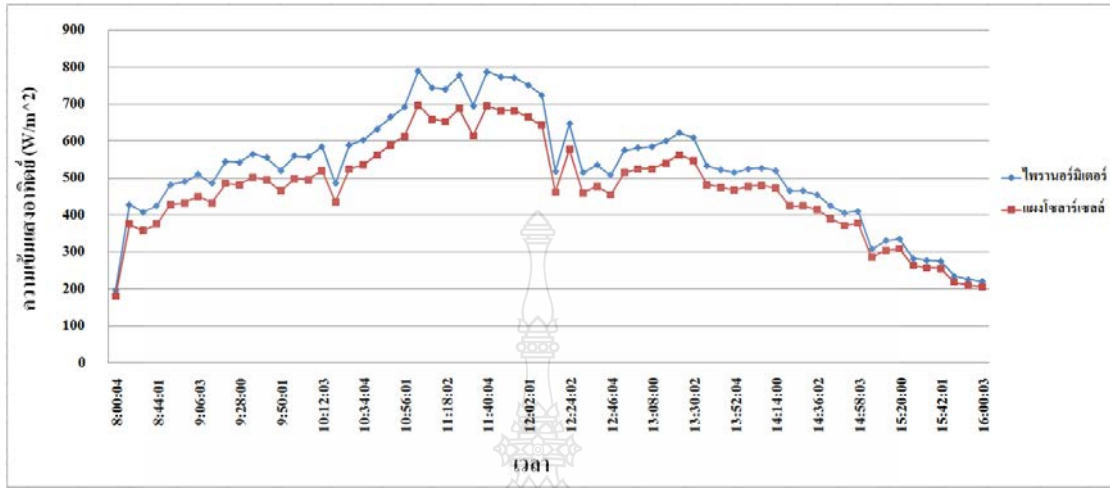
ค่า Targets	ค่า Inputs	ค่า Targets	ค่า Inputs
ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์
627.5	626.3	685	685.7
635	634.8	687.5	688.5
642.5	637.6	690	691.4
645	640.5	695	697.0
650	646.1	697.5	697.0
652.5	651.8	702.5	699.8
655	654.6	705	705.5
657.5	657.4	707.5	711.1
660	663.1	710	711.1
662.5	663.1	715	714.0
665	665.9	717.5	719.6
667.5	668.7	725	728.1
670	671.6	730	728.1
672.5	674.4	732.5	728.1
675	677.2	735	730.9
677.5	680.0	737.5	736.6
680	682.9	745	742.2
682.5	685.7	747.5	745.1

2. ขั้นตอนการป้อนอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม นำผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ กำหนดให้ค่าที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์เป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) และค่าที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ (V) ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

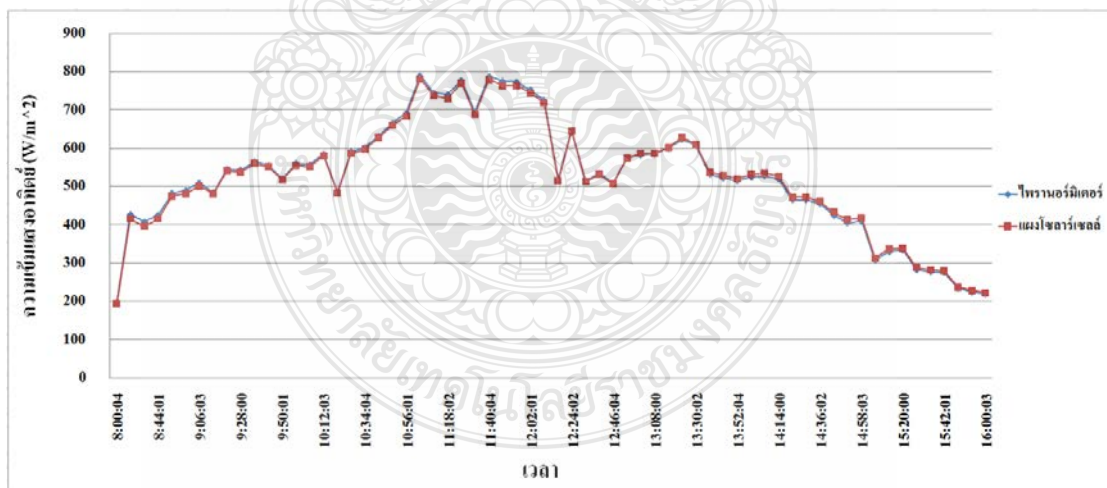
ไพรานอ์มิเตอร์ (W/m ²)	แผงโซลาร์เซลล์ (V)	ไพรานอ์มิเตอร์ (W/m ²)	แผงโซลาร์เซลล์ (V)
195	0.90	695	3.07
485	2.16	787.5	3.47
545	2.42	772.5	3.41
542.5	2.41	752.5	3.32
565	2.51	725	3.21
555	2.47	517.5	2.31
520	2.32	647.5	2.88
560	2.48	515	2.30
557.5	2.47	535	2.38
585	2.60	507.5	2.27
485	2.17	575	2.57
590	2.62	582.5	2.62
602.5	2.67	585	2.62
632.5	2.81	600	2.70
665	2.95	622.5	1.31
692.5	3.06	610	2.73
790	3.48	532.5	2.41
745	3.30	515	2.33
777.5	3.43	235	1.08

จากกราฟรูปที่ 3.12 แสดงผลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์และแผงโซลาร์เซลล์ พบว่ายังมีค่าความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 3.12 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์และแผงโซลาร์เซลล์

จากกราฟรูปที่ 3.13 แสดงผลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์และแผงโซลาร์เซลล์ โดยผ่านการบ่อนอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนแล้ว พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันและค่าความคลาดเคลื่อนลดลง



รูปที่ 3.13 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์และแผงโซลาร์เซลล์ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์

3.4 สรุป

ในบทที่ 3 แสดงวิธีการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อวัดความเข้มแสงอาทิตย์ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง จากผลการทดสอบชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก ที่ได้จากอัลกอริทึมที่ออกแบบเทียบกับไพรานอรัมิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 3.13 พบว่าค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกันและค่าความคลาดเคลื่อน เมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้ก่อนทำการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) และฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบนี้สามารถนำไปใช้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้ และมีราคาถูก สะดวกกับการใช้งานในภาคสนาม



บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดสอบชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยทำการออก ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นทำการทดลอง โดยนำค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดของไพรานอร์มิเตอร์มาตรฐาน ของบริษัท Apogee รุ่น SP-110 โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบของชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์

จากความต้องการให้ได้เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีราคาถูก จึงได้ทำการออกแบบ อัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กมีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ เพื่อวัดความ เข้มแสงอาทิตย์แล้วทำการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์หรือไพรานอร์มิเตอร์ มาตรฐานของบริษัท Apogee รุ่น SP-110 มีค่าความผิดพลาด ± 5 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการทดสอบด้วย ความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและหาค่าความคลาดเคลื่อน

4.1.1 ผลการทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์

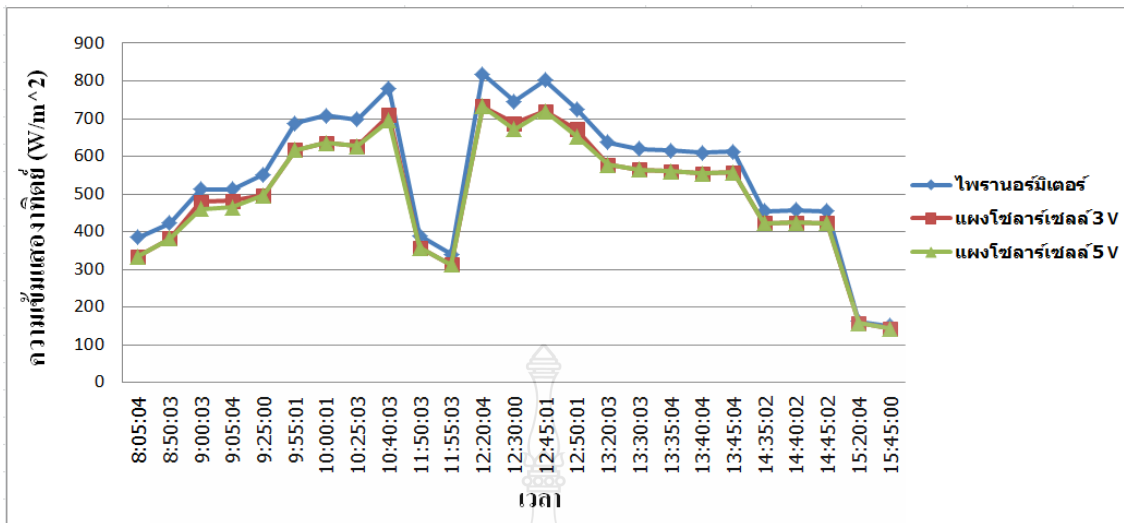
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้ม แสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ 4.1 และผล การเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ 4.2 และแสดงกราฟ เปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ 4.1 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้ม แสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 4.2 วันที่ 27 ธันวาคม 2560

ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 27 ธันวาคม 2560

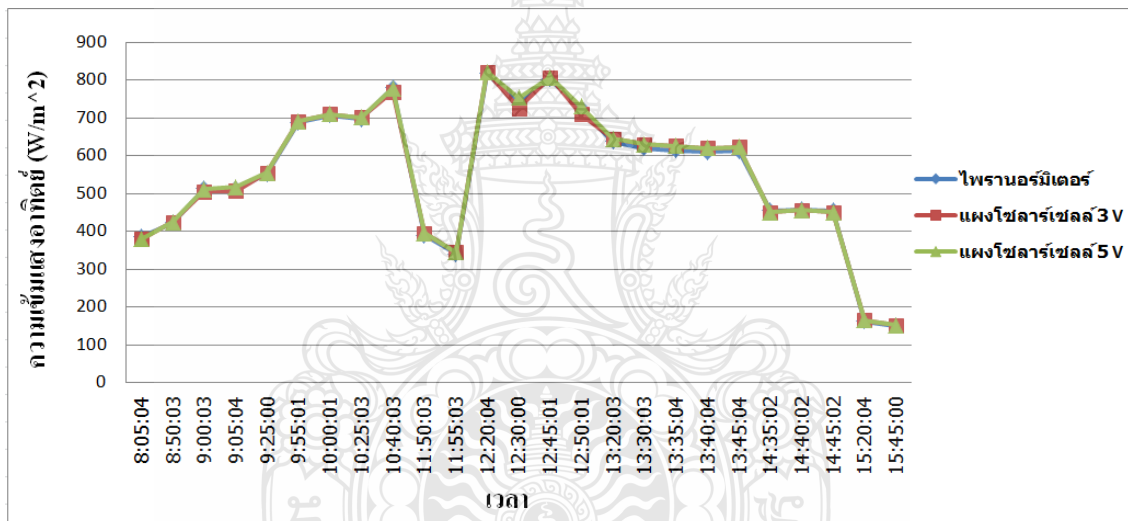
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:05:04	385	335	380.0	12.99	1.30
8:50:03	422.5	382.5	424.3	9.47	0.43
9:00:03	512.5	480	504.9	6.34	1.48
9:05:04	512.5	482.5	507.6	5.85	0.96
9:25:00	552.5	497.5	554.7	9.95	0.40
9:55:01	687.5	617.5	690.4	10.18	0.42
10:00:01	707.5	635	710.3	10.25	0.39
10:25:03	697.5	627.5	701.7	10.04	0.61
10:40:03	780	710	770.0	8.97	1.28
11:50:03	390	357.5	395.9	8.33	1.51
11:55:03	340	312.5	344.8	8.09	1.40
12:20:04	817.5	732.5	821.6	10.40	0.50
12:30:00	745	687.5	726.6	7.72	2.48
12:45:01	802.5	720	807.4	10.28	0.61
12:50:01	725	672.5	710.5	7.24	2.00
13:20:03	637.5	577.5	645.1	9.41	1.20
13:30:03	620	565	631.0	8.87	1.77
13:35:04	615	560	625.3	8.94	1.68
13:40:04	610	555	619.7	9.02	1.59
13:45:04	612.5	557.5	622.5	8.98	1.64
14:35:02	455	422.5	450.5	7.14	0.99
14:40:02	457.5	425	456.0	7.10	0.33
14:45:02	455	422.5	450.0	7.14	1.10
15:20:04	162.5	157.5	165.0	3.08	1.54
15:45:00	150	142.5	151.9	5.00	1.27
				8.43	1.15

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 27 ธันวาคม 2560

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:05:04	385	335	380.0	12.99	1.30
8:50:03	422.5	382.5	424.3	9.47	0.43
9:00:03	512.5	460	512.2	10.24	0.05
9:05:04	512.5	465	517.9	9.27	1.05
9:25:00	552.5	497.5	554.7	9.95	0.40
9:55:01	687.5	617.5	690.4	10.18	0.42
10:00:01	707.5	635	710.3	10.25	0.39
10:25:03	697.5	627.5	701.7	10.04	0.61
10:40:03	780	695	778.8	10.90	0.15
11:50:03	390	357.5	395.9	8.33	1.51
11:55:03	340	312.5	344.8	8.09	1.40
12:20:04	817.5	732.5	821.6	10.40	0.50
12:30:00	745	672.5	753.1	9.73	1.08
12:45:01	802.5	720	807.4	10.28	0.61
12:50:01	725	652.5	730.2	10.00	0.72
13:20:03	637.5	577.5	645.1	9.41	1.20
13:30:03	620	565	631.0	8.87	1.77
13:35:04	615	560	625.3	8.94	1.68
13:40:04	610	555	619.7	9.02	1.59
13:45:04	612.5	557.5	622.5	8.98	1.64
14:35:02	455	422.5	450.5	7.14	0.99
14:40:02	457.5	425	456.0	7.10	0.33
14:45:02	455	422.5	450.0	7.14	1.10
15:20:04	162.5	157.5	165.0	3.08	1.54
15:45:00	150	142.5	151.9	5.00	1.27
				8.99	0.95



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 27 ธันวาคม 2560

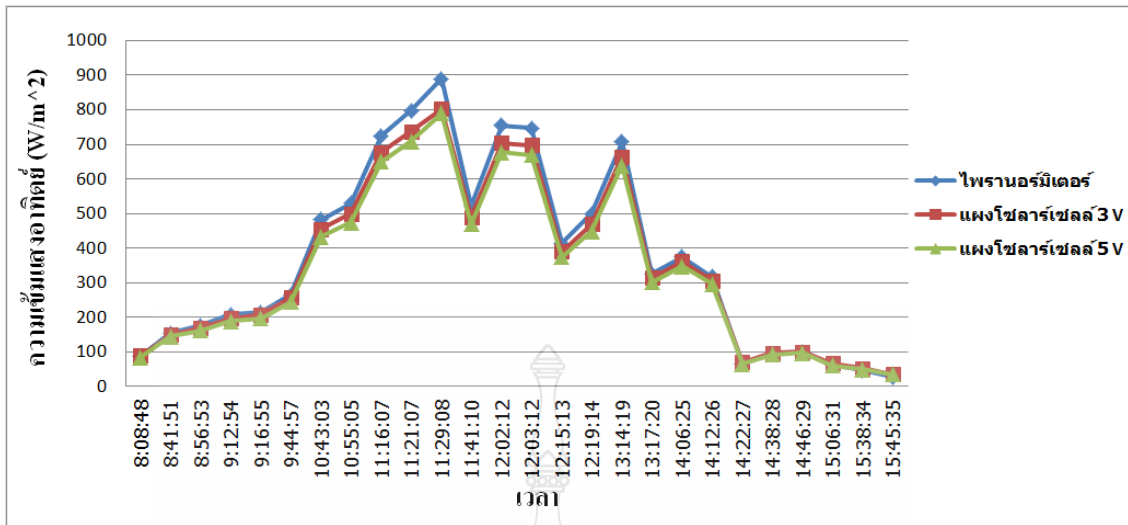
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ 4.3 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ 4.4 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ 4.3 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 4.4 วันที่ 5 มกราคม 2561

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 5 มกราคม 2561

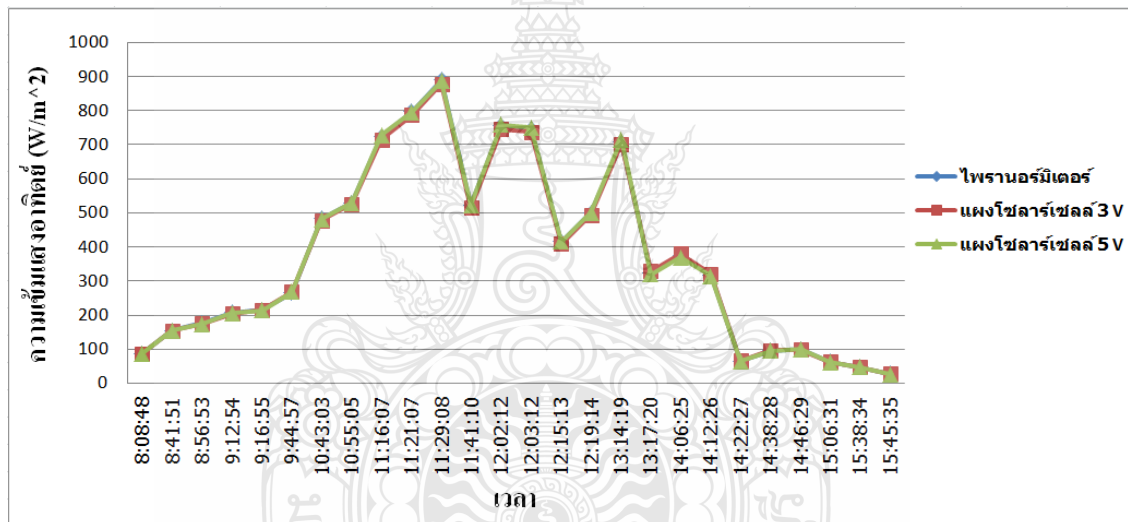
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:08:48	87.5	85.5	87.8	2.29	0.38
8:41:51	155	150	153.9	3.23	0.70
8:56:53	177.5	170	175.3	4.23	1.22
9:12:54	207.5	197.5	204.7	4.82	1.33
9:16:55	215	207.5	215.4	3.49	0.19
9:44:57	265	257.5	268.6	2.83	1.37
10:43:03	482.5	455	478.3	5.70	0.87
10:55:05	530	500	526.3	5.66	0.71
11:16:07	725	677.5	715.9	6.55	1.26
11:21:07	797.5	737.5	787.2	7.52	1.29
11:29:08	890	802.5	879.5	9.83	1.18
12:02:12	755	705	745.2	6.62	1.29
12:03:12	747.5	697.5	737.2	6.69	1.37
12:15:13	415	390	409.2	6.02	1.40
12:19:14	500	470	494.3	6.00	1.15
13:14:19	707.5	665	702.5	6.01	0.71
13:17:20	325	315	329.6	3.08	1.42
14:06:25	375	362.5	380.0	3.33	1.33
14:12:26	317.5	307.5	321.7	3.15	1.32
14:22:27	65	63	65.9	3.08	1.34
14:38:28	95	97.5	96.1	2.63	1.16
14:46:29	100	100	98.9	0.00	1.14
15:06:31	62.5	60.5	63.1	3.20	1.02
15:38:34	47.5	44.5	46.8	6.32	1.52
15:45:35	27.5	24.5	27.8	10.91	1.16
				4.98	1.12

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 5 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:08:48	87.5	85	86.4	2.86	1.22
8:41:51	155	145	154.7	6.45	0.17
8:56:53	177.5	162.5	174.5	8.45	1.67
9:12:54	207.5	190	205.7	8.43	0.87
9:16:55	215	197.5	214.2	8.14	0.38
9:44:57	265	245	268.1	7.55	1.16
10:43:03	482.5	432.5	481.0	10.36	0.30
10:55:05	530	475	529.2	10.38	0.15
11:16:07	725	650	727.4	10.34	0.32
11:21:07	797.5	710	796.0	10.97	0.19
11:29:08	890	790	886.0	11.24	0.45
12:02:12	755	677.5	758.8	10.26	0.50
12:03:12	747.5	670	750.2	10.37	0.36
12:15:13	415	375	415.8	9.64	0.19
12:19:14	500	450	500.9	10.00	0.18
13:14:19	707.5	640	716.0	9.54	1.20
13:17:20	325	302.5	320.0	6.92	1.54
14:06:25	375	347.5	370.0	7.33	1.33
14:12:26	317.5	297.5	315.0	6.30	0.79
14:22:27	65	65	64.1	0.00	1.41
14:38:28	95	92.5	94.8	2.63	0.18
14:46:29	100	97.5	100.4	2.50	0.43
15:06:31	62.5	61	61.3	2.40	1.94
15:38:34	47.5	50	47.3	5.26	0.34
15:45:35	27.5	35	27.0	27.27	1.82
				8.29	0.74



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 5 มกราคม 2561

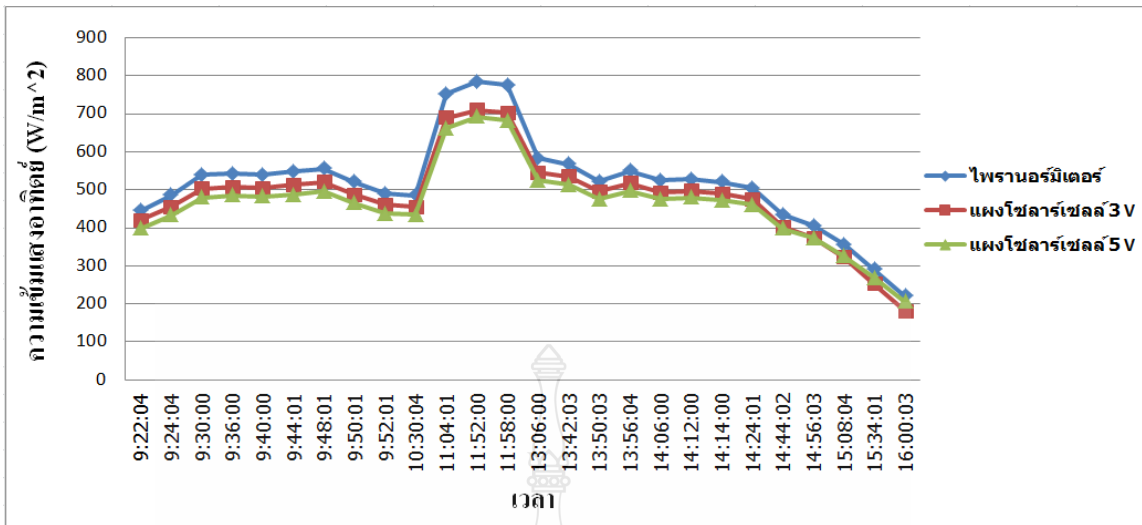
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ 4.5 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ 4.6 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ 4.5 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 4.6 วันที่ 8 มกราคม 2561

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 8 มกราคม 2561

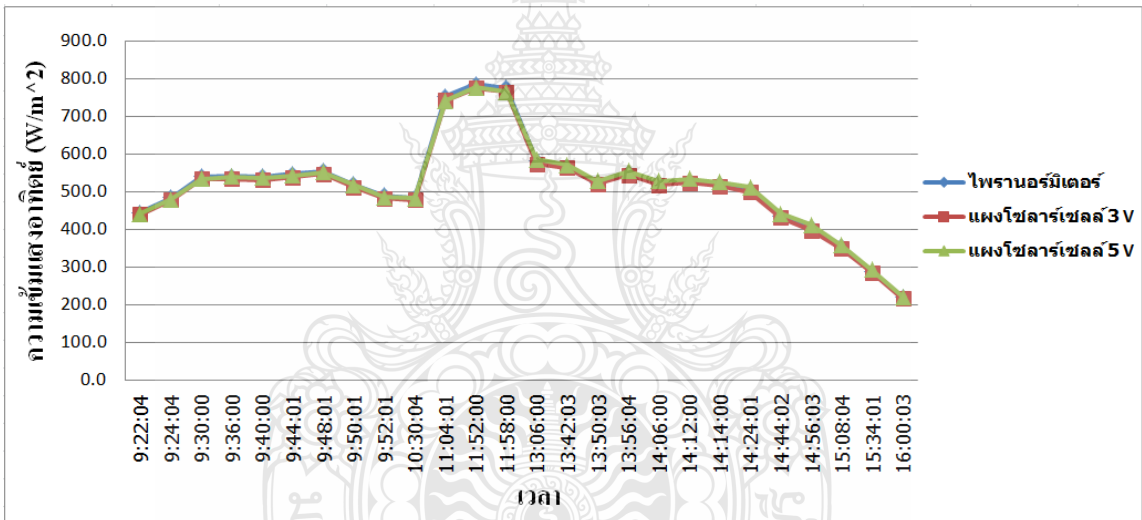
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
9:22:04	445	420	441.1	5.62	0.88
9:24:04	485	455	478.3	6.19	1.38
9:30:00	540	502.5	535.0	6.94	0.93
9:36:00	542.5	507.5	534.3	6.45	1.52
9:40:00	540	505	531.6	6.48	1.56
9:44:01	547.5	512.5	539.6	6.39	1.45
9:48:01	555	520	547.6	6.31	1.34
9:50:01	520	487.5	512.9	6.25	1.36
10:30:04	485	455	478.3	6.19	1.38
11:04:01	752.5	690	743.5	8.31	1.20
11:52:00	785	710	775.0	9.55	1.27
11:58:00	775	702.5	765.0	9.35	1.29
13:06:00	582.5	545	574.3	6.44	1.41
13:42:03	567.5	535	563.6	5.73	0.69
13:50:03	522.5	495	520.9	5.26	0.30
13:56:04	550	517.5	544.9	5.91	0.92
14:06:00	525	492.5	518.3	6.19	1.28
14:12:00	527.5	497.5	523.6	5.69	0.74
14:14:00	520	490	515.6	5.77	0.85
14:24:01	505	475	499.6	5.94	1.07
14:44:02	435	402.5	432.0	7.47	0.69
14:56:03	405	372.5	398.8	8.02	1.53
15:08:04	355	322.5	350.2	9.15	1.35
15:34:01	290	252.5	286.2	12.93	1.31
16:00:03	220	180	218.0	18.18	0.91
				7.4	1.2

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 8 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
9:22:04	445	397.5	441.3	10.67	0.82
9:24:04	485	432.5	481.0	10.82	0.81
9:30:00	540	480	534.9	11.11	0.95
9:36:00	542.5	485	540.5	10.60	0.36
9:40:00	540	482.5	537.7	10.65	0.42
9:44:01	547.5	487.5	543.4	10.96	0.75
9:48:01	555	495	551.9	10.81	0.57
9:50:01	520	465	517.9	10.58	0.41
10:30:04	485	435	483.9	10.31	0.23
11:04:01	752.5	662.5	741.6	11.96	1.45
11:52:00	785	692.5	776.0	11.78	1.15
11:58:00	775	682.5	764.5	11.94	1.35
13:06:00	582.5	525	585.8	9.87	0.57
13:42:03	567.5	512.5	571.7	9.69	0.73
13:50:03	522.5	475	529.2	9.09	1.29
13:56:04	550	497.5	554.7	9.55	0.85
14:06:00	525	475	529.2	9.52	0.80
14:12:00	527.5	480	534.9	9.00	1.40
14:14:00	520	472.5	526.4	9.13	1.23
14:24:01	505	460	512.2	8.91	1.43
14:44:02	435	397.5	441.3	8.62	1.45
14:56:03	405	372.5	412.9	8.02	1.96
15:08:04	355	325	359.0	8.45	1.12
15:34:01	290	267.5	293.6	7.76	1.25
16:00:03	220	205	222.7	6.82	1.22
				9.90	0.97



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 8 มกราคม 2561

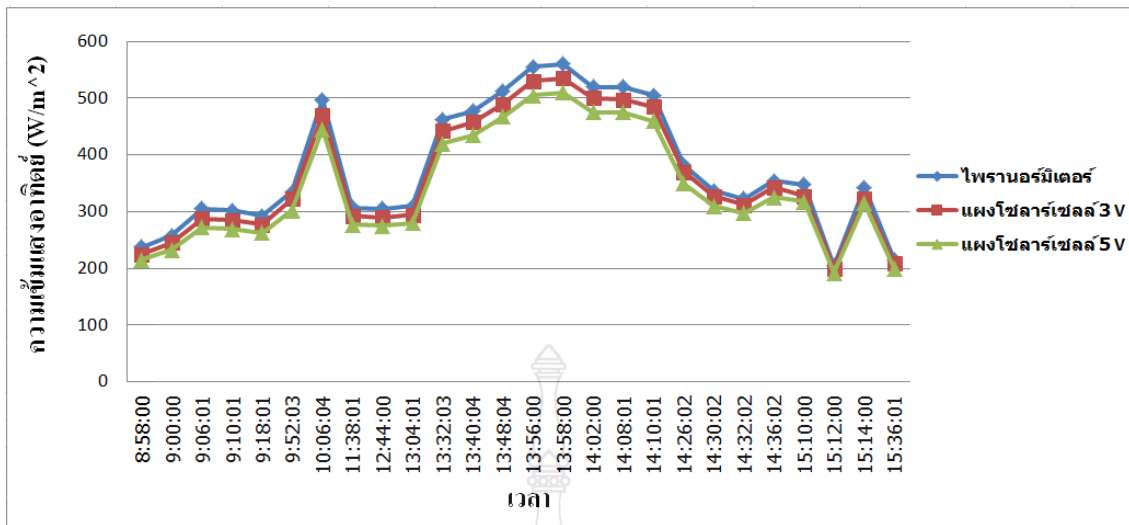
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ 4.7 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ 4.8 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ 4.7 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 4.8 วันที่ 13 มกราคม 2561

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 13 มกราคม 2561

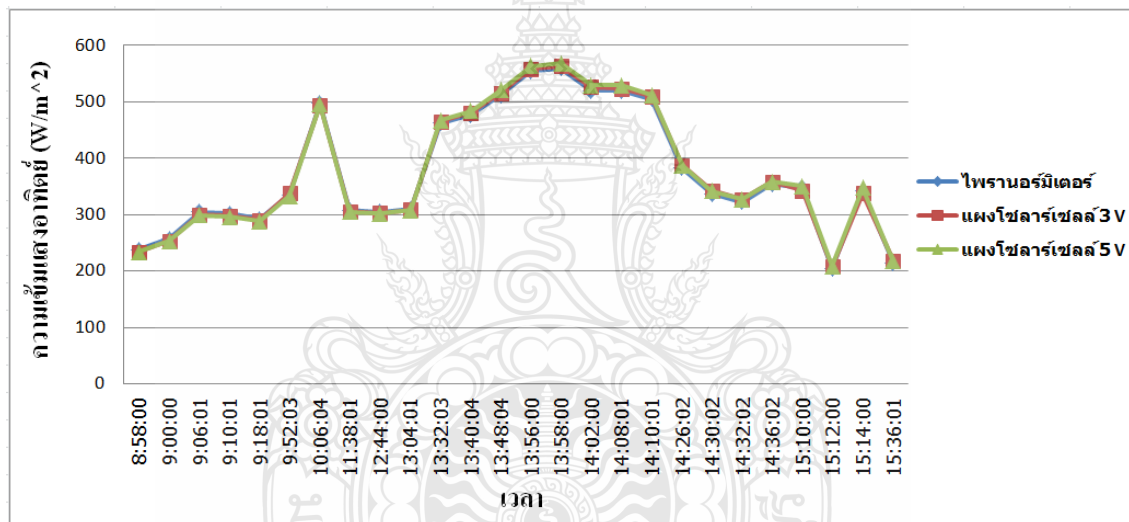
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:58:00	237.5	225	234.1	5.26	1.45
9:00:00	257.5	245	253.5	4.85	1.55
9:06:01	305	287.5	300.5	5.74	1.49
9:10:01	302.5	285	297.8	5.79	1.55
9:18:01	292.5	277.5	289.9	5.13	0.90
9:52:03	335	322.5	337.6	3.73	0.77
10:06:04	497.5	470	494.3	5.53	0.65
11:38:01	307.5	292.5	305.8	4.88	0.56
12:44:00	305	290	303.1	4.92	0.62
13:04:01	310	295	308.4	4.84	0.51
13:32:03	462.5	442.5	465.0	4.32	0.54
13:40:04	477.5	457.5	481.0	4.19	0.72
13:56:00	555	530	558.3	4.50	0.59
13:58:00	560	535	563.6	4.46	0.64
14:02:00	520	500	526.3	3.85	1.20
14:08:01	520	497.5	523.6	4.33	0.69
14:10:01	505	485	510.3	3.96	1.04
14:26:02	382.5	370	388.0	3.27	1.43
14:30:02	337.5	327.5	342.9	2.96	1.59
14:32:02	322.5	312.5	327.0	3.10	1.39
14:36:02	355	342.5	358.8	3.52	1.07
15:10:00	347.5	327.5	342.9	5.76	1.33
15:12:00	205	200	207.4	2.44	1.17
15:14:00	342.5	322.5	337.6	5.84	1.44
15:36:01	215	210	218.1	2.33	1.43
				4.38	1.04

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 13 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:58:00	237.5	215	234.0	9.47	1.46
9:00:00	257.5	232.5	253.9	9.71	1.40
9:06:01	305	272.5	299.3	10.66	1.86
9:10:01	302.5	270	296.5	10.74	1.99
9:18:01	292.5	262.5	288.0	10.26	1.55
9:52:03	335	302.5	333.4	9.70	0.48
10:06:04	497.5	445	495.2	10.55	0.46
11:38:01	307.5	277.5	305.0	9.76	0.81
12:44:00	305	275	302.2	9.84	0.93
13:04:01	310	280	307.8	9.68	0.70
13:32:03	462.5	420	466.9	9.19	0.94
13:40:04	477.5	435	483.9	8.90	1.34
13:56:00	555	505	563.2	9.01	1.47
13:58:00	560	510	568.8	8.93	1.58
14:02:00	520	475	529.2	8.65	1.77
14:08:01	520	475	529.2	8.65	1.77
14:10:01	505	460	512.2	8.91	1.43
14:26:02	382.5	350	387.4	8.50	1.27
14:30:02	337.5	310	341.9	8.15	1.31
14:32:02	322.5	297.5	327.7	7.75	1.62
14:36:02	355	325	359.0	8.45	1.12
15:10:00	347.5	317.5	350.4	8.63	0.85
15:12:00	205	192.5	208.5	6.10	1.72
15:14:00	342.5	315	347.6	8.03	1.49
15:36:01	215	200	217.0	6.98	0.94
				9.00	1.30



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 13 มกราคม 2561

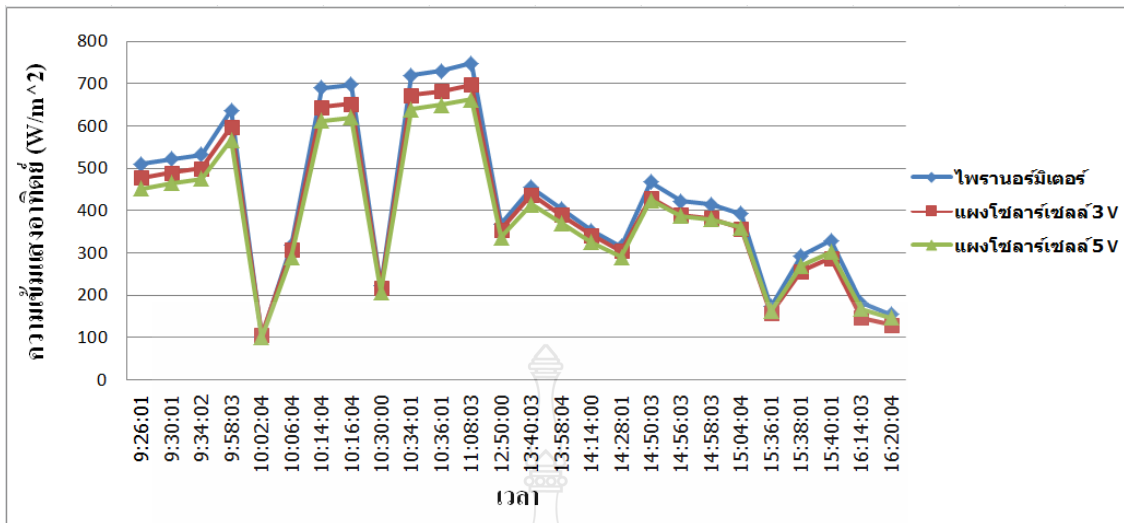
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ 4.9 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ 4.10 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ 4.9 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 4.10 วันที่ 19 มกราคม 2561

ตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอรัมิเตอร์ วันที่ 19 มกราคม 2561

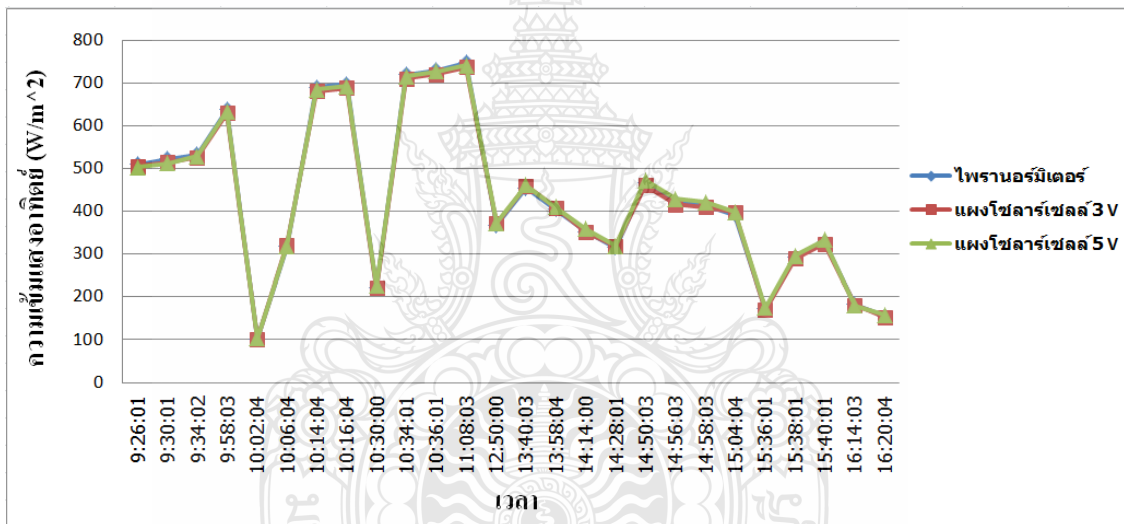
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอรัมิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
9:26:01	510	477.5	506.0	6.37	0.78
9:30:01	522.5	490	515.6	6.22	1.32
9:34:02	532.5	500	526.3	6.10	1.17
9:58:03	637.5	597.5	630.4	6.27	1.12
10:02:04	102.5	107.5	101.2	4.88	1.27
10:06:04	317.5	307.5	321.7	3.15	1.32
10:14:04	690	645	681.1	6.52	1.28
10:16:04	697.5	652.5	689.2	6.45	1.20
10:30:00	222.5	217.5	221.0	2.25	0.67
10:34:01	720	672.5	710.5	6.60	1.32
11:08:03	747.5	697.5	737.2	6.69	1.37
12:50:00	367.5	355	372.0	3.40	1.24
13:40:03	455	437.5	459.7	3.85	1.03
13:58:04	405	390	409.2	3.70	1.03
14:14:00	352.5	342.5	351.5	2.84	0.28
14:28:01	315	305	319.0	3.17	1.28
14:50:03	467.5	430	461.2	8.02	1.35
14:56:03	422.5	390	417.0	7.69	1.30
14:58:03	415	382.5	410.0	7.83	1.20
15:04:04	392.5	357.5	398.0	8.92	1.40
15:36:01	172.5	157.5	169.5	8.70	1.74
15:38:01	292.5	257.5	289.5	11.97	1.03
15:40:01	330	287.5	325.0	12.88	1.52
16:14:03	182.5	147.5	180.5	19.18	1.10
16:20:04	155	130	153.0	16.13	1.29
				7.16	1.19

ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 19 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
9:26:01	510	452.5	503.7	11.27	1.23
9:30:01	522.5	465	512.9	11.00	1.84
9:34:02	532.5	475	529.2	10.80	0.62
9:58:03	637.5	567.5	633.8	10.98	0.58
10:02:04	102.5	100	103.2	2.44	0.71
10:06:04	317.5	290	319.2	8.66	0.53
10:14:04	690	612.5	684.7	11.23	0.76
10:16:04	697.5	620	693.2	11.11	0.61
10:30:00	222.5	207.5	225.5	6.74	1.36
10:34:01	720	640	716.0	11.11	0.56
11:08:03	747.5	662.5	741.6	11.37	0.79
12:50:00	367.5	337.5	373.2	8.16	1.54
13:40:03	455	415	461.2	8.79	1.36
13:58:04	405	370	410.1	8.64	1.26
14:14:00	352.5	325	359.0	7.80	1.83
14:28:01	315	290	319.2	7.94	1.33
14:50:03	467.5	425	472.5	9.09	1.08
14:56:03	422.5	387.5	430.0	8.28	1.77
14:58:03	415	380	421.5	8.43	1.56
15:04:04	392.5	360	398.7	8.28	1.59
15:36:01	172.5	162.5	174.5	5.80	1.18
15:38:01	292.5	270	296.5	7.69	1.36
15:40:01	330	302.5	333.4	8.33	1.03
16:14:03	182.5	167.5	180.2	8.22	1.26
16:20:04	155	147.5	157.6	4.84	1.65
				8.77	1.14



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอมิเตอร์



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอมิเตอร์ วันที่ 19 มกราคม 2561

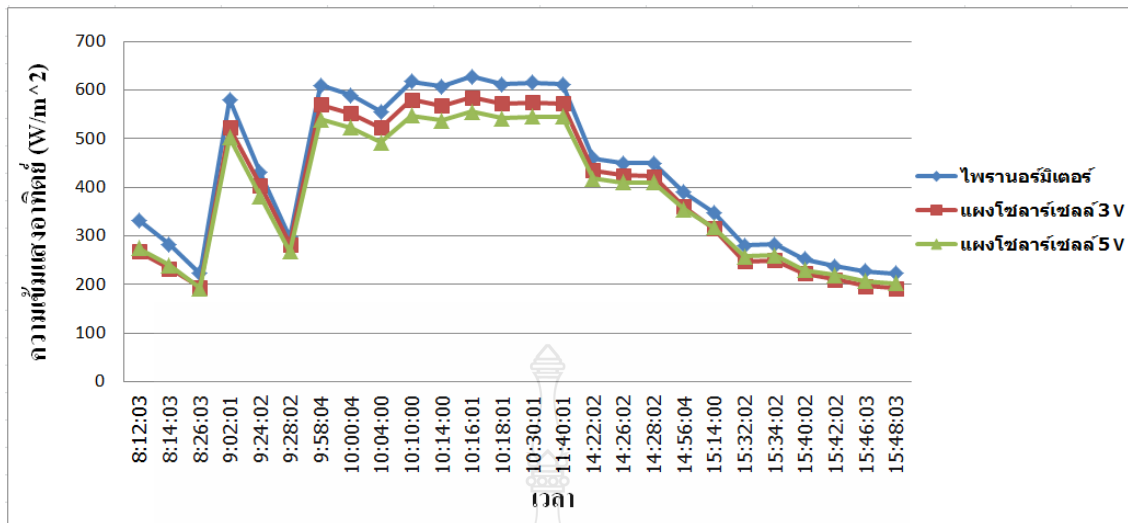
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ 4.11 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ 4.12 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ 4.11 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอมิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 4.12 วันที่ 23 มกราคม 2561

ตารางที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 23 มกราคม 2561

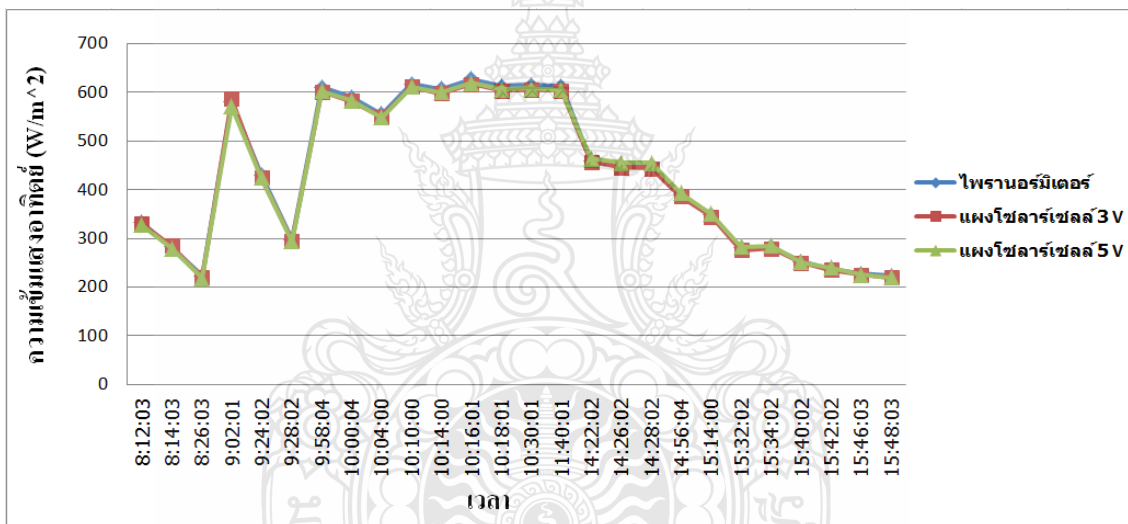
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:12:03	332.5	267.5	329.5	19.55	0.90
8:14:03	282.5	232.5	285.2	17.70	0.96
8:26:03	222.5	195	219.5	12.36	1.35
9:02:01	580	522.5	587.0	9.91	1.21
9:24:02	430	405	425.1	5.81	1.13
9:28:02	297.5	282.5	295.2	5.04	0.79
9:58:04	610	570	601.0	6.56	1.48
10:00:04	590	552.5	582.3	6.36	1.31
10:04:00	555	522.5	550.3	5.86	0.85
10:14:00	607.5	567.5	598.3	6.58	1.51
10:16:01	627.5	585	617.0	6.77	1.67
10:18:01	612.5	572.5	603.7	6.53	1.44
10:30:01	615	575	606.3	6.50	1.41
11:40:01	612.5	572.5	603.7	6.53	1.44
14:22:02	460	435	457.0	5.43	0.65
14:26:02	450	425	446.4	5.56	0.80
14:28:02	450	422.5	443.7	6.11	1.40
14:56:04	390	360	386.5	7.69	0.90
15:14:00	347.5	315	345.0	9.35	0.72
15:32:02	280	247.5	276.0	11.61	1.43
15:34:02	282.5	250	279.5	11.50	1.06
15:40:02	252.5	222.5	249.4	11.88	1.23
15:42:02	237.5	210	235.5	11.58	0.84
15:46:03	227.5	197.5	225.0	13.19	1.10
15:48:03	222.5	192.5	220.0	13.48	1.12
				9.06	1.14

ตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 23 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:12:03	332.5	275	328.0	17.29	1.35
8:14:03	282.5	240	279.6	15.04	1.03
8:26:03	222.5	192.5	219.0	13.48	1.57
9:02:01	580	502.5	571.0	13.36	1.55
9:24:02	430	382.5	424.3	11.05	1.33
9:28:02	297.5	267.5	293.6	10.08	1.30
9:58:04	610	540	602.8	11.48	1.19
10:00:04	590	522.5	583.0	11.44	1.19
10:04:00	555	492.5	549.0	11.26	1.07
10:14:00	607.5	537.5	599.9	11.52	1.25
10:16:01	627.5	555	619.7	11.55	1.24
10:18:01	612.5	542.5	605.6	11.43	1.13
10:30:01	615	545	608.4	11.38	1.07
11:40:01	612.5	545	605.0	11.02	1.22
14:22:02	460	417.5	464.0	9.24	0.88
14:26:02	450	410	455.5	8.89	1.23
14:28:02	450	410	455.5	8.89	1.23
14:56:04	390	355	393.1	8.97	0.78
15:14:00	347.5	317.5	350.4	8.63	0.85
15:32:02	280	257.5	282.3	8.04	0.81
15:34:02	282.5	260	285.1	7.96	0.93
15:40:02	252.5	230	251.1	8.91	0.57
15:42:02	237.5	220	239.7	7.37	0.93
15:46:03	227.5	207.5	225.5	8.79	0.87
15:48:03	222.5	202.5	219.9	8.99	1.19
				10.67	1.11



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอ์มิเตอร์



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 23 มกราคม 2561

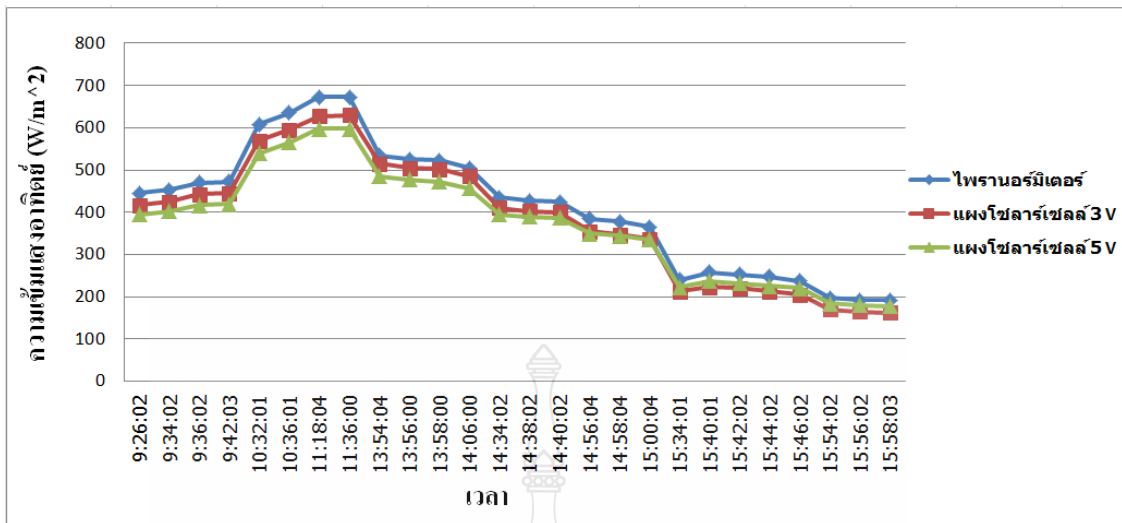
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอ์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ 4.13 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ 4.14 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ 4.13 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอ์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 4.14 วันที่ 28 มกราคม 2561

ตารางที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 28 มกราคม 2561

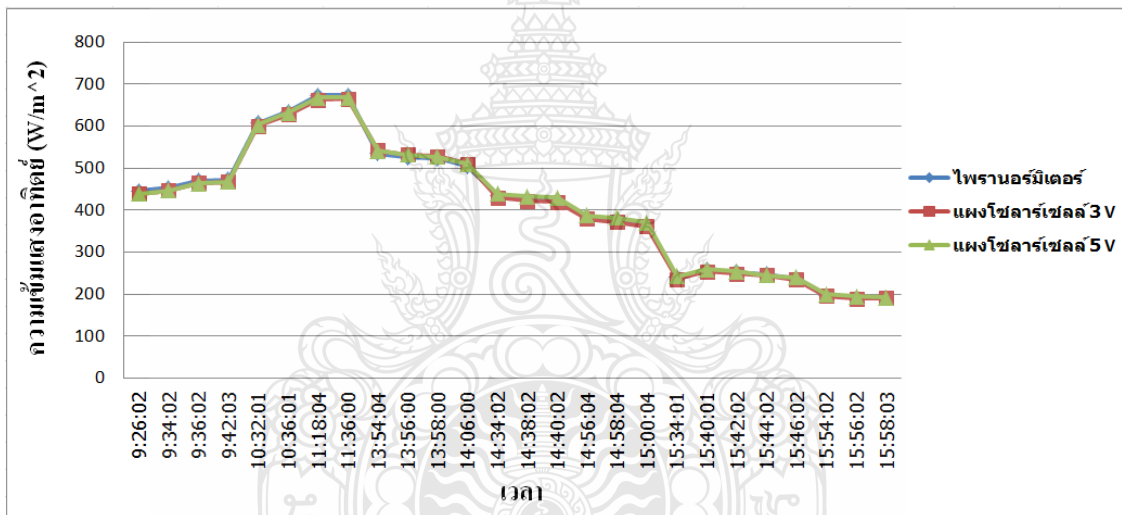
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
9:26:02	445	417.5	438.4	6.18	1.48
9:34:02	452.5	425	446.4	6.08	1.35
9:36:02	470	442.5	465.0	5.85	1.07
9:42:03	472.5	445	467.7	5.82	1.03
10:32:01	607.5	570	601.0	6.17	1.07
10:36:01	635	595	627.7	6.30	1.15
11:18:04	672.5	627.5	662.4	6.69	1.50
11:36:00	672.5	630	665.1	6.32	1.10
13:54:04	535	515	542.3	3.74	1.36
13:56:00	525	505	531.6	3.81	1.25
13:58:00	522.5	502.5	528.9	3.83	1.23
14:06:00	505	485	510.3	3.96	1.04
14:34:02	435	410	430.4	5.75	1.05
14:40:02	425	400	419.8	5.88	1.22
14:56:04	385	355	380.0	7.79	1.30
14:58:04	377.5	347.5	372.0	7.95	1.46
15:00:04	365	337.5	361.0	7.53	1.10
15:34:01	240	212.5	236.0	11.46	1.67
15:40:01	257.5	222.5	254.0	13.59	1.36
15:42:02	252.5	220	249.3	12.87	1.27
15:44:02	247.5	212.5	244.5	14.14	1.21
15:46:02	237.5	205	234.5	13.68	1.26
15:54:02	197.5	170	195.2	13.92	1.16
15:56:02	192.5	165	189.5	14.29	1.56
15:58:03	192.5	162.5	190.5	15.58	1.04
				8.27	1.25

ตารางที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 28 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
9:26:02	445	395	438.5	11.24	1.46
9:34:02	452.5	402.5	447.0	11.05	1.21
9:36:02	470	417.5	464.0	11.17	1.27
9:42:03	472.5	420	466.9	11.11	1.19
10:32:01	607.5	540	602.8	11.11	0.78
10:36:01	635	565	631.0	11.02	0.63
11:18:04	672.5	597.5	667.7	11.15	0.71
11:36:00	672.5	597.5	667.7	11.15	0.71
13:54:04	535	485	540.5	9.35	1.04
13:56:00	525	477.5	532.1	9.05	1.34
13:58:00	522.5	472.5	526.4	9.57	0.74
14:06:00	505	457.5	509.4	9.41	0.87
14:34:02	435	395	438.5	9.20	0.80
14:40:02	425	387.5	430.0	8.82	1.17
14:56:04	385	350	387.4	9.09	0.62
14:58:04	377.5	345	381.7	8.61	1.11
15:00:04	365	335	370.3	8.22	1.46
15:34:01	240	222.5	242.5	7.29	1.06
15:40:01	257.5	237.5	259.6	7.77	0.80
15:42:02	252.5	232.5	253.9	7.92	0.55
15:44:02	247.5	225	245.4	9.09	0.86
15:46:02	237.5	220	239.7	7.37	0.93
15:54:02	197.5	185	200.0	6.33	1.28
15:56:02	192.5	180	194.4	6.49	0.96
15:58:03	192.5	177.5	191.5	7.79	0.51
				9.20	0.97



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 28 มกราคม 2561

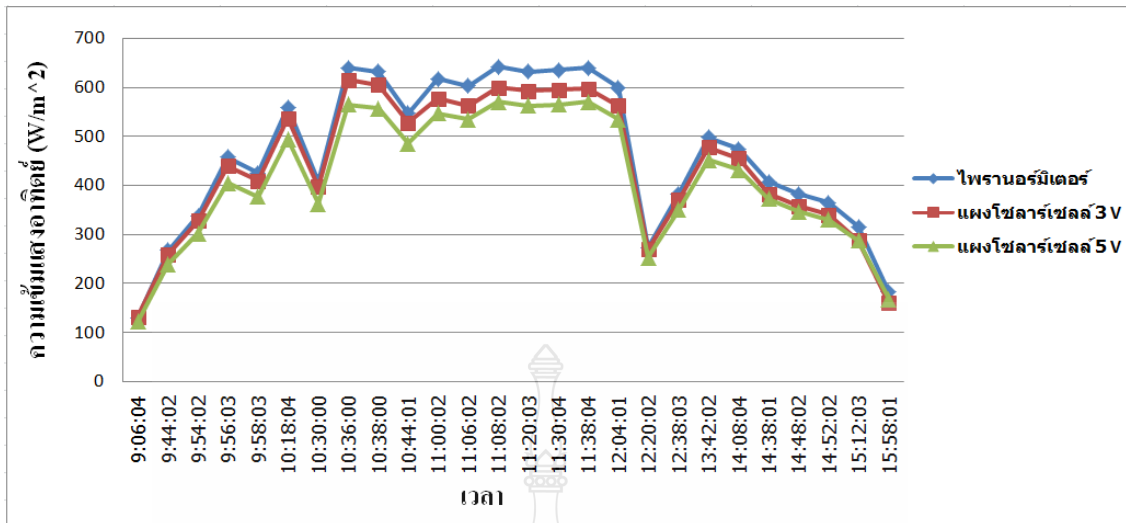
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ 4.15 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์. ดังตารางที่ 4.16 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ 4.15 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 4.16 วันที่ 29 มกราคม 2561

ตารางที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 29 มกราคม 2561

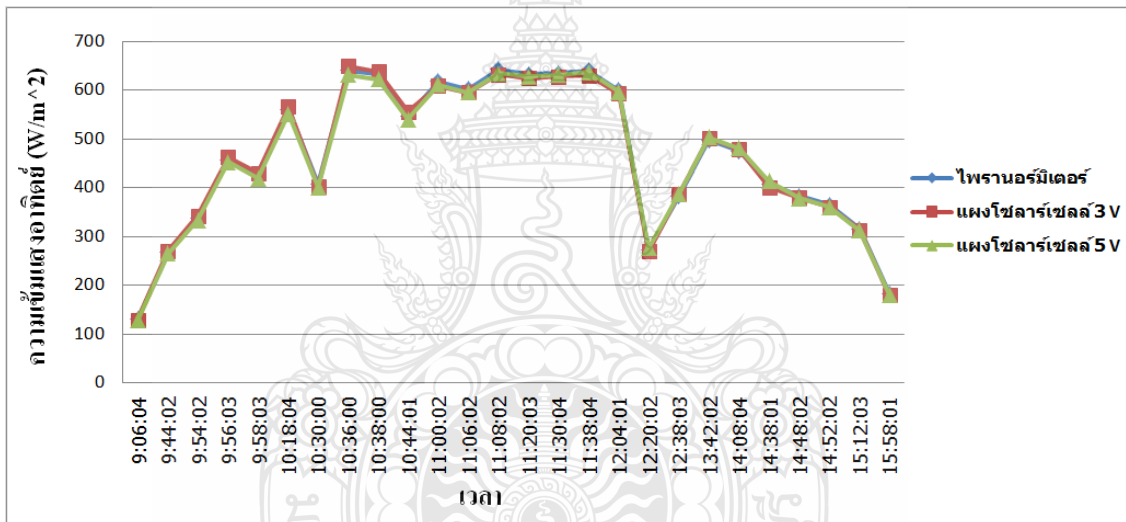
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
9:06:04	130	132.5	129.0	1.92	0.77
9:44:02	267.5	260	271.3	2.80	1.41
9:54:02	337.5	327.5	342.9	2.96	1.59
9:56:03	457.5	440	462.3	3.83	1.06
9:58:03	425	410	430.4	3.53	1.28
10:18:04	560	537.5	566.3	4.02	1.12
10:30:00	407.5	397.5	402.0	2.45	1.35
10:36:00	640	615	649.1	3.91	1.42
10:38:00	632.5	605	638.4	4.35	0.93
11:00:02	617.5	577.5	609.0	6.48	1.38
11:06:02	602.5	562.5	595.5	6.64	1.16
11:08:02	642.5	600	633.0	6.61	1.47
11:20:03	632.5	592.5	625.0	6.32	1.18
11:30:04	635	595	627.7	6.30	1.15
11:38:04	640	597.5	630.4	6.64	1.51
12:04:01	600	562.5	593.0	6.25	1.17
12:20:02	272.5	270	270.0	0.92	0.92
12:38:03	382.5	370	388.0	3.27	1.43
13:42:02	497.5	477.5	502.3	4.02	0.96
14:08:04	475	455	478.3	4.21	0.69
14:38:01	407.5	382.5	401.2	6.13	1.54
14:48:02	382.5	357.5	380.0	6.54	0.65
14:52:02	365	340	360.0	6.85	1.37
15:12:03	315	287.5	313.5	8.73	0.48
15:58:01	182.5	160	180.0	12.33	1.37
				5.06	1.19

ตารางที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 29 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
9:06:04	130	122.5	128.4	5.77	1.20
9:44:02	267.5	240	265.2	10.28	0.86
9:54:02	337.5	302.5	333.4	10.37	1.21
9:56:03	457.5	405	452.5	11.48	1.09
9:58:03	425	377.5	418.6	11.18	1.50
10:18:04	560	495	551.9	11.61	1.45
10:30:00	407.5	362.5	401.6	11.04	1.45
10:36:00	640	565	631.0	11.72	1.41
10:38:00	632.5	557.5	622.5	11.86	1.58
11:00:02	617.5	547.5	611.2	11.34	1.02
11:06:02	602.5	535	595.0	11.20	1.24
11:08:02	642.5	570	635.0	11.28	1.17
11:20:03	632.5	562.5	628.2	11.07	0.68
11:30:04	635	565	631.0	11.02	0.63
11:38:04	640	570	636.6	10.94	0.52
12:04:01	600	535	597.1	10.83	0.48
12:20:02	272.5	252.5	276.6	7.34	1.50
12:38:03	382.5	350	387.4	8.50	1.27
13:42:02	497.5	452.5	503.7	9.05	1.25
14:08:04	475	432.5	481.0	8.95	1.27
14:38:01	407.5	372.5	412.9	8.59	1.33
14:48:02	382.5	347.5	378.0	9.15	1.18
14:52:02	365	330	360.0	9.59	1.37
15:12:03	315	287.5	312.5	8.73	0.79
15:58:01	182.5	167.5	180.2	8.22	1.26
				10.10	1.15



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอมิเตอร์



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอมิเตอร์ วันที่ 29 มกราคม 2561

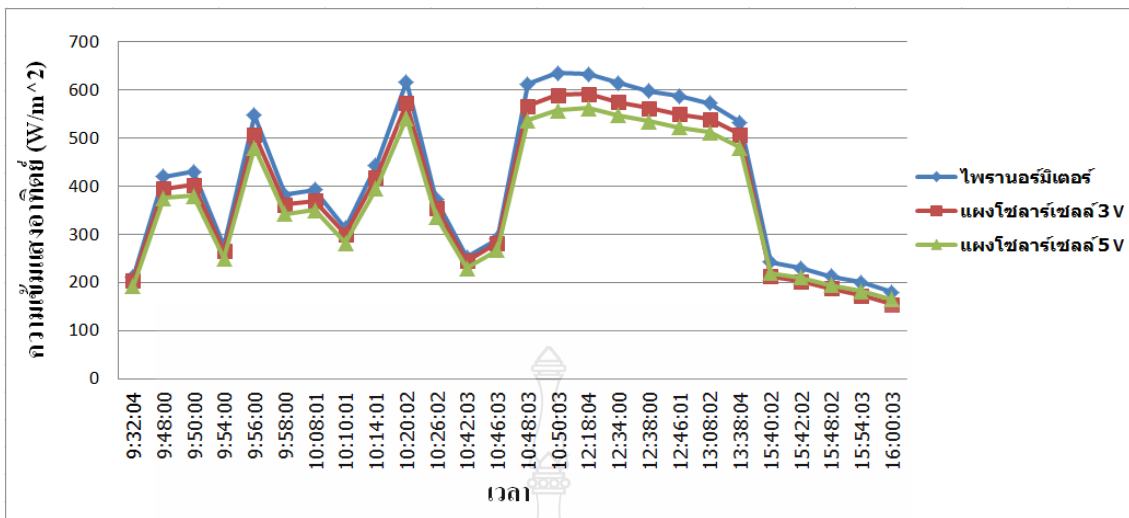
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ 4.17 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ 4.18 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ 4.17 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอมิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 4.18 วันที่ 30 มกราคม 2561

ตารางที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 30 มกราคม 2561

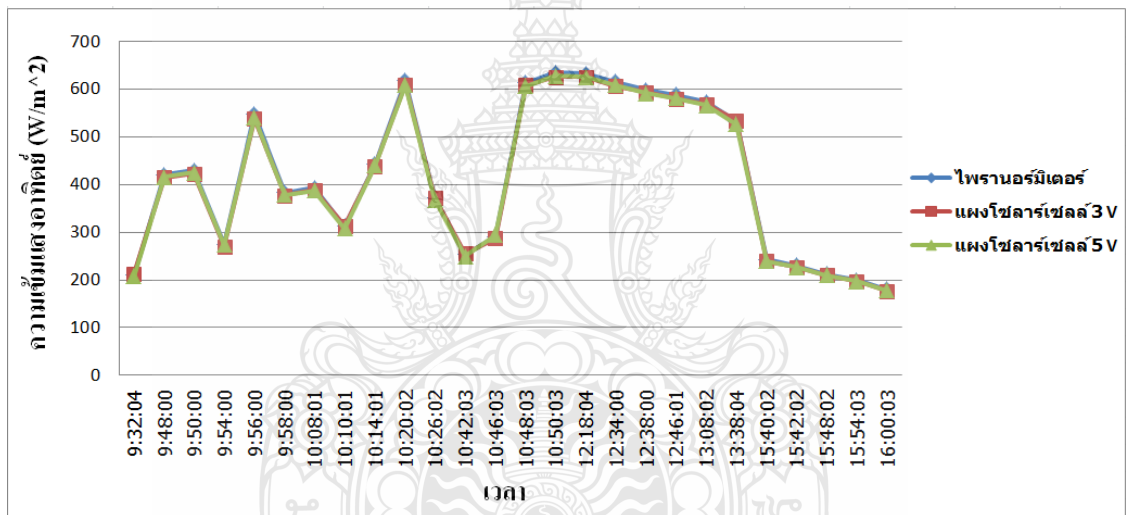
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
9:32:04	210	205	212.7	2.38	1.30
9:48:00	420	395	414.5	5.95	1.31
9:50:00	430	402.5	422.5	6.40	1.75
9:54:00	275	265	270.5	3.64	1.64
9:58:00	382.5	362.5	377.0	5.23	1.44
10:08:01	392.5	370	388.0	5.73	1.16
10:10:01	312.5	300	313.7	4.00	0.39
10:14:01	442.5	417.5	438.4	5.65	0.93
10:20:02	617.5	572.5	610.0	7.29	1.21
10:26:02	372.5	355	372.0	4.70	0.12
10:42:03	252.5	245	255.3	2.97	1.13
10:46:03	290	282.5	287.0	2.59	1.03
10:48:03	612.5	567.5	608.0	7.35	0.73
10:50:03	635	590	625.0	7.09	1.57
12:18:04	632.5	592.5	625.0	6.32	1.18
12:34:00	615	575	606.3	6.50	1.41
12:38:00	597.5	562.5	593.0	5.86	0.76
12:46:01	587.5	550	579.6	6.38	1.34
13:08:02	572.5	540	568.9	5.68	0.62
13:38:04	532.5	507.5	534.3	4.69	0.33
15:40:02	242.5	212.5	239.0	12.37	1.44
15:42:02	230	202.5	226.5	11.96	1.52
15:48:02	212.5	187.5	209.3	11.76	1.51
15:54:03	200	172.5	197.0	13.75	1.50
16:00:03	180	155	177.2	13.89	1.56
				6.82	1.18

ตารางที่ 4.18 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 30 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
9:32:04	210	192.5	207.0	8.33	1.43
9:48:00	420	375	415.8	10.71	1.01
9:50:00	430	380	425.0	11.63	1.16
9:54:00	275	250	273.0	9.09	0.73
9:58:00	382.5	342.5	378.0	10.46	1.18
10:08:01	392.5	350	387.4	10.83	1.31
10:10:01	312.5	282.5	308.0	9.60	1.44
10:14:01	442.5	395	440.0	10.73	0.56
10:20:02	617.5	542.5	608.5	12.15	1.46
10:26:02	372.5	337.5	368.0	9.40	1.21
10:42:03	252.5	230	249.0	8.91	1.39
10:46:03	290	267.5	293.6	7.76	1.25
10:48:03	612.5	537.5	606.0	12.24	1.06
10:50:03	635	557.5	627.5	12.20	1.18
12:18:04	632.5	562.5	625.3	11.07	1.14
12:34:00	615	547.5	608.4	10.98	1.07
12:38:00	597.5	535	591.0	10.46	1.09
12:46:01	587.5	522.5	581.2	11.06	1.07
13:08:02	572.5	512.5	566.5	10.48	1.05
13:38:04	532.5	480	526.7	9.86	1.09
15:40:02	242.5	220	239.7	9.28	1.15
15:42:02	230	210	227.0	8.70	1.30
15:48:02	212.5	195	209.5	8.24	1.41
15:54:03	200	182.5	197.2	8.75	1.40
16:00:03	180	165	177.4	8.33	1.46
				10.14	1.19



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอ์มิเตอร์



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 30 มกราคม 2561

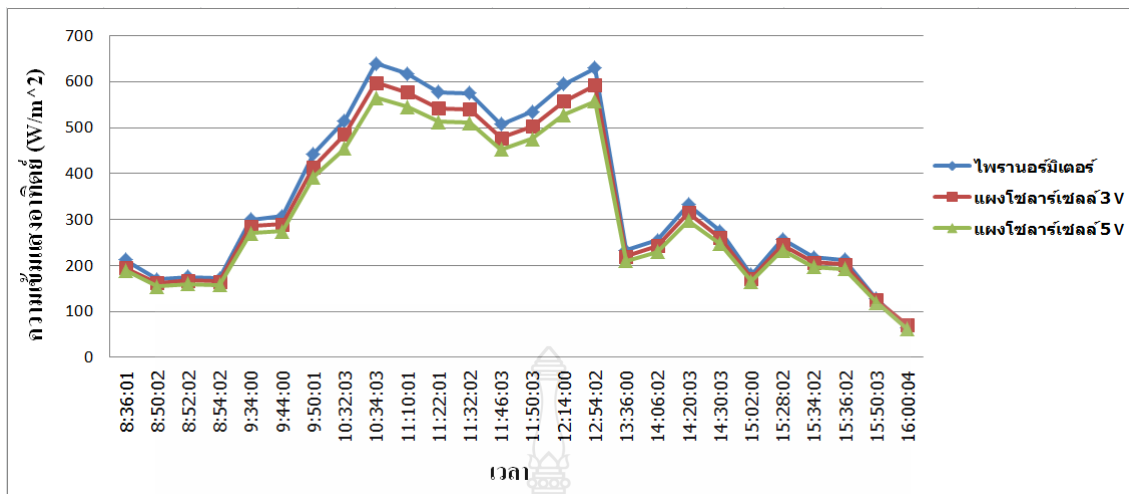
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอ์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ 4.19 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ 4.20 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ 4.19 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอ์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 4.20 วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2561

ตารางที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2561

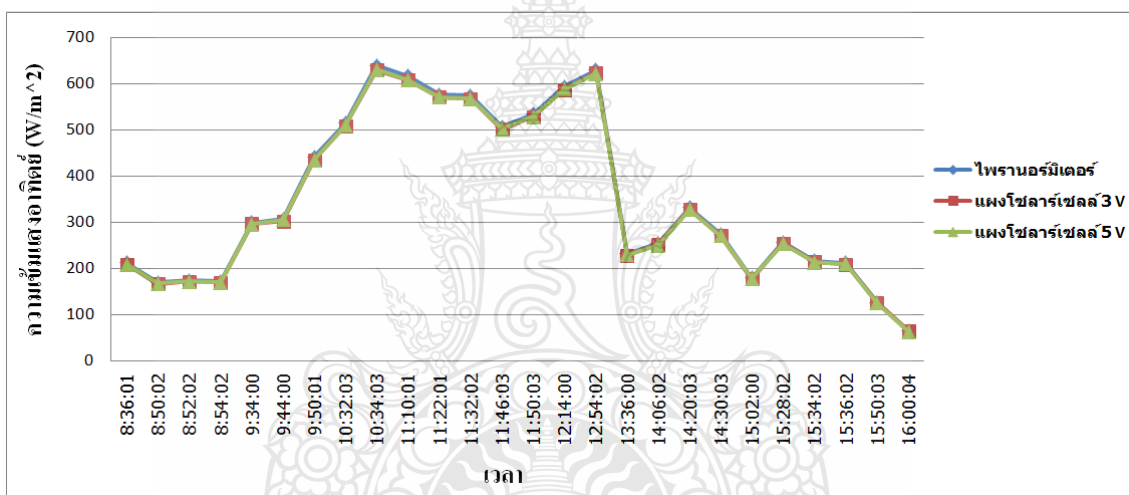
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:36:01	212.5	195	209.3	8.24	1.51
8:50:02	170	162.5	167.3	4.41	1.59
8:52:02	175	167.5	172.7	4.29	1.34
8:54:02	172.5	165	170.0	4.35	1.46
9:34:00	300	285	297.8	5.00	0.73
9:44:00	307.5	290	303.1	5.69	1.42
10:32:03	515	485	510.3	5.83	0.92
10:34:03	640	597.5	630.4	6.64	1.51
11:10:01	617.5	577.5	609.0	6.48	1.38
11:22:01	577.5	542.5	571.6	6.06	1.02
11:32:02	575	540	568.9	6.09	1.05
11:46:03	507.5	477.5	502.3	5.91	1.03
11:50:03	535	502.5	528.9	6.07	1.14
12:14:00	595	557.5	587.6	6.30	1.24
12:54:02	630	592.5	625.0	5.95	0.79
13:36:00	232.5	220	228.7	5.38	1.62
14:06:02	255	242.5	252.7	4.90	0.91
14:20:03	332.5	315	329.6	5.26	0.86
14:30:03	275	260	271.3	5.45	1.35
15:02:00	180	172.5	178.0	4.17	1.11
15:28:02	257.5	245	255.3	4.85	0.84
15:34:02	217.5	207.5	215.4	4.60	0.96
15:36:02	212.5	202.5	210.1	4.71	1.14
15:50:03	127.5	125	126.5	1.96	0.76
16:00:04	65	70	65.9	7.69	1.34
				5.48	1.18

ตารางที่ 4.20 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:36:01	212.5	190	209.5	10.59	1.41
8:50:02	170	155	168.0	8.82	1.18
8:52:02	175	160	173.0	8.57	1.14
8:54:02	172.5	157.5	170.2	8.70	1.33
9:34:00	300	270	296.5	10.00	1.18
9:44:00	307.5	275	306.0	10.57	0.49
10:32:03	515	455	510.5	11.65	0.87
10:34:03	640	565	631.0	11.72	1.41
11:10:01	617.5	545	608.4	11.74	1.47
11:22:01	577.5	512.5	571.7	11.26	1.01
11:32:02	575	510	568.8	11.30	1.07
11:46:03	507.5	452.5	503.7	10.84	0.74
11:50:03	535	475	529.2	11.21	1.08
12:14:00	595	527.5	588.6	11.34	1.07
12:54:02	630	557.5	622.5	11.51	1.19
13:36:00	232.5	210	230.5	9.68	0.86
14:06:02	255	230	251.1	9.80	1.55
14:20:03	332.5	297.5	327.7	10.53	1.44
14:30:03	275	247.5	271.5	10.00	1.27
15:02:00	180	165	179.0	8.33	0.56
15:28:02	257.5	232.5	253.9	9.71	1.40
15:34:02	217.5	197.5	214.2	9.20	1.52
15:36:02	212.5	192.5	211.0	9.41	0.71
15:50:03	127.5	120	125.6	5.88	1.46
16:00:04	65	62	64.1	4.62	1.41
				9.93	1.17



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2561

4.2 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดสอบการทำงานของชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยทำการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์มาตรฐาน ของบริษัท Apogee รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นระยะเวลา 10 วัน โดยมีสรุปผลของการทดสอบแสดงไว้ในบทต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อวัดความเข้มแสงอาทิตย์ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กจะถูกออกแบบใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ถูกนำมาขยายและบันทึกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA328 โดยทำการวัดและบันทึกค่าทุก 2 นาที ตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งพระอาทิตย์ตก แล้วนำข้อมูลมาทำการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) กับค่าที่ได้จากไพรานอ์มิเตอร์มาตรฐานของบริษัท Apogee รุ่น SP-110 แล้วทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ

5.1 สรุปงานวิจัย

จากการทดสอบชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ เปรียบเทียบกับชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากไพรานอ์มิเตอร์ รุ่น SP-110 จากการทดลองเก็บผลเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนลดลง เมื่อเทียบกับผลการวัดที่ได้ก่อนทำการปรับเส้นโค้งและฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม มีความคลาดเคลื่อนของแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ เฉลี่ยที่ 1.16 เปอร์เซ็นต์ และแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 โวลต์ เฉลี่ยที่ 1.07 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของบทความ [1] ซึ่งใช้โฟโตไดโอดเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่ออกแบบมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า อย่างไรก็ตามแผงโซลาร์เซลล์มีพื้นผิวในการรับแสงเป็นพื้นผิวเรียบ ต่างจากโฟโตไดโอดซึ่งมีความโค้งพื้นที่รับแสงถูกออกแบบให้อยู่ด้านบนของอุปกรณ์ ทำให้มีผลของการรับแสงทางด้านข้างของอุปกรณ์นั้นให้เอาต์พุตมีค่าน้อย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบนี้สามารถนำไปใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ได้ และมีราคาถูก สะดวกกับการใช้งานในภาคสนาม

5.2 ข้อเสนอแนะ

การสร้างชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ เป็นการทดสอบว่าแผงโซลาร์เซลล์ สามารถทำงานให้ผลใกล้เคียงกับไพรานอรัมิเตอร์ รุ่น SP-110 ตัวต้นแบบเท่านั้น หากต้องมีการผลิตขึ้นมาจำหน่าย จำเป็นจะต้องมีการทดสอบตามที่มีมาตรฐานกำหนดต่อไป



บรรณานุกรม

- [1] ชาย ชีวะกตุ และชนานัญ บัวเขียว, “การผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์”, วารสารนโยบายพลังงาน, กรกฎาคม-กันยายน 2543, ฉบับที่ 49
- [2] เอกรินทร์ วาสนาสง, “ระบบบันทึกข้อมูลและวัดค่าคุณสมบัติกระแสและแรงดันแบบพกพาสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์”, EECON 29, พ.ศ. 2549, หน้า 317-320
- [3] อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล, การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2553.
- [4] Electricity Generating Authority of Thailand [http \(Online\), //www2.egat.co.th/re/solarcell/solarell.htm](http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarell.htm) (10 October 2009).
- [5] รุ่งโรจน์ สุริโยภาสุไร, ทวีศักดิ์ ต้นอร่าม และปกรณ สมบูรณ์กิจ, “การพัฒนาชุดจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการศึกษาสำหรับห้องปฏิบัติการ”, นเรศวรวิจัยครั้งที่ 3, พ.ศ. 2550, หน้า 355-360
- [6] JAY JEONG, “An optical power meter and a thermopile detector both have applications in photovoltaics research These tools will find increased demand as the field of photovoltaic research grows.”, <http://www.optoiq.com>
- [7] Mohamed Azab, “Improved Circuit Model of Photovoltaic Array”, Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol 34, 2008 pp. 857-860.
- [8] เอกรินทร์ วาสนาสง และสมศักดิ์ เสนาภักดี, “เครื่องมือวัดคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงกระพริบ”, EECON 27, พ.ศ. 2547, หน้า 157-160
- [9] ไชยยันต์ บุญมี และนภัทร วัจนเทพินทร์, “การทดสอบระบบการวัดและแสดงผลการทำงานของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบบนอาคารเรียน”, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, หน้า 224-231.
- [10] อานาจ นิมทวิ และนิพนธ์ เกตุจ้อย, “การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก”, ENETT6, พ.ศ. 2553.
- [11] จูติพร เจาจะง และนิพนธ์ เกตุจ้อย, “การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์”, ENETT6, พ.ศ. 2553.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] Wenham, S.R. et al, Applied Photovoltaics, USA : Earthscan, 2007 pp1-272.
- [13] Apogee Pyranometer SP-110 SPECIFICATIONS, “Pyranometer SP-110”, <http://www.soldata.dk/pdf/SP-110-data-UK.pdf>
- [14] MiniProject MicroPower Instrumentation Amplifier, “ทฤษฎีออปแอมป์”, <http://myminiprojectkub.blogspot.com>
- [15] เสกสรร ศรีจันทร์, “เอกสารประกอบการสอนวิชาออปแอมป์และลิเนย์ไอซี”, หน้า 3-44
- [16] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์, ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาลอก. กรุงเทพฯ: เม็ดทราย พรินต์ติ้ง, 2545. หน้า 1-91.
- [17] จักริ รัศมิฉาย, ทดลองและใช้งานบอร์ด Arduino Uno R3 ด้วยโปรแกรม NI LabVIEW. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [18] Arduitrronics, “Arduino U3”, <https://www.arduitronics.com>
- [19] Curve Fitting, “การประมาณค่าในช่วง”, http://pirun.ku.ac.th/~fengslj/02212447/doc54a/chap05_rev2.pdf
- [20] บัณฑิต ฤทธิทอง, “การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารชุด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553.
- [21] กิตติชัย สีพ้อง, “การศึกษาผลกระทบของราคาน้ำมันบนตลาดหุ้นไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียม” งานค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555.
- [22] ธวัช เกษสถิตย์. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2549.
- [23] Joel Cruz-Colon, Luis Martinez-Mitjans, and Eduardo I. Design of a Low Cost Irradiance Meter using a Photovoltaic Panel IEEE 2011. p. 911-912.
- [24] เกษม ตริภาค, ชยันต์ สิงหาบุตร, สุริยา แซ่ย่าง, อนุชา สุนันตะ และนพพร พัชรประกิติ. การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. จังหวัดลำปาง; 2555.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [25] มรกต แสตนกุล และสมชาย กฤตพลวิวัฒน์. การออกแบบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ด้วยโซลาร์เซลล์แบบพกพา. วิทยานิพนธ์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก; 2555.
- [26] สิริกร กรมโพธิ์ และนภาพร วิสิฐพงษ์พันธ์. การทำนายเวลาในการเดินทางโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เชิงเส้น. วิทยานิพนธ์โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
- [27] มนต์ ตั้งวรศิลป์ และวรรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์. สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, จังหวัดนนทบุรี, 2543
- [28] emindtek, “Solar cell”, <http://www.mind-tek.net>



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดสอบ

ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอรัมิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของ โครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ ก.1 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ ก.2 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ ก.1 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของ โครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอรัมิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ ก.2 วันที่ 28 ธันวาคม 2560

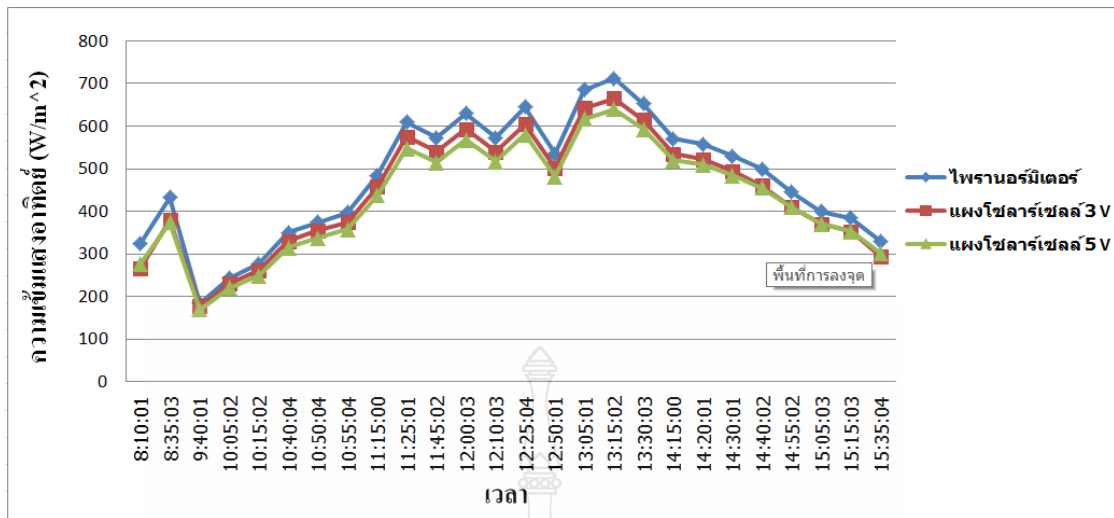


ตารางที่ ก.1 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 28 ธันวาคม 2560

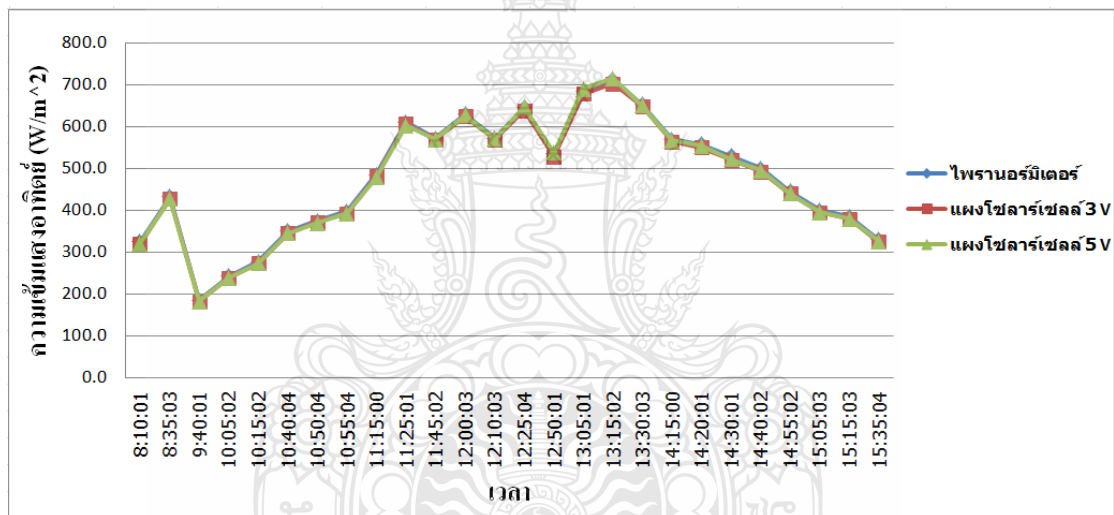
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:10:01	325	267.5	320.0	17.69	1.54
8:35:03	432.5	380	428.0	12.14	1.04
9:40:01	185	177.5	183.4	4.05	0.89
10:05:02	242.5	230	239.4	5.15	1.28
10:15:02	277.5	262.5	273.9	5.41	1.28
10:40:04	350	330	345.5	5.71	1.28
10:50:04	375	355	372.0	5.33	0.79
10:55:04	397.5	375	393.3	5.66	1.07
11:15:00	485	457.5	481.0	5.67	0.83
11:25:01	610	575	606.3	5.74	0.60
11:45:02	572.5	540	568.9	5.68	0.62
12:00:03	630	592.5	625.0	5.95	0.79
12:10:03	572.5	540	568.9	5.68	0.62
12:25:04	645	605	638.4	6.20	1.03
13:05:01	685	642.5	678.5	6.20	0.95
13:15:02	712.5	665	702.5	6.67	1.40
13:30:03	652.5	615	649.1	5.75	0.53
14:15:00	570	535	563.6	6.14	1.12
14:20:01	557.5	522.5	550.3	6.28	1.30
14:30:01	530	495	520.9	6.60	1.71
14:40:02	500	460	492.0	8.00	1.60
14:55:02	445	410	439.5	7.87	1.24
15:05:03	400	370	395.5	7.50	1.13
15:15:03	385	352.5	379.5	8.44	1.43
15:35:04	330	295	325.0	10.61	1.52
				7.0	1.10

ตารางที่ ก.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 28 ธันวาคม 2560

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	ก่อนปรับค่า		
8:10:01	325	277.5	321.0	14.62	1.23
8:35:03	432.5	375	427.5	13.29	1.16
9:40:01	185	170	183.0	8.11	1.07
10:05:02	242.5	220	239.7	9.28	1.15
10:15:02	277.5	250	273.8	9.91	1.35
10:40:04	350	315	345.5	10.00	1.29
10:50:04	375	337.5	370.0	10.00	1.33
10:55:04	397.5	357.5	392.5	10.06	1.26
11:15:00	485	437.5	479.0	9.79	1.24
11:25:01	610	547.5	602.5	10.25	1.23
11:45:02	572.5	515	570.0	10.04	0.44
12:00:03	630	567.5	627.0	9.92	0.48
12:10:03	572.5	517.5	570.5	9.61	0.35
12:25:04	645	580	648.0	10.08	0.46
13:05:01	685	617.5	690.4	9.85	0.79
13:15:02	712.5	640	716.0	10.18	0.49
13:30:03	652.5	592.5	649.5	9.20	0.46
14:15:00	570	520	567.0	8.77	0.53
14:20:01	557.5	510	553.5	8.52	0.72
14:30:01	530	485	522.5	8.49	1.42
14:40:02	500	455	495.5	9.00	0.90
14:55:02	445	410	440.0	7.87	1.12
15:05:03	400	370	395.0	7.50	1.25
15:15:03	385	352.5	380.5	8.44	1.17
15:35:04	330	302.5	325.5	8.33	1.36
				9.65	0.95



รูปที่ ก.1 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอรัมิเตอร์



รูปที่ ก.2 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอรัมิเตอร์ วันที่ 28 ธันวาคม 2560

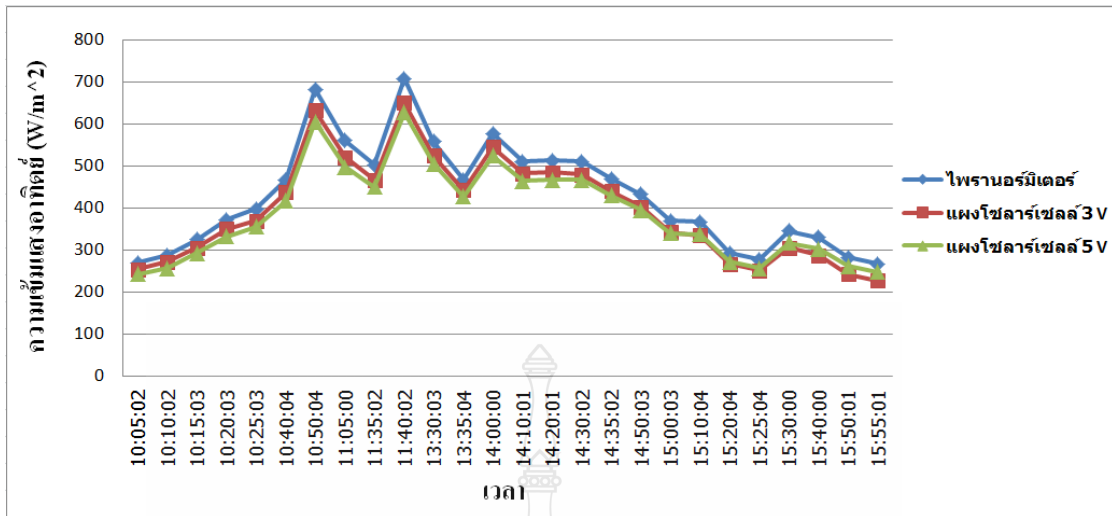
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอรัมิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ ก.3 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ ก.4 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ ก.3 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอรัมิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ ก.4 วันที่ 29 ธันวาคม 2560

ตารางที่ ก.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 29 ธันวาคม 2560

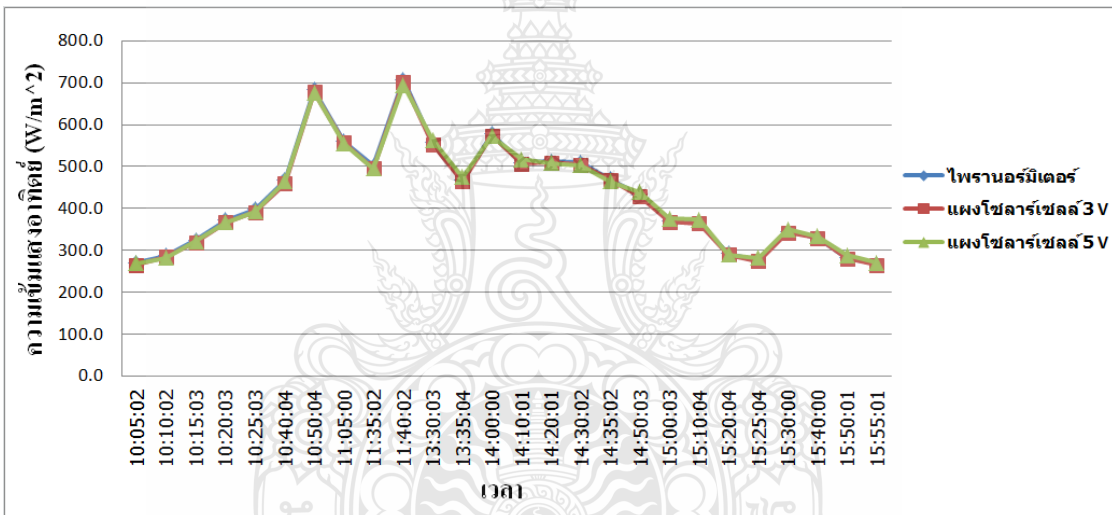
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
10:05:02	270	255	266.0	5.56	1.49
10:10:02	287.5	272.5	284.6	5.22	1.03
10:15:03	325	305	319.0	6.15	1.84
10:25:03	397.5	370	392.0	6.92	1.38
10:40:04	467.5	437.5	459.7	6.42	1.67
10:50:04	682.5	632.5	678.0	7.33	0.66
11:05:00	560	520	557.0	7.14	0.54
11:35:02	502.5	467.5	495.0	6.97	1.49
11:40:02	707.5	650	702.0	8.13	0.78
13:30:03	557.5	525	552.9	5.83	0.82
13:35:04	467.5	442.5	465.0	5.35	0.54
14:00:00	577.5	545	574.3	5.63	0.56
14:10:01	510	482.5	507.6	5.39	0.47
14:20:01	512.5	485	510.3	5.37	0.44
14:30:02	510	480	504.9	5.88	0.99
14:35:02	470	440	468.0	6.38	0.43
14:50:03	432.5	402.5	429.0	6.94	0.81
15:00:03	370	342.5	368.0	7.43	0.54
15:10:04	367.5	335	364.0	8.84	0.95
15:20:04	292.5	267.5	290.0	8.55	0.85
15:25:04	277.5	252.5	275.0	9.01	0.90
15:30:00	345	305	342.0	11.59	0.87
15:40:00	330	287.5	329.0	12.88	0.30
15:50:01	282.5	242.5	281.0	14.16	0.53
15:55:01	267.5	227.5	265.0	14.95	0.93
				7.7	0.90

ตารางที่ ก.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพโรมิเตอร์ วันที่ 29 ธันวาคม 2560

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพโรมิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
10:05:02	270	242.5	269.0	10.19	0.37
10:10:02	287.5	257.5	282.3	10.43	1.82
10:15:03	325	292.5	322.0	10.00	0.91
10:25:03	397.5	355	393.1	10.69	1.12
10:40:04	467.5	417.5	464.0	10.70	0.74
10:50:04	682.5	605	676.2	11.36	0.92
11:05:00	560	497.5	554.7	11.16	0.95
11:35:02	502.5	450	495.0	10.45	1.49
11:40:02	707.5	627.5	695.0	11.31	1.77
13:30:03	557.5	505	563.2	9.42	1.02
13:35:04	467.5	427.5	475.4	8.56	1.68
14:00:00	577.5	525	572.0	9.09	0.95
14:10:01	510	465	517.9	8.82	1.55
14:20:01	512.5	467.5	508.0	8.78	0.88
14:30:02	510	467.5	503.0	8.33	1.37
14:35:02	470	430	465.0	8.51	1.06
14:50:03	432.5	395	438.5	8.67	1.39
15:00:03	370	340	376.0	8.11	1.63
15:10:04	367.5	337.5	373.2	8.16	1.54
15:20:04	292.5	272.5	289.5	6.84	1.03
15:25:04	277.5	257.5	282.3	7.21	1.72
15:30:00	345	317.5	350.4	7.97	1.58
15:40:00	330	302.5	333.4	8.33	1.03
15:50:01	282.5	262.5	288.0	7.08	1.93
15:55:01	267.5	247.5	270.9	7.48	1.28
				9.17	1.27



รูปที่ 3.3 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอ์มิเตอร์



รูปที่ 3.4 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 29 ธันวาคม 2560

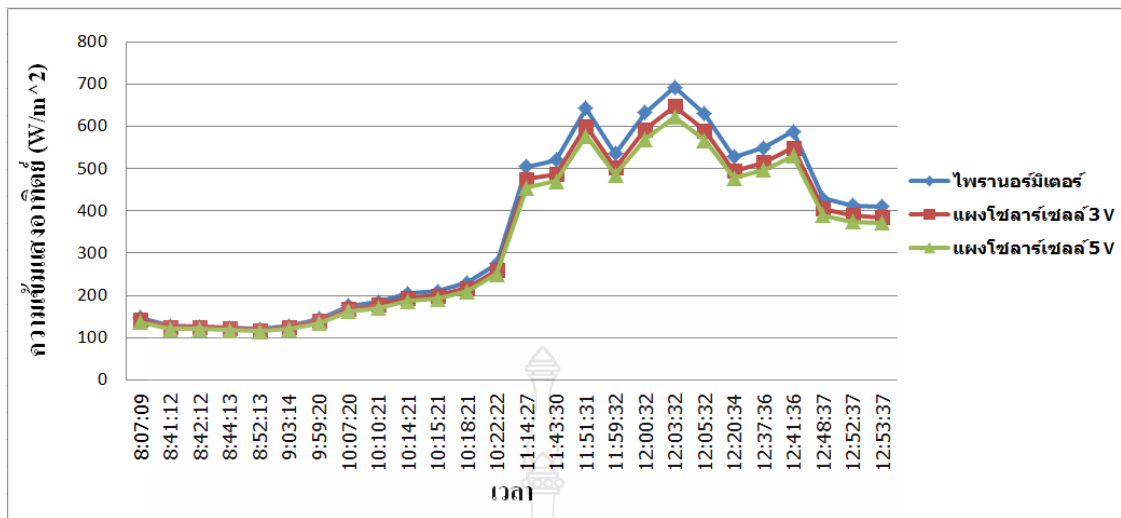
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอ์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ ก.5 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ ก.6 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ ก.5 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอ์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ ก.6 วันที่ 4 มกราคม 2561

ตารางที่ ก.5 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 4 มกราคม 2561

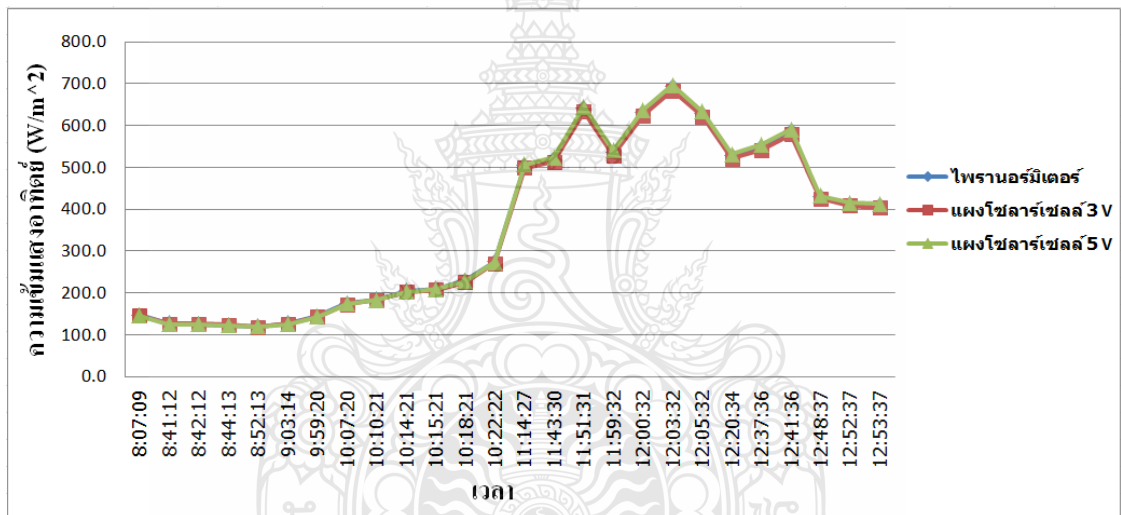
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:07:09	147.5	142.5	145.9	3.39	1.10
8:41:12	127.5	125	126.5	1.96	0.76
8:42:12	125	122	126.5	2.40	1.22
8:44:13	122.5	120.5	123.8	1.63	1.03
8:52:13	120	117.5	118.2	2.08	1.48
9:03:14	127.5	125	126.5	1.96	0.76
9:59:20	145	140	143.2	3.45	1.24
10:07:20	175	167.5	172.7	4.29	1.34
10:10:21	185	177.5	183.4	4.05	0.89
10:14:21	205	195	202.1	4.88	1.43
10:15:21	210	200	207.4	4.76	1.24
10:22:22	275	260	271.3	5.45	1.35
11:14:27	505	475	499.6	5.94	1.07
11:43:30	520	487.5	512.9	6.25	1.36
11:51:31	642.5	600	633.0	6.61	1.47
11:59:32	535	502.5	528.9	6.07	1.14
12:00:32	632.5	592.5	625.0	6.32	1.18
12:03:32	692.5	647.5	683.8	6.50	1.26
12:05:32	630	590	622.3	6.35	1.21
12:20:34	527.5	495	520.9	6.16	1.25
12:37:36	550	515	542.3	6.36	1.41
12:41:36	587.5	550	579.6	6.38	1.34
12:48:37	430	405	425.1	5.81	1.13
12:52:37	412.5	390	409.2	5.45	0.80
12:53:37	410	385	403.9	6.10	1.49
				4.85	1.22

ตารางที่ ก.6 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 4 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:07:09	147.5	137.5	146.3	6.78	0.84
8:41:12	127.5	120	125.6	5.88	1.46
8:42:12	125	120	125.6	4.00	0.51
8:44:13	122.5	117.5	122.8	4.08	0.27
8:52:13	120	115	120.0	4.17	0.03
9:03:14	127.5	120	125.6	5.88	1.46
9:59:20	145	135	143.4	6.90	1.08
10:07:20	175	162.5	174.5	7.14	0.27
10:10:21	185	170	183.0	8.11	1.07
10:14:21	205	187.5	202.9	8.54	1.05
10:15:21	210	192.5	208.5	8.33	0.70
10:22:22	275	250	273.8	9.09	0.45
11:14:27	505	455	506.6	9.90	0.31
11:43:30	520	470	523.6	9.62	0.68
11:51:31	642.5	577.5	645.1	10.12	0.41
11:59:32	535	485	540.5	9.35	1.04
12:00:32	632.5	570	636.6	9.88	0.66
12:03:32	692.5	622.5	696.1	10.11	0.52
12:05:32	630	567.5	633.8	9.92	0.61
12:20:34	527.5	477.5	532.1	9.48	0.86
12:37:36	550	497.5	554.7	9.55	0.85
12:41:36	587.5	530	591.4	9.79	0.67
12:48:37	430	390	432.8	9.30	0.65
12:52:37	412.5	375	415.8	9.09	0.79
12:53:37	410	372.5	412.9	9.15	0.72
				8.19	0.72



รูปที่ ก.5 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอมีเตอร์



รูปที่ ก.6 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอมีเตอร์ วันที่ 4 มกราคม 2561

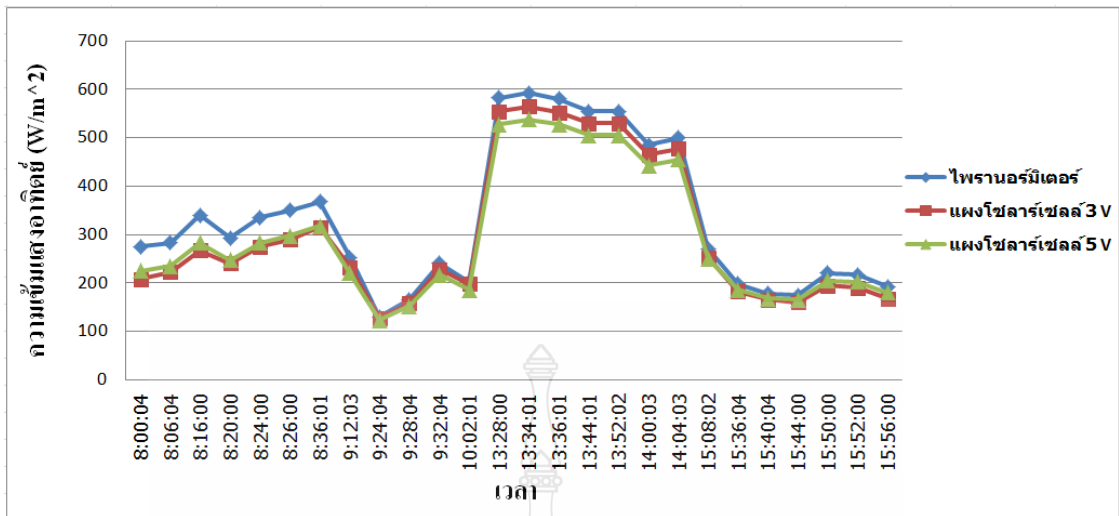
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมีเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ ก.7 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ ก.8 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ ก.7 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอมีเตอร์ ดังกราฟรูปที่ ก.8 วันที่ 9 มกราคม 2561

ตารางที่ ก.7 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 9 มกราคม 2561

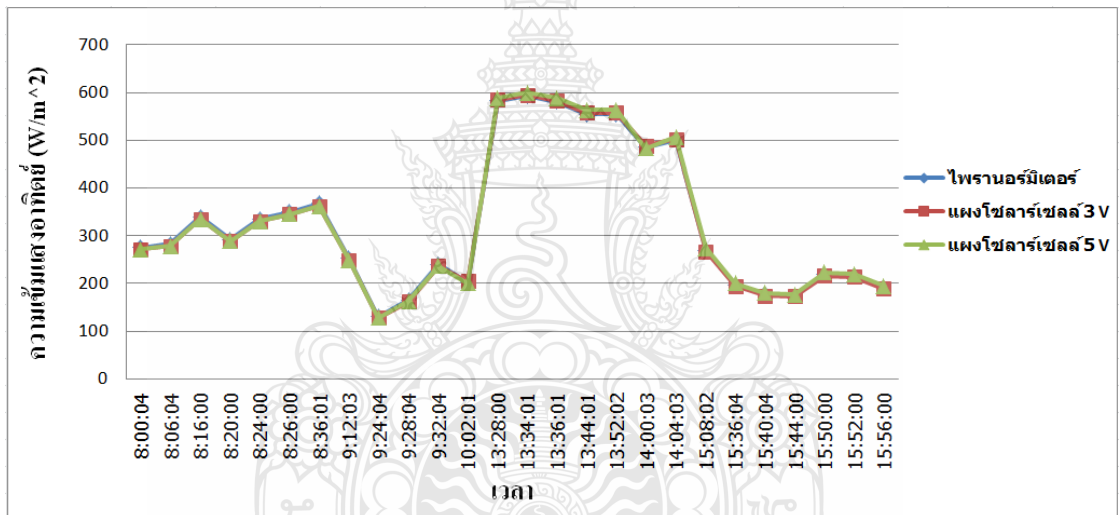
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:00:04	275	207.5	272.0	24.55	1.09
8:06:04	282.5	222.5	279.0	21.24	1.24
8:16:00	340	267.5	335.0	21.32	1.47
8:20:00	292.5	240	289.0	17.95	1.20
8:24:00	335	275	330.5	17.91	1.34
8:26:00	350	290	345.0	17.14	1.43
8:36:01	367.5	315	362.5	14.29	1.36
9:12:03	252.5	232.5	249.0	7.92	1.39
9:24:04	130	127.5	128.0	1.92	1.54
9:28:04	165	157.5	161.9	4.55	1.85
9:32:04	240	227.5	236.7	5.21	1.37
10:02:01	202.5	197.5	204.7	2.47	1.10
13:28:00	582.5	555	585.0	4.72	0.42
13:34:01	592.5	565	595.6	4.64	0.53
13:36:01	580	552.5	582.3	4.74	0.39
13:52:02	555	530	558.3	4.50	0.59
14:00:03	485	465	488.9	4.12	0.81
14:04:03	500	477.5	502.3	4.50	0.45
15:08:02	270	252.5	267.0	6.48	1.11
15:36:04	197.5	182.5	195.0	7.59	1.27
15:40:04	177.5	165	175.0	7.04	1.41
15:44:00	175	160	173.0	8.57	1.14
15:50:00	220	195	216.0	11.36	1.82
15:52:00	217.5	190	214.0	12.64	1.61
15:56:00	192.5	167.5	189.5	12.99	1.56
				9.80	1.16

ตารางที่ ก.8 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอรัมิเตอร์ วันที่ 9 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอรัมิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:00:04	275	225	272.0	18.18	1.09
8:06:04	282.5	235	279.0	16.81	1.24
8:16:00	340	282.5	335.0	16.91	1.47
8:20:00	292.5	247.5	289.0	15.38	1.20
8:24:00	335	282.5	330.5	15.67	1.34
8:26:00	350	297.5	345.0	15.00	1.43
8:36:01	367.5	317.5	362.0	13.61	1.50
9:12:03	252.5	220	249.0	12.87	1.39
9:24:04	130	122.5	128.4	5.77	1.20
9:28:04	165	152.5	163.2	7.58	1.08
9:32:04	240	217.5	236.9	9.38	1.30
10:02:01	202.5	185	200.0	8.64	1.22
13:28:00	582.5	527.5	588.6	9.44	1.05
13:34:01	592.5	537.5	599.9	9.28	1.25
13:36:01	580	527.5	588.6	9.05	1.49
13:52:02	555	505	563.2	9.01	1.47
14:00:03	485	442.5	483.0	8.76	0.41
14:04:03	500	455	506.6	9.00	1.31
15:08:02	270	250	273.8	7.41	1.39
15:36:04	197.5	185	200.0	6.33	1.28
15:40:04	177.5	167.5	180.2	5.63	1.52
15:44:00	175	165	177.4	5.71	1.35
15:50:00	220	205	222.7	6.82	1.22
15:52:00	217.5	202.5	219.9	6.90	1.08
15:56:00	192.5	180	194.4	6.49	0.96
				10.18	1.26



รูปที่ ก.7 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ ก.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 9 มกราคม 2561

ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ ก.9 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ ก.10 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ ก.9 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ ก.10 วันที่ 11 มกราคม 2561

ตารางที่ ก.9 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 11 มกราคม 2561

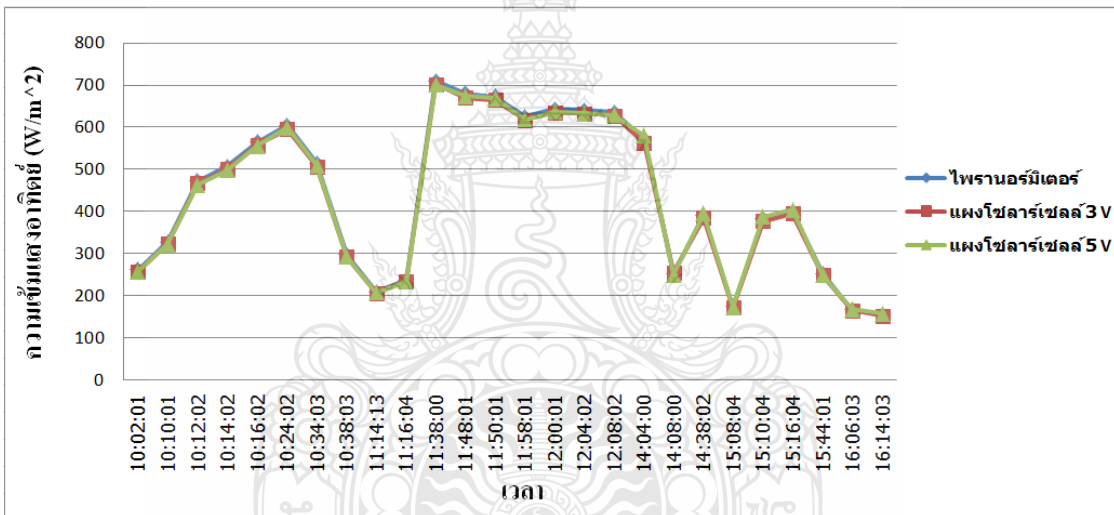
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)				% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า	
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า			
10:02:01	262.5	242.5	259.0	7.62	1.33	
10:10:01	327.5	305	324.0	6.87	1.07	
10:12:02	472.5	432.5	467.0	8.47	1.16	
10:14:02	507.5	467.5	501.0	7.88	1.28	
10:16:02	565	520	559.0	7.96	1.06	
10:24:02	605	560	596.0	7.44	1.49	
10:34:03	515	482.5	507.6	6.31	1.44	
10:38:03	297.5	282.5	293.0	5.04	1.51	
11:14:13	210	202.5	207.0	3.57	1.43	
11:38:00	710	665	702.5	6.34	1.05	
11:48:01	680	635	670.4	6.62	1.40	
11:50:01	672.5	630	665.1	6.32	1.10	
11:58:01	625	585	617.0	6.40	1.28	
12:00:01	642.5	602.5	635.7	6.23	1.06	
12:04:02	640	600	633.0	6.25	1.09	
12:08:02	635	595	627.7	6.30	1.15	
14:04:00	572.5	545	564.0	4.80	1.48	
14:08:00	252.5	245	255.3	2.97	1.13	
14:38:02	390	370	385.0	5.13	1.28	
15:08:04	175	167.5	172.7	4.29	1.34	
15:10:04	382.5	355	378.0	7.19	1.18	
15:16:04	400	367.5	395.0	8.13	1.25	
15:44:01	252.5	227.5	249.0	9.90	1.39	
16:06:03	167.5	152.5	165.5	8.96	1.19	
16:14:03	155	142.5	153.0	8.06	1.29	
				6.51	1.26	

ตารางที่ ก.10 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 11 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)				% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า	
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า			
10:02:01	262.5	230	259.0	12.38	1.33	
10:10:01	327.5	290	322.0	11.45	1.68	
10:12:02	472.5	412.5	464.0	12.70	1.80	
10:14:02	507.5	442.5	498.0	12.81	1.87	
10:16:02	565	492.5	556.0	12.83	1.59	
10:24:02	605	535	599.5	11.57	0.91	
10:34:03	515	457.5	509.4	11.17	1.09	
10:38:03	297.5	270	292.5	9.24	1.68	
11:14:13	210	192.5	208.5	8.33	0.70	
11:38:00	710	635	701.0	10.56	1.27	
11:48:01	680	607.5	674.0	10.66	0.88	
11:50:01	672.5	602.5	668.0	10.41	0.67	
11:58:01	625	560	619.0	10.40	0.96	
12:00:01	642.5	575	637.0	10.51	0.86	
12:04:02	640	575	633.0	10.16	1.09	
12:08:02	635	567.5	629.0	10.63	0.94	
14:04:00	572.5	520	580.1	9.17	1.33	
14:08:00	252.5	232.5	251.0	7.92	0.59	
14:38:02	390	357.5	395.9	8.33	1.51	
15:08:04	175	162.5	174.0	7.14	0.57	
15:10:04	382.5	350	387.4	8.50	1.27	
15:16:04	400	365	404.4	8.75	1.10	
15:44:01	252.5	232.5	249.0	7.92	1.39	
16:06:03	167.5	157.5	168.9	5.97	0.82	
16:14:03	155	147.5	157.6	4.84	1.65	
				9.72	1.19	



รูปที่ ก.9 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ ก.10 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 11 มกราคม 2561

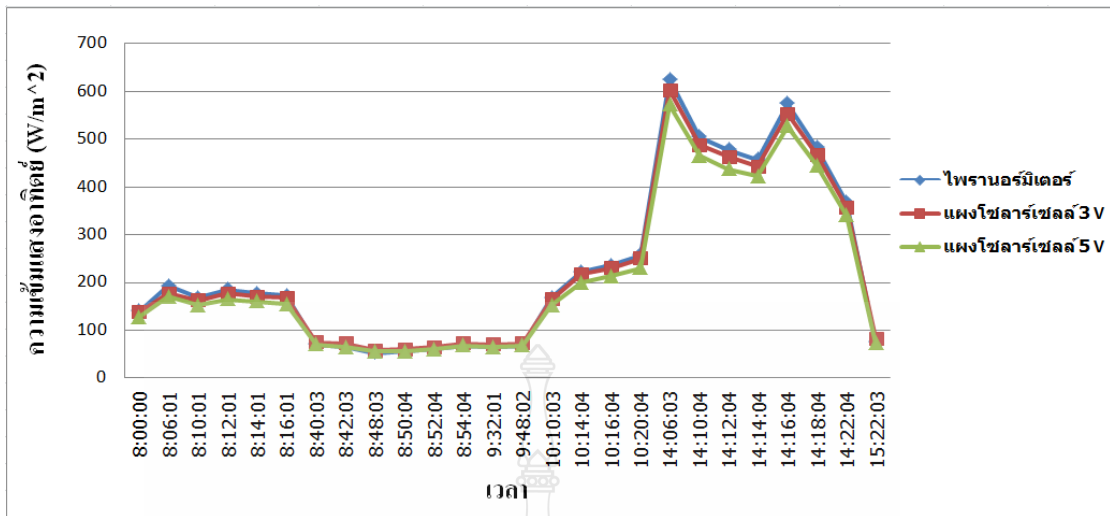
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ ก.11 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ ก.12 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ ก.11 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ ก.12 วันที่ 14 มกราคม 2561

ตารางที่ ก.11 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 14 มกราคม 2561

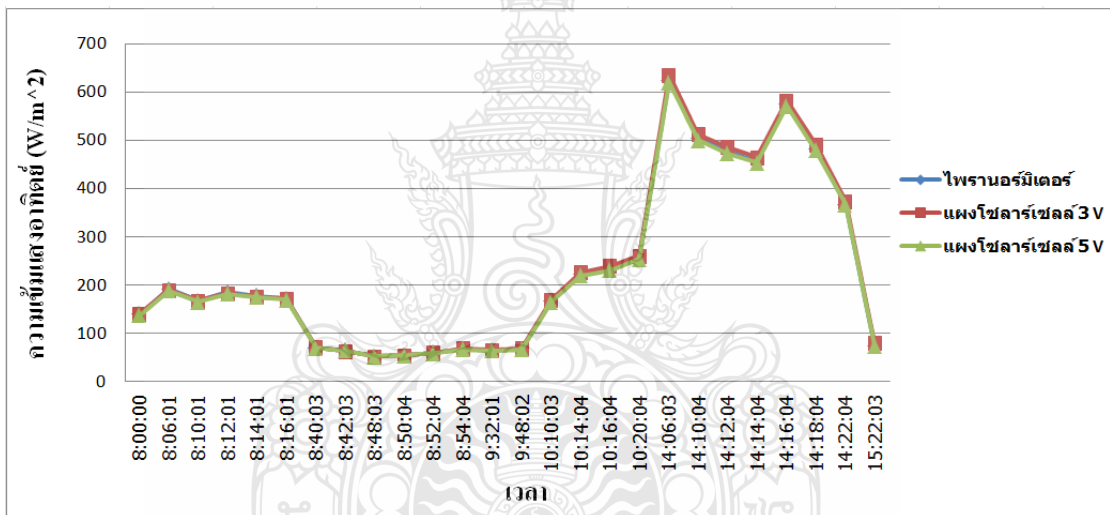
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:00:00	140	137.5	140.5	1.79	0.37
8:06:01	192.5	177.5	189.5	7.79	1.56
8:10:01	167.5	162.5	167.3	2.99	0.12
8:14:01	177.5	170	175.3	4.23	1.22
8:16:01	172.5	167.5	172.7	2.90	0.09
8:40:03	70	75	71.3	7.14	1.93
8:42:03	65	72.5	63.9	11.54	1.69
8:48:03	52.5	57.5	52.2	9.52	0.53
8:50:04	55	60	54.9	9.09	0.10
8:52:04	60	65	60.4	8.33	0.67
8:54:04	67.5	72.5	68.6	7.41	1.64
9:32:01	65	70	65.9	7.69	1.34
9:48:02	67.5	72.5	68.6	7.41	1.64
10:10:03	167.5	165	170.0	1.49	1.48
10:14:04	222.5	217.5	226.1	2.25	1.60
10:16:04	235	230	239.4	2.13	1.87
10:20:04	257.5	250	260.7	2.91	1.23
14:06:03	625	602.5	635.7	3.60	1.71
14:10:04	505	487.5	512.9	3.47	1.57
14:12:04	477.5	462.5	486.3	3.14	1.84
14:14:04	457.5	442.5	465.0	3.28	1.64
14:16:04	575	552.5	582.3	3.91	1.27
14:18:04	482.5	467.5	491.6	3.11	1.89
14:22:04	367.5	357.5	374.7	2.72	1.96
15:22:03	75	82.5	79.6	10.00	1.00
				5.15	1.26

ตารางที่ ก.12 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 14 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:00:00	140	127.5	138.0	8.93	1.43
8:06:01	192.5	170	189.0	11.69	1.82
8:10:01	167.5	152.5	165.0	8.96	1.49
8:14:01	177.5	160	175.0	9.86	1.41
8:16:01	172.5	155	169.5	10.14	1.74
8:40:03	70	70	69.5	0.00	0.71
8:42:03	65	65	64.1	0.00	1.41
8:48:03	52.5	55	52.9	4.76	0.79
8:50:04	55	55	54.0	0.00	1.82
8:52:04	60	60	59.5	0.00	0.83
8:54:04	67.5	67.5	66.9	0.00	0.93
9:32:01	65	65	64.1	0.00	1.41
9:48:02	67.5	67.5	66.5	0.00	1.48
10:10:03	167.5	152.5	165.0	8.96	1.49
10:14:04	222.5	200	220.0	10.11	1.12
10:16:04	235	212.5	231.2	9.57	1.62
10:20:04	257.5	230	254.0	10.68	1.36
14:06:03	625	572.5	620.0	8.40	0.80
14:10:04	505	465	501.0	7.92	0.79
14:12:04	477.5	437.5	473.0	8.38	0.94
14:14:04	457.5	422.5	454.0	7.65	0.77
14:16:04	575	527.5	571.0	8.26	0.70
14:18:04	482.5	445	479.0	7.77	0.73
14:22:04	367.5	340	368.0	7.48	0.14
15:22:03	75	72.5	74.0	3.33	1.33
				6.29	1.18



รูปที่ ก.11 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอรัมิเตอร์



รูปที่ ก.12 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอรัมิเตอร์ วันที่ 14 มกราคม 2561

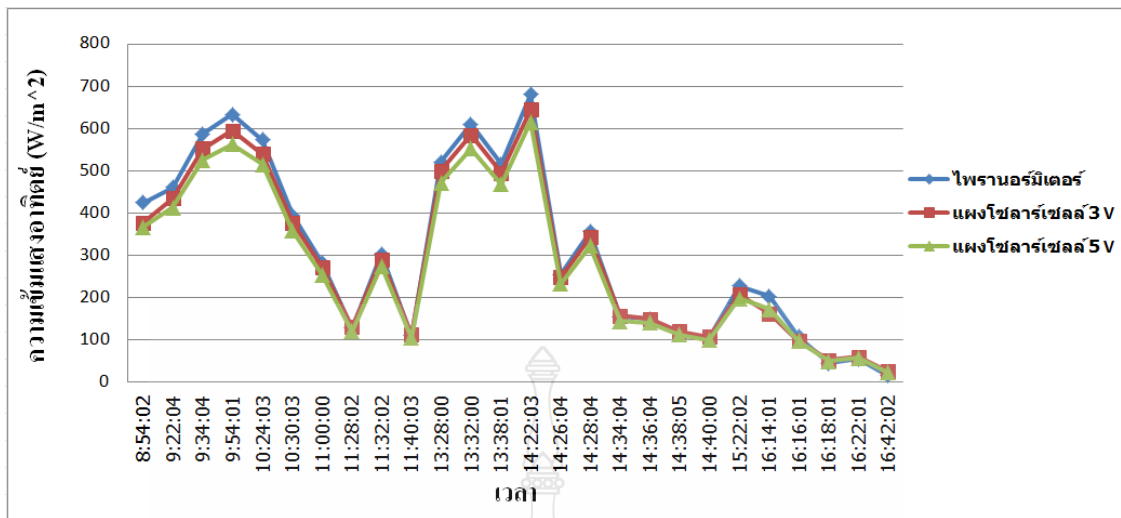
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอรัมิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ ก.13 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ ก.14 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ ก.13 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอรัมิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ ก.14 วันที่ 16 มกราคม 2561

ตารางที่ ก.13 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 16 มกราคม 2561

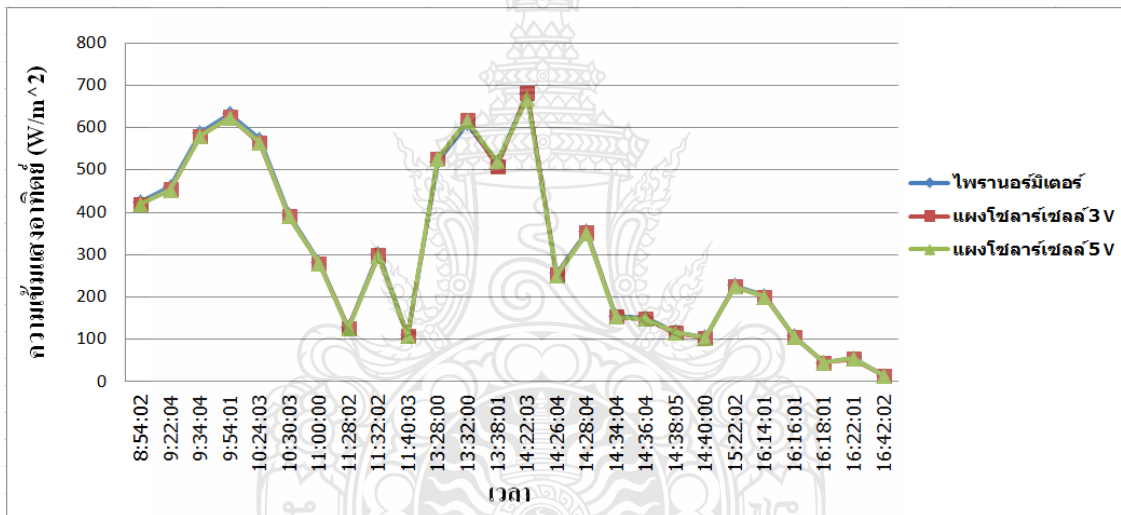
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:54:02	425	377.5	420.0	11.18	1.18
9:22:04	460	435	454.0	5.43	1.30
9:34:04	587.5	552.5	580.0	5.96	1.28
9:54:01	632.5	595	625.0	5.93	1.19
10:24:03	572.5	540	564.0	5.68	1.48
10:30:03	395	377.5	390.0	4.43	1.27
11:00:00	282.5	272.5	279.0	3.54	1.24
11:28:02	127.5	130	126.0	1.96	1.18
11:32:02	302.5	290	299.0	4.13	1.16
11:40:03	110	112.5	108.5	2.27	1.36
13:32:00	610	585	617.0	4.10	1.15
13:38:01	515	495	509.0	3.88	1.17
14:22:03	680	645	681.1	5.15	0.17
14:26:04	255	247.5	253.0	2.94	0.78
14:28:04	355	342.5	352.0	3.52	0.85
14:34:04	155	157.5	153.0	1.61	1.29
14:36:04	150	150	148.2	0.00	1.20
14:38:05	117.5	120	115.5	2.13	1.70
14:40:00	105	107.5	103.5	2.38	1.43
15:22:02	227.5	207.5	225.0	8.79	1.10
16:14:01	202.5	162.5	200.0	19.75	1.23
16:16:01	107.5	97.5	106.0	9.30	1.40
16:18:01	45	52.5	44.5	16.67	1.11
16:22:01	55	60	54.3	9.09	1.27
16:42:02	15	25	14.8	66.67	1.33
				8.09	1.19

ตารางที่ ก.14 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอรัมิเตอร์ วันที่ 16 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอรัมิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:54:02	425	367.5	420.0	13.53	1.18
9:22:04	460	412.5	453.0	10.33	1.52
9:34:04	587.5	525	580.0	10.64	1.28
9:54:01	632.5	562.5	624.0	11.07	1.34
10:24:03	572.5	515	565.0	10.04	1.31
10:30:03	395	357.5	390.0	9.49	1.27
11:00:00	282.5	255	279.4	9.73	1.08
11:28:02	127.5	120	125.6	5.88	1.46
11:32:02	302.5	275	298.0	9.09	1.49
11:40:03	110	105	108.8	4.55	1.07
13:32:00	610	552.5	616.9	9.43	1.13
13:38:01	515	467.5	520.7	9.22	1.11
14:22:03	680	615	670.0	9.56	1.47
14:26:04	255	232.5	252.0	8.82	1.18
14:28:04	355	322.5	350.0	9.15	1.41
14:34:04	155	145	153.0	6.45	1.29
14:36:04	150	140	148.0	6.67	1.33
14:38:05	117.5	112.5	116.0	4.26	1.28
14:40:00	105	100	103.2	4.76	1.69
15:22:02	227.5	197.5	225.0	13.19	1.10
16:14:01	202.5	172.5	200.0	14.81	1.23
16:16:01	107.5	97.5	106.0	9.30	1.40
16:18:01	45	50	44.4	11.11	1.33
16:22:01	55	57.5	55.7	4.55	1.28
16:42:02	15	22.5	14.8	50.00	1.33
				10.57	1.30



รูปที่ ก.13 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอรัมิเตอร์



รูปที่ ก.14 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอรัมิเตอร์ วันที่ 16 มกราคม 2561

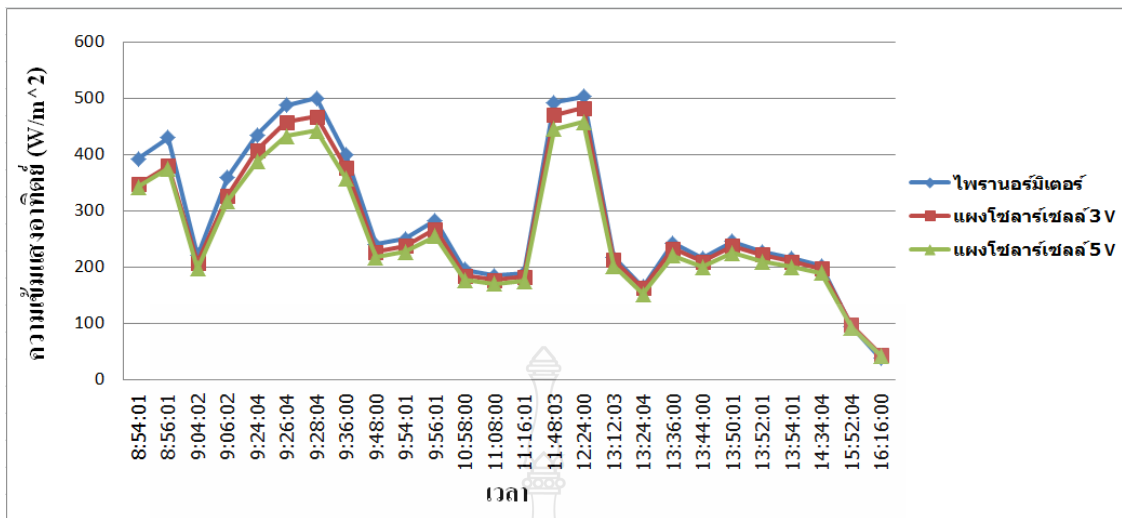
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอรัมิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ ก.15 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ ก.16 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ ก.15 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอรัมิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ ก.16 วันที่ 17 มกราคม 2561

ตารางที่ ก.15 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 17 มกราคม 2561

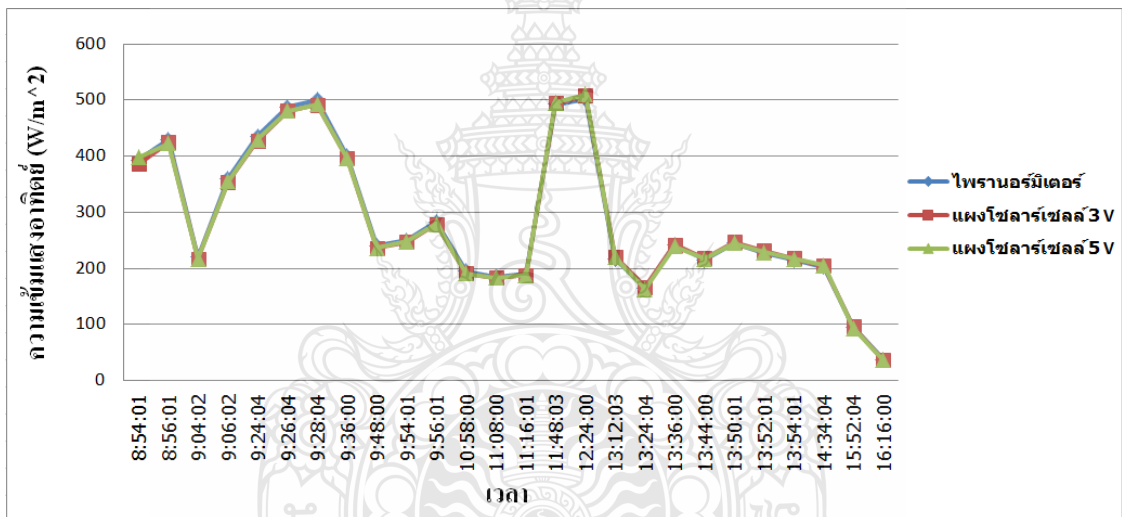
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:54:01	392.5	347.5	386.0	11.46	1.66
8:56:01	430	380	425.0	11.63	1.16
9:04:02	220	207.5	217.0	5.68	1.36
9:06:02	360	327.5	354.0	9.03	1.67
9:24:04	435	407.5	427.8	6.32	1.66
9:26:04	487.5	457.5	481.0	6.15	1.34
9:28:04	500	467.5	491.6	6.50	1.68
9:36:00	400	377.5	395.9	5.63	1.02
9:54:01	250	237.5	247.4	5.00	1.05
9:56:01	282.5	267.5	279.2	5.31	1.15
10:58:00	195	185	191.4	5.13	1.86
11:08:00	185	177.5	183.4	4.05	0.89
11:16:01	190	182.5	188.7	3.95	0.68
11:48:03	492.5	470	494.3	4.57	0.36
12:24:00	502.5	482.5	507.6	3.98	1.01
13:12:03	217.5	212.5	220.7	2.30	1.49
13:24:04	165	162.5	167.3	1.52	1.39
13:36:00	242.5	232.5	242.0	4.12	0.19
13:44:00	215	210	218.1	2.33	1.43
13:50:01	245	237.5	247.4	3.06	0.97
13:52:01	227.5	222.5	231.4	2.20	1.71
13:54:01	215	210	218.1	2.33	1.43
14:34:04	202.5	197.5	204.7	2.47	1.10
15:52:04	95	97.5	96.1	2.63	1.16
16:16:00	37.5	45	37.0	20.00	1.33
				5.48	1.24

ตารางที่ ก.16 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 17 มกราคม 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:54:01	392.5	342.5	398.0	12.74	1.40
8:56:01	430	375	423.0	12.79	1.63
9:04:02	220	197.5	217.0	10.23	1.36
9:06:02	360	317.5	355.0	11.81	1.39
9:24:04	435	387.5	430.0	10.92	1.16
9:26:04	487.5	432.5	481.0	11.28	1.32
9:28:04	500	442.5	492.4	11.50	1.52
9:36:00	400	357.5	395.9	10.63	1.03
9:54:01	250	227.5	248.2	9.00	0.71
9:56:01	282.5	255	279.4	9.73	1.08
10:58:00	195	177.5	191.5	8.97	1.78
11:08:00	185	170	183.0	8.11	1.07
11:16:01	190	175	188.7	7.89	0.69
11:48:03	492.5	445	495.2	9.64	0.55
12:24:00	502.5	457.5	509.4	8.96	1.37
13:12:03	217.5	202.5	219.9	6.90	1.08
13:24:04	165	152.5	163.2	7.58	1.08
13:36:00	242.5	220	239.7	9.28	1.15
13:44:00	215	200	217.0	6.98	0.94
13:50:01	245	225	245.4	8.16	0.16
13:52:01	227.5	210	228.4	7.69	0.38
13:54:01	215	200	217.0	6.98	0.94
14:34:04	202.5	190	205.7	6.17	1.57
15:52:04	95	92.5	94.0	2.63	1.05
16:16:00	37.5	42.5	37.0	13.33	1.33
				9.20	1.12



รูปที่ ก.15 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ ก.16 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 17 มกราคม 2561

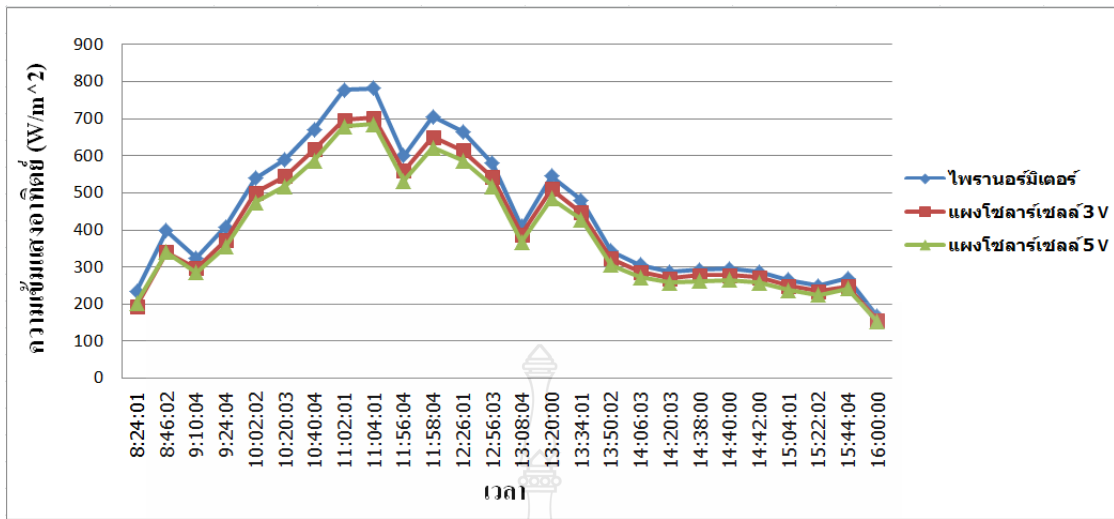
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ ก.17 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ ก.18 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ ก.17 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ ก.18 วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2561

ตารางที่ ก.17 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอ์มิเตอร์ วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2561

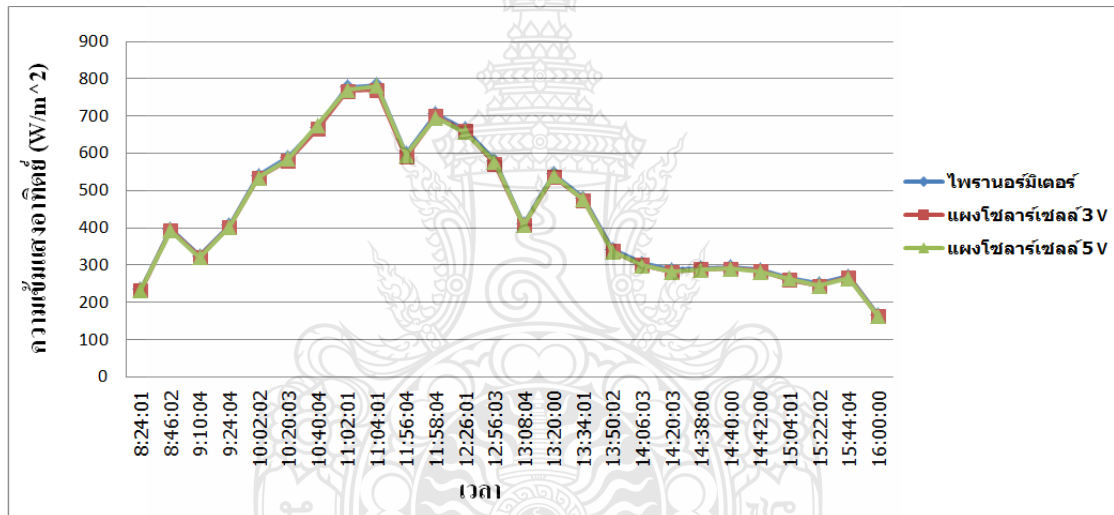
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอ์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:24:01	235	195	231.5	17.02	1.49
8:46:02	397.5	340	393.5	14.47	1.01
9:10:04	325	297.5	321.5	8.46	1.08
9:24:04	407.5	372.5	402.5	8.59	1.23
10:02:02	540	500	535.5	7.41	0.83
10:20:03	590	545	580.5	7.63	1.61
10:40:04	670	617.5	665.0	7.84	0.75
11:02:01	777.5	697.5	768.0	10.29	1.22
11:04:01	782.5	702.5	770.5	10.22	1.53
11:56:04	600	560	590.3	6.67	1.62
12:26:01	665	615	660.0	7.52	0.75
12:56:03	580	542.5	575.0	6.47	0.86
13:08:04	410	387.5	406.5	5.49	0.85
13:20:00	545	510	536.9	6.42	1.48
13:34:01	480	447.5	475.0	6.77	1.04
13:50:02	342.5	322.5	340.5	5.84	0.58
14:06:03	305	287.5	300.5	5.74	1.49
14:20:03	287.5	270	282.5	6.09	1.74
14:38:00	292.5	277.5	289.9	5.13	0.90
14:40:00	295	277.5	290.5	5.93	1.53
14:42:00	287.5	272.5	284.6	5.22	1.03
15:04:01	265	250	260.7	5.66	1.64
15:22:02	250	235	246.0	6.00	1.60
15:44:04	270	247.5	268.0	8.33	0.74
16:00:00	167.5	157.5	165.0	5.97	1.49
				7.65	1.18

ตารางที่ ก.18 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:24:01	235	202.5	232.5	13.83	1.06
8:46:02	397.5	340	393.0	14.47	1.13
9:10:04	325	285	321.0	12.31	1.23
9:24:04	407.5	355	402.0	12.88	1.35
10:02:02	540	475	534.0	12.04	1.11
10:20:03	590	517.5	585.0	12.29	0.85
10:40:04	670	587.5	675.0	12.31	0.75
11:02:01	777.5	680	770.0	12.54	0.96
11:04:01	782.5	685	780.1	12.46	0.31
11:56:04	600	532.5	594.3	11.25	0.95
12:26:01	665	587.5	656.4	11.65	1.29
12:56:03	580	517.5	577.3	10.78	0.46
13:08:04	410	367.5	407.3	10.37	0.67
13:20:00	545	485	540.5	11.01	0.82
13:34:01	480	427.5	475.4	10.94	0.96
13:50:02	342.5	305	336.2	10.95	1.83
14:06:03	305	272.5	299.3	10.66	1.86
14:20:03	287.5	257.5	282.3	10.43	1.82
14:38:00	292.5	262.5	288.0	10.26	1.55
14:40:00	295	265	290.8	10.17	1.43
14:42:00	287.5	257.5	282.3	10.43	1.82
15:04:01	265	237.5	264.0	10.38	0.38
15:22:02	250	225	245.4	10.00	1.85
15:44:04	270	242.5	265.2	10.19	1.76
16:00:00	167.5	152.5	165.0	8.96	1.49
				11.36	1.19



รูปที่ ก.17 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ ก.18 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2561

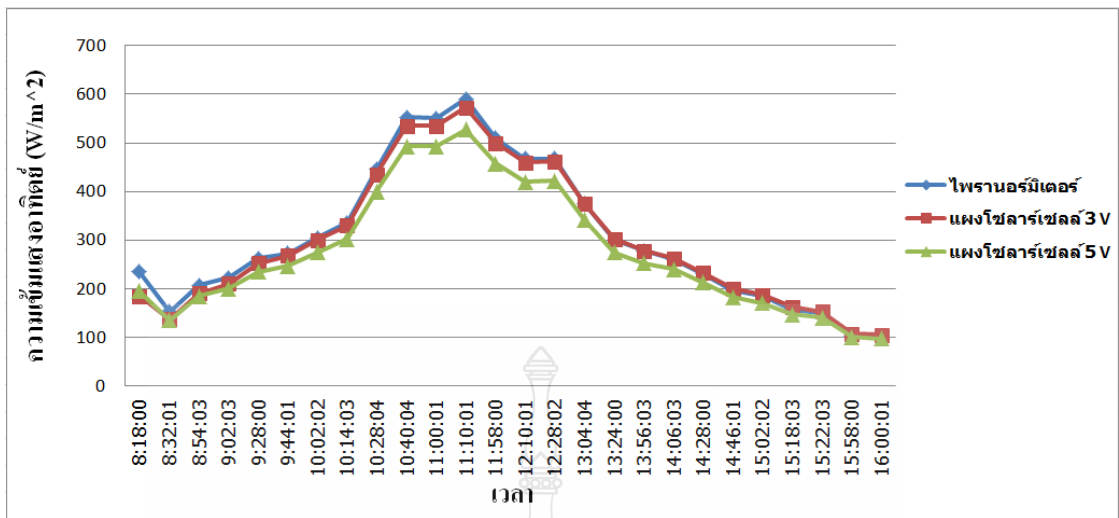
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังตารางที่ ก.19 และผลการเปรียบเทียบของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ดังตารางที่ ก.20 และแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังกราฟรูปที่ ก.19 และกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ ก.20 วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2561

ตารางที่ ก.19 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2561

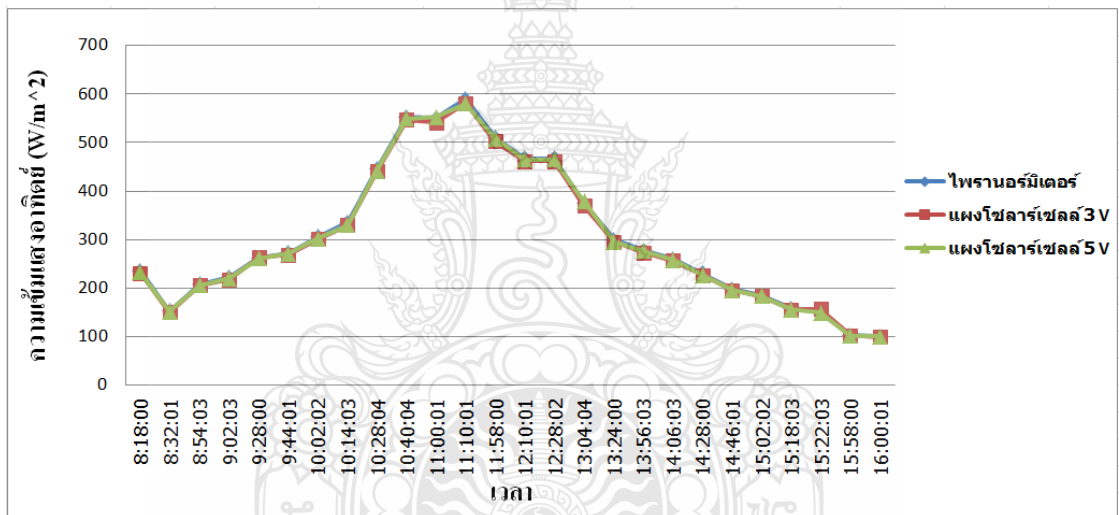
เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:18:00	235	225	231.0	4.26	1.70
8:32:01	152.5	137.5	150.0	9.84	1.64
8:54:03	207.5	190	205.5	8.43	0.96
9:02:03	222.5	210	221.5	5.62	0.45
9:28:00	262.5	252.5	263.3	3.81	0.31
9:44:01	272.5	260	269.0	4.59	1.28
10:02:02	305	295	300.5	3.28	1.48
10:28:04	445	430	440.5	3.37	1.01
10:40:04	552.5	535	547.0	3.17	1.00
11:00:01	550	530	542.0	3.64	1.45
11:10:01	590	550	582.0	6.78	1.36
11:58:00	510	495	503.0	2.94	1.37
12:10:01	467.5	455	462.0	2.67	1.18
12:28:02	467.5	450	462.0	3.74	1.18
13:04:04	375	350	370.0	6.67	1.33
13:24:00	300	280	298.0	6.67	0.67
13:56:03	277.5	265	275.0	4.50	0.90
14:06:03	260	250	257.0	3.85	1.15
14:28:00	230	220	227.0	4.35	1.30
14:46:01	197.5	185	195.0	6.33	1.27
15:02:02	185	175	183.0	5.41	1.08
15:18:03	157.5	162.5	155.0	3.17	1.59
15:22:03	150	145	156.6	3.33	1.00
15:58:00	102.5	107.5	102.0	4.88	0.49
16:00:01	100	105	98.8	5.00	1.20
				4.80	1.15

ตารางที่ ก.20 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2561

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอร์มิเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์ 5 โวลต์		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
		ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า		
8:18:00	235	195	232.0	17.02	1.28
8:32:01	152.5	135	151.0	11.48	0.98
8:54:03	207.5	185	205.0	10.84	1.20
9:02:03	222.5	200	220.0	10.11	1.12
9:28:00	262.5	235	261.0	10.48	0.57
9:44:01	272.5	247.5	270.9	9.17	0.58
10:02:02	305	275	302.2	9.84	0.93
10:28:04	445	400	442.0	10.11	0.67
10:40:04	552.5	492.5	549.0	10.86	0.63
11:00:01	550	492.5	553.0	10.45	0.55
11:10:01	590	527.5	580.0	10.59	1.69
11:58:00	510	457.5	508.5	10.29	0.29
12:10:01	467.5	420	465.0	10.16	0.53
12:28:02	467.5	422.5	465.0	9.63	0.53
13:04:04	375	342.5	378.9	8.67	1.03
13:24:00	300	275	295.0	8.33	1.67
13:56:03	277.5	252.5	276.6	9.01	0.32
14:06:03	260	240	258.0	7.69	0.77
14:28:00	230	212.5	227.0	7.61	1.30
14:46:01	197.5	182.5	195.0	7.59	1.27
15:02:02	185	170	183.0	8.11	1.07
15:18:03	157.5	147.5	156.0	6.35	0.95
15:22:03	150	140	149.1	6.67	0.61
15:58:00	102.5	100	101.0	2.44	1.46
16:00:01	100	97.5	100.4	2.50	0.43
				9.07	0.92



รูปที่ ก.19 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ ก.20 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและไพรานอร์มิเตอร์ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2561



ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



WALAILAK RESEARCH 2018

ABSTRACT BOOK



คณะกรรมการที่ปรึกษา

1. ศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ อารังค์ธัญวงศ์ รักษาการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการสังคม
3. รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ ไหมศรีกรรต รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
4. รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันทร์พรหมมา ผู้ประสานงานสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.ภูมิภาค : ภาคใต้)
5. รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล คณบดีสำนักวิชาวิทยาศาสตร์
6. รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ ไหมศรีกรรต คณบดีสำนักวิชานิติศาสตร์และรัฐศาสตร์
7. รองศาสตราจารย์ ดร.จิตบรรจง ตั้งปอง คณบดีสำนักวิชาสหเวชศาสตร์
8. รองศาสตราจารย์ ดร.พูลพงษ์ บุญพรหมณ์ คณบดีสำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์
9. รองศาสตราจารย์ ดร.สมนึก เอื้อจิระพงษ์พันธ์ คณบดีสำนักวิชาการจัดการ
10. รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์ คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร
11. รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวรรณ ชะอุ่ม เพ็ญสุขสันต์ คณบดีสำนักวิชาพยาบาลศาสตร์
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ทิพย์ศรีนิมิต คณบดีสำนักวิชาศิลปศาสตร์
13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาริท เจาะจิตต์ คณบดีสำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์
14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ วุฒิสุทธิเมธาวิ คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์นรารักษ์ สมบัติทอง คณบดีสำนักวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
16. อาจารย์ ดร.นพ.ปรีชฎะพันธุ์ เพ็ชรช่วย คณบดีสำนักวิชาแพทยศาสตร์
17. อาจารย์ ดร. จิราพร ชินกุลพิทักษ์ คณบดีสำนักวิชาเภสัชศาสตร์



คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วิทย์พันธ์ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและนวัตกรรม ประธานฝ่ายวิชาการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อธิไกริน ประธานกลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ
3. อาจารย์ ดร.กรวิทย์ อยู่สกุล รองประธานกลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ
4. อาจารย์ ดร.สิริพร สมบูรณ์บุรณะ ประธานกลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
5. อาจารย์ ดร.สมรัักษ์ ชัยสิงห์กานานนท์ รองประธานกลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรนรินทร์ ศุภกร รองประธานกลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
7. อาจารย์ ดร.พรหมศิริ คำโอ ประธานกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8. รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา เจริญสุธาสินี รองประธานกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
9. อาจารย์ ดร. ภมรรัตน์ เกื้อเส้ง รองประธานกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
10. รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล ประธานหัวข้อพิเศษ: งานวิจัยพัฒนาคุณภาพการศึกษาและการพัฒนาท้องถิ่น
11. นางสาวรัชฎา คชแสงสันต์ ประธานหัวข้อพิเศษ: งานวิชาการรับใช้สังคม
12. นางปิ่นเพชร ภักดีณรงค์ รองประธานหัวข้อพิเศษ: งานวิชาการรับใช้สังคม
13. ผู้อำนวยการอุทยานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประธานหัวข้อพิเศษ : Creative Innovation
14. นายโกสินธุ์ ศิริรักษ์ เลขานุการฝ่ายวิชาการ
15. นางสาวดาวัลย์ มนต์แก้ว ผู้ช่วยเลขานุการฝ่ายวิชาการ

คณะกรรมการดำเนินงาน

1. รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล ที่ปรึกษา
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วิทย์พันธ์ ประธานกรรมการ
3. นางสาวนุสนธ์ สงเอียด กรรมการ
4. นางแก้วใจ สุขสะอาด กรรมการ
5. นางสาวรติยา ก้องกำ กรรมการ
6. นางวันฤดี รัตนพันธ์ กรรมการ
7. นางสาวรัชฎา คชแสงสันต์ กรรมการ
8. นางปิ่นเพชร ภักดีณรงค์ กรรมการ
9. นางสาวสุจินดา ย่องเงิน กรรมการ
10. นายภาณุวัฒน์ บุญเรืองขาว กรรมการ
11. นางสาวดาวัลย์ มนต์แก้ว กรรมการและเลขานุการ
12. นายโกสินธุ์ ศิริรักษ์ กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ



กำหนดการนำเสนอผลงานแบบบรรยาย (Oral Presentation)

การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 10

กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่ 27-28 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2561 ณ อาคารเรียนรวม 3 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

วันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2561 เวลา 13.00-16.45 น. ณ ห้อง 3217 ชั้น 2

ประธาน (Chair Person) รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา เจริญสุธาสินี
 ประธานร่วม (Co-Chair) อาจารย์ ดร.พรณศิริ คำโอ และ อาจารย์ ดร.ภมรรัตน์ เกื้อเส้ง
 เลขานุการ: นางแก้วใจ สุขสอาด

เวลา	รหัส บทความ	ชื่อผลงาน	ผู้นำเสนอ/นักวิจัย	หน่วยงาน
07.30-08.30		ลงทะเบียน		
08.30-12.00		พิธีเปิดงานประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 10 ณ ห้อง 3310 บรรยายพิเศษโดย รศ.ดร.นิรันดร์ มาแทน ศ.ดร.สุภางค์ จันทวานิช		
12.00-13.00		รับประทานอาหารกลางวัน		
13.00-14.00		บรรยายวันเชิฐ หัวข้อ What make males so sexy? A point of view from mate choice and mate selection.	รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา เจริญสุธาสินี	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
14.00-14.15	13	การเพาะเลี้ยงแบบกะและแบบต่อเนื่องของไดอะตอมม่อน้ำ Amphora subtropica BUUC1502 ที่แยกจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	ปวีณา ดปนียวรงค์ ปรารถนา ปานทอง ปวีชาติ ชุมทอง มะลิวัลย์ คุตตะโค รชนิษา ทิวัณธุ์สังจาเลิศ ชลิ โปบุยกิจกุล และ สรวีศ เน้าทองสุข	ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ
14.15-14.30	22	วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับทดสอบอัตราส่วนเพศในสัตว์น้ำ : กรณีศึกษาในปูม้า	อนิษฐา ทรรพนันท์ และ รจิต เพ็งสี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
14.30-14.45	29	Do ovigerous and non-ovigerous Uca rosea females differ in size and burrow characteristics?	Kanitta Keeratipattarakarn Fahmida Wazed Tina Mullica	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

เวลา	รหัสบทความ	ชื่อผลงาน	ผู้นำเสนอ/นักวิจัย	หน่วยงาน
		เรียนรู้ภาโนเทคโนโลยี Synthesis of Hydrophobic Nanocoating and Experimental Design for Learning Nanotechnology		
10.30-10.45	154	โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าโครเมียม-โมลิบดีนัมเกรด 2.25Cr-1Mo	Salita Petchsang and Prapas Muangjumburee	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
10.45-11.00	218	การคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)	พันธุธิดา ลิ้มศรีประพันธ์ วชิระ ลิ้มศรีประพันธ์ นนธวัช เทียมมาก และ ศศิธร ดาวรศักดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
11.00-11.15	232	ระบบแจ้งเตือนการเกิดอุบัติเหตุจากการล้มของผู้ทุพพลภาพทางการมองเห็นด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร็ว	กวีดิษ สายพิลุลุง พิริยะ ว่องสลับศรี ทินกร จำสุขเปี่ยม ธงชัย ทองอยู่ และ รุ่งเรือง มุศิริ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
11.15-11.30	213	ผลของการปรับเปลี่ยนคาบเวลาสัญญาณพัลส์ ชั้บแกง ต่อประสิทธิภาพของ วงจรคอนเวอร์เตอร์ ชนิดเรโซแนนท์ แบบควายสี่	ทวีศักดิ์ ตันอร่าม วชิระ ลิ้มศรีประพันธ์ และ นนธวัช เทียมมาก	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
11.30-11.45	190	การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแสงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์	เสาวรีย์ อรณรัตน์วงศ์ และ อัครชัย ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.45-12.00	207	กำลังผลิตติดตั้งสูงสุดที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในภาคกลางของประเทศไทย	ศุภานันท์ บุญเสริม พระทีพัฒน์ ภาสบุตร และ วรรัตน์ ปัตตประกร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
12.00-13.00		รับประทานอาหารกลางวัน		
13.00-13.15	208	กำลังผลิตติดตั้งสูงสุดที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตภาคตะวันออกของประเทศไทย	พรพรรณ เส้าเสนา พระทีพัฒน์ ภาสบุตร และ วรรัตน์ ปัตตประกร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
13.15-13.30	209	กำลังผลิตติดตั้งสูงสุดที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในภาคใต้ของประเทศไทย	ปิฎกดา แก้ววิชัยเศษ พระทีพัฒน์ ภาสบุตร และ วรรัตน์ ปัตตประกร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
13.30-13.45	229	การศึกษากำลังผลิตติดตั้งสูงสุดของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย	เดชศักดิ์ดา ศุภเวที พระทีพัฒน์ ภาสบุตร และ วรรัตน์ ปัตตประกร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
13.45-14.15		มอบเกียรติบัตรการนำเสนอผลงาน มอบรางวัลการนำเสนอผลงานบรรยายดีเด่น ณ ห้องกลาง ชั้น 1 จุดลงทะเบียน		

การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์

เสาวรีย์ อรุณรัตน์วงศ์ และ ฉัตรชัย ศุภทิพย์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

saowaree_a@mail.mutt.ac.th, chatchai.s@en.mutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อวัดความเข้มแสงอาทิตย์ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กจะถูกออกแบบใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ถูกนำมาขยายและบันทึกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA328 โดยทำการวัดและบันทึกค่าทุก 2 นาที ตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งพระอาทิตย์ตก แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำ Curve Fitting กับค่าที่ได้จากไพราเนอมีเตอร์มาตรฐานมาทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ หลังจากนั้นทำการทดลองโดยนำค่าที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ โดยตรงในวันต่อมาป้อนเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนแล้วและนำค่าที่ได้จากเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดของไพราเนอมีเตอร์มาตรฐาน ของบริษัท Apogee รุ่น SP-110 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.13 และ 1.19 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: แผงโซลาร์เซลล์, Curve Fitting, โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ, ไพราเนอมีเตอร์

บทนำ

การวัดความเข้มแสงอาทิตย์มีความจำเป็นเพื่อใช้ในการวิจัยและวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับการใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์มีราคาแพง จากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากการสืบค้นงานวิจัย มีหลายงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ ของเกษม ศรีภาค และคณะ [1] ที่ใช้โฟโตไดโอดเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ จากนั้นนำแรงดันที่วัดพร้อมตัวต้านทานที่ต่อขนานกับโฟโตไดโอด มาขยายแรงดันแล้วนำมาสอบเทียบกับไพราเนอมีเตอร์ ยี่ห้อ KIPP & ZONEN รุ่น CMP3, มรกต แสงกุล, และสมชาย กฤตพลวิวัฒน์ [2] ใช้โซลาร์เซลล์เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ ลักษณะการทำงานจะใช้ตัวกระจายแสงแบบทึบลอน เพื่อลดความผิดพลาดโคไซน์ของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าวัด และทำการวัดรังสีแสงอาทิตย์โดยวัดจากค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและอุณหภูมิของโซลาร์เซลล์ โดยทำการสอบเทียบกับไพราเนอมีเตอร์ของบริษัท KIPP & ZONEN รุ่น CM1, Joel Cruz-Colon [3] นำเสนอการออกแบบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์แบบต้นทุนต่ำโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการตรวจวัดความเข้มแสงของแรงดันไฟฟ้าเปิดและกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์และได้คำนวณหารังสีดวงอาทิตย์เพื่อหาค่าประสิทธิภาพ ซึ่งอุปกรณ์ไพราเนอมีเตอร์มีราคาแพงประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาที่ถูกกว่า ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A ในการประมวลผลการตรวจวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ วิทยานิพนธ์ของธวัช เกษมสิทธิ์ [4] ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้ม ของปริมาณรังสีเพื่อศึกษาข้อมูลตลอดจนแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการนำไปพิจารณาออกแบบระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคตให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตกระแสไฟฟ้า และวิทยานิพนธ์ของอนุรักษ์ เกษมวัฒนากุล [5] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่มีจำหน่ายทั่วไป เช่น โฟโตทรานซิสเตอร์, แอลดีอาร์, โฟโตไดโอดชนิดอินฟาเรด, โฟโตไดโอด, และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก เพื่อประยุกต์ใช้ทดแทนอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ สรุปผลได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ให้ผลใกล้เคียงกับไพราเนอมีเตอร์ต้นแบบมากที่สุดแต่ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดในการสร้างชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์ หรือไพรานอร์มิเตอร์ ที่มีราคาถูกและมีความถูกต้องที่สามารถเทียบได้กับไพรานอร์มิเตอร์มาตรฐาน โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กมาออกแบบเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์และนำเสนอลกอริทึมที่ใช้เทคนิค Curve Fitting และโครงข่ายประสาทเทียม มาช่วยปรับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ให้มีค่าใกล้เคียงกับเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์มาตรฐาน

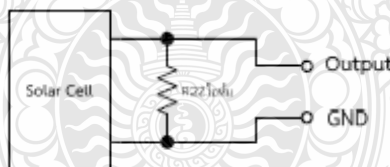
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาคู่มือปฏิบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่มีจำหน่ายทั่วไป เพื่อประยุกต์ใช้ทดแทนอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ หรือไพรานอร์มิเตอร์ พบว่ามีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่นิยมนำมาใช้ในงานเช่น แผงโซลาร์เซลล์, โฟโตทรานซิสเตอร์ และโฟโตไดโอด จากการศึกษาข้อมูลพบว่าแผงโซลาร์เซลล์มีพื้นผิวในการรับแสงเป็นพื้นผิวเรียบ ข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ในการตรวจจับพลังงานแสงอาทิตย์ คือค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ดังนั้นได้เลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ [6]

ดังนั้นจึงเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ เป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยนำมาต่อขนานกับตัวต้านทานขนาด 22 โอห์ม เพื่อวัดค่าแรงดันที่ตัวต้านทานตัวนี้ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การต่อใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์

จากรูปที่ 2 เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ได้รับแสงอาทิตย์ ที่ขั้วของแผงโซลาร์เซลล์จะเกิดกระแสไหลผ่าน ดังนั้นเมื่อนำตัวต้านทานต่อขนานกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวต้านทานครบวงจรได้ ซึ่งขนาดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ แล้วจึงนำไปทดสอบโดยให้แสงอาทิตย์ตกกระทบบนตัวแผงโซลาร์เซลล์ จากนั้นวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะแปรผันกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรตามกฎของโอห์ม ผลจากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ตัวต้านทานแปรผันตรงกับพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 10 มิลลิโวลต์ จนถึง 250 มิลลิโวลต์ และทำการขยายแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในย่านที่สามารถนำไปใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยใช้วงจรขยายแรงดันที่ใช้ Instrument-Amplifier TL072A และคำนวณอัตราขยายแรงดันด้วยสมการที่ (1)

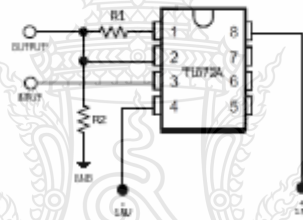
$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

สมการที่ 1 A_v คืออัตราขยายแรงดัน V_{OUT} คือแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการขยายให้มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ ส่วน V_{IN} คือแรงดันไฟฟ้าก่อนการขยายมีค่าสูงสุดที่ 250 มิลลิโวลต์ ดังนั้นจะได้อัตราขยายแรงดันที่ต่อกับแอมป์เซลล์เท่ากับ 2 เท่า และอัตราขยายแรงดันที่ต่อกับไพราเนอริมิเตอร์ รุ่น SP-110 เท่ากับ 20 เท่า จากนั้นนำอัตราขยายแรงดันที่ได้คำนวณหาขนาดของตัวต้านทานที่ใช้ต่อในวงจรขยายแรงดันด้วย TL072A โดยสมการที่ (2) และ (3)

$$A_v = 1 + \frac{10\Omega}{R_2} \quad (2)$$

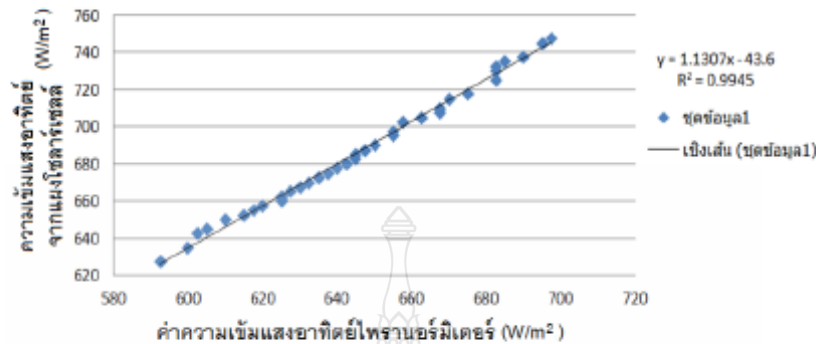
$$A_v = 1 + \frac{470\Omega}{R_2} \quad (3)$$

R_2 คือขนาดตัวต้านทานที่ต้องนำมาต่อในวงจรขยายแรงดัน TL072A เมื่อใช้อัตราขยายแรงดันที่ได้จากสมการที่ (1) มาแทนในสมการที่ 2 จะได้ R_2 เท่ากับ 10 โอห์ม ได้อัตราขยายเท่ากับ 2 เท่า และแทนในสมการที่ 3 จะได้ R_2 เท่ากับ 24 โอห์ม ได้อัตราขยายเท่ากับ 20 เท่า วงจรการต่อ TL072A แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้าด้วย TL072A [7]

จากนั้นทำการวัดและบันทึกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA328 [8] โดยบันทึกค่าทุก 2 นาที ตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งพระอาทิตย์ตก โดยเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ให้รับค่าแรงดันไฟฟ้าจากแอมป์เซลล์และไพราเนอริมิเตอร์ รุ่น SP-110 แล้วเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้เป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ แล้วนำข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแอมป์เซลล์และไพราเนอริมิเตอร์มาทำ Curve Fitting เพื่อให้ได้สมการเชิงเส้นแบบถดถอยในแต่ละช่วง [9] กราฟรูปที่ 4 ตัวอย่างสมการที่ได้จากการทำ Curve Fitting ช่วงที่วัดแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 2.51 - 3.00 V ในส่วนของแกน Y จะเป็นข้อมูลของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแอมป์เซลล์ และแกน X จะเป็นข้อมูลของไพราเนอริมิเตอร์ ดังนั้นจึงแบ่งช่วงแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ออกเป็น 8 ช่วง แล้วสร้างสมการเชิงเส้นในแต่ละช่วงสรุปได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 4 กราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์และไพรานอมีเตอร์มาทำ Curve Fitting เพื่อให้ได้สมการ

ตารางที่ 1 สมการเชิงเส้นทั้ง 8 ช่วง

สมการความเข้มแสงอาทิตย์: Y (W/m ²)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้: X (V)
Y = 1.1033x - 11.441	0 - 0.50
Y = 1.0651x - 8.0627	0.51 - 1.00
Y = 1.0598x - 5.463	1.01 - 1.50
Y = 1.0835x - 13.559	1.51 - 2.00
Y = 1.0639x - 2.3124	2.01 - 2.50
Y = 1.1307x - 43.6	2.51 - 3.00
Y = 1.3248x - 176.8	3.01 - 3.50
Y = 1.2675x - 127.49	3.51 - 4.00

ตัวแปร Y ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นหน่วยวัดที่ต่อตารางเมตร (W/m²) ส่วนตัวแปร X ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากแผงโซลาร์เซลล์ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

จากนั้นนำค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์มาแทนค่าตัวแปร X ในสมการเชิงเส้น และเมื่อได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากไพรานอมีเตอร์แล้วนำไปทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์เป็นอินพุต (Input) และข้อมูลของไพรานอมีเตอร์เป็นค่าเป้าหมาย (Target) ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ เพื่อปรับค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ให้มีค่าเข้าใกล้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมีเตอร์มาตรฐาน [10] โดยขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังรูปที่ 5 และจะได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์ 5 โวลต์ และไพรานอมีเตอร์ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพรานอรัมิเตอร์	โซลาร์เซลล์ 3 โวลต์	โซลาร์เซลล์ 5 โวลต์	โซลาร์เซลล์ 3 โวลต์	โซลาร์เซลล์ 5 โวลต์
8:32:01	387.5	355	337.5	8.39	12.90
9:32:00	545	507.5	485	6.88	11.01
10:32:04	590	550	525	6.78	11.02
11:32:03	782.5	705	690	9.90	11.82
12:32:03	520	482.5	465	7.21	10.58
13:32:02	492.5	467.5	445	5.08	9.64
14:32:01	465	435	425	6.45	8.60
15:32:01	292.5	257.5	272.5	11.97	6.84



รูปที่ 5 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

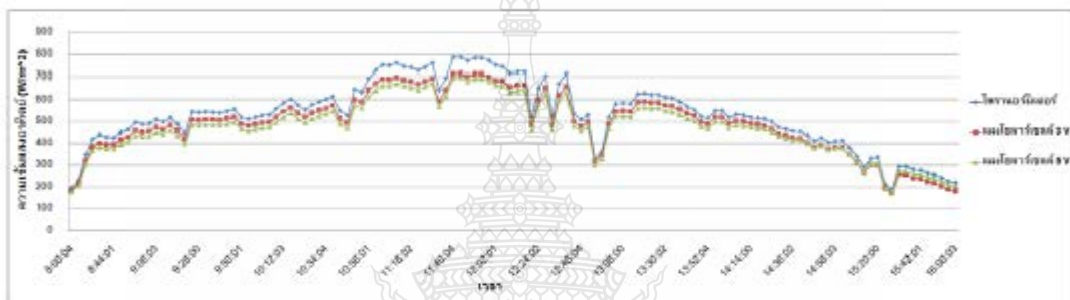
ผลและอภิปรายผล

เมื่อสร้างชุดวัดและบันทึกความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ เสร็จสิ้นจะนำไปวางในระนาบเดียวกับเขานกับพื้นในบริเวณศาลาไฟฟ้าศึกษาคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล แล้วเครื่องวัดได้ถูกนำไปทดสอบวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับไพรานอรัมิเตอร์ รุ่น SP-110 โดยวัดและบันทึกค่าทุก 2 นาที ตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งพระอาทิตย์ตก แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ 5 โวลต์ และไพรานอรัมิเตอร์

จากการทดลองชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ เปรียบเทียบกับชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากไพรานอร์มิเตอร์ รุ่น SP-110 จะได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ แสดงดังกราฟรูปที่ 7 หลังจากนั้นนำค่าแรงดันที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ โดยตรงมาป้อนเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนแล้ว และนำค่าที่ได้จากเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดของไพรานอร์มิเตอร์มาตรฐานของบริษัท Apogee รุ่น SP-110 จากการทดลองเก็บผล 10 วัน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.13 และ 1.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับแสดงดังตารางที่ 3 และกราฟรูปที่ 8



รูปที่ 7 กราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ และไพรานอร์มิเตอร์



รูปที่ 8 กราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม และไพรานอร์มิเตอร์

ตารางที่ 3 ผลจากการวัดความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันเป็นระยะเวลา 10 วัน

วันที่	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)			% ความคลาดเคลื่อน	
	ไพราเนอมีเตอร์	โซลาร์เซลล์ 3 โวลต์	โซลาร์เซลล์ 5 โวลต์	โซลาร์เซลล์ 3 โวลต์	โซลาร์เซลล์ 5 โวลต์
27-ก.ย.-60	482	477.1	485.8	1.18	1.25
5-ต.ค.-60	354.4	352.9	356.4	1.06	1.12
6-ต.ค.-60	588	584.2	592.9	1.01	1.16
8-ต.ค.-60	532.3	526	530.6	1.18	1.20
13-ต.ค.-60	340.7	339.5	340.9	1.05	1.07
19-ต.ค.-60	463.8	460.4	463.9	1.11	1.17
23-ต.ค.-60	490.5	484.9	486.2	1.17	1.22
28-ต.ค.-60	469.1	465.9	467.2	1.18	1.25
29-ต.ค.-60	412.1	410.3	409.4	1.17	1.23
1-พ.ย.-60	363.8	360.6	359.8	1.17	1.19
		ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		1.13	1.19

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ที่ได้จากอัลกอริทึมที่ออกแบบ เทียบกับไพราเนอมีเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 8 พบว่าค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนลดลงเมื่อเทียบกับผลการวัดที่ได้ก่อนทำการปรับค่าด้วยการทำ Curve Fitting และฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 1.13% และ 1.19% สำหรับการชี้แจงแผงโซลาร์เซลล์ขนาด ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของบทความ [1] ซึ่งใช้โฟโตไดโอดเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของชุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่ออกแบบมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า อย่างไรก็ตามแผงโซลาร์เซลล์มีพื้นผิวในการรับแสงเป็นพื้นผิวเรียบ ต่างโฟโตไดโอดซึ่งมีความโค้งพื้นที่รับแสงถูกออกแบบให้อยู่ด้านบนของอุปกรณ์ ทำให้มีผลของการรับแสงทางด้านข้างของอุปกรณ์นั้นให้เอาท์พุทมีค่าน้อย และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่มีจำหน่ายทั่วไปเพื่อประยุกต์ใช้ทดแทนอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ สรุปผลได้ว่าการใช้แผงโซลาร์เซลล์เป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ให้ผลใกล้เคียงกับไพราเนอมีเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบนี้สามารถนำไปใช้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้ มีราคาถูก สอดคล้องกับการใช้งานในภาคสนามและสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ได้ทันที

บรรณานุกรม

- [1] เกษม ตริภาค, ชยันต์ สิงหาบุตร, สุริยา แซ่ย่าง, อนุชา สุนันต๊ะ และ นพพร พืชประภคิต. การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง. 2555.
- [2] มรกต แสงกุล และสมชาย กฤตพลวิวัฒน์. การออกแบบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ด้วยโซลาร์เซลล์แบบพกพา. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก. 2555.
- [3] J. Cruz-Colon, L. Martinez-Mitjans and I. Eduardo. Design of a low cost irradiance meter using a photovoltaic panel. IEEE Photovoltaic Specialists Conference. 2012, p. 911-912.
- [4] ธวัช เกษมสิทธิ์. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2549.

- [5] อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล. การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2553.
- [6] แมงโซลาร์เซลล์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.mind-tek.net>. สืบค้น 19 สิงหาคม 2560.
- [7] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาล็อก. กรุงเทพฯ: เม็ดทราย พรินต์ติ้ง, 2545. หน้า 1-91.
- [8] จักรี รัตมีฉาย. ทดลองและใช้งานบอร์ด Arduino Uno R3 ด้วยโปรแกรม NI LabVIEW. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [9] ลัญฉกร วุฒิสุทธิกุลกิจ และคณะ. การใช้งาน MATLAB เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.
- [10] มนัส สังวรศิลป์ และ วรวิทย์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์. สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, จังหวัดนนทบุรี. 2543.



มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

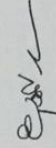
ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ผลงานเรื่อง การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์
โดย เสาวรีย์ อรุณรัตน์วงศ์ และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
ได้ร่วมนำเสนอผลงาน ภาควิชาบรรยาย (Oral presentation) กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การประชุมวิชาการระดับชาติ วลัยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ ๑๐
ให้ไว้ ณ วันที่ ๒๘ เดือนมีนาคม พุทธศักราช ๒๕๖๑



(ศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อนันต์ สุประเสริฐ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการสังคม
ประธานจัดการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วิทยพันธ์)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและนวัตกรรม
ประธานจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ ๑๐



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

The 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018

วันที่ 1 - 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2561

ณ โรงแรมราชศุภมิตร-อาร์.เอส. โฮเทล (R.S. Hotel) อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

วิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อการพัฒนา ให้ชาติก้าวหน้า
สู่ความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน

ELECTRICAL ENGINEERING FOR NATIONAL DEVELOPMENT
TO STABILITY, WEALTHIEST AND SUSTAINABILITY

Conference Topics

- | | |
|---|---|
| 1) Electrical Power (PW) | ⊗ ไฟฟ้ากำลัง |
| 2) Power Electronics (PE) | ⊗ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง |
| 3) Electronics (EL) | ⊗ อิเล็กทรอนิกส์ |
| 4) Electric Communication (CM) | ⊗ ไฟฟ้าสื่อสาร |
| 5) Control Systems and Instrumentation (CT) | ⊗ ระบบควบคุมและการวัด |
| 6) Computer and Information Technology (CP) | ⊗ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ |
| 7) Digital Signal Processing (DS) | ⊗ การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล |
| 8) Energy and Energy Saving (ES) | ⊗ พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน |
| 9) Innovation and Invention (IN) | ⊗ นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ |
| 10) General Electrical Engineering (GN) | ⊗ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า |

คณะกรรมการวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

รองศาสตราจารย์ ดร. โกศล โอฟารไพโรจน์	(มทร.ล้านนา)	ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.กานต์ เกิดชื่น	(มทร.อีสาน)	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อูณหเลขกะ	(มทร.สุวรรณภูมิ)	รองประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	(มทร.ธัญบุรี)	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐ โชติ รักไทยเจริญชีพ	(มทร.พระนคร)	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนานโต	(ส.ปทุมวัน)	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.เวดิน ปิยรัตน์	(มศว.องครักษ์)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล ชูตเจือจิ้น	(มทร.กรุงเทพ)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประหยัด กองสุข	(มทร.ตะวันออก)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิทธิชัย บุญปัทม์	(มทร.รัตนโกสินทร์)	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน	(มทร.ล้านนา)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น	(มทร.ศรีวิชัย)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี ระวังกุล	(มทร.อีสาน)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา	(มทร.อีสาน)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วุฒิชัย ส่งงาม	(มทร.อีสาน)	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	(มทร.ธัญบุรี)	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการประจำเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

อธิการบดี	(ส.ปทุมวัน)	ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนานโต	(ส.ปทุมวัน)	ประธานกรรมการ
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	(ส.ปทุมวัน)	รองประธานกรรมการ
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	(ส.ปทุมวัน)	รองประธานกรรมการ
ผู้อำนวยการศูนย์ภาษาและคอมพิวเตอร์	(ส.ปทุมวัน)	รองประธานกรรมการ
ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและบริการวิชาการ	(ส.ปทุมวัน)	รองประธานกรรมการ
อาจารย์ ดร.สุวัฒน์ กิจเจริญวัฒน์	(มทร.กรุงเทพ)	กรรมการ
อาจารย์ สมยศ สันติมาลัย	(มทร.ตะวันออก)	กรรมการ
อาจารย์ วุฒิไกร จันทร์ขามเรียน	(มทร.ตะวันออก)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง	(มทร.ธัญบุรี)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ	(มทร.พระนคร)	กรรมการ
อาจารย์ ดร.ทศพล ทิพย์โพธิ์	(มทร.รัตนโกสินทร์)	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ	(มทร.ล้านนา)	กรรมการ
อาจารย์ ณรงค์ นันทกุล	(มทร.ล้านนา)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัสร์ชกรณ์ อารีรักษ์	(มทร.ศรีวิชัย)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สุทธิศักดิ์	(มทร.ศรีวิชัย)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กันทะพะเยา	(มทร.สุวรรณภูมิ)	กรรมการ
อาจารย์ ปฏิวัติ บุญมา	(มทร.สุวรรณภูมิ)	กรรมการ
อาจารย์ วราภรณ์ ลือใจ	(มทร.สุวรรณภูมิ)	กรรมการ
อาจารย์ ดร.ไพวรรณ เกิดตรวจ	(มทร.อีสาน)	กรรมการ
อาจารย์ ดร.กัญจนนา ชัยอมฤต	(มทร.อีสาน)	กรรมการ
อาจารย์ ดร.วีระ รัตนศิริรักษ์	(มทร.อีสาน)	กรรมการ
อาจารย์ มิรัชย์ แจ่มใส	(มทร.อีสาน)	กรรมการ
อาจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์	(มศว.องครักษ์)	กรรมการ
อาจารย์ ทศพร พรหมสิทธิ์	(ส.ปทุมวัน)	กรรมการและเลขานุการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิทธิชัย บุญปัยทัศน์	(มทร.รัตนโกสินทร์)	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
นางสาววรัญญา ยิ้มประดิษฐ์	(ส.ปทุมวัน)	ผู้ช่วยเลขานุการ
นางสาวณัฐสุดา คำเพราะ	(ส.ปทุมวัน)	ผู้ช่วยเลขานุการ
นางสาวพรรณฉวี จันทวโร	(ส.ปทุมวัน)	ผู้ช่วยเลขานุการ

บทความสาขาลงงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)		หน้า
ES05	การประเมินระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการกักเก็บพลังงาน สำหรับครัวเรือนในประเทศไทย จตุรพรหม พิพัฒน์พุทธพันธ์ และ ครุศักดิ์ศักดิ์ บุญปราโมทย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	331
ES06	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ตะกั่วกรดด้วยการกระตุ้นความถี่สูง สิทธิชัย เสนารัตน์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธราธิป อุระหงษ์ และ สมศักดิ์ แสนเมือง มหาวิทยาลัยนครพนม	335
ES07	การพัฒนาาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบไฮบริดจ์ สำหรับระบบสูบน้ำเพื่อลด ต้นทุนของศูนย์สาธิตการใช้พลังงานทดแทนบ้านและชาย ตำบลละทาย อำเภอกันทรารมย์ จังหวัดศรีสะเกษ ศักดิ์ทนต์ วงศ์เจริญ, ประมวล อุทธิเขตน์วราวุฒ และ ธริยา หันษา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี	339
ES08	การออกแบบอัลกอริทึมปรับค่าสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ เดชาวิทย์ อุบลรัตนวงศ์ และ ดร.ฉัตรชัย ศุภทิพย์มณฑุส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	343
ES09	การวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดอินเวอร์เตอร์รวมศูนย์ และอินเวอร์เตอร์ย่อยแบบสตริงอินเวอร์เตอร์ ชาลูนัย พิมพ์มีสาย และ บุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	347
ES10	การประยุกต์ระบบสูบน้ำแสงอาทิตย์ด้วยซีเอ็มเอสบี 12 โวลต์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญเยี่ยม ยทเวียงศักดิ์, สิทธิชัย เสนารัตน์ และ สมศักดิ์ แสนเมือง มหาวิทยาลัยนครพนม	351
ES11	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการผลิตแก๊สชีวภาพจากวีแอสโดยอาศัยเทคโนโลยีบิโอปัลลูลูม ธนวัฒน์ พงษ์สุวรรณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	355
ES12	การออกแบบและพัฒนามาตรวัดพลังงานไฟฟ้าแบบเดิมเงิน กิติ มินา และ ชีรพงษ์ ฉิมเพชร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	359
ES13	การจัดการแบบข้อเสาระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดค่าไฟฟ้าในอาคารขนาดใหญ่อย่างมีอาชีพ สุวัฒน์ชัย ก้าวจันทร์, เจตนรินทร์ กรวยสวัสดิ์, ประเสริฐ เตือนหมื่นไว, ประจวบ อินระวงศ์, กฤติเดช บัวใหญ่ และ กานท์ เกิดจัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา	363

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)



กำหนดการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

The 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

เวลา	วันอังคารที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2561				
ห้อง	Convention Room ชั้น 1	ห้องประชุมภูมิวิตร ชั้น 5	ห้องออร์คิด ชั้น 1	ห้องเพนิน ชั้น 4	ห้องมิตรพันธ์ ชั้น 2
Session	PW1 - PW8 PW1	ESI - ES8 ESI	DS1 - DS7 DS1	GN1 - GN8 GN1	INI - IN8 INI
ประธาน	ศส.ดร.ณัฐวุฒิ โสภะภุมศิริ มหพันธ์	รศ.ดร.บุญสูง ป่องกลาง	ดร.อัครชัย สุกพิทักษ์สกุล	ศส.ดร.สาคร วุฒิพัฒน์พันธ์	ดร.สุเมธ กิติโรจนพงศ์
รองประธาน	ศส. พินิจ จิตจริง	ศส.ดร.สุรินทร์ พงษ์งาม	อ.วิโรจน์ พิจาณนชัย	ศส.ดร.มนตรี บุญเกียรติทอง	ศส.วาฤทธิ์ ศรีสงคราม
12.00 - 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน				

1-3 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 โรงแรมราชศุภภูมิวิตร อารี.เอส. โอทีล (R.S. Hotel) อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

บทความวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

การออกแบบอัลกอริทึมปรับค่าสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์

Design of Calibration Algorithm for Solar Panel to Measure Solar Intensity

เสาวรีย์ อรุณรัตน์¹ และ ลัดรชัย สุกพิทักษ์กุล¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก คลองหก ธัญบุรี ปทุมธานี โทรศัพท์ 025493420 E-mail: saowaree_a@mail.rmutt.ac.th, chatchai.r@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการออกแบบอัลกอริทึมปรับค่าสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากไพราโนมิเตอร์ โดยแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กรุ่น 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ จะถูกนำมาออกแบบเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ถูกนำมาขยายและบันทึกค่าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA328 แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้อีกไพราโนมิเตอร์มาตรฐาน แล้วนำไปทดสอบโครงสร้างประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ จากนั้นทำการทดลองโดยนำค่าที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ที่มีพิสัยแรงดัน 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ ในวันต่อมาป้อนเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนแล้วและนำค่าที่ได้จากเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดของไพราโนมิเตอร์ ของบริษัท Apogee รุ่น SP-110 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.13 และ 1.19 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: การเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูล, โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ, ไพราโนมิเตอร์

Abstract

This paper proposes the design of a solar panel calibration algorithm to measure the solar intensity in order to approximate the values obtained from the pyranometer. Small solar panels with rated 3V and 5 V are designed to use as a solar intensity sensors. The voltage obtained from the solar panels were amplified and recorded using the ATMEGA328 Microcontroller. The recorded data is then passed to curve fitting process to a series of data points from the pyranometer and used to train Backpropagation Neural Network, BPNN. The experiment was then carried out using the values obtained from 3-volt and 5-volt solar panels on the following days: fed as input of BPNN. Then take the BPNN output compare to the value obtained from the pyranometer

Apogee SP-110, it is found that the proposed method has average error of 1.13% and 1.19 % for 3-volt and 5-volt photovoltaic panels, respectively.

Keywords: Curve Fitting, Backpropagation neural networks, Pyranometer

1. บทนำ

การวัดความเข้มแสงอาทิตย์มีความจำเป็นเพื่อใช้ในการวิจัยและวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับการใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์มีราคาแพง จากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากการสืบค้นงานวิจัย มีหลายงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ ของเกษม ศรีภาค และคณะ [1] ที่ใช้โฟโตรีโอดเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ จากนั้นนำแรงดันที่วัดพร้อมตัวต้านทานที่ต่อขนานกับโฟโตรีโอด มาขยายแรงดันแล้วนำมาสอบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ ยี่ห้อ KIPP & ZONEN รุ่น CMP3, มรกต แสงสุลุ และ สมชาย กลุณหวิวัฒน์ [2] ใช้โซลาร์เซลล์เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ ลักษณะการทำงานจะใช้ตัวกระจายแสงแบบแปลลอน เพื่อลดความผิดพลาด โดยงานวิจัยรังสีดวงอาทิตย์ที่ศึกษาระบบบนดาววัด และทำการวัดรังสีแสงอาทิตย์โดยวัดจากค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและอุณหภูมิของโซลาร์เซลล์ โดยทำการสอบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ของบริษัท KIPP & ZONEN รุ่น CMI, Joel Cruz-Colon [3] นำเสนอการออกแบบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์แบบต้นทุนต่ำ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการตรวจวัดความเข้มแสงของแรงดันไฟฟ้าเปิดและกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์และได้คำนวณหารังสีดวงอาทิตย์เพื่อหาค่าประสิทธิภาพ ซึ่งอุปกรณ์ไพราโนมิเตอร์มีราคาแพง ประกอบกับเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาที่ถูกกว่าในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A ในการประมวลผลการตรวจวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ วิทยานิพนธ์ของงวัช เกษสดีศรี [4] ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้ม ของปริมาณรังสีเพื่อศึกษาข้อมูลคลอจอนแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงาน

บทความวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

แสงอาทิตย์ ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการนำไปพิจารณาออกแบบระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคตที่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตกระแสไฟฟ้า และวิทยานิพนธ์ของจตุรภัทร เกษวัฒนากุล [5] ได้ทำการศึกษาคูสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่มีจำหน่ายทั่วไป เช่น โฟโต้ทรานซิสเตอร์, แอลอีดี, โฟโต้ไดโอด อินฟราเรด, โฟโต้ไดโอด และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก เพื่อประยุกต์ใช้ทดแทนอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ สรุปผลได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ให้ผลใกล้เคียงกับไพราเนอมีเตอร์ต้นแบบมากที่สุดแต่ยมีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดในการสร้างเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ หรือไพราเนอมีเตอร์ ที่มีราคาถูกลงและมีความถูกต้องที่สามารถเทียบได้กับไพราเนอมีเตอร์มาตรฐาน โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กมาออกแบบเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ และนำเสนอลอจิกวิธีที่ใช้เทคนิค Curve Fitting และ โครงข่ายประสาทเทียมมาช่วยปรับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ให้มีค่าใกล้เคียงกับเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์มาตรฐาน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาคูสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่มีจำหน่ายทั่วไป เพื่อประยุกต์ใช้ทดแทนอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ หรือไพราเนอมีเตอร์ พบว่ามีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่นิยมนำมาใช้งาน เช่น แผงโซลาร์เซลล์, โฟโต้ทรานซิสเตอร์ และ โฟโต้ไดโอด จากการศึกษาข้อมูลพบว่าแผงโซลาร์เซลล์มีพื้นที่ในการรับแสงเป็นพื้นผิวเรียบ ข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ในการตรวจวัดพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ดังนั้นได้เลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผงโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ [6]

ดังนั้นจึงเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์เป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยนำมาต่อขนานกับตัวต้านทานขนาด 22 โอห์ม เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ได้รับแสงอาทิตย์จะเกิดกระแสไหลผ่านตัวต้านทานได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ จากนั้นวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งจะแปรผันกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร ผลจากการทดลอง

พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ตัวต้านทานแปรผันตรงกับพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 10 - 250 มิลลิวัตต์ และทำการขยายแรงดันให้อยู่ในย่านที่สามารถนำไปใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยใช้วงจขยายแรงดันที่ใช้ Instrument-Amplifier TL072A [7] และคำนวณอัตราขยายแรงดันดังสมการที่ 1

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \tag{1}$$

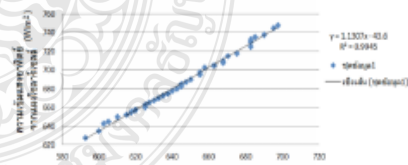
สมการที่ 1 A_v คืออัตราขยายแรงดัน V_{OUT} คือแรงดันไฟฟ้าที่ต่อขยายให้มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ ส่วน V_{IN} คือแรงดันไฟฟ้าก่อนการขยายมีค่าสูงสุดที่ 250 มิลลิวัตต์ ดังนั้นจะได้อัตราขยายแรงดันที่ต่อกับแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 2 เท่า และต่อกับไพราเนอมีเตอร์เท่ากับ 20 เท่า จากนั้นนำอัตราขยายแรงดันที่ได้คำนวณหาขนาดของตัวต้านทานที่ใช้ต่อในวงจรขยายแรงดันโดยสมการที่ 2 และ 3

$$A_v = 1 + \frac{10\Omega}{R_2} \tag{2}$$

$$A_v = 1 + \frac{470\Omega}{R_2} \tag{3}$$

R_2 คือขนาดตัวต้านทานที่ค้องนำมาต่อในวงจรขยายแรงดันเมื่อใช้อัตราขยายแรงดันที่ได้จากสมการที่ 1 มาแทนในสมการที่ 2 จะได้ R_2 เท่ากับ 10 โอห์ม ได้อัตราขยายเท่ากับ 2 เท่า และแทนในสมการที่ 3 จะได้ R_2 เท่ากับ 24 โอห์ม ได้อัตราขยายเท่ากับ 20 เท่า

จากนั้นทำการวัดและบันทึก โดยเขียน [8] โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ให้รับค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์และไพราเนอมีเตอร์ แล้วเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้เป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ถ้านำข้อมูลที่ได้มาทำ Curve Fitting กับค่าที่ได้จากไพราเนอมีเตอร์มาตรฐาน เพื่อให้ได้สมการเชิงเส้นแบบออกไลน์แต่ละช่วง [9] ในส่วนของแกน Y จะเป็นข้อมูลของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ และแกน X จะเป็นข้อมูลของไพราเนอมีเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์กับค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากไพราเนอมีเตอร์

บทความวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

พิจารณาจากกราฟพบว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลที่แสดงสามารถเขียนออกมาเป็นสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ 4

$$Y = mX + b \tag{4}$$

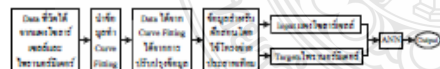
โดยในแต่ละช่วงของค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีค่าความชัน (m) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงแบ่งช่วงของพลังงานแสงอาทิตย์ออกเป็น 8 ช่วง แล้วสร้างสมการเส้นตรงในแต่ละช่วงสรุปได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมการเชิงเส้นจากกราฟรูปที่ 2

สมการความเข้มแสงอาทิตย์: Y (W/m ²)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้: X (V)
Y = 1.1033x - 11.441	0 - 0.50
Y = 1.0651x - 6.0627	0.51 - 1.00
Y = 1.0298x - 5.463	1.01 - 1.50
Y = 1.0835x - 13.539	1.51 - 2.00
Y = 1.0699x - 2.3124	2.01 - 2.50
Y = 1.1307x - 43.6	2.51 - 3.00
Y = 1.3248x - 176.8	3.01 - 3.50
Y = 1.2675x - 127.49	3.51 - 4.00

ตัวแปร Y ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m²) ส่วนตัวแปร X ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากแผงโซลาร์เซลล์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

จากนั้นนำค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ มาแทนค่าตัวแปร X ในสมการเชิงเส้น เมื่อได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์และไพแรนอมิเตอร์แล้ว จึงนำไปทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ข้อมูลที่วัดจากแผงโซลาร์เซลล์เป็นอินพุต (Input) และข้อมูลของไพแรนอมิเตอร์เป็นค่าเป้าหมาย (Target) บทความนี้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Multiple-Layer Networks) โดยรูปแบบของการทำงานจะป้อนไปข้างหน้า (Feedforward) และการฝึกสอนใช้ชนิดแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Backpropagation) ส่วนกฎการเรียนรู้ใช้แบบ (Levenberg Marquardt) เนื่องจากมีประสิทธิภาพดีที่สุด และใช้เวลาการฝึกสอนน้อยกว่าการเรียนรู้ค่าแบบที่มีค่าเป้าหมาย ดังรูปที่ 3 [10]



รูปที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

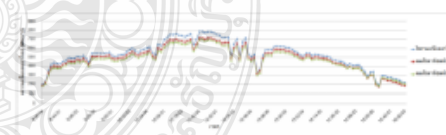
ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ เพื่อปรับค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ให้มีค่าเข้าใกล้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพแรนอมิเตอร์มาตรฐาน โดยขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม และได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์และไพแรนอมิเตอร์ ดังตารางที่ 2 จากตารางจะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนมากเพราะเป็นผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ยังไม่ผ่านการป้อนเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนแล้ว

ตารางที่ 2 ผลจากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)			% ความคลาดเคลื่อน 5 V	
	ไพแรนอมิเตอร์	5 V	5 V	เฉลี่ย 5 V	เฉลี่ย 5 V
8:32	387.5	355	337.5	8.39	12.90
9:32	545	507.5	485	6.88	11.01
10:32	590	550	525	6.78	11.02
11:32	782.5	705	690	9.90	11.82
12:32	520	482.5	465	7.21	10.58
13:32	492.5	467.5	445	5.08	9.64
14:32	465	435	425	6.45	8.60
15:32	292.5	257.5	272.5	11.97	6.84

3. ผลและอภิปรายผล

จากการทดสอบเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ เปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากไพแรนอมิเตอร์ จะได้ว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์ดังกราฟรูปที่ 4 หลังจากนั้นนำค่าแรงดันที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์โดยตรงมาป้อนเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนแล้ว และนำค่าที่ได้จากเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดของไพแรนอมิเตอร์มาตรฐาน รุ่น SP-110 จากการทดลองเก็บผล 10 วัน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันและมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.13 และ 1.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 และกราฟรูปที่ 5.

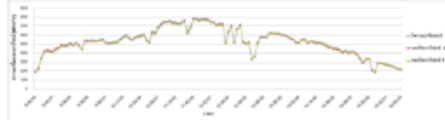


รูปที่ 4 กราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์, 5 โวลต์ และไพแรนอมิเตอร์

บทความวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)



รูปที่ 5 กราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ 3 โวลต์ 5 โวลต์ ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมและ โปรแกรมจิมิเตอร์

ตารางที่ 3 ผลจากการวัดความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันเป็นระยะเวลา 10 วัน

เวลา	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)		% ความคลาดเคลื่อน 5 V	% ความคลาดเคลื่อน 5 V	
	ไฟรวม	5 V			
27/9/60	482	477.1	482.8	1.18	1.25
5/10/60	354.4	352.9	356.4	1.06	1.12
6/10/60	588	584.2	592.9	1.01	1.16
8/10/60	332.3	326	330.6	1.18	1.20
13/10/60	340.7	339.2	340.9	1.02	1.07
19/10/60	463.8	460.4	463.9	1.11	1.17
23/10/60	490.5	484.9	486.2	1.17	1.22
28/10/60	469.1	465.9	467.2	1.18	1.25
29/10/60	412.1	410.3	409.4	1.17	1.23
1/11/60	363.8	360.6	359.8	1.17	1.19
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย			1.15	1.19	

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ 5 โวลต์ ที่ได้จากอัลกอริทึมที่ออกแบบเทียบ กับโปรแกรมจิมิเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 5 พบว่าค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนลดลง เมื่อเทียบกับผลการวัดที่ได้ก่อนทำการปรับค่า ด้วยการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูล และฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 1.13 และ 1.19 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการใช้แผงโซลาร์เซลล์ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของบทความ [1] ซึ่งใช้โฟโตไดโอดเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของวิธีที่นำเสนอมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า อย่างไรก็ตามถ้ามีการเก็บข้อมูลตลอดทั้งปี แล้วนำมาดำเนินการด้วยวิธีที่นำเสนอ น่าจะช่วยให้ผลการวัดมีความถูกต้องมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] เกษม ศรีภาค, ชยันต์ สิงหาบุตร, สุวิภา แซ่อย่าง, อนุชา สุพันธ์ และ นพพร พชรประสิทธิ์. การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กรุงเทพมหานคร; 2555.
- [2] มรกต แสนกุล และสมชาย กฤตพลวิวัฒน์. การออกแบบเครื่องวัดรังสีความเข้มแสงอาทิตย์โซลาร์เซลล์แบบพกพา. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2555.
- [3] Joel Cruz-Colou, Luis Martinez-Migang, and Eduardo I. Design of a Low Cost Irradiance Meter using a Photovoltaic Panel. IEEE 2011, p. 911-912.
- [4] ชวิษ เกษสกลกิจ. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความเข้มแสงอาทิตย์รังสีพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2549.
- [5] อนุวัช เกษวิวัฒนากุล. การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2553.
- [6] "แผงโซลาร์เซลล์" [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.mind-tek.net/> สืบค้น 19 สิงหาคม 2560.
- [7] วรพงศ์ ศังศรีรัตน์, อธิปแอนน์และการประมวลผลสัญญาณออก. กรุงเทพฯ: เม็ดทราย พรินต์, 2545. หน้า 1-91.
- [8] จักร วิวัฒน์ฉาย. ทดลองและใช้งานบอร์ด Arduino Uno R3 ด้วยโปรแกรม NI LabVIEW. ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [9] สัจฉกร วุฒิสุทธิกุลกิจ และคณะ. การใช้งาน MATLAB เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [10] มนัส สังวรศิลป์ และวรัญญา สัทธอมรกุล. คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์. สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, จังหวัดนนทบุรี, 2543.



การประชุมนักวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

The 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET2018)

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า
เลาวรีย์ อรุณรัตน์วงศ์ และ ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความเรื่อง

การออกแบบอัลกอริทึมปรับค่าสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์

ระหว่างวันที่ 1-3 พฤษภาคม พ.ศ. 2561

ณ โรงแรมราชศุภมิตร-อาร์.เอส.ไฮเต็ล (R.S.Hotel) จังหวัดกาญจนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.กานท์ เกิดชื่น
ประธานคณะกรรมการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

รองศาสตราจารย์ ดร.เสลีย์ ธัญบุศรีรัตน์
รักษาการแทนอธิการบดีสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ผลงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

The 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET2018)

ขอขอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า
บทความเรื่อง

การออกแบบอัลกอริทึมปรับค่าสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์

ได้รับการพิจารณาเป็นบทความวิจัยตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

ระหว่างวันที่ 1-3 พฤษภาคม พ.ศ. 2561

ณ โรงแรมราชศุภมิตร-อาร์.เอส.ไฮเต็ล (R.S.Hotel) จังหวัดกาญจนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.กานท์ กัดชื่น
ประธานคณะกรรมการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร ชิตชูศรีรัตน์
รักษาการแทนอธิการบดีสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวเสาวรีย์ อรุณรัตน์วงศ์
วัน เดือน ปีเกิด	3 กันยายน 2531
ที่อยู่	59 หมู่ 1 ตำบลถ้ำทะลุ อำเภอบ้านนิงस्ता จังหวัดยะลา
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ปี 2554
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2555-ปัจจุบัน	ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
เบอร์โทรศัพท์	084-033-1020
Email	saowaree_a@mail.rmutt.ac.th, saowaree.c@hotmail.com

