

<EN-135>

การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งในประเทศไทย 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 เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น พร้อมทั้งราคาก็ลดลง แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอนเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเมื่อต้องเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของระบบไฟฟ้าได้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวบทความนี้จะนำเสนอการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การคำนวณความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ 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 เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพร้อมทั้งยังมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้นพร้อมทั้งราคาก็ลดลง แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอนเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ และสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ, สภาพเมฆบนท้องฟ้า ซึ่งเมื่อมีการต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าการเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า [1]

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

ซึ่งในบทความนี้จะนำเสนอการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่ใช้ตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ วิธีการที่ใช้คือการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมงของวันถัดไปทีละชั่วโมงตามวันใด 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

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

$$Gd = G_o \cos \theta_z \quad \text{tr} \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (2.2)$$

$$Gr = \rho G_o \cos \theta_z \quad \text{tr} \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (2.3)$$

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

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

G_s 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

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

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

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

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

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

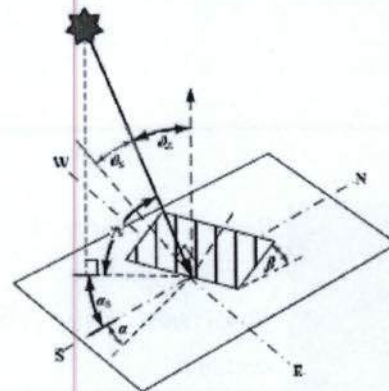
โดย A คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเลของจุดที่ติดตั้งระบบ (กิโลเมตร)

r_0 , r_1 และ r_k มีค่าตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบปรับแก้สำหรับภูมิอากาศต่างๆ

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

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



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 หมายถึงมุมอะซิมุทของการติดตั้งแผง (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. นาฬิกา)

LST หมายถึง เวลามาตรฐานท้องถิ่น (ชม. นาฬิกา)

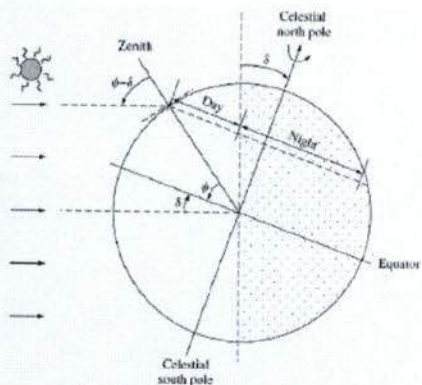
Ls หมายถึง เส้นลองจิจูดมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงของท้องถิ่นนั้น (องศา)

Lloc หมายถึง เส้นลองจิจูดของตำแหน่งที่ติดตั้ง (องศา)

Et หมายถึง ค่าปรับแก้เวลาจริงกับเวลาดวงอาทิตย์ (นาฬิกา)

$$\begin{aligned} Et = & 229.1831(0.000075 + 0.001868 \cos \theta - 0.032077 \sin \theta \\ & - 0.014615 \cos 2\theta - 0.040849 \sin 2\theta) \end{aligned} \quad (13)$$

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

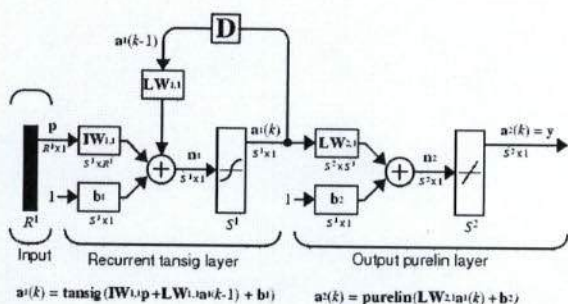


รูปที่ 2 มุม Declination และ มุม Zenith

ซึ่งสมการ 1 -14 นั้นสามารถใช้คำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่กระทบลงบนระนาบใดๆได้ในสภาวะที่ท้องฟ้าแจ่มใสเท่านั้น [5] ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในสภาวะจริงจะต้องนำสภาพทางภูมิอากาศมาเกี่ยวข้องด้วย

2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Recurrent

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



รูปที่ 3 Elman Network

3. วิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอ

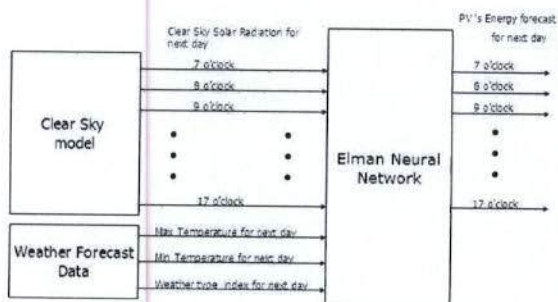
วิธีการที่นำเสนอในบทความนี้คือการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์โดยมี Input 14 ตัวได้แก่ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมของวันถัดไปซึ่งได้จากการคำนวณในหัวข้อ 2.1 ตั้งแต่เวลา 7:00 น. ถึง 17:00 น. (จำนวน 11 ค่า) ข้อมูลจากการพยากรณ์อากาศจำนวน 3 ค่า คือ อุณหภูมิสูงสุดของวันถัดไป, อุณหภูมิต่ำสุดของวันถัดไป,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

โดยข้อมูลสภาพท้องฟ้าของวันถัดไปในการทดลองนี้ได้มีการกำหนดเป็นค่าดัชนีดังนี้

ตารางที่ 2 การกำหนดค่าสภาพท้องฟ้า

การพยากรณ์อากาศ	ดัชนีสภาพท้องฟ้า
ท้องฟ้าแจ่มใสมีเมฆบางส่วน	0.9
มีเมฆเป็นจำนวนมาก	0.6
ฝนตก, หมอก	0.3

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

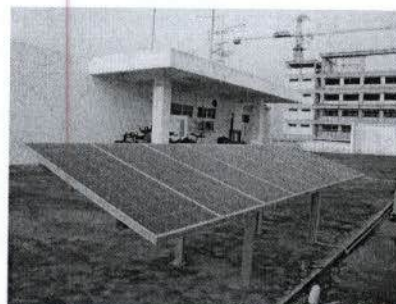


รูปที่ 4 โค้ดแแกรมของวิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอ

4. การทดลองและผลการทดลอง

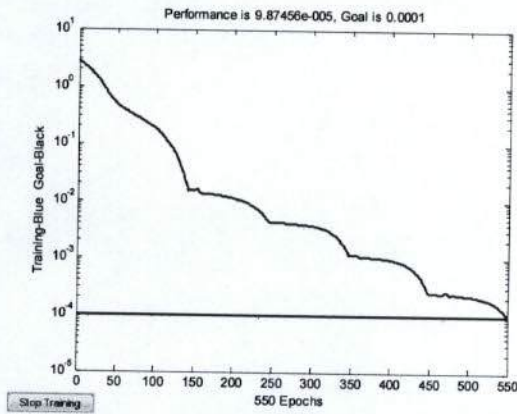
4.1 การสอนโครงข่ายประสาทเทียม

ในการทดสอบวิธีการพยากรณ์นี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณค่าและประเมินประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตามหัวข้อ 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

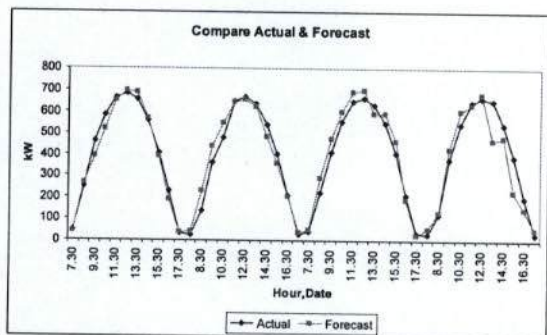


รูปที่ 6 การสอนโครงข่ายประสาทเทียม

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%

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_f^i - P_a^i}{P_a^i} \right| \% \quad (15)$$



รูปที่ 7 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริง กับ กำลังไฟฟ้าจากการพยากรณ์

5. สรุป

การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การคำนวณความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใส และข้อมูลการพยากรณ์อากาศเป็นข้อมูล Input ให้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Elman แทนการใช้ตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ มีแนวโน้มที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยในการศึกษาทดลองครั้งนี้พบว่าค่าพยากรณ์และค่าจริงของกำลังไฟฟ้ามีค่าไปในทิศทาง

เดียวกัน โดยมีค่าความผิดพลาด 16.83% ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ยังมีจำนวนไม่มากและยังต้องมีการรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาทดลองต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.มรกต พุทธกาล 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"