การศึกษาความผิดพลาดในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งด้วยโครงข่ายประสาทเทียม 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

บทคัดย่อ

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น พร้อมทั้งราคาที่ลดลง แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอนเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเมื่อต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของระบบไฟฟ้าได้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยในบทความนี้ได้นำเสนอการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยไม่ใช้ตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ และ ได้ศึกษาถึงความผิดพลาดในการพยากรณ์โดยเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ในช่วงฤดูหนาวที่ท้องฟ้าโปร่ง และ ช่วงฤดูฝนที่ท้องฟ้ามีคครึ้มโดยพบว่าในช่วงที่ท้องฟ้าโปร่งการพยากรณ์จะมีความแม่นยำมากกว่า 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

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีการติดตั้งใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก เนื่องมาจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพร้อมทั้งยังมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้นพร้อมทั้งราคาที่ลดต่ำลง แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอนเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ และสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ,สภาพเมฆบนท้องฟ้า ซึ่งเมื่อมีการต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าการเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า [1]

ดังนั้นการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จึงสามารถช่วยในการเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ โดยมีงานวิจัยที่กล่าวถึงการพยากรณ์ความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ [2] [3] ซึ่งยังไม่เพียงพอในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ยังขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอีกด้วย ส่วนงานวิจัยที่มีการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องมีการติดตั้งตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ [4]

ซึ่งในบทความนี้จะนำเสนอการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่ใช้ตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ วิธีการที่ใช้คือใช้การคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมงของวันถัดไปที่กระทำบนระนาบใดๆ, ข้อมูลพยากรณ์อากาศ อุณหภูมิสูงสุด, อุณหภูมิต่ำสุด และ สภาพเมฆบนท้องฟ้าในวันถัดไป ป้อนเข้าระบบโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อพยากรณ์กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะ

ผลิตได้ในวันถัดไป [5] โดยได้ทดลองเปรียบเทียบในช่วงเวลาฤดูหนาวที่ท้องฟ้าแจ่มใส และ ช่วงฤดูฝนที่ท้องฟ้ามืดครึ้ม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมบนระนาบใดๆ

ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมบนระนาบใดๆประกอบด้วย 3 องค์ประกอบดังสมการที่ 1

$$Gt = Gb + Gd + Gr \quad (1)$$

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 ถึง 4

$$Gb = Go \cos\theta z \quad (2)$$

$$Gd = Go \cos\theta z \quad td \frac{(1+\cos\beta)}{2} \quad (3)$$

$$Gr = \rho Go \cos\theta z \quad tr \frac{(1+\cos\beta)}{2} \quad (4)$$

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

$$Go = Gs\left[1 + 0.033\cos\left(360\frac{D}{365}\right)\right] \quad (5)$$

G_s หมายถึง ค่าคงที่สุริยะ ซึ่งมีค่า 1367 W/m^2 [6]

D หมายถึง วันที่ในปีนั้นๆ (1-365)

t_b, td, tr หมายถึง ค่าความนำของชั้นบรรยากาศสำหรับรังสีตรง,รังสีกระจายและรังสีสะท้อนตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4 ถึง 7 [5]

ρ หมายถึง สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้น

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

โดยที่

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

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

$$k = r_k[0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2] \quad (9)$$

$$t_d = 0.271 - 0.294t_b \quad (10)$$

$$t_r = 0.271 + 0.706t_b \quad (11)$$

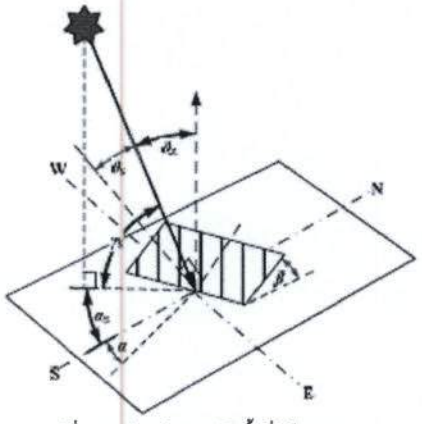
โดย A คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเลของจุดที่ติดตั้งระบบ (กิโลเมตร)

r_0, r_1 และ r_k 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 คือมุมเอียงของแผงที่ติดตั้งวัดจากพื้นจนถึงแผง



รูปที่ 1 มุมต่างๆในการติดตั้งที่ใช้คำนวณ [5]

$$\cos\theta z = \cos\delta\cos\phi\cos\omega + \sin\delta\sin\phi \quad (12)$$

$$\cos\theta s = \sin\delta\sin\phi\cos\beta - \sin\delta\cos\phi\sin\beta\cos\alpha + \cos\delta\cos\phi\cos\beta\cos + \cos\delta\sin\phi\sin\beta\cos\alpha\cos\omega + \cos\delta\sin\alpha\sin\omega\sin\beta \quad (13)$$

โดยที่ δ หมายถึงมุมที่ลำแสงจากดวงอาทิตย์กระทำกับเส้นศูนย์สูตรของโลก (Declination angle)

ϕ หมายถึงตำแหน่งละติจูดของสถานที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ω หมายถึงมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ [6]

α หมายถึงมุมอะซิมุทของการติดตั้งแผง (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)

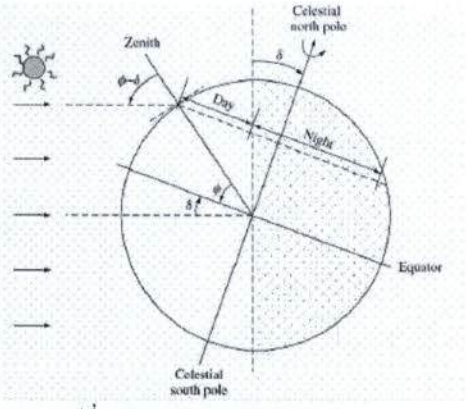
Ls หมายถึง เส้นลองติจูดมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงของท้องถิ่นนั้น (องศา)

Lloc หมายถึง เส้นลองติจูดของตำแหน่งที่ติดตั้ง (องศา)

Et หมายถึง ค่าปรับแก้เวลาจริงกับเวลาดวงอาทิตย์ (นาที)

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

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

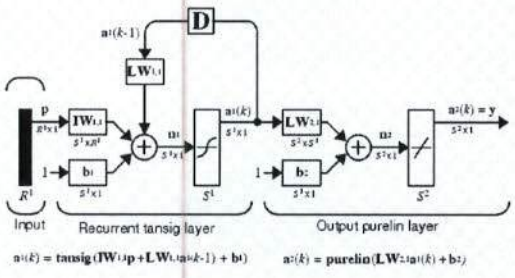


รูปที่ 2 มุม Declination และ มุม Zenith [5]

ซึ่งสมการ 1-18 นั้นสามารถใช้คำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่กระทบลงบนระนาบใดๆได้ในสภาวะที่ท้องฟ้าแจ่มใสเท่านั้น [5] ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในสภาวะจริงจะต้องนำสภาพทางภูมิอากาศมาเกี่ยวข้องด้วย

2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Recurrent

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



รูปที่ 3 Elman Neural Network

3. วิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอ

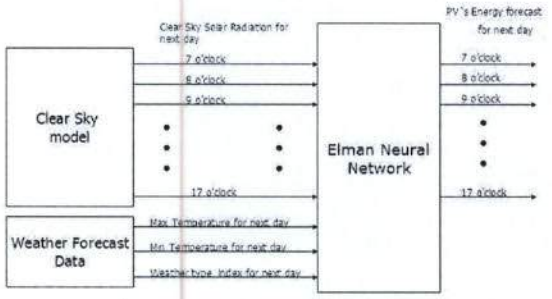
วิธีการที่นำเสนอในบทความนี้คือการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์โดยมี Input 14 ตัวได้แก่ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมของวันถัดไปซึ่งได้จากการคำนวณในหัวข้อ 2.1 ตั้งแต่เวลา 7:00 น. ถึง 17:00 น. (จำนวน 11 ค่า) ข้อมูลจากการพยากรณ์อากาศจำนวน 3 ค่า คือ อุณหภูมิสูงสุดของวันถัดไป, อุณหภูมิต่ำสุดของวันถัดไป,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

โดยข้อมูลสภาพท้องฟ้าของวันถัดไปในการทดลองนี้ได้มีการกำหนดเป็นค่าดัชนีดังนี้

ตารางที่ 2 การกำหนดค่าสภาพท้องฟ้า

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

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

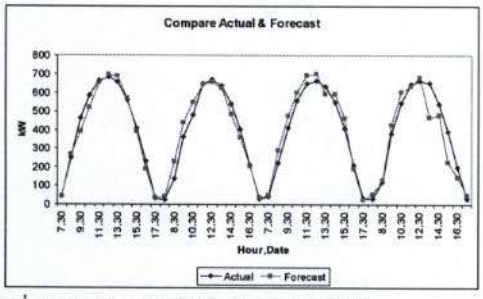


รูปที่4 ไดอะแกรมของวิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอ

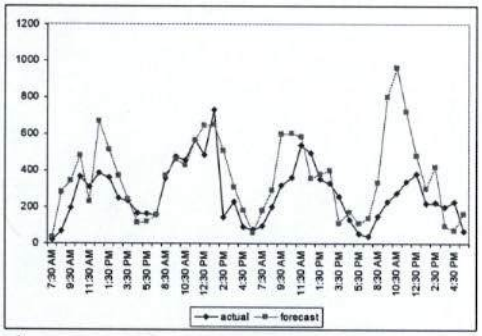
4. การทดลองและผลการทดลอง

ได้ทำการสร้างและฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยโปรแกรม MATLAB โดยใช้ข้อมูลในช่วง 17-23 มกราคม 2554 และในช่วง 17-23 มิถุนายน 2554 แล้วนำข้อมูลอีกชุดหนึ่งมาทำการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมโดยเป็นข้อมูลระหว่างวันที่ 31 มกราคม ถึง 3 กุมภาพันธ์ 2554 และ 27-30 มิถุนายน 2554 นำค่าพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้นี้ มาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่บันทึกไว้ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วคำนวนณค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 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)

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



รูปที่ 5 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริง กับ กำลังไฟฟ้าจากการพยากรณ์ในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 6 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริง กับ กำลังไฟฟ้าจากการพยากรณ์ในช่วงฤดูฝน

5. สรุป

การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การคำนวณความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใส และ ข้อมูลการพยากรณ์อากาศเป็นข้อมูล Input ให้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Elman แทนการใช้ตัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบในช่วงเวลาฤดูหนาวซึ่งท้องฟ้าโปร่ง กับในช่วงเวลาฤดูฝนที่ท้องฟ้ามีเมฆครึ้มพบว่าในช่วงฤดูหนาวมีค่าความผิดพลาด 16.83% และในช่วงฤดูฝนมีค่าความผิดพลาด 57.33% เนื่องจากในช่วงฤดูฝนที่เก็บข้อมูลท้องฟ้ามีเมฆครึ้มกระจายทั่วท้องฟ้าเป็นผลให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่สม่ำเสมอทำให้โครงข่ายประสาทเทียมพยากรณ์ผิดพลาด 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"