

การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนของการ
ไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุมานฟัซซี่
โครงข่ายปรับตัวได้

MONTHLY ENERGY OF INDUSTRIAL SECTOR FORECASTING FOR
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY USING ARTIFICIAL NEURAL
NETWORKS AND ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEMS
TECHNIQUES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-020-199

การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนของการ
ไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุมานฟัซซี่
โครงข่ายปรับตัวได้

MONTHLY ENERGY OF INDUSTRIAL SECTOR FORECASTING FOR
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY USING ARTIFICIAL NEURAL
NETWORKS AND ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEMS
TECHNIQUES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-020-199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MONTHLY ENERGY OF INDUSTRIAL SECTOR FORECASTING FOR
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY USING ARTIFICIAL NEURAL
NETWORKS AND ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEMS
TECHNIQUES



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

KMITL-2015-EN-M-020-199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้

Thesis Title Monthly Energy of Industrial Sector Forecasting for Provincial Electricity Authorith Using Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems Techniques

นักศึกษา นายชาญชลิต อินทสุก

รหัสประจำตัว 54610637

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สมชาติ จิรวិภากร

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-020-199

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.นิรุช	จิรสวรรณกุล	
ผศ.ดร.ชาย	ชมภูอินทไหว	
ผศ.ดร.ปานจิต	ดำรงกุลกำจร	
ดร.วรวรรธน์	นาคะวิโร	
รศ.ดร.สมชาติ	จิรวิภากร	จ. สมชาติ

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2558 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมตัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้
นักศึกษา	นายชาญชิต อินทสุก
รหัสประจำตัว	54610637
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สมชาติ จิรวิภากร

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมแบบรายเดือนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks : ANN) ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้เป็นแบบมีหลายชั้น ชนิดการเรียนรู้ที่มีการแพร่ค่าย้อนกลับ เปรียบเทียบกับวิธีระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems : ANFIS) ซึ่งมีรูปร่างคล้ายคลึงกับโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) รวมกันกับระบบอนุมานฟัซซี (FIS) ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบลูกผสม (Hybrid) โดยกำหนดให้ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าอุณหภูมิสูงสุด ชนิดของเดือน ชนิดของปี และอัตราขยายตัวทางเศรษฐกิจสาขาอุตสาหกรรม เป็นอินพุตของโครงข่าย ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม เป็นเอาต์พุตของโครงข่าย ซึ่งวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ให้ผลการจำลองเป็นที่น่าสนใจและดีกว่าวิธีการระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Monthly Energy of Industrial Sector Forecasting for Provincial Electricity Authority Using Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems Techniques
Student	Mr.Charnchalit Intasuk
Student ID.	54610637
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Somchat Jiriwibhakorn

ABSTRACT

This Thesis presents an approach to monthly energy of industrial sector forecasting for Provincial Electricity Authority (PEA) by means of Artificial Neural Networks (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) of which reliability and distribution system quality are taken account. The ANFIS is regarded as the hybrid configuration which is developed from integration of together Artificial Neural Network (ANN) and Fuzzy Inference Systems (FIS) technique. Herein, number of customers, relative humidity, max temperature, months, years and manufacturing sector growth rate is applied to be the ANN and ANFIS input. By requiring energy demands is output of ANN and ANFIS. Finally, the ANFIS's result comparing to ANN's, illustrated in this paper, shows that the ANN technique has been proved it satisfies the final result more than using the ANFIS technique.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สมชาติ จิรวิภากร ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณศุภเสกข์ เกตุรักษา และคุณอรุณกร เสียงใส นักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นอย่างสูง ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นอย่างสูง ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล และได้แนะนำวิธีการอ่านข้อมูลสถิติของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำหรับการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ กรมอุตุนิยมวิทยา เป็นอย่างสูง ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล และได้แนะนำวิธีการอ่านข้อมูลสถิติของกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ เป็นอย่างสูง ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล สำหรับการวิจัยนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณพี่ชายของข้าพเจ้า คุณศักรินทร์ อินทสุก ที่ให้คำแนะนำในการดำเนินชีวิตและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้ บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ชาญชลิต อินทสุก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 โครงข่ายประสาทเทียม.....	5
2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบมีผู้ฝึกสอน.....	6
2.1.1 โครงข่ายประสาทป้อนไปข้างหน้าแบบหลายชั้น.....	6
2.1.1.1 โมเดลพื้นฐานของนิวรอน.....	6
2.1.1.2 ฟังก์ชันถ่ายโอน.....	7
2.1.1.3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม.....	9
2.1.1.4 ขั้นตอนการเรียนรู้.....	11
2.2 การเลือกชนิดของอินพุตและเอาต์พุต.....	14
2.3 การเลือกรูปแทนของอินพุตและเอาต์พุต.....	14
2.4 การนอร์มอลไลซ์ของข้อมูลสำหรับสอนโครงข่ายประสาทเทียม.....	14
2.5 การเลือกขนาดโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม.....	17
2.6 วิธีการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม.....	18
บทที่ 3 ระบบอนุমানฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้.....	20
3.1 พื้นฐานแนวคิดแบบฟuzzy.....	20
3.2 เซตแบบฉบับ.....	22
3.3 ฟuzzyเซต.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4 การดำเนินการทางฟิสิกส์	26
3.4.1 ยูเนียน.....	26
3.4.2 อินเตอร์เซกชัน.....	26
3.4.3 คอมพลีเมนต์.....	27
3.5 ฟังก์ชันสมาชิก	27
3.5.1 ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก.....	28
3.6 ตัวแปรเชิงภาษา.....	31
3.7 กฎของฟิสิกส์.....	32
3.8 ระบบอนุมาณฟิสิกส์.....	32
3.9 ระบบอนุมาณฟิสิกส์โครงข่ายปรับตัวได้.....	33
3.9.1 โครงสร้างระบบอนุมาณฟิสิกส์โครงข่ายปรับตัวได้.....	34
3.9.2 ขั้นตอนการเรียนรู้แบบไฮบริด.....	36
บทที่ 4 วิธีการจำลองความต้องการพลังงานไฟฟ้า.....	38
4.1 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการจำลอง.....	38
4.1.1 ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของ กฟผ.....	38
4.1.2 ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของ กฟผ.....	41
4.1.3 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนของประเทศไทย.....	46
4.1.4 ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายเดือนของประเทศไทย.....	50
4.1.5 ข้อมูลอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาสของประเทศไทย.....	54
4.1.6 ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตของโครงข่าย.....	56
4.2 วิธีการจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม.....	56
4.2.1 การจำลองโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม.....	56
4.2.1.1 เงื่อนไขในการฝึกสอน.....	56
4.2.1.2 เงื่อนไขในการทดสอบ.....	57
4.2.1.3 ขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบ.....	57
4.2.2 การจำลองโดยใช้ระบบอนุมาณฟิสิกส์โครงข่ายปรับตัวได้.....	58
4.2.2.1 เงื่อนไขในการฝึกสอน.....	58
4.2.2.2 เงื่อนไขในการทดสอบ.....	59
4.2.3 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการจำลอง.....	60

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	70
5.1 ผลการทดลองโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN)	70
5.1.1 ผลการทดลอง ANN ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก.....	70
5.1.2 ผลการทดลอง ANN ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง	74
5.1.3 ผลการทดลอง ANN ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่	77
5.2 ผลการทดลองโดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS).....	81
5.2.1 ผลการทดลอง ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก	81
5.2.2 ผลการทดลอง ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง.....	85
5.2.3 ผลการทดลอง ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่.....	88
5.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS.....	92
5.3.1 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก.....	92
5.3.2 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง	95
5.3.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่	98
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	102
6.1 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้	102
6.2 ข้อดีและข้อเสียของการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้า.....	102
6.3 ข้อดีและข้อเสียของการประยุกต์ใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ ในการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้า.....	103
6.4 ข้อเสนอแนะ	103
เอกสารอ้างอิง.....	104
ภาคผนวก ก. โปรแกรมสำหรับการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN).....	106
ภาคผนวก ข. โปรแกรมสำหรับการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม โดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS).....	112
ภาคผนวก ค. ข้อมูลสถิติอุณหภูมิสูงสุดรายเดือน.....	116
ภาคผนวก ง. ข้อมูลสถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน	120
ภาคผนวก จ. ข้อมูลสถิติอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาส.....	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลสถิติจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม.....	126
ภาคผนวก ช. ข้อมูลสถิติความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม.....	130
ภาคผนวก ซ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	134
ประวัติผู้เขียน.....	145



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การส่งผ่านในกระบวนการเรียนรู้แบบไฮบริดสำหรับ ANFIS.....	37
4.1 ข้อมูลความต้องการพลังงานภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553	38
4.2 ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553	42
4.3 ข้อมูลความขึ้นสัมพันธ์เฉลี่ยของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553	47
4.4 ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายเดือนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553.....	50
4.5 ข้อมูลอัตราขยายตัวภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553	54
4.6 ข้อมูลอินพุตของข้อมูลฝึกสอน แบบที่ 1.....	60
4.7 ข้อมูลอินพุตของข้อมูลทดสอบ แบบที่ 1	62
4.8 ข้อมูลอินพุตของข้อมูลฝึกสอน แบบที่ 2.....	63
4.9 ข้อมูลอินพุตของข้อมูลทดสอบ แบบที่ 2	65
4.10 ข้อมูลเอาต์พุตของข้อมูลฝึกสอน	66
4.11 ข้อมูลเอาต์พุตของข้อมูลทดสอบ.....	68
5.1 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1	70
5.2 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2	72
5.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1 กับ แบบที่ 2	73
5.4 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1.....	74
5.5 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2.....	75
5.6 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1 กับ แบบที่ 2	77
5.7 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1.....	77
5.8 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2.....	79
5.9 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1 กับ แบบที่ 2	81
5.10 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1.....	81
5.11 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2.....	83
5.12 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1 กับ แบบที่ 2.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.13 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1.....	85
5.14 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2.....	87
5.15 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1 กับ แบบที่ 2.....	88
5.16 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1.....	89
5.17 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2.....	90
5.18 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1 กับ แบบที่ 2.....	92
5.19 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก.....	93
5.20 เปรียบเทียบค่าเอาท์พุท ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก.....	95
5.21 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง.....	96
5.22 เปรียบเทียบค่าเอาท์พุท ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง.....	98
5.23 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่.....	99
5.24 เปรียบเทียบค่าเอาท์พุท ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่.....	101
ค.1 อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553.....	117
ง.1 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553.....	121
จ.1 อัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาส ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553.....	125
ฉ.1 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553.....	127
ช.1 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553.....	131

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ประเภทของโครงข่ายประเทียม	5
2.2 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งนิวรอนหนึ่งอินพุทแบบไม่มีค่า bias (b)	6
2.3 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งนิวรอนหนึ่งอินพุทแบบที่มีค่า bias (b).....	6
2.4 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งนิวรอนแบบหลายอินพุท	7
2.5 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบฮาร์ดลิมิต	8
2.6 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้น	8
2.7 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลือกซิกมอยด์.....	9
2.8 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบแทนซิกมอยด์.....	9
2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหนึ่งชั้น	10
2.10 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	10
3.1 เหตุผลแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับเหตุผลแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก).....	20
3.2 ความไม่แน่นอน (uncertainty).....	21
3.3 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ.....	22
3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน	22
3.5 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตแบบฉบับและเซตแบบฟัซซี	23
3.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบวิยุต A.....	24
3.7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบต่อเนื่อง A.....	25
3.8 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B	26
3.9 Intersection ของฟัซซีเซต A และ B.....	26
3.10 คอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต A	27
3.11 กราฟฟังก์ชันสามเหลี่ยม	28
3.12 กราฟฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู.....	29
3.13 กราฟฟังก์ชันเกาส์เซียน	29
3.14 กราฟฟังก์ชันระฆังคว่ำ	30
3.15 กราฟฟังก์ชันซิกมอยด์	30
3.16 ตัวอย่างตัวแปรเชิงภาษา.....	31
3.17 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี.....	32
3.18 ระบบอนุมานฟัซซี	33
3.19 โมเดลฟัซซี Sugeno อันดับที่ 1, 2 อินพุตที่มี 2 หลักการกระทำ	34
3.20 โครงสร้างของ ANFIS	34

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 โครงสร้าง ANFIS รูปแบบอื่น ที่มี 2 อินพุต 2 กฎการกระทำ โมเดลฟuzzy Sugeno	36
4.1 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่	41
4.2 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก	44
4.3 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง	45
4.4 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่	45
4.5 ความสัมพันธ์จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและความต้องการพลังงานไฟฟ้า อุตสาหกรรมขนาดเล็ก	45
4.6 ความสัมพันธ์จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและความต้องการพลังงานไฟฟ้า อุตสาหกรรมขนาดกลาง	46
4.7 ความสัมพันธ์จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและความต้องการพลังงานไฟฟ้า อุตสาหกรรมขนาดใหญ่	46
4.8 ความชันสัมพัทธ์เฉลี่ย	49
4.9 ความสัมพันธ์ความชันสัมพัทธ์เฉลี่ยและความต้องการพลังงานไฟฟ้า	50
4.10 อุณหภูมิสูงสุด	53
4.11 ความสัมพันธ์อุณหภูมิสูงสุดและความต้องการพลังงานไฟฟ้า	53
4.12 อัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรม	55
4.13 ความสัมพันธ์อัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมและความต้องการพลังงานไฟฟ้า	55
4.14 ลักษณะโครงข่ายที่ใช้สำหรับการจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้า	56
5.1 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1	71
5.2 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1	71
5.3 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2	72
5.4 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2	73
5.5 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1	75
5.6 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1	75
5.7 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2	76
5.8 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2	76
5.9 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1	78
5.10 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1	79
5.11 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2	80
5.12 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2	80
5.13 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1	82
5.14 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1	83
5.15 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.16 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2.....	84
5.17 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1.....	86
5.18 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1	86
5.19 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2.....	87
5.20 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2	88
5.21 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1.....	90
5.22 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1	90
5.23 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2.....	91
5.24 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2	92
5.25 เปรียบเทียบผลการฝึกสอน ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก.....	94
5.26 เปรียบเทียบผลการทดสอบ ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก	94
5.27 เปรียบเทียบผลการฝึกสอน ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง	97
5.28 เปรียบเทียบผลการทดสอบ ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง.....	97
5.29 เปรียบเทียบผลการฝึกสอน ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่	100
5.30 เปรียบเทียบผลการทดสอบ ANN กับ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่.....	100
ข.1 โหลดข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบจาก workspace	113
ข.2 เลือกฟังก์ชันสมาชิกและจำนวนฟังก์ชันสมาชิก.....	114
ข.3 โครงสร้างของ ANFIS ที่ใช้สำหรับการประเมิน	114
ข.4 กระบวนการฝึกสอนของ ANFIS.....	115
ข.5 หน้าต่าง Rule Viewer.....	115

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์และเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจของประเทศ แต่พลังงานไฟฟ้าไม่สามารถกักเก็บในปริมาณมากได้ ดังนั้นการไฟฟ้าจะต้องจัดหาพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าตลอดเวลา และการก่อสร้างระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า ต้องใช้เวลาหลายปีตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผน การทำประชาพิจารณ์ การออกแบบ จนถึง การก่อสร้าง รวมถึงการเตรียมบุคลากรด้วย ดังนั้นการทำความเข้าใจความต้องการพลังงานไฟฟ้าจึงมีความจำเป็น เพื่อการวางแผนขยายกำลังผลิตไฟฟ้า ระบบสายส่ง และระบบสายจำหน่าย ให้เพียงพอกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอนาคต [1]

การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่แม่นยำมีความสำคัญมากต่อความมั่นคงด้านพลังงานไฟฟ้าของประเทศ เพราะหากผลการทำนายต่ำกว่าความเป็นจริงจะทำให้พลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้ไฟดับ ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า โดยเฉพาะกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในกลุ่มธุรกิจและอุตสาหกรรม ผลเสียหายทางเศรษฐกิจจะมามาก ส่งผลเสียหายต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ แต่ถ้าผลทำนายสูงกว่าความเป็นจริงจะทำให้เกิดการก่อสร้างโรงไฟฟ้า ระบบสายส่ง และระบบจำหน่ายมากเกินไปจนสิ้นเปลืองเงินลงทุนสูงเกินไป สูญเสียงบประมาณในการพัฒนาประเทศ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาด้านอื่นได้ และค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะทำให้ค่าไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องจ่ายค่าไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าให้ถูกต้องแม่นยำ จะต้องมีการนำปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น สภาพเศรษฐกิจ สภาพอากาศ จำนวนประชากร จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าให้มีความแม่นยำ จะต้องใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องจำนวนมากในการวิเคราะห์

การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมจึงมีความจำเป็น เนื่องจากถ้าพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ภาคอุตสาหกรรมจะไม่สามารถผลิตสินค้าได้ เสียโอกาสในการผลิตและจำหน่ายสินค้า จะทำให้เกิดผลเสียหายต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ โดยโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็น 3 จำพวก ได้แก่ จำพวกที่ 1 คือโรงงานขนาดเล็ก มีแรงแมรวมของเครื่องจักร 5-20 แรงแมและ/หรือ มีจำนวนคนงาน 7-20 คน จำพวกที่ 2 คือโรงงานขนาดกลาง มีแรงแมรวมของเครื่องจักรมากกว่า 20 แรงแม แต่ไม่เกิน 50 แรงแมและ/หรือ มีจำนวนคนงาน 21-50 คน จำพวกที่ 3 คือโรงงานขนาดใหญ่ มีแรงแมรวมของเครื่องจักรมากกว่า 50 แรงแม และ/หรือ มีจำนวนคนงานมากกว่า 50 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการแยกประเภทของการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ การทำนายระยะยาว (Long term) ใช้ประโยชน์ด้านการวางแผนการขยายหน่วยการผลิตในอนาคต (Capacity Expansion Planing) การทำนายระยะปานกลาง (Medium term) ใช้ประโยชน์ด้านการวางแผนการบริหารเชื้อเพลิงการผลิต (Fuel Management) และการทำนายระยะสั้น (Short term) ใช้ประโยชน์ด้านการวางแผนการทำงานของโรงจักร (Unit Commitment) หรือการวางแผนการผลิตของโรงจักรไฟฟ้า (Scheduling and Operative Reserve) การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีหลายวิธี ได้แก่ วิธีเอกโพเนนเชียลสมูตติง (Exponential Smoothing) [2] การถดถอยพหุคูณ (Multiple-regression) [3] การใช้เทคนิคจีเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm) [4, 5] การใช้เทคนิคฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) [6] การใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) [7-10] การใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems : ANFIS) [11-15] ซึ่งเป็นเทคนิคเชิงปัญญาประดิษฐ์ [16]

การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้นำโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) และระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems : ANFIS) มาใช้ทำนาย โดยใช้ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ค่าความชื้นสัมพัทธ์รายเดือน ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายเดือน ชนิดของเดือน ชนิดของปี และอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาส (3 เดือน) มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ และได้มีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของทั้ง โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร ที่ใช้ในการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
2. เพื่อศึกษาคูณลักษณะของตัวแปร ที่ใช้ในการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
3. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้และโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
4. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้จากระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้และโครงข่ายประสาทเทียม

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งสมมติฐานว่า สามารถนำระบบอนุमानพีซซีโครงข่ายปรับตัวได้และโครงข่ายประสาทเทียม มาใช้ทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ โดยระบบอนุमानพีซซีโครงข่ายปรับตัวได้และโครงข่ายประสาทเทียม ที่ได้รับการฝึกสอนจากชุดข้อมูลที่มีปริมาณ และคุณภาพที่เหมาะสม จะสามารถหาคำตอบได้แม่นยำ และระบบอนุमानพีซซีโครงข่ายปรับตัวได้จะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพราะระบบอนุमानพีซซีโครงข่ายปรับตัวได้ สามารถเรียนรู้การคำนวณฟังก์ชันลักษณะต่างๆ และข้อมูลที่ผ่านมาการฝึกสอนแล้วจะใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยมาก

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยแบ่งเป็น 3 จำพวก ได้แก่ อุตสาหกรรมขนาดเล็ก อุตสาหกรรมขนาดกลาง และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ค่าความชื้นสัมพัทธ์รายเดือน ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายเดือน ชนิดของเดือน ชนิดของปี และอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาส (3 เดือน) เป็นอินพุตของโครงข่าย และใช้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนเป็นเอาต์พุตของโครงข่าย

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่ต้องใช้ในการศึกษาการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
2. เลือกข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
3. ศึกษาการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม
4. นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และการเลือกมาใช้ในการทำนายโดยทำการจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม
6. ศึกษาการทำงานของระบบอนุमानพีซซีโครงข่ายปรับตัวได้และทำการจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งใช้ข้อมูลชุดเดิมกับที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม
7. วิเคราะห์ผลที่ได้จากระบบอนุमानพีซซีโครงข่ายปรับตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. หาโครงสร้างของระบบอนุมานพีชชีโครงข่ายปรับตัวได้ และโครงข่ายประสาทเทียมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาสูงสุดโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error)

9. เปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุมานพีชชีโครงข่ายปรับตัวได้

10. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

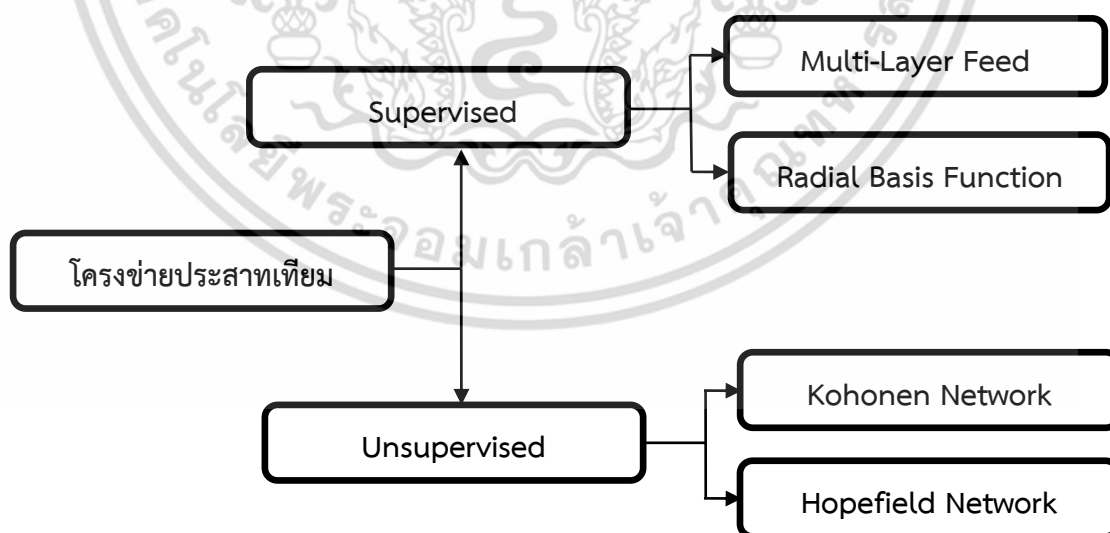


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network หรือ ANN) เป็นเครือข่ายที่มีรูปแบบโครงสร้างและการทำงานของการทำงานของการประมวลผลเหมือนกับสมองมนุษย์ ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนตัวเองต่อการตอบสนองของอินพุต ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลเรียกว่า เซลล์ประสาท (neuron) มีการปรับตัวเองไม่เป็นเชิงเส้น และทำงานแบบขนาน เราสามารถสอนโครงข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และจดจำข้อมูลหรือฟังก์ชันซับซ้อนต่างๆ โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เชื่อมต่อกันระหว่างหน่วยประมวลผลเหล่านั้น ได้มีการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมกับหลายสาขาวิชา ไม่ว่าจะเป็นทางด้านวิศวกรรม ฟิสิกส์ จิตวิทยา แพทย์ คณิตศาสตร์ เคมี และเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น [16]

การแบ่งชนิดของโครงข่ายประสาทเทียมทำได้หลายวิธี ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแยกตามการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ดังรูปที่ 2.1 [17] และจะกล่าวถึงเฉพาะโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Neural Network) ชนิด Multi-Layer Feed Forward เนื่องจากมีการนำไปใช้งานมากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลัง (Power Systems) อย่างแพร่หลาย



รูปที่ 2.1 ประเภทของโครงข่ายประเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Neural Networks)

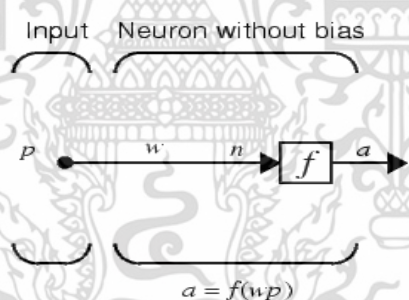
รูปแบบการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอนเริ่มด้วยการส่งสิ่งเร้าที่ใช้ในการสอนเข้าไปเป็นอินพุต ในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสร้างผลตอบออกมาเป็นเอาต์พุต การเรียนรู้สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมกับผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

2.1.1 โครงข่ายประสาทเทียมป้อนไปข้างหน้าแบบหลายชั้น (Multi-Layer Feed Forward Neural Networks)

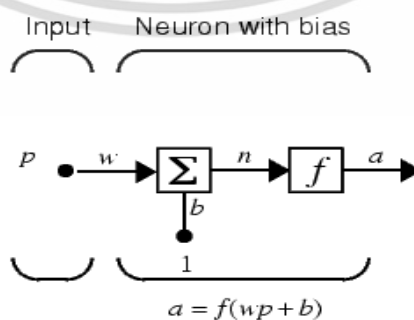
การเชื่อมโยงจะถูกกำหนดขึ้นระหว่างชั้นที่ติดกัน โดยจะมีการเชื่อมโยงระหว่างเซลล์ประสาทเทียมทุกตัว จากชั้นหนึ่งๆ ไปยังเซลล์ประสาทเทียมทุกตัวในชั้นต่อไป ในบางสถาปัตยกรรมอาจมีการเชื่อมโยงข้ามชั้นก็ได้ ส่วนต่างๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมป้อนไปข้างหน้าแบบหลายชั้นประกอบด้วย

2.1.1.1 โมเดลพื้นฐานของนิวรอน

นิวรอนพื้นฐานที่มีหนึ่งอินพุตและไม่มีการไบแอสตามรูปที่ 2.2 ค่าอินพุตจะถูกส่งผ่านโดยการคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าอินพุตที่ถ่วงน้ำหนักแล้วเข้าสู่ฟังก์ชันถ่ายโอน ทำให้ได้ค่าเอาต์พุต

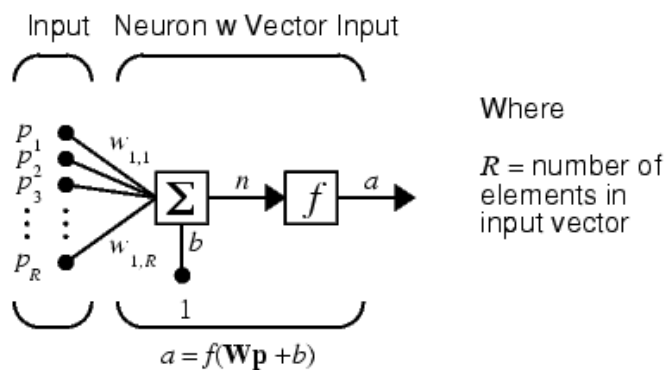


รูปที่ 2.2 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งนิวรอนหนึ่งอินพุตแบบไม่มีค่า bias (b)



รูปที่ 2.3 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งนิวรอนหนึ่งอินพุตแบบที่มีค่า bias (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งนิวรอนแบบหลายอินพุต

โดยที่ p คือ อินพุต (Input)
 w คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight)
 b คือ ค่าไบแอส (Bias)
 f คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

ในรูปที่ 2.3 นิวรอนพื้นฐานที่มีหนึ่งอินพุตแบบมีค่าไบแอส จะไบแอสรวมเข้ากับ wp ที่จุดเชื่อมต่อและส่งค่าไปยังฟังก์ชันถ่ายโอน ค่าไบแอสจะมีความมากกว่าค่าถ่วงน้ำหนัก ยกเว้นกรณีอินพุตมีค่าคงที่ ค่าไบแอสจะเท่ากับหนึ่ง และนิวรอนที่มีหลายอินพุตแสดงในรูปที่ 2.4 นิวรอน 1 นิวรอน ที่ประกอบด้วย R อินพุต ซึ่งสมการความสัมพันธ์ของ n , p , w และ b

$$n = p_1w_{1,1} + p_2w_{1,2} + \dots + p_Rw_{1,R} + b \quad (2.1)$$

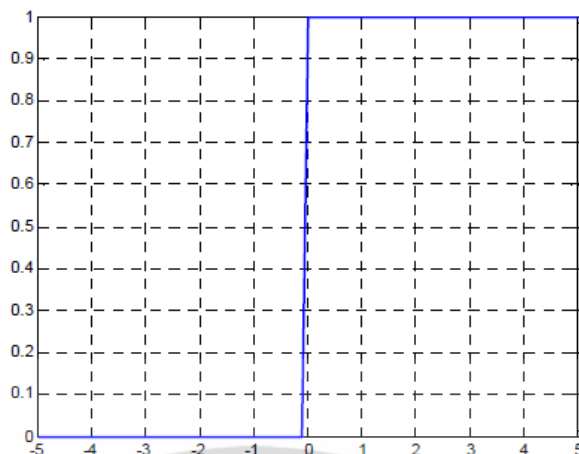
2.1.1.2 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

ฟังก์ชันถ่ายโอนหรือฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ซึ่งมีให้เลือกใช้ในกล่องเครื่องมือ (Tool Box) ของโปรแกรม MATLAB การเลือกชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสม จะมีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม ฟังก์ชันถ่ายโอนที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

1) ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบฮาร์ดลิมิต (Hard limit transfer function)

$$f(n) = \begin{cases} 0 & ; n \leq 0 \\ 1 & ; n \geq 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

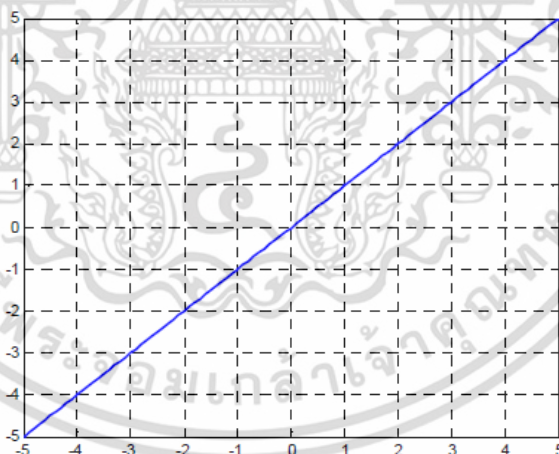


รูปที่ 2.5 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบฮาร์ดลิมิต [18]

ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบฮาร์ดลิมิต จะจำกัดค่าเอาต์พุต ของโครงข่ายประสาทเทียม คือที่ 0 ถ้า ตกลงให้ค่าสุทธิของผลรวมของอินพุต มีค่าน้อยกว่า 0 หรือค่าเอาต์พุตเท่ากับ 1

2) ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้น (linear transfer function)

$$f(n) = n \quad (2.3)$$



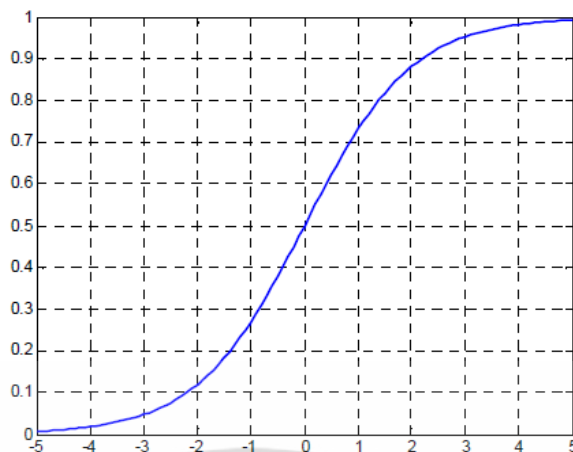
รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้น [18]

ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้น เป็นฟังก์ชันที่ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบตัวกรองแบบเชิงเส้น ทางด้านเอาต์พุต

3) ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ ล็อกซิกมอยด์ (Log-Sigmoid transfer function)

$$f(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

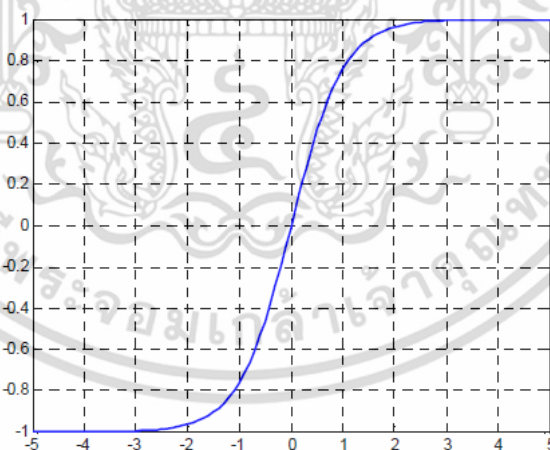


รูปที่ 2.7 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลอคซิกมอยด์ [18]

ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ ล็อกซิกมอยด์ โดยลักษณะของอินพุต อาจจะมีหลายค่าระหว่างค่าบวก และค่าลบ จะให้อาท์พุต อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ค่าผลรวมของอินพุตสามารถเลือกค่าตั้งแต่ $-\infty$ ถึง $+\infty$

4) ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ แทนซิกมอยด์ (Tan-Sigmoid transfer function)

$$f(n) = \frac{1 - e^{-n}}{1 + e^{-n}} \quad (2.5)$$



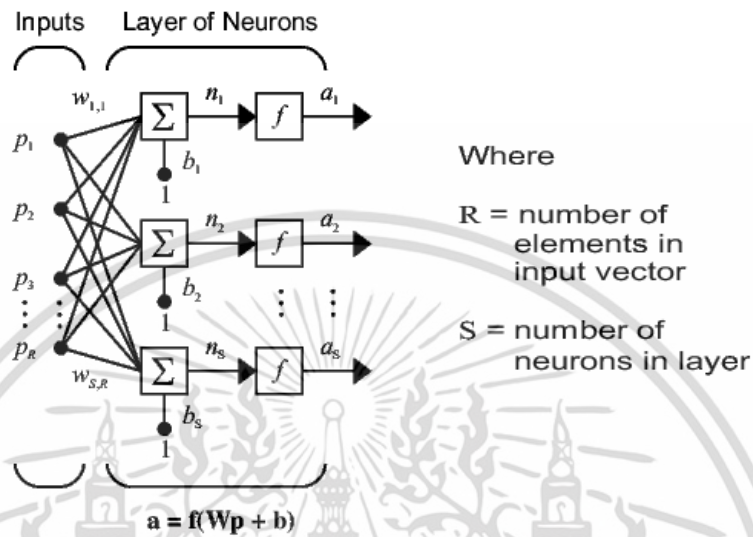
รูปที่ 2.8 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบแทนซิกมอยด์ [19]

ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ แทนซิกมอยด์ ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

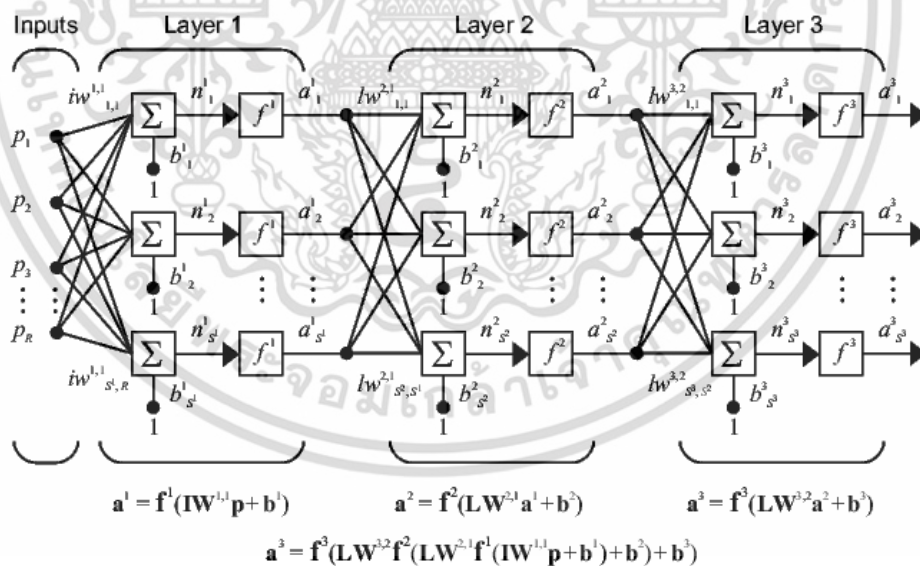
2.1.1.3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

การเชื่อมโยงเซลล์ประสาทเทียมจำนวนหนึ่งเข้าด้วยกันเป็นโครงข่ายประสาทเทียมนั้น สามารถเชื่อมโยงแบบใดก็ได้โดยที่ไม่มีขอบเขตจำกัด ที่พบทั่วไปจะมีลักษณะหลักๆ คือ เมื่อเรานำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ประสาทหลายๆ ตัวมาเรียงขนานกันก็จะประกอบขึ้นเป็นชั้น (Layer) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ ถ้านำแต่ละชั้น มาเรียงอนุกรมกันก็จะกลายเป็น Multi-Layer Feed-Forward Neural Network ดังแสดงในรูปที่ 2.10 [20]



รูปที่ 2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหนึ่งชั้น



รูปที่ 2.10 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

ในรูปที่ 2.9 แสดงนิรอนจำนวน s ตัวที่ต่อขนานกันประกอบขึ้นเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 1 ชั้น ในรูปที่ 2.10 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ที่ประกอบด้วยชั้นอินพุท ชั้นที่ 1, 2, 3 โดยสังเกตได้ว่าในแต่ละชั้นมีการเชื่อมโยงด้วย weight (w) และ bias (b) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a^1, a^2, a^3 คือเอาต์พุต ของชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ตามลำดับ f^1, f^2, f^3 คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer functions) ของชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ตามลำดับ

ค่า Error $e(i)$ เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, S'$ ที่ชั้นเอาต์พุต คือ ผลต่างของเอาต์พุต $a^3(i)$ ของโครงข่ายประสาทเทียม และค่าเป้าหมาย (target), $t(i)$ ดังแสดงในสมการที่ (2.6)

$$e(i) = t(i) - a^3(i) ; i = 1, 2, 3, \dots, S' \quad (2.6)$$

2.1.1.4 ขั้นตอนการเรียนรู้ [17]

ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะต้องเตรียมข้อมูลฝึกสอน (Training Data, Training Pattern) ไว้ และต้องอาศัยขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ เพื่อมาปรับพารามิเตอร์ 2 ตัวที่สำคัญในกระบวนการเรียนรู้ได้แก่ค่าถ่วงน้ำหนัก (weight, w) และค่าไบแอส (bias, b) สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จะนิยมใช้ กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-Propagation Learning) หรืออาจเรียกย่อๆ ว่า Back-prop

ในกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่นิยมใช้คือ Linear, Log-Sigmoid และ Tan-Sigmoid โดยเฉพาะข้อมูลฝึกสอนที่มีจำนวนมากและมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ที่ฝึกสอนแบบแพร่ค่าย้อนกลับ นิยมนำไปใช้ในการประมาณค่าฟังก์ชันเช่น Function Approximation, Pattern Association, Pattern Classification

หลักการของการแพร่ค่าย้อนกลับ คือการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส ตามสมการ (2.7) และ (2.8) ตามลำดับของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อที่จะทำให้ค่า Sum-Squared Error (SSE) ตามสมการ (2.9) มีค่าลดลงเข้าใกล้ศูนย์

$$w_{new} = w_{old} + \Delta w \quad (2.7)$$

$$b_{new} = b_{old} + \Delta b \quad (2.8)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2 \quad (2.9)$$

โดยที่ N คือ จำนวนของข้อมูลฝึกสอน

การฝึกสอนด้วยการแพร่ค่าย้อนกลับ อาจจะทำให้เกิดค่าต่ำสุดเฉพาะส่วน (Local Minimum) มากกว่าค่ารวมต่ำสุด (Global Minimum) ซึ่งถ้า Local Minimum ที่พบเป็นที่พอใจในการแก้ปัญหานั้นได้ก็ไม่มีปัญหาอะไร แต่ถ้ายังไม่สามารถแก้ปัญหานั้นเป็นที่น่าพอใจเราก็สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน (Hidden Layer) หรืออาจเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนจาก 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นเป็น 2 ชั้นซ่อน ซึ่งแน่นอนว่าการเพิ่มจำนวนนิวรอน หรือจำนวนชั้นซ่อนจะทำให้เวลาในการฝึกสอนเพิ่มขึ้นด้วย ในที่นี้จะแนะนำขั้นตอนการเรียนรู้สำหรับการแพร่ค่าย้อนกลับ 2 วิธี คือ

1) The Generalised Delta Rule หรือ Gradient Descent Algorithm

จะมีตัวแปรที่สำคัญ 2 ตัวคือ Adaptive Learning Rate (η) และ Momentum Term (m) ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักและไบแอส จะถูกปรับโดยสมการ (2.10) และ (2.11) ตามลำดับ

$$\Delta w_{iq,t} = (1-m)\eta \cdot \frac{\partial SSE}{\partial w_{iq,t}} + m \cdot \Delta w_{iq,(t-1)} \quad (2.10)$$

$$\Delta b_{j,t} = (1-m)\eta \cdot \frac{\partial SSE}{\partial w_{j,t}} + m \cdot \Delta b_{j,(t-1)} \quad (2.11)$$

โดยที่ m มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และมักจะตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ 0.9 ส่วน η จะตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ค่าต่ำๆ เช่น 0.01 และค่าตัวแปรทั้งสองจะถูกปรับระหว่างการเรียนรู้ดังนี้

ถ้า $SSE_{new} > SSE_{old.er}$ แล้ว

1. ลดค่า η
2. ตั้งค่า $m = 0$

ถ้า $SSE_{new} < SSE_{old.er}$ แล้ว

1. เพิ่มค่า η
2. m ใช้ค่าเดิม

ถ้า $SSE_{old} \leq SSE_{new} \leq SSE_{old.er}$ แล้ว

1. η ใช้ค่าเดิม
2. m ใช้ค่าเดิม

2) Levenberg-Marquardt Algorithm

ระหว่างการฝึกสอนค่าถ่วงน้ำหนักและไบแอส จะถูกปรับโดยสมการ (2.12) และ (2.13) ตามลำดับ

$$\Delta w = [J^T(w)J(w) + \mu I]^{-1} J^T(w).e \quad (2.12)$$

$$\Delta b = [J^T(b)J(b) + \mu I]^{-1} J^T(b).e \quad (2.13)$$

โดยที่

$J(w)$ คือ Jacobian Matrix ของอนุพันธ์ ของ Error เทียบกับค่าถ่วงน้ำหนัก (w) ซึ่งนิยามตามสมการ

(2.14)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$J(b)$ คือ Jacobian Matrix ของอนุพันธ์ ของ Error เทียบกับค่าไบแอส (b) ซึ่งนิยามตามสมการ (2.15)

e คือ เมตริกซ์ ของ Errors ระหว่างข้อมูลเป้าหมาย (Target Data) และเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม

μ คือค่าคงที่ ซึ่งค่าเริ่มต้นจะถูกตั้งไว้ค่าต่ำๆ เช่น 0.001

$$J(w) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e(1)}{\partial w_3(1,1)} & \frac{\partial e(1)}{\partial w_3(1,2)} & \dots & \frac{\partial e(1)}{\partial w_3(1,S_2)} \\ \frac{\partial e(2)}{\partial w_3(2,1)} & \frac{\partial e(2)}{\partial w_3(2,2)} & \dots & \frac{\partial e(2)}{\partial w_3(2,S_2)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e(S_3)}{\partial w_3(S_3,1)} & \frac{\partial e(S_3)}{\partial w_3(S_3,2)} & \dots & \frac{\partial e(S_3)}{\partial w_3(S_3,S_2)} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$J(b) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e(1)}{\partial b_3(1)} \\ \frac{\partial e(2)}{\partial b_3(2)} \\ \vdots \\ \frac{\partial e(S_3)}{\partial b_3(S_3)} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

ระหว่างการฝึกสอน μ จะถูกปรับค่าดังนี้คือ μ จะถูกคูณด้วยค่าคงที่เช่น 10 ถ้า SSE ใหม่มีค่าเพิ่มขึ้นและจะถูกหารด้วย 10 ถ้า SSE ใหม่มีค่าลดลง

ถ้าการ normalization ของ $J^T(w).e$ หรือ $J^T(b).e$ มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้ หรือ μ มีค่ามากกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ โปรแกรมที่ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะหยุดการฝึกสอนทันที

ข้อแตกต่างระหว่าง The Gradient Descent Algorithm และ Levenberg - Marquardt Algorithm

สำหรับ Levenberg-Marquardt Algorithm ทุกอินพุตจะถูกป้อนเข้าไปในโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละรอบของการคำนวณ (Epoch หรือ Iteration) ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส จะถูกปรับเปลี่ยนค่าโดยสมการที่ (2.12) และ (2.13) ตามลำดับ ในแต่ละรอบของการคำนวณ จะใช้เวลาในการคำนวณนานและใช้หน่วยความจำมากกว่า The Generalised Delta Rule Algorithm แต่ Levenberg-Marquardt Algorithm จะมีประสิทธิภาพดีกว่าและใช้จำนวนรอบของการคำนวณ

ในการฝึกสอนน้อยกว่าทำให้ใช้เวลารวมในการฝึกสอนน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน The Generalised Delta Rule Algorithm ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส สำหรับแต่ละ input pattern ในทุกๆ epoch จะถูกปรับเปลี่ยนค่าโดยสมการที่ (2.10) และ (2.11) ตามลำดับ

2.2 การเลือกชนิดของอินพุตและเอาต์พุต

การเลือกชนิดของอินพุตและเอาต์พุต ถ้าอินพุตมีความสัมพันธ์กับเอาต์พุต จะทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมหลังกระบวนการเรียนรู้ดีขึ้น ลักษณะอินพุตและเอาต์พุต มีอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือแบบต่อเนื่อง (Continuous) และแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ยกตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงของระดับโวลต์เป็นลักษณะแบบต่อเนื่อง ส่วนการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ (Fault) เป็นลักษณะแบบไม่ต่อเนื่อง

2.3 การเลือกรูปแทนของอินพุตและเอาต์พุต

ในกรณีที่ลักษณะของอินพุต และเอาต์พุตเป็นแบบต่อเนื่องเราสามารถแทนค่าได้ด้วยจำนวนจริง (Real Number) ส่วนในกรณีที่ลักษณะของอินพุตและเอาต์พุตเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง เราสามารถแทนค่าได้ด้วย จำนวนเต็ม ตัวเลขแบบฐานสอง (binary) หรือเกรย์โค้ด (Gray code) เช่น จำนวนเต็มคือ 10 ตัวเลขฐานสอง คือ 1010 และเกรย์โค้ด คือ 1111

2.4 การนอร์มอลไลซ์ของข้อมูลสำหรับสอนโครงข่ายประสาทเทียม

การจัดระเบียบข้อมูลฝึกสอน ก่อนนำมาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม จะทำให้กระบวนการฝึกสอนรวดเร็วขึ้น และทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลดิบมาฝึกสอน

โดยการ Normalize ค่าอินพุต และเอาต์พุตก่อนกระบวนการฝึกสอน (training) การ normalization ของค่าอินพุต และเอาต์พุต ขึ้นอยู่กับการทำ Zero Mean ($\mu = 0$) และ Unity Variance ($\sigma = 1$) ซึ่งสามารถเขียนได้ด้วยสมการที่ (2.15)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.15)$$

สำหรับอินพุตหรือเอาต์พุตใดๆ ถ้าแต่ละอินพุตและเอาต์พุตประกอบด้วย “n” Patterns (x_1, x_2, \dots, x_n) ใดๆ แล้วเราสามารถทำการ Normalized โดยสมการที่ (2.16) ถึง (2.19)

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}, \mu_X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.16)$$

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 - \mu_X \\ X_2 - \mu_X \\ \vdots \\ X_n - \mu_X \end{bmatrix}, \mu_Y = 0 \quad (2.17)$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i)^2}{n}} \quad (2.18)$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix} = Y \frac{1}{\sigma_Y} = \begin{bmatrix} \frac{X_1 - \mu_X}{\sigma_Y} \\ \frac{X_2 - \mu_X}{\sigma_Y} \\ \vdots \\ \frac{X_n - \mu_X}{\sigma_Y} \end{bmatrix}, \sigma_Z = 1 \text{ and } \mu_Z = 0 \quad (2.19)$$

และทำการ Scaling หรือ Bounding โดยสมการที่ (2.20) ถึง (2.21) และเอาท์พุทหลังจากทำการ Scaling ตามสมการที่ (2.22)

$$mx = \text{ค่าสูงสุดของ } [Z] \quad (2.20)$$

$$mn = \text{ค่าต่ำสุดของ } [Z]$$

$$aw = \frac{b-a}{mx-mn} \quad (2.20)$$

$$bw = b - (aw \times mx) \quad (2.21)$$

$$\text{เอาท์พุท} = aw \cdot Zi + bw \quad ; i=1, 2, \dots, n \quad (2.22)$$

โดย a และ b คือช่วงของขอบเขต

ซึ่งเป็นการ Mapping แบบเชิงเส้น (linear) ระหว่าง $[0.1, 0.9]$ สำหรับ “ n ” patterns ของแต่ละข้อมูลอินพุท และ $[-0.9, 0.9]$ สำหรับ “ n ” patterns ของแต่ละข้อมูลเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละนิวรอน ในชั้นซ่อนที่ 1 (Single Hidden Layer) หรือชั้นซ่อนที่ 2 (Two Hidden Layers) จะนิยมใช้

- ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Log-Sigmoid
- ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid
- สำหรับเอาต์พุตแต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่เอาต์พุต (Output layer) ควรจะใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid

การ Scaling หรือ bounding ของข้อมูลฝึกสอน

- ไม่มีความจำเป็นแต่ควรจะทำเมื่อนิวรอนที่ชั้นซ่อนที่เอาต์พุตมีฟังก์ชันถ่ายโอนภายใน range ที่มีลักษณะ bounded

- ถ้าโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า ไม่มีขีดจำกัดอินพุตที่แน่นอน การ scaling ตัวแปรของอินพุตไม่มีความจำเป็น

- มีความสำคัญเมื่อข้อมูลถูกเรียนรู้โดยใช้เอาต์พุตของนิวรอน สามารถทำให้กระบวนการเรียนรู้ง่ายขึ้น ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนัก (Weights) ทั้งหมดยังคงมีค่าน้อย ๆ

- เพื่อปรับปรุง interpretability ของค่าถ่วงน้ำหนักในโครงข่าย เพื่อที่จะได้ชุดของ “bias” และ “weight” ที่ดีที่สุด ค่า SSE ที่ถูกเลือก ของเอาต์พุตสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม และเป้าหมายของเอาต์พุต ระหว่างการฝึกสอน (Training) และทดสอบ (Testing) จะถูกใช้ในการเลือกค่า “weight” และ “bias” สุดท้าย

เมตริกซ์ $[O]$ คือ แต่ละเอาต์พุต ที่ถูก normalized และ bounded ระหว่างการ training

เมตริกซ์ $[Q]$ คือ “n” patterns ที่ถูก interpolated ของแต่ละ NNs output ที่จะถูกเปรียบเทียบกับแต่ละ target output ดังแสดงในสมการที่ (2.23) ถึง (2.24)

$$[L] = \begin{bmatrix} \frac{O_1 - bw}{aw} \\ \frac{O_2 - bw}{aw} \\ \vdots \\ \frac{O_n - bw}{aw} \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

$$[Q] = \begin{bmatrix} L_1 \cdot \sigma_Y + \mu_X \\ L_2 \cdot \sigma_Y + \mu_X \\ \vdots \\ L_n \cdot \sigma_Y + \mu_X \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบข้อมูลอินพุตชุดใหม่นั้น เมื่อมีข้อมูลใหม่ถูก tested หรือ recalled แล้ว “m” patterns ของแต่ละอินพุตใหม่จำเป็นต้องถูก normalized ด้วยการทำให้ zero mean และ unity variance และ bounded ในช่วง [0.1, 0.9]

เมตริกซ์ $[T]$ แทนด้วยแต่ละ normalized และ unity variance และ bounded ของ test output ดังนั้นแต่ละค่าของ test output สำหรับ NNs จะถูก interpolated โดยเมตริกซ์ $[R]$ และ เมตริกซ์ $[H]$ “m” patterns ของแต่ละ test output สำหรับ NNs ที่จะถูกเปรียบเทียบกับแต่ละ target test output จะสามารถแสดงในสมการที่ (2.25) ถึง (2.26)

$$[R] = \begin{bmatrix} \frac{T_1 - bw}{aw} \\ \frac{T_2 - bw}{aw} \\ \vdots \\ \frac{T_m - bw}{aw} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

$$[H] = \begin{bmatrix} R_1 \cdot \sigma_Y + \mu_X \\ R_2 \cdot \sigma_Y + \mu_X \\ \vdots \\ R_m \cdot \sigma_Y + \mu_X \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

2.5 การเลือกขนาดโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม

Guideline อันหนึ่งสำหรับใช้ในการเลือกจำนวนของนิวรอนในชั้นซ่อน ในหลายๆ ปัญหา คือ กฎของ “geometric pyramid”

โดยที่จำนวนของนิวรอนเป็นลักษณะคล้ายรูปพีระมิด ซึ่งมีจำนวนลดลงจากอินพุตไปยัง เอาท์พุท สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า (feed-forward) ที่ประกอบด้วย 1 ชั้นซ่อน จำนวนของนิวรอนในชั้นซ่อนจะคำนวณได้จากสมการที่ (2.27) [17]

$$\text{จำนวนของนิวรอนในชั้นซ่อน} = \sqrt{c \cdot d} \quad (2.27)$$

c = จำนวนของตัวแปรอินพุต

d = จำนวนของตัวแปรเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า ที่ประกอบด้วย 2 ชั้นซ่อน จำนวนของนิวรอนในชั้นซ่อนในแต่ละชั้นซ่อน จะคำนวณได้จากสมการที่ (2.28) และ (2.29)

$$\text{จำนวนของนิวรอนในชั้นซ่อนที่ } 1 = d \cdot r^2 \quad (2.28)$$

$$\text{จำนวนของนิวรอนในชั้นซ่อนที่ } 2 = d \cdot r \quad (2.29)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{c}{d}}$$

c = จำนวนของตัวแปรอินพุท

d = จำนวนของตัวแปรเอาต์พุท

นอกจากนี้ขนาดโครงสร้างที่เหมาะสมของโครงข่ายประสาทเทียม จะสามารถหาได้โดยวิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) โดยจะเริ่มจากจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนน้อยๆ และถูกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุดที่ตั้งไว้ ซึ่งในแต่ละชั้นตอนจะถูกตรวจสอบโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละกลุ่ม ของข้อมูลฝึกสอนโดยกำหนดให้จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนแรกมากกว่าชั้นซ่อนที่สองอยู่หนึ่งหรือสามนิวรอน

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม จะมีผลต่อประสิทธิภาพภายหลังการเรียนรู้ โดยทั่วไปการใช้ชั้นซ่อนเพียงหนึ่งชั้นก็สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนโดยทั่วไปได้ แต่หากยังแก้ปัญหาไม่ได้ จะทำการเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนเป็นสองชั้น นอกจากนั้นหากใช้จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนมีขนาดใหญ่มาก จะต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำมากขึ้น และใช้เวลาในการคำนวณมาก อาจทำให้เกิดปัญหา Over Fitting (โครงข่ายประสาท สามารถผ่านข้อมูลการฝึกสอนขณะที่ล้มเหลวในการสร้างเอาต์พุตที่ถูกต้องสำหรับข้อมูลการทดสอบ) แต่ถ้าใช้จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเล็กเกินไปอาจทำให้เกิดปัญหา Under Fitting (โครงข่ายประสาท ทำงานเร็วกว่า แต่ได้รับข้อผิดพลาดของการฝึกสอนสูงขึ้น) ด้วยเหตุนี้การเลือกขนาดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมมาใช้นั้น จะต้องไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป

โครงข่ายประสาทเทียมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) โดยกำหนดให้จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนแรกมากกว่าจำนวนนิวรอนในชั้นที่สองอยู่หนึ่งนิวรอน

เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม นั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของนิวรอน ซึ่งอยู่ในชั้นซ่อน และมีความสัมพันธ์กันในลักษณะกราฟ Exponential [17]

2.6 วิธีการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการฝึกสอน จะต้องมึลักษณะของโครงข่ายที่ไม่ใหญ่จนเกินความจำเป็น และไม่เล็กเกินความต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับความไม่เป็นเชิงเส้นของการประยุกต์ใช้ที่ถูกพิจารณา

ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมนั้น จะใช้ข้อมูล 3 ชุดซึ่งมีความแตกต่างกัน ได้แก่ ข้อมูลสำหรับฝึกสอน (training) ข้อมูลสำหรับตรวจสอบความก้าวหน้าในการเรียนรู้ (validation) และข้อมูลสำหรับทดสอบ (test) โดยจะเป็นข้อมูลชุดใหม่ที่โครงข่ายประสาทเทียมไม่เคยเห็นมาก่อน (unseen data) ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะประมาณค่าเอาต์พุตของข้อมูลชุดทดสอบออกมา หลังจากกระบวนการเรียนรู้สิ้นสุดลง

เพื่อความสะดวกและง่ายในการนำไปใช้งานเฉพาะ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำข้อมูลสำหรับการฝึกสอนและทดสอบ มาใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ เลือกใช้วิธีการฝึกสอนแบบ Levenberg-Marquardt Algorithm โดยจำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นซ่อน และชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนของแต่ละชั้นเลือกโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems)

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) แบบต่างๆ ล้วนแล้วแต่มีทั้งจุดเด่นและจุดด้อย เช่น โครงข่ายประสาทเทียมมีคุณสมบัติในการเรียนรู้ แต่ไม่สามารถอธิบายถึงการได้มาในสิ่งที่ตัดสินใจ ในขณะที่ระบบฟัซซีสามารถให้เหตุผลด้วยข้อมูลและมีคุณสมบัติใช้งานด้านการอธิบายการตัดสินใจด้วยกฎฟัซซี แต่ระบบฟัซซีเองก็ไม่มีความสามารถในการเรียนรู้กฎโดยอัตโนมัติจากข้อมูล ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจึงมีการนำเอาปัญญาประดิษฐ์หลายระบบ มาทำงานรวมกันเรียกว่า ระบบประสานแบบอัจฉริยะ (Hybrid Intelligent System: HIS) เช่น ระบบฟัซซีผสมเข้ากับโครงข่ายประสาทเทียม จึงได้ชื่อใหม่เป็นระบบฟัซซีนิวรัลเน็ตเวิร์ค (Fuzzy Neural Network) ทั้งนี้ก็เพื่อจะแก้ปัญหามาจากข้อด้อยของแต่ละวิธี ระบบผสมนิวรัลฟัซซีที่มีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักกันมาก ได้แก่ ANFIS หรือ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems เป็นการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้แทนส่วนที่เป็นกฎของฟัซซีลอจิก [16, 21]

3.1 พื้นฐานแนวคิดแบบฟัซซี

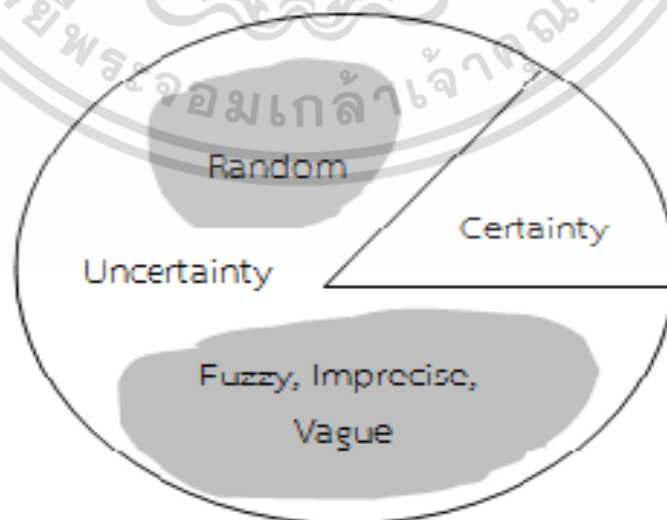
เครื่องมือที่ใช้ในการอธิบายความคลุมเครือหรือความไม่ชัดเจนของข้อมูลคือ เหตุผลแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกจึงแตกต่างไปจากลอจิกบูลีนที่ซึ่งมีเพียงใช่-ไม่ใช่ หรือศูนย์-หนึ่ง แต่ฟัซซีเป็นตรรกะหลายระดับซึ่งเกี่ยวข้องกับการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิก (Degree of membership) โดยใช้ค่าตัวเลขตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง (ค่าศูนย์ยังคงแทนความไม่ใช่สมาชิกของกลุ่ม ในขณะที่ค่าหนึ่งแทนความใช่สมาชิก ในขณะที่ค่าระหว่างศูนย์จนถึงหนึ่งแสดงระดับความเป็นสมาชิกของกลุ่มจากน้อยไปมาก) แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เหตุผลแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับเหตุผลแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก) [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นฟัซซี (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (Multivalance) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับไบวาลานซ์ (Bivalance) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (Uncertainty)” สามารถที่จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (Modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายของตัวแปร (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (Identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้ความหมายของ “คนอ้วน” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วนโดยเปรียบเทียบและในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary Sense) จะได้ผลเป็น ใช่ หรือ ไม่ใช่ เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่น้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัมแต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่า ความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาปัญหาทั่ว ๆ ไปจะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา รูปที่ 4.2 เป็นการแสดงให้เห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (Certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก [18]



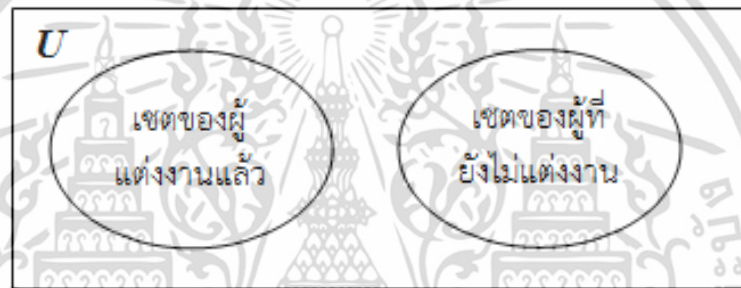
รูปที่ 3.2 ความไม่แน่นอน (Uncertainty)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

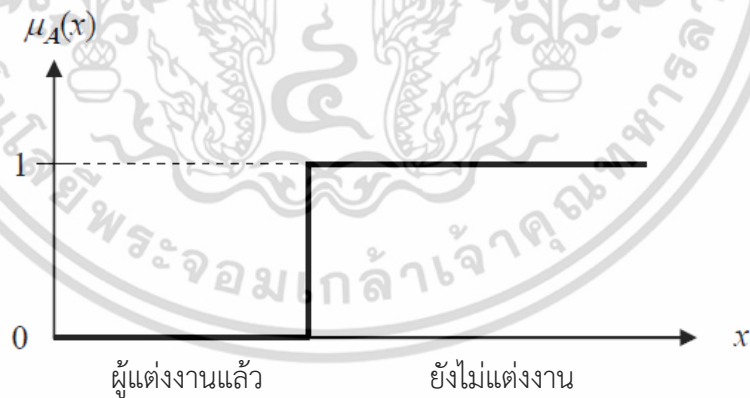
ฟuzzy จะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision Making) โดยอาศัยเซตของความไม่แน่นอนเป็นสมาชิก

3.2 เซตแบบฉบับ (Classical Set)

เซตแบบฉบับเป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขตแบบแข็ง (Sharp Boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด เซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของคู่แต่งงานจะสามารถบอกได้ว่าอย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มผู้แต่งงานหรือไม่แต่งงาน



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ



รูปที่ 3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน

จากรูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือเซตของผู้ที่แต่งงานและเซตของผู้ที่ไม่แต่งงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งานหรือไม่แต่งงาน ในรูปที่ 3.4 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน จากรูปจะเห็นได้ว่า ผู้ที่แต่งงานแล้ว จะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเซตผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับมีสมการตาม 3.1 ดังนี้

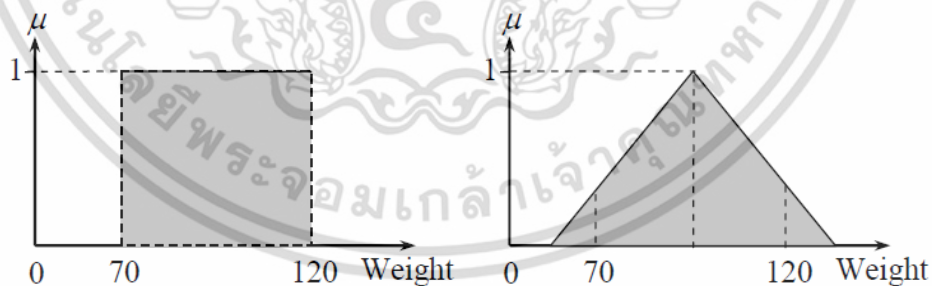
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับ x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซตและ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

3.3 ฟัชซีเซต (Fuzzy Set)

ฟัชซีเซตเป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัชซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัชซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัชซีด้วย ฟัชซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัชซีไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากขาวเป็นดำ ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มแต่งงานที่มีความสุข จะเห็นได้ว่าสมาชิกในเซตนี้จะไม่เฉพาะกลุ่มแต่งงานที่มีความสุขระดับเดียวกันหมด บางกลุ่มมีความสุขมาก บางกลุ่มมีความสุขน้อยแตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม

ยกตัวอย่างเกี่ยวกับความอ้วน นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตแบบฉบับอาจกำหนดเป็นคนที่น้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม โดยนิยามแบบฟัชซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอนดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตแบบฉบับและเซตแบบฟัชซี

นิยามของฟัชซีเซต กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัชซีเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตามสมการ 3.2

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\mu_A(x)$ สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซีเซต A สำหรับแต่ละ $x \in X$ (อ่านว่า “ x เป็นสมาชิกของ X ”) ฟัซซีเซต A สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ (Tuples) ตามสมการ 3.3

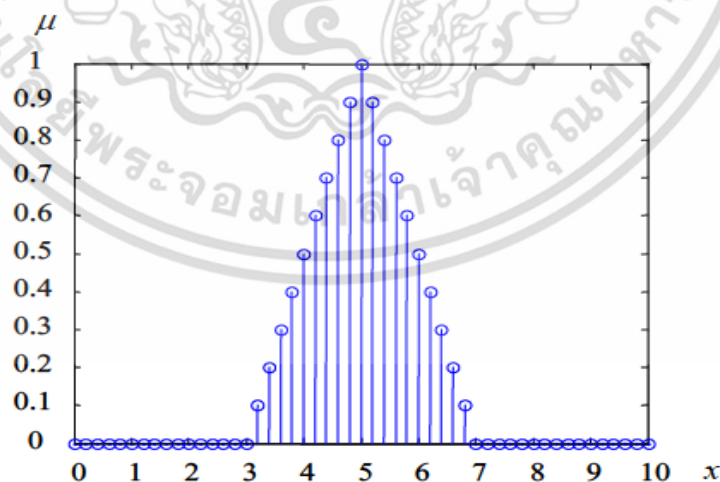
$$A = \{[x, \mu_A(x)] | x \in X\} \quad (3.3)$$

เมื่อ A คือ ฟัซซีเซต A
 x คือ สมาชิกของเซต (Set Membership)
 $\mu_A(x)$ คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)
 X คือ เอกภพสัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร

ถ้า $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ เป็นเซตจำกัด และเซต A เป็นฟัซซีเซตใน X ซึ่งเป็นชนิดวิฤตหรือ discrete และจำกัดสัญกรณ์ (notation) ของฟัซซีเซต A เขียนได้เป็นสมการ 3.4

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x)}{x_1} + \frac{\mu_A(x)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x)}{x_i} \right\} \quad (3.4)$$

เมื่อพจน์ $\mu_A(x_i)/x_i$, $i=1, 2, \dots, n$ หมายถึงค่าความเป็นสมาชิก $\mu_A(x_i)$ ของ x_i ในเซต A และเครื่องหมายบวก “+” หมายถึงยูเนียน (union)

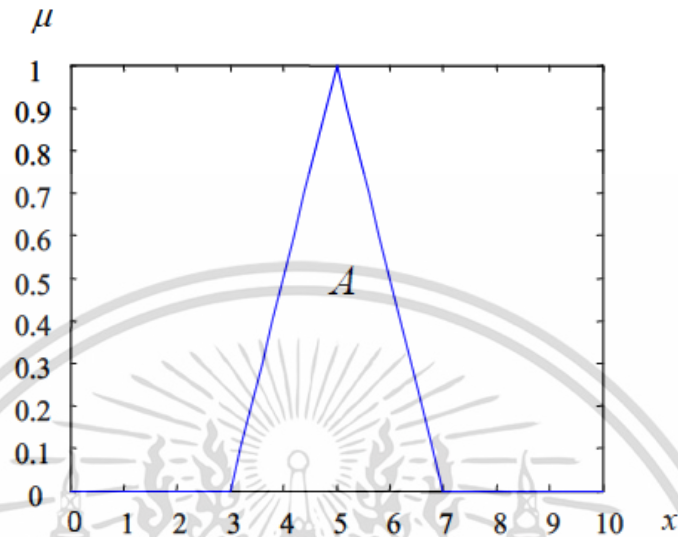


รูปที่ 3.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบวิฤต A

ถ้าเอกภพสัมพัทธ์ X เป็นต่อเนื่อง (continuous) สัญกรณ์ (notation) ของฟัซซีเซต A เขียนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = \left\{ \int \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟuzzyแบบต่อเนื่อง A

ทฤษฎีฟuzzyเซตสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดของเซตแบบดั้งเดิมได้ โดยฟuzzyเซตยอมให้มีค่าหรือดีกรีของความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ $[0, 1]$ โดย 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต 1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต และค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต การทำเช่นนี้ทำให้เกิดความราบเรียบในการเปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่าง ๆ โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็นฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) วัตถุในโดเมนใด ๆ ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกในฟuzzyเซต

ความเป็นสมาชิกสำหรับฟuzzyเซต มีจำนวนระดับความเป็นสมาชิกเป็นอนันต์ คือค่าต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งครอบคลุมการกำหนดสมาชิกแบบฉบับ และเซตแบบฉบับจะกำหนดตามดังสมการที่ (3.6)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.6)$$

เมื่อ x หมายถึงสมาชิกในเซต (set member) $\mu_A(x)$ หมายถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) และ A หมายถึงฟuzzyเซต A

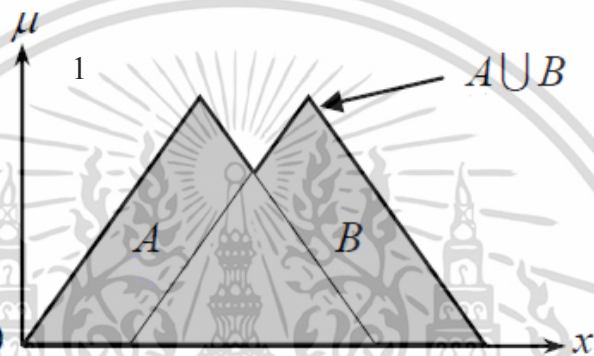
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีการดำเนินการ คือ ยูเนียน (Union), อินเตอร์เซกชัน (Intersection) และ คอมพลิเมนต์ (Complement)

3.4.1 ยูเนียน (Union) ของฟัซซีเซต จะเป็น OR Operation ในสมการที่ 3.7 และรูปที่ 3.8

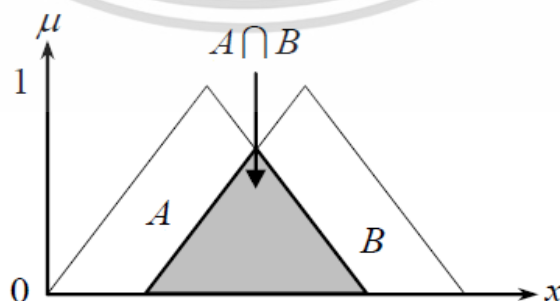
$$\begin{aligned}\mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (3.7)$$



รูปที่ 3.8 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

3.4.2 อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซต จะเป็น AND Operation ในสมการที่ 3.8 และรูปที่ 3.9

$$\begin{aligned}\mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (3.8)$$

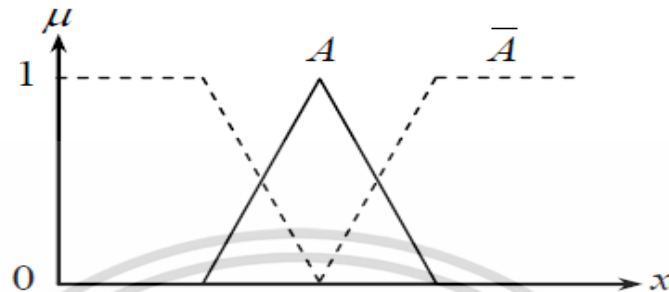


รูปที่ 3.9 Intersection ของฟัซซีเซต A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 คอมพลิเมนต์ (Complement) ของฟังก์ชันเซต ในสมการที่ 3.9 และรูปที่ 3.10

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.9)$$



รูปที่ 3.10 คอมพลิเมนต์ของฟังก์ชันเซต A

คุณสมบัติของเซตฟัซซี

Commutativity $A \cup B = B \cup A$

$$A \cap B = B \cap A$$

Associativity $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C$$

Distributivity $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

Idempency $A \cup A = A$ และ $A \cap A = A$

Identity $A \cup 0 = A$ และ $A \cap X = A$

$$A \cap 0 = 0$$
 และ $A \cup X = X$

Transitivity ถ้า $A \subseteq B, B \subseteq C$ แล้ว $A \subseteq C$

Involution $A \subseteq \bar{\bar{A}}$

3.5 ฟังก์ชันสมาชิก (membership function)

ฟังก์ชันสมาชิกเป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้ [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก

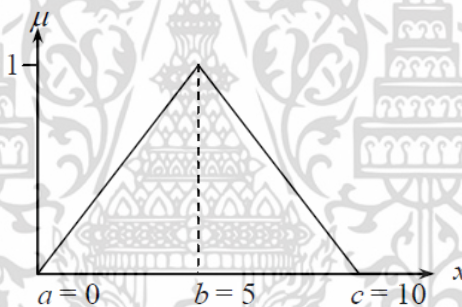
ชนิดของฟังก์ชันสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 5 ชนิดดังนี้

1) ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular membership function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$ ตามสมการที่ 3.10

$$\text{triangular}(x : a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (3.10)$$

ตัวอย่างกำหนดให้ a เท่ากับ 0, b เท่ากับ 5 และ c เท่ากับ 10 แสดงกราฟฟังก์ชันสามเหลี่ยมดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กราฟฟังก์ชันสามเหลี่ยม

2) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function)

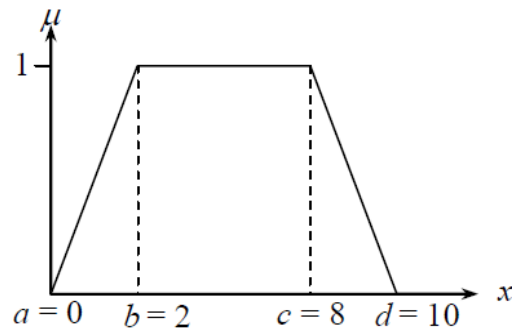
ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$ ตามสมการที่ 3.11

$$\text{trapezoidal}(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (3.11)$$

ตัวอย่างกำหนดให้ $a = 0, b = 2, c = 8$ และ $d = 10$ กราฟที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.12

$a = 0, b = 2, c = 8, d = 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



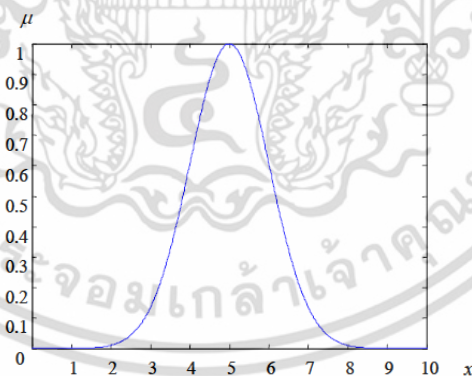
รูปที่ 3.12 กราฟฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู

3) ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ $\{m, \sigma\}$ ซึ่ง m หมายถึงค่าเฉลี่ย และ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามสมการที่ 3.12

$$\text{gaussian}(x : m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.12)$$

ตัวอย่างเมื่อกำหนดให้ $m = 5$ และ $\sigma = 1$ ฟังก์ชันเกาส์เซียนแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กราฟฟังก์ชันเกาส์เซียน

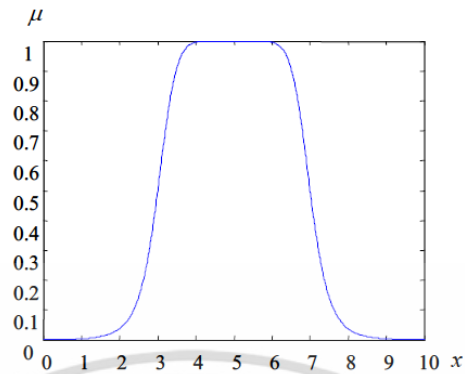
4) ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function)

ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ $\{a, b, c\}$

$$\text{bell-shaped}(x : a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ $a = 2$, $b = 4$ และ $c = 5$ จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 กราฟฟังก์ชันระฆังคว่ำ

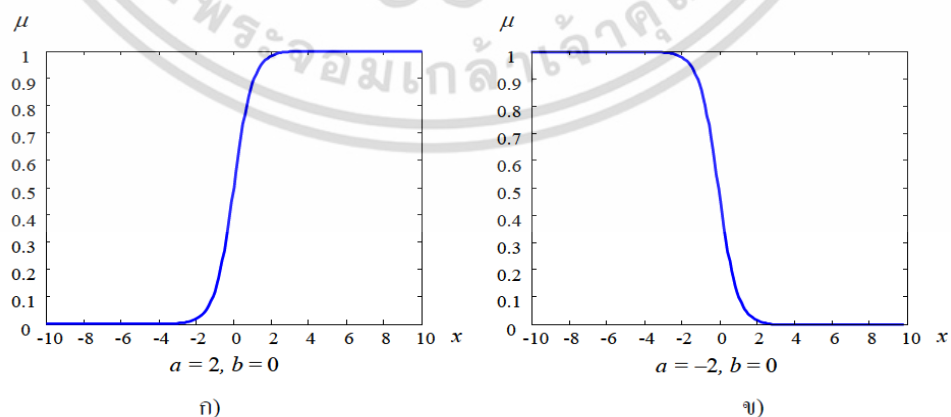
5) ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoidal membership function)

ฟังก์ชันซิกมอยด์มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$

$$\text{sigmoid}(x : a, b) = \frac{1}{1 + \exp(-a(x - b))} \quad (3.14)$$

โดย a เป็นพารามิเตอร์ควบคุมความชัน ถ้าเลือกค่า a ที่มีขนาดน้อยทำให้ความชันต่ำ และถ้า a ขนาดสูงจะทำให้ความชันสูงตาม ส่วน b เป็นค่ากลางที่ค่าความเป็นสมาชิกที่ 0.5

ตัวอย่างกราฟแสดงความเป็นสมาชิกเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ $a = 2$ และ $b = 0$ จะได้กราฟดังภาพที่ 3.15 ก) และเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ $a = 2$ และ $b = 0$ จะได้กราฟดังรูปที่ 3.15 ข)



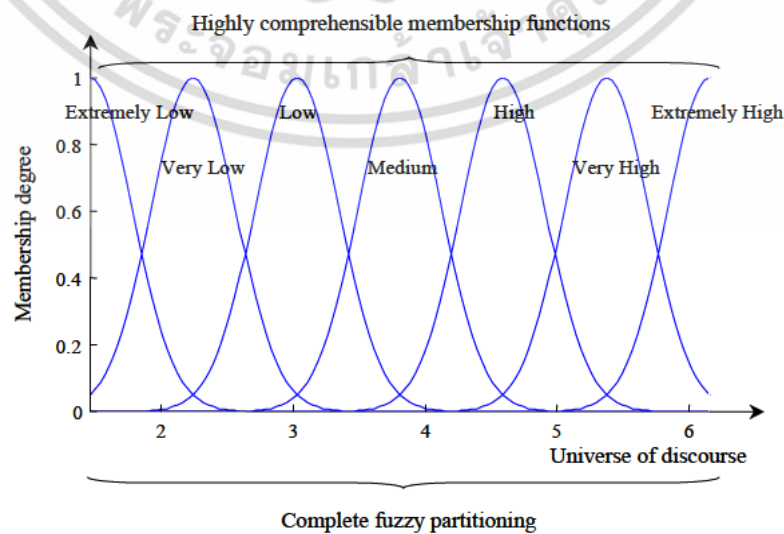
รูปที่ 3.15 กราฟฟังก์ชันซิกมอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกเมมเบอร์ชิพฟังก์ชัน จะต้องเลือกตามความเหมาะสมครอบคลุมของข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถที่ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้และเมมเบอร์ชิพฟังก์ชันเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานที่กำลังปฏิบัติงานหรือตามความต้องการ

3.6 ตัวแปรเชิงภาษา (Linguistic Variable)

เซตแบบฟัซซีสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม เช่น ประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นค่าที่ใช้แสดงปริมาณอุณหภูมิ ในทางรูปนัยสามารถเขียนได้เป็น ปริมาณอุณหภูมิ ในห้อง เย็น หรือ Temperature Quantity is Cold ตัวแปร Temperature Quantity เป็นตัวแปรเชิงภาษา ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟัซซี ตัวแปรเชิงภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพโดยใช้พจน์ภาษา(Linguistic Term) และในรูปปริมาณ โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งแสดงความ เป็นเซตแบบฟัซซี พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขตัวแปรเชิงภาษาเป็นการประกอบกัน (composition) ของตัวแปรสัญลักษณ์ (Symbolic Variable) และตัวแปรเชิงเลข (Numerical Variable) ตัวอย่างตัวแปรสัญลักษณ์ เช่น “รูปร่าง เป็นทรงกระบอก” (Shape = Cylinder) คำว่า “รูปร่าง” เป็นตัวแปรที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างตัวแปรเชิงเลข เช่น “ความสูงเท่ากับ 4 ฟุต” (Height = 4') ตัวแปรเชิงเลขจะมีใช้กันในสาขางานด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ การแพทย์ และอื่นๆ ส่วนตัวแปรสัญลักษณ์มีความสำคัญในวิทยาการเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจ การใช้ตัวแปรเชิงภาษาเป็นการรวมตัวแปรเชิงเลขกับตัวแปรสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน รูปที่ 3.16 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปรภาษาของเซตฟัซซี ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High

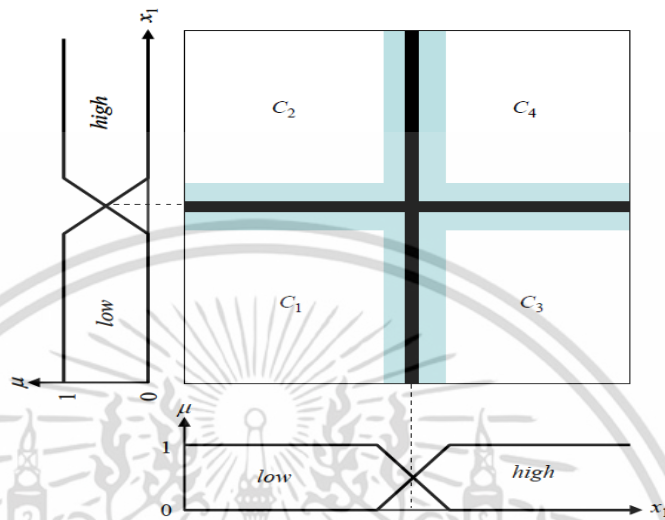


รูปที่ 3.16 ตัวอย่างตัวแปรเชิงภาษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 กฎของฟัซซี (Fuzzy Rules)

วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจำนวนมาก แต่ที่นิยมและประยุกต์ใช้งานมากที่สุดน่าจะเป็นกฎฟัซซีแบบ if-then ตัวอย่างการใช้กฎในการแยกกลุ่มดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจับกลุ่มด้วยกฎฟัซซี

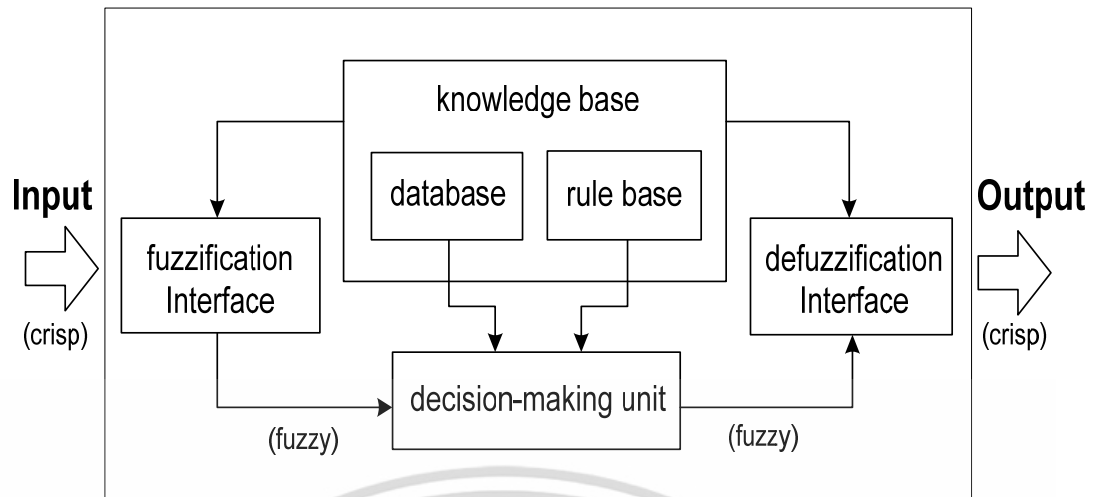
จากรูปที่ 3.17 สามารถเขียนเป็นกฎในรูปประโยคภาษาได้ดังนี้

- กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า *low* และ x_2 มีค่า *low* แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_1
- กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า *low* และ x_2 มีค่า *high* แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_2
- กฎข้อ 3: ถ้า x_1 มีค่า *high* และ x_2 มีค่า *low* แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_3
- กฎข้อ 4: ถ้า x_1 มีค่า *high* และ x_2 มีค่า *high* แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_4

เมื่อ x_1 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 1, x_2 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 2, *low* และ *high* เป็นพจน์ภาษา (Linguistic Terms), ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นคู่ลำดับของวัตถุที่ต้องการจัดกลุ่ม และ C_1, C_2, C_3 และ C_4 เป็นกลุ่มข้อมูล 1, 2, 3 และ 4

3.8 ระบบอนุมานฟัซซี [22]

ระบบอนุมานฟัซซี เช่น fuzzy-rule-based systems, fuzzy model, fuzzy associative memories (FAM) หรือ fuzzy controller เมื่อถูกใช้เป็นตัวควบคุม โดยพื้นฐานแล้วระบบอนุมานฟัซซีประกอบด้วย 5 กลุ่มหน้าที่ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ระบบอนุมานฟัซซี

rule base คือ จำนวนของ fuzzy if-then rule

database เป็นการกำหนดเมมเบอร์ชิพฟังก์ชันของเซตฟัซซีที่ถูกใช้ในหลักการกระทำฟัซซี

decision-making unit เป็นการดำเนินการการทำงานการอนุมานบนหลักการกระทำ

fuzzification Interface เป็นการแปลงกรอบอินพุตเป็นระดับเพื่อเท่าเทียมกับค่าเชิงภาษา

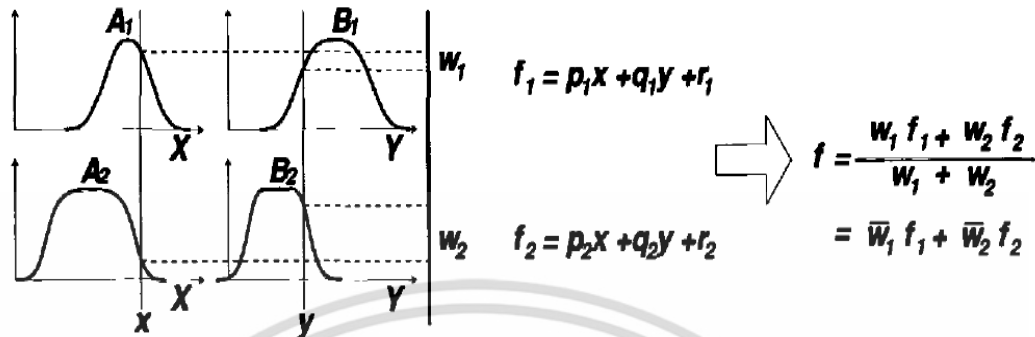
defuzzification Interface เป็นการแปลงผลฟัซซีของการอนุมานเป็นกรอบเอาต์พุต

โดยทั่วไป rule base และ database รวมกันถูกเรียกว่า knowledge base ขั้นตอนของ fuzzy reasoning (การทำงานการอนุมานบน fuzzy if-then rule) ดำเนินการโดยระบบอนุมานฟัซซี คือ

1. เปรียบเทียบตัวแปรอินพุตกับเมมเบอร์ชิพฟังก์ชันบนส่วนหลักฐาน เพื่อให้ได้ค่าเมมเบอร์ชิพ (หรือมาตรการความเข้ากันได้) ของแต่ละสัญลักษณ์เชิงภาษา ขั้นตอนนี้มักจะเรียกว่า fuzzification
2. รวมกัน (ผ่านโดยเฉพาะ T-norm operator โดยทั่วไป multiplication หรือ min) ค่าเมมเบอร์ชิพบนส่วนหลักฐานจะได้รับการ firing strength (weight) ของแต่ละหลักการกระทำ
3. สร้างผลลัพธ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสม (ทั้ง fuzzy หรือกรอบ) ของแต่ละหลักการกระทำขึ้นอยู่กับ firing strength
4. รวมผลลัพธ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเพื่อผลิตกรอบเอาต์พุต ขั้นตอนนี้มักจะเรียกว่า defuzzification

3.9 ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems: ANFIS) [22-24]

ประเภทของโครงข่ายที่มีการปรับตัว บนกรอบพื้นฐานของการปรับตัวระบบอนุมานโดยฟัซซี (Fuzzy Inference Systems: FIS) โครงข่ายชนิดนี้เรียกว่า ANFIS ซึ่งย่อมาจาก Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



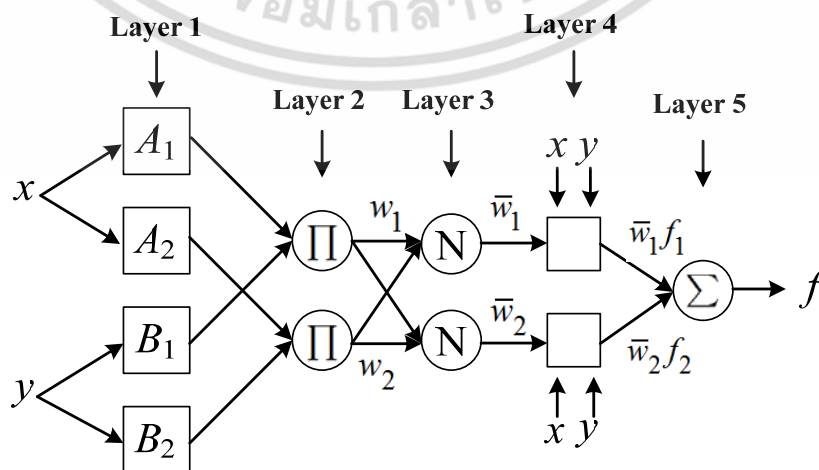
รูปที่ 3.19 โมเดลฟัซซี Sugeno อันดับที่ 1, 2 อินพุตที่มี 2 หลักการกระทำ

3.9.1 โครงสร้างระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้

เพื่อความเข้าใจสมมุติระบบอนุมานโดยฟัซซี ภายใต้การพิจารณามี 2 อินพุต x และ y และ 1 เอาท์พุต f สำหรับโมเดลฟัซซี Sugeno อันดับที่ 1 โดยทั่วไปหลักปฏิบัติเซตของ 2 ฟัซซี คือหลัก *if-then* สามารถแสดงเป็น

- Rule 1: If x is A_1 and y is B_1 then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$,
- Rule 2: If x is A_2 and y is B_2 then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$.

เมื่อ p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 และ r_2 เป็นพารามิเตอร์ผลลัพธ์ โครงสร้างของ ANFIS ดังรูปที่ 3.20 สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ (เอาท์พุตไหน i ในชั้น l เช่น O_{li})



รูปที่ 3.20 โครงสร้างของ ANFIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นที่ 1 ทุกโหนด i ในชั้นนี้คือการปรับโหนด โหนดเอาต์พุตกำหนดโดย

$$\begin{aligned} O_{1,i} &= \mu_{A_i}(x), & \text{for } i = 1, 2 \text{ หรือ} \\ O_{1,i} &= \mu_{B_{i-2}}(y), & \text{for } i = 3, 4 \end{aligned} \quad (3.15)$$

เมื่อ x หรือ y คืออินพุตของโหนด และ A_i หรือ B_{i-2} เป็นเซตของฟuzzy ที่เกี่ยวข้องกับโหนด กล่าวคือ เอาต์พุตของชั้นนี้คือค่าเมมเบอร์ชิพฟังก์ชันของส่วนหลักฐาน สำหรับตัวอย่าง A_i มีคุณลักษณะ แบบ gaussian function

$$\mu_{A_i}(x) = e^{-\frac{(x-c_i)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (3.16)$$

เมื่อ C_i, σ_i คือเซตพารามิเตอร์ พารามิเตอร์ในชั้นนี้เรียกว่า พารามิเตอร์หลักฐาน (premise parameters)

ชั้นที่ 2 ทุกโหนดในชั้นนี้ถูกกำหนดด้วย Π ซึ่งคือการคูณกันของสัญญาณที่เข้ามาและเป็นเอาต์พุต ตัวอย่างเช่น

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), i = 1, 2. \quad (3.17)$$

ชั้นที่ 3 ทุกโหนดในชั้นนี้ถูกกำหนดโดย N เพื่อทำการนอร์มอลไลซ์ค่าน้ำหนัก

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2. \quad (3.18)$$

ชั้นที่ 4 ทุกโหนด i ในชั้นนี้ คือโหนดที่มีการปรับตัวกับฟังก์ชันโหนด

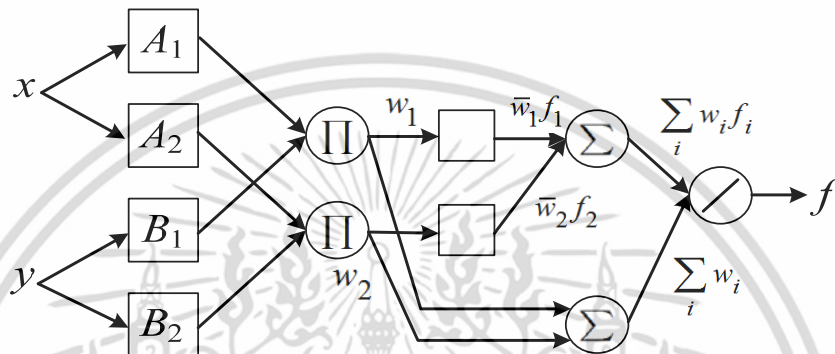
$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(p_i x + q_i y + r_i) \quad (3.19)$$

เมื่อ \bar{w}_i คือ เอาต์พุตของชั้นที่ 3 และ $\{p_i, q_i, r_i\}$ เป็นเซตพารามิเตอร์ พารามิเตอร์ในชั้นนี้เรียกว่า พารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ (consequent parameters)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นที่ 5 ชั้นนี้จะมีอยู่โหนดเดียว กำหนดโดย Σ ซึ่งเอาที่พุดที่ได้คือการรวมกันของสัญญาณเข้ามาทั้งหมด

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}. \quad (3.20)$$



รูปที่ 3.21 โครงสร้าง ANFIS รูปแบบอื่น ที่มี 2 อินพุต 2 กฎการกระทำ โมเดลฟuzzy Sugeno

โครงสร้างปรับตัวได้ไม่ได้มีลักษณะเฉพาะ เราสามารถรวมชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 เอาไว้ด้วยกัน โครงข่ายก็จะมีเพียง 4 ชั้นเท่านั้น ทำนองเดียวกันสามารถกระทำการนอร์มอลไลซ์ค่าน้ำหนักในชั้นสุดท้าย รูปที่ 3.21 แสดงถึง ANFIS ชนิดนี้

3.9.2 ขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบไฮบริด

จากโครงสร้างของ ANFIS เมื่อค่าพารามิเตอร์หลักฐานถูกกำหนดไม่ให้เกิดเปลี่ยนแปลงเอาที่พุดทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของผลรวมเชิงเส้นของพารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ ในสัญลักษณ์เอาที่พุด f ใน รูปที่ 3.18 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น [24, 25]

$$\begin{aligned} f &= \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2 \\ &= \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \\ &= (\bar{w}_1 x) p_1 + (\bar{w}_1 y) q_1 + \bar{w}_1 r_1 \\ &\quad + (\bar{w}_2 x) p_2 + (\bar{w}_2 y) q_2 + \bar{w}_2 r_2 \end{aligned} \quad (3.21)$$

ซึ่งคือเส้นตรงในพารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 และ r_2 ดังนั้นขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบไฮบริด (Hybrid) มีการพัฒนาในส่วนก่อนหน้าี่ สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงมากขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉพาะในส่วนคำนวณไปข้างหน้าของขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบไฮบริด โหนดเอาต์พุตส่งผ่านไปข้างหน้าจนกระทั่งขั้นที่ 4 และพารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ ถูกตรวจสอบโดยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) ในส่วนการคำนวณค่าย้อนกลับสัญญาณค่าผิดพลาดถูกแพร่กลับมา และพารามิเตอร์หลักฐานถูกอัปเดตโดย gradient descent ตารางที่ 3.1 สรุปกิจกรรมในแต่ละส่วนที่ผ่าน

ตารางที่ 3.1 การส่งผ่านในกระบวนการเรียนรู้แบบไฮบริดสำหรับ ANFIS

	ส่งผ่านไปด้านหน้า	ส่งผ่านกลับมา
พารามิเตอร์หลักฐาน	ไม่เปลี่ยนแปลง	ปรับด้วยวิธีความลาดชันที่ต่ำสุด
พารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์	ปรับด้วยวิธีประเมินค่ากำลังสองน้อยที่สุด	ไม่เปลี่ยนแปลง
สัญญาณ	โหนดเอาต์พุต	สัญญาณความผิดพลาด

พารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ ถูกตรวจสอบให้เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขที่ พารามิเตอร์หลักฐาน ถูกกำหนดไม่ให้เกิดเปลี่ยนแปลงนั้น วิธีการแบบผสมจะลู่เข้าหาคำตอบได้เร็วขึ้นมาก เนื่องจากช่วยลดมิติของพื้นที่ว่างในการค้นหาของวิธีการแพร่ค่าย้อนกลับแบบดั้งเดิม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้โมเดล Sugeno อันดับที่ 1 วิธีการเรียนรู้แบบ Hybrid ใช้วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) สำหรับปรับค่าฟังก์ชันสมาชิก โดยเริ่มจากการปรับจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกที่มีค่าน้อยๆ และถูกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุดและปรับเปลี่ยนชนิดของฟังก์ชันสมาชิกจนครบทั้งหมดแล้วเลือกวิธีที่ดีที่สุด เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมจากโครงข่ายประสาทเทียม

บทที่ 4

วิธีการจำลองความต้องการพลังงานไฟฟ้า

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการจำลองความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมแบบรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทยืดหยุ่นและระบบอนุमानพีซีซีโครงข่ายปรับตัวได้ ซึ่งใช้ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ข้อมูลความขึ้นสัมพันธ์เฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด ข้อมูลอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมของประเทศไทย และใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับการจำลอง

4.1 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการจำลอง

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการจำลอง ใช้ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ค่าความขึ้นสัมพันธ์รายเดือน ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายเดือน ชนิดของเดือน ชนิดของปี และอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาส (3 เดือน) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2005 -2010)

4.1.1 ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยแบ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก อุตสาหกรรมขนาดกลาง และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2005 -2010) แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี โดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แต่ก็มีบางช่วงเวลาที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าลดลง เนื่องจากปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น ปัญหาเศรษฐกิจ การเมือง และภัยธรรมชาติ เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553

ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2548	1	441023	924486	2746977
2548	2	463006	948108	2690519
2548	3	513974	1105484	3082839
2548	4	538376	1038391	2780188
2548	5	580534	1149553	3059456

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2548	6	542813	1119965	2951979
2548	7	530591	1103246	2938288
2548	8	513296	1102170	2936862
2548	9	509402	1096936	2901557
2548	10	523264	1107645	3041308
2548	11	494578	1091188	2924156
2548	12	471312	1028431	2771425
2549	1	470350	1033952	2810156
2549	2	477997	1039501	2813788
2549	3	546507	1232375	3224692
2549	4	572160	1127705	2894788
2549	5	573665	1233908	3219041
2549	6	554691	1218409	3147306
2549	7	559292	1215299	3185902
2549	8	559998	1236116	3192208
2549	9	552407	1216052	3158790
2549	10	550156	1209583	3182134
2549	11	550640	1217622	3105214
2549	12	545441	1166359	2844752
2550	1	499245	1136241	3006312
2550	2	492086	1108327	2893339
2550	3	605304	1336086	3333645
2550	4	614642	1234601	2947241
2550	5	611772	1277595	3341904
2550	6	626126	1300749	3274532
2550	7	613948	1231253	3361515
2550	8	614127	1227190	3403668
2550	9	600298	1224547	3362608
2550	10	603061	1217647	3435298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

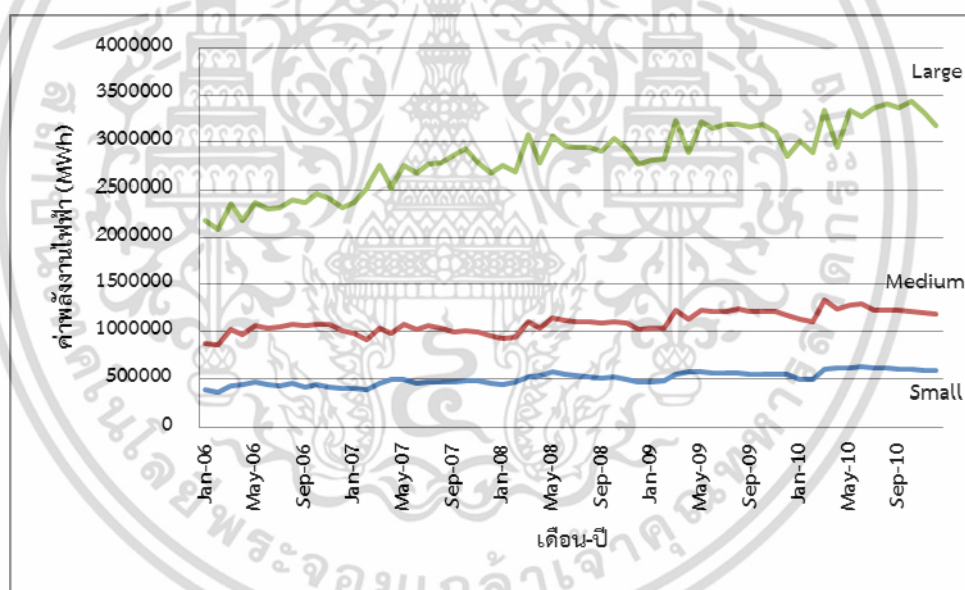
ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2550	11	592007	1193654	3312374
2550	12	583030	1181131	3169290
2551	1	573101	1162403	3275488
2551	2	575900	1150469	3176161
2551	3	611171	1296907	3573234
2551	4	661970	1212839	3188600
2551	5	644892	1299059	3547375
2551	6	632924	1272079	3447476
2551	7	654794	1298884	3569156
2551	8	657427	1311182	3491662
2551	9	633515	1284344	3289067
2551	10	662861	1259640	3322516
2551	11	597429	1191407	3024297
2551	12	570589	1054221	2697134
2552	1	558996	1012738	2645179
2552	2	571801	1073384	2696208
2552	3	696856	1252384	3170982
2552	4	688081	1172811	2861576
2552	5	704244	1287479	3242551
2552	6	672765	1232097	3327793
2552	7	684239	1263223	3392400
2552	8	703899	1311191	3430485
2552	9	683501	1278063	3384411
2552	10	690544	1288381	3565090
2552	11	661270	1245016	3350523
2552	12	634953	1246361	3292629
2553	1	665036	1222395	3392123
2553	2	654381	1216954	3352757
2553	3	761702	1414293	3806286

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้นนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2553	4	783301	1333727	3436324
2553	5	827116	1450939	3806403
2553	6	765092	1391449	3670769
2553	7	759787	1402831	3799905
2553	8	726546	1374598	3786530
2553	9	707137	1367992	3723775
2553	10	731382	1332418	3890232
2553	11	655854	1276930	3691598
2553	12	689295	1276788	3643381



รูปที่ 4.1 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

4.1.2 ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยแบ่งเป็น อุตสาหกรรมขนาดเล็ก อุตสาหกรรมขนาดกลาง และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2005 -2010) แสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ถึง 4.4

จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ทั้งจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ เนื่องจากความเจริญทางด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยี ตลาดมีความต้องการมากขึ้น ทำให้ต้องขยายการผลิต และมีการใช้เครื่องจักรแทนแรงงานคนมากขึ้นด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553

ปี พ.ศ.	เดือน	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2548	1	835814	29663	2623
2548	2	838953	29823	2622
2548	3	842329	30341	2633
2548	4	844306	30538	2644
2548	5	846233	30791	2666
2548	6	848252	30868	2666
2548	7	853196	30978	2690
2548	8	854646	31200	2704
2548	9	856558	31354	2712
2548	10	857875	31500	2719
2548	11	860975	31666	2729
2548	12	862902	31765	2734
2549	1	865816	31869	2735
2549	2	868704	32090	2730
2549	3	871698	32381	2741
2549	4	874982	32566	2755
2549	5	878069	32763	2756
2549	6	883060	32863	2759
2549	7	889936	33044	2781
2549	8	895028	33213	2791
2549	9	900642	33269	2795
2549	10	905443	33376	2797
2549	11	909698	33546	2816
2549	12	912049	33746	2820
2550	1	914435	33869	2815
2550	2	916664	34030	2829
2550	3	919048	34356	2842
2550	4	922010	34742	2855

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

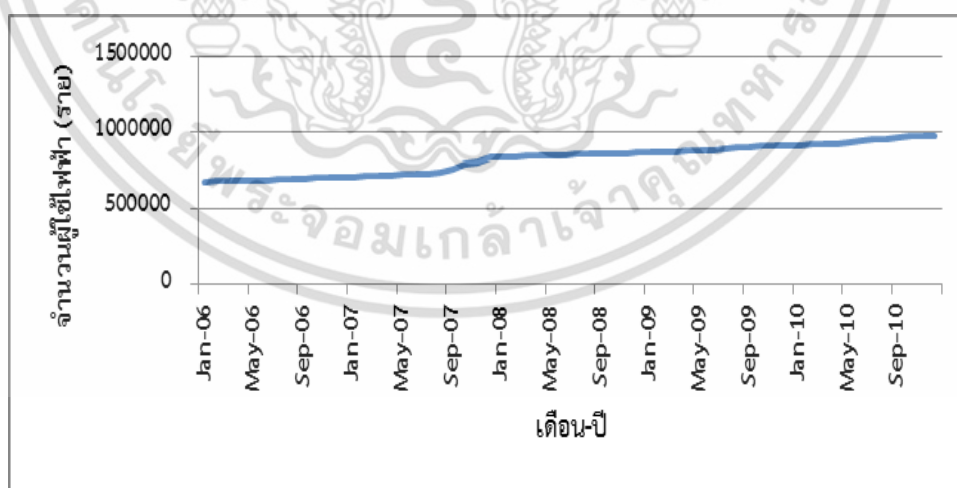
ปี พ.ศ.	เดือน	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2550	5	932423	34913	2929
2550	6	943919	35122	2944
2550	7	948346	35064	3080
2550	8	953702	35118	3132
2550	9	965782	35255	3155
2550	10	970870	35351	3159
2550	11	974558	35437	3159
2550	12	977818	35526	3155
2551	1	979335	35704	3155
2551	2	981675	35871	3158
2551	3	983476	36282	3200
2551	4	986495	36567	3209
2551	5	990126	36666	3227
2551	6	1002341	36805	3249
2551	7	1013302	37039	3262
2551	8	1019375	37096	3275
2551	9	1016775	37257	3298
2551	10	1016245	37403	3313
2551	11	1017539	37456	3324
2551	12	1019569	37529	3331
2552	1	1022530	37689	3463
2552	2	1021929	37786	3476
2552	3	1022899	37973	3475
2552	4	1024567	38320	3489
2552	5	1027953	38379	3508
2552	6	1032613	38361	3504
2552	7	1037754	38500	3514
2552	8	1041031	38579	3529
2552	9	1047691	38751	3532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

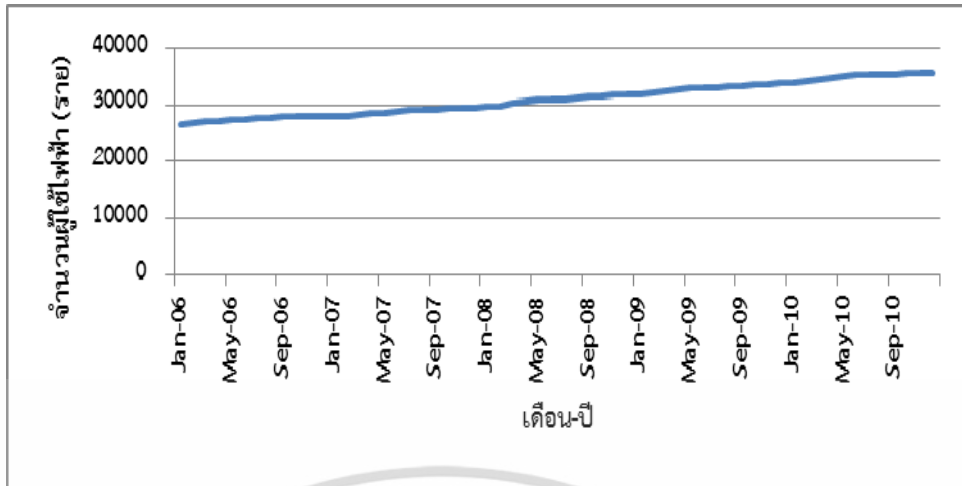
ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2552	10	1052318	38819	3551
2552	11	1058413	38863	3562
2552	12	1063392	38988	3563
2553	1	1067002	39151	3575
2553	2	1069266	39320	3580
2553	3	1071640	39603	3625
2553	4	1073620	39951	3635
2553	5	1076536	40195	3660
2553	6	1079088	40351	3695
2553	7	1081128	40437	3722
2553	8	1083426	40672	3758
2553	9	1084932	40799	3783
2553	10	1087304	40757	3901
2553	11	1089396	40762	3924
2553	12	1091302	41018	3937

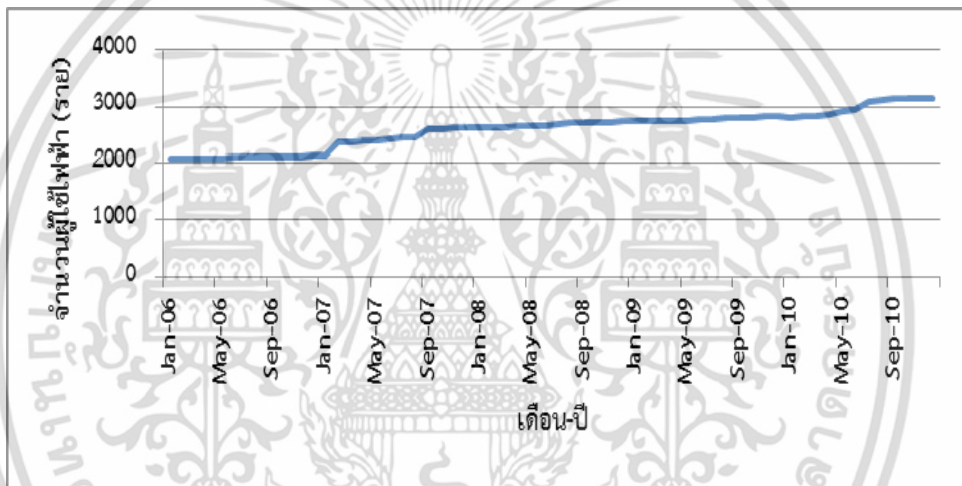


รูปที่ 4.2 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

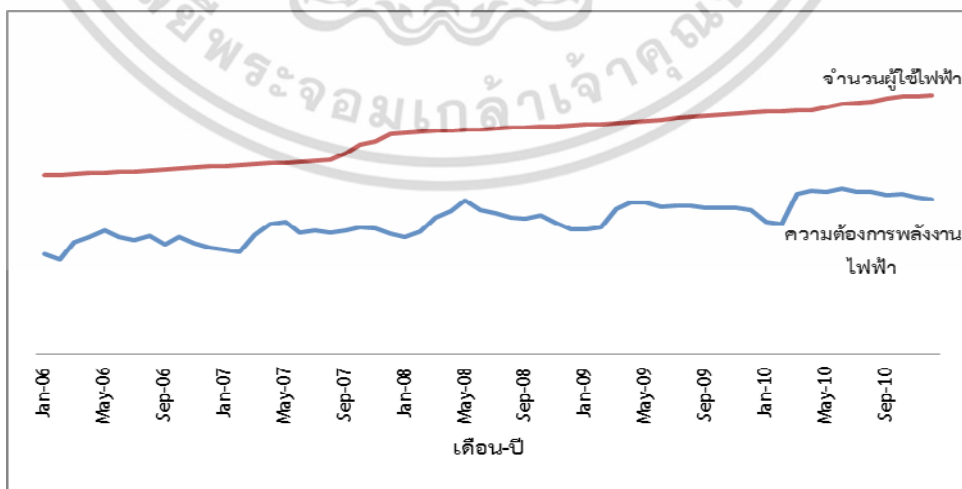
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง

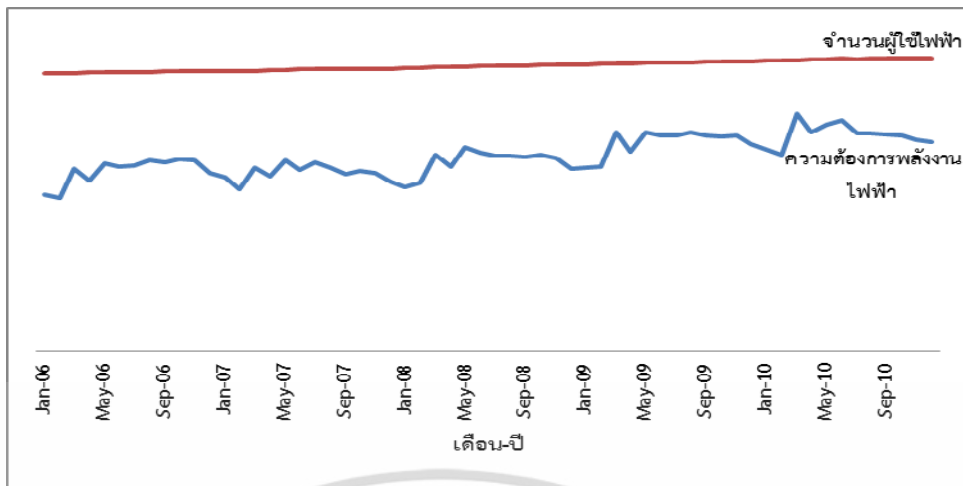


รูปที่ 4.4 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

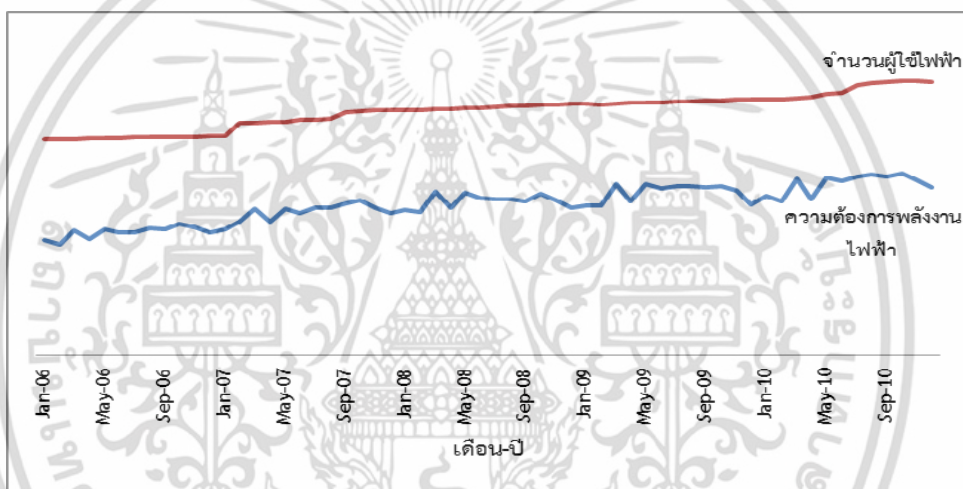


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและความต้องการพลังงานไฟฟ้า อุตสาหกรรมขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและความต้องการพลังงานไฟฟ้า อุตสาหกรรมขนาดกลาง



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและความต้องการพลังงานไฟฟ้า อุตสาหกรรมขนาดใหญ่

จากรูปที่ 4.5 ถึง 4.7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า และความต้องการพลังงานไฟฟ้า คือความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีอัตราเพิ่มขึ้นไปในแนวทางเดียวกันกับจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

4.1.3 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของประเทศไทย

ความชื้นสัมพัทธ์คือ ค่าความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศคิดเป็นร้อยละของความหนาแน่นอิ่มตัวของไอน้ำ ณ อุณหภูมิขณะนั้น ในช่วงฤดูร้อน ความชื้นสัมพัทธ์จะสูง ในขณะที่ฤดูหนาวจะมีค่าต่ำลงมา ในฤดูร้อนเครื่องปรับอากาศไม่เพียงแต่ทำให้อุณหภูมิลดลงเท่านั้น ยังทำให้ความหนาแน่นของไอน้ำลดลงด้วย เพราะไม่เช่นนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้น

ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2005-2010) แสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.8 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553

ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
2548	1	25.8
2548	2	28.4
2548	3	28.7
2548	4	30.2
2548	5	30.0
2548	6	29.1
2548	7	28.6
2548	8	28.4
2548	9	28.1
2548	10	27.7
2548	11	27.0
2548	12	24.9
2549	1	25.3
2549	2	27.0
2549	3	28.4
2549	4	28.8
2549	5	28.0
2549	6	28.2
2549	7	27.9
2549	8	27.6
2549	9	27.3
2549	10	27.1
2549	11	27.1
2549	12	25.1
2550	1	25.1
2550	2	26.5
2550	3	28.6
2550	4	29.0
2550	5	28.0
2550	6	28.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

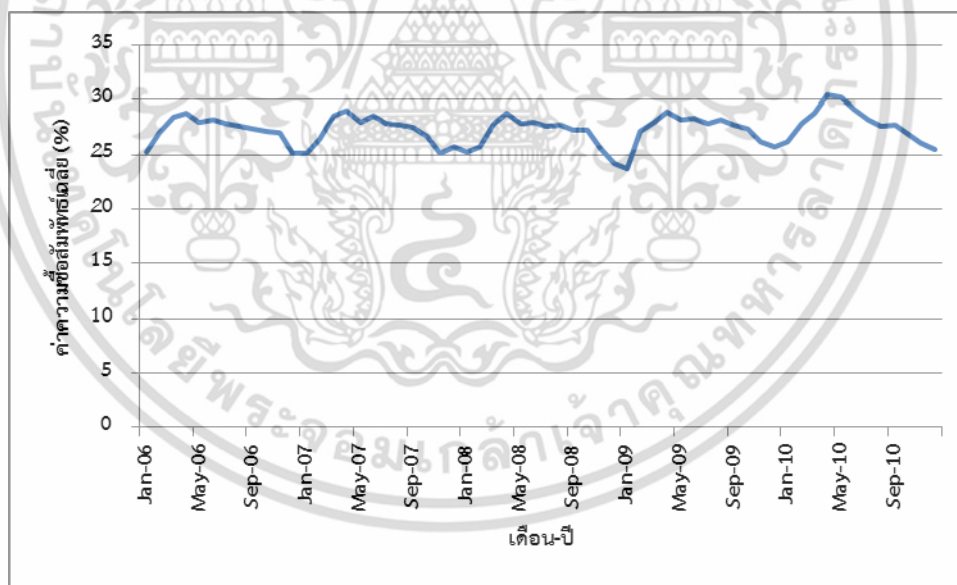
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
2550	7	27.8
2550	8	27.8
2550	9	27.5
2550	10	26.6
2550	11	25.2
2550	12	25.8
2551	1	25.3
2551	2	25.7
2551	3	27.8
2551	4	28.7
2551	5	27.9
2551	6	27.9
2551	7	27.7
2551	8	27.7
2551	9	27.3
2551	10	27.3
2551	11	25.6
2551	12	24.2
2552	1	23.7
2552	2	27.2
2552	3	27.9
2552	4	28.9
2552	5	28.2
2552	6	28.4
2552	7	27.8
2552	8	28.2
2552	9	27.7
2552	10	27.3
2552	11	26.2
2552	12	25.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

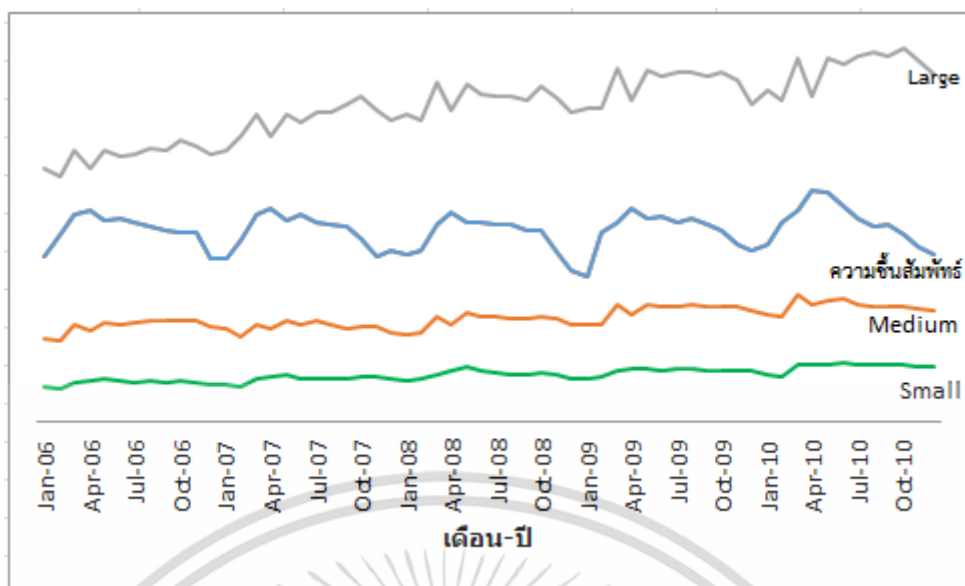
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
2553	1	26.2
2553	2	27.9
2553	3	28.8
2553	4	30.4
2553	5	30.2
2553	6	29.2
2553	7	28.2
2553	8	27.6
2553	9	27.7
2553	10	26.9
2553	11	26.1
2553	12	25.4



รูปที่ 4.8 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยและความต้องการพลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.9 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสัมพัทธ์ และความต้องการพลังงานไฟฟ้า คือความต้องการพลังงานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้น และความต้องการไฟฟ้าจะลดลงเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์น้อยลง

4.1.4 ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายเดือนของประเทศไทย

ข้อมูลอุณหภูมิของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2005 -2010) แสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายเดือนของประเทศไทยปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553

ปี พ.ศ.	เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)
2548	1	37.9
2548	2	39.9
2548	3	40.5
2548	4	41.4
2548	5	40.6
2548	6	37.3
2548	7	37.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)
2548	8	37.1
2548	9	36.0
2548	10	36.3
2548	11	35.6
2548	12	34.8
2549	1	36.5
2549	2	37.7
2549	3	41.3
2549	4	39.3
2549	5	38.1
2549	6	37.4
2549	7	35.9
2549	8	36.1
2549	9	36.5
2549	10	35.6
2549	11	36.6
2549	12	36.1
2550	1	36.1
2550	2	38.5
2550	3	40.3
2550	4	40.9
2550	5	38.2
2550	6	37.8
2550	7	36.8
2550	8	36.5
2550	9	36.1
2550	10	35.5
2550	11	34.7
2550	12	36.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

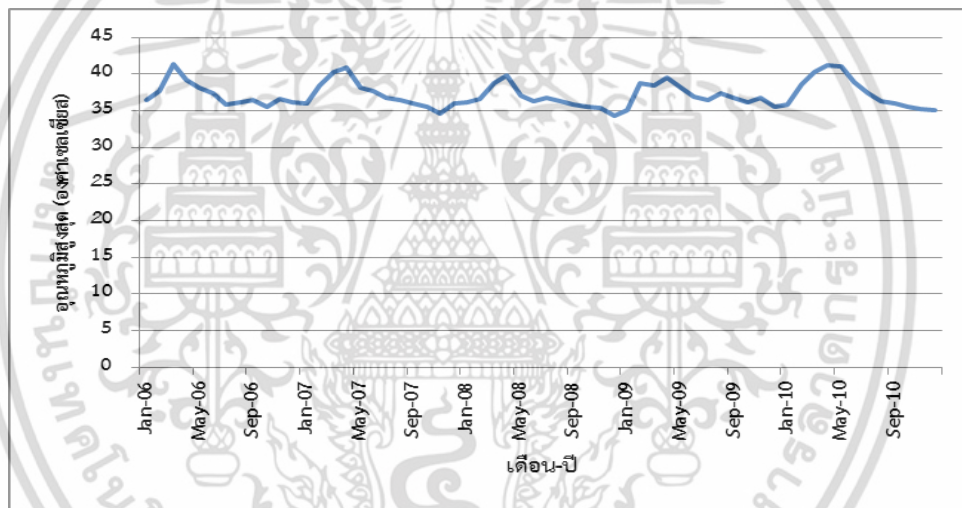
ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)
2551	1	36.2
2551	2	36.6
2551	3	38.8
2551	4	39.8
2551	5	37.0
2551	6	36.4
2551	7	36.7
2551	8	36.3
2551	9	35.8
2551	10	35.5
2551	11	35.5
2551	12	34.4
2552	1	35.0
2552	2	38.8
2552	3	38.5
2552	4	39.5
2552	5	38.2
2552	6	36.9
2552	7	36.6
2552	8	37.4
2552	9	36.7
2552	10	36.2
2552	11	36.8
2552	12	35.6
2553	1	35.9
2553	2	38.6
2553	3	40.3
2553	4	41.3
2553	5	41.1

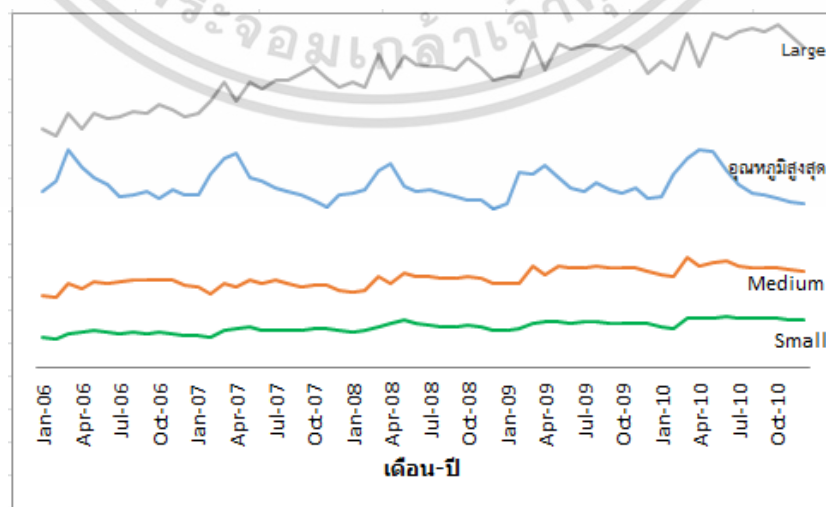
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)
2553	6	38.9
2553	7	37.4
2553	8	36.3
2553	9	36.0
2553	10	35.6
2553	11	35.3
2553	12	35.1



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิสูงสุด



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์อุณหภูมิสูงสุดและความต้องการพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสารถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสารถือว่าผิดกฎหมาย

จากรูปที่ 4.11 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิสูงสุดและความต้องการพลังงานไฟฟ้า คือความต้องการพลังงานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอุณหภูมิสูงสุดมากขึ้น และความต้องการไฟฟ้าจะลดลงเมื่อค่าอุณหภูมิสูงสุดน้อยลง

4.1.5 ข้อมูลอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาสของประเทศไทย

ข้อมูลอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาส (3 เดือน) ของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2005 -2010) แสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.12

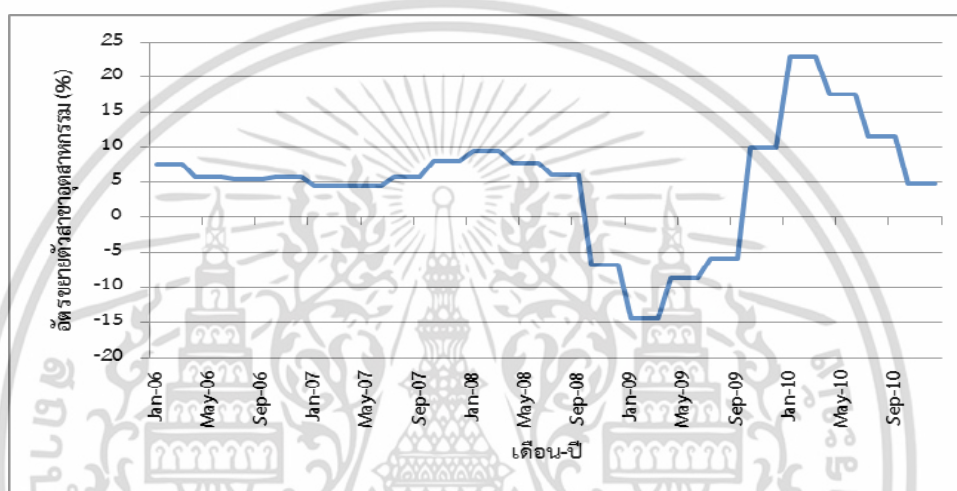
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553

ปี พ.ศ.	เดือน	อัตราขยายตัวภาคอุตสาหกรรม (%)
2548	1-3	3.2
2548	4-6	6.5
2548	7-9	6.4
2548	10-12	6
2549	1-3	7.6
2549	4-6	5.7
2549	7-9	5.5
2549	10-12	5.8
2550	1-3	4.6
2550	4-6	4.5
2550	7-9	5.7
2550	10-12	8.1
2551	1-3	9.5
2551	4-6	7.7
2551	7-9	6.1
2551	10-12	-6.8
2552	1-3	-14.4
2552	4-6	-8.7
2552	7-9	-5.9
2552	10-12	9.9

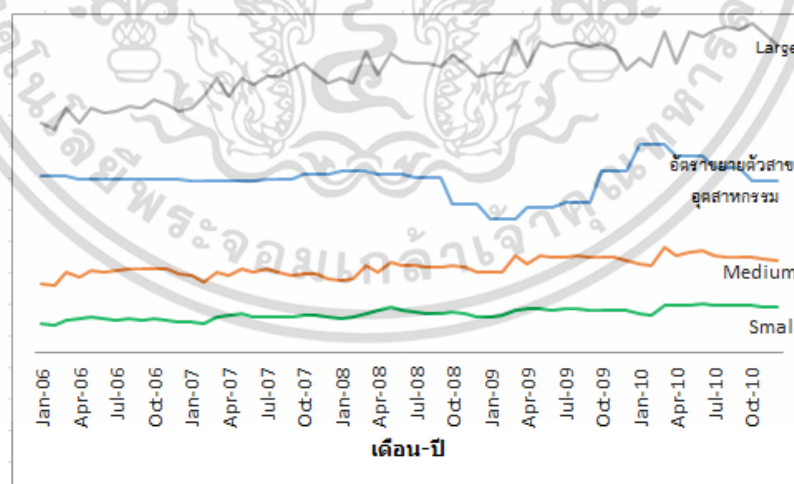
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	อัตราขยายตัวภาคอุตสาหกรรม (%)
2553	1-3	22.9
2553	4-6	17.6
2553	7-9	11.6
2553	10-12	4.8



รูปที่ 4.12 อัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรม



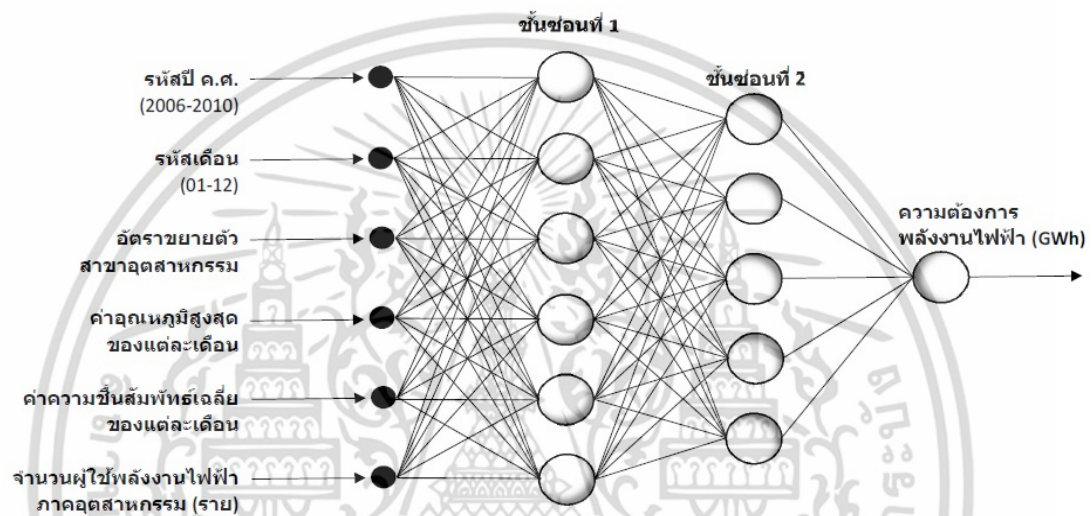
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์อัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมและความต้องการพลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.13 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมและความต้องการพลังงานไฟฟ้า คืออัตราความต้องการพลังงานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง หลังจากอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นหรือลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตของโครงข่าย

ในการจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้อินพุตเป็นจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ค่าความชื้นสัมพัทธ์รายเดือน ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายเดือน ชนิดของเดือน ชนิดของปี และอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาส (3 เดือน) ส่วนเอาต์พุตจะใช้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 ถึงปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2005 –2010) ลักษณะของโครงข่ายแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ลักษณะโครงข่ายที่ใช้สำหรับการจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้า

4.2 วิธีการจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม

วิธีการจำลองในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ 2 วิธี คือ การจำลองโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และการจำลองโดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้

4.2.1 การจำลองโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

4.2.1.1 เงื่อนไขในการฝึกสอน

ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมใช้กระบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสด้วยวิธี Levenberg-Marquardt Algorithm นั้นจะมีเงื่อนไขพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสิ้นสุดการฝึกสอนดังนี้

1. Performance Gradient Factor [21]

ค่า Gradient Factor เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาถึงการสิ้นสุดของการฝึกสอนในการปรับถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแต่ละรอบนั้น ค่า Performance Gradient Factor จะเปลี่ยนแปลง ขึ้นอยู่กับค่าผิดพลาด (e) ที่เกิดขึ้นใน Epoch นั้นๆ โดยการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อ

ค่า Performance Gradient Factor มีค่าน้อยกว่า $1e-10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. μ Factor

μ หรือ Learning Factor เป็นค่าคงที่ ที่ใช้เร่งการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและไบแอสให้ลูเข้าหาคำตอบ ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแต่ละรอบนั้นหากค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้น จะมีการปรับค่า μ ให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่า Gradient Factor มีแนวโน้มที่จะลดลงจากนั้นค่า μ จะถูกปรับลงเรื่อยๆ และมีการปรับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า μ เริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับ 0.001 การปรับค่า μ เพิ่มขึ้นนั้นจะทำการคูณด้วย Increased Factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 และการปรับค่า μ ลดลงนั้นจะทำการคูณด้วย Decreased Factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1 และการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อค่า μ มีค่ามากกว่า $1e10$

3. ปริมาณข้อมูลฝึกสอน

ปริมาณข้อมูลที่นำมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะเป็นเงื่อนไขหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการหาคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียม โดยทั่วไปปัญหาที่ซับซ้อน การใช้ข้อมูลฝึกสอนจำนวนมาก จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพการหาคำตอบดีขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลฝึกสอนด้วย

4. คุณภาพของข้อมูลฝึกสอน

การกระจายของชุดข้อมูลฝึกสอน โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลฝึกสอนจะต้องมีการกระจายที่ดีพอและข้อมูลทดสอบอยู่ในช่วงดังกล่าว

4.2.1.2 เงื่อนไขในการทดสอบ

1. ประสิทธิภาพในการทดสอบ

การวัดประสิทธิภาพของโครงข่ายประเทียมนั้น จะวัดค่าผิดพลาดของคำตอบของข้อมูลทดสอบที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอนแล้วเป็นเกณฑ์ สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมนี้ใช้ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ตามสมการ 4.1

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Real\ Result_i - Predicted\ Result_i}{Real\ Result_i} \right| \times 100\% \quad (4.1)$$

โดยที่	$Real\ result_i$	คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง
	$Predicted\ result_i$	คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนายโดย ANN
	n	คือ จำนวนข้อมูลทดสอบ

4.2.1.3 ขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบ

1. เงื่อนไขต่างๆ ภายในโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ

ค่าเริ่มต้นที่ใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) และค่าไบแอส (Bias) ในการเลือกค่าเริ่มต้นที่ใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสในโครงข่ายประเทียมนั้นแบบแพร่ค่าย้อนกลับนี้ โดยทั่วไปจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มี 2 วิธี คือกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสด้วยตนเองหรืออีกวิธีคือให้โปรแกรมทำการเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสด้วยวิธีการสุ่มเลือก สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธีการสุ่มเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสเนื่องจากการฝึกสอนในแต่ละรอบนั้นมีทิศทางการลู่อเข้าสู่คำตอบที่แตกต่างกันออกไป

ลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสนั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกันสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสด้วยวิธี Levenberg-Marquardt Algorithm ซึ่งมีประสิทธิภาพและมีความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงที่สุด โดยในการทดสอบนี้ได้กำหนดให้มีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสเป็นจำนวน 500 ครั้ง (Epoch) ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสในแต่ละรอบนั้นจะคำนวณหาค่าผิดพลาดของคำตอบที่ข้อมูลชุดฝึกสอนและข้อมูลชุดทดสอบแต่ละชุดเพื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ของชุดข้อมูลทดสอบในรอบการคำนวณปัจจุบันกับค่า MAPE ของข้อมูลทดสอบที่ได้จากการคำนวณในรอบก่อนหน้า และทำการบันทึกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสในรอบที่ทำให้ค่า MAPE ของชุดข้อมูลทดสอบมีค่าต่ำสุด

จำนวนรอบของการฝึกสอน เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสจนครบแล้ว ถือว่าเป็นหนึ่งรอบของการฝึกสอน ซึ่งหลังจากจบหนึ่งรอบของการฝึกสอนก็จะทำการสุ่มเลือกค่าถ่วงน้ำหนักขึ้นมาใหม่ ซึ่งจะเป็นค่าที่ต่างจากค่าเริ่มต้นที่ผ่านมาและจะทำจนครบจำนวนรอบที่เราได้กำหนดไว้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้จำนวนรอบของการฝึกสอนในแต่ละโครงข่ายของโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 30 รอบต่อโครงข่าย และเลือกรอบของการฝึกสอนที่ทำให้ค่า MAPE ของชุดทดสอบมีค่าต่ำสุด

จำนวนนิรอนในชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียม จำนวนนิรอนในชั้นซ่อนจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน นั่นคือถ้าจำนวนนิรอนมากเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนก็จะมากตามไปด้วย แต่จำนวนนิรอนนั้นไม่ได้เป็นสิ่งที่จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีคุณภาพ นั่นคือจำนวนนิรอนในชั้นซ่อนที่มากไม่ได้เป็นตัวชี้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมจะมีประสิทธิภาพดี ในบางปัญหาจำนวนนิรอนในชั้นซ่อนที่น้อยก็อาจจะมีประสิทธิภาพดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนนิรอนในชั้นซ่อนที่มาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ โดยกำหนดให้จำนวนนิรอนของชั้นซ่อนที่ 1 มากกว่าจำนวนนิรอนของชั้นซ่อนที่ 2 อยู่จำนวน 1 นิรอน

2. ขั้นตอนการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ

การเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนทั้ง 2 ชั้นและชั้นเอาต์พุตเลือกจากฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Log-Sigmoid, Tan-Sigmoid และ Linear แล้วทำการเปรียบเทียบว่าโครงข่ายของโครงข่ายประสาทเทียมระบบไหนที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดซึ่งดูจากค่า MAPE ของชุดทดสอบ

4.2.2 การจำลองโดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้

4.2.2.1 เงื่อนไขในการฝึกสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการฝึกสอนระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบไฮบริด นั้น จะมีเงื่อนไขพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสิ้นสุดการฝึกสอนดังนี้

1. η และ m Factor

Adaptive Learning Rate (η) และ Momentum Term (m) เป็นค่าคงที่ใช้เร่งการปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้ลู่ออกค่าตอบ โดยที่ m มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และจะเซตค่าเริ่มต้นไว้ที่ 0.9 ส่วน η จะเซตค่าเริ่มต้นไว้ที่ 0.01 และค่าตัวแปรทั้งสองจะถูกปรับระหว่างการฝึกสอนโดยในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแต่ละรอบนั้นหากค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้น จะมีการปรับค่า η ให้ลดลงและค่า m เท่ากับศูนย์ จนกระทั่งค่า Gradient Factor มีแนวโน้มที่จะลดลงจากนั้นค่า η จะถูกปรับขึ้นเรื่อยๆ ส่วน m ใช้ค่าเดิม และเมื่อมีการปรับเพิ่มขึ้นอีกค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้น การปรับค่า η และ m นั้นจะใช้ค่าเดิมและการฝึกสอนจะสิ้นสุดลง

2. Least Squares Method

เป็นวิธีการกำลังสองน้อยที่สุดเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า จากชุดข้อมูลที่ทราบค่า โดยรูปแบบจะเป็นเชิงเส้น (Linear) ในค่าสัมประสิทธิ์เลขยกกำลังของทุกๆ สัมประสิทธิ์มีค่าเป็นหนึ่งทุกตัวดังนั้นจึงเป็นเชิงเส้น

3. ปริมาณข้อมูลฝึกสอน

ปริมาณข้อมูลที่นำมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้นั้นจะเป็นเงื่อนไขหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการหาค่าตอบของระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ โดยทั่วไปปัญหาที่ซับซ้อน การใช้ข้อมูลฝึกสอนจำนวนมาก จะทำให้ระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้มีประสิทธิภาพการหาค่าตอบดีขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลฝึกสอนด้วย

4. คุณภาพของข้อมูลฝึกสอน

ในที่นี้คือการกระจายของชุดข้อมูลฝึกสอน โดยระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้จะสามารถหาค่าตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลฝึกสอนจะต้องมีการกระจายที่ดีพอและข้อมูลทดสอบควรอยู่ในช่วงของการกระจายดังกล่าว

4.2.2.2 เงื่อนไขในการทดสอบ

1. ประสิทธิภาพในการทดสอบ

การวัดประสิทธิภาพของระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้และโครงข่ายประเทียมนั้น จะวัดค่าผิดพลาดของค่าตอบของข้อมูลทดสอบที่ได้จากระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ที่ผ่านการฝึกสอนแล้วเป็นเกณฑ์ สำหรับระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้นี้ใช้รากที่สองค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ตามสมการ 4.2

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Real\ Result_i - Predicted\ Result_i]^2} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่	$Real\ result_i$	คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงในอาคาร
	$Predicted\ result_i$	คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนายโดย ANN
	n	คือ จำนวนข้อมูลทดสอบ

4.2.3 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการจำลอง

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการจำลองมีทั้งหมด 60 ชุด แบ่งเป็นข้อมูลฝึกสอน 48 ชุด (มกราคม 2549 – ธันวาคม 2552) และข้อมูลทดสอบ 12 ชุด (มกราคม 2553 – ธันวาคม 2553) โดยการแบ่งชุดฝึกสอนและชุดทดสอบตามขนาดอุตสาหกรรม และแยกแต่ละขนาดอุตสาหกรรมเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมตรงกับเดือนที่ทำนาย แบบที่ 2 ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมย้อนหลัง 3 เดือน ข้อมูลสำหรับการจำลองแสดงในตารางที่ 4.6 ถึง 4.11

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลอินพุตของข้อมูลฝึกสอน แบบที่ 1

INPUT							
ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรม (%)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)		
					ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2549	1	25.3	36.5	7.6	865816	31869	2735
2549	2	27.0	37.7	7.6	868704	32090	2730
2549	3	28.4	41.3	7.6	871698	32381	2741
2549	4	28.8	39.3	5.7	874982	32566	2755
2549	5	28.0	38.1	5.7	878069	32763	2756
2549	6	28.2	37.4	5.7	883060	32863	2759
2549	7	27.9	35.9	5.5	889936	33044	2781
2549	8	27.6	36.1	5.5	895028	33213	2791
2549	9	27.3	36.5	5.5	900642	33269	2795
2549	10	27.1	35.6	5.8	905443	33376	2797
2549	11	27.1	36.6	5.8	909698	33546	2816
2549	12	25.1	36.1	5.8	912049	33746	2820
2550	1	25.1	36.1	4.6	914435	33869	2815

ข้อมูลฝึกสอน

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

INPUT							
ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อัตราขยายตัวสาขา อุตสาหกรรม (%)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)		
					ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2550	2	26.5	38.5	4.6	916664	34030	2829
2550	3	28.6	40.3	4.6	919048	34356	2842
2550	4	29.0	40.9	4.5	922010	34742	2855
2550	5	28.0	38.2	4.5	932423	34913	2929
2550	6	28.6	37.8	4.5	943919	35122	2944
2550	7	27.8	36.8	5.7	948346	35064	3080
2550	8	27.8	36.5	5.7	953702	35118	3132
2550	9	27.5	36.1	5.7	965782	35255	3155
2550	10	26.6	35.5	8.1	970870	35351	3159
2550	11	25.2	34.7	8.1	974558	35437	3159
2550	12	25.8	36.0	8.1	977818	35526	3155
2551	1	25.3	36.2	9.5	979335	35704	3155
2551	2	25.7	36.6	9.5	981675	35871	3158
2551	3	27.8	38.8	9.5	983476	36282	3200
2551	4	28.7	39.8	7.7	986495	36567	3209
2551	5	27.9	37.0	7.7	990126	36666	3227
2551	6	27.9	36.4	7.7	1002341	36805	3249
2551	7	27.7	36.7	6.1	1013302	37039	3262
2551	8	27.7	36.3	6.1	1019375	37096	3275
2551	9	27.3	35.8	6.1	1016775	37257	3298
2551	10	27.3	35.5	-6.8	1016245	37403	3313
2551	11	25.6	35.5	-6.8	1017539	37456	3324
2551	12	24.2	34.4	-6.8	1019569	37529	3331
2552	1	23.7	35.0	-14.4	1022530	37689	3463
2552	2	27.2	38.8	-14.4	1021929	37786	3476

ข้อมูลฝึกสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการประชุมเพื่อการศึกษาระหว่างหน่วยงาน และอาจไม่เหมาะที่จะเผยแพร่สู่สาธารณะ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

INPUT								ข้อมูลฝึกสอน
ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อัตราขยายตัวสาขา อุตสาหกรรม (%)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)			
					ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
2552	3	27.9	38.5	-14.4	1022899	37973	3475	ข้อมูลฝึกสอน
2552	4	28.9	39.5	-8.7	1024567	38320	3489	
2552	5	28.2	38.2	-8.7	1027953	38379	3508	
2552	6	28.4	36.9	-8.7	1032613	38361	3504	
2552	7	27.8	36.6	-5.9	1037754	38500	3514	
2552	8	28.2	37.4	-5.9	1041031	38579	3529	
2552	9	27.7	36.7	-5.9	1047691	38751	3532	
2552	10	27.3	36.2	9.9	1052318	38819	3551	
2552	11	26.2	36.8	9.9	1058413	38863	3562	
2552	12	25.7	35.6	9.9	1063392	38988	3563	

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลอินพุตของข้อมูลทดสอบ แบบที่ 1

INPUT								ข้อมูลทดสอบ
ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อัตราขยายตัวสาขา อุตสาหกรรม (%)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)			
					ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
2553	1	26.2	35.9	22.9	1067002	39151	3575	ข้อมูลทดสอบ
2553	2	27.9	38.6	22.9	1069266	39320	3580	
2553	3	28.8	40.3	22.9	1071640	39603	3625	
2553	4	30.4	41.3	17.6	1073620	39951	3635	
2553	5	30.2	41.1	17.6	1076536	40195	3660	
2553	6	29.2	38.9	17.6	1079088	40351	3695	
2553	7	28.2	37.4	11.6	1081128	40437	3722	

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

INPUT								ข้อมูลทดสอบ
ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อัตราขยายตัวสาขา อุตสาหกรรม (%)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)			
					ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
2553	8	27.6	36.3	11.6	1083426	40672	3758	ข้อมูลทดสอบ
2553	9	27.7	36.0	11.6	1084932	40799	3783	
2553	10	26.9	35.6	4.8	1087304	40757	3901	
2553	11	26.1	35.3	4.8	1089396	40762	3924	
2553	12	25.4	35.1	4.8	1091302	41018	3937	

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลอินพุตของข้อมูลฝึกสอน แบบที่ 2

INPUT								ข้อมูลฝึกสอน
ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อัตราขยายตัวสาขา อุตสาหกรรม (%)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)			
					ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
2549	1	25.3	36.5	6	857875	31500	2719	ข้อมูลฝึกสอน
2549	2	27.0	37.7	6	860975	31666	2729	
2549	3	28.4	41.3	6	862902	91765	2734	
2549	4	28.8	39.3	7.6	865816	31869	2735	
2549	5	28.0	38.1	7.6	868704	32090	2730	
2549	6	28.2	37.4	7.6	871698	32381	2741	
2549	7	27.9	35.9	5.7	874982	32566	2755	
2549	8	27.6	36.1	5.7	878069	32763	2756	
2549	9	27.3	36.5	5.7	883060	32863	2759	
2549	10	27.1	35.6	5.5	889936	33044	2781	
2549	11	27.1	36.6	5.5	895028	33213	2791	
2549	12	25.1	36.1	5.5	900642	33269	2795	

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ หรือของบุคคลอื่นที่มิใช่บริษัทฯ ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

INPUT							
ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อัตราขยายตัวสาขา อุตสาหกรรม (%)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)		
					ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2550	1	25.1	36.1	5.8	905443	33376	2797
2550	2	26.5	38.5	5.8	909698	33546	2816
2550	3	28.6	40.3	5.8	912049	33746	2820
2550	4	29.0	40.9	4.6	914435	33869	2815
2550	5	28.0	38.2	4.6	916664	34030	2829
2550	6	28.6	37.8	4.6	919048	34356	2842
2550	7	27.8	36.8	4.5	922010	34742	2855
2550	8	27.8	36.5	4.5	932423	34913	2929
2550	9	27.5	36.1	4.5	943919	35122	2944
2550	10	26.6	35.5	5.7	948346	35064	3080
2550	11	25.2	34.7	5.7	953702	35118	3132
2550	12	25.8	36.0	5.7	965782	35255	3155
2551	1	25.3	36.2	8.1	970870	35351	3159
2551	2	25.7	36.6	8.1	974558	35437	3159
2551	3	27.8	38.8	8.1	977818	35526	3155
2551	4	28.7	39.8	9.5	979335	35704	3155
2551	5	27.9	37.0	9.5	981675	35871	3158
2551	6	27.9	36.4	9.5	983476	36282	3200
2551	7	27.7	36.7	7.7	986495	36567	3209
2551	8	27.7	36.3	7.7	990126	36666	3227
2551	9	27.3	35.8	7.7	1002341	36805	3249
2551	10	27.3	35.5	6.1	1013302	37039	3262
2551	11	25.6	35.5	6.1	1019375	37096	3275
2551	12	24.2	34.4	6.1	1016775	37257	3298
2552	1	23.7	35.0	-6.8	1016245	37403	3313

ข้อมูลฝึกสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการประชุมเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่แจ้งให้ทราบก่อน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

INPUT								ข้อมูลฝึกสอน
ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อัตราขยายตัวสาขา อุตสาหกรรม (%)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)			
					ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
2552	2	27.2	38.8	-6.8	1017539	37456	3324	ข้อมูลฝึกสอน
2552	3	27.9	38.5	-6.8	1019569	37529	3331	
2552	4	28.9	39.5	-14.4	1022530	37689	3463	
2552	5	28.2	38.2	-14.4	1021929	37786	3476	
2552	6	28.4	36.9	-14.4	1022899	37973	3475	
2552	7	27.8	36.6	-8.7	1024567	38320	3489	
2552	8	28.2	37.4	-8.7	1027953	38379	3508	
2552	9	27.7	36.7	-8.7	1032613	38361	3504	
2552	10	27.3	36.2	-5.9	1037754	38500	3514	
2552	11	26.2	36.8	-5.9	1041031	38579	3529	
2552	12	25.7	35.6	-5.9	1047691	38751	3532	

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลอินพุตของข้อมูลทดสอบ แบบที่ 2

INPUT								ข้อมูลทดสอบ
ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อัตราขยายตัวสาขา อุตสาหกรรม (%)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)			
					ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
2553	1	26.2	35.9	9.9	1052318	38819	3551	ข้อมูลทดสอบ
2553	2	27.9	38.6	9.9	1058413	38863	3562	
2553	3	28.8	40.3	9.9	1063392	38988	3563	
2553	4	30.4	41.3	22.9	1067002	39151	3575	
2553	5	30.2	41.1	22.9	1069266	39320	3580	
2553	6	29.2	38.9	22.9	1071640	39603	3625	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

INPUT								ข้อมูลทดสอบ
ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรม (%)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)			
					ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
2553	7	28.2	37.4	17.6	1073620	39951	3635	ข้อมูลทดสอบ
2553	8	27.6	36.3	17.6	1076536	40195	3660	
2553	9	27.7	36.0	17.6	1079088	40351	3695	
2553	10	26.9	35.6	11.6	1081128	40437	3722	
2553	11	26.1	35.3	11.6	1083426	40672	3758	
2553	12	25.4	35.1	11.6	1084932	40799	3783	

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลเอาท์พุทของข้อมูลฝึกสอน

OUTPUT					ข้อมูลฝึกสอน
ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)			
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
2549	1	470350	1033952	2810156	ข้อมูลฝึกสอน
2549	2	477997	1039501	2813788	
2549	3	546507	1232375	3224692	
2549	4	572160	1127705	2894788	
2549	5	573665	1233908	3219041	
2549	6	554691	1218409	3147306	
2549	7	559292	1215299	3185902	
2549	8	559998	1236116	3192208	
2549	9	552407	1216052	3158790	
2549	10	550156	1209583	3182134	
2549	11	550640	1217622	3105214	
2549	12	545441	1166359	2844752	
2550	1	499245	1136241	3006312	ข้อมูลฝึกสอน
2550	2	492086	1108327	2893339	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

OUTPUT				
ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2550	3	605304	1336086	3333645
2550	4	614642	1234601	2947241
2550	5	611772	1277595	3341904
2550	6	626126	1300749	3274532
2550	7	613948	1231253	3361515
2550	8	614127	1227190	3403668
2550	9	600298	1224547	3362608
2550	10	603061	1217647	3435298
2550	11	592007	1193654	3312374
2550	12	583030	1181131	3169290
2551	1	573101	1162403	3275488
2551	2	575900	1150469	3176161
2551	3	611171	1296907	3573234
2551	4	661970	1212839	3188600
2551	5	644892	1299059	3547375
2551	6	632924	1272079	3447476
2551	7	654794	1298884	3569156
2551	8	657427	1311182	3491662
2551	9	633515	1284344	3289067
2551	10	662861	1259640	3322516
2551	11	597429	1191407	3024297
2551	12	570589	1054221	2697134
2552	1	558996	1012738	2645179
2552	2	571801	1073384	2696208
2552	3	696856	1252384	3170982
2552	4	688081	1172811	2861576
2552	5	704244	1287479	3242551

ข้อมูลเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

OUTPUT					ข้อมูลเดือน
ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)			
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
2552	6	672765	1232097	3327793	ข้อมูลเดือน
2552	7	684239	1263223	3392400	
2552	8	703899	1311191	3430485	
2552	9	683501	1278063	3384411	
2552	10	690544	1288381	3565090	
2552	11	661270	1245016	3350523	
2552	12	634953	1246361	3292629	

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลเอาท์พุทของข้อมูลทดสอบ

OUTPUT					ข้อมูลทดสอบ
ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)			
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
2553	1	665036	1222395	3392123	ข้อมูลทดสอบ
2553	2	654381	1216954	3352757	
2553	3	761702	1414293	3806286	
2553	4	783301	1333727	3436324	
2553	5	827116	1450939	3806403	
2553	6	765092	1391449	3670769	
2553	7	759787	1402831	3799905	
2553	8	726546	1374598	3786530	
2553	9	707137	1367992	3723775	
2553	10	731382	1332418	3890232	
2553	11	655854	1276930	3691598	
2553	12	689295	1276788	3643381	

การจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยแยกเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก อุตสาหกรรมขนาดกลาง และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทดัดแปลงเปรียบเทียบกับระบบอนุमानพีซซี
โครงข่ายปรับตัวได้ ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ จะใช้ข้อมูลเดียวกันทั้งหมด
แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์จากค่า MAPE ของชุดทดสอบที่ดีที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN)

การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม แบ่งการทดลองเป็น 3 ประเภทตามขนาดอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ แต่ละขนาดอุตสาหกรรม แยกการใช้ข้อมูลเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมตรงกับเดือนที่ทำนาย แบบที่ 2 ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมย้อนหลัง 3 เดือน

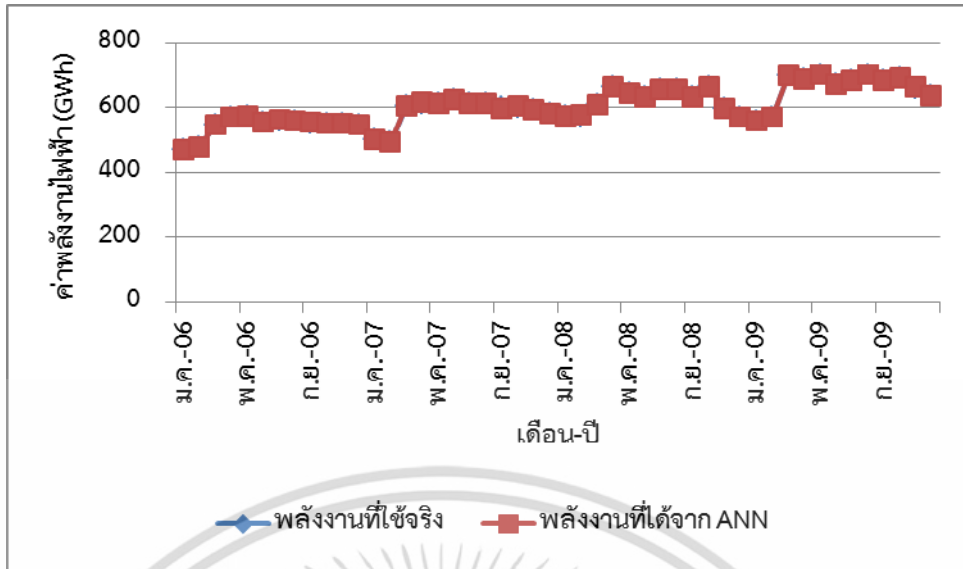
5.1.1 ผลการทดลอง ANN ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

จากการทดลองปรับเปลี่ยนฟังก์ชันถ่ายโอน และปรับโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ทั้ง ชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 ผลการทดลองของการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แสดงในตารางที่ 5.1 ถึง 5.3 และ รูปที่ 5.1 ถึง 5.4

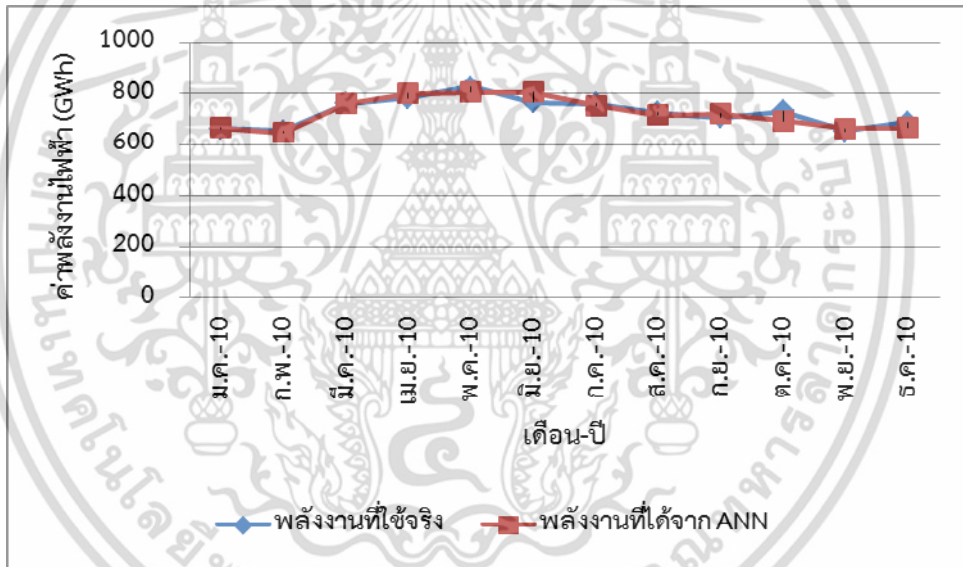
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1

ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	5	4	1.3155	0.6046	2.6893
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	8	7	0.5896	0.3230	2.5392
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	11	10	0.6790	0.6024	2.6835
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	7	6	0.7284	0.2606	2.5890
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	3	2	2.5274	0.8585	2.4707
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	6	5	0.9575	0.8537	2.6093
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	14	13	0.8881	0.2781	2.6722
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	5	4	1.4354	1.7505	2.4694
Linear	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	9	8	1.0901	0.0730	2.1194
Linear	Log-Sigmoid	Linear	4	3	2.4442	1.0510	2.2342
Linear	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	13	12	1.9372	0.6937	2.5074
Linear	Tan-Sigmoid	Linear	11	10	0.9904	9.9441	2.7350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1



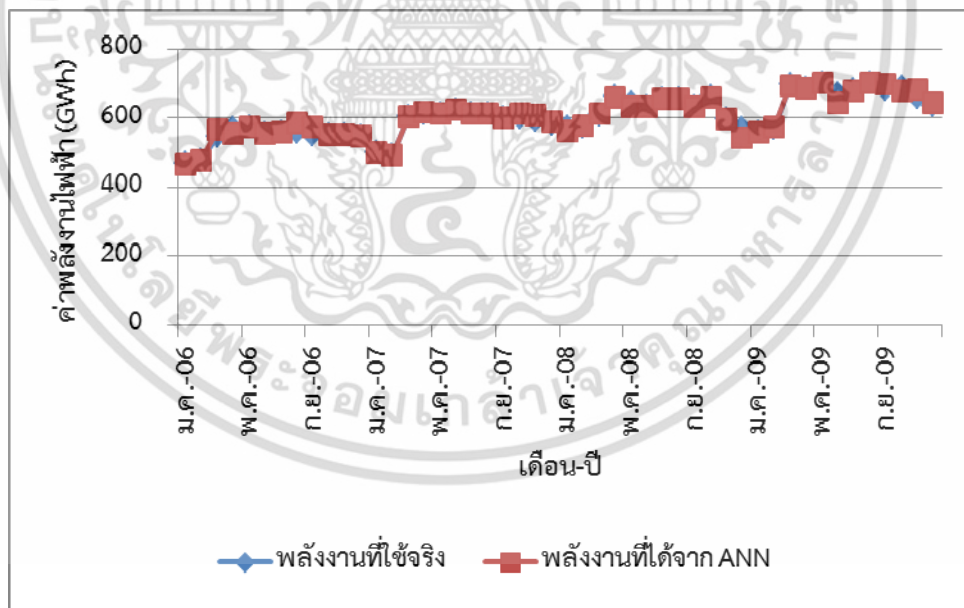
รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1

จากตารางที่ 5.1 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 9 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 8 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Log-Sigmoid ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt 500 epochs โดยค่า Weight และ Bias เริ่มต้นจากการสุ่ม ทำการเรียนรู้ 30 รอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 0.0730% และค่า MAPE ของชุดการทดสอบ 2.119% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

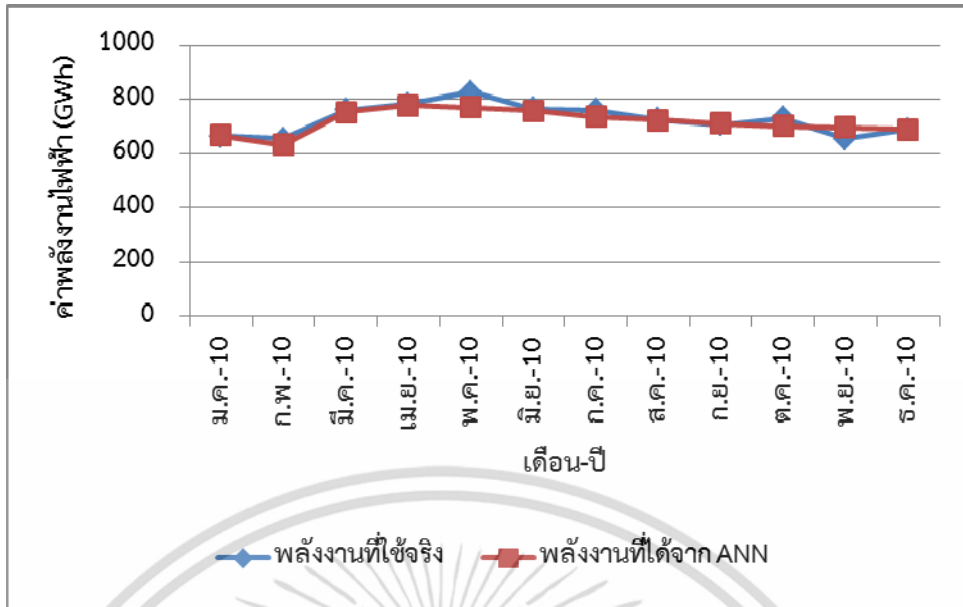
ตารางที่ 5.2 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2

ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	7	6	0.6443	1.5842	2.6265
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	5	4	1.0967	0.4461	2.7528
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	12	11	0.6393	1.0972	2.3493
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	7	6	0.6159	1.7675	2.9745
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	7	6	0.8918	0.4035	2.6037
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	6	5	0.9583	3.5577	2.6917
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	13	12	1.1370	0.4083	2.3564
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	5	4	1.7370	0.3724	2.3940
Linear	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	10	9	1.1505	0.2655	2.4835
Linear	Log-Sigmoid	Linear	13	12	0.9034	0.5538	2.4749
Linear	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	5	4	2.6748	2.5212	2.7414
Linear	Tan-Sigmoid	Linear	5	4	2.5705	1.0055	2.3116



รูปที่ 5.3 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2

จากตารางที่ 5.2 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 5 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 4 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt 500 epochs โดยค่า Weight และ Bias เริ่มต้นจากการสุ่ม ทำการเรียนรู้ 30 รอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 1.005% และค่า MAPE ของ ชุดการทดสอบ 2.3116% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.3 และ 5.4

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1 กับแบบที่ 2

แบบที่	ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
1	Linear	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	9	8	1.0901	0.0730	2.1194
2	Linear	Tan-Sigmoid	Linear	5	4	2.5705	1.0055	2.3116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.3 ผลการจำลองโครงข่ายประสาทเทียม อุตสาหกรรมขนาดเล็กแบบที่ 1 ให้ผลการจำลองที่ดีกว่าแบบที่ 2 ทั้งเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ ค่า Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ของข้อมูลชุดฝึกสอน และชุดทดสอบ

5.1.2 ผลการทดลอง ANN ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง

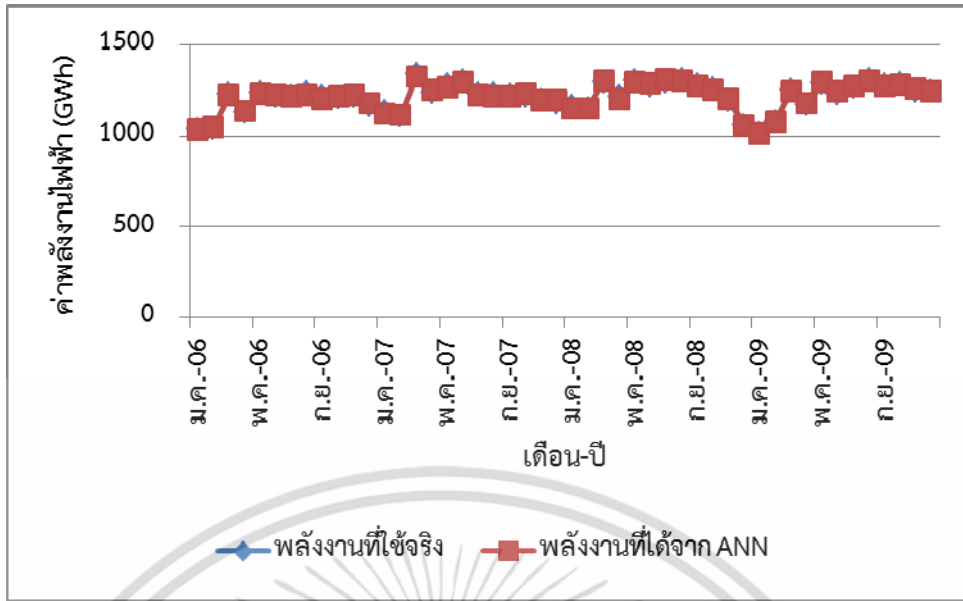
จากการทดลองปรับเปลี่ยนฟังก์ชันถ่ายโอน และปรับโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ทั้งชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 ผลการทดลองของการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แสดงในตารางที่ 5.4 ถึง 5.6 และ รูปที่ 5.5 ถึง 5.8

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1

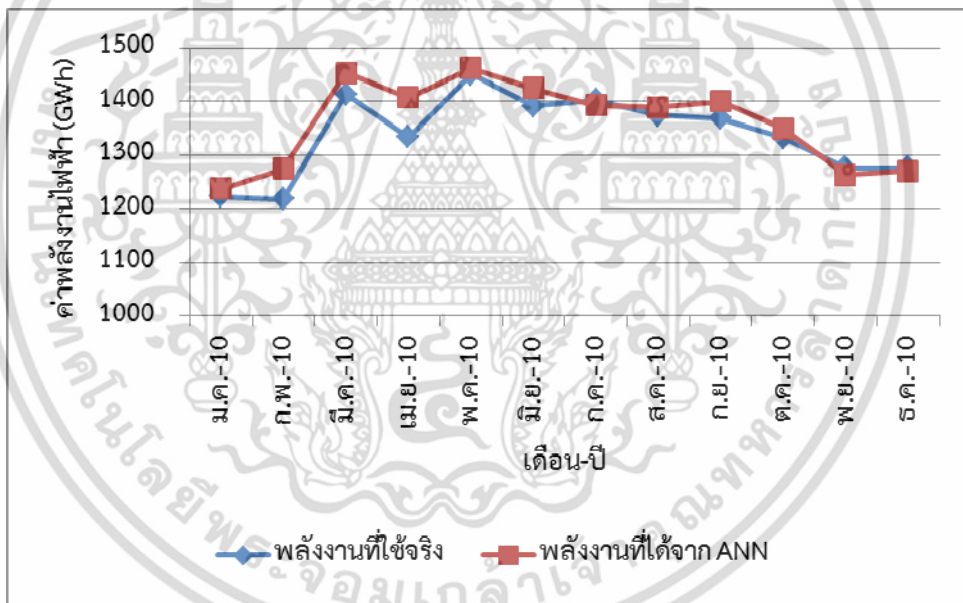
ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	3	2	2.5317	0.4243	2.5175
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	9	8	0.6950	2.7390	2.6528
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	13	12	0.7819	9.0635	2.2912
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	8	7	0.6550	6.0286	2.4844
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	4	3	2.5864	0.5477	2.0304
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	3	2	2.5434	3.5379	2.4792
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	3	2	2.5502	0.4358	2.3658
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	10	9	0.9775	4.0846	2.2230
Linear	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	5	4	2.4386	2.5865	2.4291
Linear	Log-Sigmoid	Linear	6	5	2.5579	2.6282	2.4032
Linear	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	10	9	1.6391	9.3470	2.1951
Linear	Tan-Sigmoid	Linear	8	7	2.1443	3.4086	2.2105

จากตารางที่ 5.4 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 4 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Log-Sigmoid ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 3 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Log-Sigmoid ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt 500 epochs โดยค่า Weight และ Bias เริ่มต้นจากการสุ่ม ทำการเรียนรู้ 30 รอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 0.5477% และค่า MAPE ของ ชุดการทดสอบ 2.0304% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.5 และ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1



รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1

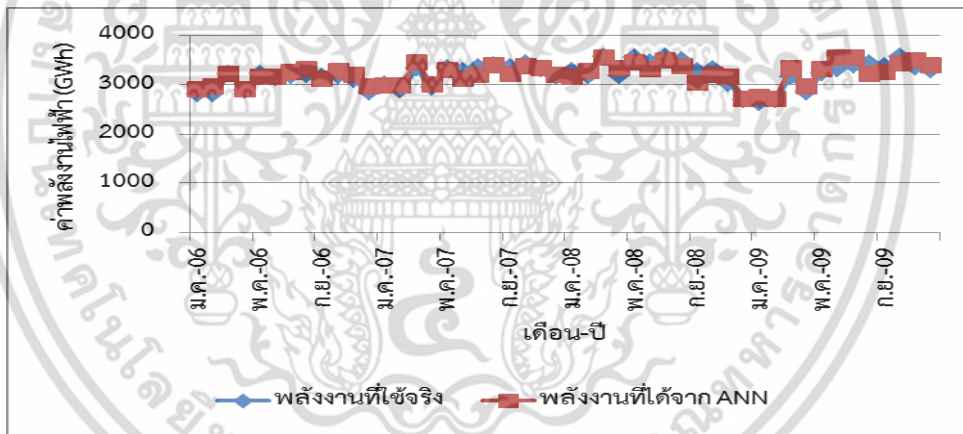
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2

ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	5	4	1.8464	0.0511	2.0238
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	3	2	2.5277	3.5636	2.3447

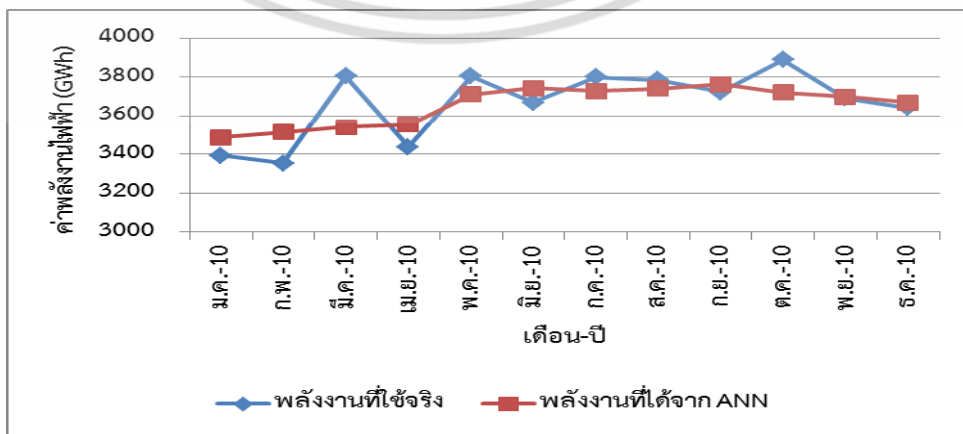
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	9	8	0.6718	3.1146	2.2579
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	3	2	2.5263	4.8792	2.4289
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	16	15	1.2899	2.6704	2.1535
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	4	3	2.5294	1.9981	2.2764
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	13	12	1.0215	2.9295	2.2085
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	5	4	1.7110	2.7508	2.2657
Linear	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	7	6	2.8265	2.4157	2.2250
Linear	Log-Sigmoid	Linear	8	7	2.6083	2.4872	2.2895
Linear	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	6	5	2.6881	0.6903	1.9866
Linear	Tan-Sigmoid	Linear	3	2	2.1822	2.1398	1.8669



รูปที่ 5.7 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2



รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร กรุณาแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

จากตารางที่ 5.5 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 3 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 2 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt 500 epochs โดยค่า Weight และ Bias เริ่มต้นจากการสุ่ม ทำการเรียนรู้ 30 รอบเพื่อให้ได้ค่าตอบที่ดีที่สุด ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 2.1398% และค่า MAPE ของชุดการทดสอบ 1.8669% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1 กับแบบที่ 2

แบบที่	ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
1	Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	4	3	2.5864	0.5477	2.0304
2	Linear	Tan-Sigmoid	Linear	3	2	2.1822	2.1398	1.8669

จากตารางที่ 5.6 ผลการจำลองโครงข่ายประสาทเทียม อุตสาหกรรมขนาดกลางแบบที่ 2 ให้ผลการจำลองที่ดีกว่าแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาค่า MAPE ของข้อมูลชุดทดสอบ ถึงแม้ว่าค่า MAPE ของข้อมูลชุดฝึกสอน และเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ ของแบบที่ 1 จะดีกว่าแบบที่ 2

5.1.3 ผลการทดลอง ANN ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

จากการทดลองปรับเปลี่ยนฟังก์ชันถ่ายโอน และปรับโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ทั้งชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 ผลการทดลองของการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แสดงในตารางที่ 6.7 ถึง 6.9 และ รูปที่ 6.9 ถึง 6.12

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1

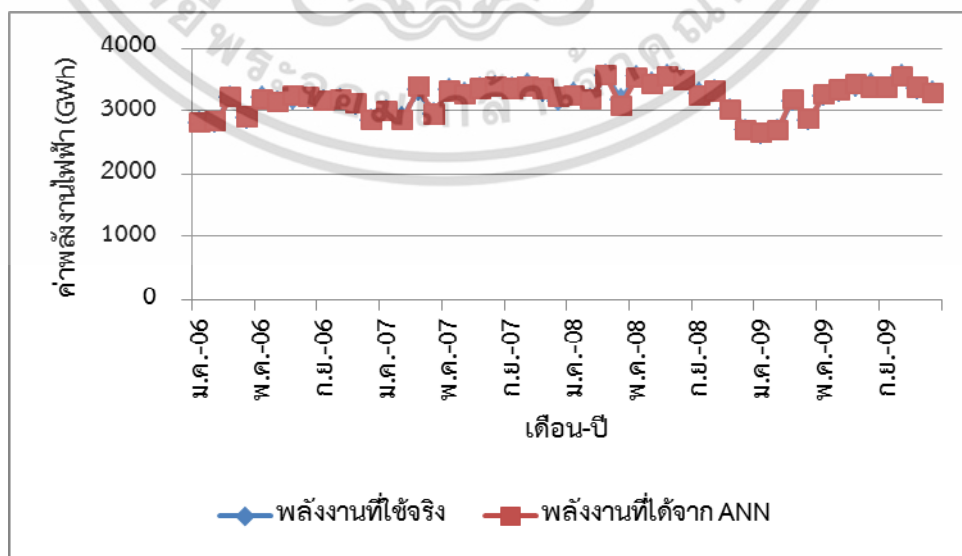
ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	16	15	0.7105	11.0137	2.8711
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	8	7	0.5817	8.1112	2.9066
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	12	11	0.6174	7.8268	2.7801

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

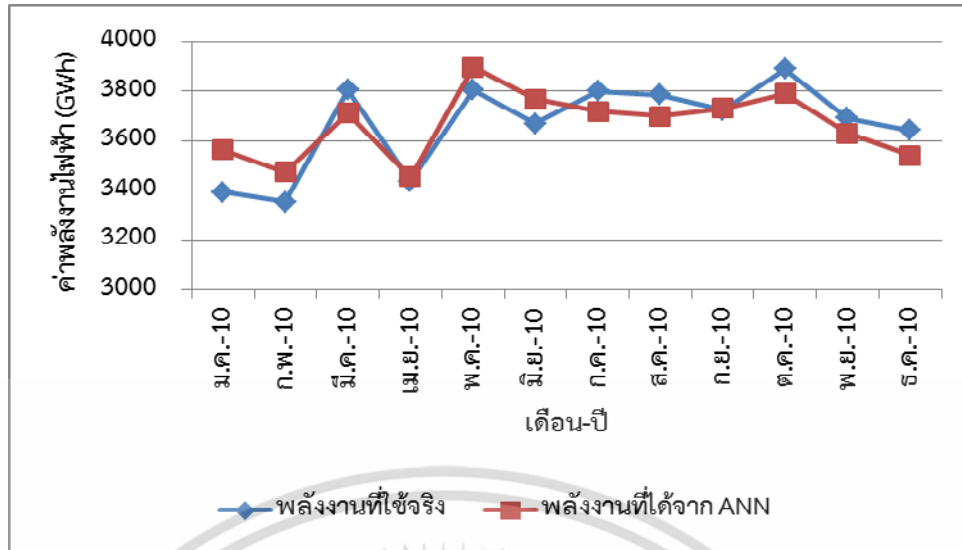
ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	3	2	2.5135	0.6638	2.3578
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	8	7	0.7307	0.2804	3.0306
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	4	3	2.6200	0.1894	2.6786
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	7	6	0.8176	11.9702	2.9926
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	9	8	0.7534	5.8078	3.1341
Linear	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	13	12	1.2080	12.2250	2.9197
Linear	Log-Sigmoid	Linear	16	15	0.7892	5.7322	2.6647
Linear	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	15	14	1.7268	3.6813	2.7281
Linear	Tan-Sigmoid	Linear	6	5	2.5813	4.3350	3.1049

จากตารางที่ 5.7 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 3 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 2 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt 500 epochs โดยค่า Weight และ Bias เริ่มต้นจากการสุ่ม ทำการเรียนรู้ 30 รอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 0.6638% และค่า MAPE ของ ชุดการทดสอบ 2.3578% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปแบบที่ 5.9 และ 5.10



รูปที่ 5.9 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1

จากตารางที่ 5.8 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 7 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 6 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt 500 epochs โดยค่า Weight และ Bias เริ่มต้นจากการสุ่ม ทำการเรียนรู้ 30 รอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 3.0998% และค่า MAPE ของชุดการทดสอบ 2.6527% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.11 และ 5.12

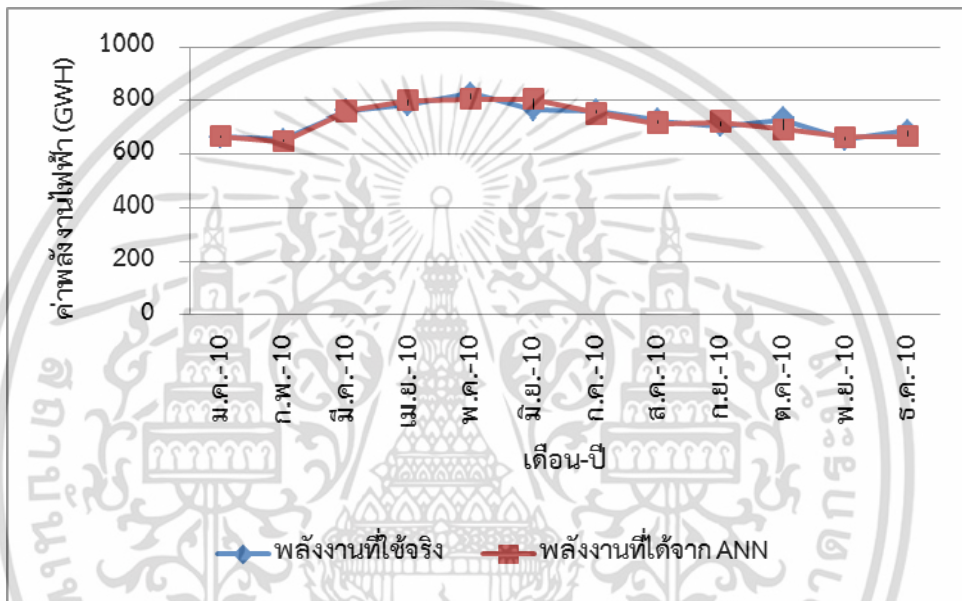
ตารางที่ 5.8 ผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2

ชั้นซ่อนที่ 1	ฟังก์ชันถ่ายโอน		จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	4	3	2.6137	2.2571	3.0472
Tan-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	3	2	2.9251	3.3138	2.9487
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	12	11	0.6907	3.7260	2.8425
Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	4	3	2.5725	5.2071	3.1414
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	11	10	0.7521	4.4035	2.8429
Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Linear	9	8	0.8556	6.2700	2.9805
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	10	9	0.7853	5.5893	2.9286
Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	4	3	2.6014	1.2531	2.9512
Linear	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	15	14	0.7187	8.2316	2.8211

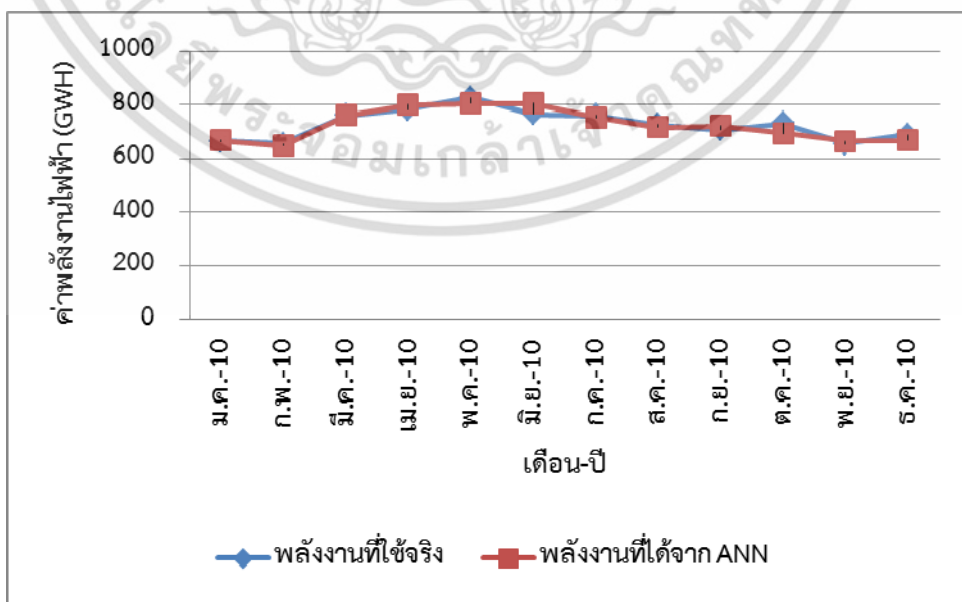
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 (ต่อ)

ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
Linear	Log-Sigmoid	Linear	6	5	2.6441	6.1218	3.0060
Linear	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	13	12	1.1325	9.6662	2.8081
Linear	Tan-Sigmoid	Linear	7	6	2.7655	3.0998	2.6527



รูปที่ 5.11 ผลการฝึกสอน ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2



รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบ ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1 กับแบบที่ 2

แบบที่	ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาการฝึกสอน (นาที)	MAPE (%) การเรียนรู้	MAPE (%) การทดสอบ
	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2			
1	Tan-Sigmoid	Tan-Sigmoid	Linear	3	2	2.5135	0.6638	2.3578
2	Linear	Tan-Sigmoid	Linear	7	6	2.7655	3.0998	2.6527

จากตารางที่ 5.9 ผลการจำลองโครงข่ายประสาทเทียม อุตสาหกรรมขนาดเล็กแบบที่ 1 ให้ผลการจำลองที่ดีกว่าแบบที่ 2 ทั้งเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ ค่า Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ของข้อมูลชุดฝึกสอน และชุดทดสอบ

5.2 ผลการทดลองโดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS)

การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ แบ่งการทดลองเป็น 3 ประเภทตามขนาดอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ แต่ละขนาดอุตสาหกรรม แยกการใช้ข้อมูลเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมตรงกับเดือนที่ทำนาย แบบที่ 2 ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมย้อนหลัง 3 เดือน

5.2.1 ผลการทดลอง ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

จากการทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนฟังก์ชันสมาชิก epochs และฟังก์ชันสมาชิก ผลการทดลองของการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แสดงในตารางที่ 5.10 ถึง 5.12 และ รูปที่ 5.13 ถึง 5.16

ตารางที่ 5.10 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1

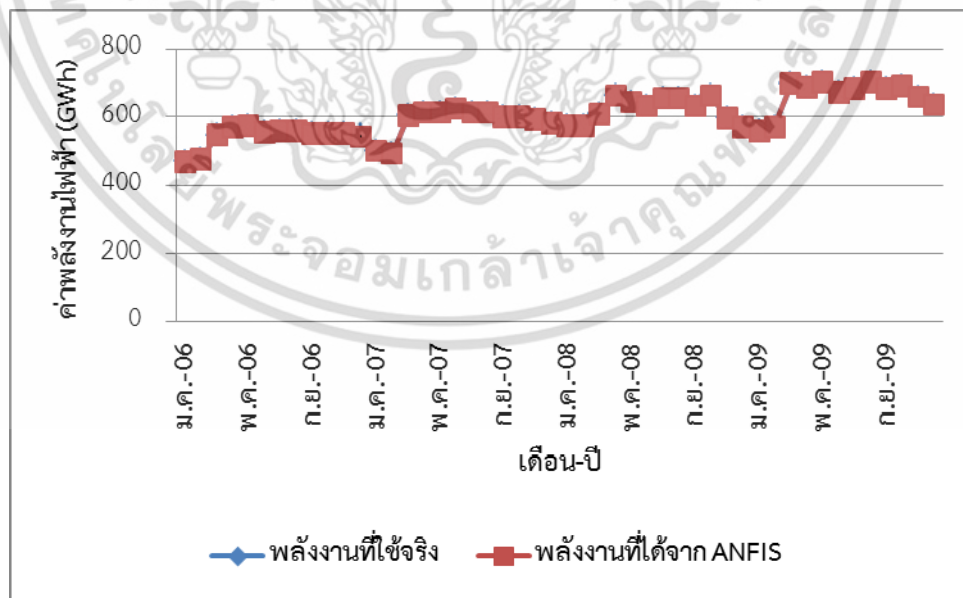
ที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาที)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	constant	0.2133	0.0363	41.716
2	trimf	linear	5.2191	0.0401	44.024
3	trapmf	constant	0.2086	0.0363	64.11
4	trapmf	linear	5.4190	0.0373	64.11
5	gbellmf	constant	0.2121	0.0363	46.561
6	gbellmf	linear	5.1858	0.0975	47.177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 (ต่อ)

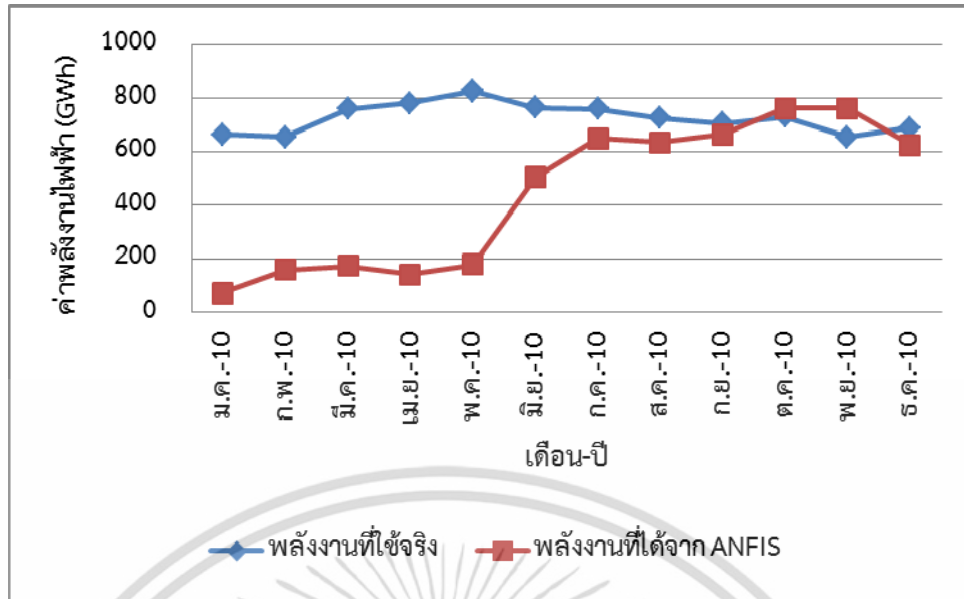
ที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
7	gausmf	constant	0.2058	0.0363	41.808
8	gausmf	linear	5.3158	0.0602	45.519
9	Gauss2mf	constant	0.2123	0.0363	62.947
10	Gauss2mf	linear	6.0235	0.0520	61.636
11	pimf	constant	0.2105	0.0366	65.381
12	pimf	linear	5.4833	0.0481	65.349
13	dsigmf	constant	0.2091	0.0380	63.565
14	dsigmf	linear	5.4778	0.0578	63.912
15	psigmf	constant	0.2071	0.0363	63.439
16	psigmf	linear	5.4743	0.0530	63.767

จากตารางที่ 5.10 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตเป็น trimf และฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตเป็น constant ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 0.0363% และค่า MAPE ของชุดการทดสอบ 41.716% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.13 และ 5.14



รูปที่ 5.13 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1

จากตารางที่ 5.11 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตเป็น trimf และฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตเป็น linear ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 0.0363% และค่า MAPE ของชุดการทดสอบ 64.616% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.15 และ 5.16

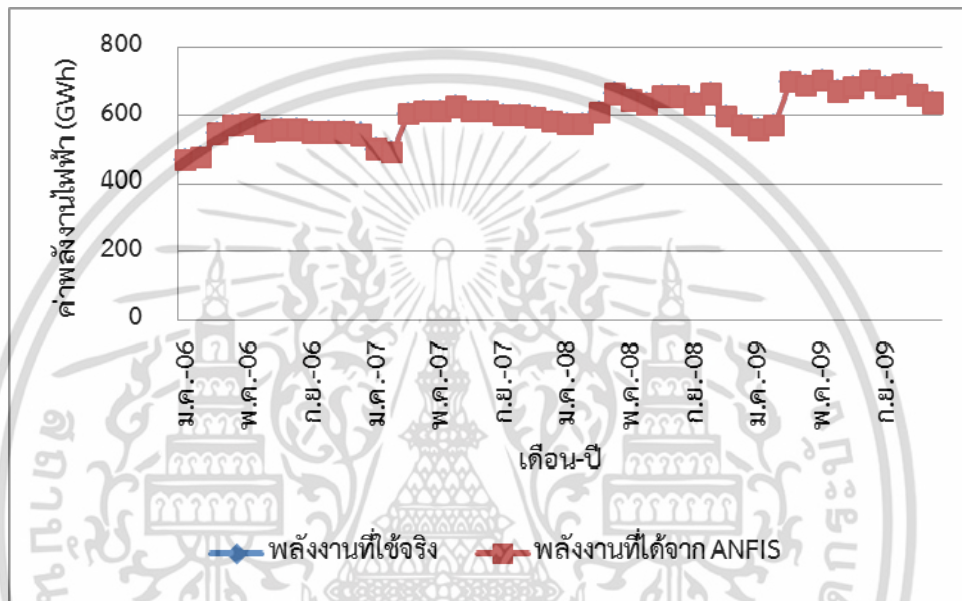
ตารางที่ 5.11 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2

ที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	constant	0.2071	0.0363	65.313
2	trimf	linear	5.4296	0.0363	64.616
3	trapmf	constant	0.2035	0.0363	96.039
4	trapmf	linear	5.4876	0.0383	95.489
5	gbellmf	constant	0.2078	0.363	67.438
6	gbellmf	linear	5.4368	0.0861	71.512
7	gaussmf	constant	0.2063	0.0363	65.000
8	gaussmf	linear	5.5065	0.149	64.954
9	Gauss2mf	constant	0.2088	0.0810	94.182
10	Gauss2mf	linear	5.3520	0.0489	94.645
11	pimf	constant	0.2085	0.1302	99.345
12	pimf	linear	5.3443	0.0424	99.302

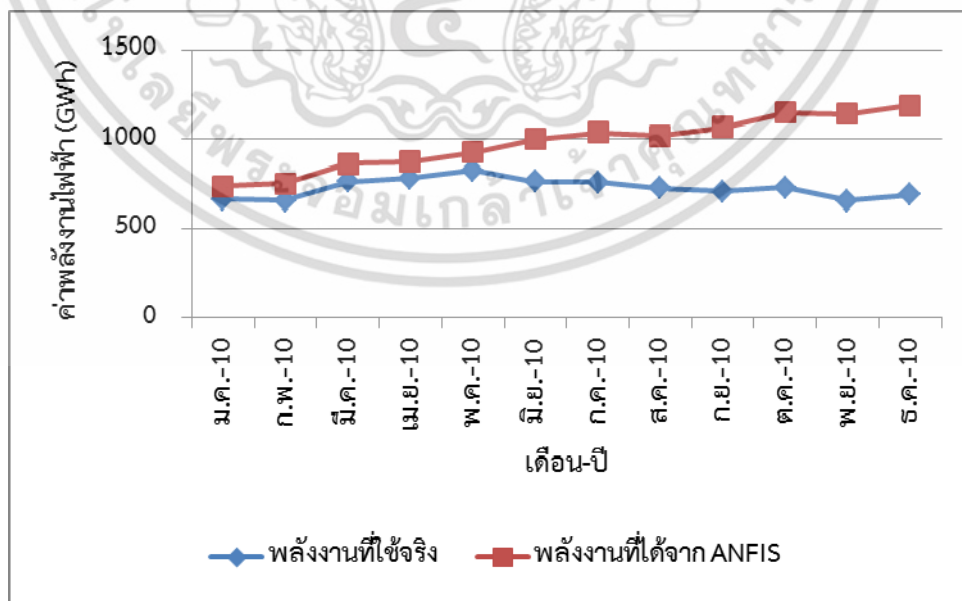
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 (ต่อ)

ที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
13	dsigmf	constant	0.2101	0.0363	95.683
14	dsigmf	linear	5.3328	0.0580	94.759
15	psigmf	constant	0.2088	1.3526	95.683
16	psigmf	linear	5.2806	0.0568	94.995



รูปที่ 5.15 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2



รูปที่ 5.16 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แบบที่ 1 กับแบบที่ 2

แบบที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	constant	0.2133	0.0363	41.716
2	trimf	linear	5.4296	0.0363	64.616

จากตารางที่ 5.12 ผลการจำลองระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) อุตสาหกรรมขนาดเล็กแบบที่ 1 ให้ผลการจำลองที่ดีกว่าแบบที่ 2 ทั้งเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ และค่า MAPE ของข้อมูลชุดทดสอบ ถึงแม้ว่าค่า MAPE ของข้อมูลชุดฝึกสอนจะเท่ากัน

5.2.2 ผลการทดลอง ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง

จากการทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนฟังก์ชันสมาชิก epochs และฟังก์ชันสมาชิก ผลการทดลองของการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แสดงในตารางที่ 5.13 ถึง 5.15 และ รูปที่ 5.17 ถึง 5.20

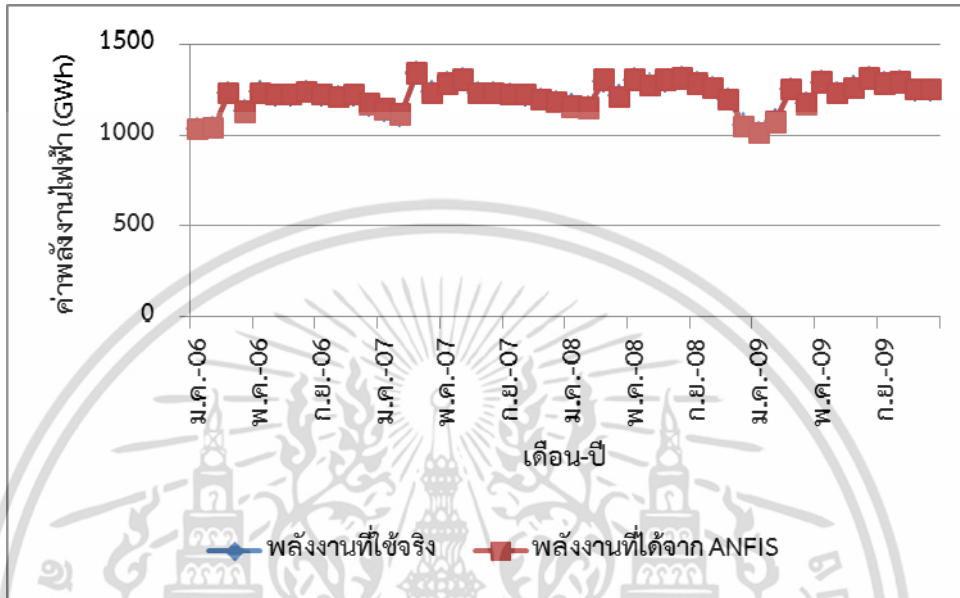
ตารางที่ 5.13 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1

ร.ที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	constant	0.1946	1.9051	24.614
2	trimf	linear	5.4909	0.2134	41.327
3	trapmf	constant	0.0646	0.2134	63.712
4	trapmf	linear	5.5128	0.2134	64.961
5	gbellmf	constant	0.2005	0.2134	39.807
6	gbellmf	linear	5.5441	0.4969	47.632
7	gaussmf	constant	0.2123	0.2134	35.116
8	gaussmf	linear	5.4141	0.2145	31.867
9	Gauss2mf	constant	0.2053	0.2135	59.944
10	Gauss2mf	linear	5.4060	0.2176	60.274
11	pimf	constant	5.3043	0.2975	65.247
12	pimf	linear	5.4381	0.2168	65.199
13	dsigmf	constant	0.2015	0.2135	63.546
14	dsigmf	linear	5.4250	0.2210	64.156
15	psigmf	constant	0.2180	0.2135	63.543

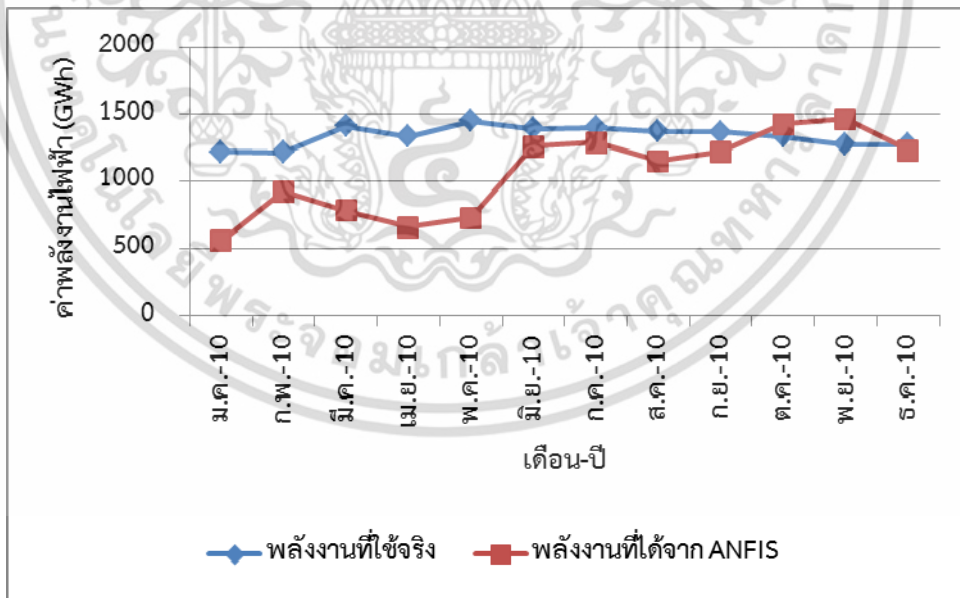
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 (ต่อ)

ที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
16	psigmf	linear	5.4626	0.2210	64.132



รูปที่ 5.17 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1



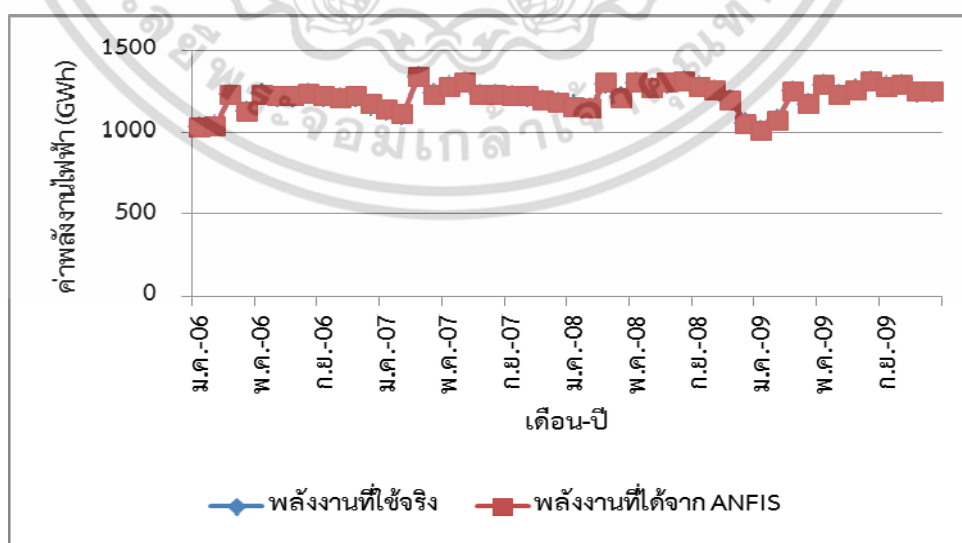
รูปที่ 5.18 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1

จากตารางที่ 5.13 เป็นผลจากการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตเป็น trimf และฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตเป็น constant ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้บริษัทที่ปรึกษาในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เอาต์พุตเห็นเป็นเชิงประจักษ์นั้นการวิเคราะห์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9051% และค่า MAPE ของชุดการทดสอบ 24.614% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.17 และ 5.18

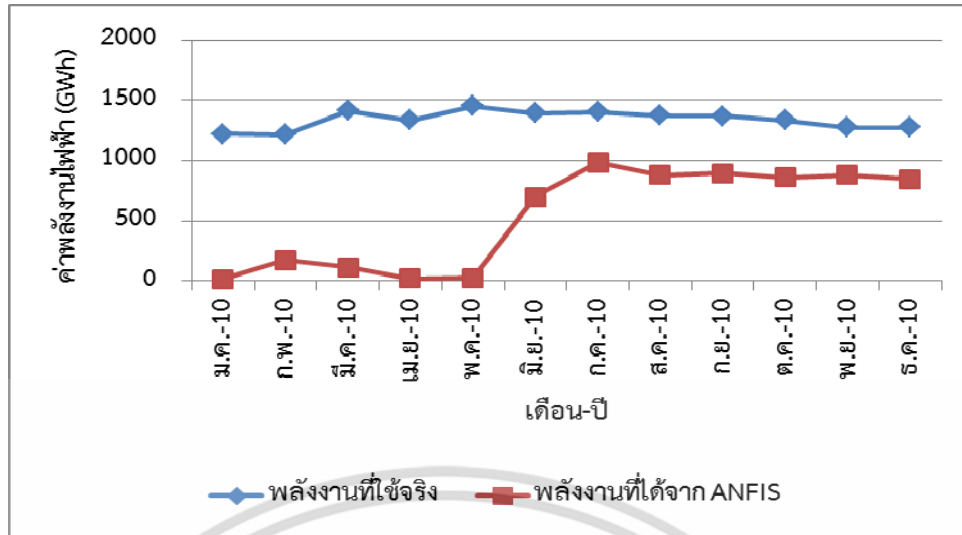
ตารางที่ 5.14 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2

ที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	constant	0.2073	0.4822	60.573
2	trimf	linear	5.3411	0.2135	69.542
3	trapmf	constant	0.2066	0.2135	94.472
4	trapmf	linear	5.3878	0.2135	94.843
5	gbellmf	constant	0.2006	0.2135	71.723
6	gbellmf	linear	5.4813	0.2224	65.762
7	gaussmf	constant	0.2066	0.2134	66.150
8	gaussmf	linear	5.4701	0.2145	63.265
9	Gauss2mf	constant	0.2065	0.2135	94.681
10	Gauss2mf	linear	6.1503	0.2145	94.190
11	pimf	constant	0.2036	0.2975	99.240
12	pimf	linear	5.4420	0.2135	99.476
13	dsigmf	constant	0.2040	0.2135	94.996
14	dsigmf	linear	5.4738	0.2179	95.267
15	psigmf	constant	0.2064	0.2493	94.997
16	psigmf	linear	5.4740	0.2145	95.399



รูปที่ 5.19 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2

จากตารางที่ 5.14 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 2 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตเป็น trimf และฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตเป็น constant ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 0.4822% และค่า MAPE ของชุดการทดสอบ 60.573% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.19 และ 5.20

ตารางที่ 5.15 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง แบบที่ 1 กับแบบที่ 2

ชุดแบบที่	ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต	ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต	เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	constant	0.1946	1.9051	24.614
2	trimf	constant	0.2073	0.4822	60.573

จากตารางที่ 5.15 ผลการจำลองระบบอนุมานฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) อุตสาหกรรมขนาดเล็กแบบที่ 1 ให้ผลการจำลองที่ดีกว่าแบบที่ 2 ทั้งเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ และค่า MAPE ของข้อมูลชุดทดสอบ ถึงแม้ว่าค่า MAPE ของข้อมูลชุดฝึกสอนแบบที่ 2 จะดีกว่า

5.2.3 ผลการทดลอง ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

จากการทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนฟังก์ชันสมาชิก epochs และฟังก์ชันสมาชิก ผลการทดลองของการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แสดงในตารางที่ 5.16 ถึง 5.18 และ รูปที่ 5.21 ถึง 5.24

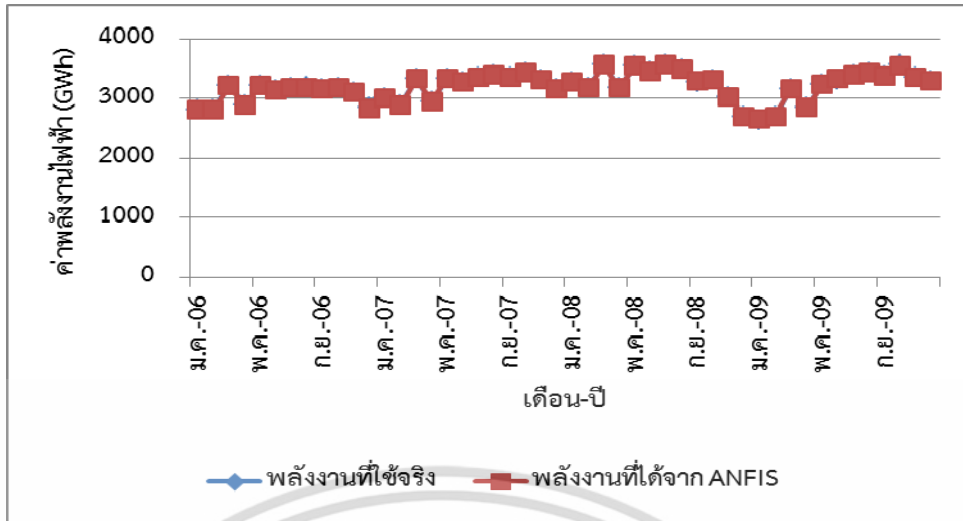
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1

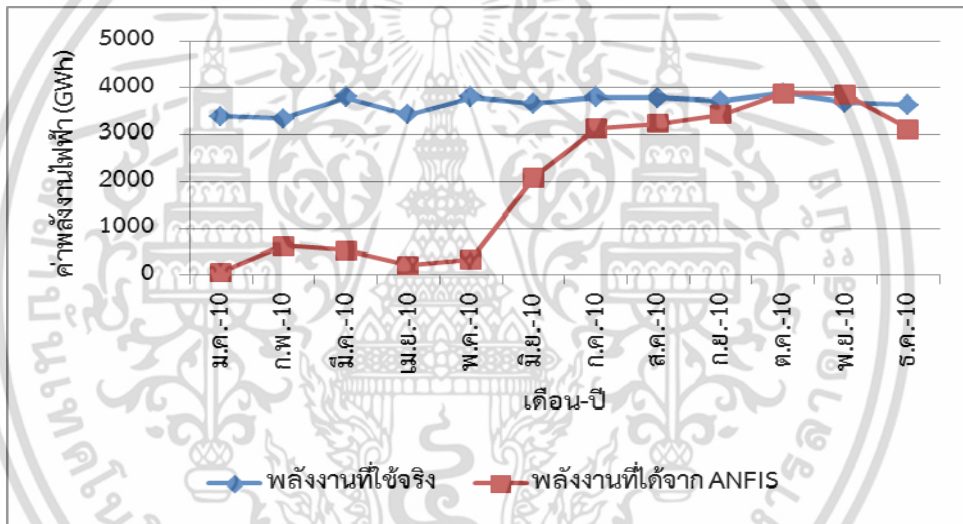
ที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	constant	0.2070	0.0886	52.315
2	trimf	linear	5.3004	0.0887	46.058
3	trapmf	constant	0.2098	0.0886	66.470
4	trapmf	linear	5.3211	0.0890	64.115
5	gbellmf	constant	0.2080	0.0886	53.812
6	gbellmf	linear	5.3175	0.126	47.363
7	gaussmf	constant	0.2084	18.862	53.797
8	gaussmf	linear	5.3275	0.0938	46.598
9	Gauss2mf	constant	0.2418	0.0886	65.884
10	Gauss2mf	linear	5.5570	0.0968	65.629
11	pimf	constant	0.2065	0.0887	65.488
12	pimf	linear	5.3851	0.0892	66.395
13	dsigmf	constant	0.2096	0.0887	65.856
14	dsigmf	linear	5.3906	0.0937	65.469
15	psigmf	constant	0.2056	0.0887	65.856
16	psigmf	linear	5.4190	0.0937	65.467
16	psigmf	linear	5.4190	0.0937	65.467

จากตารางที่ 5.16 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตเป็น trimf และฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตเป็น linear ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 0.0887% และค่า MAPE ของชุดการทดสอบ 46.058% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.21 และ 5.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1



รูปที่ 5.22 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1

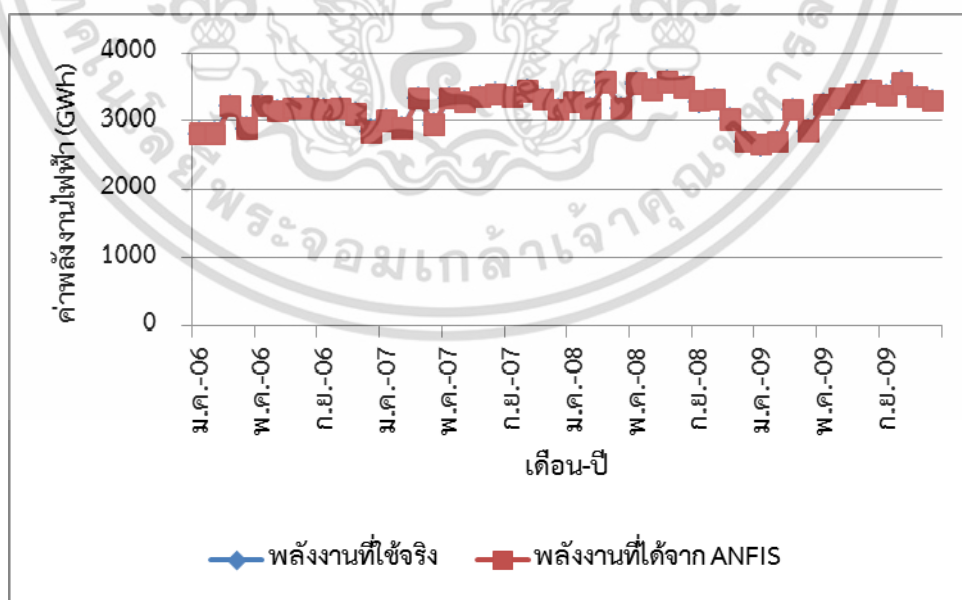
ตารางที่ 5.17 ผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2

ที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาที่)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	constant	0.2131	0.0886	100
2	trimf	linear	5.2911	0.0893	70.399
3	trapmf	constant	0.2098	0.0886	96.023
4	trapmf	linear	5.3041	0.0893	98.409
5	gbellmf	constant	0.2156	0.0886	94.304
6	gbellmf	linear	5.3188	0.1062	87.730
7	gaussmf	constant	0.2381	0.0886	96.286

ตารางที่ 5.17 (ต่อ)

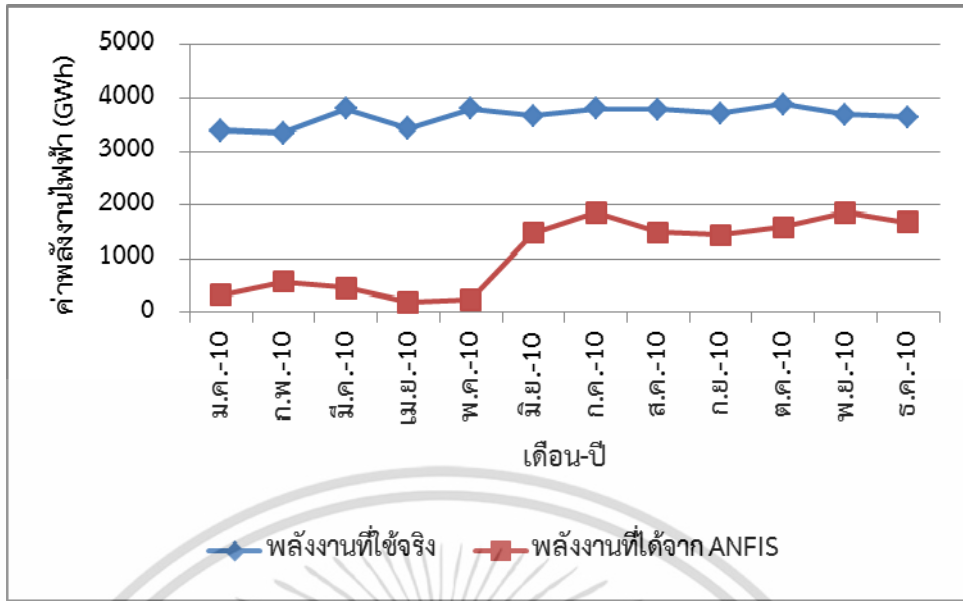
ที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
8	gausmf	linear	5.3926	0.0978	80.202
9	Gauss2mf	constant	0.3423	0.0886	98.998
10	Gauss2mf	linear	6.2538	0.0927	106.879
11	pimf	constant	0.2338	0.1094	100
12	pimf	linear	5.5680	0.0893	98.752
13	dsigmf	constant	0.2350	0.0886	106.361
14	dsigmf	linear	5.4951	0.1028	100.264
15	psigmf	constant	0.2351	0.0886	100.05
16	psigmf	linear	5.0156	0.0927	100.16

จากตารางที่ 5.17 เป็นผลการทดลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ ฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตเป็น trimf และฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตเป็น linear ค่า MAPE ของชุดการเรียนรู้ 0.0893% และค่า MAPE ของชุดการทดสอบ 70.399% ผลการฝึกสอนและผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.23 และ 5.24



รูปที่ 5.23 ผลการฝึกสอน ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 ผลการทดสอบ ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 2

ตารางที่ 5.18 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANFIS การทำนายภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แบบที่ 1 กับแบบที่ 2

แบบที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	linear	5.3004	0.0887	46.058
2	trimf	linear	5.2911	0.0893	70.399

จากตารางที่ 5.18 ผลการจำลองระบบอนุกรมฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) อุตสาหกรรมขนาดเล็กแบบที่ 1 ให้ผลการจำลองที่ดีกว่าแบบที่ 2 ทั้งเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ ค่า MAPE ของข้อมูลชุดฝึกสอน และชุดทดสอบ

5.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS

จากผลการทดลองแบบจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และระบบอนุกรมฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ ได้เปรียบเทียบผลการจำลองเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมขนาดเล็ก อุตสาหกรรมขนาดกลาง และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยแต่ละประเภท จะใช้ผลการจำลองแบบที่ดีที่สุดของแต่ละโครงข่ายมาเปรียบเทียบกัน

5.3.1 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

การเปรียบเทียบแบบจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

จากตารางที่ 5.3 เลือกแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 1 และจากตารางที่ 5.12 เลือกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองของระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้แบบที่ 1 ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.19 และรูปที่ 5.25 และ 5.26

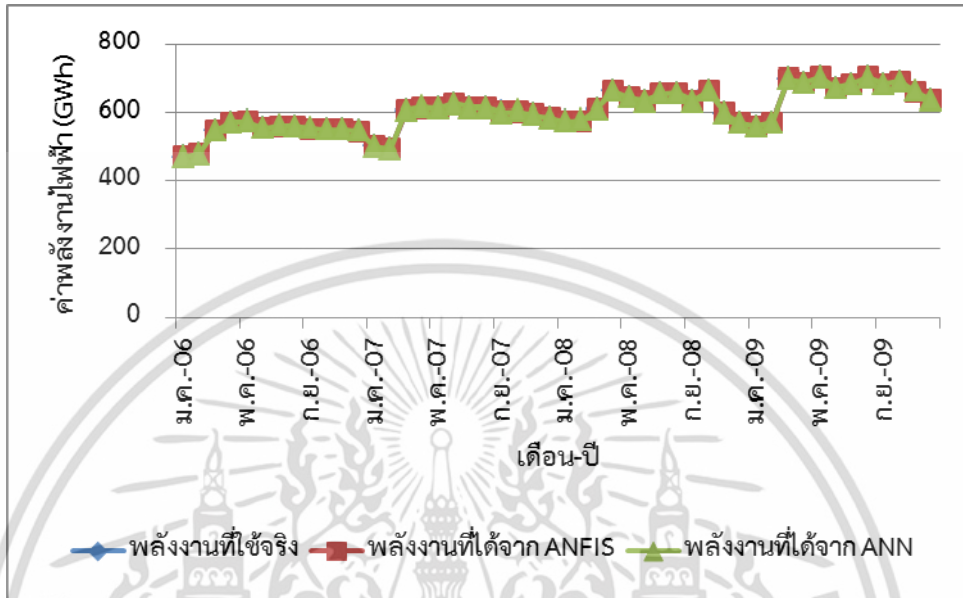
จากตารางที่ 5.19 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้า ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ในส่วนโครงข่ายประสาทเทียม ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 9 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 8 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Log-Sigmoid ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt 500 epochs โดยค่า Weight และ Bias เริ่มต้นจากการสุ่ม ทำการเรียนรู้ 30 รอบ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5.19 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

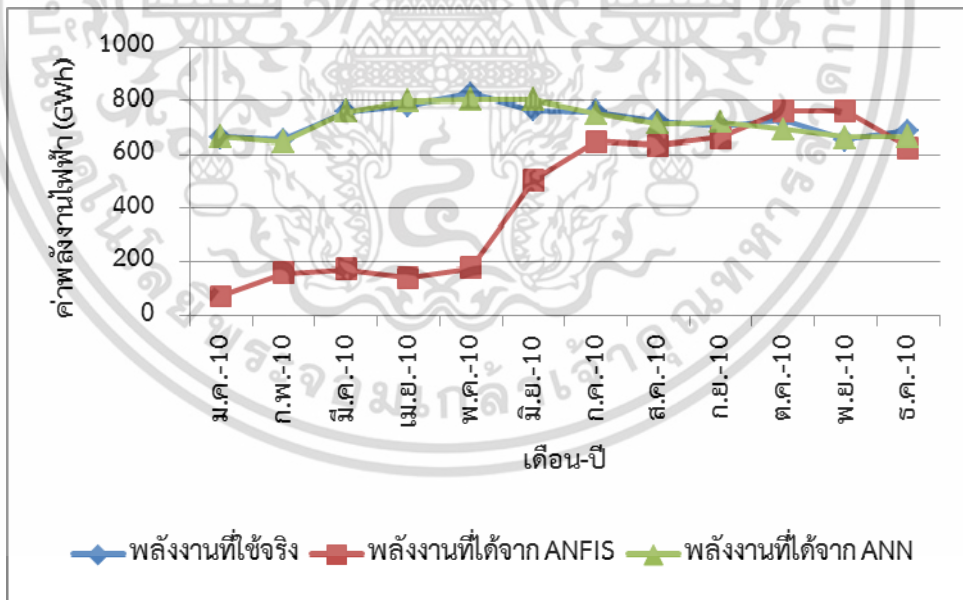
	ANN	ANFIS
Model	Back-Propagation	Sugeno
Structure	Multi Layer Feed Forward	Sugeno 1st Order
Transfer Function, Membership Function	1st Layer Linear, 9 neurons	Input 1, Number of MFs 3, trimf
	2nd Layer Log-Sigmoid, 8 neurons	Input 2, Number of MFs 3, trimf
	Output Layer Tan-Sigmoid	Input 3, Number of MFs 3, trimf
		Input 4, Number of MFs 3, trimf
		Input 5, Number of MFs 3, trimf
		Input 6, Number of MFs 3, trimf
		Output MF, constant
Training (setS)	48	48
Testing (sets)	12	12
Training Method	Levenberg-Marquardt	Hybrid (Gradient Descent, LSE)
Epochs	500, 30 rounds	100
Train MAPE (%)	0.0730	0.0363
Training Time (Minute)	1.0901	0.2133
Test MAPE (%)	2.1194	41.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบอนุमानฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ เลือกใช้โมเดลฟuzzy Sugeno อันดับที่ 1 จำนวนฟังก์ชันสมาชิกของทั้งหกอินพุตมีอยู่ 3 โดยทั้งหกอินพุตใช้ฟังก์ชันสมาชิกเป็น trimf ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันสมาชิกเป็น constant ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Hybrid 100 epochs



รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบผลการฝึกสอน ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก



รูปที่ 5.26 เปรียบเทียบผลการทดสอบ ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

จากตารางที่ 5.19 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ให้ผลการจำลองดีกว่าระบบอนุमानฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) คือค่า MAPE ของข้อมูลชุดทดสอบของ ANN ดีกว่าค่า MAPE ของ ANFIS ถึงแม้ว่าค่า MAPE ของข้อมูลชุดฝึกสอน และเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของ ANFIS จะดีกว่าก็เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาม การจำลอง 2 วิธี ทั้ง ANN และ ANFIS ใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองและได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลทดสอบของค่าเอาต์พุตเป้าหมายกับ ANN และ ANFIS แสดงในตารางที่ 5.20 และรูปที่ 5.26

จากตารางที่ 5.20 และรูปที่ 5.26 ที่เปรียบเทียบค่าเป้าหมาย ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็กของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กับค่าระหว่างโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นและระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้นั้น จะเห็นว่าค่าจากโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นสามารให้คำตอบที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้

ตารางที่ 5.20 เปรียบเทียบค่าเอาต์พุต ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

เดือน-ปี	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง (GWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย (GWh)	
	ค่าเอาต์พุต (Test)	ANN	ANFIS
ม.ค. 2553	665.04	667.36	71.2
ก.พ. 2553	654.38	647.43	158
มี.ค. 2553	761.70	761.23	174
เม.ย. 2553	783.30	799.80	142
พ.ค. 2553	827.12	806.23	177
มิ.ย. 2553	765.09	805.48	503
ก.ค. 2553	759.79	753.61	649
ส.ค. 2553	726.55	716.34	635
ก.ย. 2553	707.14	721.97	665
ต.ค. 2553	731.38	694.24	764
พ.ย. 2553	655.85	664.69	764
ธ.ค. 2553	689.30	666.49	624

5.3.2 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง

การเปรียบเทียบแบบจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง จากตารางที่ 5.6 เลือกแบบจำลองของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นแบบที่ 2 และจากตารางที่ 5.15 เลือกแบบจำลองของระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้แบบที่ 1 ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.21 และรูปที่ 5.27 และ 5.28

จากตารางที่ 5.21 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ในส่วนโครงข่ายประสาทยืดหยุ่น ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 3 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 2 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt 500 epochs โดยค่า Weight และ Bias เริ่มต้นจากการสุ่ม ทำการเรียนรู้ 30 รอบเพื่อให้ได้ค่าตอบที่ดีที่สุด

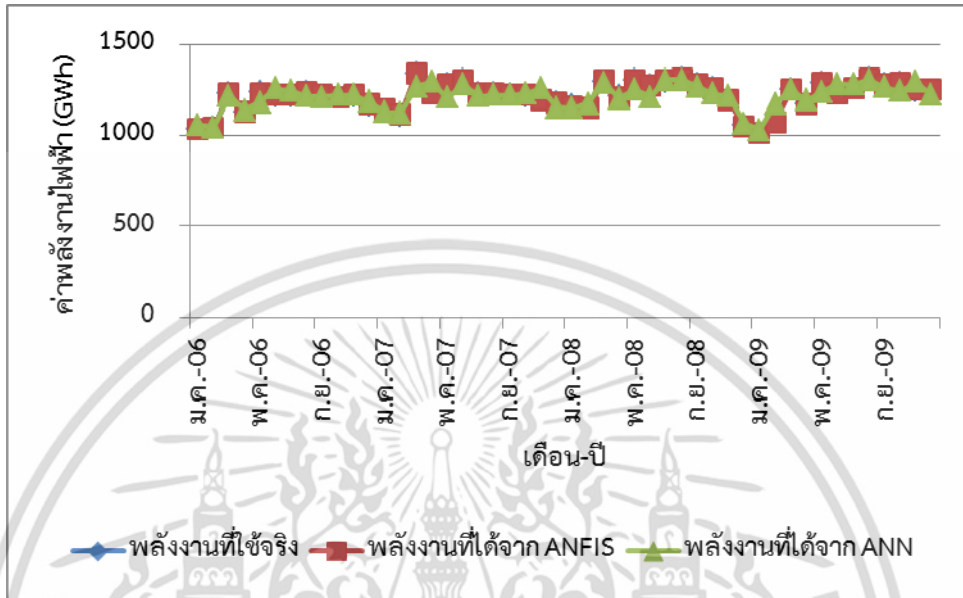
ระบบอนุมานฟuzzy โครงข่ายปรับตัวได้ เลือกใช้โมเดลฟuzzy Sugeno อันดับที่ 1 จำนวนฟังก์ชันสมาชิกของทั้งหกอินพุตมีอยู่ 3 โดยทั้งหกอินพุตใช้ฟังก์ชันสมาชิกเป็น trimf ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันสมาชิกเป็น constant ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Hybrid 100 epochs

ตารางที่ 5.21 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง

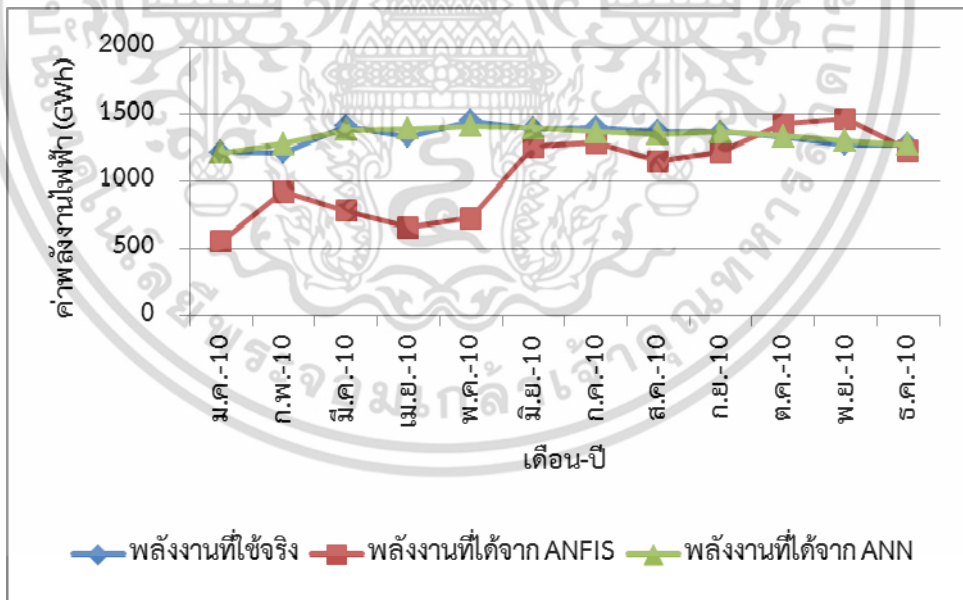
	ANN	ANFIS
Model	Back-Propagation	Sugeno
Structure	Multi Layer Feed Forward	Sugeno 1st Order
Transfer Function, Membership Function	1st Layer Linear, 3 neurons	Input 1, Number of MFs 3, trimf
	2nd Layer Tan-Sigmoid, 2 neurons	Input 2, Number of MFs 3, trimf
	Output Layer Linear	Input 3, Number of MFs 3, trimf
		Input 4, Number of MFs 3, trimf
		Input 5, Number of MFs 3, trimf
		Input 6, Number of MFs 3, trimf
		Output MF, constant
Training (setS)	48	48
Testing (sets)	12	12
Training Method	Levenberg-Marquardt	Hybrid (Gradient Descent, LSE)
Epochs	500, 30 rounds	100
Train MAPE (%)	2.1398	0.2135
Training Time (Minute)	2.1822	0.1946
Test MAPE (%)	1.8669	24.61

จากตารางที่ 5.21 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ให้ผลการจำลองดีกว่าระบบอนุมานฟuzzy โครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) คือค่า MAPE ของข้อมูลชุดทดสอบของ ANN ดีกว่าค่า MAPE ของ ANFIS ถึงแม้ว่าค่า MAPE ของข้อมูลชุดฝึกสอน และเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของ ANFIS จะดีกว่าก็เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาม การจำลอง 2 วิธี ทั้ง ANN และ ANFIS ใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองและได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลทดสอบของค่าเอาต์พุตเป้าหมายกับ ANN และ ANFIS แสดงในตารางที่ 5.22 และรูปที่ 5.28



รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบผลการฝึกสอน ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง



รูปที่ 5.28 เปรียบเทียบผลการทดสอบ ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง

จากตารางที่ 5.22 และรูปที่ 5.28 ที่เปรียบเทียบค่าเป้าหมาย ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดกลางของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กับค่าระหว่างโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้นั้น จะเห็นว่าค่าจากโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้

ตารางที่ 5.22 เปรียบเทียบค่าเอาต์พุต ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง

เดือน-ปี	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง (GWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย (GWh)	
	ค่าเอาต์พุต (Test)	ANN	ANFIS
ม.ค. 2553	1222.40	1214.3	552
ก.พ. 2553	1216.95	1282	923
มี.ค. 2553	1414.29	1381.9	779
เม.ย. 2553	1333.73	1395.8	659
พ.ค. 2553	1450.94	1413.4	724
มิ.ย. 2553	1391.45	1396.75	1260
ก.ค. 2553	1402.83	1369.7	1290
ส.ค. 2553	1374.60	1354.63	1150
ก.ย. 2553	1367.99	1366.9	1220
ต.ค. 2553	1332.42	1336.8	1430
พ.ย. 2553	1276.93	1305.4	1470
ธ.ค. 2553	1276.79	1276.4	1230

5.3.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

การเปรียบเทียบแบบจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จากตารางที่ 5.9 เลือกแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 1 และจากตารางที่ 5.18 เลือกแบบจำลองของระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้แบบที่ 1 ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.23 และรูปที่ 5.29 และ 5.30

จากตารางที่ 5.23 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ในส่วนโครงข่ายประสาทเทียม ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 3 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 2 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Linear และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt 500 epochs โดยค่า Weight และ Bias เริ่มต้นจากการสุ่ม ทำการเรียนรู้ 30 รอบ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ เลือกใช้โมเดลฟัซซี Sugeno อันดับที่ 1 จำนวนฟังก์ชันสมาชิกของทั้งหกอินพุตมีอยู่ 3 โดยทั้งหกอินพุตใช้ฟังก์ชันสมาชิกเป็น trimf ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันสมาชิกเป็น linear ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Hybrid 100 epochs

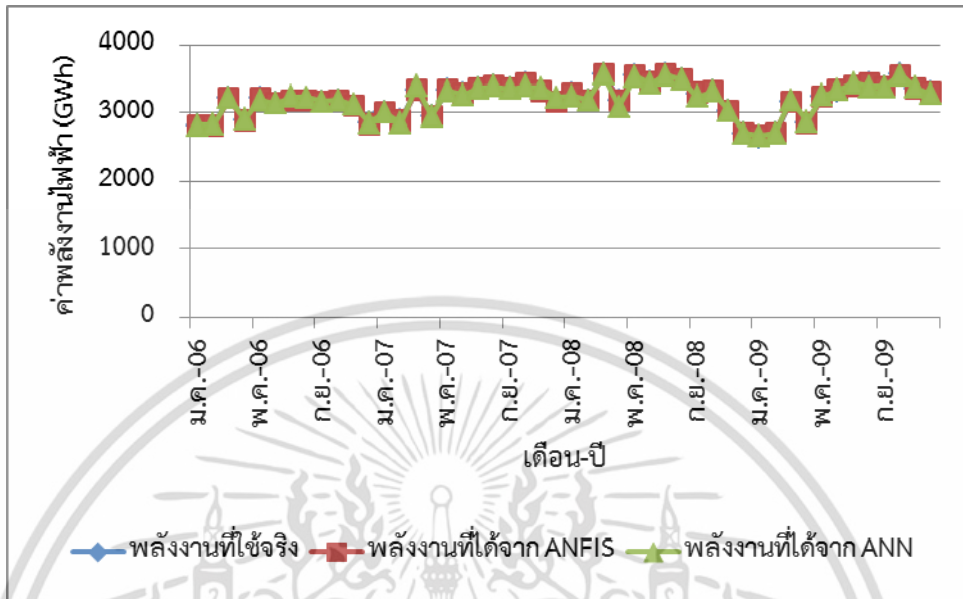
ตารางที่ 5.23 เปรียบเทียบผลการทดลอง ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

	ANN	ANFIS
Model	Back-Propagation	Sugeno
Structure	Multi Layer Feed Forward	Sugeno 1st Order
Transfer Function, Membership Function	1st Layer Tan-Sigmoid r, 3 neurons	Input 1, Number of MFs 3, trimf
	2nd Layer Tan-Sigmoid, 2 neurons	Input 2, Number of MFs 3, trimf
	Output Layer Linear	Input 3, Number of MFs 3, trimf
		Input 4, Number of MFs 3, trimf
		Input 5, Number of MFs 3, trimf
		Input 6, Number of MFs 3, trimf
		Output MF, linear
Training (setS)	48	48
Testing (sets)	12	12
Training Method	Levenberg-Marquardt	Hybrid (Gradient Descent, LSE)
Epochs	500, 30 rounds	100
Train MAPE (%)	0.6638	0.0887
Training Time (Minute)	2.5135	5.3004
Test MAPE (%)	2.3578	46.06

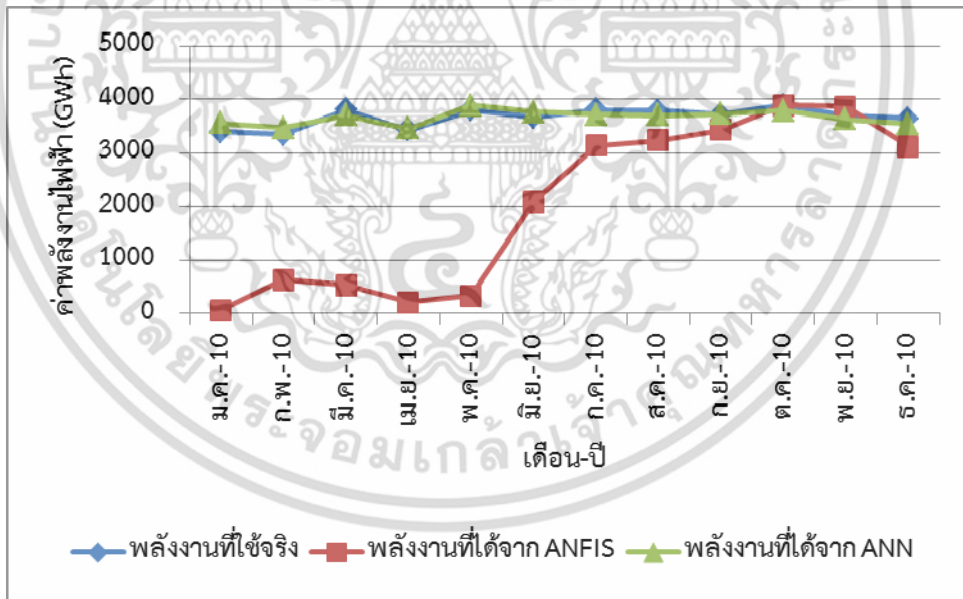
จากตารางที่ 5.23 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ให้ผลการจำลองดีกว่าระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) คือค่า MAPE ของข้อมูลชุดทดสอบของ ANN ดีกว่าค่า MAPE ของ ANFIS ถึงแม้ว่าค่า MAPE ของข้อมูลชุดฝึกสอน และเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของ ANFIS จะดีกว่าก็ตาม การจำลอง 2 วิธี ทั้ง ANN และ ANFIS ใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองและได้ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบข้อมูลทดสอบของค่าเอาต์พุตเป้าหมายกับ ANN และ ANFIS แสดงในตารางที่ 5.24 และรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.29 เปรียบเทียบผลการฝึกสอน ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่



รูปที่ 5.30 เปรียบเทียบผลการทดสอบ ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

จากตารางที่ 5.24 และรูปที่ 5.30 ที่เปรียบเทียบค่าเป้าหมาย ความต้องการพลังงานไฟฟ้า ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กับค่าระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้นั้น จะเห็นว่าค่าจากโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.24 เปรียบเทียบค่าเอาต์พุต ANN กับ ANFIS ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

เดือน-ปี	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง (GWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย (GWh)	
	ค่าเอาต์พุต (Test)	ANN	ANFIS
ม.ค. 2553	3392.13	3563.6	56.9
ก.พ. 2553	3352.76	3473.4	627
มี.ค. 2553	3806.29	3711.7	528
เม.ย. 2553	3436.32	3453.8	210
พ.ค. 2553	3806.40	3896.5	339
มิ.ย. 2553	3670.77	3769.2	2080
ก.ค. 2553	3799.91	3718.5	3140
ส.ค. 2553	3786.53	3700.3	3240
ก.ย. 2553	3723.78	3730.3	3440
ต.ค. 2553	3890.23	3790.1	3890
พ.ย. 2553	3691.60	3630.7	3870
ธ.ค. 2553	3643.38	3542.1	3120

จากการทดลองทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เปรียบเทียบกับระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) จะเห็นว่าวิธีการใช้โครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ใกล้เคียงมากกว่า แต่ใช้ระยะเวลาในการฝึกสอนมากกว่าวิธีระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของกริดไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เปรียบเทียบกับระบบอนุमानฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ค่าอุณหภูมิสูงสุด ชนิดของเดือน ชนิดของปี และอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรม เป็นอินพุต ซึ่งผลที่ได้จากการจำลอง โครงข่ายประสาทเทียมให้ผลดีกว่า ANFIS คือค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAPE) ชุดทดสอบของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าน้อยกว่า ถึงแม้ว่าค่า MAPE ชุดฝึกสอนและเวลาในการเรียนรู้ของ ANFIS จะดีกว่าก็ตาม จากการใช้อข้อมูลชุดฝึกสอนและชุดทดสอบเดียวกัน หมายถึงข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียมมากกว่า ANFIS ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมในการทดลองนี้ มีประสิทธิภาพดีกว่า ANFIS

6.1 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุमानฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้

สำหรับการนำโครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุमानฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้มาทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม จากการทดลองพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการฝึกสอนแล้ว ใช้เวลาในการเรียนรู้ไม่มาก และสามารถหาค่าตอบได้ดีกว่าระบบอนุमानฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ ที่ได้รับการฝึกสอนแล้ว ใช้เวลาในการเรียนรู้้น้อยมาก ซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว

6.2 ข้อดีและข้อเสียของการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้า

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์อย่างหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้โดยมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี

1. สามารถประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนมากและซับซ้อนได้ดี
2. ไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
3. ผลการทดสอบแม่นยำกว่าระบบอนุमानฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้

ข้อเสีย

1. ใช้เวลาในการเรียนรู้มากกว่าระบบอนุमानฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ ในข้อมูลอินพุตเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ข้อดีและข้อเสียของการประยุกต์ใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ในการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้า

การใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ในการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์อย่างหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้โดยมีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี

1. สามารถหาคำตอบได้รวดเร็ว
2. ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกมีให้เลือกงานหลากหลาย
3. ไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ข้อเสีย

1. ไม่สามารถระบุถึงชนิดและจำนวนของเมมเบอร์ชิพที่ใช้ได้ว่า ต้องใช้ชนิดของเมมเบอร์ชิพแบบไหน และจำนวนของเมมเบอร์ชิพเท่าไร ถึงจะให้ผลดีที่สุด ซึ่งต้องใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error)
2. จากการทดลองพบว่าถ้ามีอินพุตจำนวนมาก แล้วเลือกจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกตั้งแต่ 3 ขึ้นไป จะทำให้หลักการกระทำ (rule) เยอะมาก ทำให้โปรแกรมไม่สามารถรันได้
3. ผลการทดสอบมีประสิทธิภาพต่ำกว่าโครงข่ายประสาทเทียม

6.4 ข้อเสนอแนะ

1. การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม ต้องใช้ข้อมูลในปริมาณที่เพียงพอสมควรเพื่อที่จะมีข้อมูลที่กระจัดกระจายตัว ทำให้การทำนายมีประสิทธิภาพ
2. ขั้นตอนในการเลือกอินพุตและเอาท์พุตควรเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อให้ได้คำตอบที่ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด
3. การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม โดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ในการทดลองนี้ มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากข้อมูลอินพุตยังไม่เหมาะสมกับโครงสร้างของโครงข่าย
4. การทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรอินพุต และเพิ่มค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอดีตในอินพุต
5. เพื่อความสะดวกสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ควรสร้างโปรแกรมในรูปแบบ Windows Application เช่น การใช้ Visual Basic หรือ การใช้ GUI (Graphical User Interface) และสามารถเก็บเป็นฐานข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์บริการวิชาการสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2549. “การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะยาวของประเทศ” สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
- [2] Christiaanse, W.R., 1971. “Short-term load forecasting using exponential smoothing.” *IEEE Trans. Power Appar. Syst. PAS-90*, pp. 900-910.
- [3] Thompson, R.p., 1976. “Weather sensitive demand and energy analysis on a large geographically diverse power system: application to short-term hourly electric demand forecasting.”, *IEEE Trans. Power Appar. Syst. PAS-95*, pp. 384-393.
- [4] Du Xin-hui, Tian Feng and Tan Shao-qiong, 2010. “Study of Power System Short-term Load Forecast Based on Artificial Neural Network and Genetic Algorithm.” *IEEE*.
- [5] M. A. Farahat and M. Talaat, 2010. “A New Approach for Short-Term Load Forecasting Using Curve Fitting Prediction Optimized by Genetic Algorithms.” *MEPCON Proceedings.*, Paper ID 125.
- [6] V.H. Hinojosa and A. Hoese, 2010. “Short-Term Load Forecasting Using Fuzzy Inductive Reasoning and Evolutionary Algorithms.” *IEEE*.
- [7] นฤมล ชิ่งเถียรตระกูล และ สมชาติ จิรวินิจกร, 2549. “การพยากรณ์โหลดระยะสั้นโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2.
- [8] คัมภีร์ ศรีขจรวุฒิสักดิ์ และ สมชาติ จิรวินิจกร, 2551. “การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารายเดือนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31*, 29-31 ตุลาคม, หน้า 435-438.
- [9] Amit Jain and B. Satish, 2008. “Integrated Approach for Short Term Load Forecasting using SVM and ANN.” *TENCON, IEEE Region 10 Conference*, pp. 1-6.
- [10] Vikram Kumar, Akhil Gupta and Dr. Sanjeev Aggarwal, (Jan. 2014) “Artificial Neural Network Based Load Forecasting Using Levenberg-Marquardt Method” *IJARCSSE.*, Vol. 4, Issue 1, pp. 403-407.
- [11] Thai Nguyen and Yuan Liao, 2011. “Short-Term Load Forecasting Based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System.” *JCP.*, Vol. 6, NO. 11, pp. 2267-2271.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] ศุภเสกข์ เกตุรักษา และสมชาติ จิริวิภากร, 2557. “แบบจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของสิ่งอำนวยความสะดวกและการทำนายโหลดระยะปานกลางโดยโครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้” *วารสารวิศวกรรมสาร มก.*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 89.
- [13] Harshad P. Oak and Shrikant J. Honade, 2015. “ANFIS Based Short Term Load Forecasting” *IJCET*, Vol. 5, No. 3
- [14] J.P. Rothe, A.K. Wadhvani and S. Wadhvani, 2014. “ANN and ANFIS Based Short Term Load Forecasting in Real Time Electrical Load Environment” *IJCET*, Vol. 4, No. 3
- [15] Otilia Elena DRAGOMIR, Florin DRAGOMIR, Rafael GOURIVEAU and Eugenia MINCA, 2010. “Medium Term Load Forecasting Using ANFIS Predictor” *MED'10, 18th Mediterranean Conference*, pp 551-556.
- [16] อาทิตย์ ศรีแก้ว, 2552. “ปัญญาเชิงคำนวณ” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [17] สมชาติ จิริวิภากร, 2554. “การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในระบบไฟฟ้ากำลัง” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [18] พยุง มีสัจ, โครงข่ายประสาทเทียมและระบบฟัซซี, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, เอกสารอัดสำเนา.
- [19] Timothy Masters, 1993. “Practical Neural Network recipes in C++” ACADEMIC PRESS. INC. United States of America.
- [20] [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/nnet/ug/multilayer-neural-network-architecture.html>
- [21] ชัยโย ตระกูลไทยรักษ์, 2555. “การหาค่าตอบการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมโดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [22] Jang. J.-S.R., 1993. “ANFIS: Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System.” *IEEE Trans. Syst., Cybern.*, vol. 23, pp. 665-685.
- [23] Jang. J.-S.R., Chuen-Tsai Sun and Eiji Mizutani, 1997. “Neuro-fuzzy and Soft Computing” Prentice Hall.
- [24] Jang. J.-S.R. and Chuen-Tsai Sun, 1995. “Neuro-fuzzy modeling and control” *IEEE Proceedings.*, vol. 83, no. 3, pp. 378-406, Mar.
- [25] M. Brown and C. Harris, 1994. “Neuro-fuzzy Adaptive Modeling and control” Prentice Hall.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

โปรแกรมสำหรับการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้า
โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN)

โปรแกรมสำหรับการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมนั้น ใช้โปรแกรม MATLAB โดยเขียนจาก M-File ซึ่งสามารถแก้ไขข้อมูลได้ที่ตัวแปร DATA

%%%

```
clear all
DATA = [2006      1      7.6      36.5      25.3      865816      470350
2006      2      7.6      37.7      27.0      868704      477997
2006      3      7.6      41.3      28.4      871698      546507
2006      4      5.7      39.3      28.8      874982      572160
2006      5      5.7      38.1      28.0      878069      573665
2006      6      5.7      37.4      28.2      883060      554691
2006      7      5.5      35.9      27.9      889936      559292
2006      8      5.5      36.1      27.6      895028      559998
2006      9      5.5      36.5      27.3      900642      552407
2006     10      5.8      35.6      27.1      905443      550156
2006     11      5.8      36.6      27.1      909698      550640
2006     12      5.8      36.1      25.1      912049      545441
2007      1      4.6      36.1      25.1      914435      499245
2007      2      4.6      38.5      26.5      916664      492086
2007      3      4.6      40.3      28.6      919048      605304
2007      4      4.5      40.9      29.0      922010      614642
2007      5      4.5      38.2      28.0      932423      611772
2007      6      4.5      37.8      28.6      943919      626126
2007      7      5.7      36.8      27.8      948346      613948
2007      8      5.7      36.5      27.8      953702      614127
2007      9      5.7      36.1      27.5      965782      600298
2007     10      8.1      35.5      26.6      970870      603061
2007     11      8.1      34.7      25.2      974558      592007
2007     12      8.1      36.0      25.8      977818      583030
2008      1      9.5      36.2      25.3      979335      573101
2008      2      9.5      36.6      25.7      981675      575900
2008      3      9.5      38.8      27.8      983476      611171
2008      4      7.7      39.8      28.7      986495      661970
2008      5      7.7      37.0      27.9      990126      644892
2008      6      7.7      36.4      27.9      1002341     632924
2008      7      6.1      36.7      27.7      1013302     654794
2008      8      6.1      36.3      27.7      1019375     657427
2008      9      6.1      35.8      27.3      1016775     633515
2008     10     -6.8      35.5      27.3      1016245     662861
2008     11     -6.8      35.5      25.6      1017539     597429
2008     12     -6.8      34.4      24.2      1019569     570589
2009      1    -14.4      35.0      23.7      1022530     558996
2009      2    -14.4      38.8      27.2      1021929     571801
2009      3    -14.4      38.5      27.9      1022899     696856
2009      4     -8.7      39.5      28.9      1024567     688081
2009      5     -8.7      38.2      28.2      1027953     704244
2009      6     -8.7      36.9      28.4      1032613     672765
2009      7     -5.9      36.6      27.8      1037754     684239
2009      8     -5.9      37.4      28.2      1041031     703899
2009      9     -5.9      36.7      27.7      1047691     683501
2009     10      9.9      36.2      27.3      1052318     690544
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2009    11    9.9    36.8    26.2    1058413  661270
2009    12    9.9    35.6    25.7    1063392  634953
2010     1   22.9    35.9    26.2    1067002  665036
2010     2   22.9    38.6    27.9    1069266  654381
2010     3   22.9    40.3    28.8    1071640  761702
2010     4   17.6    41.3    30.4    1073620  783301
2010     5   17.6    41.1    30.2    1076536  827116
2010     6   17.6    38.9    29.2    1079088  765092
2010     7   11.6    37.4    28.2    1081128  759787
2010     8   11.6    36.3    27.6    1083426  726546
2010     9   11.6    36.0    27.7    1084932  707137
2010    10    4.8    35.6    26.9    1087304  731382
2010    11    4.8    35.3    26.1    1089396  655854
2010    12    4.8    35.1    25.4    1091302  689295
];
tr = 48;%Number Data for train
ts = 12;%Number Data for test
sttr = 1;%First data for train
sttr1 = sttr;
sttr2 = sttr+1;
sttr3 = sttr+2;
entr = sttr+tr-1;
stts = 49;%First data for test
ents = stts+ts-1;
stts1 = tr+1;
ents1 = stts1+ts-1;
stnode = 2;%Number neural of 1st Hidden
noderange = 1;
structure =15;%Number structure
roundperstructure = 30;%Number Round per Structure
INPUT1 = DATA(sttr:entr , 1:6);%Number Input for training
OUTPUT1 = DATA(sttr:entr , 7);%Number Output for training
INPUT2 = DATA(stts:ents , 1:6);%Number Input for testing
OUTPUT2 = DATA(stts:ents , 7);%Number Output for testing
INPUT = [ INPUT1 ; INPUT2];
OUTPUT = [ OUTPUT1 ; OUTPUT2];
OUT = OUTPUT';
[a,meanp,stdp,b,meant,stdt] = prestd(INPUT',OUTPUT');%Normalization
mxp = max(max(a));
mnp = min(min(a));
awp = 1.8/(mxp-mnp);
bwp = 0.9 - (awp*mxp);
pn = (awp*a)+bwp;
mxt = max(max(b));
mnt = min(min(b));
awt = 1.8/(mxt-mnt);
bwt = 0.9 - (awt*mxt);
tn = (awt*b)+bwt;
iitr = [sttr1:3:entr sttr2:3:entr sttr3:3:entr];
%iiv = [ sttr3:3:entr];
ptr = pn(:,iitr);
ttr = tn(:,iitr);
Br = OUT(:,iitr);
%pv = pn(:,iiv);
%tv = tn(:,iiv);
%Bv = OUT(:,iiv);
pts = pn(:,stts1:ents1);
tts = tn(:,stts1:ents1);
Bs = OUT(:,stts1:ents1);
v.P = pts;
v.T = tts;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for n = 1 : structure
    start = clock;
    w = stnode+noderange*(n - 1);
    u = w - 1;%Number neural of 2nd Hidden

net=newff(minmax(ptr),[w,u,1],{'purelin','logsig','tansig'},'trainlm'
);%Activation function & Training Algorithm
net.trainParam.show=100;
net.trainParam.epochs=500;%Epochs or Iteration
net.trainParam.max_fail=inf;
for q = 1: roundperstructure
    [i,j] = size(ptr);
    %net.iw{1,1} = 0.6*ones(w,i);
    %net.lw{2,1} = 0.7*ones(u,w);
    %net.lw{3,2} = 0.7*ones(1,u);
    %net.b{1} = 0.7*ones(w,1);
    %net.b{2} = 0.7*ones(u,1);
    %net.b{3} = 0.7*ones(1,1);
    net.layers{1}.initFcn = 'initwb';
    net.inputWeights{1,1}.initFcn = 'rands';
    net.biases{1}.initFcn = 'rands';
    net.layers{2}.initFcn = 'initwb';
    net.layerWeights{2,1}.initFcn = 'rands';
    net.biases{2}.initFcn = 'rands';
    net.layers{3}.initFcn = 'initwb';
    net.layerWeights{3,2}.initFcn = 'rands';
    net.biases{3}.initFcn = 'rands';
    net = init(net);
    [net,tr] = train(net,ptr,ttr,[ 1,[ ],v);
    Sn = sim(net,ptr);
    S1 = (Sn-bwt)/awt;
    S = poststd(S1,meant,stdt);
    % S = poststd(Sn,meant,stdt);
    SSn = sim(net,pts);
    S2 = (SSn-bwt)/awt;
    SS = poststd(S2,meant,stdt);
    %SS = poststd(SSn,meant,stdt);
    CC1 = [Br - S];
    EE1 = abs(CC1);
    for aa1=1:length (S)
        GG1(aa1) = abs(100*[EE1(1,aa1)/Br(1,aa1)]);
    end
    Rr(q,n) = mean(GG1);
    CC2 = [Bs - SS];
    EE2 = abs(CC2);
    for aa2=1:length (SS)
        GG2(aa2) = abs(100*[EE2(1,aa2)/Bs(1,aa2)]);
    end
    R(q,n) = mean(GG2);
    if q == 1
        q11 = 1;
        nlr = S;
        nl = SS;
        x1 = net.iw{1,1};x2 = net.lw{2,1};x3 = net.lw{3,2};
        y1 = net.b{1};y2 = net.b{2};y3 = net.b{3};
        zr = Rr(q,n)
        z1 = R(q,n)
    else
        if R(q,n) < min(R(1:q-1,n))
            q11 = q;
            nlr = S;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        nl = SS;
        x1 = net.iw{1,1};x2 = net.lw{2,1};x3 = net.lw{3,2};
        y1 = net.b{1};y2 = net.b{2};y3 = net.b{3};
        zr = Rr(q,n)
        z1 = R(q,n)
    end
end
q
n
end
% nllr(:,n) = nlr';
% nll(:,n) = nl';
CCC1 = [Br - nlr];
EEE1 = abs(CCC1);
for aaa1=1:length (nlr)
    GGG1(aaa1) = abs(100*[EEE1(1,aaa1)/Br(1,aaa1)]);
end
Rlr(n) = mean(GGG1);
CCC2 = [Bs - nl];
EEE2 = abs(CCC2);
for aaa2=1:length (nl)
    GGG2(aaa2) = abs(100*[EEE2(1,aaa2)/Bs(1,aaa2)]);
end
Rl(n) = mean(GGG2);
if n == 1
    n_best = stnode;
    x1_best = x1 ;x2_best = x2 ;x3_best = x3 ;
    y1_best = y1 ;y2_best = y2 ;y3_best = y3 ;
    zr_best = zr
    z1_best = z1
else
    if Rl(n) < min(Rl(1:n-1))
        n_best = w ;
        x1_best = x1 ;x2_best = x2 ;x3_best = x3 ;
        y1_best = y1 ;y2_best = y2 ;y3_best = y3 ;
        zr_best = zr
        z1_best = z1
    end
end
z1_best
mape_r(n) = zr
mape_s(n) = z1
Timetaken(n) = etime(clock,start)/60
end
net=newff(minmax(ptr),[n_best,n_best-
1,1],{'purelin','logsig','tansig','trainlm'};
net.iw{1,1} = x1_best; net.lw{2,1} = x2_best; net.lw{3,2} =
x3_best;
net.b{1} = y1_best; net.b{2} = y2_best; net.b{3} = y3_best;
Sn = sim(net,ptr);
S1 = (Sn-bwt)/awt;
S = poststd(S1,meant,stdt);
%S = poststd(Sn,meant,stdt);
SSn = sim(net,pts);
S2 = (SSn-bwt)/awt;
SS = poststd(S2,meant,stdt);
%SS = poststd(SSn,meant,stdt);
M = [Br ; S];
C1 = [Br - S];
E1 = abs(C1);
F1 = Br;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for a1=1:length (E1)
    G1(a1) = abs(100*[E1(1,a1)/F1(1,a1)]);
end
H = sum(C1.^2);
N = [Bs ; SS];
C2 = [Bs - SS];
E2 = abs(C2);
F2 = Bs;
for a2=1:length (E2)
    G2(a2) = abs(100*[E2(1,a2)/F2(1,a2)]);
end
Timetaken
compare1 = M
percenterror1 = G1
min1 = min(G1)
mean1 = mean(G1)
max1 = max(G1)
compare2 = N
percenterror2 = G2
min2 = min(G2)
mean2 = mean(G2)
max2 = max(G2)
node1 = n_best
node2 = n_best-1
x1_best
x2_best
x3_best
y1_best
y2_best
y3_best
MeanAbsoluteErrorTest = mape_s
MeanAbsoluteErrorTrain = mape_r
SumSquareError = H
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

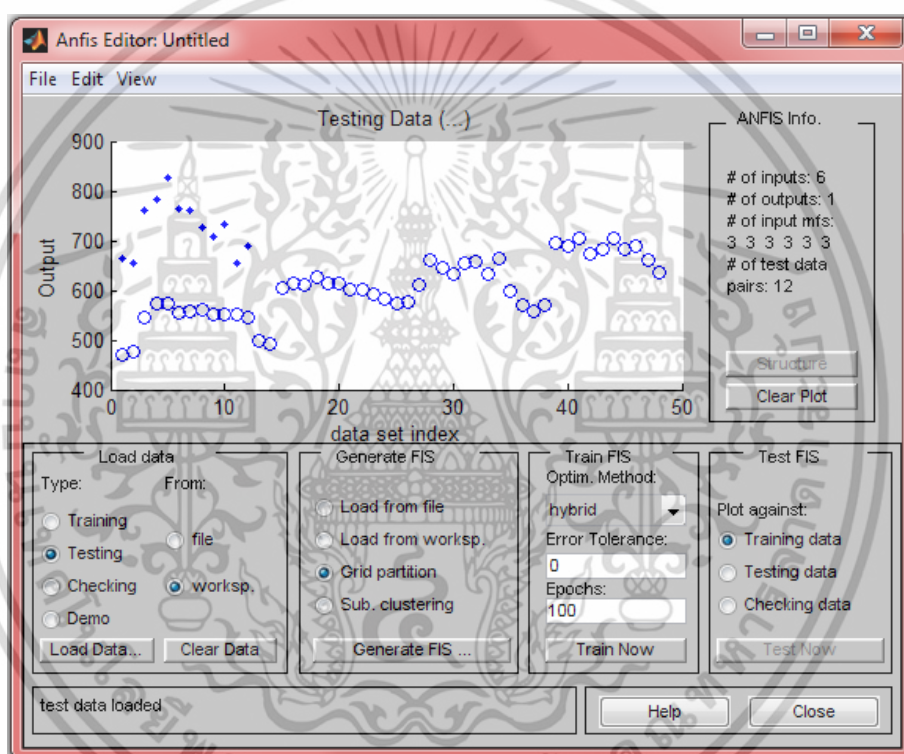
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม โดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS)

โปรแกรมสำหรับการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมโดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ ใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งมี toolbox ANFIS Editor GUI (anfisedit) ในกลุ่มของ Fuzzy Logic toolboxes โดยเริ่มต้นจากการโหลดข้อมูลเข้าโปรแกรมดังรูปที่ ข.1 แล้วตั้งค่าฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตในส่วนของ Generate FIS และเลือกกระบวนการฝึกสอนเป็น hybrid เลือกจำนวน epochs ที่ต้องการให้โปรแกรมคำนวณดังรูปที่ ข.2



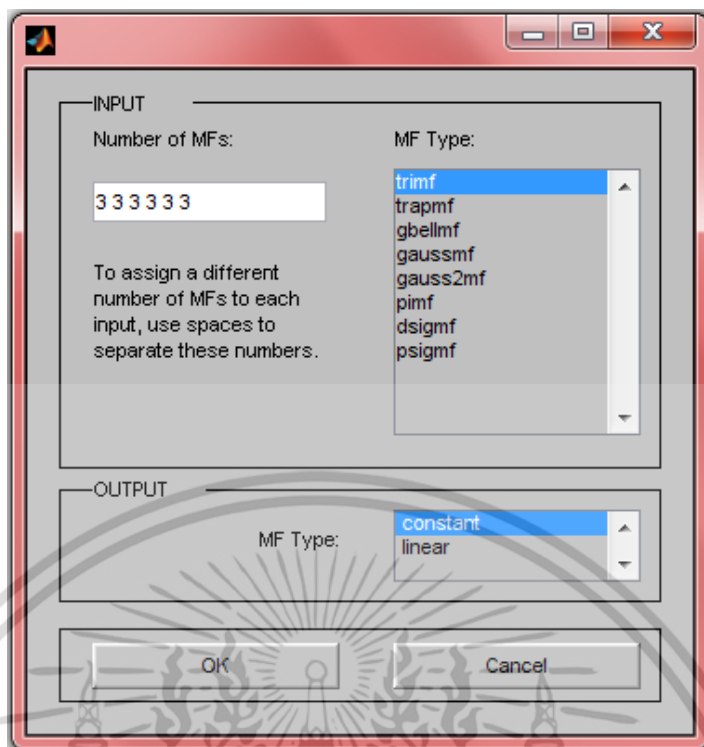
รูปที่ ข.1 โหลดข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบจาก workspace

เมื่อเลือกฟังก์ชันสมาชิกและจำนวนฟังก์ชันสมาชิกแล้ว และเลือกจำนวน epochs สามารถคลิกเพื่อดูโครงสร้างของ ANFIS ได้ ที่ **Structure** ในหน้าต่าง **Anfis Editor** ดังรูปที่ ข.3

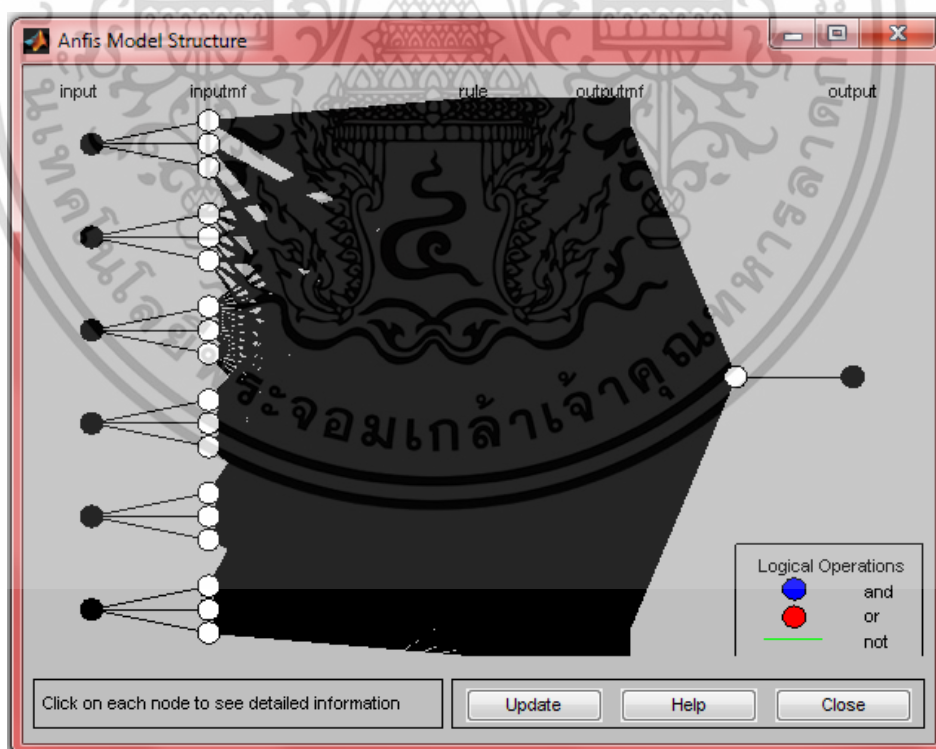
จากนั้นเลือกคลิก **Train Now** ในหน้าต่าง **Anfis Editor** เมื่อทำการฝึกสอนจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ข.4 ตามที่ได้ตั้งค่าไว้เมื่อมีการฝึกสอนเสร็จโปรแกรมจะระบุค่า RMSE ที่ error ด้านล่างซ้าย

เมื่อกระบวนการฝึกสอนเสร็จสิ้นสามารถป้อนตัวแปรอินพุตเพื่อหาค่าเอาต์พุตได้จากเมนู **Rule Viewer** ดังรูปที่ ข.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

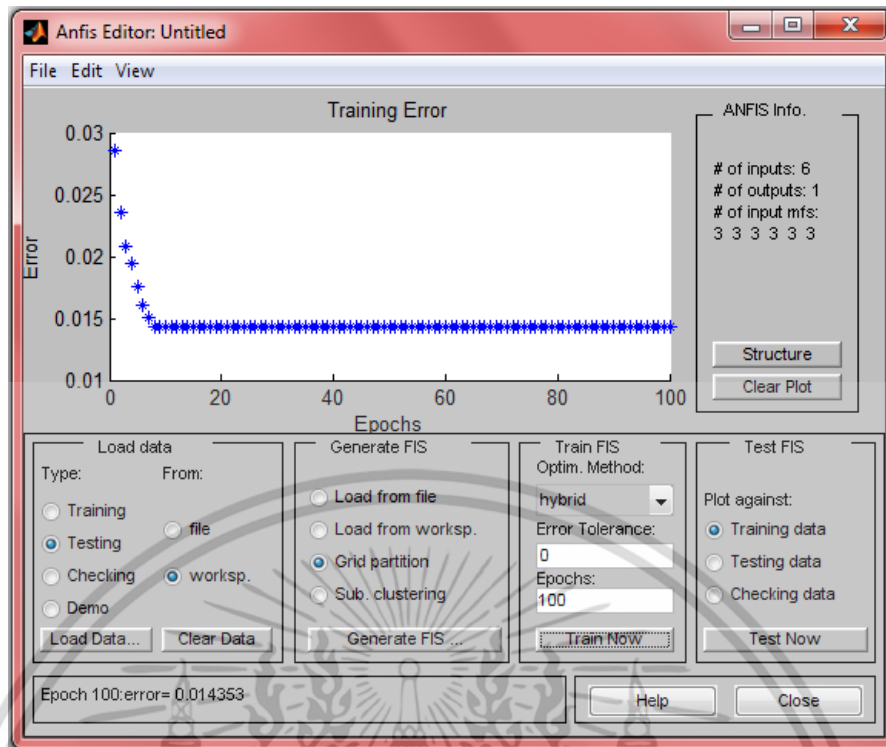


รูปที่ ข.2 เลือกฟังก์ชันสมาชิกและจำนวนฟังก์ชันสมาชิก

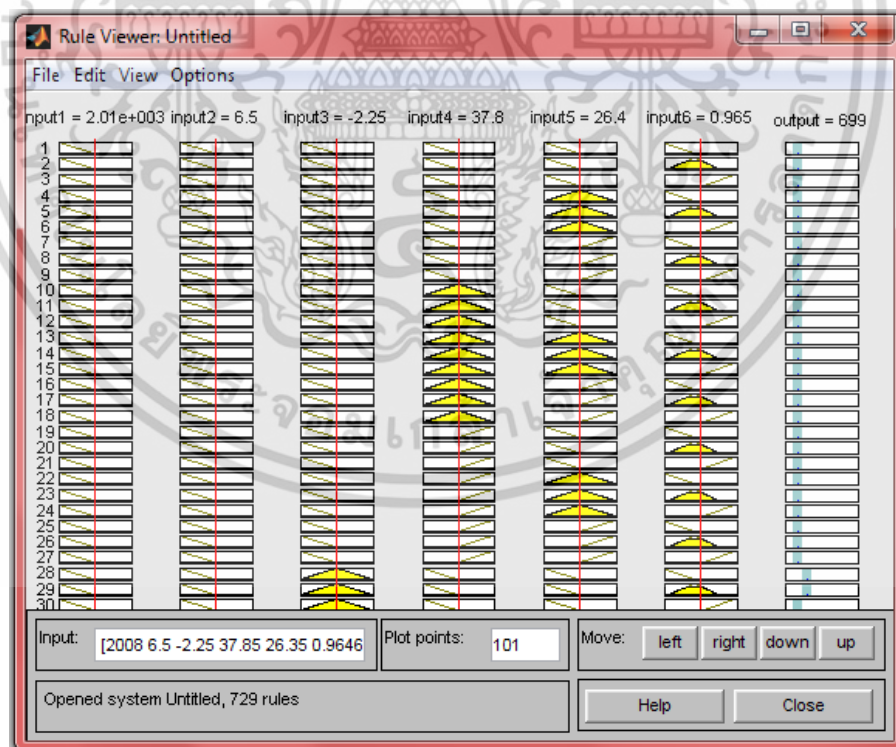


รูปที่ ข.3 โครงสร้างของ ANFIS ที่ใช้สำหรับการประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 กระบวนการฝึกสอนของ ANFIS



รูปที่ ข.5 หน้าต่าง Rule Viewer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสถิติอุณหภูมิสูงสุดรายเดือน

แหล่งที่มาจาก “งานบริการข้อมูล กลุ่มภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา” เป็นหน่วยงานของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553

ปี พ.ศ.	เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)
2548	1	37.9
2548	2	39.9
2548	3	40.5
2548	4	41.4
2548	5	40.6
2548	6	37.3
2548	7	37.5
2548	8	37.1
2548	9	36.0
2548	10	36.3
2548	11	35.6
2548	12	34.8
2549	1	36.5
2549	2	37.7
2549	3	41.3
2549	4	39.3
2549	5	38.1
2549	6	37.4
2549	7	35.9
2549	8	36.1
2549	9	36.5
2549	10	35.6
2549	11	36.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)
2549	12	36.1
2550	1	36.1
2550	2	38.5
2550	3	40.3
2550	4	40.9
2550	5	38.2
2550	6	37.8
2550	7	36.8
2550	8	36.5
2550	9	36.1
2550	10	35.5
2550	11	34.7
2550	12	36.0
2551	1	36.2
2551	2	36.6
2551	3	38.8
2551	4	39.8
2551	5	37.0
2551	6	36.4
2551	7	36.7
2551	8	36.3
2551	9	35.8
2551	10	35.5
2551	11	35.5
2551	12	34.4
2552	1	35.0
2552	2	38.8
2552	3	38.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)
2552	4	39.5
2552	5	38.2
2552	6	36.9
2552	7	36.6
2552	8	37.4
2552	9	36.7
2552	10	36.2
2552	11	36.8
2552	12	35.6
2553	1	35.9
2553	2	38.6
2553	3	40.3
2553	4	41.3
2553	5	41.1
2553	6	38.9
2553	7	37.4
2553	8	36.3
2553	9	36.0
2553	10	35.6
2553	11	35.3
2553	12	35.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน

แหล่งที่มาจาก “งานบริการข้อมูล กลุ่มภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอู่ตุนิยมวิทยา” เป็นหน่วยงานของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ง.1 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553

ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
2548	1	25.8
2548	2	28.4
2548	3	28.7
2548	4	30.2
2548	5	30.0
2548	6	29.1
2548	7	28.6
2548	8	28.4
2548	9	28.1
2548	10	27.7
2548	11	27.0
2548	12	24.9
2549	1	25.3
2549	2	27.0
2549	3	28.4
2549	4	28.8
2549	5	28.0
2549	6	28.2
2549	7	27.9
2549	8	27.6
2549	9	27.3
2549	10	27.1
2549	11	27.1
2549	12	25.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
2550	1	25.1
2550	2	26.5
2550	3	28.6
2550	4	29.0
2550	5	28.0
2550	6	28.6
2550	7	27.8
2550	8	27.8
2550	9	27.5
2550	10	26.6
2550	11	25.2
2550	12	25.8
2551	1	25.3
2551	2	25.7
2551	3	27.8
2551	4	28.7
2551	5	27.9
2551	6	27.9
2551	7	27.7
2551	8	27.7
2551	9	27.3
2551	10	27.3
2551	11	25.6
2551	12	24.2
2552	1	23.7
2552	2	27.2
2552	3	27.9
2552	4	28.9
2552	5	28.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
2552	6	28.4
2552	7	27.8
2552	8	28.2
2552	9	27.7
2552	10	27.3
2552	11	26.2
2552	12	25.7
2553	1	26.2
2553	2	27.9
2553	3	28.8
2553	4	30.4
2553	5	30.2
2553	6	29.2
2553	7	28.2
2553	8	27.6
2553	9	27.7
2553	10	26.9
2553	11	26.1
2553	12	25.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ.

ข้อมูลสถิติอัตราขยายตัวทางเศรษฐกิจสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาส

ประจำปี พ.ศ. 2548 - 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสถิติอัตราขยายตัวทางเศรษฐกิจสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาส

แหล่งที่มาจาก “สำนักบัญชีประชาชาติ” เป็นหน่วยงานของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

ตารางที่ จ.1 อัตราขยายตัวทางเศรษฐกิจสาขาอุตสาหกรรมรายไตรมาสประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553

ปี พ.ศ.	เดือน	อัตราขยายตัวทางเศรษฐกิจสาขาอุตสาหกรรม (%)
2548	1-3	3.2
2548	4-6	6.5
2548	7-9	6.4
2548	10-12	6
2549	1-3	7.6
2549	4-6	5.7
2549	7-9	5.5
2549	10-12	5.8
2550	1-3	4.6
2550	4-6	4.5
2550	7-9	5.7
2550	10-12	8.1
2551	1-3	9.5
2551	4-6	7.7
2551	7-9	6.1
2551	10-12	-6.8
2552	1-3	-14.4
2552	4-6	-8.7
2552	7-9	-5.9
2552	10-12	9.9
2553	1-3	22.9
2553	4-6	17.6
2553	7-9	11.6
2553	10-12	4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสถิติจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน

แหล่งที่มาจาก “แผนกข้อมูลสถิติ กองเศรษฐกิจพลังไฟฟ้า” เป็นหน่วยงานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ตารางที่ ๑.1 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553

ปี พ.ศ.	เดือน	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2548	1	835814	29663	2623
2548	2	838953	29823	2622
2548	3	842329	30341	2633
2548	4	844306	30538	2644
2548	5	846233	30791	2666
2548	6	848252	30868	2666
2548	7	853196	30978	2690
2548	8	854646	31200	2704
2548	9	856558	31354	2712
2548	10	857875	31500	2719
2548	11	860975	31666	2729
2548	12	862902	31765	2734
2549	1	865816	31869	2735
2549	2	868704	32090	2730
2549	3	871698	32381	2741
2549	4	874982	32566	2755
2549	5	878069	32763	2756
2549	6	883060	32863	2759
2549	7	889936	33044	2781
2549	8	895028	33213	2791
2549	9	900642	33269	2795
2549	10	905443	33376	2797
2549	11	909698	33546	2816

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2549	12	912049	33746	2820
2550	1	914435	33869	2815
2550	2	916664	34030	2829
2550	3	919048	34356	2842
2550	4	922010	34742	2855
2550	5	932423	34913	2929
2550	6	943919	35122	2944
2550	7	948346	35064	3080
2550	8	953702	35118	3132
2550	9	965782	35255	3155
2550	10	970870	35351	3159
2550	11	974558	35437	3159
2550	12	977818	35526	3155
2551	1	979335	35704	3155
2551	2	981675	35871	3158
2551	3	983476	36282	3200
2551	4	986495	36567	3209
2551	5	990126	36666	3227
2551	6	1002341	36805	3249
2551	7	1013302	37039	3262
2551	8	1019375	37096	3275
2551	9	1016775	37257	3298
2551	10	1016245	37403	3313
2551	11	1017539	37456	3324
2551	12	1019569	37529	3331
2552	1	1022530	37689	3463
2552	2	1021929	37786	3476
2552	3	1022899	37973	3475

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.1 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (ราย)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2552	4	1024567	38320	3489
2552	5	1027953	38379	3508
2552	6	1032613	38361	3504
2552	7	1037754	38500	3514
2552	8	1041031	38579	3529
2552	9	1047691	38751	3532
2552	10	1052318	38819	3551
2552	11	1058413	38863	3562
2552	12	1063392	38988	3563
2553	1	1067002	39151	3575
2553	2	1069266	39320	3580
2553	3	1071640	39603	3625
2553	4	1073620	39951	3635
2553	5	1076536	40195	3660
2553	6	1079088	40351	3695
2553	7	1081128	40437	3722
2553	8	1083426	40672	3758
2553	9	1084932	40799	3783
2553	10	1087304	40757	3901
2553	11	1089396	40762	3924
2553	12	1091302	41018	3937

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสถิติความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน

แหล่งที่มาจาก “แผนกข้อมูลสถิติ กองเศรษฐกิจพลังงานไฟฟ้า” เป็นหน่วยงานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ตารางที่ ข.1 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553

ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2548	1	441023	924486	2746977
2548	2	463006	948108	2690519
2548	3	513974	1105484	3082839
2548	4	538376	1038391	2780188
2548	5	580534	1149553	3059456
2548	6	542813	1119965	2951979
2548	7	530591	1103246	2938288
2548	8	513296	1102170	2936862
2548	9	509402	1096936	2901557
2548	10	523264	1107645	3041308
2548	11	494578	1091188	2924156
2548	12	471312	1028431	2771425
2549	1	470350	1033952	2810156
2549	2	477997	1039501	2813788
2549	3	546507	1232375	3224692
2549	4	572160	1127705	2894788
2549	5	573665	1233908	3219041
2549	6	554691	1218409	3147306
2549	7	559292	1215299	3185902
2549	8	559998	1236116	3192208
2549	9	552407	1216052	3158790
2549	10	550156	1209583	3182134
2549	11	550640	1217622	3105214

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนประจำปีพ.ศ. 2548-2553 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2549	12	545441	1166359	2844752
2550	1	499245	1136241	3006312
2550	2	492086	1108327	2893339
2550	3	605304	1336086	3333645
2550	4	614642	1234601	2947241
2550	5	611772	1277595	3341904
2550	6	626126	1300749	3274532
2550	7	613948	1231253	3361515
2550	8	614127	1227190	3403668
2550	9	600298	1224547	3362608
2550	10	603061	1217647	3435298
2550	11	592007	1193654	3312374
2550	12	583030	1181131	3169290
2551	1	573101	1162403	3275488
2551	2	575900	1150469	3176161
2551	3	611171	1296907	3573234
2551	4	661970	1212839	3188600
2551	5	644892	1299059	3547375
2551	6	632924	1272079	3447476
2551	7	654794	1298884	3569156
2551	8	657427	1311182	3491662
2551	9	633515	1284344	3289067
2551	10	662861	1259640	3322516
2551	11	597429	1191407	3024297
2551	12	570589	1054221	2697134
2552	1	558996	1012738	2645179
2552	2	571801	1073384	2696208
2552	3	696856	1252384	3170982

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนประจำปีพ.ศ. 2548-2553 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม (MWh)		
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
2552	4	688081	1172811	2861576
2552	5	704244	1287479	3242551
2552	6	672765	1232097	3327793
2552	7	684239	1263223	3392400
2552	8	703899	1311191	3430485
2552	9	683501	1278063	3384411
2552	10	690544	1288381	3565090
2552	11	661270	1245016	3350523
2552	12	634953	1246361	3292629
2553	1	665036	1222395	3392123
2553	2	654381	1216954	3352757
2553	3	761702	1414293	3806286
2553	4	783301	1333727	3436324
2553	5	827116	1450939	3806403
2553	6	765092	1391449	3670769
2553	7	759787	1402831	3799905
2553	8	726546	1374598	3786530
2553	9	707137	1367992	3723775
2553	10	731382	1332418	3890232
2553	11	655854	1276930	3691598
2553	12	689295	1276788	3643381

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ซ.

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช.1 วารสารวิศวกรรมสาร มก. ปีที่ 29 ฉบับที่ 96 ประจำปี พ.ศ. 2559 การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุมานฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้

Monthly Energy of Industrial Sector Forecasting for Provincial Electricity Authority Using Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems

ชาญชลิต อินทลุก และ สมชาติ จิรวិภากร

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทร. 02-326-4550 โทรสาร 02-326-4550

E-mail : charnchalit@gmail.com และ kjsomcha@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมแบบรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยนำค่าอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรม ค่าอุณหภูมิสูงสุด ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม และความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม มาวิเคราะห์ร่วมกัน ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks : ANN) และวิธีระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems : ANFIS) โดยกำหนดให้ ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) ซึ่งวิธีการ ANN ให้ผลการทำนายที่ดีกว่า ANFIS

คำสำคัญ : โครงข่ายประสาทเทียม, ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้, การทำนายพลังงานไฟฟ้า

Abstract.

This paper proposes a method to monthly energy of Industrial sector forecasting for Provincial Electricity Authority (PEA). By bringing manufacturing sector growth rate, max temperature, relative humidity, number of customers and energy demands are analyzed together by approach Artificial Neural Networks (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS). By requiring energy demands is output of ANN and ANFIS. The results indicate that Artificial Neural Networks (ANN) yields better performance than Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS).

Key words : Artificial Neural Networks, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems , Energy Forecasting

1. บทนำ

การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่แม่นยำจะต้องมีการนำปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น สภาพเศรษฐกิจ จำนวนประชากร จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า สภาพอากาศ เป็นต้น มาช่วยในการวิเคราะห์

การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีหลายวิธี ได้แก่ วิธีเอกโพเนนเชียลลู่ตึง (Exponential Smoothing) [1] การถดถอยพหุคูณ (Multiple-regression) [2] การใช้เทคนิคจีนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm) [3, 4] การใช้เทคนิคฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) [5] การใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) [6-8] การ

ใช้ระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems : ANFIS) [9] ซึ่งเป็นเทคนิคเชิงปัญญาประดิษฐ์

ในบทความนี้ได้นำเสนอการนำระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) และ โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) มาใช้ทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยใช้ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม สภาพภูมิอากาศ ชนิดของเดือน ชนิดของปี และอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรม มาเป็นปัจจัยในการวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และได้มีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของทั้ง ANN และ ANFIS

2. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks : ANN)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่มีการประมวลข้อมูลที่ถูกพัฒนาโดยอาศัยหลักการการทำงานของโครงข่ายประสาทชีววิทยาของมนุษย์ ในบทความนี้จะเน้นโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ต้องมีผู้สอน (Supervised Learning) เพื่อช่วยกำหนดเอาต์พุตเป้าหมาย (Output target) ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม และเลือกใช้แบบหลายชั้น (Multi-Layer Feed Forward Neural Network) ชนิดที่มีการแพร่ย้อนกลับ (Back-propagation) เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ค่อนข้างซับซ้อน และไม่เป็นเชิงเส้น

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ย้อนกลับนั้น จะประกอบไปด้วย ตัวแปรด้านเข้า (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และตัวแปรด้านออก (Output Layer) ในแต่ละชั้นจะมีการต่อแบบเชื่อมถึงกันหมด (Fully Connect) โดยในแต่ละนิวรอนจะประกอบไปด้วย ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) และค่าไบแอส (Bias) ซึ่ง

เริ่มต้นจากการสุ่ม นอกจากนี้ยังมีตัวกระตุ้น (Activation Function) หรือฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ช่วยในการคำนวณค่าที่เหมาะสม [10] เช่น Tan-Sigmoid, Log-Sigmoid และ Linear

โดยเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม นั้นสามารถวัดค่าความแม่นยำของเอาต์พุต ที่ได้โดยอาศัยค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) [8] เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (1)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{output_{actual_i} - output_{ANN_i}}{output_{actual_i}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ $output_{ANN_i}$ คือ ค่าเอาต์พุตที่เป็นคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียม
 $output_{actual_i}$ คือ ค่าเอาต์พุตที่เป็นจริง
 n คือ จำนวนข้อมูลฝึกสอนหรือทดสอบ

3. ระบบอนุมานฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System : ANFIS)

ประเภทของโครงข่ายที่มีการปรับตัว บนกรอบพื้นฐานของการปรับตระบบอนุมานโดยฟuzzy (Fuzzy Inference Systems : FIS) โครงข่ายชนิดนี้เรียกว่า ANFIS ซึ่งย่อมาจาก Adaptive Network-based Fuzzy Inference Systems หรือ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems [11,12]

3.1 โครงสร้าง ANFIS

เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ สมมุติระบบอนุมานโดยฟuzzy ภายใต้การพิจารณามี 2 อินพุต คือ x และ y และ 1 เอาต์พุต f สำหรับโมเดลฟuzzy Sugeno อันดับที่ 1 โดยทั่วไปหลักปฏิบัติเซตของ 2 ฟuzzy คือหลัก if - then สามารถแสดงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

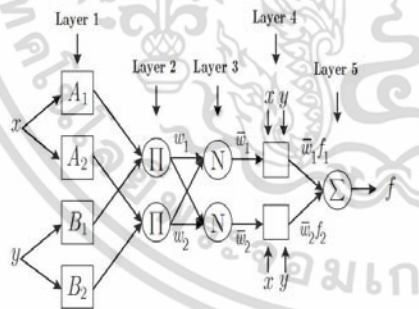
กฎข้อที่ 1 : ถ้า x คือ A_1 และ y คือ B_1
 เมื่อ $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$
 กฎข้อที่ 2 : ถ้า x คือ A_2 และ y คือ B_2
 เมื่อ $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

เมื่อ p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 และ r_2 เป็นพารามิเตอร์ ผลลัพธ์

โครงสร้างของ ANFIS ดังรูปที่ 1 สามารถอธิบาย ได้ดังต่อไปนี้ (เอาท์พุทโหนด i ในชั้น l เช่น $O_{l,i}$)
 ชั้นที่ 1 ทุกโหนด i ในชั้นนี้คือการปรับโหนด โหนด เอาท์พุทกำหนดโดย

$$\begin{aligned} O_{l,i} &= \mu_{A_i}(x), \text{ for } i = 1, 2 \text{ หรือ} \\ O_{l,i} &= \mu_{B_{i-2}}(y), \text{ for } i = 3, 4 \end{aligned} \quad (2)$$

เมื่อ x, y คือ อินพุทของโหนด
 A_i, B_{i-2} คือ สัญลักษณ์ทางภาษาที่ เกี่ยวข้องกับฟังก์ชันสมาชิก
 $\mu_{A_i}, \mu_{B_{i-2}}$ คือ ฟังก์ชันสมาชิก
 $O_{l,i}$ คือ ค่าฟังก์ชันสมาชิกของ A_i for $i = 1, 2$ ที่เกิดจากค่า x หรือ $O_{l,i}$ คือ ค่าฟังก์ชันสมาชิกของ B_{i-2} for $i = 3, 4$ ที่เกิดจากค่า y



รูปที่ 1 โครงสร้างของ ANFIS

ในงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชันสมาชิกแบบ Gaussian function เพราะเป็นฟังก์ชันสมาชิกที่ทำให้ผลการทำนายมีความแม่นยำกว่าฟังก์ชันสมาชิกแบบอื่น โดยมีรูปแบบดังนี้

$$\mu_{A_i}(x) = e^{-\frac{(x-c_i)^2}{2a_i^2}} \quad (3)$$

เมื่อ c_i, a_i คือ เซตพารามิเตอร์ พารามิเตอร์ ในชั้นนี้เรียกว่า พารามิเตอร์หลักฐาน (premise parameters)

ชั้นที่ 2 ทุกโหนดในชั้นนี้เป็นโหนดวงกลมสัญลักษณ์ π ซึ่งคือการคูณกันของสัญญาณที่เข้ามาและส่งออกเป็น เอาท์พุท ตัวอย่างเช่น

$$\begin{aligned} O_{2,i} &= w_i \\ &= \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \end{aligned} \quad (4)$$

ชั้นที่ 3 ทุกโหนดในชั้นนี้เป็นโหนดวงกลมสัญลักษณ์ N ซึ่งจะทำการนอร์มอลไลซ์ค่านำหนัก

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1+w_2}, \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

ชั้นที่ 4 ทุกโหนด i ในชั้นนี้เป็นโหนดสี่เหลี่ยมที่มี ฟังก์ชันโหนด

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(p_i x + q_i y + r_i) \quad (6)$$

เมื่อ \bar{w}_i คือ เอาท์พุทของชั้นที่ 3 และ $\{p_i, q_i, r_i\}$ เป็นเซตพารามิเตอร์ พารามิเตอร์ในชั้นนี้ เรียกว่า พารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ (Consequent parameter)

ชั้นที่ 5 ชั้นนี้มีโหนดเดียวเป็นโหนดวงกลมสัญลักษณ์ Σ ซึ่งเอาท์พุทที่ได้คือการรวมกันของสัญญาณเข้ามา ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$O_{5,i} = \sum \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

3.2 ขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบผสม

ค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน (premise parameters) ที่ได้รับ เอาท์พุททั้งหมดสามารถแสดงในรูปของผลรวมเชิงเส้นของพารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ (consequent parameter) เพื่อชัดเจนมากขึ้น เอาท์พุท f สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} f &= \frac{w_1}{w_1+w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1+w_2} f_2 \\ &= \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \\ &= (\bar{w}_1 x) p_1 + (\bar{w}_1 y) q_1 + \bar{w}_1 r_1 \\ &\quad + (\bar{w}_2 x) p_2 + (\bar{w}_2 y) q_2 + \bar{w}_2 r_2 \quad (8) \end{aligned}$$

ซึ่งคือเส้นตรงในพารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 และ r_2 ดังนั้นขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบผสม มีการพัฒนาในส่วนก่อนหน้านี้ สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงมากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนคำนวณข้างหน้าของขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบผสม โหนดเอาท์พุทส่งผ่านไปข้างหน้าจนกระทั่งขั้นที่ 4 และพารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ ถูกตรวจสอบโดยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) ในส่วนการคำนวณค่าย้อนกลับสัญญาณค่าผิดพลาดถูกแพร่กลับมา

และพารามิเตอร์พื้นฐานถูกอัปเดตโดย gradient descent ดังแสดงในตารางที่ 1

4. วิธีการ

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนนั้น ได้นำข้อมูลอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรม (Manufacturing Sector Growth : MSG) อุณหภูมิสูงสุด ค่าความชื้นสัมพัทธ์ จำนวนผู้ใช้ และความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม โดยจำนวนผู้ใช้และความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม แบ่งเป็น ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ข้อมูลที่ใช้อยู่ในช่วงเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2006 ถึงเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2010 มีจำนวนข้อมูลฝึกสอน 48 ชุด (ม.ค. 2006 – ธ.ค. 2009) และข้อมูลทดสอบ 12 ชุด (ม.ค. 2010 – ธ.ค. 2010) แบ่งการทดลองแต่ละขนาดอุตสาหกรรม และแยกแต่ละขนาดอุตสาหกรรมเป็น 2 แบบ คือแบบที่ 1 ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าตรงกับเดือนที่ทำนาย และแบบที่ 2 ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและอัตราขยายตัวสาขาอุตสาหกรรมย้อนหลัง 3 เดือน

โครงสร้างของ ANFIS เลือกใช้ โมเดลฟัซซี Sugeno และฟังก์ชันสมาชิกอินพุตที่เลือกใช้ จะทำการปรับเปลี่ยนเป็น trimf, trapmf, gbellmf, gaussmf, pimgf, dsigmf และ psigmf ส่วนฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุตที่เลือกใช้จะปรับเปลี่ยนเป็น constant และ linear

ตารางที่ 1 กระบวนการเรียนรู้แบบผสมสำหรับ ANFIS

-	Forward Pass	Backward Pass
Premise Parameters	Fixed	Gradient Descent
Consequent Parameters	Least Squares Estimate	Fixed
Signals	Node Outputs	Error Rates

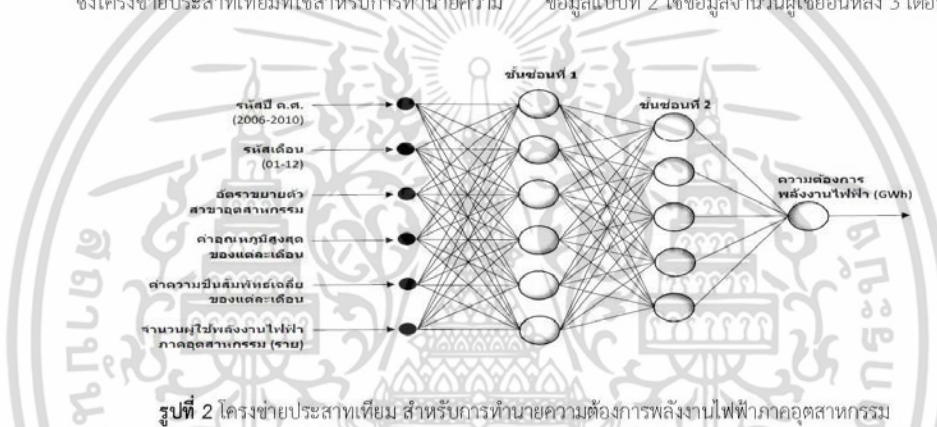
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบสองชั้นซ่อน มีการแพร่ค่าย้อนกลับ และจะออกแบบให้จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 น้อยกว่าชั้นซ่อนที่ 1 อยู่หนึ่งนิวรอนตามหลักการออกแบบรูปทรงพีระมิด โดยเงื่อนไขในการเลือกค่า Weight และ Bias จะเลือกโดยการสุ่ม (Random) ทำการเรียนรู้ 30 รอบ เพื่อให้การฝึกสอนแต่ละรอบมีทิศทางลู่เข้าแตกต่างกันไป และฟังก์ชันถ่ายโอนที่เลือกใช้ จะทำการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid, Log-Sigmoid และ Linear ทั้งในชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับการทำนาย ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg -Marquardt 500 epochs ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับการทำนายความ

ต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม แสดงดังรูปที่ 2 การปรับโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะเริ่มต้นจากจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 เป็น 2-1 ตามลำดับ ไปจนถึง จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 เป็น 16-15 ตามลำดับ

5. ผลการจำลอง

การจำลองการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม แบ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยใช้ ANN เปรียบเทียบกับ ANFIS ซึ่งแต่ละวิธีแบ่งเป็นใช้ข้อมูลแบบที่ 1 ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าในเดือนที่ทำนาย และข้อมูลแบบที่ 2 ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้อันหลัง 3 เดือน



รูปที่ 2 โครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการจำลอง ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยใช้ ANN

แบบที่	ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาฝึกสอน (นาท)	MAPE(%) การเรียนรู้	MAPE(%) การทดสอบ
	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อน 1	ชั้นซ่อน 2			
1	Linear	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	9	8	1.0901	0.0730	2.1194
2	Linear	Tan-Sigmoid	Linear	5	4	2.5705	1.0055	2.3116

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการจำลอง ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง โดยใช้ ANN

แบบที่	ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาฝึกสอน (นาท)	MAPE(%) การเรียนรู้	MAPE(%) การทดสอบ
	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อน 1	ชั้นซ่อน 2			
1	Log-Sigmoid	Log-Sigmoid	Tan-Sigmoid	4	3	2.5864	0.5477	2.0304
2	Linear	Tan-Sigmoid	Linear	3	2	2.1822	2.1398	1.8669

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการจำลอง ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยใช้ ANN

แบบที่	ฟังก์ชันถ่ายโอน			จำนวนนิวรอน		เวลาฝึกสอน (นาท)	MAPE(%) การเรียนรู้	MAPE(%) การทดสอบ
	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	ชั้นเอาต์พุต	ชั้นซ่อน 1	ชั้นซ่อน 2			
1	Tan- Sigmoid	Tan- Sigmoid	Linear	3	2	2.5135	0.6638	2.3578
2	Linear	Tan- Sigmoid	Linear	7	6	2.7655	3.0998	2.6527

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการจำลอง ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยใช้ ANFIS

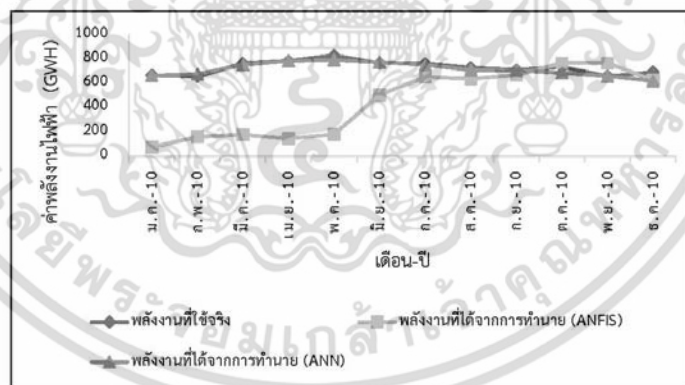
แบบที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	constant	0.2133	0.0363	41.7146
2	trimf	linear	5.4296	0.0363	64.6160

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลการจำลองภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง โดยใช้ ANFIS

แบบที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	constant	0.1946	0.2135	24.6136
2	trimf	constant	0.2073	0.2135	60.3057

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบผลการจำลอง ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยใช้ ANFIS

แบบที่	ฟังก์ชันสมาชิก อินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก เอาต์พุต	เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ (นาท)	MAPE (%) การฝึกสอน	MAPE (%) การทดสอบ
1	trimf	linear	5.3004	0.0887	46.0578
2	trimf	linear	5.2911	0.0887	70.3987



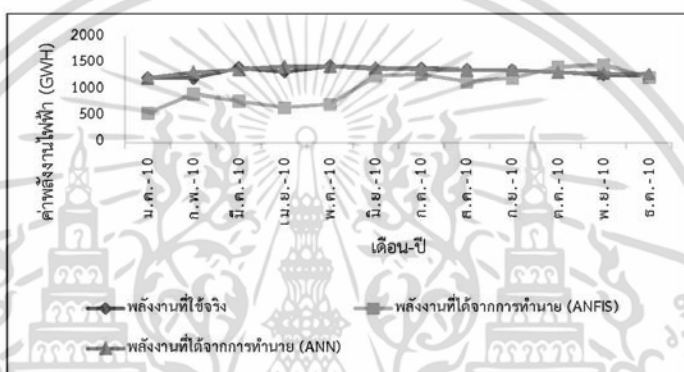
รูปที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดสอบ ANN (แบบที่ 1) และ ANFIS (แบบที่ 1) ภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2-7 ผลการจำลองส่วนใหญ่แบบที่ 1 จะดีกว่าแบบที่ 2 ทั้งค่า Mean Absolute Percent Error (MAPE) ของข้อมูลชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ และเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ ยกเว้นตารางที่ 3 ที่ผลการจำลองแบบที่ 2 ดีกว่าแบบที่ 1 ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ และค่า MAPE ของข้อมูลชุดทดสอบ ถึงแม้ว่าค่า MAPE ของข้อมูลชุดฝึกสอน ผลการจำลองแบบที่ 1 จะดีกว่าผลการจำลองแบบที่ 2

จากรูปที่ 3-5 จะเห็นว่ากราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนายโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ANN)

มีค่าใกล้เคียงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง มากกว่าการทำนายโดยวิธีระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) อย่างเห็นได้ชัด โดยข้อมูลชุดฝึกสอนและชุดทดสอบของทั้ง 2 วิธี เป็นข้อมูลชุดเดียวกัน การทดสอบวิธี ANN ได้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) น้อยกว่าวิธี ANFIS แสดงให้เห็นว่าในการทดลองนี้ ประสิทธิภาพการทำนายโดยโครงข่ายประสาทเทียมดีกว่าระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้



รูปที่ 4 เปรียบเทียบผลการทดสอบ ANN (แบบที่ 2) และ ANFIS (แบบที่ 1) ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลการทดสอบ ANN (แบบที่ 1) และ ANFIS (แบบที่ 1) ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เปรียบเทียบกับวิธีระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) ผลที่ได้จากการจำลองนี้คือ ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAPE) ของ ANN มีค่าน้อยกว่า ANFIS จากการใช้ข้อมูลในการฝึกสอนและทดสอบชุดเดียวกัน หมายถึงข้อมูลที่น่ามาใช้ในการทดลองนี้เหมาะสมกับ ANN มากกว่า ทำให้ ANN มีประสิทธิภาพดีกว่า ANFIS และการทดสอบเพิ่มเติมจะต้องดำเนินการต่อไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายให้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น โดยปรับเปลี่ยนตัวแปรอื่นๆ เช่น ใช้ข้อมูลค่าอุณหภูมิย้อนหลัง ข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์ย้อนหลัง เป็นต้น ซึ่งเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และกรมอุดมศึกษาเป็นอย่างสูง ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Christiaanse, W.R., (1971) "Short-term load forecasting using exponential smoothing", IEEE.
- [2] Thompson, R.p. (1976) "Weather sensitive demand and energy analysis on a large geographically diverse power system: application to short-term hourly electric demand forecasting", IEEE.
- [3] Du Xin-hui, Tian Feng and Tan Shao-qiong, (2010) "Study of Power System Short-term Load Forecast Based on Artificial Neural Network and Genetic Algorithm", IEEE.
- [4] Farahat M. A. and Talaat M., (2010) "A New Approach for Short-Term Load Forecasting Using Curve Fitting Prediction Optimized by Genetic Algorithms", MEPCON Proceedings., Paper ID 125.
- [5] Hinojosa V.H. and Hoese A., (2010) "Short-Term Load Forecasting Using Fuzzy Inductive Reasoning and Evolutionary Algorithms", IEEE.
- [6] นฤมล ชิงเกียรติตระกูล และสมชาติ จิรวิภากร. (เม.ย.-มิ.ย. 2549). การพยากรณ์โหลดระยะสั้น โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ
- [7] Arnit Jain and Satish B., (Nov. 2008) "Integrated Approach for Short Term Load Forecasting using SVM and ANN", TENCON.
- [8] Vikram Kumar, Akhil Gupta and Dr. Sanjeev Aggarwal, (Jan. 2014) "Artificial Neural Network Based Load Forecasting Using Levenberg-Marquardt Method", UARCSSE., Vol. 4, Issue 1, pp. 403-407.
- [9] Thai Nguyen and Yuan Liao, (Nov. 2011) "Short-Term Load Forecasting Based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System", JCP., Vol. 6, NO. 11, pp. 2267-2271.
- [10] สมชาติ จิรวิภากร. (2554). การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในระบบไฟฟ้ากำลัง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
- [11] Jang. J.-S.R., (May/Jun. 1993) "ANFIS: Adaptive Network-Based Fuzzy Inference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- System”, IEEE Trans. Syst., Cybern., vol. 23, pp. 665-685.
- [12] Jang, J.-S.R. and Chuen-Tsai Sun, (Mar. 1995) “Neuro-fuzzy modeling and control”, IEEE Proceedings., vol. 83, no. 3, pp. 378-406.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชาญชิต อินทสุก
วัน เดือน ปีเกิด	3 มกราคม 2528 ที่จังหวัดลำปาง
ที่อยู่	363 หมู่ที่ 8 ตำบลปงแสนทอง อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง 52100
ประวัติการศึกษา	
2547	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย
2551	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ประสบการณ์การทำงาน	
2551-2552	วิศวกรซ่อมบำรุง บริษัท เอจีซี ออโตโมทีฟ (ประเทศไทย) จำกัด
2552-2554	วิศวกรสนาม บริษัท เอ็นจิเนียริง ซิสเต็ม คอนซัลแตนท์ จำกัด
2554-2556	วิศวกรออกแบบ ระบบไฟฟ้าและสื่อสาร บริษัท เอ็นจิเนียริง ซิสเต็ม คอนซัลแตนท์ จำกัด
2556-2557	วิศวกรออกแบบ ระบบไฟฟ้าและสื่อสาร บริษัท ชัชวาล-รอยัล แอสโคโน้ง จำกัด
ปัจจุบัน	กรรมการผู้จัดการ บริษัท วิชั่น มาสเตอร์ จำกัด
ใบประกอบวิชาชีพ	สามัญวิศวกร สาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง
ผลงานทางวิชาการ	การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทยืดหยุ่น และระบบอนุมาณ ฟuzzyโครงข่ายปรับตัวได้ วารสารวิศวกรรมสาร มก. ปีที่ 29 ฉบับที่ 96 ประจำปี พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้