Engng.J.CMU.(2019) 26 (1), 1-9

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การประมาณกำลังและแรงดันของระบบโฟโตโวลตาอิก โดยใช้โครงข่ายประสาทแพร่กลับ

Power and Voltage Estimation of Photovoltaic System Using Back-Propagation Neural Network

ดำรงศักดิ์ วงศ์ตา[1] เชวศักดิ์ รักเป็นไทย[1*] สุรพล ดำรงกิตติกุล[1] และ เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์[2]

Dumrongsak Wongta[1], Chawasak Rakpenthai[1*], Surapol Dumronggittigule[1] and Sermsak Uatrongjit[2]

[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Department of Electrical Engineering, School of Engineering, University of Phayao, Phayao, 56000, Thailand
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand
[*]E-mail: chawasak@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมาณจุดทำงานของระบบโฟโตโวลตาอิก ซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนหลังคาอาคาร เนื่องจากในการศึกษามีระบบโฟโตโวลตาอิก จำนวน 2 ระบบ จึงได้พัฒนาโครงข่ายประสาทแพร่กลับจำนวน 2 โครงข่าย เพื่อประมาณจุดทำงานของแต่ละระบบภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ โครงข่ายประสาทแพร่กลับมีอินพุตเป็นการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม ค่าที่ประมาณได้จะเป็นกำลังและแรงดันที่ได้จากระบบโฟโตโวลตาอิก ข้อมูลการวัดประกอบด้วย การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม กำลังผลิต และแรงดันได้ถูกบันทึกและใช้สำหรับการฝึกสอนและการทดสอบโครงข่ายประสาทแพร่กลับ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า โครงข่ายประสาทแพร่กลับที่นำเสนอสามารถให้ค่าประมาณที่ดีภายใต้เงื่อนไขทดสอบ

ABSTRACT

This paper applies the artificial neural network to estimate the operating point of photovoltaic (PV) system installed on the building's roof. Since two PV systems are studied in this work, two back-propagation (BP) neural networks have been developed for estimating their operating points under weather variations. The solar radiation and the ambient temperature are considered as the input of the BP neural network while power and voltage obtained from the PV system are the estimated values. The measured data, i.e. the solar radiation, the ambient temperature, the PV power generation, and the PV voltage, have been recorded and used for training and testing the BP neural networks. Results indicate that the proposed BP neural networks can provide the good estimated values under the test conditions.

Received 9 May 2017
Revised 7 July 2017
Accepted 27 July 2017

1. บทนำ

ระบบโฟโตโวลตาอิก (photovoltaic system) เป็นระบบผลิตกำลังไฟที่มีการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ แผง ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยใช้อินเวอร์เตอร์ (inverter) ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นกับการติดตั้งระบบ สภาพแวดล้อม ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการควบคุมการทำงานของระบบ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานมาเป็นระยะเวลานานจะมีประสิทธิภาพลดลง การควบคุมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังสูงสุดจะช่วยให้ระบบโฟโตโวลตาอิกได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง

การประมาณกำลังผลิตของระบบโฟโตโวลตาอิกสามารถกระทำได้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ แผงมาสร้างเป็นระบบโฟโตโวลตาอิก ความแม่นยำของกำลังที่ประมาณได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นกับความแม่นยำของพารามิเตอร์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจะมีการเปลี่ยนแปลงตามจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาก็อาจทำให้แต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีจุดกำลังสูงสุดแตกต่างกัน เพราะตำแหน่งและมุมในการติดตั้งอาจจะแตกต่างกัน ดังนั้น ในทางปฏิบัติการประมาณกำลังผลิตของระบบโฟโตโวลตาอิกโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงอาจจะไม่เหมาะสม การประมาณกำลังผลิตของระบบโฟโตโวลตาอิกมีความสำคัญต่อการตรวจสอบสถานะในการทำงานของระบบ หากกำลังผลิตที่ประมาณได้มีความแตกต่างอย่างมากกับกำลังผลิตที่วัดได้จริงก็แสดงว่า อุปกรณ์บางอย่างในระบบโฟโตโวลตาอิกอาจจะมีความผิดปรกติ หรืออาจจะมีเงาจากเมฆมาบดบังการรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบางส่วน ทำให้ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตามที่ควรจะเป็น

เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) สามารถประยุกต์ใช้ประมาณสถานะในการทำงานของระบบได้โดยไม่จำเป็นต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ในหลายงานวิจัยที่ผ่านมาจึงมีการศึกษาการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณกำลังผลิตสูงสุดที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และทำนายกำลังผลิตของระบบโฟโตโวลตาอิก

บทความ [1] ได้นำเสนอโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับใช้ประมาณกำลังสูงสุดที่จะได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินพุตประกอบด้วยรังสีอาทิตย์บนผิวโลก (insolation) อุณหภูมิโดยรอบ ความเร็วลม และข้อมูลเวลา สำหรับเอาต์พุตคือกำลังสูงสุดที่ประมาณได้ โครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอมีชั้นซ่อนเดียว โดยในชั้นซ่อนจะมี 5 นิวรอน ผลการทดสอบพบว่า การใช้ข้อมูลเวลาเป็นอินพุตสามารถช่วยปรับปรุงความแม่นยำในการประมาณกำลังสูงสุด นอกจากนี้ ถ้าป้อนอินพุตเป็นข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ทำนายได้แล้ว โครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอจะสามารถทำนายกำลังสูงสุดที่คาดว่าจะได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ด้วย

บทความ [2] ได้เปรียบเทียบผลการประมาณกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างโครงข่ายประสาทแพร่กลับ (back-propagation neural network) และโครงข่ายประสาทฟังก์ชันฐานหลักรัศมี (radial basis function neural network) โครงข่ายประสาทเทียมทั้งสองชนิดมีชั้นซ่อนเดียว อินพุตและเอาต์พุตเหมือนกัน อินพุตประกอบด้วยการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิโดยรอบ เอาต์พุตคือกำลังสูงสุดที่ประมาณได้ ในการศึกษามีการปรับจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมของโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสอง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนสามารถลดความผิดพลาดของเอาต์พุต นอกจากนี้ยังพบว่าโครงข่ายประสาทฟังก์ชันฐานหลักรัศมีสามารถประมาณกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้แม่นยำกว่าและยังให้ผลการประมาณรวดเร็วกว่าโครงข่ายประสาทแพร่กลับ ภายใต้สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

บทความ [3] ได้นำเสนอโครงข่ายประสาทเทียมจำนวน 2 แบบจำลอง เพื่อใช้ประมาณกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในวันที่มีเมฆและในวันที่มีแดด อินพุตประกอบด้วยการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิโดยรอบ การศึกษาได้เปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ คือ พหุนามถดถอย (polynomial regression) พหุคูณเชิงเส้นถดถอย (multiple linear regression) และแบบจำลองไดโอดตัวเดียว (single-diode model) ผลการทดสอบพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอมีสรรถนะในการประมาณกำลังสูงสุดได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ

บทความ [4] ได้นำเสนอโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับใช้ประมาณแรงดันและกำลังผลิต ณ จุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆ อินพุตประกอบด้วยการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม เอาต์พุตประกอบด้วยแรงดันและกำลังสูงสุดที่ผลิตได้ การศึกษาได้จำลองลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองไดโอดตัวเดียว ข้อมูลจากแบบจำลองไดโอดตัวเดียวถูกใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ ผลการจำลองพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมสามารถใช้ประมาณค่าได้ดีแม้จะใช้สภาวะในการฝึกสอนไม่มาก

บทความ [5] ได้นำเสนอโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายกำลังผลิตของระบบโฟโตโวลตาอิกทุกครึ่งชั่วโมง ในช่วงเวลาตั้งแต่ 6 โมงเช้า ถึง 1 ทุ่ม อินพุตมีจำนวน 33 ข้อมูล คือ กำลังผลิตทุกครึ่งชั่วโมงในวันที่เหมือนกัน (27 ข้อมูล) อุณหภูมิสูง ต่ำ และเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมในวันที่เหมือนกัน (3 ข้อมูล) และอุณหภูมิสูง ต่ำ และเฉลี่ยของวันที่ทำนาย (3 ข้อมูล) ส่วนเอาต์พุตคือ กำลังผลิตทุกครึ่งชั่วโมงของวันที่ทำนาย (27 ข้อมูล) ผลการทดสอบโดยใช้ข้อมูลจากระบบโฟโตโวลตาอิกพิกัด 15 กิโลวัตต์ พบว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอสามารถให้ผลการทำนายสำหรับวันที่มีแดดได้แม่นยำกว่าผลการทำนายในวันที่มีฝน

สังเกตว่า บทความ [1]-[4] เป็นการประมาณกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดี่ยว โครงข่ายประสาทเทียมที่เสนอจึงไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประมาณกำลังผลิตของระบบโฟโตโวลตาอิกที่มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากถูกติดตั้งอยู่ในระบบ เพราะแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจจะมีจุดทำงานแตกต่างกันอันเนื่องจากตำแหน่งและมุมในการติดตั้ง ในบทความ [5] เป็นการทำนายกำลังผลิตของระบบโฟโตโวลตาอิกล่วงหน้า 1 วัน โครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอมีอินพุตจำนวนมาก โดยอินพุตประกอบด้วยข้อมูลที่เคยบันทึกไว้ในวันที่เหมือนกันและข้อมูลการทำนายสภาพแวดล้อมล่วงหน้าตลอดทั้งวันของวันที่ต้องการทำนายกำลังผลิต

ในบทความนี้นำเสนอโครงข่ายประสาทแพร่กลับสำหรับประมาณจุดทำงานจริง (กำลังผลิตและแรงดันไฟฟ้า) ในเวลาจริงของระบบโฟโตโวลตาอิกซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนหลังคาของอาคารปฏิบัติการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา อินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร) และอุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส) ส่วนเอาต์พุตประกอบด้วยกำลังกระแสตรง (กิโลวัตต์) และแรงดันกระแสตรง (โวลต์) ของระบบโฟโตโวลตาอิก

2. แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในรูปที่ 1 แสดงแบบจำลองวงจรสมมูลไดโอดตัวเดียวสำหรับใช้ในการจำลองแผงเซลแสงอาทิตย์ [4] แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณกระแสและแรงดันที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนได้เป็น

$$I = I_{ph} - I_s \left\{ \exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{nN_s kT_c} \right) - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

โดยที่

I คือ กระแสที่ผลิตได้ หน่วย แอมแปร์

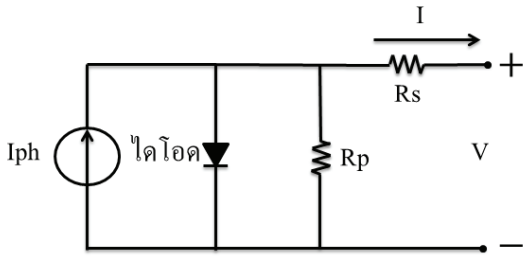
I_{ph} คือ กระแสโฟโต หน่วย แอมแปร์

I_s คือ กระแสอิ่มตัวของไดโอด หน่วย แอมแปร์

n คือ แฟกเตอร์ความเป็นอุดมคติของไดโอด

R_s คือ ความต้านทานอนุกรม หน่วย โอห์ม

R_p คือ ความต้านทานขนาน หน่วย โอห์ม



รูปที่ 1 วงจรสมมูลไดโอดตัวเดียวสำหรับจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์

N_s คือ จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรม

V คือ แรงดันที่ได้จากแผงเซลล์ หน่วย โวลต์

q มีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

k คือ ค่าคงที่ Boltzman มีค่าเท่ากับ 1.3×10^{-23} จูลต่อเคลวิน

T_c คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ หน่วย เคลวิน

ปริมาณของกระแสโฟโตจะขึ้นกับระดับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ความต้านทานอนุกรมเกิดจากความต้านทานของซิลิกอนที่เรียงกันเป็นชั้นและขั้วโลหะด้านหน้าและด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ความต้านทานขนานเกิดจากการรั่วไหลของกระแสระหว่างรอยต่อ สำหรับอุณหภูมิเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์กับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจคำนวณได้จาก [6]

$$T_c = T_a + k_T G_T \qquad (2)$$

ในที่นี้

$$k_T = \frac{T_{NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{NOCT}} \qquad (3)$$

โดยที่

T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม หน่วย องศาเซลเซียส

G_T คือ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร

$T_{a,NOCT}$ คือ อุณหภูมิแวดล้อมอ้างอิง

T_{NOCT} คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง

G_{NOCT} คือ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์อ้างอิง

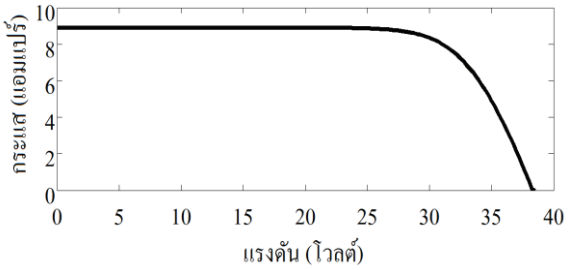
อุณหภูมิเซลล์ทำงานปรกติ (nominal operating cell temperature หรือ NOCT) คือ การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ 800 วัตต์ต่อเมตร^2 ภายใต้อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 20 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ในขณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีภาระทางไฟฟ้า

ในตารางที่ 1 แสดงข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยี่ห้อ SHARP รุ่น ND-250QCS [7] ซึ่งเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบโฟโตโวลตาอิกที่ใช้ศึกษาในบทความนี้ จากข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์เราจะได้ $k_T = 0.0343$ (องศาเซลเซียส-เมตร^2) ต่อวัตต์

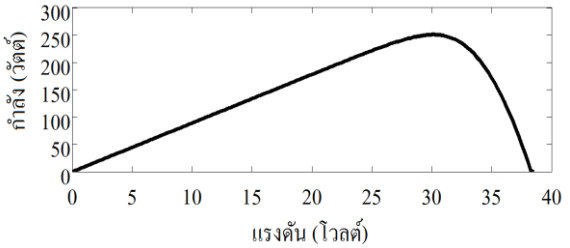
รูปที่ 2 แสดงลักษณะเฉพาะแรงดัน-กระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยี่ห้อ SHARP รุ่น ND-250QCS ลักษณะเฉพาะแรงดัน-กำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3 สังเกตว่า ลักษณะเฉพาะเหล่านี้ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี ในทางปฏิบัติกำลังผลิตจริงที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นกับจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจุดกำลังสูงสุดที่ได้จะขึ้นกับการทำงานของฟังก์ชันการติดตามกำลังสูงสุด การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทางกายภาพ และสภาพแวดล้อมในขณะนั้น

ตารางที่ 1 ข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น ND-250QCS

รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย
กำลังสูงสุด	250	วัตต์
แรงดัน ณ จุดกำลังสูงสุด	29.8	โวลต์
กระแส ณ จุดกำลังสูงสุด	8.40	แอมแปร์
กระแสลัดวงจร	8.90	แอมแปร์
แรงดันเปิดวงจร	38.3	โวลต์
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกัน	60	เซลล์
อุณหภูมิเซลล์ทำงานปกติ	47.5 ± 2	เซลเซียส
แฟกเตอร์ความเป็นอุดมคติของไดโอด	1.2	



รูปที่ 2 ลักษณะเฉพาะแรงดัน-กระแส

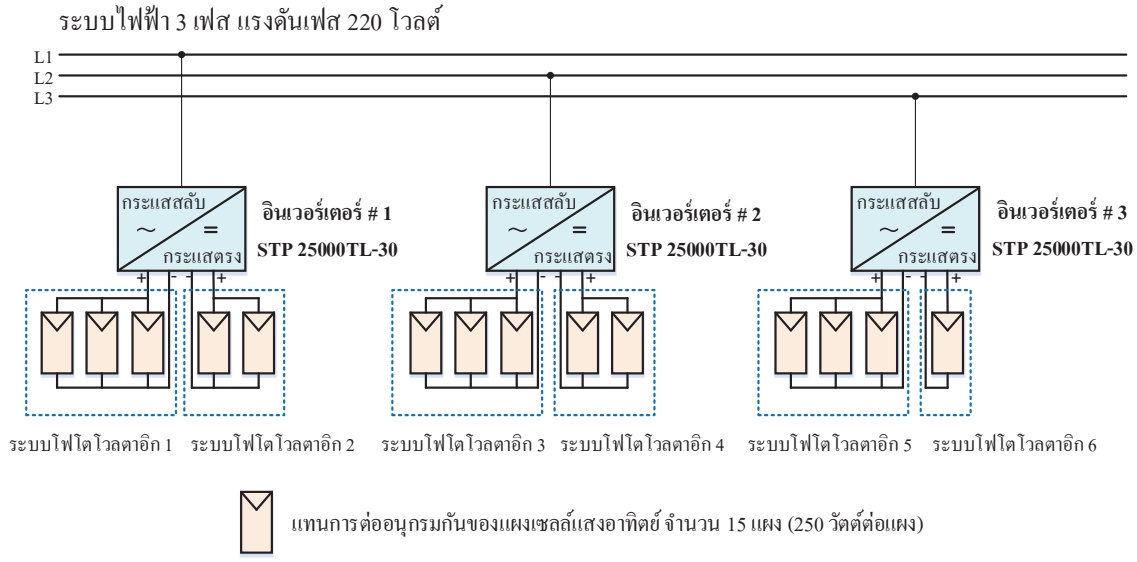


รูปที่ 3 ลักษณะเฉพาะแรงดัน-กำลัง

3. ระบบโฟโตโวลตาอิกที่ใช้ศึกษา

ระบบโฟโตโวลตาอิกที่ใช้ศึกษาถูกติดตั้งอยู่บนหลังคาของอาคารปฏิบัติการ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงแผนภาพเส้นเดียวของระบบโฟโตโวลตาอิกและแผงเซลล์แสงอาทิตย์บางส่วนที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคารปฏิบัติการ ตามลำดับ ระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดพิกัด 250 วัตต์ แรงดัน 29.8 โวลต์ จำนวน 210 แผง จึงมีขนาดพิกัดรวมกันเป็น 52.5 กิโลวัตต์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกต่ออนุกรมกันแถวละ 15 แผง เป็นจำนวน 14 แถว สังเกตว่า ในที่นี้เราจะแบ่งระบบออกเป็นระบบโฟโตโวลตาอิก จำนวน 6 ระบบย่อย ดังในรูปที่ 4 โดยแต่ละอินเวอร์เตอร์สามารถรองรับระบบโฟโตโวลตาอิกได้ไม่เกิน 2 ระบบ (ระบบละไม่เกิน 3 แถว) และสามารถควบคุมให้แต่ละระบบโฟโตโวลตาอิกทำงานที่จุดกำลังสูงสุดได้อย่างอิสระจากกัน

เนื่องจากระบบที่ติดตั้งมีการแสดงผลในเวลาจริงเฉพาะปริมาณทางไฟฟ้าของระบบโฟโตโวลตาอิกจากอินเวอร์เตอร์ 1 เท่านั้น ดังนั้น ในบทความนี้จึงทำการศึกษาเฉพาะระบบโฟโตโวลตาอิก 1 และ 2 สังเกตว่า ระบบโฟโตโวลตาอิก 1 มีพิกัด 11.25 กิโลวัตต์ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกัน 3 แถว แต่ละแถวมีการต่ออนุกรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 15 แผง ขณะที่ระบบโฟโตโวลตาอิก 2 มีพิกัด 7.50 กิโลวัตต์ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกัน 2 แถว แต่ละแถวมีการต่ออนุกรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 15 แผง



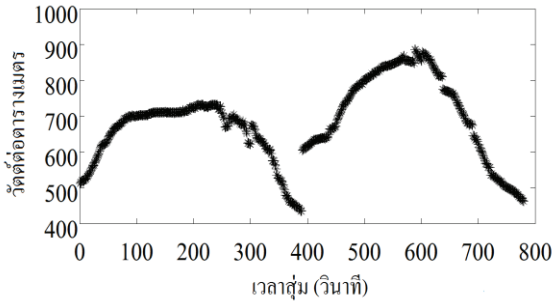
รูปที่ 4 แผนภาพเส้นเดียวของระบบโฟโตโวลตาอิก

รูปที่ 5 ระบบโฟโตโวลตาอิกติดตั้งบนหลังคา

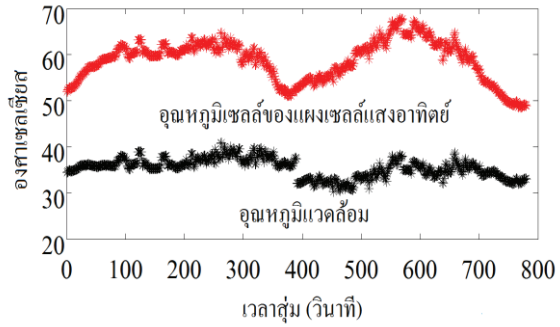
ข้อมูลของระบบโฟโตโวลตาอิกที่ใช้ศึกษามีการบันทึกค่าการวัดเป็นเวลา 2 วัน คือ ในวันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2559 และวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 ตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง 16.30 น. ข้อมูลการบันทึกประกอบด้วยการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม กำลังผลิตไฟฟ้ากระแสตรง และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแต่ละระบบโฟโตโวลตาอิก ในการบันทึกค่าจะเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที รูปที่ 6 และรูปที่ 7 แสดงข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมจากการวัดทั้ง 2 วัน ตามลำดับ ในที่นี้อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จะคำนวณจากสมการที่ (2) ในรูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดงข้อมูลแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังผลิตที่ได้จากการวัดในทั้ง 2 วัน

4. โครงข่ายประสาทแพร่กลับที่นำเสนอ

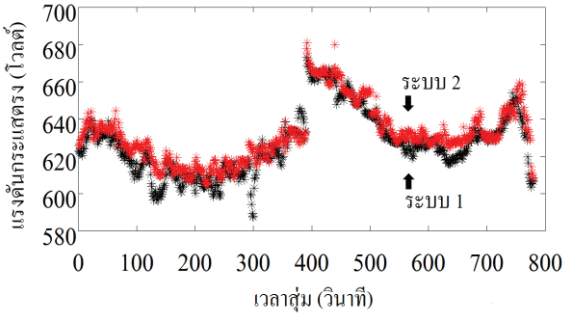
ระบบโฟโตโวลตาอิกที่ใช้ศึกษามี 2 ระบบ ดังนั้นการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมจึงได้ออกแบบโครงข่ายประสาทแพร่กลับ จำนวน 2 โครงข่าย เพื่อใช้ประมาณกำลังผลิตของแต่ละระบบอย่างอิสระ ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบและการใช้งานจริง กล่าวคือ หากมีระบบโฟโตโวลตาอิกใดถูกปลดออกจากระบบไฟฟ้ากำลัง โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกที่เหลือก็ยังคงสามารถประมาณจุดทำงานของระบบโฟโตโวลตาอิกที่เหลือได้ ในแต่ละโครงข่ายประสาทเทียมจะมีอินพุต คือ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อม



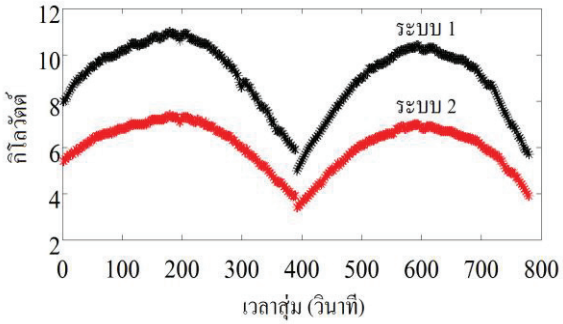
รูปที่ 6 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์



รูปที่ 7 อุณหภูมิเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม



รูปที่ 8 แรงดันของระบบโฟโตโวลตาอิก



รูปที่ 9 กำลังของระบบโฟโตโวลตาอิก

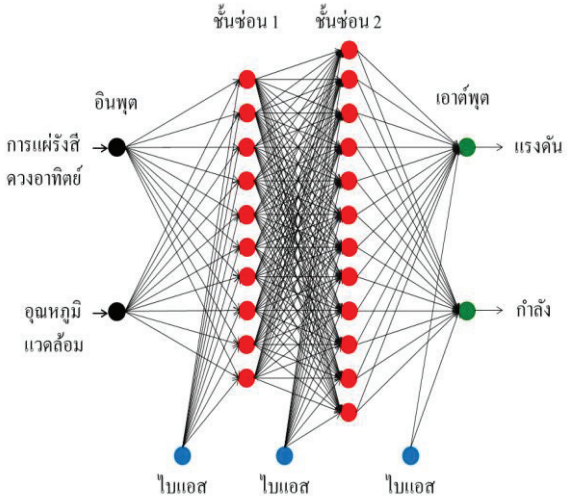
สังเกตว่า เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้ง 2 ระบบโฟโตโวลตาอิกถูกติดตั้งอยู่บนหลังคาของอาคารเดียวกันจึงมีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน ดังนั้น ในการฝึกสอนแต่ละโครงข่ายจึงเลือกใช้ข้อมูลอินพุตเหมือนกัน ในงานวิจัยนี้เอาต์พุตของแต่ละโครงข่ายประสาทเทียม คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตและแรงดัน ณ จุดทำงานจริงของแต่ละระบบโฟโตโวลตาอิก สังเกตว่า แต่ละระบบโฟโตโวลตาอิกมีพิกัดกำลังแตกต่างกัน การฝึกสอนจึงได้เอาต์พุตแตกต่างกัน ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้ข้อมูลที่บันทึกมาได้จากการวัดจริง โดยนำข้อมูลการวัดทุก 5 วินาทีมาใช้ฝึกสอน ในแต่ละโครงข่ายประสาทเทียมจะมีข้อมูลฝึกสอน จำนวน 156 ข้อมูล การฝึกสอนจะมีการปรับโครงสร้างและฟังก์ชันในแต่ละชั้นภายในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อหาโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้สมรรถนะการเรียนรู้ดีที่สุด

รูปที่ 10 แสดงโครงข่ายประสาทเทียม 1 ที่ได้จากการฝึกสอนสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก 1 สังเกตว่า โครงข่ายประสาทเทียมมี 2 ชั้นซ่อน คือ ชั้นซ่อน 1 และ 2 โดยมีนิวรอนเป็น 10 และ 12 นิวรอน ตามลำดับ สำหรับฟังก์ชันในชั้นซ่อน 1 ชั้นซ่อน 2 และเอาต์พุต คือ tansig, tansig และ purelin ตามลำดับ

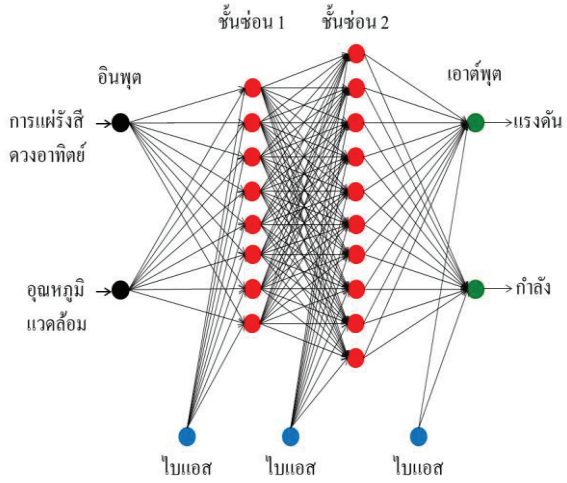
รูปที่ 11 แสดงโครงข่ายประสาทเทียม 2 สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก 2 สังเกตว่า โครงข่ายประสาทเทียมมี 2 ชั้นซ่อน คือ ชั้นซ่อน 1 และ 2 โดยมีนิวรอนเป็น 8 และ 10 นิวรอน ตามลำดับ แต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม 2 จะใช้ฟังก์ชันเหมือนกับโครงข่ายประสาทเทียม 1

5. ผลการทดสอบ

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบสมรรถนะของโครงข่ายประสาทเทียม 1 และ 2 สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก 1 และ 2 ตามลำดับ ในการทดสอบใช้ข้อมูลจากการวัดจริงทุก 7 วินาที ของวันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2559 ข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังในรูปที่ 12 และรูปที่ 13 ตามลำดับ



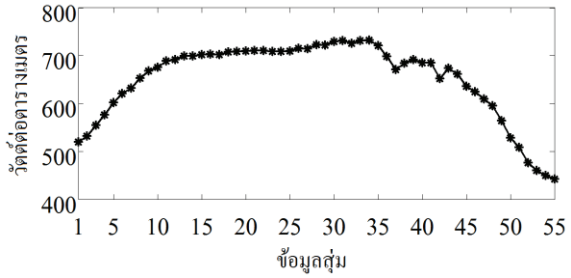
รูปที่ 10 โครงข่ายประสาทเทียม 1



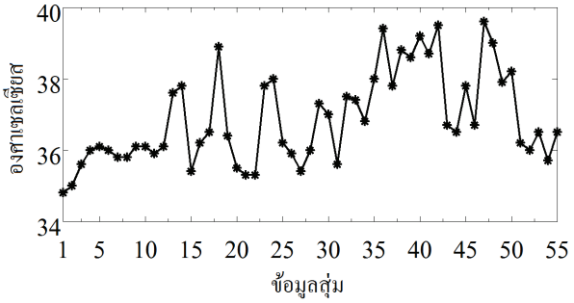
รูปที่ 11 โครงข่ายประสาทเทียม 2

เอาต์พุตจากแต่ละโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (absolute of percentage error: APE) ถูกใช้เป็นดัชนีสมรรถนะสำหรับแสดงความผิดพลาดในการประมาณกำลังผลิตไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของระบบโฟโตโวลตาอิก

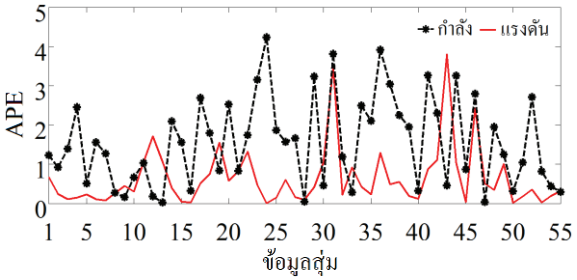
รูปที่ 14 แสดง APE ของกำลังผลิตและแรงดันที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก 1 จะเห็นได้ว่า APE ของกำลังผลิตและแรงดันจะมีค่าไม่เกิน 5 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



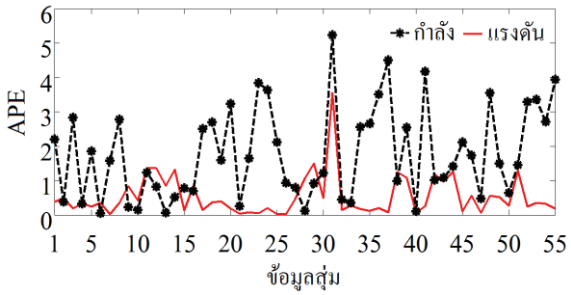
รูปที่ 12 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 13 อุณหภูมิแวดล้อมที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 14 ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของกำลังและแรงดันจากโครงข่ายประสาทเทียม 1



รูปที่ 15 ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของกำลังและแรงดันจากโครงข่ายประสาทเทียม 2

รูปที่ 15 แสดง APE ของกำลังผลิตและแรงดันที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก 2 จะเห็นได้ว่า APE ของกำลังผลิตและแรงดันจะมีค่าไม่เกิน 6 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการทดสอบโดยรวมจะเห็นได้ว่า โครงข่ายประสาทเทียมทั้งสองมีความแม่นยำในการประมาณแรงดันได้ดีกว่าการประมาณกำลังผลิต และค่าที่ประมาณได้มีความผิดพลาดน้อย ซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับผลลัพธ์จากการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม เพราะสมรรถนะการเรียนรู้ดีที่สุดของโครงข่ายประสาทเทียม 1 และ 2 จะมีความผิดพลาดไม่เกิน 5 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายใต้สภาวะการฝึกสอนที่ใช้ข้อมูลจำนวนน้อย โดยความผิดพลาดในการประมาณแรงดันจะมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าความผิดพลาดในการประมาณกำลังผลิต

6. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอโครงข่ายประสาทแพร่กลับสำหรับการประมาณกำลังผลิตและแรงดันที่ได้จากระบบโฟโตโวลตาอิกซึ่งติดตั้งบนหลังคาอาคาร โครงข่ายประสาทแพร่กลับที่นำเสนอมีอินพุตเป็นการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่า แต่ละระบบโฟโตโวลตาอิกจะได้โครงข่ายประสาทแพร่กลับที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า แม้ว่าโครงข่ายประสาทแพร่กลับที่นำเสนอจะถูกฝึกสอนโดยใช้ข้อมูลสุ่มจำนวนน้อย แต่ผลการประมาณกำลังผลิตและแรงดัน ณ จุดทำงานจริงของระบบโฟโตโวลตาอิกภายใต้สภาพแวดล้อมจริงจะมีความผิดพลาดน้อย โดยค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของกำลังผลิตและแรงดันมีค่าไม่เกิน 6 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายใต้สภาวะการทดสอบ

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา คณะผู้เขียนจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Hiyama, T., and Kitabayashi, K. Neural network based estimation of maximum power generation from PV module using environmental information. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1997; 12(3): 241-247.

[2] Taherbaneh, M., and Faez, K. Maximum power point estimation for photovoltaic systems using neural networks. *Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Control and Automation*, 2007: 1614-1619.

[3] Mellit, A., Saglam, S., and Kalogirou, S. A. Artificial neural network-based model for estimating the produced power of a photovoltaic module. *Renewable Energy*, 2013; 60: 71-78.

[4] ดำรงศักดิ์ วงศ์ตา, เชวศักดิ์ รักเป็นไทย, และ จงลักษณ์ พาหะซา. การประมาณการผลิตกำลังสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39, 2-4 พฤศจิกายน 2559; หน้า 065-068, จังหวัดเพชรบุรี.

[5] Ding, M., Wang, L., and Bi, R. An ANN-based approach for forecasting the power output of photovoltaic system. *Procedia Environmental Sciences*, 2011; 11: 1318-1315.

[6] Skoplaki, E., Boudouvis, A. G., and Palyvos, J. A. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. *Solar Energy Materials & Solar Cell*, 2008; 92(11): 1393-1402.

[7] Sharp ND-250QCS (250W) Solar Panel, www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/Sharp/2260/ND-250QCS/specification-data-sheet.html.Pdf