

การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง
โดยไม่ใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์ กรณีศึกษาระบบที่ติดตั้งในมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

POWER OUTPUT FORECASTING OF PV GRID CONNECTED
SYSTEM WITHOUT USING SOLAR RADIATION
MEASUREMENT CASE STUDY AT RMUTT

ชานนท์ ชูพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง
โดยไม่ใช่ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์ กรณีศึกษาระบบที่ติดตั้งในมหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ชานนท์ ชูพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง โดยไม่ใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์ กรณีศึกษาระบบที่ติดตั้งในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ชื่อ – นามสกุล	นายชานนท์ ชูพงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์คือกำลังไฟฟ้าที่ได้นั้นมีความไม่แน่นอนเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งความไม่แน่นอนนี้ส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าและคุณภาพของระบบไฟฟ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่ใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยได้ทดลองกับระบบที่ติดตั้งบนอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์รายชั่วโมง โดยทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลป้อนเข้าที่เหมาะสมโดยเลือกจากข้อมูล ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ข้อมูลสภาพอากาศและ ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในอดีต ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าฟังก์ชันถ่ายโอนของโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่างๆ เพื่อเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ให้ค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ต่ำที่สุด

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ต่ำที่สุดคือโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ชั้นซ่อน Radial Basis Function และชั้นเอาต์พุต Log-Sigmoid Function ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งปีที่ร้อยละ 20.42 ของกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริง โดยใช้ข้อมูลป้อนเข้าเป็น ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมงในสภาพท้องฟ้าแจ่มใสที่ได้จากการคำนวณและกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์รายชั่วโมงในวันก่อนวันพยากรณ์ จากนั้นได้นำโครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าวไปเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย LABVIEW ซึ่งช่วยให้สามารถติดต่อกับอุปกรณ์อื่นในระบบไฟฟ้าได้

คำสำคัญ : โครงข่ายประสาทเทียม ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

Thesis Title	Power Output Forecasting of PV Grid Connected System Without Using Solar Radiation Measurement Case Study at RMUTT
Name - Surname	Mr. Charnon Chupong
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Dr. Boonyang Plangklang
Academic Year	2011

ABSTRACT

One of significant limitations of PV system is the uncertainty of power output due to the change of weather. The uncertainty will affect the electricity produced and quality of electrical system. Therefore it is necessary to forecast the power output in order to improve the PV system efficiency. This thesis presents the forecasting of power output in one day ahead of PV system without using solar measurement device by studying and experimenting with a 1kW PV system installed on the roof of Science and Technology Faculty building, Rajamangala University of Technology (RMUTT).

This thesis uses Artificial Neural Network (ANN) to implement the hourly PV power output forecasting. The study is done by selecting the appropriate input data that affect the PV power output including solar radiation, weather data, and, PV output data in the past then investigate the transfer functions of ANN that carry out the lowest error of the PV power output forecasting .

Using the input data, which include hourly solar radiation in clear sky from calculation and hourly measured PV power output in the day before forecasting day, the experimental results show that ANN with Radial Basis Function in hidden layer and Log-Sigmoid in output layer have the lowest annual average forecasting error at 20.42% of measured power output. In addition, the program LABVIEW was introduced to implement ANN in order to develop hardware to communicate with other hardware equipments in electrical system for further applications.

Keywords: Artificial Neural Network (ANN), PV System, PV power output Forecasting

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง เป็นอย่างยิ่งที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำรวมถึงประสบการณ์ต่างๆที่เป็นแนวทางทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย หิรัญวโรดม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์และ ดร.กอบศักดิ์ ศรีประภา ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆเพื่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงขอขอบพระคุณ ดร.มรกต พุทธกาล และ ดร.นิธิวัฒน์ ชูสกุล ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ การอบรมสั่งสอนและ เพื่อนๆทุกท่านที่ให้กำลังใจเสมอมา

ชานนท์ ชูพงษ์



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	3
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์.....	5
2.2 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
2.3 ผลกระทบจากความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	25
2.4 โครงข่ายประสาทเทียมและการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	26
2.5 สรุป.....	37
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	38
3.2 ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	38
3.3 รวบรวมข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง.....	40
3.4 การทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ.....	47
3.5 การสร้างและฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม.....	60
3.6 การเขียนโปรแกรมการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ LABVIEW.....	66

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.7 สรุป.....	70
4 ผลการทดลอง	71
4.1 ผลการทดลอง	71
4.2 สรุป.....	78
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	79
5.1 สรุปผลการวิจัย	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
รายการอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก.....	83
ภาคผนวก ก ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้.....	84
ภาคผนวก ข แผงเซลล์แสงอาทิตย์และ อินเวอร์เตอร์ของระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้	97
ภาคผนวก ค โปรแกรมใน MATLAB ที่ใช้สร้าง, ฝึกสอนและทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียม.....	102
ภาคผนวก ง โปรแกรม LABVIEW ที่ใช้ในการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม	114
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	119
ประวัติผู้เขียน	153

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าตัวประกอบปรับแก้สำหรับภูมิอากาศต่างๆ	13
3.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับงานวิจัยนี้	41
3.2 การกำหนดดัชนีสภาพท้องฟ้า.....	47
3.3 โครงข่ายประสาทเทียมที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบทั้ง 15 แบบ.....	65



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....	6
2.2 ระบบการบอกพิกัดแบบ อะซิมุมุท – อัลติจูด.....	8
2.3 ระบบการบอกพิกัดแบบศูนย์สูตร.....	9
2.4 มุมเดคลิเนชัน และมุมเซนิท	14
2.5 มุมต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ	14
2.6 วงจรเทียบเคียงของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่ออยู่กับโหลด.....	15
2.7 เส้นโค้งของกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ จากคุณลักษณะของไดโอด.....	16
2.8 วงจรเทียบเคียงของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะเปิดวงจร	17
2.9 เส้นโค้งกำลังไฟฟ้าและจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPP).....	18
2.10 วงจรเทียบเคียงของ เซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้งานจริง.....	19
2.11 กราฟเส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานอนุกรมค่าต่าง ๆ กัน	20
2.12 กราฟเส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานขนานค่าต่าง ๆ กัน.....	21
2.13 เส้นโค้งคุณลักษณะของ I-V ที่ค่าแสงสว่างที่แตกต่างกัน	23
2.14 กราฟ I-V ที่อุณหภูมิต่างๆ	24
2.15 เซลล์ประสาทในสมองมนุษย์	27
2.16 Node พื้นฐานของ Neural Network	27
2.17 หลักการของโครงข่ายประสาทเทียม	28
2.18 ส่วนประกอบของนิวรอล	29
2.19 Hard Limit Transfer Function	30
2.20 Linear Transfer Function.....	30
2.21 Log sigmoid Transfer Function.....	30
2.22 Tangent sigmoid Transfer Function	31
2.23 นิวรอลแบบชั้นเดียว	32
2.24 นิวรอลแบบหลายชั้น	32
2.25 โครงข่ายแบบไปข้างหน้า	33
2.26 โครงข่ายแบบป้อนกลับ	34
2.27 ชนิดของการเรียนรู้	35

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.28 การเรียนรู้ของนิวโรลเน็ตเวิร์ค (การปรับค่าเวท)	36
3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย	39
3.2 อินเวอร์เตอร์และมิเตอร์ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	39
3.3 คอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูล.....	40
3.4 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสภาวะท้องฟ้าโปร่งวันที่ 21 มีนาคม	41
3.5 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสภาวะท้องฟ้าโปร่งวันที่ 22 มิถุนายน.....	42
3.6 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสภาวะท้องฟ้าโปร่งวันที่ 23 กันยายน	42
3.7 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสภาวะท้องฟ้าโปร่งวันที่ 22 ธันวาคม	43
3.8 กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จริงกับการคำนวณในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ในวันที่ 21 มีนาคม 2554.....	44
3.9 กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จริงกับการคำนวณในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ในวันที่ 22 มิถุนายน 2554	44
3.10 กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จริงกับการคำนวณในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ในวันที่ 23 กันยายน 2554.....	45
3.11 กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จริงกับการคำนวณในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ในวันที่ 22 ธันวาคม 2554.....	45
3.12 ข้อมูลสภาพอากาศจาก www.wunderground.com	46
3.13 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนมกราคม 2554.....	47
3.14 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2554.....	48
3.15 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนมีนาคม 2554.....	48
3.16 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนเมษายน 2554.....	49
3.17 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนพฤษภาคม 2554.....	49

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.18 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนมิถุนายน 2554	50
3.19 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนกรกฎาคม 2554	50
3.20 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนสิงหาคม 2554.....	51
3.21 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนกันยายน 2554.....	51
3.22 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนตุลาคม 2554	52
3.23 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนธันวาคม 2554.....	52
3.24 อุณหภูมิ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนมกราคม 2554.....	53
3.25 อุณหภูมิ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนเมษายน 2554.....	53
3.26 คชนิสภาพท้องฟ้า กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนมกราคม 2554.....	54
3.27 คชนิสภาพท้องฟ้า กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนเมษายน 2554	54
3.28 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนมกราคม 2554	55
3.29 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนกุมภาพันธ์ 2554.....	56
3.30 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนมีนาคม 2554.....	56
3.31 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนเมษายน 2554.....	56
3.32 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนพฤษภาคม 2554.....	57
3.33 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนมิถุนายน 2554	57
3.34 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนกรกฎาคม 2554.....	57
3.35 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนสิงหาคม 2554.....	58
3.36 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนกันยายน 2554.....	58
3.37 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนตุลาคม 2554	58
3.38 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ ของเดือนธันวาคม 2554.....	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.39 อินพุตและเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัย.....	59
3.40 ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้สร้าง, ฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม	60
3.41 การจัดเรียงข้อมูลอินพุตและ เอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม.....	61
3.42 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมใน MATLAB	64
3.43 ฟังก์ชันถ่ายโอนทั้ง 4 แบบ ที่ใช้ทดลอง.....	65
3.44 ส่วนหน้าปัดของโปรแกรมการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ LABVIEW	67
3.45 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ LABVIEW	68
3.46 ส่วนโหลดข้อมูลการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์.....	68
3.47 ส่วนการ โหลดและเลือกข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณ	69
3.48 ข้อมูลป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม.....	69
3.49 โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างด้วย MATLAB Script ใน LABVIEW.....	70
4.1 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนมกราคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	71
4.2 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนกุมภาพันธ์ 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	72
4.3 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนมีนาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	72
4.4 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนเมษายน 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	73
4.5 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนพฤษภาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	73
4.6 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนมิถุนายน 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	74
4.7 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนกรกฎาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	74
4.8 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนสิงหาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 เปรอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนกันยายน 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	75
4.10 เปรอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนตุลาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	76
4.11 เปรอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนธันวาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	76
4.12 เปรอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์เฉลี่ยทั้งปี 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ	77
4.13 เปรอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในแต่ละเดือน โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ชั้นซ่อน Radial Basis Function และชั้นเอาต์พุต Log-Sigmoid Function	78



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสภาวะวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานของโลก ทำให้นักวิจัยได้หันตัวเกี่ยวกับการพัฒนาพลังงานที่จะนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานอีกตัวหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ได้ไม่หมดสิ้น และไม่จำเป็นต้องซื้อหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตละติจูด $30^{\circ} N$ และ $30^{\circ} S$ หรือที่เรียกว่าบริเวณ “SUNBELT” จะได้รับแสงอาทิตย์ที่มีค่าความเข้มของรังสีสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ของโลก ประเทศไทยของเราจัดอยู่ในเขตดังกล่าวนี้ และมีค่าความเข้มรังสีรวมบนพื้นราบโดยเฉลี่ยประมาณ $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ ดังนั้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานด้านต่าง ๆ รวมถึงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอีกแนวทางเลือกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาในประเทศไทยมีการติดตั้งใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนมากเนื่องมาจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และรัฐบาลยังมีนโยบายให้การสนับสนุน พร้อมทั้งยังมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้นพร้อมทั้งราคาที่ลดต่ำลง แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของระบบเซลล์แสงอาทิตย์คือ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอน เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ และสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ, สภาพเมฆบนท้องฟ้า

ซึ่งความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลกระทบต่อคุณภาพระบบไฟฟ้า กล่าวคือ ในสถานะที่กำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า (Inverter) จะทำงานต่ำกว่าพิกัดจนทำให้ ความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิก (%THDc) มีค่าสูงขึ้น [1], [2] และ ในช่วงที่มีกลุ่มเมฆเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงชั่วขณะ ซึ่งจะทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า [3] นอกจากนั้นในช่วงที่กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูง และในระบบไฟฟ้ามีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก จะทำให้แรงดันของระบบไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น [4] ซึ่งถ้าในระบบไฟฟ้ามีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก ความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว ก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของระบบไฟฟ้าได้

ผลกระทบอีกประการหนึ่งซึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการศึกษากันคือ วิธีการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม (Dispatch Strategy) สำหรับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบผสมผสาน กล่าวคือ การควบคุมจุดทำงานของ เซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงแหล่งพลังงานอื่น เช่น กังหันลมผลิตไฟฟ้า, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ระบบเก็บพลังงาน, การซื้อและขายกระแสไฟฟ้าให้ระบบของการไฟฟ้าฯ โดยการควบคุมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนดำเนินการต่ำที่สุด (Minimize Operational Cost) หรือ ต้นทุนพลังงานต่ำที่สุด (Minimize Cost of Energy) [5], [6] ซึ่งการจะออกแบบระบบควบคุมดังกล่าวจำเป็นต้องทราบกำลังไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตได้

ดังนั้นการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นทั้งในด้านการควบคุมคุณภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และ ช่วยลดต้นทุนในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบผสมผสาน

จากงานวิจัยของ Christophe Paoli [7] ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการทางสถิติที่ได้รับความนิยมถึง 6 วิธีเปรียบเทียบการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งพบว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีทางสถิติอื่นๆ

งานวิจัยของ Yuenhui Huang [8] ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมกับการโมเดลวงจรมูลฐานของเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีอินพุตเป็น ข้อมูลการพยากรณ์อากาศพบว่าทั้งสองวิธีมีค่าความผิดพลาดใกล้เคียงกันที่ประมาณ 10-16%

งานวิจัยของ Atsushi Yona [9] ซึ่งใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์และนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งข้อมูลที่ต้องใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการพยากรณ์ประกอบด้วย

- ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกซึ่งได้จากการคำนวณ
- ค่าที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้ใน 18 ชั่วโมงที่ผ่านมา ณ จุดติดตั้งระบบฯ
- ค่าพยากรณ์อุณหภูมิกลางวันรายชั่วโมงของ 18 ชั่วโมงถัดไป ณ จุดที่ใกล้เคียงกับจุดติดตั้งระบบฯ

ถ้าจะนำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยนั้นจะต้องมีการติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ณ จุดที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และ จะต้องมีการพยากรณ์อุณหภูมิรายชั่วโมง ณ จุดที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการยากที่จะดำเนินการดังกล่าว

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งโดยไม่ใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์ และ ใช้ข้อมูลการพยากรณ์อากาศที่หาได้โดยทั่วไป สำหรับประเทศไทย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 สามารถสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้

1.2.2 สามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างได้ไปเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น

1.2.3 สามารถวิเคราะห์ผลการพยากรณ์ของโครงข่ายประสาทเทียม และทดสอบการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นได้

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง โดยการใช้ข้อมูลที่ผลต่อกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่

- ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมงในวันที่ทำการพยากรณ์ซึ่งได้จากการคำนวณ
- ข้อมูลสภาพภูมิอากาศได้แก่ อุณหภูมิ,สภาพท้องฟ้า ในวันที่พยากรณ์
- ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในวันก่อนวันที่จะพยากรณ์

นำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเลือกข้อมูลที่เหมาะสมเป็นอินพุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ และ ทำการศึกษาถึงฟังก์ชันถ่ายโอนของโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าความแม่นยำในการพยากรณ์มากที่สุด

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 1 kWp โดยใช้ระบบที่ติดตั้งบนอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีเป็นกรณีศึกษา

1.4.2 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และทดสอบการทำงานของโปรแกรม

1.4.3 วิเคราะห์ผลการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 รวบรวมข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง อาคารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1.5.2 รวบรวมข้อมูลต่างๆที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้แก่ ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณ ข้อมูลพยากรณ์อากาศ ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในวันก่อนที่จะพยากรณ์

1.5.3 ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ เพื่อที่จะเลือกใช้งานในโครงข่ายประสาทเทียม

1.5.4 สร้างและฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการพยากรณ์ในแต่ละเดือนโดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบต่างๆ

1.5.5 ทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมโดยวัดค่าผิดพลาดในการพยากรณ์โดยเปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชันถ่ายโอนแบบต่างๆ

1.5.6 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

1.5.7 สรุปผลการทดลอง

1.5.8 เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แนวคิดในงานวิจัย และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นสามารถพัฒนาต่อไปให้เป็นตัวควบคุมสำหรับระบบสมาร์ตกริด เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของระบบไฟฟ้า และลดต้นทุนในการผลิตพลังงานได้ต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาในประเทศไทยมีการติดตั้งใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนมากเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และรัฐบาลยังมีนโยบายให้การสนับสนุน พร้อมทั้งยังมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้นพร้อมทั้งราคาที่ลดต่ำลง แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของระบบเซลล์แสงอาทิตย์คือ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอน เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ และสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ สภาพเมฆบนท้องฟ้า ซึ่งความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลกระทบต่อคุณภาพระบบไฟฟ้า และ ต้นทุน ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบผสมผสาน

ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ออกมาเพื่อ แก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และเพื่อให้เกิดความ เข้าใจถึงปัญหาของความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และการพยากรณ์ค่า กำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้รวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้เป็นหัวข้อ ต่างๆ ดังนี้

2.1 การคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

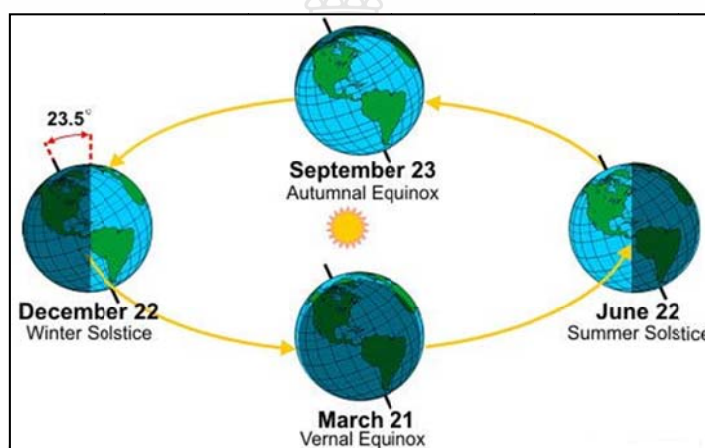
2.1.1 ดวงอาทิตย์และวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ ซึ่งมีโลกและดาวเคราะห์อื่นๆ เป็นบริวาร มวล ของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 1.989×10^{30} กิโลกรัม หรือประมาณ 3 แสนเท่าของมวลโลก ซึ่งมวล จำนวนมากนี้กดทับกันด้วยแรงโน้มถ่วงทำให้ใจกลางมีความดันและอุณหภูมิสูงมาก จนทำให้เกิด ปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ขึ้น จากปฏิกิริยาดังกล่าวไฮโดรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของดวง อาทิตย์หลอมตัวรวมกันเป็นฮีเลียม และให้พลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ คลื่น แม่เหล็กไฟฟ้านี้ได้ส่งผ่านออกมาตามชั้นต่างๆ ของดวงอาทิตย์จนมาถึงพื้นผิว

วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นวงรี ระยะทางระหว่างโลกถึงดวงอาทิตย์จะ เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามวงโคจร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.496×10^8 กิโลเมตร หรือ เรียกว่า 1 หน่วย ดาราศาสตร์ (Astronomical unit, AU) โดยโลกจะอยู่ใกล้กับดวงอาทิตย์มากที่สุดที่ระยะ 0.983 AU ใน

วันที่ 3 มกราคม และ อยู่ที่ตำแหน่งไกลสุดที่ระยะ 1.017 AU ในวันที่ 4 กรกฎาคม ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์มีผลต่อปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก

ตามภาพที่ 2.1 ระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เรียกว่า ระนาบสุริยวิถี (Ecliptic Plane) แกนหมุนของโลกเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉากของระนาบสุริยวิถี 23.5 องศา ดังนั้นระนาบศูนย์สูตรของโลกจึงทำมุมกับระนาบสุริยวิถี 23.5 องศาด้วย การที่แกนหมุนของโลกเอียงทำให้ซีกโลกเหนือและ ซีกโลกใต้หันเข้าหาดวงอาทิตย์มากน้อยแตกต่างกันในขณะที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ โดยในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายนโลกจะหันซีกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ทำให้ในวันนี้ซีกโลกเหนือจะมีช่วงกลางวันยาวนานที่สุด ส่วนในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคมโลกจะหันซีกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ทำให้ในวันนี้ซีกโลกเหนือจะมีช่วงกลางคืนยาวนานที่สุด



ภาพที่ 2.1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ [10]

2.1.2 รังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลก

ในการคำนวณหาค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลกจะเกี่ยวข้องกับค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant) ซึ่งเป็นค่าพลังงานของแสงอาทิตย์ทุกความยาวคลื่นที่ตกกระทบตั้งฉากบนพื้นที่ของชั้นบรรยากาศโลก 1 หน่วยต่อ 1 หน่วยเวลา ณ ตำแหน่งที่โลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เท่ากับ 1 AU ซึ่งจากการวัดภาคพื้นดินและการวัดโดยอศัยบอลลูนและเครื่องบินในระดับสูงพบว่า ค่าคงที่สุริยะมีค่าเท่ากับ 1367 W/m^2 ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นที่ยอมรับขององค์การอตุณิยมวิทยาโลก

ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทำบนระนาบตั้งฉากกับรังสีนอกชั้นบรรยากาศโลกที่เวลาใดๆ คำนวณได้จากสมการที่ 2.1 [10]

$$G_{on} = G_s [1 + 0.033 \cos(360D/365)] \quad (2.1)$$

G_{on} คือ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทำบนระนาบตั้งฉากกับรังสี (W/m^2)

G_s คือ ค่าคงที่สุริยะ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1367 W/m^2$

D คือ วันที่ในรอบปี (1 มกราคม ถึง 31 ธันวาคม = 1-365 วัน)

2.1.3 การบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์

ในขณะที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ โลกก็จะหมุนรอบตัวเองไปด้วย ซึ่งเมื่อเราอยู่บนพื้นโลกเราก็จะเคลื่อนที่ไปตามการหมุนรอบตัวเองของโลก แต่เนื่องจากพื้นผิวโลกกว้างใหญ่มากเมื่อเทียบกับเราและ วัตถุต่างๆบนพื้นโลก เราจึงรู้สึกเหมือนพื้นผิวโลกอยู่นิ่ง และดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก

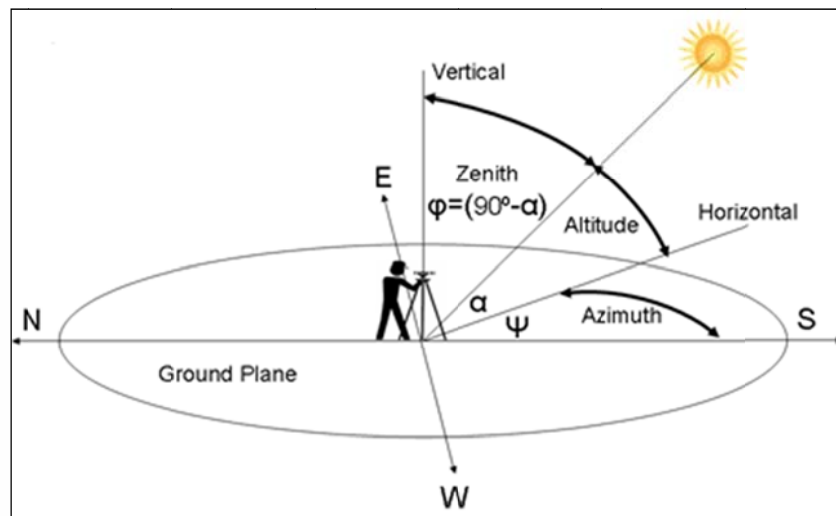
ในงานด้านพลังงานแสงอาทิตย์มีการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าอยู่ 2 ระบบ ดังนี้ [10]

1) ระบบอาซิมุท – อลติจูด (Azimuth – Altitude System) ระบบนี้ใช้มุม 2 มุมเป็นตัวบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้แก่

ก. มุมอาซิมุท (Azimuth, Ψ) เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ไปยังเงา (Projection) บนระนาบขอบฟ้า ของเส้นตรงซึ่งเชื่อมระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ โดยกำหนดว่าถ้าเงาดังกล่าวอยู่ด้านตะวันออกมุมอาซิมุทมีค่าเป็นบวกและ ทางตะวันตกมีค่าเป็นลบ ดังนั้น $-180 < \Psi < 180$ องศา

ข. มุมอลติจูด (Altitude, α) เป็นมุมเงยของเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างดวงอาทิตย์และผู้สังเกต ซึ่งจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศา

สำหรับมุมที่วัดระหว่าง เส้นตรงที่เชื่อมระหว่างดวงอาทิตย์และผู้สังเกต กับ แนวเส้นตรงศีรษะของผู้สังเกต เรียกว่ามุมเซนิต (Zenith, θ_z) ซึ่งสามารถใช้บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้เช่นกัน โดยที่ $\theta_z = 90 - \alpha$



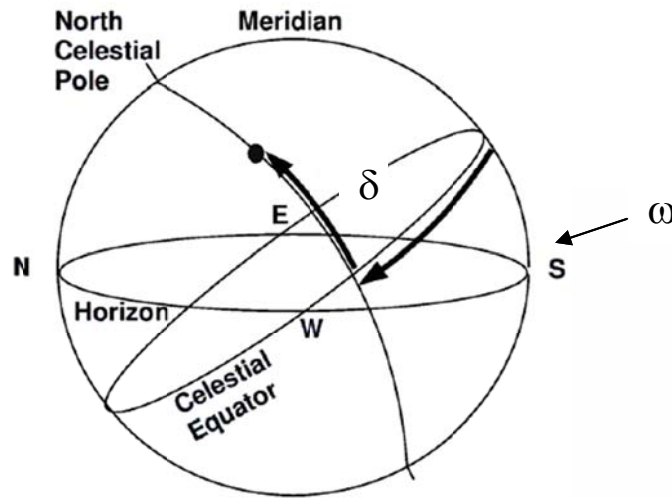
ภาพที่ 2.2 ระบบการบอกพิกัดแบบ อะซิมุท – อัลติจูด [10]

ระบบอะซิมุท – อัลติจูด มีข้อดีคือเข้าใจได้ง่าย แต่ข้อเสียก็คือค่ามุมทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดวันตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนตก และเปลี่ยนแปลงตามวันในรอบปีอีกด้วย

2) ระบบศูนย์สูตร (Equatorial System) ระบบนี้ใช้มุมหรือส่วนโค้งของทรงกลมท้องฟ้าตามภาพที่ 2.3 เป็นตัวบอกตำแหน่งดังนี้

ก. เดคลิเนชัน (Declination, δ) เป็นมุมที่วัดระหว่างเส้นศูนย์สูตรกับเส้นทางเดินของดวงอาทิตย์ตามภาพที่ 2.3 ซึ่งมีค่าระหว่าง -23.5 องศา ถึง 23.5 องศา ถือว่ามีค่าคงที่ในแต่ละวันและเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปี ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.2 ดังนี้

$$\delta = 23.45 \sin \left(\frac{360}{365} (284 + D) \right) \quad (2.2)$$



ภาพที่ 2.3 ระบบการบอกพิกัดแบบศูนย์สูตร [10]

ข. มุมชั่วโมง (Hour Angle, ω) เป็นมุมที่บอกที่บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวัน โดยมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งสูงสุดบนท้องฟ้า และเท่ากับ 90 องศาเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้น และเท่ากับ -90 องศา เมื่อดวงอาทิตย์ตก

โดยระบบการบอกพิกัดทั้งสองมีความสัมพันธ์กันดังนี้ [10]

$$\sin \alpha = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (2.3)$$

$$\cos \psi = \frac{\sin \alpha \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \phi} \quad (2.4)$$

โดย α คือ มุมอัลติจูด (องศา)

ψ คือ มุมอาซิมุม (องศา)

ω คือ มุมชั่วโมง (องศา)

ϕ คือ ละติจูด (องศา)

δ คือ เดคลิเนชัน (องศา)

2.1.4 เวลาและตำแหน่งของดวงอาทิตย์

เนื่องมาจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนวงโคจร มีค่าไม่เท่ากันดังนั้นทำให้ช่วงเวลาที่ผู้สังเกตบนพื้นโลกเห็นดวงอาทิตย์ตรงศีรษะ 2 ครั้งติดต่อกัน หรือ 1 วัน มีระยะเวลาไม่เท่ากัน ดังนั้นระยะเวลา “1 วัน” ของแต่ละวันในรอบปีจะมีค่าไม่เท่ากัน และเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบเหตุการณ์ต่างๆ จึงได้มีการกำหนดเวลามาตรฐาน 1 วินาทีขึ้นมาจากการแบ่งเวลาดวงอาทิตย์ในวันที่ 1 มกราคม ปี ค.ศ. 1900 ออกเป็น 86,400 ส่วน เรียก 1 ส่วนว่า 1 วินาที และเรียกเวลานี้ว่าเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (Solar Mean Time) ซึ่งสามารถวัดได้โดยการวัดความถี่ของการสั่นของอะตอมบางชนิด และกำหนดให้เวลา ณ เมืองกรีนิช (Greenwich) ประเทศอังกฤษเป็น เวลาสากล (Universal Time) หรือ เวลากรีนิช (Greenwich Mean Time, GMT) สำหรับในประเทศต่างๆ จะแบ่งเวลาออกเป็นเขตๆ เทียบกับเวลากรีนิช ในแต่ละเขตจะมีเส้นลองจิจูดมาตรฐาน (Standard Longitude, L_s) และในเขตนั้นๆ จะใช้เวลาเดียวกัน เส้นลองจิจูดนี้จะอยู่ห่างออกจากกรีนิชเป็นจำนวนเท่าของ 15 องศา เช่นประเทศไทยอยู่ที่ลองจิจูดมาตรฐาน 105 องศา (15×7) นั่นคือเวลาในประเทศไทยจะเร็วกว่ากรีนิช 7 ชั่วโมง (GMT+7) เวลาในแต่ละเขตนี้จะมีชื่อเรียกว่าเวลามาตรฐานท้องถิ่น (Local Standard Time, LST) เป็นเวลาที่เรารอ่านได้จากนาฬิกา

เวลาดวงอาทิตย์ และ เวลาที่เราใช้อ้างอิงหรือเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันตามวันในรอบปี ซึ่งสามารถหาความแตกต่างได้จากสมการเวลา (Equation of Time) ซึ่งเขียนได้ดังนี้ [11]

$$EOT = 9.87 \left(2 \frac{360}{364} (D-81) \right) - 7.53 \cos \left(\frac{360}{364} (D-81) \right) - 1.5 \sin \left(\frac{360}{364} (D-81) \right) \quad (2.5)$$

เวลาดวงอาทิตย์สามารถคำนวณหาได้จากเวลามาตรฐานท้องถิ่น สมการเวลา และผลต่างระหว่างเส้นลองจิจูดมาตรฐานกับลองจิจูดของผู้สังเกต ซึ่งเขียนได้ตามสมการที่ 2.6 ดังนี้ [11]

$$ST = LST \pm 4(L_s - L_{loc}) + EOT \quad (2.6)$$

ST คือ เวลาดวงอาทิตย์ (ชั่วโมง: นาที)

LST คือ เวลามาตรฐานท้องถิ่น (ชั่วโมง: นาที)

L_s คือ เส้นลองจิจูดที่ใช้อ้างอิงเวลามาตรฐานท้องถิ่น (องศา)

L_{loc} คือ ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของสถานที่ที่ติดตั้งระบบ (องศา)

EOT คือ สมการเวลา (Equation of Time)

ค่าของ $4(L_s - L_{loc})$ มีหน่วยเป็นนาฬิกา และค่าของ L_s และ L_{loc} เป็นลบเมื่ออยู่ทาง ตะวันออกของกรีนิช และ เป็นบวกเมื่ออยู่ทางตะวันตกของกรีนิช

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์กับเวลาของดวงอาทิตย์เป็นไปตามสมการ ที่ 2.7 ดังนี้ [11]

$$\omega = 15(12 - ST) \quad (2.7)$$

ω คือ มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (องศา)

ST คือ เวลาดวงอาทิตย์ (ชั่วโมง: นาฬิกา)

2.1.5 การคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก

รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายังโลกจะถูกดูดกลืนจากชั้นบรรยากาศของโลกและเกิดการหักเห ของรังสีจากตัวกลาง เช่น ปริมาณความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศ ฝุ่นละออง ฯลฯ รวมถึงมีการ สะท้อนพื้นดินและตัวกลางอื่นกลับออกไป ดังนั้นจึงแบ่งรังสีอาทิตย์ที่จะตกกระทบแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ออกเป็นสามส่วนได้แก่

- 1) รังสีอาทิตย์แบบโดยตรง (Direct Solar Radiation)
- 2) รังสีอาทิตย์แบบกระจาย (Diffuse Solar Radiation) และ
- 3) รังสีอาทิตย์แบบสะท้อน (Reflect Solar Radiation)

รังสีดวงอาทิตย์รวมคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 ดังนี้ [11]

$$G_t = G_b + G_d + G_r \quad (2.8)$$

G_t หมายถึง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวม (W/m^2)

G_b หมายถึง ความเข้มรังสีตรง (W/m^2)

G_d หมายถึง ความเข้มรังสีกระจาย (W/m^2)

G_r หมายถึง ความเข้มรังสีสะท้อน (W/m^2)

โดยองค์ประกอบทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9 ถึง 2.11

$$Gb = G_o t_b \cos \theta_s \quad (2.9)$$

$$Gd = G_o \cos \theta_z \tau_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (2.10)$$

$$Gr = \rho G_o \cos \theta_z \tau_r \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (2.11)$$

G_o หมายถึง รังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลก (W/m^2) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

θ_s หมายถึง มุมที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแผง วัดระหว่างแนวรังสีดวงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงในภาพที่ 2.4 และ คำนวณได้จากสมการ 2.19

θ_z หมายถึง มุมเซนิต (Zenith) วัดระหว่างแนวรังสีดวงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากกับพื้นแสดงในภาพที่ 2.4 และ คำนวณได้จากสมการ 2.18

β หมายถึง มุมเอียงในการติดตั้งแผง

ρ หมายถึง สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

τ_b หมายถึง สัมประสิทธิ์การนำรังสีตรงดวงอาทิตย์ของบรรยากาศโลก คำนวณได้จากสมการที่ 2.12

τ_d หมายถึง สัมประสิทธิ์การนำรังสีกระจายดวงอาทิตย์ของบรรยากาศโลก คำนวณได้จากสมการที่ 2.16

τ_r หมายถึง สัมประสิทธิ์การนำรังสีสะท้อนดวงอาทิตย์ของบรรยากาศโลก คำนวณได้จากสมการที่ 2.17

สัมประสิทธิ์การนำรังสีตรงของบรรยากาศคำนวณได้ดังนี้

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{\left(\frac{-k}{\cos \theta_z} \right)} \quad (2.12)$$

โดยที่

$$a_0 = r_0 [0.4237 - 0.00821(6 - A)^2] \quad (2.13)$$

$$a_1 = r_1 [0.5055 + 0.00595(6.5 - A)^2] \quad (2.14)$$

$$k = r_k [0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2] \quad (2.15)$$

โดย A คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเลของจุดที่ติดตั้งระบบ (กิโลเมตร)

ค่า r_0, r_1 และ r_k คือตัวประกอบปรับแก้สำหรับภูมิอากาศในลักษณะต่างๆ ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าตัวประกอบปรับแก้สำหรับภูมิอากาศต่างๆ [11]

Climate Type	r_0	r_1	r_k
Tropical	0.95	0.98	1.02
Mid-latitude summer	0.97	0.99	1.02
Sub arctic summer	0.99	0.99	1.01
Mid-latitude winter	1.03	1.01	1.00

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำรังสีกระจายและรังสีสะท้อนของบรรยากาศคำนวณได้ดังนี้

$$\tau_d = 0.271 - 0.294\tau_b \quad (2.16)$$

$$\tau_r = 0.271 + 0.706\tau_b \quad (2.17)$$

มุมเซนิทและมุมเดคลิเนชันคำนวณได้ดังนี้

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega - \sin \delta \sin \phi \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} \cos \theta_s = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \psi \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \psi \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \psi \sin \omega \sin \beta \end{aligned} \quad (2.19)$$

โดย

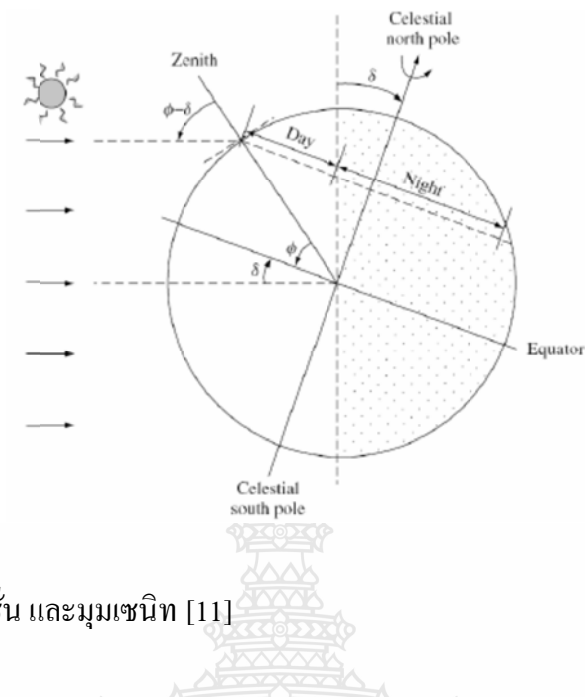
δ คือ เดคลิเนชัน (องศา) คำนวณได้จากสมการที่ 2.2

ϕ คือ ละติจูด (องศา) ของตำแหน่งที่ติดตั้งระบบ

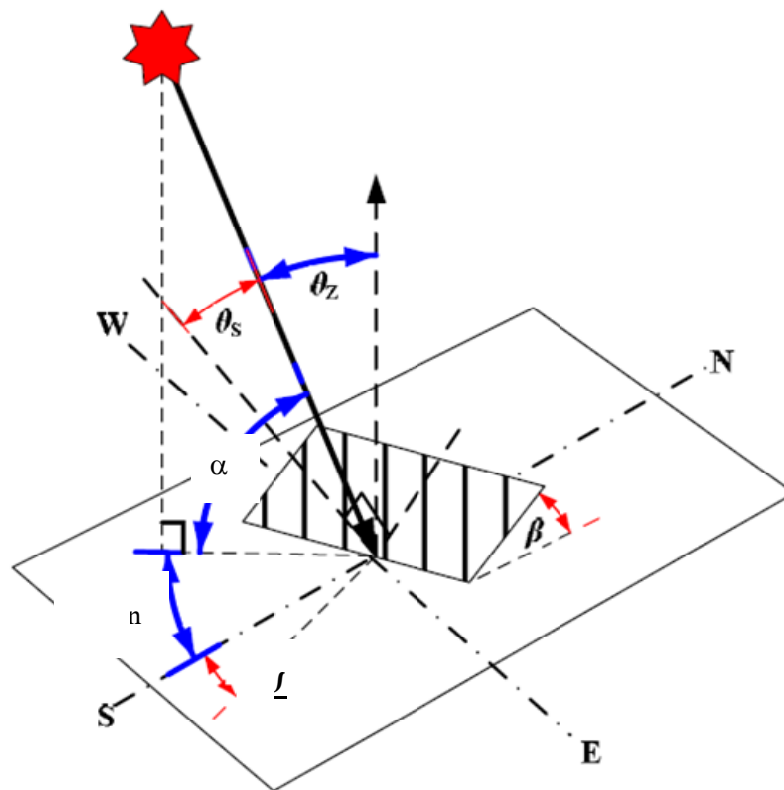
ω คือ มุมชั่วโมง (องศา) คำนวณได้จากสมการที่ 2.5 ถึง 2.7

β คือ มุมเอียงในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (องศา)

ψ คือ มุมอาซิมุต (องศา)



ภาพที่ 2.4 มุมเดคลิเนชัน และมุมเซนนิท [11]



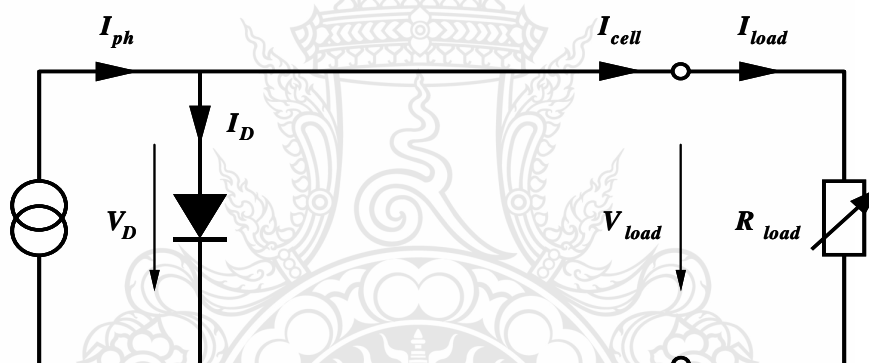
ภาพที่ 2.5 มุมต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ [11]

2.2 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ทางทฤษฎี

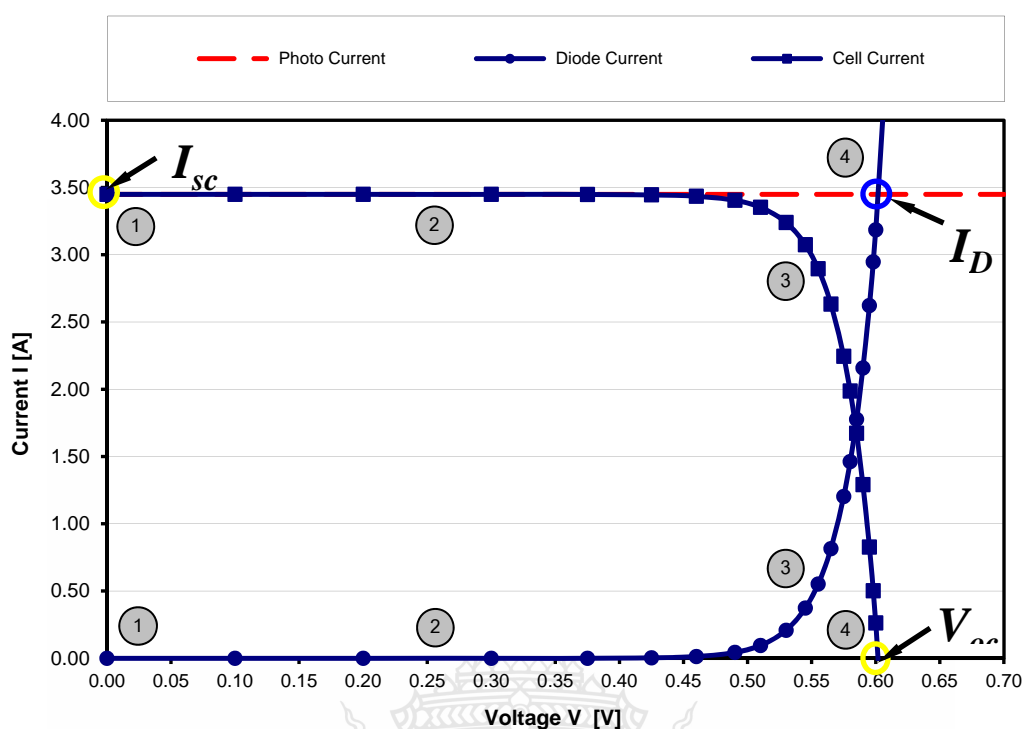
เป็นที่ทราบกันแล้วว่า เมื่อมีแสงสว่างจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สร้างประจุพาหะอิสระให้ไหลผ่านโหลดที่ต่ออยู่ โดยจำนวนของประจุพาหะนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ซึ่งจะทำให้เกิด กระแสโฟโตนิก (I_{ph}) ภายในเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคตินั้นจึงสามารถเขียนแทนด้วยวงจรตาม ภาพที่ 2.6 รอยต่อ P-N junction นั้นจะเขียนแทนด้วย ไดโอด และจะแหล่งจ่ายกระแสซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ส่วนความต้านทานปรับค่าได้ก็คือ โหลดนั่นเอง ทำให้เกิดสมการดังนี้ [12]

$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad (2.20)$$



ภาพที่ 2.6 วงจรเทียบเคียงของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่ออยู่กับโหลด

ผลจากการทดลองวงจรดังภาพที่ 2.6 พบว่า ลักษณะของเส้นโค้งของกระแส-แรงดัน (I-V Curve) เมื่อมีปริมาณแสงตกกระทบคงที่จะทำให้เกิดตามภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 เส้นโค้งของกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ จากคุณลักษณะของไดโอด

สมมติเมื่อด้านปลายของขั้วต่อโหลดเกิดการ Short-circuit ขึ้น ($R_{load} = 0$) แรงดันด้านออกและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดมีค่า 0 ตามสมการที่ 2.20 แรงดัน $V=0$ (จุดที่ 1 ในภาพที่ 2.7) ดังนั้นกระแสทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการส่องแสงจะไหลไปที่ Output ดังนั้นกระแสสูงสุดที่มีที่จุดนี้จะเรียกว่ากระแสลัดวงจร Short-circuit Current (I_{sc})

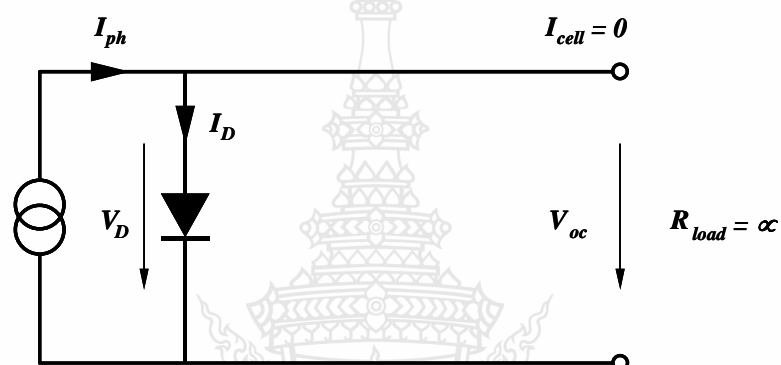
$$I_{sc} = I_{cell} = I_{ph} \quad (2.21)$$

ถ้าความต้านทานของโหลดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มสูงขึ้น ค่าของกระแสจะมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นกระแสด้านออกจะสัมพันธ์กันกับ กระแสโฟโต (จุดที่ 2 ในภาพที่ 2.7)

เมื่อแรงดันไดโอดเริ่มมากขึ้นหลังจากค่าความต้านทาน โหลดเพิ่มขึ้นแล้ว สัดส่วนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของ กระแสโฟโต ทำให้ไดโอดนำกระแสและกระแสจะไหลผ่านไดโอด กระแสนี้ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังภายในไดโอดเอง ซึ่งจะสัมพันธ์กับพื้นที่ เส้นโค้งของกระแสโฟโต และเส้นโค้งกระแสเซลล์ เนื่องจากผลรวมของกระแสโหลดและกระแสไดโอดต้องมีค่าเท่ากับค่าคงที่ของกระแสโฟโต ดังนั้นกระแสด้านออก จะมีขนาดลดลง (จุดที่ 3 ในภาพที่ 2.7)

สำหรับโหลดที่มีค่าความต้านทานมาก ๆ (Open circuit) แสดงในภาพที่ 2.8 กระแสด้านออกมีค่าเท่ากับ 0 ($I_{cell} = 0$) ดังนั้นผลรวมของกระแสโฟโต ที่ไหลผ่านไดโอดภายใน (จุดที่ 4 ในภาพที่ 2.7) ขณะเปิดวงจร Open-circuit voltage (V_{oc}) สามารถหาได้โดย

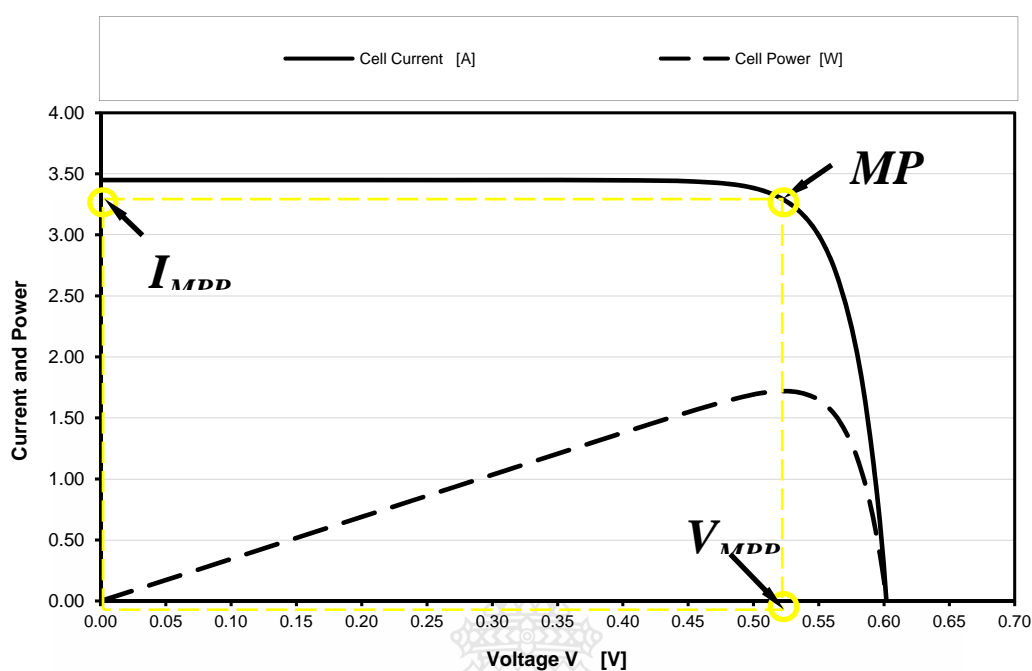
$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1 \right) \quad (2.22)$$



ภาพที่ 2.8 วงจรเทียบเคียงของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะเปิดวงจร [12]

ซึ่งค่าของแรงดันเปิดวงจร (Open Circuit Voltage) จากการคำนวณของซิลิคอนเซลล์จะมีค่าระหว่าง 0.5 - 0.6 V และจะมีค่าระหว่าง 0.75-0.9 V สำหรับ Amorphous Silicon เซลล์ จากการทดลองทำให้เข้าใจได้ว่าเส้นโค้งคุณลักษณะ ของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะคล้ายกับเส้นโค้งคุณสมบัติไดโอด นั่นเองโดยมีทิศทางตรงข้าม

เนื่องจากกำลังไฟฟ้า เกิดจากกระแสและแรงดัน ดังนั้น เส้นโค้งของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สามารถจ่ายได้ขึ้นอยู่กับระดับของแสงที่ได้รับ และเป็นไปตามกราฟคุณสมบัติ I-V ที่ตรงข้ามไดโอดตามภาพที่ 2.9 ซึ่งจะมีจุดที่เกิดพลังงานสูงสุดเรียกว่า Maximum Power Point (MPP)



ภาพที่ 2.9 เส้นโค้งกำลังไฟฟ้าและจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPP)

ถึงแม้จะมีค่ากระแสสูงที่จุดจะอยู่ที่จุดลัดวงจรก็ตาม แต่เมื่อค่าของแรงดันเท่ากับ 0 และ ดังนั้นค่ากำลังก็คือ 0 ด้วย และกลับกันที่จุด เปิดวงจร ค่าของกำลังที่จุดนี้ก็เป็น 0 ด้วย ในระหว่างที่มีผลที่เกิดจากการรวมกันของกระแสและแรงดันที่ทำให้ค่าของกำลังมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด ซึ่งเราเรียกว่า Maximum Power Point (MPP) ซึ่งเป็นจุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ ทำงานโดยได้รับความเข้มจากการส่องแสงแล้วส่งผ่านกำลังสูงสุด เมื่อพิจารณาที่เส้นกราฟส่วน โคงของ I-V ค่าของ V_{MPP} และ I_{MPP} สามารถคำนวณได้จาก V_{oc} และ I_{sc} คือ

$$V_{MPP} \approx (0.75 - 0.9) V_{oc}$$

$$I_{MPP} \approx (0.85 - 0.95) I_{sc}$$

และค่า Fill Factor (FF) เป็นค่าที่นำมาพิจารณาเพื่อหาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์โดย

$$FF = \frac{(V_{MPP} \cdot I_{MPP})}{(V_{oc} \cdot I_{sc})} \quad (2.23)$$

ซึ่งค่า Fill Factor หมายถึงค่าที่แสดงถึงคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมันจะแสดงว่า กราฟคุณลักษณะเส้น โคงของ I-V มีค่าเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมมากน้อยเพียงใด โดยปกติแล้ว ซิลิคอนเซลล์ จะมีค่าประมาณ 0.7 - 0.8 ส่วนกำลังด้านออกของเซลล์ก็คือ

$$P_{MPP} = V_{MPP} \cdot I_{MPP} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (2.24)$$

ดังนั้นค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จาก อัตราส่วนของ พลังงานไฟฟ้าด้าน
ออก ต่อ พลังงานแสงอาทิตย์ด้านเข้า (P_{in}) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

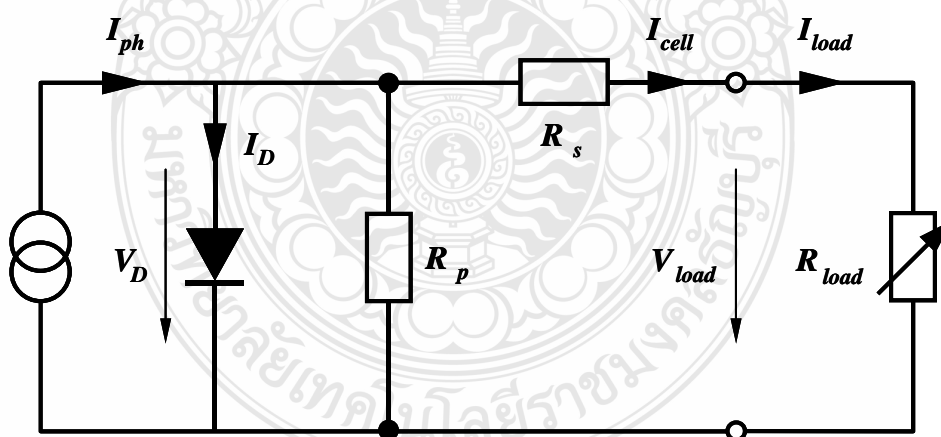
$$\eta = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (2.25)$$

ในปัจจุบันนี้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ Silicon Solar Cell ได้รับแสงอาทิตย์ขนาด 1.5 AM
จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีค่าประมาณ 24 % บนพื้นที่ขนาดเล็กและ ในส่วนที่มีใช้งานทั่วไป
ซึ่งเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะมีประสิทธิภาพ 6-10% สำหรับ Amorphous Silicon และ 14-18%
สำหรับ Crystalline Silicon ถึงแม้ทางทฤษฎีจะได้ค่า 26 – 27% ก็ตาม

2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติ

1) ผลของความต้านทานที่ต่ออนุกรม และต่อขนาน

เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติ จะพบว่ามีส่วนประกอบ
ความต้านทานเพิ่มมาอีก 2 ค่า ภายในเซลล์ ก็คือ R_s ที่ต่ออนุกรมและ R_p ที่ต่อขนานอยู่ ซึ่งพิจารณาได้
จากรูปวงเทียบเคียงในภาพที่ 2.10

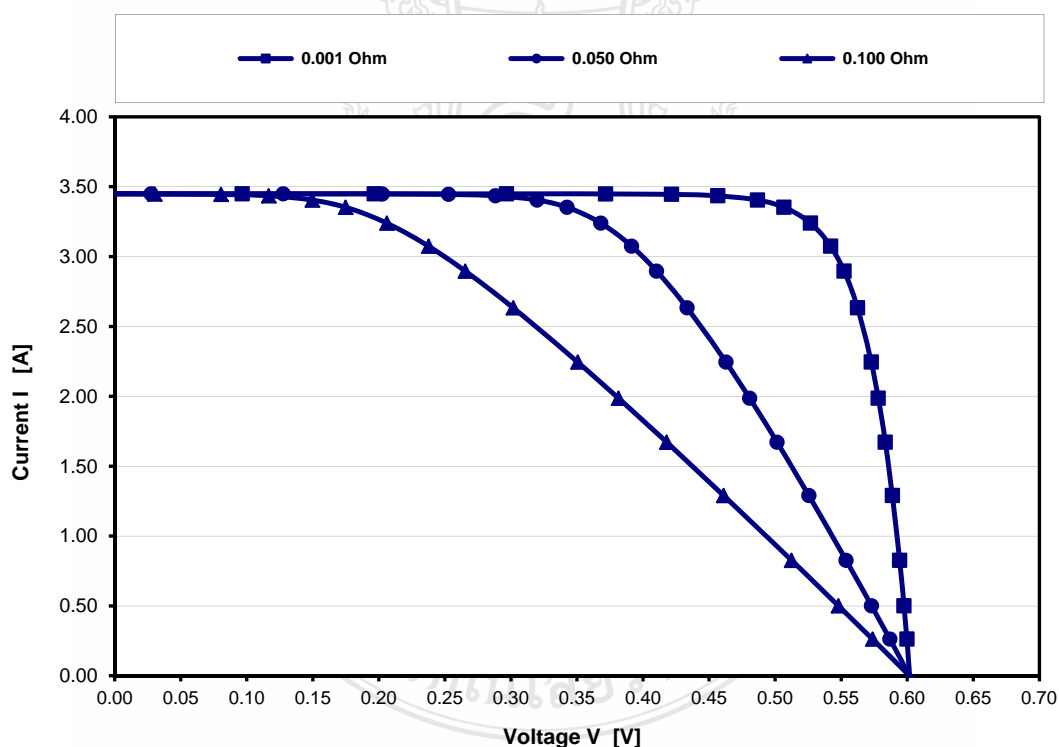


ภาพที่ 2.10 วงจรเทียบเคียงของ เซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้งานจริง [12]

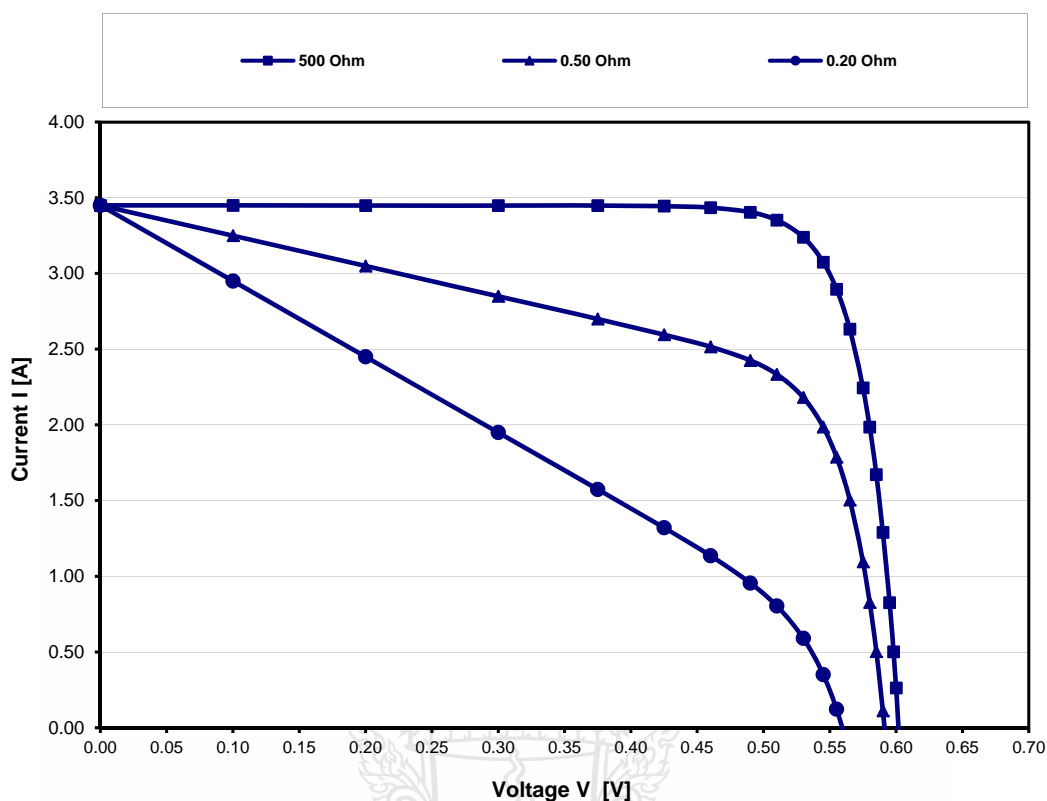
จากวงจรดังภาพที่ 2.10 จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q}{k \cdot T} \cdot (V_{load} + I_{cell} \cdot R_s)} - 1 \right) - \frac{V_{load} + I_{cell} \cdot R_s}{R_p} \quad (2.26)$$

ค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมเกิดจากความต้านทานของซิลิคอนที่เรียงกันเป็นชั้น และความต้านทานของขั้วโลหะด้านหน้าและด้านหลังที่เป็นผลมาจากการต่อกับขั้วต่อภายนอก ส่วนค่าความต้านทานที่ต่อขนานส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วไหลของกระแสเนื่องจากรอยต่อ P-N Junction ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้เกิดการลัดวงจรบางส่วน โดยเฉพาะใกล้กับขอบของเซลล์ แต่อย่างไรก็ดีการลดค่าความต้านทานอนุกรมลงก็มีลักษณะเช่นเดียวกับการลัดวงจร ค่าต่างๆ เหล่านี้ก็จะส่งผลกับค่าของ Fill Factor จะส่งผลให้ค่ากำลังดันออกสูงสุดลดลงภาพที่ 2.11 คือผลของ R_s ส่วนภาพที่ 2.12 คือ ผลของ R_p



ภาพที่ 2.11 กราฟเส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานอนุกรมค่าต่างๆ กัน



ภาพที่ 2.12 กราฟเส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานขนาดค่าต่างๆ กัน

2) ความสูญเสียต่างๆ ใน เซลล์แสงอาทิตย์

ก) ความสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนแสงจากการส่องแสงในอากาศไปยังสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากมีดัชนีการหักเหแสงที่ต่างกัน โดยความสูญเสียเหล่านี้ลดลงได้โดยการเคลือบผิวด้วยสารกันสะท้อนหรือปรับโครงสร้างของผิวเซลล์ อีกส่วนคือการสะท้อนของโลหะที่เชื่อมต่อด้านหน้าของแผงเซลล์

ข) ความเข้มของแสงซึ่งลักษณะการส่องของแสงอาทิตย์ในช่วงกว้างๆ (Wide Spectrum) โฟตอนมีพลังงานไม่เท่ากัน โฟตอนที่มีพลังงานเพียงเล็กน้อยกว่า Band-gap จะทำให้ไม่สามารถดูดซับและนำไปใช้ได้เนื่องจากไม่มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ และจะไม่เกิดพันธะคู่ระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮล ในกรณีที่โฟตอนมีขนาดพลังงานมากกว่า Band-gap หรือเท่ากับ Band-gap เท่านั้นที่จะถูกนำไปใช้ได้ ถ้ามีแสงมากเพียงใดก็ตามแต่พลังงานไม่ถึง Band-gap ก็ไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ซึ่งส่วนนี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์แต่กลับจะทำให้เกิดความร้อนภายในผลึกได้

ค) เนื่องจากกระแสโฟโตจะเป็นสัดส่วนกันโดยตรงกับจำนวนโฟตอนที่ถูกจับได้ต่อหน่วยเวลา เมื่อกระแสโฟโตเพิ่มขึ้น Band-gap จะลดลง และ Band-gap ก็เป็นตัวกำหนดแรงดันที่บริเวณรอยต่อ P-N Junction

เมื่อ Band-gap ที่มีขนาดเล็กลงจะเป็นผลให้แรงดันน้อยลง ในกรณีที่ Band-gap ขนาดใหญ่จะมีค่าแรงดันสูง แต่แสงอาทิตย์เพียงส่วนน้อยที่ถูกดูดกลืนได้ก็จะเป็นผลให้เกิดกระแสโฟโตขึ้นมาเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์

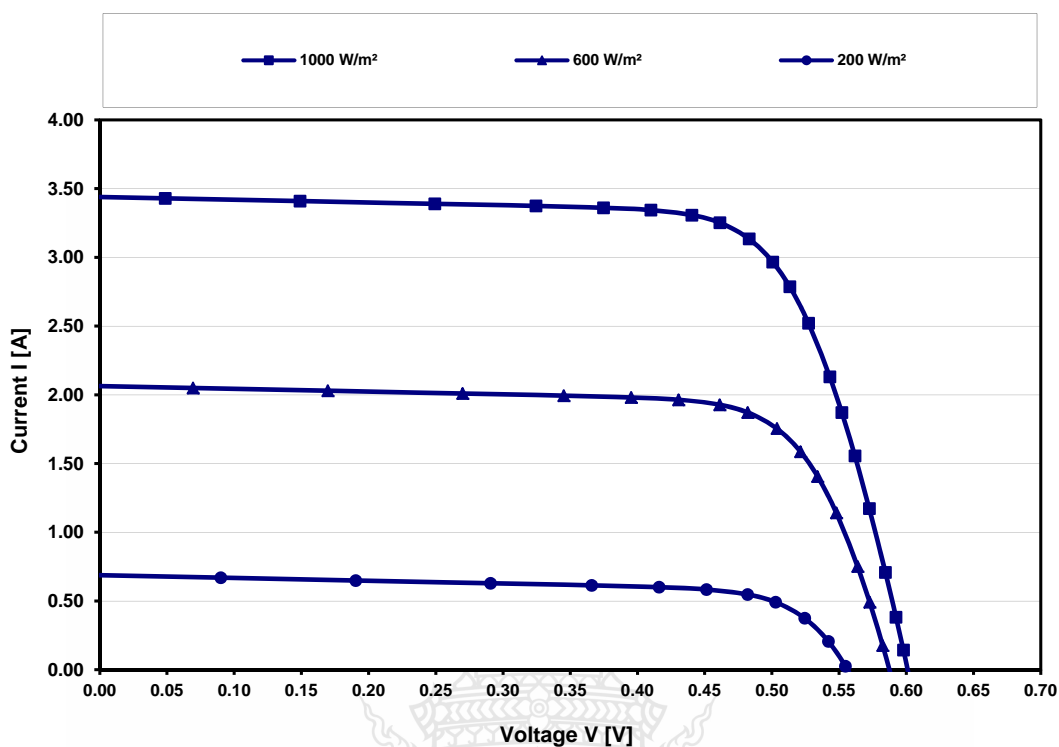
ง) กระแส Dark Current (I_0) มีค่ามากกว่าค่าในทางทฤษฎีทำให้แรงดันลดลงซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.22

จ) ประจุพาหะรวมตัวกันไม่หมด (Recombination) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จุดที่มีความไม่สมบูรณ์ เช่น ความบกพร่องภายในผลึกหรือความบริสุทธิ์ ดังนั้นวัสดุที่นำมาทำจะต้องมีความเป็นผลึกที่สมบูรณ์และมีความบริสุทธิ์ให้มากที่สุด ในทำนองเดียวกัน ผิวของวัสดุก็จะต้องอยู่ในโครงสร้างผลึกที่มีความแข็งแรงทนต่อการรบกวนภายนอก f) ค่า Fill Factor จะต้องมิต่ำน้อยกว่า 1 เสมอ (ในทางทฤษฎีค่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณ คือ 0.85)

ฉ) ค่าความต้านทานอนุกรมและขนาดที่เกิดขึ้นส่งผลให้ค่า Fill Factor ลดลง

2.2.3 ผลกระทบจากระดับของแสงอาทิตย์

ตามความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตที่เกิดขึ้นต่อแสงสว่างจะมีสัดส่วนที่เป็นเชิงเส้นกับแสงสว่างของดวงอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาวงจรเทียบเคียงของเซลล์แสงอาทิตย์ และกราฟคุณลักษณะของเส้นโค้ง จะพบว่าเส้นโค้งเกี่ยวข้องกับแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดภายใน ซึ่งสัมพันธ์กันกับ คุณลักษณะกลับของไดโอด และเมื่อความเข้มของแสงสว่างต่ำ V_{oc} และ I_{sc} ก็ต่ำตามไปด้วย ดังภาพที่ 2.13

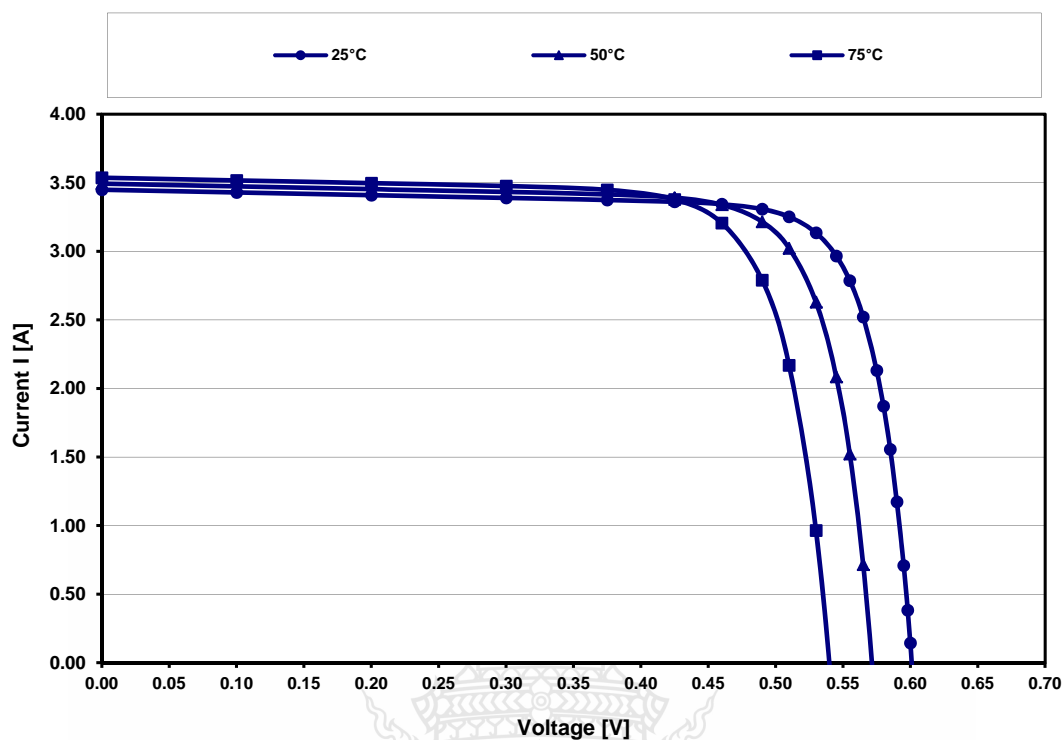


ภาพที่ 2.13 เส้นโค้งคุณลักษณะของ I-V ที่ค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

2.2.4 ผลของอุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิของเซลล์สูงขึ้นจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์ที่บริเวณรอยต่อ P-N สามารถที่จะมีพลังงานในการเคลื่อนตัว จึงทำให้กระแสตรงของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่ไม่มากนักประมาณ $0.07\% V_{oc}$ ก็มีผลกับอุณหภูมิเช่นกัน กล่าวคือ V_{oc} ลดลงประมาณ $0.4\% / K$ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกซิลิคอน

ดังนั้นในการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิด้วย เพราะการติดตั้งกลางแจ้งอุณหภูมิอาจสูงมากกว่า $40 K$ จากอุณหภูมิมาตรฐาน ดังนั้นการระบายความร้อนอาจจะต้องจำเป็นในบางโอกาสอย่างไรก็ดี เมื่ออุณหภูมิ มีผลกับแรงดัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีผลกระทบด้วย สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกซิลิคอนกำลังไฟฟ้าจะลดลง $0.4 - 0.5\% / K$ จากผลกระทบดังกล่าวสามารถที่จะนำมาแสดงได้ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 กราฟ I-V ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากค่าปกติในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ “Watt Peak” (W_p) ที่ Standard Test Conditions (STC), ซึ่งมีความเข้มแสง 1000 W/m^2 อุณหภูมิ 25°C และ AM 1.5 ดังนั้น “Peak Power” สามารถจะเกินได้ถ้าแสงมากกว่าและอุณหภูมิต่อกว่าที่กำหนดและสามารถจะลดลงได้ในทางตรงกันข้ามเช่นกัน

2.2.5 สรุปคุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1) ความเข้มของแสง

กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูงกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐาน 1000 W/m^2 จะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2) อุณหภูมิ

แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.4-0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25°C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ (V_{oc}) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25°C จะหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 °C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25°C เช่น อุณหภูมิ 30°C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5^{\circ}C$) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 V ($21\text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V ($21\text{V} - 0.525\text{V}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าจะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.3 ผลกระทบจากความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าความไม่แน่นอนดังกล่าวส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าใน 2 ประเด็นดังนี้

2.3.1 คุณภาพในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

จากการศึกษาของ J.Thongporn [1] และ Minas Patsalides [2] เกี่ยวกับผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง ซึ่งพบว่า ในสภาวะที่กำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า (Inverter) จะทำงานต่ำกว่าพิกัดจนทำให้เปอร์เซ็นต์กระแสฮาร์โมนิก (%THDc) มีค่าสูงขึ้น นอกจากนั้นจากการศึกษาของ Achim Woyte [3] ยังพบอีกว่า ในช่วงที่มีกลุ่มเมฆเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงชั่วขณะ ซึ่งจะทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าในระบบซึ่งติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์อยู่เป็นจำนวนมาก และ การศึกษาของ D. Chenvidhya [4] พบว่า ในช่วงที่กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูง และในระบบไฟฟ้ามีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก จะทำให้แรงดันของระบบไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น

2.3.2 การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม (Dispatch strategy) สำหรับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบผสมผสาน

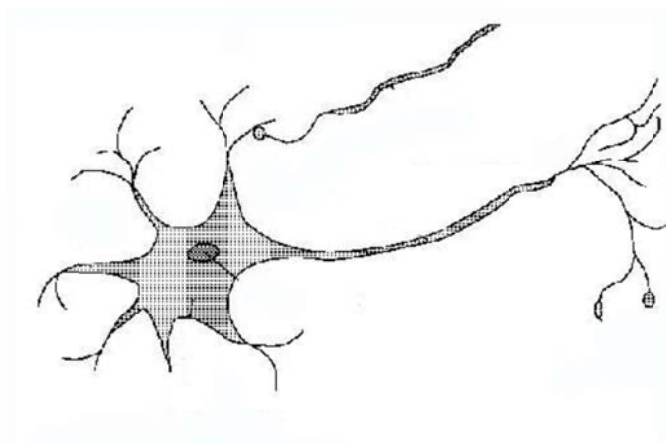
จากการศึกษาของ Sudipta [5] และ T.T. Ha pham [6] เกี่ยวกับการหาจุดทำงานที่ประหยัดที่สุดของระบบ ผลิตกระแสไฟฟ้าแบบผสมผสาน ด้วยการนำข้อมูลการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของแหล่งพลังงานต่างๆ ร่วมกับวิธีการ หาจุดทำงานที่ดีที่สุด (Optimization) เพื่อหาจุดทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

ในระบบ เช่นแหล่งจ่ายพลังงาน อุปกรณ์เก็บพลังงาน และการจ่ายพลังงานคืนให้ระบบไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operational Cost) ต่ำที่สุด

2.4 โครงข่ายประสาทเทียม และการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าระบบเซลล์ของแสงอาทิตย์

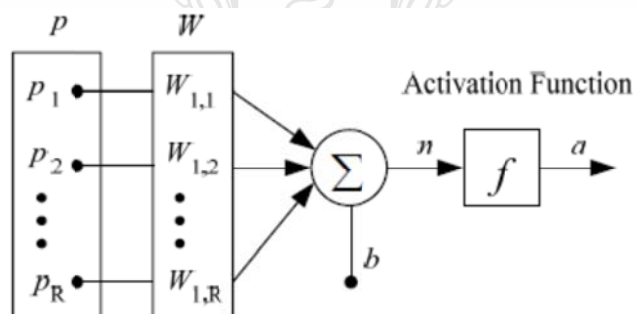
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เกิดขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาการทำงานของสมองมนุษย์ ส่วนประกอบของระบบประสาทของมนุษย์นั้นจะประกอบด้วยระบบหลัก ๆ สามระบบด้วยกัน ได้แก่ ระบบส่วนการรับรู้ (Receptrons) ทำหน้าที่รับรู้สัมผัสจากสิ่งแวดล้อมภายนอกของร่างกายแล้วจะเปลี่ยนสัญญาณเป็นคลื่นไฟฟ้าส่งผ่านสัญญาณข้อมูลไปยังส่วนที่สองหรือสมอง (Neural Net) ซึ่งทำหน้าที่แปลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับ แล้วส่งผลที่ได้ไปยังส่วนผลลัพท์ (Effectors) เพื่อส่งออกไปสู่ส่วนเอาต์พุตสนองต่อสิ่งที่ได้รับรู้

สมอง ประกอบด้วยนิวรอล (Neuron) หรือเซลล์สมองซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานที่ประกอบเป็นเนื้อเยื่อสมอง นิวรอลมีส่วนประกอบสำคัญคือตัวเซลล์ (Cell Body) ที่มีนิวเคลียสอยู่ภายใน ถัดจากตัวเซลล์ คือแอกซอน (Axon) และเดนไดรต์ (Dendrites) เป็นเส้นใยประสาททำหน้าที่รับส่งสัญญาณประสาท ซึ่งเดนไดรต์ประกอบด้วยเส้นใยประสาทจำนวนมากอยู่รอบๆ ตัวเซลล์ทำหน้าที่รับสัญญาณประสาทจากเซลล์อื่นๆ ส่วนแอกซอนเป็นเส้นใยประสาทเส้นเดียวยื่นออกจากตัวเซลล์ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณประสาทออกจากเซลล์ไปยังเซลล์อื่นๆ ที่ส่วนปลายของแอกซอน จะแยกเป็นแขนงเรียกว่า Axonal Arborization ซึ่งส่วนปลายของ Axonal Arborization มีจุดเชื่อมต่อเล็กๆ เรียกว่าจุดประสานประสาท (Synapses) ในแต่ละ Axonal Arborization มีจำนวนจุดประสานประสาทไม่เท่ากันซึ่งทำให้เกิดระดับการเชื่อมต่อ (Connection Strength) ที่ไม่เท่ากัน อีกทั้งจำนวนจุดประสานประสาทดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดช่วงชีวิต ซึ่งระดับการเชื่อมต่อนี้คือความสามารถในการจำ (Memory) ความคิด (Thinking) ฯลฯ ของสมองโดยการเรียนรู้ (Learning) ทำให้จำนวนจุดประสานประสาทเปลี่ยนแปลงได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 เซลล์ประสาทในสมองมนุษย์

หลังจากที่นักวิทยาศาสตร์ศึกษาจนเข้าใจหลักการประมวลผลของสมองแล้วได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model) ขึ้นมาเพื่อจำลองแบบการทำงานของเซลล์สมองของมนุษย์ เรียกว่าโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) ซึ่งมีแผนภาพของ โหนด (Node) พื้นฐาน ดังภาพที่ 2.16

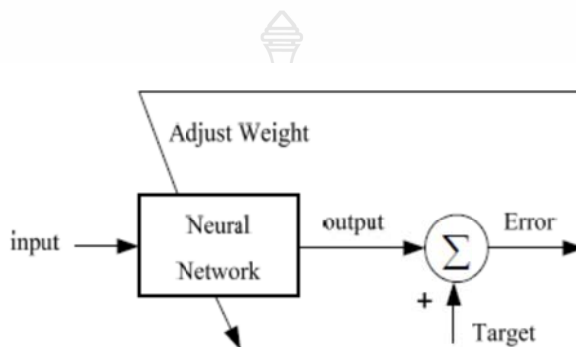


ภาพที่ 2.16 Node พื้นฐานของ Neural Network

2.4.1 หลักการของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นระบบที่มีส่วนประกอบซึ่งจำลองรูปแบบการทำงานจากระบบของสมองมนุษย์ หน้าที่และการทำงานของนิวรอนสามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่และสามารถเทรน (Train) ระบบเพื่อนำไปใช้งานเฉพาะได้ หลักการทำงานของนิวรอนจะอาศัยการปรับค่าเวท (Weight) ในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.17 การทำงานของนิวรอนจะมีการเปรียบเทียบเอาต์พุต (Output) ของนิวรอนที่ได้กับค่าของเป้าหมาย (Target) ที่กำหนด หากในกรณีที่ได้ค่าเอาต์พุตมีค่าแตกต่างหรือไม่เท่ากับค่าเป้าหมาย ระบบของนิวรอนจะทำการปรับค่าของเวท (Weight) ไปจนกว่าค่า

ของเอาต์พุต (Output) ตัวใหม่มีค่าเท่ากับค่าเป้าหมาย (Target) ซึ่งการเทรนนิรอลเพื่อให้ระบบมีการเรียนรู้ (Learning) ต้องมีข้อมูลที่ป้อนเข้าหรือข้อมูลที่เป็นอินพุต (Input) และค่าที่ใช้เป็นค่าเป้าหมาย (Target) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบนั้นจะต้องมีการจัดข้อมูลให้เป็นไปแบบคู่ลำดับ เพื่อใช้ในการเทรนเน็ตเวิร์ค



ภาพที่ 2.17 หลักการของโครงข่ายประสาทเทียม

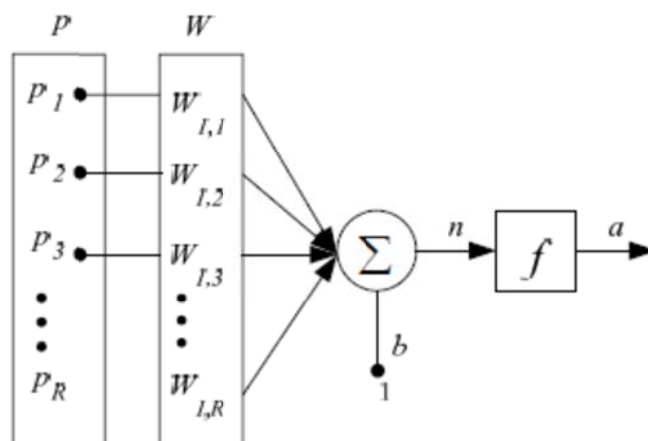
2.4.2 ประโยชน์และการประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการใช้งาน

โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในหลาย ๆ ตัวอย่างดังนี้

- 1) งานด้านอวกาศ ใช้งานในระบบนำร่องนักบิน ระบบจำลองและควบคุมการบิน
- 2) งานด้านยานยนต์ ใช้งานระบบนำทางอัตโนมัติ
- 3) งานด้านการธนาคาร ใช้งานด้านการตรวจสอบการอ่านเอกสาร ประมาณการเครดิต
- 4) งานด้านการเงิน ใช้งานด้านสินเชื่อ วิเคราะห์งานเครดิต พยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยน
- 5) งานด้านบันเทิง ใช้งาน Animation, Special effects
- 6) งานด้านอุตสาหกรรม ใช้ในงานพยากรณ์ค่าต่างๆ ในกระบวนการผลิต

2.4.3 รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม (Neuron Network Modeling)

รูปแบบของนิรอล โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้ ส่วนแรกเป็นส่วนอินพุต (Input) ของเน็ตเวิร์คแทนด้วยสัญลักษณ์ตัวอักษร P ซึ่งจะอยู่ในรูปของเวกเตอร์ โดยอินพุตแต่ละตัวจะมีค่าของเวท (Weight) ประจำอินพุต แทนด้วยอักษรตัว W ผลคูณ ที่เกิดจากการคูณค่าเวทกับค่าอินพุตแต่ละค่าจะนำมารวมกัน (Summing) ณ จุดรวมสัญญาณ จากนั้นจะนำผลคูณที่ได้ทั้งหมดมารวมกับค่าของไบอัส (Bias) ซึ่งแทนด้วยตัวอักษร b แล้วส่ง ผลรวมที่ได้ผ่านไปยังชั้นโอนย้าย (Transfer Function) แทนด้วยสัญลักษณ์ f และออกไปส่วน เอาต์พุตของระบบ ดังแสดงได้ในภาพที่ 2.18



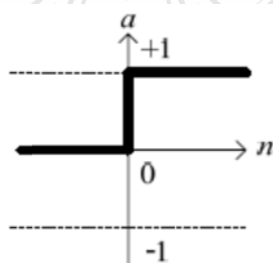
ภาพที่ 2.18 ส่วนประกอบของนิวรอล

จากภาพที่ 2.18 เอาต์พุตของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = f(Wp + b) \quad (2.27)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Functions) ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม นิยมใช้มีอยู่รูปแบบ ได้แก่ ฟังก์ชันถ่ายโอนฮาร์ดลิมิต (Hard Limit Transfer Function) ฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงเส้น (Linear Transfer Function) ฟังก์ชันถ่ายโอนลอจิสติกมอย (Log sigmoid Transfer Function) และ ฟังก์ชันถ่ายโอนแทนเจนต์มอย (Tangent sigmoid Transfer Function)

ฟังก์ชันถ่ายโอนฮาร์ดลิมิต (Hard Limit Transfer Function) แสดงในภาพที่ 2.19 จะกำหนดค่าเอาต์พุตของนิวรอลเป็นดังนี้ ถ้าอินพุต n ของนิวรอลมีค่าน้อยกว่า 0 ค่าเอาต์พุต a ที่ได้จะมีค่าเป็น 0 และถ้า n มีค่าเท่ากับ 0 หรือมากกว่า 0 ค่าเอาต์พุตจะมีค่าเป็น 1

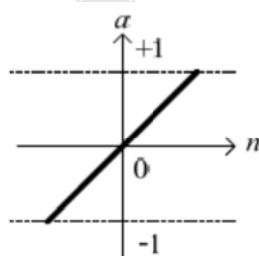


ภาพที่ 2.19 Hard Limit Transfer Function

จากภาพที่ 2.19 เอาต์พุตของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = \begin{cases} 1, & \text{if } n \geq 0 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2.28)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงเส้น (Linear Transfer Function) หรือฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลิเนียร์ ใช้งานเพื่อการประมาณค่าที่เป็นแบบเชิงเส้น

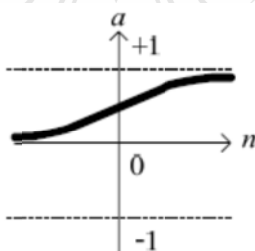


ภาพที่ 2.20 Linear Transfer Function

จากภาพที่ 2.20 เอาต์พุตของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = n \quad (2.29)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนลอจิสติกมอย (Log Sigmoid Transfer Function) สามารถรับอินพุตค่าต่างๆ ได้ทั้งค่าที่เป็นบวกและค่าที่เป็นลบ และให้อเอาต์พุตในย่าน 0 ถึง 1

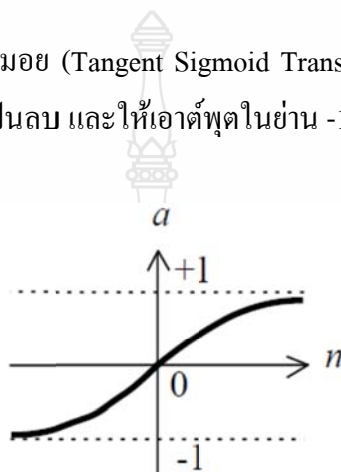


ภาพที่ 2.21 Log sigmoid Transfer Function

จากภาพที่ 2.21 เอาต์พุตของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (2.30)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนแทนซิกมอย (Tangent Sigmoid Transfer Function) สามารถรับอินพุตค่าต่างๆ ได้ทั้งค่าที่เป็นบวกและค่าที่เป็นลบ และให้อเอาต์พุตในย่าน -1 ถึง 1

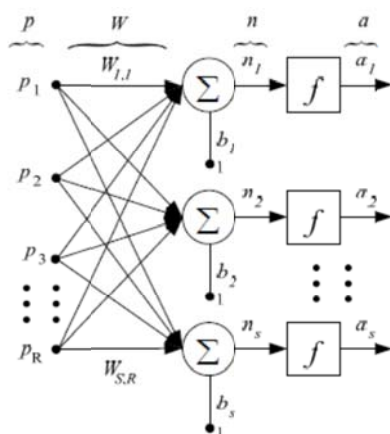


ภาพที่ 2.22 Tangent sigmoid Transfer Function

จากภาพที่ 2.22 เอาต์พุตของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}} \quad (2.31)$$

ชั้นของนิวรอล (Layer) ประกอบด้วยชั้นมากกว่าหนึ่งชั้น ในแต่ละชั้นของนิวรอลจะประกอบไปด้วยนิวรอลหลายๆ ตัวได้ แต่นิวรอลหนึ่งชั้นนั้นประกอบด้วยอินพุต ค่าเวท และค่าไบอัส ผลที่ได้จากการคูณระหว่างค่าเวทกับอินพุตแต่ละคู่จะนำมารวมกับค่าไบอัสในชั้น หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่รวมแล้วเข้าฟังก์ชันถ่ายโอนและส่งไปสู่ชั้นถัดไป ตัวอย่างนิวรอลแบบชั้นเดียวประกอบด้วยจำนวนนิวรอลหลายๆ ตัว แสดงในภาพที่ 2.23 ในที่นี้นิวรอลจะมีอินพุตจำนวน R ตัว และมีจำนวนของนิวรอลจำนวน S ตัว

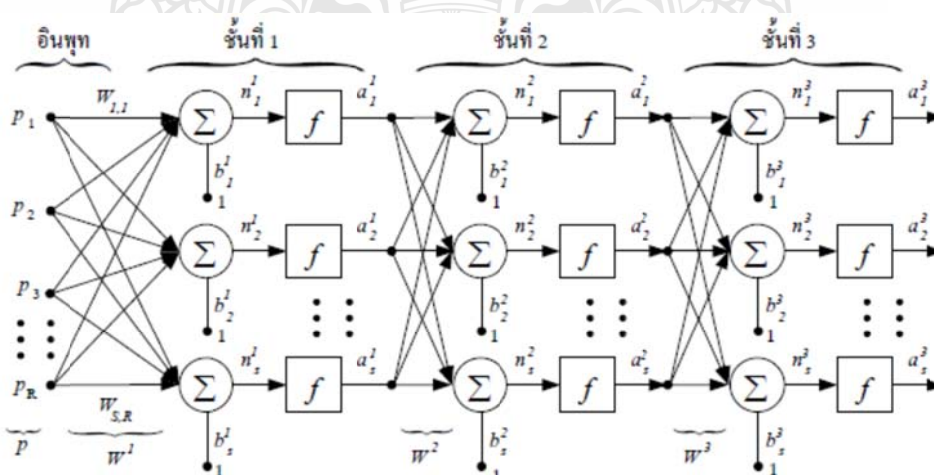


ภาพที่ 2.23 นิวรอลแบบชั้นเดียว [13]

จากภาพที่ 2.23 เอาต์พุตของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = f(Wp + b) \quad (2.32)$$

นิวรอลชนิดหลายชั้น (Multiple Layers of Neurons) โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น ในแต่ละชั้นจะมีเวทเมตริก W มีไบอัสเวกเตอร์ b และมีเอาต์พุตเวกเตอร์ a ตัวอย่างของเน็ตเวิร์คแบบสามชั้นแสดงตามภาพที่ 2.24 ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 รวมกันเรียกว่า ฮิดเดนเลเยอร์ (Hidden Layer) ส่วนชั้นที่ 3 เรียกว่าเอาต์พุตเลเยอร์ (Output Layer)



ภาพที่ 2.24 นิวรอลแบบหลายชั้น [13]

จากภาพที่ 2.24 เอาต์พุตของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

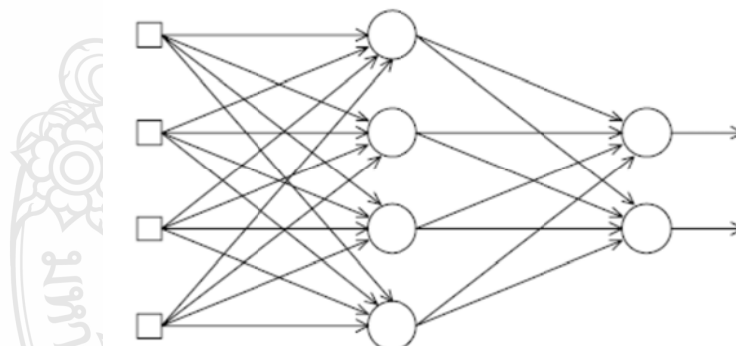
$$a = f(W_3f(Wf(W_1p+b_1)+b_2)+b_3) \quad (2.33)$$

2.4.4 การแบ่งชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม

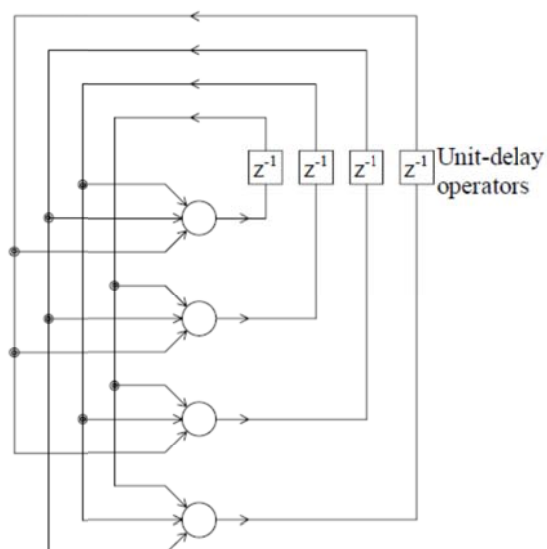
การแบ่งชนิดของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการฝึกสอน วิธีการเรียนรู้ การประยุกต์ใช้งาน ชนิดของข้อมูล ฯลฯ ดังนั้นจึงไม่มีวิธีแน่นอนในการแบ่งชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อแบ่งตามโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมแล้วสามารถแบ่งโครงข่ายประสาทเทียมได้ 2 ประเภทคือ

1) โครงข่ายไปข้างหน้า (Feed Forward Network) เป็นที่รู้จักและนิยมใช้งานมากที่สุดมีการเชื่อมต่อระหว่างไปในทิศทางข้างหน้าทิศทางเดียวคือจาก อินพุตสู่เอาต์พุต

2) โครงข่ายป้อนกลับ (Recurrent Network) มีการป้อนกลับของข้อมูลจากเอาต์พุตกลับเข้ามาเป็นอินพุต ทำให้ค่าเอาต์พุตในรอบถัดไปขึ้นอยู่กับค่าเอาต์พุตในรอบที่แล้วด้วย โครงข่ายฯ ลักษณะนี้จะมีความสามารถจดจำ ลำดับเหตุการณ์ได้



ภาพที่ 2.25 โครงข่ายแบบไปข้างหน้า [14]

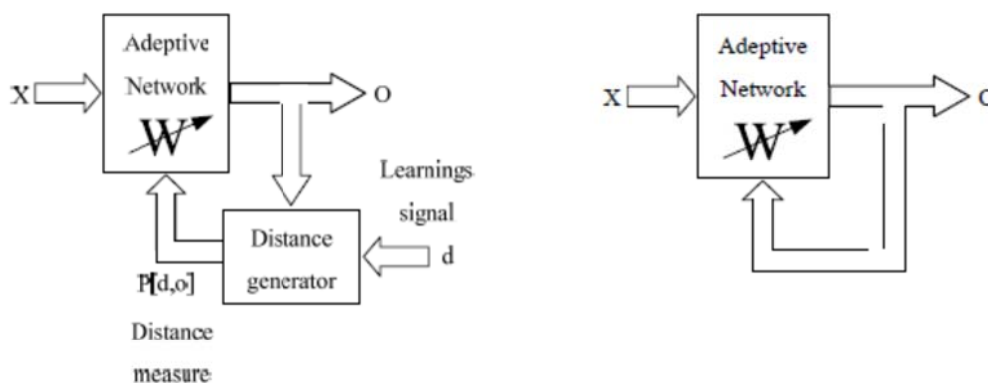


ภาพที่ 2.26 โครงข่ายแบบป้อนกลับ [14]

2.4.5 การเรียนรู้และกฎการเรียนรู้

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการ Mapping ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของเน็ตเวิร์ค ทั้งนี้การออกแบบส่วนที่สัมพันธ์กันหรือตัวจำแนกของเน็ตเวิร์คจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานของการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของการถ่ายโอนค่าจากอินพุตไปสู่ค่าเอาต์พุตตามกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ในลักษณะของคู่ลำดับ ขอบเขตของการจำแนกแต่ละปัญหาจะเป็นไปตามหลักทฤษฎีการประมาณค่าการเรียนรู้แบบแบบซูปเปอร์ไวส์ เลินนิ่ง (Supervised Learning) และแบบอันซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่ง (Unsupervised Learning)

การเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์ เลินนิ่งเป็นการเรียนรู้เสมือนว่ามีครูผู้สอน (Teacher) คอยกำกับ ดูแล สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 2.27 (ก) ค่าของเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับการนำค่า t ของระบบที่เกิดจากการเตรียมโดยครูมาเป็นตัวกำหนดการตัดสินใจ จากนั้นระบบจะปรับปรุงค่าของเวทเพื่อลดค่าผิดพลาดระบบให้น้อยลง การเรียนรู้อีกแบบหนึ่งเรียกว่าการเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์ เลินนิ่งหรือเป็นการเรียนรู้แบบที่ไม่มีครูผู้สอนคอยกำกับดูแล แสดงตามภาพที่ 2.27 (ข) ดังนั้นเอาต์พุต ได้จากการตัดสินใจซึ่งจะเป็นไปโดยไม่ทราบค่าที่ได้นั้นถูกหรือผิดไปจากค่าเป้าหมาย ค่าที่ได้ จึงไม่สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงพฤติกรรมของระบบได้ การเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่งตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่นนำไปใช้เพื่อการจำแนกขอบเขตหรือการกระจายของข้อมูล เป็นต้น



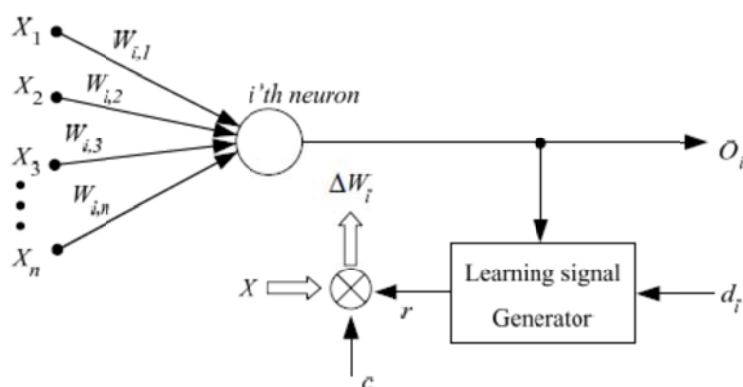
(ก) การเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์ไลน์

(ข) การเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์ไลน์

ภาพที่ 2.27 ชนิดของการเรียนรู้ [13]

กฎการเรียนรู้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเทรนเน็ตเวิร์คตามเงื่อนไขเฉพาะได้ กฎของการเรียนรู้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่แบบซูปเปอร์ไวส์ไลน์ และแบบอันซูปเปอร์ไวส์ไลน์ การเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์ไลน์จะต้องมีการจัดเตรียมกลุ่มข้อมูลแบบคู่ลำดับ ในที่นี้ให้ p เป็นค่าอินพุต ส่วน t เป็นค่าเอาต์พุตเป้าหมายหรือเป็นค่าที่ต้องการ เมื่อป้อนอินพุตและค่าเป้าหมายเข้าสู่ระบบแล้ว เน็ตเวิร์คจะทำการเปรียบเทียบเอาต์พุตที่ได้กับค่าเป้าหมายที่กำหนด โดยที่เน็ตเวิร์คจะทำการปรับค่าเวทและค่าไบอัสเพื่อที่จะให้เกิดค่าของเอาต์พุตตัวใหม่ขึ้นและให้มีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายให้มากที่สุด เรียกกฎการเรียนรู้แบบนี้ว่าการเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์ไลน์ รูปแบบการเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์ไลน์ ค่าของเวทและค่าไบอัส จะปรับปรุงค่าตามการเปลี่ยนแปลงของค่าอินพุตอย่างเดียวจะไม่มีค่าเป้าหมายให้ใช้เปรียบเทียบเหมือนของแบบซูปเปอร์ไวส์ไลน์

กฎการเรียนรู้ต่างๆ ไปของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากการศึกษา ในที่นี้เมื่อให้เวทเวกเตอร์ $w_i = [w_{i1} \ w_{i2} \ \dots \ w_{in}]$ เพิ่มขึ้นอย่างมีสัดส่วนกับผลคูณของอินพุตเวกเตอร์ x และสัญญาณ การเรียนรู้ r และสัญญาณการเรียนรู้ r เป็นส่วนของฟังก์ชัน w_i , x สัญญาณสอนหรือเป้าหมายเป็น d_i โดยสามารถแสดงตามภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม (การปรับค่าเวท) [13]

$$r = r(w_i, x, d_i) \quad (2.34)$$

เมื่อ x เป็นอินพุตเวกเตอร์ o เป็นเอาต์พุตเวกเตอร์ และ d เป็นค่าเป้าหมายที่ต้องการ การปรับค่าของเวทเวกเตอร์ w_i จะเกิดขึ้นในขั้นการเรียนรู้ในแต่ละช่วงของเวลา t สามารถเขียนเป็นสมการ การเรียนรู้ได้เป็น

$$\Delta w_i(t) = cr[w_i(t), x(t), d_i(t)]x(t) \quad (2.35)$$

c มีค่าเป็นบวก เรียกว่าค่าคงที่ของการเรียนรู้ (Learning constant) เวทเวกเตอร์จะปรับค่าตามเวลา t ของขั้นตอนการเรียนรู้

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \Delta w_i(t) \quad (2.36)$$

2.4.6 โครงข่ายประสาทเทียมและการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จากงานวิจัยของ Christophe Paoli [7] ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการทางสถิติที่ได้รับความนิยมถึง 6 วิธีเปรียบเทียบการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งพบว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีทางสถิติอื่นๆ

งานวิจัยของ Yuenhui Huang [8] ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมกับการโมเดลวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีอินพุตเป็น ข้อมูลการพยากรณ์อากาศพบว่าทั้งสองวิธีมีค่าความผิดพลาดใกล้เคียงกันที่ประมาณ 10-16%

งานวิจัยของ Atsushi Yona [9] ซึ่งใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งข้อมูลที่ต้องใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการพยากรณ์ประกอบด้วย

- 1) ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกซึ่งได้จากการคำนวณ
- 2) ค่าที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้ใน 18 ชั่วโมงที่ผ่านมา ณ จุดติดตั้งระบบฯ
- 3) ค่าพยากรณ์อุณหภูมิล่วงหน้ารายชั่วโมงของ 18 ชั่วโมงถัดไป ณ จุดที่ใกล้เคียงกับจุดติดตั้งระบบฯ

ถ้าจะนำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยนั้นจะต้องมีการติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ณ จุดที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และจะต้องมีข้อมูลการพยากรณ์อุณหภูมिरายชั่วโมง ณ จุดที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการยากที่จะดำเนินการดังกล่าว

จากงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้

2.5 สรุป

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้รวบรวมมาจะเห็นได้ว่า โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้รายละเอียดตามหัวข้อ 2.4 โดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณตามหัวข้อ 2.1 และ ข้อมูลสภาพอากาศซึ่งมีผลต่อกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามรายละเอียดในหัวข้อ 2.2 ซึ่งจะเป็นเครื่องมือหนึ่งในการช่วยลดผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าตามรายละเอียดในหัวข้อ 2.3

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะแสดงถึงการเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และ การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และ สร้างโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าต่อไป

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 รวบรวมข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง อาคารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.1.2 รวบรวมข้อมูลต่างๆที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้แก่ ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณ ข้อมูลพยากรณ์อากาศ ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในวันก่อนที่จะพยากรณ์

3.1.3 ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ เพื่อที่จะเลือกใช้งานในโครงข่ายประสาทเทียม

3.1.4 สร้างและฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการพยากรณ์ในแต่ละเดือนโดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบต่างๆ

3.1.5 ทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมโดยวัดค่าผิดพลาดในการพยากรณ์โดยเปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชันถ่ายโอนแบบต่างๆ

3.1.6 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

3.1.7 สรุปผลการทดลอง

3.2 ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย

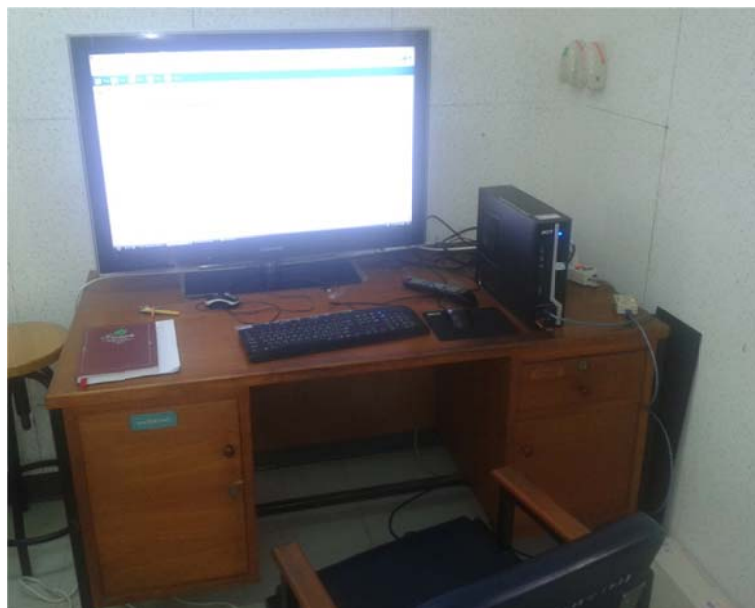
ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาด 1000Wp ติดตั้งที่อาคารคณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Ploy-Crystalline ขนาด 125 Wp จำนวน 8 แผง ยี่ห้อ Sharp เป็นระบบแบบเชื่อมต่อสายส่งใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1kW ยี่ห้อ SMA มีระบบบันทึกข้อมูลด้วยโปรแกรม Sunny Data Control ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการภาควิชาฟิสิกส์เป็นตัวเก็บข้อมูล โดยโปรแกรมจะบันทึกข้อมูล 24 ครั้งทุก 1 ชั่วโมง หรือ 2.5 นาทีต่อครั้ง



ภาพที่ 3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 3.2 อินเวอร์เตอร์และมิเตอร์ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 3.3 คอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูล

โดยข้อมูลที่รวบรวมจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวเป็นข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ธันวาคม 2554 โดยข้อมูลที่ได้นำมาเฉลี่ยให้เป็นกำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงตั้งแต่เวลา 7:00 น. ถึง 17:00 น.

3.3 รวบรวมข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง

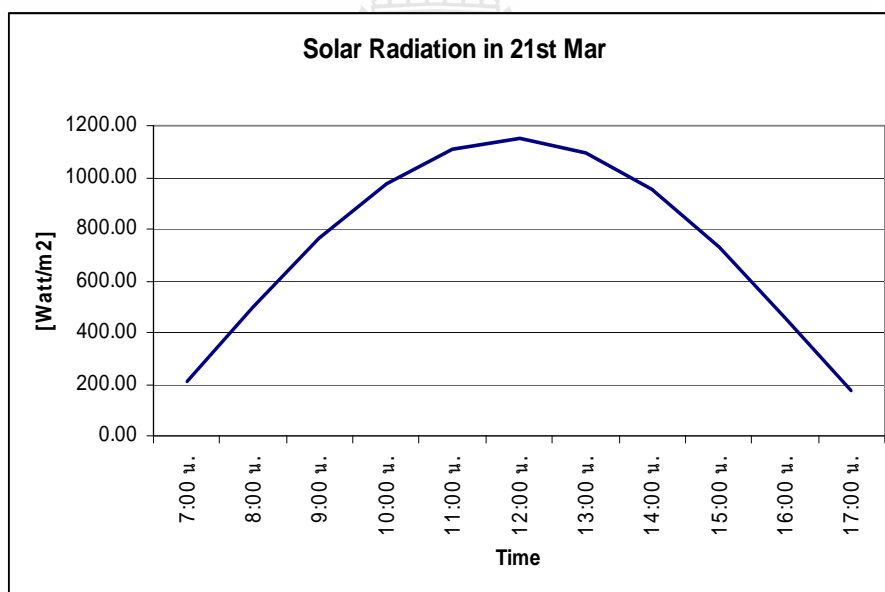
ข้อมูลต่างๆ ที่รวบรวมเป็นข้อมูลที่มีผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

3.3.1 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณ

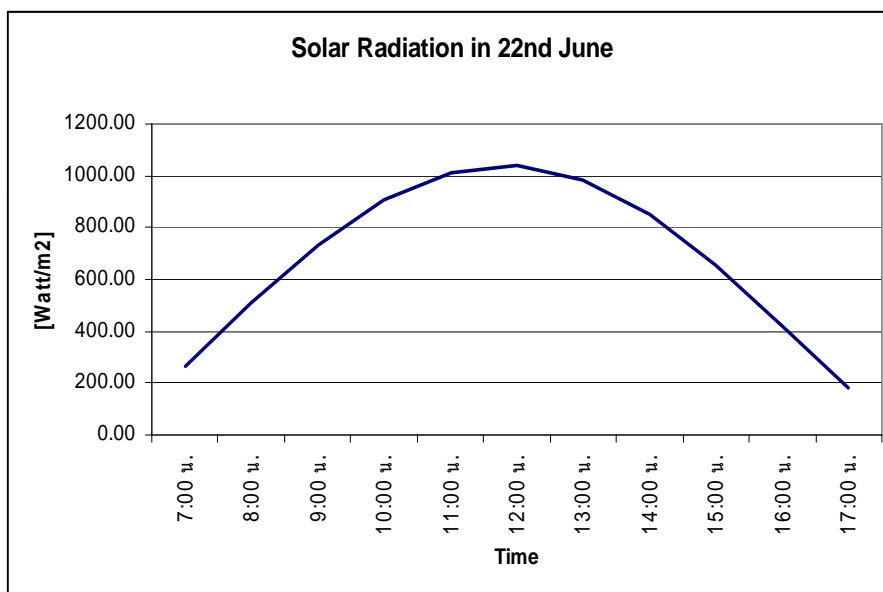
เป็นค่าที่ส่งผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ใช้ค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมบนพื้นโลกในสถานะท้องฟ้าโปร่งซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ 2.8 ถึง 2.11 ในหัวข้อ 2.15 ของบทที่ 2 ซึ่งคำนวณตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึง วันที่ 31 ธันวาคมในช่วงเวลา 7:00 น. ถึง 17:00 น. ตัวอย่างข้อมูลในเดือน มกราคม เมษายน กรกฎาคม และตุลาคม ดังภาพที่ 3.4 – 3.7 โดยในการคำนวณนี้ได้ใช้ค่าตัวแปรต่างๆ สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการวิจัย ตามตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับงานวิจัยนี้

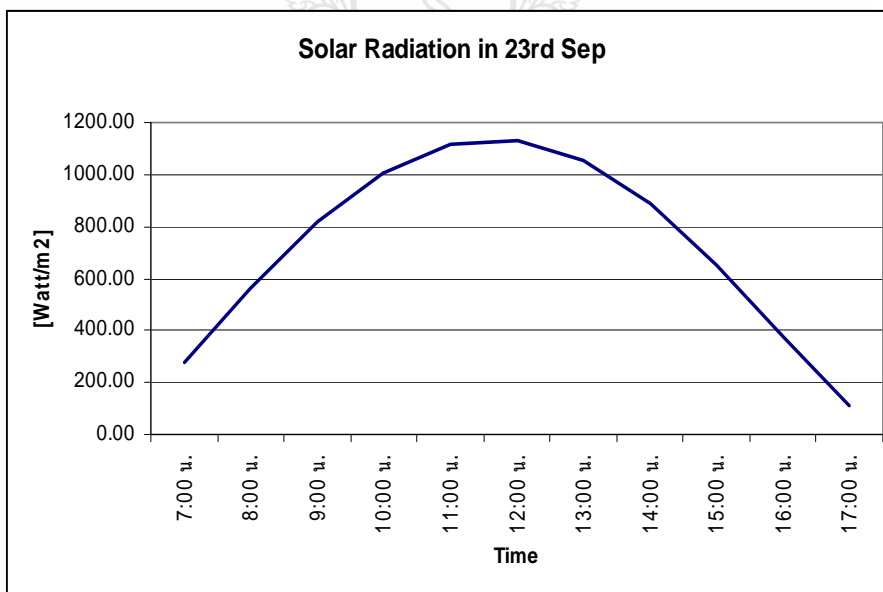
ตัวแปร	ค่าที่ใช้
ค่าลองจิจูดที่ใช้อ้างอิงเวลามาตรฐานของประเทศไทย (Ls)	105 องศา
ค่าลองจิจูดของสถานที่ติดตั้งระบบฯ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี (Lloc)	100.73 องศา
ค่าตัวประกอบปรับแก้สำหรับภูมิอากาศเขตร้อน r_0, r_1, r_k	0.95, 0.98, 1.12 [11]
ละติจูดของตำแหน่งที่ติดตั้งระบบฯ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี (ϕ)	14.01 องศา
มุมเอียงในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (β)	15 องศา
มุมอาซิมุทในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ψ)	0 องศา
ความสูงจากระดับน้ำทะเลของจุดติดตั้งระบบ	0.03 กิโลเมตร



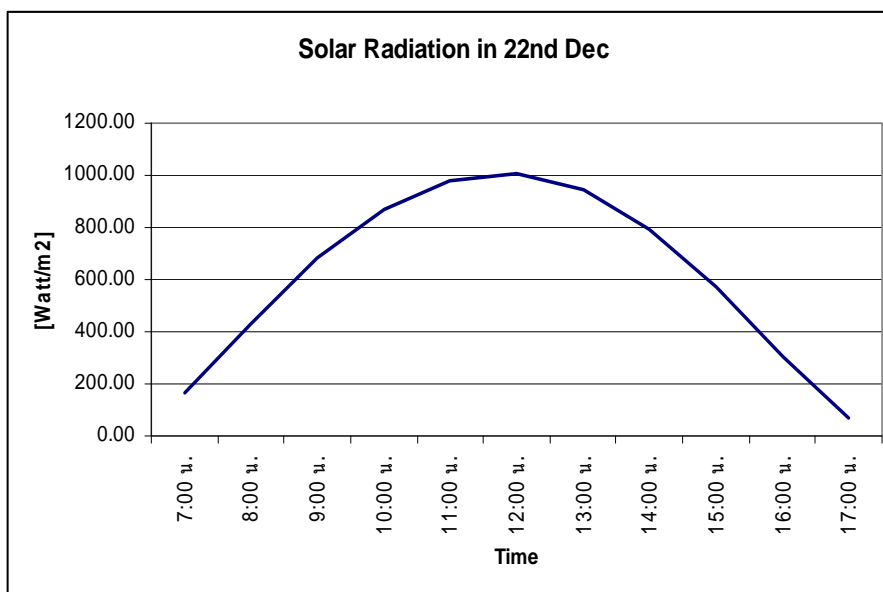
ภาพที่ 3.4 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสถานะท้องฟ้าโปร่งวันที่ 21 มีนาคม



ภาพที่ 3.5 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสถานะท้องฟ้าโปร่งวันที่ 22 มิถุนายน



ภาพที่ 3.6 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสถานะท้องฟ้าโปร่งวันที่ 23 กันยายน



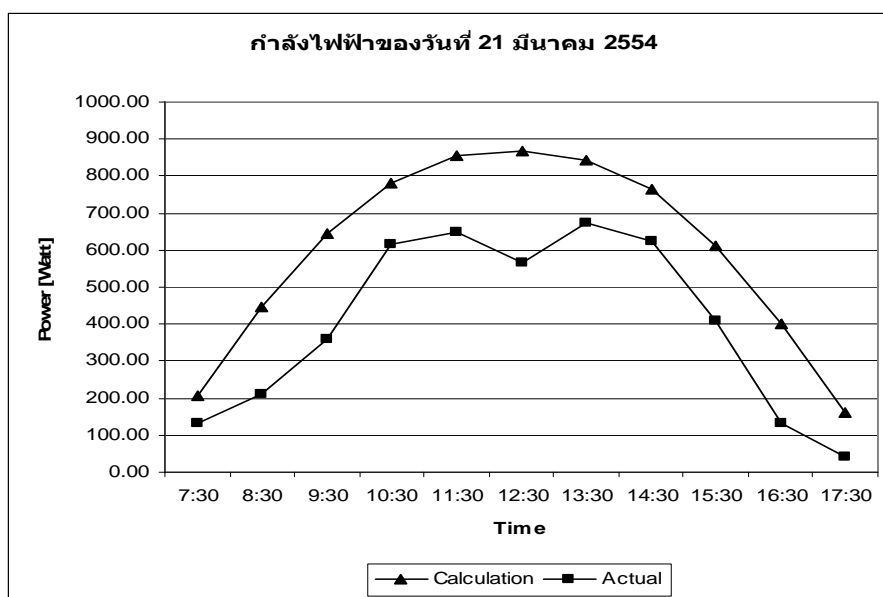
ภาพที่ 3.7 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสภาวะท้องฟ้าโปร่งวันที่ 22 ธันวาคม

จากภาพที่ 3.4 ถึง 3.7 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน และค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปทุกวันตามวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ โดยจะมีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนและมีค่าต่ำในช่วงเดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว

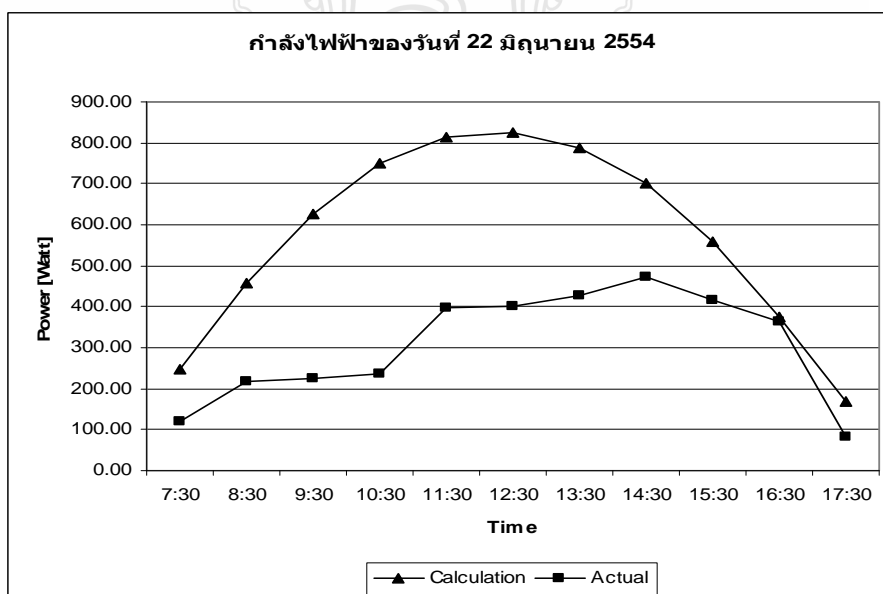
ค่าที่คำนวณได้ในหัวข้อ 3.3.1 นี้เป็นค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในกรณีที่ท้องฟ้าแจ่มใสคือปราศจากเมฆ, ฝุ่นละอองและไอน้ำ ถ้านำค่าดังกล่าวมาใช้คำนวณหากำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสมการที่ 3.1 ได้ข้อมูลตามภาพที่ 3.8 - 3.11 ซึ่งได้คำนวณไว้เป็นตัวอย่างจำนวน 4 วัน

$$P = \eta A G_t (1 - \gamma(t - 25)) \quad (3.1)$$

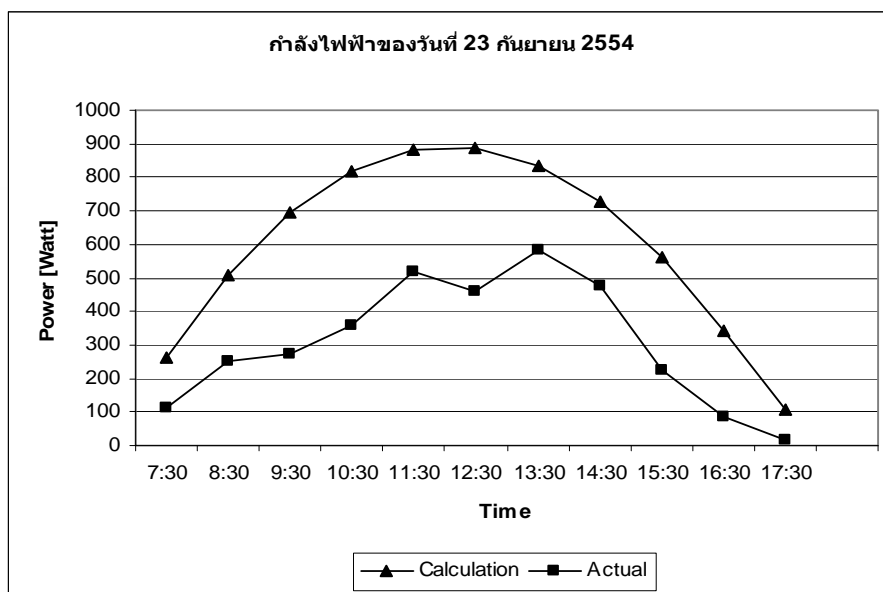
- P หมายถึง กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ [วัตต์]
- η หมายถึง ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- A หมายถึง พื้นที่รับแสงทั้งหมดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [ตารางเมตร]
- G_t หมายถึง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ [วัตต์ต่อตารางเมตร] ซึ่งในกรณีนี้ใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส
- γ หมายถึง สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]
- t หมายถึง อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [$^{\circ}\text{C}$]



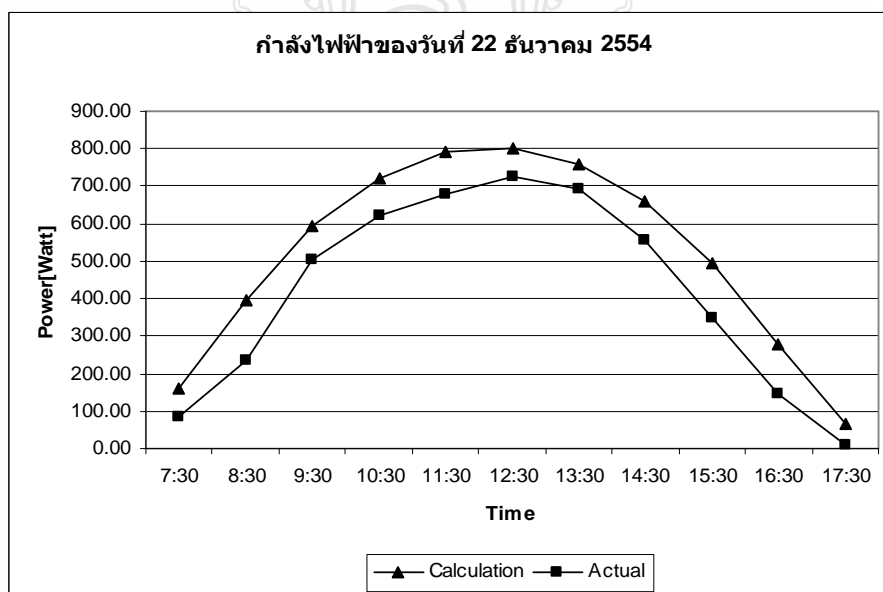
ภาพที่ 3.8 กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จริงกับจากการคำนวณในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ในวันที่ 21 มีนาคม 2554



ภาพที่ 3.9 กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จริงกับจากการคำนวณในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ในวันที่ 22 มิถุนายน 2554



ภาพที่ 3.10 กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จริงกับจากการคำนวณในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ในวันที่ 23 กันยายน 2554

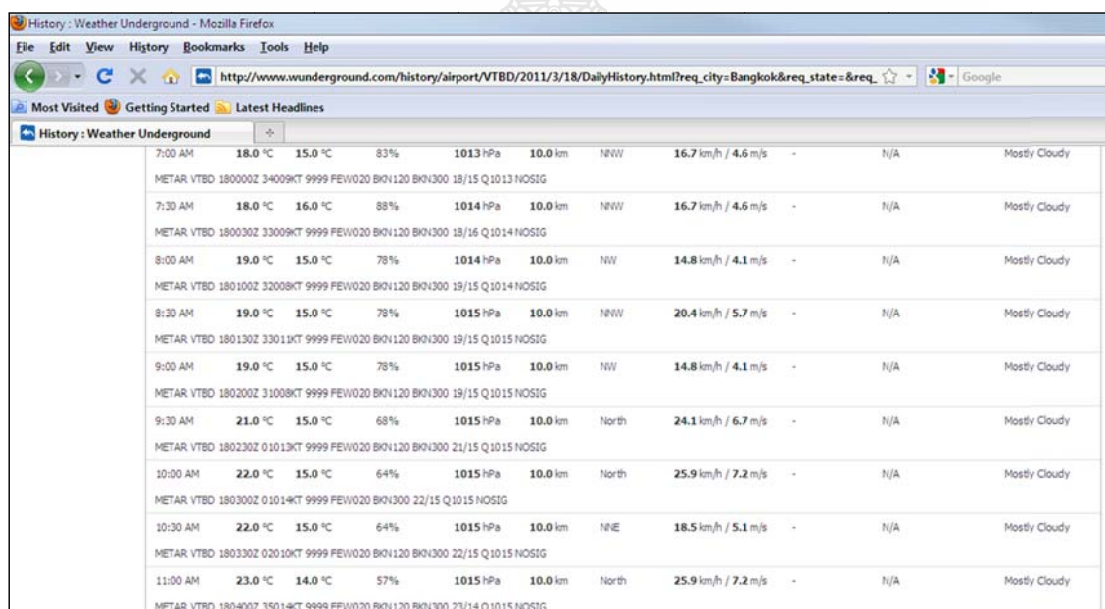


ภาพที่ 3.11 กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จริงกับจากการคำนวณในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ในวันที่ 22 ธันวาคม 2554

จากภาพที่ 3.8 – 3.11 จะพบว่ากำลังไฟฟ้า ที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริงเนื่องมาจากค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้เป็นค่าในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใสซึ่งจะมีค่าสูงกว่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับจริง ดังนั้นจึงจะต้องพิจารณาตัวแปรอื่นๆเข้ามาเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมด้วยเพื่อให้เกิดความแม่นยำสูงขึ้น

3.3.2 ค่าจากการพยากรณ์อากาศ (อุณหภูมิและ สภาพท้องฟ้า)

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการพยากรณ์สภาพอากาศจาก www.wunderground.com ซึ่งเป็นแหล่งรวบรวมข้อมูลสภาพอากาศทั่วโลกโดยข้อมูลที่รวบรวมมาคือ อุณหภูมิรายชั่วโมง และสภาพท้องฟ้ารายชั่วโมงที่สถานีตรวจวัดอากาศคอนเมือง ซึ่งเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม ถึง ธันวาคม 2554



Time	Temp (C)	Humidity (%)	Pressure (hPa)	Wind Speed (km/h)	Wind Dir	Clouds
7:00 AM	18.0	83%	1013	16.7	NW	Mostly Cloudy
7:30 AM	18.0	88%	1014	16.7	NW	Mostly Cloudy
8:00 AM	19.0	78%	1014	14.8	NW	Mostly Cloudy
8:30 AM	19.0	78%	1015	20.4	NW	Mostly Cloudy
9:00 AM	19.0	78%	1015	14.8	NW	Mostly Cloudy
9:30 AM	21.0	68%	1015	24.1	North	Mostly Cloudy
10:00 AM	22.0	64%	1015	25.9	North	Mostly Cloudy
10:30 AM	22.0	64%	1015	18.5	NNE	Mostly Cloudy
11:00 AM	23.0	57%	1015	25.9	North	Mostly Cloudy

ภาพที่ 3.12 ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในงานวิจัย

โดยสภาพท้องฟ้า นั้นจะรายงานเป็นสภาพเมฆ ฝน หมอก ในงานวิจัยนี้ได้นำมาแปลงเป็นดัชนีเพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณและรายงานผลดังตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 การกำหนดดัชนีสภาพท้องฟ้า

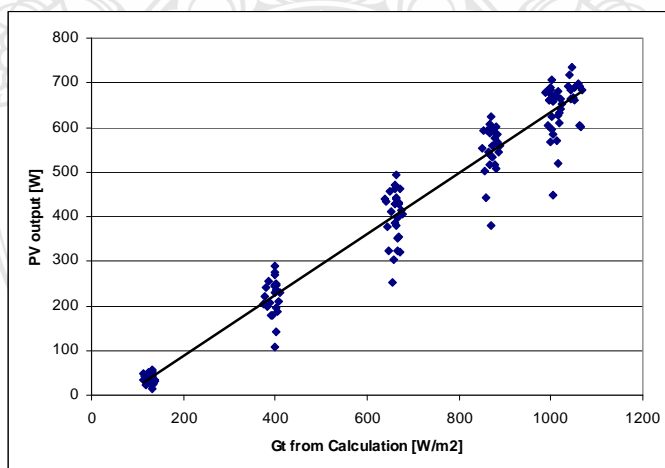
สภาพท้องฟ้าที่รายงาน	ดัชนีสภาพท้องฟ้า
Clear	1
Scatter Cloudy, Partial Cloudy	0.75
Mostly Cloudy	0.25
Rain, Mist, Strom	0

3.4 การทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ

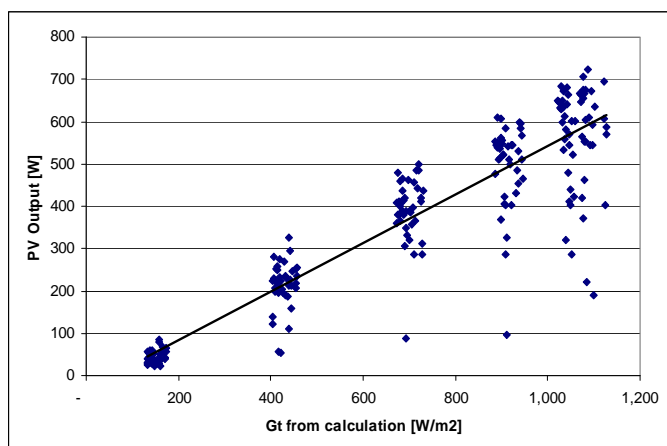
จากข้อมูลที่รวบรวมได้ในข้อ 3.2 ได้นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากข้อ 3.1 เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของข้อมูลที่จะใช้เป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม

3.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

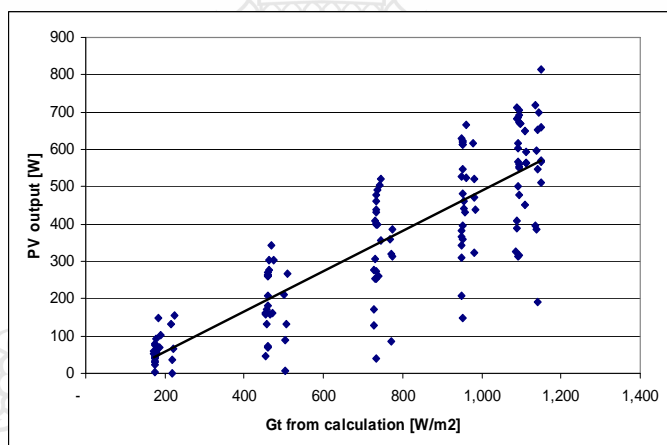
ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์นี้ได้ใช้กราฟการกระจายของข้อมูลเพื่อดูแนวโน้มว่าข้อมูลมีความเกี่ยวข้องกับหรือไม่ ซึ่งพบว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณมีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 3.13 ถึง 3.23



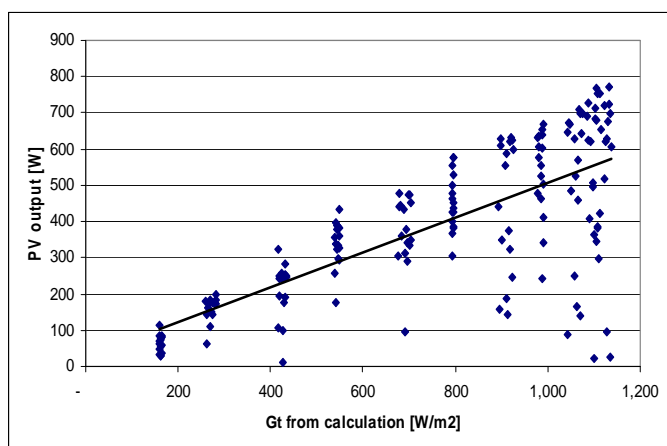
ภาพที่ 3.13 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในเดือนมกราคม 2554



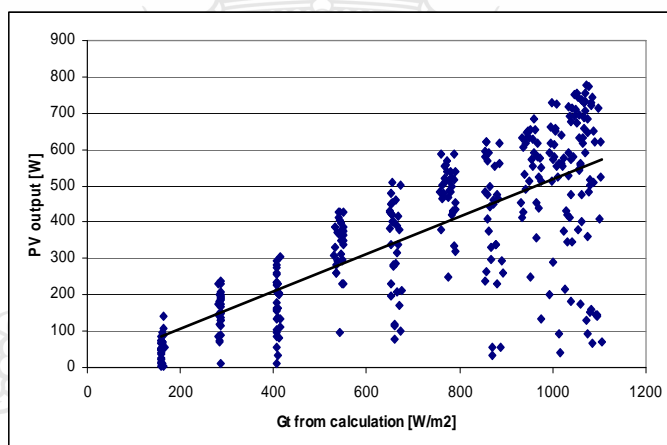
ภาพที่ 3.14 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือน
กุมภาพันธ์ 2554



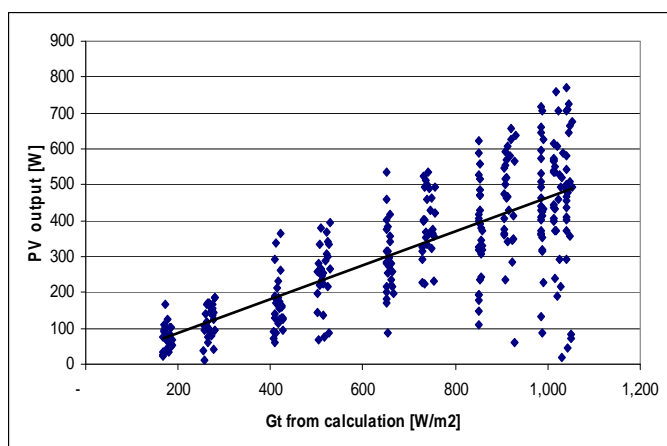
ภาพที่ 3.15 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือน
มีนาคม 2554



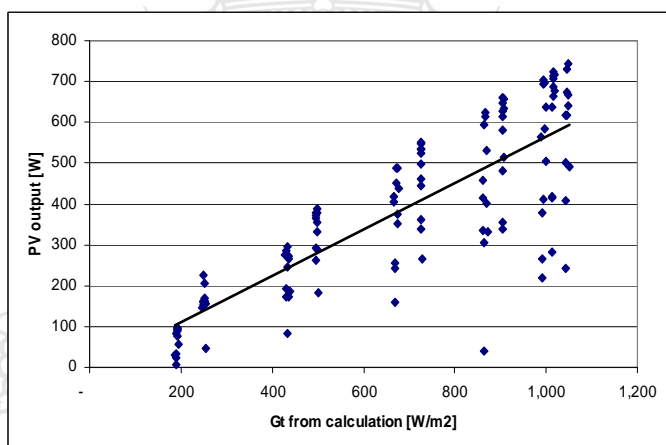
ภาพที่ 3.16 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือน
เมษายน 2554



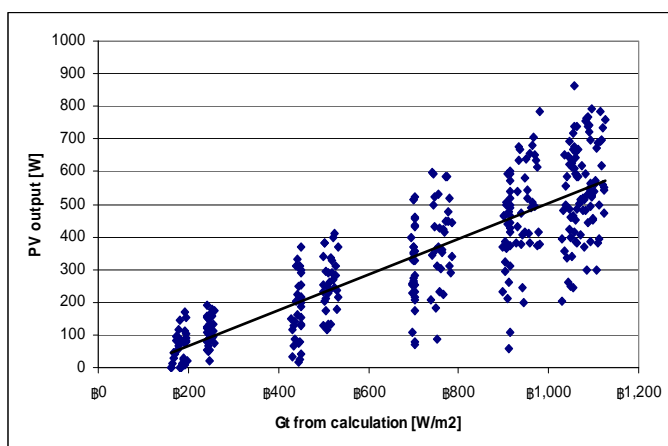
ภาพที่ 3.17 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือน
พฤษภาคม 2554



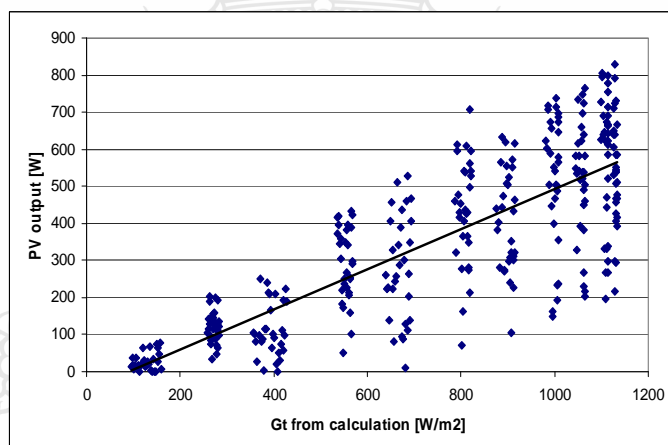
ภาพที่ 3.18 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือน มิถุนายน 2554



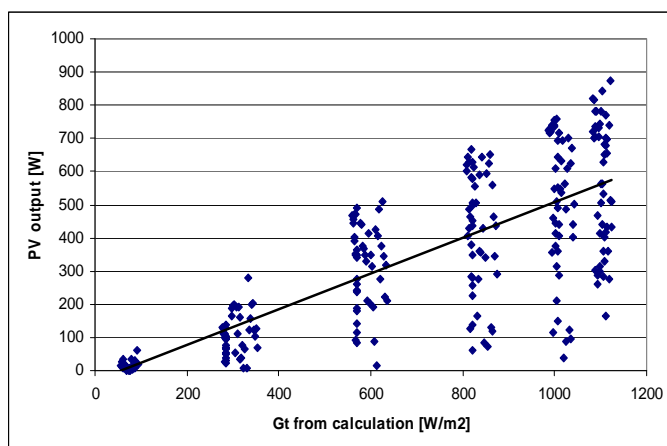
ภาพที่ 3.19 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือน กรกฎาคม 2554



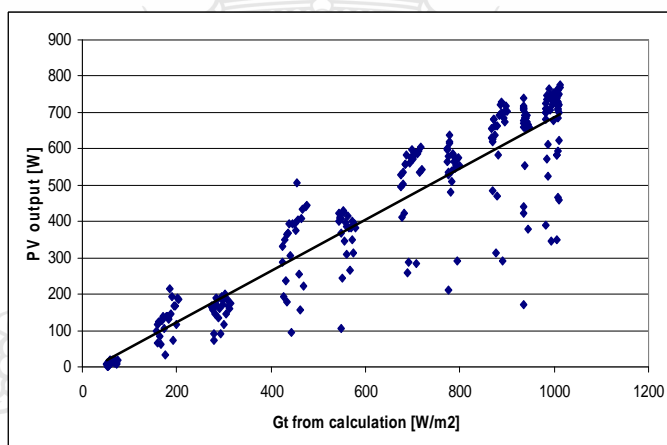
ภาพที่ 3.20 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือน
สิงหาคม 2554



ภาพที่ 3.21 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือน
กันยายน 2554



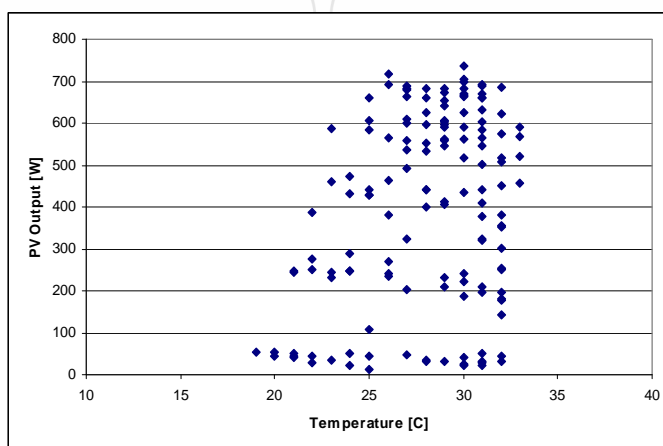
ภาพที่ 3.22 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือน ตุลาคม 2554



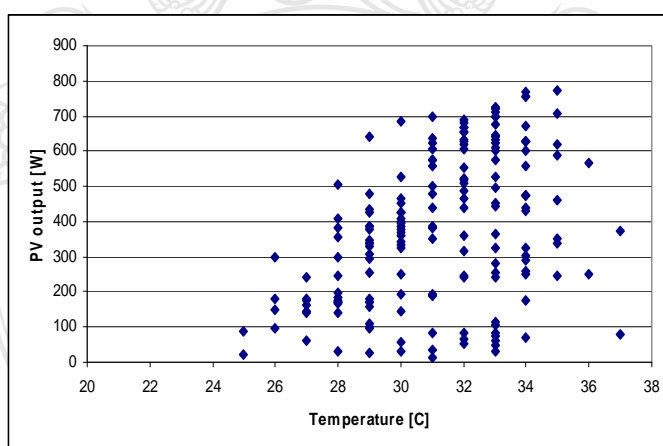
ภาพที่ 3.23 ความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือน ธันวาคม 2554

จากภาพที่ 3.13 ถึง 3.23 พบว่าเมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณมีค่าสูง ค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีค่าสูงขึ้นไปตามด้วย และเมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณมีค่าต่ำ ค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีค่าต่ำลงตามด้วย ซึ่งแสดงว่าค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก ซึ่งสามารถนำค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากการคำนวณไปเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมได้เป็นอย่างดี

3.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและสภาพท้องฟ้า กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่นเดียวกับกับหัวข้อ 3.3.1 ซึ่งใช้กราฟการกระจายวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งโดยทั่วไปอุณหภูมิและสภาพท้องฟ้าจะมีผลต่อกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่แล้ว แต่จะมีผลมากหรือน้อยอย่างไร นั้นดูได้จากภาพที่ 3.24 ถึง 3.27

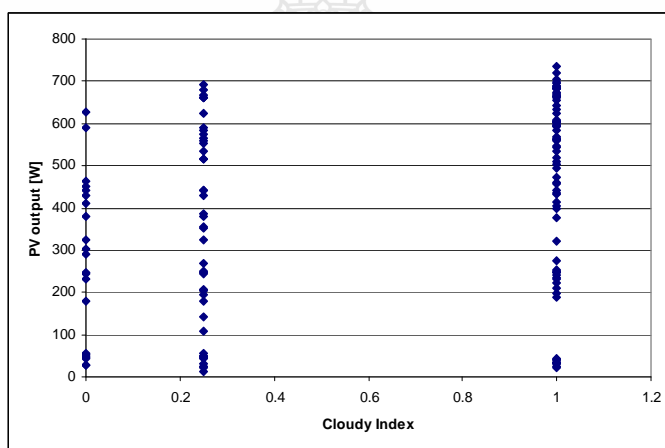


ภาพที่ 3.24 อุณหภูมิ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนมกราคม 2554

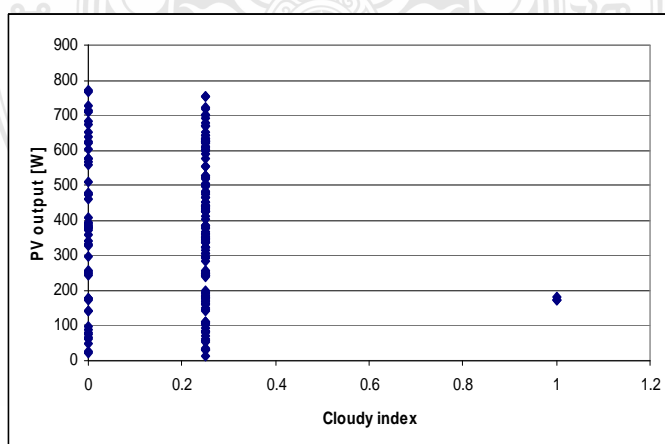


ภาพที่ 3.25 อุณหภูมิ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนเมษายน 2554

จากภาพที่ 3.24 และ 3.25 พบว่าในเดือนมกราคมซึ่งเป็นฤดูหนาวอากาศมีอุณหภูมิต่ำ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้อยมาก ส่วนในเดือนเมษายนซึ่งเป็นฤดูร้อนอากาศมีอุณหภูมิสูง กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่มากขึ้น ซึ่งดูเหมือนขัดกับคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่ามากขึ้นอุณหภูมิอากาศก็มีค่ามากขึ้นไปด้วยและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ก็มากขึ้นตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มากกว่าอุณหภูมิ ดังนั้นการนำค่าอุณหภูมิไปใช้เป็นตัวชี้วัดของโครงข่ายประสาทเทียมจึงอาจจะไม่เหมาะสม



ภาพที่ 3.26 ดัชนีสภาพท้องฟ้า กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนมกราคม 2554

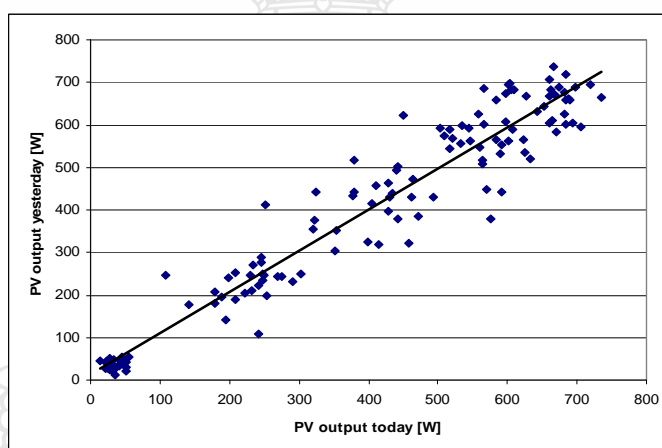


ภาพที่ 3.27 ดัชนีสภาพท้องฟ้า กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนเมษายน 2554

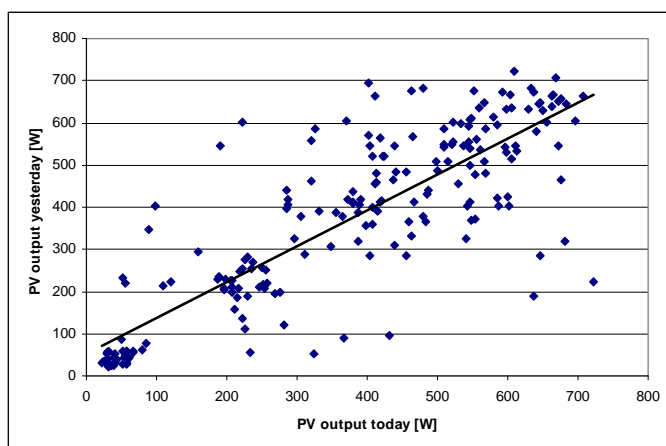
จากภาพที่ 3.26 และ 3.27 พบว่าดัชนีสภาพท้องฟ้าซึ่งเป็นตัวชี้วัดสภาพเมฆไม่มีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากการบอกสภาพท้องฟ้าเป็นข้อมูลที่ค่อนข้างหายากและเป็นการพยากรณ์ในพื้นที่กว้างซึ่งเห็นการยากที่จะให้ความละเอียดและแม่นยำลงไปยังพื้นที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นดัชนีสภาพท้องฟ้าจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม

3.4.3 ความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันก่อนพยากรณ์ กับ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันที่พยากรณ์

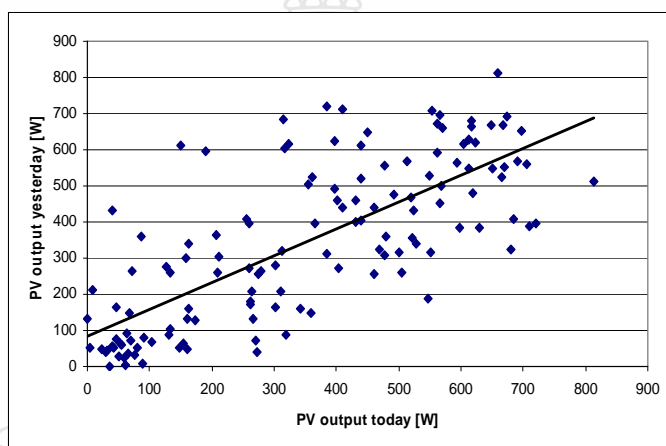
การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลนี้อยู่บนสมมติฐานที่ว่าสภาพอากาศของวันนี้จะคล้ายกับสภาพอากาศของเมื่อวานที่เวลาเดียวกัน ซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้งสองวันมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งผลลัพธ์ดังภาพที่ 3.28 ถึง 3.38



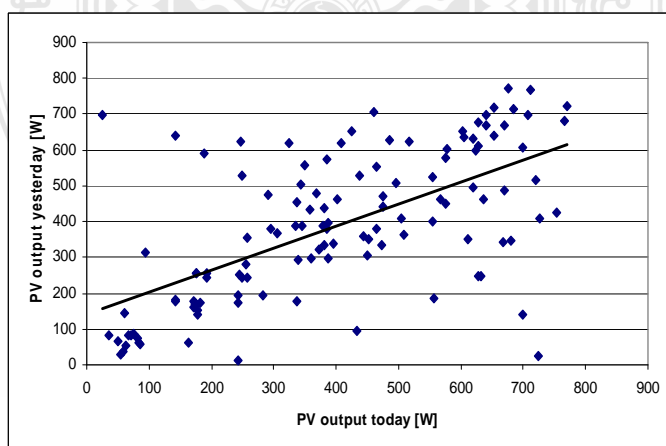
ภาพที่ 3.28 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนมกราคม 2554



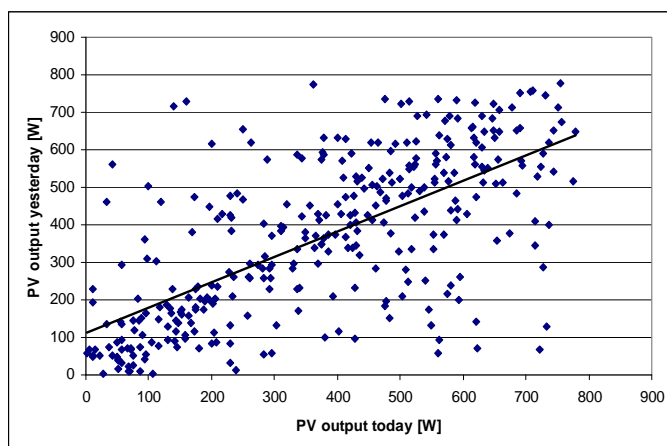
ภาพที่ 3.29 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนกุมภาพันธ์ 2554



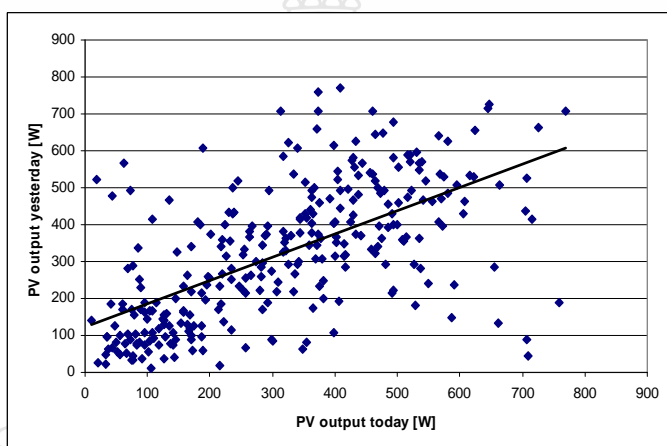
ภาพที่ 3.30 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนมีนาคม 2554



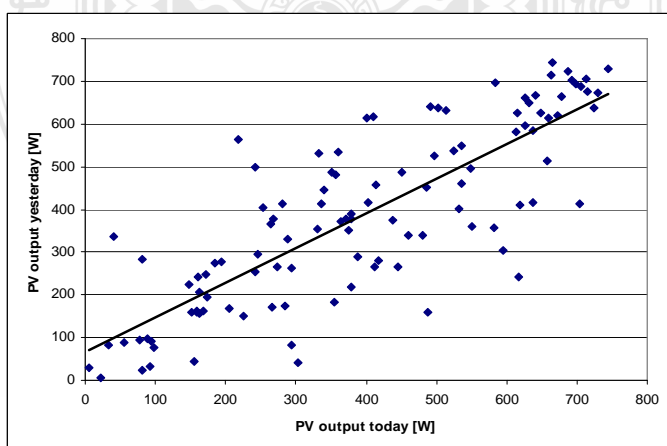
ภาพที่ 3.31 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนเมษายน 2554



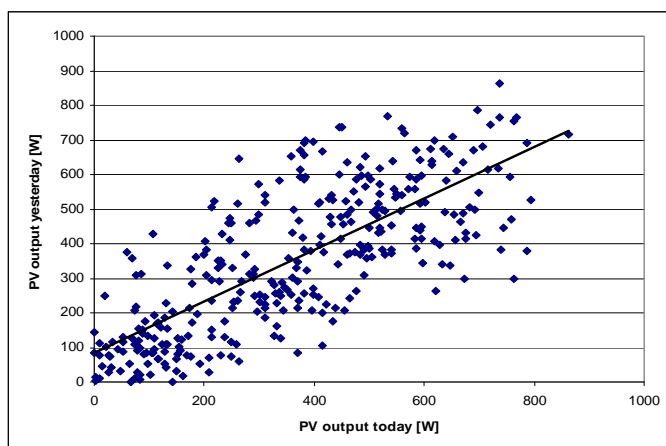
ภาพที่ 3.32 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนพฤษภาคม 2554



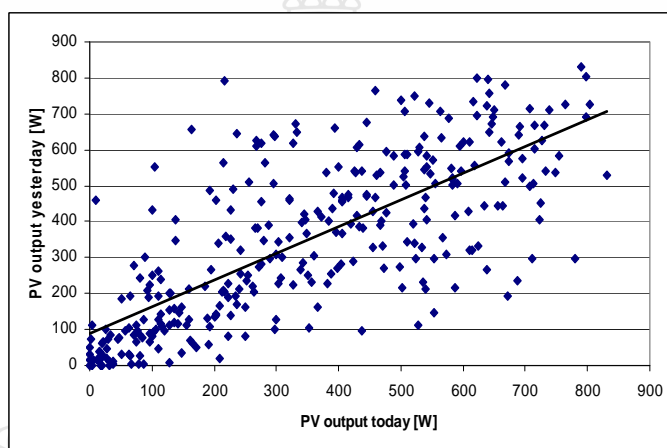
ภาพที่ 3.33 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนมิถุนายน 2554



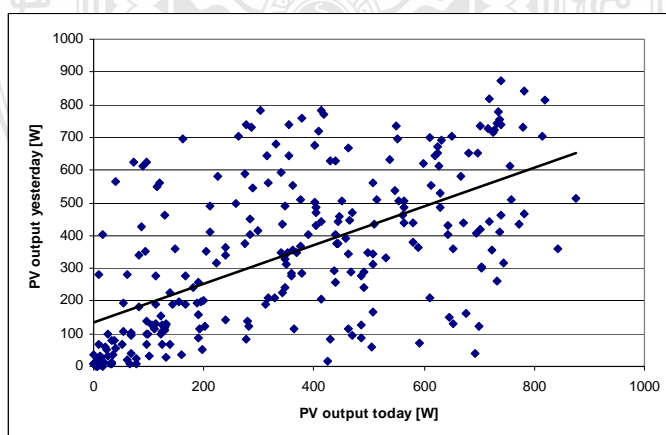
ภาพที่ 3.34 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนกรกฎาคม 2554



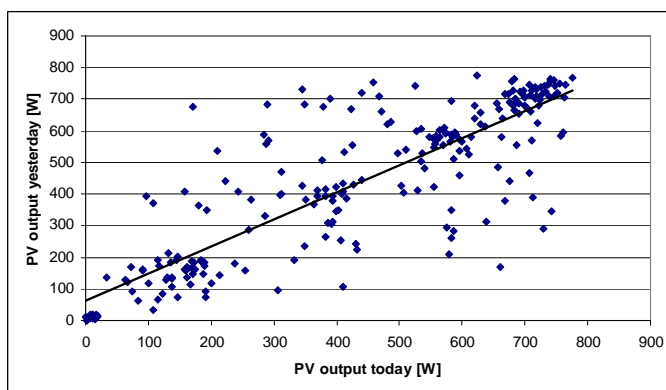
ภาพที่ 3.35 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนสิงหาคม 2554



ภาพที่ 3.36 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนกันยายน 2554



ภาพที่ 3.37 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนตุลาคม 2554



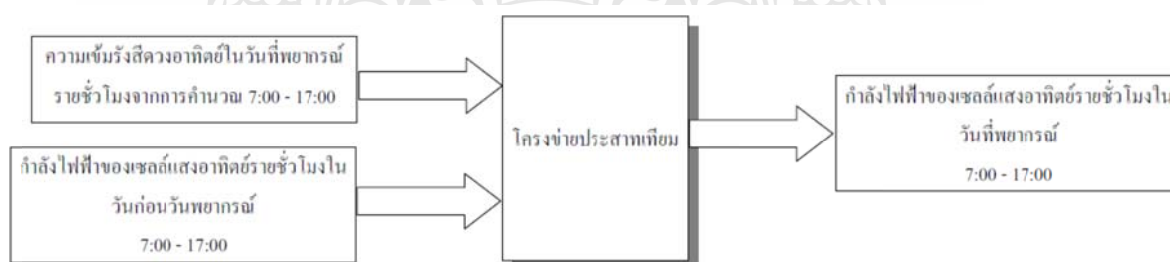
ภาพที่ 3.38 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันนี้ และ เมื่อวานนี้ของเดือนธันวาคม 2554

จากภาพที่ 3.28 ถึง 3.38 พบว่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ของวันนี้มีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันก่อนหน้า ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันก่อนหน้าวันที่จะพยากรณ์มาเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมได้

จากการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความเหมาะสมในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์คือ

- 1) ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมงที่ได้จากการคำนวณ
- 2) กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์รายชั่วโมงในวันก่อนหน้าวันที่จะพยากรณ์

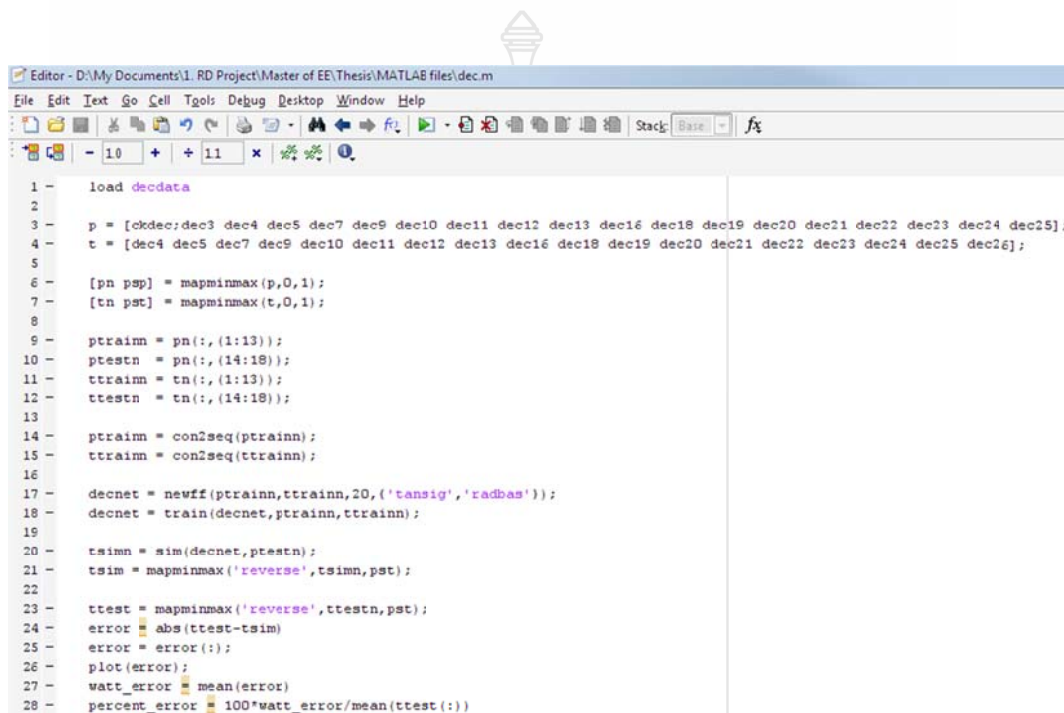
ซึ่งสามารถจัดรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมได้ตามภาพที่ 3.39 ดังนี้



ภาพที่ 3.39 อินพุตและเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัย

3.5 การสร้างและฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ Neural Network Toolbox ใน MATLAB ในการสร้างและฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งใช้การเขียนโปรแกรมดังภาพที่ 3.40 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับข้อมูลในเดือนธันวาคม



```

1 - load decdata
2
3 - p = [okdec;dec3 dec4 dec5 dec7 dec9 dec10 dec11 dec12 dec13 dec16 dec18 dec19 dec20 dec21 dec22 dec23 dec24 dec25];
4 - t = [dec4 dec5 dec7 dec9 dec10 dec11 dec12 dec13 dec16 dec18 dec19 dec20 dec21 dec22 dec23 dec24 dec25 dec26];
5
6 - [pn psp] = mapminmax(p,0,1);
7 - [tn pst] = mapminmax(t,0,1);
8
9 - ptrainn = pn(:,(1:13));
10 - ptestn = pn(:,(14:18));
11 - ttrainn = tn(:,(1:13));
12 - ttestn = tn(:,(14:18));
13
14 - ptrainn = con2seq(ptrainn);
15 - ttrainn = con2seq(ttrainn);
16
17 - decnet = newff(ptrainn,ttrainn,20,('tansig','radbas'));
18 - decnet = train(decnet,ptrainn,ttrainn);
19
20 - tsimn = sim(decnet,ptestn);
21 - tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
22
23 - ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
24 - error = abs(ttest-tsim);
25 - error = error(:);
26 - plot(error);
27 - watt_error = mean(error);
28 - percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))

```

ภาพที่ 3.40 ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้สร้าง ฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

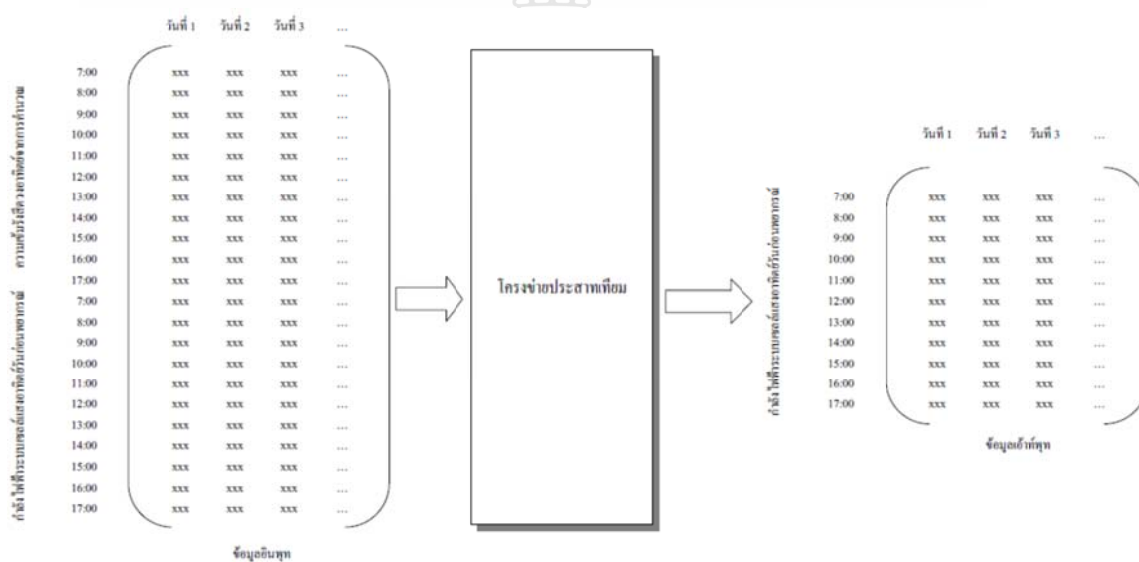
ซึ่งจากภาพที่ 3.36 สามารถอธิบายได้ดังนี้

- 1) บรรทัดที่ 1 เป็นการโหลดข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณ และค่ากำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้จัดเตรียมไว้ล่วงหน้าแล้ว
- 2) บรรทัดที่ 3-4 และ 9-15 เป็นการจัดเรียงข้อมูลซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ 3.4.1
- 3) บรรทัดที่ 6-7 เป็นการทำ Pre-Processing ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ 3.4.2
- 4) บรรทัดที่ 17-18 เป็นการสร้างและฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ 3.4.3
- 5) บรรทัดที่ 20-23 เป็นการคำนวณค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและการทำ Post-Processing

6) บรรทัดที่ 24-28 เป็นการคำนวณค่าความผิดพลาด ซึ่งคำนวณออกมาเป็นค่าเฉลี่ยในหน่วย Watt และ เปอร์เซ็นต์

3.5.1 การจัดเรียงข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม

จากภาพที่ 3.35 อินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วย 2 ข้อมูลคือ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่จะพยากรณ์จากการคำนวณและ กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในวันก่อนที่จะพยากรณ์ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ต้องจัดเรียงเป็นเมทริกซ์โดยให้ข้อมูลที่ใช่พยากรณ์ในวันเดียวกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน และในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจำเป็นต้องจัดข้อมูลเอาต์พุตสำหรับอินพุตหนึ่งๆ เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมจดจำค่าดังกล่าวการจัดเรียงข้อมูลเป็นไปตามภาพที่ 3.41 ดังนี้



ภาพที่ 3.41 การจัดเรียงข้อมูลอินพุตและ เอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม

จากภาพที่ 3.41 ข้อมูลอินพุตจะมี 22 ตัวและ เอาต์พุต 11 ตัว ข้อมูลที่รวบรวมมาได้ในแต่ละเดือนส่วนหนึ่งถูกนำมาฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียม และที่เหลืออีกส่วนหนึ่งไม่ถูกนำมาฝึกสอนแต่จะเก็บไว้ใช้ทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์ ซึ่งในที่นี้จะใช้ข้อมูล 5 วันสุดท้ายของแต่ละเดือนในการทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์

3.5.2 การทำ Pre-Processing และ Post-Processing ข้อมูล

เนื่องจาก Transfer function ของโครงข่ายประสาทเทียมโดยมากแล้วจะทำงานกับข้อมูลที่มีค่าไม่เกิน 1 ดังนั้นข้อมูลต่างๆ ที่นำมาใช้งานจะต้องมีการแปลงค่าให้อยู่ในช่วงดังกล่าว ซึ่งเรียกว่า

Pre-Processing และเช่นเดียวกันเอาที่พหุของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีค่าไม่เกิน 1 ดังนั้นจะต้องมีการแปลงค่ากลับซึ่งเรียกว่า Post-processing โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้การทำ Pre-processing และ Post-processing แบบ Min-Max กล่าวคือข้อมูลที่มีค่ามากที่สุดจะถูกแปลงให้มีค่าเท่ากับ 1 และข้อมูลที่มีค่าน้อยที่สุดจะถูกแปลงให้มีค่าเท่ากับ 0 ส่วนข้อมูลอื่นๆ ใช้สมการเชิงเส้นที่สร้างจากค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในการแปลงค่าดังสมการที่ 3.2

$$y = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3.2)$$

y	คือ ข้อมูลที่ทำการแปลงค่าแล้ว
x	คือ ข้อมูลที่ยังไม่ได้แปลงค่า
xmin	คือ ค่าต่ำที่สุดของข้อมูลที่ยังไม่ได้แปลงค่า
xmax	คือ ค่าสูงที่สุดของข้อมูลที่ยังไม่ได้แปลงค่า

และในการแปลงค่ากลับก็ใช้สมการที่ 3.1 เช่นกัน ซึ่งใน MATLAB ได้มีการเตรียมคำสั่งที่ใช้ในการแปลงค่าอยู่แล้วคือ “mapminmax” ซึ่งใช้งานดังนี้

$$[y,ps] = \text{mapminmax}(x,ymin,ymax)$$

y	คือ ข้อมูลที่ทำการแปลงแล้ว
ps	คือ ค่าที่ใช้ในการแปลงของโปรแกรมเก็บไว้ใช้ในการแปลงกลับ หรือแปลงค่าครั้งต่อไป
x	คือ ข้อมูลที่ยังไม่ได้แปลงค่า
ymin	คือ ค่าต่ำที่สุดของข้อมูลที่แปลงค่าแล้ว ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 0
ymax	คือ ค่าสูงที่สุดของข้อมูลที่แปลงค่าแล้ว ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 1

และในการแปลงค่ากลับหรือ Post-processing มีคำสั่งดังนี้

$$x = \text{mapminmax}('reverse',y,ps)$$

3.5.3 การสร้างและฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนข้อมูลไปข้างหน้าซึ่งสามารถสร้างและใช้ข้อมูลในการฝึกสอนได้ง่ายโดยข้อมูลอินพุตที่ใช้ก็เป็นข้อมูลกำลังไฟฟ้าของวันก่อนที่จะพยากรณ์ ซึ่งเป็นข้อมูลจริงในอดีตแทนที่จะเป็นข้อมูลพยากรณ์ในอดีตเหมือนในโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนข้อมูลย้อนกลับ คำสั่งที่ใช้สำหรับสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนข้อมูลไปข้างหน้าใน MATLAB เป็นดังนี้

```
net = newff(P,T,S,TF,BTF)
```

net	คือ ชื่อของโครงข่ายประสาทเทียม
P	คือ เมทริกซ์ที่เป็นอินพุต
T	คือ เมทริกซ์ที่เป็นเอาต์พุต
S	คือ จำนวนนิวรอนของแต่ละชั้นซ่อน
TF	คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงผลของการใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) แบบต่างๆ ต่อความแม่นยำในการพยากรณ์ด้วย ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป
BTF	คือ ฟังก์ชันในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ค่าตั้งต้นของ MATLAB คือ Trainlm

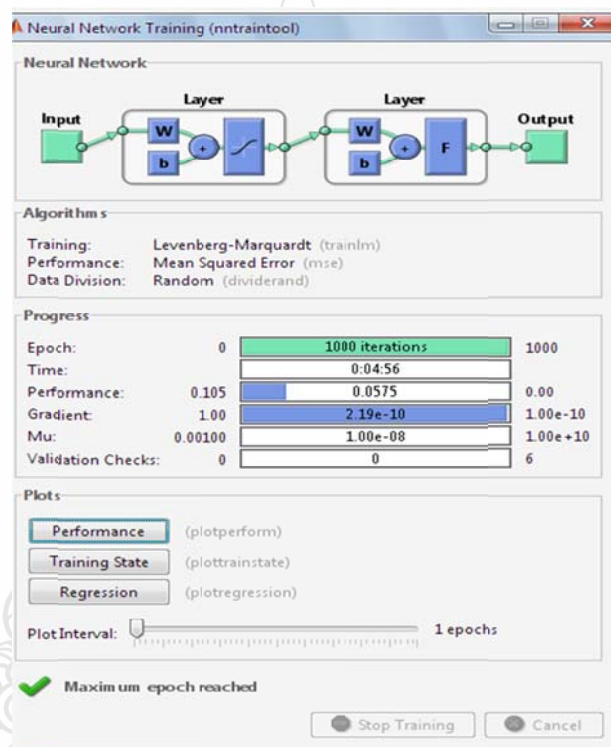
โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างในงานวิจัยนี้จะมี 1 ชั้นซ่อนและมีนิวรอน 20 ตัวในชั้นซ่อนและนิวรอน 11 ตัวในชั้นเอาต์พุตเมื่อสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแล้วจะมีตัวแปรที่เป็น Network ตามชื่อที่ตั้งไว้ปรากฏอยู่บน Work Space ของ MATLAB ขั้นตอนต่อไปคือการนำข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตมาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมคือการ ปรับค่า Weight และ Bias เพื่อให้มีเอาต์พุตตามที่ต้องการต่ออินพุตหนึ่งๆ ซึ่งคำสั่งที่ใช้ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมคือ

```
net = train(net,P,T)
```

net	คือ ชื่อ
P	คือ เมทริกซ์ที่เป็นอินพุต

T คือ เมทริกซ์ที่เป็นเอาต์พุต

เมื่อใช้คำสั่ง train MATLAB จะทำการปรับค่า Weight และ Bias ของโครงข่ายประสาทเทียมโดยอัลกอริทึมซึ่งการทำงานจะเป็นการวนรอบป้อนอินพุตและเอาต์พุตในงานวิจัยนี้ใช้จำนวนรอบเท่ากับ 1000 รอบตามค่าตั้งต้นของ MATLAB

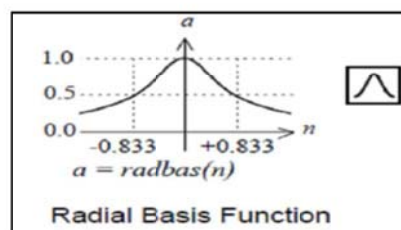
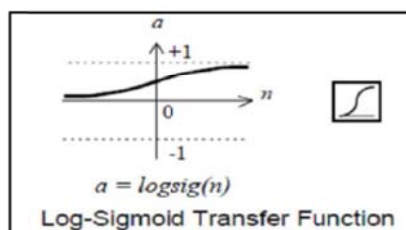
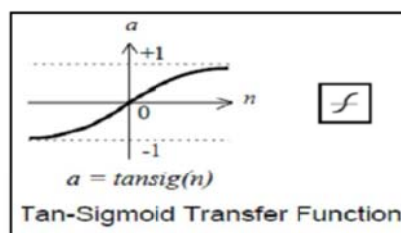
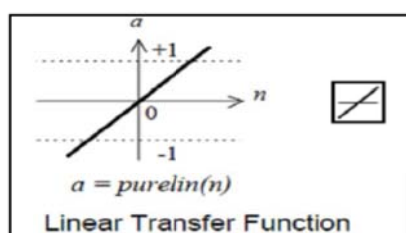


ภาพที่ 3.42 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมใน MATLAB

ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงผลของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ต่อความแม่นยำในการพยากรณ์ โดยได้ศึกษา ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ที่แตกต่างกัน 4 ชนิดคือ Pure Linear, Tan-sigmoid, Log-sigmoid และ Radial Basis รวมถึงการจัดวางในแต่ละชั้นของโครงข่ายซึ่งทำการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมที่แตกต่างกัน 15 แบบดังตารางที่ 3.3 โดยผลการทดลองทั้ง 15 รูปแบบนี้ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 4

ตารางที่ 3.3 โครงข่ายประสาทเทียมที่ทำการศึกษเปรียบเทียบทั้ง 15 แบบ

รูปแบบที่	ฟังก์ชันในชั้นซ่อน	ฟังก์ชันในชั้นเอาต์พุต
1	Pure linear	Tan-sigmoid
2	Pure linear	Log-sigmoid
3	Pure linear	Radial Basis
4	Tan-sigmoid	Pure linear
5	Tan-sigmoid	Tan-sigmoid
6	Tan-sigmoid	Log-sigmoid
7	Tan-sigmoid	Radial Basis
8	Log-sigmoid	Pure linear
9	Log-sigmoid	Tan-sigmoid
10	Log-sigmoid	Log-sigmoid
11	Log-sigmoid	Radial Basis
12	Radial Basis	Pure linear
13	Radial Basis	Tan-sigmoid
14	Radial Basis	Log-sigmoid
15	Radial Basis	Radial Basis



ภาพที่ 3.43 ฟังก์ชันถ่ายโอนทั้ง 4 แบบ ที่ใช้ทดลอง

3.6 การเขียนโปรแกรมการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ LABVIEW

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ LABVIEW ในการเขียนโปรแกรมพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่ง LABVIEW สามารถสร้างโปรแกรมที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกได้ โดยสะดวกซึ่งทำให้โปรแกรมการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถรับข้อมูลจากระบบบันทึกข้อมูลของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และส่งข้อมูลที่ประมวลผลได้ไปยังอุปกรณ์ควบคุมภายนอก ซึ่งรองรับหลักการของระบบสมาร์ทริดในอนาคตได้

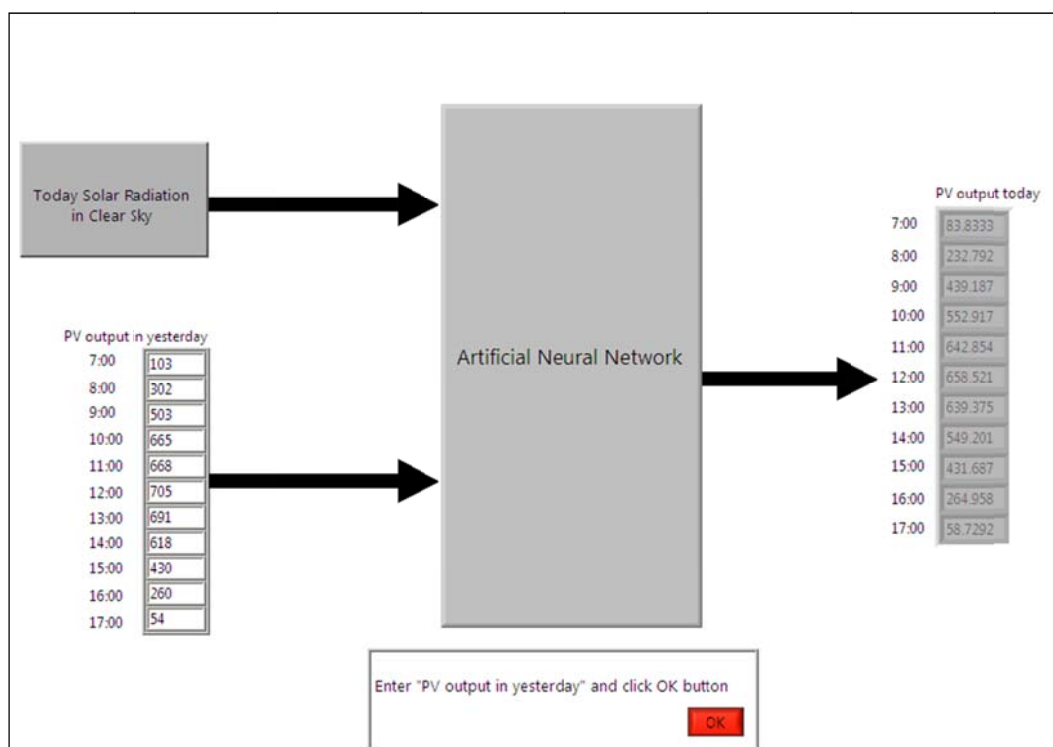
LABVIEW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างมาสำหรับใช้ในงานทางด้านการวัด และเครื่องมือวัด LABVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้น จุดประสงค์หลักของโปรแกรมก็คือการจัดการในด้านการวัด ซึ่งในโปรแกรมจะประกอบด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในด้านการวัดอย่างมากมาย อีกประการหนึ่งที่ LABVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอย่างเห็นได้ชัดคือ LABVIEW เป็นโปรแกรมแบบ Graphic User Interface (GUI) โดยสมบูรณ์กล่าวคือ ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเขียนชุดคำสั่งใดๆทั้งสิ้น โดยภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้อาจเรียกว่า ภาษารูปภาพ หรือ ภาษา G (Graphic Language) ซึ่งใช้รูปภาพแทนฟังก์ชันและลูกศรแทนทิศทางการไหลของข้อมูล ทำให้โปรแกรมสามารถใช้งานได้ง่าย และ ผู้ใช้งานสามารถลดเวลาในการพัฒนาโปรแกรมลงไปได้มาก

โปรแกรม LABVIEW มีองค์ประกอบหลักๆอยู่ 2 องค์ประกอบคือ

3.6.1 หน้าปัทม์หรือ Front Panel ซึ่งเป็นหน้าจอที่สื่อสารกับผู้ใช้งานโดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือวัด ซึ่งอาจจะมี สวิตซ์, ปุ่มกด, ลูกบิด, หน้าจอแสดงผล

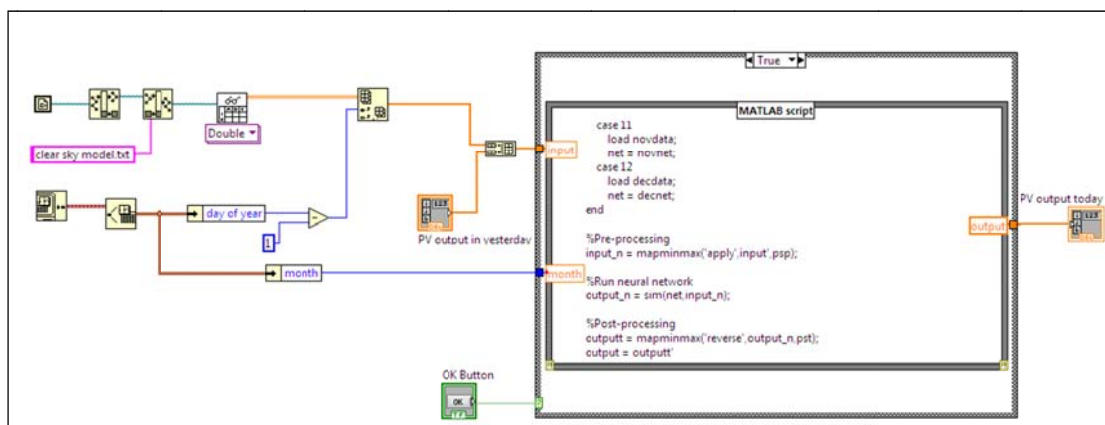
3.6.2 บล็อกไดอะแกรม ซึ่งเปรียบเสมือนกับ Source Code ของโปรแกรมที่อยู่ในภาษา G โดยเป็นส่วนควบคุมการทำงานของโปรแกรมโดยรับ Input และ ส่ง Output ไปยัง Front Panel

ส่วนหน้าปัทม์ของโปรแกรม ทำหน้าที่รับข้อมูลและแสดงผล ซึ่งเป็นการติดต่อโดยตรงกับ ผู้ใช้งานหรืออาจจะเรียกว่าเป็น Graphic User Interface (GUI) ดังภาพที่ 3.44 ซึ่งเป็นส่วนหน้าปัทม์ของโปรแกรมการพยากรณ์ในงานวิจัยนี้ซึ่งทำหน้าที่รับค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันก่อนวันพยากรณ์และ แสดงค่าการพยากรณ์ให้กับผู้ใช้งาน



ภาพที่ 3.44 ส่วนหน้าปัดของโปรแกรมการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ LABVIEW

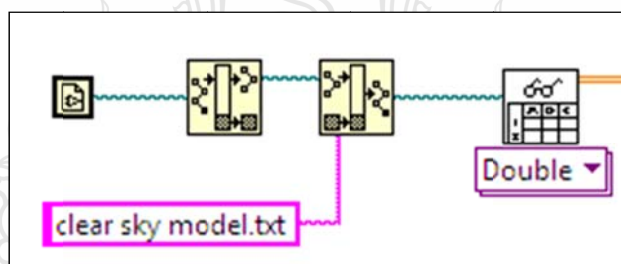
ส่วนบล็อกไดอะแกรม ทำหน้าที่ประมวลผลเปรียบเสมือน Source Code ในโปรแกรมที่เป็น Text Based บล็อกไดอะแกรมของ LABVIEW รับข้อมูลจากส่วนหน้าปัดและประมวลผลตามกระบวนการที่ออกแบบไว้ แล้วจึงแสดงผลกลับไปเป็นส่วนหน้าปัด การเขียนบล็อกไดอะแกรมใน LABVIEW สามารถทำได้โดยง่ายเนื่องจากใช้สัญลักษณ์ไม่ใช่ข้อความคำสั่งเหมือนในโปรแกรมแบบ Text Based ทั่วไปทั้งนี้ โครงสร้างในการเขียนโปรแกรมเป็นการเขียนตามการไหลของข้อมูล (Data Flow Programming) ซึ่งทำความเข้าใจได้ง่าย บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงในภาพที่ 3.45 ดังนี้



ภาพที่ 3.45 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ LABVIEW

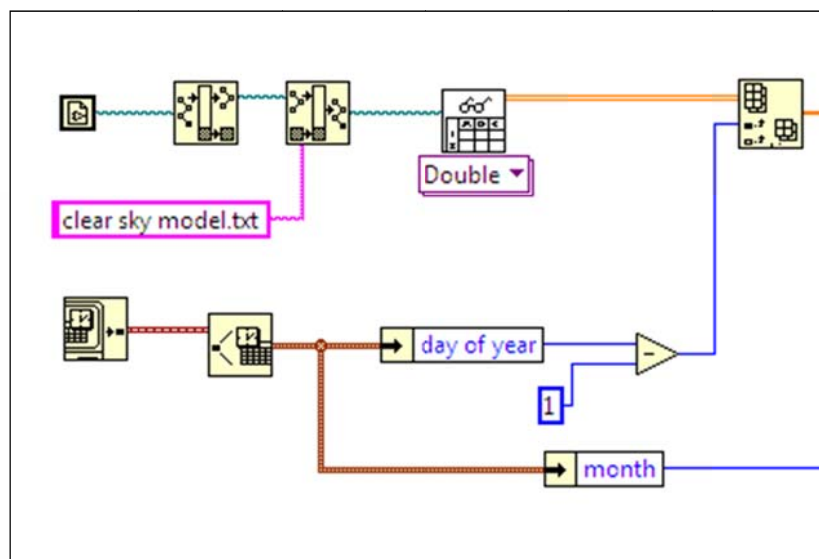
การทำงานของบล็อกไดอะแกรมอธิบายได้ดังนี้

- 1) การโหลดข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณ โดยการอ่านไฟล์ที่ชื่อ “clear sky model.txt” ซึ่งบันทึกไว้ใน Folder เดียวกับตัวโปรแกรมการพยากรณ์ฯ ดังภาพที่ 3.46



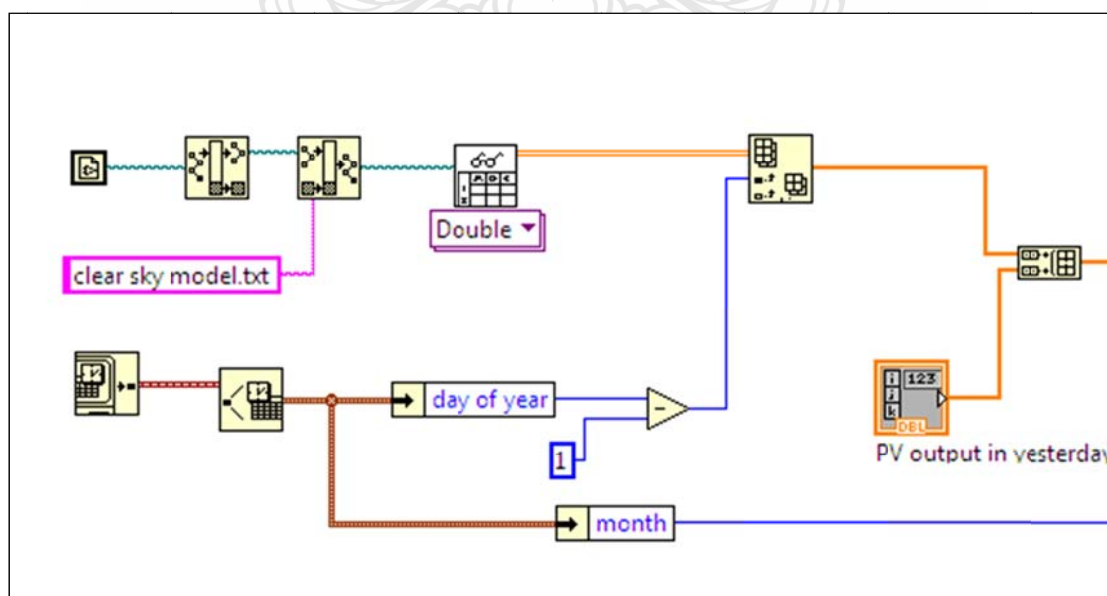
ภาพที่ 3.46 ส่วนโหลดข้อมูลการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

- 2) การเลือกข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณในวันที่พยากรณ์ โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบวันที่ปัจจุบันว่าเป็นวันที่เท่าไรของปีและเลือกข้อมูลจากไฟล์ “clear sky model.txt” ในวันที่ดังกล่าว นอกจากนี้ยังตรวจสอบเดือนปัจจุบันเพื่อเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมได้อย่างถูกต้อง ดังภาพที่ 3.47



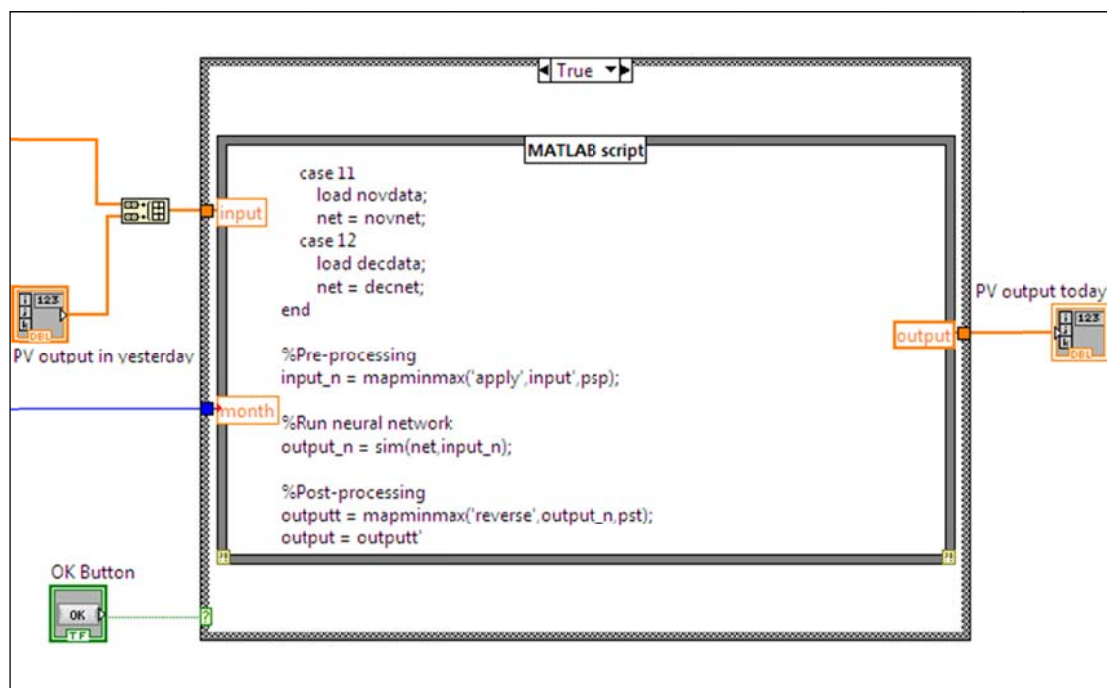
ภาพที่ 3.47 ส่วนการโหลดและเลือกข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณ

3) ส่วนรับข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในวันก่อนพยากรณ์และสร้างอินพุตให้โครงข่ายประสาทเทียม โดยรับข้อมูลที่ผู้ใช้งานป้อนเข้าแล้วนำมารวมกับค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณ เพื่อเป็นข้อมูลป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม



ภาพที่ 3.48 ข้อมูลป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม

4) ส่วนโครงข่ายประสาทเทียม ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือใน LABVIEW ที่ชื่อว่า MATLAB Script ซึ่งสามารถเรียกใช้งาน MATLAB เพื่อทำงานตาม Script ที่เขียนไว้ซึ่งเป็น code m file ของ MATLAB ซึ่งให้ทำงานเมื่อมีการกดปุ่ม OK ดังภาพที่ 3.49



ภาพที่ 3.49 โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างด้วย MATLAB Script ใน LABVIEW

3.7 สรุป

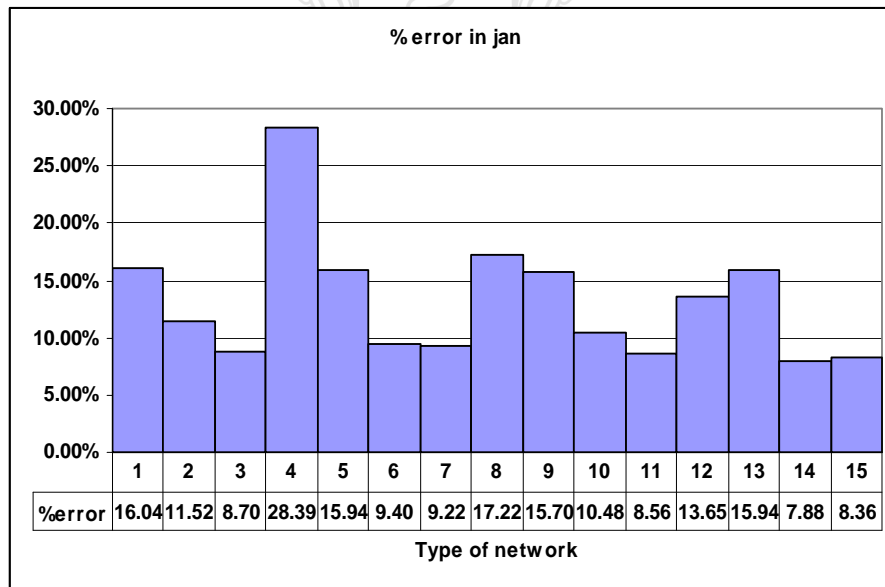
วิธีการดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และข้อมูลอื่น ๆ ที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลดังกล่าวเพื่อหาข้อมูลที่จะนำมาใช้เป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ ซึ่งพบว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณ และค่ากำลังไฟฟ้าของระบบฯ ในวันก่อนวันพยากรณ์มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าของระบบฯ ที่จะพยากรณ์ จึงได้นำข้อมูลสองชุดดังกล่าวสร้างและสอนโครงข่ายประสาทเทียมและแบ่งข้อมูลอีกส่วนมาทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ซึ่งผลการทดสอบดูได้จากบทที่ 4 และได้้นำโครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าวมาเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย LABVIEW เพื่อให้สามารถส่ง/รับข้อมูลกับอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบไฟฟ้าได้

บทที่ 4

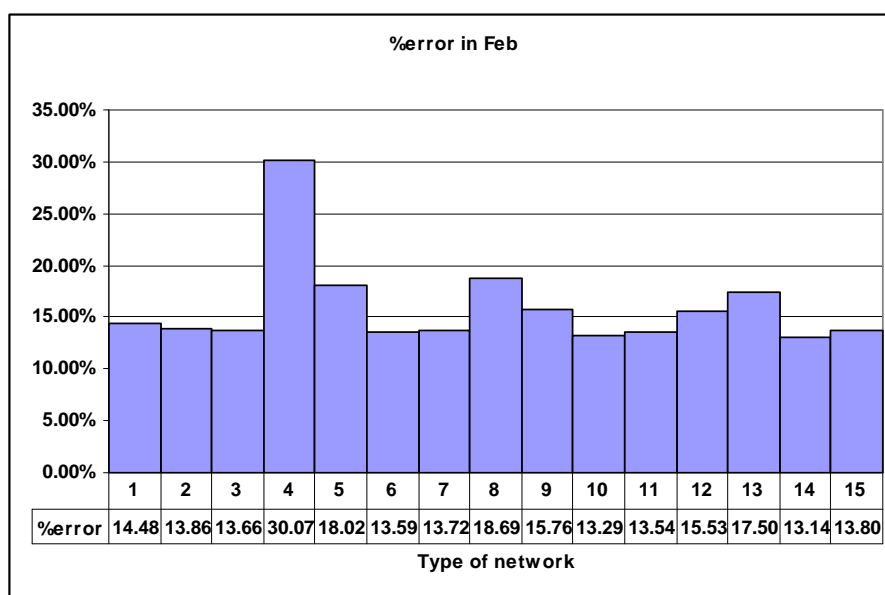
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

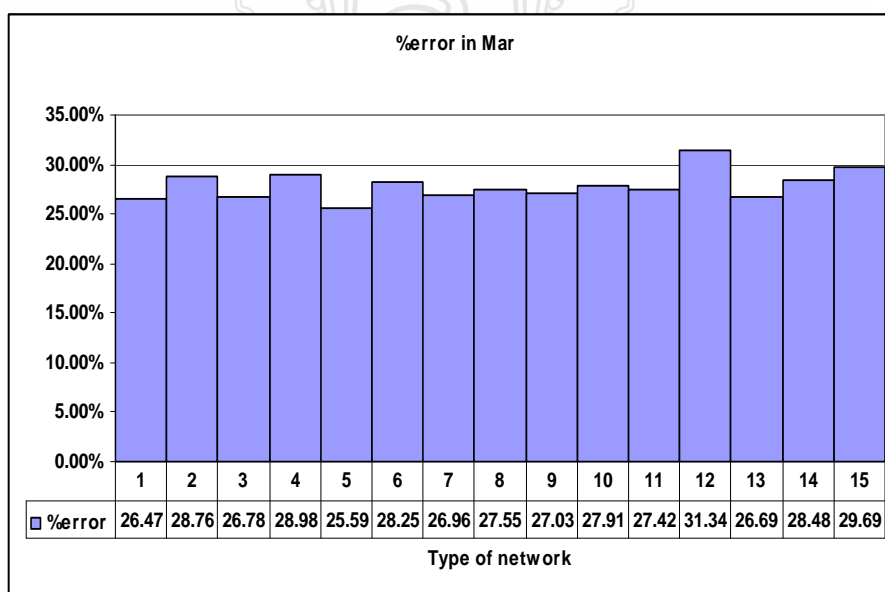
จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่จะนำมาใช้เป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมในบทที่ 3 พบว่า ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณในวันที่พยากรณ์ กับ ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในวันก่อนวันพยากรณ์ มีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นข้อมูลอินพุต โดยโครงข่ายประสาทเทียมนี้มี 1 ชั้นซ่อนซึ่งประกอบไปด้วยนิวรอน 20 ตัว และ ชั้นเอาต์พุตประกอบไปด้วยนิวรอน 11 ตัวเท่ากับจำนวนสมาชิกของเอาต์พุตส่วนฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ได้สร้างไว้แตกต่างกัน 15 แบบตามตารางที่ 3.3 เพื่อที่จะทดลองหารูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความแม่นยำสูงที่สุด โดยโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 15 แบบถูกสร้างทดลองด้วยข้อมูลในเดือน มกราคม-ธันวาคม 2554 ซึ่งผลการทดลองเป็นไปดังภาพที่ 4.1 ถึง 4.11 ดังนี้



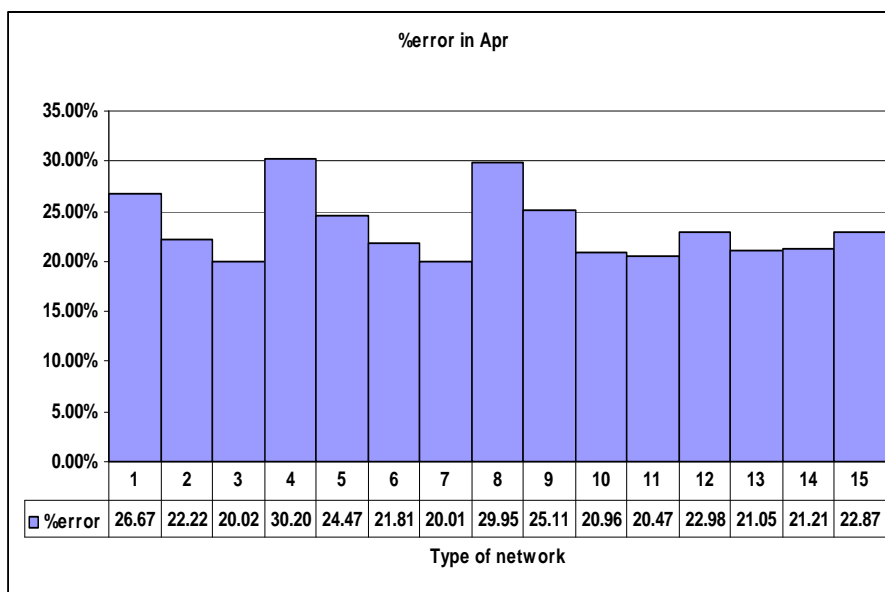
ภาพที่ 4.1 เปรอ์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนมกราคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ



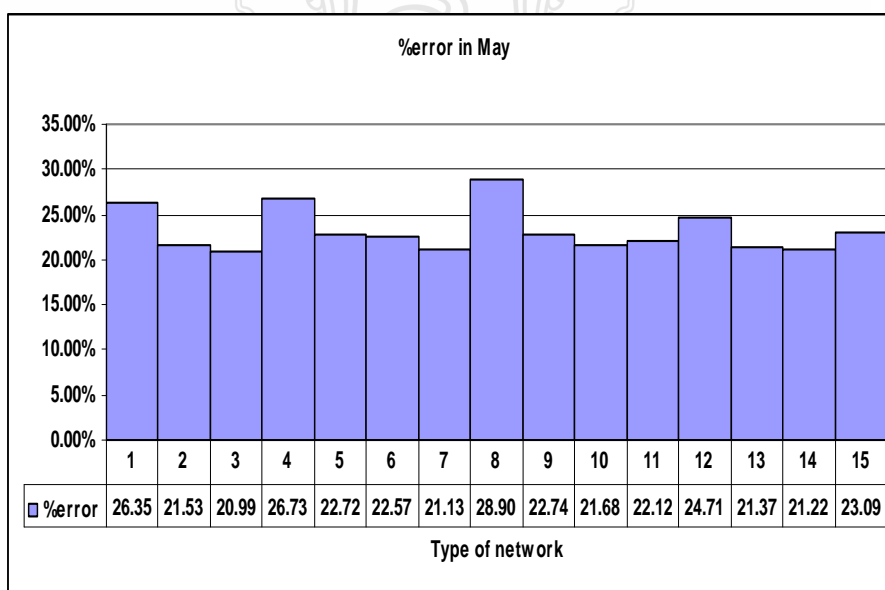
ภาพที่ 4.2 เปรอ์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนกุมภาพันธ์ 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ



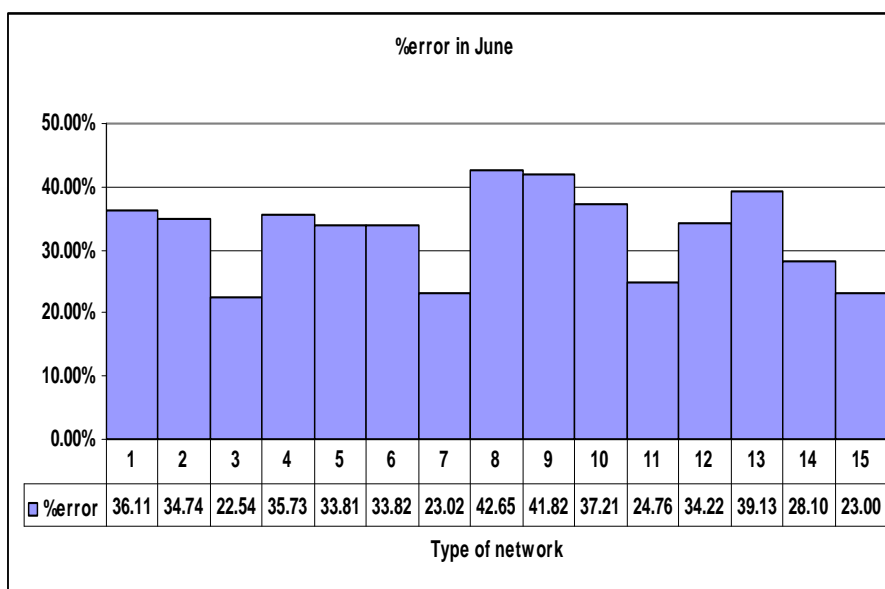
ภาพที่ 4.3 เปรอ์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนมีนาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ



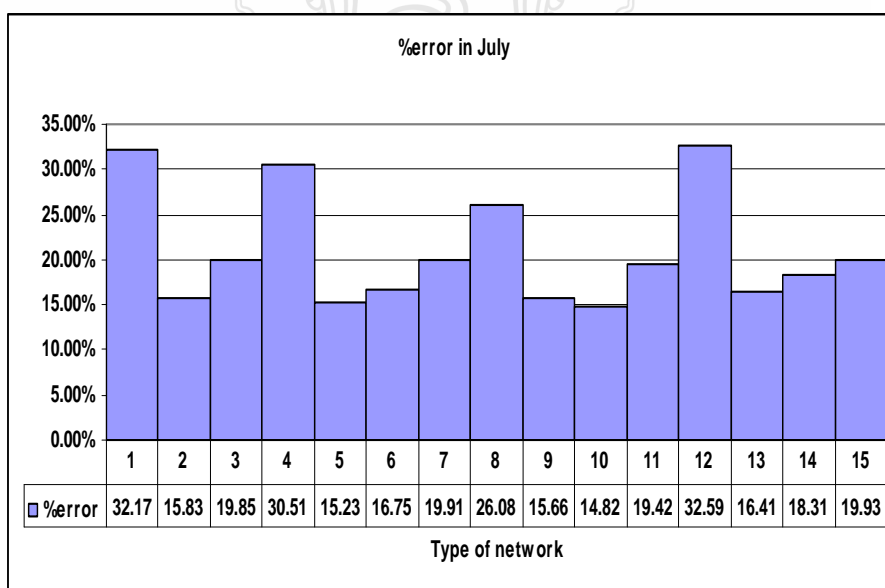
ภาพที่ 4.4 เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนเมษายน 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ



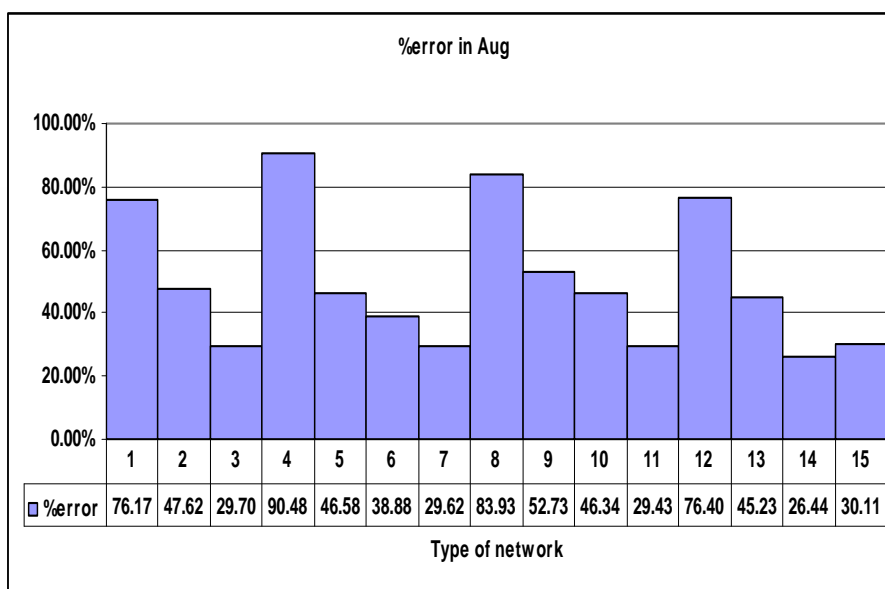
ภาพที่ 4.5 เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนพฤษภาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ



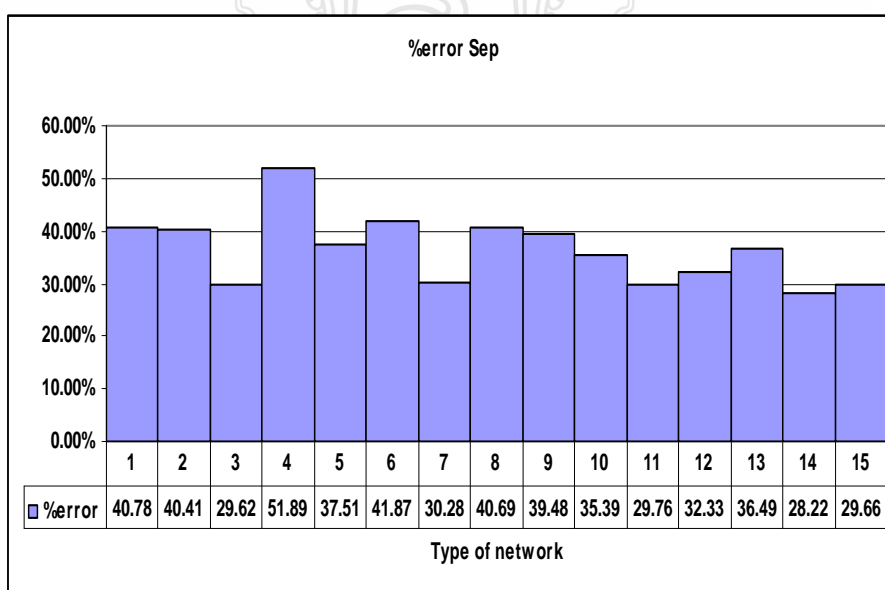
ภาพที่ 4.6 เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนมิถุนายน 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ



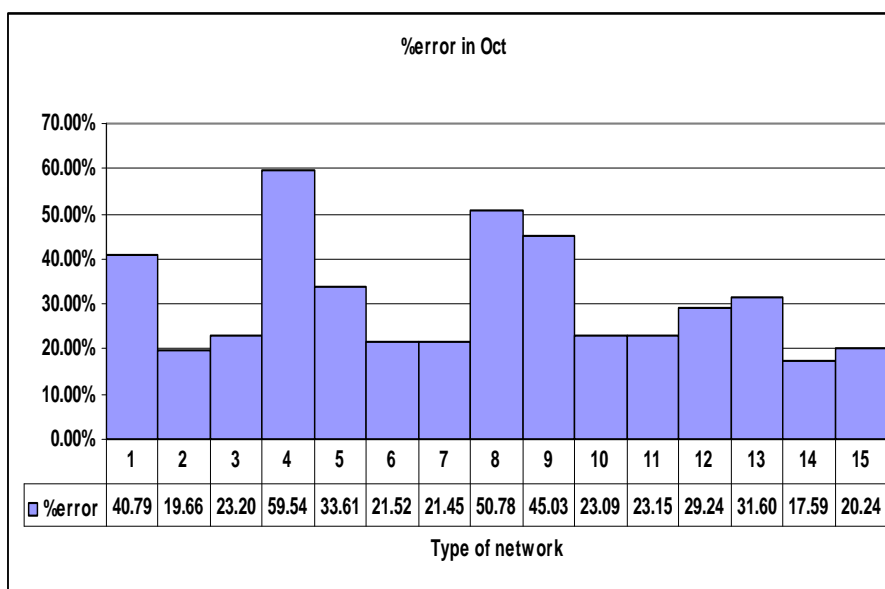
ภาพที่ 4.7 เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนกรกฎาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ



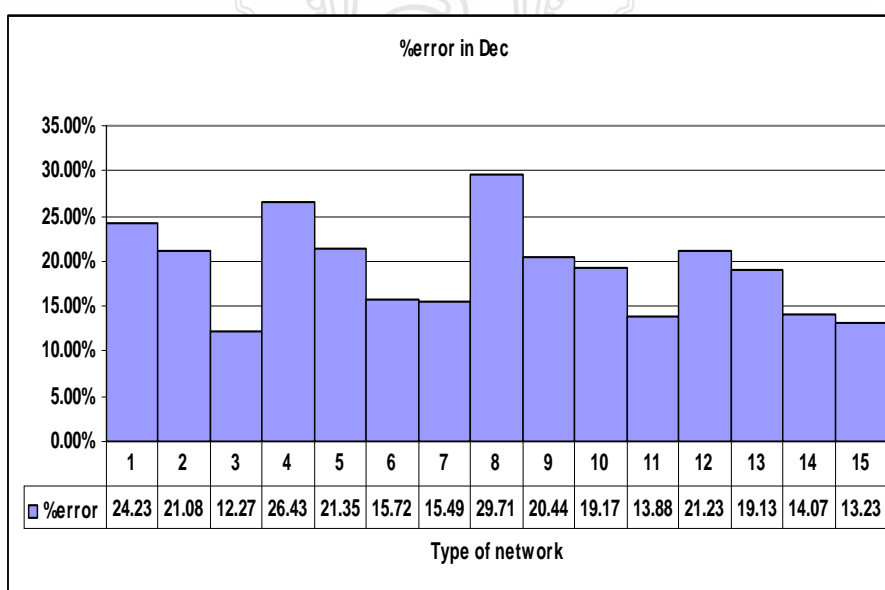
ภาพที่ 4.8 เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนสิงหาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ



ภาพที่ 4.9 เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนกันยายน 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ

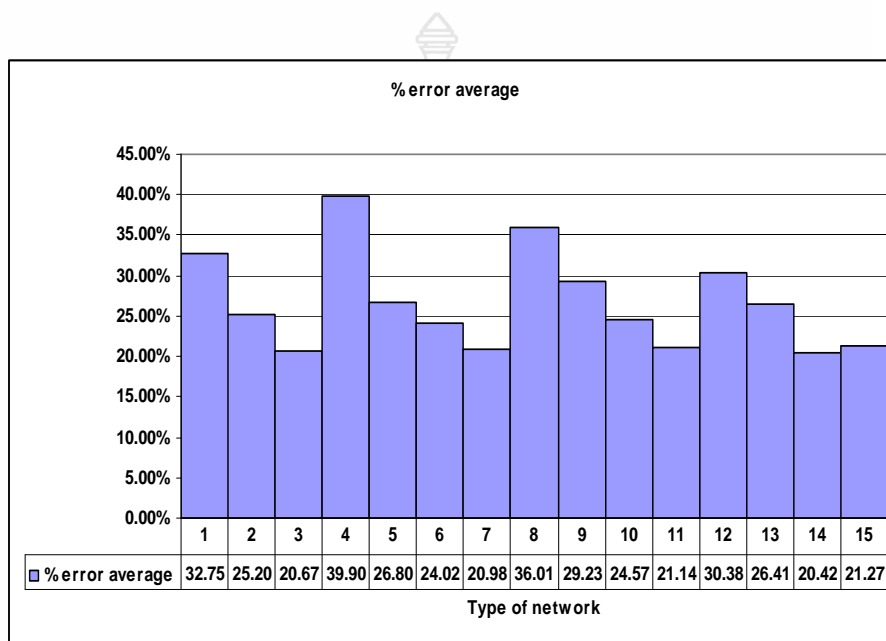


ภาพที่ 4.10 เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนตุลาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ



ภาพที่ 4.11 เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ในเดือนธันวาคม 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ

จากภาพที่ 4.1 ถึงภาพที่ 4.11 พบว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนแตกต่างกันส่งผลให้ความแม่นยำในการพยากรณ์แตกต่างกันด้วย โดยได้ทำการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของการพยากรณ์ทั้งปีโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนแตกต่างกันทั้ง 15 แบบซึ่งได้ผลดังภาพที่ 4.12 ดังนี้

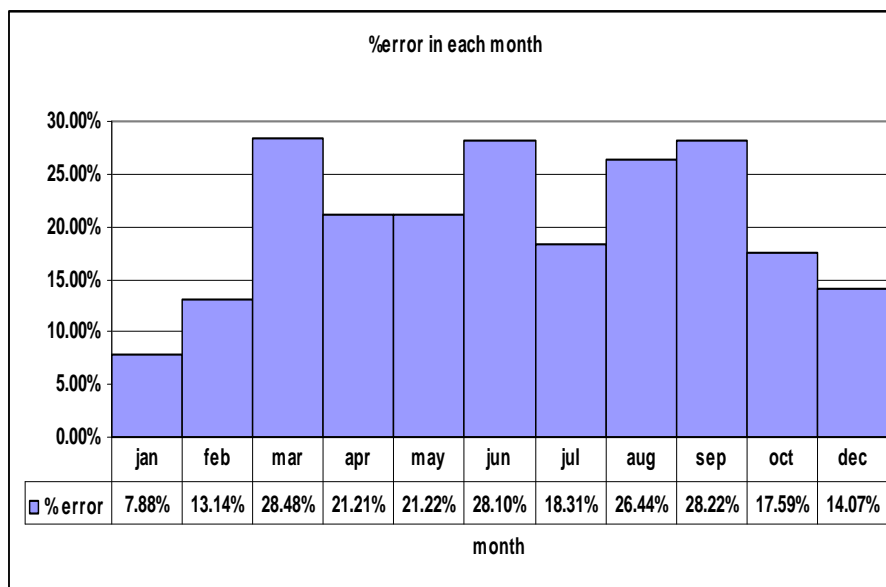


ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์เฉลี่ยทั้งปี 2554 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ

จากภาพที่ 4.12 พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุดคือโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 14 ที่ใช้ชั้นซ่อน Radial Basis Function และชั้นเอาต์พุต Log-Sigmoid Function ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 20.42% และยังมีข้อสังเกตเพิ่มเติมคือโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าความผิดพลาดสูงสามอันดับแรกคือโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 4 8 และ 1 มีจุดที่เหมือนกันคือใช้ Pure Linear Function ในชั้นเอาต์พุตส่วนโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าความผิดพลาดต่ำห้าอันดับแรกคือโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 14 3 7 11 15 ต่างใช้ Radial Basis Function ในโครงข่ายประสาทเทียมนั้นๆ

นอกจากความแตกต่างของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ทำให้ความแม่นยำในการพยากรณ์แตกต่างกันแล้วยังมีความแตกต่างกันของการพยากรณ์ในแต่ละเดือนถึงแม้จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 4.13 ซึ่งเป็นความผิดพลาดของการพยากรณ์ในแต่ละเดือนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุดคือใช้ชั้นซ่อน Radial Basis Function และชั้นเอาต์พุต

Log-Sigmoid Function พบว่าเดือนที่มีความผิดพลาดในการพยากรณ์น้อยที่สุดคือเดือนมกราคม 7.88% และเดือนที่มีความผิดพลาดในการพยากรณ์สูงที่สุดคือเดือนมีนาคม 28.48%



ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบความผิดพลาดของการพยากรณ์ในแต่ละเดือนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ชั้นซ่อน Radial Basis Function และชั้นเอาต์พุต Log-Sigmoid Function

4.2 สรุป

โครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุดคือโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ใช้ชั้นซ่อน Radial Basis Function และชั้นเอาต์พุต Log-Sigmoid Function ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 20.42% โดยเดือนที่มีความผิดพลาดในการพยากรณ์น้อยที่สุดคือเดือนมกราคม 7.88% และเดือนที่มีความผิดพลาดในการพยากรณ์สูงที่สุดคือเดือนมีนาคม 28.48% ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการพยากรณ์ที่มีความผิดพลาดต่ำกว่า 15% ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และธันวาคม จะเป็นช่วงฤดูหนาวที่สภาพท้องฟ้ามีลักษณะโปร่งมีเมฆน้อยทำให้กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณเป็นอย่างมาก ส่วนในเดือนที่มีค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์สูงกว่า 20% เกิดในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนซึ่งท้องฟ้ามักจะมีเมฆกระจายตัวเกิดพายุฤดูร้อนหรือพายุฝนซึ่งเป็นการยากที่จะพยากรณ์ถึงปริมาณเมฆ ณ จุดที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์จึงทำให้การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความผิดพลาดมากกว่าในฤดูหนาว

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลกระทบต่อคุณภาพระบบไฟฟ้าในกรณีใช้งานแบบเชื่อมต่อสายส่งและ การควบคุมจุดทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่ใช้งานในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบผสมผสานเพื่อช่วยให้ต้นทุนดำเนินการต่ำที่สุด (Minimize Operational Cost) หรือ ต้นทุนพลังงานต่ำที่สุด (Minimize Cost of Energy) ดังนั้นการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นทั้งในด้านการควบคุมคุณภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และ ช่วยลดต้นทุนในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบผสมผสาน

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมและทำการศึกษาคงกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งขนาด 1 kWp ซึ่งติดตั้งอยู่ ณ อาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นอกจากนี้ยังได้นำโครงข่ายประสาทเทียมไปเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น

ซึ่งผลการศึกษาและทดลองพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดคือโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ชั้นซ่อน Radial Basis Function และชั้นเอาต์พุต Log-Sigmoid Function ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งปีที่ร้อยละ 20.42

เดือนที่มีความผิดพลาดในการพยากรณ์น้อยที่สุดคือเดือนมกราคมร้อยละ 7.88 และเดือนที่มีความผิดพลาดในการพยากรณ์สูงที่สุดคือเดือนมีนาคมร้อยละ 28.48 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าการพยากรณ์มีความผิดพลาดต่ำกว่าร้อยละ 15 ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวที่สภาพท้องฟ้ามีลักษณะโปร่งมีเมฆน้อยทำให้กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากการคำนวณเป็นอย่างมาก ส่วนในเดือนที่มีความผิดพลาดในการพยากรณ์สูงกว่าร้อยละ 20 เกิดในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนซึ่งท้องฟ้ามักจะมีเมฆกระจายตัว เกิดพายุฤดูร้อนหรือพายุฝนซึ่งเป็นการยากที่จะพยากรณ์ถึงปริมาณเมฆ ณ จุดที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์จึงทำให้การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความผิดพลาดมากกว่าในฤดูหนาว

5.2 ข้อเสนอแนะ

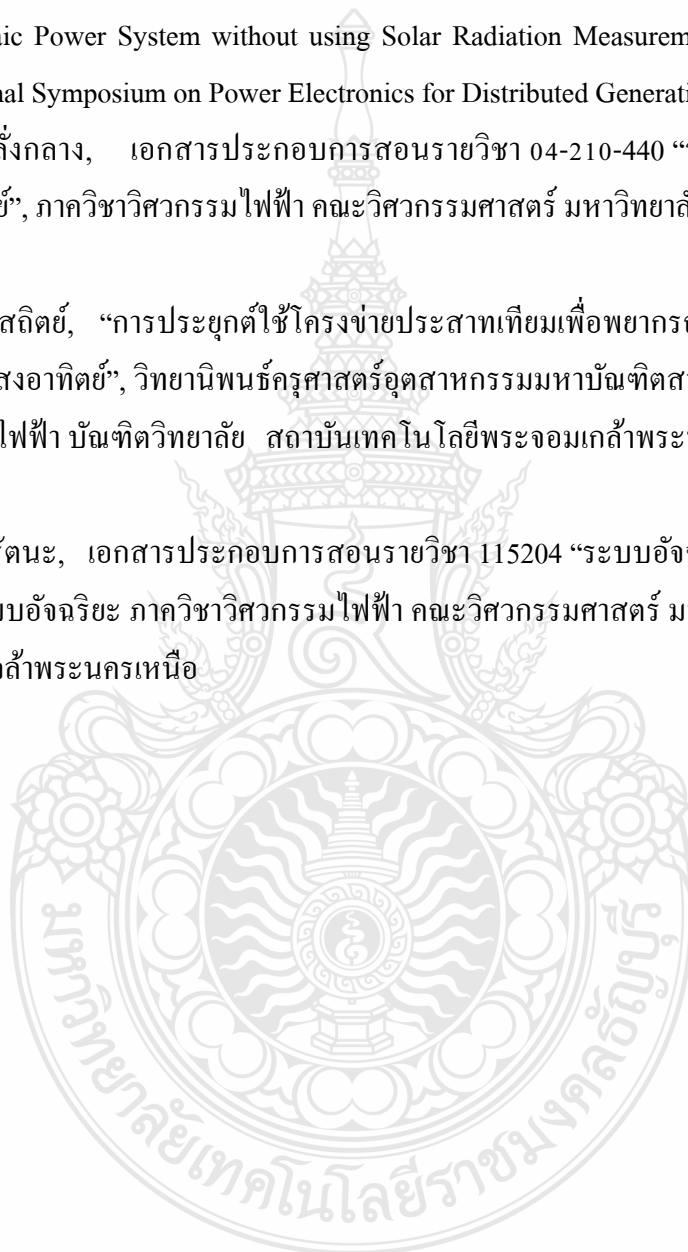
เนื่องจากระบบที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้มีขนาด 1 kWp ซึ่งใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่า 10 ตารางเมตรเมื่อทำงานในสภาพท้องฟ้าที่มีกลุ่มเมฆกระจายตัว จึงมีโอกาที่จะทำให้กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงในอัตราส่วนมากกว่าในระบบขนาดใหญ่ซึ่งติดตั้งบนพื้นที่หลายไร่ ดังนั้นการพยากรณ์ในระบบขนาดใหญ่จึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีความแม่นยำสูงกว่าการพยากรณ์ในระบบขนาดเล็ก จึงควรทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลดังกล่าวเพิ่มเติม



รายการอ้างอิง

- [1] J. Thongpron, U. Sangpanich, C. Limsakul, D. Chenvidya, K. Kirtikara and C. Jivacate, “Study of a PV – Grid Connected System on its Output Harmonics and Voltage Variation”, Asian J. Energy Environ. Vol. 5, Issue1, (2004), pp. 59-73
- [2] Minas Patsalides, Demetres Evagorou, George Makrides, “The Effect of Solar Irradiance on the Power Quality Behaviors of Grid Connected Photovoltaic Systems”, International Conference on Renewable Energy and Power Quality, March 2007
- [3] Achim Woyte, Vu Van Thong, “Voltage Fluctuations on Distribution Level Introduced by Photovoltaic Systems”, IEEE Transactions on energy conversion, Vol. 21, No. 1, march 2006
- [4] D. Chenvidhya, J. Thongpron, “A Thai national Demonstration Project on PV Grid-Interactive system: power quality observation”, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion May 11-18, 2003 Osaka. Japan
- [5] Sudipta Chakraborty and M. Godoy Simoes, “PV-Microgrid Operational Cost Minimization by Neural Forecasting and Heuristic Optimization”, Industry Application Society Annual Meeting, 2008
- [6] T.T. Ha Pham, F. Wurtz, S. Bacha, “Optimal operation of a PV based multi-source system and energy management for household application”, IEEE International Conference Industrial Technology, 2009
- [7] Christophe Paoli, Cyril Voyant, Marc Muselli, Marie-Laure Nivet, “Forecasting of preprocessed daily solar radiation time series using neural networks” , Solar Energy 84 (2010), 2146-2160
- [8] Yuehui HUANG, Jing LU, Chun LIU, Xiaoyan XU, “Comparative Study of Power Forecasting Methods for PV Stations”, 2010 International Conference on Power System Technology
- [9] Atsushi Yona, Tomonobu Senjyu, Ahmed Yousuf Saber, Toshihisa Funabashi, Hideomi Sekine, and Chul-Hwan Kim, “Application of Neural Network to 24-hour-Ahead Generating Power Forecasting for PV System”, Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in 21st Century, 2008

- [10] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ร่วมกับ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, “คู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้งานด้านพลังงานทดแทน”
- [11] Cai Tao, Duan Shanxu, and Chen Changsong, “Forecasting Power Output for Grid-connected Photovoltaic Power System without using Solar Radiation Measurement”, 2010 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems
- [12] บุญยัง ปลั่งกลาง, เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 04-210-440 “ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [13] ธวัช เกษสถิตย์, “การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์”, วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิตสาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2549
- [14] ณชล ไชยรัตนะ, เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 115204 “ระบบอัจฉริยะ”, ศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอัจฉริยะ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ที่ได้จากการคำนวณ
ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้



Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
1-Jan	1		147.71	413.50	667.41	863.81	982.75	1014.05	955.18	810.95	594.13	329.27	83.42
2-Jan	2		146.36	412.11	666.48	863.50	983.13	1015.12	956.88	813.17	596.70	331.90	85.02
3-Jan	3		145.06	410.78	665.61	863.26	983.58	1016.25	958.63	815.44	599.31	334.55	86.66
4-Jan	4		143.82	409.51	664.82	863.09	984.09	1017.45	960.44	817.75	601.95	337.23	88.33
5-Jan	5		142.62	408.31	664.09	863.00	984.68	1018.70	962.31	820.11	604.63	339.93	90.02
6-Jan	6		141.48	407.18	663.43	862.97	985.33	1020.02	964.22	822.51	607.33	342.65	91.74
7-Jan	7		140.39	406.11	662.85	863.01	986.04	1021.40	966.19	824.94	610.06	345.39	93.48
8-Jan	8		139.36	405.12	662.33	863.12	986.83	1022.83	968.20	827.41	612.82	348.15	95.25
9-Jan	9		138.38	404.19	661.89	863.30	987.67	1024.32	970.26	829.92	615.60	350.92	97.04
10-Jan	10		137.46	403.33	661.52	863.55	988.58	1025.87	972.37	832.46	618.40	353.71	98.85
11-Jan	11		136.59	402.55	661.22	863.87	989.56	1027.47	974.51	835.03	621.22	356.50	100.67
12-Jan	12		135.78	401.83	661.00	864.26	990.60	1029.12	976.70	837.62	624.06	359.30	102.52
13-Jan	13		135.03	401.19	660.85	864.72	991.69	1030.82	978.93	840.25	626.91	362.11	104.38
14-Jan	14		134.33	400.63	660.77	865.25	992.85	1032.58	981.19	842.89	629.76	364.92	106.26
15-Jan	15		133.69	400.13	660.76	865.84	994.07	1034.38	983.49	845.56	632.63	367.72	108.14
16-Jan	16		133.11	399.71	660.83	866.51	995.34	1036.22	985.82	848.24	635.50	370.53	110.04
17-Jan	17		132.58	399.37	660.97	867.23	996.67	1038.11	988.17	850.94	638.38	373.33	111.95
18-Jan	18		132.12	399.10	661.18	868.03	998.06	1040.04	990.56	853.65	641.25	376.12	113.86
19-Jan	19		131.71	398.90	661.47	868.89	999.50	1042.02	992.97	856.38	644.12	378.90	115.77
20-Jan	20		131.36	398.78	661.83	869.81	1000.99	1044.03	995.41	859.11	646.99	381.67	117.69
21-Jan	21		131.08	398.74	662.26	870.80	1002.53	1046.07	997.86	861.85	649.85	384.42	119.60
22-Jan	22		130.85	398.77	662.76	871.84	1004.12	1048.15	1000.34	864.59	652.70	387.16	121.52
23-Jan	23		130.68	398.87	663.34	872.95	1005.76	1050.27	1002.83	867.33	655.53	389.87	123.42
24-Jan	24		130.57	399.06	663.98	874.12	1007.45	1052.41	1005.33	870.07	658.35	392.56	125.33
25-Jan	25		130.53	399.31	664.70	875.35	1009.18	1054.58	1007.85	872.80	661.16	395.23	127.22
26-Jan	26		130.54	399.65	665.48	876.64	1010.95	1056.78	1010.37	875.53	663.94	397.87	129.10
27-Jan	27		130.62	400.06	666.33	877.98	1012.77	1059.00	1012.90	878.24	666.70	400.48	130.96
28-Jan	28		130.76	400.54	667.25	879.37	1014.62	1061.24	1015.44	880.95	669.43	403.06	132.81
29-Jan	29		130.96	401.10	668.24	880.82	1016.51	1063.51	1017.97	883.64	672.14	405.60	134.65
30-Jan	30		131.22	401.73	669.29	882.33	1018.43	1065.78	1020.51	886.31	674.81	408.10	136.46
31-Jan	31		131.54	402.43	670.41	883.88	1020.39	1068.08	1023.04	888.96	677.46	410.57	138.25

Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
1-Feb	32		131.92	403.21	671.59	885.48	1022.38	1070.38	1025.56	891.59	680.06	413.00	140.02
2-Feb	33		132.37	404.06	672.83	887.13	1024.39	1072.70	1028.08	894.19	682.63	415.38	141.76
3-Feb	34		132.88	404.98	674.14	888.82	1026.44	1075.02	1030.58	896.76	685.16	417.72	143.47
4-Feb	35		133.45	405.98	675.50	890.55	1028.50	1077.34	1033.07	899.31	687.64	420.01	145.15
5-Feb	36		134.08	407.04	676.93	892.33	1030.59	1079.67	1035.54	901.82	690.08	422.25	146.80
6-Feb	37		134.78	408.17	678.41	894.15	1032.70	1082.00	1038.00	904.29	692.47	424.44	148.42
7-Feb	38		135.53	409.37	679.94	896.00	1034.83	1084.33	1040.43	906.73	694.82	426.58	150.00
8-Feb	39		136.35	410.64	681.53	897.89	1036.97	1086.65	1042.83	909.13	697.11	428.66	151.54
9-Feb	40		137.23	411.97	683.17	899.82	1039.13	1088.96	1045.22	911.48	699.35	430.68	153.05
10-Feb	41		138.17	413.37	684.86	901.77	1041.30	1091.26	1047.57	913.79	701.53	432.65	154.52
11-Feb	42		139.18	414.82	686.60	903.76	1043.47	1093.55	1049.89	916.05	703.66	434.56	155.94
12-Feb	43		140.24	416.35	688.39	905.77	1045.65	1095.83	1052.17	918.27	705.72	436.40	157.32
13-Feb	44		141.36	417.93	690.22	907.81	1047.84	1098.09	1054.42	920.43	707.72	438.18	158.66
14-Feb	45		142.55	419.57	692.10	909.87	1050.02	1100.32	1056.63	922.54	709.67	439.90	159.95
15-Feb	46		143.79	421.26	694.01	911.95	1052.20	1102.54	1058.80	924.59	711.54	441.56	161.20
16-Feb	47		145.09	423.02	695.97	914.04	1054.38	1104.73	1060.92	926.58	713.35	443.15	162.40
17-Feb	48		146.45	424.82	697.96	916.16	1056.56	1106.89	1063.00	928.51	715.09	444.67	163.55
18-Feb	49		147.86	426.68	699.98	918.28	1058.72	1109.02	1065.03	930.39	716.77	446.12	164.66
19-Feb	50		149.33	428.59	702.04	920.42	1060.87	1111.12	1067.02	932.19	718.37	447.50	165.71
20-Feb	51		150.86	430.55	704.13	922.57	1063.01	1113.18	1068.94	933.94	719.90	448.81	166.71
21-Feb	52		152.44	432.55	706.25	924.72	1065.13	1115.21	1070.82	935.61	721.36	450.05	167.67
22-Feb	53		154.07	434.59	708.39	926.87	1067.24	1117.20	1072.64	937.22	722.74	451.22	168.57
23-Feb	54		155.76	436.68	710.55	929.02	1069.32	1119.15	1074.40	938.76	724.05	452.32	169.42
24-Feb	55		157.49	438.81	712.73	931.18	1071.37	1121.05	1076.10	940.23	725.28	453.35	170.22
25-Feb	56		159.28	440.97	714.93	933.33	1073.41	1122.91	1077.74	941.62	726.44	454.30	170.97
26-Feb	57		161.11	443.17	717.15	935.47	1075.41	1124.72	1079.31	942.94	727.51	455.19	171.67
27-Feb	58		162.99	445.41	719.38	937.60	1077.38	1126.47	1080.82	944.19	728.52	456.00	172.32
28-Feb	59		164.92	447.67	721.62	939.72	1079.32	1128.18	1082.26	945.36	729.44	456.73	172.91
1-Mar	60		166.89	449.96	723.86	941.83	1081.22	1129.83	1083.64	946.45	730.28	457.40	173.46
2-Mar	61		168.90	452.28	726.12	943.91	1083.09	1131.43	1084.94	947.47	731.04	457.99	173.95
3-Mar	62		170.94	454.61	728.37	945.98	1084.91	1132.97	1086.18	948.41	731.73	458.51	174.40

Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
4-Mar	63		173.03	456.97	730.62	948.03	1086.69	1134.45	1087.34	949.27	732.34	458.96	174.80
5-Mar	64		175.15	459.35	732.87	950.05	1088.43	1135.87	1088.43	950.05	732.86	459.34	175.14
6-Mar	65		177.31	461.74	735.12	952.05	1090.12	1137.22	1089.44	950.75	733.31	459.65	175.44
7-Mar	66		179.50	464.15	737.36	954.02	1091.76	1138.51	1090.38	951.36	733.68	459.89	175.70
8-Mar	67		181.72	466.56	739.58	955.95	1093.36	1139.74	1091.24	951.90	733.97	460.06	175.90
9-Mar	68		183.96	468.99	741.79	957.85	1094.90	1140.90	1092.03	952.36	734.18	460.16	176.06
10-Mar	69		186.23	471.41	743.99	959.72	1096.38	1141.99	1092.74	952.74	734.32	460.20	176.18
11-Mar	70		188.53	473.84	746.17	961.54	1097.81	1143.01	1093.37	953.03	734.38	460.17	176.26
12-Mar	71		190.84	476.27	748.33	963.33	1099.18	1143.96	1093.92	953.25	734.36	460.08	176.29
13-Mar	72		193.18	478.70	750.46	965.07	1100.50	1144.84	1094.40	953.39	734.27	459.92	176.28
14-Mar	73		195.52	481.12	752.57	966.77	1101.75	1145.64	1094.79	953.44	734.10	459.71	176.23
15-Mar	74		197.89	483.53	754.65	968.42	1102.94	1146.38	1095.11	953.42	733.87	459.43	176.15
16-Mar	75		200.26	485.93	756.70	970.03	1104.07	1147.04	1095.35	953.32	733.56	459.10	176.03
17-Mar	76		202.64	488.31	758.71	971.58	1105.13	1147.62	1095.50	953.14	733.18	458.70	175.87
18-Mar	77		205.03	490.68	760.69	973.08	1106.12	1148.13	1095.58	952.89	732.73	458.26	175.68
19-Mar	78		207.42	493.03	762.63	974.52	1107.05	1148.56	1095.58	952.56	732.21	457.76	175.46
20-Mar	79		209.82	495.36	764.54	975.91	1107.91	1148.92	1095.51	952.15	731.63	457.20	175.21
21-Mar	80		212.21	497.66	766.40	977.25	1108.71	1149.21	1095.35	951.67	730.98	456.60	174.93
22-Mar	81		214.60	499.94	768.21	978.52	1109.43	1149.41	1095.12	951.12	730.27	455.95	174.63
23-Mar	82		216.98	502.19	769.98	979.73	1110.08	1149.54	1094.81	950.50	729.50	455.26	174.29
24-Mar	83		219.35	504.41	771.71	980.89	1110.66	1149.60	1094.43	949.81	728.67	454.52	173.94
25-Mar	84		221.71	506.59	773.38	981.98	1111.17	1149.58	1093.97	949.04	727.78	453.74	173.56
26-Mar	85		224.06	508.74	775.00	983.00	1111.61	1149.48	1093.44	948.22	726.84	452.92	173.16
27-Mar	86		226.39	510.85	776.57	983.96	1111.97	1149.31	1092.84	947.32	725.85	452.06	172.75
28-Mar	87		228.70	512.92	778.08	984.86	1112.26	1149.06	1092.16	946.37	724.80	451.17	172.31
29-Mar	88		230.99	514.95	779.54	985.69	1112.48	1148.74	1091.41	945.35	723.70	450.24	171.86
30-Mar	89		233.26	516.93	780.94	986.45	1112.63	1148.35	1090.60	944.27	722.56	449.29	171.40
31-Mar	90		235.50	518.87	782.28	987.14	1112.71	1147.89	1089.72	943.14	721.38	448.30	170.93
1-Apr	91		237.71	520.76	783.56	987.76	1112.71	1147.35	1088.77	941.94	720.15	447.29	170.44
2-Apr	92		239.90	522.61	784.78	988.32	1112.64	1146.75	1087.76	940.70	718.88	446.26	169.95
3-Apr	93		242.05	524.40	785.93	988.81	1112.50	1146.07	1086.69	939.40	717.57	445.20	169.45

Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
4-Apr	94		244.17	526.13	787.03	989.22	1112.29	1145.33	1085.55	938.06	716.23	444.12	168.95
5-Apr	95		246.25	527.82	788.06	989.57	1112.00	1144.52	1084.36	936.66	714.86	443.03	168.44
6-Apr	96		248.30	529.44	789.02	989.85	1111.65	1143.64	1083.11	935.23	713.45	441.92	167.93
7-Apr	97		250.30	531.01	789.92	990.06	1111.23	1142.70	1081.81	933.75	712.02	440.80	167.43
8-Apr	98		252.26	532.53	790.75	990.20	1110.74	1141.70	1080.45	932.22	710.56	439.67	166.92
9-Apr	99		254.18	533.98	791.52	990.27	1110.19	1140.64	1079.04	930.67	709.08	438.53	166.41
10-Apr	100		256.06	535.37	792.21	990.27	1109.56	1139.52	1077.58	929.07	707.57	437.38	165.91
11-Apr	101		257.89	536.70	792.85	990.20	1108.88	1138.34	1076.08	927.44	706.05	436.23	165.42
12-Apr	102		259.67	537.97	793.41	990.07	1108.13	1137.10	1074.53	925.79	704.52	435.07	164.93
13-Apr	103		261.40	539.18	793.91	989.87	1107.31	1135.82	1072.94	924.10	702.97	433.92	164.45
14-Apr	104		263.08	540.32	794.34	989.60	1106.44	1134.47	1071.31	922.39	701.40	432.77	163.98
15-Apr	105		264.70	541.40	794.70	989.27	1105.51	1133.08	1069.64	920.65	699.83	431.63	163.52
16-Apr	106		266.28	542.42	795.00	988.87	1104.52	1131.65	1067.94	918.89	698.26	430.49	163.07
17-Apr	107		267.80	543.37	795.22	988.41	1103.47	1130.16	1066.21	917.12	696.68	429.36	162.64
18-Apr	108		269.27	544.26	795.39	987.89	1102.37	1128.64	1064.44	915.33	695.09	428.23	162.22
19-Apr	109		270.68	545.08	795.49	987.31	1101.22	1127.07	1062.65	913.52	693.51	427.12	161.81
20-Apr	110		272.03	545.83	795.52	986.66	1100.01	1125.46	1060.83	911.71	691.93	426.03	161.42
21-Apr	111		273.33	546.52	795.49	985.96	1098.76	1123.81	1058.99	909.89	690.36	424.95	161.05
22-Apr	112		274.57	547.15	795.39	985.20	1097.46	1122.14	1057.12	908.06	688.80	423.88	160.70
23-Apr	113		275.75	547.71	795.24	984.39	1096.11	1120.42	1055.24	906.22	687.24	422.84	160.36
24-Apr	114		276.87	548.21	795.02	983.52	1094.72	1118.68	1053.35	904.39	685.69	421.82	160.05
25-Apr	115		277.93	548.64	794.74	982.60	1093.29	1116.91	1051.44	902.56	684.16	420.81	159.76
26-Apr	116		278.94	549.01	794.40	981.63	1091.82	1115.12	1049.52	900.73	682.64	419.83	159.48
27-Apr	117		279.88	549.31	794.00	980.61	1090.31	1113.30	1047.59	898.90	681.15	418.88	159.23
28-Apr	118		280.77	549.55	793.55	979.54	1088.77	1111.46	1045.65	897.08	679.67	417.95	159.00
29-Apr	119		281.59	549.74	793.04	978.43	1087.20	1109.61	1043.72	895.28	678.21	417.05	158.80
30-Apr	120		282.36	549.86	792.48	977.27	1085.60	1107.74	1041.78	893.48	676.77	416.18	158.62
1-May	121		283.07	549.92	791.86	976.07	1083.97	1105.85	1039.84	891.71	675.36	415.33	158.46
2-May	122		283.72	549.92	791.19	974.84	1082.31	1103.96	1037.91	889.94	673.98	414.52	158.33
3-May	123		284.31	549.87	790.48	973.56	1080.63	1102.05	1035.98	888.20	672.62	413.74	158.22
4-May	124		284.84	549.75	789.71	972.25	1078.93	1100.14	1034.06	886.48	671.30	412.99	158.14

Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
5-May	125		285.32	549.58	788.90	970.91	1077.21	1098.23	1032.15	884.77	670.00	412.27	158.08
6-May	126		285.74	549.36	788.05	969.53	1075.47	1096.31	1030.25	883.10	668.74	411.59	158.05
7-May	127		286.10	549.09	787.15	968.13	1073.72	1094.40	1028.37	881.45	667.51	410.95	158.04
8-May	128		286.41	548.76	786.21	966.70	1071.96	1092.49	1026.51	879.83	666.31	410.34	158.06
9-May	129		286.66	548.38	785.23	965.24	1070.18	1090.58	1024.66	878.23	665.15	409.76	158.11
10-May	130		286.86	547.95	784.22	963.77	1068.41	1088.68	1022.84	876.67	664.03	409.23	158.18
11-May	131		287.00	547.48	783.17	962.27	1066.62	1086.80	1021.04	875.15	662.95	408.73	158.28
12-May	132		287.09	546.96	782.08	960.75	1064.84	1084.92	1019.26	873.65	661.91	408.27	158.40
13-May	133		287.13	546.39	780.97	959.22	1063.05	1083.06	1017.52	872.20	660.91	407.84	158.55
14-May	134		287.13	545.78	779.82	957.67	1061.26	1081.22	1015.80	870.78	659.95	407.46	158.73
15-May	135		287.07	545.13	778.65	956.11	1059.48	1079.39	1014.11	869.40	659.03	407.11	158.93
16-May	136		286.96	544.44	777.45	954.55	1057.71	1077.59	1012.45	868.06	658.15	406.81	159.16
17-May	137		286.81	543.72	776.23	952.97	1055.94	1075.81	1010.83	866.76	657.32	406.54	159.41
18-May	138		286.61	542.95	774.99	951.39	1054.19	1074.06	1009.25	865.51	656.53	406.31	159.69
19-May	139		286.37	542.16	773.73	949.81	1052.45	1072.33	1007.70	864.30	655.79	406.12	159.99
20-May	140		286.09	541.32	772.45	948.22	1050.72	1070.63	1006.19	863.13	655.10	405.97	160.32
21-May	141		285.76	540.46	771.15	946.64	1049.01	1068.96	1004.72	862.01	654.45	405.86	160.67
22-May	142		285.39	539.57	769.85	945.06	1047.32	1067.32	1003.30	860.94	653.84	405.79	161.05
23-May	143		284.99	538.65	768.53	943.49	1045.66	1065.72	1001.92	859.92	653.29	405.76	161.45
24-May	144		284.55	537.71	767.20	941.93	1044.01	1064.15	1000.58	858.94	652.78	405.77	161.87
25-May	145		284.07	536.74	765.87	940.37	1042.39	1062.62	999.29	858.02	652.32	405.82	162.31
26-May	146		283.55	535.75	764.53	938.83	1040.80	1061.13	998.04	857.14	651.90	405.90	162.78
27-May	147		283.01	534.74	763.18	937.30	1039.23	1059.68	996.85	856.32	651.54	406.03	163.27
28-May	148		282.43	533.72	761.84	935.78	1037.70	1058.27	995.70	855.54	651.22	406.19	163.78
29-May	149		281.82	532.67	760.49	934.29	1036.20	1056.91	994.60	854.82	650.95	406.39	164.31
30-May	150		281.18	531.61	759.15	932.81	1034.73	1055.59	993.56	854.15	650.72	406.62	164.86
31-May	151		280.51	530.54	757.82	931.35	1033.30	1054.32	992.56	853.54	650.55	406.89	165.43
1-Jun	152		279.82	529.46	756.49	929.92	1031.91	1053.10	991.63	852.98	650.42	407.20	166.01
2-Jun	153		279.11	528.36	755.16	928.51	1030.55	1051.92	990.74	852.47	650.34	407.54	166.62
3-Jun	154		278.37	527.26	753.85	927.13	1029.24	1050.79	989.91	852.01	650.31	407.92	167.24
4-Jun	155		277.61	526.16	752.55	925.78	1027.96	1049.72	989.13	851.61	650.32	408.33	167.88

Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
5-Jun	156		276.83	525.05	751.27	924.46	1026.73	1048.70	988.41	851.26	650.38	408.77	168.53
6-Jun	157		276.03	523.94	750.00	923.17	1025.55	1047.73	987.75	850.97	650.49	409.25	169.20
7-Jun	158		275.22	522.82	748.75	921.91	1024.41	1046.81	987.14	850.73	650.64	409.76	169.88
8-Jun	159		274.38	521.71	747.51	920.69	1023.32	1045.95	986.59	850.55	650.84	410.30	170.58
9-Jun	160		273.54	520.60	746.30	919.51	1022.27	1045.15	986.10	850.41	651.08	410.87	171.29
10-Jun	161		272.68	519.50	745.11	918.36	1021.28	1044.40	985.67	850.34	651.36	411.47	172.01
11-Jun	162		271.82	518.40	743.94	917.25	1020.34	1043.71	985.29	850.31	651.69	412.09	172.74
12-Jun	163		270.94	517.31	742.80	916.18	1019.45	1043.07	984.97	850.34	652.06	412.75	173.48
13-Jun	164		270.05	516.22	741.68	915.16	1018.61	1042.50	984.71	850.42	652.48	413.42	174.22
14-Jun	165		269.16	515.15	740.60	914.17	1017.82	1041.98	984.51	850.56	652.93	414.13	174.98
15-Jun	166		268.27	514.09	739.54	913.23	1017.09	1041.52	984.37	850.74	653.42	414.86	175.74
16-Jun	167		267.36	513.05	738.51	912.34	1016.41	1041.12	984.29	850.98	653.96	415.61	176.51
17-Jun	168		266.46	512.02	737.52	911.49	1015.79	1040.78	984.26	851.27	654.53	416.38	177.28
18-Jun	169		265.56	511.01	736.56	910.69	1015.23	1040.50	984.29	851.61	655.14	417.18	178.05
19-Jun	170		264.65	510.01	735.64	909.94	1014.72	1040.28	984.38	852.00	655.79	417.99	178.83
20-Jun	171		263.75	509.04	734.75	909.24	1014.27	1040.13	984.52	852.43	656.47	418.82	179.61
21-Jun	172		262.85	508.08	733.90	908.59	1013.88	1040.03	984.73	852.92	657.18	419.67	180.38
22-Jun	173		261.95	507.15	733.09	907.99	1013.54	1039.99	984.99	853.45	657.93	420.54	181.16
23-Jun	174		261.06	506.24	732.32	907.44	1013.27	1040.01	985.30	854.03	658.71	421.42	181.93
24-Jun	175		260.18	505.35	731.58	906.94	1013.05	1040.09	985.67	854.65	659.52	422.31	182.70
25-Jun	176		259.31	504.50	730.89	906.50	1012.89	1040.23	986.10	855.32	660.37	423.21	183.47
26-Jun	177		258.44	503.66	730.25	906.11	1012.80	1040.44	986.58	856.03	661.23	424.13	184.23
27-Jun	178		257.58	502.86	729.64	905.77	1012.76	1040.70	987.11	856.79	662.13	425.05	184.98
28-Jun	179		256.74	502.09	729.09	905.49	1012.78	1041.02	987.70	857.58	663.05	425.98	185.72
29-Jun	180		255.91	501.34	728.57	905.27	1012.86	1041.39	988.33	858.41	664.00	426.92	186.46
30-Jun	181		255.09	500.63	728.11	905.10	1013.00	1041.83	989.02	859.29	664.97	427.86	187.18
1-Jul	182		254.29	499.95	727.68	904.99	1013.21	1042.32	989.76	860.20	665.96	428.80	187.89
2-Jul	183		253.50	499.31	727.31	904.93	1013.47	1042.87	990.54	861.14	666.97	429.74	188.58
3-Jul	184		252.73	498.70	726.99	904.93	1013.78	1043.48	991.38	862.12	667.99	430.69	189.27
4-Jul	185		251.98	498.12	726.71	904.98	1014.16	1044.14	992.26	863.14	669.04	431.63	189.93
5-Jul	186		251.24	497.59	726.48	905.10	1014.60	1044.85	993.18	864.18	670.09	432.57	190.58

Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
6-Jul			250.53	497.08	726.31	905.27	1015.09	1045.62	994.15	865.26	671.16	433.51	191.21
7-Jul			249.84	496.62	726.18	905.49	1015.65	1046.44	995.16	866.37	672.25	434.43	191.81
8-Jul			249.17	496.20	726.11	905.77	1016.25	1047.32	996.22	867.50	673.34	435.35	192.40
9-Jul			248.52	495.81	726.08	906.11	1016.92	1048.24	997.31	868.65	674.44	436.26	192.96
10-Jul			247.90	495.47	726.11	906.51	1017.64	1049.21	998.44	869.83	675.55	437.16	193.50
11-Jul			247.30	495.16	726.19	906.96	1018.42	1050.24	999.61	871.04	676.66	438.04	194.01
12-Jul			246.73	494.90	726.31	907.47	1019.25	1051.30	1000.82	872.26	677.77	438.91	194.49
13-Jul			246.18	494.68	726.50	908.03	1020.13	1052.42	1002.05	873.50	678.88	439.77	194.95
14-Jul			245.66	494.50	726.73	908.65	1021.07	1053.58	1003.32	874.76	680.00	440.60	195.37
15-Jul			245.17	494.37	727.02	909.32	1022.05	1054.78	1004.63	876.03	681.11	441.41	195.77
16-Jul			244.70	494.28	727.35	910.05	1023.09	1056.03	1005.96	877.31	682.21	442.20	196.13
17-Jul			244.27	494.23	727.74	910.83	1024.18	1057.31	1007.31	878.61	683.31	442.97	196.46
18-Jul			243.86	494.23	728.18	911.66	1025.31	1058.63	1008.69	879.91	684.40	443.71	196.75
19-Jul			243.49	494.27	728.68	912.55	1026.49	1059.99	1010.10	881.22	685.47	444.42	197.00
20-Jul			243.14	494.36	729.22	913.49	1027.72	1061.39	1011.53	882.54	686.54	445.11	197.22
21-Jul			242.83	494.49	729.81	914.47	1028.99	1062.82	1012.97	883.86	687.59	445.76	197.40
22-Jul			242.55	494.67	730.46	915.51	1030.31	1064.28	1014.44	885.18	688.62	446.38	197.54
23-Jul			242.30	494.89	731.15	916.59	1031.67	1065.77	1015.92	886.50	689.64	446.97	197.63
24-Jul			242.08	495.16	731.90	917.73	1033.07	1067.29	1017.41	887.81	690.63	447.52	197.69
25-Jul			241.90	495.47	732.69	918.91	1034.50	1068.84	1018.91	889.12	691.60	448.03	197.70
26-Jul			241.75	495.83	733.54	920.13	1035.98	1070.41	1020.43	890.42	692.55	448.51	197.66
27-Jul			241.64	496.23	734.43	921.40	1037.48	1072.01	1021.95	891.71	693.47	448.94	197.58
28-Jul			241.56	496.68	735.37	922.71	1039.03	1073.62	1023.47	892.99	694.36	449.33	197.45
29-Jul			241.51	497.17	736.35	924.07	1040.60	1075.26	1025.00	894.26	695.21	449.67	197.27
30-Jul			241.50	497.71	737.38	925.46	1042.21	1076.91	1026.53	895.50	696.04	449.97	197.04
31-Jul			241.52	498.30	738.46	926.90	1043.84	1078.57	1028.06	896.73	696.83	450.22	196.77
1-Aug			241.58	498.92	739.58	928.37	1045.50	1080.25	1029.58	897.94	697.59	450.43	196.44
2-Aug			241.68	499.59	740.74	929.88	1047.19	1081.94	1031.10	899.13	698.31	450.58	196.06
3-Aug			241.81	500.31	741.95	931.42	1048.89	1083.63	1032.61	900.29	698.98	450.68	195.63
4-Aug			241.97	501.06	743.19	932.99	1050.62	1085.34	1034.11	901.43	699.62	450.73	195.14
5-Aug			242.17	501.86	744.47	934.60	1052.37	1087.04	1035.60	902.53	700.21	450.72	194.60

Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
6-Aug	218		242.40	502.70	745.80	936.23	1054.13	1088.75	1037.07	903.61	700.75	450.66	194.01
7-Aug	219		242.67	503.58	747.15	937.89	1055.91	1090.45	1038.52	904.65	701.25	450.54	193.36
8-Aug	220		242.98	504.50	748.55	939.58	1057.70	1092.15	1039.95	905.65	701.70	450.36	192.65
9-Aug	221		243.31	505.45	749.98	941.29	1059.50	1093.85	1041.37	906.62	702.10	450.12	191.89
10-Aug	222		243.68	506.45	751.44	943.03	1061.31	1095.54	1042.75	907.55	702.44	449.82	191.08
11-Aug	223		244.09	507.48	752.93	944.78	1063.12	1097.22	1044.12	908.44	702.74	449.46	190.21
12-Aug	224		244.53	508.55	754.45	946.55	1064.94	1098.89	1045.45	909.28	702.97	449.04	189.28
13-Aug	225		245.00	509.65	756.00	948.34	1066.76	1100.54	1046.75	910.08	703.15	448.56	188.29
14-Aug	226		245.50	510.79	757.57	950.14	1068.58	1102.17	1048.02	910.83	703.28	448.01	187.25
15-Aug	227		246.04	511.95	759.17	951.95	1070.39	1103.79	1049.26	911.53	703.34	447.40	186.15
16-Aug	228		246.60	513.15	760.79	953.77	1072.20	1105.38	1050.45	912.19	703.34	446.72	185.00
17-Aug	229		247.20	514.38	762.43	955.60	1074.00	1106.95	1051.61	912.79	703.28	445.97	183.79
18-Aug	230		247.82	515.64	764.09	957.43	1075.79	1108.49	1052.73	913.33	703.16	445.16	182.53
19-Aug	231		248.48	516.92	765.76	959.27	1077.56	1110.00	1053.80	913.82	702.97	444.29	181.21
20-Aug	232		249.16	518.22	767.45	961.10	1079.32	1111.49	1054.83	914.26	702.72	443.34	179.83
21-Aug	233		249.87	519.55	769.16	962.94	1081.06	1112.94	1055.81	914.64	702.40	442.33	178.41
22-Aug	234		250.60	520.91	770.87	964.77	1082.79	1114.35	1056.75	914.95	702.02	441.26	176.93
23-Aug	235		251.36	522.28	772.59	966.59	1084.49	1115.73	1057.63	915.21	701.57	440.11	175.39
24-Aug	236		252.14	523.67	774.31	968.40	1086.16	1117.06	1058.46	915.40	701.05	438.90	173.81
25-Aug	237		252.94	525.07	776.04	970.20	1087.81	1118.36	1059.23	915.53	700.47	437.62	172.18
26-Aug	238		253.77	526.49	777.77	971.99	1089.43	1119.61	1059.95	915.60	699.82	436.28	170.49
27-Aug	239		254.61	527.92	779.50	973.76	1091.02	1120.82	1060.62	915.60	699.09	434.87	168.76
28-Aug	240		255.48	529.36	781.22	975.51	1092.57	1121.98	1061.22	915.54	698.30	433.39	166.99
29-Aug	241		256.36	530.81	782.94	977.24	1094.09	1123.08	1061.77	915.41	697.44	431.85	165.17
30-Aug	242		257.25	532.27	784.66	978.95	1095.56	1124.14	1062.25	915.21	696.51	430.25	163.30
31-Aug	243		258.16	533.73	786.36	980.63	1097.00	1125.15	1062.67	914.94	695.51	428.58	161.39
1-Sep	244		259.09	535.19	788.04	982.28	1098.40	1126.10	1063.03	914.60	694.45	426.85	159.44
2-Sep	245		260.02	536.65	789.72	983.91	1099.75	1126.99	1063.32	914.20	693.31	425.05	157.46
3-Sep	246		260.96	538.11	791.37	985.49	1101.05	1127.82	1063.55	913.73	692.11	423.20	155.43
4-Sep	247		261.91	539.57	793.00	987.05	1102.30	1128.60	1063.71	913.18	690.84	421.28	153.38
5-Sep	248		262.87	541.01	794.62	988.56	1103.50	1129.31	1063.80	912.57	689.50	419.31	151.29

Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
6-Sep	249		263.83	542.45	796.20	990.04	1104.65	1129.96	1063.82	911.89	688.10	417.28	149.16
7-Sep	250		264.79	543.88	797.76	991.47	1105.75	1130.55	1063.78	911.14	686.63	415.20	147.01
8-Sep	251		265.75	545.29	799.29	992.86	1106.79	1131.08	1063.67	910.32	685.09	413.06	144.84
9-Sep	252		266.71	546.68	800.79	994.20	1107.77	1131.53	1063.48	909.43	683.50	410.87	142.64
10-Sep	253		267.66	548.06	802.25	995.50	1108.69	1131.92	1063.23	908.47	681.84	408.63	140.41
11-Sep	254		268.61	549.41	803.68	996.74	1109.55	1132.25	1062.91	907.45	680.12	406.34	138.17
12-Sep	255		269.56	550.74	805.06	997.93	1110.35	1132.50	1062.51	906.36	678.34	404.01	135.91
13-Sep	256		270.49	552.05	806.41	999.07	1111.09	1132.69	1062.05	905.20	676.50	401.63	133.64
14-Sep	257		271.41	553.32	807.71	1000.15	1111.76	1132.80	1061.52	903.97	674.61	399.20	131.35
15-Sep	258		272.32	554.57	808.97	1001.17	1112.36	1132.85	1060.91	902.68	672.66	396.74	129.06
16-Sep	259		273.21	555.78	810.17	1002.13	1112.89	1132.82	1060.24	901.33	670.65	394.24	126.76
17-Sep	260		274.08	556.96	811.33	1003.04	1113.36	1132.72	1059.50	899.92	668.60	391.70	124.45
18-Sep	261		274.93	558.10	812.44	1003.87	1113.76	1132.55	1058.69	898.44	666.49	389.13	122.15
19-Sep	262		275.76	559.20	813.49	1004.65	1114.08	1132.31	1057.81	896.90	664.34	386.52	119.84
20-Sep	263		276.57	560.26	814.49	1005.36	1114.34	1132.00	1056.87	895.31	662.14	383.89	117.54
21-Sep	264		277.35	561.28	815.43	1006.00	1114.52	1131.62	1055.85	893.66	659.90	381.23	115.24
22-Sep	265		278.11	562.25	816.31	1006.57	1114.64	1131.16	1054.78	891.95	657.62	378.55	112.96
23-Sep	266		278.83	563.17	817.12	1007.08	1114.67	1130.64	1053.64	890.19	655.30	375.85	110.68
24-Sep	267		279.52	564.05	817.88	1007.51	1114.64	1130.04	1052.43	888.38	652.94	373.12	108.42
25-Sep	268		280.18	564.87	818.57	1007.87	1114.53	1129.38	1051.16	886.52	650.55	370.38	106.18
26-Sep	269		280.80	565.64	819.20	1008.16	1114.35	1128.64	1049.84	884.61	648.12	367.63	103.95
27-Sep	270		281.38	566.35	819.76	1008.38	1114.10	1127.84	1048.45	882.65	645.66	364.87	101.75
28-Sep	271		281.93	567.00	820.25	1008.52	1113.77	1126.96	1047.00	880.65	643.18	362.10	99.57
29-Sep	272		282.43	567.60	820.67	1008.59	1113.37	1126.02	1045.50	878.61	640.68	359.32	97.42
30-Sep	273		282.89	568.14	821.03	1008.59	1112.90	1125.02	1043.95	876.53	638.15	356.55	95.30
1-Oct	274		283.30	568.61	821.31	1008.51	1112.35	1123.95	1042.34	874.42	635.60	353.77	93.21
2-Oct	275		283.67	569.02	821.52	1008.36	1111.73	1122.81	1040.68	872.26	633.04	351.00	91.15
3-Oct	276		283.99	569.37	821.65	1008.13	1111.04	1121.62	1038.97	870.08	630.46	348.23	89.12
4-Oct	277		284.26	569.65	821.71	1007.82	1110.28	1120.36	1037.22	867.87	627.88	345.47	87.13
5-Oct	278		284.48	569.86	821.70	1007.44	1109.45	1119.04	1035.42	865.63	625.28	342.72	85.19
6-Oct	279		284.65	570.01	821.61	1006.99	1108.55	1117.67	1033.57	863.36	622.68	339.99	83.28

Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
7-Oct			284.76	570.09	821.45	1006.46	1107.59	1116.24	1031.69	861.07	620.08	337.27	81.41
8-Oct			284.82	570.09	821.21	1005.85	1106.55	1114.75	1029.77	858.76	617.48	334.58	79.59
9-Oct			284.83	570.03	820.90	1005.18	1105.45	1113.21	1027.81	856.44	614.88	331.90	77.81
10-Oct			284.77	569.90	820.51	1004.43	1104.29	1111.62	1025.81	854.10	612.28	329.26	76.07
11-Oct			284.66	569.69	820.05	1003.60	1103.06	1109.98	1023.79	851.75	609.70	326.64	74.39
12-Oct			284.49	569.41	819.51	1002.71	1101.77	1108.29	1021.74	849.39	607.13	324.05	72.75
13-Oct			284.27	569.06	818.89	1001.74	1100.41	1106.55	1019.66	847.03	604.57	321.49	71.16
14-Oct			283.98	568.64	818.20	1000.71	1099.00	1104.78	1017.55	844.66	602.03	318.97	69.61
15-Oct			283.63	568.14	817.43	999.60	1097.54	1102.96	1015.43	842.29	599.51	316.48	68.12
16-Oct			283.21	567.57	816.60	998.43	1096.01	1101.10	1013.28	839.92	597.01	314.04	66.68
17-Oct			282.74	566.93	815.68	997.19	1094.44	1099.21	1011.12	837.56	594.54	311.64	65.28
18-Oct			282.21	566.22	814.70	995.89	1092.81	1097.28	1008.94	835.21	592.10	309.28	63.94
19-Oct			281.61	565.43	813.64	994.52	1091.13	1095.32	1006.76	832.86	589.68	306.97	62.65
20-Oct			280.95	564.57	812.52	993.09	1089.40	1093.33	1004.56	830.53	587.30	304.72	61.40
21-Oct			280.23	563.64	811.32	991.60	1087.63	1091.32	1002.36	828.21	584.96	302.51	60.21
22-Oct			279.44	562.63	810.05	990.05	1085.82	1089.28	1000.15	825.92	582.65	300.35	59.07
23-Oct			278.60	561.56	808.72	988.45	1083.96	1087.21	997.95	823.64	580.39	298.25	57.97
24-Oct			277.69	560.42	807.32	986.79	1082.06	1085.13	995.74	821.39	578.17	296.21	56.93
25-Oct			276.72	559.21	805.86	985.07	1080.13	1083.03	993.54	819.16	575.99	294.23	55.93
26-Oct			275.69	557.92	804.33	983.31	1078.16	1080.91	991.35	816.96	573.87	292.30	54.98
27-Oct			274.60	556.58	802.74	981.49	1076.15	1078.78	989.16	814.79	571.79	290.44	54.08
28-Oct			273.45	555.16	801.09	979.63	1074.12	1076.65	986.99	812.66	569.76	288.65	53.22
29-Oct			272.24	553.68	799.38	977.72	1072.06	1074.50	984.83	810.56	567.79	286.92	52.41
30-Oct			270.97	552.14	797.62	975.77	1069.98	1072.35	982.69	808.50	565.87	285.25	51.65
31-Oct			269.64	550.54	795.80	973.77	1067.87	1070.20	980.57	806.48	564.02	283.66	50.94
1-Nov			268.26	548.87	793.92	971.74	1065.74	1068.04	978.47	804.50	562.22	282.13	50.27
2-Nov			266.83	547.15	792.00	969.67	1063.59	1065.90	976.40	802.57	560.49	280.67	49.64
3-Nov			265.34	545.36	790.02	967.56	1061.43	1063.75	974.35	800.68	558.81	279.29	49.06
4-Nov			263.79	543.53	788.00	965.43	1059.25	1061.61	972.33	798.85	557.21	277.98	48.53
5-Nov			262.20	541.63	785.94	963.26	1057.06	1059.49	970.34	797.06	555.67	276.74	48.04
6-Nov			260.55	539.69	783.83	961.07	1054.87	1057.37	968.39	795.33	554.20	275.58	47.59

Date	Time		7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5
	Day												
8-Dec	342		192.51	462.29	707.54	890.73	994.13	1009.03	934.22	775.89	548.39	279.81	54.57
9-Dec	343		190.29	459.83	705.32	888.95	992.91	1008.43	934.27	776.53	549.53	281.20	55.39
10-Dec	344		188.09	457.39	703.14	887.22	991.74	1007.90	934.39	777.26	550.75	282.66	56.25
11-Dec	345		185.92	454.98	700.99	885.54	990.64	1007.44	934.58	778.06	552.05	284.19	57.13
12-Dec	346		183.76	452.59	698.88	883.90	989.60	1007.05	934.85	778.94	553.42	285.78	58.05
13-Dec	347		181.62	450.23	696.81	882.32	988.62	1006.73	935.19	779.90	554.86	287.44	59.01
14-Dec	348		179.52	447.90	694.79	880.80	987.71	1006.49	935.61	780.92	556.37	289.16	59.99
15-Dec	349		177.44	445.61	692.81	879.33	986.86	1006.31	936.10	782.03	557.95	290.94	61.01
16-Dec	350		175.39	443.35	690.88	877.91	986.07	1006.20	936.67	783.20	559.61	292.78	62.07
17-Dec	351		173.37	441.13	688.99	876.56	985.35	1006.16	937.31	784.45	561.32	294.69	63.15
18-Dec	352		171.38	438.95	687.15	875.26	984.70	1006.20	938.02	785.76	563.11	296.65	64.27
19-Dec	353		169.42	436.81	685.37	874.02	984.11	1006.30	938.80	787.15	564.96	298.67	65.42
20-Dec	354		167.50	434.72	683.63	872.85	983.59	1006.48	939.65	788.61	566.87	300.74	66.61
21-Dec	355		165.62	432.66	681.95	871.73	983.14	1006.73	940.58	790.13	568.85	302.87	67.83
22-Dec	356		163.78	430.66	680.33	870.68	982.76	1007.05	941.57	791.72	570.88	305.05	69.08
23-Dec	357		161.97	428.70	678.76	869.69	982.44	1007.44	942.64	793.38	572.97	307.27	70.36
24-Dec	358		160.21	426.79	677.25	868.77	982.20	1007.90	943.77	795.09	575.12	309.55	71.68
25-Dec	359		158.49	424.94	675.80	867.92	982.03	1008.43	944.97	796.87	577.33	311.87	73.04
26-Dec	360		156.81	423.13	674.41	867.13	981.92	1009.02	946.24	798.72	579.58	314.24	74.42
27-Dec	361		155.18	421.38	673.09	866.40	981.88	1009.69	947.57	800.62	581.89	316.65	75.84
28-Dec	362		153.59	419.69	671.82	865.75	981.92	1010.43	948.97	802.58	584.25	319.10	77.29
29-Dec	363		152.05	418.05	670.62	865.16	982.02	1011.24	950.43	804.59	586.65	321.59	78.78
30-Dec	364		150.55	416.47	669.49	864.64	982.19	1012.11	951.95	806.66	589.10	324.12	80.29
31-Dec	365		149.10	414.96	668.42	864.19	982.44	1013.05	953.53	808.78	591.59	326.68	81.84



ภาคผนวก ข

แผงเซลล์แสงอาทิตย์และ อินเวอร์เตอร์ของระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้

SHARP



NE-L5E2E

Multi-Crystalline Silicon
Photovoltaic Module
with 125W Maximum Power

GENERAL DESCRIPTION

SHARP's NE-L5E2E photovoltaic module is designed for large electrical power requirements. Based on the technology of crystal silicon solar cells cultivated for over 35 years, this module has superb durability to withstand rigorous operating conditions and is suitable for grid connected systems.

FEATURES

- 1** High-power module (125W) using 125mm square multi-crystal silicon solar cells with 13.3% module conversion efficiency.
- 2** Photovoltaic module with bypass diode minimizes the power drop caused by shade.
Anti Reflection Coring and BSF (Back Surface Field) structure to improve cell conversion efficiency: 14.7%.
- 3** Using white tempered glass, EVA resin, and a weatherproof film along with an aluminum frame for extended outdoor use
- 4** High-voltage output for grid-connected system
- 5** Output terminal: Lead wire with waterproof connector

SPECIFICATIONS

Cell	Multi-crystalline silicon solar cells, 125mm square
No. of cells and connection	54 in series
Application	High voltage system
Maximum system voltage	DC 600V
Series fuse rating	10A
Maximum power	118.7 W (Min.)
Dimensions	1190 × 792 × 46mm
Weight	12.5kg

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

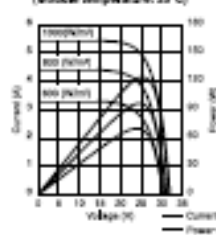
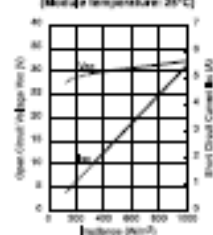
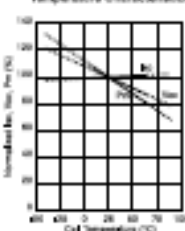
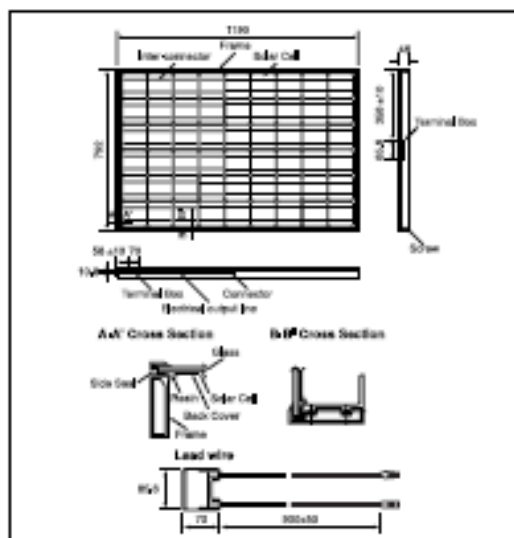
Parameters	Rating	Unit
Operating temperature	-40 to +90	°C
Storage temperature	-40 to +90	°C
Dielectric voltage withstood	2200 max.	V _{DC}

OUTPUT TERMINAL

Type of output terminal	Lead wire with connector
-------------------------	--------------------------

ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS

Model	NE-LSF2E				Unit	Condition
	Symbol	Min.	Typ.	Max.		
Open circuit voltage	V _{oc}	—	32.3	—	V	Irradiance: 1000 W/m ² Module temperature: 25°C
Maximum power voltage	V _{pm}	—	26.0	—	V	
Short circuit current	I _{sc}	—	5.46	—	A	
Maximum power current	I _{pm}	—	4.80	—	A	
Maximum power	P _m	118.7	125.0	—	W	
Encapsulated solar cell efficiency	η _p	—	14.7	—	%	
Module efficiency	η _m	—	13.3	—	%	

CHARACTERISTICSCurrent, Power vs. Voltage Characteristics
(Module temperature: 25°C)Open Circuit Voltage, Short Circuit Current
vs. Irradiance Characteristics
(Module temperature: 25°C)Normalized I_{sc}, V_{oc}, P_m vs. Module
Temperature Characteristics**OUTLINE DIMENSIONS**

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

• Specifications are subject to change without notice.

APPLICATIONS

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

SHARP

SHARP CORPORATION OSAKA, JAPAN
URL: <http://www.sharp-world.com/>

© SHARP CORP., MAY, 2002

Sunny Boy

SB 1100LV



Optimized for low input voltages

Suitable for special applications, e.g. connecting hydropower systems or small wind turbines to the grid

Outstandingly high efficiency for low input voltages

SMA grid guard[®] 2:
Automatic disconnection

Diagnosis and communication via Powerline, radio and cable (RS232 or RS485)

Extended temperature range of -25 °C to +60 °C

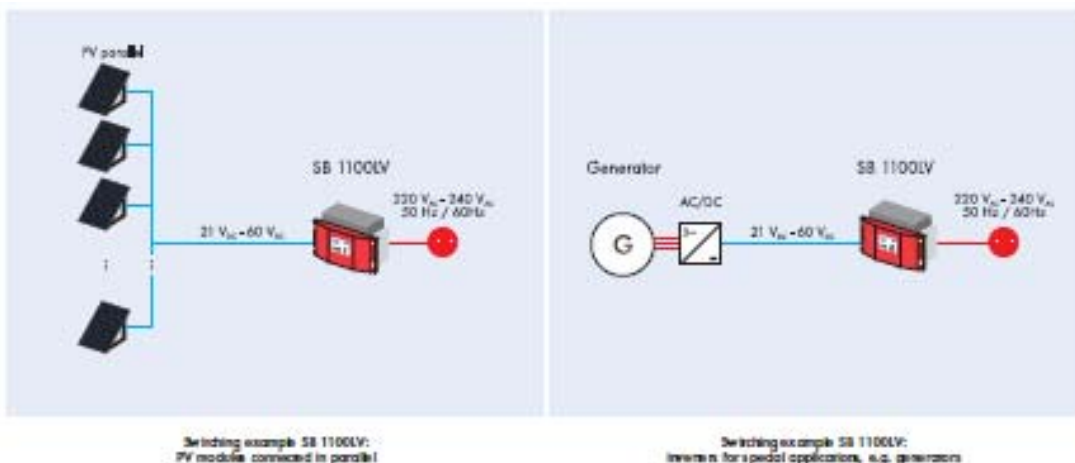
IP65 protection class, also suitable for outdoor installation

Automatic 50 Hz / 60 Hz grid frequency detection


5 year SMA warranty

The SB 1100LV is specially designed for low DC input voltages of 21 V to 60 V and is therefore an optimal inverter for special PV systems with modules connected in parallel or other special applications.

A peak efficiency of 92 %, which is excellent for this input voltage range, makes the SB 1100LV a powerful member of the Sunny Boy family.



Technical data	
	SB 1100LV
Input data	
Max. DC output	1240 W
DC voltage range	21 V - 60 V
Nominal DC operating voltage ($U_{DC, nom}$)	25 V
Max. MPP voltage ($U_{MPP, max}$)	60 V
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	60 V
Max. input current ($I_{DC, max}$)	62 A
DC voltage ripple (U_{DR})	< 10 %
Max. no. of strings (parallel)	dependent on the module screw terminal
DC connection	yes
Thermally monitored ventilators	yes
Ground fault monitoring	yes
Brown polarity protection	short circuit diode
Output data	
Maximum AC output ($P_{AC, max}$)	1100 W
Nominal AC output ($P_{AC, nom}$)	1000 W
Max. output current ($I_{AC, max}$)	5.0 A
Harmonic distortion of grid current	< 4 %
Nominal AC voltage ($U_{AC, nom}$)	220 V - 240 V
Nominal AC frequency ($f_{AC, nom}$)	50 Hz / 60 Hz
Power factor (cos ϕ)	1
Short-circuit strength	yes, current regulation
Grid connection	AC plug
Efficiency	
Maximum efficiency (η_{max})	92 %
European standard efficiency ($\eta_{E, max}$)	90.4 %
Power electronics	
Switching concept	low frequency transformer
Grid monitoring (DIN VDE 0126-1-1)	SMA grid guard [®] 2
Number of supply phases	1
Enclosure	
according to DIN EN 60529	IP65
Cooling concept	convection
Ambient temperature range (max.)	-25 °C ... +40 °C
Mechanical data	
Weight	29 kg
Width/height/depth (mm)	434 / 295 / 214
Features	
Communication	RS232/RS485/radio/powerline (optional)
Display	standard 2-line display
Warranty	5 years (optional: 10 years)
System monitoring	Compatible e.g. with Sunny Boy Control, Sunny Beam, Sunny WebBox and Sunny Portal



ภาคผนวก ค

โปรแกรมใน MATLAB ที่ใช้สร้าง, ฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

โปรแกรม MATLAB ที่ใช้สร้าง, สอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

สำหรับเดือนมกราคม

```
load jandata
```

```
p = [ckjan;jan17 jan18 jan19 jan20 jan21 jan22 jan23 jan24 jan27 jan28 jan29 jan30];
```

```
t = [jan18 jan19 jan20 jan21 jan22 jan23 jan24 jan27 jan28 jan29 jan30 jan31]
```

```
[pn psp] = mapminmax(p,0,1);
```

```
[tn pst] = mapminmax(t,0,1);
```

```
ptrainn = pn(:,(1:7));
```

```
ptestn = pn(:,(8:12));
```

```
ttrainn = tn(:,(1:7));
```

```
ttestn = tn(:,(8:12));
```

```
ptrainn = con2seq(ptrainn);
```

```
ttrainn = con2seq(ttrainn);
```

```
jannet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'radbas','radbas'});
```

```
jannet = train(jannet,ptrainn,ttrainn);
```

```
tsimn = sim(jannet,ptestn);
```

```
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
```

```
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
```

```
error = abs(ttest-tsim);
```

```
error = error(:);
```

```
plot(error);
```

```
watt_error = mean(error)
```

```
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))
```


สำหรับเดือนกุมภาพันธ์

```
load febdata
```

```
p = [ckfeb;feb1 feb2 feb3 feb4 feb5 feb6 feb8 feb10 feb12 feb24 feb25 feb26 feb27];
```

```
t = [feb2 feb3 feb4 feb5 feb6 feb8 feb10 feb12 feb24 feb25 feb26 feb27 feb28];
```

```
[pn psp] = mapminmax(p,0,1);
```

```
[tn pst] = mapminmax(t,0,1);
```

```
ptrainn = pn(:,(1:8));
```

```
ptestn = pn(:,(9:13));
```

```
ttrainn = tn(:,(1:8));
```

```
ttestn = tn(:,(9:13));
```

```
ptrainn = con2seq(ptrainn);
```

```
ttrainn = con2seq(ttrainn);
```

```
febnet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'radbas','radbas'});
```

```
febnet = train(febnet,ptrainn,ttrainn);
```

```
tsimn = sim(febnet,ptestn);
```

```
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
```

```
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
```

```
error = abs(ttest-tsim);
```

```
error = error(:);
```

```
plot(error);
```

```
watt_error = mean(error)
```

```
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))
```

สำหรับเดือนมีนาคม

```

load mardata
p = [ckmar;mar4 mar5 mar6 mar7 mar8 mar9 mar10 mar11 mar12 mar13 mar22 mar23 mar24 mar25];
t = [mar5 mar6 mar7 mar8 mar9 mar10 mar11 mar12 mar13 mar22 mar23 mar24 mar25 mar26];

[pn psp] = mapminmax(p);
[tn pst] = mapminmax(t);

ptrainn = pn(:,(1:4));
ptestn = pn(:,(5:9));
ttrainn = tn(:,(1:4));
ttestn = tn(:,(5:9));

ptrainn = con2seq(ptrainn);
ttrainn = con2seq(ttrainn);

marnet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'logsig','logsig'});
marnet = train(marnet,ptrainn,ttrainn);

tsimn = sim(marnet,ptestn);
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
error = abs(ttest-tsim);
error = error(:);
plot(error);
watt_error = mean(error)
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))

```

สำหรับเดือนเมษายน

```

load aprdata

p = [ckapr; apr12 apr13 apr14 apr15 apr16 apr17 apr18 apr19 apr20 apr21 apr22 apr26 apr27 apr28 apr29];
t = [apr13 apr14 apr15 apr16 apr17 apr18 apr19 apr20 apr21 apr22 apr26 apr27 apr28 apr29 apr30];

[pn psp] = mapminmax(p);
[tn pst] = mapminmax(t);

ptrainn = pn(:,(1:10));
ptestn = pn(:,(11:15));
ttrainn = tn(:,(1:10));
ttestn = tn(:,(11:15));

ptrainn = con2seq(ptrainn);
ttrainn = con2seq(ttrainn);

aprnet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'tansig','radbas'});
aprnet = train(aprnet,ptrainn,ttrainn);

tsimn = sim(aprnet,ptestn);
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
error = abs(ttest-tsim);
error = error(:);
plot(error);
watt_error = mean(error)
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))

```

สำหรับเดือนพฤษภาคม

```

load maydata

p = [ckmay;may11 may12 may20 may22 may24 may26 may27 may28 may29 may30];
t = [may12 may20 may22 may24 may26 may27 may28 may29 may30 may31];

[pn psp] = mapminmax(p,0,1);
[tn pst] = mapminmax(t,0,1);

ptrainn = pn(:,(1:5));
ptestn = pn(:,(6:10));
ttrainn = tn(:,(1:5));
ttestn = tn(:,(6:10));

ptrainn = con2seq(ptrainn);
ttrainn = con2seq(ttrainn);

maynet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'radbas','radbas'});
maynet = train(maynet,ptrainn,ttrainn);

tsimn = sim(maynet,ptestn);
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
error = abs(ttest-tsim);
error = error(:);
plot(error);
watt_error = mean(error)
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))

```

สำหรับเดือนมิถุนายน

```
load junedata
```

```
p = [ckjune;june1 june8 june9 june 10 june11 june 12 june13 june14 june15 june20 june26 june27 june28 june29];
```

```
t = [june8 june9 june 10 june11 june 12 june13 june14 june15 june20 june26 june27 june28 june29 june30];
```

```
[pn psp] = mapminmax(p);
```

```
[tn pst] = mapminmax(t);
```

```
ptrainn = pn(:,(1:4));
```

```
ptestn = pn(:,(5:9));
```

```
ttrainn = tn(:,(1:4));
```

```
ttestn = tn(:,(5:9));
```

```
ptrainn = con2seq(ptrainn);
```

```
ttrainn = con2seq(ttrainn);
```

```
junenet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'tansig','radbas'});
```

```
junenet = train(junenet,ptrainn,ttrainn);
```

```
tsimn = sim(junenet,ptestn);
```

```
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
```

```
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
```

```
error = abs(ttest-tsim);
```

```
error = error(:);
```

```
plot(error);
```

```
watt_error = mean(error)
```

```
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))
```

สำหรับเดือนกรกฎาคม

```
load junedata
```

```
load julydata
```

```
p = [ckjunejuly;june1 june8 june14 june15 june29 july1 july3 july6 july7 july8 july9 july10];
```

```
t = [june8 june14 june15 june29 july1 july3 july6 july7 july8 july9 july10 july11];
```

```
[pn psp] = mapminmax(p);
```

```
[tn pst] = mapminmax(t);
```

```
ptrainn = pn(:,(1:7));
```

```
ptestn = pn(:,(8:12));
```

```
ttrainn = tn(:,(1:7));
```

```
ttestn = tn(:,(8:12));
```

```
ptrainn = con2seq(ptrainn);
```

```
ttrainn = con2seq(ttrainn);
```

```
julynet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'radbas','radbas'});
```

```
julynet = train(julynet,ptrainn,ttrainn);
```

```
tsimn = sim(julynet,ptestn);
```

```
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
```

```
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
```

```
error = abs(ttest-tsim);
```

```
error = error(:);
```

```
plot(error);
```

```
watt_error = mean(error)
```

```
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))
```

สำหรับเดือนสิงหาคม

```
load augdata
```

```
p = [ckaug;aug4 aug5 aug6 aug7 aug8 aug9 aug10 aug17 aug23 aug24 aug26 aug27 aug28 aug29 aug30];
```

```
t = [aug5 aug6 aug7 aug8 aug10 aug17 aug23 aug24 aug26 aug27 aug28 aug29 aug30 aug31];
```

```
[pn psp] = mapminmax(p,0,1);
```

```
[tn pst] = mapminmax(t,0,1);
```

```
ptrainn = pn(:,(1:6));
```

```
ptestn = pn(:,(7:11));
```

```
ttrainn = tn(:,(1:6));
```

```
ttestn = tn(:,(7:11));
```

```
ptrainn = con2seq(ptrainn);
```

```
ttrainn = con2seq(ttrainn);
```

```
augnet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'tansig','radbas'});
```

```
augnet = train(augnet,ptrainn,ttrainn);
```

```
tsimn = sim(julynet,ptestn);
```

```
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
```

```
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
```

```
error = abs(ttest-tsim);
```

```
error = error(:);
```

```
plot(error);
```

```
watt_error = mean(error)
```

```
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))
```

สำหรับเดือนกันยายน

load `sepdata`

```
p = [cksep;sep3 sep16 sep17 sep18 sep19 sep20 sep21 sep22 sep23 sep24 sep25 sep26 sep27 sep28 sep29];
```

```
t = [sep16 sep17 sep18 sep19 sep20 sep21 sep22 sep23 sep24 sep25 sep26 sep27 sep28 sep29 sep30];
```

```
[pn psp] = mapminmax(p,0,1);
```

```
[tn pst] = mapminmax(t,0,1);
```

```
ptrainn = pn(:,(1:5));
```

```
ptestn = pn(:,(6:10));
```

```
ttrainn = tn(:,(1:5));
```

```
ttestn = tn(:,(6:10));
```

```
ptrainn = con2seq(ptrainn);
```

```
ttrainn = con2seq(ttrainn);
```

```
sepnet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'radbas','radbas'});
```

```
sepnet = train(sepnet,ptrainn,ttrainn);
```

```
tsimn = sim(sepnet,ptestn);
```

```
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
```

```
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
```

```
error = abs(ttest-tsim);
```

```
error = error(:);
```

```
plot(error);
```

```
watt_error = mean(error)
```

```
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))
```


สำหรับเดือนตุลาคม

```
load octdata
```

```
p = [ckoct;oct1 oct2 oct3 oct4 oct5 oct6 oct7 oct8 oct9 oct10 oct11 oct12 oct13 oct14 oct15 oct21 oct22 oct23];
```

```
t = [oct3 oct4 oct5 oct6 oct7 oct8 oct9 oct10 oct11 oct12 oct13 oct14 oct15 oct21 oct22 oct23 oct24];
```

```
[pn psp] = mapminmax(p,0,1);
```

```
[tn pst] = mapminmax(t,0,1);
```

```
ptrainn = pn(:,(1:3));
```

```
ptestn = pn(:,(4:8));
```

```
ttrainn = tn(:,(1:3));
```

```
ttestn = tn(:,(4:8));
```

```
ptrainn = con2seq(ptrainn);
```

```
ttrainn = con2seq(ttrainn);
```

```
octnet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'radbas','radbas'});
```

```
octnet = train(octnet,ptrainn,ttrainn);
```

```
tsimn = sim(octnet,ptestn);
```

```
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
```

```
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
```

```
error = abs(ttest-tsim);
```

```
error = error(:);
```

```
plot(error);
```

```
watt_error = mean(error)
```

```
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))
```

สำหรับเดือนธันวาคม

```
load decdata
```

```
p = [ckdec;dec3 dec4 dec5 dec7 dec9 dec10 dec11 dec12 dec13 dec16 dec18 dec19 dec20 dec21 dec22 dec23
dec24 dec25];
```

```
t = [dec4 dec5 dec7 dec9 dec10 dec11 dec12 dec13 dec16 dec18 dec19 dec20 dec21 dec22 dec23 dec24 dec25
dec26];
```

```
[pn psp] = mapminmax(p,0,1);
```

```
[tn pst] = mapminmax(t,0,1);
```

```
ptrainn = pn(:,(1:13));
```

```
ptestn = pn(:,(14:18));
```

```
ttrainn = tn(:,(1:13));
```

```
ttestn = tn(:,(14:18));
```

```
ptrainn = con2seq(ptrainn);
```

```
ttrainn = con2seq(ttrainn);
```

```
decnet = newff(ptrainn,ttrainn,20,{'radbas','radbas'});
```

```
decnet = train(decnet,ptrainn,ttrainn);
```

```
tsimn = sim(decnet,ptestn);
```

```
tsim = mapminmax('reverse',tsimn,pst);
```

```
ttest = mapminmax('reverse',ttestn,pst);
```

```
error = abs(ttest-tsim);
```

```
error = error(:);
```

```
plot(error);
```

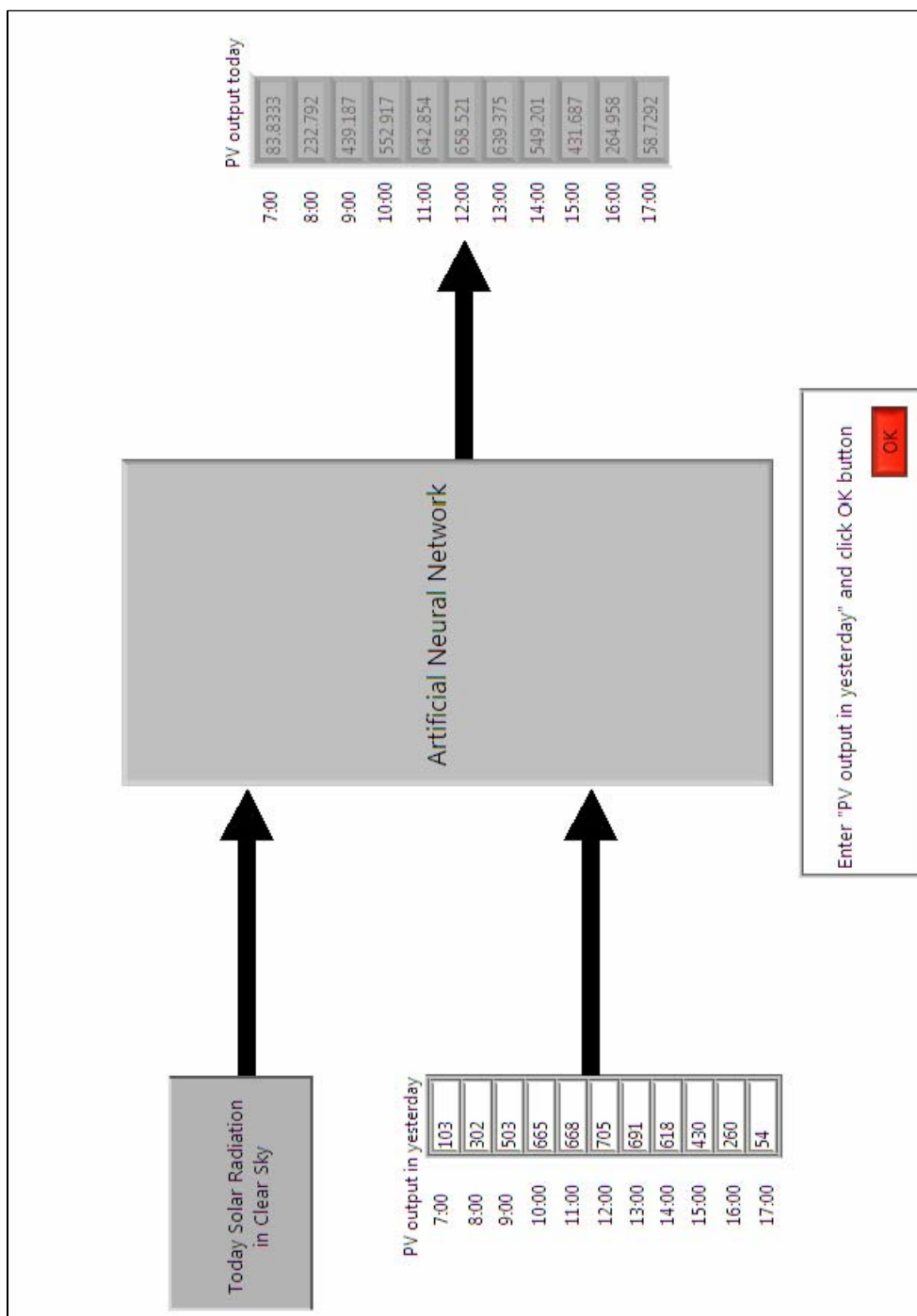
```
watt_error = mean(error)
```

```
percent_error = 100*watt_error/mean(ttest(:))
```

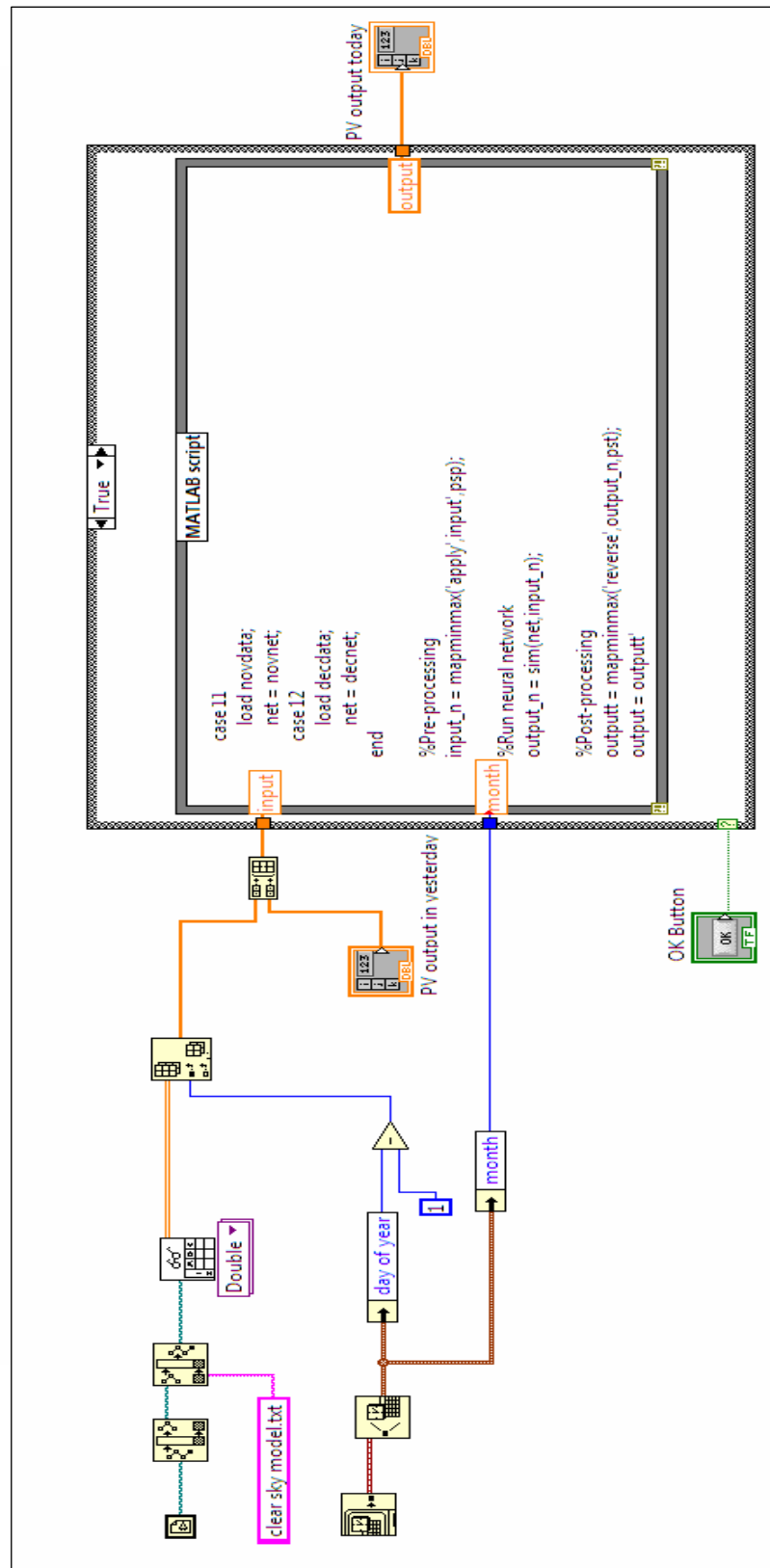
ภาคผนวก ง
โปรแกรม LABVIEW ที่ใช้ในการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม



ส่วนหน้าปัทม์ (Front Panel) ของโปรแกรมการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม



ส่วนบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ของโปรแกรมการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม



MATLAB Script ที่ใช้ในโปรแกรมการพยากรณ์

```
cd 'D:\My Documents\1. RD Project\Master of EE\Thesis\MATLAB files';
```

```
switch month
```

```
case 1
```

```
load jandata;
```

```
net = jannet;
```

```
case 2
```

```
load febdata;
```

```
net = febnet;
```

```
case 3
```

```
load mardata;
```

```
net = marnet
```

```
case 4
```

```
load aprdata;
```

```
net = aprdata;
```

```
case 5
```

```
load maydata;
```

```
net = maydata;
```

```
case 6
```

```
load junedata;
```

```
net = junenet;
```

```
case 7
```

```
load julydata;
```

```
net = julynet;
```

```
case 8
```

```
load augdata;
```

```
net = augnet;
```

```
case 9
```

```
load sepdata;
```

```
net = sepnet;
```

```
case 10
```

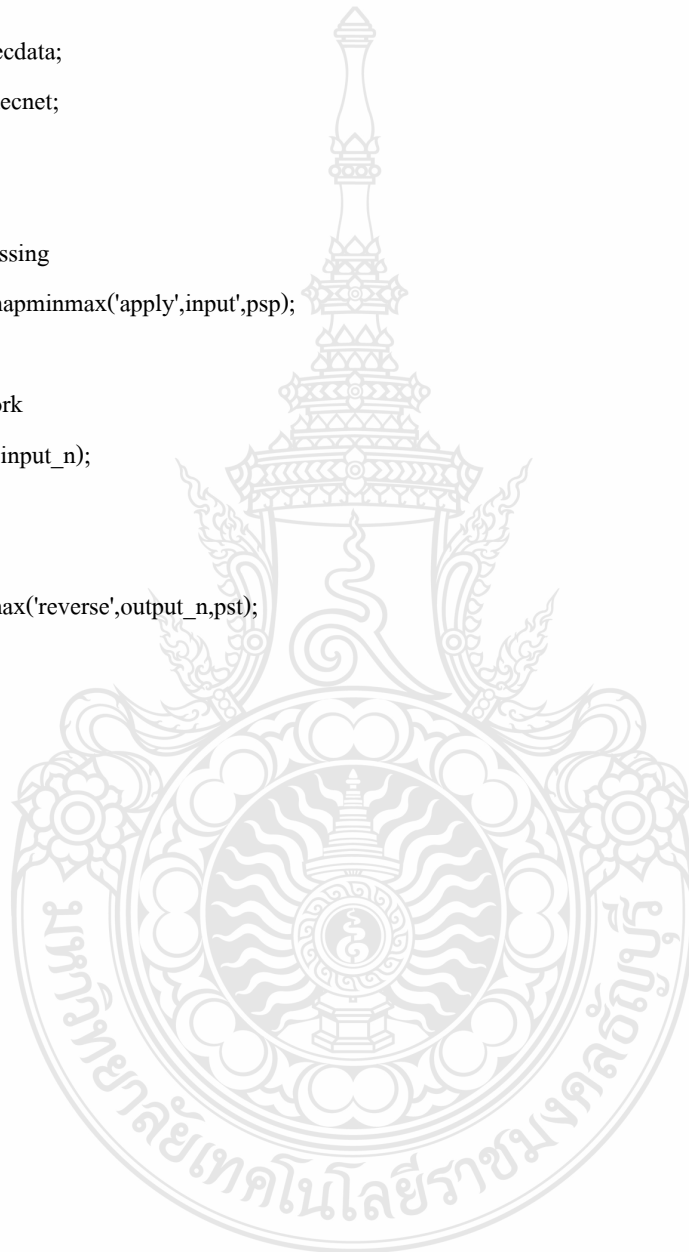
```
load octdata;
```

```
net = octnet;
case 11
load novdata;
net = novnet;
case 12
load decdata;
net = decnet;
end

%Pre-processing
input_n = mapminmax('apply',input',psp);

%Run neural network
output_n = sim(net,input_n);

%Post-processing
outputt = mapminmax('reverse',output_n,pst);
output = outputt'
```





ภาคผนวก จ
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

- ชานนท์ ชูพงษ์และ บุญยัง ปลั่งกลาง, “การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งในประเทศไทยโดยไม่ใช่ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์”, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานครั้งที่ 7, 3-5 พฤษภาคม 2554
- C.Chupong and B.Planklang , “Forecasting power output of PV grid connected in Thailand without using solar radiation measurement”, The 9th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, May 25-28 2011
- ชานนท์ ชูพงษ์และ บุญยัง ปลั่งกลาง, “การศึกษาความผิดพลาดในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยไม่ใช่ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 34, 30 พฤศจิกายน – 2 ธันวาคม 2554

การประชุมวิชาการ
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7
7th Conference on Energy Network of Thailand
3-5 พฤษภาคม 2554
ณ Phuket Orchid Resort and Spa จังหวัดภูเก็ต
จัดโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-NETT 2011

ความเป็นมา

ในปัจจุบันพลังงานมีบทบาทต่อการพัฒนาประเทศไทยทุก ๆ ด้านไม่ว่าจะเป็นด้านเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมต้งเน้นการวิจัย และพัฒนาทางด้านพลังงาน จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาและการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยได้มีการสนับสนุนงานวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากหน่วยงานวิจัยทั้งภาครัฐและเอกชนได้ให้ความสำคัญเพื่อสร้างองค์ความรู้ผลิตบุคลากรทางด้านพลังงานออกสู่สังคมตลอดมา เช่นเดียวกับการประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยจึงเป็นเวทีที่ให้นักวิจัยได้เผยแพร่ผลงานวิจัย โดยมีมติต่าง ๆ พร้อมทั้งได้แลกเปลี่ยนประสบการณ์ ความรู้ ด้านงานวิจัยระหว่างบุคลากรหน่วยงานองค์กรต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติทางด้านพลังงานต่อไปในอนาคตนี้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพจัดการประชุมวิชาการ

"เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7"

ในระหว่างวันที่ 3-5 พฤษภาคม 2554

กลุ่มสาขางานวิจัย

1. พลังงานทดแทน (Renewable Energy)

Biomass, Hydro, Photovoltaic, Solar Distillation and Desalination, Wind Energy and Others

2. การอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservations)

Building Energy Analysis, Building Materials and Components, Building-integrated PV systems, Building-integrated Solar Thermal, Daylighting Energy Managements System, Energy Conservations for Industries, Energy Conservations for Transportations, Natural Ventilation, Passive and Low Energy Architecture, Passive Cooling, Systems Including Ground Coupling, Thermal Comfort and Performance, Others

3. พลังงานกับการประยุกต์ใช้งาน (Applied Energy)

Solar Cooking, Solar Cooling and Dehumidification, Solar Drying, Solar Hot Water and Thermal, Solar Industrial Process Heat, Solar Ponds, Solar Thermal Electricity, Thermal Storage, Electrical Storage, Others

4. นโยบายพลังงาน (Energy Policy)

Environmental Impacts of Energy Systems, Global Climate Change, National and Regional Policies and Programs, Others

5. วัสดุทางด้านพลังงาน และเซรามิก (Energy and Ceramic Materials)

6. การจัดการสิ่งแวดล้อม (Environment Management)



กำหนดการสำคัญ

วันสุดท้ายของการลงทะเบียนเพิ่มเติม

10 กุมภาพันธ์ 2554

วันประกาศผลการพิจารณาบทความ

28 กุมภาพันธ์ 2554

วันสุดท้ายของการลงทะเบียนฉบับปรับปรุง

15 มีนาคม 2554

แจ้งผลการตอบรับอย่างเป็นทางการ

31 มีนาคม 2554

รายละเอียดเพิ่มเติมติดต่อ

ดร.วิรัช ไชยรินทร์ (089-771-4294)

ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์ (084-111-9051)

ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง (086-899-2996)

ดร.สุนนมาลย์ เนียมหลวง (081-195-4799)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

โทรศัพท์ : 02-549-3571 โทรสาร: 02 549 3422

E-mail : e-nett2011@mail.rmutt.ac.th

www.e-nett.org/

สารบัญ

		หน้า
AEN24	<p>การพัฒนาเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งในประเทศไทยโดยไมใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์</p> <p>ชานนท์ รุทพงษ์ บุญยัง ปดิ่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี</p>	134
Session	Renewable Energy 05	
ประธาน	ดร.ยุทธนา ชำสุวรรณ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เวลา	14:00-15:45 วันพุธ ที่ 4 พฤษภาคม 2554	
ห้องบรรยาย	Orchid A	
AEN25	<p>การพัฒนาเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ให้สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้เพื่อการประเมินค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ</p> <p>อภิชาต มุทธะศร ชาญณรงค์ ภิรมย์จิตร มานัส บังเงิน จริญญา ศรีชวารักษ์กุล อมรรัตน์ สัมมณี กอบศักดิ์ ศรีประภา</p> <p>สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ</p>	138
AEN26	<p>การประเมินค่าดัชนีทิศทางติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผสมกับแผงกันแดดแนวราบสำหรับอาคารในประเทศไทย</p> <p>ยุทธนา ทองทวีม นิพนธ์ เกตุจ้อย มหาวิทยาลัยขอนแก่น</p>	142
AEN27	<p>การศึกษาการเชื่อมโยงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอนจากผลของความหนาชั้นไอ</p> <p>ปฏิชาน กฤษศาต ชาญณรงค์ ภิรมย์จิตร กุชร ตั้งวงษ์ จริญญา ศรีชวารักษ์กุล อมรรัตน์ สัมมณี กอบศักดิ์ ศรีประภา</p> <p>สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ</p>	148
AEN28	<p>การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า ของระบบโฟโตโวลตาอิกที่เชื่อมต่อเข้ากับกริดระบบโดยใช้คอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแสหนึ่งเฟสแบบห้าระดับ</p> <p>ยุทธนา ชำสุวรรณ์ วิจิตร ศรีรัตนวิชัยกุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่</p>	152

ผู้ทรงคุณวุฒิเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

E-NETT 2011

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน/องค์กร
ศ.ดร.มณฑิต	เอื้ออาภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.มณฑิต	เอื้ออาภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.ทงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร.ผดุงศักดิ์	วิเศษเศโย	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์วังน้อย
ศ.ดร.สมชาติ	โสภณรณฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.วิวัฒน์พงษ์	รักษ์วิเชียร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร.นำยุทธ	สงค์ธนาพิทักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.สุวิรัตน์	ดวงเดือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.อุศมเกียรติ	นพทแก้ว	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ธนาคม	สุนทรชัยนาคแสง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.สันชัย	ฉันทวิรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พิณิจ	งามสม	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.วิทยา	มงเจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.คณิต	วิวัฒน์วิเชียร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.วาทูณี	เดื่อ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.สมิทธิ์	เยี่ยมธาดา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ.ดร.เสริม	จันทร์ฉาย	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รศ.ดร.สมรัฐ	เกิดสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.สันติชัย	กุลวราวิษพงษ์	มหาวิทยาลัยสุรนารี
รศ.ดร.ศุภชาติ	งใหญ่สมัยพัฒนา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.อดิศักดิ์	นาถกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.จักรวาล	สันเทภักดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.ศักดิ์กาน	เทพทัศน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุรชัย	มีจฉายิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รศ.ดร.สมรัฐ	เกิดสุวรรณ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ศิริชัย	เทพา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.เวทิน	ปิยรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.สมชัย	พิริฎวาริธม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.สมหมาย	ฉิวธาดา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.พูนเกียรติ	นาคะวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ภาวิณี	ศักดิ์สุนทรศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.เจริญพร	เอศธิดาสนกร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.ณัฐพร	ภูมิธาดา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพ็ชรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ฮาไพศักดิ์	ทิบุญนา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ชวสิทธิ์	ถีนวงศ์พิทักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ประจักษ์	ไทรยฤทธิ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.นุภาพ	แย้มไทรพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบันองค์กร
ผศ.ดร.ตึกะ	บุญนาค	มหาวิทยาลัยสุโขทัยนครสวรรค์
ผศ.ดร.ไชยณรงค์	จักรธรรณพ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์วังน้อย
ผศ.ดร.อชิตพร	ศศิธรานุวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ	คุชฎี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.สุรจิตร	พระเมธง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
ผศ.ดร.สุนทรวิฑูร	สวนใหญ่	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผศ.ดร.สมบูรณ์	สารสิทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผศ.ดร.สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยแพร่
ผศ.ดร.นริศ	ประทีนทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.บ็อดังค์	เนียมมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ชัยพร	ธงชัยสุริย์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สุธรรม	ปทุมสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.บัญญัติ	ตั้งตระกูล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.เกษรชัย	รักษาชาติ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.ภักดี	สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.กุลกานา	กุนาฮา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ศิวะ	อัครวิโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.กมลชัย	นามสงวน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.ฉัตรชัย	นิมมอ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ณัฐ	ภาคปณินท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.นิพนธ์	เกตุจ้อย	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยอเนก
ผศ.ดร.วารุณี	อริยวิโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.อาทิตย์	โสครโอม	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ดร.กอบศักดิ์	ศรีประภา	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
ดร.อนุสรณ์	แสงประจักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.ประภาพงษ์	วางทุกข์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ดร.พิสิษฐ์	มณีโชติ	มหาวิทยาลัยแพร่
ดร.ประพิศารีย์	ธนาวิทย์	มหาวิทยาลัยแพร่
ดร.ณัฐศักดิ์	วิเศษไชย	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์วังน้อย
ดร.รวิภา	บงประยูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
อ.ณรงค์	วัชรเสถียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.วิทยา	พวงสนมภ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ดร.สุชฤดี	สุขใจ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยอเนก
ดร.วเรศ	วิระชัย	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.จันทนา	กฤษณารัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ศิรินุช	จินดาวิทย์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอเนก
ดร.พนันท์	นานคงแนบ	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.ชนากานต์	อาษาสุจิต	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.ณัฏพร	กฤษณารัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้ทรงคุณวุฒิเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

E-NETT 2011

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน/องค์กร
อ.วิศนากร	ระวีงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.ปริญญ์	สุทธิพงษ์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ดร.วิรัช	โรจนรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สถาพร	ทองวิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.กฤษณ์ฉวี	ภูมิศักดิ์พิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สุรินทร์	แพวงงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.วินัย	จันทร์เพ็ญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.เสวีชา	เจริญวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.มนต์ทิพย์	อัครวิมล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ฉันทิพย์	คำวงษ์ทิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ฉัตรชัย	วิระนิตยกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สุมนมาลย์	เนืองพลากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.จักรี	ศรีวัฒนศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อ.ประชุม	คำสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณรงค์ชัย	โอเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.พงษ์ศักดิ์	สถา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.อำนาจ	เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณัฐภัทร	พันธ์ตั้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ศิริชัย	คงสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.บุญชัย	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สรพงษ์	ภาสุปรีดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.กิตติ	สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.วิจนากร	จารุศิริ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ธานีป	สุนธิ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.สาวิ	ศุภสุวิกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ณัฐภัทร	ตั้งมั่นสงวรสกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ฉันทนา	พันธุ์เทือก	มหาวิทยาลัยพระนคร
ดร.วรรัตน์	ปิศรประกร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.วิศิษฐ์	ธิดามาดีกุล	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.พิพัฒน์	วิถีสยามสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณรงค์	อึ้งกิมปั้น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ชาณุณรงค์	อัครเทสาณุกา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.ชรัส	เอี่ยมวรวิฑู	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ดร.วรรณิ	เอกสิทธิ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.ประชา	บุญยวาณิชกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ธานีป	สุนธิ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.อำนาจ	ผดุงศิลป์	มหาวิทยาลัยสุโขทัย
นายอำนาจ	องสถิตย์	กระทรวงพลังงาน
ดร.อุทธรณ์	ชาสุวรรณ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งในประเทศไทย โดยไม่ใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์

Forecasting Power output of PV Grid Connected System in Thailand without using Solar Radiation Measurement

ชานนท์ ชูพงษ์ และบุญยัง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี
จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3571 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: pboonyang@hotmail.com

บทคัดย่อ

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้นพร้อมทั้งราคาที่ลดลง แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอนเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเมื่อต้องเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของระบบไฟฟ้าได้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวบทความนี้จึงนำเสนอการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การคำนวณความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ และข้อมูลการพยากรณ์อากาศ ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Elman โดยใช้ข้อมูลจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง ณ ศาลาอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งจากผลการศึกษาและทดลองพบว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีการดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

คำสำคัญ: การพยากรณ์กำลังไฟฟ้า, ระบบเซลล์แสงอาทิตย์, โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

PV systems have been increasingly installed worldwide in recent years. Because it produces clean energy, moreover the development of technology is continued therefore the reliability is increasing and the price is decreasing in opposite. To implement the PV system, however, a significant limitation of PV system is the uncertainty of power from the sun. This will affect the quality of the electrical system. Therefore, this article will present the power forecasting of a PV system by calculating the solar radiation, collecting data from weather forecasting, and using Elman neural network to forecast by using data from PV system installed at roof top of Faculty Science and Technology Rajamangala University of Technology Thanyaburi. The results of study found that the tendency to apply this method any further.

Keywords: PV Power Forecasting, PV System, Neural Network

1. คำนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการติดตั้งใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก เนื่องมาจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพร้อมทั้งยังมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้นพร้อมทั้งราคาที่ลดลง แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอนเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ และสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ, สภาพเมฆบนท้องฟ้า ซึ่งเมื่อมีการต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าการเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า [1]

ดังนั้นการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จึงสามารถช่วยในการเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ โดยมีงานวิจัยที่กล่าวถึงการพยากรณ์ความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ [2] [3] ซึ่งยังไม่เพียงพอในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ยังขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอีกด้วย ส่วนงานวิจัยที่มีการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องมีการติดตั้งตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ [4]

ซึ่งในบทความนี้จะนำเสนอการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่ใช้ตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ วิธีการที่ใช้คือใช้การคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมงของวันถัดไปที่กระทำบนระนาบใด ๆ, ข้อมูลพยากรณ์อากาศ อุณหภูมิสูงสุด, อุณหภูมิต่ำสุด และ สภาพเมฆบนท้องฟ้าในวันถัดไป ป้อนเข้าระบบโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อพยากรณ์กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตได้ในวันถัดไป [5]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมบนระนาบใด ๆ

ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมบนระนาบใด ๆ ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบดังสมการที่ 1

$$G_t = G_b + G_d + G_r \quad (1)$$

G_t หมายถึง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวม (W/m^2)

G_b หมายถึง ความเข้มรังสีตรง (W/m^2)

G_d หมายถึง ความเข้มรังสีกระจาย (W/m^2)

G_r หมายถึง ความเข้มรังสีสะท้อน (W/m^2)

โดยองค์ประกอบทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 ถึง 2.3

$$Gb = G_o \cos \theta_s \quad (2.1)$$

$$G_d = G_o \cos \theta_z \quad t_d \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (2.2)$$

$$G_r = \rho G_o \cos \theta_z \quad t_r \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (2.3)$$

โดย G_o หมายถึง รังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลก (W/m^2) ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปทุกๆวันในรอบ 1 ปีเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$G_o = G_s \left[1 + 0.033 \cos \left(360 \frac{D}{365} \right) \right] \quad (3)$$

G_o หมายถึง ค่าเฉลี่ยของรังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลก มีค่า $1367 W/m^2$ และ D คือวันที่ในปีนั้นๆ (1-365)

t_b, t_d, t_r หมายถึง ค่าความนำของชั้นบรรยากาศสำหรับรังสีตรง, รังสีกระจายและรังสีสะท้อนตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4 ถึง 7 [5]

ρ หมายถึง สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้น

$$t_b = a_0 + a_1 e^{\left(-\frac{k}{\cos \theta_z} \right)} \quad (4)$$

โดยที่

$$a_0 = r_0 [0.4237 - 0.0082(6 - A)^2] \quad (5.1)$$

$$a_1 = r_1 [0.5055 - 0.00595(6.5 - A)^2] \quad (5.2)$$

$$k = r_2 [0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2] \quad (5.3)$$

$$t_d = 0.271 - 0.294 t_b \quad (6)$$

$$t_r = 0.271 + 0.706 t_b \quad (7)$$

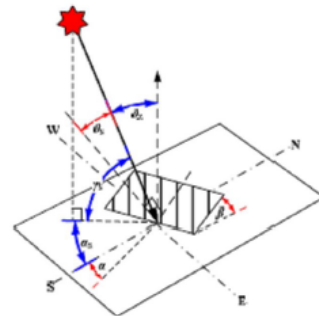
โดย A คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเลของจุดที่ตั้งระบบ (กิโลเมตร)

r_0, r_1 และ r_2 มีค่าตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบปรับแก้สำหรับภูมิอากาศต่างๆ

Climate type	r_0	r_1	r_2
Tropical	0.95	0.98	1.02
Midlatitude Summer	0.97	0.99	1.02
Subarctic Summer	0.99	0.99	1.01
Midlatitude Winter	1.03	1.01	1.00

จากสมการที่ 2 θ_z คือมุมเซนิท (Zenith Angle) และ θ_s คือมุมที่รังสีดวงอาทิตย์กระทบแผง รายละเอียดดังรูปที่ 1 สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ 8 และ 9 และ β คือมุมเอียงของแผงที่ตั้ง



รูปที่ 1 มุมต่างๆในการติดตั้งที่ใช้คำนวณ

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \cos \theta_s = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta + \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \alpha \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \alpha \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \alpha \sin \omega \sin \beta \end{aligned} \quad (9)$$

โดยที่ δ หมายถึงมุมที่ลำแสงจากดวงอาทิตย์กระทำกับเส้นศูนย์สูตรของโลก (Declination angle)

ϕ หมายถึงตำแหน่งละติจูดของสถานที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ω หมายถึงมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เป็นการบอกเวลาจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะมีค่า 15° ต่อชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0 ในเวลาเที่ยง, $+90^\circ$ ตอนพระอาทิตย์ขึ้น และ -90° ตอนพระอาทิตย์ตก [6]

α หมายถึงมุมอะซิมูทของการติดตั้งแผง (Azimuth angle) หมายถึงมุมที่แผงหันออกจากทิศใต้ ถ้าแผงหันทางทิศใต้มุมนี้จะมีค่าเป็น 0

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \frac{(D + 284)}{365} \right] \quad (10)$$

$$\omega = 15(12 - ST) \quad (11)$$

โดยที่

$$ST = LST + 4(Ls - Lloc) + Et \quad (12)$$

ST หมายถึง เวลาของดวงอาทิตย์ (ชม, นาที)

LST หมายถึง เวลามาตรฐานท้องถิ่น (ชม, นาที)

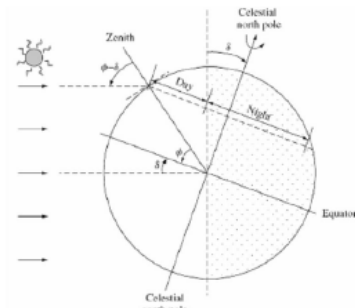
Ls หมายถึง เส้นลองจิจูดมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงของท้องถิ่นนั้น (องศา)

Lloc หมายถึง เส้นลองจิจูดของตำแหน่งที่ตั้ง (องศา)

Et หมายถึง ค่าปรับแก้เวลาจริงกับเวลาดวงอาทิตย์ (นาที)

$$Et = 229.1831(0.000075 + 0.001868 \cos \theta - 0.032077 \sin \theta - 0.014615 \cos 2\theta - 0.040849 \sin 2\theta) \quad (13)$$

$$\text{โดย } \theta = 360 \frac{(D - 1)}{365} \quad (14)$$

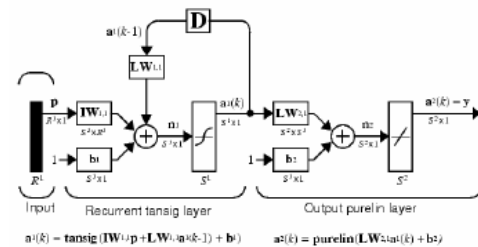


รูปที่ 2 มุม Declination และ มุม Zenith

ซึ่งสมการ 1 -14 นั้นสามารถใช้คำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่กระทบลงบนระนาบใดๆได้ในสภาวะที่ท้องฟ้าแจ่มใสเท่านั้น [5] ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในสภาวะจริงจะต้องนำสภาพทางภูมิอากาศมาเกี่ยวข้องด้วย

2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Recurrent

โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Recurrent ที่ใช้ที่นี่เป็นชนิด Elman ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับโครงข่ายประสาทเทียมทั่วไปเพียงแต่มีการป้อนค่า Output ของชั้นซ่อนกลับมาคำนวณในรอบถัดไป ทำให้ Output ของโครงข่ายประสาทเทียมที่รอบใดๆขึ้นอยู่กับ Output ในรอบที่ผ่านมาด้วย ด้วยคุณสมบัตินี้ โครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถจดจำข้อมูลในลักษณะที่เป็นลำดับเหตุการณ์ได้ [4] [5]



รูปที่ 3 Elman Network

3. วิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอ

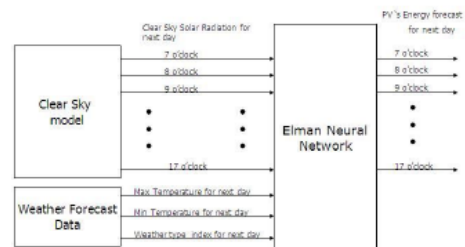
วิธีการที่นำเสนอในบทความนี้คือการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์โดยมี Input 14 ตัวได้แก่ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมของวันถัดไปซึ่งได้จากการคำนวณในหัวข้อ 2.1 ตั้งแต่เวลา 7:00 น. ถึง 17:00 น. (จำนวน 11 ค่า) ข้อมูลจากการพยากรณ์อากาศจำนวน 3 ค่า คือ อุณหภูมิสูงสุดของวันถัดไป, อุณหภูมิต่ำสุดของวันถัดไป, สภาพท้องฟ้าของวันถัดไป

โดยข้อมูลสภาพท้องฟ้าของวันถัดไปในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการกำหนดเป็นค่าดัชนีดังนี้

ตารางที่ 2 การกำหนดค่าสภาพท้องฟ้า

การพยากรณ์อากาศ	ดัชนีสภาพท้องฟ้า
ท้องฟ้าแจ่มใส, มีเมฆบางส่วน	0.9
มีเมฆเป็นส่วนใหญ่	0.6
ฝนตก, หมอก	0.3

และ Output ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมคือค่ากำลังไฟฟ้า (kW) รายชั่วโมงที่ผลิตได้ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่วันที่ 7:00 น. ถึง 17:00 น.



รูปที่ 4 โดอะแกรมของวิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอ

4. การทดลองและผลการทดลอง

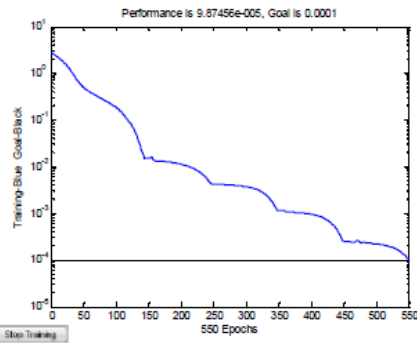
4.1 การสอนโครงข่ายประสาทเทียม

ในการทดสอบวิธีการพยากรณ์นี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณค่าและประเมินประสิทธิภาพ ข้อมูลที่ใช้สอนโครงข่ายประสาทเทียมได้มาจากการคำนวณตามหัวข้อ 2.1, เว็บไซต์พยากรณ์อากาศ www.wunderground.com, ข้อมูลกำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 1kWp แบบเชื่อมต่อสายส่ง ณ คาดฟ้าอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมนี้ได้ใช้ข้อมูลดังกล่าวระหว่างวันที่ 17 ถึง 23 มกราคม 2554



รูปที่ 5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ คาดฟ้าอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โดยข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาผ่านกระบวนการ Pre-processing แบบเชิงเส้นใน MATLAB เพื่อให้ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในช่วง [-1 1] ซึ่งช่วยให้การสอนโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

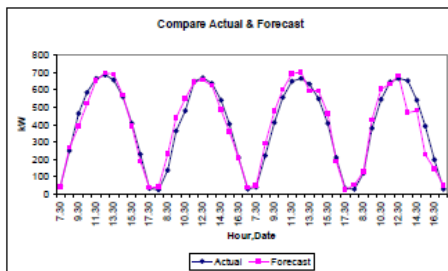


รูปที่ 6 การสอนโครงข่ายประสาทเทียม

4.2 การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

เมื่อทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียมแล้วเราได้นำข้อมูลอีกชุดหนึ่งมาทำการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าว โดยเป็นข้อมูลการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวม และการพยากรณ์อากาศระหว่างวันที่ 31 มกราคม ถึง 3 กุมภาพันธ์ 2554 โดยนำค่าดังกล่าวผ่านกระบวนการ Pre-processing แบบเชิงเส้นก่อนป้อนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมแล้วนำค่าที่ได้จาก output ของโครงข่ายประสาทเทียมผ่านกระบวนการ Post-processing แบบเชิงเส้นใน MATLAB จึงจะได้ค่าพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ นำค่านี้มาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่บันทึกไว้ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วคำนวณค่าความผิดพลาดเฉลี่ย Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ตามสมการที่ 15 ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ค่า MAPE เท่ากับ 16.83%

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_i^f - P_i^a}{P_i^a} \right| \% \tag{15}$$



รูปที่ 7 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริง กับ กำลังไฟฟ้าจากการพยากรณ์

5. สรุป

การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การคำนวณความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใส และข้อมูลการพยากรณ์อากาศเป็นข้อมูล Input ให้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Elman แทนการใช้วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ มีแนวโน้มที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยในการศึกษาทดลองครั้งนี้พบว่าค่าพยากรณ์และค่าจริงของกำลังไฟฟ้ามีค่าไปในทิศทาง

เดียวกัน โดยมีค่าความผิดพลาด 16.83% ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ยังมีจำนวนไม่มากและยังต้องมีการรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาทดลองต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.มรกต พุททกาล ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Woyte, V. Van Thong, R. Belmans, and J. Nijs, "Voltage fluctuations on distribution level introduced by photovoltaic systems," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 21, pp. 202-209, 2006.
- [2] E. Lorenz, J. Hurka, D. Heinemann, and H. G. Beyer, "Irradiance Forecasting for the Power Prediction of Grid-Connected Photovoltaic Systems," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 2, pp. 2-10, 2009.
- [3] Mellit A., Arab A.H., Khorissi N., Salhi H, "an ANIF based forecasting for solar radiation data from sunshine duration and ambient temperature" Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE Digital Object Identifier: 10.1109/PES.2007.38631 Publication Year: 2007, Page(s): 1 – 6
- [4] A. Yona, T. Senjyu, and T. Funabashi, "Application of recurrent neural network to short-term-ahead generating power forecasting for photovoltaic system," 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vols 1-10, pp. 3659-3664, 2007
- [5] Cai Tao, Duan Shanxu and Chen Changsong. "Forecasting Power Output for Grid-Connected Photovoltaic Power System without using Solar Radiation Measurement" Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2010 2nd IEEE International Symposium on Digital Object Identifier: 10.1109/PEDG.2010.5545754 Publication Year: 2010 , Page(s): 773 – 777
- [6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ร่วมกับ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, "คู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้งานด้านพลังงานทดแทน"

Main MENU

Abstract Book

9th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium

**Energy technology, Environmental
and Social Impact, Nanotechnology
and Material Technology, Energy
Economic and Management, Nuclear
Technology, New Technology and
Other topics related to energy field.**

**On May 25-28, 2011
Wiang Inn, Chiang Rai
Thailand**

Organized by



Sponsored by



CONTENT

ET13	Application of Solar Cells for Daytime Weather Study N. Choosakul, M. Buddhakala, N. Barnthip, A. Muakngam and C. Banglieng	13
ET14	Fuel gas generation from cotton residue gasification using supercritical water treatment T. Samanmulya	14
ET15	Design of a Lab-Scale Two-Stage Rice Husk Gasifier <i>K. Sarasuk and B. Sujjakulnikit</i>	15
ET16	Design of Control System of Hydrogen and Oxygen Flow Rate for Proton Exchange Membrane Fuel Cell Using Fuzzy Logic Controller <i>A. Thomya and Y. Khunatorn</i>	16
ET17	Development of a Scheme to Rate Energy Performance of Air- Conditioning System for Large Buildings: A Case of Thailand\ <i>P. Sertsungnern and P. Chaiwiwatworakul</i>	17
ET18	Effect of torrefaction condition on the bio-oils production <i>O. Khumsak, W. Wattananoi and N. Worasuwannarak</i>	18
ET19	Development of a Scheme to Rate Energy Performance of Air- Conditioning System for Large Buildings: A Case of Thailand <i>P. Sertsungnern and P. Chaiwiwatworakul</i>	19
ET20	Energy Management and Control System for Smart Renewable Energy Power Generation <i>S. Kohsri and B. Plangplang</i>	20
ET21	Enhancing Biogas Production from Padauk Angsana Leaves and Wastewater Feedstock through Alkaline and Enzyme Pretreatment <i>P. Juntarasiri, S. Nijunkij, T. Buatick , E. Jamkrajang</i>	21
ET22	Factors Determining the Competition Use of Thailand's Cassava for Food and Fuel <i>O. Chaisinboon and J. Chontanawat</i>	22
ET23	Forecasting Power output of PV Grid Connected System in Thailand without using Solar Radiation Measuremen <i>C. Chupong and B. Plangklang</i>	23
ET25	Improvement thermal efficiency and Technology transfer a Salt Producing Stove Chimney; Amphoe Bo Kluea, Nan Province <i>Y. Sriudom and C. Comarch</i>	24



International scientific advisory committee:

Chairperson:

Assoc.Prof.Dr.Namyoot Songthanapitak Thailand

Co-chairperson

Prof.Dr.Kiyoshi Yoshikawa Japan

Member:

Prof.Dr.Susumu Yoshikawa Japan

Prof. Dr.Phadungsak Rattanadecho Thailand

Prof.Dr.Shiro Saka Japan

Prof. Dr.-Ing. habil. Ingo Stadler Germany

Prof. Dr.Nipon TangTham Thailand

Prof. Dr. Takeshi Yao Japan

Prof. Dr. Masayoshi Okubo Japan

Prof.Dr.Somchai Wongwises Thailand

Prof. Dr.Young S. Chai. Korea

Prof.Dr.Hideaki Ohgaki Japan

Prof.Dr. Nadarajah Mithulananthan Australia

Prof. Dr. Masayoshi Okubo Japan

Prof. Dr. Yukio Ogata Japan

Prof. Dr. Hitomi Ohara Japan

Prof. Dr. Yuichi Anada Japan

Dr. Sei-ichi Aiba Japan

Assoc.Prof.Dr.Preecha P. Yupapin Thailand

Assoc.Prof.Dr.Supakij Nontananandh Thailand

Assoc.Prof.Dr. K. Srinivas Reddy India

Assoc.Prof.Dr.Somsak Mitatha Thailand

Assoc.Prof Kosin Chamnongthai Thailand

Assoc. Professor Dr. David Jan Cowan USA

Assoc. Prof. Dr. Per B Zetterlund Australia

Assoc.Prof.Serm JanJai Thailand

Assoc. Prof. Dr. Takashi Sagawa Japan

International scientific advisory committee:

Assoc. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum	Thailand
Assoc. Prof. Dr. Tawatchai Charinpanitkul	Thailand
Assoc. Prof. Dr. Pramoch Rangsunvijit	Thailand
Assist. Prof. Dr. Sonobe Taro	Japan
Asst. Prof. Dr. Sutham Niyomwas	Thailand
Asst. Prof. Dr. Boonyarach Kitiyanan	Thailand
Asst. Prof. Dr. Thammanoon Sreethawong	Thailand
Asst. Prof. Dr. Chanchai Thongpin	Thailand
Asst.Prof.Dr.Kesineee Pratumswan	Thailand
Asst.Prof.Dr.Yoshikazu Suzuki	Japan
Asst.Prof.Dr. Kulachate Pianthong	Thailand
Asst Professor. Dr. Sanya Sirivithayapakorn	Thailand
Asst Professor. Dr. Pongsak Noophan	Thailand
Asst.Prof.Dr.-Ing. Thanapong Suwanasri	Thailand
Asst.Prof.Dr. Phayung Meesad	Thailand
Asst.Prof.Dr.Somchai Prakanchaen	Thailand
Dr. Nguyen Minh Tan	Vietnam
Dr. Arthit Sode-yome	Thailand
Dr.Napaporn Phuangpornpitak	Thailand
Dr.Nirun Kongritti	Thailand
Dr. Surawut Chuangchote	Thailand
Dr. -Ing. Supakij Suttiruengwong	Thailand
Dr.Chanyud Kritsunankul	Thailand
Dr.Kullaya Saricheewin	Thailand
Dr.Thaneeeya Perbangkhem	Thailand
Dr. Supachai Ngamsinlapasathian	Thailand

Forecasting Power output of PV Grid Connected System in Thailand without using Solar Radiation Measurement

C. Chupong and B. Plangklang

ET23

Abstract - PV systems have been increasingly installed worldwide in recent years. Because it produces clean energy, moreover the development of technology is continued therefore the reliability is increasing and the price is decreasing in opposite. To implement the PV system, however, a significant limitation of PV system is the uncertainty of power from the sun. This will affect the quality of the electrical system that connected. Therefore, this article will present the power forecasting of a PV system by calculating the solar radiation, collecting data from weather forecasting, and using Elman neural network to forecast by using data from PV system installed at roof top of Faculty Science and Technology Rajamangala University of Technology Thanyaburi. The results of study found that the tendency to apply this method any further

Keyword – Neural Network, PV Power Forecasting, Solar Radiation

1. INTRODUCTION

PV systems have been increasingly installed worldwide in recent years. Because it produces clean energy, moreover the development of technology is continued therefore the reliability is increasing and the price is decreasing in opposite. To implement the PV system, however, a significant limitation of PV system is the uncertainty of power from the sun. This will affect the quality of the electrical system that connected [1].

Therefore, the forecasting power output of the PV system can help to increase the quality of the power system. There're some researches discuss about the forecasting of solar radiation [2] [3], but is not sufficient to forecast the power output of PV system because power output of PV system also depends on the temperature changes as well. And some researches discuss the forecasting power output of the PV system that need to be installed solar radiation measurement [4].

In this article will present the forecasting power output of PV Grid Connected System without using Solar Radiation Measurement. The methodology used is to calculating the hourly solar radiation for the next day and use data from weather forecasting Maximum temperature, minimum temperature and cloud conditions in the next day as input of neural network. To forecast hourly power output of PV system [5].

2. THEORETICAL BACKGROUND

2.1 Calculation of Solar Radiation on any plane

Solar radiation on any plane consist of 3 components as equation 1

$$G_t = G_b + G_d + G_r \quad (1)$$

Where

G_t is Total radiation (W/m²)

G_b is Direct radiation (W/m²)

G_d is Diffuse radiation (W/m²)

G_r is Reflect radiation (W/m²)

All 3 components can be calculated by equations 2.1 to 2.3

$$G_b = G_o \cos \theta_s \quad (2.1)$$

$$G_d = G_o \cos \theta_z \quad t_d \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (2.2)$$

$$G_r = \rho G_o \cos \theta_z \quad t_r \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (2.3)$$

G_o is solar radiation outside the Earth atmosphere (W/m²), which changed every day during the year due to the motion of the Earth around the Sun, calculated from equation 3.

$$G_o = G_s \left[1 + 0.033 \cos \left(360 \frac{D}{365} \right) \right] \quad (3)$$

Where

G_s is Solar Constant 1367 W/m²

D is day in year (1-365)

t_b , t_d , t_r is the atmospheric transmittance for direct radiation, diffuse radiation and reflected radiation consequently calculate as equations 4 to 7 [5]

ρ is reflectance value of ground

C. Chupong and B. Plangklang are with Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 39 M.1 Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Tel: +662-549-3571 Fax: +662-549-3568 E-mail: ai.charnon@gmail.com, pboonyang@hotmail.com

$$t_b = a_0 + a_1 e^{\left(-\frac{k}{\cos \theta_z}\right)} \quad (4)$$

Where

$$a_0 = r_0[0.4237 - 0.0082(6 - A)^2] \quad (5.1)$$

$$a_1 = r_1[0.5055 - 0.00595(6.5 - A)^2] \quad (5.2)$$

$$k = r_k[0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2] \quad (5.3)$$

$$t_d = 0.271 - 0.294t_b \quad (6)$$

$$t_r = 0.271 + 0.706t_b \quad (7)$$

Where

A is attitude of location in km

r_0 , r_1 and r_k are correction factor for various climate type as table 1

Table 1 correction factor for various climate type

Climate type	r_0	r_1	r_k
Tropical	0.95	0.98	1.02
Midlatitude Summer	0.97	0.99	1.02
Subarctic Summer	0.99	0.99	1.01
Midlatitude Winter	1.03	1.01	1.00

From equation 2 θ_z is Zenith Angle and θ_i is Incident Angle calculate by equations 8 and 9 and β is Inclination Angle of PV surface, detail in figure 1

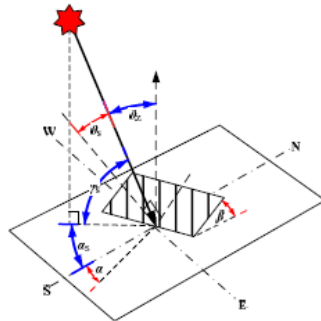


Fig 1 Zenith Angle, Incident Angle and Inclination Angle

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \cos \theta_i = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \alpha \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \alpha \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \alpha \sin \omega \sin \beta \end{aligned} \quad (9)$$

Where

δ is Declination Angle

ϕ is Latitude of Location

ω is Hour Angle of the sun equal 0 in noon, +90° when sunrise -90° when sunset change 15° every 1 hour [6]

α is Azimuth Angle

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \frac{(D + 284)}{365} \right] \quad (10)$$

$$\omega = 15(12 - ST) \quad (11)$$

Where

$$ST = LST + 4(Ls - Lloc) + Et \quad (12)$$

ST is Sun Time (Hour, Minute)

LST is Local Standard Time (Hour, Minute)

Ls is Reference Longitude (for define time zone, i.e. 105° for Thailand)

Lloc is Longitude for Site Location

Et is Equation of Time (Minute)

$$Et = 229.1831(0.000075 + 0.001868 \cos \theta - 0.032077 \sin \theta - 0.014615 \cos 2\theta - 0.040849 \sin 2\theta) \quad (13)$$

Where
$$\theta = 360 \frac{(D - 1)}{365} \quad (14)$$

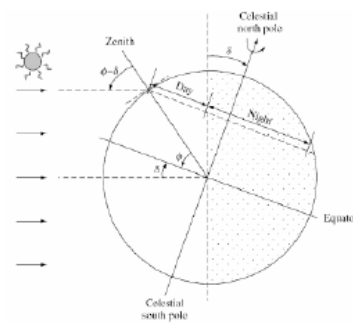


Fig 2 Declination Angle and Zenith Angle

We can use equations 1 -14 to calculate solar radiation on any surface in anytime of year in clear sky without cloud only [5]

In forecasting PV power output application we must consider other weather condition as temperature and cloudy too.

2.2 Recurrent Artificial Neural Network

The Elman network commonly is a two-layer network with feedback from the first-layer output to the first-layer input. This recurrent connection allows the Elman network to both detect and generate time-varying patterns. A two-layer Elman network is shown in figure 3.

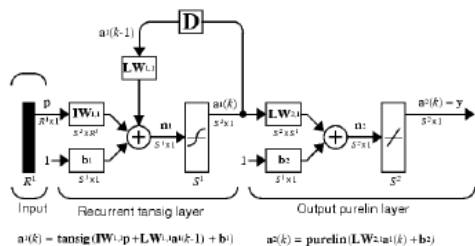


Fig 3 Elman Network

3. PROPOSED FORECASTING METHOD

Proposed forecasting method presented in this article is to use Elman neural networks which the Inputs for network has 14 inputs includes the solar radiation from 7:00 to 17:00 for next day, which was calculated in section 2.1 (11 inputs) and other 3 inputs are data from weather forecast highest temperature for next day, lowest temperature for next day and cloudy condition for next day that use cloudy index as table 2

Table 2 cloudy index

Cloudy condition	Cloudy index
Clear, Partly-Cloudy	0.9
Cloudy	0.6
Rain,Fog	0.3

And Outputs from network are forecast hourly power output (kW) from PV from 7:00 to 17:00

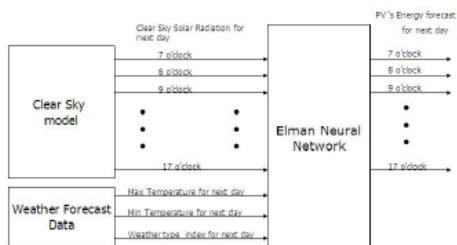


Fig 4 Diagram of propose forecasting method

4. EXERIMENT AND RESULT

4.1 Training the network

In this experiment using MATLAB software to create network and training, data used to train the network come from the calculation in section 2.1, weather forecast website www.wunderground.com and hourly data of output PV 1 kWp Grid Connected System at roof-top of Building Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. In this training use these data from 17th Jan 2011 to 23rd Jan 2011



Fig 5 PV Grid Connected System used in this article

These data are taken through a pre-processing by Linear model in MATLAB to normalize all data in range [-1 1] that make more efficiency in training process.

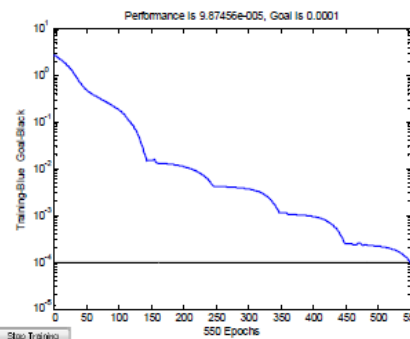


Fig 6 Training of Elman Neural Network

4.2 Experiment Results

After training the network, we have another set of data to test the network. These data are come from calculation of the solar radiation and weather forecast during 31 January to 3 February 2011 we normalize these data by Pre-processing process and then input to network. Now network give output in range [-1 1] then input these data to Post-processing by Linear model in MATLAB we can get forecast values. These forecast values are compared with the actual values recorded at site. Then calculated as the average error Mean Absolute Percentage Error (MAPE) by equation 15, which in this experiment,

the MAPE is equal to 16.83%.

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|P'_f - P'_a|}{P'_a} \% \quad (15)$$

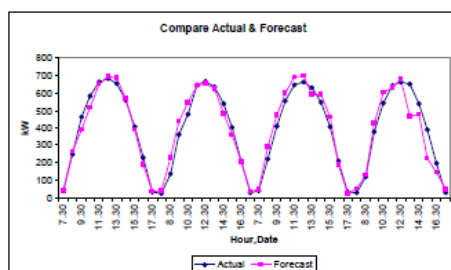


Fig 7 Compare Forecast value and Actual value

To validate this result we compare this MAPE 16.83% with application of Recurrent Neural Network and measured data of solar radiation to forecast PV power output [4] that have MAPE about 12% -17% vary in each month. The MAPE of 2 methods are too close that mean this forecasting method can acceptable.

5. CONCLUSION

Forecasting power output of PV Grid Connected System by data from calculating the solar radiation in clear sky condition and weather forecast data as Input to the Elman neural network instead of using a solar radiation measurement. In this experiment found that the forecast and actual values go in the same direction. The errors were 16.83% the data used in this study were also few and still have to collect more data to study in further.

6. ACKNOWLEDGEMENT

Authors would like to Thank you Dr.Morakot Puttakarn for kindly support the data of Power Output of PV Grid Connected System for this experiment.

REFERENCE

- [1] A. Woyte, V. Van Thong, R. Belmans, and J. Nijs, "Voltage fluctuations on distribution level introduced by photovoltaic systems," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 21, pp. 202-209, 2006.
- [2] E. Lorenz, J. Hurka, D. Heinemann, and H. G. Beyer, "Irradiance Forecasting for the Power Prediction of Grid-Connected Photovoltaic Systems," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 2, pp. 2-10, 2009.
- [3] Mellit A., Arab A.H., Khorissi N., Salhi H, "an ANIF based forecasting for solar radiation data from sunshine duration and ambient temperature" Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE Digital Object Identifier: 10.1109/PES.2007.38631 Publication Year: 2007, Page(s): 1 – 6
- [4] A. Yona, T. Senjyu, and T. Funabashi, "Application of recurrent neural network to short-term-ahead generating power forecasting for photovoltaic system," 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vols 1-10, pp. 3659-3664, 2007
- [5] Cai Tao, Duan Shanxu and Chen Changsong, "Forecasting Power Output for Grid-Connected Photovoltaic Power System without using Solar Radiation Measurement" Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2010 2nd IEEE International Symposium on Digital Object Identifier: [10.1109/PEDG.2010.5545754](https://doi.org/10.1109/PEDG.2010.5545754) Publication Year: 2010 , Page(s): 773 – 777
- [6] Department of Alternative Energy Development and Efficiency co-operate with Faculty of Engineering Silpakorn University, "Manual for Reference Data in Climate and Solar Radiation for Renewable Energy"



The 34th Electrical Engineering Conference (EECON-34)
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34



30 พฤศจิกายน - 2 ธันวาคม 2554
 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี
 ดำเนินการโดย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม



สารบัญ

GN018	ประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงของท่อนาโนไททาเนด จากผงสีขาวไดออกไซด์ราคาถูกและท่อนาโนคาร์บอน พิศุทธิ์ เจริญรัตน์ ¹ ธนกร วิรุฬห์มงคล ² ฉัฐพร โทพานนท์ ¹ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์ ² และ สรพจน์ ภาสุปรีย์ ¹ ¹ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ² มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	613
GN019	การศึกษาผลกระทบของแรงของสนามไฟฟ้าที่มีต่อมลพิษไฟฟ้า ศิริโรตม์ เกตุแก้ว มหาวิทยาลัยรามคำแหง	617
GN020	การพัฒนาเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4550 วิจิตรา เพ็ชรกิจ ¹ สุทธิเกียรติ ชลลาภ ² ชีระยุทธ นรารังกู ¹ และ ประสงค์ ทรัพย์ประสานสุข ² ¹ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ² มหาวิทยาลัยสยาม	621
GN021	ระบบการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลกรณีการทำงานที่ครอดเร็นท์ วันชัย ฉิมฉวี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	625
GN022	การศึกษาความผิดพลาดในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบบเชื่อมต่อสายส่งด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยไมใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์ ชานนท์ ชูพงษ์ และ บุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	629
GN023	โปรแกรมจำลองการติดตามดวงอาทิตย์สำหรับการศึกษาและหาค่าความเข้มรังสี แสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดี กิรติ ชยะกุลศิริ ชัยรัตน์ วิสุทธีรัตน์ และ พศวีร์ ศรีโหมด มหาวิทยาลัยศรีปทุม	633



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Akkarat Boonpoonga
Amnart Suksri
Amnoiy Ruengwaree
Amorn Jiraseree-amomkun
Anuchit Charean
Anupap Meesomboon
Anuree Lorsawatsiri
Anuwat Jangwanitlert
Aphibul Pruksanubal
Apichai Bhatranand
Apichan Kanjanavapastit
Apinunt Thanachayanont
Apirada Namsang
Apiwat Lek-uthai
Arkhom Moungkhaodaeng
Arkom Kaewrawang
Arnon Isaramongkolrak
Arpom Teeramongkonrasmee
Arthit Sode-Yome
Athikom Sarephattananon
Atthapol Ngaopitakkul
Bancha Burapattanasiri
Benjamas Panomruttanarug
Bongkoj Sookananta
Boonchuay Supmonchai
Boonruk Chipipop
Boonsri Kaewkham-ai
Boonyang Plangklang

Affiliations

King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Khon Kaen University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Mahanakorn University of Technology
Kasembundit University
KhonKaen University
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
King Monkut's University of Technology Thonburi
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Chulalongkom University
Srinakharinwirot University
Khon Kaen University
Mahanakorn University of Techonology
Chulalongkorn university
Siam University
Eastern Asia University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Kasembundit University
King Monkut's University of Technology Thonburi
Ubon Ratchathani University
Chulalongkorn Univeristy
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Chiang Mai University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Budhapon Sawetsakulanond
 Cattareeya Suwanasri
 Chai Chompoo-inwai
 Chainarin Ekkararodome
 Chainarong Klimanee
 Chaiwut Chat-uthai
 Chaiyan Jettanasen
 Chaiyaporn Khemapatapan
 Chaiyaporn Lothongkam
 Chaiyo Thammarat
 Chaiyut Sumpavakup
 Chanchai Thajiam
 Chanchana Tangwongsan
 Channarong Banmongkol
 Charnchai Pluempitiwiriyaewej
 Charturong Tantibundhit
 Chatchai Jantaraprim
 Chatchai Suppitsakul
 Chirawat Wattapanich
 Chiranut Sangiamsak
 Chirasak Sinsukudomchai
 Chirdpong Deelertpaiboon
 Chow Chompoo-inwai
 Chugiat Garagate
 Chutipon Uyaisom
 Chuttchaval Jeraputra
 David Banjerdpongchai
 Decha Wilairat

Affiliations

Mahanakorn University of Technology
 Naresuan University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Srinakharinwirot University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Dhurakij Pundit University
 Mahanakorn University of Technology
 South East Asia University
 Mahanakorn University of Technology
 Srinakharinwirot University
 Chulalongkorn University
 Chulalongkorn University
 Chulalongkorn University
 Thammasat University
 Prince of Sonkla University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Walailak University
 Khon Kaen University
 South-East Asia University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Kasetsart University
 Eastern Asia University
 Mahidol University
 Chulalongkorn University
 Mahidol university



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Denchai Worasawate
Duang-arthit Srimoon
Ekapon Siwapornsathain
Issarachai Ngamroo
Itarun Pitimon
Ittipong Chaisayun
Jakkree Srinonchat
Jeerasuda Koseeyaporn
Jirasak Chanwutitum
Jirasuk Vilasdechanon
Jitkomut Songsiri
Jukkrit Tagapanij
Kamon Jirasereeamornkul
Kampol Woradit
Kampree Thiravith
Kanadit Chetpattananondh
Kanat Poolsawasd
Kanchana Silawarawet
Kasem Utaikaifa
Keerati Chayakulkheeree
Khanittha Kaewdang
Kiatiyuth Kveeyarn
Kittiphong Meesawat
Kittisak Tripipatpornchai
Kittiwann Nimkerdphol
Kobchai Dejhan
Komsan Hongesombut
Komson Daroj

Affiliations

Kasetsart University
Rangsit University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Rajamngala University of Technology Thanyaburi
South-East Asia University
Rajamngala University of Technology Thanyaburi
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
King Mongkuts University of Technology North Bangkok
Chiang Mai University
Chulalongkorn University
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Srinakharinwirot University
Siam University
Prince of Songkla University
Mahidol University
Siam University
University of the Thai Chamber of Commerce
Sripatum University
Ubon Ratchathani University
Kasetsart University
Khon Kaen University
Rangsit University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Kasetsart University
Ubonratchathani University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Korporn Panyim
 Kosin Chamnongthai
 Krischonme Bhumkittipich
 Krissada Asavaskulkeit
 Krit Angkeaw
 Kulyos Audomvongseree
 Kunthphong Srisathit
 Kusumal Chalermyanont
 Mana Sriyudthsak
 Manop Aorpimai
 Mitchai Chongcheawchamnan
 Miti Ruchanurucks
 Monai Krairiksh
 Mongkol Konghirun
 Montree Siripruchyanun
 Montree Kumngern
 Montri Karnjanadecha
 Montri Somdunyanok
 Naebboon Hoonchareon
 Nalin Sidahao
 Nalinrat Witsawakitti
 Napat Sra-ium
 Nararat Ruangchaijatupon
 Narong Yoothanom
 Narong Buabthong
 Narongrit Sanajit
 Nathabhat Phankong
 Natham Koedsamang

Affiliations

Mahidol University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Mahidol University
 King Mongkuts University of Technology North Bangkok
 Chulalongkorn University
 Mahanakorn Univeristy of Technology
 Prince of Songkla University
 Chulalongkorn University
 Mahanakorn University of Technology
 Prince of Songkla University
 Kasetsart University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Prince of Songkla University
 Siam University
 Chulalongkorn University
 Mahanakorn University of Technology
 Siam University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Khon Kaen University
 Sripatum University
 Thammasat University
 Mahankorn University of Technology
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Kasembundit University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Nattavut Chayavanich
 Nattha Jindapetch
 Natthaphob Nimpitiwan
 Natthawuth Somakettarin
 Nimit Boonpirom
 Nipat Jongsawat
 Nisachon Tangsangiumvisai
 Nitipong Panklang
 Norrarat Wattanamongkhon
 Norrarat Wattanamongkhon
 Nuntiya Chaiyabut
 Opas Chutatape
 Paitoon Raklua
 Pakit Suwat
 Pakorn Kaewtrakulpong
 Panavy Pookaiyaudom
 Panthep Laohachai
 Pasawee Srimode
 Peerapol Jirapong
 Peerapol Yuvapoositanon
 Peerawut Yutthagowith
 Peerayot Sanposh
 Pennapa Pairodamonchai
 Petch Nantivatana
 Phaisan Ngamjanyaporn
 Phaisarn Sutheebanjard
 Phakkawat Jantree
 Phichet Moungnoul

Affiliations

King Mongkut's University of Tecnology Thonburi
 Prince of Songkla University
 Bangkok University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Sripatum University
 Siam University
 Chulalongkorn University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Chulalongkorn University
 Chulalongkorn University
 Bangkok University
 Rangsit University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Siam University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Mahanakorn University of Technology
 Dhurakij Pundit University
 Sripatum University
 Chiang Mai University
 Mahanakorn University of Technology
 King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Kasetsart University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Sripatum University
 Rangsit University
 Siam University
 Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
 King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Phumin Kirawanich
Pichai Aree
Pichet Wisartpong
Pinit Jitjing
Pinit Thepsatorn
Pipat Prommee
Pisit Vanichchanunt
Pisit Wisutmetheekorn
Piya Warabuntaweekul
Pongsawat Kotchapoom
Pongsack Promwong
Poonlap Lamsrichan
Pornchai Phukpattaranont
Prajub Pawarangkoon
Pramin Artrit
Pranchalee Rattanasakornchai
Prasopchok Hothongkham
Prayoot Akkaraekthalin
Preecha Kocharoen
Promsak Apiratikul
Puangtip Phadungrot
Punyaphat Phumiphak
Punyawi Jamjareekul
Rachu Punchalard
Rangsipan Marukatat
Rawid Banchuin
Rungsimant Sitdhikorn
Sakechai Thipechaksurat

Affiliations

Mahidol University
Thammasat University
Mahanakorn University of Technology
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Srinakharinwirot University
King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Mahanakorn University of Technology
Bangkok University
Eastern Asia University
Mahanakorn University of Technology
Kasetsart University
Prince of Songkla University
Mahanakorn University of Technology
Khonkaen University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Siam University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Sripatum University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Mahanakorn University of Technology
Mahanakorn University of Technology
Dhurakij Pundit University
Mahanakorn University of Technology
Mahidol University
Siam University
Mahanakorn university of Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Sakorn Po-ngam
 Saliltip Sinthusonthishat
 Samphan Phrompichai
 Samroeng Hintamai
 Sanchai Dechanupaprittha
 Sangsuree Vasupongayya
 Sanun Srisuk
 Sarawan Wongsa
 Sawat Bunnjaweht
 Seangrawee Buakaew
 Sermsak Uatrongjit
 Sirichai Dangeam
 Sirivit Taechajedcadarungsri
 Siriwich Tadsuan
 Sittiporn Petchakit
 Somboon Nuchprayoon
 Somboon Sooksatra
 Somchai Biansoongnern
 Somchai Hiranvarodom
 Somchat Jiriwibhakorn
 Somkiat Piangprantong
 Sommart Sang-Ngern
 Somnida Bhatranand
 Sompong Toomsawude
 Somying Thainimit
 Somyot Kaitwanidvilai
 Songkran Kantawong
 Songphol Kanjanachuchai

Affiliations

King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Mahanakorn University of Technology
 Mahanakorn University of Technology
 Sripatum University
 Kasetsart University
 Prince of Songkla University
 Mahanakorn University of Technology
 King Monkut's University of Technology Thonburi
 Mahanakorn University of Technology
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Chiang Mai University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Khon Kean University
 South East Asia University
 Siam University
 Chiang Mai University
 Rangsit University
 Rajamangala university of technology Thanyaburi
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 South-East Asia University
 Mahanakorn Univesity of Technology
 Mahidol University
 Siam University
 Kasetsart University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Bangkok University
 Chulalongkorn University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Sorawat Chivapreecha
 Suchada Sitjongsataporn
 Suchart Yammen
 Suchin Trirongjitmoah
 Suksun Nungam
 Sumate Naetiladdanon
 Sumrit Hungsasutra
 Suneat Pranonsatit
 Supachai Vorapojpisut
 Supannika Wattana
 Supatana Auethavekiat
 Supattana Nirukkanaporn
 Supawadee Swatdiponphallop
 Surachai Chaitusaney
 Surapan Airphaiboon
 Surapol Jantorn
 Surapong Suwankawin
 Suree Pumrin
 Suthee Rukkaphan
 Suwat Pattaramalai
 Thanapong Thanasaksiri
 Tanet Wonghong
 Tanin Duangjan
 Tasanee Chayavanich
 Tawan Phurat
 Thamvarit Singhavilai
 Thanadol Pritranan
 Thanakorn Namhormchan

Affiliations

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Mahanakorn University of Technology
 Naresuan University
 Ubon Ratchathani University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Khon Kaen University
 Kasetsart University
 Thammasat University
 Naresuan University
 Chulalongkorn University
 Rangsit University
 Khon Kaen University
 Chulalongkorn University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Sriputum University
 Chulalongkorn University
 Chulalongkorn University
 Kasembundit University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Chiang Mai University
 Bangkok University
 Srinakharinwirot University
 King Mongkut's University of Tecnology Thonburi
 Siam University
 Mahidol University
 Mahidol University
 Eastern Asia University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Thanapat Promwattanapakdee
 Thanathip Sum-Im
 Thavatchai Tayjanant
 Theerapol Muankhaw
 Theerayod Wiangtong
 Theerayut Janjaem
 Thidarat Tawsook
 Thumrongrat Amornraksa
 Toempong Phetchakul
 Tomorn Soonthornapa
 Thaschagon Onboonuea
 Tuchsanaï Ploysuwan
 Ukrit Mankong
 Veerachai Malyavej
 Vichai Saelee
 Vijit Kinnaree
 Vinai Silaruam
 Viriya Pichetjamroen
 Virote Pirajnanchai
 Vladimir Buntilov
 Vorapong Silaphan
 Vuttiapon Tarateeraseth
 Vyapote Supabowornsatien
 Walisa Romsaiyud
 Wanchai Chankaipol
 Wanchai Chimehavee
 Wanchai Pijitrojana
 Wanchai Subsingha

Affiliations

Sripatum University
 Srinakharinwirot University
 Chulalongkorn University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Mahanakorn University of Technology
 Kasembundit University
 Bangkok University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Siam University
 Eastern Asia University
 Siam University
 Chiang Mai University
 Mahanakorn University of Technology
 South-East Asia University
 King Mongkut's Institute of Technology of Ladkrabang
 Mahanakorn University of Technology
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Mahidol University
 Mahanakorn University of Technology
 Srinakharinwirot University
 Siam University
 Siam University
 Sripatum University
 University of the Thai Chamber of Commerce
 Thammasat University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Wanchak Lenwari
 Wannarat Suntiamorntut
 Warayut Kampeerawat
 Watcharachai Wiriyasuttiwong
 Watis Leelapatra
 Wattanapong Kurdthongmee
 Weerapun Rungseevijitprapa
 Wekin Piyarat
 Werachet Khan-ngern
 Werapon Chiracharit
 Wichit Krueasuk
 Widhyakorn Asdornwised
 Wijitra Petchakit
 Wiklom Teerapabkajorndet
 Wilaiporn Lee
 Winyu Sawaengsinkasikit
 Wipavan Narksarp
 Worakarn Wongsachua
 Worapol Pongpech
 Wuthiporn Loetwassana
 Yodchanan Wongsawat
 Yongyuth Naras
 Yotaka Chompusri
 Youthana Kulvitit
 Yutana Chongjarearn
 Yuttana Kumsuwan
 Yuttapong Jiraksopakun
 Ong-Art Sadmai

Affiliations

King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Prince of Songkla University
 Mahanakorn University of Technology
 Srinakharinwirot University
 Khon Kaen University
 Walailak University
 Chulalongkorn University
 Srinakharinwirot University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Sripatum University
 Chulalongkorn University
 Walailak University
 Prince of Songkla University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Kasembundit University
 Siam University
 Ubon Ratchathani University
 Dhurakijpundit University
 Mahanahorn University of Technology
 Mahidol University
 Siam University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Chulalongkorn University
 Dhurakij Pundit University
 Chiang Mai University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi

การศึกษาความผิดพลาดในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง
ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยไม่ใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์

Study of Error in Forecasting Power Output of PV Grid Connected System without using Solar
Radiation Measurement

ชานนท์ ชูพงษ์ และบุญยัง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี
จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3571 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: pboonyang@hotmail.com

GN022

บทคัดย่อ

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น พร้อมทั้งราคาที่ลดลง แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอนเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเมื่อต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของระบบไฟฟ้าได้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยในบทความนี้ได้นำเสนอการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยไม่ใช้ตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ และได้ศึกษาถึงความผิดพลาดในการพยากรณ์โดยเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ในช่วงฤดูหนาวที่ท้องฟ้าโปร่ง และ ช่วงฤดูฝนที่ท้องฟ้ามีครึ้ม โดยพบว่าในช่วงที่ท้องฟ้าโปร่งการพยากรณ์จะมีความแม่นยำมากกว่า ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลช่วงฤดูมาพิจารณาเสมอในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

คำสำคัญ: การพยากรณ์กำลังไฟฟ้า, ระบบเซลล์แสงอาทิตย์, โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

PV systems have been increasingly installed worldwide in recent years. Because it produces clean energy, moreover the development of technology is continued therefore the reliability is increasing and the price is decreasing in opposite. A significant limitation of PV system is the uncertainty of power from the sun. This will affect the quality of the electrical system that connected. To solve this problem, the PV power forecasting methods have been introduced recently. This paper will present a PV power output forecasting method by neural network without using solar radiation measurement. Then the

analysis and comparison of forecasting result in winter season with clear sky and rainy season with cloudy sky are investigated. We found that in the clear sky forecasting results are more accurate than cloudy sky. Therefore the forecasting application must be considered for this issue.

Keywords: Neural Network, PV Power Forecasting, Solar Radiation

1. บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการติดตั้งใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพร้อมทั้งมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น พร้อมทั้งราคาที่ลดต่ำลง แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอนเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ และสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ, สภาพเมฆบนท้องฟ้า ซึ่งเมื่อมีการต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าการเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า [1]

ดังนั้นการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จึงสามารถช่วยในการเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ โดยมีงานวิจัยที่กล่าวถึงการพยากรณ์ความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ [2] [3] ซึ่งยังไม่เพียงพอในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ยังขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอีกด้วย ส่วนงานวิจัยที่มีการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องมีการติดตั้งตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ [4]

ซึ่งในบทความนี้จะนำเสนอการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่ใช้ตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ วิธีการที่ใช้คือ ใช้การคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมงของวันถัดไปที่กระทำบนระนาบใดๆ, ข้อมูลพยากรณ์อากาศ อุณหภูมิสูงสุด, อุณหภูมิต่ำสุด และ สภาพเมฆบนท้องฟ้าในวันถัดไป ป้อนเข้าระบบโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อพยากรณ์กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะ

ผลิตได้ในวันถัดไป [5] โดยได้ทดลองเปรียบเทียบในช่วงเวลาฤดูหนาวที่ท้องฟ้าแจ่มใส และ ช่วงฤดูฝนที่ท้องฟ้ามีเมฆครึ้ม

$$r_d = 0.271 - 0.294r_b \tag{10}$$

$$r_r = 0.271 + 0.706r_b \tag{11}$$

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมบนระนาบใด ๆ

ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมบนระนาบใด ๆ ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบดังสมการที่ 1

$$G_t = G_b + G_d + G_r \tag{1}$$

- G_t หมายถึง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวม (W/m^2)
- G_b หมายถึง ความเข้มรังสีตรง (W/m^2)
- G_d หมายถึง ความเข้มรังสีกระจาย (W/m^2)
- G_r หมายถึง ความเข้มรังสีสะท้อน (W/m^2)

โดยองค์ประกอบทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 ถึง 4

$$G_b = G_o \cos \theta_z \tag{2}$$

$$G_d = G_o \cos \theta_z \quad t_d \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \tag{3}$$

$$G_r = \rho G_o \cos \theta_z \quad t_r \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \tag{4}$$

โดย G_o หมายถึง รังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลก (W/m^2) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$G_o = G_s \left[1 + 0.033 \cos \left(360 \frac{D}{365} \right) \right] \tag{5}$$

- G_s หมายถึง ค่าคงที่สุริยะ ซึ่งมีค่า $1367 W/m^2$ [6]
- D หมายถึง วันที่ในปีนั้นๆ (1-365)
- t_d, t_r หมายถึง ค่าความนำของชั้นบรรยากาศสำหรับรังสีตรง, รังสีกระจายและรังสีสะท้อนตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4 ถึง 7 [5]
- ρ หมายถึง สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้น

$$t_b = a_0 + a_1 e^{\left(\frac{-k}{\cos \theta_z} \right)} \tag{6}$$

โดยที่

$$a_0 = r_0 [0.4237 - 0.0082(6 - A)^2] \tag{7}$$

$$a_1 = r_1 [0.5055 - 0.00595(6.5 - A)^2] \tag{8}$$

$$k = r_2 [0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2] \tag{9}$$

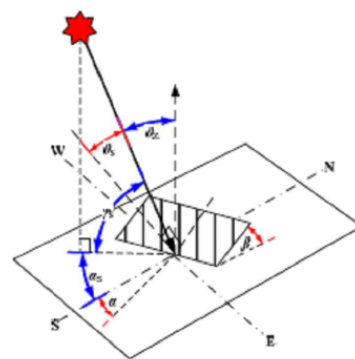
โดย A คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเลของจุดที่ตั้งระบบ (กิโลเมตร)

r_0, r_1 และ r_2 มีค่าตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบปรับแก้สำหรับภูมิอากาศต่างๆ

Climate Type	r0	r1	rk
Tropical	0.95	0.98	1.02
Midlatitude summer	0.97	0.99	1.02
Subarctic summer	0.99	0.99	1.01
Midlatitude winter	1.03	1.01	1.00

จากสมการที่ 3 และ 4 θ_z คือมุมเซนิท (Zenith Angle) และ θ_s คือมุมที่รังสีดวงอาทิตย์กระทบแผง รายละเอียดดังรูปที่ 1 สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ 12 และ 13 และ β คือมุมเอียงของแผงที่ตั้งวัดจากพื้นจนถึงแผง



รูปที่ 1 มุมต่างๆในการติดตั้งที่ใช้คำนวณ [5]

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \tag{12}$$

$$\begin{aligned} \cos \theta_s = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \alpha \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \alpha \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \alpha \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \alpha \sin \omega \sin \beta \end{aligned} \tag{13}$$

โดยที่ δ หมายถึงมุมที่เส้นแสงจากดวงอาทิตย์กระทำกับเส้นศูนย์สูตรของโลก (Declination angle)

ϕ หมายถึงตำแหน่งละติจูดของสถานที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

- ω หมายถึงมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ [6]
- α หมายถึงมุมเอซิมูทของอาทิตย์ (Azimuth angle)

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \frac{(D+284)}{365} \right] \quad (14)$$

$$\omega = 15(12 - ST) \quad (15)$$

โดยที่

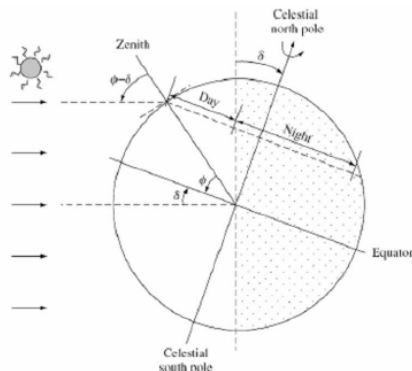
$$ST = LST + 4(Ls - Lloc) + Et \quad (16)$$

- ST หมายถึง เวลาของดวงอาทิตย์ (ชม, นาที)
- LST หมายถึง เวลามาตรฐานท้องถิ่น (ชม, นาที)
- Ls หมายถึง เส้นลองจิจูดมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงของท้องถิ่นนั้น (องศา)
- Lloc หมายถึง เส้นลองจิจูดของตำแหน่งที่ตั้ง (องศา)
- Et หมายถึง ค่าปรับแก้เวลาจริงกับเวลาดวงอาทิตย์ (นาที)

$$Et = 229.1831(0.000075 + 0.001868 \cos \theta - 0.032077 \sin \theta - 0.014615 \cos 2\theta - 0.040849 \sin 2\theta) \quad (17)$$

$$\theta = 360 \frac{(D-1)}{365} \quad (18)$$

โดย



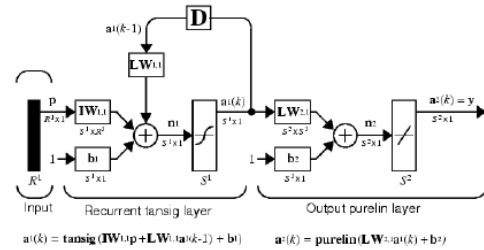
รูปที่ 2 มุม Declination และ มุม Zenith [5]

ซึ่งสมการ 1-18 นั้นสามารถใช้คำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่กระทบบนระนาบใดๆได้ในสภาวะที่ท้องฟ้าแจ่มใสเท่านั้น [5] ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในสภาวะจริงจะต้องนำสภาพทางภูมิอากาศมาเกี่ยวข้องด้วย

2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Recurrent

โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Recurrent ที่ใช้นี้เป็นชนิด Elman ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ โครงข่ายประสาทเทียมทั่วไปเพียงแต่มีการป้อนค่า Output ของชั้นย้อนกลับมาคำนวณในรอบถัดไป ทำให้ Output ของ

โครงข่ายประสาทเทียมที่รอบใดๆขึ้นอยู่กับ Output ในรอบที่ผ่านมาด้วยด้วยคุณสมบัตินี้ โครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถจดจำข้อมูลในลักษณะที่เป็นลำดับเหตุการณ์ได้ [4-5]



รูปที่ 3 Elman Neural Network

3. วิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอ

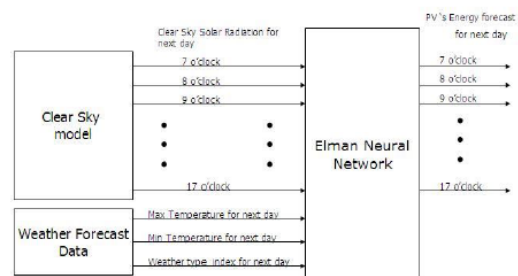
วิธีการที่นำเสนอในบทความนี้คือการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ โดยมี Input 14 ตัวได้แก่ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมของวันถัดไปซึ่งได้จากการคำนวณในหัวข้อ 2.1 ตั้งแต่เวลา 7:00 น. ถึง 17:00 น. (จำนวน 11 ค่า) ข้อมูลจากการพยากรณ์อากาศจำนวน 3 ค่า คือ อุณหภูมิสูงสุดของวันถัดไป, อุณหภูมิต่ำสุดของวันถัดไป, สภาพท้องฟ้าของวันถัดไป

โดยข้อมูลสภาพท้องฟ้าของวันถัดไปในการทดลองนี้ได้มีการกำหนดเป็นค่าดังนี้

ตารางที่ 2 การกำหนดค่าสภาพท้องฟ้า

การพยากรณ์อากาศ	ดัชนีสภาพท้องฟ้า
ท้องฟ้าแจ่มใสมีเมฆบางส่วน	0.9
มีเมฆเป็นส่วนมาก	0.6
ฝนตก, หมอก	0.3

และ Output ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมคือค่ากำลังไฟฟ้า (kW) รายชั่วโมงที่ผลิตได้ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 7:00น. ถึง 17:00น.

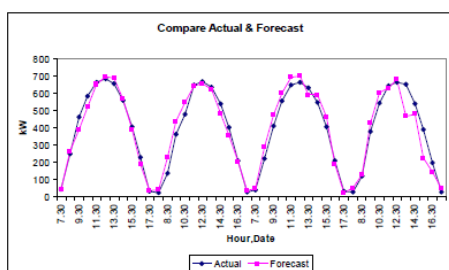


รูปที่ 4 ไลอะแกรมของวิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอ

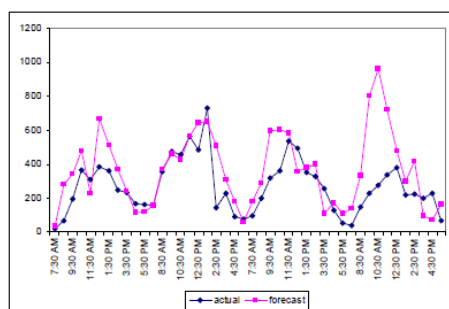
4. การทดลองและผลการทดลอง

ได้ทำการสร้างและฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมด้วยโปรแกรม MATLAB โดยใช้ข้อมูลในช่วง 17-23 มกราคม 2554 และในช่วง 17-23 มิถุนายน 2554 แล้วนำข้อมูลอีกชุดหนึ่งมาทำการทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียมโดยเป็นข้อมูลระหว่างวันที่ 31 มกราคม ถึง 3 กุมภาพันธ์ 2554 และ 27-30 มิถุนายน 2554 นำค่าพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่บันทึกไว้ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วคำนวณค่าความผิดพลาดเฉลี่ย Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ตามสมการที่ 19 ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ค่า MAPE เท่ากับ 16.83% สำหรับช่วงฤดูหนาว (31 มกราคม ถึง 3 กุมภาพันธ์) และ 57.33% สำหรับช่วงฤดูฝน (27-30 มิถุนายน)

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_f^i - P_a^i}{P_a^i} \right| \% \quad (19)$$



รูปที่ 5 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริง กับ กำลังไฟฟ้าจากการพยากรณ์ ในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 6 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริง กับ กำลังไฟฟ้าจากการพยากรณ์ ในช่วงฤดูฝน

5. สรุป

การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การคำนวณความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใส และ ข้อมูลการพยากรณ์อากาศเป็นข้อมูล Input ให้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Elman แทนการใช้ตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบในช่วงเวลาฤดูหนาวซึ่งท้องฟ้าโปร่ง กับในช่วงเวลาฤดูฝนที่ท้องฟ้ามีเมฆครึ้มพบว่าในช่วงฤดูหนาวมีค่าความผิดพลาด 16.83% และในช่วงฤดูฝนมีค่าความผิดพลาด 57.33% เนื่องจากในช่วงฤดูฝนที่เก็บข้อมูลท้องฟ้ามีเมฆครึ้มกระจายทั่วท้องฟ้าเป็นผลให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่สม่ำเสมอทำให้โครงข่ายประสาทเทียมพยากรณ์ผิดพลาด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้ในช่วงเวลาที่ท้องฟ้าโปร่งเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลช่วงฤดูมาพิจารณาเสมอในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Woyte, V. Van Thong, R. Belmans, and J. Nijs, "Voltage fluctuations on distribution level introduced by photovoltaic systems," IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 21, pp. 202-209, 2006.
- [2] E. Lorenz, J. Hurka, D. Heinemann, and H. G. Beyer, "Irradiance Forecasting for the Power Prediction of Grid-Connected Photovoltaic Systems," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 2, pp. 2-10, 2009.
- [3] Mellit A., Arab A.H., Khorissi N., Salhi H, "an ANIF based forecasting for solar radiation data from sunshine duration and ambient temperature," Power Engineering Society General Meeting, 2007 IEEE Digital Object Identifier 10.1109/PES.2007.38631 Publication Year: 2007, Page(s): 1 – 6
- [4] A. Yona, T. Senjyu, and T. Funabashi, "Application of recurrent neural network to short-term-ahead generating power forecasting for photovoltaic system," 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vols 1-10, pp. 3659-3664, 2007
- [5] Cai Tao, Duan Shanxu and Chen Changsong. "Forecasting Power Output for Grid-Connected Photovoltaic Power System without using Solar Radiation Measurement" Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2010 2nd IEEE International Symposium on Digital Object Identifier: 10.1109/PEDG.2010.5545754 Publication Year: 2010 , Page(s): 773 – 777
- [6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ร่วมกับ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, "คู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้งานด้านพลังงานทดแทน"

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายชานนท์ ชูพงษ์
วัน เดือน ปีเกิด	12 กันยายน 2522
ที่อยู่	111/47 หมู่ 7 ต.บางคูวัด อ.เมือง จ.ปทุมธานี
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2544 – 2545 บริษัท นิเค็คอิเล็กทรอนิกส์ ประเทศไทย จำกัด ตำแหน่ง วิศวกรกระบวนการผลิต พ.ศ. 2545 – 2553 กลุ่มบริษัท ฟรีไซซ ตำแหน่ง ผู้จัดการฝ่ายพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2553 – 2554 บริษัท เพาเวอร์โซลูชั่นเทคโนโลยีจำกัด ตำแหน่ง หัวหน้าส่วนติดตั้งระบบพลังงานทดแทน

