

การพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม ENERGY CONSUMPTION PREDICTION BY USING ARTIFICIAL NEURON NETWORK METHOD

สมพร เรืองสินชัยวานิช¹, เกียรติศักดิ์ ไกรกิจราษฎร์², กิตติศักดิ์ คงสีไพร^{3*}

Somporn Ruangsinchaiwanich¹, Kreangsuk Kraikitrat², Kittisak Khongseeprai^{3*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา ประเทศไทย 56000

³ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Engineering, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

²Faculty of Engineering, University of Phayao, Muang, Phayao, Thailand 56000

³Faculty of Industrial Technology, Phibunsongkham Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: kittisak_nat@hotmail.com

วันที่เข้ารับ 15 กันยายน 2564

วันที่แก้ไขบทความ 18 ตุลาคม 2564

วันที่ตอบรับบทความ 18 ตุลาคม 2564

บทคัดย่อ

บทความวิจัยเรื่องการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้วิธี ANN มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นกรณีศึกษาในวางแผนพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าให้เกิดความเหมาะสมต่อไปในอนาคต และเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างการวัดด้วยเครื่องมือวัดกับการพยากรณ์ด้วยวิธี ANN จากการศึกษาในสถานศึกษาตัวอย่าง คือ สถานศึกษา A และสถานศึกษา B ตัวแปรที่ใช้ประกอบด้วยค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและค่าตัวประกอบโหลด โดยใช้ข้อมูลในปีพ.ศ. 2557 ในการเรียนรู้ของระบบ ANN และข้อมูลในปีพ.ศ. 2558 ใช้สำหรับการทดสอบผลพยากรณ์ สถิติที่ใช้ คือ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%Error) ผลการศึกษาพบว่า สถานศึกษา A มีค่าความคลาดเคลื่อน 4.76% และสถานศึกษา B มีค่าความคลาดเคลื่อน 6.63%

คำสำคัญ: การพยากรณ์, การใช้พลังงานไฟฟ้า, โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

This research article on predicts of electricity consumption by using ANN method. It is intended to be a case study in planning to develop a suitable electric power management system in the future and to study and compare the results between measuring with measuring instruments and predict by ANN method. From the study in the sample educational institutions, namely, school A and school B. The variables used consisted of the maximum power demand and the load factor. using the data in the year 2014 in ANN system learning and data in 2016 2015 is used for testing the predict results. The statistic used was the percentage error (%Error). The results showed that A school had an error of 4.76% and School B had an error of 6.63%.

Keywords: Predict, Electricity consumption, Artificial Neuron Network

1. บทนำ

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นทุกปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือน เมษายน และ พฤษภาคม แหล่งเชื้อเพลิงที่นำมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สำคัญคือ ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน แม้ว่าเชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถผลิตได้ในประเทศ แต่ยังคงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก เพื่อทำการผลิตกระแสไฟฟ้าและสำรองเชื้อเพลิงในยามจำเป็น ทั้งนี้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศ ในปี พ.ศ. 2559 โดยกระทรวงพลังงาน (2559) พบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW_{peak}) ที่ใช้มีค่าประมาณ 30,000 MW ดังนั้นแนวทางสำคัญประการหนึ่งของกระทรวงพลังงาน คือ ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในทุกภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็น อาคารควบคุม โรงงานควบคุม และหน่วยงานภาครัฐ จากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ.2550) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ในการนี้สถานศึกษาภาครัฐหลายแห่งให้ความสำคัญและตระหนักถึงการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมักมีกิจกรรมการอนุรักษ์พลังงานในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการกระตุ้นให้ความรู้ในเรื่องของการประหยัดพลังงาน การติดป้ายเชิญชวนให้ประหยัดพลังงานด้วยวิธีการต่างๆ วิธีการเหล่านี้ล้วนแล้วแต่มุ่งเน้นให้เกิดผลของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแทบทั้งสิ้น ปัจจุบันสถานศึกษา สถานศึกษาภาครัฐหลายแห่ง โดยเฉพาะสถานศึกษาขนาดกลางและสถานศึกษาขนาดใหญ่ เช่น วิทยาลัย หรือ มหาวิทยาลัย มักถูกจัดประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าแบบประเภทที่ 3 จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งจะคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) โดยแบ่งช่วงเวลาการใช้พลังงานเป็น 2 ช่วง คือ ช่วง Peak คือ ตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ เวลา 09:00 –

22:00 น. และช่วง Off Peak คือ วันจันทร์ถึงวันศุกร์ เวลา 22:00 – 09:00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ รวมทั้งวันหยุดราชการตามปกติซึ่งไม่รวมวันหยุดชดเชยทั้งวัน ค่าพลังงานไฟฟ้าหลักคือ กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) รวมถึงค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (kW_{peak}) ซึ่งเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานเฉลี่ยในช่วง 15 นาที ที่มีค่าสูงสุดในรอบ 1 เดือน มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2558) และด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนเพื่อพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า ซึ่งวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจคือ การใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network; ANN) มาใช้ในการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า

ทั้งนี้จากงานวิจัยในการศึกษาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า (สมพร, 2560) พบว่าตัวแปรที่ได้จากการพิจารณาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและค่าตัวประกอบโหลด (Load factor) (kWh/kW_{peak}) ในเดือนนั้นๆ มีแนวโน้มอย่างไร และประสิทธิภาพการใช้พลังงานในองค์กรนั้นๆ เป็นอย่างไร กล่าวคือ หากพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของแนวโน้มที่จะสามารถปรับลดการใช้พลังงานได้ และหากพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของแนวโน้มการควบคุมการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพที่ดีอยู่แล้ว และการนำข้อมูลพื้นฐานในการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นข้อมูลเพื่อป้อนเข้าสู่สมการถดถอยพหุคูณ ยังสามารถที่จะช่วยในการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคต ทั้งนี้เหมาะสำหรับองค์กรหรือสถานศึกษาที่มีรูปแบบการใช้พลังงานไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และยังเหมาะกับโรงงานที่มีกำลังการผลิตที่สม่ำเสมอ

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อเป็นกรณีศึกษาในวางแผนพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าให้เกิดความเหมาะสมต่อไปในอนาคต

2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างการวัดด้วยเครื่องมือวัดกับการพยากรณ์ด้วยวิธี ANN

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ศึกษาลักษณะของข้อมูลพื้นฐาน วิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องจัดทำสมการข้อมูลที่เหมาะสม และทำการตรวจสอบค่าที่ได้จากสมการ ดังนี้

3.1 ศึกษาลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

ข้อมูลที่น่าสนใจวิเคราะห์เป็นข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสถานศึกษาในปี พ.ศ. 2557 ด้วยการเข้าไปตรวจประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในสถานศึกษาต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยคณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้า (ใบแจ้งค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กฟภ.) สถานศึกษาภาครัฐ A และ B ในปี 2557 – 2558 ทั้งนี้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วย ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Demand peak) มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) พลังงานไฟฟ้า (Electricity) มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) และค่าตัวประกอบโหลด (Load factor) มีหน่วย

เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งในการศึกษาค้างนี้ใช้สถานศึกษาตัวอย่าง 2 สถาบัน โดยแทนเป็นรหัส A และ B ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 การเข้าตรวจประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในสถานศึกษา

ตารางที่ 1 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในสถานศึกษาตัวอย่าง

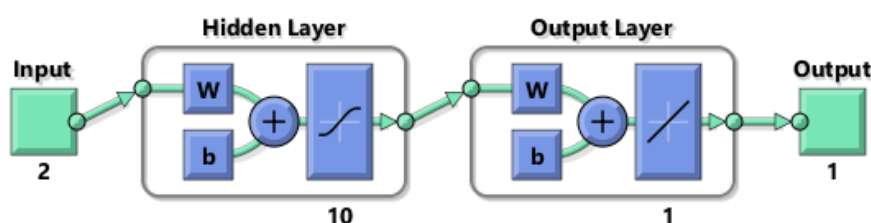
เดือน/ปี	สถานศึกษา A			สถานศึกษา B		
	Electricity (kWh)	Demand Peak (kW)	Load Factor (%)	Electricity (kWh)	Demand Peak (kW)	Load Factor (%)
ม.ค. 57	51,433.35	363.04	19.04	38,216.96	277.65	18.50
ก.พ. 57	51,841.00	322.25	23.94	49,634.34	332.69	22.20
มี.ค. 57	72,702.00	362.98	26.92	42,597.12	207.89	27.54
เม.ย. 57	51,353.01	258.78	27.56	37,115.82	293.31	17.58
พ.ค. 57	51,948.00	413.85	16.87	59,620.47	503.97	15.90
มิ.ย. 57	95,399.00	496.27	26.70	89,075.35	505.98	24.45
ก.ค. 57	83,377.00	422.23	26.54	77,778.64	463.62	22.55
ส.ค. 57	88,778.00	430.10	27.74	81,816.35	479.52	22.93
ก.ย. 57	92,033.00	456.51	28.00	67,941.78	474.68	19.88
ต.ค. 57	59,366.00	279.37	28.56	48,199.93	441.71	14.67
พ.ย. 57	79,049.00	452.53	24.26	84,192.84	482.78	24.22
ธ.ค. 57	71,888.01	401.39	24.07	53,238.13	423.97	16.88

3.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน

ขั้นตอนนี้เป็น การวิเคราะห์เกี่ยวกับตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในสถานศึกษา โดยศึกษาจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจากข้อมูลในตารางที่ 1 สามารถจำแนกเป็นตัวแปรอิสระ (X_i) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ หมายถึง ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในสถานศึกษา มีทั้งหมด 2 ตัว คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (X_1) และตัวประกอบโหลด (X_2) และตัวแปรตามคือพลังงานไฟฟ้า (Y) โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี ANN

3.3 โครงสร้างของ ANN ที่ใช้ในการศึกษา

โครงสร้างของ ANN ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบ Feed-Forward โดยมีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น 10 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบซิกมอยด์ ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้น ส่วนฟังก์ชันการเรียนรู้เป็นแบบ Levenberg-Marquardt เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ลงในกล่องเครื่องมือ (Toolbox) ของโปรแกรมแมทแล็บ เพื่อใช้สำหรับการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าจากตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งวิธีของ ANN ที่นำมาใช้ในครั้งนี้เป็นที่นิยมของนักวิชาการหลายๆ ท่านในการนำมาใช้พยากรณ์ในงานต่างๆ อาทิเช่น Loghmari *et al.* (2018) ที่ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์แบบรายเดือนในประเทศตูนิเซียด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feedforward หลายชั้น ประกอบด้วยชั้นอินพุต ชั้นเอาต์พุต และชั้นซ่อนจำนวน 1 ชั้น 10 นิวรอน ฟังก์ชันการเรียนรู้เป็นวิธีของ Levenberg-Marquardt *et al.* (2016) ได้ทำการพยากรณ์ความเร็วลมด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบ Feed forward มี 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นอินพุต ชั้นเอาต์พุต และชั้นซ่อนจำนวน 1 ชั้น 31 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt ทั้งนี้โครงสร้างของ ANN ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงไว้ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ ANN ที่ใช้ในการศึกษากับโปรแกรมแมทแล็บ

3.4 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

เนื่องจากการเป็น การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธี ANN ซึ่งผลที่ได้จากการพยากรณ์จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage Error : %Error) ซึ่งหาได้จากสมการ (1)

$$\%Error = \frac{|\text{Mesured Value} - \text{Predict Value}|}{\text{Mesured Value}} \times 100 \quad (1)$$

4. ผลการวิจัย

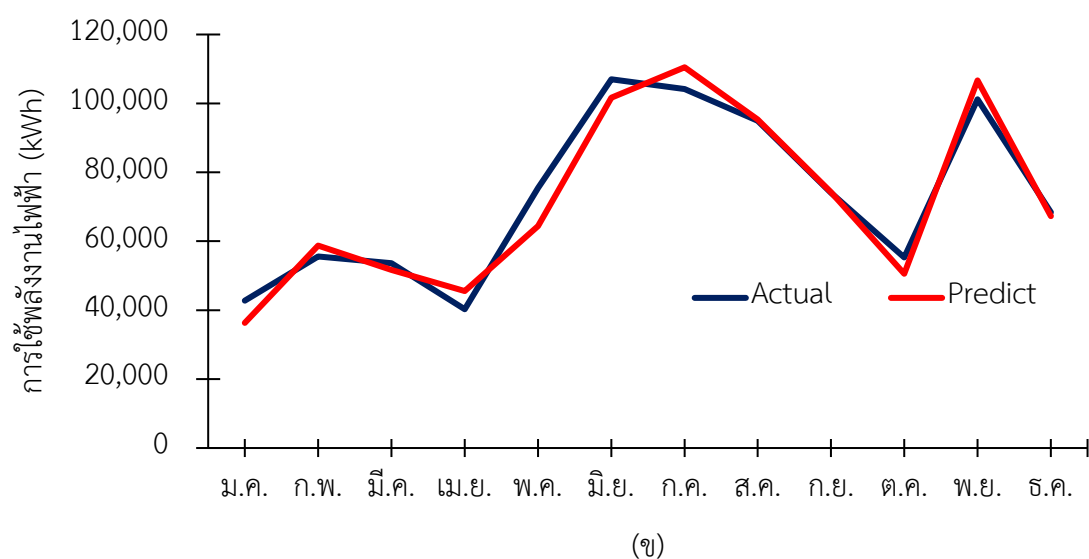
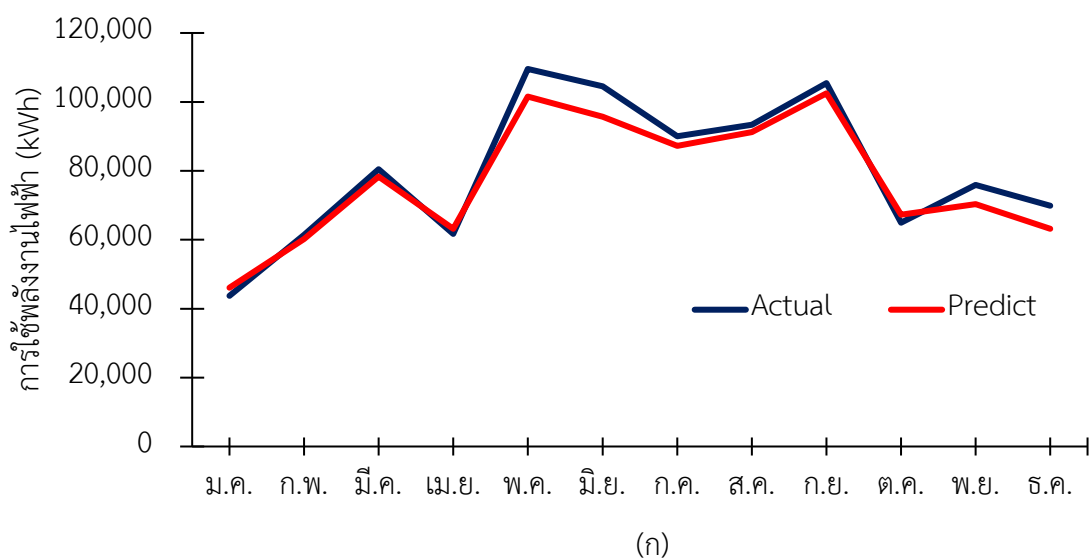
จากการนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ.2557 มาใช้เป็นข้อมูลการเรียนรู้ของ ANN เพื่อนำผลที่ได้ไปพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ.2558 ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในตาราง 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า

เดือน/ปี	สถานศึกษา A			สถานศึกษา B		
	Electricity (kWh)		%Error	Electricity (kWh)		%Error
	Actual	Predict		Actual	Predict	
ม.ค. 58	43,726.00	46074.05	5.37	42,805.70	36316.035	15.16
ก.พ. 58	61,446.00	60175.53	2.07	55,618.56	58787.74	5.70
มี.ค. 58	80,446.01	78293.90	2.68	53,590.24	51654.798	3.61
เม.ย. 58	61,646.01	63208.09	2.53	40,273.31	45524.785	13.04
พ.ค. 58	109,552.60	101548.72	7.31	75,484.74	64365.166	14.73
มิ.ย. 58	104,505.00	95684.01	8.44	107,000.91	101639.96	5.01
ก.ค. 58	90,050.99	87245.51	3.12	104,171.78	110484.04	6.06
ส.ค. 58	93,326.00	91221.04	2.26	94,997.73	95310.778	0.33
ก.ย. 58	105,422.00	102479.24	2.79	74,083.59	74257.752	0.24
ต.ค. 58	64,950.00	67301.22	3.62	55,282.98	50537.872	8.58
พ.ย. 58	75,940.00	70314.84	7.41	101,225.96	106656.31	5.36
ธ.ค. 58	69,887.00	63187.76	9.59	68,424.59	67271.8	1.68
mean			4.76			6.63

จากตารางที่ 2 เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าจากการพยากรณ์ที่ได้จากวิธี ANN มาเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าที่อ่านได้จากมิเตอร์พบว่า สถานศึกษา A มีค่าความคลาดเคลื่อน 4.76% และสถานศึกษา B มีค่าความคลาดเคลื่อน 6.63% นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบเดือนต่อเดือนแล้วจะเห็นว่าสถานศึกษา A มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 9.59% และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 2.07% ส่วนสถานศึกษา B มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 15.16% และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย

ที่สุด 0.24% ทั้งนี้รายละเอียดของการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าจากการพยากรณ์กับพลังงานไฟฟ้าจริงแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบกับค่าจริงในปี พ.ศ. 2558
(ก) สถานศึกษา A (ข) สถานศึกษา B

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากผลการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในสถานศึกษาตัวอย่าง ทำให้พบว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและตัวประกอบโหลด ซึ่งค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเป็นค่าที่เกิดจากลักษณะของการใช้ไฟฟ้าที่ใช้งานเฉลี่ยในช่วง 15 นาทีที่มีค่าสูงสุดในรอบ 1 เดือน ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้นำค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Peak มาคิดรวมกับการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเจษฎา เรืองแสง (2555) ที่พบว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมคือ ปริมาณการผลิตและชั่วโมงการทำงาน โดยปัจจัยหลักต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์เชิงเส้น และมีความสัมพันธ์กันมาก ซึ่งจากผลการพยากรณ์ที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นได้ว่ามีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยมาก กล่าวคือ สถานศึกษา A มีค่าความคลาดเคลื่อน 4.76% และสถานศึกษา B มีค่าความคลาดเคลื่อน 6.63% ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการนำวิธี ANN มาช่วยในการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าในอนาคตอาจเป็นวิธีที่น่าสนใจเพื่อที่จะวางแผนพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าให้เกิดความเหมาะสมต่อไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และสาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับทำงานวิจัย วัสดุอุปกรณ์ ตลอดจน บริการให้ยืมเครื่องมืออุปกรณ์การวัด การทดสอบต่างๆ อย่างดีเยี่ยม และสถานศึกษาในเขตภาคเหนือตอนล่าง ที่ให้ข้อมูลการใช้พลังงานในปี 2557 และ 2558 สำหรับงานวิจัยนี้ จนทำให้สามารถรวบรวมข้อมูลสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

7. เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน . (2559). **Thailand Electricity Load Profile**. ค้น จาก <http://www.command.energy.go.th/ egatLoadprofile/>
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค . (2558). **อัตราค่าไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค**. ค้นจาก <http://www.erc.or.th/ ERCWeb2/ Upload/ Document/PEAใบอัตราค่าไฟฟ้า58-60.pdf> วันที่สืบค้น 10 ม.ค. 2560

เจษฎา เรืองแสง. (2555). การพัฒนาสมการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

สมพร เรืองสินชัยวานิช. (2560). การอนุรักษ์พลังงานและการจัดการพลังงานไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: บริษัท ทรูปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด.

Hasmat, M., & Savita, S. (2016, June). **Application of Artificial Neural Network for Long Term Wind Speed Prediction**. In 2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP), Pune, India, 217-222. Doi: 10.1109/CASP.2016.7746168

Loghmani, I., Timoumi, Y., & Messadi, A. (2018). Performance comparison of two global solar radiation models for spatial interpolation purposes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, 837–844. Doi: 10.1016/j.rser.2017.09.092