

## การจำลองแผงแรงดันพลังแสงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม Photovoltaic panel modeling using neural network

เชวศักดิ์ รักเป็นไทย

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา

ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000 โทร 054-466-666 โทรสาร 054-466-662 E-mail: chawasakr@nu.ac.th

Chawasak Rakpenthai

Department of Electrical Engineering, School of Engineering, Naresuan University Phayao,

Tumbol Maeka, Muang Phayao 56000, Thailand Tel: 054-466-666 Fax: 054-466-662 E-mail: chawasakr@nu.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อจำลองแผงแรงดันพลังแสง โดยพิจารณาความเข้มแสง อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ และแรงดันเป็นค่าอินพุต ในขณะที่กระแสเป็นค่าที่ประมาณได้ โครงข่ายแพร่กลับที่มีสองชั้นซ่อนได้รับการฝึกหัดเพียงครั้งเดียวโดยใช้ข้อมูลที่จำลองจากแบบจำลองไดโอดตัวเดียวของแผงแรงดันพลังแสง ผลลัพธ์การจำลองแสดงให้เห็นว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอสามารถสร้างเส้นโค้งกระแส-แรงดันของแผงแรงดันพลังแสงสำหรับการรับรังสีและอุณหภูมิเซลล์ใดๆ ได้

### Abstract

An application of neural network for photovoltaic panel modeling is presented in this paper. The irradiance, solar cell temperature, and voltage are considered as the input values while current is the estimated value. A back propagation network with two hidden layers is trained once by using data simulated from a single diode model of photovoltaic panel. Simulation results show that the proposed neural network can generate current-voltage curves of photovoltaic panel for any irradiance and cell temperature.

### 1. บทนำ

ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องใช้แผงแรงดันพลังแสง (photovoltaic panel) หรือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความสะดวก การดูแลรักษาง่าย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่มีลักษณะไม่เชิงเส้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จะเปลี่ยนแปลงขึ้นกับสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ค่าการรับรังสี (Irradiance) และอุณหภูมิ

(Cell temperature) หากต้องการให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีการควบคุมแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้แผงเซลล์จ่ายกระแส ณ จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด [1-2]

โรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะให้ข้อมูลตัวแปรต่างๆ ของแผงเซลล์อาทิตย์ที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน นักวิจัยสามารถนำตัวแปรเหล่านั้นไปใช้เพื่อสร้างแบบจำลองของแผงเซลล์อย่างง่ายโดยใช้แบบจำลองไดโอดตัวเดียว [3-5] อย่างไรก็ตาม หากใช้แบบจำลองอย่างง่ายเพื่อหาคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะต่างๆ คุณลักษณะที่ได้จากแบบจำลองจะแตกต่างจากข้อมูลที่วัดได้จริง ทั้งนี้ก็เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของแบบจำลองที่ใช้ เพราะตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในแบบจำลองไดโอดตัวเดียวจะต้องเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทำงานด้วย [6-7] จึงจะได้คุณลักษณะสอดคล้องกับที่วัดได้จริง

Karatepe และคณะ [7] ได้นำเสนอหลักวิธีบนพื้นฐานโครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของจรรยาบรรณทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แรงดันพลังแสง โครงข่ายประสาทเทียมถูกฝึกสอนโดยการใช้เส้นโค้งกระแส-แรงดันที่ถูกรวบรวมไว้ล่วงหน้า ตัวแปรจรรยาบรรณไดโอดตัวเดียวจะประมาณจากการรับรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับแบบจำลองที่นำเสนอและแบบจำลองดั้งเดิมพบว่าแบบจำลองที่นำเสนอสามารถให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าแบบจำลองดั้งเดิมในทุกๆ เงื่อนไขการทำงาน

Zhang และ Bai [8] ได้นำเสนอหลักวิธีพันธุกรรม (Genetic algorithm) เพื่อใช้หาจำนวนที่เหมาะสมของฟังก์ชันพื้นฐานรัศมีในโครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายฟังก์ชันพื้นฐานรัศมี (Radial basis function network) ซึ่งในบทความนี้ได้ประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายฟังก์ชันพื้นฐานรัศมี เพื่อจำลองคุณลักษณะกระแส-แรงดันและจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แรงดันพลังแสง แบบจำลองที่ได้ถูกนำไปทดสอบกับแผงเซลล์แรงดันพลังแสงที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่

นำเสนอสามารถให้ความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้ควบคุมระบบเซลล์แรงดันพลังแสง เพื่อการติดตามกำลังสูงสุดที่เหมาะสม

Karatepe และคณะ [9] ได้ศึกษาผลกระทบของการกระจายการแผ่พลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่สม่ำเสมอที่ส่งผลต่อพลังงานเอาต์พุตของโครงสร้างการต่อภายในที่แตกต่างกันในแถวลำดับเซลล์แรงดันพลังแสง และได้พัฒนาแบบจำลองแถวลำดับเซลล์แรงดันพลังแสงขึ้นเพื่อหาโครงสร้างที่ได้รับผลกระทบน้อย แบบจำลองดังกล่าวได้มีการพิจารณาผลกระทบของไดโอดทางผ่านและการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรของวงจรสมมูลตามเงื่อนไขการทำงานด้วย ผลลัพธ์ที่ได้มีการพิจารณาในรายละเอียด

Premrudeepreechacharn และ Patanapirom [10] ได้นำเสนอแบบจำลองที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายฟังก์ชันพื้นฐานรัศมี ผลการทดสอบโดยการเปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายแพร่กลับ (Back propagation network) ที่ชั้นซ่อนเดียว ซึ่งมีนิวรอน (neurons) จำนวน 100 นิวรอน พบว่า โครงข่ายฟังก์ชันพื้นฐานรัศมีใช้เวลาในการสอนน้อยกว่าโครงข่ายแพร่กลับ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโครงข่ายฟังก์ชันพื้นฐานรัศมีใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนกว่าจึงอาจมีความยุ่งยากในการติดตั้งใช้งานในเวลาจริง

Almonacid และคณะ [12] ได้ศึกษาการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเปอร์เซปตรอนหลายชั้น (multi layer perceptron) โดยได้ทดสอบและวัดจุดทำงานของแผงเซลล์ภายใต้ค่าการรับรังสี และอุณหภูมิเซลล์ ณ บางสภาวะ แล้วนำข้อมูลที่ทดสอบได้ไปฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม อินพุต คือ ค่าการรับรังสีและอุณหภูมิของแผง เอาต์พุต คือ เส้นโค้งกระแส-แรงดัน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่นำเสนอให้การทำนายที่แม่นยำมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเส้นโค้งกระแส-แรงดันที่ใช้ฝึกสอนต้องมีความละเอียดสูง

เป้าหมายของการวิจัยเพื่อสร้างแบบจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ต้องการแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อน แต่สามารถทำนายจุดทำงานของแผงได้อย่างดี โดยไม่จำเป็นต้องทำการวัดค่าตัวแปรทั้งหมด นอกจากนี้แบบจำลองยังช่วยให้การออกแบบและวิเคราะห์ระบบมีความสะดวกขึ้น เพราะทำให้สามารถทำนายจุดทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบจริง

ในบทความนี้เป็นการศึกษาการจำลองคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายแพร่กลับที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นที่มีจำนวนนิวรอนน้อย เนื้อหาในบทความกล่าวถึง คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ และผลการทดสอบแบบจำลอง

## 2. คุณลักษณะของแผงแรงดันพลังแสง

แผงแรงดันพลังแสง หรือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ไม่เชิงเส้น แบบจำลองคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแทนได้ด้วยวงจรสมมูลไดโอดตัวเดียว [4] ดังแสดงดังรูปที่ 1 สมการคุณลักษณะของแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้แสดงดังสมการที่ (1)

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

โดย

$I$  คือ กระแสที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หน่วยแอมแปร์

$I_{ph}$  คือ กระแสโฟโต หน่วยแอมแปร์

$I_s$  คือ กระแสอิ่มตัวของไดโอด หน่วยแอมแปร์

$n$  คือ แฟกเตอร์ความเป็นอุดมคติของไดโอด

$R_s$  คือ ความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หน่วยโอห์ม

$R_p$  คือ ความต้านทานขนานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หน่วยโอห์ม

$N_s$  คือ จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกันในแผง

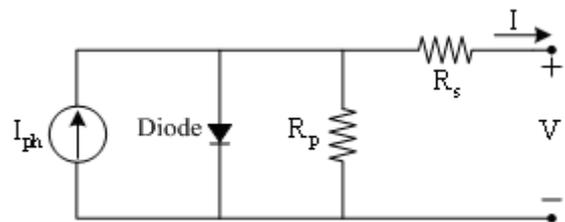
$V$  คือ แรงดันที่ได้จากแผงเซลล์ หน่วยโวลต์

$q$  คือ ประจุไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมบ์

$k$  คือ ค่าคงที่ Boltzman มีค่าเท่ากับ  $1.38 \times 10^{-23}$  จูลต่อเคลวิน

$T$  คือ อุณหภูมิ หน่วย เคลวิน

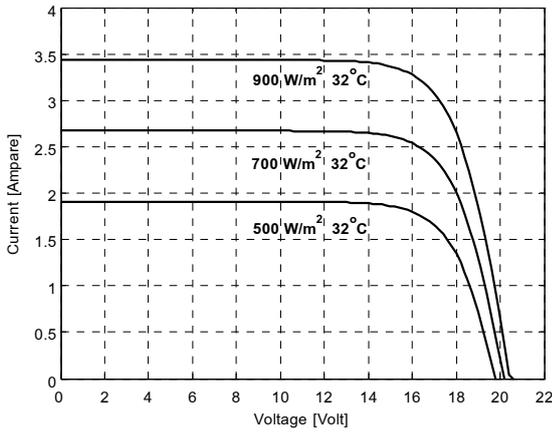
โดยการใช้สมการที่ (1) คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ด้วยเส้นโค้งกระแส-แรงดัน สำหรับกำลังไฟฟ้าที่ได้สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างกระแสและแรงดัน ปกติแล้วคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย คือ การรับรังสีและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในบทความนี้ใช้ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น MSX60 รายละเอียดดังตารางที่ 1 สำหรับคุณลักษณะกระแส-แรงดันและกำลัง-แรงดันที่ค่าการรับรังสีและอุณหภูมิที่อุณหภูมิมีค่าต่างๆ เมื่อค่าการรับรังสีเปลี่ยนแปลง แสดงดังรูปที่ 2 และ 3 สังเกตว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้กำลังไฟฟ้าได้มากขึ้นเมื่อการรับรังสีมีค่าสูงขึ้น สำหรับคุณลักษณะกระแส-แรงดัน และกำลัง-แรงดันที่ค่าการรับรังสีและอุณหภูมิที่ต่างๆ เมื่ออุณหภูมิเซลล์เปลี่ยนแปลง แสดงดังรูปที่ 4 และ 5 สังเกตว่า ประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเซลล์สูงขึ้น เพราะกำลังไฟฟ้าที่ได้จะลดลง



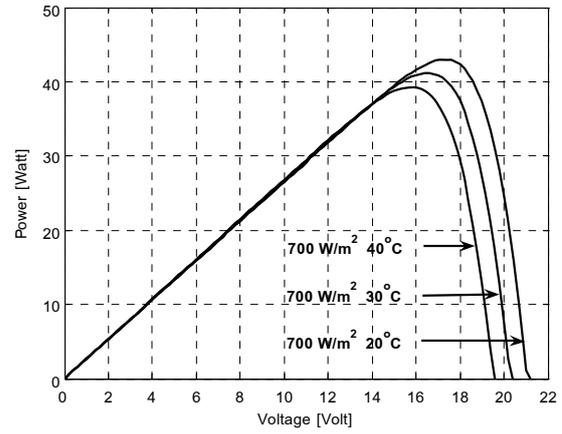
รูปที่ 1 วงจรสมมูลไดโอดตัวเดียวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น MSX60

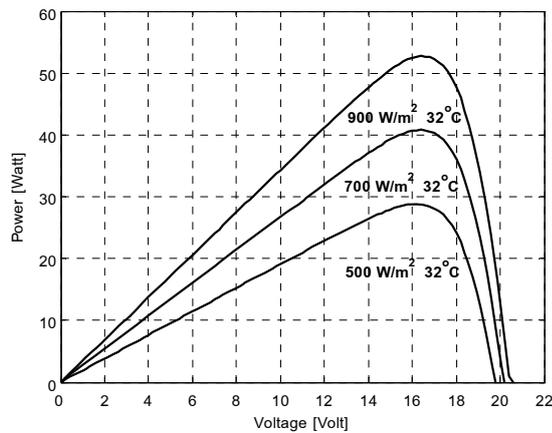
รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย
แรงดันเปิดวงจร	21.06	โวลต์
กระแสลัดวงจร	3.80	แอมแปร์
แรงดัน ณ จุดกำลังสูงสุด	17.05	โวลต์
กระแส ณ จุดกำลังสูงสุด	3.50	แอมแปร์
กำลังสูงสุด	60	วัตต์
อุณหภูมิ	25	องศาเซลเซียส
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกัน	36	เซลล์
แฟกเตอร์ความเป็นอุดมคติของไดโอด	1.2	



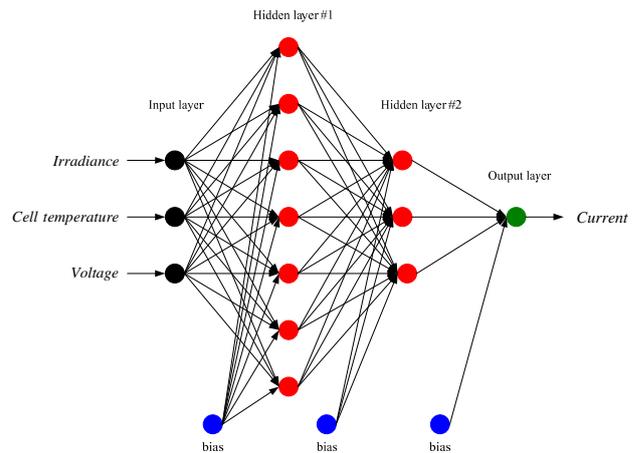
รูปที่ 2 คุณลักษณะกระแส-แรงดัน เมื่อค่าการรับรังสีเปลี่ยนแปลง



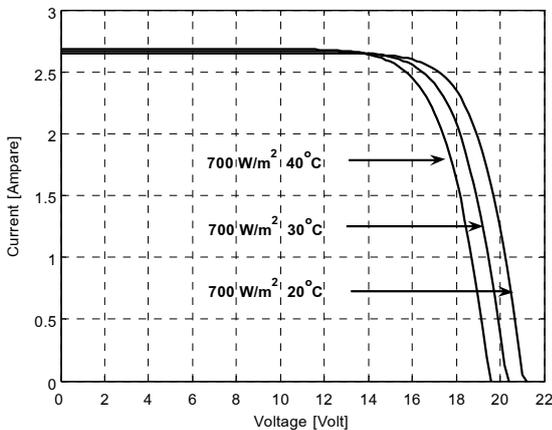
รูปที่ 5 คุณลักษณะกำลัง-แรงดัน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3 คุณลักษณะกำลัง-แรงดัน เมื่อค่าการรับรังสีเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 6 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้จำลองระบบ



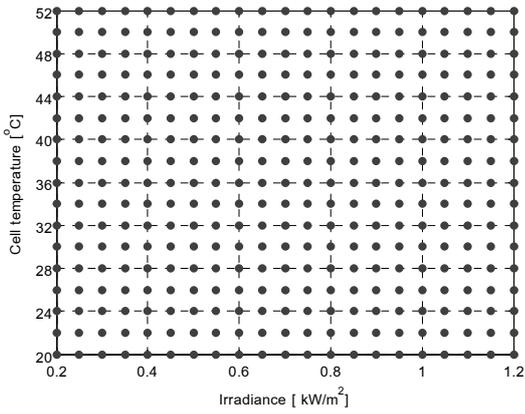
รูปที่ 4 คุณลักษณะกระแส-แรงดัน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

### 3. แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ

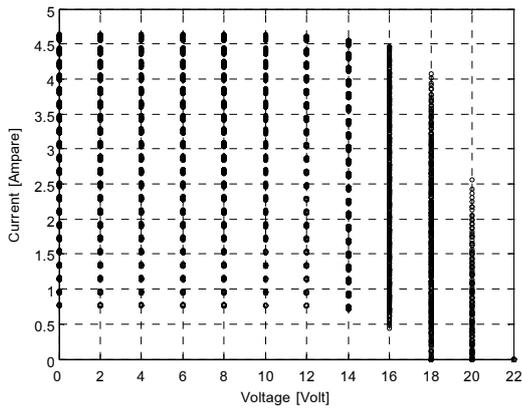
โครงสร้างของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายแพร่กลับ แสดงดังรูปที่ 6 แบบจำลองที่นำเสนอมีอินพุต คือ ค่าการรับรังสี อุณหภูมิเซลล์ และแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับเอาต์พุต คือ กระแสแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สังเกตว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายแพร่กลับมี 2 ชั้นซ่อน โดยแต่ละชั้นซ่อนมีนิวรอน จำนวน 7 นิวรอน และ 3 นิวรอน ตามลำดับ จึงมีค่าน้ำหนักจำนวน 45 ค่า ( $21+21+3 = 45$ ) ฟังก์ชันการกระตุ้นที่นิวรอนในแต่ละนิวรอนเป็น  $\text{tansig}$  [12] รายละเอียดของหลักวิธีโครงข่ายประสาท

เทียมสามารถค้นคว้าได้จาก [12] สำหรับในบทความนี้กำหนดข้อมูลสถานะการรับรังสีและอุณหภูมิเซลล์ที่ใช้ฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม คือ การรับรังสี 200 ถึง 1,200 วัตต์ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิเซลล์ 20 ถึง 52 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 7 ดังนั้นชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนมีจำนวน 357 สภาวะ สำหรับข้อมูลแรงดัน-กระแสภายใต้สภาวะการรับรังสีและอุณหภูมิเซลล์ที่ใช้สอนโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังรูปที่ 8 โดยเป็นข้อมูลสุ่มทุกๆ แรงดัน 2 โวลต์ที่ได้จากการจำลองด้วยสมการแบบจำลองไดโอดตัวเดียวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น MSX60 อย่างไรก็ตาม หากข้อมูล แรงดัน-กระแส สามารถวัดได้มาจากการทดสอบจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงก็สามารถใช้ข้อมูลจริงในการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมได้

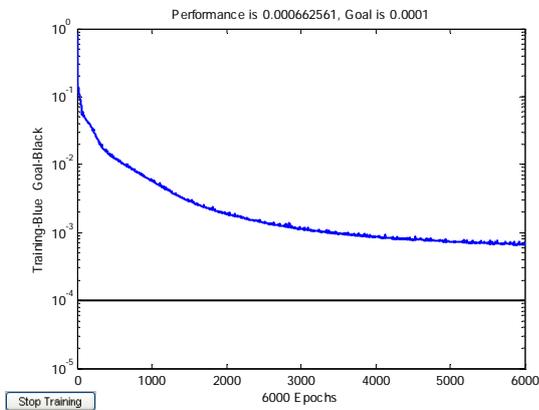
ในการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายแพร่กลับได้ใช้วิธีการสุ่มค่าน้ำหนักและไบอัสเริ่มต้น เนื่องจากค่าน้ำหนักและไบอัสเริ่มต้นที่ได้จากการสุ่มจะมีผลต่อสมรรถนะในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ [12-13] โดยผู้วิจัยจึงใช้วิธีการลองฝึกสอนโครงข่ายหลายๆ ละ 6,000 รอบ และผู้วิจัยจะเลือกครั้งที่ให้ผลการเรียนรู้มีค่าผิดพลาดต่ำ ต่อมาจะใช้ค่าน้ำหนักและไบอัสที่ได้จาก 6,000 รอบแรก เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการฝึกสอนอีก 6,000 รอบ ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จึงมีการฝึกสอนเพียงครั้งเดียว จำนวน 12,000 รอบ การฝึกสอนที่ใช้รอบมากเกินไปจะไม่ค่อยช่วยให้แบบจำลองที่ได้มีสมรรถนะดี และยังสิ้นเปลืองเวลาในฝึกสอน รูปที่ 9 และ 10 แสดงสมรรถนะในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม



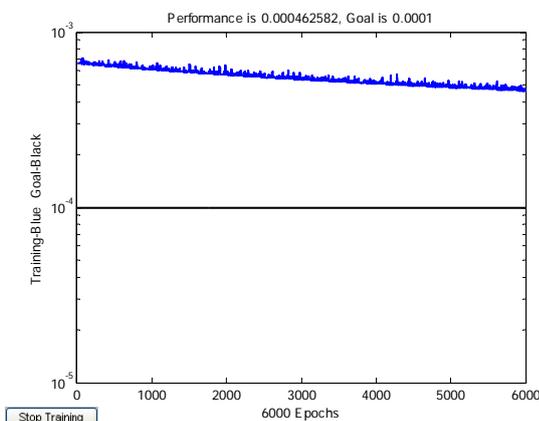
รูปที่ 7 ข้อมูลสภาวะของการรับรังสีและอุณหภูมิเซลล์ที่ใช้ฝึกสอน



รูปที่ 8 ข้อมูลกระแส-แรงดันที่ใช้ฝึกสอน



รูปที่ 9 ผลการฝึกสอนโครงข่ายประสาท (รอบที่ 0 – 6,000)



รูปที่ 10 ผลการฝึกสอนโครงข่ายประสาท (รอบที่ 6,001 – 12,000)

ผลลัพธ์ของค่าน้ำหนักและค่าไบอัสที่ได้จากการฝึกสอน ดังนี้

ค่าน้ำหนักของชั้นซ่อนที่ 1 (Hidden layer #1) คือ

1.3306155264	-0.1470368063	-1.5046106255
0.2734722545	0.3590221743	3.1652613812
-0.7538824305	0.0229390355	0.7618238462
-0.5751182160	1.0459307455	1.7651717426
0.8468786409	0.1380273137	1.2243158890
1.9373549909	0.7237778366	-0.1214802119
-0.7196351838	-0.1310714528	-2.4877623971

ค่าน้ำหนักของชั้นซ่อนที่ 2 (Hidden layer #2) คือ

0.6371706218	-0.7247684189	-0.7989135622
0.0572907935	0.6937721816	-1.9795952460
0.7585059711	1.1387811731	-0.7345735210
-0.6942340265	0.0684170588	-0.0393145759
0.1616744093	-0.7278500655	0.9395513943
0.5584357437	0.7498583066	0.0861461385
0.8177226300	0.0231879982	0.2976797258

ค่าน้ำหนักของชั้นเอาต์พุต คือ

0.4254062754	-1.7558235304	2.2796638427
--------------	---------------	--------------

ค่าไบอัสของชั้นซ่อนที่ 1 (Hidden layer #1) คือ

-2.7759277190
-2.6433430453
0.0515937290

-0.7695922017
-0.3838483498
2.3367460850
-2.3426641956

ค่าไบอัสของชั้นซ่อนที่ 2 (Hidden layer #2) คือ

-1.7288250615
0.5190021905
-1.1593352805

ค่าไบอัสของชั้นเอาต์พุต คือ

0.0594805793
--------------

#### 4. ผลการจำลอง

ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่นำเสนอจะถูกทดสอบโดยการป้อนข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกับฝึกสอนและการปรับพารามิเตอร์ใดๆ ให้แบบจำลอง ซึ่งจะให้เห็นประสิทธิภาพที่แท้จริงของแบบจำลองที่นำเสนอ สำหรับข้อมูลที่ใช้ทดสอบได้มาจากแบบจำลองไดโอดตัวเดียว

##### 4.1 กรณีที่ 1 กำหนดสภาพแวดล้อม ดังนี้

สภาวะที่ 1: การรับรังสี 1,120 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 49 องศาเซลเซียส

สภาวะที่ 2: การรับรังสี 820 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 35 องศาเซลเซียส

สภาวะที่ 3: การรับรังสี 620 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 30 องศาเซลเซียส

สภาวะที่ 4: การรับรังสี 400 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 25 องศาเซลเซียส

**4.2 กรณีที่ 2** กำหนดสภาพแวดล้อม ดังนี้

- สภาวะที่ 1: การรับรังสี 970 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 30 องศาเซลเซียส
- สภาวะที่ 2: การรับรังสี 870 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 30 องศาเซลเซียส
- สภาวะที่ 3: การรับรังสี 670 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 30 องศาเซลเซียส
- สภาวะที่ 4: การรับรังสี 470 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 30 องศาเซลเซียส

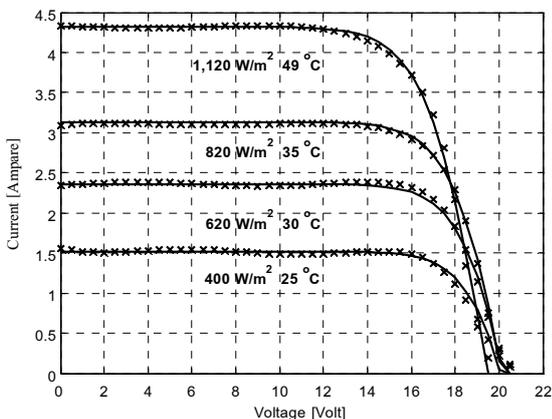
**4.3 กรณีที่ 3** กำหนดสภาพแวดล้อม ดังนี้

- สภาวะที่ 1: การรับรังสี 770 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 45 องศาเซลเซียส
- สภาวะที่ 2: การรับรังสี 770 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 25 องศาเซลเซียส
- สภาวะที่ 3: การรับรังสี 520 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 45 องศาเซลเซียส
- สภาวะที่ 4: การรับรังสี 520 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเซลล์ 25 องศาเซลเซียส

โดย

- แบบจำลองไดโอดตัวเดียว ใช้สัญลักษณ์ เส้นตรง
- แบบจำลองที่นำเสนอ ใช้สัญลักษณ์ กากบาท

ผลการทดสอบในกรณีที่ 1 แสดงดังรูปที่ 11 ถึงรูปที่ 13 คุณลักษณะกระแส-แรงดันที่ได้แสดงดังรูปที่ 11 สังเกตว่า แบบจำลองที่นำเสนอสามารถใช้ทำนายกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ค่าแรงดันต่างๆ 0.5 โวลต์ได้เป็นอย่างดีทั้ง 4 สภาวะ ในรูปที่ 12 แสดงคุณลักษณะกำลัง-แรงดันที่ได้จากการทดสอบ สังเกตว่าแบบจำลองที่นำเสนอสามารถให้กำลังไฟฟ้า (กระแสคูณแรงดัน) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ค่าแรงดันต่างๆ ได้ โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดใกล้เคียงกับแบบจำลองไดโอดตัวเดียวเป็นอย่างมาก ในรูปที่ 13 แสดงคุณลักษณะกำลัง-กระแสที่ได้จากการทดสอบ สังเกตว่า กำลังไฟฟ้า (กระแสคูณแรงดัน) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ค่ากระแสสูงๆ ของแต่ละสภาวะมีความใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองไดโอดตัวเดียวเป็นอย่างมาก แต่ที่ค่ากระแสต่ำมากๆ ของแต่ละสภาวะนั้นแบบจำลองที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ไม่ติดนัก ทั้งนี้ก็เนื่องจากข้อมูลแรงดันที่ใช้ฝึกสอนเป็นข้อมูลสุ่มที่ทุกๆ แรงดัน 2 โวลต์ จึงอาจจะไม่ละเอียดพอ



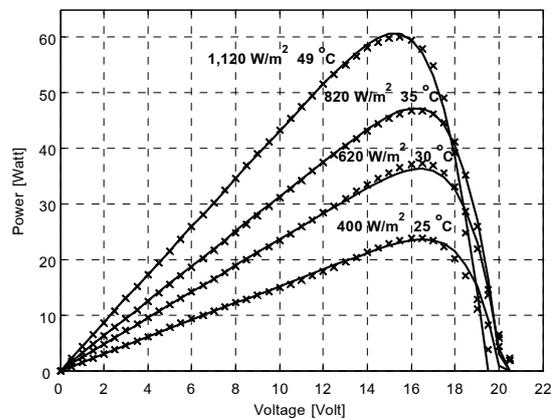
รูปที่ 11 คุณลักษณะกระแส-แรงดัน กรณีที่ 1

เพราะความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันที่ค่ากระแสต่ำมากๆ หรือแรงดันใกล้แรงดันเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เชิงเส้นอย่างมาก หากต้องการให้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีผลลัพธ์ที่ดีในช่วงกระแสต่ำมากๆ สามารถทำได้โดยการใช้ข้อมูลแรงดันสุ่มที่ละเอียดพอ เมื่อแรงดันใกล้แรงดันเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

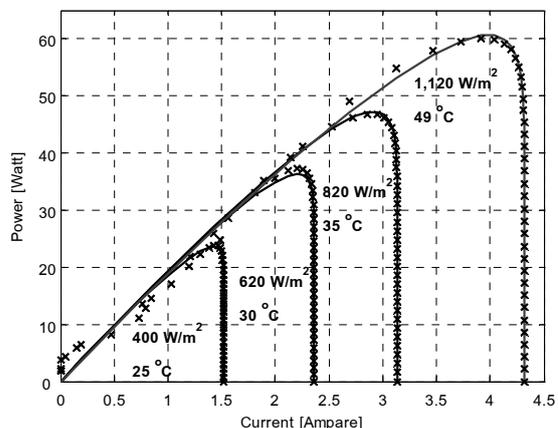
ในกรณีที่ 2 เป็นการทดสอบแบบจำลองที่อุณหภูมิเดียวกันแต่มีสภาวะการรับรังสีแตกต่างกัน ผลการทดสอบในกรณีที่ 2 แสดงดังรูปที่ 14 และรูปที่ 15 คุณลักษณะกระแส-แรงดันที่ได้แสดงดังรูปที่ 14 คุณลักษณะกำลัง-แรงดันที่ได้จากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 15 สังเกตว่าแบบจำลองที่นำเสนอยังสามารถให้คุณลักษณะใกล้เคียงกับแบบจำลองไดโอดตัวเดียวเป็นอย่างมาก

ในกรณีที่ 3 เป็นการทดสอบแบบจำลองที่อุณหภูมิเดียวกันแต่มีสภาวะการรับรังสีแตกต่างกัน และที่อุณหภูมิแตกต่างกันแต่มีสภาวะการรับรังสีเดียวกัน ผลการทดสอบในกรณีที่ 3 แสดงดังรูปที่ 16 และรูปที่ 17 คุณลักษณะกระแส-แรงดันที่ได้แสดงดังรูปที่ 16 คุณลักษณะกำลัง-แรงดันที่ได้จากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 17 สังเกตว่าแบบจำลองที่นำเสนอก็ยังสามารถให้คุณลักษณะใกล้เคียงกับแบบจำลองไดโอดตัวเดียวเป็นอย่างมาก เช่นเดียวกับทั้งสองกรณีที่ผ่านมา

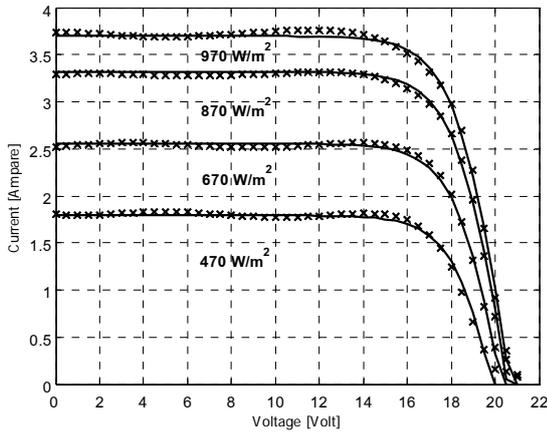
ผลการทดสอบทั้ง 3 กรณี ซึ่งในแต่ละกรณีก็มีมีสภาวะแวดล้อมที่หลากหลาย แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับที่นำเสนอมีศักยภาพเพียงพอที่จะใช้ในการทำนายคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างดี



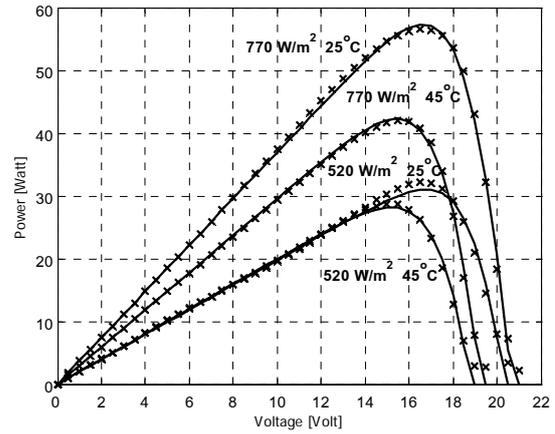
รูปที่ 12 คุณลักษณะกำลัง-แรงดัน กรณีที่ 1



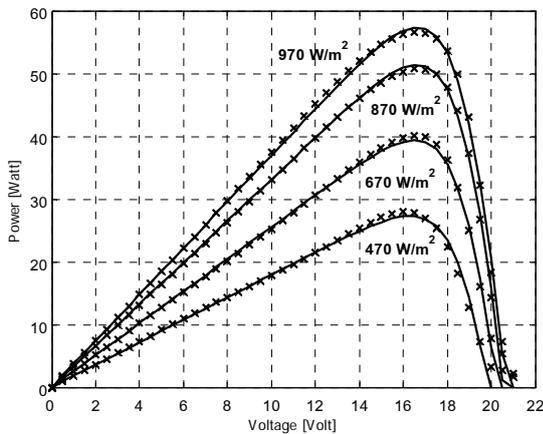
รูปที่ 13 คุณลักษณะกำลัง-กระแส กรณีที่ 1



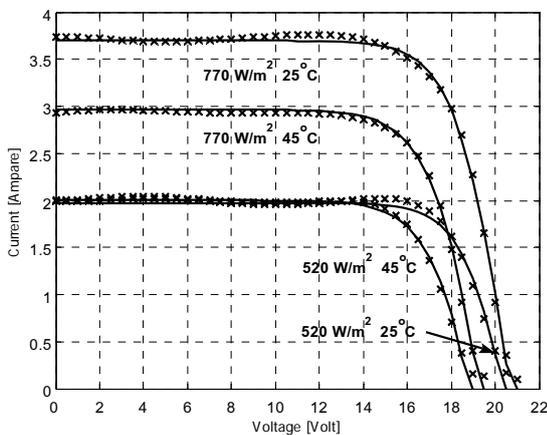
รูปที่ 14 คุณลักษณะกระแส-แรงดัน กรณีที่ 2



รูปที่ 17 คุณลักษณะกำลัง-แรงดัน กรณีที่ 3



รูปที่ 15 คุณลักษณะกำลัง-แรงดัน กรณีที่ 2



รูปที่ 16 คุณลักษณะกระแส-แรงดัน กรณีที่ 3

## 5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายแพร่กลับที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น เพื่อใช้ทำนายจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การศึกษาใช้ข้อมูลฝึกสอนเป็นกระแสและแรงดันในบางสภาวะ โดยเป็นข้อมูลสุ่มทุกๆ แรงดัน 2 โวลต์ ซึ่งได้มาจากแบบจำลองไดโอดตัวเดียวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น MSX60 แทนข้อมูลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่นำเสนอสามารถให้เส้นโค้งกระแส-แรงดัน และเส้นโค้งกำลัง-แรงดัน ภายใต้สภาวะการทำงานต่างๆ ได้อย่างน่าพอใจ

เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอเป็นโครงข่ายแบบแพร่กลับที่มีค่าน้ำหนักจำนวนน้อยเพราะมีนิวรอนเพียง 7 นิวรอน จึงเป็นโครงข่ายที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นการนำแบบจำลองที่นำเสนอไปติดตั้งใช้งานในเวลาจริงจึงมีความง่ายและใช้เวลาในการฝึกสอนน้อย ในอนาคตอาจนำโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้ทำนายจุดทำงานในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ซึ่งมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พะเยา ที่ได้ให้การสนับสนุนในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

1. Salas, V., Olias, E., Barrado, A. and Lazaro, A., "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems," Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.90, pp. 1555-1578, 2006.
2. Altas, I. H., and Sharaf, A. M., "A novel on-line MPP search algorithm for PV arrays," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No.4, pp. 748-754, 1996.
3. Chenni, R., Makhoulouf, M., Kerbache, T. and Bouzid, A. "A detailed modeling method for photovoltaic cells," Energy, Vol. 32, pp. 1724-1730, 2007.
4. Ikegami, T., Maezono, T., Nakanishi, F., Yamagata, Y. and Ebihara, K., "Estimation of equivalent circuit parameters of PV module and its application to optimal operation of PV system," Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.67, pp. 389-395, 2001.
5. Soto, W. D., Klein, S. A. and Beckman, W. A., "Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance," Solar Energy, Vol. 80, pp. 78-88, 2006.
6. Hanmina, T., Xiaobao, Z., Shikuia, Y., Xiangyana, W., Zhipenga, T., Bina, L., Yinga, W., Taoga, Y. and Zhiganga, Z., "An improved method to estimate the equivalent circuit

- parameters in DSSCs," *Solar Energy*, Vol. 83, No. 5, pp. 715-720, 2009.
7. Karatepe, E., Boztepe, M. and Colak, M., "Neural network based solar cell model," *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, pp. 1159-1178, 2006.
  8. Zhang, L., and Bai, Y. F., "Genetic algorithm-trained radial basis function neural networks for modelling photovoltaic panels," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 18, pp. 833-844, 2005.
  9. Karatepe, E., Boztepe, M. and Colak, M. "Development of a suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded solar cells," *Solar Energy*, Vol 81, No.8, pp. 977-992, 2007.
  10. Premrudeepreechacharn, S. and Patanapirom, N. "Solar-array modelling and maximum power point tracking using neural networks," *IEEE Proceedings of Bologna Power Tech Conference*, 2003.
  11. Almonacid, F., Rus, C., Hontoria, L., Fuentes, M. and Nofuentes, G. "Characterisation of Si-crystalline PV modules by artificial neural networks," *Renewable Energy*, Vol. 34, pp. 941-949, 2009.
  12. Fausett, L., *Fundamentals of Neural Networks*, Prentice Hall, Inc., 1994.
  13. *Neural Network Toolbox User's Guide*, The MathWorks, Inc.