

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวของระบบ กฟผ.

โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

LONG-TERM PEAK LOAD FORECASTING FOR EGAT SYSTEM

USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....**61029**.....  
รับเดือนปี - 7.0.0. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1748-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุก  
116 2863 1  
b.....  
i.....

**LONG-TERM PEAK LOAD FORECASTING FOR EGAT SYSTEM  
USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2005**

**ISBN 974-15-1748-3**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2005**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวของระบบ กฟผ. โดยใช้โครงข่ายประสาทดัดเทียม
นักศึกษา	นายโอฬาร ธรรมานนท์
รหัสนักศึกษา	45061001
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์	

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวของระบบ กฟผ. โดยใช้โครงข่ายประสาทดัดเทียม ซึ่งโครงข่ายประสาทดัดเทียมจะถูกนำมาเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางเศรษฐกิจและอื่นๆ ที่เชื่อว่ามีนัยสำคัญต่อความต้องการไฟฟ้า โครงข่ายประสาทดัดเทียมนี้ได้ออกแบบเพื่อใช้พยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในอีก 13 ปีข้างหน้า (2547-2559) โดยจะถูกฝึกสอนด้วยข้อมูลจริงในอดีต 11 ปี (2533-2543) และทดสอบ 3 ปีเป้าหมาย (2544-2546) ด้วยข้อมูลทดสอบ นอกจากนี้ได้นำเสนอวิธีเลื่อนหน้าต่างข้อมูลฝึกสอนย้อนหลังไป 2 ปี สำหรับการฝึกสอนซ้ำอย่างต่อเนื่องของโครงข่ายประสาทดัดเทียม จากการเปรียบเทียบความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทดัดเทียมและเทคนิคการพยากรณ์แบบดั้งเดิม พบว่าวิธีโครงข่ายประสาทดัดเทียมให้ค่าพยากรณ์ที่มีความถูกต้องสูงกว่า

<b>Thesis Title</b>	Long-Term Peak Load Forecasting for EGAT System Using Artificial Neural Networks
<b>Student</b>	Mr. Olarn Thunmanond
<b>Student ID.</b>	45061001
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2005
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Monthon Leelajindakrairerk

### ABSTRACT

This thesis presents application of Artificial Neural Networks (ANNs) for long-term peak load forecasting of Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) systems. The ANNs are used to learn the relationship between economic and other factors, which are believed to have significant effect on the loads. The ANNs are designed in order to forecast load in a duration of 13 year (2004-2016). The ANNs are trained with the actual data, of load during the next 11 year (1990-2002) and tested for 3 target years (2001-2003). In addition a sliding window training method is introduced, with training input data of 2 year, for recurrent training process. Comparisons of the prediction between ANNs and traditional statistical method show that the accuracy from ANNs method is higher than that from the traditional statistical methods.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ที่คอยให้ความรู้ รวมถึงแนวคิดในด้านต่างๆ ตลอดจนคำชี้แนะอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมชาติ จิรวินาทร ผศ.ดร.อนันต์วัฒน์ कुमार รศ.ศุติ บรรจงจิตร และ ดร.สมภพ ผลไม้ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะต่างๆ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ อย่างละเอียดถี่ถ้วน จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ กองประมวลผลและพยากรณ์ความต้องการ ไฟฟ้า / ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า กองวางแผนพัฒนากำลังผลิต ไฟฟ้า / ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และส่วนยุทธศาสตร์นโยบายและแผนพลังงาน / สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูล ตลอดจนข้อชี้แนะต่างๆ

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอขอบคุณน้องๆ ห้องปฏิบัติการ Intelligent Systems Research ที่คอยช่วยเหลือและประสานงาน

สำหรับคุณงามความดีที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

โอฬาร ธรรมานนท์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมติฐานของการศึกษาและขอบเขตการวิจัย.....	4
1.4 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม.....	7
2.1 ความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม.....	7
2.2 การจำลองเซลล์ประสาท.....	9
2.2.1 เซลล์ประสาททางชีววิทยา.....	9
2.2.2 เซลล์ประสาทเทียม.....	9
2.2.2.1 เซลล์ประสาทเทียมอินพุตเดียว.....	10
2.2.2.2 เซลล์ประสาทเทียมหลายอินพุต.....	11
2.3 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน.....	12
2.4 การจัดประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม.....	14
2.4.1 การจัดประเภทตามโครงสร้าง.....	14
2.4.2 การจัดประเภทตามกฎการเรียนรู้.....	17
2.5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีหลายชั้น.....	19
2.6 กฎการเรียนรู้ที่ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	21
2.6.1 กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ.....	21
2.6.2 กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับร่วมกับ โมเมนตัม.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.3 กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับร่วมกับ โมเมนตัมและปรับอัตรา การเรียนรู้.....	26
2.6.4 กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับด้วย Levenberg-Marquardt Algorithm.....	29
2.7 การ Normalization ชุดข้อมูลฝึกสอน.....	31
2.8 การ Unnormalization ชุดข้อมูลฝึกสอน.....	34
2.9 การเลือกโครงสร้างที่เหมาะสมของโครงข่ายประสาทเทียม.....	35
2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม.....	36
บทที่ 3 ทฤษฎีการพยากรณ์ โดยใช้วิธีการทางสถิติ.....	39
3.1 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา.....	39
3.1.1 ส่วนประกอบของอนุกรมเวลา.....	40
3.1.2 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมเวลา.....	41
3.1.3 วิธีการหาค่าเฉลี่ย.....	42
3.1.3.1 วิธี Mean.....	42
3.1.3.2 วิธี Moving Average.....	43
3.1.4 วิธีการปรับให้เรียบแบบเอกโพเนนเชียล.....	43
3.1.4.1 วิธี Single Exponential Smoothing.....	43
3.1.4.2 วิธี Double Exponential Smoothing.....	44
3.1.4.3 วิธี Triple Exponential Smoothing.....	45
3.1.4.4 วิธี Pegels' Classification.....	47
3.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ.....	49
3.2.1 การประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	49
3.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	53
3.2.3 การประมาณค่าความคลาดเคลื่อน.....	55
3.2.4 การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย $b_i$ .....	55
3.2.5 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การถดถอย.....	56
3.2.6 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ.....	57
3.2.8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน.....	58
3.2.9 การตรวจสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอย.....	59
3.2.10 การตรวจสอบรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงปริมาณ 2 ตัว.....	62
<b>บทที่ 4 การวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า.....</b>	<b>64</b>
4.1 ความต้องการแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติม.....	64
4.1.1 ลักษณะการใช้ไฟฟ้า.....	65
4.1.2 ข้อกำหนดของการวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า.....	69
4.1.2.1 วิธี Deterministic Criteria.....	71
4.1.2.2 วิธี Probabilistic Criteria.....	72
4.1.3 เวลาที่ต้องการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า.....	76
4.2 การเลือกประเภทของโรงไฟฟ้า.....	77
4.2.1 คุณสมบัติของโรงไฟฟ้า.....	77
4.2.2 การเลือกประเภทโรงไฟฟ้าพิจารณาจากต้นทุนผลิตไฟฟ้า.....	78
4.2.3 ชนิดของเชื้อเพลิงที่จะจัดหาได้.....	81
4.2.4 กำหนดระยะเวลาก่อสร้าง.....	82
4.3 การเลือกขนาดกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า.....	83
4.3.1 ขนาดกำลังผลิตที่ประหยัด.....	83
4.3.2 ระดับความมั่นคงของระบบไฟฟ้า.....	84
4.3.3 ที่ตั้งของโรงไฟฟ้า.....	84
4.3.4 ระบบส่งไฟฟ้า.....	84
4.4 การเลือกที่ตั้งของโรงไฟฟ้า.....	84
4.4.1 การเลือกที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังความร้อน.....	85
4.4.2 การเลือกที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังน้ำ.....	85
4.5 การกำหนดแผนการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าระยะยาว.....	85
4.5.1 ช่วงเวลาของแผน.....	85
4.5.2 ขั้นตอนการวางแผน.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม.....	89
5.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า.....	89
5.2 การจัดเตรียมข้อมูล.....	91
5.3 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม.....	93
5.3.1 จำนวนเซลล์ประสาทของชั้นตัวแปรด้านเข้าและตัวแปรด้านออก.....	93
5.3.2 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน.....	93
5.3.3 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม.....	94
5.3.4 จำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนที่เหมาะสม.....	95
5.3.5 การปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัส.....	96
5.3.6 การวัดประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม.....	97
บทที่ 6 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวโดยใช้วิธีการทางสถิติ.....	99
6.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า.....	99
6.2 การจัดเตรียมข้อมูล.....	101
6.3 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธี Holt's Linear.....	102
6.4 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธี Multiple Linear Regression.....	110
บทที่ 7 ผลการทดลอง.....	120
7.1 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม.....	120
7.1.1 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนและจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่เหมาะสม.....	120
7.1.2 ผลของ GDP ที่มีต่อการพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด.....	121
7.2 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวโดยใช้วิธีการทางสถิติ.....	173
7.3 แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 (กรณีศึกษา).....	178
7.3.1 สถานภาพปัจจุบัน.....	178
7.3.2 สมมุติฐานที่ใช้ในการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า.....	179
7.3.3 การจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558.....	180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3.1	แผนพัฒนาไฟฟ้าภาคใต้.....	180
7.3.3.2	แผนพัฒนาไฟฟ้าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	180
7.3.3.3	แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้ารวม.....	181
7.3.4	กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองต่ำสุดในแต่ละปี.....	181
7.3.5	แนวทางแก้ไขปัญหากำลังผลิตสำรองต่ำในปี พ.ศ. 2549.....	181
7.3.5.1	มาตรการด้านการใช้ไฟฟ้า.....	182
7.3.5.2	มาตรการด้านการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า.....	183
<b>บทที่ 8</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>191</b>
8.1	สรุปผลการวิจัย.....	191
8.2	ข้อเสนอแนะ.....	192
	เอกสารอ้างอิง.....	194
	ภาคผนวก ก การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทย.....	203
	ภาคผนวก ข กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า.....	213
	บทความงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	216
	ประวัติผู้เขียน.....	223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การวิจัยโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่สำคัญในยุคต่างๆ.....	8
3.1 Pegels' Classification.....	47
3.2 สูตรสำหรับการคำนวณ และพยากรณ์โดยใช้ Pegels' Classification.....	48
3.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table).....	54
4.1 ข้อดีและข้อเสียในการกำหนดกำลังผลิตสำรองด้วยวิธีทั้งสาม.....	75
4.2 สรุปคุณสมบัติที่สำคัญของโรงไฟฟ้าต่างๆ.....	82
6.1 ผลลัพธ์จากการใช้ค่าตั้ง Bivariate Correlations.....	113
7.1 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 1 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG).....	122
7.2 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 2 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG).....	123
7.3 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 3 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG).....	124
7.4 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 4 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG).....	125
7.5 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 5 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG).....	126
7.6 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 6 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG).....	127
7.7 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG).....	128
7.8 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 8 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG).....	129
7.9 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 9 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG).....	130
7.10 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 10 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG).....	131

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
7.25 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 10 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG).....	148
7.26 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 11 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG).....	149
7.27 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 12 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG).....	150
7.28 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 13 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG).....	151
7.29 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 14 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG).....	152
7.30 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 15 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG).....	153
7.31 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 1 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	156
7.32 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 2 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	157
7.33 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 3 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	158
7.34 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 4 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	159
7.35 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 5 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	160
7.36 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 6 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	161
7.37 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	162
7.38 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาท ในชั้นซ่อน 8 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	163

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
7.39 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัด ในชั้นซ่อน 9 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	164
7.40 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัด ในชั้นซ่อน 10 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	165
7.41 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัด ในชั้นซ่อน 11 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	166
7.42 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัด ในชั้นซ่อน 12 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	167
7.43 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัด ในชั้นซ่อน 13 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	168
7.44 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัด ในชั้นซ่อน 14 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	169
7.45 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัด ในชั้นซ่อน 15 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG) .....	170
7.46 ผลการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้วิธีการทางสถิติ.....	174
7.47 สรุปผลการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้โครงข่ายประสาทดัดเทียมและวิธีการทางสถิติ.....	175
7.48 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองต่ำสุดในแต่ละปี (กรณีศึกษา).....	181
7.49 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 (กรณีศึกษา).....	184
7.50 สรุปแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 (กรณีศึกษา).....	189
ข 1 กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า.....	213

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ความสำคัญของการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า.....2
1.2	ความสัมพันธ์ของการวางแผนด้านพลังงานไฟฟ้ากับด้านพัฒนาเศรษฐกิจ.....3
2.1	เซลล์ประสาททางวิทยาอย่างง่าย.....9
2.2	เซลล์ประสาทเทียมที่มีอินพุตเดียว.....11
2.3	เซลล์ประสาทเทียมที่มีหลายอินพุต.....12
2.4	ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard limit.....12
2.5	ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear.....13
2.6	ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid.....13
2.7	ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid.....14
2.8	Feedforward Networks.....15
2.9	Recurrent Networks.....16
2.10	การเรียนรู้แบบมีการควบคุม.....17
2.11	การเรียนรู้แบบไม่มีการควบคุม.....18
2.12	การเรียนรู้แบบเสริม.....18
2.13	โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีสองชั้น.....19
2.14	การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution).....32
3.1	Forecasting Scenario.....39
3.2	รูปแบบของข้อมูลอนุกรมเวลา.....41
3.3	ระนาบถดถอยแบบพหุคูณที่มีตัวแปรตาม $Y$ และตัวแปรอิสระ $X_1$ และ $X_2$ .....50
3.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $e$ กับ $\hat{Y}$ .....59
3.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $e_t$ กับ $t$ .....60
3.6	การแจกแจงของ Durbin-Watson.....61
3.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $X$ และ $Y$ .....62
4.1	ลักษณะของพลังไฟฟ้าในวันที่มีการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุด ในช่วงปี พ.ศ. 2531-2546.....65
4.2	ลักษณะการผลิต/การใช้ไฟฟ้าแสดงด้วย Load Curve.....67
4.3	ประโยชน์ของ Load Duration Curve ในการวางแผน.....68
4.4	Load Duration Curve ในการพิจารณาความมั่นคงของระบบผลิตไฟฟ้า.....70
4.5	การเพิ่มความต้องการใช้ไฟฟ้า และแผนการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า.....76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6	ค่าใช้จ่ายของการผลิตไฟฟ้า.....79
4.7	การเดินเครื่องโรงไฟฟ้าให้มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด.....80
4.8	ช่วงเวลาของการทำแผน.....86
4.9	ขั้นตอนการวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า.....88
5.1	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2546.....89
5.2	ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ในช่วงปี พ.ศ. 2531-2546.....90
5.3	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2531-2546.....90
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายตัวของค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP), จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศและค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ.....91
5.5	สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการพยากรณ์ Peak Load.....94
5.6	การเลือกจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อน.....96
5.7	ขั้นตอนการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม.....98
6.1	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2546.....99
6.2	ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2546.....100
6.3	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2546.....100
6.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายตัวของค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP), จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศและค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ.....101
6.5	กรอบคำสั่ง Define Dates.....103
6.6	กรอบคำสั่ง Sequence Charts.....103
6.7	กราฟของตัวแปร Peak Load.....104
6.8	กรอบคำสั่ง Exponential Smoothing.....104
6.9	กรอบคำสั่งย่อย Exponential Smoothing : Save.....105
6.10	กรอบคำสั่งย่อย Exponential Smoothing : Parameters.....105
6.11	ขั้นตอนการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้วิธี Holt's Linear.....109
6.12	กรอบคำสั่ง Scatterplot.....110
6.13	กรอบคำสั่งย่อย Simple : Scatterplot.....111
6.14	กราฟที่ได้จากการ Plot เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ละคู่ด้วยคำสั่ง Simple.....112
6.15	กรอบคำสั่ง Bivariate Correlations.....113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.16 กรอบคำสั่ง Linear Regression.....	114
6.17 กรอบคำสั่งย่อย Linear Regression : Statistics.....	114
6.18 กรอบคำสั่งย่อย Linear Regression : Plots.....	115
6.19 กราฟ Histogram ของ Regression Standardize Residual.....	116
6.20 กราฟ P-P Plot ของ Regression Standardize Residual.....	117
6.21 กราฟ Scatter ระหว่างค่า Regression Standardized Residual กับค่า Regression Standardized Predicted Value.....	117
6.22 ขั้นตอนการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้วิธี Multiple Linear Regression.....	119
7.1 การเลือกจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อน.....	121
7.2 เปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2543 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง).....	137
7.3 เปรียบเทียบค่าจริง และค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง).....	137
7.4 Absolute Percentage Error ของค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง).....	138
7.5 ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง).....	138
7.6 เปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2543 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว).....	154
7.7 เปรียบเทียบค่าจริง และค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว).....	154
7.8 Absolute Percentage Error ของค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว).....	155
7.9 ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว).....	155
7.10 เปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2543 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า).....	171

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.11	เปรียบเทียบค่าจริง และค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า).....171
7.12	Absolute Percentage Error ของค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า).....172
7.13	ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า).....172
7.14	ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้วิธี ANNs (กรณี MEG, REG และ LEG).....176
7.15	ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้วิธี Multiple Linear Regression (กรณี MEG, REG และ LEG).....176
7.16	ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้วิธี Holt's Linear.....177
7.17	ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้วิธีการของ TLFS .....177
7.18	สถานะกำลังผลิตไฟฟ้าและความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในปีงบประมาณ 2546.....178
7.19	แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 (กรณีศึกษา).....188
7.20	แผนที่ระบบไฟฟ้าของประเทศไทย.....190
ก 1	โครงสร้างของแบบจำลองประเภทบ้านอยู่อาศัย.....204
ก 2	โครงสร้างของแบบจำลองประเภทธุรกิจ.....207
ก 3	โครงสร้างของแบบจำลองประเภทอุตสาหกรรม.....208

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันได้ส่งผลทำให้อัตราความต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกปี ไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตประจำวันและเป็นสิ่งสำคัญพื้นฐานในการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ ถ้าหากมีไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ก็จะมีผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อระบบเศรษฐกิจของไทย แต่เนื่องจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะแตกต่างจากการผลิตสินค้าอื่นๆ เพราะลักษณะพิเศษของระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้า คือไม่สามารถเก็บสำรองพลังงานที่ผลิตได้ในขณะที่มีการใช้พลังงานน้อยเพื่อนำไปใช้ในเวลาที่มีความต้องการมากได้และความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาก็ไม่เท่ากัน นั่นก็คือขนาดของโรงไฟฟ้า ขนาดของระบบส่ง และขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตและส่งไฟฟ้าจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะจ่ายพลังไฟฟ้าในขณะที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดซึ่งอาจเกิดขึ้นเวลาหนึ่งเวลาใดก็ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า [1-2]

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าสามารถแบ่งกว้างๆ ตามช่วงเวลาของการพยากรณ์ได้ดังนี้

1 การพยากรณ์ระยะสั้น (Short-Term Forecasting) เป็นการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าช่วงเวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงล่วงหน้าจนถึง 168 ชั่วโมงหรือ 1 สัปดาห์ ซึ่งผลการพยากรณ์จะนำไปใช้ประโยชน์ในการปฏิบัติงานประจำวันของศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า เช่น การกำหนดแผนการเดินเครื่องและควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า, Unit Commitment, Economic Dispatch, Hydro-Thermal Co-Ordination และ Load Management เป็นต้น

2 การพยากรณ์ระยะกลาง (Medium-Term Forecasting) เป็นการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าช่วงเวลาตั้งแต่ 1 สัปดาห์ล่วงหน้าจนถึง 3 ปี ซึ่งผลการพยากรณ์จะนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดแผนการใช้เชื้อเพลิง, การซ่อมบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า, การระบายน้ำเพื่อการชลประทาน และประมาณการรายจ่ายค่าเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

3 การพยากรณ์ระยะยาว (Long-Term Forecasting) เป็นการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าช่วงเวลาตั้งแต่ 5 ปีล่วงหน้าจนถึง 25 ปี ซึ่งผลการพยากรณ์จะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการกำหนดแผนการขยายแหล่งผลิตและระบบส่งไฟฟ้าที่จะต้องพิจารณาตัดสินใจโดยทันที

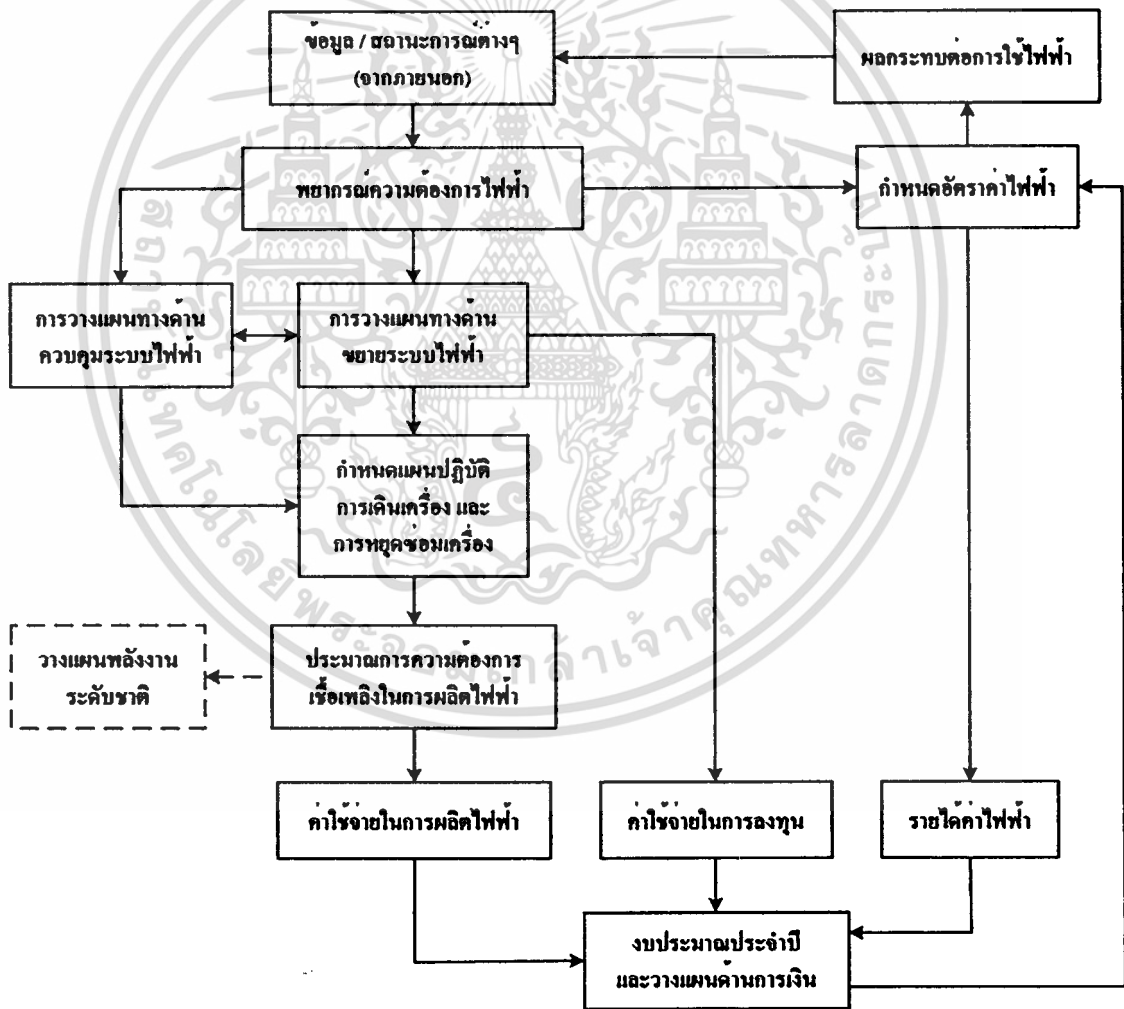
ดังนั้นการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าจึงเป็นงานที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการวางแผนและกำหนดนโยบายทางด้านไฟฟ้าของประเทศเพื่อให้หน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบด้านพลังงานนำไปจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดเวลา ซึ่งอาจจะต้องใช้เวลาเตรียมการนานประมาณ 5 - 10 ปี ถ้าหากนับตั้งแต่ขั้นคอนกร่างแผน การออกแบบจนถึงก่อสร้างโรงไฟฟ้า,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

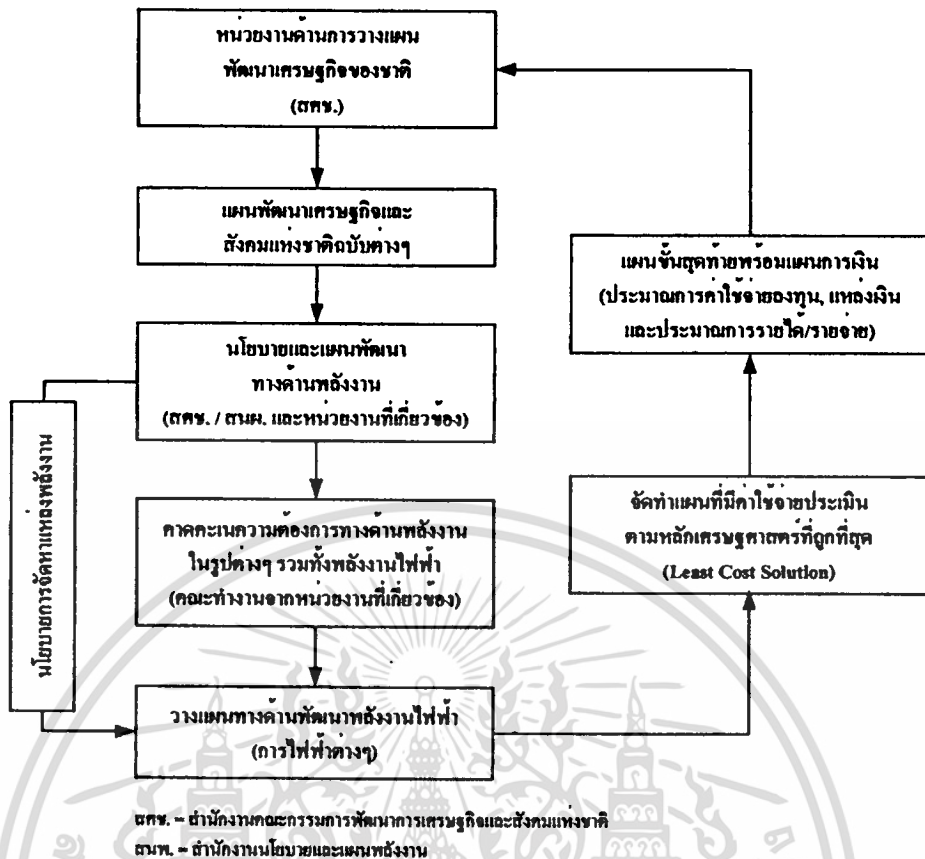
ระบบส่งพลังไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า ประกอบกับระบบไฟฟ้าของประเทศไทยก็เชื่อมโยงกับประเทศเพื่อนบ้านเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถ้าหากเกิดการขาดแคลนไฟฟ้าขึ้นภายในประเทศก็จะทำให้ไม่สามารถนำไฟฟ้าเข้าจากต่างประเทศให้เพียงพอแก่ความต้องการได้

ด้วยเหตุนี้การพยากรณ์เพื่อประเมินว่าความต้องการไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเป็นปริมาณเท่าใดนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปกำหนดแผนงาน วิเคราะห์และประเมินผลของแผนงานเพื่อเพิ่มกำลังผลิต, เพิ่มความสามารถของระบบส่งพลังไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีราคาถูกลงที่สุดและเพื่อให้การผลิตพลังไฟฟ้ามีความมั่นคง ดังนั้นจึงทำให้การวางแผนระบบไฟฟ้า การวิเคราะห์และศึกษาความมั่นคงของระบบไฟฟ้าต้องดำเนินการควบคู่กันไปกับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ [3-4] ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และ 1.2



รูปที่ 1.1 ความสำคัญของการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ของการวางแผนด้านพลังงานไฟฟ้ากับด้านพัฒนาเศรษฐกิจ [4]

นอกจากนี้ค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าที่แม่นยำและน่าเชื่อถือจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความมั่นคงด้านพลังงานไฟฟ้าของประเทศเพราะจะเป็นตัวกำหนดจังหวะของการลงทุนและการดำเนินกิจการในอนาคตของการไฟฟ้า ถ้าหากค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงก็จะกระทบต่อความเชื่อถือได้และความมั่นคงของระบบ ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้มีไฟฟ้าไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้เกิดปัญหาไฟดับไฟดับ และต้องซื้อไฟฟ้าจากประเทศข้างเคียงเข้ามาเพื่อให้เพียงพอแก่ความต้องการ และจะส่งผลเสียหายต่อเศรษฐกิจโดยรวมได้ แต่ถ้าหากค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริงก็จะทำให้เกิดปัญหาทางการเงิน กล่าวคือ ทำให้มีการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าและระบบจำหน่ายที่มากเกินไปและทำให้ระบบทำงานที่ตัวประกอบกำลังผลิตต่ำและทำให้ประชาชนผู้ใช้ไฟฟ้าต้องซื้อไฟฟ้าในอัตราที่แพงขึ้นอีกด้วย [5]

อย่างไรก็ตามการที่จะพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าให้ถูกต้องแม่นยำนั้นควรต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า เช่น สภาพเศรษฐกิจ, จำนวนประชากร และพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น มาสร้างเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการไฟฟ้ากับข้อมูลเหล่านั้น ดังนั้นในการจัดทำค่าพยากรณ์ให้มีความน่าเชื่อถือจึงต้องอาศัยสมมุติฐานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ซึ่งอาจทำให้ต้องใช้ทั้งกำลังคนและกำลังเงินเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1 เพื่อศึกษาหาวิธีแก้ปัญหาการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวแบบใหม่ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นพื้นฐานการคำนวณและเปรียบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ของการพยากรณ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมและวิธีการทางสถิติ ได้แก่ วิธี Holt's Linear และวิธี Multiple Linear Regression

2 เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับใช้พยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและเพิ่มความแม่นยำให้กับวิธีพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษาและขอบเขตการวิจัย

1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวจะพิจารณาเฉพาะค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product : GDP) และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า

2 ใช้สมมติฐานการพยากรณ์เศรษฐกิจไทยในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 ของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (Thailand Development Research Institute : TDRI)

3 ทำการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว 13 ปีล่วงหน้า

4 ทำการปรับเปลี่ยนแนวโน้มของค่า GDP ตามสมมติฐานการพยากรณ์เศรษฐกิจไทยของ TDRI ซึ่งมี 3 ระดับ คือ กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 3.7-3.8 ต่อปี), กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 5.0 ต่อปี) และกรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 6.4-6.6 ต่อปี) และพิจารณาผลการพยากรณ์

5 แนะนำการวางแผนก่อสร้างโรงไฟฟ้าในอนาคต

## 1.4 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคนิคการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งกว้างๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ซึ่งการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าทุกวิธีหลักการโดยทั่วไปจะเหมือนกันอยู่ 2 ประการคือ ใช้ข้อมูลในอดีต (History) และใช้ดุลยพินิจ (Judgment) ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์ [1-20]

การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) วิธีนี้จะสร้างสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ของการใช้ไฟฟ้ากับค่าของเวลาเท่านั้น โดยอาศัยหลักการที่ว่าความต้องการไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตลอดเวลาที่ผ่านไป ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์แนวโน้มของการใช้ไฟฟ้าที่ผ่านมาในอดีตก็จะสมมติว่าเป็นไปเช่นเดียวกันในอนาคต วิธีนี้จะใช้ได้ผลกรณีที่ข้อมูลในอดีตระยะยาวพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสภาวะทางเศรษฐกิจของประเทศค่อนข้างมั่นคงและมีเสถียรภาพมั่นคงทั้งในอดีตที่ผ่านมาและในอนาคตข้างหน้า

แบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ (Econometric Model) วิธีนี้จะสร้างสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ของการใช้ไฟฟ้ากับข้อมูล/ตัวแปรทางเศรษฐกิจ เช่น ผลิตภัณฑ์รวมในประเทศ (Gross Domestic Product : GDP), รายได้ประชาชาติ และจำนวนประชากร โดยใช้ข้อมูลในอดีตจากสมการเมื่อทราบค่าข้อมูลทางเศรษฐกิจที่จะเป็นไปในอนาคต (โดยอาศัยข้อมูลจากการทำแผนพัฒนาเศรษฐกิจของชาติ ซึ่งต้องคาดคะเนหรือกำหนดเป้าหมายของแผนพัฒนาฯ ไว้ก่อน) ก็จะทำให้สามารถคำนวณปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคตได้ ซึ่งสมการที่ใช้ส่วนมากจะเป็นสมการ Multiple Regression

การศึกษาวิเคราะห์ผู้ใช้ไฟฟ้า (End-Use Method) วิธีนี้จะสร้างสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า และปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย ซึ่งการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายจะต้องคำนึงถึงจุดอิ่มตัว (Saturate Level) ของการใช้ไฟฟ้า หรือการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า ความแม่นยำของวิธีนี้มีมากขึ้นถ้าหากได้ทำการสำรวจการใช้ไฟฟ้าในรายละเอียด รวมทั้งการสำรวจและศึกษาแนวโน้มของการเพิ่มจำนวนประชากรของผู้ใช้ไฟฟ้า, แนวโน้มการพัฒนาท้องถิ่น, แนวโน้มการเติบโตทางอุตสาหกรรมในอนาคต, ผลกระทบการปรับอัตราค่าไฟฟ้า, พฤติกรรม รสนิยมและรายได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นต้น วิธีนี้ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ต้องศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ดังกล่าวให้เพียงพอและต้องจัดทำฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพซึ่งทำให้วิธีนี้จำเป็นต้องใช้ทั้งกำลังคนและกำลังเงินเป็นจำนวนมาก

ปัญหาทั่วไปของการวิเคราะห์อนุกรมเวลา ก็คือ แบบจำลองได้ละเลยความสัมพันธ์ที่มีอยู่สูงระหว่างตัวแปร ขณะที่การวิเคราะห์การถดถอยก็ไม่สามารถนำไปใช้กับปัญหาที่ซับซ้อนมากๆ ได้นอกจากนั้นความต้องการไฟฟ้ามีลักษณะที่ไม่เชิงเส้นและขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ซับซ้อนจำนวนมาก จึงนับได้ว่าเป็นปัญหาที่ฟังก์ชันเป้าหมายที่มีลักษณะไม่เชิงเส้นและมีความซับซ้อนสูง ด้วยเหตุนี้การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบบดั้งเดิมจึงอาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่แม่นยำ [21]

ปัจจุบันเทคนิคการพยากรณ์สมัยใหม่ที่โดดเด่นและกำลังได้รับความสนใจนำมาศึกษาวิจัยมากที่สุด คือ โครงข่ายประสาทเทียม ถึงแม้ว่าการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้กับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าจะได้รับการพัฒนามาในระยะเวลาที่ไม่ยาวนานนัก แต่ประวัติการศึกษาวิจัยทางด้านโครงข่ายประสาทเทียมได้เริ่มมีมาตั้งแต่ตอนต้นทศวรรษ 1940 แนวคิดหลักของโครงข่ายประสาทเทียมคือ การพยายามทำให้ระบบคอมพิวเตอร์มีความสามารถเรียนรู้ได้จากประสบการณ์เช่นเดียวกับของมนุษย์และสามารถเปลี่ยนแปลงประสบการณ์ที่ได้รับให้กลายเป็นองค์ความรู้สะสมไว้ในโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งองค์ความรู้ที่ได้นั้นจะสามารถนำมาหาคำตอบของปัญหาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้ [22]

การพยากรณ์โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะแตกต่างจากวิธีการพยากรณ์แบบดั้งเดิม คือโครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยไม่ขึ้นกับรูปแบบการแจกแจงข้อมูล และสามารถนำไปใช้กับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ หรือไม่ครบถ้วนในการหาค่าพยากรณ์ได้ จุดเด่นอีกประการหนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียมก็คือ ให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ที่สูงกว่าวิธีการพยากรณ์แบบอื่นเมื่อลักษณะของข้อมูลมีรูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น [24-25]

ส่วนใหญ่โครงข่ายประสาทเทียมจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นจาก 1 ชั่วโมงจนถึง 1 สัปดาห์ล่วงหน้า ซึ่งการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะกลางและระยะยาวได้มีการศึกษาไว้น้อยมาก ปกติการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นเงื่อนไขสภาพอากาศ (โดยเฉพาะอุณหภูมิ) จะมีนัยสำคัญต่อความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด [26-53] อย่างไรก็ตามในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะยาวปัจจัยทางเศรษฐกิจจะมีบทบาทที่สำคัญมาก

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าโดยใช้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวของระบบ กฟผ. โดยจะนำมาเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางเศรษฐกิจและอื่นๆ ที่เชื่อว่ามีนัยสำคัญต่อความต้องการไฟฟ้า และได้เลื่อนหน้าค่าข้อมูลฝึกสอนย้อนหลังไป 1 และ 2 ปี เพื่อให้สามารถพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ในอนาคตได้แม่นยำมากขึ้น

## 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1 ศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาการพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด
- 2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว
- 3 ศึกษาสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าโดยใช้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ
- 4 ศึกษาการใช้งาน Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB 6.5
- 5 จัดเตรียมชุดข้อมูลฝึกสอน ชุดทดสอบประสิทธิภาพ และชุดสำหรับใช้พยากรณ์
- 6 ทดลองฝึกสอน ทดสอบประสิทธิภาพและพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
- 7 ศึกษาวิธีการพยากรณ์ด้วยวิธี Holt's Linear และวิธี Multiple Linear Regression
- 8 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows
- 9 ทดลองพยากรณ์ด้วยวิธี Holt's Linear และวิธี Multiple Linear Regression
- 10 เปรียบเทียบความถูกต้องแม่นยำของค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีการทั้งสาม
- 11 นำค่าพยากรณ์ที่ได้ไปใช้การวางแผนพัฒนากำลังผลิต ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีส่วนร่วมในการทำงานจนเกือบแทบจะทุกด้าน อย่างไรก็ตาม คอมพิวเตอร์ก็ยังมีขีดความสามารถที่จำกัดอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของสมองมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการจดจำ, การเรียนรู้และพัฒนาจากประสบการณ์ในอดีตเพื่อนำมาปรับใช้กับเหตุการณ์ในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาวิจัยการทำงานของสมองมนุษย์และกระบวนการเรียนรู้ แล้วพัฒนาสร้างขึ้นเป็นแบบจำลองเซลล์ประสาทของโครงข่ายประสาทเทียม รวมทั้งคิดค้นพัฒนาทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้ได้จากประสบการณ์เช่นเดียวกับของมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่คอมพิวเตอร์ยังทำไม่ได้หรือยังทำได้ไม่ดี แล้วเปลี่ยนประสบการณ์ที่ได้รับให้กลายเป็นองค์ความรู้สะสมไว้ในโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้นั้นจะสามารถนำไปหาคำตอบของปัญหาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้

การนำทฤษฎีต่างๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ผ่านการพัฒนาหลายสิบปีมาประยุกต์ใช้กับงานจริงนั้นมีอยู่มากมายหลายด้าน เช่น การจดจำรูปภาพ, การจดจำเสียง, การจดจำรูปแบบ, การแปลภาษาพูด, การบีบข้อมูลและภาพ, การประมาณค่าฟังก์ชัน, การวิเคราะห์การตลาด และการวิเคราะห์ดัชนีราคาหุ้น นอกจากนี้ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น การคำนวณโหลดโพลาร์, การจ่ายโหลดอย่างประหยัด การวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราว และการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้น [55-61] วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้้นำโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าโดยใช้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับมาพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวของระบบ กฟผ. ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

### 2.1 ความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม

การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมได้เริ่มมีมาตั้งแต่ตอนต้นปี ค.ศ. 1943 โดย McCulloch และ Pitts ซึ่งเป็นผู้แสดงหลักการการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายและในปลายปี ค.ศ. 1943 จึงได้เริ่มมีการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้งานจริง ต่อมาในปี ค.ศ. 1958 Rosenblatt ได้คิดค้นกฎการเรียนรู้ “Perceptron Learning Rule” ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม แต่ทว่ายังคงสามารถแก้ปัญหาได้เฉพาะปัญหาต่างๆ ที่ไม่ซับซ้อน

ต่อมาปี ค.ศ. 1960 Widrow และ Hoff ได้พัฒนากฎการเรียนรู้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมาใหม่ ซึ่งก็ยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่เรียกว่า “Widrow-Hoff Learning Rule” แต่ก็ยังคงใช้ได้

เฉพาะโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายที่ประกอบด้วยยูนิตเชิงเส้นเป็นหลัก จากนั้นก็มีผู้คิดค้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมแบบใหม่ขึ้นมาเรื่อยๆ เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้มากขึ้น แต่ก็ยังไม่ประสบความสำเร็จในการพัฒนาทฤษฎีการเรียนรู้ให้ดีขึ้น เช่น ในปี ค.ศ. 1980 Grossberg ได้คิดค้นโครงข่ายประสาทเทียมที่เรียกว่า Grossberg Network และในปี ค.ศ. 1982 Kohonen ก็ได้คิดค้นโครงข่ายประสาทเทียมที่เรียกว่า Kohonen Network เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงการวิจัยโครงข่ายประสาทเทียมที่สำคัญในยุคต่างๆ ได้ดังตารางที่ 2.1

ต่อมาเมื่อวิทยาการทางด้านคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาไปมากขึ้น ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์มีความเร็วในการคำนวณสูงขึ้น ได้ส่งผลให้มีการคิดค้นกระบวนการเรียนรู้แบบใหม่ที่สามารถปรับสอนได้ดียิ่งขึ้นที่สำคัญคือ การคิดค้นกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ ในปี ค.ศ. 1986 [62] ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นได้และเป็นการเรียนรู้ที่จะนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ตารางที่ 2.1 การวิจัยโครงข่ายประสาทเทียมที่สำคัญในยุคต่างๆ [61, 63]

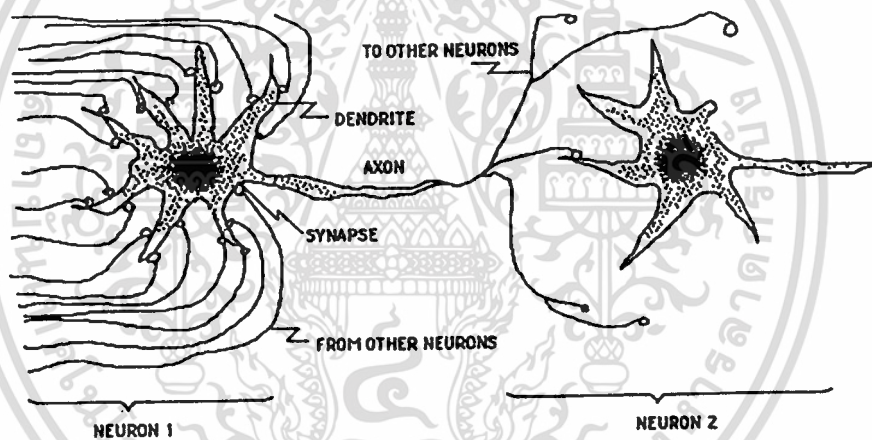
ช่วงเวลา	ผู้คิดค้นวิจัย	งานวิจัย
1940s ยุคเริ่มต้น	- McCulloch and Pitts - Hebb	- McCulloch-Pitts Neurons - Hebbian Learning Rule and Book
1950s & 1960s ยุคทอง	- Rosenblatt - Widrow and Hoff - Minsky and Papert	- Perceptrons and Perceptron Learning Rule - Widrow-Hoff Learning Rule (LMS Algorithm), ADALINE and MADALINE Networks - Perceptrons Books
1970s ยุคเงิยบ	- Willshaw and Von Der Malsburg - Anderson et al. - Grossberg - Grossberg and Carpenter - Fukushima	- Self-Organizing Maps - Brain-State-in-a-Box Model - Grossberg Network - Adaptive Resonance Theory - Neocognitron
1980s - ปัจจุบัน ยุคเฟื่องฟู	- Kohonen - Hopfield - Ackley et al. - Rumelhart et al. - Kohonen - Broomhead et al. - Vapnik et al. - Bertsekas and Tsitsiklis	- Self-Organizing Feature Maps and Books - Hopfield Network - Boltzmann Machine - Back-propagation Algorithm and PDP Books - Learning Vector Quantization - Radial Basis Function - Support Vector Machine - Neurodynamic Programming Book

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การจำลองเซลล์ประสาท

### 2.2.1 เซลล์ประสาททางชีววิทยา

สมองมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) จำนวนมากประมาณ  $10^{11}$  ยูนิท ที่มีการเชื่อมต่อกันอย่างหนาแน่น (การเชื่อมโยงของแต่ละเซลล์ประสาทประมาณ  $10^4$  ยูนิท) โดยแต่ละเซลล์ประสาทจะประกอบด้วยเดนไดรต์ (Dendrites) ซึ่งทำหน้าที่รับความรู้สึกจากเส้นใยประสาท โดยส่งข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Electrical Signal) มาที่เดนไดรต์ และที่เดนไดรต์แต่ละกิ่งก็จะรับรู้ด้วยค่าน้ำหนักร (Threshold) ที่แตกต่างกัน และแทนค่าน้ำหนักรด้วยความแข็งแรง (Strength) ของแต่ละการไซแนปส์ (Synapse) หลังจากนั้นก็จะส่งข้อมูลไปให้ตัวเซลล์ (Cell body หรือ Soma) ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมสิ่งที่ได้รับรู้แล้วให้แก่แอกซอน (Axon) และแอกซอนก็จะส่งสัญญาณออกไป โดยสัญญาณที่ส่งออกมาจะเป็นฟังก์ชันของผลรวมของสิ่งที่ได้รับรู้แล้วจากตัวเซลล์ ซึ่งสามารถแสดงเซลล์ประสาททางชีววิทยาอย่างง่ายได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เซลล์ประสาททางชีววิทยาอย่างง่าย [64]

### 2.2.2 เซลล์ประสาทเทียม

เมื่อทราบหลักการการทำงานของเซลล์ประสาททางชีววิทยาแล้วก็สามารถสร้างแบบจำลองของเซลล์ประสาทที่เรียกว่า เซลล์ประสาทเทียม (Artificial Neuron), ยูนิท (Unit) หรือ โหนด (Node) ได้ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3 ซึ่งเซลล์ประสาทเทียมที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นจะประมวลผลข้อมูลโดยอาศัยหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์ประสาททางชีววิทยาที่สามารถรวบรวมความรู้ได้ด้วยการผ่านกระบวนการเรียนรู้ และจะเก็บความรู้เหล่านั้นไว้ในโครงข่ายในรูปของค่าน้ำหนักร และค่าไบอัสซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้เมื่อมีการเรียนรู้สิ่งใหม่ โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะมีความเร็วในการประมวลผลที่สูงกว่าโครงข่ายประสาททางวิทย์ามาก ( $10^7$  s เมื่อเทียบกับ  $10^3$  s) แต่อย่างไรก็ตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมองมนุษย์ก็สามารถทำงานหลายๆ งานที่ซับซ้อนพร้อมๆ กันได้เร็วกว่าคอมพิวเตอร์ เป็นเพราะโครงข่ายประสาททางชีววิทยานั้นมีโครงสร้างที่ขนานกันอย่างมาก

สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาททางชีววิทยาและเซลล์ประสาทเทียมได้ดังนี้

- การประมวลผลต่างๆ จะเกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อยที่เรียกว่า ยูนิท หรือ โหนด ซึ่งจำลองมาจากลักษณะการทำงานของตัวเซลล์
- การส่งสัญญาณต่างๆ ระหว่างยูนิทด้วยส่วนที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งจำลองมาจากการเชื่อมต่อของเดนไดรต์และแอกซอนในระบบประสาทของมนุษย์
- แต่ละการเชื่อมต่อจะมีค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับอิทธิพลที่ยูนิทจะได้รับจากยูนิท อื่นๆ ซึ่งจำลองมาจากไซแนปส์ โดยค่าน้ำหนักที่ได้รับจะทำหน้าที่เสมือนความรู้ที่ถูกรวบรวมไว้ใช้แก้ปัญหาเฉพาะอย่างของมนุษย์
- ภายในยูนิทมีฟังก์ชันที่ใช้ในการกำหนดสัญญาณด้านออก เรียกว่า ฟังก์ชันถ่ายโอน หรือ ฟังก์ชันกระตุ้น โดยทำหน้าที่เสมือนกระบวนการทำงานภายในตัวเซลล์ประสาท

#### เซลล์ประสาททางชีววิทยา

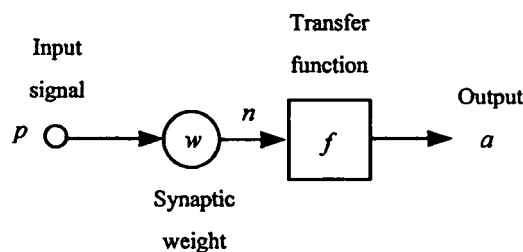
- ตัวเซลล์ (Cell body)
- เดนไดรต์ (Dendrite)
- แอกซอน (Axon)
- ไซแนปส์ (Synapse)

#### เซลล์ประสาทเทียม

- ยูนิท (Unit) หรือ โหนด (node)
- ตัวแปรด้านเข้า (Input)
- ตัวแปรด้านออก (Output)
- ค่าน้ำหนัก (Weight)

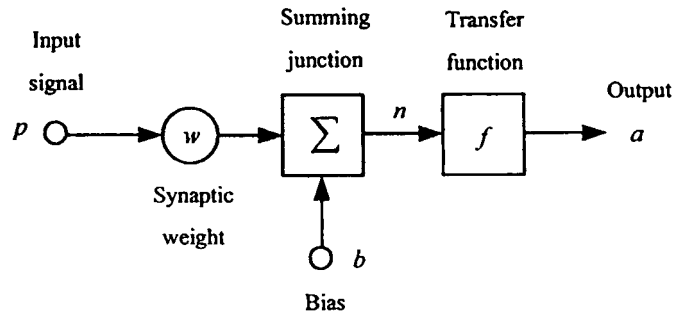
#### 2.2.2.1 เซลล์ประสาทเทียมอินพุทเดียว

จากรูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของเซลล์ประสาทเทียมที่มีอินพุทเดียว ซึ่งในรูปที่ 2.2 (ก) จะเป็นแบบที่ไม่มีค่าไบอัส ส่วนในรูปที่ 2.2 (ข) จะเป็นแบบที่มีค่าไบอัส โดยตัวแปรด้านเข้า  $p$  จะถูกส่งผ่านเข้าไปรวมกับค่าน้ำหนัก ( $w$ ) และค่าไบอัส ( $b$ ) ซึ่งสามารถปรับค่าได้โดยใช้กฎการเรียนรู้ (Learning Rule) จากนั้นก็จะส่งสัญญาณ  $n$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน ( $f$ ) เพื่อคำนวณค่าตัวแปรด้านออกของเซลล์ประสาทเทียม หรือยูนิท  $a$



#### (ก) แบบไม่มีค่าไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) แบบมีค่าไบอัส

## รูปที่ 2.2 เซลล์ประสาทเทียมที่มีอินพุตเดียว [63]

## 2.2.2.2 เซลล์ประสาทเทียมหลายอินพุต

จากรูปที่ 2.3 ตัวแปรด้านเข้า  $p_i$  โดยที่  $i = 1, 2, \dots, R$  จะถูกส่งผ่านเข้าไปรวมกับค่าน้ำหนัก ( $w$ ) และค่าไบอัส ( $b$ ) ที่สามารถปรับค่าได้โดยใช้กฎการเรียนรู้ ซึ่งจะได้ผลรวมเป็น

$$\begin{aligned} n_k &= w_{k1}p_1 + w_{k2}p_2 + \dots + w_{kR}p_R + b_k \\ &= \sum_{i=1}^R w_{ki}p_i + b_k \end{aligned} \quad (2.1)$$

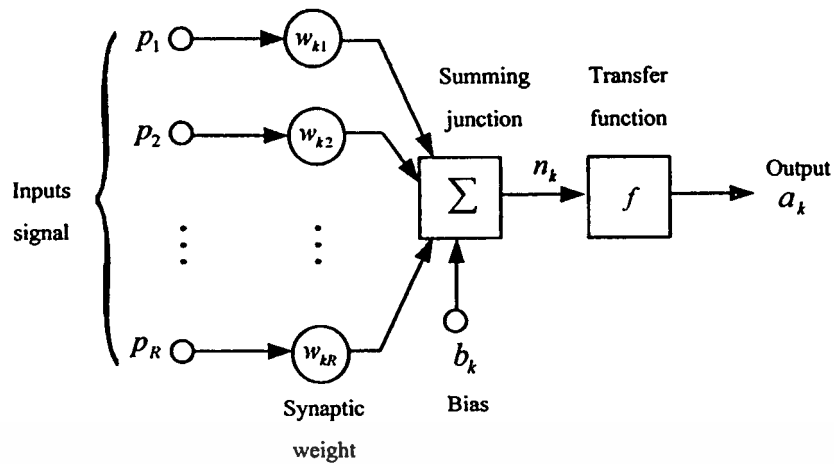
หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณ  $n_k$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน ( $f$ ) เพื่อคำนวณค่าตัวแปรด้านออกของเซลล์ประสาทเทียม หรือยูนิต  $a_k$

$$a_k = f\left(\sum_{i=1}^R w_{ki}p_i + b_k\right) \quad (2.2)$$

กำหนดให้

- $p_i$  คือ ตัวแปรด้านเข้า โดยที่  $i = 1, 2, \dots, R$
- $n_k$  คือ ผลรวมของตัวแปรด้านเข้าของยูนิตที่  $k$
- $w_{ki}$  คือ ค่าน้ำหนักระหว่างยูนิตที่  $i$  และ  $k$
- $b_k$  คือ ค่าไบอัสของยูนิตที่  $k$
- $f$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน
- $a_k$  คือ ตัวแปรด้านออกของเซลล์ประสาทเทียมของยูนิตที่  $k$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เซลล์ประสาทเทียมที่มีหลายอินพุต [63]

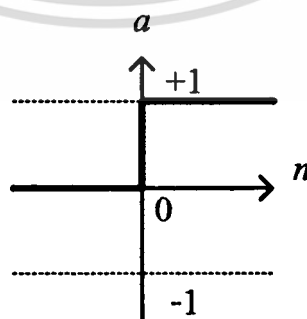
### 2.3 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน [65]

ฟังก์ชันถ่ายโอน หรือฟังก์ชันกระตุ้น จะเป็นตัวกำหนดค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม โดยปกติฟังก์ชันถ่ายโอนที่จะนำไปใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะเลือกโดยผู้ออกแบบ ซึ่งอาจเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear) หรือไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ก็ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟังก์ชันถ่ายโอนที่เลือกมาใช้งานนั้นจะต้องเพียงพอกับลักษณะของปัญหาที่โครงข่ายประสาทเทียมกำลังพยายามหาคำตอบอยู่

ฟังก์ชันถ่ายโอนนั้นมีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมากจะมีอยู่ 4 ชนิด ได้แก่

#### 1 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard limit

$$a(n) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } n < 0 \\ 1 & \text{เมื่อ } n \geq 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

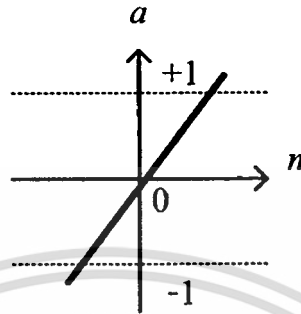


รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear

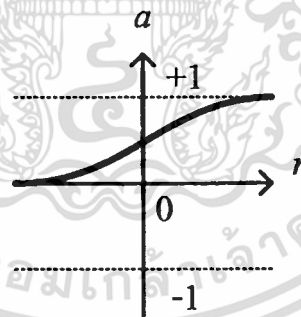
$$a(n) = n \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.5 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear

## 3 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid

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

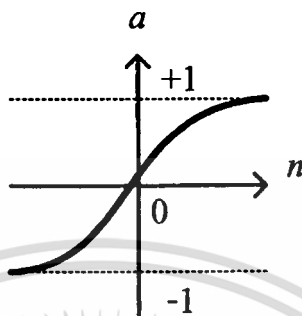


รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid

$$a(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.7 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid

#### 2.4 การจัดประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลย่อยที่เรียกว่า เซลล์ประสาทเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย ซึ่งลักษณะการเชื่อมต่อกันของเซลล์ประสาทรูปแบบนี้จะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม การเชื่อมต่อกันระหว่างเซลล์ประสาทรูปแบบนี้จะมีค่าน้ำหนักเข้ามาเกี่ยวข้องหรือไม่ก็ได้ โดยที่ค่าน้ำหนักนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของกฎการเรียนรู้ (Learning Rules) ดังนั้นการจัดประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมจึงสามารถพิจารณาได้จากประเภทของ โครงสร้าง และประเภทกฎการเรียนรู้ ดังนี้

##### 2.4.1 การจัดประเภทตามโครงสร้าง [63, 65]

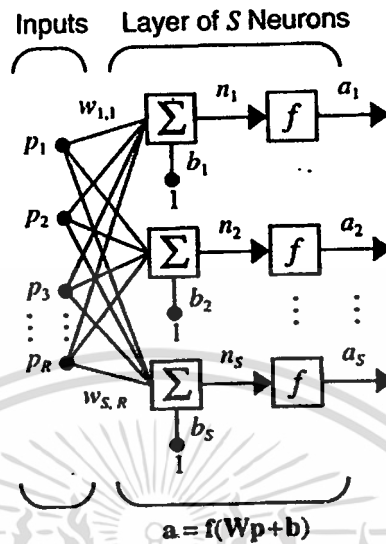
การจัดประเภทโครงข่ายประสาทเทียมตาม โครงสร้างอาจพิจารณาได้จากทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณข้อมูล ซึ่งสามารถจำแนกความแตกต่างที่สำคัญได้ 2 ชนิด ดังนี้

##### 1 Feedforward Networks

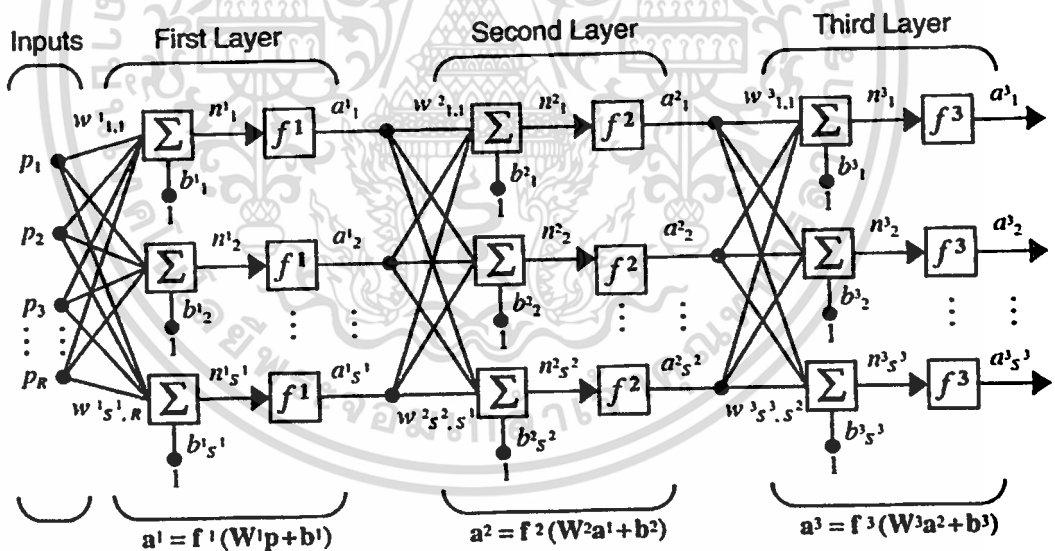
โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ อาจจะมีจำนวนเซลล์ประสาทตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไปประกอบอยู่ในแต่ละชั้น และสามารถมีจำนวนชั้นได้มากกว่า 1 ชั้นขึ้นไป โดยเซลล์ประสาทจะถูกจัดกลุ่มลงในชั้น (Layer) ที่เชื่อมต่อกันในลักษณะจากชั้นก่อนหน้าไปยังชั้นถัดไป การเชื่อมต่อของแต่ละชั้นจะเป็นแบบถึงกันหมด (Fully Connect) จึงทำให้สัญญาณข้อมูลเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวเท่านั้น คือ เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Feedforward) จากอินพุตไปสู่ชั้นเอาต์พุต (Output Layer) ตัวอย่างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ ได้แก่ Single-Layer Perceptrons และ Multilayer Perceptrons ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก) และ 2.8 (ข) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบ “Single Layer” นั้นจะกล่าวถึงชั้นเอาต์พุตของเซลล์ประสาทที่มีการคำนวณเท่านั้น โดยจะไม่นับอินพุตเป็นชั้น เพราะไม่มีการคำนวณที่นั่น



(ก) Single-Layer Perceptrons [65]



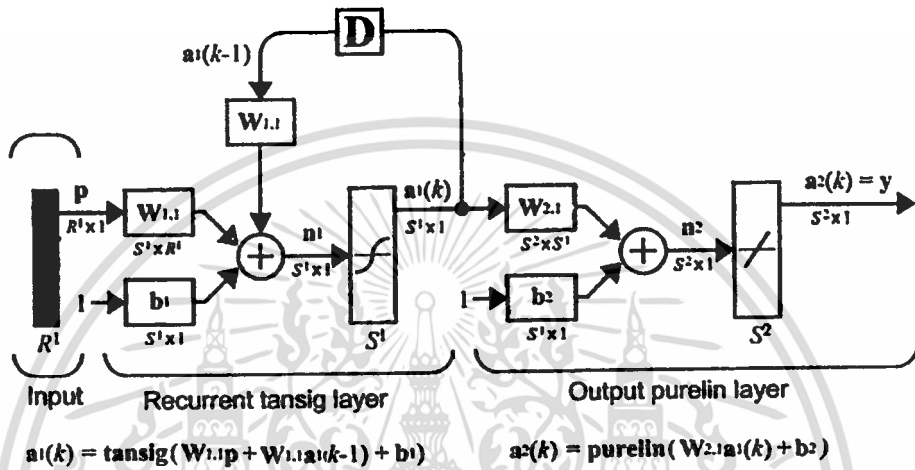
(ข) Multilayer Perceptrons [65]

**รูปที่ 2.8 Feedforward Networks**

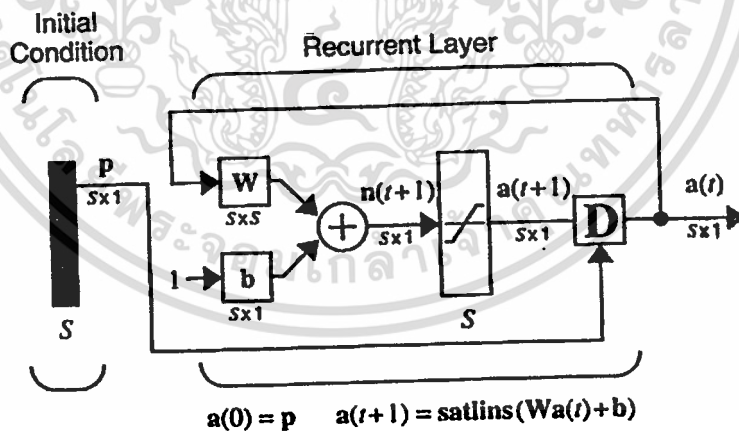
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 Recurrent Networks

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ลักษณะเอาท์พุทของเซลล์ประสาทจะมีการเคลื่อนที่ย้อนกลับไปไปยังชั้นก่อนหน้า หรือย้อนกลับไปเป็นอินพุทของตัวเอง จึงทำให้ลักษณะสัญญาณข้อมูลมีการเคลื่อนที่ 2 ทิศทาง คือ เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Feedforward) และเคลื่อนที่ย้อนกลับ (Feedback) ซึ่งตัวอย่างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ ได้แก่ Elman Network และ Hopfield Network สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 (ก) และ 2.9 (ข) ตามลำดับ



(ก) Elman Network [66]



(ข) Hopfield Network [65]

รูปที่ 2.9 Recurrent Networks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 2.4.2 การจัดประเภทตามกฎการเรียนรู้ [63]

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้กฎการเรียนรู้ (Learning Rule) เพื่อให้คำนวณหาผลลัพธ์การทำงานบางอย่างโดยการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักและค่าไบอัส ซึ่งสามารถแบ่งประเภทการเรียนรู้ออกได้ 3 ชนิด ดังนี้

#### 1 การเรียนรู้แบบมีการควบคุม (Supervised Learning)

การเรียนรู้ชนิดนี้ต้องมีสิ่งชี้แนะ (Teacher) ช่วยกำหนดเอาต์พุตเป้าหมาย (Output Target) ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นชุดข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนโครงข่ายประสาทเทียมจึงต้องประกอบด้วย ชุดข้อมูลอินพุตและชุดข้อมูลเอาต์พุตเป้าหมาย ดังแสดงในสมการที่ 2.7

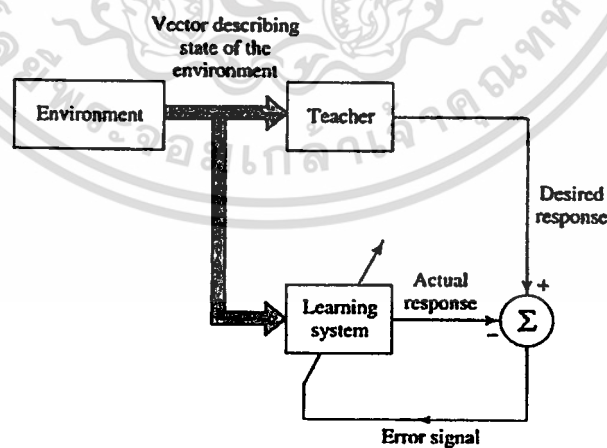
$$\{p_1, t_1\}, \{p_2, t_2\}, \dots, \{p_R, t_R\} \quad (2.7)$$

โดยที่  $p_R$  คือ ตัวแปรด้านเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม

$t_R$  คือ เอาต์พุตเป้าหมาย (Output Target)

$R$  คือ จำนวนรูปแบบ (Pattern) ที่ใช้ในการปรับสอนทั้งหมด

เมื่อใส่ตัวแปรด้านเข้าให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมที่ตัวแปรด้านออกก็จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเอาต์พุตเป้าหมายที่ต้องการ โดยใช้กฎการเรียนรู้ และโครงข่ายประสาทเทียมก็จะนำค่าผิดพลาดที่ได้นั้น ไปใช้ปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักและค่าไบอัส เพื่อให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเอาต์พุตเป้าหมายมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเรียนรู้แบบมีการควบคุม

การปรับสอนแบบนี้เหมาะกับงาน Forecasting, Function Approximation, Classification และ

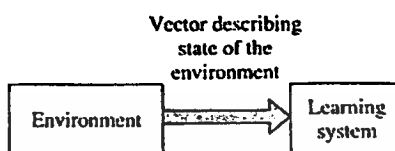
Recognition ตัวอย่างของการเรียนรู้ชนิดนี้ ได้แก่ Delta Rule และ Back-propagation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2 การเรียนรู้แบบไม่มีการควบคุม (Unsupervised Learning)

การเรียนรู้ชนิดนี้ไม่ต้องมีสิ่งชี้แนะในการปรับสอนโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นชุดข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนจะใช้เพียงชุดข้อมูลอินพุตเท่านั้น ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสโดยใช้ข้อมูลที่นำมาสอนเป็นตัวปรับค่า เพื่อจัดกลุ่มอินพุตที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันลงในกลุ่มเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11

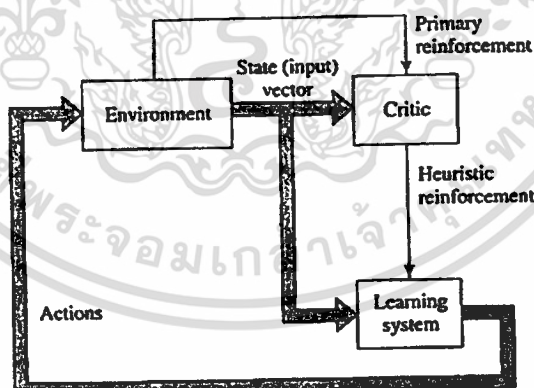


รูปที่ 2.11 การเรียนรู้แบบไม่มีการควบคุม

การปรับสอนแบบนี้เหมาะกับการงาน Clustering, Classification และ Optimization ตัวอย่างของการเรียนรู้ชนิดนี้ ได้แก่ Self-Organizing Map และ Adaptive Resonance Theory

## 3 การเรียนรู้แบบเสริม (Reinforcement Learning)

การเรียนรู้ชนิดนี้จะเป็น Supervised Learning ชนิดพิเศษ ซึ่งแทนที่จะต้องกำหนดเอาท์พุทเป้าหมายให้กับโครงข่ายประสาทเทียม แต่การเรียนรู้ชนิดนี้จะใช้ Critic เป็นตัวประเมินค่าให้กับเอาท์พุทที่ได้แทน ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเรียนรู้แบบเสริม

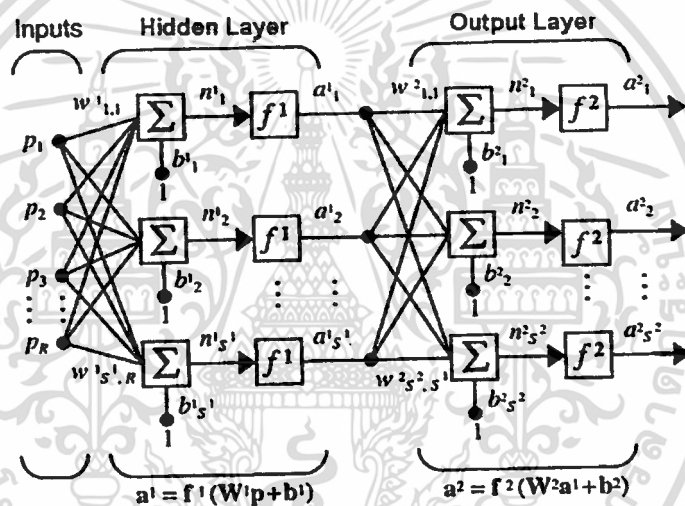
การปรับสอนแบบนี้มักจะเหมาะกับการงานระบบควบคุม ตัวอย่างของการเรียนรู้ชนิดนี้ ได้แก่ Neurodynamic Programming

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ Multilayer Feedforward Neural Networks และกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation) เท่านั้น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงาน Forecasting

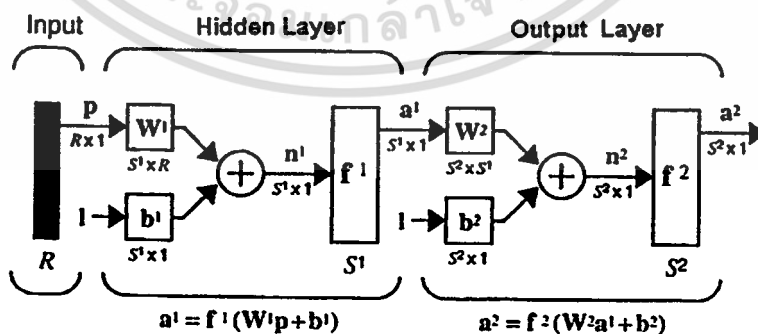
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีหลายชั้น [63, 65]

โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีหลายชั้นจะประกอบด้วย ส่วนรับข้อมูลที่เรียกว่า ตัวแปรด้านเข้า (Inputs), ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ที่สามารถมีได้มากกว่าหนึ่งชั้นขึ้นไป และชั้นตัวแปรด้านออก (Output Layer) โดยเซลล์ประสาทตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไปจะถูกจัดกลุ่มลงในชั้นที่เชื่อมต่อกันในลักษณะจากชั้นก่อนหน้าไปยังชั้นถัดไป ซึ่งการเชื่อมต่อของแต่ละชั้นจะเป็นแบบถึงกันหมด (Fully Connected) จึงทำให้สัญญาณข้อมูลเคลื่อนที่ในทิศทางเดียว คือ เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Feedforward) จากอินพุตไปสู่ชั้นเอาต์พุต (Output Layer) กล่าวคือทุกเซลล์ประสาทในตัวแปรด้านเข้าจะส่งสัญญาณไปยังทุกเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน หลังจากนั้นทุกเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนก็จะส่งสัญญาณไปยังทุกเซลล์ประสาทในชั้นตัวแปรด้านออก โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 (ก) ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



(ก) Network Architecture



(ข) Abbreviated Notation

รูปที่ 2.13 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีสองชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.11 (ข) แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีสองชั้น โดยมีตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ  $R$ , มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเท่ากับ  $S^1$  และในชั้นตัวแปรด้านออกเท่ากับ  $S^2$

โดยตัวแปรด้านเข้า  $p$  จะถูกเชื่อมต่อกับแต่ละเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน ด้วยค่าน้ำหนัก  $W^1$  ที่เป็นเมตริกซ์ขนาด  $S^1 \times R$  และจะถูกรวมกับค่าไบอัส  $b^1$  ที่เป็นเมตริกซ์ขนาด  $S^1 \times 1$  จากนั้นก็จะส่งสัญญาณ  $n^1$  ที่เป็นเมตริกซ์ขนาด  $S^1 \times 1$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน  $f^1$  ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของชั้นซ่อน  $a^1$  เป็นเมตริกซ์ขนาด  $S^1 \times 1$  และจะไปเป็นอินพุตของชั้นข้อมูลเอาต์พุต ซึ่งจะถูกเชื่อมต่อกับแต่ละเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลเอาต์พุตด้วยค่าน้ำหนัก  $W^2$  ที่เป็นเมตริกซ์ขนาด  $S^2 \times S^1$  และจะถูกรวมกับค่าไบอัส  $b^2$  ที่เป็นเมตริกซ์ขนาด  $S^2 \times 1$  จากนั้นก็จะส่งสัญญาณ  $n^2$  ที่เป็นเมตริกซ์ขนาด  $S^2 \times 1$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน  $f^2$  ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม  $a^2$  เป็นเมตริกซ์ขนาด  $S^2 \times 1$  ดังแสดงในสมการที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ

$$a^1 = f^1(W^1 p + b_1) \quad (2.8)$$

$$a^2 = f^2(W^2 a^1 + b_2) \quad (2.9)$$

หลังจากนั้นก็จะใช้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับมาทำการปรับสอนโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย การส่งข้อมูลระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมสองแบบ คือ การส่งไปข้างหน้า (Forward Pass) และการส่งย้อนกลับ (Backward Pass) การส่งไปข้างหน้าข้อมูลจะถูกป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียมทางตัวแปรด้านเข้าผ่านไปยังชั้นซ่อนเพื่อทำการคำนวณ และจะได้ผลลัพธ์ออกมายังชั้นตัวแปรด้านออก โดยที่ค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส ที่เชื่อมต่อยกหว่างชั้นของตัวแปรในโครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมดจะยังไม่ถูกเปลี่ยนแปลง ส่วนการส่งย้อนกลับก็จะตรงกันข้ามคือ ค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส ที่เชื่อมต่อยกหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกปรับเปลี่ยนไปตามกฎการเรียนรู้ ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมกับเอาต์พุตเป้าหมาย หรือเรียกว่า ค่าผิดพลาด (Error) จะถูกส่งกลับไปยังโครงข่ายประสาทเทียมตามทิศทางของการเชื่อมต่อ เพื่อนำไปใช้ปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมเข้าใกล้กับค่าเอาต์พุตเป้าหมาย กล่าวคือ ทำให้ค่าผิดพลาดที่เกิดจากโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าลดลง

โดยค่าผิดพลาด  $e$  ที่เกิดขึ้นในชั้นข้อมูลเอาต์พุต ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้ของโครงข่ายประสาทเทียม  $a^2$  กับเอาต์พุตเป้าหมาย  $t$  ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.10

$$e_k = t_k - a_k^2 \quad \text{โดยที่ } k = 1, 2, \dots, S^2 \quad (2.10)$$

สำหรับการแก้ปัญหาทั่วไปที่ไม่มีความซับซ้อนมากนัก โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับมักนิยมใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid ในชั้นซ่อน แต่ถ้าหากปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้นก็ต้องใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid ส่วนในชั้นข้อมูลเอาต์พุตมักนิยมใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear เหตุผลที่นิยมนำฟังก์ชันถ่ายโอนทั้งสองชนิดนี้มาใช้ก็เพราะสามารถหาอนุพันธ์ได้ และสร้างขอบเขตการตัดสินใจในลักษณะที่โค้งมนได้ โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบนี้จะสามารถนำไปใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อน และมีลักษณะไม่เชิงเส้นได้ดี

ในกรณีที่ปัญหามีลักษณะเชิงเส้น หรือไม่ซับซ้อนมากนัก การใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อนเพียงชั้นเดียวก็เพียงพอสำหรับการแก้ปัญหานั้น แต่ถ้าหากปัญหานั้นมีความซับซ้อนและไม่เชิงเส้นมาก การแก้ปัญหาดังกล่าวก็จำเป็นต้องใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อนมากขึ้น เพราะว่าการเพิ่มชั้นซ่อนหนึ่งชั้น หรือมากกว่า ก็จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถที่จะแยก High-order Statistics ได้ ซึ่งความสามารถในการแยก High-order Statistics ของเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนนี้จะมีประโยชน์อย่างมาก เมื่อตัวแปรด้านเข้ามีขนาดใหญ่ขึ้น

## 2.6 กฎการเรียนรู้ที่ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

### 2.6.1 กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Standard Backpropagation Algorithm) [61, 65]

ในที่นี้จะพิจารณาโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีสองชั้น ซึ่งประกอบด้วยชั้นตัวแปรด้านออก 1 ชั้น, ชั้นซ่อน 1 ชั้น และตัวแปรด้านเข้าที่ไม่นับเป็นชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13 กำหนดให้

$p_i$  คือ ตัวแปรด้านเข้าที่  $i$  โดยที่  $i = 1, 2, \dots, R$

$w_{ji}^1$  คือ ค่าน้ำหนักระหว่างตัวแปรด้านเข้าที่  $i$  กับชั้นซ่อนที่  $j$  โดยที่  $j = 1, 2, \dots, S^1$

$w_{kj}^2$  คือ ค่าน้ำหนักระหว่างชั้นซ่อนที่  $j$  กับชั้นตัวแปรด้านออกที่  $k$  โดยที่  $k = 1, 2, \dots, S^2$

$b_j^1$  คือ ค่าไบอัสของชั้นซ่อนที่  $j$

$b_k^2$  คือ ค่าไบอัสของตัวแปรด้านออกที่  $k$

$n_j^1$  คือ ผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของชั้นซ่อนที่  $j$

$n_k^2$  คือ ผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของตัวแปรด้านออกที่  $k$

$f^1$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้นซ่อน

$f^2$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้นตัวแปรด้านออก

$a_j^1$  คือ ข้อมูลด้านออกของชั้นซ่อนที่  $j$

$a_k^2$  คือ ข้อมูลด้านออกของตัวแปรด้านออกที่  $k$

$t_k$  คือ เอาต์พุตเป้าหมายของตัวแปรด้านออกที่  $k$

$e_k$  คือ ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้นข้อมูลด้านออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1 การส่งไปข้างหน้า (Forward Pass)

เมื่อตัวแปรด้านเข้า  $p_i$  โดยที่  $i = 1, 2, \dots, R$  ได้ถูกส่งผ่านเข้าไปรวมกับค่าน้ำหนัก  $w_{ji}^1$  และค่าไบอัส  $b_j^1$  โดยที่  $j = 1, 2, \dots, S^1$  ซึ่งจะได้ผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของชั้นซ่อนที่  $j$  เป็นดังนี้

$$n_j^1 = \sum_{i=1}^R w_{ji}^1 p_i + b_j^1 \quad (2.11)$$

หลังจากนั้นก็ส่งสัญญาณ  $n_j^1$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน  $f^1$  เพื่อคำนวณค่าข้อมูลด้านออกของชั้นซ่อนที่  $j$  หรือยูนิต  $a_j^1$  เป็นดังนี้

$$a_j^1 = f^1(n_j^1) = f^1\left(\sum_{i=1}^R w_{ji}^1 p_i + b_j^1\right) \quad (2.12)$$

ข้อมูลด้านออกของชั้นซ่อนที่  $j$  หรือยูนิต  $a_j^1$  ที่ได้จะถูกส่งผ่านไปรวมกับค่าน้ำหนัก  $w_{kj}^2$  และค่าไบอัส  $b_k^2$  โดยที่  $k = 1, 2, \dots, S^2$  ซึ่งจะได้ผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของชั้นซ่อนที่  $k$  เป็นดังนี้

$$n_k^2 = \sum_{j=1}^{S^1} w_{kj}^2 a_j^1 + b_k^2 \quad (2.13)$$

หลังจากนั้นก็ส่งสัญญาณ  $n_k^2$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน  $f^2$  เพื่อคำนวณค่าข้อมูลด้านออกของตัวแปรด้านออกที่  $k$  หรือยูนิต  $a_k^2$  เป็นดังนี้

$$a_k^2 = f^2(n_k^2) = f^2\left(\sum_{j=1}^{S^1} w_{kj}^2 a_j^1 + b_k^2\right) \quad (2.14)$$

### 2 การส่งย้อนกลับ (Backward Pass)

โดยจะนิยามค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้นข้อมูลด้านออกของตัวแปรด้านออกที่  $k$  ด้วยฟังก์ชันค่าผิดพลาด หรือ Performance Index ดังนี้

$$E = \frac{1}{2}(e_k)^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{S^2} [t_k - a_k^2]^2 \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันค่าผิดพลาด  $E$  เป็นสมการกำลังสองที่อยู่ในรูปของค่าน้ำหนัก และค่าผิดพลาด ซึ่งมีพื้นผิวเป็นรูปพาราโบลาที่ประกอบด้วยค่าต่ำสุดค่าหนึ่ง และจะใช้กฎ Gradient Descent ทำการปรับเวกเตอร์ของค่าน้ำหนักในทิศทางของเวกเตอร์ตัวแปรด้านเข้า โดย  $E$  จะมีค่าเป็นบวกเสมอ ถ้าค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส ถูกปรับเข้าสู่ค่าที่ต้องการ ค่าของฟังก์ชันก็จะค่อยๆ ลดลงในลักษณะที่ลู่เข้าสู่ศูนย์เมื่อผ่านกระบวนการทำซ้ำไปเรื่อยๆ ซึ่งกระบวนการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสนี้จะทำการปรับค่าฟังก์ชันลงมายังจุดต่ำสุดบนพื้นผิวที่นิยามใน  $w$  space และ  $b$  space

สมการที่ 2.15 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{S^2} \left[ t_k - f^2 \left( \sum_{j=1}^{S^1} w_{kj}^2 a_j^1 + b_k^2 \right) \right]^2 \quad (2.16)$$

จากนั้นใช้กฎลูกโซ่ (Chain Rule) เพื่อคำนวณหา Gradient ซึ่งที่ตัวแปรด้านออกจะได้

$$\frac{\partial E}{\partial w_{kj}^2} = -(t_k - a_k^2) f^{2'}(n_k^2) a_j^1 \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_k^2} = -(t_k - a_k^2) f^{2'}(n_k^2) \quad (2.18)$$

และที่ชั้นซ่อนจะได้

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^1} = - \sum_{k=1}^{S^2} [(t_k - a_k^2) f^{2'}(n_k^2) w_{kj}^2] f^{1'}(n_j^1) p_i \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_j^1} = - \sum_{k=1}^{S^2} [(t_k - a_k^2) f^{2'}(n_k^2) w_{kj}^2] f^{1'}(n_j^1) \quad (2.20)$$

กำหนดให้

$$\delta_k = (t_k - a_k^2) f^{2'}(n_k^2) \quad (2.21)$$

$$\delta_j = f^{1'}(n_j^1) \sum_{k=1}^{S^2} (\delta_k w_{kj}^2) \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า  $E$  เป็นฟังก์ชันที่สามารถหาอนุพันธ์ได้อย่างต่อเนื่องในทุกค่าของค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส จะสามารถคำนวณหาค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสที่เหมาะสมโดยใช้กฎ Gradient Descent ได้ดังนี้  
ที่เซลล์ประสาทของตัวแปรด้านนอกจะได้

$$\Delta w_{kj}^2 = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w_{kj}^2} = \alpha \delta_k a_j^1 \quad (2.23)$$

$$\Delta b_k^2 = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b_k^2} = \alpha \delta_k \quad (2.24)$$

และที่เซลล์ประสาทของชั้นซ่อนจะได้

$$\Delta w_{ji}^1 = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w_{ji}^1} = \alpha \delta_j p_i \quad (2.25)$$

$$\Delta b_j^1 = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b_j^1} = \alpha \delta_j \quad (2.26)$$

ดังนั้นการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสของตัวแปรด้านนอก (Weight Update) จะได้

$$w_{kj}^{2(new)} = w_{kj}^{2(old)} + \Delta w_{kj}^2 = w_{kj}^{2(old)} + \alpha \delta_k a_j^1 \quad (2.27)$$

$$b_k^{2(new)} = b_k^{2(old)} + \Delta b_k^2 = b_k^{2(old)} + \alpha \delta_k \quad (2.28)$$

และการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสของชั้นซ่อนจะได้

$$w_{ji}^{1(new)} = w_{ji}^{1(old)} + \Delta w_{ji}^1 = w_{ji}^{1(old)} + \alpha \delta_j p_i \quad (2.29)$$

$$b_j^{1(new)} = b_j^{1(old)} + \Delta b_j^1 = b_j^{1(old)} + \alpha \delta_j \quad (2.30)$$

โดยที่  $\alpha$  คือ อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ปกติจะกำหนดค่าเริ่มต้นที่ค่าน้อย เช่น 0.01 [66]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการนี้จะนำค่าผิดพลาด ( $t_k - a_k^2$ ) ที่ได้ในชั้นตัวแปรด้านนอกกลับมาคำนวณหาค่าที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสของแต่ละเซลล์ประสาท โดยจะเริ่มจากเซลล์ประสาทในชั้นตัวแปรด้านนอกจนถึงเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนแรก ซึ่งจะเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการแพร่ค่าผิดพลาดย้อนกลับ

ซึ่งค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสของแต่ละเซลล์ประสาทก็จะถูกปรับด้วยค่า  $\Delta w$  และค่า  $\Delta b$  จนกระทั่งฟังก์ชันค่าผิดพลาดมีค่าลดลงถึงจุดที่ยอมรับได้ โดยค่า  $\alpha$  นี้จะต้องเป็นค่าเหมาะสมที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสเป็นไปในทิศทางที่ทำให้ค่าผิดพลาดลดลง หรือทำให้กระบวนการทำซ้ำนั้นลู่เข้า ถ้าหากค่า  $\alpha$  ที่ใช้มีค่าน้อยก็จะทำให้การคำนวณใช้เวลานาน ในทางตรงข้ามหากค่า  $\alpha$  มีค่ามากก็จะทำให้การคำนวณใช้เวลาเร็วขึ้น แต่อาจเกิดการแกว่งขึ้นได้ เมื่อต้องปรับค่าฟังก์ชันลงมายังจุดค่าสุดบน Flat Surface ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการเลือกค่า  $\alpha$  ที่เหมาะสม [63, 65, 67] ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 2.63 ต่อไป

### 2.6.2 กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับร่วมกับโมเมนตัม [65, 67]

จากการใช้กฎ Gradient Descent มาปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสระหว่างการปรับสอนนั้น พบว่าในบางกรณีโครงข่ายประสาทเทียมจะไม่ลู่เข้าสู่คำตอบที่มีค่าผิดพลาดต่ำสุด หรือใช้เวลาในการลู่เข้านาน เนื่องจากผลของ Local Minimum บน Error Surface

โดย Plaut และคณะ [67] จึงได้คิดค้นนำหลักการของ โมเมนตัมเข้ามาช่วย ซึ่งในการปรับสอนโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับ โมเมนตัมนี้จะมีผลอย่างมากในการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส เพราะจะเป็นการปรับสอนที่สอนให้โครงข่ายประสาทเทียมรับรู้ถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสที่เป็นมาในอดีตร่วมกับการปรับสอนที่ใช้กฎ Gradient Descent ตามปกติ โครงข่ายประสาทเทียมที่ปรับสอนโดยใช้หลักการของ โมเมนตัมจะปฏิบัติตัวเสมือนว่ามี Low Pass Filter ช่วยกรองไม่ให้โครงข่ายประสาทเทียมรับรู้ค่าผิดพลาดเล็กๆ บน Error Surface จึงช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของ Local Minimum อีกทั้งยังช่วยทำให้โครงข่ายประสาทเทียมใช้เวลาในการคำนวณน้อยลงอีกด้วย

จากกฎ Gradient Descent ที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสของยูนิทในชั้นตัวแปรด้านนอก และชั้นซ่อนตามสมการที่ 2.23 ถึง 2.26 นั้น ซึ่งในกฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับร่วมกับ โมเมนตัมนี้จะทำการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสในรอบการคำนวณปัจจุบัน โดยจะรวมกับผลการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสของรอบการคำนวณก่อนหน้านี้ด้วย โดยมีค่าคงที่โมเมนตัม (Momentum coefficient :  $\gamma$ ) เป็นตัวกำหนดอัตราส่วน

ซึ่งในการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสของตัวแปรด้านนอกจะได้

$$w_{kj}^{2(new)} = w_{kj}^{2(old)} + [\gamma \cdot \Delta w_{kj}^{2(old)} + (1 - \gamma)\alpha \delta_k a_j^1] \quad (2.31)$$

$$b_k^{2(new)} = b_k^{2(old)} + [\gamma \cdot \Delta b_k^{2(old)} + (1 - \gamma)\alpha \delta_k] \quad (2.32)$$

และการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสของชั้นซ่อนจะได้

$$w_{ji}^{1(new)} = w_{ji}^{1(old)} + [\gamma \cdot \Delta w_{ji}^{1(old)} + (1 - \gamma)\alpha \delta_j p_i] \quad (2.33)$$

$$b_j^{1(new)} = b_j^{1(old)} + [\gamma \cdot \Delta b_j^{1(old)} + (1 - \gamma)\alpha \delta_j] \quad (2.34)$$

โดยที่  $\gamma$  คือ ค่าคงที่โมเมนตัม ( $0 \leq \gamma < 1$ ) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

การใช้หลักการ โมเมนตัมนั้นจะต้องเลือกค่า  $\gamma$  ให้เหมาะสม จึงจะทำให้ค่าผิดพลาดลดลงได้เร็วกว่าวิธีแบบดั้งเดิม (Standard Back-propagation Algorithm) หากเลือกค่าไม่เหมาะสมแล้วก็จะทำให้ค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสเกิดการแกว่ง และไม่ลู่เข้าได้ สำหรับปัญหาทั่วไปมักกำหนดค่า  $\gamma$  เท่ากับ 0.9 [66]

### 2.6.3 กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับร่วมกับโมเมนตัมและปรับอัตราการเรียนรู้ [65, 67]

ถึงแม้ว่าการใช้โมเมนตัมจะช่วยปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส จนทำให้โครงข่ายประสาทเทียมใช้เวลาในการคำนวณน้อยลงแล้วก็ตาม แต่การปรับสอนก็ยังคงใช้เวลานานอยู่ ซึ่งวิธีการปรับสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบดั้งเดิมที่ใช้อัตราการเรียนรู้ ( $\alpha$ ) คงที่นั้น มีข้อเสียอยู่หลายประการ ประการแรก คือ การที่ให้อัตราการเรียนรู้เป็นค่าคงที่ค่าเดียวก็จะทำให้ความเร็วในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมคงที่ด้วย โดยไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการลดลงของค่าผิดพลาด ประการที่สอง คือ ต้องใช้วิธีการสุ่ม (Trial and Error) เพื่อให้ได้ค่าอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ทำให้ค่าผิดพลาดมีค่าลดลง หรือกระบวนการทำซ้ำลู่เข้า

ด้วยเหตุนี้ Jacob [67] จึงได้คิดค้นกระบวนการปรับสอนแบบนี้เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับอัตราการเรียนรู้ในแต่ละรอบได้เอง โดยให้เพิ่มอัตราการเรียนรู้ในช่วงที่ค่าผิดพลาดมีแนวโน้มที่จะลดลงเร็ว หรือช่วงที่ Error Surface มีความชันมาก และให้ลดอัตราการเรียนรู้ในช่วงที่ค่าผิดพลาดมีแนวโน้มที่จะลดลงช้า หรือช่วงที่ Error Surface มีความชันน้อย โดยมีกระบวนการปรับอัตราการเรียนรู้ในแต่ละรอบการคำนวณดังนี้

**กรณีที่ 1** ถ้าค่าผิดพลาด  $E$  ใหม่หลังจากที่ปรับปรุงค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสแล้ว มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าผิดพลาด  $E$  เก่าของรอบก่อนหน้าคุณด้วยการเพิ่มขึ้นสูงสุดของค่าผิดพลาด  $\zeta$

$$E^{new} > E^{old} \cdot \zeta \quad (2.35)$$

ดังนั้นจะกำหนดค่าโมเมนต์  $\gamma$  ให้เป็นศูนย์ และลดค่าอัตราการเรียนรู้  $\alpha$  ใหม่เป็น

$$\alpha^{new} = \rho \cdot \alpha^{old} \quad (2.36)$$

โดยที่  $\zeta$  คือ การเพิ่มขึ้นสูงสุดของค่าผิดพลาด ซึ่งปกติมีค่าเท่ากับ 4% หรือ 1.04 [66]

$\rho$  คือ อัตราการลดลงของค่าอัตราการเรียนรู้ ( $1 > \rho > 0$ ) ซึ่งปกติมีค่าเท่ากับ 0.7 [66]

ส่วนค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส จะใช้ตามที่คำนวณได้ของรอบก่อนหน้าดังนี้  
ที่เซลล์ประสาทของตัวแปรด้านออกจะได้

$$w_{kj}^{2(new)} = w_{kj}^{2(old)} \quad (2.37)$$

$$b_k^{2(new)} = b_k^{2(old)} \quad (2.38)$$

และที่เซลล์ประสาทของชั้นซ่อนจะได้

$$w_{ji}^{1(new)} = w_{ji}^{1(old)} \quad (2.39)$$

$$b_j^{1(new)} = b_j^{1(old)} \quad (2.40)$$

**กรณีที่ 2** ถ้าหากค่าผิดพลาด  $E$  ใหม่หลังจากที่ปรับปรุงค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสแล้ว มีค่าลดลงน้อยกว่าค่าผิดพลาด  $E$  เก่าของรอบก่อนหน้าคุณด้วยการเพิ่มขึ้นสูงสุดของค่าผิดพลาด  $\zeta$

$$E^{new} < E^{old} \cdot \zeta \quad (2.41)$$

ดังนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์  $\gamma$  แต่จะเพิ่มค่าอัตราการเรียนรู้  $\alpha$  ใหม่เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha^{new} = \eta \cdot \alpha^{old} \quad (2.42)$$

โดยที่  $\eta$  คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราการเรียนรู้ ( $\eta > 1$ ) ซึ่งปกติมีค่าเท่ากับ 1.05 [66]

ส่วนค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส ก็ใช้ตามที่คำนวณได้ใหม่จากการกฏการเรียนรู้เป็นดังนี้  
ที่เซลล์ประสาทของตัวแปรด้านออกจะได้

$$w_{kj}^{2(new)} = w_{kj}^{2(old)} + [\gamma \cdot \Delta w_{kj}^{2(old)} + (1 - \gamma)\alpha\delta_k a_j^1] \quad (2.43)$$

$$b_k^{2(new)} = b_k^{2(old)} + [\gamma \cdot \Delta b_k^{2(old)} + (1 - \gamma)\alpha\delta_k] \quad (2.44)$$

และที่เซลล์ประสาทของชั้นซ่อนจะได้

$$w_{ji}^{1(new)} = w_{ji}^{1(old)} + [\gamma \cdot \Delta w_{ji}^{1(old)} + (1 - \gamma)\alpha\delta_j p_i] \quad (2.45)$$

$$b_j^{1(new)} = b_j^{1(old)} + [\gamma \cdot \Delta b_j^{1(old)} + (1 - \gamma)\alpha\delta_j] \quad (2.46)$$

กรณีที่ 3 ถ้าค่าผิดพลาด  $E$  ใหม่หลังจากที่ปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสแล้ว มีค่าเพิ่มขึ้น  
น้อยกว่าค่าผิดพลาด  $E$  เก่าในการคำนวณก่อนหน้าคูณด้วยอัตราส่วนค่าผิดพลาด  $\zeta$  แต่ยังมีค่า  
มากกว่าค่าผิดพลาด  $E$  เก่า

$$E^{old} \leq E^{new} \leq E^{old} \cdot \zeta \quad (2.47)$$

ดังนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัม  $\gamma$  และค่าอัตราการเรียนรู้  $\alpha$

ส่วนค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส ก็ให้ใช้ตามที่คำนวณได้ใหม่จากการกฏการเรียนรู้เป็นดังนี้  
ที่เซลล์ประสาทของตัวแปรด้านออกจะได้

$$w_{kj}^{2(new)} = w_{kj}^{2(old)} + [\gamma \cdot \Delta w_{kj}^{2(old)} + (1 - \gamma)\alpha\delta_k a_j^1] \quad (2.48)$$

$$b_k^{2(new)} = b_k^{2(old)} + [\gamma \cdot \Delta b_k^{2(old)} + (1 - \gamma)\alpha\delta_k] \quad (2.49)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และที่เซลล์ประสาทของชั้นซ่อนจะได้

$$w_{ji}^{l(new)} = w_{ji}^{l(old)} + [\gamma \cdot \Delta w_{ji}^{l(old)} + (1 - \gamma)\alpha \delta_j p_i] \quad (2.50)$$

$$b_j^{l(new)} = b_j^{l(old)} + [\gamma \cdot \Delta b_j^{l(old)} + (1 - \gamma)\alpha \delta_j] \quad (2.51)$$

โดยค่าโมเมนตัม  $\gamma$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แต่สำหรับปัญหาทั่วไปมักกำหนดค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.9 ส่วนการปรับอัตราการเรียนรู้ (Adaptive Learning Rate) ปกติจะกำหนดค่าเริ่มต้นที่ค่าน้อยๆ เช่น 0.01 [66]

กระบวนการเรียนรู้แบบนี้ ในแต่ละยุคจะถูกปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ในทันที โดยจะเพิ่มอัตราการเรียนรู้ขึ้นไปเรื่อยๆ เท่าที่ค่าผิดพลาดยังไม่เพิ่มขึ้น และเมื่ออัตราการเรียนรู้มีค่ามากจนทำให้เกิดการแกว่งขึ้นในกระบวนการปรับสอน โครงข่ายประสาทเทียมก็จะปรับอัตราการเรียนรู้ให้น้อยลงเพื่อให้กระบวนการเรียนรู้เข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าผิดพลาดลดลงเร็วกว่า และใช้เวลาน้อยกว่ากฎการเรียนรู้แบบดั้งเดิม

#### 2.6.4 กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับด้วย Levenberg-Marquardt Algorithm [65-68]

ถึงแม้ว่าได้มีการปรับปรุงกฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับให้เข้าสู่คำตอบได้เร็วมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านั้นก็ยังมีข้อบกพร่องอยู่สองประการ ประการที่หนึ่งคือ การปรับปรุงดังกล่าวจะต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์อยู่หลายตัว อาทิเช่น  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\rho$  และ  $\eta$  ในขณะที่กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับแบบดั้งเดิมจะกำหนดเพียง  $\alpha$  เท่านั้น ซึ่งบ่อยครั้งที่สมรรถนะของกฎการเรียนรู้จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์เหล่านี้ ดังนั้นการเลือกพารามิเตอร์จึงขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหา ประการที่สองคือ กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับที่ได้ดัดแปลงบางครั้งก็ไม่สามารถเข้าสู่คำตอบในบางปัญหาได้ ทำที่สุดก็ต้องนำกฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับแบบดั้งเดิมมาแก้ปัญหา ซึ่งข้อบกพร่องทั้งสองนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดบ่อยขึ้นเมื่อนำไปใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น [65]

ปัจจุบันจึงได้มีการพิจารณานำวิธีการของ Standard Numerical Optimization Techniques มาดัดแปลงใช้กับกฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับแบบดั้งเดิม ได้แก่ Conjugate Gradient, Newton, Quasi-Newton และ Levenberg-Marquardt [63, 65-69] ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ Levenberg-Marquardt Algorithm เท่านั้น เนื่องจากพบว่าเป็นกฎการเรียนรู้ที่สามารถปรับสอนโครงข่ายประสาทเทียมได้รวดเร็วกว่าวิธีการอื่นๆ และเหมาะกับโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนตัวแปรขนาดกลาง

Levenberg-Marquardt Algorithm เป็นการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับที่ปรับปรุงมาจากวิธี Gauss-Newton Nonlinear Least Squares Optimization Algorithm โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส ตามสมการที่ 2.52 และ 2.53 ซึ่งเขียนในรูปของเมตริกซ์ดังนี้

$$w^{new} = w^{old} + [J^T(w)J(w) + \mu I]^{-1} J^T(w) \cdot e \quad (2.52)$$

$$b^{new} = b^{old} + [J^T(b)J(b) + \mu I]^{-1} J^T(b) \cdot e \quad (2.53)$$

โดยที่  $\mu$  คือ Learning Factor ซึ่งมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.001 [66]  
 $I$  คือ Identity Matrix  
 $J(w)$  คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ของอนุพันธ์ค่าผิดพลาดเทียบกับค่าน้ำหนัก

$$J(w) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,1}^2} & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,2}^2} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,s^1}^2} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,1}^2} & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,2}^2} & \dots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,s^1}^2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_{s^2}}{\partial w_{s^2,1}^2} & \frac{\partial e_{s^2}}{\partial w_{s^2,2}^2} & \dots & \frac{\partial e_{s^2}}{\partial w_{s^2,s^1}^2} \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

$J(b)$  คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ของอนุพันธ์ค่าผิดพลาดเทียบกับค่าไบอัส

$$J(b) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial b_1^2} \\ \frac{\partial e_2}{\partial b_2^2} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_{s^2}}{\partial b_{s^2}^2} \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

$e$  คือ เมตริกซ์ของค่าผิดพลาดระหว่างเอาท์พุทเป้าหมายกับตัวแปรด้านนอก

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_{s^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 - a_1^2 \\ t_2 - a_2^2 \\ \vdots \\ t_{s^2} - a_{s^2}^2 \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Learning Factor  $\mu$  จะมีค่าเริ่มต้นของการฝึกสอนด้วยค่าน้อยๆ เช่น เท่ากับ 0.001 และจะปรับเปลี่ยนในช่วงระหว่างกระบวนการเรียนรู้ ขณะที่เริ่มกระบวนการเรียนรู้ อินพุตทั้งหมดจะเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งในทุกรอบของการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมจะคำนวณหาค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น และนำมาปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักและค่าไบอัส ถ้าค่า E ใหม่มีค่าน้อยกว่าค่า E เก่า ก็จะปรับลดค่า  $\mu$  โดยคูณด้วย Decreased Factor ที่มีค่าเท่ากับ 0.1 และทำการฝึกสอนต่อไป แต่ถ้าค่า E ใหม่มากกว่าค่า E เก่า ดังนั้นค่า  $\Delta w$  และ  $\Delta b$  ในสมการที่ 2.52 และ 2.53 ก็จะถูกปรับเพิ่มค่า  $\mu$  โดยการคูณด้วย Increased Factor ที่มีค่าเท่ากับ 10 จนกระทั่งค่า E มีค่าลดลง การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะสิ้นสุดลง ถ้าหากค่า Gradient Factor (ค่า  $J^T(w) \cdot e$  หรือ  $J^T(b) \cdot e$ ) มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้ เช่น  $1 e^{-10}$  หรือเมื่อค่า  $\mu$  มีค่ามากกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ เช่น  $1 e^{10}$  [66]

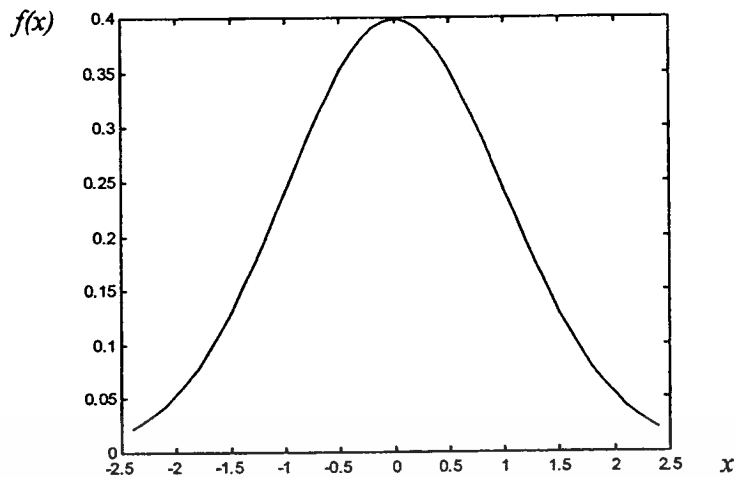
ความแตกต่างระหว่างกฎการเรียนรู้ของ Gradient Descent กับ Levenberg-Marquardt คือในกฎ Levenberg-Marquardt นั้นอินพุตทั้งหมดถูกนำเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมที่เวลาเดียวกันในแต่ละรอบของการเรียนรู้ ซึ่งค่าน้ำหนักและค่าไบอัสจะถูกปรับเปลี่ยนผ่านสมการที่ 2.52 และ 2.53 ตามลำดับ ส่วนกฎ Gradient Descent นั้นค่าน้ำหนักและค่าไบอัสจะถูกปรับเปลี่ยนสำหรับแต่ละข้อมูลอินพุตในทุกรอบของการเรียนรู้ผ่านสมการที่ 2.35 ถึง 2.51 ซึ่งในแต่ละรอบการเรียนรู้กฎ Levenberg-Marquardt จะใช้เวลาในการคำนวณและใช้หน่วยความจำมากกว่ากฎ Gradient Descent แต่อย่างไรก็ตามกฎ Levenberg-Marquardt ก็สามารถปรับตัวให้เข้ากับลักษณะของปัญหาและสามารถแก้ปัญหาด้วยจำนวนรอบที่น้อยกว่ากฎ Gradient Descent [65]

## 2.7 การ Normalization ชุดข้อมูลฝึกสอน [70]

การ Normalization หรือการจัดระเบียบข้อมูลฝึกสอน เป็นวิธีการที่นำมาใช้เพิ่มความแม่นยำของเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม และลดเวลาในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม การทำ Normalization ชุดข้อมูลค่านเข้า และค่านออกนั้น จะต้องทำก่อนกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ค่าของข้อมูลที่ได้อยู่บนพื้นฐานของการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ( $\mu = 0$ ) และความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง ( $\sigma = 1$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.21

ซึ่งเส้นโค้งในรูปที่ 2.21 สามารถแทนด้วย

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.57)$$



### รูปที่ 2.21 การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

สำหรับจำนวนชุดข้อมูลด้านเข้าหรือด้านออกทั้งหมด ถ้าแต่ละชุดข้อมูลด้านเข้าหรือด้านออกประกอบด้วย “n” ชุดข้อมูล ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) ดังนั้นจะสามารถ Normalization ชุดข้อมูลได้ โดยใช้สมการที่ 2.58 และ 2.59 ตามลำดับ

$$\text{ถ้า } X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}; \mu_X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \text{ และถ้า } Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 - \mu_X \\ X_2 - \mu_X \\ \vdots \\ X_n - \mu_X \end{bmatrix}; \mu_Y = 0 \quad (2.58)$$

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

$$\text{ถ้า } Z = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix} = Y \cdot \frac{1}{\sigma_Y} = \begin{bmatrix} (X_1 - \mu_X) / \sigma_Y \\ (X_2 - \mu_X) / \sigma_Y \\ \vdots \\ (X_n - \mu_X) / \sigma_Y \end{bmatrix}; \sigma_Z = 1 \text{ และ } \mu_Z = 0 \quad (2.59)$$

หลังจากข้อมูลทั้งหมด “n” ของชุดด้านเข้า หรือด้านออกได้ทำ Normalization ด้วยสมการที่ 2.58 และ 2.59 แล้ว ก็ควรจะ Scaling หรือ Bounding ข้อมูลให้อยู่ในช่วงของฟังก์ชันถ่ายโอน โดยใช้สมการที่ 2.60 ถึง 2.64 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมหลังกระบวนการเรียนรู้ให้ดียิ่งขึ้น โดยสร้างรูปแบบการกระจายข้อมูลให้เป็นแบบเชิงเส้นที่มีค่าระหว่าง [0.1, 0.9] เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ “n” ชุดข้อมูลด้านเข้า และให้มีค่าระหว่าง  $[-0.9, 0.9]$  สำหรับ “n” ชุดข้อมูลด้านออกที่จะใช้ในการเรียนรู้ ทดสอบ และพยากรณ์ โดยในชั้นซ่อนจะใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid ตามสมการที่ 2.5 ส่วนในชั้นตัวแปรด้านออกจะใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear ตามสมการที่ 2.4

โดยที่ Normalized Matrix  $[Z] = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix}$

$a$  และ  $b$  คือ ช่วงของการ Scaling  $[a, b]$

กำหนดให้

$$mx \text{ คือ ค่าสูงสุดของ Normalized Matrix } [Z] \quad (2.60)$$

$$mn \text{ คือ ค่าต่ำสุดของ Normalized Matrix } [Z] \quad (2.61)$$

ซึ่งจะสามารถหาค่าคงที่  $aw$  และ  $bw$  ได้จากสมการที่ 2.62 และ 2.63

$$aw = \frac{(b-a)}{mx - mn} \quad (2.62)$$

$$bw = b - aw \cdot mx \quad (2.63)$$

$$\text{ดังนั้นค่าเอาต์พุตหลังจาก Scaling} = aw \cdot Z_i + bw \text{ สำหรับ } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.64)$$

ซึ่งค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแต่ละสมาชิกใน Normalized Matrix  $[Z]$  จะสามารถแสดงได้ในสมการที่ 2.60 และ 2.61 ตามลำดับ ถ้าหากช่วงของการ Scaling คือ  $[a, b]$  ดังนั้นจะสามารถหาค่าคงที่  $aw$  และ  $bw$  ได้ โดยใช้สมการที่ 2.62 และ 2.63 ตามลำดับ จากนั้นแต่ละสมาชิกที่อยู่ภายใน Normalized Matrix  $[Z]$  ก็จะใช้ Scaling ด้วยสมการที่ 2.64

## 2.8 การ Unnormalization ชุดข้อมูลฝึกสอน [70]

ในระหว่างกระบวนการฝึกสอนค่าน้ำหนักและค่าไบอัสจะถูกปรับเปลี่ยนในทุกรอบการเรียนรู้ ดังนั้นเพื่อที่จะได้ชุดของค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสสุดท้ายที่ดีที่สุด ในระหว่างการฝึกสอนก็จะเลือกค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสที่ทำให้ค่า Sum-of-Square Error ที่เกิดขึ้นจากค่าเอาต์พุตเป้าหมาย และข้อมูลด้านออกของตัวแปรด้านออกของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าต่ำที่สุด

ถ้าเมตริกซ์ [O] แทนเอาต์พุตของการ Normalization และ Scaling ในช่วงการเรียนรู้แต่ละค่า ดังนั้นค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละค่าก็สามารถหาค่าจริงได้ด้วยการ Unscaling และ Unnormalization โดยใช้สมการที่ 2.65 และ 2.66 ตามลำดับ

$$[L] = \begin{bmatrix} O_1 / aw - bw / aw \\ O_2 / aw - bw / aw \\ \vdots \\ O_n / aw - bw / aw \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

$$[Q] = \begin{bmatrix} L_1 \cdot \sigma_Y + \mu_X \\ L_2 \cdot \sigma_Y + \mu_X \\ \vdots \\ L_n \cdot \sigma_Y + \mu_X \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

ค่าคงที่  $\mu_X$  และ  $\sigma_Y$  ที่อยู่ในสมการที่ 2.66 จะมาจากสมการที่ 2.58 และ 2.59 ตามลำดับ ซึ่งเมตริกซ์ [Q] จะแทน “n” ชุดข้อมูลของแต่ละเอาต์พุตที่ได้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่จะนำไปเปรียบเทียบกับแต่ละชุดข้อมูลเป้าหมาย ภายหลังจากการเรียนรู้เสร็จสิ้นค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสก็จะถูกจัดเก็บไว้

เมื่อนำข้อมูลชุดใหม่จำนวน “m” ชุด ซึ่งจะต้องเป็นชุดที่โครงข่ายประสาทเทียมไม่เคยเห็นมาก่อนมาทดสอบ โดยชุดข้อมูลใหม่นั้นก็ต้องทำ Normalization ให้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์  $\mu = 0$  และค่าความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง  $\sigma = 1$  และ Scaling ด้วยค่าระหว่าง [0.1, 0.9] หลังจากนั้นก็จะทำการทดสอบชุดข้อมูลอินพุตใหม่โดยใช้ค่าน้ำหนักและค่าไบอัส ซึ่งเป็นชุดเดียวกับของชุดข้อมูลอินพุตที่ใช้ในการฝึกสอนที่ได้จัดเก็บไว้

ถ้าเมตริกซ์ [T] แทนการ Normalization และ Scaling ของชุดข้อมูลเอาต์พุตทดสอบแต่ละชุด ดังนั้นเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละค่าก็จะสามารถหาค่าจริงได้จากการ Unscaling และ Unnormalization โดยใช้สมการที่ 2.67 และ 2.68 ตามลำดับ

$$[R] = \begin{bmatrix} T_1 / aw - bw / aw \\ T_2 / aw - bw / aw \\ \vdots \\ T_m / aw - bw / aw \end{bmatrix} \quad (2.67)$$

$$[H] = \begin{bmatrix} R_1 \cdot \sigma_Y + \mu_X \\ R_2 \cdot \sigma_Y + \mu_X \\ \vdots \\ R_m \cdot \sigma_Y + \mu_X \end{bmatrix} \quad (2.68)$$

ซึ่งเมตริกซ์  $[H]$  แทนเอาท์พุททดสอบแต่ละค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมจำนวน “m” ชุดที่จะนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลเอาท์พุทเป้าหมายทดสอบแต่ละชุด โดยค่าคงที่  $aw$ ,  $bw$ ,  $\mu_X$  และ  $\sigma_Y$  ที่อยู่ในสมการที่ 2.67 และ 2.68 นั้น จะเป็นค่าเดียวกันกับค่าคงที่ที่อยู่ในสมการที่ 2.62, 2.63, 2.58 และ 2.59 ตามลำดับ

## 2.9 การเลือกโครงสร้างที่เหมาะสมของโครงข่ายประสาทเทียม [70]

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีผลต่อประสิทธิภาพภายหลังการเรียนรู้ โดยทั่วไปจำนวนชั้นซ่อนหนึ่งชั้นก็สามารถใช้แก้ปัญหาที่ซับซ้อนทั่วไปในทางปฏิบัติได้ แต่ถ้าหากใช้จำนวนของเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนจนกระทั่งมีขนาดใหญ่มาแล้ว แต่ยังไม่เพียงพอที่จะใช้แก้ปัญหาได้ ดังนั้นก็ต้องเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนเป็นสองชั้น

ซึ่งแนวทางในการเลือกจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนอย่างคร่าวๆ สำหรับปัญหาทั่วไปคือ กฎรูปพีระมิดเรขาคณิต โดยจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนจะมีรูปร่างเหมือนพีระมิด นั่นคือจำนวนจะค่อยๆ ลดลงจากชั้นอินพุตไปยังชั้นเอาท์พุท

สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อนหนึ่งชั้นจะสามารถหาจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนได้จากสมการที่ 2.69

$$\text{จำนวนของเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน} = \sqrt{c \cdot d} \quad (2.69)$$

โดยที่  $c$  = จำนวนตัวแปรอินพุท  
 $d$  = จำนวนตัวแปรเอาท์พุท

สำหรับ โครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อนสองชั้นจะสามารถหาจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนแต่ละชั้นได้จากสมการที่ 2.70 และ 2.71 ซึ่งเป็นค่าประมาณอย่างคร่าวๆ เท่านั้น

$$\text{จำนวนของเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่หนึ่ง} = c \cdot r^2 \quad (2.70)$$

$$\text{จำนวนของเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่สอง} = c \cdot r \quad (2.71)$$

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

## 2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม [61, 63, 71]

การปรับสอนโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้กฎการเรียนรู้ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น จะเป็นการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสให้ลู่เข้า การที่จะลู่เข้าเร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับว่ากฎการเรียนรู้นั้นจะสามารถทำการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสได้ในทิศทางที่ถูกต้องหรือไม่ ส่วนปัจจัยอื่นๆ ที่อยู่นอกเหนือจากกฎการเรียนรู้ แต่มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถสรุปดังนี้

### 1 การเลือกตัวแปรด้านเข้า

การเลือกตัวแปรด้านเข้ามีความสำคัญ คือ ถ้าตัวแปรด้านเข้ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรด้านออกจะทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมหลังกระบวนการเรียนรู้ดีขึ้น การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านเข้า และด้านออกสามารถทำได้โดยใช้การวิเคราะห์ Correlation หรือ Principle Component Analysis (PCA)

### 2 จำนวนของข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน

ปริมาณของข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนก็มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ถ้าหากปริมาณของข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนเพิ่มขึ้นก็จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ และจดจำข้อมูลของปัญหาภายในขอบเขตที่ศึกษาได้ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมสูงขึ้นอีกด้วย

### 3 การ Normalization ข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน

การจัดระเบียบข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนก่อนที่จะนำมาฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะทำให้กระบวนการฝึกสอนเร็วขึ้น และทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลดิบ (Raw Data) แล้วนำมาฝึกสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4 การกระจายของข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน

การกระจายของข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมภายในขอบเขตที่ศึกษาจะมีความสำคัญต่อโครงข่ายประสาทเทียม คือ ถ้าใช้ปริมาณข้อมูลฝึกสอนจำนวนหนึ่งหากข้อมูลมีการกระจายตัวที่ดีแล้วจะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้และจดจำข้อมูลของปัญหาภายในขอบเขตที่ศึกษาได้ดีขึ้น อีกทั้งยังทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมสูงขึ้นด้วย ซึ่งการกระจายของข้อมูลฝึกสอนที่ดีควรใช้วิธี Sobol Sequences ในการเลือกข้อมูลฝึกสอน

#### 5 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนหรือฟังก์ชันกระตุ้น

ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน หรือฟังก์ชันกระตุ้นที่ใช้ในการฝึกสอนจะมีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมภายหลังการเรียนรู้ ดังนั้นการศึกษาวิจัยในงานต่างๆ ก็สามารถนำฟังก์ชันถ่ายโอนชนิดต่างๆ มาศึกษา และนำมาเปรียบเทียบกันว่าชนิดใดเหมาะสมกับข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน

#### 6 ความชันของฟังก์ชันถ่ายโอน

ความชันของฟังก์ชันถ่ายโอนจะมีผลต่อการเรียนรู้ และการจดจำของโครงข่ายประสาทเทียม ตลอดจนเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนด้วยเช่นกัน การปรับความชันของฟังก์ชันถ่ายโอนโดยเฉพาะฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid หรือ Tan-sigmoid นั้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมหลังจากที่ได้เรียนรู้แล้ว

#### 7 ค่าเริ่มต้นของค่าน้ำหนักและค่าไบอัส

โดยปกติค่าเริ่มต้นของค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส จะมีผลต่อการเข้าใกล้จุด Local Minimum หรือ Global Minimum ของค่าตอบที่ใช้ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นที่โครงสร้างต่างๆ ของโครงข่ายประสาทเทียม ก็ควรใช้ค่าเริ่มต้นของค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส ซ้ำหลายๆ ครั้ง แล้วเลือกครั้งที่ดีที่สุด ซึ่งปกติค่าน้ำหนักและค่าไบอัสจะใช้ค่าตัวเลขแบบสุ่ม (Random Numbers) ระหว่าง 0 ถึง 1 หรือ ระหว่าง -1 ถึง 1 [61, 71-72]

#### 8 อัลกอริทึมที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัส

อัลกอริทึมที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสนั้น โดยปกติจะมีอยู่หลายประเภท อาทิเช่น การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับก็จะมี Gradient Descent และ Lavenberg-Marquardt เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษาวิจัยด้านต่างๆ ก็สามารถที่จะเลือกนำมาใช้งาน เพื่อเปรียบเทียบ Speed และ Accuracy ได้ จากนั้นก็เลือกใช้อัลกอริทึมที่เหมาะสมกับงานนั้นๆ

#### 9 จำนวนรอบที่ใช้ในการฝึกสอน

หากใช้จำนวนรอบในการฝึกสอนที่สูงมากขึ้นแล้ว โดยปกติค่า Sum-of-Square Error หรือค่า Performance Index ของการฝึกสอนลดลงเข้าใกล้ศูนย์ นั่นคือ โครงข่ายประสาทเทียมจะเรียนรู้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 10 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีผลต่อประสิทธิภาพภายหลังการเรียนรู้ โดยทั่วไปการใช้ชั้นซ่อนเพียงหนึ่งชั้นก็สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทั่วไปได้ แต่ถ้าหากยังแก้ปัญหาไม่ได้ก็จะต้องเพิ่มจำนวนของชั้นซ่อนเป็นสองชั้น นอกจากนั้นหากใช้จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่มีขนาดใหญ่มากก็จะทำให้เกิดปัญหา Over Fitting ได้ แต่ถ้าใช้จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่มีขนาดเล็กมากก็จะทำให้เกิดปัญหา Under Fitting ได้ ด้วยเหตุนี้ในการเลือกขนาดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมมานั้นจะต้องไม่เล็กมากหรือใหญ่มากจนเกินไป

## 11 จำนวนของเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนและจำนวนของชั้นซ่อน

จำนวนของเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน และจำนวนของชั้นซ่อนที่ใช้ในระหว่างการฝึกสอนจะมีผลต่อประสิทธิภาพภายหลังการเรียนรู้เหมือนกัน ดังนั้นโครงสร้างที่ใช้ต้องมีความเหมาะสม คือต้องไม่เล็กมาก หรือใหญ่มากจนเกินไป เพราะถ้าหากใช้โครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ และจดจำก็จะมากขึ้นตามไปด้วย



### บทที่ 3

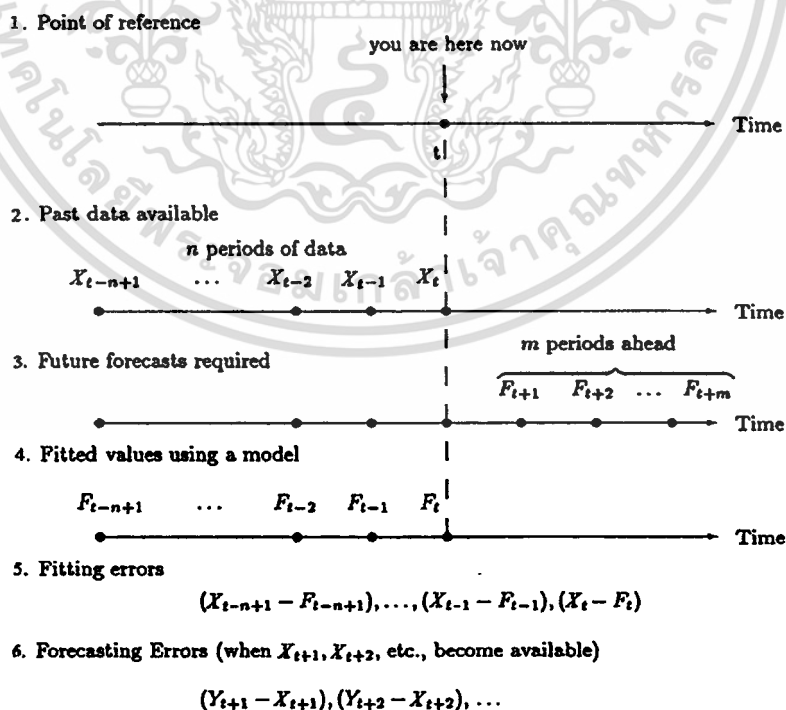
## ทฤษฎีการพยากรณ์โดยใช้วิธีการทางสถิติ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดพื้นฐานของเทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ ซึ่งแบ่งกว้างๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) ได้แก่ วิธี Exponential Smoothing และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ได้แก่ วิธี Multiple Linear Regression รวมถึงทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

### 3.1 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา [73-74]

การวิเคราะห์อนุกรมเวลา คือ การศึกษาหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในอดีตจนถึงปัจจุบัน แล้วนำรูปแบบนั้นมาวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์ค่าของตัวแปรนั้นในอนาคต โดยไม่พิจารณาตัวแปรอื่นๆ ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์

ข้อมูลอนุกรมเวลาเป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นในเวลาที่มีระยะห่างเท่าๆ กัน และต่อเนื่องกัน ดังนั้นข้อมูลอนุกรมเวลาจึงเป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยหน่วยของเวลาอาจเป็น ปี ไตรมาส เดือน วัน หรือ ชั่วโมง การนำข้อมูลอนุกรมเวลาในอดีตถึงปัจจุบันมาวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์ค่าในอนาคตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ดังนี้



รูปที่ 3.1 Forecasting Scenario [73]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลานั้นมีอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็สามารถนำพยากรณ์กับปัญหาที่แตกต่างกัน วิธีการหนึ่งอาจเหมาะกับปัญหาหนึ่ง แต่อาจไม่เหมาะกับอีกปัญหาหนึ่งก็ได้ ดังนั้นจึงต้องเลือกเทคนิคที่ใช้ให้เหมาะสมกับปัญหา ด้วยเหตุนี้จึงต้องแยกข้อมูลอนุกรมเวลาออกเป็นส่วนๆ แล้ววิเคราะห์ส่วนประกอบของแต่ละส่วน เพื่อให้สามารถพยากรณ์ค่าในอนาคตได้ต่อไป

### 3.1.1 ส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามักขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งส่วนประกอบหลักๆ ของอนุกรมเวลา ได้แก่ แนวโน้ม การผันแปรตามฤดูกาล การผันแปรตามวัฏจักร และการผันแปรเนื่องจากเหตุการณ์ผิดปกติ ในแต่ละอนุกรมเวลาอาจมีส่วนประกอบมากกว่าหนึ่งส่วนก็ได้ ดังนี้

#### 1 แนวโน้ม (Trend : T)

เป็นการเคลื่อนไหว หรือเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่มีระยะเวลายาวจนพอที่จะเห็นแนวโน้มของข้อมูลในอนาคตว่าจะเพิ่มขึ้น หรือลดลง โดยจะสะท้อนให้เห็นถึงความเจริญ หรือความเสื่อมของเหตุการณ์ในอดีตที่ผ่านมา ซึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ภาวะเศรษฐกิจ รายได้ประชาชาติ และภาวะเงินเฟ้อ แนวโน้มอาจเป็นไปได้หลายลักษณะ เช่น แนวโน้มเส้นตรง แนวโน้มกำลังสอง แนวโน้ม Exponential และแนวโน้มแบบตัว S เป็นต้น

#### 2 การผันแปรตามฤดูกาล (Seasonal Variation : S)

เป็นการเคลื่อนไหว หรือเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่มีผลเนื่องมาจากฤดูกาล การเคลื่อนไหวนี้ จะเกิดขึ้นซ้ำๆ กันในช่วงเวลาเดียวกันของแต่ละปี ปัจจัยที่ก่อให้เกิดอิทธิพลของฤดูกาลมีได้หลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศ และอุณหภูมิ อนุกรมเวลาที่ใช้ในการพิจารณาอิทธิพลของฤดูกาลมักจะเป็นข้อมูลรายเดือน หรือรายไตรมาสที่เก็บรวบรวมไว้อย่างน้อย 2 ปีขึ้นไป

#### 3 การผันแปรตามวัฏจักร (Cyclical Variation : C)

เป็นการเคลื่อนไหว หรือเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลายาวมากกว่า 1 ปี อิทธิพลของวัฏจักรจะมีลักษณะคล้ายกับอิทธิพลของฤดูกาลแต่มีช่วงเวลาไม่คงที่ โดยที่แต่ละรอบของวัฏจักรอาจเท่ากัน หรือไม่เท่ากันก็ได้ เช่น วัฏจักรธุรกิจ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงขยายตัว, ช่วงหดตัว, ช่วงซบเซา และช่วงฟื้นตัว เป็นต้น

#### 4 การผันแปรเนื่องจากเหตุการณ์ผิดปกติ (Irregular Variation : I)

เป็นการเคลื่อนไหว หรือเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ไม่มีแบบแผนแน่นอน ดังนั้นจึงไม่สามารถคาดคะเน หรือพยากรณ์ความผันแปรที่ไม่แน่นอนนี้โดยใช้ข้อมูลจากอดีตได้ เหตุการณ์ผิดปกติส่วนใหญ่เป็นเหตุการณ์ที่ไม่ได้คาดคิดมาก่อน หรือไม่ได้เกิดขึ้นบ่อยครั้งนัก เช่น การเกิดสงคราม หรือการนัดหยุดงาน เป็นต้น

### 3.1.2 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมเวลา

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ข้อมูลอนุกรมเวลาจะประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ทั้ง 4 รวมกัน ซึ่งการรวมกันขององค์ประกอบในชั้นพื้นฐานนั้นจะมีอยู่ 2 รูปแบบ ดังนี้

#### 1 รูปแบบการบวก (Additive Model)

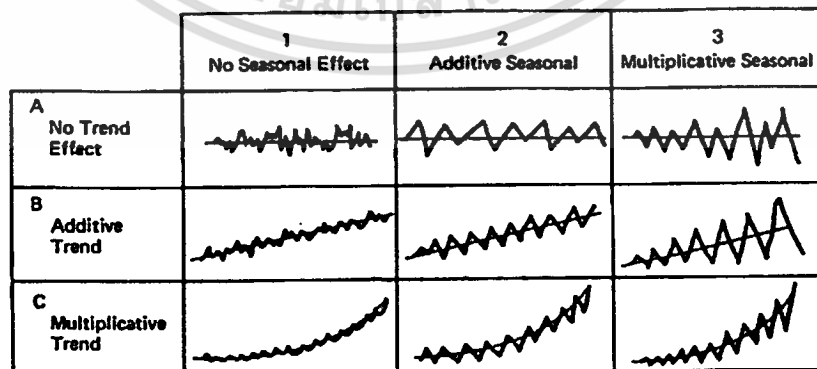
$$X = T + S + C + I \quad (3.1)$$

#### 2 รูปแบบการคูณ (Multiplicative Model)

$$X = T \times S \times C \times I \quad (3.2)$$

โดยที่ X คือ ข้อมูลอนุกรมเวลา  
 T คือ แนวโน้ม  
 S คือ การผันแปรตามฤดูกาล  
 C คือ การผันแปรตามวัฏจักร  
 I คือ การผันแปรเนื่องจากเหตุการณ์ผิดปกติ

ข้อมูลแต่ละชุด ไม่จำเป็นต้องประกอบด้วยส่วนประกอบทั้ง 4 ส่วน ข้อมูลบางชุดอาจจะมีเพียงแนวโน้ม และการผันแปรตามฤดูกาล บางชุดอาจจะมีเฉพาะแนวโน้มเพียงอย่างเดียว ในขณะที่บางชุดอาจจะมี 3 ส่วน คือ การผันแปรตามวัฏจักร การผันแปรตามฤดูกาล และความไม่แน่นอน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



(b) Patterns Based on Pegels' (1969) Classification

### รูปที่ 3.2 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมเวลา [73]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดรูปแบบอนุกรมเวลาว่าเป็นรูปแบบการบวก หรือรูปแบบการคูณนั้นจำเป็นต้องทำก่อนการวิเคราะห์อนุกรมเวลา เพราะว่าวิธีการพยากรณ์จะแตกต่างกันตามรูปแบบที่กำหนดขึ้น ดังนั้นการที่จะเลือกการรวมองค์ประกอบแบบใดนั้นจะต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล กล่าวคือ ถ้าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของฤดูกาลนั้นคงที่ตลอดช่วงเวลาไม่ว่าแนวโน้มจะเปลี่ยนไปอย่างไรก็ควรเลือกการรวมองค์ประกอบแบบบวก แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลไม่คงที่ หรือการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของฤดูกาล ไม่คงที่ตลอดช่วงเวลาที่เหมาะสมไปก็ควรใช้การรวมองค์ประกอบแบบคูณ โดยทั่วไปแล้วรูปแบบการคูณจะเหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงมากกว่า และเป็นที่ยอมรับกันมากกว่ารูปแบบการบวก

### 3.1.3 วิธีการหาค่าเฉลี่ย (Averaging Method)

เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่ให้ความสำคัญ หรือให้น้ำหนักแก่ข้อมูลในอดีตแต่ละค่าเท่ากัน ซึ่งเทคนิคการพยากรณ์โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยนั้นมีอยู่หลายวิธี ดังนี้

#### 3.1.3.1 วิธี Mean

เป็นการเฉลี่ยค่าข้อมูลในอดีตทั้งหมดเพื่อใช้ในการพยากรณ์ ซึ่งจะเหมาะสมเมื่อข้อมูลไม่มีแนวโน้มและการผันแปรตามฤดูกาล และจะเหมาะสมเมื่อข้อมูลเป็น Stationary โดยต้องมีข้อมูลในอดีตเป็นจำนวนมาก จึงจะทำให้ค่าเฉลี่ยคงที่ ดังนี้

$$F_{t+1} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t X_i \quad (3.3)$$

ถ้าพยากรณ์ที่เวลา  $t+2$  จะได้

$$F_{t+1} = \frac{1}{t+1} \sum_{i=1}^{t+1} X_i \quad (3.4)$$

เมื่อข้อมูลมีค่าคงที่ สามารถเขียนสมการที่ 3.4 ในรูป Recursive ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมากได้ดังนี้

$$F_{t+2} = \frac{tF_{t+1} + X_{t+1}}{t+1} \quad (3.5)$$

### 3.1.3.2 วิธี Moving Average

เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวค่อนข้างคงที่ หรือข้อมูลค่อนข้างราบเรียบตามแนวโน้ม แต่เมื่อข้อมูลมีแนวโน้ม และการผันแปรตามฤดูกาลวิธีนี้จะให้ผลที่คิดว่าวิธีค่าเฉลี่ย การพยากรณ์วิธีนี้จะนำค่าสังเกต หรือข้อมูลล่าสุดจำนวนหนึ่งมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งในการเฉลี่ยนี้ก็จะเป็นน้ำหนักแก่ข้อมูลในอดีตแต่ละค่าเท่ากัน ดังแสดงในสมการที่ 3.6 สำหรับจำนวนข้อมูลที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ยนั้น ถ้าข้อมูลมีการเคลื่อนไหวมากก็ควรใช้จำนวนค่าสังเกตมาก ในทางกลับกันถ้าข้อมูลค่อนข้างเรียบก็ควรใช้จำนวนค่าสังเกตน้อยลง ตามลำดับ

$$F_{t+1} = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^t X_i \quad (3.6)$$

โดยที่  $F_{t+1}$  คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา  $t+1$   
 $X_t$  คือ ค่าของข้อมูล ณ เวลา  $t$   
 $k$  คือ จำนวนข้อมูลที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ย

### 3.1.4 วิธีการปรับให้เรียบแบบเอกโพเนนเชียล (Exponential Smoothing Method)

เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่ให้ความสำคัญ หรือให้น้ำหนักแก่ข้อมูลในอดีตแต่ละค่าไม่เท่ากัน โดยจะให้ความสำคัญกับข้อมูลล่าสุดมากที่สุด และความสำคัญจะลดลงไปเรื่อยๆ สำหรับข้อมูลในอดีตที่อยู่ห่างไกลออกไป ซึ่งจะลดลงในลักษณะแบบ Exponential

เทคนิคการพยากรณ์โดยใช้วิธี Exponential Smoothing นั้นมีหลายวิธี แต่ละวิธีจะเหมาะสมกับข้อมูลแต่ละประเภท ดังนี้

#### 3.1.4.1 วิธี Single Exponential Smoothing

เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเคลื่อนไหวคงที่ (Horizontal Data) โดยเป็นข้อมูลที่ไม่มีความโน้ม และไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล หรือมีเฉพาะความไม่แน่นอนอย่างเดียว จึงทำให้มีค่าคงที่สำหรับปรับให้เรียบเพียง 1 ค่า คือ  $\alpha$  ดังแสดงในสมการที่ 3.7 ซึ่งจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมจะใช้วิธีนี้ควรมีอย่างน้อย 5 ถึง 10 ค่า

$$F_{t+1} = F_t + \alpha(X_t - F_t) \quad (3.7)$$

ซึ่งสมการที่ 3.7 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)F_t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= \alpha X_t + (1-\alpha)[\alpha X_{t-1} + (1-\alpha)F_{t-1}] \\
 &= \alpha X_t + \alpha(1-\alpha)X_{t-1} + (1-\alpha)^2 F_{t-1}
 \end{aligned}$$

เมื่อแทน  $F_{t-1}$  ด้วย  $F_{t-2}$  และทำต่อไปเรื่อยๆ จะได้

$$\begin{aligned}
 F_{t+1} &= \alpha X_t + \alpha(1-\alpha)X_{t-1} + (1-\alpha)^2 X_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^3 X_{t-3} + \alpha(1-\alpha)^4 X_{t-4} \\
 &\quad + \alpha(1-\alpha)^5 X_{t-5} + \dots + \alpha(1-\alpha)^{t-1} X_1 + (1-\alpha)^t F_1
 \end{aligned}$$

สำหรับการกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าพยากรณ์เป็นดังนี้

$$F_1 = X_1 \quad (3.8)$$

โดยที่  $F_{t+1}$  คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา  $t+1$   
 $X_t$  คือ ค่าของข้อมูล ณ เวลา  $t$   
 $\alpha$  คือ ค่าคงที่สำหรับทำให้เรียบ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

### 3.1.4.2 วิธี Double Exponential Smoothing : Holt's Linear

Holt's (1957) ได้ปรับปรุงวิธี Single Exponential Smoothing ให้เป็น Linear Exponential Smoothing เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มในรูปแบบเชิงเส้น (Linear Trend) รวมอยู่ด้วย โดยยังคงใช้หลักการของ Exponential Smoothing คือ ให้ความสำคัญกับข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน แต่ในวิธี Holt's Linear จะใช้กับข้อมูลที่มีแนวโน้ม และความไม่แน่นอน จึงทำให้มีค่าคงที่สำหรับปรับให้เรียบ 2 ค่า คือ  $\alpha$  และ  $\beta$  ดังแสดงในสมการที่ 3.9 ถึง 3.11 ตามลำดับ ซึ่งจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมจะใช้วิธีนี้ควรมีอย่างน้อย 5 ค่าขึ้นไป

$$F_{t+m} = L_t + b_t m \quad (3.9)$$

$$L_t = \alpha X_t + (1-\alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3.10)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1} \quad (3.11)$$

สำหรับการกำหนดค่าเริ่มต้นของ  $b_1$  และ  $L_1$  ได้มีผู้เสนอไว้หลายแบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b_1 = \frac{X_n - X_1}{n-1} \quad \text{หรือ} \quad b_1 = X_2 - X_1 \quad \text{หรือ} \quad b_1 = \frac{X_4 - X_1}{3} \quad (3.12)$$

$$\text{และ} \quad L_1 = X_1 - \frac{1}{2}b_1 \quad \text{หรือ} \quad L_1 = X_1 \quad (3.13)$$

โดยที่  $F_{t+m}$  คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา  $t+m$

$X_t$  คือ ค่าของข้อมูล ณ เวลา  $t$

$m$  คือ ระยะเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

$L_t$  คือ ค่าประมาณระดับของข้อมูล ณ เวลา  $t$

$b_t$  คือ ค่าประมาณความชันของข้อมูล ณ เวลา  $t$

$\alpha$  คือ ค่าคงที่สำหรับปรับให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

$\beta$  คือ ค่าคงที่สำหรับปรับให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณแนวโน้ม มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

### 3.1.4.3 วิธี Triple Exponential Smoothing : Holt-Winters' Trend and Seasonality

Winter (1960) ได้พัฒนาวิธีนี้มาจากวิธีของ Holt เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้ม และการผันแปรตามฤดูกาล (Trend-Season Data) ข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณไม่ควรเป็นรายปี เพราะจะทำให้ไม่สามารถแยกอิทธิพลของฤดูกาลได้ และควรจะมีอย่างน้อย 36 ค่าสำหรับข้อมูลรายเดือน หรืออย่างน้อย 12 ค่าขึ้นไปสำหรับข้อมูลรายไตรมาส ซึ่งวิธี Winters' ยังคงใช้หลักการของ Exponential Smoothing คือ ให้ความสำคัญกับข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน และจะมีค่าคงที่สำหรับปรับให้เรียบ 3 ค่า คือ  $\alpha$ ,  $\beta$  และ  $\gamma$  ซึ่งวิธีการพยากรณ์ของ Winters' มี 2 รูปแบบ ดังนี้

#### 1 รูปแบบการคูณ (Multiplicative Seasonality Model)

$$F_{t+m} = (L_t + b_t m) S_{t-s+m} \quad (3.14)$$

$$L_t = \alpha \frac{X_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3.15)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1} \quad (3.16)$$

$$S_t = \gamma \frac{X_t}{L_t} + (1-\gamma)S_{t-s} \quad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการกำหนดค่าเริ่มต้นของ  $L_s$ ,  $b_s$  และ  $S_s$  ที่ช่วงเวลา  $s$  เป็นดังนี้

$$L_s = \frac{1}{s}(X_1 + X_2 + \dots + X_s) \quad (3.18)$$

$$b_s = \frac{1}{s} \left[ \frac{X_{s+1} - X_1}{s} + \frac{X_{s+2} - X_2}{s} + \dots + \frac{X_{s+s} - X_s}{s} \right] \quad (3.19)$$

$$S_1 = \frac{X_1}{L_s}, S_2 = \frac{X_2}{L_s}, \dots, S_s = \frac{X_s}{L_s} \quad (3.20)$$

## 2 รูปแบบการบวก (Additive Seasonality Model)

$$F_{t+m} = L_t + b_t m + S_{t-s+m} \quad (3.21)$$

$$L_t = \alpha(X_t - S_{t-s}) + (1-\alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3.22)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1} \quad (3.23)$$

$$S_t = \gamma(X_t - L_t) + (1-\gamma)S_{t-s} \quad (3.24)$$

สำหรับการกำหนดค่าเริ่มต้นของ  $L_s$ ,  $b_s$  และ  $S_s$  ที่ช่วงเวลา  $s$  เป็นดังนี้

$$L_s = \frac{1}{s}(X_1 + X_2 + \dots + X_s) \quad (3.25)$$

$$b_s = \frac{1}{s} \left[ \frac{X_{s+1} - X_1}{s} + \frac{X_{s+2} - X_2}{s} + \dots + \frac{X_{s+s} - X_s}{s} \right] \quad (3.26)$$

$$S_1 = X_1 - L_s, S_2 = X_2 - L_s, \dots, S_s = X_s - L_s \quad (3.27)$$

โดยที่  $F_{t+m}$  คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา  $t+m$

$X_t$  คือ ค่าของข้อมูล ณ เวลา  $t$

$s$  คือ จำนวนฤดูกาลใน 1 ปี เช่น ข้อมูลเป็นรายเดือน  $s = 12$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$m$  คือ ระยะเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

$L_t$  คือ ค่าประมาณระดับของข้อมูล ณ เวลา  $t$

$b_t$  คือ ค่าประมาณความชันของข้อมูล ณ เวลา  $t$

$S_t$  คือ ค่าประมาณฤดูกาลของข้อมูล ณ เวลา  $t$

$\alpha$  คือ ค่าคงที่สำหรับปรับให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

$\beta$  คือ ค่าคงที่สำหรับปรับให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณแนวโน้ม มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

$\delta$  คือ ค่าคงที่สำหรับปรับให้เรียบระหว่างฤดูกาลจริงกับค่าประมาณฤดูกาล ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

### 3.1.4.4 วิธี Pegels' Classification

Pegels (1969) ได้เสนอให้เลือกใช้ตัวแบบ (Model) ในการคำนวณดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 Pegels' Classification [73]

Trend Component	Seasonal Component		
	1 (None)	2 (Additive)	3 (Multiplicative)
A (None)	A-1	A-2	A-3
B (Additive)	B-1	B-2	B-3
C (Multiplicative)	C-1	C-2	C-3

สามารถสรุปสูตรการคำนวณของแต่ละ Exponential Smoothing ได้ดังนี้

$$L_t = \alpha P_t + (1 - \alpha)Q_t \quad (3.28)$$

$$b_t = \beta R_t + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3.29)$$

$$S_t = \gamma T_t + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (3.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่า P, Q, R และ T จะหาได้จากเซลล์ (Cell) ในตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 สูตรสำหรับการคำนวณ และพยากรณ์โดยใช้ Pegels' Classification [73]

Trend Component	Seasonal Component		
	1 (None)	2 (Additive)	3 (Multiplicative)
<b>A</b> (None)	$P_t = X_t$ $Q_t = L_{t-1}$ $F_{t+m} = L_t$	$P_t = X_t - S_{t-s}$ $Q_t = L_{t-1}$ $T_t = X_t - L_t$ $F_{t+m} = L_t + S_{t+m-s}$	$P_t = X_t / S_{t-s}$ $Q_t = L_{t-1}$ $T_t = X_t / L_t$ $F_{t+m} = L_t S_{t+m-s}$
<b>B</b> (Additive)	$P_t = X_t$ $Q_t = L_{t-1} + b_{t-1}$ $R_t = L_t - L_{t-1}$ $F_{t+m} = L_t + mb_t$	$P_t = X_t - S_{t-s}$ $Q_t = L_{t-1} + b_{t-1}$ $R_t = L_t - L_{t-1}$ $T_t = X_t - L_t$ $F_{t+m} = L_t + mb_t + S_{t+m-s}$	$P_t = X_t / S_{t-s}$ $Q_t = L_{t-1} + b_{t-1}$ $R_t = L_t - L_{t-1}$ $T_t = X_t / L_t$ $F_{t+m} = (L_t + mb_t) S_{t+m-s}$
<b>C</b> (Multiplicative)	$P_t = X_t$ $Q_t = L_{t-1} b_{t-1}$ $R_t = L_t / L_{t-1}$ $F_{t+m} = L_t b_t^m$	$P_t = X_t - S_{t-s}$ $Q_t = L_{t-1} b_{t-1}$ $R_t = L_t / L_{t-1}$ $T_t = X_t - L_t$ $F_{t+m} = L_t b_t^m + S_{t+m-s}$	$P_t = X_t / S_{t-s}$ $Q_t = L_{t-1} b_{t-1}$ $R_t = L_t / L_{t-1}$ $T_t = X_t / L_t$ $F_{t+m} = L_t b_t^m S_{t+m-s}$

หมายเหตุ เซลล์ A-1 เป็นวิธี Single Exponential Smoothing และเซลล์ B-1 เป็นวิธี Holt's Linear ส่วนวิธี Additive Holt-Winters' อยู่ในเซลล์ B-2 และวิธี Multiplicative Holt-Winters' อยู่ใน เซลล์ B-3

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ข้อมูลรายปีจึงทำให้ไม่มี Seasonal Component และข้อมูลมีจำนวนไม่ถึง 36 ค่า ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เฉพาะวิธี Holt's Linear เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ [73-78]

เป็นการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ตัวแปรตัวหนึ่ง กับค่าของตัวแปรอีกตัวหนึ่ง หรือหลายตัวโดยสังเกตจากความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ผ่านมาในอดีต โดยกำหนดให้ตัวแปรหนึ่งที่สนใจศึกษาเป็นตัวแปรตาม ส่วนตัวแปรที่เหลือแทนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรที่สนใจศึกษา สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \quad (3.31)$$

โดยที่

$\beta_0$  คือ จุดตัดแกน  $Y$  เมื่อกำหนดให้  $X_1 = X_2 = \dots = X_k = 0$

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วน (Partial Regression Coefficient) ซึ่งค่า  $\beta_i$  เป็นค่าแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม  $Y$  เมื่อตัวแปร  $X_i$  เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย โดยที่ตัวแปร  $X$  ตัวอื่นๆ มีค่าคงที่

$e$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

#### 3.2.1 การประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

จากสมการการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณที่มีพารามิเตอร์  $k+1$  ตัวคือ  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  การประมาณค่า  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าของสมการการถดถอยจะต้องใช้ข้อมูลตัวอย่างของตัวแปร  $Y, X_1, X_2, \dots, X_k$  ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + e_i \quad (3.32)$$

จะประมาณค่า  $Y_i$  ในสมการที่ 3.32 ด้วยสมการที่ 3.33

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1i} + \hat{\beta}_2 X_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ki} \quad (3.33)$$

$$\text{หรือ} \quad \hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki} \quad (3.34)$$

โดยที่  $\hat{\beta}_0 = a, \hat{\beta}_1 = b_1, \hat{\beta}_2 = b_2, \dots, \hat{\beta}_k = b_k$

ดังนั้นผลต่างระหว่างค่าสังเกต  $Y_i$  และ  $\hat{Y}_i$  ซึ่งเรียกว่า residual คือ  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณค่า  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  ด้วยค่า  $a, b_1, b_2, \dots, b_k$  นั้นมีจุดประสงค์เพื่อให้ผลบวกของค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

กรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว ( $X_1, X_2$ ) ที่มีความสัมพันธ์กับ  $Y$  ดังนั้นสมการการถดถอยจะเป็นดังนี้

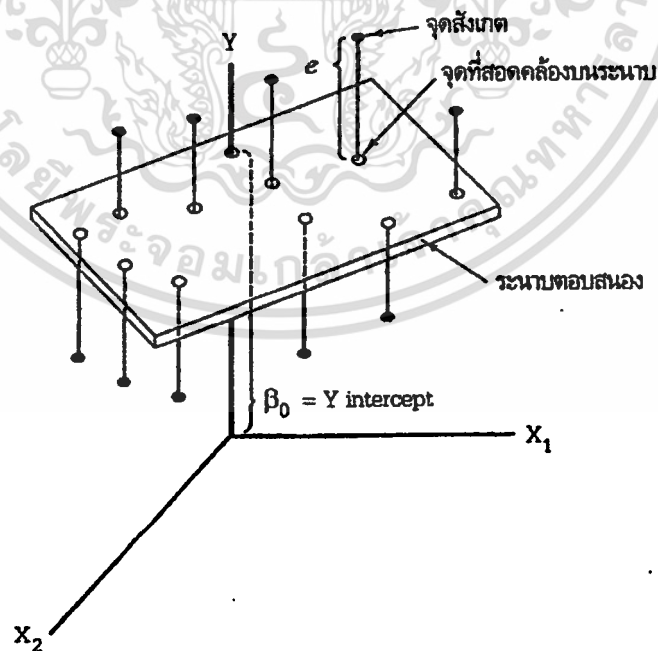
$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + e_i \quad (3.35)$$

และค่าประมาณของ  $Y_i$  คือ

$$\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} \quad (3.36)$$

และค่าความคลาดเคลื่อน  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$

ซึ่งกราฟของการถดถอยแบบพหุคูณ จะเป็นผิวตอบสนอง (Response surface) แทนเส้นตรง ในกรณีที่สมการถดถอยมี 3 ตัวแปร คือ  $Y, X_1$  และ  $X_2$  กราฟจะอยู่ใน 3 มิติ ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งแสดงแผนภาพการกระจายของผิวตอบสนอง เมื่อตัวแปรอิสระมี 2 ตัว สมการถดถอยพหุคูณก็จะสร้างระนาบตอบสนอง (Response plane) จากรูปจะเห็นอนุกรมของจุดรอบๆ ระนาบ บางจุดอยู่เหนือระนาบ บางจุดอยู่ใต้ระนาบ โดยระยะแนวตั้งจาก  $Y_i$  คือ ระยะเวลาความคลาดเคลื่อน  $e_i$



รูปที่ 3.3 ระนาบถดถอยแบบพหุคูณที่มีตัวแปรตาม  $Y$  และตัวแปรอิสระ  $X_1$  และ  $X_2$  [75]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากต้องการ  $\min \sum_{i=1}^n e_i^2 = \min \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$  ดังนั้นจึงใช้อนุพันธ์ย่อยเทียบกับ  $a$ ,  $b_1$  และ  $b_2$  แล้วให้เท่ากับศูนย์ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial a} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right] = \frac{\partial}{\partial a} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 \right] = 0$$

$$-2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}) = 0$$

$$-2 \sum_{i=1}^n Y_i + 2na + 2b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + 2b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} = 0$$

$$na + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (3.37)$$

$$\frac{\partial}{\partial b_1} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right] = \frac{\partial}{\partial b_1} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 \right] = 0$$

$$-2 X_{1i} \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}) = 0$$

$$-2 \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i + 2a \sum_{i=1}^n X_{1i} + 2b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + 2b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} = 0$$

$$a \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} = \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i \quad (3.38)$$

$$\frac{\partial}{\partial b_2} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right] = \frac{\partial}{\partial b_2} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 \right] = 0$$

$$-2 X_{2i} \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}) = 0$$

$$-2 \sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i + 2a \sum_{i=1}^n X_{2i} + 2b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} + 2b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a \sum_{i=1}^n X_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 = \sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i \quad (3.39)$$

สมการที่ 3.37, 3.38 และ 3.39 ซึ่งเรียกว่า ชุดของสมการปกติ ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} na + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} &= \sum_{i=1}^n Y_i \\ a \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} &= \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i \\ a \sum_{i=1}^n X_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 &= \sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i \end{aligned} \right\} \quad (3.40)$$

ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า  $a$ ,  $b_1$  และ  $b_2$  โดยใช้เมทริกซ์ได้ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 \\ \sum X_2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

หรืออาจใช้สัญลักษณ์  $X' X \underline{b} = X' Y$  (3.42)

โดยที่

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} \\ 1 & X_{12} & X_{22} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} \end{bmatrix}, \underline{b} = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, \underline{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, X' Y = \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix}$$

$$\text{และ } \underline{b} = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = (X' X)^{-1} X' Y$$

$$\therefore \underline{b} = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 \\ \sum X_2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้  $X'X = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix}$

จะได้  $(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & K \end{bmatrix}$

โดยที่  $A = \frac{(ek - fh)}{Z}$        $B = -\frac{(bk - ch)}{Z}$        $C = \frac{(bf - ce)}{Z}$

$D = -\frac{(dk - fg)}{Z}$        $E = \frac{(ak - cg)}{Z}$        $F = -\frac{(af - cd)}{Z}$

$G = \frac{(dh - eg)}{Z}$        $H = -\frac{(ah - bg)}{Z}$        $K = \frac{(ae - bd)}{Z}$

และ  $Z$  เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์  $X'X$  โดย  $Z = a(ek - fh) - b(dk - fg) + c(dh - eg)$  ดังนั้น

$$\begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

### 3.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

เมื่อมีตัวแปรอิสระหลายตัวในสมการถดถอย ซึ่งจะสามารถทดสอบความมีนัยสำคัญทั้งหมดของความสัมพันธ์ของการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ หรือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม  $Y$  และเซตของตัวแปรอิสระ  $X_1, X_2, \dots, X_k$  โดยตั้งสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{มี } \beta_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า, } i = 1, 2, \dots, k$$

สถิติสำหรับการทดสอบคือ

$$F = \frac{MSR}{MSE} = \frac{(b'XY - n\bar{y}^2)/k}{(YY - b'XY)/(n - k - 1)} \quad (3.44)$$

ซึ่งจะปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  ถ้า  $F > F_{k, n-k-1; 1-\alpha}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบสมมติฐานอาจเป็นดังนี้

1. ขอมรับสมมติฐาน  $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$  ซึ่งสรุปได้ว่าไม่มีความสัมพันธ์กับ  $X$  ทั้ง  $k$  ตัว ( $X_1, X_2, \dots, X_k$ ) ในรูปเชิงเส้น
2. ปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  หรือขอมรับสมมติฐาน  $H_1$  ซึ่งสรุปได้ว่ามี  $X_i$  อย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับ  $Y$  ในรูปเชิงเส้น ซึ่งจะต้องทดสอบต่อไปว่า  $X_i$  ตัวใดมีความสัมพันธ์กับ  $Y$  โดยใช้สถิติทดสอบ  $t$  (t-Test) ในหัวข้อ 3.2.6

การทดสอบ F (F-Test) นั้นจำเป็นต้องสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ดังตารางที่ 3.3 ส่วนค่า  $SST$ ,  $SSR$  และ  $SSE$  จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.45 ถึง 3.47 ดังนี้

จากสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e$   
ค่าแปรปรวนของ  $Y$  = ค่าแปรปรวนที่เกิดจากอิทธิพลของ  $X_1, \dots, X_k$  + ค่าแปรปรวนอย่างสุ่ม

$$\text{หรือ } SST = SSR + SSE \text{ หรือ } SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2 = \underline{Y'Y} - n\bar{y}^2 \quad (3.45)$$

$$SSR = \underline{b'X'Y} - n\bar{y}^2 \quad (3.46)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n [Y_i - (a + b_1 X_{1i} + b_2 X_2)]^2 \quad (3.47)$$

$$\text{หรือ } SSE = SST - SSR = \underline{Y'Y} - \underline{b'X'Y}$$

โดยที่ SST (Sum Square of Total) คือ ค่าแปรปรวนทั้งหมดของ  $Y$   
SSR (Sum Square of Regression) คือ ค่าแปรปรวนของ  $Y$  เนื่องจากอิทธิพลของ  $X_1, X_2, \dots, X_k$   
SSE (Sum Square of Error) คือ ค่าแปรปรวนของ  $Y$  เนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ

ตารางที่ 3.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table)

Source of Variation (SV)	Degree of Freedom (DF)	Sums of Squares (SS)	Mean Square (MS)	F Statistic (F)
ความถดถอย	k	SSR	$MSR = \frac{SSR}{k}$	$F = \frac{MSR}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน	n-k-1	SSE	$MSE = \frac{SSE}{n-k-1}$	
ผลรวม	n-1	SST		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การประมาณค่าความคลาดเคลื่อน

การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการถดถอย หรือการประมาณค่าความแปรปรวนของการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประมาณค่า  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + e_i$  ด้วย  $\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i}$  เป็นค่าความคลาดเคลื่อน  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$

กรณีที่มีตัวแปรอิสระ  $k$  ตัว จะได้ค่าความแปรปรวนของการประมาณคือ  $S_e^2 = S_{Y,12\dots k}^2 = S^2$  โดยที่

$$S^2 = \frac{SSE}{n-k-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-k-1} \quad (3.48)$$

ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อน หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประมาณค่า คือ

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{SSE}{(n-k-1)}} = \sqrt{MSE} \quad (3.49)$$

กรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ  $(X_1, X_2)$  จะได้

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2-1} = MSE \quad (3.50)$$

### 3.2.4 การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย $b_i$

ในการประมาณค่า  $\beta_i$  ด้วยค่า  $b_i$  แบบช่วงนั้น จะต้องทราบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ  $b_i$ ;  $i = 1, 2, \dots, k$  โดยที่ค่าความแปรปรวนของ  $b_i$  คือ  $(b) = S^2(b) = (X'X)^{-1} S^2$

กรณีที่  $k = 2$  หรือมีตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ  $(X_1, X_2)$  จะได้

$$\underline{b} = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, \quad S_{\underline{b}}^2 = \begin{bmatrix} S_a^2 & S_{a,b_1} & S_{a,b_2} \\ S_{a,b_1} & S_{b_1}^2 & S_{b_1,b_2} \\ S_{a,b_2} & S_{b_1,b_2} & S_{b_2}^2 \end{bmatrix}$$

และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ  $b_i$  คือ

$$S_{b_i} = \sqrt{S_{b_i}^2} = \frac{S}{\sqrt{\sum x_i^2 (1 - r_{12}^2)}} \quad (3.51)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{b_2} = \sqrt{S_{b_2}^2} = \frac{S}{\sqrt{\sum x_2^2(1-r_{12}^2)}} \quad (3.52)$$

$$\text{และ} \quad r_{12} = \frac{\sum x_1 x_2}{\sqrt{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2)}} \quad (3.53)$$

โดยที่  $x_i = (X_i - \bar{X}_i)$

$r_{12}$  = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $X_1$  กับ  $X_2$

### 3.2.5 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การถดถอย

ถ้ามีตัวแปรอิสระ  $k$  ตัว ( $X_1, X_2, \dots, X_k$ ) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม  $Y$  และเมื่อได้ทดสอบ F จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) เพื่อทดสอบสมมติฐาน

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{มี } \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่าที่ } \neq 0, i = 1, 2, \dots, k$$

ผลการทดสอบสมมติฐานข้างต้น โดยใช้สถิติ F จะเป็น

- 1 ขอมรับสมมติฐาน  $H_0$  ถ้า  $F < F_{k, n-k-1}$  แสดงว่าตัวแปร  $Y$  ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระทั้ง  $k$  ตัว ( $X_1, X_2, \dots, X_k$ )
- 2 ปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  ถ้า  $F > F_{k, n-k-1}$  แสดงว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม  $Y$

กรณีที่เกิดข้อ 2. จะต้องทดสอบต่อไปว่ามี  $\beta_i$  ตัวใดบ้างที่ไม่เท่ากับศูนย์ หรือมี  $X$  ตัวใดบ้างที่สัมพันธ์กับตัวแปรตาม  $Y$  โดยตั้งสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0; i = 1, 2, \dots, k$$

สถิติสำหรับการทดสอบคือ

$$t = \frac{b_i}{S_{b_i}} \quad (3.54)$$

ซึ่งจะปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  ถ้า  $|t| > t_{1-\alpha/2; n-k-1}$

### 3.2.6 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (Coefficient of Multiple Determination)

เป็นสัดส่วน หรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระ  $X_1, X_2, \dots, X_k$  สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ  $Y$  ได้ หรือกล่าวได้ว่าเป็นสัดส่วน หรือเปอร์เซ็นต์ของความผันแปร  $Y$  ที่มีสาเหตุเนื่องมาจากความผันแปรของ  $X_1, X_2, \dots, X_k$  ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์  $R^2_{Y.123\dots k}$  แต่โดยทั่วไปจะใช้  $R^2$

$$r^2 = R^2 = \frac{\text{ความผันแปรของ } Y \text{ เนื่องจากอิทธิพลของ } X_1, X_2, \dots, X_k}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}}$$

$$= \frac{SSR}{SST}$$

หรือ 
$$r^2 = R^2 = \frac{(SST - SSE)}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (3.55)$$

โดยที่  $0 \leq R^2, r^2 \leq 1$

ถ้า  $R^2$  ที่เข้าใกล้ 1 จะหมายถึง  $X_1, X_2, \dots, X_k$  มีความสัมพันธ์กับ  $Y$  มาก แต่ถ้า  $R^2$  ที่เข้าใกล้ 0 จะหมายถึง  $X_1, X_2, \dots, X_k$  มีความสัมพันธ์กับ  $Y$  น้อย

เนื่องจาก SSR จะเพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มตัวแปรอิสระ ดังนั้นเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย จะทำให้ค่า  $R^2$  มากขึ้นทั้งที่ตัวแปร  $X$  ที่เพิ่มขึ้นนั้น อาจไม่มีความสัมพันธ์กับ  $Y$  เลยก็ได้ จึงต้องมีการปรับค่า  $R^2$  ให้ถูกต้องขึ้น เรียกว่า *Adjusted  $R^2$*  โดยที่  $R_a^2 = \text{Adjusted } R^2$

$$R_a^2 = 1 - \frac{SSE/(n-k-1)}{SST/(n-1)} \quad (3.56)$$

หรือ 
$$R_a^2 = 1 + \frac{(n-1)}{(n-k-1)}(R^2 - 1)$$

### 3.2.7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Coefficient of Multiple Correlation)

เป็นค่าที่วัดทิศทาง และระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม  $Y$  และตัวแปรอิสระทั้งหมดรวมกัน โดยมีค่าเท่ากับค่ารากที่สองของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ

$$R_{Y.12\dots k} = R = \sqrt{R^2_{Y.12\dots k}} \quad \text{โดยที่ } 0 \leq R \leq 1 \quad (3.57)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าค่า R เข้าใกล้ 0 แสดงว่า  $Y$  มีความสัมพันธ์กับ  $X_1, X_2, \dots, X_k$  น้อยมาก และถ้าค่า R เท่ากับ 0 แสดงว่า  $Y$  ไม่มีความสัมพันธ์กับ  $X_1, X_2, \dots, X_k$  เลย แต่ถ้าค่า R เท่ากับ 1 แสดงว่า  $Y$  มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระทั้ง  $k$  ตัวมาก ซึ่งจาก Correlation จะทำให้ทราบดังนี้

1. เครื่องหมายของ R จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

บวก : เมื่อตัวแปรหนึ่งเพิ่มขึ้นแล้ว อีกตัวแปรหนึ่งจะเพิ่มขึ้นด้วย

ลบ : เมื่อตัวแปรหนึ่งเพิ่มขึ้นแล้ว อีกตัวแปรหนึ่งจะลดลง

ใกล้ศูนย์ : ตัวแปรทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

2. ขนาดของ R จะบอกถึง Strength ของความสัมพันธ์ ซึ่งถ้าห่างจากศูนย์มากขึ้นแสดงว่า ยิ่งมีความสัมพันธ์มากขึ้น

### 3.2.8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน (Coefficient of Partial Correlation)

เป็นค่าวัดระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง  $Y$  และ  $X$  ตัวใดตัวหนึ่งโดยให้  $X$  ตัวอื่นๆ มีค่าคงที่ ถ้ามีตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ  $X_1$  และ  $X_2$  ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม  $Y$  ซึ่งสมการสำหรับคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคู่ใดคู่หนึ่งเป็นดังนี้

$$r_{12} = \frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)(X_2 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2 \sum (X_2 - \bar{X}_2)^2}} = \frac{\sum x_1 x_2}{\sqrt{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2)}}$$

โดยที่  $y = Y - \bar{Y}$ ,  $x_i = X_i - \bar{X}_i$ ;  $i = 1, 2$

$$r_{y1} = \frac{\sum (Y - \bar{Y})(X_1 - \bar{X}_1)}{\sqrt{\sum (Y - \bar{Y})^2 \sum (X_1 - \bar{X}_1)^2}} = \frac{\sum yx_1}{\sqrt{(\sum y^2)(\sum x_1^2)}}$$

$$r_{y2} = \frac{\sum (Y - \bar{Y})(X_2 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum (Y - \bar{Y})^2 \sum (X_2 - \bar{X}_2)^2}} = \frac{\sum yx_2}{\sqrt{(\sum y^2)(\sum x_2^2)}}$$

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนได้ดังนี้

$$r_{y1.2} = \frac{r_{y1} - r_{y2}r_{12}}{\sqrt{(1 - r_{y2}^2)(1 - r_{12}^2)}} \quad (3.58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r_{Y1.2} = \frac{r_{Y2} - r_{Y1}r_{12}}{\sqrt{(1-r_{Y1}^2)(1-r_{12}^2)}} \quad (3.59)$$

โดยที่  $r_{Y1.2}$  = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่าง  $Y$  กับ  $X_1$  เมื่อกำหนดให้  $X_2$  คงที่  
 $r_{Y2.1}$  = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่าง  $Y$  กับ  $X_2$  เมื่อกำหนดให้  $X_1$  คงที่

### 3.2.9 การตรวจสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอย

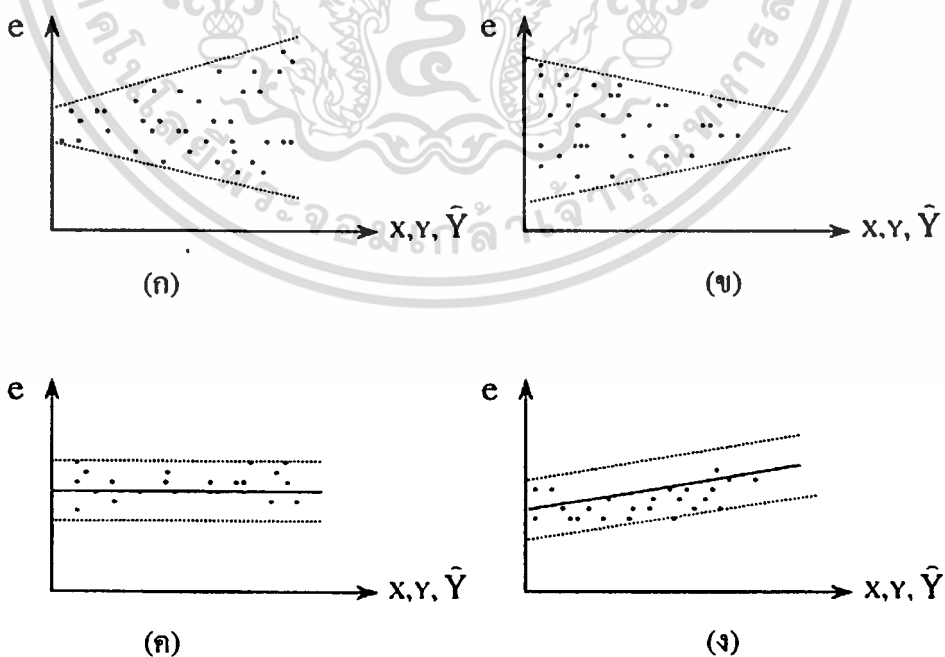
ก่อนที่จะพยากรณ์ค่า  $Y$  ด้วยสมการถดถอยโดยกำหนดค่า  $X$  นั้น ค่าความคลาดเคลื่อน ( $e$ ) จะต้องมีคุณสมบัติตามสมมติฐานทั้ง 4 ข้อ ดังนี้

#### 3.2.9.1 ค่า $X$ ต้องเป็นค่าที่กำหนดไว้ล่วงหน้า หรือทราบค่า

#### 3.2.9.2 ค่าความคลาดเคลื่อน $e$ มีค่าเฉลี่ย = 0 $E(e) = 0$ หรือ $V(e) = \sigma^2$

การตรวจสอบว่า  $E(e) = 0$  เนื่องจากใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณ  $\beta_0$  ด้วย  $a$  และ  $\beta_1$  ด้วย  $b$  ซึ่งจะทำให้  $\sum e_i = 0$  ดังนั้น  $E(e) = 0$

การตรวจสอบว่า  $V(e) = V(Y) = \sigma^2 =$  ค่าคงที่ จะพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $e$  กับ  $\hat{Y}$  ถ้า  $V(e)$  ไม่เท่ากับค่าคงที่ เรียกว่าเกิดปัญหา Heteroscedastic ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) แต่ถ้า  $V(e) =$  ค่าคงที่ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ดังรูปที่ 3.4 (ค) และ (ง) คือ ค่า  $e$  จะกระจายอยู่รอบๆ ศูนย์ หรือมีค่าในช่วงหนึ่งแคบๆ ไม่ว่า  $X$  หรือ  $Y$  เปลี่ยนไปอย่างไร



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $e$  กับ  $\hat{Y}$  [74]

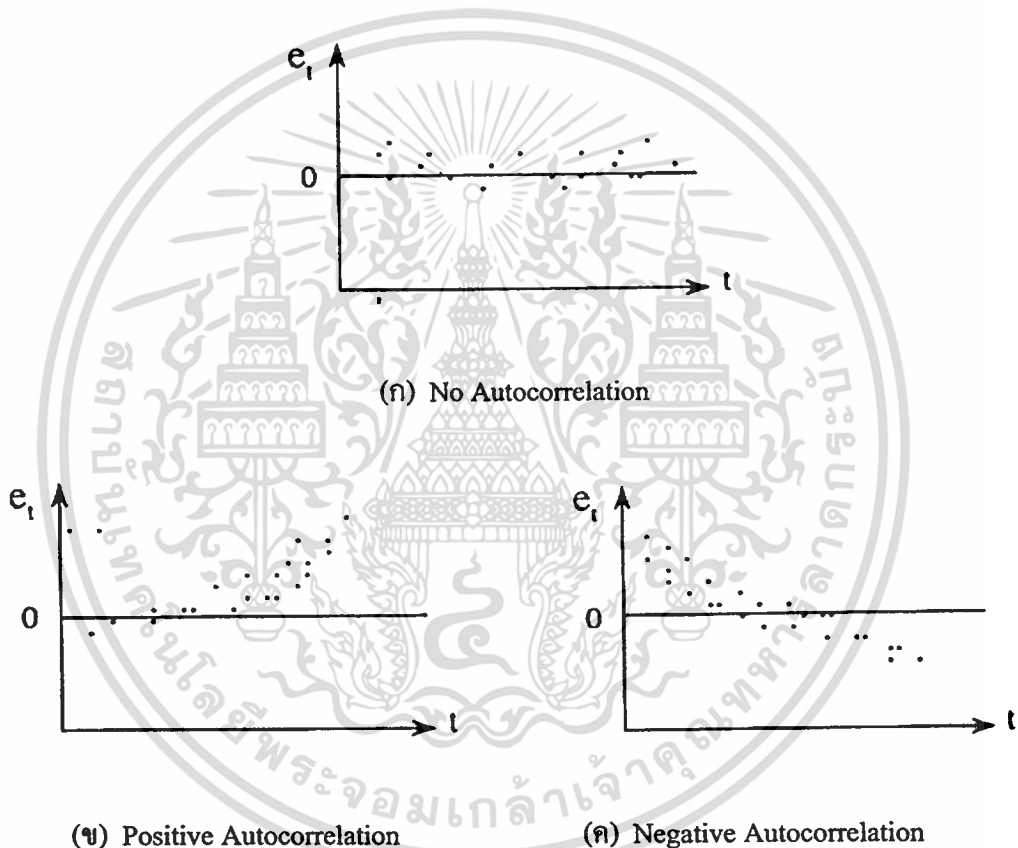
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 (ก) จะพบว่า  $\sigma_e^2$  จะมีค่าน้อยเมื่อ  $\hat{Y}$  มีค่าน้อย และเมื่อ  $\hat{Y}$  มีค่ามากจะทำให้  $\sigma_e^2$  มีค่ามากด้วย ขณะที่รูปที่ 3.4 (ค) และ 3.4 (ง) ค่า  $\sigma_e^2$  จะคงที่เมื่อ  $\hat{Y}$  เปลี่ยนไป ส่วนรูปที่ 3.4 (ข) ค่า  $\sigma_e^2$  จะมีค่าน้อยเมื่อ  $\hat{Y}$  มีค่ามาก

### 3.2.9.3 การตรวจสอบ $e_i$ และ $e_j$ เป็นอิสระกัน

การตรวจสอบความเป็นอิสระกันของ  $e_i$  และ  $e_j$  โดยที่  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$  และ  $e_j = Y_j - \hat{Y}_j$  ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

#### 1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $e_i$ กับ $t$



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $e_i$  กับ  $t$  [77]

ถ้า  $e_i$  และ  $e_j$  มีความสัมพันธ์จะเรียกว่า เกิด Autocorrelation ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ข) และรูปที่ 3.5 (ค) โดยรูปที่ 3.5 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $e_i$  และ  $e_{i+j}$  ในทิศทางบวก ที่เรียกว่า Positive Autocorrelation ส่วนรูปที่ 3.5 (ค) แสดงความสัมพันธ์ในทิศทางลบ เรียกว่า Negative Autocorrelation และในรูปที่ 3.5 (ก) แสดงความเป็นอิสระกันของ  $e_i$  และ  $e_{i+j}$  ถ้าเขียนกราฟระหว่าง  $e_i$  กับ  $t$  ได้ดังรูปที่ 3.5 (ก) แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

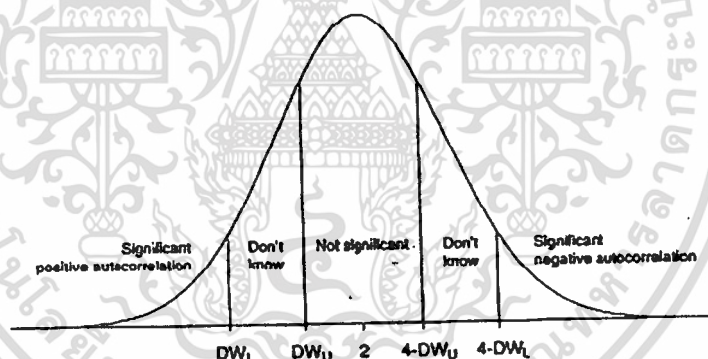
## 2. ใช้สถิติทดสอบ Durbin-Watson (DW)

เป็นการทดสอบความสัมพันธ์ของ  $e_t$  และ  $e_{t-1}$  โดยที่  $t$  เป็นช่วงเวลา สถิติสำหรับการทดสอบคือ

$$DW = \frac{\sum_1^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_1^n e_t^2} \quad (3.60)$$

โดยที่  $0 \leq DW \leq 4$  และมีคุณสมบัติดังนี้

- ถ้าค่า DW มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 - 2.5 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อน  $e_t$  เป็นอิสระต่อกัน
- ถ้าค่า  $DW < 1.5$  แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่ามีความสัมพันธ์กันในทางบวก และถ้ายิ่งเข้าใกล้ 0 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมาก
- ถ้าค่า  $DW > 2.5$  แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่ามีความสัมพันธ์กันในทางลบ และถ้ายิ่งเข้าใกล้ 4 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมาก



รูปที่ 3.6 การแจกแจงของ Durbin-Watson [73]

จากรูปที่ 3.6 ถ้าเป็นการทดสอบแบบ 2 ข้างจะใช้  $\frac{\alpha}{2}$  แต่ถ้าทดสอบแบบข้างเดียวจะใช้  $\alpha$  ซึ่งการแจกแจงของ Durbin-Watson จะเป็น 5 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 น้อยกว่า  $DW_L$

ช่วงที่ 2 อยู่ระหว่าง  $DW_L$  และ  $DW_U$

ช่วงที่ 3 อยู่ระหว่าง  $DW_U$  และ  $4 - DW_U$

ช่วงที่ 4 อยู่ระหว่าง  $4 - DW_U$  และ  $4 - DW_L$

ช่วงที่ 5 มากกว่า  $4 - DW_L$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

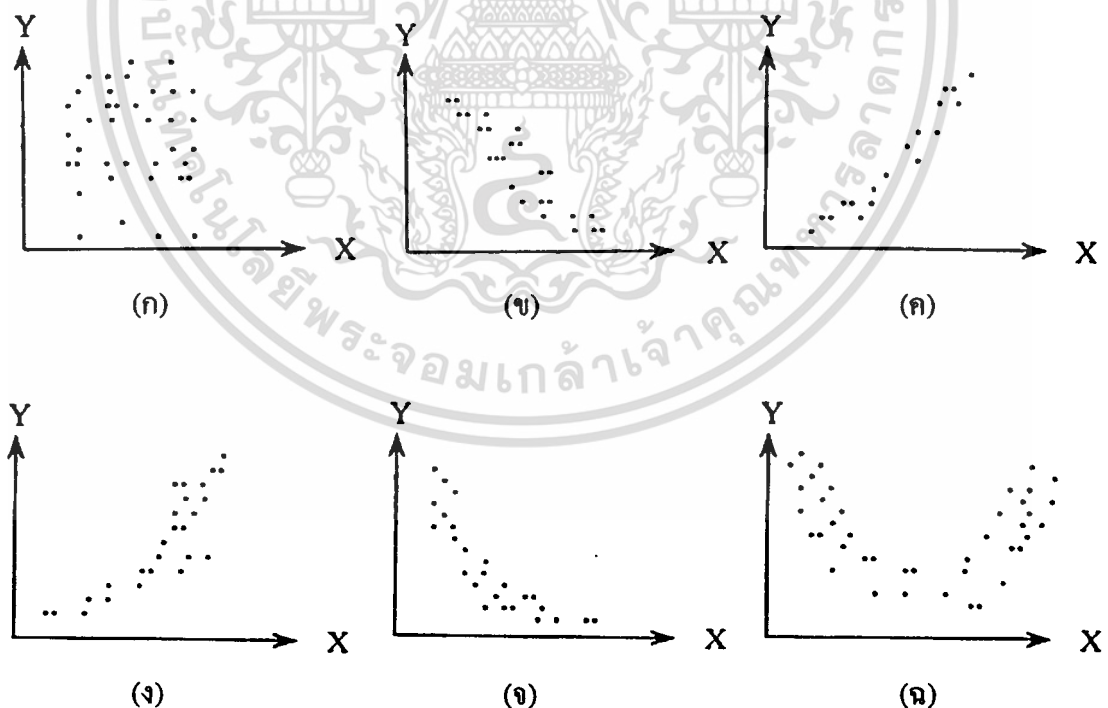
ถ้าสถิติทดสอบ DW อยู่ในช่วงที่ 1 หรือ 5 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กัน แต่ถ้า DW อยู่ในช่วงที่ 3 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีความสัมพันธ์กัน และถ้า DW อยู่ในช่วงที่ 2 หรือ 4 แสดงว่ายังไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันหรือไม่

#### 3.2.9.4 การตรวจสอบว่า $e_t$ มีการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบว่า  $e_t$  มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น สามารถตรวจสอบได้โดยใช้กราฟ เช่น Histogram และ Normal Probability Plot หรือใช้สถิติทดสอบ เช่น Kolmogorov-Smirnov และ Lilliefort's Test

#### 3.2.10 การตรวจสอบรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงปริมาณ 2 ตัว

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว นั้นอาจจะมีหลายรูปแบบ เช่น สัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้น เส้นโค้ง พาราโบลา เป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะคำนวณค่าสถิติเพื่อแสดงระดับความสัมพันธ์จึงควรมีการตรวจสอบลักษณะของความสัมพันธ์เสียก่อน วิธีการตรวจสอบที่ง่ายที่สุดก็คือ การ Plot กราฟ แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เมื่อได้กราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y แล้วก็จะทราบว่าความสัมพันธ์ที่ได้นั้นอยู่ในรูปแบบใด จากนั้นจึงเลือกเทคนิคการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับรูปแบบนั้นๆ



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y [77]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

รูปที่ 3.7 (ก) หมายถึง ตัวแปร  $X$  และ  $Y$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน

รูปที่ 3.7 (ข) หมายถึง ตัวแปร  $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นและเป็นลบ หรือมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงข้าม นั่นคือ ถ้า  $X$  เพิ่มขึ้น  $Y$  จะลดลง แต่ถ้า  $X$  ลดลง  $Y$  จะเพิ่มขึ้น

รูปที่ 3.7 (ค) หมายถึง ตัวแปร  $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นและเป็นบวก หรือมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ ถ้า  $X$  เพิ่ม  $Y$  จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้า  $X$  ลดลง  $Y$  จะลดลงด้วย

รูปที่ 3.7 (ง) หมายถึง ตัวแปร  $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์กันในรูป Exponential และเป็นบวก

รูปที่ 3.7 (จ) หมายถึง ตัวแปร  $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์กันในรูป Exponential และเป็นลบ

รูปที่ 3.7 (ฉ) หมายถึง ตัวแปร  $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์กันในรูปพาราโบลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# การวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า

การวางแผนทางด้านแหล่งผลิตเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการวางแผนขยายระบบไฟฟ้า การตกลงใจที่จะดำเนินการก่อสร้างแหล่งผลิตจะมีผลต่อการวางแผนระบบไฟฟ้าในขั้นต่อไปเป็นอันมาก และจะเป็นตัวกำหนดฐานะทางการเงินของการไฟฟ้า ดังนั้นการวางแผนทางด้านเพิ่มแหล่งผลิตที่ถูกต้อง จึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความสำเร็จในการบริหารกิจการไฟฟ้า

การวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าเป็นการหาคำตอบพื้นฐาน ดังนี้

- เมื่อไรที่จะต้องก่อสร้างโรงไฟฟ้าใหม่เพิ่มขึ้น
- จะต้องก่อสร้างโรงไฟฟ้าชนิดใด และขนาดเท่าไร
- ควรจะก่อสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มที่ไหน
- จะใช้เชื้อเพลิงอะไร และจากที่ไหน
- จะควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างไร

การตอบคำถามพื้นฐานข้างต้น ได้ก่อให้เกิดทางเลือกขึ้นอยู่หลายทางเลือก ซึ่งแต่ละทางเลือกจะต้องสามารถสนองต่อความต้องการไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ ภายใต้ข้อกำหนดทางด้านคุณภาพและความเชื่อถือได้ที่ต้องการ แต่ทั้งนี้แต่ละทางเลือกก็จะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดทางการเงินและนโยบายของรัฐบาลด้วย ซึ่งทางเลือกต่างๆ ก็คือ แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าที่ประกอบด้วยแผนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าชนิด และขนาดต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับเวลาที่เหมาะสมในระยะยาวพอสมควร และทางเลือกที่จะต้องดำเนินการก็คือทางเลือกที่เป็นแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าที่มีค่าใช้จ่ายถูกที่สุดเพื่อให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีราคาถูกที่สุดภายใต้ข้อกำหนด หรือขีดจำกัดต่างๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้น

### 4.1 ความต้องการแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติม [3-5]

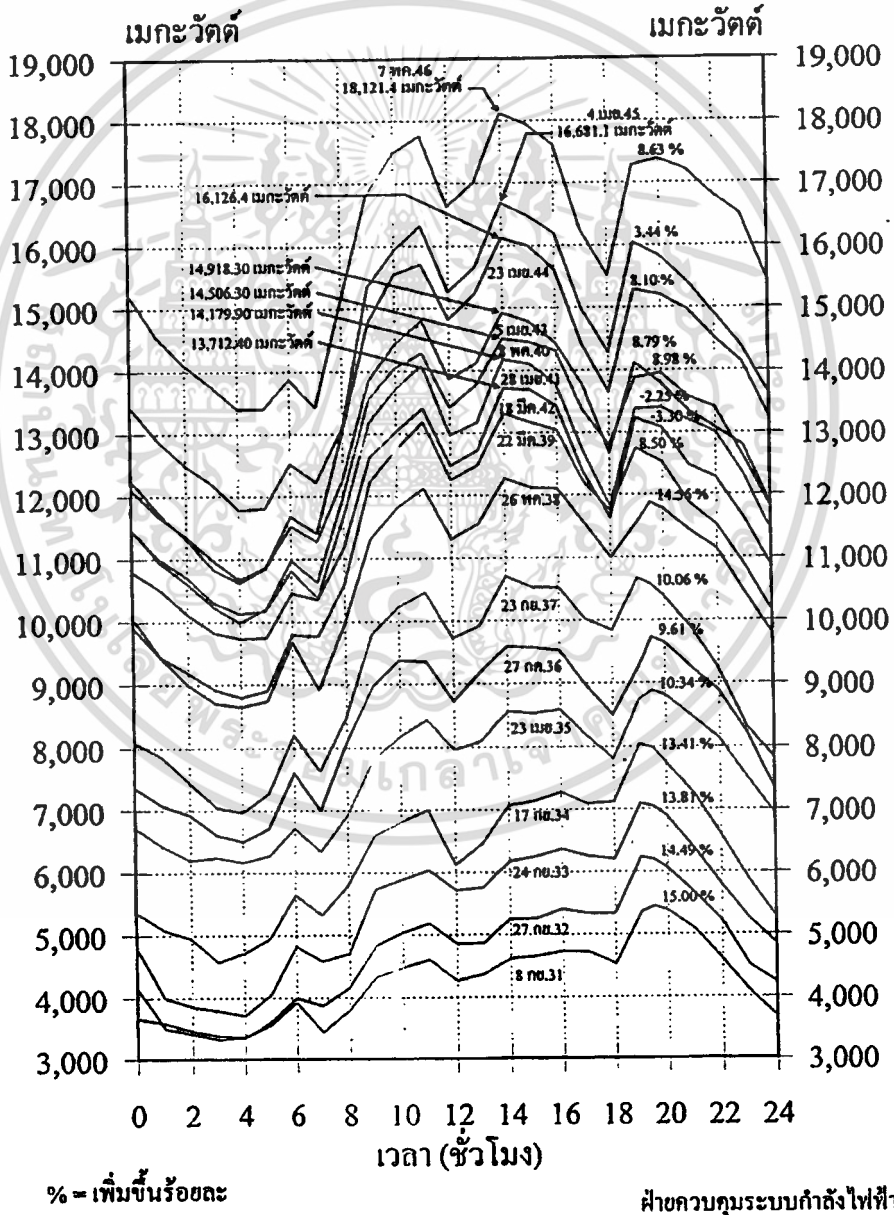
เมื่อความต้องการ ไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นตามที่ได้ประมาณการไว้และแหล่งผลิต ไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมไม่เพียงพอที่จะจ่ายไฟฟ้าให้มีระดับความมั่นคงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ก็จำเป็นต้องพิจารณาให้มีโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบให้ทันตามที่ต้องการ

การกำหนดเวลาการเพิ่มแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมให้เพียงพอกับประมาณการใช้ไฟฟ้านั้นสามารถพิจารณาได้จาก ลักษณะการใช้ไฟฟ้าและข้อกำหนดของการวางแผน ซึ่งได้แก่ คุณภาพและระดับความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าตามที่ต้องการ ดังนี้

### 4.1.1 ลักษณะการใช้ไฟฟ้า

การวิเคราะห์ลักษณะการใช้ไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดที่สำคัญในการกำหนดเวลา, การเลือกชนิดของโรงไฟฟ้าตลอดจนการวิเคราะห์ระดับความมั่นคงของระบบไฟฟ้า

การใช้ไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายที่ไม่เหมือนกัน และลักษณะพิเศษของการผลิตไฟฟ้า คือ ไม่สามารถผลิตแล้วเก็บสำรองไว้ใช้ในเวลาอื่นได้ ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าจะต้องเกิดขึ้นทันทีที่มีการใช้ไฟฟ้า และเปลี่ยนแปลงในแต่ละชั่วโมงตามการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งในปัจจุบันความต้องการไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดขึ้นอยู่ 3 ช่วงเวลา คือ เวลา 10.00-11.00 น. เวลา 14.00-15.00 น. และเวลา 19.00-20.00 น. ดังแสดงในรูปที่ 4.1

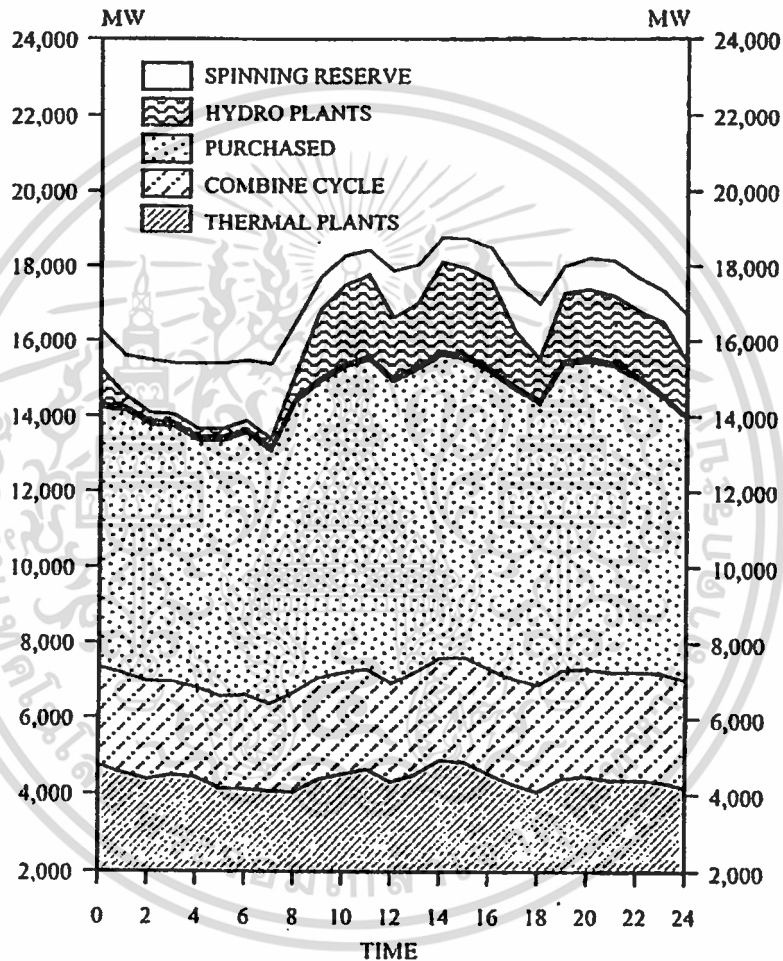


รูปที่ 4.1 ลักษณะของพลังไฟฟ้าในวันที่มีการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงปี พ.ศ. 2531-2546 [78]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

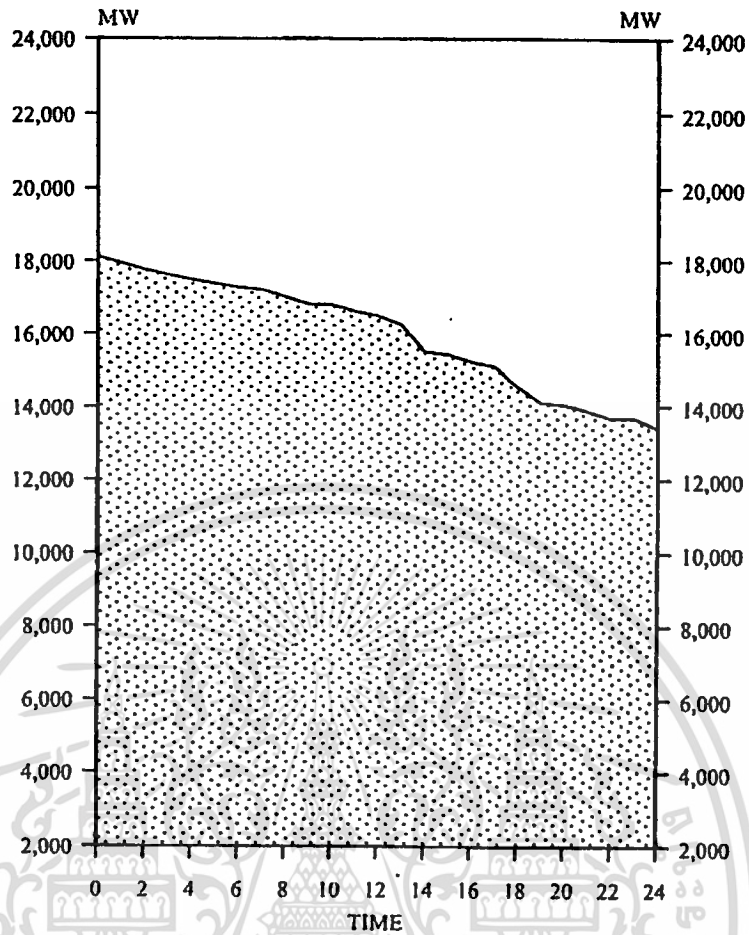
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการผลิต หรือการใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในแต่ละชั่วโมงนั้น เมื่อนำมาเขียนเป็นเส้นกราฟก็จะได้เส้นกราฟที่เรียกว่า Time Varying หรือ Chronological Load Curve ถ้าเป็นเส้นกราฟที่แสดงการผลิต หรือการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันจะเรียกว่า Daily Load Curve ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) โดยที่ลักษณะการผลิตหรือการใช้ไฟฟ้าของในแต่ละวันทำการ (Weekdays) หรือของแต่ละวันหยุด (Weekend days หรือ Holidays) จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน แต่ลักษณะการผลิตหรือการใช้ไฟฟ้าในวันหยุดจะแตกต่างจากลักษณะการผลิตหรือการใช้ไฟฟ้าในวันทำการ



(ก) Daily System Generation Curve on Peak Day ในวันที่ 7 พฤษภาคม 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) Daily Load Duration Curve on Peak Day ในวันที่ 7 พฤษภาคม 2546

#### รูปที่ 4.2 ลักษณะการผลิต/การใช้ไฟฟ้าแสดงด้วย Load Curve [78]

ในการวางแผนระยะยาวนั้นมักใช้หน่วยเวลาเป็นปี ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์ลักษณะการผลิตหรือการใช้ไฟฟ้าตลอดระยะเวลาในรอบปี ซึ่งหมายความว่าต้องเขียน Daily Load Curve นี้ติดต่อกันถึง 365 รูป ซึ่งไม่สะดวกในทางปฏิบัติ จึงต้องคิดแปลง Chronological Load Curve นี้ให้เป็น Load Duration Curve (LDC) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข) ซึ่งได้มาจาก

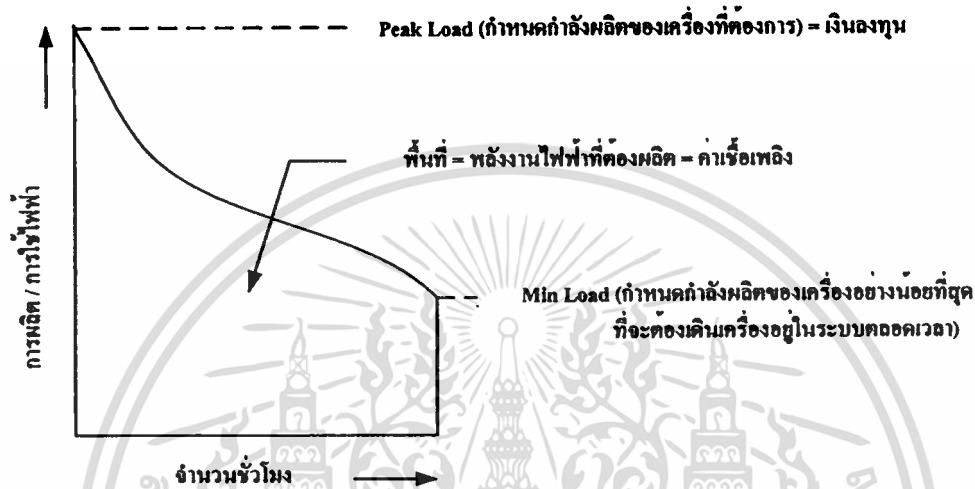
- การจัดลำดับปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Load) จากปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดลงมาถึงการใช้ไฟฟ้าต่ำสุด ซึ่ง Load ที่กำหนดแต่ละจุดจะ Plot ในแนวแกนตั้ง
- ที่ Load แต่ละจุด นับจำนวนชั่วโมงทั้งหมดที่มีการใช้ไฟฟ้าเท่ากับหรือมากกว่า Load ที่จุดนั้น Plot จำนวนชั่วโมงนี้ในแนวแกนนอน

โดยที่จำนวนชั่วโมงทั้งหมดในแนวนอนจะแสดงช่วงเวลาทั้งหมดในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งถ้าหากจำนวนชั่วโมงทั้งหมดในการผลิตไฟฟ้า เท่ากับ 24 ชั่วโมง เรียกว่า Daily Load Duration Curve,

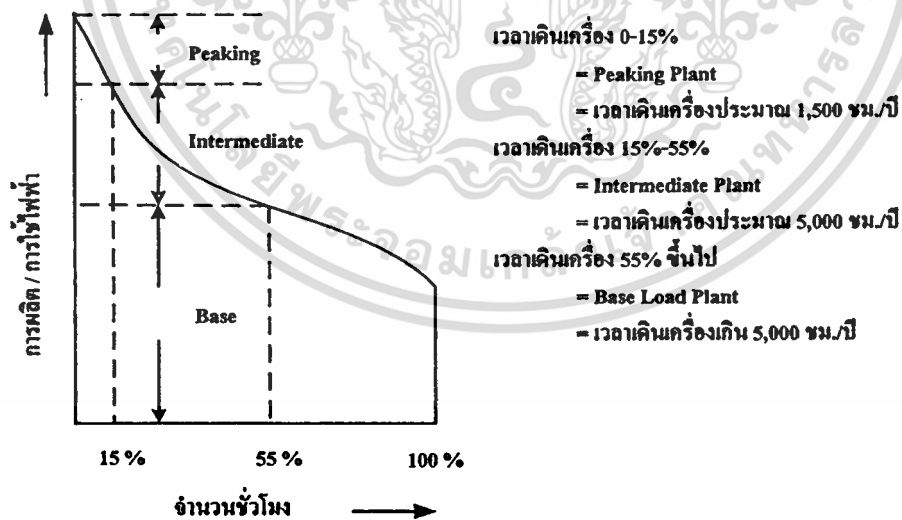
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 168 ชั่วโมง เรียกว่า Weekly Load Duration Curve, เท่ากับ 720 ชั่วโมง เรียกว่า Monthly Load Duration Curve และเท่ากับ 8,760 ชั่วโมง เรียกว่า Annual Load Duration Curve

การวางแผนระยะยาวส่วนมากจะใช้ Annual Load Duration Curve ซึ่งประโยชน์ของ LDC ที่ใช้ในการวางแผนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 โดยเฉพาะการเลือกใช้โรงไฟฟ้าที่มีอยู่หลายชนิดให้ถูกต้องเหมาะสม ซึ่งจะสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าได้



(ก) กำหนดค่าใช้จ่ายในการลงทุน



(ข) กำหนดความต้องการประเภทของโรงไฟฟ้า

รูปที่ 4.3 ประโยชน์ของ Load Duration Curve ในการวางแผน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ข้อกำหนดของการวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า

กำลังผลิตไฟฟ้าถ้ามีสมมูลพอดีกับความต้องการใช้ไฟฟ้าก็จะทำให้รักษาคุณภาพของระบบไฟฟ้าในเรื่องของความถี่ไฟฟ้าให้คงที่ไว้ได้ ส่วนทางด้านความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบไฟฟ้านั้นในระบบผลิตไฟฟ้าจะต้องมีกำลังผลิตมากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าอยู่จำนวนหนึ่ง เรียกว่า กำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง (Reserve Capacity) ถ้ากำลังผลิตสำรองมีมากระดับความมั่นคงเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าก็จะสูง ในทางตรงกันข้ามถ้ากำลังผลิตสำรองมีน้อยระดับความมั่นคงเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าก็จะต่ำ

ข้อกำหนดของการวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าคือ ข้อกำหนดปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองในระบบไฟฟ้า ถ้าพิจารณาความต้องการกำลังผลิตสำรองจาก Load Duration Curve ในรูปที่ 4.4 (ก) จะเห็นได้ว่ากำลังผลิตไฟฟ้าสำรองอย่างน้อยที่สุดต้องประกอบด้วยกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่ในระบบพร้อมที่จะเพิ่มการผลิตไฟฟ้าขึ้นมาได้ทันทีที่โรงไฟฟ้าที่จ่ายอยู่ในระบบเครื่องใดเครื่องหนึ่งหรือมากกว่า 1 เครื่อง เกิดเหตุขัดข้องต้องหยุดเครื่องโดยฉุกเฉิน (Force Outage) กำลังผลิตนี้เรียกว่า Spinning Reserve บวกด้วยกำลังผลิตสำรองที่ต้องเผื่อไว้เพื่อการหยุดสำหรับตรวจซ่อมหรือบำรุงรักษาประจำปีอีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งกำลังผลิตนี้จะเรียกว่า Maintenance Reserve

กำลังผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของระบบนี้เมื่อหักออกด้วยกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองก็คือ กำลังผลิตไฟฟ้ามั่นคง (Firm Capacity) ซึ่งต้องเท่ากับหรือมากกว่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด

$$\text{กำลังผลิตไฟฟ้ามั่นคง} = \text{กำลังผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ} - \text{กำลังผลิตสำรองทั้งหมด} \quad (4.1)$$

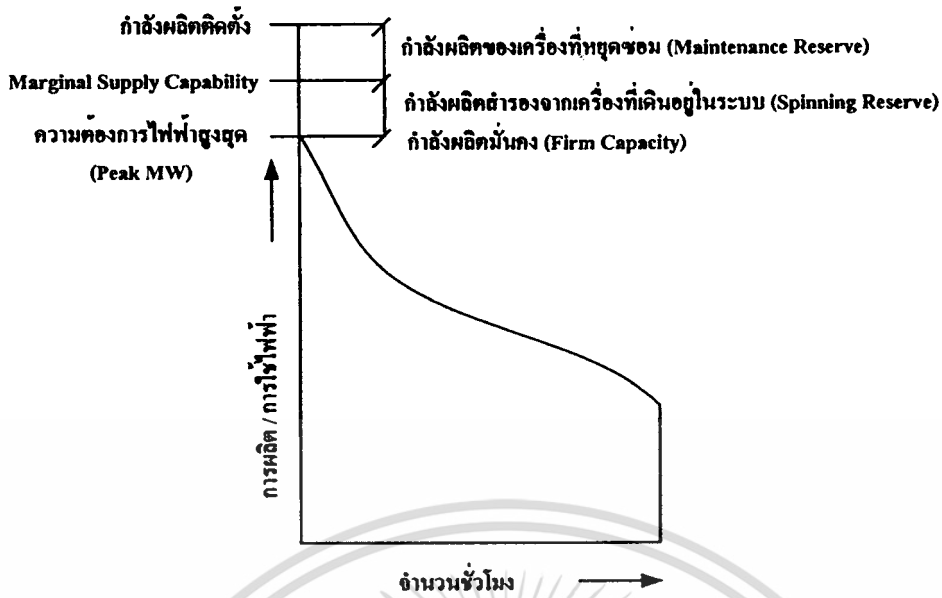
ในการวางแผนระยะยาวกำลังผลิตไฟฟ้ามั่นคงต้องเท่ากับหรือมากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้า + กำลังผลิตสำรองทั้งหมด และในการวางแผนปฏิบัติการกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ในระบบทั้งหมด (เรียกว่า Marginal Supply Capability หรือ Available Capacity) ต้องเท่ากับหรือมากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้า + Spinning Reserve

ในกรณีของระบบ กฟผ. ปัจจุบัน ค่า Spinning Reserve ทางด้านปฏิบัติการจะกำหนดดังนี้

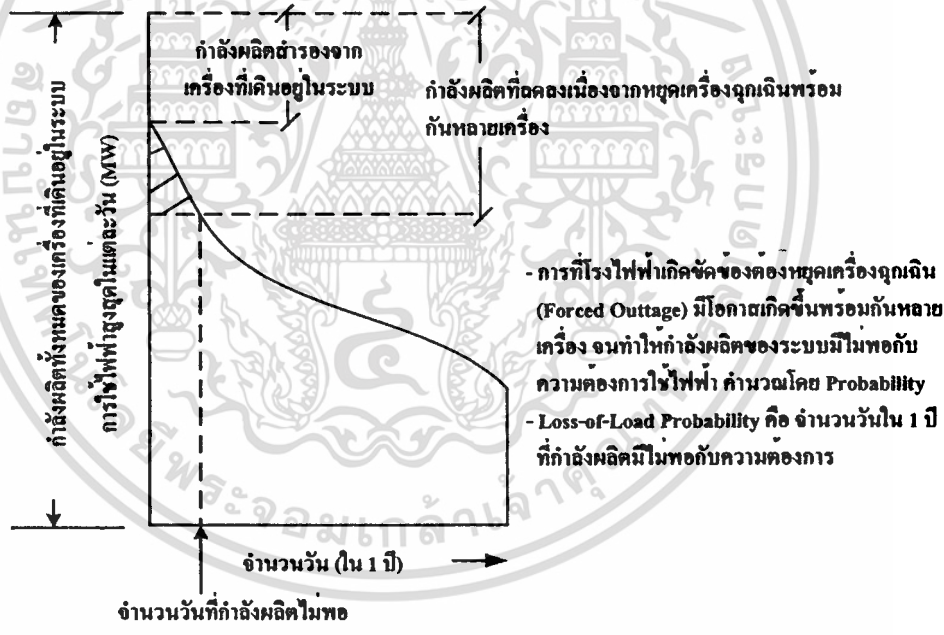
$$\begin{aligned} \text{Spinning Reserve} = & \text{กำลังผลิตส่วนที่เหลือจากโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ในระบบทั้งระบบ} \\ & \text{ต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่ากำลังผลิตของโรงไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดที่กำลัง} \\ & \text{เดินเครื่องอยู่ในระบบขณะนั้น} \end{aligned} \quad (4.2)$$

ปัจจุบันโรงไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดที่เดินเครื่องอยู่ในระบบคือขนาด 700 MW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความต้องการกำลังผลิตสำรอง เมื่อพิจารณาจาก LDC



(ข) กำลังผลิตของโรงไฟฟ้ามีโอกาสที่จะไม่พอกับการใช้ไฟฟ้า

รูปที่ 4.4 Load Duration Curve ในการพิจารณาความมั่นคงของระบบผลิตไฟฟ้า

ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีการกำหนดกำลังผลิตสำรองของระบบผลิตไฟฟ้าโดยสังเขปต่อไปนั้น  
ใคร่ขอทำความเข้าใจในเรื่องของกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามที่ได้ปรากฏอยู่บน Name Plate ของเครื่องนั้น เรียกว่า กำลังผลิตติดตั้ง (Installed Capacity) แต่กำลังผลิตที่ผลิตได้จริงในทางปฏิบัติ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า บางเครื่องอาจจะผลิตได้ไม่เต็มกำลังผลิตติดตั้งก็ได้ เพราะในทางปฏิบัติจริงนั้นต้องคำนึงถึงสถานะต่างๆ เช่น สภาพของเครื่องตามอายุการใช้งาน, อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม, ปริมาณน้ำที่จะมีมาใช้ในการผลิต และในกรณีของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำบางเดือนอาจมีระดับต่ำจนทำให้โรงไฟฟ้าไม่สามารถผลิตได้เต็มกำลังของเครื่อง กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงนั้น เรียกว่า กำลังผลิตพึงได้ (Dependable Capacity) หรือสมรรถนะจริง (Actual Capability) ของโรงไฟฟ้าซึ่ง อาจจะมีค่าน้อยกว่ากำลังผลิตติดตั้งมาก

การวางแผนระยะยาวนั้นต้องคำนึงถึงสถานะปฏิบัติงานจริงด้วย ดังนั้นกำลังผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในการวางแผน (กำหนดกำลังผลิตสำรอง) จึงต้องใช้ Dependable Capacity เป็นข้อมูลพื้นฐาน

Dependable Capacity ของโรงไฟฟ้าที่ติดตั้งใช้งานอยู่แล้วในระบบจะกำหนดได้จากสถิติ หรือสภาพของการใช้งานของเครื่องในปีที่ผ่านมา แต่สำหรับโรงไฟฟ้าที่จะก่อสร้างใหม่ในอนาคตซึ่งยังไม่มีสถิติการใช้งานจริงก็จะต้องตั้งข้อสมมุติขึ้นมา โดยอาศัยสถิติ หรือประสบการณ์จากที่อื่นมา ประเมินการพิจารณา แต่เพื่อความสะดวกในการวางแผนพัฒนากำลังผลิต ไฟฟ้าระยะยาวสามารถตั้งข้อสมมุติในการกำหนด Dependable Capacity ได้ดังนี้

- โรงไฟฟ้าพลังความร้อน Dependable Capacity เท่ากับ 95% ของกำลังผลิตติดตั้ง
- โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม Dependable Capacity เท่ากับ 95% ของกำลังผลิตติดตั้ง
- โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส Dependable Capacity เท่ากับ 80% ของกำลังผลิตติดตั้ง
- โรงไฟฟ้าพลังน้ำ Dependable Capacity เท่ากับ 90% ของกำลังผลิตติดตั้ง ซึ่งกำหนดจากการศึกษาด้าน Reservoir Operation โดยใช้ข้อมูลด้านอุทกวิทยาในระยะยาวมาคำนวณหา ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและเลือกระดับน้ำในปีที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากกว่า 90% ของระดับน้ำทั้งหมดมาคำนวณหาความสามารถในการผลิตไฟฟ้า หรือกำลังผลิตไฟฟ้าที่ระดับน้ำที่เลือกมานั้น

การกำหนดกำลังผลิตสำรองของระบบไฟฟ้าจะมีวิธีการต่างๆ ดังนี้

#### 4.1.2.1 วิธี Deterministic Criteria

1 กำหนดด้วยกำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่องใหญ่ที่สุดของระบบ เช่น กำหนดให้กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองของระบบอย่างน้อยเท่ากับเครื่องที่ใหญ่ที่สุด 1 เครื่องหยุดเพื่อบำรุงรักษาบวกกับกำลังผลิต Spinning Reserve ที่เดินอยู่ในระบบอีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งอาจจะเท่ากับอีก 1 เครื่องใหญ่ที่เดินอยู่เกิดหยุดอย่างฉุกเฉินเนื่องจากเครื่องเสีย (Forced Outage) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{กำลังผลิตสำรองของระบบ} &= (\text{กำลังผลิตของเครื่องที่ใหญ่ที่สุด 1 เครื่องที่ติดตั้งอยู่ในระบบ} \\ &+ \text{Spinning Reserve}) \end{aligned} \quad (4.3)$$

วิธีนี้มีข้อดีคือเข้าใจง่าย แต่เหมาะสำหรับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กถึงขนาดกลางที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่อยู่ในระบบไม่มาก ซึ่งกำลังผลิตของเครื่องที่ใหญ่ที่สุดอาจเท่ากับ 15%-20% ของกำลังผลิตทั้งหมด แต่ถ้าเป็นระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่กำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่องที่ใหญ่ที่สุดของระบบอาจจะเพียงประมาณ 5% ดังนั้นจึงอาจมีโรงไฟฟ้าขนาดใกล้เคียงกันอยู่หลายเครื่องที่มีโอกาสที่จะต้องหยุดเดินเครื่องเพื่อบำรุงรักษาพร้อมกันมากกว่า 1 เครื่องหรือมีโอกาสที่เครื่องที่เดินอยู่ในระบบเกิดขัดข้องจนต้องหยุดฉุกเฉินพร้อมกันหลายเครื่อง ด้วยเหตุนี้ระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่จึงมักใช้วิธีตามข้อ 2

2 กำหนดด้วยกำลังผลิตสำรองเป็นร้อยละของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด เช่น กำหนดเป็น 15% หรือ 25% ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำลังผลิตสำรอง (\%)} \\ = \left( \frac{\text{กำลังผลิตที่ติดตั้งทั้งหมดของระบบ} - \text{ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด}}{\text{ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด}} \right) \times 100 \end{aligned} \quad (4.4)$$

วิธีนี้ก็เข้าใจได้ง่าย แต่ถ้าเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กและใช้วิธีกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองตามวิธีในข้อ 1 แล้วคำนวณหา Reserve Margin ก็จะได้ค่า Reserve Margin ค่อนข้างสูง

#### 4.1.2.2 วิธี Probabilistic Criteria

การกำหนดกำลังผลิตสำรองตามข้อ 4.2.1.2.1 เป็นวิธีที่ใช้กันมากเพราะเข้าใจได้ง่าย แต่วิธีดังกล่าวไม่สามารถทราบได้เลยว่าระบบไฟฟ้ามีความเสี่ยงที่จะเกิดไฟฟ้าดับมากน้อยเพียงไร เช่น ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์หรือเครื่องจักร ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาความมั่นคงเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำมาพิจารณาร่วมได้ จากรูปที่ 4.4 (ข) จะเห็นได้ว่ายังมีโอกาสเกิดไฟฟ้าดับได้ เพราะกำลังผลิตไฟฟ้าอาจขาดหายไปจากการเกิดขัดข้องของโรงไฟฟ้าหลายเครื่องพร้อมกันได้

ในการคำนวณระดับความเชื่อถือได้โดยวิธี Probability นั้น นอกจากจะใช้ขนาดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วยังต้องการข้อมูลสถิติด้าน Reliability ของเครื่องอีกด้วย โดยจะเป็นข้อมูล Force Outage Rate (FOR) ดังนั้นในการกำหนดกำลังผลิตสำรองตามข้อ 4.2.1.2.1 นั้นระบบไฟฟ้าอาจมีความเชื่อถือได้ไม่เพียงพอหรืออาจดีขึ้น ซึ่งหมายถึงมีการลงทุนมากเกินไป จึงใช้วิธีที่

เรียกว่า Probabilistic Criteria มาคำนวณระดับความมั่นคงเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า เป็นรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการคำนวณ Probabilistic เพื่อคาดการณ์เหตุการณ์ที่โรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ในระบบอาจเกิดขัดข้องต้องหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินจนทำให้กำลังผลิตไฟฟ้าไม่พอ ซึ่งการคำนวณ Indices ที่นิยมใช้กันมาก มีดังนี้

### 1 การคาดคะเนโอกาสที่กำลังผลิตไฟฟ้าจะมีไม่พอกับความต้องการใช้ไฟฟ้า

- ถ้าการคำนวณ Probability ที่กำลังผลิตไฟฟ้าจะมีไม่พอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยใช้ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเพียง 1 ค่าในแต่ละวัน เช่น ในรอบ 1 ปี จะมี Daily Peak Load อยู่ 365 ค่า (อาจใช้เพียง 260 ค่าจาก Peak Load ของ 260 วันในรอบปีก็ได้ เพราะ Peak Load ในวันเสาร์-อาทิตย์ อาจไม่จำเป็นต้องนำมาคำนวณด้วย) ผลการคำนวณจะแสดงความเสี่ยงที่จะเกิดไฟฟ้าดับในรอบเวลาที่กำหนด เรียกผลการคำนวณนี้ว่า Loss of Load Probability (LOLP) มีหน่วยเป็นจำนวนวันใน 1 ปี ดังนั้น LOLP จะหมายถึงจำนวนโอกาสที่เกิดเหตุการณ์ที่กำลังผลิตไฟฟ้าจะมีไม่พอกับความต้องการ มีหน่วยเป็นจำนวนวันใน 1 ปี

- ถ้าหากนำค่าความต้องการไฟฟ้ายาวชั่วโมงมาคำนวณ Probability ที่กำลังผลิตไฟฟ้าจะมีไม่พอกับความต้องการไฟฟ้า เช่น ในรอบ 1 ปี โดยใช้ค่า Load ยาวชั่วโมงซึ่งมี Load อยู่ 8,760 ค่า ดังนั้นผลการคำนวณก็จะหมายถึง ช่วงเวลาที่จะเกิดไฟฟ้าดับเพราะกำลังผลิตไฟฟ้ามีไม่พอกับความต้องการในรอบเวลาที่กำหนด เรียกผลการคำนวณนี้ว่า Loss of Load Expectation (LOLE) มีหน่วยเป็นชั่วโมงใน 1 ปี ดังนั้นค่า LOLE นี้จะเป็นการคาดคะเนช่วงเวลาที่กำลังผลิตไฟฟ้าจะมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ มีหน่วยเป็นชั่วโมงใน 1 ปี

วิธีการคำนวณ Index ของทั้ง 2 รูปแบบข้างต้นนี้เหมือนกัน แต่ผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ Load สูงสุดในแต่ละวันจะได้ค่า Probability ที่สูงกว่าการคำนวณโดยใช้ Load ยาวชั่วโมง

2 การคาดคะเนกำลังผลิตไฟฟ้าที่มีไม่พอจ่าย คือ จำนวน MW ที่ขาดหายไปขณะที่กำลังผลิตไฟฟ้ามีไม่พอกับความต้องการ ส่วนใหญ่มักคำนวณโดยใช้ Load ยาวชั่วโมง

3 การคาดคะเนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไม่มีจ่ายให้กับความต้องการไฟฟ้า กำหนดเป็น MWh หรือ GWh ในรอบ 1 ปี คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ขาดหายไป เนื่องจากกำลังผลิตไฟฟ้าไม่พอกับความต้องการ

4 วิธีประเมินความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าจากการที่พลังงานไฟฟ้าไม่มีจ่าย กำหนดโดย Economic Criteria คือ ใช้วิธีการคำนวณทาง Probability หาปริมาณ Energy Not Serve ก่อนที่จะใช้ Cost of Outage มาคูณ เพื่อหา Total Cost เป็นจำนวนเงินออกมา

วิธี Probability Criteria นี้เป็นวิธีที่เข้าใจค่อนข้างยาก และต้องใช้วิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยาก ดังนั้นจึงต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณซึ่ง โปรแกรมที่ กฟผ. ใช้ในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ นั้นสามารถคำนวณวิธีการทาง Probability ได้ทั้ง 4 รูปแบบที่กล่าวมาข้างต้น

อย่างไรก็ตามค่า LOLP กับปริมาณกำลังผลิตสำรองมีความสัมพันธ์กันโดยตรง คือ ถ้ากำลังผลิตสำรองมีมาก ค่า LOLP ก็จะต่ำ (ระบบไฟฟ้าดี) ถ้ากำลังผลิตสำรองมีน้อย ค่า LOLP ก็จะสูง (ระบบไฟฟ้าไม่ดี) ดังนั้นในการวางแผนเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า ขั้นแรกอาจกำหนดเวลาที่ต้องการแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมจากการกำหนดกำลังผลิตสำรองโดยวิธี Loss of Largest Unit หรือ วิธี Percent Reserve Capacity ก่อน ขั้นต่อไปก็จะคำนวณ LOLP เพื่อตรวจสอบระดับความมั่นคงของระบบไฟฟ้า หากไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดก็ต้องมีแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมขึ้นอีก

ในการวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าระยะยาวของ กฟผ. ปัจจุบันใช้ Criteria แบบผสม คือ กำลังผลิตสำรองต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 15 ของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ต้องไม่น้อยกว่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้ของเครื่องที่ใหญ่ที่สุดของระบบ 1 เครื่อง บวกด้วยกำลังผลิตที่ไ้จริงของเครื่องที่ใหญ่ที่สองของระบบอีก 1 เครื่อง แล้วตรวจสอบระดับความมั่นคงเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยการคำนวณค่า Loss of Load Probability (LOLP) ซึ่งจะต้องไม่เกิน 1 วันต่อปี

ภายใต้ข้อกำหนดข้างต้นนี้อาจให้จำกัดความของกำลังผลิตไฟฟ้ามั่นคงในระบบผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำลังผลิตไฟฟ้ามั่นคงของระบบ} &= [\text{กำลังผลิตที่ไ้ทั้งหมดของระบบ} - (\text{กำลังผลิตที่ไ้ของ} \\ &\text{(Firm Capacity)} \quad \text{เครื่องใหญ่ที่สุดของระบบ 1 เครื่อง} + \text{กำลังผลิตที่ไ้ของ} \\ &\quad \text{เครื่องใหญ่ที่สองของระบบอีก 1 เครื่อง})] \end{aligned} \quad (4.5)$$

ในอนาคตเมื่อระบบไฟฟ้าของ กฟผ. ใหญ่ขึ้น ข้อกำหนดของการหา กำลังผลิตไฟฟ้ามั่นคงอาจต้องเปลี่ยนแปลงให้สอดคล้องกับขนาดของระบบ คือ จำนวนโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดที่จะหักออกไปจากกำลังผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของระบบควรจะมากกว่า 2 เครื่องตามที่กำหนดไว้ในปัจจุบัน โดยในตารางที่ 4.1 จะแสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการกำหนดกำลังผลิตสำรองด้วยวิธีการทั้งสาม ดังนี้

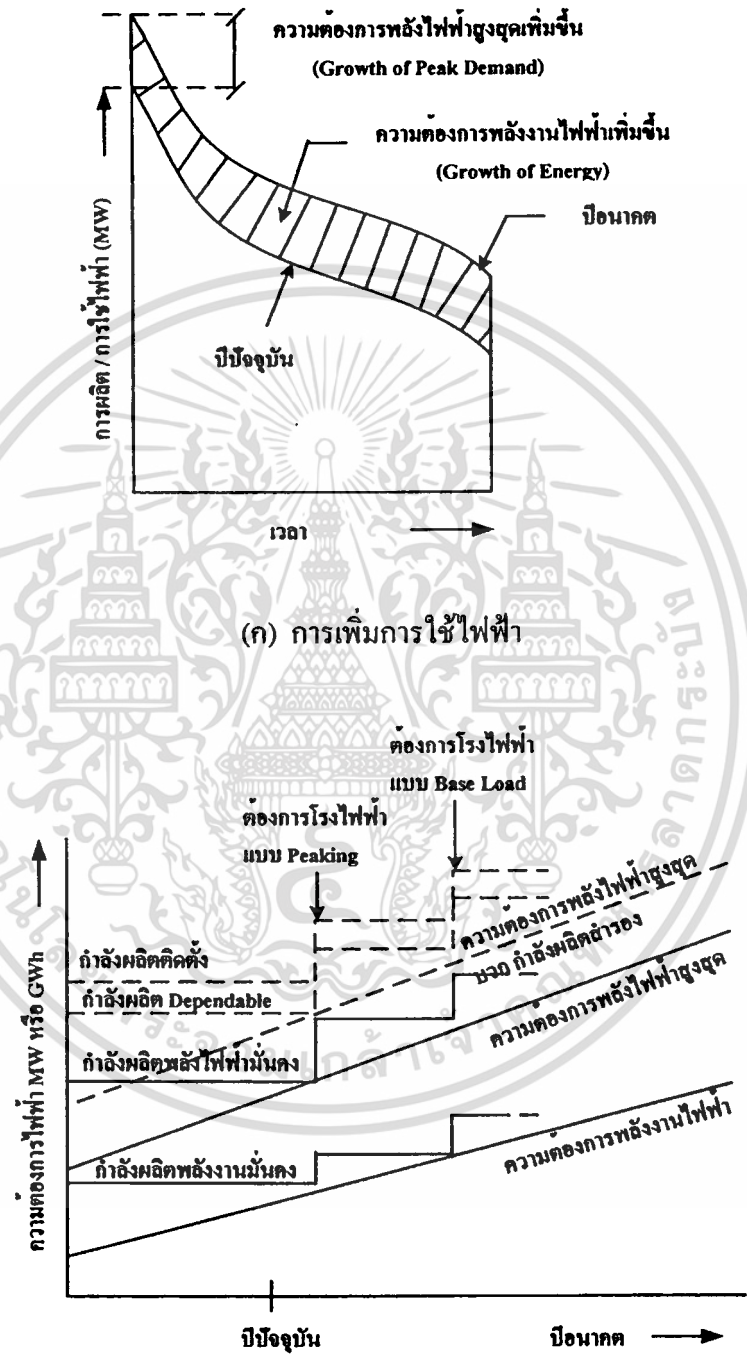
ตารางที่ 4.1 ข้อดีและข้อเสียในการกำหนดกำลังผลิตสำรองด้วยวิธีทั้งสาม

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
1 กำหนดด้วยกำลังผลิตของเครื่องใหญ่ที่สุด	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เหมาะสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กถึงปานกลาง โดยเครื่องใหญ่ที่สุดจะมีกำลังผลิต 15-20% ของกำลังผลิตทั้งหมด</li> <li>- เข้าใจง่าย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องลงทุนกำลังผลิตสำรองมาก</li> <li>- ถ้าระบบใหญ่ขึ้นและขนาดของเครื่องใหญ่ที่สุดของระบบมีหลายเครื่องก็จะมีโอกาสเกิดไฟฟ้าดับได้ ถ้าเครื่องที่ใหญ่ที่สุดของระบบเสียพร้อมกันหลายเครื่อง</li> <li>- ไม่รู้ระดับความมั่นคงเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า</li> </ul>
2 กำหนดเป็นร้อยละของความต้องการไฟฟ้า	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เหมาะสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่และมีเครื่องใหญ่ใกล้เคียงกันหลายเครื่อง</li> <li>- เข้าใจง่าย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะสำหรับระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก</li> <li>- ไม่รู้ระดับความมั่นคงเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า</li> </ul>
3 กำหนดด้วยการคำนวณระดับความมั่นคง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เหมาะสำหรับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีโรงไฟฟ้าขนาดใกล้เคียงกันอยู่ในระบบเป็นจำนวนมากทำให้ต้องหยุดซ่อมเครื่องพร้อมกันหลายเครื่องหรือมีโอกาสเกิดเครื่องเสียโดยกะทันหันพร้อมกันหลายเครื่อง</li> <li>- ระดับความมั่นคงเป็นเครื่องชี้มาตรฐานของระบบไฟฟ้า และทำให้มีการลงทุนได้ถูกต้องตามมาตรฐานของระบบไฟฟ้าที่ต้องการ</li> <li>- ใช้กันแพร่หลายในการไฟฟ้าประเทศต่างๆ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีวิธีคำนวณที่ยุ่งยาก จึงต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 เวลาที่ต้องการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า

คือ เวลาที่ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นสูงกว่ากำลังผลิตพลังไฟฟ้ามั่นคงและพลังงานไฟฟ้ามั่นคง ซึ่งสังเกตได้จาก LDC หรือ Installation Chart ในรูปที่ 4.5 สรุปได้ดังนี้



รูปที่ 4.5 การเพิ่มความต้องการใช้ไฟฟ้าและแผนการเพิ่มกำลังผลิต ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Load Duration Curve ในรูปที่ 4.5 (ก) แสดงการเพิ่มของการใช้ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นทั้งด้านพลังไฟฟ้าสูงสุดและพลังงานไฟฟ้า และในรูปที่ 4.5 (ข) แสดงแผนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าซึ่งจะต้องเขียนกราฟแสดงการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทั้งด้านพลังไฟฟ้าสูงสุดและพลังงานไฟฟ้า

- หากปีใดกำลังผลิตพลังไฟฟ้ามั่นคงในระบบไม่เพียงพอกับกราฟที่แสดงความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด หรือกำลังผลิตเพียงใดต่ำกว่าเส้นกราฟที่แสดงความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดบวกกับกำลังผลิตสำรองที่ต้องการ แสดงว่าระบบไฟฟ้าปีนั้นต้องการแหล่งผลิตไฟฟ้าในลักษณะ Peaking

- หากปีใดที่กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้ามั่นคงในระบบไม่เพียงพอกับกราฟที่แสดงความต้องการพลังงานไฟฟ้า แสดงว่าระบบไฟฟ้าปีนั้นต้องการแหล่งผลิตไฟฟ้าในลักษณะ Base load

พลังงานไฟฟ้ามั่นคง คือ พลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากโรงไฟฟ้าชนิดต่างๆ ในระบบ

- กรณีโรงไฟฟ้าพลังความร้อน สามารถคำนวณ Available Energy ได้จากจำนวนชั่วโมงที่คาดว่าจะเดินเครื่องได้ในรอบ 1 ปี
- กรณีโรงไฟฟ้าพลังน้ำ สามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเขื่อน โดยใช้สถิติจากปีที่มีน้ำไหลเข้าเขื่อนน้อยที่สุด

## 4.2 การเลือกประเภทของโรงไฟฟ้า [3, 4, 79-84]

การเลือกประเภทของโรงไฟฟ้าที่จะก่อสร้างเพิ่มเติมในระบบ ไม่อาจพิจารณาได้เพียงลักษณะการใช้ไฟฟ้าหรือความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นแต่ละปีเท่านั้น ยังต้องพิจารณาด้านอื่นๆ อีก เช่น

### 4.2.1 คุณสมบัติของโรงไฟฟ้า

โดยทั่วไปโรงไฟฟ้ามีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน สามารถแยกลักษณะใช้งานได้ 3 ประเภท ดังนี้ โรงไฟฟ้าที่ใช้ในลักษณะเป็น Base Load Plant ซึ่งต้องเดินเครื่องอยู่ในระบบตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องมีค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องต่ำ (ค่าเชื้อเพลิง)

โรงไฟฟ้าที่ใช้ในลักษณะเป็น Intermediate Plant ประกอบด้วยโรงไฟฟ้าประเภท Base Load Plant และ Peaking Plant ดังนั้นจึงต้องมีค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องปานกลาง

โรงไฟฟ้าที่ใช้ในลักษณะเป็น Peaking Plant จะต้องเป็นโรงไฟฟ้าที่สามารถเดินเครื่องขึ้นมารับ Load ได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงต้องสามารถเดินเครื่องและหยุดเครื่องได้ตลอดเวลา

โรงไฟฟ้าสามารถแบ่งตามคุณสมบัติที่สำคัญได้ 5 ประเภท คือ

1 โรงไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นการปล่อยน้ำจากที่สูงเพื่อให้มีแรงดันจากน้ำไปหมุนกังหันซึ่งต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีขนาดตั้งแต่เล็กมากจนถึงขนาดใหญ่, มีค่าลงทุนสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและที่ตั้งของเขื่อนกับเก็บน้ำที่จะก่อสร้างด้วย แต่เมื่อก่อสร้างเสร็จแล้วไม่ต้องเสียค่าเชื้อเพลิง, การผลิตพลังงานไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตามธรรมชาติที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแต่ละปี, ต้องใช้เวลาเตรียมการนาน ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างทำให้ทำลายสิ่งแวดล้อมมาก, โรงไฟฟ้าชนิดนี้ไม่มีข้อยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเดินเครื่อง จึงสั่งเดินเครื่องและสั่งปลดเครื่องได้เร็วใช้เวลาประมาณ 5 นาที โรงไฟฟ้าชนิดนี้ จึงเหมาะสำหรับใช้เป็น Peaking Plant

2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อน เป็นการค้ำน้ำเพื่อนำไอน้ำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำซึ่งมีเพลาคู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า สามารถออกแบบให้มีขนาดใหญ่ถึง 1,300 MW และควรเดินเครื่องอยู่ตลอดเวลา, ใช้เวลาในการสั่งเดินเครื่องและสั่งปลดเครื่องประมาณ 2-6 ชั่วโมง, ใช้เวลาก่อสร้างปานกลาง, ค่าก่อสร้างสูงและมีค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงสูงพอควร, ใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานทดแทน นิวเคลียร์ เป็นต้น, มีประสิทธิภาพประมาณ 30-35% โรงไฟฟ้าชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับใช้เป็น Base Load Plant และ Intermediate Plant

3 โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส เป็นการเผาไหม้ส่วนผสมระหว่างก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันดีเซลกับอากาศความดันสูงจากเครื่องอัดอากาศในห้องเผาไหม้ขณะเกิดเป็นไอร้อนที่ความดันและอุณหภูมิสูงไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า มีขนาดเล็กถึงขนาดปานกลาง, มีประสิทธิภาพต่ำกว่า 30%, ใช้เวลาในการสั่งเดินเครื่องและสั่งปลดเครื่องประมาณ 30 นาที, ใช้เวลาก่อสร้างสั้น, ค่าลงทุนก่อสร้างต่ำ แต่มีค่าเชื้อเพลิงในการผลิตสูง โรงไฟฟ้าชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับใช้เป็น Peaking Plant หรือเป็นเครื่องสำรองจ่ายไฟฟ้ากรณีฉุกเฉิน

4 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เป็นการนำไอเสียจากโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สที่มีความร้อนสูงมาค้ำน้ำให้เดือดกลายเป็นไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนกังหันไอน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้าต่อไปทำให้ได้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยไม่เสียค่าเชื้อเพลิง, ใช้ก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แต่เนื่องจากความแตกต่างของราคาเชื้อเพลิงจึงทำให้ก๊าซธรรมชาติกลายเป็นเชื้อเพลิงหลักของโรงไฟฟ้าชนิดนี้, มีประสิทธิภาพประมาณ 50%, เริ่มเดินเครื่องได้เร็ว แต่มีค่าบำรุงรักษาสูง โรงไฟฟ้าชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับใช้เป็น Base Load Plant และ Intermediate Plant

5 โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากชีวมวล พลังงานลม และพลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นต้น

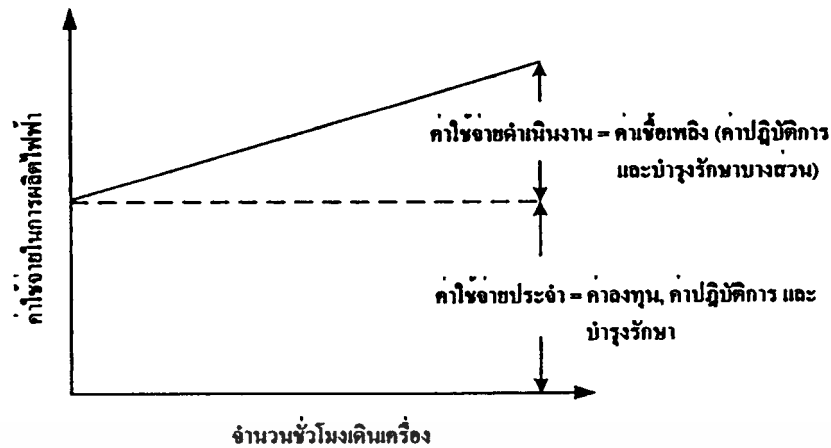
#### 4.2.2 การเลือกประเภทโรงไฟฟ้า พิจารณาจากต้นทุนผลิตไฟฟ้า

จากข้อ 4.2.1 พอสรุปได้ว่า โรงไฟฟ้าแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันทางด้านค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า กล่าวคือ โรงไฟฟ้าบางประเภทจะมีค่าก่อสร้างสูง แต่มีค่าเชื้อเพลิงต่ำ และโรงไฟฟ้าบางประเภทจะมีค่าก่อสร้างต่ำ แต่มีค่าเชื้อเพลิงสูง ดังนั้นในการที่จะผลิตไฟฟ้าให้ได้ราคาถูกที่สุด ก็ต้องเลือกใช้ชนิดของโรงไฟฟ้าหลายประเภทให้เหมาะสม (Mixed Generation)

ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 4.6 จะประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 2 ส่วน คือ

- ค่าใช้จ่ายประจำ (Fixed Cost) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าลงทุนก่อสร้าง
- ค่าใช้จ่ายดำเนินการ (Operating cost) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่าย Variable ขึ้นอยู่กับจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิต เช่น ค่าเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายของการผลิตไฟฟ้า

การคำนวณหาจุดที่เหมาะสมในการเลือกใช้โรงไฟฟ้าแต่ละชนิด (Screening Curve)

ค่าใช้จ่ายในรอบปี (Annual Operating Cost) ของโรงไฟฟ้าแต่ละโรง อาจคำนวณได้จากสมการง่ายๆ ดังนี้

$$C_k = P_k \times (AC) + (Q_k \times F_k) \times H \quad (4.6)$$

$C_k$  = ค่าใช้จ่ายในรอบปีของโรงไฟฟ้าชนิด k หน่วยเป็น บาท/kW-ปี

$P_k$  = ค่าลงทุนก่อสร้าง (Capital Cost) ของโรงไฟฟ้าชนิด k หน่วยเป็น บาท/kW

AC = Annual Carrying Charge

$$= \text{Capital Recovery Factor (CRF)} + \frac{\%O \& M \text{ Cost}}{100}$$

H = ชั่วโมงการเดินเครื่องในรอบ 1 ปี

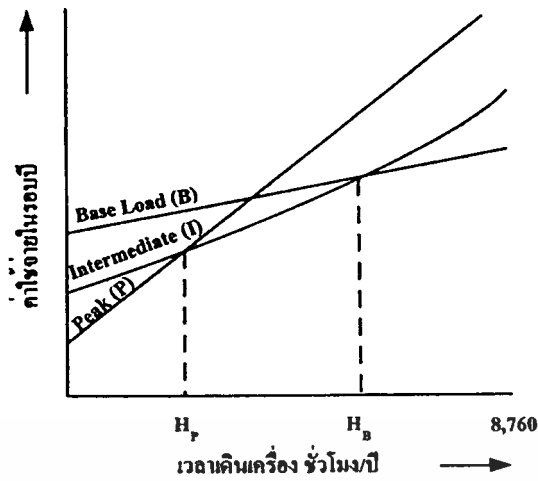
$$= \text{Equivalent Hour} = 8,760 \times \text{Plant Factor}$$

$Q_k$  = ค่า Heat Rate ของโรงไฟฟ้าชนิด k หน่วยเป็น kcal/kWh

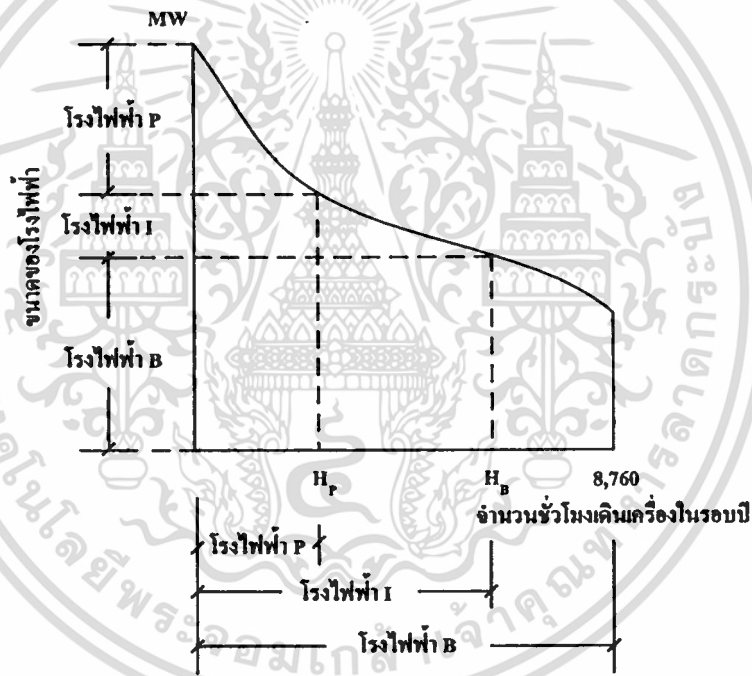
$F_k$  = ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ของโรงไฟฟ้าชนิด k หน่วยเป็น บาท/kcal

สมมติว่าจะเลือกใช้ไฟฟ้า 3 ชนิด เช่น โรงไฟฟ้าใช้ถิกไนต์ (B) โรงไฟฟ้าใช้น้ำมัน (I) และโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส (P) ดังนั้นค่าใช้จ่ายประจำปีของโรงไฟฟ้าแต่ละโรงจะขึ้นอยู่กับจำนวนชั่วโมงที่เดินเครื่องในรอบปี ซึ่งสามารถแสดงได้ตามเส้นกราฟรูปที่ 4.7 (ก) และจากรูปแสดงว่าโรงไฟฟ้าชนิด B เหมาะสมสำหรับเดินเครื่องเกินกว่า  $H_B$  ชั่วโมงในรอบ 1 ปี และโรงไฟฟ้าชนิด P เหมาะสมสำหรับการเดินเครื่องน้อยกว่า  $H_P$  ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ค่าใช้จ่ายในรอบปีของโรงไฟฟ้าชนิดต่างๆ



(ข) ขนาดและเวลาดินเครื่องของโรงไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่ทำให้ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่ำสุด

**รูปที่ 4.7 การเดินเครื่องโรงไฟฟ้าให้มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด**

จุดตัด (Breakeven Point)  $H_B$  เป็นจุดที่ค่าใช้จ่ายในรอบปี (Annual Operation Cost) ของโรงไฟฟ้า B เท่ากับค่าใช้จ่ายของโรงไฟฟ้า I และที่จุด  $H_P$  เป็นจุดที่ค่าใช้จ่ายในรอบปีของโรงไฟฟ้า P เท่ากับค่าใช้จ่ายของโรงไฟฟ้า I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง  $H_B$  และ  $H_P$  สามารถหาได้จากสมการ

$$H_B = \frac{(P_B \times AC) - (P_I \times AC)}{(Q_P \times F_I) - (Q_B \times F_B)} \quad (4.7)$$

$$H_P = \frac{(P_I \times AC) - (P_P \times AC)}{(Q_P \times F_P) - (Q_I \times F_I)} \quad (4.8)$$

ถ้ากำหนดจำนวนชั่วโมง  $H_B$  และ  $H_P$  ลงบน Annual Load Duration Curve ดังรูปที่ 4.7 (ข) จะได้ขนาดของโรงไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิด และกำหนดเวลาเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าแต่ละชนิดที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในรอบปี (ต้นทุนผลิตไฟฟ้า) ของระบบต่ำสุด (Optimum Mix)

จากตัวอย่างที่แสดงข้างต้นเป็นเพียงโรงไฟฟ้า 3 ชนิด ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ถ้ามีโรงไฟฟ้าพลังน้ำมาร่วมพิจารณาด้วย (Hydro-Thermal Mix) สมการข้างต้นก็สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาจุดชั่วโมงเดินเครื่องที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังน้ำได้ เพียงแต่ค่าเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าพลังน้ำไม่มี ( $Q_k \times F_k = 0$ ) และปริมาณน้ำที่คาดว่าจะไหลเข้าเขื่อนในแต่ละปีก็จะเป็นตัวกำหนดเวลาเดินเครื่องที่มากที่สุดของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

#### 4.2.3 ชนิดของเชื้อเพลิงที่จะจัดหาได้

ชนิดของเชื้อเพลิงจะเป็นตัวกำหนดประเภทของโรงไฟฟ้า ซึ่งหลักการเลือกชนิดของเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้านั้น พิจารณาจาก

- ต้องจัดหาป้อนให้กับ โรงไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอ เพื่อความมั่นคงในการผลิตไฟฟ้า
- ต้องมีราคาถูก เพื่อให้ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่ำ
- ต้องมีการกระจายแหล่งและชนิดของพลังงาน เพื่อลดความเสี่ยง โดยหลีกเลี่ยงการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งเดียว หรือชนิดเดียว
- ต้องเป็นพลังงานที่สะอาด ก่อให้เกิดมลพิษน้อย หรืออาจจะเป็นพลังงานที่ไม่สะอาด แต่มีเทคโนโลยีที่ควบคุมมลพิษได้

ตามหลักการใช้จากแหล่งพลังงานภายในประเทศ แต่ถ้าหากแหล่งพลังงานภายในประเทศมีปริมาณจำกัด และมีปัญหาในการพัฒนา ก็จำเป็นต้องพิจารณาจัดหาจากนอกประเทศ

ชนิดของเชื้อเพลิงที่ กฟผ. ได้พิจารณาเพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ พลังน้ำ, น้ำมัน, ก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG), ลิกไนต์, ถ่านหิน, นิวเคลียร์, ออริมัลชัน, และการซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน นอกจากนี้ยังมีพลังงานทดแทนซึ่งได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นต้น

การเลือกใช้เชื้อเพลิงชนิดใดในการผลิตไฟฟ้า อาจเป็นนโยบายพลังงานระดับชาติก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 กำหนดระยะเวลาก่อสร้าง

สามารถเป็นตัวกำหนดการเลือกประเภทของโรงไฟฟ้าได้ โดยเฉพาะถ้าหากมีสถานการณ์เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นโดยไม่ได้คาดหมายไว้ก่อนในการวางแผนล่วงหน้า เช่น ถ้าความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นมากโดยไม่ได้คาดไว้ก่อน, กรณีเกิดอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หรือเกิดภาวะผิดปกติทางธรรมชาติ เช่น น้ำแล้งจัดติดต่อกันหลายปีจนทำให้กำลังผลิตที่มีอยู่ไม่เพียงพอ หรือแผนโครงการที่วางไว้แล้วต้องล่าช้าออกไป สิ่งเหล่านี้เป็นความไม่แน่นอน (Uncertainty) อย่างหนึ่งซึ่งเป็นปัญหาในการวางแผน

กรณีความไม่แน่นอนเหล่านี้อาจบังคับให้ต้องแก้ปัญหาเฉพาะหน้าโดยการก่อสร้างโรงไฟฟ้าชนิดที่ต้องการเวลาในการก่อสร้างเร็ว ซึ่งมักจะมีค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องสูง (ค่าเชื้อเพลิง)

สามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญของโรงไฟฟ้าต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปคุณสมบัติสำคัญของโรงไฟฟ้าต่างๆ (Commercial Available Unit Rating)

ชนิด	ลักษณะ	การใช้งาน
โรงไฟฟ้าดีเซล (<1-20 MW) และ โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส (<1-110 MW)	- ค่าลงทุนต่ำ - ค่าเชื้อเพลิงสูง - ระยะเวลาดำเนินการสั้น (2-4 ปี)	- Peak - Emergency Reserve
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (100-300 MW)	- ค่าลงทุนปานกลาง - ค่าเชื้อเพลิงปานกลาง - ระยะเวลาดำเนินการปานกลาง (3-5 ปี)	- Base - Intermediate
โรงไฟฟ้าไอน้ำแบบทั่วไป (20-1,300 MW)	- ค่าลงทุนสูง - ค่าเชื้อเพลิงปานกลาง / สูง - ระยะเวลาดำเนินการปานกลาง (6-7 ปี)	- Base - Intermediate
โรงไฟฟ้าไอน้ำพลังนิวเคลียร์ (500-1,300 MW)	- ค่าลงทุนสูงมาก - ค่าเชื้อเพลิงปานกลาง - ระยะเวลาดำเนินการนาน (10-12 ปี)	- Base
โรงไฟฟ้าพลังน้ำ (<1-800 MW)	- ค่าลงทุนสูง / สูงมาก - ค่าเชื้อเพลิง ไม่มี - ระยะเวลาดำเนินการนาน (8-10 ปี)	- Peak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การเลือกขนาดกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า [4, 82, 85]

ขีดจำกัดทางด้านเทคนิคของโรงไฟฟ้าแต่ละชนิด อาจทำให้ขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชนิดแตกต่างกัน เช่น โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส ปัจจุบันมีขนาดสูงสุดประมาณ 110 MW หรือโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ซึ่งขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับที่ตั้งที่เหมาะสมในการก่อสร้างเขื่อน ดังนั้นประเภทของโรงไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง นอกจากนี้หลักการทั่วไปในการพิจารณาเลือกขนาดของโรงไฟฟ้าจะเป็นดังนี้

#### 4.3.1 ขนาดกำลังผลิตที่ประหยัด (Economics of Scale)

เป็นหัวข้อหลักในการพิจารณาเลือกขนาดโรงไฟฟ้า (โดยเฉพาะโรงไฟฟ้าที่จะนำมาใช้เป็น Base Load Plant) ตามหลักความจริงที่ว่าค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้าไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับขนาดโรงไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าโรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้นค่าก่อสร้างที่เป็น บาท/kW จะลดลง

ความสัมพันธ์ของค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้า 2 ขนาดที่ต่างกัน อาจแสดงด้วยสมการง่ายๆ ดังนี้

$$\frac{\text{INVCOS1}}{\text{INVCOS2}} = \left( \frac{\text{CAP1}}{\text{CAP2}} \right)^\alpha ; \text{CAP1} > \text{CAP2} ; 0 < \alpha < 1 \quad (4.9)$$

INVCOS1 = ค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่กว่า (Larger Unit)

INVCOS2 = ค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กกว่า (Smaller Unit)

CAP1 = ขนาดของโรงไฟฟ้า โรงที่ใหญ่กว่า

CAP2 = ขนาดของโรงไฟฟ้า โรงที่เล็กกว่า

$\alpha$  = เป็นค่าคงที่ (Economics of Scale Exponent)

ค่า  $\alpha$  ปกติมีค่าอยู่ระหว่าง  $0.6 < \alpha < 0.9$  แต่ค่า  $\alpha$  นี้ในแต่ละประเทศอาจแตกต่างกันได้ เพราะค่าก่อสร้างจะประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 2 ส่วน คือ ค่าอุปกรณ์และค่าแรงงาน โดยเฉพาะค่าแรงงานของแต่ละประเทศจะไม่เท่ากัน ดังนั้นค่า  $\alpha$  จึงเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งค่า  $\alpha$  ในประเทศอเมริกาสำหรับการก่อสร้างโรงไฟฟ้าจะมีค่าประมาณ 0.9

สิ่งที่ควรพิจารณาเพิ่มเติมจาก Economics of Scale คือ โรงไฟฟ้าไอน้ำถ้ามีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก (Greater Thermal Efficiency) ดังนั้นโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำขนาดใหญ่จะสิ้นเปลืองค่าเชื้อเพลิงน้อยกว่าในการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วยเท่ากัน

### 4.3.2 ระดับความมั่นคงของระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าที่มีโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่เกินไป (ปกติขนาดใหญ่อของโรงไฟฟ้าในระบบไม่ควรเกิน 15% ของความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ) ระบบไฟฟ้านั้นจะต้องการกำลังผลิตสำรอง (Reserve Capacity) ไว้สูง ซึ่งทำให้ต้องมีการลงทุนเพิ่มขึ้น และเมื่อได้ทำการพิจารณาทางด้าน Loss of Load Probability ก็พบว่าระบบไฟฟ้าที่มีโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่อยู่จำนวนน้อยจะต้องการ Reserve Capacity มากกว่าเมื่อเทียบกับระบบไฟฟ้าที่มีโรงไฟฟ้าขนาดเล็กใกล้เคียงกันอยู่เป็นจำนวนมากเพื่อให้ได้ Loss of Load Probability ที่ระดับเดียวกัน นอกจากนี้เมื่อเครื่องใหญ่หยุดกำลังผลิตจะหายไปเป็นจำนวนมากแล้ว สาเหตุอีกประการหนึ่งคือโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีอัตราการหยุดเครื่อง โดยฉุกเฉินเนื่องจากข้อขัดข้อง (Force Outage Rate) สูงกว่าโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก

### 4.3.3 ที่ตั้งของโรงไฟฟ้า

เป็นตัวกำหนดขนาดของโรงไฟฟ้าที่สำคัญ โดยเฉพาะทางด้านขีดจำกัดของการขนส่งอุปกรณ์ กรณีที่ต้องก่อสร้างโรงไฟฟ้าใกล้แหล่งเชื้อเพลิง เนื่องจากอุปกรณ์โรงไฟฟ้าบางส่วนมีน้ำหนักมาก ถ้าหากมีข้อจำกัดทางด้านถนน ทางรถไฟ เป็นต้น ดังนั้นขนาดของโรงไฟฟ้าที่จะก่อสร้างก็จะต้องกำหนดไม่ให้ใหญ่เกินไปจนไม่สามารถขนส่งอุปกรณ์ไปก่อสร้างได้

นอกจากนั้นปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น เรื่องน้ำทิ้ง, การระบายควันจากปล่องโรงไฟฟ้า ตลอดจนเขตการเดินสายไฟฟ้า (Right of Way) ของการก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าก็มีส่วนกำหนดขนาดของโรงไฟฟ้าได้

### 4.3.4 ระบบส่งไฟฟ้า

ระบบส่งไฟฟ้า ก็อาจเป็นปัญหาทำให้ไม่สามารถจะก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่เกินไปได้ ถ้าไม่สามารถลงทุนเสริมระบบไฟฟ้าให้เพียงพอได้ ปัญหานี้เกิดจากข้อจำกัดทางด้านเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า (Power System Stability) ซึ่งต้องมีกรณีวิเคราะห์ในขณะที่ทำการวางแผนทางด้านระบบส่งไฟฟ้า

## 4.4 การเลือกที่ตั้งของโรงไฟฟ้า [4, 85, 86]

การเลือกที่ตั้งของโรงไฟฟ้าจะต้องพิจารณาทั้งทางด้านเทคนิค และทางด้านค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งตามทฤษฎีแล้วที่ตั้งของโรงไฟฟ้าควรจะอยู่ที่ศูนย์กลางการใช้ไฟฟ้า (Load Center) เพื่อให้มีการก่อสร้างระบบสายส่งน้อยที่สุด ซึ่งนอกจากจะทำให้ค่าลงทุนลดลงแล้ว ยังเป็นการช่วยให้ความสูญเสียในระบบไฟฟ้ามินน้อยที่สุด

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปัญหาทางด้านเทคนิคของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ ปัญหาเหล่านั้นก็จะเป็นตัวกำหนดที่ตั้งของโรงไฟฟ้าที่สำคัญ โดยเฉพาะปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม และปัญหาใน

เรื่องความสะดวกในการจัดหาเชื้อเพลิงที่จะนำมาป้อน โรงไฟฟ้า ซึ่งเหตุผลประการหลังนี้ทำให้ต้องก่อสร้างโรงไฟฟ้าอยู่ใกล้กับแหล่งเชื้อเพลิง

โรงไฟฟ้าแต่ละประเภทมีเทคนิคแตกต่างกัน ดังนั้นปัญหาทางด้านเทคนิคที่จะต้องพิจารณาในการเลือกที่ตั้งโรงไฟฟ้าจึงแตกต่างกัน เช่น

#### 4.4.1 การเลือกที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังความร้อน จะต้องพิจารณาถึง

- การจัดหาที่ดิน, การใช้ประโยชน์ของที่ดินที่มีอยู่เดิม
- ความสะดวกในการจัดหา / จัดส่ง และการจัดเก็บสำรองเชื้อเพลิง
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (เช่น เสียง, ความร้อนของน้ำที่ระบายออก และควันจากปล่องของโรงไฟฟ้า)
- ฐานรากของโรงไฟฟ้า ซึ่งต้องการสภาพของดินที่เหมาะสม
- แหล่งน้ำที่ใช้ในโรงไฟฟ้า ทั้งทางด้านน้ำระบายความร้อน (Cooling Water) และน้ำที่ใช้ในหม้อน้ำ (Make up Water)
- ระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งต้องให้มีการลงทุนน้อยที่สุด
- ความสะดวกในการเข้าถึงที่ตั้ง

#### 4.4.2 การเลือกที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังน้ำ จะต้องพิจารณาถึง

- การสำรวจวิเคราะห์ทางด้านอุทกวิทยา (Hydrological Analysis)
- สภาพของภูมิประเทศ (Topological Investigation)
- สภาพทางธรณีวิทยา (Geological Condition)
- การเข้าถึงที่ตั้งโครงการ
- การจัดหาแหล่งวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

### 4.5 การกำหนดแผนการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าระยะยาว [4]

#### 4.5.1 ช่วงเวลาของแผน

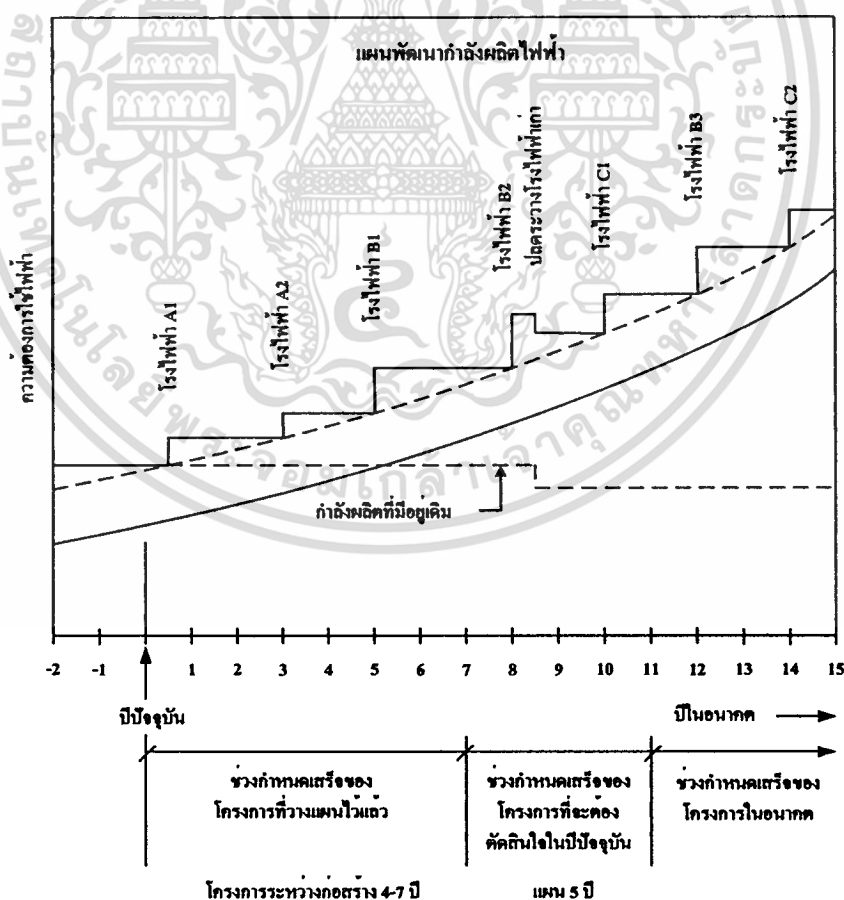
แผนการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าควรกำหนดแผนล่วงหน้าในระยะยาวอย่างน้อย 12 ปี ขึ้นไป ซึ่งกำหนดช่วงเวลาของแผนสำหรับโครงการระยะต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จะเป็นดังนี้

1 ช่วงเวลาสำหรับโครงการที่วางแผนไว้แล้ว คือ ช่วงเวลาของโครงการที่กำลังดำเนินการก่อสร้างอยู่ซึ่งใกล้จะแล้วเสร็จ หรือโครงการที่ได้รับอนุมัติให้เริ่มดำเนินการได้แล้ว ซึ่งเวลาในแผนสำหรับกำหนดแล้วเสร็จของโครงการเหล่านี้อยู่ระหว่าง 4-7 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ช่วงเวลาของโครงการที่จะต้องตัดสินใจดำเนินการช่วงเวลาถัดไป คือ ช่วงเวลาสำหรับกำหนดแล้วเสร็จของโครงการใหม่ที่อยู่ในความสนใจที่จะกำหนดไว้ในแผนการลงทุน หรือเป็นโครงการใหม่ที่จะต้องมีการตัดสินใจลงมือดำเนินการในปีปัจจุบัน (ปี 0) เพื่อที่จะดำเนินการให้เสร็จทันการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาหลังจากที่โครงการที่กำลังก่อสร้างอยู่เสร็จไปแล้วทั้งหมด ช่วงเวลาสำหรับการตัดสินใจโครงการใหม่อาจจะเป็น 5 ปี (หรือกำหนดเป็นแผนการลงทุนที่มีระยะเวลาสอดคล้องกับช่วงเวลาตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจฯ ของประเทศ)

3 ช่วงเวลาของโครงการในอนาคตตั้งแต่ 10-12 ปีหลังปีเริ่มต้นขึ้นไป คือ ช่วงเวลาสำหรับโครงการที่คาดว่าจะดำเนินการในอนาคตตามการคาดคะเนสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นต่อไปในระยะยาวข้างหน้า ช่วงเวลาสำหรับโครงการอนาคตกำหนดไว้ในการวางแผนเพื่อเป็นแนวทาง และเป็นทางเลือกเชิงข้อผิดพลาดในการเสนอโครงการที่จะต้องตัดสินใจดำเนินการ เพราะโครงการแต่ละโครงการจะให้ผลประโยชน์ในระยะยาวไม่เท่ากัน นอกจากนั้นการวางแผนระยะยาวก็จะเป็นประโยชน์ในการกำหนดทิศทางของกิจการ เพื่อบางนโยบายรับสถานการณ์หรือตัดสินใจสำหรับดำเนินการโครงการที่ต้องใช้เวลาดำเนินการยาวนานให้ถูกต้อง



รูปที่ 4.8 ช่วงเวลาของการทำแผน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 ขั้นตอนการวางแผน

การวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 4.9 มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

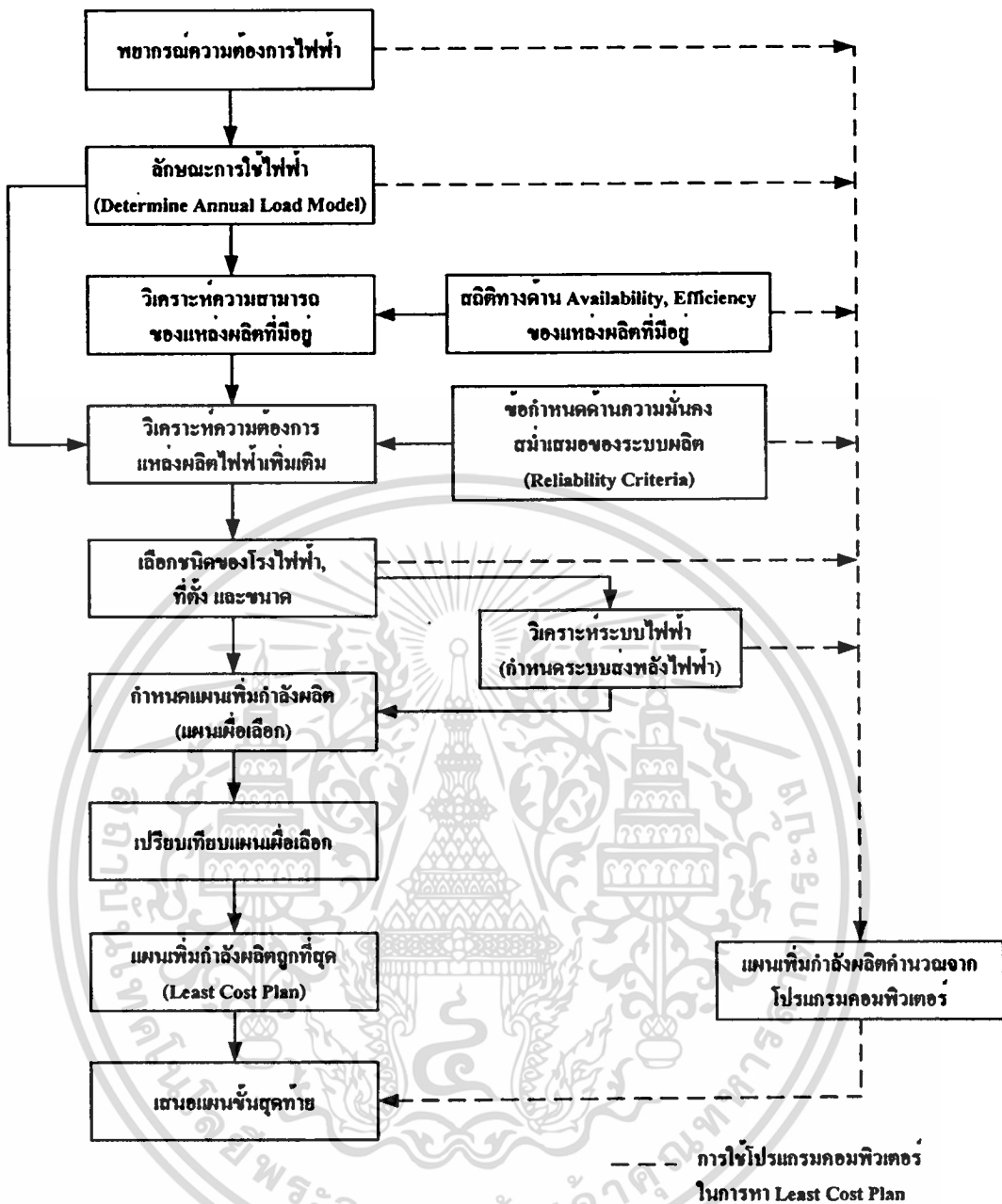
- 1 ประมาณการใช้ไฟฟ้าในอนาคต 10-15 ปี ข้างหน้าและวิเคราะห์ลักษณะการใช้ไฟฟ้าและความต้องการกำลังผลิตไฟฟ้าของแต่ละเดือนในปีต่างๆ
- 2 วิเคราะห์ข้อมูล และประเมินความสามารถของโรงไฟฟ้าที่มีใช้งานอยู่แล้ว
- 3 วิเคราะห์ความต้องการแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติม
- 4 วิเคราะห์ข้อมูลโรงไฟฟ้าที่สามารถนำเข้ามาคัดเลือกเข้าแผนฯ (Candidate)
- 5 กำหนดแผนทางเลือก ซึ่งแต่ละทางเลือกต้องสนองวัตถุประสงค์ และพิจารณาภายใต้หลักเกณฑ์เดียวกัน
- 6 เปรียบเทียบแผนทางเลือก คำนวณหาแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าที่มีค่าลงทุนรวมกับค่าเชื้อเพลิง, ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการและบำรุงรักษาต่ำสุด (Least Cost Solution)

ขั้นที่ 1 ถึงขั้นที่ 4 เป็นการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค, วิเคราะห์เงื่อนไขหรือข้อกำหนดต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในขั้นที่ 5 จากนั้นในขั้นที่ 6 ก็จะเป็นการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบแผน ซึ่งใช้หลักการเกี่ยวกับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

ขั้นที่ 5 เป็นการกำหนดแผนทางเลือกเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ขั้นที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบแผนทางเลือกเหล่านั้น ซึ่งถ้าระบบไฟฟ้ามีขนาดเล็ก โครงการโรงไฟฟ้าต่างๆ มีไม่มากดังนั้นทางเลือกที่ทำเป็นแผนเปรียบเทียบก็จะมีไม่มาก แต่ถ้าระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ขึ้น โครงการโรงไฟฟ้าต่างๆ มีมาก การที่จะกำหนดแผนเพื่อเลือกขึ้นมาเพียง 3-4 แผน โดยอาศัยความชำนาญอาจได้แผนที่ไม่ถูกต้อง คือ แผนที่ไม่เป็น Least Cost ได้ ดังนั้นเมื่อแผนที่เป็นทางเลือกมีมาก จึงจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อทำให้การกำหนดแผนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความคล่องตัวในการจัดทำแผน โดยเฉพาะเมื่อข้อมูล หรือสถานการณ์ต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป

ซึ่งในการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคขั้นที่ 1 ถึงขั้นที่ 4 ก็จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการวางแผนพัฒนากำลังผลิต ไฟฟ้า [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

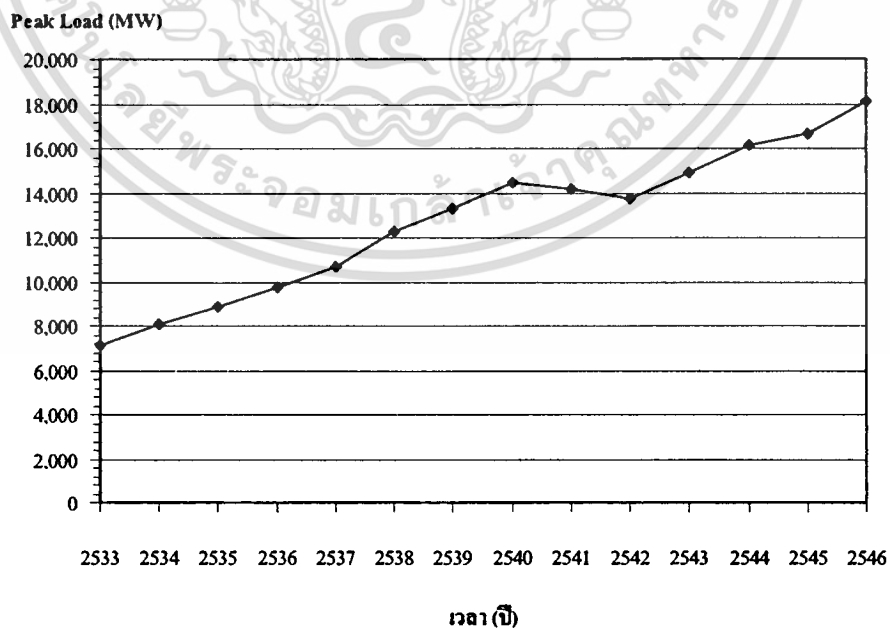
## บทที่ 5

# การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

บทนี้จะกล่าวถึงการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าและใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับของ Levenberg-Marquardt Algorithm ในโปรแกรม MATLAB 6.5 ซึ่งจะนำมาเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศและจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เชื่อว่ามีนัยสำคัญต่อความต้องการไฟฟ้า และได้นำเสนอวิธีเลื่อนหน้าต่างข้อมูลฝึกสอนย้อนหลังไป 2 ปี เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในอนาคตได้แม่นยำขึ้น

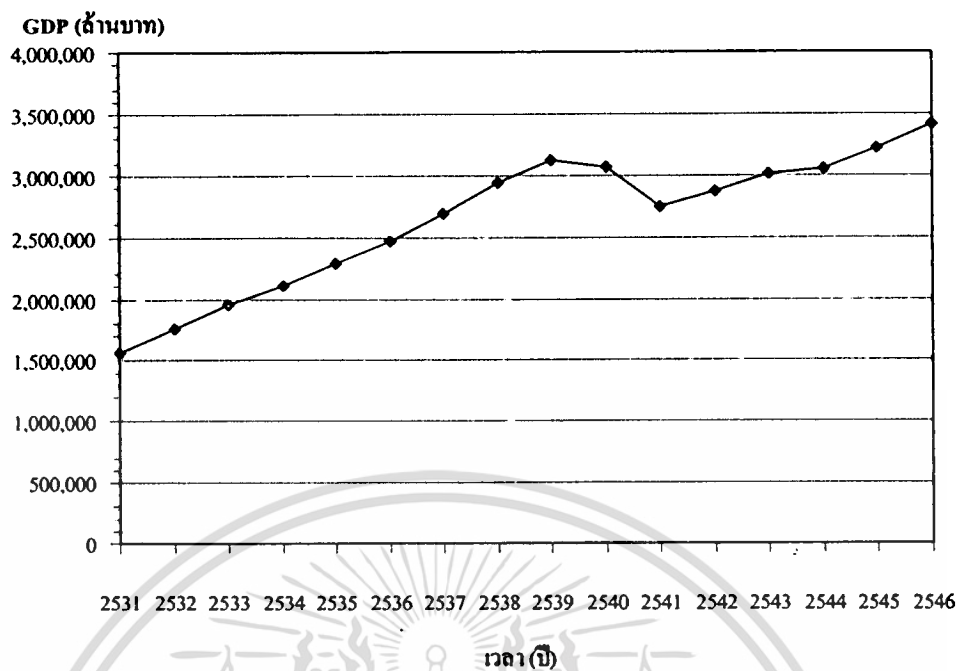
### 5.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า

จากข้อมูลค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ในอดีตช่วงปี พ.ศ. 2533–2546, ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ในอดีตช่วงปี พ.ศ. 2531–2546 และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ในอดีตช่วงปี พ.ศ. 2531–2546 ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ถึง 5.3 พบว่ามีทั้งลักษณะเชิงเส้นและลักษณะไม่เชิงเส้น

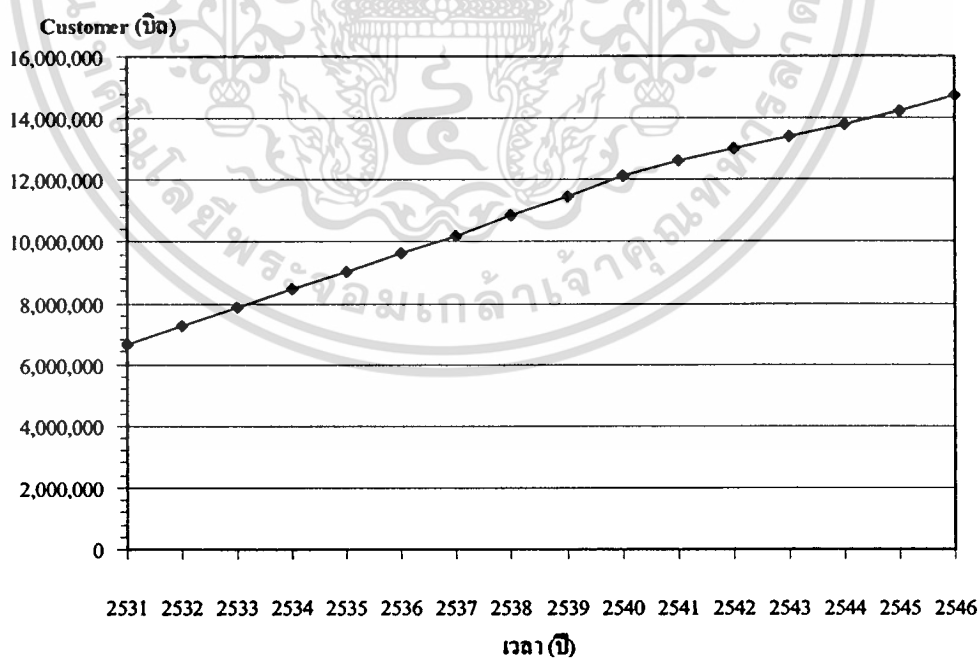


รูปที่ 5.1 ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ในช่วงปี พ.ศ. 2533–2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

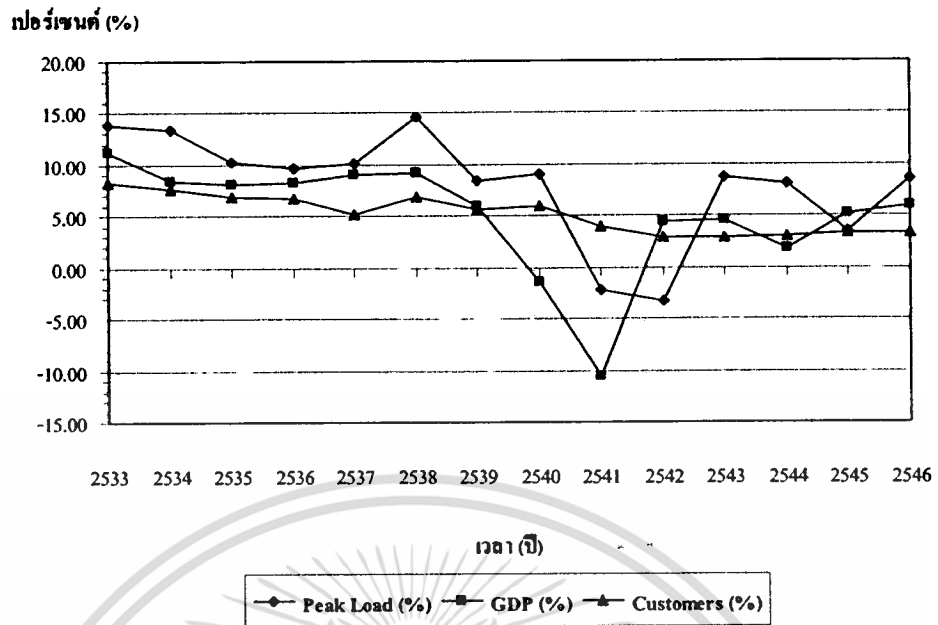


รูปที่ 5.2 ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ในช่วงปี พ.ศ. 2531–2546



รูปที่ 5.3 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2531-2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายตัวของค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP), จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ และค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ.

จากรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าอัตราการขยายตัว (ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลต่อปี) ของค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) และอัตราการขยายตัวของจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกันกับอัตราการขยายตัวของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ด้วยเหตุนี้ถ้าหากทราบทิศทางการเติบโตทางเศรษฐกิจของไทย และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าในอนาคตก็จะทำให้สามารถทราบค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในอนาคตได้

## 5.2 การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม, ใช้ในการทดสอบ และใช้ในการพยากรณ์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะประกอบด้วย ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ในช่วงปี พ.ศ. 2533–2546, จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2531–2546 ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมมาจาก กฟภ., กฟน. และ กฟผ. และค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ในช่วงปี พ.ศ. 2531–2546 ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมมาจากสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI)

ส่วนจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 ได้ทำการพยากรณ์โดยใช้วิธี Holt's Linear ส่วนค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 ได้ใช้ค่าพยากรณ์ของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทยซึ่งมีสมมติฐานในการพยากรณ์เศรษฐกิจไทย 3 ระดับ คือ กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 3.7-3.8 ต่อปี), กรณีเศรษฐกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายตัวปานกลาง (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 5.0 ต่อปี) และกรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 6.4-6.6 ต่อปี) [87]

จากนั้นได้เลื่อนหน้าค่าข้อมูลย้อนหลังไป 1 และ 2 ปี และนำข้อมูลทั้งหมดมาแบ่งเป็น 3 ชุด ซึ่งจะได้ชุดข้อมูลเป็นดังนี้

1 ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการฝึกสอน (Training)

- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2532-2542 (t-1)
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2532-2542 (t-1)
- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2531-2541 (t-2)
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2531-2541 (t-2)
- ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ช่วงปี พ.ศ. 2533-2543 (t)

2 ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดสอบ (Testing)

- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2545 (t-1)
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2545 (t-1)
- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2542-2544 (t-2)
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2542-2544 (t-2)
- ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 (t)

3 ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ (Forecasting)

- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2546-2558 (t-1)
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2546-2558 (t-1)
- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2545-2557 (t-2)
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2545-2557 (t-2)

การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในวิทยานิพนธ์นี้ โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการพยากรณ์ตัวแปรด้านนอก คือ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้ตัวแปรด้านเข้าที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรด้านนอก คือ ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกทำ Normalization ให้มีค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับศูนย์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Variance) เท่ากับหนึ่ง และ Scaling เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในช่วงของฟังก์ชันถ่ายโอน ก่อนที่จะทำการฝึกสอน ทดสอบและพยากรณ์ ตามหัวข้อ 2.7ซึ่งจะทำให้กระบวนการฝึกสอนเร็วขึ้น และมีความแม่นยำสูงขึ้น หลังจากได้ผลลัพธ์แล้วเอาที่พุดที่ได้จะต้องแปลงกลับไปเป็นค่าจริงด้วยการ Unnormalization และ Unscaling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

ก่อนที่จะฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อนำไปใช้พยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด จะต้องกำหนดสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมเสียก่อน เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนเซลล์ประสาทของตัวแปรด้านเข้า และในชั้นตัวแปรด้านออกสอดคล้องกับจำนวนตัวแปรด้านเข้าที่ป้อนให้แก่โครงข่าย และจำนวนตัวแปรด้านออกที่เป็นค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ รวมถึงการกำหนดจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน และการเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสม

การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้เพื่อศึกษาการพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดนั้น มีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม การเรียนรู้ได้ดีจะส่งผลทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการคำนวณหาคำตอบได้แม่นยำขึ้น ดังนั้นก่อนที่จะทำการฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมจึงต้องมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบที่มีผลต่อการเรียนรู้ และประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม ดังนี้

#### 5.3.1 จำนวนเซลล์ประสาทของตัวแปรด้านเข้า และชั้นตัวแปรด้านออก

วิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดจำนวนเซลล์ประสาทของตัวแปรด้านเข้า 4 เซลล์ จากปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า, ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ และได้เลื่อนหน้าต่างข้อมูลย้อนหลัง 1 และ 2 ปี ส่วนจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นตัวแปรด้านออก 1 เซลล์ จะกำหนดจากค่าผลลัพธ์ที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมคำนวณออกมา คือ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

##### 1 ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวแปรด้านเข้า

- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ (t-1)
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (t-1)
- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ (t-2)
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (t-2)

##### 2 ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวแปรด้านออก หรือค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ

- ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. (t)

#### 5.3.2 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน

ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาการใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้นกับเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนและเซลล์ประสาทในชั้นตัวแปรด้านออก คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid และฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear ดังแสดงสมการที่ 5.1 ถึง 5.3

$$f(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (5.1)$$

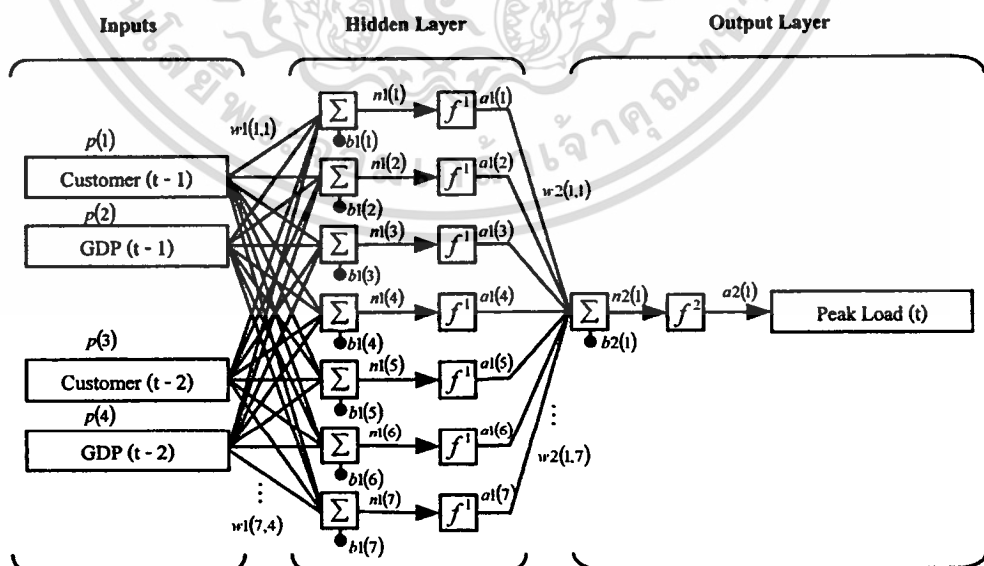
$$f(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}} \quad (5.2)$$

$$f(n) = n \quad (5.3)$$

เหตุผลที่นำฟังก์ชันถ่วงโอนทั้งสองชนิดนี้มาใช้ก็เพราะว่าเป็นฟังก์ชันที่สามารถหาอนุพันธ์ได้ และสร้างขอบเขตการตัดสินใจในลักษณะโค้งมนได้ โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ฟังก์ชันถ่วงโอนแบบนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อน และมีลักษณะไม่เชิงเส้นได้ดี

### 5.3.3 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สร้างแบบจำลองจาก Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB 6.5 และใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับของ Levenberg-Marquardt Algorithm [66] ซึ่งจะมีการจัดเรียงเซลล์ประสาทต่อกันในทิศทางที่ส่งข้อมูลไปข้างหน้า และไม่เชื่อมค่อในทิศทางย้อนกลับ โดยจะเรียงกันเป็นชั้นๆ คือ อินพุต 1 ชั้น, ชั้นซ่อน 1 ชั้น และชั้นเอาต์พุต 1 ชั้น ซึ่งเซลล์ประสาทแต่ละชั้นจะเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทในชั้นก่อนหน้า และชั้นถัดไปด้วยค่าน้ำหนักและค่าไบอัสที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ในขณะที่ทำการเรียนรู้



รูปที่ 5.5 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการพยากรณ์ Peak Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มี 1 ชั้นซ่อนและ 1 ชั้นเอาต์พุต ซึ่งค่า  $a_1$  และค่า  $a_2$  (Peak Load) จะสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ 5.4 และ 5.5 ดังนี้

$$a_1 = f^1(w_1 * p + b_1) \quad (5.4)$$

$$a_2 = f^2(w_2 * a_1 + b_2) \quad (5.5)$$

โดยที่

$p$  คือ ตัวแปรด้านเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม

$w_1$  คือ ค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างตัวแปรด้านเข้า และชั้นซ่อน

$w_2$  คือ ค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นซ่อน และชั้นตัวแปรด้านออก

$b_1$  คือ ค่าไบอัสของชั้นซ่อน

$b_2$  คือ ค่าไบอัสของชั้นตัวแปรด้านออก

$n_1$  คือ ผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของชั้นซ่อน

$n_2$  คือ ผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของตัวแปรด้านออก

$f^1$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้นซ่อน

$f^2$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้นตัวแปรด้านออก

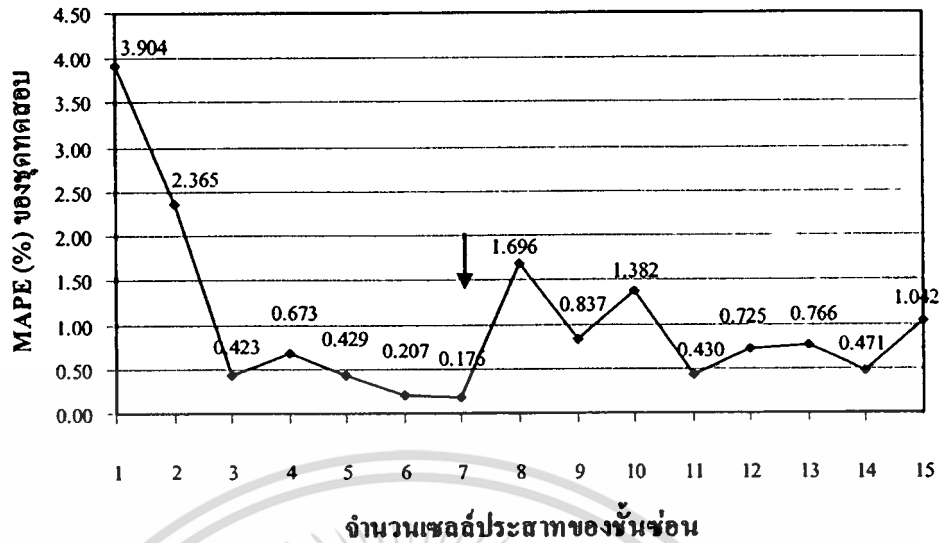
$a_1$  คือ ตัวแปรด้านออกของชั้นซ่อน

$a_2$  คือ ตัวแปรด้านออกของโครงข่ายประสาทเทียม (Peak Load)

#### 5.3.4 จำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนที่เหมาะสม

วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้วิธีหาจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อน ด้วยการเริ่มต้นจากจำนวน 1 เซลล์ และทำการฝึกสอน ซึ่งในแต่ละครั้งค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสเริ่มต้นจะใช้เลขแบบสุ่ม จากนั้นจะทำการทดสอบและคำนวณค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ และทำการปรับเพิ่มจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 จนถึง 15 เพื่อหาโครงสร้างที่ให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ต่ำที่สุด ซึ่งแต่ละโครงสร้างจะทำการฝึกสอนจำนวน 30 ครั้ง ในการฝึกสอนแต่ละครั้งจะทำการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสจำนวน 1,000 epochs ดังแสดงในรูปที่ 5.6 ซึ่งพบว่าจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนที่เหมาะสมคือจำนวน 7 เซลล์

ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ค่าผิดพลาดจากการทดสอบต่ำที่สุดจะสามารถนำไปพยากรณ์ Peak Load ในอนาคตได้ โดยนำค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสไปใช้กับชุดพยากรณ์ที่ได้จัดเตรียมไว้



รูปที่ 5.6 การเลือกจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อน

### 5.3.5 การปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัส

วิทยานิพนธ์นี้จะปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสของโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับของ Levenberg-Marquardt Algorithm โดยจะปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสเพื่อทำให้ค่าผิดพลาดในรอบต่อไปมีค่าลดลง ซึ่งค่าน้ำหนัก “w” และค่าไบอัส “b” ของรอบต่อไปจะถูกรับใหม่ ตามสมการที่ 5.6 และ 5.7

$$w^{new} = w^{old} + [J^T(w)J(w) + \mu I]^{-1} J^T(w) \cdot e \quad (5.6)$$

$$b^{new} = b^{old} + [J^T(b)J(b) + \mu I]^{-1} J^T(b) \cdot e \quad (5.7)$$

โดยที่

- $J(w)$  คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ของอนุพันธ์ค่าผิดพลาดเทียบกับค่าน้ำหนัก
- $J(b)$  คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ของอนุพันธ์ค่าผิดพลาดเทียบกับค่าไบอัส
- $e$  คือ เมตริกซ์ของค่าผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตเป้าหมายกับตัวแปรด้านออก
- $J^T(w) \cdot e$  คือ Gradient Factor ของค่าน้ำหนัก
- $J^T(b) \cdot e$  คือ Gradient Factor ของค่าไบอัส
- $\mu$  คือ Learning Factor ซึ่งมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.001
- $I$  คือ Identity Matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสของโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มี 2 ชั้น โดยใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับของ Levenberg-Marquardt Algorithm จะมีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการสิ้นสุดของการฝึกสอนดังนี้

### 1 ค่า Gradient Factor

ในการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสแต่ละรอบนั้นค่า Gradient Factor (ค่า  $J'(w) \cdot e$  หรือค่า  $J'(b) \cdot e$ ) จะเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับค่าผิดพลาด ( $e$ ) ใน epoch นั้นๆ ซึ่งการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อค่า Gradient Factor มีค่าน้อยกว่า  $1 e^{-10}$

### 2 ค่า Learning Factor

ในการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสแต่ละรอบนั้น ถ้าค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้นก็จะมี การปรับค่า  $\mu$  ให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่า Gradient Factor มีแนวโน้มที่จะลดลง หลังจากนั้นค่า  $\mu$  ก็ จะถูกปรับลดลงเรื่อยๆ และค่า  $\mu$  จะถูกปรับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่ง การฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อค่า  $\mu$  มีค่ามากกว่า  $1 e^{10}$

โดยค่า  $\mu$  เริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับ 0.001 และการปรับค่า  $\mu$  ให้เพิ่มขึ้นก็จะทำโดยการคูณด้วยค่า Increased Factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 ส่วนการปรับค่า  $\mu$  ให้ลดลงนั้นก็ทำโดยการคูณด้วยค่า Decreased Factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1

### 5.3.6 การวัดประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม

การวัดความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ค่าผิดพลาดเฉลี่ย สมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) จากค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์ที่เป็น ค่าตอบของโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอนแล้วเปรียบเทียบกับค่าตอบจริง ดังนี้

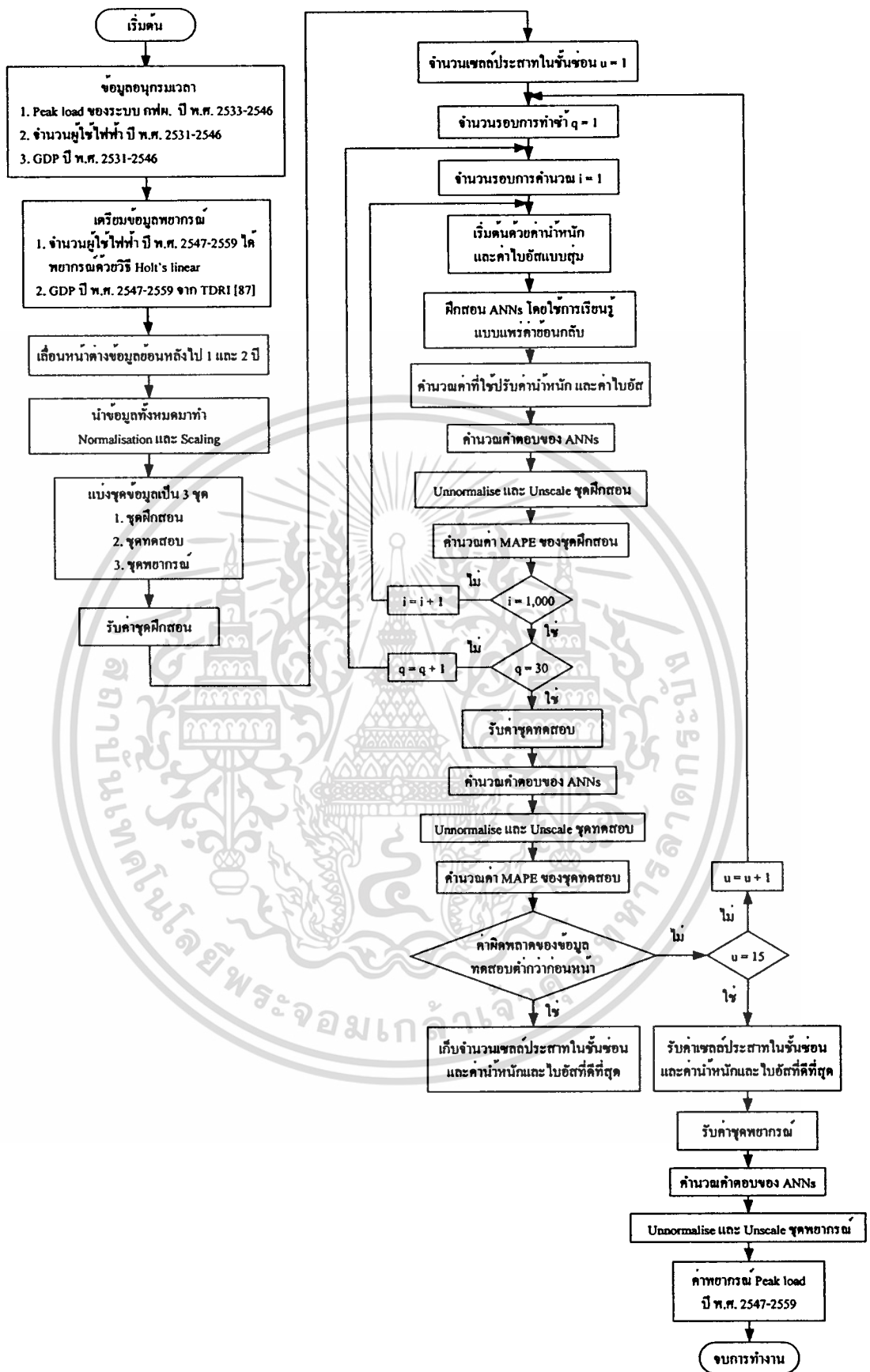
$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Peak Load Output_{Actuali} - Peak Load Output_{ANNsi}}{Peak Load Output_{Actuali}} \right| \times 100\% \quad (5.8)$$

โดย

$Peak Load Output_{ANNsi}$	คือ Peak Load ที่เป็นคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียม
$Peak Load Output_{Actuali}$	คือ Peak Load ที่เป็นคำตอบจริง
N	คือ จำนวนข้อมูลทดสอบ

ซึ่งขั้นตอนการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมดสามารถแสดงได้ดัง รูปที่ 5.7 ส่วนผลลัพธ์ของการพยากรณ์ Peak Load นั้นจะแสดงในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ขั้นตอนการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

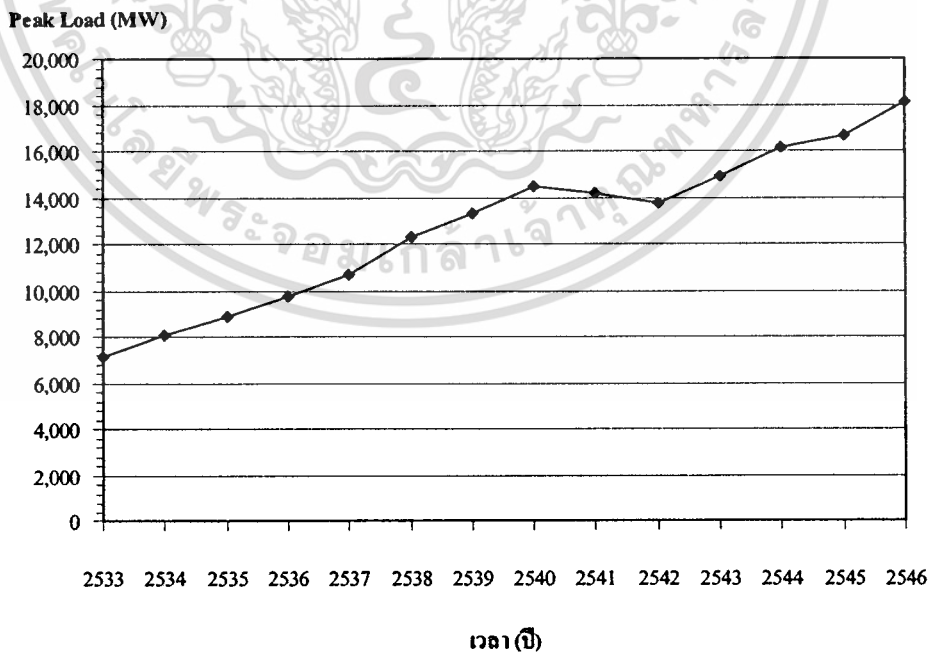
## บทที่ 6

# การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว โดยใช้วิธีการทางสถิติ

บทนี้จะกล่าวถึงการพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวโดยใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งจะใช้วิธี Double Exponential Smoothing : Holt Linear และวิธี Multiple Linear Regression โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม SPSS 11.5 for Windows [77] จากนั้นจะนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปทดสอบใช้งานการพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ระยะยาวต่อไป

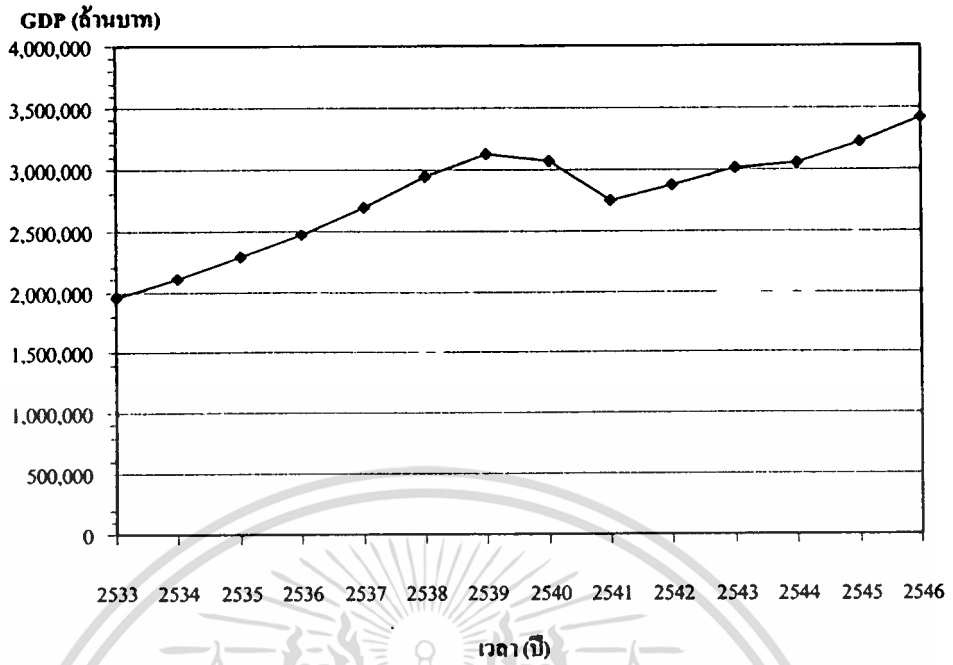
### 6.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า

จากข้อมูลค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ในอดีตช่วงปี พ.ศ. 2533–2546, ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ในอดีตช่วงปี พ.ศ. 2533–2546 และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ในอดีตช่วงปี พ.ศ. 2533–2546 ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ถึง 6.3 พบว่ามีทั้งลักษณะเชิงเส้น และลักษณะไม่เชิงเส้น

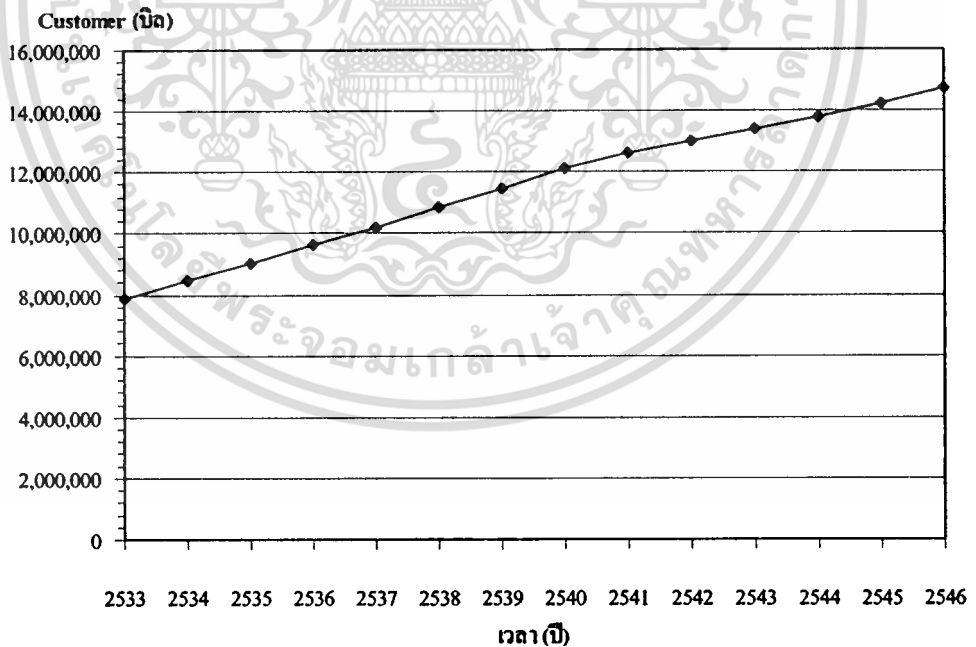


รูปที่ 6.1 ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ในช่วงปี พ.ศ. 2533–2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

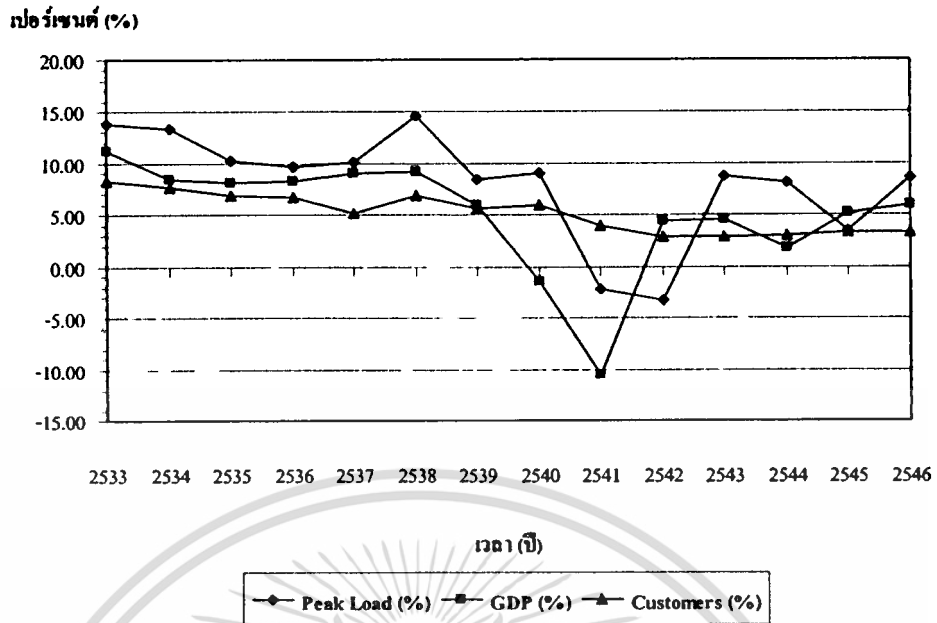


รูปที่ 6.2 ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ในช่วงปี พ.ศ. 2533–2546



รูปที่ 6.3 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2533–2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายตัวของค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP), จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ และค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ.

จากรูปที่ 6.4 แสดงให้เห็นว่าอัตราการขยายตัว (ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลต่อปี) ของค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) และอัตราการขยายตัวของจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกันกับอัตราการขยายตัวของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ด้วยเหตุนี้ถ้าหากทราบทิศทางการเติบโตทางเศรษฐกิจของไทย และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าในอนาคตก็จะทำให้สามารถทราบค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในอนาคตได้

## 6.2 การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางสถิติ, ใช้ในการทดสอบ และใช้ในการพยากรณ์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะประกอบด้วย ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ในช่วงปี พ.ศ. 2533–2546, จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2533–2546 ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมมาจาก กฟผ., กฟน. และ กฟผ. และค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ในช่วงปี พ.ศ. 2533–2546 ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมมาจากสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI)

ส่วนจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 ได้ทำการพยากรณ์โดยใช้วิธี Holt's Linear ส่วนค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 ได้ใช้ค่าพยากรณ์ของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย ซึ่งมีสมมติฐานในการพยากรณ์เศรษฐกิจไทย 3 ระดับ คือ กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 3.7-3.8 ต่อปี), กรณีเศรษฐกิจเอกราชนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายตัวปานกลาง (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 5.0 ต่อปี) และกรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 6.4-6.6 ต่อปี) [87]

จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาแบ่งเป็น 3 ชุด ซึ่งจะได้ชุดข้อมูลเป็นดังนี้

1 ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลอง (Fitting)

- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2533-2543
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2533-2543
- ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ช่วงปี พ.ศ. 2533-2543

2 ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (Testing)

- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2544-2546
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2544-2546
- ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. ช่วงปี พ.ศ. 2544-2546

3 ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ (Forecasting)

- จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2547-2559
- ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ช่วงปี พ.ศ. 2547-2559

การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวโดยใช้วิธีการทางสถิติในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้แบบจำลองทางสถิติในการพยากรณ์ตัวแปรด้านนอก คือ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งวิธี Holt Linear จะใช้ตัวแปรด้านเข้า คือ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในอดีตเพื่อพยากรณ์ค่าของตัวแปรนั้นในอนาคต ส่วนในวิธี Multiple Linear Regression นั้นจะใช้ตัวแปรด้านเข้าที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรด้านนอก ซึ่งได้แก่ ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ

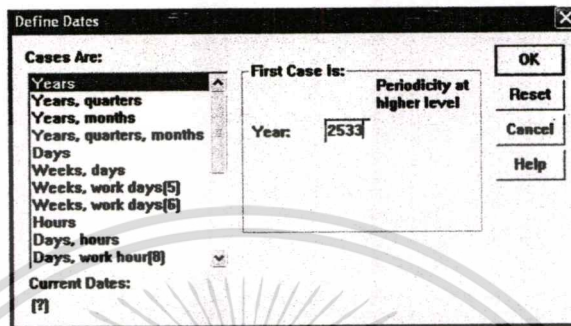
### 6.3 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธี Holt's Linear

วิธีนี้จะสร้างสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Peak Load กับเวลาเท่านั้น โดยไม่คำนึงปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีความสัมพันธ์กับ Peak Load ดังนั้นเมื่อได้วิเคราะห์แนวโน้มของ Peak Load ที่ผ่านมาในอดีตก็จะสมมติว่าเป็นไปเช่นเดียวกันในอนาคต

วิธี Holt's Linear เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีลักษณะแนวโน้มเชิงเส้นรวมอยู่ด้วยโดยจะให้ความสำคัญกับข้อมูลล่าสุดมากที่สุด และจะค่อยๆ ลดลงตามความห่างไกลของข้อมูล โดยมีความคงที่ที่ทำให้เรียบ 2 ค่า คือ  $\alpha$  และ  $\beta$  ซึ่งการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้วิธี Holt's Linear ด้วยโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows [77] มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

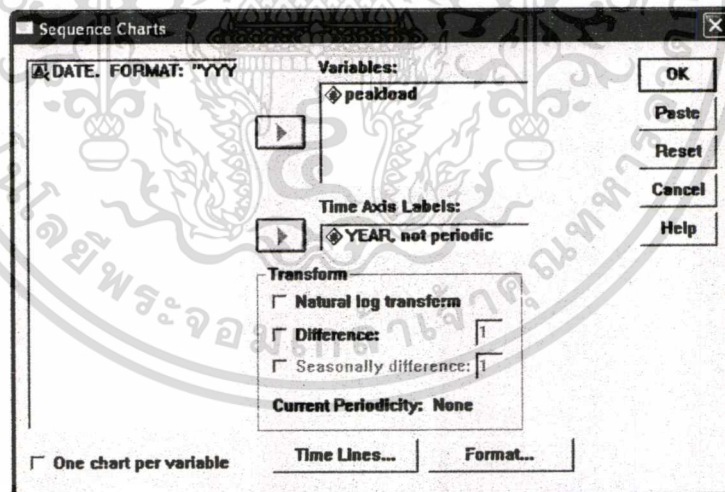
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นที่ 1 สร้างเพิ่มอนุกรมเวลาของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ในช่วงปี พ.ศ. 2533–2543 ซึ่งจะใช้ชื่อว่า Holt
- ขั้นที่ 2 ใช้คำสั่ง Data, Define Date เพื่อใส่ปีให้แก่ข้อมูลตัวแปรความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ซึ่งจะได้หน้าจอดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 กรอบคำสั่ง Define Dates

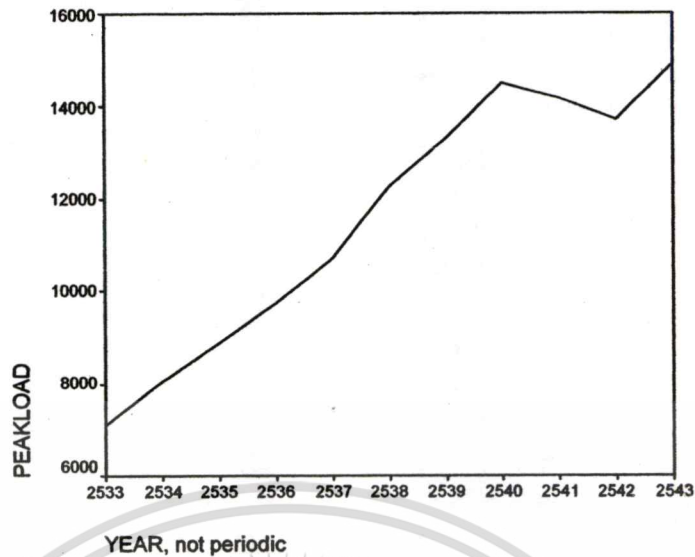
- ขั้นที่ 3 ใช้คำสั่ง Graphs, Sequence เพื่อดูรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Peak Load ว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งจะได้หน้าจอดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 กรอบคำสั่ง Sequence Charts

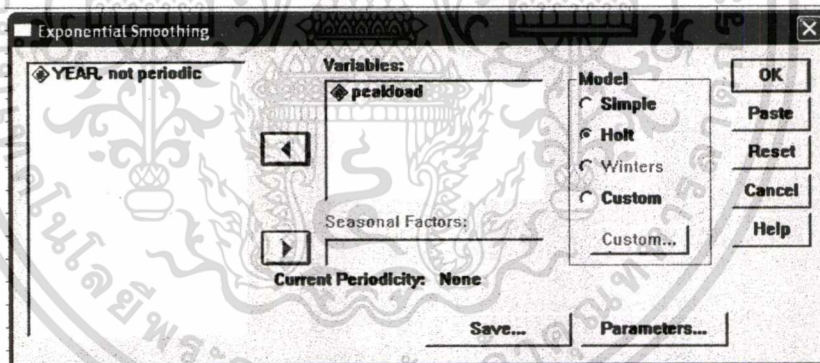
จากรูปที่ 6.7 จะเห็นว่าข้อมูลอนุกรมเวลาของตัวแปร Peak Load มีองค์ประกอบแนวโน้มเป็นแบบเชิงเส้นและไม่มีองค์ประกอบฤดูกาล ซึ่งจากรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.2 ดังนั้นจึงได้เลือกใช้วิธี Double Exponential Smoothing : Holt's Linear ในการพยากรณ์ Peak Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



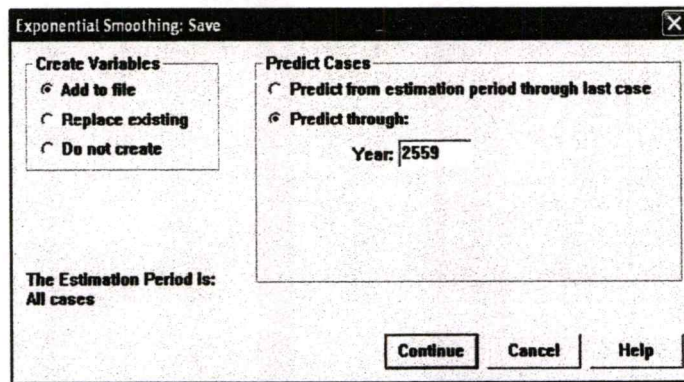
รูปที่ 6.7 กราฟของตัวแปร Peak Load

ขั้นที่ 4 ใช้คำสั่ง Analyze, Time Series, Exponential Smoothing เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งจะได้หน้าจอดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 กรอบคำสั่ง Exponential Smoothing

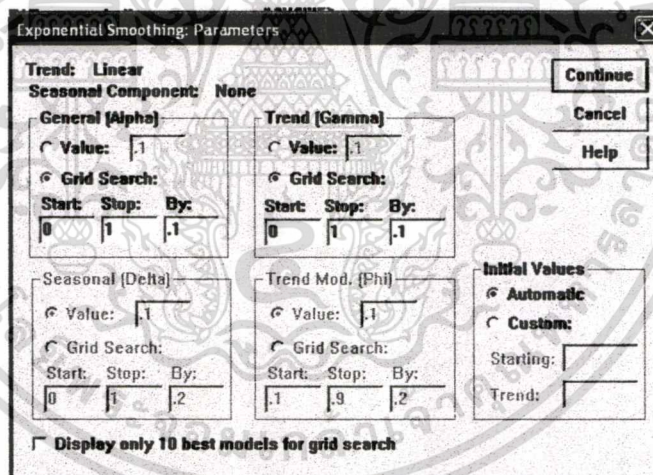
เลือกตัวแปร Peak Load ไปใส่ใน Box ของ Variables ในส่วนของ Model จะเลือกใช้วิธี Holt เนื่องจากในรูปที่ 6.7 พบว่าตัวแปร Peak Load มีส่วนที่แสดงแนวโน้ม และไม่มีส่วนที่เป็นฤดูกาล จากนั้นเลือก Save ก็จะได้หน้าจอดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 กรอบคำสั่งย่อย Exponential Smoothing : Save

ใน Create Variables จะเลือก Add to file เพื่อนำตัวแปรที่สร้างใหม่ คือ Residual ( $e_t$ ) และค่าพยากรณ์ ( $F_t$ ) ใส่ในแฟ้ม Holt ในส่วน Predict Cases จะเลือก Predict through เพื่อให้โปรแกรมหาค่า  $F_t$  จนถึงปีที่พยากรณ์ จากนั้นเลือก Continue ก็จะกลับไปหน้าจอในรูปที่ 6.8

ในหน้าจอรูปที่ 6.8 เลือก Parameters เพื่อกำหนดค่า  $\alpha$   $\beta$  และค่าเริ่มต้นในสมการพยากรณ์ ซึ่งจะได้หน้าจอรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 กรอบคำสั่งย่อย Exponential Smoothing : Parameters

- General (Alpha) ใช้ควบคุมน้ำหนักที่จะให้แก่ข้อมูลแต่ละค่า ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1
- Trend (Gamma) ใช้ควบคุมน้ำหนักที่จะให้แก่ข้อมูลแต่ละค่า ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1
- Initial Values ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นและค่าแนวโน้มที่ใช้ในการปรับปรุงข้อมูลให้เรียบ

ในที่นี้ได้เลือก Grid Search เพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาค่าเหมาะสมที่ทำให้ได้ค่า SSE ต่ำที่สุด และเลือก Automatic เพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาค่าเริ่มต้นและค่าแนวโน้มที่เหมาะสม จากนั้นเลือก Continue ก็จะกลับไปหน้าจอในรูปที่ 6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหน้าจอในรูปที่ 6.8 เมื่อเลือก OK ก็จะได้ผลลัพธ์เป็นดังนี้

### ExSmooth

MODEL: MOD\_1.

Results of EXSMOOTH procedure for Variable PEAKLOAD

MODEL= HOLT (Linear trend, no seasonality)

Initial values:      Series              Trend  
                                  6702.47000      782.46000

DFE = 9.

Alpha	Gamma	SSE
.000000	.000000	5680065.9459
.000000	.100000	5680065.9459
.000000	.200000	5680065.9459
.000000	.300000	5680065.9459
.000000	.400000	5680065.9459
.000000	.500000	5680065.9459
.000000	.600000	5680065.9459
.000000	.700000	5680065.9459
.000000	.800000	5680065.9459
.000000	.900000	5680065.9459
.000000	1.000000	5680065.9459
.100000	.000000	5842473.6570
.100000	.100000	6136497.1997
.100000	.200000	6450035.2261
.100000	.300000	6784629.1093
.100000	.400000	7141190.0452
.100000	.500000	7519910.5413
.100000	.600000	7920238.5013
.100000	.700000	8340898.5334
.100000	.800000	8779947.6636
.100000	.900000	9234854.8674
.100000	1.000000	9702595.7649
.200000	.000000	5931990.3923
.200000	.100000	6487659.7022
.200000	.200000	7096837.9604
.200000	.300000	7749965.7573
.200000	.400000	8432175.8507
.200000	.500000	9125013.5907
.200000	.600000	9808383.6164
.200000	.700000	10462373.608
.200000	.800000	11068762.577
.200000	.900000	11612129.959
.200000	1.000000	12080554.131
.300000	.000000	5879255.5452
.300000	.100000	6586451.3566
.300000	.200000	7332545.2272
.300000	.300000	8076329.9370
.300000	.400000	8774547.8631
.300000	.500000	9389149.6902
.300000	.600000	9892071.3776
.300000	.700000	10267318.121
.300000	.800000	10510811.394
.300000	.900000	10628699.030
.300000	1.000000	10634830.737

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Results of EXSMOOTH procedure for Variable PEAKLOAD (CONTINUED)**  
**MODEL= HOLT (Linear trend, no seasonality)**

Alpha	Gamma	SSE
.4000000	.0000000	5682126.9306
.4000000	.1000000	6412402.6508
.4000000	.2000000	7122932.6167
.4000000	.3000000	7750581.5431
.4000000	.4000000	8248637.4041
.4000000	.5000000	8593966.2700
.4000000	.6000000	8786502.8297
.4000000	.7000000	8843993.1976
.4000000	.8000000	8794940.5662
.4000000	.9000000	8671889.1354
.4000000	1.0000000	8506220.5056
.5000000	.0000000	5389749.7613
.5000000	.1000000	6058408.8642
.5000000	.2000000	6646090.7895
.5000000	.3000000	7095010.0611
.5000000	.4000000	7383674.7758
.5000000	.5000000	7523519.2092
.5000000	.6000000	7547089.5463
.5000000	.7000000	7495075.4197
.5000000	.8000000	7406338.1249
.5000000	.9000000	7312203.1131
.5000000	1.0000000	7234506.3118
.6000000	.0000000	5061534.8755
.6000000	.1000000	5637617.0258
.6000000	.2000000	6096063.2738
.6000000	.3000000	6403417.1877
.6000000	.4000000	6570378.6817
.6000000	.5000000	6634613.7773
.6000000	.6000000	6641445.7501
.6000000	.7000000	6630482.4937
.6000000	.8000000	6629638.1465
.6000000	.9000000	6654636.7566
.6000000	1.0000000	6711334.2335
.7000000	.0000000	4743331.0650
.7000000	.1000000	5231818.2487
.7000000	.2000000	5594295.4569
.7000000	.3000000	5824708.3275
.7000000	.4000000	5955794.2317
.7000000	.5000000	6033127.8661
.7000000	.6000000	6096221.1155
.7000000	.7000000	6170611.0611
.7000000	.8000000	6267831.5935
.7000000	.9000000	6388914.5611
.7000000	1.0000000	6528410.2788
.8000000	.0000000	4461667.3817
.8000000	.1000000	4882997.5051
.8000000	.2000000	5189475.5917
.8000000	.3000000	5395214.9196
.8000000	.4000000	5540615.0956
.8000000	.5000000	5665212.1972
.8000000	.6000000	5794508.6602
.8000000	.7000000	5938615.3323
.8000000	.8000000	6096402.6168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Results of EXSMOOTH procedure for Variable PEAKLOAD (CONTINUED)**  
**MODEL= HOLT (Linear trend, no seasonality)**

Alpha	Gamma	SSE
.8000000	.9000000	6260592.7516
.8000000	1.000000	6421865.6747
.9000000	.0000000	4227172.5304
.9000000	.1000000	4603796.7355
.9000000	.2000000	4885567.6862
.9000000	.3000000	5096714.6989
.9000000	.4000000	5274480.7727
.9000000	.5000000	5446353.9059
.9000000	.6000000	5624029.2741
.9000000	.7000000	5806988.5138
.9000000	.8000000	5988562.1425
.9000000	.9000000	6161019.2902
.9000000	1.000000	6318857.7386
1.000000	.0000000	4040393.7369
1.000000	.1000000	4390686.6648
1.000000	.2000000	4667211.6753
1.000000	.3000000	4896024.1261
1.000000	.4000000	5105942.0680
1.000000	.5000000	5312635.7795
1.000000	.6000000	5518647.9403
1.000000	.7000000	5719629.3897
1.000000	.8000000	5910465.6533
1.000000	.9000000	6089292.6916
1.000000	1.000000	6259630.6778

**The 10 smallest SSE's are:**

Alpha	Gamma	SSE
1.000000	.0000000	4040393.7369
.9000000	.0000000	4227172.5304
1.000000	.1000000	4390686.6648
.8000000	.0000000	4461667.3817
.9000000	.1000000	4603796.7355
1.000000	.2000000	4667211.6753
.7000000	.0000000	4743331.0650
.8000000	.1000000	4882997.5051
.9000000	.2000000	4885567.6862
1.000000	.3000000	4896024.1261

**The following new variables are being created:**

**NAME LABEL**

FIT\_1 Fit for PEAKLOAD from EXSMOOTH, MOD\_1 HO A1.00 G .00  
 ERR\_1 Error for PEAKLOAD from EXSMOOTH, MOD\_1 HO A1.00 G .00

**16 new cases have been added.**

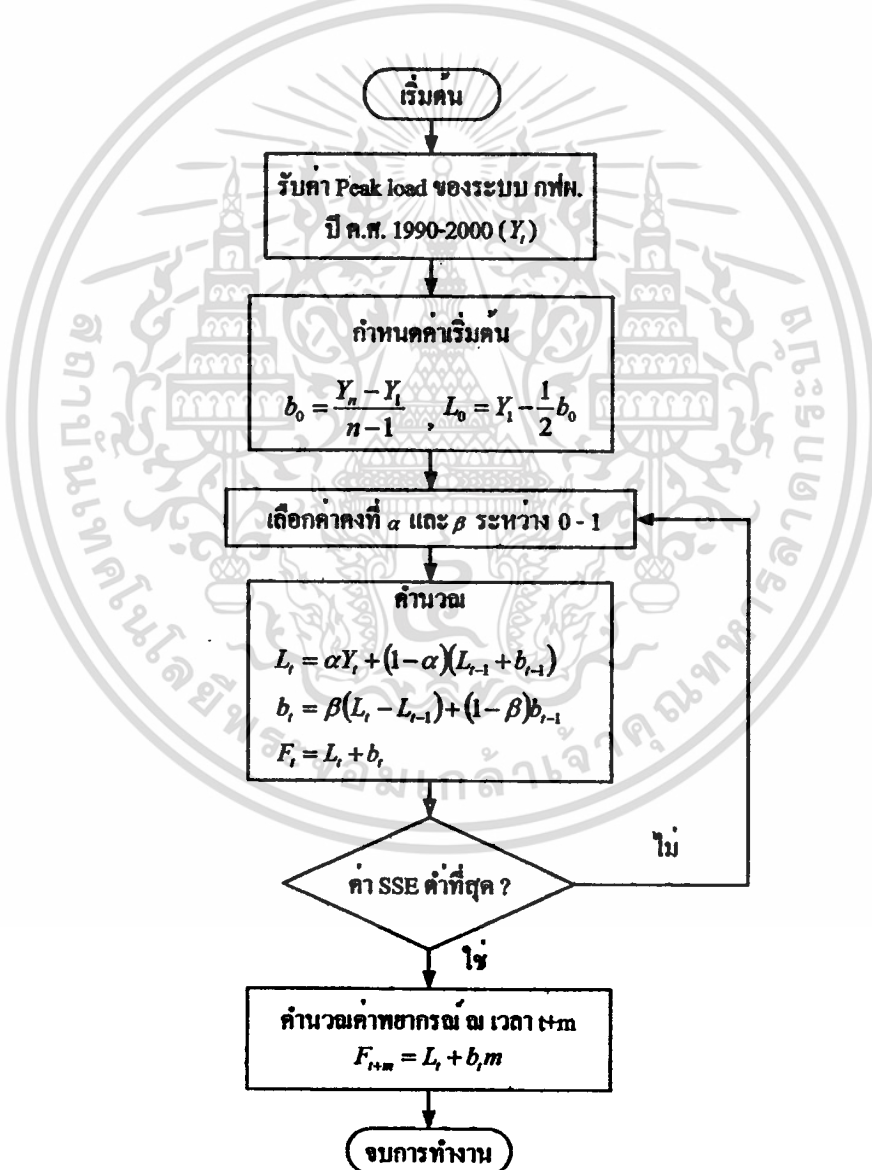
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows สามารถสรุปได้ดังนี้

- เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิคของ Holt ซึ่งข้อมูลจะมีส่วนประกอบแนวโน้มในรูปเชิงเส้น แต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล

- จากค่า Initial Value จะได้ส่วนตัดแกน = 6702.47 และได้ค่าแนวโน้ม = 782.46

- จากการหาค่าที่เหมาะสมของ  $\alpha$ ,  $\beta$  โปรแกรมจะหาค่า Parameters นี้โดยมีค่าเริ่มต้นที่ 0.1 และจะเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 ถึง 1 จนกว่าจะได้ค่า SSE (Sum Square Error) น้อยที่สุด โดยพบว่าค่า SSE จะมีค่าน้อยที่สุด เมื่อ  $\alpha = 1$  และ  $\beta = 0$  ซึ่งได้ค่า SSE = 4040393.7369 ส่วนผลลัพธ์การพยากรณ์ Peak Load นั้นจะแสดงในบทถัดไป

ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้วิธี Holt's Linear ได้ดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 ขั้นตอนการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้วิธี Holt's Linear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

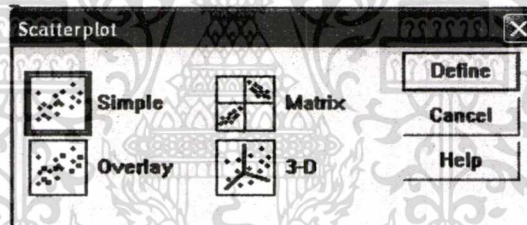
## 6.4 การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธี Multiple Linear Regression

วิธีการนี้จะสร้างสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร Peak Load กับตัวแปรทางเศรษฐกิจ เช่น ผลิตภัณฑ์รวมในประเทศ (GDP) และจำนวนประชากร (Customer) โดยสังเกตจากความสัมพันธ์ของข้อมูลในอดีต โดยได้กำหนดให้ตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable) ส่วนตัวแปรที่เลือกแทนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ซึ่งจะกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

จากสมการเมื่อทราบค่าผลิตภัณฑ์รวมในประเทศ และจำนวนประชากรที่จะเป็นไปในอนาคตก็ทำให้สามารถคำนวณหาค่า Peak Load ในอนาคตได้ ซึ่งการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้วิธี Multiple Linear Regression ด้วยโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

ขั้นที่ 1 สร้างแฟ้มข้อมูลตัวแปร Peak Load, GDP และ Customer ในช่วงปี พ.ศ. 2533–2543 ซึ่งจะใช้ชื่อว่า Multiple Regression

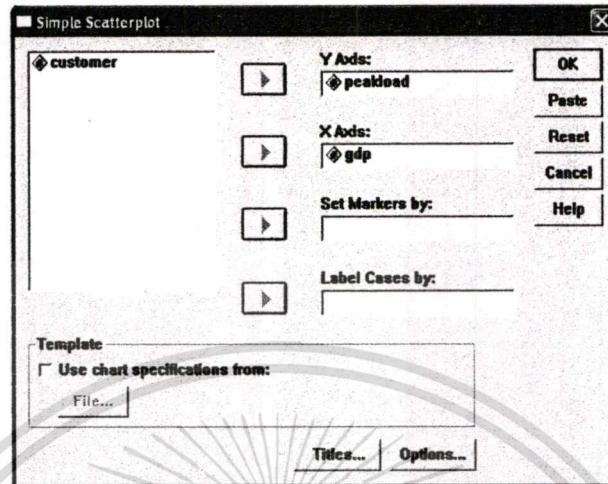
ขั้นที่ 2 ใช้คำสั่ง Graphs, Scatter เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์เบื้องต้นระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ซึ่งจะได้หน้าจอดังรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.12 กรอบคำสั่ง Scatterplot

- Simple เป็นคำสั่ง Plot กราฟ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพียง 2 ตัวเท่านั้น
- Overlay เป็นคำสั่ง Plot กราฟ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมากกว่า 2 ตัว โดยดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอย่างน้อยทีละ 2 คู่ ผลที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของแต่ละคู่ไว้ในรูปเดียวกัน
- Matrix เป็นคำสั่ง Plot กราฟ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมากกว่า 2 ตัว โดยดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทีละคู่ ผลที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ไว้คนละรูป และแต่ละรูปก็จะวางเรียงกันเป็น Matrix
- 3-D เป็นคำสั่ง Plot กราฟ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 3 ตัวพร้อมกันไว้ในรูปเดียวกัน

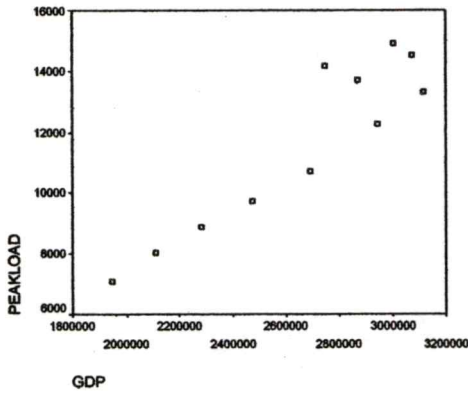
ในที่นี้ได้เลือก Scatterplot แบบ Simple เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ระบุซึ่งจะได้ หน้าจอ ดังรูปที่ 6.13



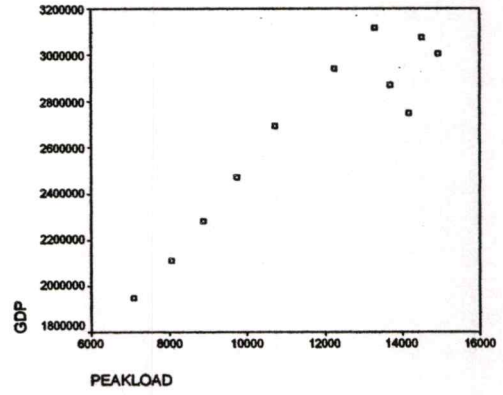
รูปที่ 6.13 กรอบคำสั่งย่อย Simple : Scatterplot

จากรูปที่ 6.14 เมื่อดูลักษณะการกระจายของจุดต่างๆ บนกราฟระหว่างตัวแปรอิสระ GDP กับตัวแปรตาม Peak Load ดังแสดงในรูปที่ 6.14 (ก) หรือระหว่างตัวแปรตาม Peak Load กับตัวแปรอิสระ GDP ในรูปที่ 6.14 (ข) จะพบว่าลักษณะการกระจายของจุดต่างๆ มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง (แต่ถ้าลักษณะการกระจายของจุดต่างๆ บนกราฟเป็นไปอย่างไม่มีระบบก็แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.10) และเมื่อได้ดูลักษณะการกระจายของจุดต่างๆ ระหว่างตัวแปรอิสระ Customer กับตัวแปรตาม Peak Load ดังรูปที่ 6.14 (ค) หรือระหว่างตัวแปรตาม Peak Load กับตัวแปรอิสระ Customer ในรูปที่ 6.14 (ง) ก็จะพบว่าลักษณะการกระจายของจุดต่างๆ บนกราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงเช่นกัน

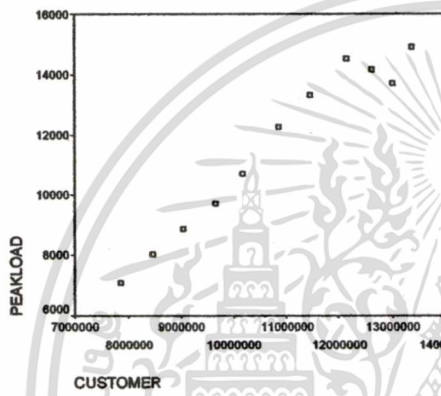
เมื่อได้ดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ GDP กับตัวแปรอิสระ Customer ดังรูปที่ 6.14 (จ) หรือระหว่างตัวแปรอิสระ Customer กับตัวแปรอิสระ GDP ในรูปที่ 6.14 (ฉ) ซึ่งได้พบว่าอาจจะมี ความสัมพันธ์กัน อย่างไรก็ตามจะทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระต่างๆ อีกครั้ง โดยใช้คำสั่ง Collinearity Diagnostics เพื่อดูระดับความสัมพันธ์และทดสอบระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ



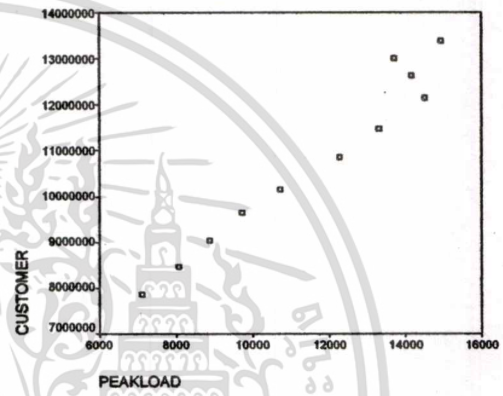
(ก)



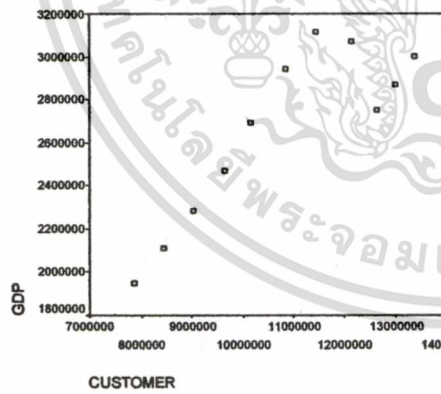
(ข)



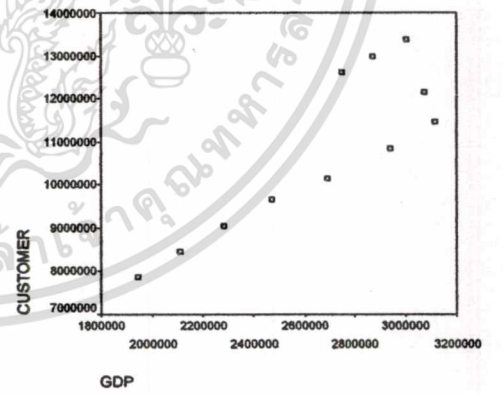
(ค)



(ง)



(จ)

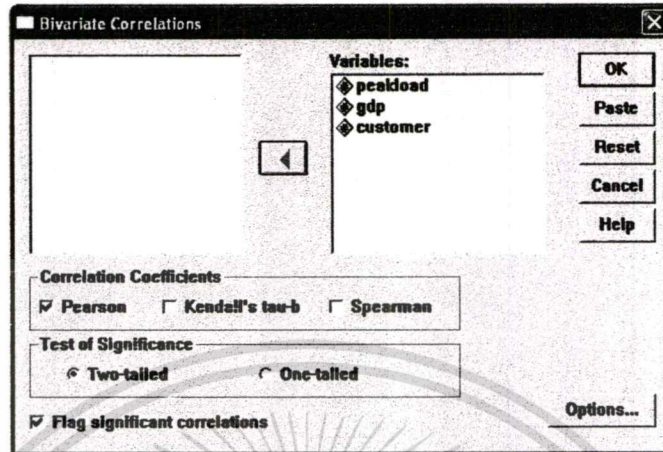


(ฉ)

รูปที่ 6.14 กราฟที่ได้จากการ Plot เพื่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ละคู่ด้วยคำสั่ง Simple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 ใช้คำสั่ง Analyze, Correlate, Bivariate เพื่อดูระดับความสัมพันธ์และทดสอบระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ซึ่งจะได้หน้าจอดังรูปที่ 6.15



รูปที่ 6.15 กรอบคำสั่ง Bivariate Correlations

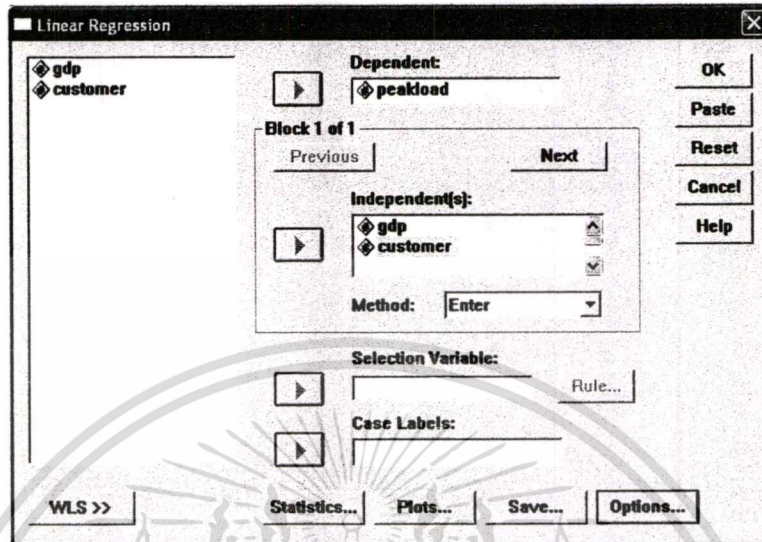
จากตารางที่ 6.1 จะเห็นว่าตัวแปร Peak Load, GDP และ Customer มีความสัมพันธ์กัน โดยที่ตัวแปร Peak Load จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปร Customer มาก (โดยที่ Pearson Correlation หรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ :  $r = 0.979$ ) รองลงมาคือตัวแปร GDP ( $r = 0.932$ ) และเมื่อได้ทำการพิจารณาถึงระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร GDP กับตัวแปร Customer ซึ่งได้พบว่าตัวแปรคู่นี้มีความสัมพันธ์กัน ( $r = 0.869$ ) และมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $\text{Sig.} < 0.05$ )

ตารางที่ 6.1 ผลลัพธ์จากการใช้คำสั่ง Bivariate Correlations

		PEAKLOAD	GDP	CUSTOMER
PEAKLOAD	Pearson Correlation	1	.932**	.979**
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.000
	N	11	11	11
GDP	Pearson Correlation	.932**	1	.869**
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.001
	N	11	11	11
CUSTOMER	Pearson Correlation	.979**	.869**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.001	.
	N	11	11	11

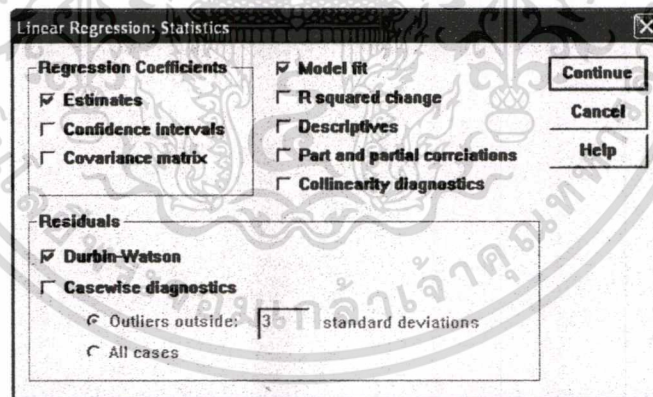
\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ขั้นที่ 4 ใช้คำสั่ง Analyze, Regression, Linear เพื่อทำการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งจะได้หน้าจอตั้ง  
รูปที่ 6.16



รูปที่ 6.16 กรอบคำสั่ง Linear Regression

จากรูปที่ 6.16 เมื่อเลือก Statistics ก็จะได้หน้าจอตั้งรูปที่ 6.17



รูปที่ 6.17 กรอบคำสั่งย่อย Linear Regression : Statistics

จากนั้นเลือก Continue ก็จะกลับไปหน้าจอรูปที่ 6.16 แล้วเลือก Plots เพื่อตรวจสอบเงื่อนไข  
ความคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ และความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน  
คงที่หรือไม่ ซึ่งจะได้หน้าจอตั้งรูปที่ 6.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.18 กรอบคำสั่งย่อย Linear Regression : Plots

จากนั้นเลือก Continue ก็จะกลับไปหน้าจอรูปที่ 6.16 แล้วเลือก OK ก็จะได้ผลลัพธ์เป็นดังนี้

## Regression

### Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	CUSTOMER, GDP	.	Enter

- a. All requested variables entered.  
b. Dependent Variable: PEAKLOAD

### Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.992 <sup>a</sup>	.985	.981	385.35366	1.712

- a. Predictors: (Constant), CUSTOMER, GDP  
b. Dependent Variable: PEAKLOAD

### ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7.7E+07	2	38703300.2	260.633	.000 <sup>a</sup>
	Residual	1187980	8	148497.443		
	Total	7.9E+07	10			

- a. Predictors: (Constant), CUSTOMER, GDP  
b. Dependent Variable: PEAKLOAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-5576.990	813.956		-6.852	.000
	GDP	.002	.001	.332	3.783	.005
	CUSTOMER	.001	.000	.690	7.865	.000

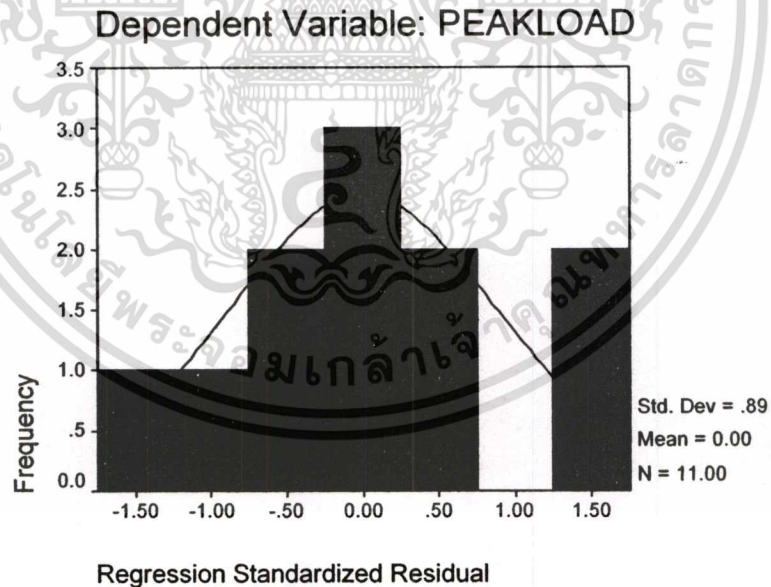
a. Dependent Variable: PEAKLOAD

Residuals Statistics<sup>a</sup>

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	6941.982	15017.27	11577.28	2782.20417	11
Residual	-609.7121	587.7099	.0000	344.67079	11
Std. Predicted Value	-1.666	1.236	.000	1.000	11
Std. Residual	-1.582	1.525	.000	.894	11

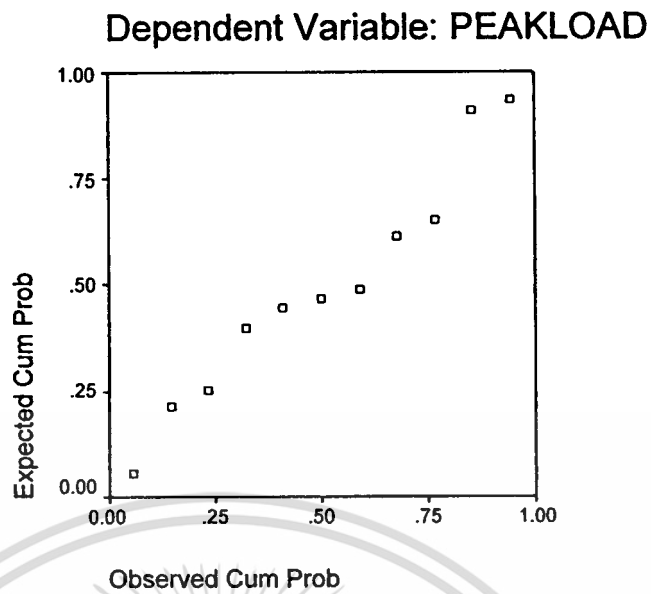
a. Dependent Variable: PEAKLOAD

## Charts

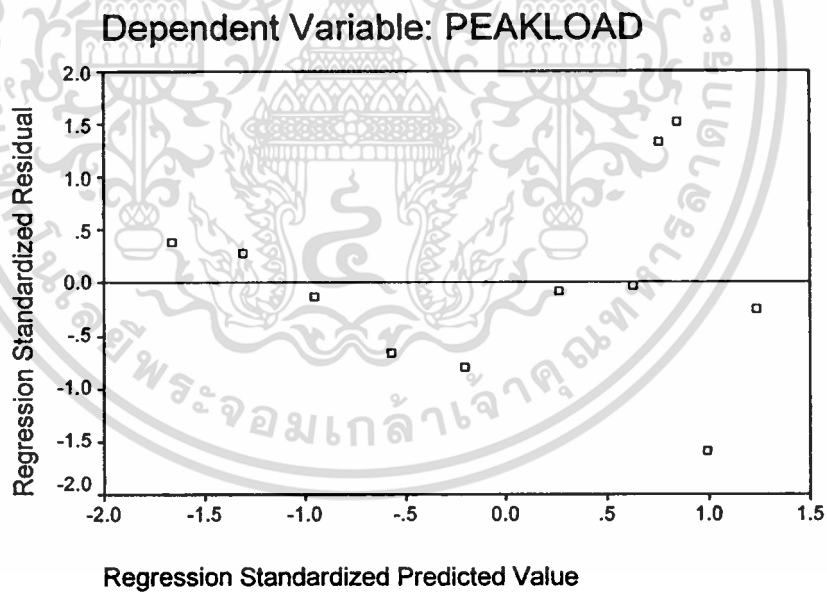


รูปที่ 6.19 กราฟ Histogram ของ Regression Standardize Residual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.20 กราฟ P-P Plot ของ Regression Standardize Residual



รูปที่ 6.21 กราฟ Scatter ระหว่างค่า Regression Standardized Residual กับค่า Regression Standardized Predicted Value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows สามารถสรุปได้ดังนี้

1 ความเชื่อถือได้ของสมการถดถอยสามารถพิจารณาได้จากตาราง Model Summary ดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน (R) = 0.992

- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) = 0.985 นั่นคือตัวแปร GDP และตัวแปร Customer มีความสัมพันธ์กับตัวแปร Peak Load สูงมาก และสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Peak Load ได้ถึงร้อยละ 98.5%

- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปราศจากความเบี่ยงเบน (Adjust R Square) = 0.981

2 ทดสอบสมมติฐานความเชื่อถือได้ของสมการถดถอยโดยพิจารณาจากการทดสอบค่าความแปรปรวนในตาราง ANOVA ดังนี้

- สถิติทดสอบ F = 260.633 และค่า Sig. = 5.219e-008 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือมีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามในรูปเชิงเส้น ซึ่งต้องทดสอบต่อไปเพื่อความีตัวแปรอิสระใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้สถิติทดสอบ t แล้วดูว่าค่า Sig. < 0.05 หรือไม่

3 ทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ในสมการถดถอยโดยพิจารณาการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ในตาราง Coefficients ซึ่งจะได้สมการถดถอย ดังนี้

$$Peak Load = -5576.9897 + 0.0023(GDP) + 0.001(Customer)$$

- สถิติทดสอบ t = -6.852, 3.783, 7.865 และค่า Sig. = 0.0001, 0.0053 และ 4.93e-005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  ดังนั้นจึงสรุปว่าตัวแปรอิสระทุกตัวมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม

4 การทดสอบค่าความผิดพลาด

- พิจารณารูปแบบการแจกแจงของค่าความผิดพลาดในฮิสโตแกรมรูปที่ 6.19 พบว่ามีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ และเมื่อพิจารณา Normal Probability Plot ของ Standardized Residuals ในรูปที่ 6.20 พบว่าไม่เบี่ยงเบนจากเส้นทแยงมุม ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงที่ว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

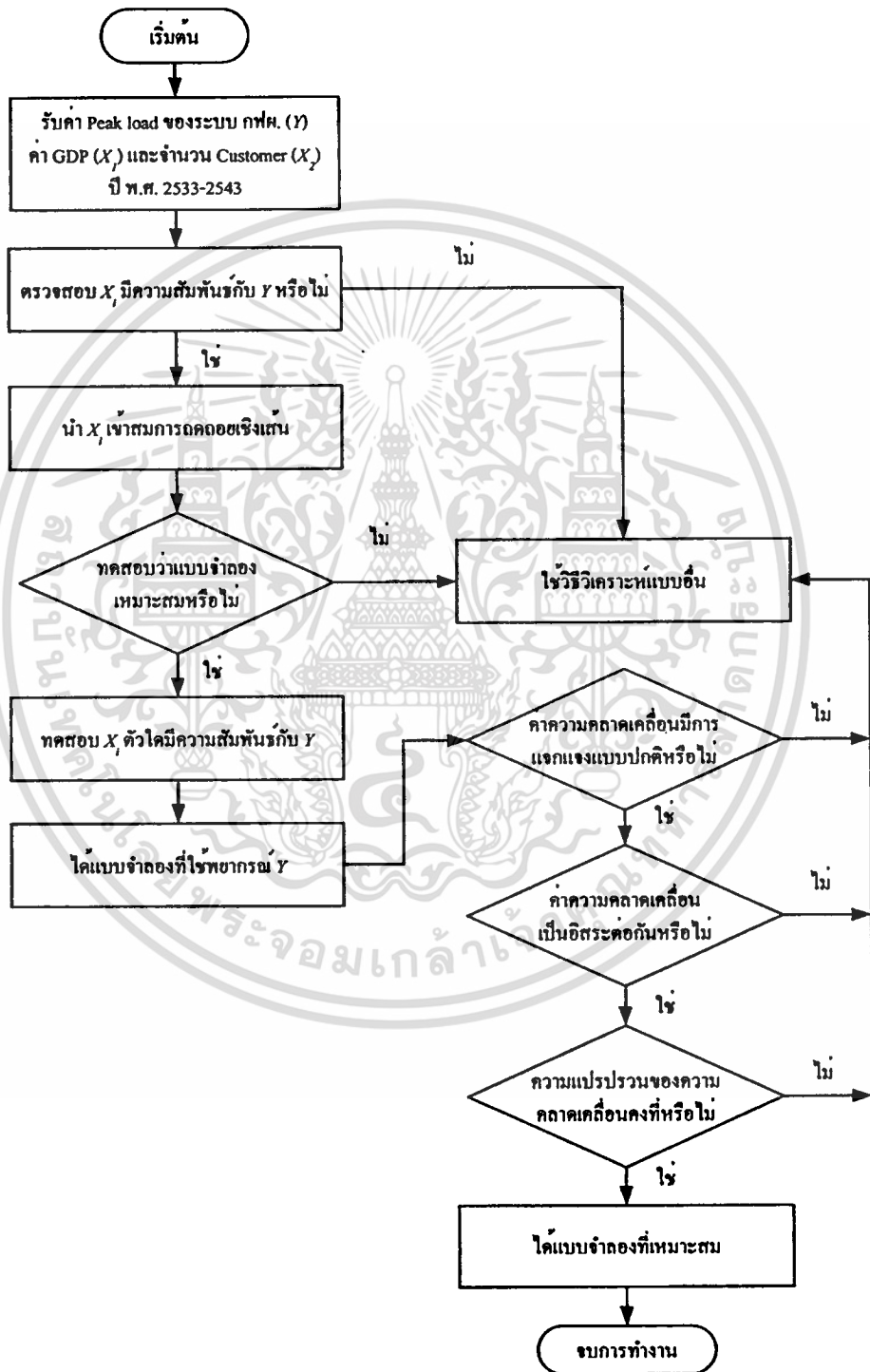
- ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้การทดสอบของ Dubin-Watson ซึ่งจากตาราง Model Summary พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.712 นั่นคือค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นจึงไม่เกิด Autocorrelation

- ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับตัวแปรอิสระโดยพิจารณากราฟ Scatter ระหว่างค่า Regression Standardized Residual กับค่า Regression Standardized Predicted Value ในรูปที่ 6.21 พบว่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนจะกระจายอยู่รอบๆ ศูนย์ นั่นคือไม่เกิด

ปัญหา Heteroscedastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวสสำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจสอบข้างต้นพบว่าสมการถดถอยที่ได้มีความเชื่อถือได้สูงเพราะผ่านการทดสอบต่างๆ ที่เกี่ยวกับสมการถดถอยแบบพหุคูณ ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้พยากรณ์ Peak Load ได้ ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้วิธี Multiple Linear Regression ได้ ดังรูปที่ 6.22 ส่วนผลลัพธ์ของการพยากรณ์ Peak Load นั้นจะแสดงในบทถัดไป



รูปที่ 6.22 ขั้นตอนการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้วิธี Multiple Linear Regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้พยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด โดยจะพิจารณาผลของการปรับเปลี่ยนจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับสอนแตกต่างกัน และเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ด้วยวิธีดังกล่าวกับวิธีพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองทางสถิติ จากนั้นจะเลือกใช้ค่าพยากรณ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำที่สุดไปใช้พิจารณาในการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า

#### 7.1 การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

ผลการวิเคราะห์การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมในหัวข้อนี้ได้มาจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB 6.5 [66] และทำการทดสอบโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ติดตั้ง CPU Pentium 4 ความเร็ว 2.6 GHz หน่วยความจำ 1 GB และใช้ระบบปฏิบัติการ Windows XP Professional

##### 7.1.1 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน และจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่เหมาะสม

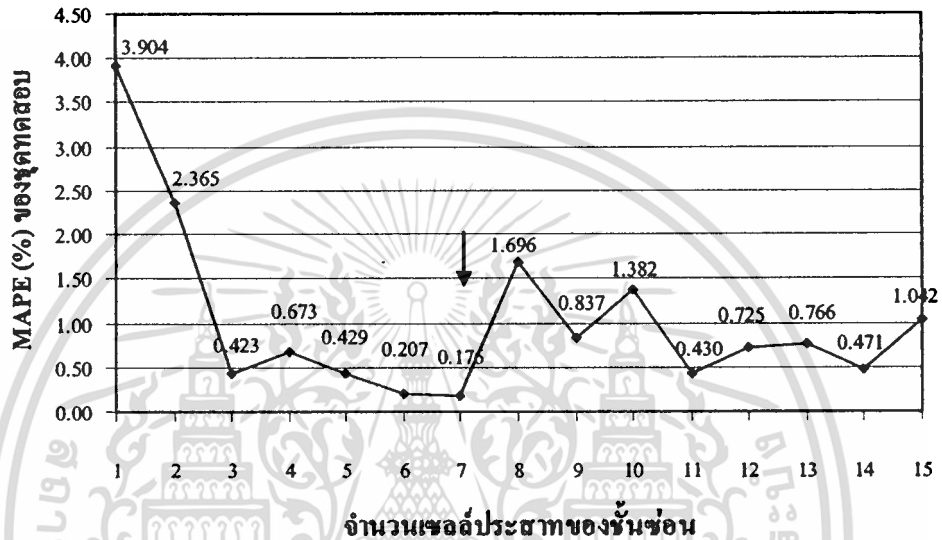
การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาผลของเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน และชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมอย่างไร โดยทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนตั้งแต่ 1 ถึง 15 เซลล์ รวมทั้งได้ปรับชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน Log-sigmoid, Tan-sigmoid, Linear ในชั้นซ่อน และในชั้นตัวแปรด้านออก ซึ่งผลการเรียนรู้และผลการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละแบบที่มีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนแตกต่างกันนี้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.1 ถึง 7.45

จากตารางที่ 7.1 ถึง 7.45 พบว่าฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมสำหรับนำไปพยากรณ์ Peak Load ในวิทยานิพนธ์นี้ คือ ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid ในชั้นซ่อน และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear ในชั้นตัวแปรด้านออกซึ่งสอดคล้องกับทางทฤษฎี คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนทั้งสองชนิดนี้สามารถหาอนุพันธ์ได้ และสร้างขอบเขตการตัดสินใจในลักษณะที่โค้งมนได้ จึงสามารถนำไปใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อน และมีลักษณะไม่เชิงเส้นได้ดี

สำหรับการศึกษาผลของเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่มีต่อการฝึกสอน ได้พบว่าจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่เหมาะสม คือ โครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid ในชั้นซ่อน และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear ในชั้นตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านนอก สามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า GDP, จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและค่า Peak Load ได้ดี โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAPE) จากการฝึกสอน 6E-14% และเมื่อนำข้อมูลค่า GDP และ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นชุดทดสอบที่โครงข่ายประสาทเทียมไม่เคยเห็นโดยนำมาทดสอบกับ โครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ผ่านการฝึกสอนแล้ว พบว่าค่าตอบที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม ก่อนข้ามแอมป์ โดยมีค่า MAPE จากการทดสอบต่ำที่สุด ซึ่งเท่ากับ 0.176 % ดังแสดงในรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 การเลือกจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อน

### 7.12 ผลของ GDP ที่มีต่อการพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ตัวแปรด้านเข้าที่เชื่อว่ามีนัยสำคัญต่อความต้องการไฟฟ้า คือ ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้การทดลองปรับค่า GDP โดยใช้ค่าพยากรณ์เศรษฐกิจไทยของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI) ซึ่งมีสมมติฐานในการพยากรณ์ 3 ระดับ คือ กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 3.7-3.8 ต่อปี), กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 5.0 ต่อปี) และกรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว (อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 6.4-6.6 ต่อปี) เพื่อศึกษาผลของ GDP ที่มีต่อค่าพยากรณ์ Peak Load

จากการทดลองปรับค่า GDP ตามอัตราการขยายตัวของเศรษฐกิจ พบว่ามีผลต่อค่าพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทเทียมอย่างเห็นได้ชัด โดยจะทำให้ค่าพยากรณ์ Peak Load ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมเปลี่ยนแปลงไปตามค่า GDP ด้วย ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำมากที่สุดเมื่อใช้สมมติฐานในการพยากรณ์ กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดแปลงที่มีเซลล์ประสาทดัดแปลงในชั้นซ้อน 1 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นซ้อน และในชั้นเอาท์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,126.06	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,126.06	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,009.54	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,009.54	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,818.59	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,818.59	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,769.30	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,769.30	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,775.00	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,775.00	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,250.09	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,250.09	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,266.68	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,266.68	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,519.25	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,519.25	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,197.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,197.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,157.78	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,157.78	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,919.90	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,919.90	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>46.04</b>	<b>0.31</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.90</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.31</b>	<b>57.63</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,752.04	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	15,752.04	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,052.30	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,052.30	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,102.81	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.23	17,102.81	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>3.90</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.24</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>3.90</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	18,360.70	17,114.66	16,248.47	17,801.41	17,114.66	15,856.23	18,360.70	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,464.54	17,114.66	38,507.94	18,688.66	17,114.66	15,856.23	19,464.54	17,114.66
2549	-	15,856.23	20,714.30	17,114.66	38,507.97	19,657.65	17,114.66	15,856.23	20,714.30	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,048.86	17,114.66	38,507.98	20,686.61	17,114.66	15,856.23	22,048.86	17,114.66
2551	-	15,856.23	23,436.00	17,114.66	38,507.98	21,749.98	17,114.66	15,856.23	23,436.00	17,114.66
2552	-	15,856.23	24,873.62	17,114.66	38,507.98	22,852.80	17,114.66	15,856.23	24,873.62	17,114.66
2553	-	15,856.23	26,345.28	17,114.66	38,507.98	23,990.11	17,114.66	15,856.26	26,345.28	17,114.66
2554	-	15,856.23	27,839.46	17,114.66	38,507.98	25,162.84	17,114.66	15,856.28	27,839.46	17,114.69
2555	-	15,856.23	29,372.64	17,114.66	38,507.98	26,396.25	17,114.66	15,856.28	29,372.64	17,114.69
2556	-	15,856.23	30,889.88	17,114.66	38,507.98	27,656.19	17,114.66	15,856.28	30,889.88	17,114.69
2557	-	15,856.23	32,412.53	17,114.66	38,507.98	28,977.95	17,114.66	15,856.28	32,412.53	17,114.69
2558	-	15,856.23	33,882.71	17,114.66	38,507.98	30,322.61	17,114.66	15,856.28	33,882.71	17,114.69
2559	-	15,856.23	35,348.21	17,114.66	38,507.98	31,756.48	17,114.66	15,856.28	35,348.21	17,114.69

ตารางที่ 7.2 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยูทิลิตี้ที่มีเซลล์ประสาทยูทิลิตี้ในชั้นซ้อน 2 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ้อน และในชั้นเอาท์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,172.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,172.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	46.04	0.00	57.63	46.04	5.24	57.63	46.04	0.00	57.63
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	16,544.22	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	15,634.18	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	17,087.32	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	15,849.05	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	18,496.50	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.58	16,324.96	17,114.66
MAPE	-	6.37	2.37	4.76	6.37	5.24	4.76	6.37	5.98	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	20,634.94	17,114.66	15,856.23	17,801.41	17,114.66	15,875.83	17,271.22	17,114.66
2548	-	15,856.23	22,347.27	17,114.66	15,856.23	18,688.66	17,114.66	15,890.97	18,210.79	30,244.91
2549	-	15,856.23	23,966.52	17,114.66	15,856.23	19,657.65	17,114.66	15,894.14	19,136.88	30,246.02
2550	-	15,856.23	25,444.67	17,114.66	15,856.23	20,686.61	17,114.66	15,897.93	20,090.17	30,248.14
2551	-	15,856.23	26,756.36	17,114.66	15,856.23	21,749.98	17,114.66	15,915.52	21,165.42	30,253.59
2552	-	15,856.23	27,892.87	17,114.66	15,856.24	22,852.80	17,114.66	16,079.87	22,394.12	30,268.02
2553	-	15,856.23	28,846.74	17,114.66	38,415.73	23,990.11	17,114.66	23,624.54	23,796.54	30,307.33
2554	-	15,856.23	29,627.49	17,114.66	38,507.97	25,162.84	17,493.58	38,403.81	25,370.10	30,417.01
2555	-	15,856.23	30,264.94	17,114.66	38,507.98	26,396.25	37,249.54	38,505.20	27,127.88	30,727.59
2556	-	15,856.23	30,756.61	17,114.66	38,507.98	27,656.19	37,249.54	38,507.06	29,026.06	31,612.55
2557	-	15,856.23	31,143.07	17,114.66	38,507.98	28,977.95	37,249.54	38,507.26	30,967.18	33,783.23
2558	-	15,856.23	31,429.87	17,114.66	38,507.98	30,322.61	37,249.54	38,507.29	32,808.95	36,609.41
2559	-	15,856.23	31,658.38	17,114.66	38,507.98	31,756.48	37,249.54	38,507.30	34,416.77	37,242.89

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัดในชั้นซ่อน 3 เซลล์  
(กรณีเสริมธุรกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	46.04	0.00	57.63	46.04	0.90	57.63	46.04	0.00	57.63
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	16,073.14	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	16,112.45	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,638.53	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,718.81	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,997.65	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.23	18,035.17	17,114.66
MAPE	-	6.37	0.42	4.76	6.37	5.24	4.76	6.37	0.26	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,535.85	17,114.66	15,856.23	17,801.41	17,114.66	15,856.23	19,504.16	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,829.78	17,114.66	15,856.23	18,688.66	17,114.66	15,856.23	20,583.45	17,114.66
2549	-	15,856.23	22,241.33	17,114.66	15,856.23	19,657.65	17,114.66	15,856.23	21,710.49	17,114.66
2550	-	15,856.23	23,669.21	17,114.66	15,856.23	20,686.61	17,114.66	15,856.23	22,713.74	17,114.66
2551	-	15,856.23	25,058.92	17,114.66	15,856.23	21,749.98	17,114.66	15,856.23	23,555.95	19,637.73
2552	-	15,856.23	26,403.82	17,114.66	15,856.23	22,852.80	17,114.66	15,856.23	24,294.87	37,026.60
2553	-	15,856.23	27,687.59	17,114.66	38,505.42	23,990.11	17,114.89	15,856.23	25,016.31	37,249.04
2554	-	15,856.23	28,904.54	17,114.66	38,507.98	25,162.84	37,249.54	15,856.23	25,827.00	37,249.54
2555	-	15,856.23	30,069.46	17,114.66	38,507.98	26,396.25	37,249.54	15,856.23	26,830.82	37,249.54
2556	-	15,856.23	31,141.05	17,114.66	38,507.98	27,656.19	37,249.54	15,856.23	28,037.71	37,249.54
2557	-	15,856.23	32,150.90	17,114.66	38,507.98	28,977.95	37,249.54	17,793.78	29,459.49	37,249.54
2558	-	15,856.23	33,062.78	17,114.66	38,507.98	30,322.61	37,249.54	38,507.10	31,003.44	37,249.54
2559	-	15,856.23	33,925.49	17,114.66	38,507.98	31,756.48	37,249.54	38,507.77	32,633.32	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.4 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัดในชั้นซ่อน 4 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,172.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,172.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	46.04	0.00	57.63	46.04	0.90	57.63	46.04	0.00	57.63
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	16,043.18	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	16,027.49	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,634.63	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,620.34	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,899.26	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.23	17,889.74	17,114.66
MAPE	-	6.37	0.67	4.76	6.37	5.24	4.76	6.37	0.75	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,244.95	17,114.66	15,856.23	17,801.41	17,114.66	15,856.23	19,240.48	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,342.16	17,114.66	15,856.23	18,688.66	17,114.66	15,856.23	20,338.31	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,445.51	17,114.66	15,856.23	19,657.65	17,114.66	15,856.23	21,475.88	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,468.60	17,114.66	15,856.23	20,686.61	17,114.66	15,856.23	22,542.81	17,114.66
2551	-	15,856.23	23,378.46	17,114.66	15,856.23	21,749.98	17,114.66	15,856.23	23,497.75	17,114.66
2552	-	15,856.23	24,177.74	17,114.66	15,883.25	22,852.80	17,114.66	15,856.23	24,340.55	17,114.66
2553	-	15,856.23	24,867.33	17,114.66	38,475.90	23,990.11	17,114.66	36,797.90	25,070.20	17,114.77
2554	-	15,856.23	25,455.77	17,114.66	38,507.97	25,162.84	17,114.66	38,507.98	25,695.16	17,188.53
2555	-	15,856.23	25,961.22	17,114.66	38,507.98	26,396.25	17,114.66	38,507.98	26,233.64	34,975.74
2556	-	15,856.23	26,378.88	17,114.66	38,507.98	27,656.19	17,114.66	38,507.98	26,681.04	37,248.57
2557	-	15,856.23	26,731.56	17,114.66	38,507.98	28,977.95	17,114.66	38,507.98	27,064.28	37,249.54
2558	-	15,856.23	27,016.98	17,114.66	38,507.98	30,322.61	17,114.66	38,507.98	27,382.64	37,249.54
2559	-	15,856.23	27,259.74	17,114.66	38,507.98	31,756.48	17,114.66	38,507.98	27,665.62	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้ยูทิลิตี้เห็นประโยชน์อันใดจากการนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.5 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัดในชั้นซ่อน 5 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	46.04	0.00	57.63	46.04	0.90	57.63	46.04	0.00	57.63
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	16,146.26	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	16,095.31	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,767.67	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,673.88	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	18,238.23	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,125.04	15,856.23	17,952.35	17,114.66
MAPE	-	6.37	0.43	4.76	6.37	5.24	4.74	6.37	0.39	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,946.32	17,114.66	15,856.23	17,801.41	37,249.47	15,856.23	19,531.32	17,114.66
2548	-	15,856.23	21,420.90	17,114.66	15,856.23	18,688.66	37,249.54	15,856.23	20,929.90	17,114.66
2549	-	15,856.23	23,079.15	17,114.66	15,856.23	19,657.65	37,249.54	15,856.23	22,628.16	17,114.66
2550	-	15,856.23	24,812.09	17,114.66	15,856.23	20,686.61	37,249.54	15,856.23	24,494.01	17,114.66
2551	-	15,856.23	26,560.59	17,114.66	15,856.23	21,749.98	37,249.54	15,856.23	26,515.38	17,114.66
2552	-	15,856.23	28,320.27	17,114.66	15,856.23	22,852.80	37,249.54	15,856.23	28,690.79	17,114.66
2553	-	15,856.23	30,072.74	17,114.66	15,856.23	23,990.11	37,249.54	15,856.23	30,989.76	22,467.48
2554	-	15,856.23	31,811.14	17,114.66	15,856.23	25,162.84	37,249.54	15,856.23	33,372.19	37,246.45
2555	-	15,856.23	33,555.71	17,114.66	15,856.23	26,396.25	37,249.54	16,397.59	35,820.53	37,249.54
2556	-	15,856.23	35,243.40	17,114.66	15,856.23	27,656.19	37,249.54	38,496.93	38,261.63	37,249.54
2557	-	15,856.23	36,918.30	17,114.66	15,856.23	28,977.95	37,249.54	38,507.95	40,668.20	37,249.54
2558	-	15,856.23	38,514.68	17,114.66	15,856.23	30,322.61	37,249.54	38,507.97	42,970.44	37,249.54
2559	-	15,856.23	40,108.87	17,114.66	15,856.23	31,756.48	37,249.54	38,507.97	45,168.56	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.6 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 6 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,172.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,172.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.90</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	16,089.87	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	16,145.08	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,662.63	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,732.79	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	18,069.81	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.23	18,050.72	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>0.21</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.24</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>0.27</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	19,671.62	17,114.66	15,856.24	17,801.41	17,114.66	15,856.23	19,538.70	17,114.66
2548	-	15,856.23	21,029.87	17,114.66	16,670.95	18,688.66	17,114.66	15,856.23	20,657.51	17,114.66
2549	-	15,856.23	22,535.44	17,114.66	38,501.69	19,657.65	17,114.66	15,856.23	21,841.38	17,114.66
2550	-	15,856.23	24,091.17	17,114.66	38,507.97	20,686.61	17,114.66	15,856.23	22,955.18	17,114.66
2551	-	15,856.23	25,638.18	17,114.66	38,507.97	21,749.98	17,114.66	15,856.24	23,966.15	17,114.66
2552	-	15,856.23	27,172.32	17,114.66	38,507.98	22,852.80	17,114.66	15,856.23	24,887.43	17,114.67
2553	-	15,856.23	28,676.78	17,114.66	38,507.98	23,990.11	17,114.67	18,779.81	25,721.74	30,131.94
2554	-	15,856.23	30,146.84	17,114.66	38,507.98	25,162.84	17,117.94	38,507.98	26,479.80	37,236.89
2555	-	15,856.23	31,603.81	17,114.66	38,507.98	26,396.25	17,822.35	38,507.98	27,189.88	37,249.36
2556	-	15,856.23	32,990.73	17,114.66	38,507.98	27,656.19	35,335.56	38,507.98	27,844.15	37,249.54
2557	-	15,856.23	34,352.93	17,114.66	38,507.98	28,977.95	37,243.12	38,507.98	28,476.93	37,249.54
2558	-	15,856.23	35,632.21	17,114.66	38,507.98	30,322.61	37,249.53	38,507.98	29,077.60	37,249.54
2559	-	15,856.23	36,903.75	17,114.66	38,507.98	31,756.48	37,249.54	38,507.98	29,667.13	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.7 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาท์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,172.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,172.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.90</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	16,084.52	17,114.66	15,856.23	15,585.07	37,249.24	15,856.23	16,135.60	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,712.93	17,114.66	15,856.23	15,848.29	37,249.54	15,856.23	16,751.61	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	18,107.15	17,114.66	15,856.23	16,786.00	37,249.54	15,856.23	18,099.11	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>0.18</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.24</b>	<b>119.95</b>	<b>6.37</b>	<b>0.20</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	19,646.38	17,114.66	15,856.23	17,801.41	37,249.54	15,856.23	19,663.24	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,960.37	17,114.66	15,856.23	18,688.66	37,249.54	15,856.23	20,956.95	17,114.66
2549	-	15,856.23	22,391.00	17,114.66	15,856.23	19,657.65	37,249.54	15,856.23	22,285.64	17,114.66
2550	-	15,856.23	23,827.50	17,114.66	15,856.35	20,686.61	37,249.54	15,856.24	23,533.63	17,114.66
2551	-	15,856.23	25,213.93	17,114.66	38,507.98	21,749.98	37,249.54	18,997.54	24,653.63	17,114.66
2552	-	15,856.23	26,542.24	17,114.66	38,507.98	22,852.80	37,249.54	38,503.10	25,635.63	17,114.66
2553	-	15,856.23	27,796.95	17,114.66	38,507.98	23,990.11	37,249.54	38,507.98	26,470.56	17,114.66
2554	-	15,856.23	28,973.43	17,114.66	38,507.98	25,162.84	37,249.54	38,507.98	27,162.88	17,114.66
2555	-	15,856.23	30,084.61	17,114.66	38,507.98	26,396.25	37,249.54	38,507.98	27,727.51	17,114.66
2556	-	15,856.23	31,094.65	17,114.66	38,507.98	27,656.19	37,249.54	38,507.98	28,160.85	37,249.31
2557	-	15,856.23	32,034.93	17,114.66	38,507.98	28,977.95	37,249.54	38,507.98	28,492.37	37,249.54
2558	-	15,856.23	32,874.21	17,114.66	38,507.98	30,322.61	37,249.54	38,507.98	28,728.30	37,249.54
2559	-	15,856.23	33,660.40	17,114.66	38,507.98	31,756.48	37,249.54	38,507.98	28,895.69	37,249.54

ตารางที่ 7.8 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยานที่มีเซลล์ประสาทยานในชั้นซ่อน 8 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันด้วยไอออนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,172.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,172.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.90</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,949.37	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.76	15,856.23	16,045.19	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,454.55	17,114.66	15,856.23	15,848.29	37,249.50	15,856.23	16,542.77	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,644.40	17,114.66	15,856.23	16,786.00	37,249.54	15,856.23	17,736.94	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>1.70</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.24</b>	<b>78.33</b>	<b>6.37</b>	<b>1.15</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	18,914.29	17,114.66	15,856.23	17,801.41	37,249.54	15,856.23	19,163.85	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,946.54	17,114.66	15,856.23	18,688.66	37,249.54	15,856.23	20,390.80	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,015.19	17,114.66	15,856.23	19,657.65	37,249.54	15,856.23	21,710.62	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,039.08	17,114.66	15,856.23	20,686.61	37,249.54	15,856.23	23,054.23	17,114.66
2551	-	15,856.23	22,979.20	17,114.66	15,856.23	21,749.98	37,249.54	15,856.24	24,414.49	17,114.66
2552	-	15,856.23	23,835.17	17,114.66	15,856.23	22,852.80	37,249.54	15,857.00	25,790.89	17,114.66
2553	-	15,856.23	24,601.98	17,114.66	15,856.23	23,990.11	37,249.54	16,032.99	27,168.44	17,331.73
2554	-	15,856.23	25,283.13	17,114.66	15,856.23	25,162.84	37,249.54	38,295.48	28,529.55	37,249.23
2555	-	15,856.23	25,895.74	17,114.66	15,856.23	26,396.25	37,249.54	38,507.95	29,875.89	37,249.54
2556	-	15,856.23	26,422.75	17,114.66	38,507.98	27,656.19	37,249.54	38,507.97	31,178.25	37,249.54
2557	-	15,856.23	26,891.02	17,114.66	38,507.98	28,977.95	37,249.54	38,507.97	32,435.22	37,249.54
2558	-	15,856.23	27,286.63	17,114.66	38,507.98	30,322.61	37,249.54	38,507.97	33,628.98	37,249.54
2559	-	15,856.23	27,645.27	17,114.66	38,507.98	31,756.48	37,249.54	38,507.97	34,782.63	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.9 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัดในชั้นซ่อน 9 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาท์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,172.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,172.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.90</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	16,028.17	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	16,065.82	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,580.51	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,625.36	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,886.07	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.23	17,926.10	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>0.84</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.24</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>0.60</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	19,330.07	17,114.66	15,856.23	17,801.41	17,114.66	15,856.23	19,343.28	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,529.83	17,114.66	15,856.23	18,688.66	17,114.66	15,856.23	20,483.48	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,815.38	17,114.66	15,856.23	19,657.65	17,114.66	15,856.23	21,637.08	37,249.54
2550	-	15,856.23	23,088.82	17,114.66	15,856.23	20,686.61	17,114.66	15,856.23	22,717.79	37,249.54
2551	-	15,856.23	24,296.60	17,114.66	15,856.23	21,749.98	17,114.66	15,856.23	23,679.93	37,249.54
2552	-	15,856.23	25,431.58	17,114.66	15,856.23	22,852.80	17,114.66	38,505.50	24,521.73	37,249.54
2553	-	15,856.23	26,479.15	17,114.66	15,856.23	23,990.11	17,115.10	38,507.98	25,238.66	37,249.54
2554	-	15,856.23	27,435.74	17,114.66	26,835.04	25,162.84	37,229.50	38,507.98	25,837.27	37,249.54
2555	-	15,856.23	28,316.30	17,114.66	38,507.97	26,396.25	37,249.54	38,507.98	26,337.22	37,249.54
2556	-	15,856.23	29,086.44	17,114.66	38,507.98	27,656.19	37,249.54	38,507.98	26,723.77	37,249.54
2557	-	15,856.23	29,778.79	17,114.66	38,507.98	28,977.95	37,249.54	38,507.98	27,029.31	37,249.54
2558	-	15,856.23	30,363.76	17,114.66	38,507.98	30,322.61	37,249.54	38,507.98	27,242.17	37,249.54
2559	-	15,856.23	30,890.63	17,114.67	38,507.98	31,756.48	37,249.54	38,507.98	27,402.02	37,249.54

ตารางที่ 7.10 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ่อน 10 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,172.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,172.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.90</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,958.43	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	15,957.39	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,485.24	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,472.52	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,771.38	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.23	17,601.16	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>1.38</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.24</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>1.72</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	19,170.70	17,114.66	15,856.23	17,801.41	17,114.66	15,856.23	18,749.15	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,365.43	17,114.66	15,856.23	18,688.66	17,114.66	15,856.23	19,595.29	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,699.24	17,114.66	15,856.23	19,657.65	17,114.66	15,856.23	20,496.86	17,114.66
2550	-	15,856.23	23,086.10	17,114.66	15,856.23	20,686.61	17,114.66	15,856.23	21,396.68	17,114.66
2551	-	15,856.23	24,476.77	17,114.66	15,856.23	21,749.98	17,114.66	15,856.23	22,344.59	17,124.70
2552	-	15,856.23	25,872.75	17,114.66	15,856.23	22,852.80	17,114.66	15,856.23	23,443.70	26,810.81
2553	-	15,856.23	27,264.22	17,114.66	15,856.23	23,990.11	17,114.66	15,863.84	24,782.80	37,248.84
2554	-	15,856.23	28,651.56	17,114.66	15,856.23	25,162.84	17,114.66	33,484.84	26,423.86	37,249.54
2555	-	15,856.23	30,058.57	17,114.66	16,419.67	26,396.25	17,114.66	38,498.12	28,425.03	37,249.54
2556	-	15,856.23	31,437.35	17,114.66	38,507.97	27,656.19	17,114.66	38,507.93	30,745.21	37,249.54
2557	-	15,856.23	32,834.25	17,114.66	38,507.98	28,977.95	17,114.66	38,507.97	33,350.46	37,249.54
2558	-	15,856.23	34,196.46	17,114.66	38,507.98	30,322.61	37,249.54	38,507.97	36,126.61	37,249.54
2559	-	15,856.23	35,602.88	17,114.66	38,507.98	31,756.48	37,249.54	38,507.97	39,027.74	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.11 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยูทเอ็มทีบีซีแอลประสาทยูทเอ็มทีบีซีแอลในชั้นซ้อน 11 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ้อน และในชั้นเอาท์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	46.04	0.00	57.63	46.04	0.90	57.63	46.04	0.00	57.63
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	16,067.49	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	16,145.13	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,642.02	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,865.81	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,996.27	17,114.66	15,856.70	16,786.00	17,114.66	15,856.23	18,287.02	17,114.66
MAPE	-	6.37	0.43	4.76	6.37	5.24	4.76	6.37	0.71	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,528.69	17,114.66	34,920.12	17,801.41	17,114.66	15,856.23	19,969.67	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,814.45	17,114.66	38,507.96	18,688.66	17,114.66	15,856.23	21,526.20	17,114.66
2549	-	15,856.23	22,224.46	17,114.66	38,507.97	19,657.65	17,114.66	15,856.23	23,141.39	17,212.34
2550	-	15,856.23	23,650.91	17,114.66	38,507.98	20,686.61	17,114.66	15,856.23	24,690.18	17,249.54
2551	-	15,856.23	25,037.96	17,114.66	38,507.98	21,749.98	17,114.66	15,856.23	26,139.14	17,249.54
2552	-	15,856.23	26,380.56	17,114.66	38,507.98	22,852.80	17,114.66	15,856.23	27,474.17	17,249.54
2553	-	15,856.23	27,664.41	17,114.66	38,507.98	23,990.11	17,114.66	15,856.23	28,688.85	17,249.54
2554	-	15,856.23	28,887.11	17,114.66	38,507.98	25,162.84	17,114.66	15,856.23	29,788.38	17,249.54
2555	-	15,856.23	30,068.93	17,114.66	38,507.98	26,396.25	17,114.66	15,856.23	30,793.76	17,249.54
2556	-	15,856.23	31,167.90	17,114.66	38,507.98	27,656.19	17,114.66	15,856.23	31,710.15	17,249.54
2557	-	15,856.23	32,225.37	17,114.66	38,507.98	28,977.95	17,114.66	15,856.23	32,558.74	17,249.54
2558	-	15,856.23	33,201.13	17,114.66	38,507.98	30,322.61	17,114.66	15,856.23	33,340.70	17,249.54
2559	-	15,856.23	34,160.83	17,114.66	38,507.98	31,756.48	17,114.66	15,856.23	34,082.68	17,249.54

ตารางที่ 7.12 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ่อน 12 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,172.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,172.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	46.04	0.00	57.63	46.04	0.90	57.63	46.04	0.00	57.63
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	16,036.64	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	16,089.09	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,600.92	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,714.21	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,915.19	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.23	17,952.48	17,114.66
MAPE	-	6.37	0.73	4.76	6.37	5.24	4.76	6.37	0.45	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,376.80	17,114.66	15,856.23	17,801.41	17,114.66	15,856.23	19,198.63	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,611.38	17,114.66	38,507.78	18,688.66	17,114.66	15,856.23	20,016.32	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,934.95	17,114.66	38,507.98	19,657.65	17,114.66	15,856.23	20,802.92	17,114.66
2550	-	15,856.23	23,258.14	17,114.66	38,507.98	20,686.61	37,249.54	15,856.23	21,393.41	17,114.66
2551	-	15,856.23	24,534.62	17,114.66	38,507.98	21,749.98	37,249.54	30,100.99	21,772.11	17,114.66
2552	-	15,856.23	25,761.62	17,114.66	38,507.98	22,852.80	37,249.54	38,507.97	22,010.41	31,150.52
2553	-	15,856.23	26,928.75	17,114.66	38,507.98	23,990.11	37,249.54	38,507.97	22,211.77	37,249.54
2554	-	15,856.23	28,035.55	17,114.66	38,507.98	25,162.84	37,249.54	38,507.98	22,502.98	37,249.54
2555	-	15,856.23	29,103.16	17,114.66	38,507.98	26,396.25	37,249.54	38,507.98	23,014.08	37,249.54
2556	-	15,856.23	30,100.79	17,114.66	38,507.98	27,656.19	37,249.54	38,507.98	23,822.00	37,249.54
2557	-	15,856.23	31,063.76	17,114.66	38,507.98	28,977.95	37,249.54	38,507.98	24,990.57	37,249.54
2558	-	15,856.23	31,963.52	17,114.66	38,507.98	30,322.61	37,249.54	38,507.98	26,498.93	37,249.54
2559	-	15,856.23	32,856.24	17,114.66	38,507.98	31,756.48	37,249.54	38,507.98	28,351.06	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.13 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกเว้นที่มีเซลล์ประสาทยกเว้นในชั้นซ้อน 13 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ้อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,172.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,172.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	46.04	0.00	57.63	46.04	0.90	57.63	46.04	0.00	57.63
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	16,024.77	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	16,056.33	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,581.83	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,674.14	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,926.78	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.23	17,968.76	17,114.66
MAPE	-	6.37	0.77	4.76	6.37	5.24	4.76	6.37	0.44	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,428.69	17,114.66	15,856.23	17,801.41	17,114.66	15,856.23	19,518.93	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,715.04	17,114.66	15,856.23	18,688.66	17,114.66	15,856.23	21,058.63	17,114.66
2549	-	15,856.23	22,147.35	17,114.66	15,856.78	19,657.65	17,114.66	15,856.23	22,918.93	17,114.66
2550	-	15,856.23	23,636.51	17,114.66	26,351.51	20,686.61	17,114.66	15,895.82	25,024.13	17,114.66
2551	-	15,856.23	25,131.34	17,114.66	38,507.25	21,749.98	17,114.69	38,507.97	27,374.03	17,114.66
2552	-	15,856.23	26,631.89	17,114.66	38,507.97	22,852.80	37,247.06	38,507.98	29,946.58	17,114.66
2553	-	15,856.23	28,126.10	17,114.66	38,507.97	23,990.11	37,249.54	38,507.98	32,686.45	17,114.66
2554	-	15,856.23	29,612.68	17,114.66	38,507.98	25,162.84	37,249.54	38,507.98	35,526.48	17,114.66
2555	-	15,856.23	31,116.37	17,114.66	38,507.98	26,396.25	37,249.54	38,507.98	38,440.72	17,114.66
2556	-	15,856.23	32,585.27	17,114.66	38,507.98	27,656.19	37,249.54	38,507.98	41,364.14	19,144.66
2557	-	15,856.23	34,067.14	17,114.66	38,507.98	28,977.95	37,249.54	38,507.98	44,277.38	37,249.48
2558	-	15,856.23	35,505.62	17,114.66	38,507.98	30,322.61	37,249.54	38,507.98	47,141.76	37,249.54
2559	-	15,856.23	36,983.08	17,114.66	38,507.98	31,756.48	37,249.54	38,507.98	49,997.81	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

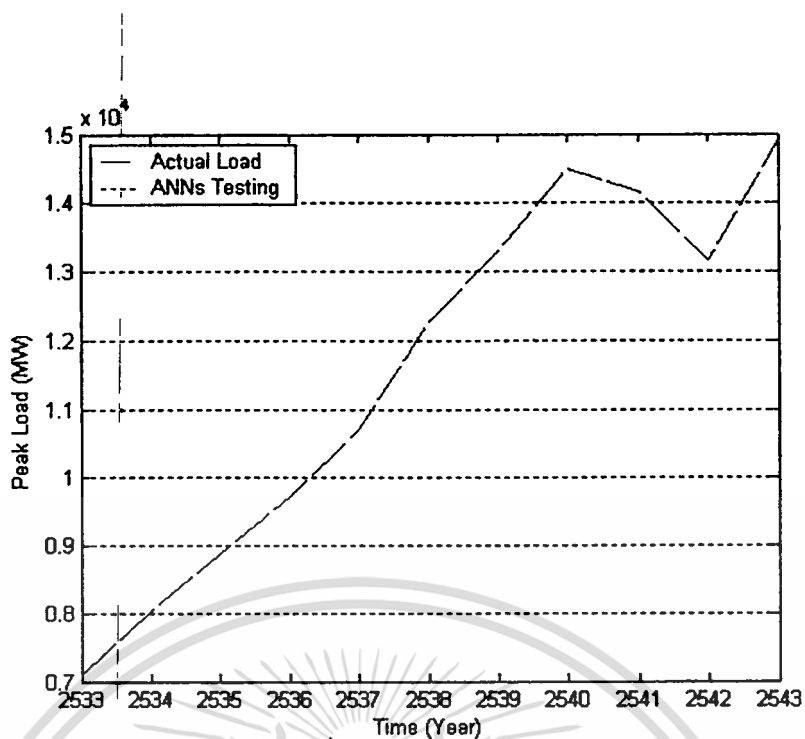
ตารางที่ 7.14 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ่อน 14 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,172.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,172.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	46.04	0.00	57.63	46.04	0.90	57.63	46.04	0.00	57.63
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	16,063.58	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	15,996.28	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,643.16	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,526.28	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,977.18	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.23	17,663.86	17,114.66
MAPE	-	6.37	0.47	4.76	6.37	5.24	4.76	6.37	1.42	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,458.04	17,114.66	15,856.23	17,801.41	17,114.66	15,856.23	18,902.44	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,695.33	17,114.66	15,856.23	18,688.66	17,114.66	15,856.23	19,900.54	17,114.66
2549	-	15,856.23	22,007.69	17,114.66	15,856.24	19,657.65	17,114.66	15,856.23	20,955.19	17,114.66
2550	-	15,856.23	23,301.59	17,114.66	34,272.50	20,686.61	17,114.66	15,856.23	21,973.81	17,114.66
2551	-	15,856.23	24,527.12	17,114.66	38,507.97	21,749.98	17,114.66	15,856.23	22,958.96	17,114.66
2552	-	15,856.23	25,679.62	17,114.66	38,507.98	22,852.80	17,114.66	15,856.23	23,933.73	17,114.66
2553	-	15,856.23	26,747.81	17,114.66	38,507.98	23,990.11	17,114.66	15,858.17	24,923.39	17,114.66
2554	-	15,856.23	27,731.28	17,114.66	38,507.98	25,162.84	17,114.66	16,095.02	25,964.71	17,114.66
2555	-	15,856.23	28,649.41	17,114.66	38,507.98	26,396.25	17,114.69	18,831.13	27,127.07	17,114.66
2556	-	15,856.23	29,472.58	17,114.66	38,507.98	27,656.19	17,115.51	23,470.56	28,471.19	17,114.66
2557	-	15,856.23	30,235.97	17,114.66	38,507.98	28,977.95	17,139.20	24,234.19	30,054.93	17,114.66
2558	-	15,856.23	30,913.32	17,114.66	38,507.98	30,322.61	17,906.65	25,227.70	31,917.73	17,114.66
2559	-	15,856.23	31,557.79	17,114.66	38,507.98	31,756.48	29,504.72	38,499.55	34,078.15	17,114.66

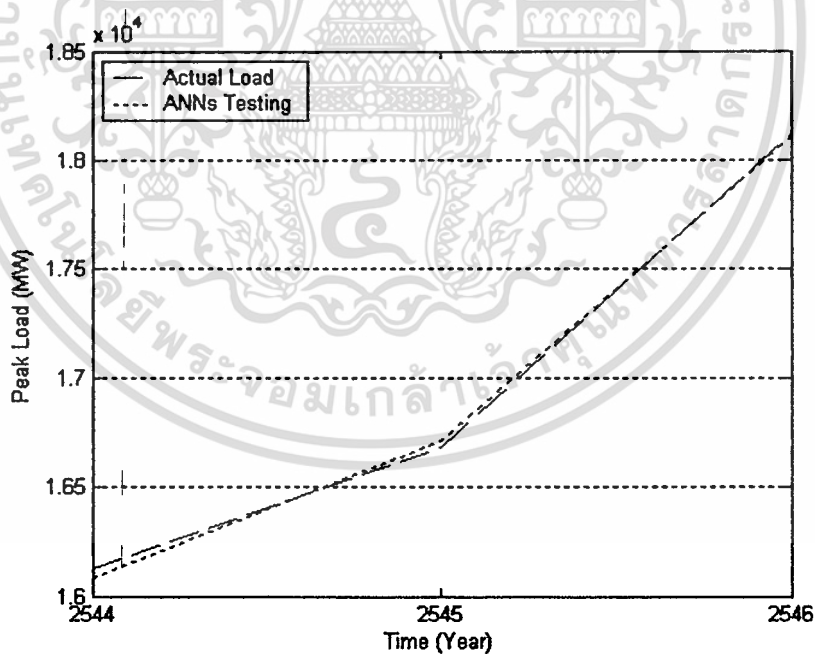
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.15 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัดในชั้นซ่อน 15 เซลล์  
(กรณีเสริมธุรกิจขายตัวปานกลาง : MEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,910.81	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,977.21	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,888.91	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,908.10	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,951.48	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,296.43	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,321.83	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,346.83	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,130.31	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,199.80	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,878.37	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.90</b>	<b>57.63</b>	<b>46.04</b>	<b>0.00</b>	<b>57.63</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	16,013.81	17,114.66	15,856.23	15,585.07	17,114.66	15,856.23	16,056.92	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,551.40	17,114.66	15,856.23	15,848.29	17,114.66	15,856.23	16,604.99	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,822.39	17,114.66	15,856.23	16,786.00	17,114.66	15,856.23	17,877.64	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>1.04</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.24</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>0.74</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	19,212.07	17,114.66	15,856.23	17,801.41	17,136.50	15,859.85	19,204.73	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,351.09	17,114.66	15,856.23	18,688.66	37,249.54	16,143.02	20,204.13	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,554.33	17,114.66	15,856.23	19,657.65	37,249.54	15,959.20	21,216.19	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,732.23	17,114.66	15,856.23	20,686.61	37,249.54	20,223.32	22,160.80	17,114.66
2551	-	15,856.23	23,838.73	17,114.66	15,856.27	21,749.98	37,249.54	16,233.72	23,012.53	17,114.66
2552	-	15,856.23	24,872.32	17,114.66	35,448.47	22,852.80	37,249.54	38,507.49	23,799.09	17,114.66
2553	-	15,856.23	25,825.02	17,114.66	38,507.97	23,990.11	37,249.54	38,507.66	24,543.19	17,114.66
2554	-	15,856.23	26,699.15	17,114.66	38,507.97	25,162.84	37,249.54	38,507.70	25,274.62	37,249.54
2555	-	15,856.23	27,515.41	17,114.66	38,507.98	26,396.25	37,249.54	38,507.86	26,036.42	37,249.54
2556	-	15,856.23	28,246.72	17,114.66	38,507.98	27,656.19	37,249.54	38,507.97	26,816.19	37,249.54
2557	-	15,856.23	28,928.79	17,114.66	38,507.98	28,977.95	37,249.54	38,507.97	27,656.64	37,249.54
2558	-	15,856.23	29,536.36	17,114.66	38,507.98	30,322.61	37,249.54	38,507.97	28,527.83	37,249.54
2559	-	15,856.23	30,122.72	17,114.66	38,507.98	31,756.48	37,249.54	38,507.98	29,478.53	37,249.54

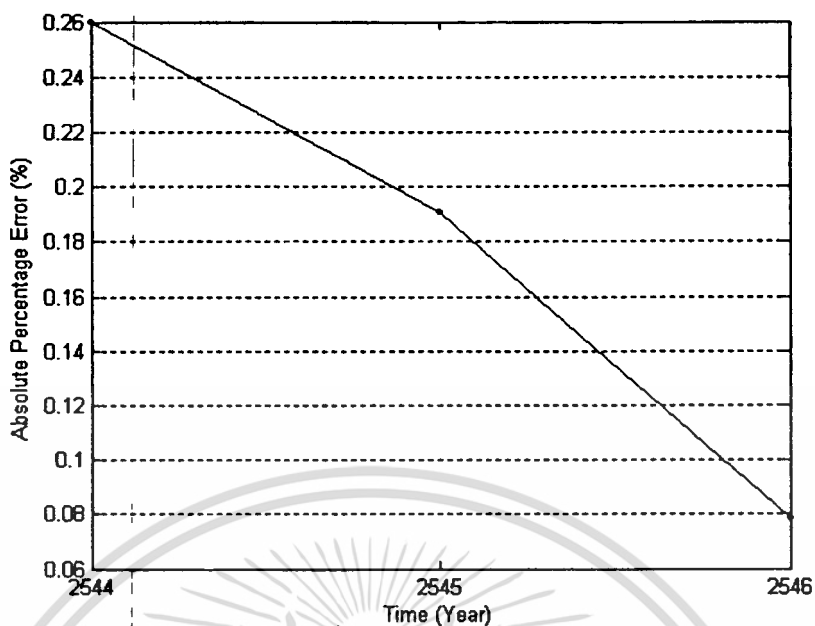


รูปที่ 7.2 เปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2543 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

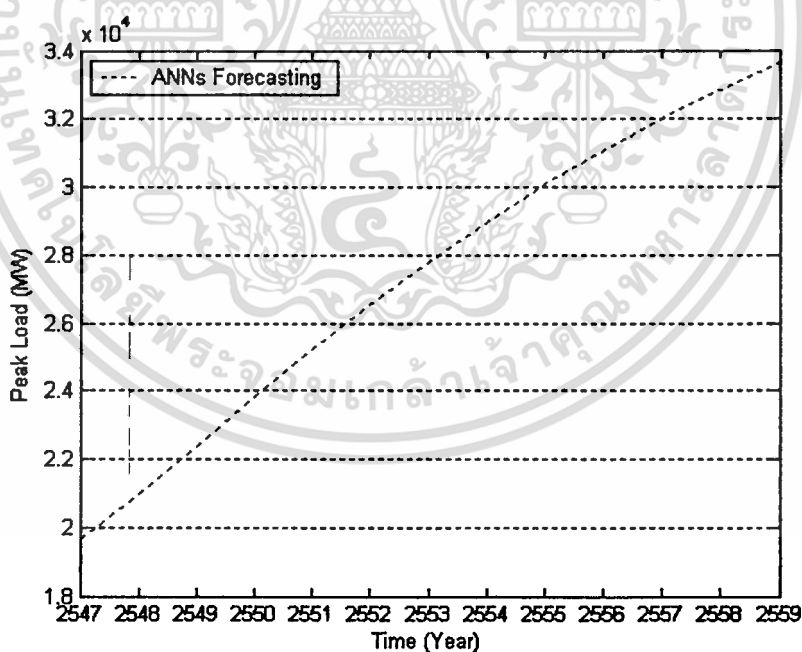


รูปที่ 7.3 เปรียบเทียบค่าจริง และค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 Absolute Percentage Error ของค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)



รูปที่ 7.5 ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง : MEG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.16 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยูทิลิตี้ที่มีเซลล์ประสาทยูทิลิตี้ในชั้นซ่อน 1 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,149.94	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,149.94	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	7,979.35	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	7,979.35	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,803.55	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,803.55	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,775.99	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,775.99	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,791.34	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,791.34	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,308.73	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,308.73	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,202.06	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,202.06	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,454.80	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,454.80	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,307.08	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,307.08	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,646.79	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,646.79	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,930.47	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,930.47	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.60</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.60</b>	<b>57.16</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,605.79	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,605.79	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	15,889.21	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	15,889.21	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	16,574.44	17,114.66	15,857.32	16,687.72	17,604.20	15,856.23	16,574.44	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>5.50</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.28</b>	<b>3.86</b>	<b>6.37</b>	<b>5.50</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	18,122.33	17,114.66	38,506.97	18,611.43	37,249.45	15,856.23	18,122.33	17,114.66
2548	-	15,856.23	18,717.78	17,114.66	38,507.97	19,493.52	37,249.54	15,856.23	18,717.78	17,114.66
2549	-	15,856.23	19,396.38	17,114.66	38,507.98	20,678.85	37,249.54	15,856.23	19,396.38	17,114.66
2550	-	15,856.23	19,979.72	17,114.66	38,507.98	21,920.92	37,249.54	15,856.23	19,979.72	17,114.66
2551	-	15,856.23	20,485.12	17,114.66	38,507.98	23,276.15	37,249.54	15,856.23	20,485.12	17,114.66
2552	-	15,856.23	20,890.47	17,114.66	38,507.98	24,689.99	37,249.54	15,856.23	20,890.47	17,114.66
2553	-	15,856.23	21,216.28	17,114.66	38,507.98	26,216.91	37,249.54	15,856.23	21,216.28	17,114.66
2554	-	15,856.23	21,459.67	17,114.66	38,507.98	27,795.13	37,249.54	15,856.23	21,459.67	17,114.66
2555	-	15,856.23	21,640.39	17,114.66	38,507.98	29,458.78	37,249.54	15,856.23	21,640.39	17,114.66
2556	-	15,856.23	21,770.89	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,249.54	15,856.23	21,770.89	17,114.66
2557	-	15,856.23	21,861.61	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.54	15,856.23	21,861.61	37,247.15
2558	-	15,856.23	21,924.97	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	15,856.23	21,924.97	37,249.43
2559	-	15,856.23	21,966.69	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	15,856.23	21,966.69	37,249.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.17 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดที่มีเซลล์ประสาทยืดในชั้นซ่อน 2 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,389.15	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,545.21	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	15,593.51	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	15,877.07	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	15,927.00	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	16,484.14	17,114.66
MAPE	-	6.37	7.73	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	5.82	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	16,955.90	17,114.66	15,856.23	18,611.43	17,114.66	15,856.23	17,763.40	17,114.66
2548	-	15,856.23	17,645.46	17,114.66	15,856.23	19,493.52	17,114.66	15,856.23	18,341.52	17,114.66
2549	-	15,856.23	18,065.86	17,114.66	15,856.31	20,678.85	17,114.66	15,856.23	19,025.22	17,114.66
2550	-	15,856.23	18,428.45	17,114.66	17,229.02	21,920.92	17,114.66	15,856.23	19,647.53	17,114.66
2551	-	15,856.23	18,742.59	17,114.66	38,496.47	23,276.15	17,114.66	15,856.23	20,225.78	17,114.66
2552	-	15,856.23	19,000.32	17,114.66	38,507.97	24,689.99	17,114.66	15,856.23	20,741.94	19,363.33
2553	-	15,856.23	19,204.59	17,114.66	38,507.97	26,216.91	17,114.66	15,856.26	21,219.65	37,245.06
2554	-	15,856.23	19,357.08	17,114.66	38,507.98	27,795.13	17,114.66	15,865.42	21,672.22	37,249.41
2555	-	15,856.23	19,466.27	17,114.66	38,507.98	29,458.78	17,114.66	15,905.61	22,173.94	37,249.50
2556	-	15,856.23	19,542.26	17,114.66	38,507.98	31,210.20	17,114.66	15,930.85	22,928.53	37,249.51
2557	-	15,856.23	19,592.77	17,114.66	38,507.98	33,027.63	17,114.66	15,937.99	24,553.39	37,249.52
2558	-	15,856.23	19,625.69	17,114.66	38,507.98	34,974.42	17,114.66	15,939.53	29,009.20	37,249.52
2559	-	15,856.23	19,646.10	17,114.66	38,507.98	36,992.12	17,114.66	15,938.99	41,586.57	37,249.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.18 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดแปลงที่มีเซลล์ประสาทดัดแปลงในชั้นซ่อน 3 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,543.69	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,715.55	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	15,915.34	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,219.14	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	16,484.16	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	16,826.82	17,114.66
MAPE	-	6.37	5.75	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	4.15	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	17,490.43	17,114.66	15,856.23	18,611.43	17,114.66	15,856.23	18,203.33	17,114.66
2548	-	15,856.23	17,976.28	17,114.66	15,856.23	19,493.52	17,140.30	15,856.23	19,018.96	17,114.66
2549	-	15,856.23	18,476.40	17,114.66	15,856.23	20,678.85	33,372.47	15,856.23	19,898.33	17,549.87
2550	-	15,856.23	18,914.99	17,114.66	15,856.23	21,920.92	37,248.47	15,856.23	20,687.89	18,146.62
2551	-	15,856.23	19,329.03	17,114.66	15,856.23	23,276.15	37,249.54	15,856.23	21,377.10	17,127.54
2552	-	15,856.23	19,718.32	17,114.66	38,507.97	24,689.99	37,249.54	15,856.23	21,962.97	17,114.66
2553	-	15,856.23	20,115.23	17,114.66	38,507.98	26,216.91	37,249.54	15,856.23	22,433.51	17,114.66
2554	-	15,856.23	20,521.35	17,114.66	38,507.98	27,795.13	37,249.54	15,856.23	22,807.81	17,114.66
2555	-	15,856.23	20,957.61	17,114.66	38,507.98	29,458.78	37,249.54	15,856.23	23,081.92	17,114.66
2556	-	15,856.23	21,452.59	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,249.54	15,856.23	23,273.72	17,115.28
2557	-	15,856.23	22,023.97	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.54	15,856.23	23,406.16	17,889.48
2558	-	15,856.23	22,728.67	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	15,857.41	23,478.73	35,696.93
2559	-	15,856.23	23,608.20	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	15,857.43	23,538.22	37,219.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวสสำหรับกรสงวนเพื่อกรศกษาเทานน ไม่นอญูถาดหนนาไปไซบระยชนดานการค

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.19 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ่อน 4 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,887.98	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,811.09	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,582.33	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,289.32	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,589.22	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,073.84	17,114.66
MAPE	-	6.37	1.67	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	3.36	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,407.26	17,114.66	15,856.23	18,611.43	17,114.66	15,856.46	18,732.87	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,384.76	17,114.66	15,878.47	19,493.52	17,114.66	15,857.88	18,987.25	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,684.58	17,114.66	30,725.20	20,678.85	17,122.17	15,857.89	19,408.89	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,967.24	17,114.66	38,503.27	21,920.92	23,640.21	15,862.83	19,644.44	17,114.66
2551	-	15,856.23	24,252.14	17,114.66	38,507.97	23,276.15	37,228.43	15,862.98	19,785.30	17,114.66
2552	-	15,856.23	25,491.48	17,114.66	38,507.97	24,689.99	37,249.54	15,863.63	19,856.96	17,114.67
2553	-	15,856.23	26,716.02	17,114.66	38,507.98	26,216.91	37,249.54	15,869.01	20,019.99	37,249.54
2554	-	15,856.23	27,884.52	17,114.66	38,507.98	27,795.13	37,249.54	16,140.08	20,317.08	37,249.54
2555	-	15,856.23	29,024.11	17,114.66	38,507.98	29,458.78	37,249.54	38,458.06	20,835.98	37,249.54
2556	-	15,856.23	30,137.41	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,249.54	38,507.97	21,596.14	37,249.54
2557	-	15,856.23	31,223.87	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.54	38,507.97	22,593.74	37,249.54
2558	-	15,856.23	32,333.43	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.97	23,888.47	37,249.54
2559	-	15,856.23	33,464.60	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.97	25,490.95	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวสสำหรับกรสงวนเพอกรศกษาเทานน ไมอนุญาติหนานไปไซประยชนดานการค

ไมวากรณใดยทงสิ้น อึกทงหามมิใหัดดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งที่มิกานำไปไซ

ตารางที่ 7.20 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดที่มีเซลล์ประสาทยืดในชั้นซ่อน 5 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,793.84	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,961.34	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,395.50	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,719.35	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,305.28	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,722.26	17,114.66
MAPE	-	6.37	2.76	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	1.15	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,037.96	17,114.66	15,856.23	18,611.43	17,114.66	15,856.23	19,318.49	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,951.06	17,114.66	15,856.23	19,493.52	17,114.66	15,856.23	19,949.78	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,191.64	17,114.66	15,856.23	20,678.85	17,114.66	15,856.23	20,834.27	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,447.44	17,114.66	15,856.23	21,920.92	17,114.66	15,856.23	21,532.54	37,249.54
2551	-	15,856.23	23,751.74	17,114.66	15,856.23	23,276.15	17,114.66	15,856.23	22,040.35	37,249.54
2552	-	15,856.23	25,060.84	17,114.66	15,856.23	24,689.99	17,114.66	15,856.23	22,351.74	37,249.54
2553	-	15,856.23	26,414.93	17,114.66	15,856.23	26,216.91	17,114.66	38,504.52	22,556.93	37,249.54
2554	-	15,856.23	27,767.91	17,114.66	16,216.29	27,795.13	17,114.69	38,507.98	22,736.44	37,249.54
2555	-	15,856.23	29,148.81	17,114.66	38,507.97	29,458.78	17,420.14	38,507.98	23,025.84	37,249.54
2556	-	15,856.23	30,557.43	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,162.04	38,507.98	23,509.41	37,249.54
2557	-	15,856.23	31,982.90	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.54	38,507.98	24,241.55	37,249.54
2558	-	15,856.23	33,476.58	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.98	25,274.99	37,249.54
2559	-	15,856.23	35,016.15	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.98	26,609.65	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวัสดุหรือบริการเชิงงานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นับผูกมัดแต่หากมีข้อผิดพลาดประการใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.21 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ่อน 6 เซลล์  
(กรณีเสริมธุรกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,722.25	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,837.69	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,273.34	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,506.04	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,074.80	17,114.66	15,856.23	16,687.72	30,637.54	15,856.23	17,438.99	17,114.66
MAPE	-	6.37	3.58	4.76	6.37	5.28	25.93	6.37	2.20	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	18,540.50	17,114.66	15,856.23	18,611.43	37,249.54	15,856.23	18,999.66	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,284.18	17,114.66	15,856.23	19,493.52	37,249.54	15,856.23	19,871.30	17,114.66
2549	-	15,856.23	20,299.68	17,114.66	15,860.22	20,678.85	37,249.54	15,856.23	20,981.89	17,114.66
2550	-	15,856.23	21,301.52	17,114.66	26,591.91	21,920.92	37,249.54	15,856.23	22,048.80	17,114.66
2551	-	15,856.23	22,320.44	17,114.66	38,505.01	23,276.15	37,249.54	15,856.23	23,082.80	33,326.61
2552	-	15,856.23	23,328.65	17,114.66	38,507.97	24,689.99	37,249.54	15,856.23	24,056.24	37,249.54
2553	-	15,856.23	24,366.24	17,114.66	38,507.97	26,216.91	37,249.54	36,776.50	24,988.40	37,249.54
2554	-	15,856.23	25,405.41	17,114.66	38,507.98	27,795.13	37,249.54	38,507.98	25,862.25	37,249.54
2555	-	15,856.23	26,477.31	17,114.66	38,507.98	29,458.78	37,249.54	38,507.98	26,695.89	37,249.54
2556	-	15,856.23	27,590.22	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,249.54	38,507.98	27,495.93	37,249.54
2557	-	15,856.23	28,740.18	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.54	38,507.98	28,269.87	37,249.54
2558	-	15,856.23	29,973.57	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.98	29,044.04	37,249.54
2559	-	15,856.23	31,267.85	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.98	29,833.67	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.22 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดที่มีเซลล์ประสาทยืดในชั้นซ่อน 7 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันด้ายโหนดในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	16,066.64	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,945.44	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,916.13	17,114.66	15,856.23	15,908.10	28,276.61	15,856.23	16,667.97	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	18,079.14	17,114.66	15,856.23	16,687.72	37,249.54	15,856.23	17,674.65	17,114.66
MAPE	-	6.37	0.67	4.76	6.37	5.28	60.40	6.37	1.22	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	20,302.53	17,114.66	15,856.23	18,611.43	37,249.54	15,856.23	19,476.11	17,114.66
2548	-	15,856.23	21,660.62	17,114.66	15,856.23	19,493.52	37,249.54	15,856.23	20,386.46	17,114.66
2549	-	15,856.23	23,348.44	17,114.66	15,856.23	20,678.85	37,249.54	38,395.48	21,542.23	17,114.66
2550	-	15,856.23	25,056.44	17,114.66	15,856.23	21,920.92	37,249.54	29,935.46	22,618.12	17,114.66
2551	-	15,856.23	26,802.83	17,114.66	18,889.42	23,276.15	37,249.54	26,240.55	23,634.62	17,114.66
2552	-	15,856.23	28,519.09	17,114.66	38,507.80	24,689.99	37,249.54	38,507.97	24,559.16	17,114.66
2553	-	15,856.23	30,234.81	17,114.66	38,507.97	26,216.91	37,249.54	38,507.98	25,433.90	17,114.66
2554	-	15,856.23	31,867.82	17,114.66	38,507.98	27,795.13	37,249.54	38,507.98	26,241.19	17,117.91
2555	-	15,856.23	33,434.76	17,114.66	38,507.98	29,458.78	37,249.54	38,507.98	27,021.06	27,355.48
2556	-	15,856.23	34,877.87	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,249.54	38,507.97	27,791.92	37,241.54
2557	-	15,856.23	36,135.13	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.54	38,507.97	28,564.58	37,249.54
2558	-	15,856.23	37,208.39	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.97	29,392.40	37,249.54
2559	-	15,856.23	38,015.87	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.97	30,276.29	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงงานวิศวกรรมเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.23 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดึงที่มีเซลล์ประสาทดึงในชั้นซ่อน 8 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันด้ายโหนดในชั้นซ่อน และในชั้นเอาท์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,833.69	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,988.59	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,459.52	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,593.49	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,354.08	17,114.66	15,856.24	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,518.15	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>2.46</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.28</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>1.57</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	18,963.21	17,114.66	38,099.44	18,611.43	17,114.66	15,856.23	19,465.45	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,752.23	17,114.66	38,507.97	19,493.52	17,114.66	15,856.23	19,869.91	17,114.66
2549	-	15,856.23	20,754.31	17,114.66	38,507.97	20,678.85	17,114.66	15,856.23	20,562.56	17,114.66
2550	-	15,856.23	21,675.78	17,114.66	38,507.98	21,920.92	17,114.66	15,856.23	21,149.65	17,114.66
2551	-	15,856.23	22,532.45	17,114.66	38,507.98	23,276.15	17,114.66	15,856.23	21,755.64	17,114.66
2552	-	15,856.23	23,290.67	17,114.66	38,507.98	24,689.99	17,114.66	15,856.23	22,442.90	17,114.66
2553	-	15,856.23	23,979.02	17,114.66	38,507.98	26,216.91	17,114.66	15,856.23	23,329.57	17,114.66
2554	-	15,856.23	24,577.33	17,114.66	38,507.98	27,795.13	17,119.64	15,856.23	24,429.49	17,114.67
2555	-	15,856.23	25,113.62	17,114.66	38,507.98	29,458.78	20,579.32	15,856.23	25,723.28	17,115.14
2556	-	15,856.23	25,601.76	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,168.48	15,856.23	27,157.74	17,129.66
2557	-	15,856.23	26,054.02	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.49	38,507.98	28,657.16	21,416.42
2558	-	15,856.23	26,514.86	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.98	30,153.69	37,078.35
2559	-	15,856.23	27,001.17	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.98	31,619.58	37,246.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.24 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ่อน 9 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,115.00
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,115.00
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,115.00
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,115.00
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,115.00
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,115.00
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,115.00
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,115.00
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,115.00
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,115.00
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,115.00
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,635.65	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,006.05	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,117.98	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,738.73	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	16,872.94	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,805.13	17,114.66
MAPE	-	6.37	4.44	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	0.95	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	18,107.12	17,114.66	15,856.23	18,611.43	17,114.66	15,856.23	19,817.92	17,114.66
2548	-	15,856.23	18,506.58	17,114.66	15,885.29	19,493.52	37,249.54	15,856.23	20,740.46	17,114.66
2549	-	15,856.23	19,303.37	17,114.66	31,096.36	20,678.85	37,249.54	15,856.23	22,051.53	17,114.66
2550	-	15,856.23	20,080.84	17,114.66	38,502.58	21,920.92	37,249.54	15,856.23	23,408.01	17,114.66
2551	-	15,856.23	20,865.95	17,114.66	38,507.97	23,276.15	37,249.54	15,856.23	24,890.14	17,114.66
2552	-	15,856.23	21,623.58	17,114.66	38,507.97	24,689.99	37,249.54	38,507.98	26,506.47	17,114.66
2553	-	15,856.23	22,402.46	17,114.66	38,507.97	26,216.91	37,249.54	38,507.98	28,313.95	17,114.66
2554	-	15,856.23	23,175.32	17,114.66	38,507.98	27,795.13	37,249.54	38,507.98	30,274.17	17,114.66
2555	-	15,856.23	23,993.95	17,114.66	38,507.98	29,458.78	37,249.54	38,507.98	32,364.80	17,114.66
2556	-	15,856.23	24,879.87	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,249.54	38,507.98	34,552.23	17,114.66
2557	-	15,856.23	25,856.65	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.54	38,507.98	36,782.78	17,114.66
2558	-	15,856.23	27,019.45	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.98	39,059.35	37,248.05
2559	-	15,856.23	28,401.80	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.98	41,346.94	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.25 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดที่มีเซลล์ประสาทยืดในชั้นซ่อน 10 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาท์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,794.41	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,950.42	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,415.38	17,114.66	38,335.06	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,657.58	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,290.81	17,114.66	38,507.98	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,680.78	17,114.66
MAPE	-	6.37	2.75	4.76	81.33	5.28	4.76	6.37	1.22	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	18,859.75	17,114.66	38,507.98	18,611.43	17,114.66	15,856.23	19,320.98	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,723.38	17,114.66	38,507.98	19,493.52	17,114.66	15,856.23	19,827.51	17,114.66
2549	-	15,856.23	20,854.29	17,114.66	38,507.98	20,678.85	17,114.66	15,856.23	20,767.02	17,114.66
2550	-	15,856.23	21,969.82	17,114.66	38,507.98	21,920.92	17,114.66	17,396.91	21,721.91	17,114.66
2551	-	15,856.23	23,094.68	17,114.66	38,507.98	23,276.15	37,033.56	38,507.87	22,816.77	17,114.66
2552	-	15,856.23	24,201.44	17,114.66	38,507.98	24,689.99	37,249.54	38,507.97	24,149.07	17,114.66
2553	-	15,856.23	25,324.99	17,114.66	38,507.98	26,216.91	37,249.54	38,507.97	25,839.40	17,114.66
2554	-	15,856.23	26,442.17	17,114.66	38,507.98	27,795.13	37,249.54	38,507.98	27,919.97	17,114.66
2555	-	15,856.23	27,582.83	17,114.66	38,507.98	29,458.78	37,249.54	38,507.98	30,366.48	37,249.54
2556	-	15,856.25	28,760.56	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,249.54	38,507.98	33,158.93	37,249.54
2557	-	15,856.36	29,981.62	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.54	38,507.98	36,245.77	37,249.54
2558	-	15,856.72	31,301.17	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.98	39,607.58	37,249.54
2559	-	15,857.64	32,725.02	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.98	43,255.04	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.26 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดแปลงที่มีเซลล์ประสาทดัดแปลงในชั้นซ่อน 11 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,874.62	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,207.11	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,539.94	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	17,162.75	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,475.72	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	18,531.39	17,114.66
MAPE	-	6.37	1.99	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	1.88	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,206.20	17,114.66	15,856.23	18,611.43	17,128.64	15,856.23	20,892.78	17,115.20
2548	-	15,856.23	20,132.15	17,114.66	15,856.23	19,493.52	37,249.43	15,856.23	22,073.72	17,124.00
2549	-	15,856.23	21,299.94	17,114.67	15,856.23	20,678.85	37,249.54	15,856.23	23,919.55	37,249.54
2550	-	15,856.23	22,432.00	17,117.29	15,856.23	21,920.92	37,249.54	15,856.23	25,973.89	37,249.54
2551	-	15,856.23	23,564.08	17,314.78	15,856.84	23,276.15	37,249.54	15,856.23	28,333.29	37,249.54
2552	-	15,856.23	24,668.47	22,473.82	36,751.16	24,689.99	37,249.54	15,856.24	30,934.49	37,249.54
2553	-	15,856.23	25,796.64	34,878.58	38,507.97	26,216.91	37,249.54	38,507.97	33,745.93	37,249.54
2554	-	15,856.23	26,924.62	37,076.97	38,507.97	27,795.13	37,249.54	38,507.98	36,552.00	37,249.54
2555	-	15,856.23	28,096.12	37,237.48	38,507.98	29,458.78	37,249.54	38,507.98	39,259.98	37,249.54
2556	-	15,856.23	29,334.40	37,248.80	38,507.98	31,210.20	37,249.54	38,507.98	41,797.24	37,249.54
2557	-	15,856.23	30,645.54	37,249.51	38,507.98	33,027.63	37,249.54	38,507.98	44,138.31	37,249.54
2558	-	15,856.23	32,105.50	37,249.54	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.98	46,413.92	37,249.54
2559	-	15,856.23	33,698.01	37,249.54	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.98	48,617.97	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.27 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดที่มีเซลล์ประสาทยืดในชั้นซ่อน 12 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,800.15	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,863.87	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,429.94	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,532.53	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,328.77	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,498.92	17,114.66
MAPE	-	6.37	2.63	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	1.98	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	18,946.37	17,114.66	15,856.23	18,611.43	17,114.66	15,856.23	19,185.54	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,795.97	17,114.66	15,856.23	19,493.52	17,114.66	15,856.23	20,084.41	17,114.66
2549	-	15,856.23	20,959.32	17,114.66	15,856.23	20,678.85	17,114.66	15,856.23	21,477.92	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,123.68	17,114.66	15,856.23	21,920.92	17,114.66	15,856.23	23,022.70	17,114.66
2551	-	15,856.23	23,328.32	17,114.66	15,856.23	23,276.15	17,114.66	15,889.75	24,796.49	17,114.66
2552	-	15,856.23	24,542.87	17,114.66	15,856.23	24,689.99	17,114.66	38,376.57	26,784.31	17,114.66
2553	-	15,856.23	25,824.90	17,114.66	15,856.23	26,216.91	17,114.66	38,507.97	29,034.02	17,114.66
2554	-	15,856.23	27,144.53	17,114.66	15,864.89	27,795.13	17,114.66	38,507.98	31,477.78	17,114.66
2555	-	15,856.23	28,549.51	17,114.67	24,802.80	29,458.78	37,249.54	38,507.98	34,105.07	19,869.07
2556	-	15,856.23	30,054.43	17,114.68	38,493.62	31,210.20	37,249.54	38,507.98	36,893.75	37,249.54
2557	-	15,856.23	31,648.86	17,114.70	38,507.97	33,027.63	37,249.54	38,507.98	39,799.61	37,249.54
2558	-	15,856.23	33,385.77	17,114.70	38,507.97	34,974.42	37,249.54	38,507.98	42,884.87	37,249.54
2559	-	15,856.23	35,188.93	17,114.70	38,507.97	36,992.12	37,249.54	38,507.98	46,135.79	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวสําหรับการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติหนาไปไซประโยชน์ดานการคํา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.28 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดที่มีเซลล์ประสาทยืดในชั้นซ่อน 13 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,631.61	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,028.49	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,053.89	17,114.66	15,856.23	15,908.10	37,249.54	15,856.23	16,670.01	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	16,714.67	17,114.66	15,856.23	16,687.72	37,249.54	15,856.23	17,703.90	17,114.66
MAPE	-	6.37	4.86	4.76	6.37	5.28	78.33	6.37	0.99	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	17,848.64	17,114.66	21,941.75	18,611.43	37,249.54	15,856.23	19,765.92	17,114.66
2548	-	15,856.23	18,010.79	17,114.66	38,507.63	19,493.52	37,249.54	15,856.23	20,027.96	17,114.66
2549	-	15,856.23	18,457.04	17,114.66	38,507.97	20,678.85	37,249.54	15,856.23	20,796.82	17,114.66
2550	-	15,856.23	18,792.10	17,114.66	38,507.98	21,920.92	37,249.54	15,856.23	21,532.58	17,114.66
2551	-	15,856.23	19,045.41	17,114.66	38,507.98	23,276.15	37,249.54	15,856.24	22,388.52	17,114.66
2552	-	15,856.23	19,187.87	17,114.66	38,507.98	24,689.99	37,249.54	15,860.67	23,422.45	17,114.66
2553	-	15,856.23	19,272.56	17,114.66	38,507.98	26,216.91	37,249.54	18,345.66	24,739.37	17,114.66
2554	-	15,856.23	19,280.93	17,114.66	38,507.98	27,795.13	37,249.54	38,496.80	26,270.94	17,114.92
2555	-	15,856.23	19,269.39	17,114.66	38,507.98	29,458.78	37,249.54	38,507.91	27,940.43	37,249.54
2556	-	15,856.23	19,257.79	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,249.54	38,507.97	29,632.51	37,249.54
2557	-	15,856.23	19,268.71	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.54	38,507.97	31,239.81	37,249.54
2558	-	15,856.23	19,376.89	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.97	32,717.54	37,249.54
2559	-	15,856.23	19,599.45	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.97	34,022.92	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารทวงวนวิสาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดเป็นลิขสิทธิ์ของหน่วยงานราชการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.29 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ่อน 14 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันด้ายโหนดในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,880.47	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,664.38	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,559.01	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,147.81	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,503.64	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	16,751.65	17,114.66
MAPE	-	6.37	1.89	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	4.54	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,202.11	17,114.66	15,856.23	18,611.43	17,114.66	15,856.23	17,621.21	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,088.14	17,114.66	24,799.55	19,493.52	17,114.66	15,856.23	17,746.63	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,220.78	17,114.66	38,507.97	20,678.85	17,114.66	15,856.23	18,061.48	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,291.66	17,114.66	38,507.98	21,920.92	17,114.66	15,856.23	18,284.46	17,114.66
2551	-	15,856.23	23,318.24	17,114.66	38,507.98	23,276.15	17,114.66	15,856.23	18,501.75	17,114.66
2552	-	15,856.23	24,263.46	17,114.66	38,507.98	24,689.99	17,114.66	15,856.23	18,766.16	17,114.66
2553	-	15,856.23	25,159.96	17,114.66	38,507.98	26,216.91	17,114.66	15,856.84	19,200.93	17,114.66
2554	-	15,856.23	25,980.40	17,114.66	38,507.98	27,795.13	37,249.53	24,887.86	19,836.29	37,249.54
2555	-	15,856.23	26,756.90	17,114.66	38,507.98	29,458.78	37,249.54	38,502.25	20,752.27	37,249.54
2556	-	15,856.23	27,500.14	17,114.66	38,507.98	31,210.20	37,249.54	38,507.96	21,973.49	37,249.54
2557	-	15,856.23	28,216.65	17,114.66	38,507.98	33,027.63	37,249.54	38,507.97	23,483.60	37,249.54
2558	-	15,856.23	28,956.43	17,114.66	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.97	25,330.54	37,249.54
2559	-	15,856.23	29,717.99	17,114.66	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.97	27,442.80	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

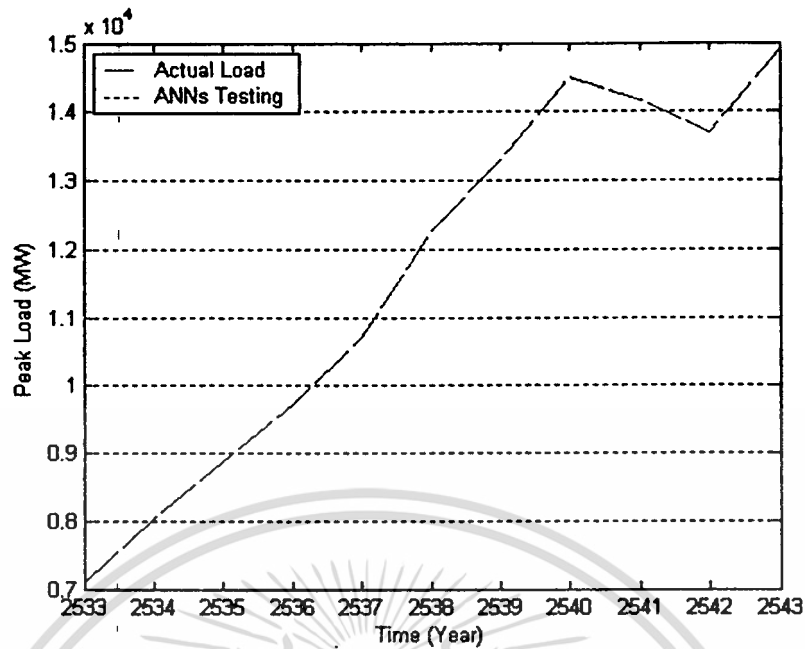
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.30 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดที่มีเซลล์ประสาทยืดในชั้นซ่อน 15 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

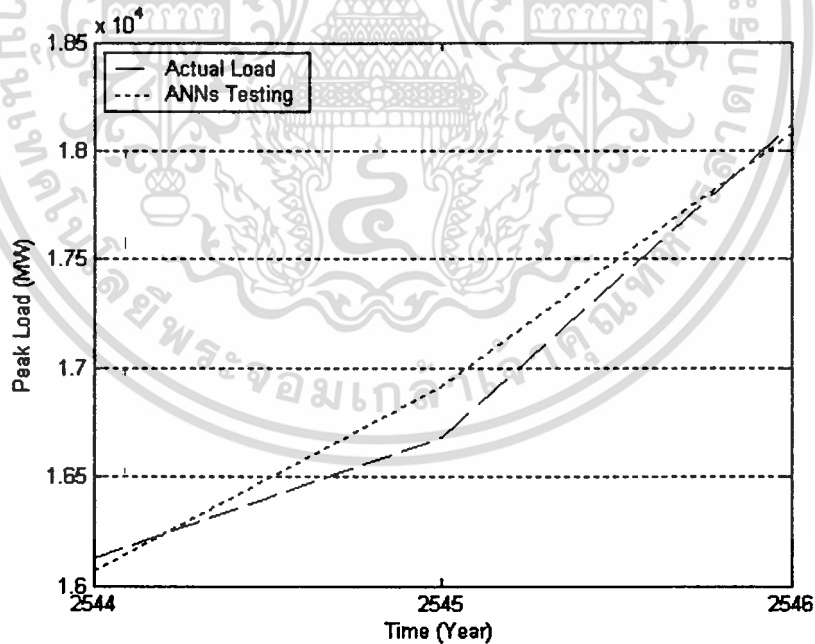
ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันด้ายโหนดในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,834.51	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,924.99	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,492.40	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,554.76	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,412.74	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,498.82	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>2.28</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.28</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>1.81</b>	<b>4.76</b>
Forecast										
2547	-	15,856.23	19,049.98	17,114.68	15,856.23	18,611.43	17,114.66	15,856.23	19,103.93	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,948.85	17,382.58	15,856.23	19,493.52	17,114.66	15,856.23	19,187.80	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,113.19	35,541.24	15,867.16	20,678.85	17,114.66	15,856.23	19,586.11	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,257.99	37,242.34	37,989.33	21,920.92	17,114.66	15,856.23	19,760.88	17,114.66
2551	-	15,856.23	23,416.27	37,249.46	38,507.97	23,276.15	17,114.66	15,856.23	19,827.17	17,114.66
2552	-	15,856.23	24,561.65	37,249.54	38,507.97	24,689.99	37,249.54	15,856.23	19,877.50	17,114.66
2553	-	15,856.23	25,743.09	37,249.54	38,507.98	26,216.91	37,249.54	15,857.87	20,169.63	17,114.66
2554	-	15,856.23	26,938.73	37,249.54	38,507.98	27,795.13	37,249.54	38,476.47	20,823.03	37,247.40
2555	-	15,856.23	28,189.93	37,249.54	38,507.98	29,458.78	37,249.54	38,507.97	22,005.13	37,249.54
2556	-	15,856.23	29,516.52	37,249.54	38,507.98	31,210.20	37,249.54	38,507.97	23,756.55	37,249.54
2557	-	15,856.23	30,919.97	37,249.54	38,507.98	33,027.63	37,249.54	38,507.97	26,019.48	37,249.54
2558	-	15,856.23	32,459.29	37,249.54	38,507.98	34,974.42	37,249.54	38,507.98	28,827.85	37,249.54
2559	-	15,856.23	34,099.39	37,249.54	38,507.98	36,992.12	37,249.54	38,507.98	32,020.61	37,249.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวสําหรับการใชงานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติหน้ําไปใชประโยชน์ดานการค้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกร้ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

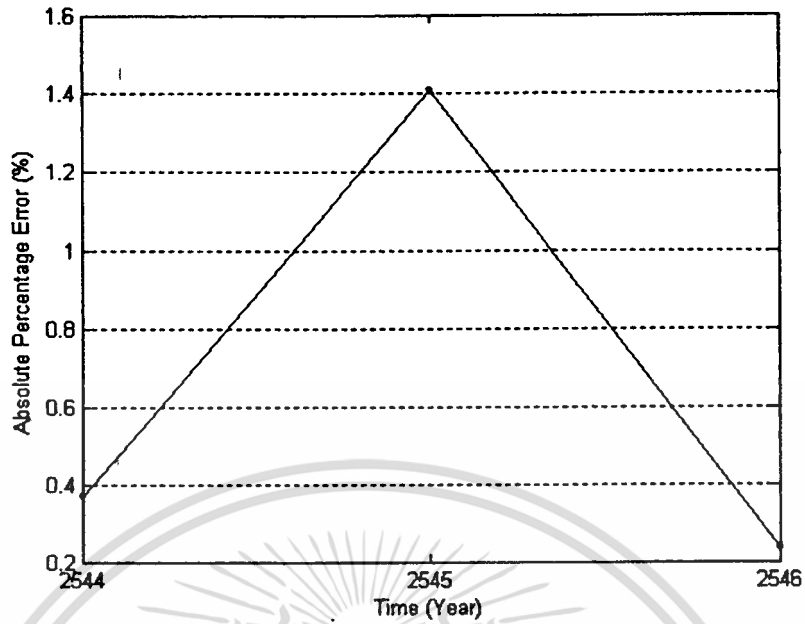


รูปที่ 7.6 เปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2543 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

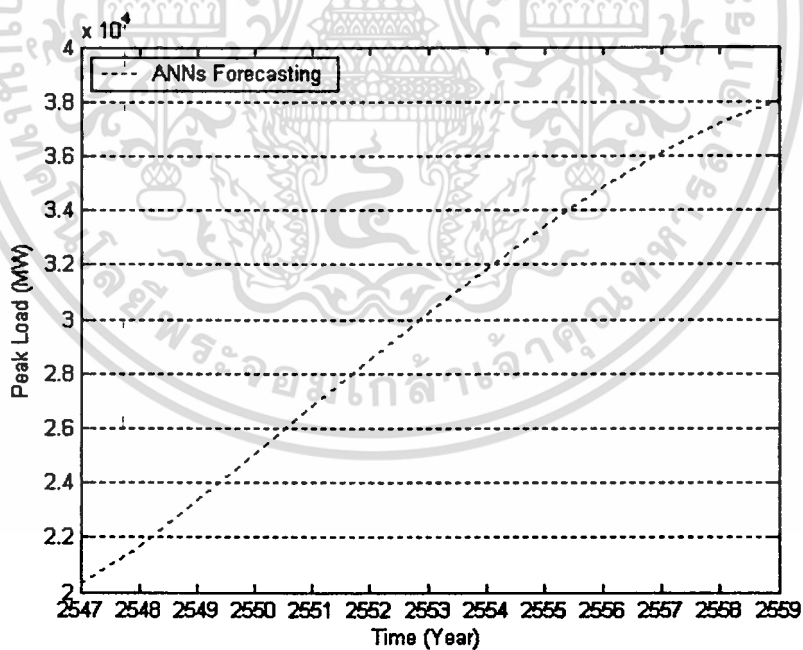


รูปที่ 7.7 เปรียบเทียบค่าจริง และค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว : REG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.8 Absolute Percentage Error ของค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว :REG)



รูปที่ 7.9 ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว :REG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.31 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 1 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า: LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,149.94	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,149.94	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	7,979.35	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	7,979.35	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,803.55	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,803.55	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,775.99	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,775.99	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,791.34	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,791.34	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,308.73	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,308.73	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,202.06	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,202.06	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,454.80	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,454.80	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,307.08	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,307.08	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,646.79	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,646.79	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,930.47	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,930.47	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.60	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.60	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,605.79	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,605.79	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	15,889.21	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	15,889.21	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	16,574.44	17,114.66	38,507.98	16,687.72	17,114.66	15,856.23	16,574.44	17,114.66
MAPE	-	6.37	5.50	4.76	39.71	5.28	4.76	6.37	5.50	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	17,300.11	17,114.66	38,507.98	17,551.06	17,114.66	15,856.23	17,300.11	17,114.66
2548	-	15,856.23	17,870.07	17,114.66	38,507.98	18,308.04	17,114.66	15,856.23	17,870.07	17,114.66
2549	-	15,856.23	18,440.68	17,114.66	38,507.98	19,131.30	17,114.66	15,856.23	18,440.68	17,114.66
2550	-	15,856.23	18,970.71	17,114.66	38,507.98	19,991.79	17,114.66	15,856.23	18,970.71	17,114.66
2551	-	15,856.23	19,447.48	17,114.66	38,507.98	20,874.14	17,114.66	15,856.23	19,447.49	17,114.66
2552	-	15,856.23	19,855.20	17,114.66	38,507.98	21,744.65	17,114.66	15,856.23	19,855.20	17,114.66
2553	-	15,856.23	20,215.79	17,114.66	38,507.98	22,641.35	17,114.66	15,856.23	20,215.79	17,114.66
2554	-	15,856.23	20,529.50	17,114.66	38,507.98	23,560.21	37,249.54	15,856.23	20,529.50	17,114.66
2555	-	15,856.23	20,799.45	17,114.66	38,507.98	24,502.08	37,249.54	15,869.91	20,799.45	17,114.66
2556	-	15,856.23	21,029.31	17,114.66	38,507.98	25,467.83	37,249.54	31,655.47	21,029.31	17,114.66
2557	-	15,856.23	21,223.06	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	34,322.18	21,223.06	17,114.66
2558	-	15,856.23	21,381.62	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	34,481.08	21,381.62	17,114.66
2559	-	15,856.23	21,516.19	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	34,492.00	21,516.20	17,114.66

ตารางที่ 7.32 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ่อน 2 เซลล์  
(กรณีเสริมธุรกิจขยายตัวช้า : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,572.41	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,382.21	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	15,711.76	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	15,495.01	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	15,757.26	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	15,619.69	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>7.43</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.28</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>8.51</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	16,522.76	17,114.66	15,856.23	17,551.06	17,114.66	15,856.23	16,170.62	37,224.72
2548	-	15,856.23	17,094.36	17,114.66	15,856.44	18,308.04	17,114.66	15,856.23	16,620.46	37,249.54
2549	-	15,856.23	17,487.19	17,114.66	38,505.99	19,131.30	17,114.66	15,856.23	16,922.46	37,249.54
2550	-	15,856.23	17,756.60	17,114.66	38,507.97	19,991.79	17,114.66	15,856.69	17,132.12	37,249.54
2551	-	15,856.23	18,084.63	17,114.66	38,507.98	20,874.14	17,114.66	15,876.80	17,384.37	37,249.54
2552	-	15,856.23	18,438.70	17,114.66	38,507.98	21,744.65	17,114.66	16,028.86	17,656.03	37,249.54
2553	-	15,856.23	18,794.37	17,114.66	38,507.98	22,641.35	17,116.96	16,355.91	17,932.80	37,249.54
2554	-	15,856.23	19,236.09	17,114.66	38,507.98	23,560.21	37,249.54	16,682.16	18,285.45	37,249.54
2555	-	15,856.23	19,773.15	17,114.66	38,507.98	24,502.08	37,249.54	16,894.97	18,729.07	37,249.54
2556	-	15,856.23	20,413.09	17,114.66	38,507.98	25,467.83	37,249.54	17,007.07	19,279.23	37,249.54
2557	-	15,856.23	21,161.86	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	17,060.16	19,951.73	37,249.54
2558	-	15,856.23	21,992.48	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	17,083.86	20,729.52	37,249.54
2559	-	15,856.23	22,913.26	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	17,094.18	21,630.18	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.33 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัดในชั้นซ่อน 3 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า: LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันด้วยไอออนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาท์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,760.23	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,579.76	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,251.63	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	15,937.29	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	16,998.86	17,114.66	15,857.41	16,687.72	17,114.66	15,856.23	16,587.64	17,114.66
MAPE	-	6.37	3.68	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	5.44	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	17,776.86	17,114.66	38,505.17	17,551.06	17,121.08	15,856.23	17,285.38	17,114.66
2548	-	15,856.23	18,367.34	17,114.66	38,507.97	18,308.04	37,249.54	15,856.23	17,830.65	17,114.66
2549	-	15,856.23	18,904.20	17,114.66	38,507.98	19,131.30	37,249.54	15,856.23	18,437.16	17,114.66
2550	-	15,856.23	19,347.37	17,114.66	38,507.98	19,991.79	37,249.54	16,268.58	19,030.53	17,114.66
2551	-	15,856.23	19,698.38	17,114.66	38,507.98	20,874.14	37,249.54	37,856.02	19,591.12	30,999.69
2552	-	15,856.23	19,954.71	17,114.66	38,507.98	21,744.65	37,249.54	38,507.91	20,099.53	37,249.54
2553	-	15,856.23	20,145.80	17,114.66	38,507.98	22,641.35	37,249.54	38,507.97	20,591.62	37,249.54
2554	-	15,856.23	20,281.87	17,114.66	38,507.98	23,560.21	37,249.54	38,507.97	21,062.26	37,249.54
2555	-	15,856.23	20,373.70	17,114.66	38,507.98	24,502.08	37,249.54	38,507.97	21,515.08	37,249.54
2556	-	15,856.23	20,430.78	17,114.66	38,507.98	25,467.83	37,249.54	38,507.97	21,953.46	37,249.54
2557	-	15,856.23	20,461.16	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	38,507.97	22,380.57	37,249.54
2558	-	15,856.23	20,466.22	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,507.97	22,784.58	37,249.54
2559	-	15,856.23	20,462.27	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,507.97	23,204.07	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.34 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ่อน 4 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,926.45	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,441.03	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,591.82	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	17,261.61	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,537.79	17,114.66	38,507.98	16,687.72	17,114.66	15,856.23	18,916.46	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>1.68</b>	<b>1.67</b>	<b>4.76</b>	<b>39.71</b>	<b>5.28</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>3.27</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	18,617.53	17,114.66	38,507.98	17,551.06	17,114.66	15,856.23	20,954.42	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,523.89	17,114.66	38,507.98	18,308.04	17,114.66	15,856.23	22,785.83	18,081.21
2549	-	15,856.23	20,460.72	17,114.66	38,507.98	19,131.30	17,114.66	15,856.23	24,754.50	37,026.53
2550	-	15,856.23	21,316.93	17,114.66	38,507.98	19,991.79	17,114.66	15,856.23	26,821.79	37,200.67
2551	-	15,856.23	22,076.29	17,114.66	38,507.98	20,874.14	17,114.66	15,856.23	28,930.82	37,226.27
2552	-	15,856.23	22,726.56	17,114.66	38,507.98	21,744.65	17,116.13	15,856.23	30,980.72	37,243.12
2553	-	15,856.23	23,287.62	17,114.66	38,507.98	22,641.35	37,249.49	15,856.77	33,047.58	37,249.15
2554	-	15,856.23	23,762.17	17,114.74	38,507.98	23,560.21	37,249.54	16,176.77	35,100.90	37,249.54
2555	-	15,856.23	24,157.51	17,119.55	38,507.98	24,502.08	37,249.54	35,131.50	37,126.20	37,249.54
2556	-	15,856.23	24,481.93	17,294.73	38,507.98	25,467.83	37,249.54	38,495.42	39,108.18	37,249.54
2557	-	15,856.23	24,744.02	20,495.72	38,507.98	26,458.37	37,249.54	38,507.92	41,030.31	37,249.54
2558	-	15,856.23	24,949.51	31,763.27	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,507.97	42,834.01	37,249.54
2559	-	15,856.23	25,112.45	36,389.86	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,507.97	44,586.18	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.35 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดที่มีเซลล์ประสาทยืดในชั้นซ่อน 5 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,904.99	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,065.76	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,617.69	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,869.60	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,654.35	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	18,033.99	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>1.44</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.28</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>0.66</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	18,883.39	17,114.66	15,856.23	17,551.06	17,114.66	15,856.23	19,337.07	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,020.98	17,114.66	15,856.23	18,308.04	17,114.66	15,856.23	20,467.46	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,355.86	17,114.66	15,856.35	19,131.30	17,114.66	15,856.23	21,686.24	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,741.08	17,114.66	27,648.91	19,991.79	17,114.66	15,856.23	22,843.02	17,114.66
2551	-	15,856.23	24,145.78	17,114.66	38,507.89	20,874.14	17,114.66	15,856.23	23,906.76	19,188.37
2552	-	15,856.23	25,541.70	17,114.66	38,507.97	21,744.65	17,114.66	15,856.23	24,868.59	37,248.90
2553	-	15,856.23	26,949.02	17,114.66	38,507.98	22,641.35	17,114.66	15,856.23	25,749.45	37,249.54
2554	-	15,856.23	28,348.71	17,114.66	38,507.98	23,560.21	17,114.66	15,856.25	26,561.24	37,249.54
2555	-	15,856.23	29,730.74	17,114.66	38,507.98	24,502.08	17,114.66	15,857.36	27,324.50	37,249.54
2556	-	15,856.23	31,085.25	17,114.66	38,507.98	25,467.83	17,114.76	15,948.70	28,060.35	37,249.54
2557	-	15,856.23	32,402.82	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	23,094.26	28,787.33	37,249.54
2558	-	15,856.23	33,665.48	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,074.98	29,508.81	37,249.54
2559	-	15,856.23	34,890.66	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,502.27	30,239.01	37,249.54

ตารางที่ 7.36 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดในชั้นซ่อน 6 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	4.76	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,913.63	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	15,908.65	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,604.79	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,603.89	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,624.44	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,579.90	17,114.66
MAPE	-	6.37	1.51	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	1.60	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	18,842.96	17,114.66	15,856.23	17,551.06	17,114.66	15,856.23	18,512.29	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,945.55	17,114.66	15,856.24	18,308.04	17,114.66	15,856.23	19,230.45	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,224.44	17,114.66	36,843.38	19,131.30	21,847.85	15,856.23	20,045.70	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,536.08	17,114.66	38,507.97	19,991.79	37,249.54	15,856.23	20,817.83	17,114.66
2551	-	15,856.23	23,849.73	17,114.66	38,507.98	20,874.14	37,249.54	15,856.30	21,516.77	17,114.66
2552	-	15,856.23	25,135.63	17,114.66	38,507.98	21,744.65	37,249.54	17,149.86	22,169.93	17,114.66
2553	-	15,856.23	26,415.22	17,114.66	38,507.98	22,641.35	37,249.54	38,503.06	22,824.15	27,897.73
2554	-	15,856.23	27,671.31	17,114.66	38,507.98	23,560.21	37,249.54	38,507.97	23,485.42	37,249.54
2555	-	15,856.23	28,895.90	17,114.66	38,507.98	24,502.08	37,249.54	38,507.97	24,172.66	37,249.54
2556	-	15,856.23	30,081.85	17,114.66	38,507.98	25,467.83	37,249.54	38,507.97	24,896.48	37,249.54
2557	-	15,856.23	31,223.07	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	38,507.97	25,659.07	37,249.54
2558	-	15,856.23	32,304.38	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,507.97	26,445.63	37,249.54
2559	-	15,856.23	33,348.09	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,507.97	27,267.12	37,249.54

ตารางที่ 7.37 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัดในชั้นซ่อน 7 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,975.02	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,188.81	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,704.90	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	17,028.24	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,742.35	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	18,304.29	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>1.06</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.28</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>1.16</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	18,953.28	17,114.66	15,856.23	17,551.06	17,114.66	15,856.23	19,812.61	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,004.00	17,114.77	15,856.23	18,308.04	36,021.03	15,856.23	21,132.32	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,161.57	17,116.32	15,856.23	19,131.30	37,249.54	15,856.23	22,604.03	37,231.27
2550	-	15,856.23	22,274.10	17,135.25	35,017.01	19,991.79	37,249.54	15,856.23	24,058.85	37,249.54
2551	-	15,856.23	23,305.67	17,344.90	38,507.98	20,874.14	37,249.54	15,856.23	25,450.57	37,249.54
2552	-	15,856.23	24,230.31	19,199.20	38,507.98	21,744.65	37,249.54	15,856.23	26,742.22	37,249.54
2553	-	15,856.23	25,063.10	27,320.61	38,507.98	22,641.35	37,249.54	15,856.23	27,947.97	37,249.54
2554	-	15,856.23	25,792.53	35,058.94	38,507.98	23,560.21	37,249.54	15,856.23	29,054.28	37,249.54
2555	-	15,856.23	26,417.99	36,906.66	38,507.98	24,502.08	37,249.54	17,120.00	30,057.24	37,249.54
2556	-	15,856.23	26,942.20	37,193.11	38,507.98	25,467.83	37,249.54	21,626.19	30,956.51	37,249.54
2557	-	15,856.23	27,370.63	37,238.96	38,507.98	26,458.37	37,249.54	33,049.58	31,754.90	37,249.54
2558	-	15,856.23	27,707.23	37,247.22	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,329.72	32,449.30	37,249.54
2559	-	15,856.23	27,970.72	37,248.95	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,507.46	33,059.32	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.38 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัดในชั้นซ่อน 8 เซลล์  
(กรณีเสริมธุรกิจขายตัวซ้ำ : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาท์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,899.50	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,138.93	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,579.76	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,960.68	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,591.15	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	18,160.07	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>1.65</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.28</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>0.66</b>	<b>4.76</b>
Forecast										
2547	-	15,856.23	18,791.99	17,114.66	15,856.23	17,551.06	17,114.66	15,856.23	19,504.83	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,878.63	17,114.66	15,856.23	18,308.04	17,114.66	15,856.23	20,556.40	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,148.62	17,114.66	15,856.23	19,131.30	17,114.66	15,856.23	21,663.34	17,114.66
2550	-	15,856.23	22,461.53	17,114.66	15,856.23	19,991.79	17,114.66	15,856.23	22,668.28	17,114.66
2551	-	15,856.23	23,786.43	17,114.66	15,856.23	20,874.14	17,114.66	15,856.23	23,539.91	17,114.66
2552	-	15,856.23	25,095.25	17,114.66	15,856.23	21,744.65	17,114.66	15,856.23	24,287.86	17,114.66
2553	-	15,856.23	26,414.52	17,114.66	15,856.23	22,641.35	17,114.66	15,856.23	24,995.05	17,114.66
2554	-	15,856.23	27,727.23	17,114.66	15,857.11	23,560.21	17,114.66	15,856.23	25,705.43	17,114.72
2555	-	15,856.23	29,026.91	17,114.66	38,507.97	24,502.08	17,114.66	15,856.23	26,471.97	17,114.72
2556	-	15,856.23	30,307.40	17,114.66	38,507.98	25,467.83	26,292.24	15,856.28	27,335.07	17,114.72
2557	-	15,856.23	31,562.97	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	15,858.25	28,318.34	17,114.93
2558	-	15,856.23	32,776.60	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	16,235.16	29,398.72	37,249.54
2559	-	15,856.23	33,975.22	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	35,707.00	30,605.78	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.39 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่มีเซลล์ประสาทดัดในชั้นซ่อน 9 เซลล์  
(กรณีเสริมธุรกิจขายตัวซ้ำ : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,796.94	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,041.63	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,345.58	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,806.78	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,204.02	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,910.10	17,114.66
MAPE	-	6.37	3.04	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	0.82	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	18,159.60	17,114.66	15,856.23	17,551.06	17,114.66	15,857.55	19,235.90	17,114.66
2548	-	15,856.23	18,947.98	17,114.66	15,856.23	18,308.04	17,114.66	15,861.89	20,518.81	17,114.66
2549	-	15,856.23	19,789.69	17,114.66	15,856.23	19,131.30	17,114.66	15,890.31	22,023.27	17,114.66
2550	-	15,856.23	20,594.16	17,114.66	15,856.23	19,991.79	17,114.66	16,395.10	23,613.01	17,114.66
2551	-	15,856.23	21,333.60	17,114.66	15,856.23	20,874.14	17,114.66	23,328.29	25,306.79	17,114.66
2552	-	15,856.23	21,982.68	17,114.66	15,856.23	21,744.65	17,114.66	37,295.07	27,125.55	17,114.66
2553	-	15,856.23	22,573.36	17,114.66	38,507.97	22,641.35	37,249.54	38,500.17	29,018.69	17,114.66
2554	-	15,856.23	23,097.78	17,114.66	38,507.98	23,560.21	37,249.54	38,507.90	30,986.72	17,114.66
2555	-	15,856.23	23,558.73	17,114.66	38,507.98	24,502.08	37,249.54	38,507.97	33,005.60	17,114.66
2556	-	15,856.23	23,960.22	17,114.66	38,507.98	25,467.83	37,249.54	38,507.97	35,048.52	17,114.66
2557	-	15,856.23	24,307.20	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	38,507.97	37,088.18	17,114.66
2558	-	15,856.23	24,591.58	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,507.97	39,119.35	17,114.66
2559	-	15,856.23	24,851.02	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,507.97	41,049.53	17,114.66

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.40 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยืดที่มีเซลล์ประสาทยืดในชั้นซ่อน 10 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,819.42	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,029.91	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,314.19	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.67	15,856.23	16,607.11	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,103.70	17,114.66	15,856.23	16,687.72	27,012.80	15,856.23	17,593.59	17,114.66
MAPE	-	6.37	3.24	4.76	6.37	5.28	19.26	6.37	1.32	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	17,767.98	17,114.66	15,856.23	17,551.06	37,249.54	15,856.23	18,407.82	17,114.66
2548	-	15,856.23	18,143.39	17,114.66	15,856.23	18,308.04	37,249.54	15,856.23	18,837.47	17,135.76
2549	-	15,856.23	18,472.74	17,114.66	15,856.23	19,131.30	37,249.54	15,856.23	19,278.31	36,955.65
2550	-	15,856.23	18,711.95	17,114.66	15,856.23	19,991.79	37,249.54	15,856.23	19,723.11	37,249.54
2551	-	15,856.23	18,852.36	17,114.66	15,856.23	20,874.14	37,249.54	15,856.23	20,127.03	37,249.54
2552	-	15,856.23	18,918.61	17,114.66	15,856.23	21,744.65	37,249.54	15,856.23	20,532.42	37,249.54
2553	-	15,856.23	18,974.84	17,114.66	15,856.23	22,641.35	37,249.54	15,856.23	21,028.78	37,249.54
2554	-	15,856.23	19,042.79	17,114.66	37,885.91	23,560.21	37,249.54	15,856.23	21,611.73	37,249.54
2555	-	15,856.23	19,150.15	17,114.66	38,507.97	24,502.08	37,249.54	15,856.23	22,305.22	37,249.54
2556	-	15,856.23	19,316.38	17,114.66	38,507.98	25,467.83	37,249.54	17,503.73	23,121.24	37,249.54
2557	-	15,856.23	19,552.73	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	38,507.85	24,059.27	37,249.54
2558	-	15,856.23	19,846.52	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,507.97	25,104.17	37,249.54
2559	-	15,856.23	20,222.86	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,507.98	26,238.92	37,249.54

ตารางที่ 7.41 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ้อน 11 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ้อน และในชั้นเอาร์ทัพ								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,953.17	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,016.34	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,676.32	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,791.43	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,740.10	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,889.26	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>1.07</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.28</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>0.87</b>	<b>4.76</b>
Forecast										
2547	-	15,856.23	18,990.39	17,114.66	15,856.23	17,551.06	17,114.66	15,856.30	19,125.64	17,114.66
2548	-	15,856.23	20,115.93	17,114.66	15,856.23	18,308.04	17,114.66	38,507.97	20,247.69	17,114.66
2549	-	15,856.23	21,401.14	17,114.66	15,856.23	19,131.30	17,214.27	38,507.98	21,450.24	35,859.96
2550	-	15,856.23	22,694.27	17,114.66	38,507.98	19,991.79	37,241.58	38,507.98	22,626.83	37,249.54
2551	-	15,856.23	23,956.77	17,114.66	38,507.98	20,874.14	37,249.54	38,507.98	23,754.26	37,249.54
2552	-	15,856.23	25,157.62	17,114.66	38,507.98	21,744.65	37,249.54	38,507.98	24,812.50	37,249.54
2553	-	15,856.23	26,310.14	17,114.66	38,507.98	22,641.35	37,249.54	38,507.98	25,825.01	37,249.54
2554	-	15,856.23	27,393.77	17,114.66	38,507.98	23,560.21	37,249.54	38,507.98	26,792.30	37,249.54
2555	-	15,856.23	28,398.28	17,114.66	38,507.98	24,502.08	37,249.54	38,507.98	27,720.44	37,249.54
2556	-	15,856.23	29,315.72	17,114.66	38,507.98	25,467.83	37,249.54	38,507.98	28,616.26	37,249.54
2557	-	15,856.23	30,140.49	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	38,507.98	29,486.48	37,249.54
2558	-	15,856.23	30,867.10	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,507.98	30,326.86	37,249.54
2559	-	15,856.23	31,503.10	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,507.98	31,160.38	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.42 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกเว้นที่มีเซลล์ประสาทยุติในชั้นซ้อน 12 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ้อน และในชั้นเอาท์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,864.96	17,114.66	15,856.23	15,593.26	37,249.54	15,856.23	15,718.02	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,411.31	17,114.66	15,856.23	15,908.10	37,249.54	15,856.23	16,197.38	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,354.03	17,114.66	15,856.23	16,687.72	37,249.54	15,856.23	16,863.62	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>2.49</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.28</b>	<b>119.95</b>	<b>6.37</b>	<b>4.12</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	18,330.69	17,114.66	15,856.23	17,551.06	37,249.54	15,856.23	17,490.06	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,078.02	17,114.66	15,856.23	18,308.04	37,249.54	15,856.23	17,956.03	17,114.66
2549	-	15,856.23	19,868.43	17,114.66	15,856.23	19,131.30	37,249.54	15,856.23	18,547.27	17,114.66
2550	-	15,856.23	20,634.03	17,114.66	15,856.23	19,991.79	37,249.54	15,856.23	19,153.49	17,114.66
2551	-	15,856.23	21,329.74	17,114.66	15,856.23	20,874.14	37,249.54	15,856.23	19,787.51	17,114.66
2552	-	15,856.23	21,931.81	17,114.66	15,856.23	21,744.65	37,249.54	15,856.23	20,473.02	17,144.99
2553	-	15,856.23	22,508.73	17,114.66	15,856.23	22,641.35	37,249.54	15,856.23	21,222.96	37,244.30
2554	-	15,856.23	23,053.03	17,114.66	16,122.36	23,560.21	37,249.54	15,856.23	22,047.84	37,249.54
2555	-	15,856.23	23,581.85	17,114.66	38,491.53	24,502.08	37,249.54	15,856.23	22,946.13	37,249.54
2556	-	15,856.23	24,112.65	17,114.66	38,507.97	25,467.83	37,249.54	15,856.23	23,907.84	37,249.54
2557	-	15,856.23	24,661.58	17,114.66	38,507.97	26,458.37	37,249.54	15,856.68	24,917.12	37,249.54
2558	-	15,856.23	25,221.89	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	15,857.63	25,952.41	37,249.54
2559	-	15,856.23	25,850.58	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	15,861.29	26,985.29	37,249.54

ตารางที่ 7.43 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันที่มีเซลล์ประสาทยุนิฟิเคชัน 13 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ้อยโหมในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.89	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,740.44	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,012.63	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,233.19	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,731.95	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	16,987.94	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,819.51	17,114.66
MAPE	-	6.37	3.78	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	0.89	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	17,724.70	17,114.66	15,856.23	17,551.06	17,114.66	15,856.23	18,937.84	17,114.66
2548	-	15,856.23	18,251.41	17,114.66	15,856.23	18,308.04	17,114.66	15,856.23	19,809.21	17,114.66
2549	-	15,856.23	18,799.85	17,114.66	15,856.23	19,131.30	17,114.66	15,856.23	20,687.77	17,922.09
2550	-	15,856.23	19,290.20	17,114.66	15,856.23	19,991.79	17,114.66	15,856.23	21,495.96	37,249.54
2551	-	15,856.23	19,702.15	17,114.66	15,871.41	20,874.14	17,114.66	15,856.23	22,177.80	37,249.54
2552	-	15,856.23	20,042.05	17,114.66	37,087.18	21,744.65	17,114.66	15,856.23	22,716.39	37,249.54
2553	-	15,856.23	20,351.67	17,114.66	38,507.92	22,641.35	37,249.53	15,856.23	23,181.33	37,249.54
2554	-	15,856.23	20,637.02	17,114.66	38,507.97	23,560.21	37,249.54	15,856.23	23,562.88	37,249.54
2555	-	15,856.23	20,915.35	17,114.66	38,507.97	24,502.08	37,249.54	15,856.23	23,880.68	37,249.54
2556	-	15,856.23	21,202.00	17,114.66	38,507.98	25,467.83	37,249.54	15,858.47	24,153.51	37,249.54
2557	-	15,856.23	21,509.57	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	38,507.97	24,397.93	37,249.54
2558	-	15,856.23	21,842.20	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,507.98	24,603.92	37,249.54
2559	-	15,856.23	22,217.57	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,507.98	24,840.86	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.44 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยานที่มีเซลล์ประสาทยานในชั้นซ่อน 14 เซลล์  
(กรณีเสริมธุรกิจขายตัวซ้ำ : LEG)

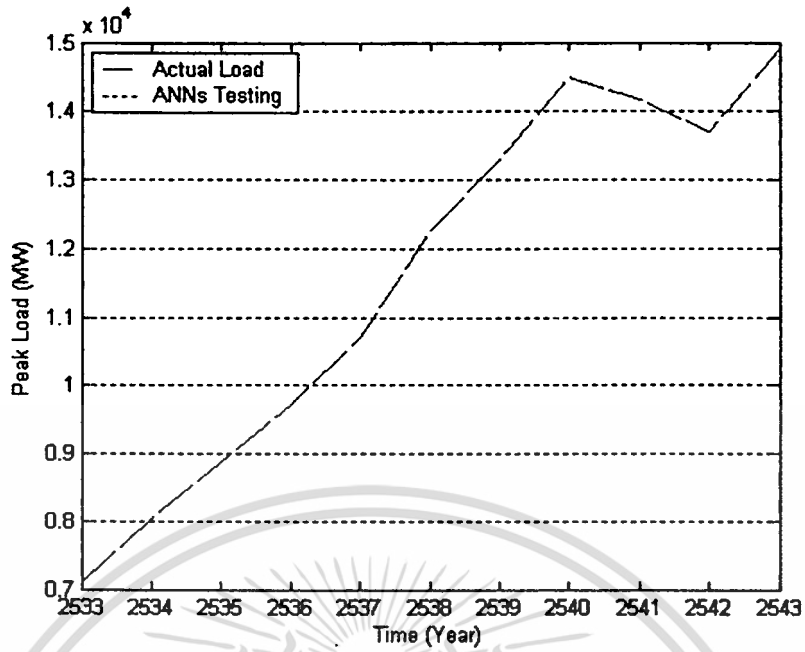
ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุท								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
MAPE	-	45.61	0.00	57.16	45.61	1.02	57.16	45.61	0.00	57.16
Test										
2544	16,126.40	15,856.23	15,744.25	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,070.02	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,269.01	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,685.90	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,100.98	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,661.26	17,114.66
MAPE	-	6.37	3.49	4.76	6.37	5.28	4.76	6.37	0.97	4.76
Forecast										
2547	-	15,856.23	18,024.93	17,114.66	15,856.23	17,551.06	17,114.66	15,856.23	18,534.89	17,114.66
2548	-	15,856.23	18,800.72	17,114.66	15,856.23	18,308.04	17,114.66	15,856.23	19,093.58	17,114.66
2549	-	15,856.23	19,699.24	17,114.66	15,856.23	19,131.30	17,131.38	15,856.23	19,814.44	17,114.66
2550	-	15,856.23	20,614.01	17,114.66	15,856.23	19,991.79	37,249.54	15,856.44	20,660.33	17,114.66
2551	-	15,856.23	21,512.88	17,114.66	15,856.23	20,874.14	37,249.54	38,397.70	21,670.25	17,285.51
2552	-	15,856.23	22,375.10	17,114.66	15,856.23	21,744.65	37,249.54	38,507.97	22,877.73	37,237.68
2553	-	15,856.23	23,239.57	17,114.66	38,507.71	22,641.35	37,249.54	38,507.97	24,329.86	37,249.54
2554	-	15,856.23	24,092.65	17,114.66	38,507.98	23,560.21	37,249.54	38,507.97	26,013.88	37,249.54
2555	-	15,856.23	24,935.39	17,114.95	38,507.98	24,502.08	37,249.54	38,507.98	27,900.62	37,249.54
2556	-	15,856.23	25,768.89	17,128.47	38,507.98	25,467.83	37,249.54	38,507.98	29,945.66	37,249.54
2557	-	15,856.23	26,594.20	17,697.63	38,507.98	26,458.37	37,249.54	38,507.98	32,098.20	37,249.54
2558	-	15,856.23	27,399.26	27,690.20	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,507.98	34,275.91	37,249.54
2559	-	15,856.23	28,223.93	36,683.15	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,507.98	36,487.41	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

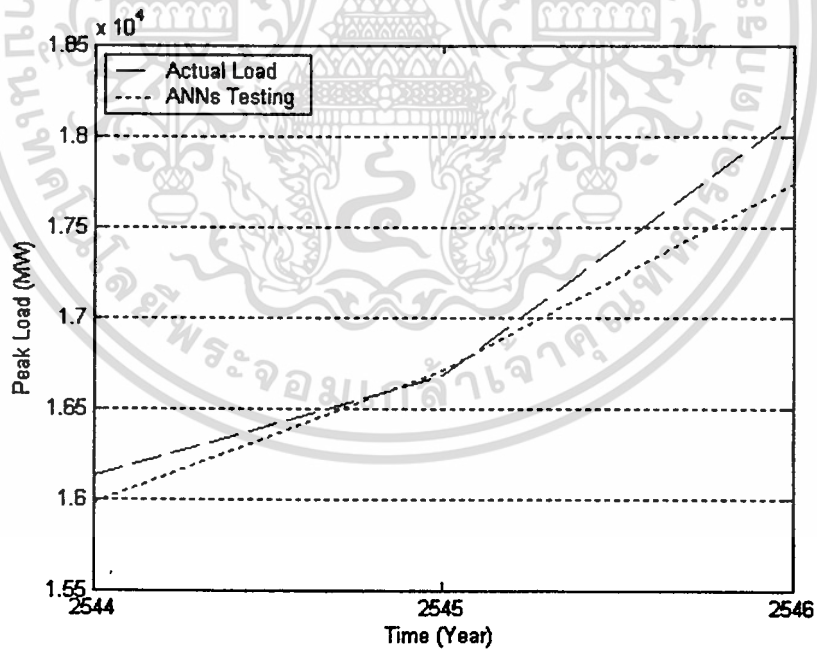
ตารางที่ 7.45 ผลการพยากรณ์ Peak Load ของโครงข่ายประสาทยกที่มีเซลล์ประสาทยกในชั้นซ่อน 15 เซลล์  
(กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

ปี	ค่าจริง	รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และในชั้นเอาต์พุต								
		Logsig	Logsig	Logsig	Purelin	Purelin	Purelin	Tansig	Tansig	Tansig
		Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig	Logsig	Purelin	Tansig
2533	7,093.70	15,856.23	7,093.70	17,114.66	15,856.23	6,921.51	17,114.66	15,856.23	7,093.70	17,114.66
2534	8,045.00	15,856.23	8,045.00	17,114.66	15,856.23	7,972.25	17,114.66	15,856.23	8,045.00	17,114.66
2535	8,876.90	15,856.23	8,876.90	17,114.66	15,856.23	8,910.97	17,114.66	15,856.23	8,876.90	17,114.66
2536	9,730.00	15,856.23	9,730.00	17,114.66	15,856.23	9,925.98	17,114.66	15,856.23	9,730.00	17,114.66
2537	10,708.80	15,856.23	10,708.80	17,114.66	15,856.23	10,930.71	17,114.66	15,856.23	10,708.80	17,114.66
2538	12,267.90	15,856.23	12,267.90	17,114.66	15,856.23	12,311.94	17,114.66	15,856.23	12,267.90	17,114.66
2539	13,310.90	15,856.23	13,310.90	17,114.66	15,856.23	13,194.59	17,114.66	15,856.23	13,310.90	17,114.66
2540	14,506.30	15,856.23	14,506.30	17,114.66	15,856.23	14,350.10	17,114.66	15,856.23	14,506.30	17,114.66
2541	14,179.90	15,856.23	14,179.90	17,114.66	15,856.23	14,266.70	17,114.66	15,856.23	14,179.90	17,114.66
2542	13,712.40	15,856.23	13,712.40	17,114.66	15,856.23	13,658.70	17,114.66	15,856.23	13,712.40	17,114.66
2543	14,918.30	15,856.23	14,918.30	17,114.66	15,856.23	14,906.66	17,114.66	15,856.23	14,918.30	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>1.02</b>	<b>57.16</b>	<b>45.61</b>	<b>0.00</b>	<b>57.16</b>
<b>Test</b>										
2544	16,126.40	15,856.23	15,797.59	17,114.66	15,856.23	15,593.26	17,114.66	15,856.23	16,056.56	17,114.66
2545	16,681.10	15,856.23	16,390.30	17,114.66	15,856.23	15,908.10	17,114.66	15,856.23	16,805.85	17,114.66
2546	18,121.40	15,856.23	17,280.19	17,114.66	15,856.23	16,687.72	17,114.66	15,856.23	17,896.47	17,114.66
<b>MAPE</b>	-	<b>6.37</b>	<b>2.81</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>5.28</b>	<b>4.76</b>	<b>6.37</b>	<b>0.81</b>	<b>4.76</b>
<b>Forecast</b>										
2547	-	15,856.23	18,273.69	17,114.66	15,856.23	17,551.06	17,114.66	15,856.23	19,086.64	17,114.66
2548	-	15,856.23	19,139.12	17,114.66	15,856.23	18,308.04	17,114.66	15,856.23	20,026.83	17,114.66
2549	-	15,856.23	20,148.86	17,114.66	15,856.23	19,131.30	17,114.66	16,194.65	20,996.92	17,114.66
2550	-	15,856.23	21,183.53	17,114.66	15,856.23	19,991.79	17,114.66	38,507.97	21,896.61	17,114.66
2551	-	15,856.23	22,217.01	17,114.66	15,856.23	20,874.14	17,114.66	38,507.97	22,694.85	17,114.66
2552	-	15,856.23	23,236.50	17,114.66	38,505.92	21,744.65	37,249.52	38,507.98	23,387.92	17,121.25
2553	-	15,856.23	24,273.30	17,114.66	38,507.97	22,641.35	37,249.54	38,507.98	24,036.25	22,712.42
2554	-	15,856.23	25,319.88	17,114.66	38,507.98	23,560.21	37,249.54	38,507.98	24,649.98	37,197.77
2555	-	15,856.23	26,379.36	17,114.66	38,507.98	24,502.08	37,249.54	38,507.98	25,256.48	37,249.46
2556	-	15,856.23	27,454.34	17,114.66	38,507.98	25,467.83	37,249.54	38,507.98	25,880.65	37,249.54
2557	-	15,856.23	28,546.71	17,114.66	38,507.98	26,458.37	37,249.54	38,507.98	26,542.40	37,249.54
2558	-	15,856.23	29,647.59	17,114.66	38,507.98	27,452.99	37,249.54	38,507.98	27,244.30	37,249.54
2559	-	15,856.23	30,779.81	17,114.66	38,507.98	28,498.41	37,249.54	38,507.98	28,010.29	37,249.54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

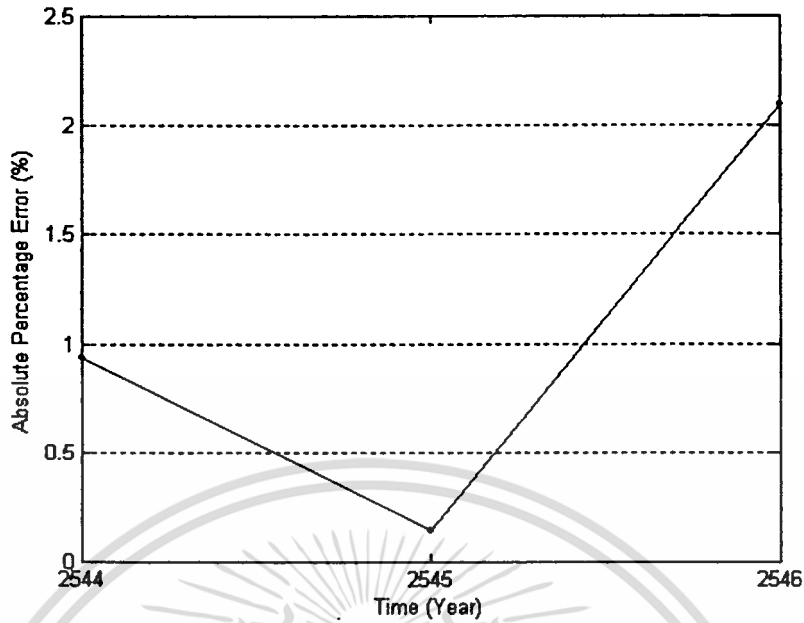


รูปที่ 7.10 เปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2543 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

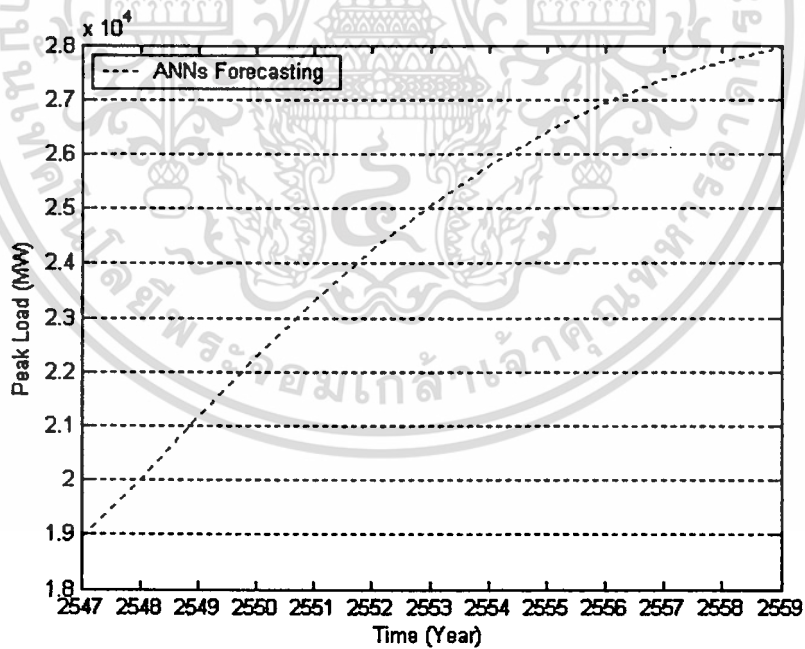


รูปที่ 7.11 เปรียบเทียบค่าจริง และค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 7.12** Absolute Percentage Error ของค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2546 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)



**รูปที่ 7.13** ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้ ANNs ที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ (กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า : LEG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการทางสถิติ

การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวโดยใช้วิธีการทางสถิติในวิทยานิพนธ์นี้ ได้สร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows เพื่อทำการพยากรณ์ตัวแปรด้านนอกคือ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ดังนี้

1 วิธี Holt Linear จะใช้ตัวแปรด้านเข้า คือ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในอดีตเพื่อที่จะพยากรณ์ค่าของตัวแปรนั้นในอนาคตโดยไม่คำนึงปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีความสัมพันธ์กับ Peak Load ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์แนวโน้มของค่า Peak Load ในอดีตก็จะสมมติว่าเป็นไปเช่นเดียวกันในอนาคต

ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ที่ได้จากโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows จะแสดงในตารางที่ 7.46 ซึ่งมีส่วนตัดแกน = 6702.47 และค่าแนวโน้ม = 782.46 โดยได้ค่าคงที่  $\alpha = 1$  และค่าคงที่  $\beta = 0$  โดยพบว่าค่า MAPE ของการ Fitting = 4.19% และค่า MAPE ของการทดสอบ = 2.85% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี Holt Linear เมื่อนำมาใช้กับข้อมูลที่มีลักษณะไม่เชิงเส้นจะทำให้เกิดค่าผิดพลาดค่อนข้างสูง

2 วิธี Multiple Linear Regression จะสร้างสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak Load กับปัจจัยทางเศรษฐกิจ คือ ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า โดยกำหนดให้ตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์เป็นตัวแปรตาม ส่วนตัวแปรที่เหลือแทนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์โดยกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ

ผลลัพธ์จากโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ = 0.985 นั่นคือตัวแปร GDP และ Customer จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปร Peak Load สูงมาก ซึ่งสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Peak Load ได้ถึงร้อยละ 98.5% และจะได้สมการถดถอย ดังนี้

$$Peak Load = -5576.9897 + 0.0023(GDP) + 0.001(Customer)$$

จากสมการเมื่อแทนค่า GDP และจำนวนประชากรในอนาคต ก็จะสามารถหาค่า Peak Load ในอนาคตได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในตารางที่ 7.46 โดยพบว่าค่า MAPE ของการ Fitting = 2.45%, ค่า MAPE ของการทดสอบ = 3.14% และเมื่อได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนค่าของ GDP ก็พบว่าค่า Peak Load ที่ได้จะมีปรับเปลี่ยนตามอัตราการขยายตัวของค่า GDP

3 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการของคณะกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า หรือ Thailand Load Forecast Subcommittee [88] พบว่ามีค่า MAPE ของการทดสอบ = 2.3881%

4 เมื่อทำการเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมกับวิธีการข้างต้น พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 7.47 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ที่สูงกว่าวิธีการแบบอื่นเมื่อลักษณะของข้อมูลมีรูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถแสดงค่าพยากรณ์ Peak Load ได้ดังรูปที่ 7.14-7.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.46 ผลการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้วิธีการทางสถิติ

ปี	ค่าจริง	Multiple Linear Regression			Holt's Linear	TLFS [88]
		MEG	REG	LEG		
2533	7,093.70	6,941.98	6,941.98	6,941.98	7,484.93	-
2534	8,045.00	7,935.08	7,935.08	7,935.08	7,876.16	-
2535	8,876.90	8,927.31	8,927.31	8,927.31	8,827.46	-
2536	9,730.00	9,983.99	9,983.99	9,983.99	9,659.36	-
2537	10,708.80	11,016.12	11,016.12	11,016.12	10,512.46	-
2538	12,267.90	12,299.31	12,299.31	12,299.31	11,491.26	-
2539	13,310.90	13,321.59	13,321.59	13,321.59	13,050.36	-
2540	14,506.30	13,918.59	13,918.59	13,918.59	14,093.36	-
2541	14,179.90	13,666.74	13,666.74	13,666.74	15,288.76	-
2542	13,712.40	14,322.11	14,322.11	14,322.11	14,962.36	-
2543	14,918.30	15,017.27	15,017.27	15,017.27	14,494.86	-
MAPE	-	2.45	2.45	2.45	4.19	-
Test						
2544	16,126.40	15,558.32	15,558.32	15,558.32	15,700.76	16,184.00
2545	16,681.10	16,406.45	16,406.45	16,406.45	16,483.22	17,388.00
2546	18,121.40	17,349.00	17,349.00	17,349.00	17,265.68	18,587.00
MAPE	-	3.14	3.14	3.14	2.85	2.39
Forecast						
2547	-	18,323.63	18,399.99	18,195.05	18,048.14	19,913.00
2548	-	19,289.71	19,459.58	19,070.29	18,830.60	21,222.00
2549	-	20,277.77	20,550.17	19,957.10	19,613.06	22,552.00
2550	-	21,288.55	21,673.38	20,855.71	20,395.52	23,951.00
2551	-	22,324.52	22,859.27	21,755.70	21,177.98	25,450.00
2552	-	23,384.34	24,082.86	22,669.11	21,960.44	27,232.00
2553	-	24,467.95	25,372.37	23,594.78	22,742.90	28,912.00
2554	-	25,586.51	26,704.91	24,533.63	23,525.36	30,587.00
2555	-	26,728.73	28,081.63	25,484.97	24,307.82	32,405.00
2556	-	27,906.34	29,516.64	26,449.50	25,090.28	34,352.00
2557	-	29,106.18	30,998.60	27,425.36	25,872.74	36,366.00
2558	-	30,353.01	32,552.50	28,425.05	26,655.20	38,519.00
2559	-	31,621.72	34,158.21	29,436.53	27,437.66	40,699.00

หมายเหตุ 1 ได้ปรับเปลี่ยนค่า GDP เฉพาะในปี 2547-2559 ตามสมมติฐานการพยากรณ์เศรษฐกิจไทยของ TDRI [87]

2 TLFS : Thailand Load Forecast Subcommittee หรือ คณะอนุกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า [88]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.47 สรุปผลการพยากรณ์ Peak Load โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และวิธีการทางสถิติ

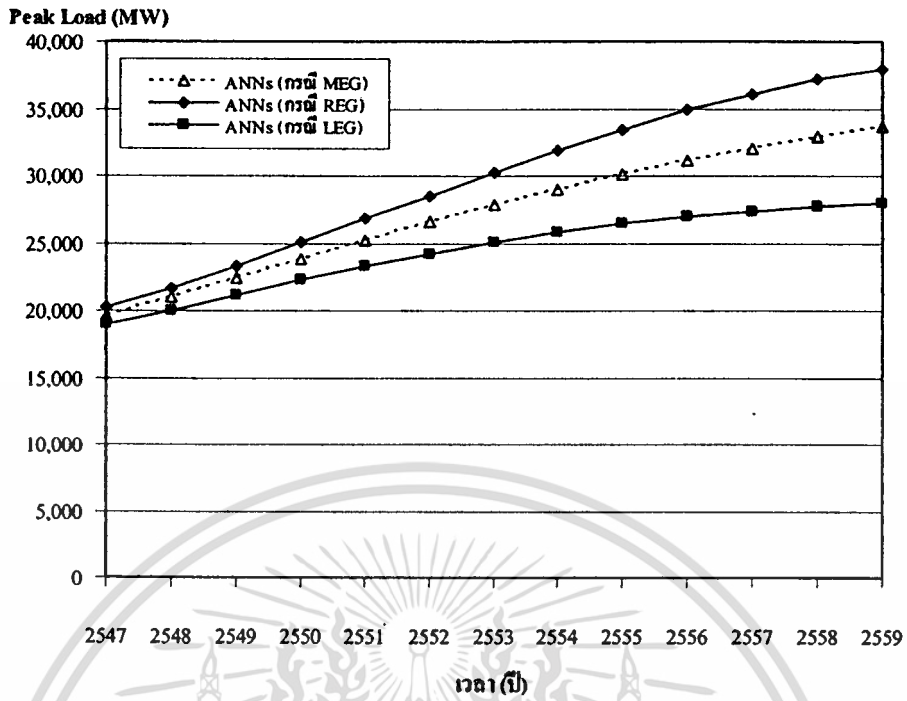
ปี	ค่าจริง	ANNs			Multiple Linear Regression			Holt's Linear	TLFS [88]
		MEG	REG	LEG	MEG	REG	LEG		
2533	7,093.70	7,093.70	7,093.70	7,093.70	6,941.98	6,941.98	6,941.98	7,484.93	-
2534	8,045.00	8,045.00	8,045.00	8,045.00	7,935.08	7,935.08	7,935.08	7,876.16	-
2535	8,876.90	8,876.90	8,876.90	8,876.90	8,927.31	8,927.31	8,927.31	8,827.46	-
2536	9,730.00	9,730.00	9,730.00	9,730.00	9,983.99	9,983.99	9,983.99	9,659.36	-
2537	10,708.80	10,708.80	10,708.80	10,708.80	11,016.12	11,016.12	11,016.12	10,512.46	-
2538	12,267.90	12,267.90	12,267.90	12,267.90	12,299.31	12,299.31	12,299.31	11,491.26	-
2539	13,310.90	13,310.90	13,310.90	13,310.90	13,321.59	13,321.59	13,321.59	13,050.36	-
2540	14,506.30	14,506.30	14,506.30	14,506.30	13,918.59	13,918.59	13,918.59	14,093.36	-
2541	14,179.90	14,179.90	14,179.90	14,179.90	13,666.74	13,666.74	13,666.74	15,288.76	-
2542	13,712.40	13,712.40	13,712.40	13,712.40	14,322.11	14,322.11	14,322.11	14,962.36	-
2543	14,918.30	14,918.30	14,918.30	14,918.30	15,017.27	15,017.27	15,017.27	14,494.86	-
MAPE	-	0.00	0.00	0.00	2.45	2.45	2.45	4.19	-
Test									
2544	16,126.40	16,084.52	16,066.64	15,975.02	15,558.32	15,558.32	15,558.32	15,700.76	16,184.00
2545	16,681.10	16,712.93	16,916.13	16,704.90	16,406.45	16,406.45	16,406.45	16,483.22	17,388.00
2546	18,121.40	18,107.15	18,079.14	17,742.35	17,349.00	17,349.00	17,349.00	17,265.68	18,587.00
MAPE	-	0.18	0.67	1.06	3.14	3.14	3.14	2.85	2.39
Forecast									
2547	-	19,646.38	20,302.53	18,953.28	18,323.63	18,399.99	18,195.05	18,048.14	19,913.00
2548	-	20,960.37	21,660.62	20,004.00	19,289.71	19,459.58	19,070.29	18,830.60	21,222.00
2549	-	22,391.00	23,348.44	21,161.57	20,277.77	20,550.17	19,957.10	19,613.06	22,552.00
2550	-	23,827.50	25,056.44	22,274.10	21,288.55	21,673.38	20,855.71	20,395.52	23,951.00
2551	-	25,213.93	26,802.83	23,305.67	22,324.52	22,859.27	21,755.70	21,177.98	25,450.00
2552	-	26,542.24	28,519.09	24,230.31	23,384.34	24,082.86	22,669.11	21,960.44	27,232.00
2553	-	27,796.95	30,234.81	25,063.10	24,467.95	25,372.37	23,594.78	22,742.90	28,912.00
2554	-	28,973.43	31,867.82	25,792.53	25,586.51	26,704.91	24,533.63	23,525.36	30,587.00
2555	-	30,084.61	33,434.76	26,417.99	26,728.73	28,081.63	25,484.97	24,307.82	32,405.00
2556	-	31,094.65	34,877.87	26,942.20	27,906.34	29,516.64	26,449.50	25,090.28	34,352.00
2557	-	32,034.93	36,135.13	27,370.63	29,106.18	30,998.60	27,425.36	25,872.74	36,366.00
2558	-	32,874.21	37,208.39	27,707.23	30,353.01	32,552.50	28,425.05	26,655.20	38,519.00
2559	-	33,660.40	38,015.87	27,970.72	31,621.72	34,158.21	29,436.53	27,437.66	40,699.00

หมายเหตุ 1 ได้ปรับเปลี่ยนค่า GDP เฉพาะในปี 2547-2559 ตามสมมุติฐานการพยากรณ์เศรษฐกิจไทยของ TDRI [87]

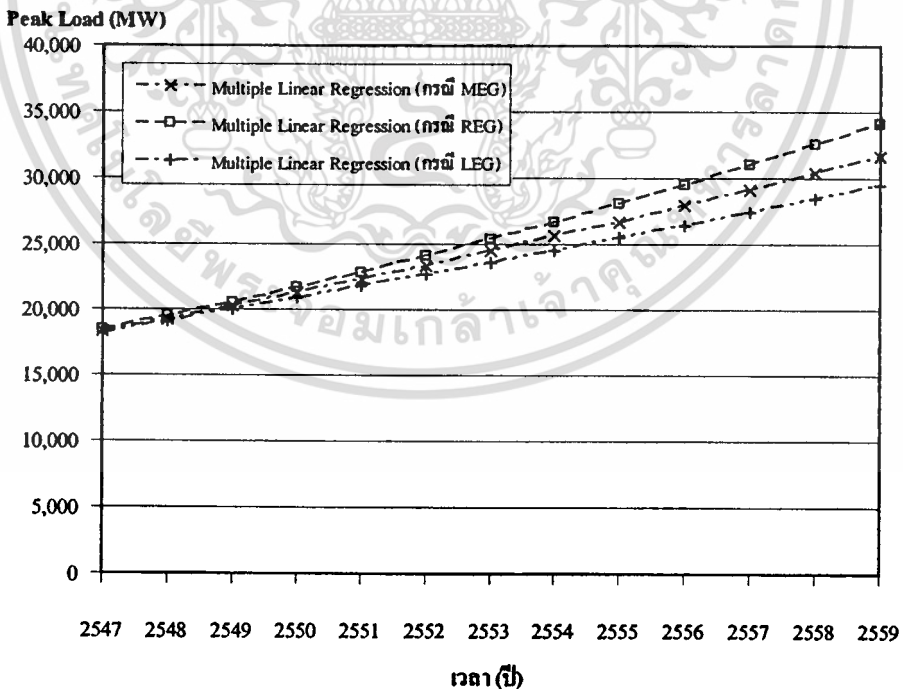
2 TLFS : Thailand Load Forecast Subcommittee หรือ คณะอนุกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า [88]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

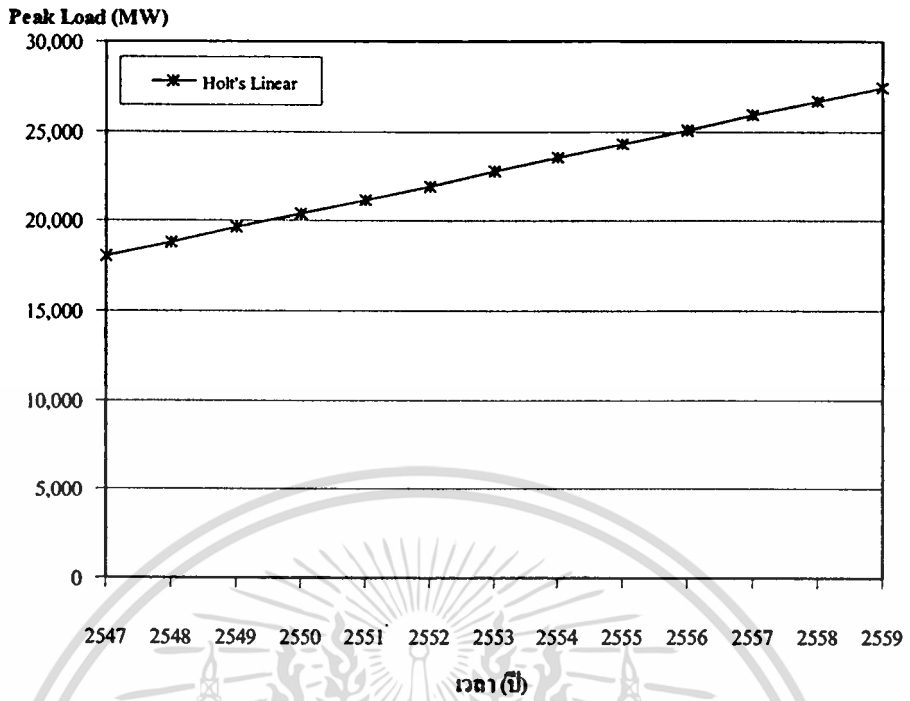


รูปที่ 7.14 ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้วิธี ANNs (กรณี MEG, REG และ LEG)

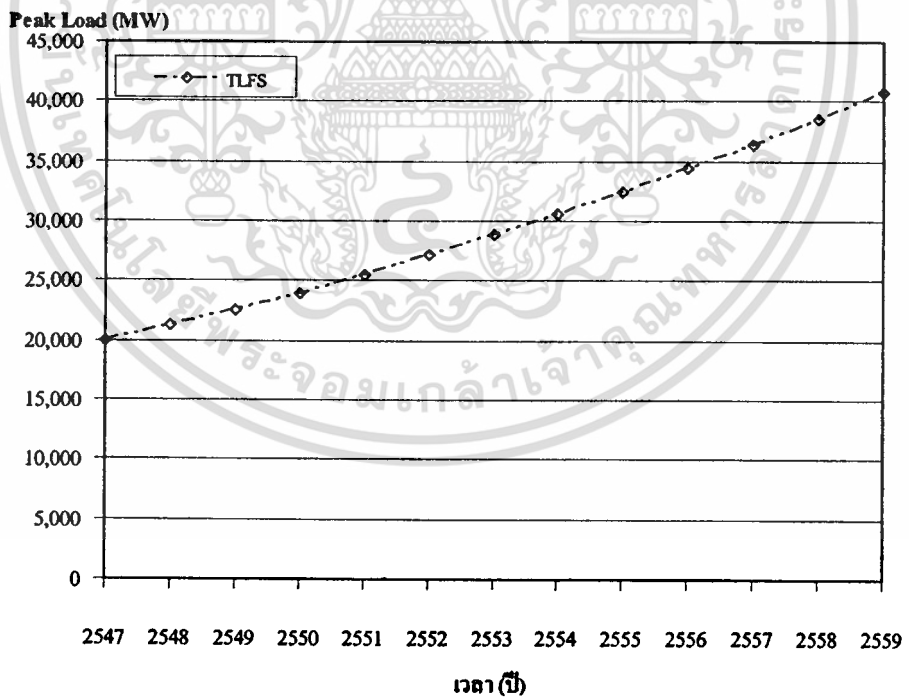


รูปที่ 7.15 ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้วิธี Multiple Linear Regression (กรณี MEG, REG และ LEG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.16 ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้วิธี Holt's Linear



รูปที่ 7.17 ค่าพยากรณ์ Peak Load ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 เมื่อใช้วิธีการของ TLFS [88]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3 แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 (กรณีศึกษา)

#### 7.3.1 สถานภาพปัจจุบัน

ในครึ่งปีแรกของปีงบประมาณ 2547 (สิ้นสุด 31 มีนาคม 2547) ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในระบบเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2547 เท่ากับ 19,325.8 MW โดยสูงกว่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในปีงบประมาณ 2546 ซึ่งเกิดขึ้นวันที่ 7 พฤษภาคม 2546 เท่ากับ 1,204.4 MW (ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในปีงบประมาณ 2546 เท่ากับ 18,121.4 MW) หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.65

โดยในปีงบประมาณ 2547 มีกำลังผลิตติดตั้งของระบบรวมทั้งสิ้น 25,705.2 MW ประกอบด้วย โรงไฟฟ้าของ กฟผ. 15,150.8 MW (58.9%) และรับซื้อจากเอกชนและประเทศเพื่อนบ้านรวมทั้งสิ้น 10,554.4 MW (41.1%) ซึ่งหากจำแนกประเภทของโรงไฟฟ้าจะสามารถแบ่งเป็น โรงไฟฟ้าพลังน้ำ 3,261.7 MW (12.7%) โรงไฟฟ้าพลังความร้อน 8,339 MW (32.4%) โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม 12,533.6 MW (48.7%) โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สและดีเซล 1,148.0 MW (4.5%) พลังงานหมุนเวียน 122.9 MW (0.5%) และสายส่งเชื่อมโยงไทย-มาเลเซีย 300.0 MW (1.2%)



รูปที่ 7.18 สถานะกำลังผลิตไฟฟ้าและความต้องการไฟฟ้าในปีงบประมาณ 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3.2 สมมติฐานที่ใช้ในการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า

7.3.2.1 ใช้ผลการพยากรณ์ Peak Load ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม (กรณี MEG) ซึ่งมีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน Log-sigmoid ในชั้นซ่อนและใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน Linear ในชั้นตัวแปรค่านอกมาเป็นฐานข้อมูลในการจัดทำแผน

7.3.2.2 โครงการโรงไฟฟ้าที่นำมาคัดเลือกเข้าแผน จะประกอบด้วย

#### 1 โรงไฟฟ้าประเภท Base Load Plant

- โรงไฟฟ้าพลังความร้อน (Conventional) เครื่องละ 700 MW ใช้ถ่านหินหรือน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง
- โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ขนาดกำลังผลิตชุดละ 700 MW ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

#### 2 โรงไฟฟ้าประเภท Intermediate Plant

- โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ขนาดกำลังผลิตชุดละ 700 MW ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

#### 3 โรงไฟฟ้าประเภท Peaking Plant

- โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สเครื่องละ 220 MW ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง
- โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ

7.3.2.3 กำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองต่ำสุดประมาณ 15 % และกำหนดความมั่นคงของระบบไฟฟ้าด้วยตัวชี้วัดโอกาสที่จะเกิด ไฟฟ้าดับ (LOLP) ไม่เกิน 24 ชั่วโมงต่อปี

7.3.2.4 การซื้อไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าเอกชนและจากประเทศเพื่อนบ้าน

- 1 ซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายใหญ่ (Independent Power Producer)
- 2 รับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (Small Power Producer)
- 3 รับซื้อไฟฟ้าจากโครงการที่จะพัฒนาใน สปป.ลาว

7.3.2.5 กำหนดให้โรงไฟฟ้าใหม่ต้องมีโรงไฟฟ้า RPS ร้อยละ 5 เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable Portfolio Standard)

7.3.2.6 พิจารณาความร่วมมือด้านพลังงานไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน เพื่อให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ความร่วมมือพลังงานระหว่างประเทศ

7.3.2.7 ยึดอายุการใช้งานโรงไฟฟ้าปัจจุบันเพื่อลดภาระการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ โดยจะยึดอายุโรงไฟฟ้าพลังความร้อนพระนครใต้ เครื่องที่ 1-2 และ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง ชุดที่ 1-2 ออกไปปลดปี 2558 และ 2559 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3.3 การจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า

เมื่อได้พิจารณาความต้องการไฟฟ้าและแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นรายภาคแล้ว พบว่าภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีโรงไฟฟ้าไม่เพียงพอกับความต้องการ เนื่องจากอุปสรรคด้านเชื้อเพลิง โดยต้องมีการถ่ายเทพลังและพลังงานไฟฟ้าจากภาคอื่นมาช่วย จึงพิจารณาจัดทำแผนดังนี้

#### 7.3.3.1 แผนพัฒนาไฟฟ้าภาคใต้

ในปี 2546 ภาคใต้มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1,236.6 MW ขณะที่กำลังผลิตไฟฟ้าพร้อมจ่ายในภาคใต้เพียง 1,681.5 MW ดังนั้นความต้องการไฟฟ้าส่วนที่เหลือจึงต้องรับไฟฟ้าจากภาคกลางผ่านสายส่งเชื่อมโยงภาคกลาง-ภาคใต้ ซึ่งปัจจุบันส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 350-400 MW เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของสายส่งที่มีระยะทางยาวและเป็นสายขนาดเล็ก ในขณะเดียวกันก็มีสายส่งเชื่อมโยงไทย-มาเลเซีย เป็นกำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง 300 เมกะวัตต์ ดังนั้นเมื่อได้พิจารณาถึงความต้องการไฟฟ้าในช่วงปี 2547-2554 แม้ว่าจะเพิ่มการจ่ายไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้ากระบี่ที่มีกำหนดจ่ายไฟฟ้าในปี 2547 และรวมพลังไฟฟ้าจากสายส่งเชื่อมโยงทั้งหมดจากภาคกลางและมาเลเซียแล้ว ก็ยังมีความเสี่ยงที่จะเกิดไฟฟ้าดับหากเกิดขัดข้องในระบบไฟฟ้า

แนวทางแก้ไขโดยก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมขนาด 700 MW ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่ จ. สงขลา ในปี 2551 พร้อมกับเสริมระบบส่งไฟฟ้าเชื่อมโยงภาคกลาง-ภาคใต้ให้สามารถส่งไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยการปรับปรุงสายส่งขนาด 115 kV เดิม บางสะพาน 1-สุราษฎร์ธานี ให้เป็นสายส่งขนาด 230 kV บางสะพาน 1-ชุมพร-สุราษฎร์ธานี ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาข้อจำกัดการถ่ายเทพลังไฟฟ้าของสายส่งเชื่อมโยงภาคกลาง-ภาคใต้ นอกจากนี้หากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภาคใต้เกิดขัดข้องก็สามารถส่งไฟฟ้าจากภาคกลางลงไปช่วยได้

#### 7.3.3.2 แผนพัฒนาไฟฟ้าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภาคที่มีความต้องการไฟฟ้ามากกว่ากำลังผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่ซึ่งประกอบด้วย โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำพอง และ โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ทำให้ต้องพึ่งพาพลังและพลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งเชื่อมโยงภาคกลาง-ภาคเหนือ และนำเข้าจากสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) ขณะเดียวกัน โรงไฟฟ้าพลังความร้อนน้ำพองก็ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ เนื่องจากปริมาณก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพองมีปริมาณลดลง

จากความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและปัญหาการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำพอง จึงแก้ปัญหาการขาดแคลนไฟฟ้าระยะแรกด้วยการปรับปรุงสายส่ง 230 kV สระบุรี 2-ลำตะคอง-นครราชสีมา 2 ให้สามารถส่งพลังไฟฟ้าจากภาคกลางไปภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้มากขึ้น และรับซื้อไฟฟ้าจากโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำน้ำเทิน 2 จำนวน 920 MW ซึ่งจะลดปัญหาได้ระยะหนึ่ง ดังนั้นเพื่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้าจึงต้องจัดหา กำลังผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมด้วยการเพิ่มแหล่งผลิตไฟฟ้าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หรือรับซื้อไฟฟ้าจาก สปป.ลาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3.3.4 แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้ารวม

ในช่วงระหว่างปี 2547-2558 จะมีกำลังผลิตติดตั้งเพิ่มขึ้นสุทธิ 13,629.6 MW เมื่อรวมกับกำลังผลิตติดตั้งปัจจุบัน (สิ้นเดือนธันวาคม 2546) จำนวน 25,363 MW แล้วจะทำให้กำลังผลิตติดตั้งในปลายปี 2558 มีจำนวน 39,467.6 MW ดังแสดงในตารางที่ 7.49-7.50 และรูปที่ 7.17-7.18

### 7.3.4 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองต่ำสุดในแต่ละปี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7.48 ดังนี้

ตารางที่ 7.48 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองต่ำสุดในแต่ละปี (กรณีศึกษา)

ปีงบประมาณ	กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองต่ำสุด (%)
2547	26.53
2548	20.98
2549	12.91
2550	18.61
2551	20.26
2552	17.16
2553	17.83
2554	18.12
2555	18.39
2556	16.91
2557	16.46
2558	16.74

### 7.3.5 แนวทางแก้ไขปัญหากำลังผลิตสำรองต่ำในปี พ.ศ. 2549

การก่อสร้างโรงไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในระยะยาวนั้น จะต้องใช้เวลาในการศึกษาเตรียมการและก่อสร้างประมาณ 5-6 ปี แล้วแต่ประเภทของโรงไฟฟ้า ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องแก้ไขปัญหการผลิตไฟฟ้าขาดความมั่นคงกรณีเร่งด่วนนั้น ก็สามารถสร้างโรงไฟฟ้ากักเก็บแก๊สซึ่งใช้เวลาประมาณ 3 ปี (แต่โรงไฟฟ้าประเภทนี้มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าโรงไฟฟ้าหลักประเภทอื่นๆ) ดังนั้นภายในช่วง 3 ปี นับจากการปรับแผนพัฒนาระบบไฟฟ้าใหม่ โรงไฟฟ้าที่จะนำเข้าเสริมระบบไฟฟ้าจึงยังคงเป็นไปตามแผนฯ เดิม และหลังจากนั้นในระยะยาวจึงสามารถปรับเพิ่มโรงไฟฟ้าตามแผนฯ ที่ปรับใหม่ได้

เนื่องจากในปี 2549 ไม่สามารถที่จะสร้างโรงไฟฟ้าใหม่เข้าเสริมระบบไฟฟ้าได้ทัน จึงได้พิจารณาแนวทางการแก้ไขกำลังผลิตสำรองต่ำอยู่ 2 ประเด็น คือ การลดความต้องการไฟฟ้าในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และการเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตของโรงไฟฟ้า ซึ่งสามารถกำหนดมาตรการแก้ไขปัญหากล้าผลิตสำรองต่ำเป็น 2 มาตรการ คือ มาตรการด้านการใช้ไฟฟ้า และมาตรการด้านการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า ดังนี้

### 7.3.5.1 มาตรการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Management)

1 มาตรการขอความร่วมมือ เป็นมาตรการที่นอกจากจะทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดลดลงแล้ว ยังทำให้ประชาชนและผู้ที่เกี่ยวข้องได้รับความร่วมมือได้รับผลกระทบน้อย และยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้อีกด้วย ซึ่งมีวิธีการดังนี้

- รณรงค์ให้มีการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ
- รณรงค์และขอความร่วมมือประชาชนและส่วนราชการให้ช่วยลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 10.00-11.00 น., 14.00-15.00 น. และ 19.00-20.00 น.
- ขอให้โรงงานอุตสาหกรรมปรับช่วงการผลิต โดยให้ลดการผลิตในช่วงเวลา 10.00-11.00 น., 14.00-15.00 น. และ 19.00-20.00 น.
- ขอความร่วมมือประชาชนและผู้ประกอบการ โดยเฉพาะห้างสรรพสินค้าลดหรือลดการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00-11.00 น., 14.00-15.00 น. และ 19.00-20.00 น.

2 มาตรการจูงใจ เป็นมาตรการที่ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าลดลง แต่อาจทำให้เกิดภาระเพิ่มขึ้นต่อผู้ประกอบการ ดังนั้นจึงต้องจูงใจให้เห็นถึงความจำเป็นหรือขอชดเชยภาระที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีวิธีการดังนี้

- ขอให้โรงงานอุตสาหกรรมเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าสำรองเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าจากระบบในช่วงเวลา 10.00-11.00 น., 14.00-15.00 น. และ 19.00-20.00 น.
- ปรับปรุงอัตราค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อจูงใจให้โรงงานอุตสาหกรรมใช้ไฟฟ้านอกเวลา 10.00-11.00 น., 14.00-15.00 น. และ 19.00-20.00 น.

3 มาตรการบังคับ เป็นมาตรการที่ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าลดลงได้อย่างมาก บางวิธีการอาจส่งผลกระทบต่อทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และการเมืองในระดับสูง จึงจำเป็นต้องประสานงานกันระหว่าง กฟผ. กฟน. กฟภ. และส่วนราชการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีวิธีการดังนี้

- ลดแรงดันไฟฟ้า
- หมุนเวียนดับไฟในบางพื้นที่
- เปิดไฟฟ้าถนนดวงเว้นดวง และห้ามเปิดไฟโฆษณา
- เลื่อนการเปิดสถานบริการอาบอบนวด ไนต์คลับ เป็นช่วงเวลา
- งดแพร่ภาพโทรทัศน์ และงดการใช้สนามกีฬาในช่วงเวลา 19.00-20.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3.5.2 มาตรการด้านการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า (Supply Management)

#### 1 มาตรการภายใน กฟผ.

- ผลิตไฟฟ้าให้สูงกว่ากำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าเท่าที่จะทำได้
- ปรับแผนบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าให้สอดคล้องกับความจำเป็นด้านความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นความสำคัญในระดับสูง
- ปรับแผนการผลิตไฟฟ้า โดยคำนึงถึงความมั่นคงของระบบไฟฟ้าเป็นหลัก
- เพิ่มความระมัดระวังในด้านการผลิตและการบำรุงรักษา ทั้งของโรงไฟฟ้าและระบบส่งให้มีความพร้อมสูงที่สุด โดยเฉพาะการป้องกันความผิดพลาดทางด้าน Human Error
- การระบายน้ำของเขื่อนต่างๆ จะต้องคำนึงถึงการรักษาระดับกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังน้ำไว้ด้วย

#### 2 มาตรการภายนอก กฟผ.

- หากลยุทธที่จะรับพลังไฟฟ้าเหลือใช้จากประเทศลาว ให้สอดคล้องเหมาะสมกับระบบไฟฟ้าของประเทศไทยในช่วงเวลาต่างๆ
- หากลยุทธที่จะรับพลังไฟฟ้าจากประเทศมาเลเซีย ในช่วงเวลาที่ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. มากขึ้น

อย่างไรก็ตามความสำเร็จในการแก้ไขปัญหา กำลังผลิตสำรองต่ำในทางปฏิบัตินั้นเป็นปัญหาของประเทศ จึงเป็นหน้าที่และความรับผิดชอบของทั้งภาครัฐบาล ภาคเอกชนและประชาชนทุกคนที่จะต้องร่วมมือกันเพื่อประโยชน์ของส่วนรวมต่อไป

ตารางที่ 7.49 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 (กรณีศึกษา)

เดือน-ปี	โรงไฟฟ้า	กำลังผลิต ติดตั้ง (MW)	กำลังผลิต ที่ให้ได้ (MW)	ความต้องการ ไฟฟ้าสูงสุด (MW)	กำลังผลิตไฟฟ้า สำรอง		
					(MW)	(%)	
ปีงบประมาณ 2546	กำลังผลิตปัจจุบัน	25,422.0	24,486.1	18,121.4	6,364.7	35.12	
ปีงบประมาณ 2547							
ตุลาคม 2546	พลังความร้อนราชบุรี ชุดที่ 1-3 ตกกำลังผลิต	-134 MW	25,288.0	24,699.9	17,338.0	7,361.9	42.46
พฤศจิกายน 2546	ซื้อไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (พลังงานหมุนเวียน)	50 MW	25,338.0	24,783.8	17,426.0	7,357.8	42.22
ธันวาคม 2546	ซื้อไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (พลังงานหมุนเวียน)	25 MW	25,363.0	24,808.9	17,271.0	7,537.9	43.65
มกราคม 2547			25,363.0	24,712.9	17,106.0	7,606.9	44.47
กุมภาพันธ์ 2547	พลังความร้อนกระบี่ #1	340 MW	25,703.0	24,997.2	18,131.0	6,866.2	37.87
มีนาคม 2547	ซื้อไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (พลังงานหมุนเวียน)	2.2 MW	25,705.2	24,541.0	18,672.0	5,869.0	31.43
เมษายน 2547	กังหันแก๊สสถานกระบี่ (ย้ายจากหนองจอก)	122 MW					
เมษายน 2547	ซื้อไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (พลังงานหมุนเวียน)	25 MW	25,852.2	24,761.7	19,326.0	5,435.7	28.13
พฤษภาคม 2547			25,852.2	24,858.3	19,646.0	5,212.3	26.53
มิถุนายน 2547	พลังน้ำแบบสูบกลับเขื่อนลำตะคอง #1-2	500 MW	26,352.2	25,357.1	18,831.0	6,526.1	34.66
กรกฎาคม 2547			26,352.2	25,221.3	18,725.0	6,496.3	34.69
สิงหาคม 2547			26,352.2	25,336.2	18,654.0	6,682.2	35.82
กันยายน 2547			26,352.2	25,410.1	18,231.0	7,179.1	39.38
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 930.2 MW							
ปีงบประมาณ 2548							
ตุลาคม 2547			26,352.2	25,764.1	18,497.0	7,267.1	39.29
พฤศจิกายน 2547			26,352.2	25,798.0	18,591.0	7,207.0	38.77
ธันวาคม 2547			26,352.2	25,798.1	18,426.0	7,372.1	40.01
มกราคม 2548			26,352.2	25,702.1	18,250.0	7,452.1	40.83
กุมภาพันธ์ 2548			26,352.2	25,646.4	19,344.0	6,302.4	32.58
มีนาคม 2548			26,352.2	25,188.0	19,920.0	5,268.0	26.45
เมษายน 2548			26,352.2	25,261.7	20,618.0	4,643.7	22.52
พฤษภาคม 2548			26,352.2	25,358.3	20,960.0	4,398.3	20.98
มิถุนายน 2548	ซื้อไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (พลังงานหมุนเวียน)	20.2 MW	26,372.4	25,377.3	20,090.0	5,287.3	26.32
กรกฎาคม 2548			26,372.4	25,241.5	19,977.0	5,264.5	26.35
สิงหาคม 2548			26,372.4	25,356.4	19,902.0	5,454.4	27.41
กันยายน 2548			26,372.4	25,430.3	19,451.0	5,979.3	30.74
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 20.2 MW							
ปีงบประมาณ 2549							
ตุลาคม 2548			26,372.4	25,784.3	20,242.0	5,542.3	27.38
พฤศจิกายน 2548			26,372.4	25,818.2	20,342.0	5,476.2	26.92
ธันวาคม 2548			26,372.4	25,818.3	20,163.0	5,655.3	28.05
มกราคม 2549			26,372.4	25,722.3	19,973.0	5,749.3	28.79
กุมภาพันธ์ 2549			26,372.4	25,666.6	21,153.0	4,513.6	21.34
มีนาคม 2549			26,372.4	25,208.2	21,773.0	3,435.2	15.78
เมษายน 2549			26,372.4	25,281.9	22,391.0	2,890.9	12.91
พฤษภาคม 2549			26,372.4	25,378.5	22,391.0	2,987.5	13.34
มิถุนายน 2549			26,372.4	25,377.3	21,957.0	3,420.3	15.58
กรกฎาคม 2549			26,372.4	25,241.5	21,836.0	3,405.5	15.60
สิงหาคม 2549			26,372.4	25,356.4	21,753.0	3,603.4	16.57
กันยายน 2549			26,372.4	25,430.3	21,269.0	4,161.3	19.56
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 0 MW							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.49 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 (กรณีศึกษา) (ต่อ)

เดือน-ปี	โรงไฟฟ้า	กำลังผลิต ติดตั้ง (MW)	กำลังผลิต ที่ให้ได้ (MW)	ความต้องการ พลังไฟฟ้าสูงสุด (MW)	กำลังผลิต ไฟฟ้าสำรอง	
					(MW)	(%)
ปีงบประมาณ 2550						
ตุลาคม 2549	บริษัท BLCF เพาเวอร์ #1	673.25 MW	27,045.7	26,457.6	21,540.0	4,917.6 22.83
พฤศจิกายน 2549			27,045.7	26,491.4	21,647.0	4,844.4 22.38
ธันวาคม 2549			27,045.7	26,491.6	21,456.0	5,035.6 23.47
มกราคม 2550	ซื้อไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก + เอกชนรายเล็ก (พลังงานหมุนเวียน)	60+103.7 MW	27,209.3	26,559.3	21,254.0	5,305.3 24.96
กุมภาพันธ์ 2550	บริษัท BLCF เพาเวอร์ #2	673.25 MW	27,882.6	27,176.8	22,509.0	4,667.8 20.74
มีนาคม 2550	สายส่งบางสะพาน-สุราษฎร์ธานี 230 kV					
มีนาคม 2550	โรงไฟฟ้าใหม่+RPS	2x700+70 MW	29,352.6	28,188.4	23,169.0	5,019.4 21.66
เมษายน 2550			29,352.6	28,262.1	23,827.0	4,435.1 18.61
พฤษภาคม 2550			29,352.6	28,358.7	23,827.0	4,531.7 19.02
มิถุนายน 2550			29,352.6	28,357.5	23,365.0	4,992.5 21.37
กรกฎาคม 2550			29,352.6	28,221.7	23,236.0	4,985.7 21.46
สิงหาคม 2550			29,352.6	28,336.6	23,148.0	5,188.6 22.41
กันยายน 2550			29,352.6	28,410.5	22,633.0	5,777.5 25.53
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 2,980.2 MW						
ปีงบประมาณ 2551						
ตุลาคม 2550			29,352.6	28,764.5	22,793.0	5,971.5 26.20
พฤศจิกายน 2550			29,352.6	28,798.4	22,907.0	5,891.4 25.72
ธันวาคม 2550			29,352.6	28,798.5	22,705.0	6,093.5 26.84
มกราคม 2551			29,352.6	28,702.5	22,491.0	6,211.5 27.62
กุมภาพันธ์ 2551			29,352.6	28,646.8	23,820.0	4,826.8 20.26
มีนาคม 2551	โรงไฟฟ้าใหม่+RPS	1x700+35 MW				
มีนาคม 2551	บริษัทกัทที และบริษัทราชบุรีเพาเวอร์#1	2x700 MW	31,487.6	30,323.4	24,518.0	5,805.4 23.68
เมษายน 2551			31,487.6	30,397.1	25,214.0	5,183.1 20.56
พฤษภาคม 2551			31,487.6	30,493.7	25,214.0	5,279.7 20.94
มิถุนายน 2551	บริษัทราชบุรีเพาเวอร์#2	1x700 MW	32,187.6	31,192.5	24,725.0	6,467.5 26.16
กรกฎาคม 2551			32,187.6	31,056.7	24,589.0	6,467.7 26.30
สิงหาคม 2551			32,187.6	31,171.6	24,495.0	6,676.6 27.26
กันยายน 2551			32,187.6	31,245.5	23,951.0	7,294.5 30.46
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 2,835 MW						
ปีงบประมาณ 2552						
ตุลาคม 2551			32,187.6	31,599.5	23,994.0	7,605.5 31.70
พฤศจิกายน 2551			32,187.6	31,633.4	24,113.0	7,520.4 31.19
ธันวาคม 2551			32,187.6	31,633.5	23,901.0	7,732.5 32.35
มกราคม 2552			32,187.6	31,537.5	23,675.0	7,862.5 33.21
กุมภาพันธ์ 2552			32,187.6	31,481.8	25,074.0	6,407.8 25.56
มีนาคม 2552			32,187.6	31,023.4	25,809.0	5,214.4 20.20
เมษายน 2552			32,187.6	31,097.1	26,542.0	4,555.1 17.16
พฤษภาคม 2552			32,187.6	31,193.7	26,542.0	4,651.7 17.53
มิถุนายน 2552			32,187.6	31,192.5	26,027.0	5,165.5 19.85
กรกฎาคม 2552			32,187.6	31,056.7	25,884.0	5,172.7 19.98
สิงหาคม 2552			32,187.6	31,171.6	25,786.0	5,385.6 20.89
กันยายน 2552			32,187.6	31,245.5	25,212.0	6,033.5 23.93
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 0 MW						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.49 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 (กรณีศึกษา) (ต่อ)

เดือน-ปี	โรงไฟฟ้า	กำลังผลิต ติดตั้ง (MW)	กำลังผลิต ที่ังได้ (MW)	ความต้องการ พลังไฟฟ้าสูงสุด (MW)	กำลังผลิต ไฟฟ้าสำรอง		
					(MW)	(%)	
ปีงบประมาณ 2553	ซื้อไฟฟ้าจาก สปป.ลาว  โรงไฟฟ้าใหม่+RPS	920 MW  1x700+35 MW					
ตุลาคม 2552			32,187.6	31,599.5	25,128.0	6,471.5	25.75
พฤศจิกายน 2552			33,107.6	32,553.4	25,254.0	7,299.4	28.90
ธันวาคม 2552			33,107.6	32,553.5	25,031.0	7,522.5	30.05
มกราคม 2553			33,107.6	32,457.5	24,795.0	7,662.5	30.90
กุมภาพันธ์ 2553			33,107.6	32,401.8	26,260.0	6,141.8	23.39
มีนาคม 2553			33,842.6	32,678.4	27,030.0	5,648.4	20.90
เมษายน 2553			33,842.6	32,752.1	27,797.0	4,955.1	17.83
พฤษภาคม 2553			33,842.6	32,848.7	27,797.0	5,051.7	18.17
มิถุนายน 2553			33,842.6	32,847.5	27,258.0	5,589.5	20.51
กรกฎาคม 2553			33,842.6	32,711.7	27,108.0	5,603.7	20.67
สิงหาคม 2553			33,842.6	32,826.6	27,005.0	5,821.6	21.56
กันยายน 2553	33,842.6	32,900.5	26,404.0	6,496.5	24.60		
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 1,655 MW							
ปีงบประมาณ 2554	สายส่งท่าตะโก-จตุภูมิ-ขอนแก่น 500/230 kV  โรงไฟฟ้าใหม่+RPS  ปลดพลังความร้อนชนอม	2x700+70 MW  -75 MW					
ตุลาคม 2553			33,842.6	33,254.5	26,192.0	7,062.5	26.96
พฤศจิกายน 2553			33,842.6	33,288.4	26,322.0	6,966.4	26.47
ธันวาคม 2553			33,842.6	33,288.5	26,090.0	7,198.5	27.59
มกราคม 2554			33,842.6	33,192.5	25,844.0	7,348.5	28.43
กุมภาพันธ์ 2554			33,842.6	33,136.8	27,371.0	5,765.8	21.07
มีนาคม 2554			35,312.6	34,148.4	28,173.0	5,975.4	21.21
เมษายน 2554			35,312.6	34,222.1	28,973.0	5,249.1	18.12
พฤษภาคม 2554			35,312.6	34,318.7	28,973.0	5,345.7	18.45
มิถุนายน 2554			35,237.6	34,242.5	28,411.0	5,831.5	20.53
กรกฎาคม 2554			35,237.6	34,106.7	28,254.0	5,852.7	20.71
สิงหาคม 2554			35,237.6	34,221.6	28,147.0	6,074.6	21.58
กันยายน 2554	35,237.6	34,295.5	27,521.0	6,774.5	24.62		
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 1,395 MW							
ปีงบประมาณ 2555	โรงไฟฟ้าใหม่+RPS โรงไฟฟ้าใหม่+RPS	1x700+35 MW 1x700+35 MW					
ตุลาคม 2554			35,237.6	34,649.5	27,197.0	7,452.5	27.40
พฤศจิกายน 2554			35,237.6	34,683.4	27,332.0	7,351.4	26.90
ธันวาคม 2554			35,237.6	34,683.5	27,092.0	7,591.5	28.02
มกราคม 2555			35,237.6	34,587.5	26,836.0	7,751.5	28.88
กุมภาพันธ์ 2555			35,237.6	34,531.8	28,421.0	6,110.8	21.50
มีนาคม 2555			36,707.6	35,543.4	29,255.0	6,288.4	21.50
เมษายน 2555			36,707.6	35,617.1	30,085.0	5,532.1	18.39
พฤษภาคม 2555			36,707.6	35,713.7	30,085.0	5,628.7	18.71
มิถุนายน 2555			36,707.6	35,712.5	29,501.0	6,211.5	21.06
กรกฎาคม 2555			36,707.6	35,576.7	29,339.0	6,237.7	21.26
สิงหาคม 2555			36,707.6	35,691.6	29,228.0	6,463.6	22.11
กันยายน 2555	36,707.6	35,765.5	28,578.0	7,187.5	25.15		
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 1,470 MW							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.49 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 (กรณีศึกษา) (ต่อ)

เดือน-ปี	โรงไฟฟ้า	กำลังผลิต ติดตั้ง (MW)	กำลังผลิต ที่ใช้งานได้ (MW)	ความต้องการ พลังไฟฟ้าสูงสุด (MW)	กำลังผลิต ไฟฟ้าสำรอง						
					(MW)	(%)					
ปีงบประมาณ 2556	โรงไฟฟ้าใหม่+RPS 1x700+35 MW	37,442.6	36,119.5	28,110.0	8,009.5	28.49					
ตุลาคม 2555							36,707.6	36,153.4	28,250.0	7,903.4	27.98
พฤศจิกายน 2555							36,707.6	36,153.5	28,001.0	8,152.5	29.12
ธันวาคม 2555							36,707.6	36,057.5	27,737.0	8,320.5	30.00
มกราคม 2556							36,707.6	36,001.8	29,375.0	6,626.8	22.56
กุมภาพันธ์ 2556							37,442.6	36,278.4	30,237.0	6,041.4	19.98
มีนาคม 2556							37,442.6	36,352.1	31,095.0	5,257.1	16.91
เมษายน 2556							37,442.6	36,448.7	31,095.0	5,353.7	17.22
พฤษภาคม 2556							37,442.6	36,447.5	30,492.0	5,955.5	19.53
มิถุนายน 2556							37,442.6	36,311.7	30,324.0	5,987.7	19.75
กรกฎาคม 2556							37,442.6	36,426.6	30,209.0	6,217.6	20.58
สิงหาคม 2556							37,442.6	36,500.5	29,537.0	6,963.5	23.58
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 735 MW											
ปีงบประมาณ 2557	โรงไฟฟ้าใหม่+RPS 1x700+35 MW โรงไฟฟ้าใหม่ 1x220 MW	38,397.6	37,233.4	31,151.0	6,082.4	19.53					
ตุลาคม 2556							37,442.6	36,854.5	28,960.0	7,894.5	27.26
พฤศจิกายน 2556							37,442.6	36,888.4	29,104.0	7,784.4	26.75
ธันวาคม 2556							37,442.6	36,888.5	28,848.0	8,040.5	27.87
มกราคม 2557							37,442.6	36,792.5	28,575.0	8,217.5	28.76
กุมภาพันธ์ 2557							37,442.6	36,736.8	30,263.0	6,473.8	21.39
มีนาคม 2557							38,397.6	37,307.1	32,035.0	5,272.1	16.46
เมษายน 2557							38,397.6	37,403.7	32,035.0	5,368.7	16.76
พฤษภาคม 2557							38,397.6	37,402.5	31,414.0	5,988.5	19.06
มิถุนายน 2557							38,397.6	37,266.7	31,241.0	6,025.7	19.29
กรกฎาคม 2557							38,397.6	37,381.6	31,122.0	6,259.6	20.11
สิงหาคม 2557							38,397.6	37,455.5	30,430.0	7,025.5	23.09
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 955 MW											
ปีงบประมาณ 2558	ปลดพลังความร้อนพระนครใต้ -400 MW โรงไฟฟ้าใหม่+RPS 2x700+70 MW	39,467.6	38,303.4	31,967.0	6,336.4	19.82					
ตุลาคม 2557							37,997.6	37,409.5	29,718.0	7,691.5	25.88
พฤศจิกายน 2557							37,997.6	37,443.4	29,866.0	7,577.4	25.37
ธันวาคม 2557							37,997.6	37,443.5	29,603.0	7,840.5	26.49
มกราคม 2558							37,997.6	37,347.5	29,324.0	8,023.5	27.36
กุมภาพันธ์ 2558							37,997.6	37,291.8	31,056.0	6,235.8	20.08
มีนาคม 2558							39,467.6	38,377.1	32,874.0	5,503.1	16.74
เมษายน 2558							39,467.6	38,473.7	32,874.0	5,599.7	17.03
พฤษภาคม 2558							39,467.6	38,472.5	32,236.0	6,236.5	19.35
มิถุนายน 2558							39,467.6	38,336.7	32,059.0	6,277.7	19.58
กรกฎาคม 2558							39,467.6	38,451.6	31,937.0	6,514.6	20.40
สิงหาคม 2558							39,467.6	38,525.5	31,227.0	7,298.5	23.37
รวมกำลังผลิตเพิ่มขึ้น 1,070 MW											

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 7.50 สรุปแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 (กรณีศึกษา)

	ชื่อโครงการโรงไฟฟ้า	ชนิดของ เชื้อเพลิง	กำลังผลิต <sup>3</sup> (MW)	รวม (MW)	กำหนดแล้วเสร็จ
โครงการที่อยู่ระหว่างก่อสร้าง	พลังความร้อนกระบี่ เครื่องที่ 1	น้ำมัน	340	340	ก.พ. 47
	กังหันแก๊สลานกระบือ (ย้ายจากหนองจอก)	ก๊าซ	122	122	เม.ย. 47
	พลังน้ำลำตะคอง (แบบสูบกลับ) เครื่องที่ 1-2	พลังน้ำ	2x250	500	มิ.ย. 47
	บริษัท BLCP เพาเวอร์ จำกัด เครื่องที่ 1-2	ถ่านหิน	2x673.24	1,346.25	ต.ค. 49 - ก.พ. 50
	บริษัท กัลฟ์เพาเวอร์เจเนอเรชั่น จำกัด <sup>4</sup>	ก๊าซ	700	700	มี.ค. 51
	บริษัท ราชบุรีเพาเวอร์ จำกัด ชุดที่ 1-2	ก๊าซ	2x700	1,400	มี.ค. 51 - มิ.ย. 51
	โครงการใน สปป. ลาว (น้ำเทิน 2)	พลังน้ำ	920	920	พ.ย. 52
โครงการที่ต้องตัดสินใจ	ผู้ผลิต ไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (พลังงานหมุนเวียน)	-	151.1	151.1	47 - 50
	ปรับปรุงโรง ไฟฟ้าพลังน้ำเก่า	พลังน้ำ	(124.7)	(124.7)	49 - 51
	ผู้ผลิต ไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (ประกาศรับซื้อเดิม)	-	60	60	ม.ค. 50
	โรงไฟฟ้าใหม่ + RPS	-	2x700+70	1,470	มี.ค. 50
	โรงไฟฟ้าใหม่ + RPS	-	700+35	735	มี.ค. 51
	โรงไฟฟ้าใหม่ + RPS	-	700+35	735	มี.ค. 53
โครงการในอนาคต	โรงไฟฟ้าใหม่ + RPS	-	2x700+70	1,470	มี.ค. 54
	โรงไฟฟ้าใหม่ + RPS	-	2x700+70	1,470	มี.ค. 55
	โรงไฟฟ้าใหม่ + RPS	-	700+35	735	มี.ค. 56
	โรงไฟฟ้าใหม่ + RPS	-	700+35+220	955	มี.ค. 57
	โรงไฟฟ้าใหม่ + RPS	-	2x700+70	1,470	มี.ค. 58

กำลังผลิตติดตั้งถึงธันวาคม 2546 25,363.0 MW

รวมกำลังผลิตติดตั้งที่เพิ่มขึ้น 13,629.6 MW

โรงไฟฟ้าที่ปลดออกจากระบบ -475 MW

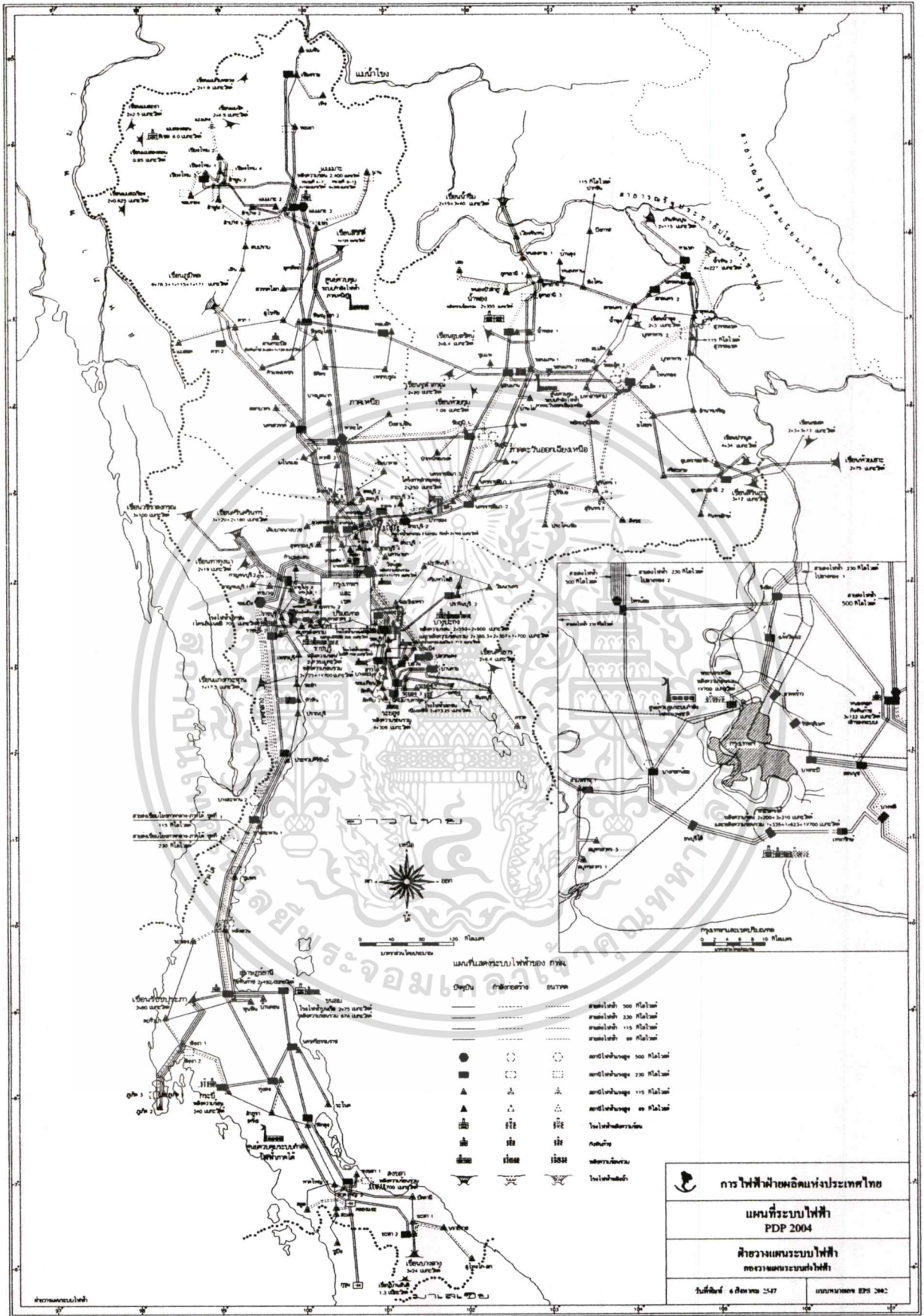
รวมกำลังผลิตทั้งสิ้นถึงปี พ.ศ. 2558 39,467.6 MW

หมายเหตุ 1/ อยู่ระหว่างการเจรจา

2/ โรงไฟฟ้าใหม่จะใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยมีถ่านหินและพลังน้ำเป็นทางเลือก

3/ การวางแผนจะใช้กำลังผลิตขนาดเครื่องละ 700 MW และ 220 MW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.20 แผนที่ระบบไฟฟ้าของประเทศไทย [89]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 8.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ. โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ที่ได้กับวิธีการทางสถิติ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1 ศึกษาหาวิธีแก้ปัญหการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวแบบใหม่ ซึ่งใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นพื้นฐานการคำนวณ และได้เลื่อนหน้าต่างข้อมูลฝึกสอนย้อนหลังไป 1 และ 2 ปี เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถได้แม่นยำขึ้น หลังจากนั้นจะเปรียบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์การพยากรณ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีการทางสถิติ ได้แก่ วิธี Holt's Linear และวิธี Multiple Linear Regression

2. วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าและใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับของ Levenberg-Marquardt Algorithm ในโปรแกรม MATLAB 6.5 มาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว ส่วนในวิธี Holt's Linear และวิธี Multiple Linear Regression ได้สร้างแบบจำลองขึ้นมาจากโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows ซึ่งจะพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว 13 ปีล่วงหน้า

3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว โดยได้พิจารณาผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า และทำการปรับเปลี่ยนแนวโน้มของ GDP ตามสมมติฐานการพยากรณ์เศรษฐกิจของ TDRI ที่มี 3 ระดับ คือ กรณีเศรษฐกิจขยายตัวช้า กรณีเศรษฐกิจขยายตัวปานกลาง และกรณีเศรษฐกิจขยายตัวเร็ว

4 จากการศึกษาผลของจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน และชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีต่อการฝึกสอน พบว่าจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่เหมาะสม คือ โครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน 7 เซลล์ โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid ในชั้นซ่อน และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear ในชั้นตัวแปรด้านออก สามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่าง GDP, จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ดีที่สุด

5 จากผลการทดสอบการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองทางสถิติที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้รวดเร็ว และให้ผลการพยากรณ์ที่มีค่าผิดพลาดโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่าที่ได้จากแบบจำลองทางสถิติ

6. นำค่าพยากรณ์ Peak Load ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม (กรณี MEG) มาวางแผนพัฒนา กำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 เพื่อเพิ่มกำลังผลิต เพิ่มความสามารถของระบบส่งให้ เพียงพอกับความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ต้นทุนการผลิตมีราคาถูกที่สุด และการผลิตไฟฟ้ามีความมั่นคง ซึ่งพบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2547-2558 จะมีกำลังผลิตติดตั้งเพิ่มขึ้น 13,629.6 MW และเมื่อรวมกับกำลังผลิตติดตั้งปัจจุบันจำนวน 25,363 MW ทำให้มีกำลังผลิตติดตั้ง ในปลายปี พ.ศ. 2558 เป็น 39,467.6 MW โดยจะมีโรงไฟฟ้าใหม่เกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2550-2558 จำนวน 13 โรงไฟฟ้า (8,620 MW)

จากการศึกษาได้พบว่าในปี พ.ศ. 2549 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 15% เนื่องจากไม่สามารถสร้างโรงไฟฟ้าใหม่เข้าเสริมระบบไฟฟ้าได้ทัน จึงได้กำหนดมาตรการแก้ไข ปัญหา กำลังผลิตสำรองต่ำ 2 มาตรการ คือ มาตรการด้านการใช้ไฟฟ้า (การลดความต้องการไฟฟ้า ในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด) และมาตรการด้านการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า (การเพิ่มขีดความสามารถ ในการผลิตของโรงไฟฟ้า) อย่างไรก็ตามความสำเร็จในการแก้ไขปัญหากำลังผลิตสำรองต่ำในทาง ปฏิบัตินั้นเป็นปัญหาของประเทศ จึงเป็นหน้าที่และความรับผิดชอบของทั้งภาครัฐบาล ภาคเอกชน และประชาชนทุกคนที่จะต้องร่วมมือกันเพื่อประโยชน์ของส่วนรวมต่อไป

ด้วยเหตุนี้ค่าพยากรณ์ Peak Load ที่มีความแม่นยำและเชื่อถือได้จะมีความสำคัญอย่างมากต่อ ความมั่นคงด้านไฟฟ้าของประเทศเพราะจะเป็นตัวกำหนดจังหวะการลงทุน แผนการก่อสร้าง และ ฐานะการเงิน เพื่อให้การดำเนินงานในอนาคตมีประสิทธิภาพ และผลตอบแทนการลงทุนที่ดี หากค่าพยากรณ์ที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริงก็จะกระทบต่อความเชื่อถือได้และความมั่นคงของระบบ อาจส่งผลทำให้มีไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้เกิดปัญหาไฟดับไฟดับ และต้องซื้อไฟฟ้าจากประเทศข้างเคียงเข้ามาเพื่อให้เพียงพอแก่ความต้องการ และส่งผลเสียหายต่อ เศรษฐกิจโดยรวมได้ แต่หากค่าพยากรณ์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริงก็จะทำให้เกิดปัญหาทางการเงิน กล่าวคือ อาจจะทำให้มีการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าและระบบจำหน่ายที่มากเกินไปจนทำให้ ระบบทำงานที่ตัวประกอบการผลิตต่ำ และทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องซื้อไฟฟ้าในอัตราที่แพงขึ้นอีกด้วย

อย่างไรก็ตามการพยากรณ์ในอนาคตจะให้แม่นยำเสมอไปนั้นย่อมเป็นไปได้ยาก เพราะขึ้นอยู่กับ เหตุการณ์ที่เราได้สมมุติว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตข้างหน้า ซึ่งมีผลทำให้ความต้องการเพิ่มขึ้นใน ลักษณะนั้น ถ้าหากเหตุการณ์ไม่ได้เป็นไปตามภาพวาดที่ได้วาดไว้การพยากรณ์ก็อาจผิดพลาดได้ นอกจากนั้นความต้องการไฟฟ้าเป็นกระบวนการแบบพลวัตซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงอยู่ตลอดเวลา

## 8.2 สิ่งที่ต้องพัฒนาต่อไป

1. พิจารณาตัวแปรปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า เช่น รายได้ต่อครัวเรือน พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้เป็นอินพุทให้โครงข่ายประสาทเทียม เรียนรู้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ควรนำโครงข่ายประสาทดัดแปลงชนิดอื่นๆ เช่น Recurrent Network มาประยุกต์ใช้กับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบกัน

3 พัฒนาให้สามารถพยากรณ์ Peak Load ได้ตามภาคของประเทศ และเวลาที่เกิด Peak Load ซึ่งจะทำให้ทราบว่ามีความต้องการไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ไหน และเวลาเท่าไร ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานวางแผนขยายกำลังผลิตไฟฟ้า

4 พัฒนาขั้นตอนการปรับสอนให้มีความรวดเร็วมากขึ้น เนื่องจากโครงข่ายประสาทดัดแปลงเมื่อใช้กับตัวแปรอินพุตจำนวนมากแล้ว จะทำให้โครงข่ายประสาทดัดแปลงใช้เวลาในการคำนวณนานขึ้น

5 ในการวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าในระยะยาวนั้น โรงไฟฟ้าใหม่ได้ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก เนื่องจากการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงยังไม่เป็นที่ยอมรับจากประชาชนในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สัดส่วนการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าเมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2558 มีสัดส่วนที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งตามหลักเกณฑ์ทั่วไปการเลือกใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าควรมีเชื้อเพลิงหลายชนิด (Diversify) เพื่อรักษาความมั่นคงของระบบ และรักษาเสถียรภาพของราคาค่าไฟฟ้าโดยไม่ต้องไม่พึ่งพาเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] X. Wang and J. McDonald. **Modern Power System Planning**. London : McGraw-Hill, Inc. 1994.
- [2] R.L. Sullivan. **Power System Planning**. New York : McGraw-Hill, Inc. 1977.
- [3] H.G. Stoll. **Least-Cost Electric Utility Planning**. New York : John Wiley & Sons, Inc. 1989.
- [4] ศิริทัต กลั่นความดี. **การวางแผนขยายแหล่งผลิตและระบบส่งพลังไฟฟ้า**. นนทบุรี : ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2543.
- [5] จรวช บุญชูชล. **การวางแผนและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2534.
- [6] S.M. Al-Alawi and S.M. Islam. “Principles of Electricity Demand Forecasting : Part 1 Methodologies” **IEE Power Engineering Journal**. Vol. 10, No. 3, June 1996. pp. 139–143.
- [7] S.M. Islam and S.M. Al-Alawi. “Principles of Electricity Demand Forecasting : Part 2 Applications” **IEE Power Engineering Journal**. Vol. 11, No. 2, April 1997. pp. 91–95.
- [8] H.K. Temraz, M.M.A. Salama and A.Y. Chikhani. “Review of Electric Load Forecasting Methods” **Proceedings of IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering**. Vol. 1, May 1997. pp. 289-292.
- [9] H.K. Temraz, M.M.A Salama, and V.H. Quintana. “Application of The Decomposition Technique for Forecasting the Load of a Large Electric Power Network” **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**. Vol. 143, No 1, January 1996. pp. 13-18.
- [10] M.S. Kandil, S.M. El-Debeiky, N.E. Hasaniien, “Overview and Comparison of Long-Term Forecasting Techniques for a Fast Developing Utility: Part 1” **Electric Power System Research**. Vol. 58, No. 1, May 2001. pp. 11–17.

- [11] M.S. Kandil, S.M. El-Debeiky, N.E. Hasanien, "The Implementation of Long-Term Forecasting Strategies Using a Knowledge-Based Expert System: Part 2" **Electric Power System Research**, Vol. 58, No. 1, May 2001. pp. 19–25.
- [12] E.H. Barakat and S.A. Al-Rashed. "Long Range Peak Demand Forecasting Under Conditions of High Growth" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 7, No. 4, November 1992. pp. 1483-1486.
- [13] E.H. Barakat and S.A. Al Rashed. "Social, Environmental and Economic Constraints Affecting Power and Energy Requirements in Fast Developing Areas" **IEE Power Engineering Journal**. Vol. 7, No. 4, August 1993. pp. 177-184.
- [14] N. X. Jia, R. Yokoyama, Y. C. Zhou and Z. Y. Gao. "A Flexible Long-Term Load Forecasting Approach Based On New Dynamic Simulation Theory-GSIM" **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**. Vol. 23, No. 7, October 2001. pp. 549-556.
- [15] H.-T. Yang; T.-C. Liang; K.-R. Shih and C.-L. Huang. "Power System Yearly Peak Load Forecasting : A Grey System Modeling Approach" **Proceedings of IEEE International Conference on Energy Management and Power Delivery**. Vol. 1, November 1995. pp. 261-266.
- [16] E.H. Barakat, J.M. Al-Qassim and S.A. Al Rashed. "New Model for Peak Demand Forecasting Applied to Highly Complex Load Characteristics of a Fast Developing Area" **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**. Vol. 139, No. 2, March 1992. pp. 136-140.
- [17] E.H. Barakat and M.A.M. Eissa. "Forecasting Monthly Peak Demand in Fast Growing Electric Utility Using a Composite Multiregression-Decomposition Model" **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**. Vol. 139, No. 1, January 1989. pp. 35-41.
- [18] T. Haida and S. Muto. "Regression Based Peak Load Forecasting Using a Transformation Technique" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 9, No. 4, November 1994. pp.1788-1794.

- [19] E.H. Barakat, M.A. Qayyum, M.N. Hamed and S.A. Al Rashed. "Short-Term Peak Demand Forecasting in Fast Developing Utility with Inherent Dynamic Load Characteristics" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 5, No. 3, August 1990. pp. 813-824.
- [20] I. Moghram and S. Rahman. "Analysis and Evaluation of Five Short-Term Load Forecasting Techniques" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 4, No. 4, October 1989. pp. 1484-1491.
- [21] Z.S. Elrazaz and A.A. Mazi. "Unified Weekly Peak Load Forecasting for Fast Growing Power System" **IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**. Vol. 136, No. 1, January 1989. pp. 29-34.
- [22] D.C. Park, M.A. El-Sharkawi, R.J. Mark II, L.E. Atlas and M.J. Damborg. "Electric Load Forecasting Using An Artificial Neural Network" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 6, No. 2, May 1991. pp. 442-449.
- [23] D.D. Highley and T.J. Hilmes. "Load forecasting by ANN" **IEEE Computer Application in Power**. Vol. 6, No. 3, July 1993. pp. 10-15.
- [24] K.S. Swarup and B. Satish. "Integrated ANN Approach to Forecast Load" **IEEE Computer Application in Power**. Vol. 15, No. 2, April 2002. pp. 46-51.
- [25] B. Kermanshahi. "Recurrent Neural Network for Forecasting Next 10 Years Loads of Nine Japanese Utilities" **Neurocomputing**. Vol. 23, No. 1-3, December. 1998. pp. 125-133.
- [26] B. Kermanshahi and H. Iwamiya. "Up to Year 2020 Load Forecasting Using Neural Nets" **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**. Vol. 24, No. 9, November 2002. pp. 789-797.
- [27] T. Al-Saba and I. El-Amin, "Artificial Neural Networks As Applied to Long-Term Demand Forecasting" **Artificial Intelligence in Engineering**, Vol. 13, No. 2, April 1999. pp. 189-197.
- [28] A.S. Hafiz Hamza, N.M. Abdel-Gawad, M.M. Salama, A. Hegazy and S. El-Debeiky. "Electric Load Forecast for Developing Countries" **Proceedings of the 11<sup>th</sup> Mediterranean Electrotechnical Conference**. May 2002. pp. 429-441.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [29] A.G. Parlos, E. Oufi, J. Muthusami and A.D. Patton, "Development of an Intelligent Long-Term Electric Load Forecasting System" **Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Systems Application to Power System**. January 1996. pp. 288–292.
- [30] S.M. Islam, S.M. Al-Alawi and K.A. Ellithy. "Forecasting Monthly Electric Load and Energy for a Fast Growing Utility Using An Artificial Neural Network" **Electric Power Systems Research** Vol. 34, No. 1, July 1995. pp. 1–9.
- [31] A.D. Papalexopoulos, S. Hao and T.-M. Peng. "An Implementation of A Neural Network Based Load Forecasting Model for the EMS" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol.9, No. 4, November 1994. pp. 1956-1962.
- [32] F.J. Marin, F. Garcia-Lagos, G. Joya and F. Sandoval. "Global Model for Short-Term Load Forecasting Using Artificial Neural Networks" **IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**. Vol. 149, No. 2, March 2002. pp. 121-125.
- [33] K. Metaxiotis, A. Kagiannas, D. Askounis and J. Psarras. "Artificial Intelligence in Short Term Electric Load Forecasting : A State-of-the-Art Survey for the Researcher" **Energy Conversion and Management**. Vol. 44, No. 9, June 2003. pp. 1525-1534.
- [34] H.S. Hippert, C.E. Pedreira and R.C. Souza. "Neural Networks for Short-Term Load Forecasting : A Review and Evaluation" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 16, No. 1, February 2001. pp. 44-55.
- [35] A.G. Bakirtzls, V. Petridls, S.J. Klartzis, M.C. Alexladls and A.H. Malssls. "A Neural Network Short Term Load Forecasting Model for the Greek Power System" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 11, No. 2, May 1996. pp. 858-863.
- [36] C.-N. Lu, H.-T. Wu and S. Vemuri. "Neural Network Based Short Term Load Forecasting" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 8, No. 1, February 1993. pp. 336-342.
- [37] D.C. Park, M.A. El-Sharkawi and R.J. Marks II. "An Adaptively Trained Neural Network" **IEEE Transactions on Neural Networks**. Vol. 2, No. 3, May 1991. pp. 334-345.

- [38] W.M. Grady, L.A. Groce, T.M. Huebner, Q.C. Lu and M.M. Crawford. "Enhancement, Implementation and Performance of an Adaptive Short-Term Load Forecasting Algorithm" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 6, No. 4, November 1991. pp. 1404-1410.
- [39] A.A. El Desouky and M.M. Elkateb. "Hybrid Adaptive Techniques for Electric-Load Forecast Using ANN and ARIMA" **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**. Vol. 147, No. 4, July 2000. pp. 213-217.
- [40] M. Djukanovic, B. Babic, D.J. Sobajic and Y.-H.Pao. "Unsupervised/Supervised Learning Concept for 24-Hour Load Forecasting" **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**. Vol. 140, No. 4, July 1993. pp. 311-318.
- [41] J. Vermaak and E.C.;Botha. "Recurrent Neural Networks for Short-Term Load Forecasting" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 13, No. 1, February 1998. pp. 126-132.
- [42] J.A. Momoh, Y. Wang and M. Elfayoumy. "Artificial Neural Network Based Load Forecasting" **IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics**. Vol. 4, October 1997. pp. 3443-3451.
- [43] A. Khotanzad, R. Afkhami-Rohani and D. Maratukulam. "ANNSTLF-Artificial Neural Network Short-Term Load Forecaster-Generation Three" **IEEE Transactions on Power Systems** Vol. 13, No. 4, November 1998. pp. 1413-1422.
- [44] O. Mohammed, D. Park, R. Merchant, T. Dinh, C. Tong, A. Azeem, J. Farah and C. Drake. "Practical Experiences with an Adaptive Neural Network Short-Term Load Forecasting System" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 10, No. 1, February 1995. pp. 254-265.
- [45] T.M. Peng, N.F. Hubele, G.G. Karady. "An Adaptive Neural Network Approach to One-Week Ahead Load Forecasting" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 8, No. 3, August 1993. pp. 1195-1203.
- [46] K.L. Ho, Y.-Y. Hsu and C.-C. Yang. "Short Term Load Forecasting Using a Multilayer Neural Network with an Adaptive Learning Algorithm" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 7, No. 1, February 1992. pp. 141-149.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [47] T. Onada. "Next Day Peak Load Forecasting Using an Artificial Neural Network with Modified Backpropagation Learning Algorithm" **IEEE International Conference on Neural Networks**. Vol. 6, June 1994. pp. 3766-3769.
- [48] B. Kermanshahi, C.H. Poskar, G. Swift, P. McLaren, W. Pedrycz, W. Buhr and A. Silk. "Artificial Neural Network for Forecasting Daily Loads of A Canadian Electric Utility" **Proceedings of the Second International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems**. April 1993. pp. 302-307.
- [49] T. Senjyu, H. Takara, K. Uezato, and T. Funabashi, "One-Hour-Ahead Load Forecasting Using Neural Network" **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 17, No. 1, February 2002. pp. 113-118.
- [50] Y.-Y. Hsu; C.-C. Yang. "Design of Artificial Neural Networks for Short-Term Load Forecasting : Part 1 Self-Organising Feature Maps for Day Type Identification" **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**. Vol. 138, No. 5, September 1991, pp. 407-413.
- [51] Y.-Y. Hsu; C.-C. Yang. "Design of Artificial Neural Networks for Short-Term Load Forecasting : Part 2 Multilayer Feedforward Networks for Peak Load and Valley Load Forecasting" **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**. Vol. 138, No. 5, September 1991. pp. 414-418.
- [52] L.M. Saini and M.K. Soni. "Artificial Neural Network Based Peak Load Forecasting Using Levenberg-Marquardt and Quasi-Newton Methods" **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**. Vol. 149, No. 5, September 2002. pp. 578-584.
- [53] H.S. Hippert, C.E. Pedreira and R.C. Souza, "Neural Networks for Short-Term Load Forecasting : A Review and Evaluation", **IEEE Transactions on Power Systems**, Vol. 16, No. 1, February 2001. pp. 44-55.
- [54] A.K. Jain, J. Mao and K.M. Mohiuddin. "Artificial Neural Networks : A Tutorial" **IEEE Computer Society**. Vol. 29, No. 3, March 1996. pp. 31-44.

- [55] R. Aggarwal and Y.H. Song. "Artificial Neural Networks in Power Systems : Part 1 General Introduction to Neural Computing" **IEE Power Engineering Journal**. Vol. 11, No. 3, June 1997. pp. 129-134.
- [56] R. Aggarwal and Y.H. Song. "Artificial Neural Networks in Power Systems : Part 2 Types of Artificial Neural Networks" **IEE Power Engineering Journal**. Vol. 12, No. 1, February 1998. pp. 41-47.
- [57] R. Aggarwal and Y.H. Song. "Artificial Neural Networks in Power Systems : Part 3 Examples of Applications in Power Systems" **IEE Power Engineering Journal**. Vol. 12, No. 6, December 1998. pp. 279-287.
- [58] S. A. Kalogirou. "Applications of Artificial Neural-Networks for Energy Systems" **Applied Energy**. Vol. 67, No. 1-2, September 2000. pp. 17-35.
- [59] K. Warwick, A. Ekwue and R. Aggarwal. **Artificial Intelligence Techniques in Power System**. London : Institution of Electrical Engineers. 1997.
- [60] M. Shahidehpour, H. Yamin and Z. Li, **Market Operations in Electric Power Systems : Forecasting, Scheduling and Risk Management**. New York : John Wiley & Sons, Inc. 2002.
- [61] L. Fausett. **Fundamentals of Neural Networks : Architectures, Algorithms and Applications**. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1994.
- [62] D. E. Rumelhart, J. L. McClelland and PDP Research Group. **Parallel Distributed Processing : Explorations in the Microstructure of Cognition**. Vol. 1 : Foundations Cambridge : M.I.T. Press. 1989.
- [63] S. Haykin. **Neural Networks : A Comprehensive Foundation**. 2<sup>nd</sup> Ed. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1999.
- [64] I. Aleksander and H. Morton. **An Introduction to Neural Computing**. 2<sup>nd</sup> Ed. London : Chapman & Hall. 1995.
- [65] M.T. Hagan, H.B. Demult and M. Beale. **Neural Network Design**. Boston : PWS Publishing Company, Inc. 1995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [66] H. Demult and M. Beale. **MATLAB Neural Network Toolbox : User's Guide.** Version 4, MathWorks, Inc. July 2002.
- [67] C.M. Bishop. **Neural Networks for Pattern Recognition.** Oxford : Oxford University Press, Inc. 2000.
- [68] M.T. Hagan and M.B. Menhaj. "Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm". **IEEE Transactions on Neural Networks.** Vol. 5, No. 6, November 1994. pp. 989–993.
- [69] C. Charalambous. "Conjugate Gradient Algorithm for Efficient Training of Artificial Neural Networks" **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution.** Vol. 139, No. 3, June 1992. pp. 301-310.
- [70] S. Jiriwibhakorn. "Transient Stability Assessment of Power Systems Using Neural Networks." Ph.D. Thesis of University of London and the Diploma of the Imperial College. 2001.
- [71] สมชาติ จิรวินากร. "Generalization of NNs" เอกสารประกอบการสอนวิชา Neural Network Applications. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [72] D. Nguyen and B. Widrow. "Improving the Learning Speed of 2-Layer Neural Networks by Choosing Initial Values of the Adaptive Weights" **Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks,** Vol. 3, July 1990. pp. 21-26.
- [73] S. Makridakis, S.C. Wheelwright and R.J. Hyndman. **Forecasting : Methods and Application.** 3<sup>rd</sup> Ed. New York : John Wiley & Sons, Inc. 1998.
- [74] กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.
- [75] วิรัช พานิชวงค์ การวิเคราะห์การถดถอย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2546.
- [76] S. Chatterjee, A.S. Hadi and B. Price. **Regression Analysis by Example.** 3<sup>rd</sup> Ed. New York : John Wiley & Sons, Inc. 2000.

- [77] กัลยา วานิชย์บัญชา. **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล**. พิมพ์ครั้งที่ 6 ปรับปรุงแก้ไข. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.
- [78] System Control and Operation Division. **Statistical Report Fiscal Year 2003**. Nonthaburi : Electricity Generating Authority of Thailand. 2004.
- [79] Black & Veatch. **Power Plant Engineering**. New York : Chapman & Hall, Co, 1996.
- [80] G.R. Nagpal. **Power Plant Engineering**. 13<sup>th</sup> Ed. Delhi : Khanna Publishers. 1994.
- [81] H.W. Beaty. **Handbook of Electric Power Calculations**. 3<sup>rd</sup> Ed. New York : McGraw-Hill, Inc. 2001.
- [82] W.D. Marsh. **Economics of Electric Utility Power Generation**. New York : Oxford University Press. 1980.
- [83] กองนโยบายและแผนพลังงาน. **พลังงานและทางเลือกการใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. มิถุนายน 2542.
- [84] กองการไฟฟ้า. **ทิศทางการจัดหาไฟฟ้าไทย**. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. พฤษภาคม 2545.
- [85] M.V. Deshpande. **Elements of Electrical Power Station Design**. 3<sup>rd</sup> Ed. New Delhi : A.H. Wheller & Co, Ltd. 1986.
- [86] P K Nag. **Power Plant Engineering**. 2<sup>nd</sup> Ed. Boston : McGraw-Hill, Inc. 2002.
- [87] สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. **รายงานการพยากรณ์เศรษฐกิจไทยในช่วงปี 2545-2559**. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. มีนาคม 2546.
- [88] คณะอนุกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า. **รายงานการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. กุมภาพันธ์ 2544.
- [89] ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า. **แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. พ.ศ. 2547-2558**. นนทบุรี : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. สิงหาคม 2547.
- [90] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. **“วิธีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า” เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ**. กรุงเทพฯ : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 17-21 มีนาคม 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

# การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทย

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะยาวเป็นงานที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการวางแผนและกำหนดนโยบายทางด้านไฟฟ้าของประเทศ เพื่อให้การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง นำไปใช้ในการวางแผนขยายกำลังผลิตไฟฟ้า ระบบส่งพลังไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างเพียงพอต่อไป

การจัดทำค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในระยะยาวของประเทศไทยนั้น เป็นหน้าที่ของคณะกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า ซึ่งอยู่ภายใต้คณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน โดยมีรัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน เป็นประธานกรรมการฯ ซึ่งได้ทำการแต่งตั้งคณะกรรมการฯ ชุดปัจจุบัน ประกอบด้วย ผู้แทนหน่วยงานผู้ผลิตและจำหน่ายไฟฟ้า ผู้แทนหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง, ตัวแทนจากผู้ใช้ไฟฟ้า และผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีรองปลัดกระทรวงพลังงาน เป็นประธานอนุกรรมการฯ

คณะกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าจะจัดทำค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในรูปของการผลิต และซื้อของ กฟผ. (Gross Generation) ซึ่งประกอบด้วย ความต้องการไฟฟ้าในการบริโภค (Demand Forecast), ในขบวนการผลิต และระบบส่ง สรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1 การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) จะพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในเขตพื้นที่ กรุงเทพฯ นนทบุรี และสมุทรปราการ ขณะที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จะทำการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าทั่วประเทศยกเว้นในเขตของ กฟน. ส่วนการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จะพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเฉพาะลูกค้าตรงและที่ขายให้กับต่างประเทศ จากนั้นนำความต้องการไฟฟ้าของทั้ง 3 ส่วนมารวมกันก็จะได้ค่าความต้องการไฟฟ้าในการบริโภค (Demand Forecast)

2 การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งจะทำการพยากรณ์ความสูญเสียในระบบจำหน่าย (Distribution Loss) เมื่อนำมารวมกับค่าความต้องการไฟฟ้าในการบริโภค (Demand Forecast) ก็จะได้ค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า ณ จุดขายของ กฟผ. (Total EGAT Sale)

3 กฟผ. จะพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าที่ใช้ในขบวนการผลิต และระบบส่งไฟฟ้า เมื่อนำมารวมกับความต้องการไฟฟ้า ณ จุดขายของ กฟผ. (Total EGAT Sale) ก็จะได้ความต้องการไฟฟ้ารวมในระบบของ กฟผ. (Gross EGAT Generation)

4 เมื่อได้ค่า Energy Demand แล้วจึงทำการพยากรณ์ค่า Peak Demand โดยอาศัยลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Profile)

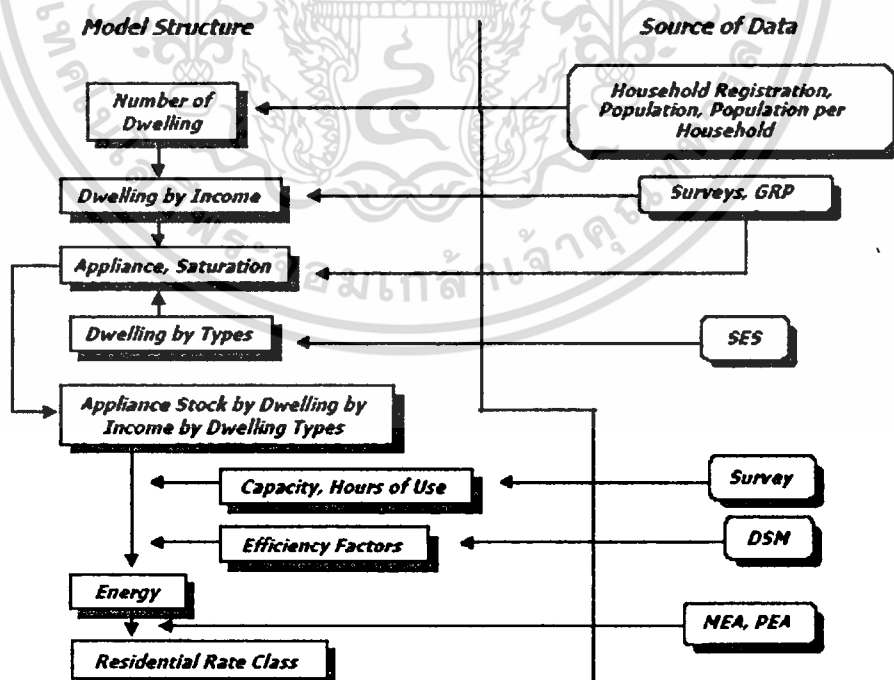
## ก 1 การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของ กฟน. และ กฟภ.

การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบันจะแบ่งตามลักษณะทางภูมิภาค คือ การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้วิธีการพยากรณ์เดียวกันแต่จะแตกต่างกันในแต่ละประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า

เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเภทมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน คณะอนุกรรมการฯ จึงได้จัดกลุ่มการใช้ไฟฟ้าออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ บ้านอยู่อาศัย, ธุรกิจ, อุตสาหกรรม และอื่นๆ ซึ่งแต่ละกลุ่มก็จะมีวิธีการพยากรณ์ที่แตกต่างกันออกไป สามารถสรุปได้ดังนี้

### ก 1.1 ประเภทบ้านอยู่อาศัย

การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยจะใช้หลักการ End Use ซึ่งเป็น การจำลองสภาพการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในชีวิตประจำวัน โดยจะเริ่มจากการถือครอง เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท จากนั้นศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท โดยพิจารณาแต่ละประเภทของที่อยู่อาศัย ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้จากการสำรวจที่คณะอนุกรรมการฯ จัดทำขึ้นเอง และ ได้จากการสำรวจภาวะเศรษฐกิจและสังคม (SES) ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ ซึ่งนำไปสู่การบริโภคการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามประเภทของที่อยู่อาศัย, ระดับรายได้ และพื้นที่ จากหลักการดังกล่าวคณะอนุกรรมการฯ ได้พัฒนาแบบจำลองที่เรียกว่า Home Model ใช้ในการ พยากรณ์ทั้งระยะสั้น และระยะยาว ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ ก 1 โครงสร้างของแบบจำลองประเภทบ้านอยู่อาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง Home Model สามารถจำแนกออกได้ 3 ส่วน ดังนี้

### ส่วนที่ 1 Customer

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้า โดยจัดประเภทของที่อยู่อาศัย และรายได้ เพื่อระบุว่าผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเภทของที่อยู่อาศัย และรายได้ที่แตกต่างกันก็จะมี การถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วย

- Number of Dwellings หรือ จำนวนของครัวเรือน ซึ่งจะคำนวณจากจำนวนประชากร (Population) หารด้วยขนาดของครัวเรือน (Household Size) โดยค่าพยากรณ์จำนวนประชากรจะ ได้มาจากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ส่วนค่าพยากรณ์ขนาดของครัวเรือนจะใช้วิธี Time Series
- Dwelling by Income เป็นการแบ่งกลุ่มที่อยู่อาศัยตามระดับของรายได้ โดยจะเริ่มจากการพยากรณ์รายได้ของครัวเรือนซึ่งขึ้นอยู่กับ GRP (Gross Region Product) แล้วจึงนำค่าพยากรณ์รายได้ของครัวเรือนที่ได้มาแบ่งกลุ่มตามระดับของรายได้
- Dwelling by Type เป็นการจัดประเภทที่อยู่อาศัยเป็น บ้านเดี่ยว, ห้องแถว, ทาวน์เฮ้าส์, อพาร์ทเมนท์/คอนโดมิเนียม และอื่นๆ

### ส่วนที่ 2 Appliance

เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องใช้ไฟฟ้า ได้จากการสำรวจการใช้ไฟฟ้า

- Capacity จะระบุว่าเครื่องใช้ไฟฟ้ามีขนาดเฉลี่ยเท่าไร (วัตต์)
- Usage จะระบุว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดมีการใช้กี่ชั่วโมงต่อปี

### ส่วนที่ 3 Efficiency

เป็นการกำหนดประสิทธิภาพเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยใช้สมการที่ 2.1

$$\text{Efficiency Improve} = 1 - \frac{C}{N_t} \times e \quad (2.1)$$

โดยที่ C คือ Replace and New Appliance

$N_t$  คือ Stock of Appliance at Year t

e คือ Efficiency Rate (ในกรณีนี้  $e = 10\%$ )

และจะสามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าแต่ละประเภทของบ้านอยู่อาศัยได้โดยใช้สมการที่ 2.2

$$\sum E_{ijkt} = S_{ijkt} \times W_{ijkt} \times U_{ijkt} \times \text{Eff}_{it} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่	E	คือ	ค่าพลังงานไฟฟ้า
	S	คือ	จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าถือครอง
	W	คือ	ขนาดกำลังวัตต์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า
	U	คือ	จำนวนชั่วโมงการใช้ในรอบปี
	i	คือ	ประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้า
	j	คือ	ระดับรายได้
	k	คือ	ประเภทของที่อยู่อาศัย
	t	คือ	ปีที่พยากรณ์

เมื่อรวมค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละประเภทของที่อยู่อาศัยจะได้ค่าพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในภาพรวม

### ก 1.2 ประเภทธุรกิจ

การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าประเภทธุรกิจ เฉพาะผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

#### 1 การพยากรณ์ระยะสั้น (1-3 ปี)

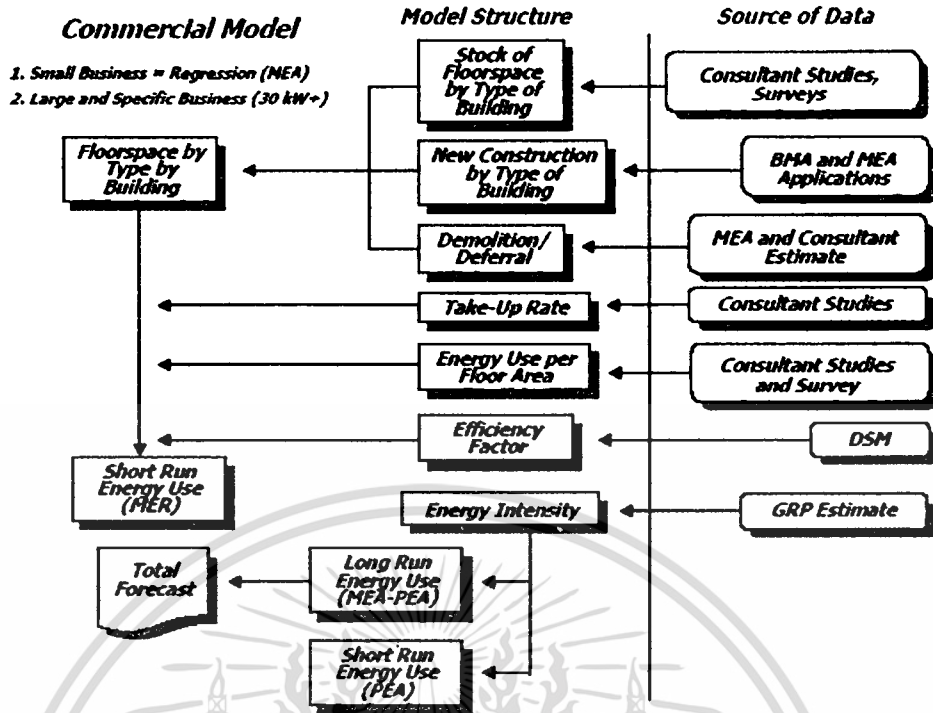
ใช้หลักการ End Use โดยสร้างแบบจำลองที่คำนึงการใช้พื้นที่ของอาคาร (Floorspace Model) ซึ่งนำไปสู่การใช้ไฟฟ้าโดยการคูณกับการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ มีขั้นตอนดังนี้

- รวบรวมข้อมูลการขออนุญาตก่อสร้างอาคาร, อัตราการรื้อถอน หรือพังทลาย และการเข้าใช้พื้นที่ดังกล่าว เพื่อประมาณการพื้นที่ของอาคารในช่วง 3 ปี ข้างหน้า โดยจำแนกตามประเภทของอาคาร
- ทำการสำรวจการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย
- พิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องใช้ไฟฟ้า

#### 2 การพยากรณ์ระยะยาว (3-15 ปี)

ใช้วิธีการ Electric Intensity โดยคำนวณค่า Intensity จากการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมจำแนกตามสาขาธุรกิจ (Energy Intensity Ratio : EIR) แล้วจึงทำการพยากรณ์ค่า Intensity ของแต่ละสาขาธุรกิจด้วยวิธี Time Series ดังนั้นเมื่อได้ค่าพยากรณ์ GRP จำแนกตามสาขาธุรกิจก็จะสามารถหาค่าพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าของแต่ละสาขาธุรกิจได้โดยการคูณค่าพยากรณ์ Intensity กับค่าพยากรณ์ GRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 โครงสร้างของแบบจำลองประเภทธุรกิจ

ก 1.3 ประเภทอุตสาหกรรม

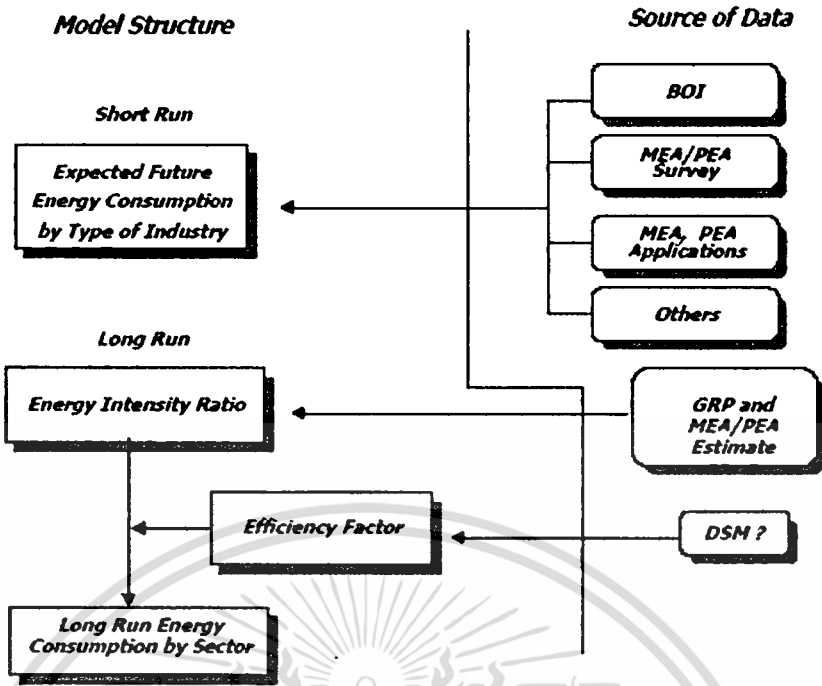
การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรม ที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งวิธีการที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1 การพยากรณ์ระยะสั้น (1-3 ปี)

จะพิจารณาจากข้อมูลที่มีอยู่ ได้แก่ ข้อมูลการยื่นขอใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่, ข้อมูลการขอรับการส่งเสริมการลงทุนจาก BOI และข้อมูลจากการสุ่มสอบถามจากผู้ไฟฟ้ารายใหญ่ถึงแผนการขยายการผลิต

2 การพยากรณ์ระยะยาว (3-15 ปี)

ใช้วิธีการ Electric Intensity เช่นเดียวกับการพยากรณ์ระยะยาวของประเภทธุรกิจ แต่จะใช้ค่า GRP จำแนกตามมาตรฐานอุตสาหกรรม หรือ TSIC (Thailand Standard Industrial Classification) แล้วทำการจัดกลุ่ม TSIC ออกเป็น 24 กลุ่มใหญ่ที่มีการใช้ไฟฟ้าแตกต่างกัน และสัมพันธ์โดยตรงกับมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมซึ่งแบ่งออกเป็น 24 กลุ่มเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3 โครงสร้างของแบบจำลองประเภทอุตสาหกรรม

ก 1.4 ประเภทอื่นๆ

การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเภทอื่นๆ ได้แก่ ไฟสาธารณะ, ไฟชั่วคราว, กิจการเฉพาะอย่าง, ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร และสูบน้ำเพื่อการเกษตร ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการพยากรณ์จะมีความแตกต่างกันระหว่าง กฟน. และ กฟภ. ดังนี้

ตารางที่ ก 1 วิธีการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าประเภทอื่นๆ ของ กฟน. และ กฟภ.

ประเภท	กฟน.	กฟภ.
กิจการขนาดเล็ก	Regression	Time Series
กิจการเฉพาะอย่าง	Regression	Intensity
ส่วนราชการ และองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร	Regression	Intensity
ไฟสาธารณะ	Regression	Time Series
ไฟชั่วคราว	Regression	Intensity
สูบน้ำเพื่อการเกษตร	-	Time Trend

ซึ่งหลักการ Regression ที่ กฟน. ใช้นั้น จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ไฟฟ้ากับ GRP ของสาขาบริการที่สอดคล้องกับการใช้ไฟฟ้า ยกเว้น ไฟสาธารณะซึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก 2 การพยากรณ์ความสูญเสียในระบบจำหน่ายของ กฟน. และ กฟภ.

ความสูญเสียในระบบจำหน่ายประกอบด้วย ความสูญเสียทางเทคนิค ซึ่งมีปัจจัยที่ทำให้เกิด Loss ได้แก่ การสูญเสียในอุปกรณ์ และสายไฟฟ้า และการสูญเสียจากไฟฟ้ารั่วลงดิน เป็นต้น ส่วนความสูญเสียที่ไม่ใช่ทางเทคนิค ได้แก่ การลักลอบใช้ไฟฟ้า และการให้บริการไฟสาธารณะโดยไม่คิดเงิน เป็นต้น

การหาค่า Energy Loss ที่เกิดขึ้นจริงในระบบจำหน่ายจะได้มาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจาก กฟผ. แล้วหักออกด้วยปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จำหน่ายให้แก่ลูกค้า และไฟสาธารณะ แล้วคำนวณเป็นอัตรา Loss ต่อปริมาณที่ซื้อจาก กฟผ.

การพยากรณ์ค่า Energy Loss ของระบบจำหน่าย กฟน. จะกำหนดให้คงที่ตลอดช่วงการพยากรณ์ ในขณะที่ค่า Energy Loss ของระบบจำหน่าย กฟภ. จะกำหนดให้เท่ากับเป้าหมายที่ TRIS ตั้งไว้ และในอนาคตจะลดลงอย่างช้าๆ

ซึ่งการคำนวณหาค่า Peak Loss จะสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.3

$$\text{Peak Loss} = \frac{\text{Energy Loss}}{\text{Loss Factor} \times \text{Hour}} \quad (2.3)$$

$$\text{Loss Factor} = 0.3(\text{Load Factor}) + 0.7(\text{Load Factor})^2 \quad (2.4)$$

## ก 3 การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟน. และ กฟภ.

เมื่อได้ค่าพยากรณ์ Energy Demand ของแต่ละประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าแล้ว กฟน. และ กฟภ. ก็จะทำการพยากรณ์ Peak Demand ของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทโดยใช้ลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Shape Representation : LSR) ของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของวันทำการ, วันเสาร์ และวันอาทิตย์ มาปรับให้ค่า Energy Demand ที่ได้จาก LSR ของทั้งปีเท่ากับค่าพยากรณ์ Energy Demand ที่ได้จัดทำไว้ ภายใต้เงื่อนไขลักษณะการใช้ไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงของการพยากรณ์

เมื่อนำค่าพยากรณ์ Peak Demand ในแต่ละประเภท และค่า Loss ของระบบจำหน่ายรวมเข้าด้วยกันแล้ว ก็จะได้ค่าพยากรณ์ Peak Demand ของภาพรวมที่ กฟน. และ กฟภ. ต้องการซื้อไฟฟ้าจาก กฟผ. โดย กฟภ. จะทำการแยกเป็นรายเขตก่อน แล้วจึงนำมารวมกันเป็นภาพรวมของ กฟภ.

#### ก 4 การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของลูกค้านำตรงของ กฟผ.

ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า (Energy Demand และ Peak Demand) ของลูกค้านำตรงของ กฟผ. จะได้มาจากการสอบถามข้อมูลโดยตรง และใช้ข้อมูลในอดีตของลูกค้านำตรงแต่ละรายเป็นฐานในการพยากรณ์

ลูกค้านำตรงของ กฟผ. ในประเทศ ได้แก่ โรงกลั่นน้ำมัน ESSO, โรงงานปูนซิเมนต์ชลประทาน, โรงงานผาแดงอินทรี, ฐานทัพเรือสัตหีบ, โรงงานปูนสยามซิเมนต์ (ท่าลาน และทุ่งสง), โรงงานเหล็ก Siam Iron & Steel, สถานีวิทยุ VOA และ อื่นๆ (ผู้รับเหมาเปิดหน้าเหมือง) ส่วนลูกค้านำตรงของ กฟผ. ต่างประเทศ ได้แก่ ลาว และกัมพูชา

เนื่องจากค่า Peak Demand ของลูกค้านำตรงแต่ละรายไม่ได้เกิดขึ้น ณ เวลาเดียวกัน (Non-Coincident Peak) ดังนั้นการจัดทำค่า Peak Demand รวมของลูกค้านำตรง (Coincident Peak) จะใช้วิธีการเดียวกับของ กฟน. และ กฟภ. แต่จะใช้ Hourly Load Profile (8,760 ชั่วโมง) ของลูกค้าแต่ละรายแทนการใช้ LSR ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของวันทำการ, วันเสาร์และวันอาทิตย์ จากนั้นจะทำการปรับให้ค่า Energy Demand ในแต่ละปีที่ได้จาก Hourly Load Profile ให้เท่ากับค่าของ Energy Demand ที่ได้พยากรณ์ไว้

#### ก 5 การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า ณ จุดขายของ กฟผ.

เมื่อได้ค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า (Energy Demand และ Peak Demand) ที่ กฟน., กฟภ. และลูกค้านำตรงของ กฟผ. ซึ่งต้องการซื้อจาก กฟผ. แล้ว หลังจากนั้น กฟผ. ก็จะมีการรวมค่าพยากรณ์ Energy Demand ทั้ง 3 ส่วน ซึ่งได้เป็น Total Energy and Peak Sale แต่ค่า Peak Demand จะไม่สามารถนำมารวมกันได้โดยตรงเนื่องจากเป็น Non-Coincident Peak ดังนั้นในการคำนวณหาค่า Total Peak Sale ก็จะต้องนำค่า Hourly Load Profile (8,760 ชั่วโมง) ของ กฟน., กฟภ. และลูกค้านำตรงของ กฟผ. มารวมกัน และหาจุดสูงสุดก็จะได้ค่า Total Peak Sale (เวลาที่เกิดค่า Peak ของ กฟน. และลูกค้านำตรงของ กฟผ. จะเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันกับระบบของ กฟผ. แต่ของ กฟภ. จะเกิดขึ้นคนละเวลากับระบบของ กฟผ.)

#### ก 6 การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าที่ใช้ในขบวนการผลิต และส่งไฟฟ้าของ กฟผ.

ความต้องการไฟฟ้าที่ใช้ในขบวนการผลิต และส่งไฟฟ้าจะประกอบด้วย Transmission Loss, Power Plant Use, Substation, Office & Camp และ Pump Storage

เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่ง (Transmission Loss) จะขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่ส่งไปตามสายส่งซึ่งจะเท่ากับค่า Total Energy Sale ของ กฟผ. นั่นเอง ดังนั้นการพยากรณ์ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Energy ของ Transmission Loss จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยในอดีตของ Total Energy Sale และ Transmission Loss เพื่อหาอัตราส่วนของ Transmission Loss ต่อ Total Energy Sale แล้วกำหนดให้คงที่ตลอดช่วงของการพยากรณ์ หลังจากนั้นนำไปคูณกับค่า Total Energy Sale ที่ได้พยากรณ์ไว้ก็จะได้ค่าพยากรณ์ Energy ของ Transmission Loss

การพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขบวนการผลิต (Power Plant Use) กำหนดได้จาก

- 1 ค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขบวนการผลิตต่อพลังงานที่ผลิตสุทธิของแต่ละโรงไฟฟ้า
- 2 หาปริมาณการผลิตรายปีของโรงไฟฟ้าในอนาคต
- 3 นำข้อ 1 คูณกับข้อ 2 จะเท่ากับค่าพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขบวนการผลิตของแต่ละโรงไฟฟ้า
- 4 รวมข้อ 3 ของทุกโรงไฟฟ้างี้จะได้ค่าพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขบวนการผลิต

การพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของ Substation และ Office & Camp จะพิจารณาจากข้อมูลในอดีตเพื่อหาค่าที่เหมาะสมแล้วกำหนดให้คงที่ตลอดช่วงของการพยากรณ์

ส่วนค่าพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำกลับจะกำหนดให้คงที่ตามรายงานการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ

การคำนวณหาค่า Peak ของขบวนการผลิต และส่งไฟฟ้าของ กฟผ. (Peak Loss) จะไม่รวมค่า Peak ของการสูบน้ำกลับเนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำสูบน้ำกลับจะทำการสูบน้ำกลับตอนกลางคืนซึ่งไม่ใช่เวลาที่เกิด Peak ของระบบ ดังนั้นค่า Energy ของขบวนการผลิต และส่งไฟฟ้าของ กฟผ. (Energy Loss) ที่นำมาคำนวณหาค่า Peak Loss นั้น จึงไม่รวมค่า Energy ของ Pump Storage ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.5

$$\text{Peak Loss} = \frac{\text{Energy Loss (without Pump Storage)}}{\text{Loss Factor} \times \text{Hour}} \quad (2.5)$$

$$\text{Loss Factor} = 0.3(\text{Load Factor}) + 0.7(\text{Load Factor})^2 \quad (2.6)$$

## ก 7 ความต้องการพลังไฟฟ้ารวมในระบบ กฟผ.

ความต้องการไฟฟ้ารวมในระบบของ กฟผ. (Gross EGAT Generation) จะได้มาจากการรวมความต้องการไฟฟ้ารวม ณ จุดขาย (Total EGAT Sale) และความต้องการไฟฟ้าที่ใช้ในขบวนการผลิต และส่งไฟฟ้าของ กฟผ. (Loss)

คณะกรรมการฯ จะทำการปรับปรุงค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าให้สอดคล้องกับสถานการณ์ และข้อสมมุติฐานที่เปลี่ยนไปอย่างสม่ำเสมอ เพื่อมิให้การจัดหาไฟฟ้าสูงหรือต่ำเกินไปจนเกิดผลเสียต่อประเทศชาติและผู้ใช้ไฟฟ้าได้ ซึ่งหากค่าพยากรณ์ฯ สูงเกินกว่าความเป็นจริงก็จะทำให้มีการก่อสร้างโรงไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่สูงกว่าความต้องการที่แท้จริง โดยค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจะถูกผลักสู่ค่าไฟฟ้าทำให้ประชาชนต้องเป็นผู้รับภาระในที่สุด แต่ถ้าหากค่าพยากรณ์ฯ ที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริงก็จะทำให้เกิดไฟฟ้าตกไฟฟ้าดับซึ่งจะเกิดผลเสียต่อสภาพเศรษฐกิจของประเทศโดยรวมได้

ด้วยเหตุนี้คณะกรรมการฯ จึงได้ติดตามสถานการณ์การใช้ไฟฟ้าและสภาพเศรษฐกิจอย่างใกล้ชิด เพื่อให้การปรับปรุงค่าพยากรณ์ฯ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยกำหนดให้มีการพิจารณาบททวนค่าพยากรณ์ฯ ทุก 6 เดือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

## กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า

ตารางที่ ข 1 กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า

โรงไฟฟ้า	เชื้อเพลิง	กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	รวมกำลังการผลิต <sup>๖</sup> (MW)
<b>ก. โรงไฟฟ้าพลังน้ำ</b>			
เขื่อนภูมิพล	-	$(6 \times 82.2) + (1 \times 115) + 171$	779.2
เขื่อนสิริกิติ์	-	4x125	500.0
เขื่อนอุบลรัตน์	-	3x8.4	25.2
เขื่อนสิรินธร	-	3x12	36.0
เขื่อนจุฬาภรณ์	-	2x20	40.0
เขื่อนแก่งกระจาน	-	1x17.5	17.5
เขื่อนน้ำพุง	-	2x3	6.0
เขื่อนศรีนครินทร์	-	$(3 \times 120) + (2 \times 180)$	720.0
เขื่อนบางลาง	-	3x24	72.0
เขื่อนท่าทุ่งนา	-	2x19	38.0
เขื่อนวชิราลงกรณ	-	3x100	300.0
เขื่อนปากมูล	-	4x34	136.0
เขื่อนห้วยกุ่ม	-	1x1.06	1.06
เขื่อนบ้านสันติ	-	1x1.275	1.275
เขื่อนแม่งัด	-	2x4.5	9.0
เขื่อนรัชชประภา	-	3x80	240.0
โรงไฟฟ้าขนาดเล็ก	-	0.449	0.449
<b>รวม</b>			<b>2,921.684</b>
<b>ข. โรงไฟฟ้าพลังความร้อน</b>			
พระนครใต้	น้ำมันเตา/ก๊าซ	$(2 \times 200) + (3 \times 310)$	1,330.0
แม่เมาะ	ลิกไนต์	$(4 \times 150) + (6 \times 300)$	2,400.0
บางปะกง	น้ำมันเตา/ก๊าซ	$(2 \times 550) + (2 \times 600)$	2,300.0
กระบี่	น้ำมันเตา	1x340	340.0
<b>รวม</b>			<b>6,370.0</b>

ตารางที่ ข 1 กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า (ต่อ)

โรงไฟฟ้า	เชื้อเพลิง	กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	รวมกำลังการผลิต <sup>๖</sup> (MW)
<b>ค. โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม</b>			
บางปะกง ชุดที่ 1-2	ก๊าซ	$2x[(4x60.7)+(1x137.5)]$	760.6
ชุดที่ 3-4	ก๊าซ	$2x[(2x104)+(1x99)]$	614.0
น้ำพอง ชุดที่ 1-2	ก๊าซ	$2x[(2x121)+(1x133)]$	710.0
พระนครใต้ ชุดที่ 1	ก๊าซ	$(2x110)+(1x115)$	335.0
ชุดที่ 2	ก๊าซ	$(2x202)+(1x220)$	624.0
วังน้อย ชุดที่ 1-2	ก๊าซ	$2x[(2x223)+(1x205)]$	1,302.0
ชุดที่ 3	ก๊าซ	$(2x236)+(1x257)$	729.0
<b>รวม</b>			<b>5,074.6</b>
<b>ง. โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส</b>			
ลานกระบือ	ก๊าซ	$(4x14)+(2x16)+(4x20)$	168.0
หนองจอก	ดีเซล	$3x122$	366.0
สุราษฎร์ธานี	ก๊าซ	$2x122$	244.0
<b>รวม</b>			<b>778.0</b>
<b>จ. โรงไฟฟ้าดีเซล</b>			
แม่ฮ่องสอน	ดีเซล	$1x6$	6.0
<b>รวม</b>			<b>6.0</b>
<b>ฉ. โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน</b>			
<b>รวม</b>		<b>0.534</b>	<b>0.534</b>
<b>รวมกำลังผลิตของ กฟผ.</b>			<b>15,150.818</b>
<b>ช. โรงไฟฟ้าจากการซื้อ</b>			
พลังความร้อนขนอม	น้ำมันเตา/ก๊าซ	$2x75$	150.0
พลังความร้อนร่วมขนอม	ดีเซล/ก๊าซ	$(4x112)+(1x226)$	674.0
พลังความร้อนร่วมระยอง ชุดที่ 1-4	ก๊าซ	$4x[(2x103)+(1x102)]$	1,232.0
พลังความร้อนราชบุรี	ก๊าซ	$2x720$	1,440.0
พลังความร้อนร่วมราชบุรี ชุดที่ 1	ก๊าซ	$(2x212)+(1x261)$	685.0
พลังความร้อนร่วมราชบุรี ชุดที่ 2	ก๊าซ	$(2x209)+(1x257)$	675.0
พลังความร้อนร่วมราชบุรี ชุดที่ 3	ก๊าซ	$(2x214)+(1x253)$	681.0
บริษัทผลิตไฟฟ้าอิสระ จำกัด	ก๊าซ	$(2x230)+(1x240)$	700.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกทั้งหมดโดยมติของคณะกรรมการฯ และต้องอย่างองตงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 1 กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า (ต่อ)

โรงไฟฟ้า	เชื้อเพลิง	กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	รวมกำลังการผลิต <sup>๒</sup> (MW)
บริษัทไครเอนเนอจี จำกัด	ก๊าซ	(2x224)+(1x252)	700.0
บริษัท โกลว์ โอฟีที จำกัด	ก๊าซ	(2x365.5)	713.0
บริษัทอีสเทิร์นเพาเวอร์ จำกัด	ก๊าซ	350.0	350.0
ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก	-	1,914.4	1,914.4
พลังน้ำเทิน-หิบบุน	-	2x115	214.0 <sup>๒</sup>
พลังน้ำห้วยเสาะ	-	2x75	126.0 <sup>๒</sup>
สายส่งเชื่อม ไทย-มาเลเซีย	-	300	300.0
รวม			1,0554.4
รวมทั้งหมด			25,705.218

หมายเหตุ 1/ ณ สิ้นเดือน มีนาคม 2547

2/ กำลังผลิต ณ จุดส่งมอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทความงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



# ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

## ENGINEERING

ปีที่ 21 ฉบับที่ 2

มิถุนายน 2547

1. การออกแบบและการจัดการระบบระบบสื่อสารข้อมูลในสถานการณ์ฉุกเฉินในกรณีการก่อวินาศกรรม	1
2. การสังเกตการณ์ไม่พร้อมมูลประกอบการดำเนินงานและแผนปฏิบัติการประจำจุดให้เป็นไปตามจุดปฏิบัติงาน	7
3. เทคนิคการตรวจจับผลขาดแคลนเชื้อเพลิงในเครื่องบินพาณิชย์ 3 เฟส โดยใช้องค์ประกอบสำคัญที่มีคนรับผิดชอบ	18
4. การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการออกแบบระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงดัน 115 กิโลโวลต์แบบจุดปิด	19
5. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยวิธีการควบคุมแรงดันและหาสาเหตุจากการแปรผันค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่าง	25
6. การพิจารณาความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าในระบบจ่ายพลังงาน โดยใช้โปรแกรมประยุกต์	31
7. การรู้จำเสียงสระเสียงสระสะกดภาษาไทยโดยการแยกแยะการนำเพื่อฟังเสียงของสระกำหนดเสียงบนคอมพิวเตอร์	37
8. การแยกแยะเสียงสระและสระเสียงยาวในภาษาไทยโดยใช้การหาค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ของสัญญาณเสียง	43
9. กระบวนการไหลของของไหลในท่อที่มีลักษณะเป็นวงรีในกรณีการไหลแบบลามินาร์	49
10. การจำลองแบบเซตขององค์ประกอบเพื่อการหาประสิทธิภาพของตัวเชื่อม	55
11. การออกแบบวงจรควบคุมอุณหภูมิของตู้เย็นด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	61
12. วงจรควบคุมสัญญาณกระแสไฟฟ้าในคลาต AB ใช้เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์	67
13. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นและวงจรควบคุมแรงดันด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	72
14. อัตราผิดเพี้ยนและการเชิงโคโรนาของสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูงด้วยเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์	77
15. การออกแบบระบบเครือข่ายภายในความถี่สูงโดยใช้เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์	83

# การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาว ของระบบ กฟผ. โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

## Long-Term Peak Load Forecasting for EGAT System Using Artificial Neural Networks

โอฬาร ชรรมานนท์

มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

สมชาติ จีรวិภากร

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวของระบบ กฟผ. โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกนำมาเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจ และอื่นๆ ที่เชื่อว่ามีผลน้อยสำคัญต่อความต้องการไฟฟ้า โครงข่ายประสาทเทียมนี้ได้ออกแบบเพื่อใช้พยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า 13 ปี ข้างหน้า นอกจากนี้ได้นำเสนอวิธีเลื่อนหน้าต่างข้อมูลฝึกสอนย้อนหลังไป 2 ปี สำหรับการฝึกสอนซ้ำอย่างต่อเนื่องของโครงข่ายประสาทเทียม จากการเปรียบเทียบความถูกต้องของการพยากรณ์ระหว่างโครงข่ายประสาทเทียม และเทคนิคการพยากรณ์แบบดั้งเดิม พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้ความแม่นยำสูงกว่าโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ประมาณ 0.1764%

### Abstract

This paper presents the application of an Artificial Neural Networks (ANNs) to long-term peak load forecasting for Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) System. The ANNs are used to learn the relationship between economic and other factors, which are believed to have significant effect on the load. The ANNs are designed, and used to forecast the next 13-years loads. In addition to the target years load forecasting, a 2-years sliding window training method is proposed for the continuous retraining of ANNs. For correction, comparisons of the prediction between ANNs and traditional statistical method give the accuracy from ANNs method higher than traditional statistical method with a mean absolute percentage error about 0.1764%

### 1. บทนำ

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเป็นหัวใจสำคัญของการวางแผนขยายระบบไฟฟ้า และควบคุมระบบไฟฟ้า โดยจะส่งผลกระทบต่อความมั่นคง และความน่าเชื่อถือของระบบ ดังนั้นการพยากรณ์ที่แม่นยำ และเชื่อถือได้จะก่อให้เกิดความมั่นใจในการนำไปใช้ในกระบวนการตัดสินใจของการดำเนินงานในอนาคต [1-2]

ปัจจุบันการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมสามารถแบ่งกว้างๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ การวิเคราะห์อนุกรมเวลา และการวิเคราะห์การถดถอย ปัญหาทั่วไปของวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลา คือ แบบจำลองได้ละเลยความสัมพันธ์ที่มีอยู่สูงระหว่างตัวแปร ในขณะที่วิธีการวิเคราะห์การถดถอยก็ไม่สามารถใช้กับปัญหาที่ซับซ้อนมาก ๆ ได้ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความต้องการไฟฟ้ามีลักษณะไม่เชิงเส้น และขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ซับซ้อนจำนวนมาก การใช้วิธีการแบบดั้งเดิมอาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่ดี โครงข่ายประสาทดัดเทียมเป็นอีกวิธีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจ เพราะสามารถหาความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้น และปรับตัวเปลี่ยนแปลงได้ [4-5]

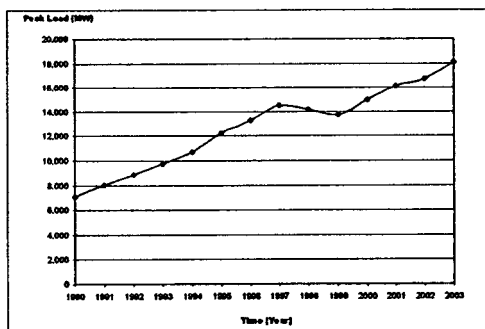
ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้น ปกติเงื่อนไขสภาพอากาศ (โดยเฉพาะอุณหภูมิ) จะมีนัยสำคัญต่อความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) อย่างไรก็ตามในการพยากรณ์ระยะยาว ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจจะมีบทบาทสำคัญมาก [5]

งานวิจัยนี้ได้ใช้โครงข่ายประสาทดัดเทียมชนิดการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับในการพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวของระบบ กฟผ. โดยนำมาเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจ และอื่นๆ ที่เชื่อว่ามีผลต่อความต้องการไฟฟ้า เพื่อให้สามารถพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

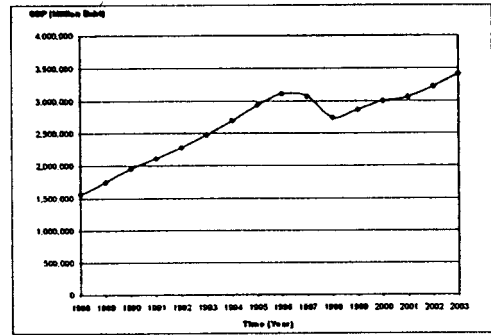
**2. สมมุติฐานที่ใช้ในการพยากรณ์**

จากข้อมูลอนุกรมเวลาในอดีตของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ หรือ GDP (Gross Domestic Product), จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า และค่า Peak Load ของระบบ กฟผ. ดังแสดงในรูปที่ 1 ถึง 3

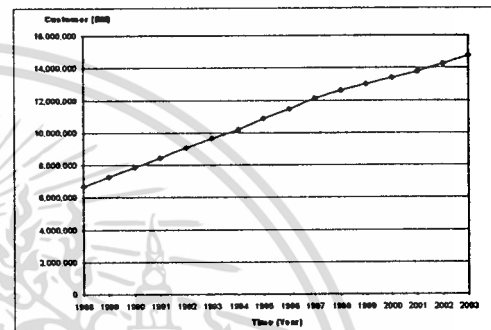
จากรูปที่ 4 จะพบว่าอัตราการขยายตัวของ GDP (ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลต่อปี) และอัตราการขยายตัวของจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าจะมีทิศทางเดียวกันกับอัตราการขยายตัวของ Peak Load ด้วยเหตุนี้หากทราบทิศทาง การเติบโตทางเศรษฐกิจของไทย และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าในอนาคตก็จะสามารถทราบค่า Peak Load ในอนาคตได้



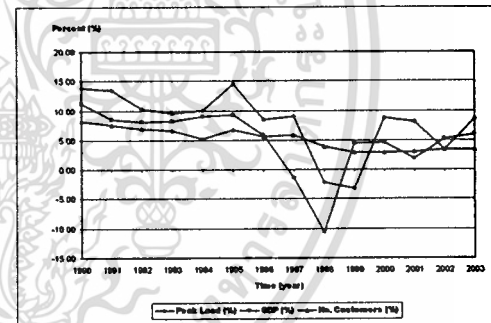
รูปที่ 1 Peak Load ของระบบ กฟผ. ปี ค.ศ. 1990-2003



รูปที่ 2 GDP ปี ค.ศ. 1988-2003



รูปที่ 3 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า ปี ค.ศ. 1988-2003



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายตัวของ GDP, จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า และ Peak Load ของระบบ กฟผ.

**3. การจัดเตรียมข้อมูล**

ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้นำมาใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูล Peak Load ของระบบ กฟผ. ในอดีต ปี ค.ศ. 1990-2003, ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศในอดีต ปี ค.ศ. 1988-2003 ได้มาจาก กฟผ., กฟน. และ กฟผ. และข้อมูล GDP ในอดีต ปี ค.ศ. 1988-2003 ได้มาจาก สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย หรือ TDR (Thailand Development Research Institute)

ส่วนจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าในอนาคต ปี ค.ศ. 2004-2016 ได้พยากรณ์ด้วยวิธี Holt's linear ส่วนค่า GDP ในอนาคต ปี ค.ศ. 2004-2016 ได้จาก TDR [6] ซึ่งได้คาดการณ์ภาวะ

เศรษฐกิจของไทยในระยะยาวจะมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 5 ต่อปี (กรณีฐาน: Intermediate Potential Growth)

จากนั้นได้เลื่อนหน้าตาข้อมูลย้อนหลังไป 1 และ 2 ปี และนำข้อมูลทั้งหมดมาแบ่งเป็น 3 ชุด สำหรับใช้ฝึกสอน ทดสอบ และพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะทำ Normalization ให้มีค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับศูนย์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Variance) เท่ากับหนึ่ง และทำ Scaling เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในช่วงของฟังก์ชันถ่ายโอน ก่อนที่จะทำการฝึกสอน ทดสอบ และพยากรณ์ ซึ่งจะทำการฝึกสอนเร็วขึ้น และความแม่นยำสูงขึ้น [4] หลังจากได้ผลลัพธ์แล้วเอาที่ทุกที่ได้ต้องแปลงกลับไปเป็นค่าจริงด้วยการ Unnormalization และ Unscaling

#### 4. ทฤษฎี และหลักการ

##### 4.1 การวิเคราะห์วิธี Exponential Smoothing

เป็นการวิเคราะห์อนุกรมเวลาวิธีหนึ่ง โดยจะศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจากอดีตถึงปัจจุบัน แล้วนำรูปแบบนั้นมาพยากรณ์ค่าของตัวแปรนั้นในอนาคต

วิธี Holt's Linear เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีลักษณะแนวโน้มเชิงเส้นซึ่งให้ความสำคัญของข้อมูลล่าสุดมากที่สุด และจะค่อยๆ ลดลงตามความห่างไกลของข้อมูล โดยมีค่าคงที่ที่ทำให้เรียบ 2 ค่า คือ  $\alpha$  และ  $\beta$  โดยมีสมการที่แสดงความสัมพันธ์ดังนี้ [7]

$$F_{t+m} = L_t + b_t m \quad (1)$$

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3)$$

โดย  $F_{t+m}$  คือ ค่าพยากรณ์ (Peak Load) ณ เวลา  $t+m$

$L_t$  คือ ค่าประมาณระดับของข้อมูลที่เวลา  $t$

$b_t$  คือ ค่าประมาณความชันของข้อมูลที่เวลา  $t$

$\alpha, \beta$  คือ ค่าคงที่ที่ทำให้เรียบมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

$Y_t$  คือ ค่าของข้อมูลที่เวลา  $t$

$m$  คือ ระยะเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

##### 4.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ

เป็นการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรตัวหนึ่ง กับค่าของตัวแปรอีกตัว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่ง หรือหลายตัวโดยสังเกตจากความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ผ่านมาในอดีต โดยจะกำหนดให้ตัวแปรหนึ่งที่สนใจศึกษาเป็นตัวแปรตาม ส่วนตัวแปรที่เหลือแทนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรที่สนใจศึกษา สามารถแสดงได้ดังนี้ [7]

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (4)$$

โดย  $\hat{Y}$  คือ ตัวแปรตาม (Peak Load)

$X_1, X_2, \dots, X_k$  คือ ตัวแปรอิสระ

$b_0, b_1, \dots, b_k$  คือ ค่าคงที่ที่แสดงความสัมพันธ์

ระหว่าง  $\hat{Y}$  กับ  $X_1, X_2, \dots, X_k$

ถ้าหากค่า  $\hat{Y}$  มีความสัมพันธ์กับค่า  $X_1, X_2, \dots, X_k$  หรือ  $\hat{Y}$  เปลี่ยนแปลงตามค่า  $X_1, X_2, \dots, X_k$  ที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งหากกำหนดค่า  $X_1, X_2, \dots, X_k$  ในอนาคตได้ ก็สามารถคำนวณหาค่า  $\hat{Y}$  ในอนาคตได้

งานวิจัยนี้ใช้วิธี Multiple Linear Regression และวิธี Holt's Linear ของโปรแกรม SPSS for Window 11.5 [8] ในการพยากรณ์ Peak load ของระบบ กฟผ. ในอนาคต

##### 4.3 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการประมวลผลข้อมูลที่ได้ออกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการทางพื้นฐานของโครงข่ายประสาททางชีววิทยาที่สามารถรวบรวมความรู้ได้โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ และจะเก็บความรู้เหล่านั้นไว้ในโครงข่ายประสาทด้วยค่าน้ำหนักและค่าไบอัส ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้เมื่อมีการเรียนรู้สิ่งใหม่

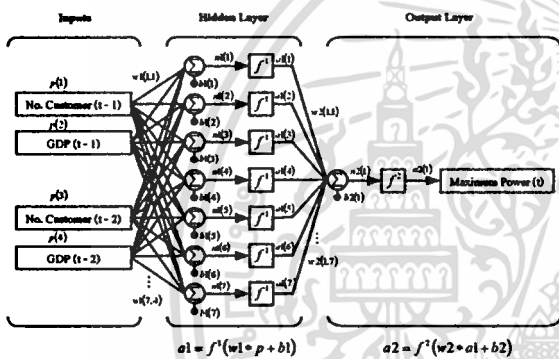
โครงข่ายประสาทเทียมชนิดการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับจะมีการจัดเรียงเซลล์ประสาทต่อกันในทิศทางส่งข้อมูลไปข้างหน้า และไม่เชื่อมต่อกันในทิศทางย้อนกลับ หรือกับเซลล์ประสาทในชั้นเดียวกัน โดยจะเรียงเป็นชั้นๆ คือ ชั้นอินพุต 1 ชั้น, ชั้นซ่อนอย่างน้อย 1 ชั้น และชั้นเอาต์พุต 1 ชั้น โดยเซลล์ประสาทแต่ละชั้นจะเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทในชั้นก่อนหน้า และชั้นถัดไปด้วยค่าน้ำหนักและค่าไบอัส ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ในขณะทำการเรียนรู้ ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ชั้นซ่อน ซึ่งค่า  $a1$  และ  $a2$  (Peak Load) จะสามารถหาได้ดังนี้

$$a1 = f^1(w1 * p + b1) \quad (5)$$

$$a2 = f^2(w2 * a1 + b2) \quad (6)$$

- โดย  $a1$  คือ เอาท์พุทของชั้นซ่อน  
 $a2$  คือ เอาท์พุทของโครงข่าย (Peak Load)  
 $w1$  คือ ค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นอินพุทและชั้นซ่อน  
 $w2$  คือ ค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นซ่อน และชั้นเอาท์พุท  
 $p$  คือ อินพุทของโครงข่าย  
 $f^1$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้นซ่อน  
 $f^2$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้นเอาท์พุท  
 $b1$  คือ ค่าไบอัสของชั้นซ่อน  
 $b2$  คือ ค่าไบอัสของชั้นเอาท์พุท  
 $n1, n2$  คือ ค่าอินพุทรวมของชั้นซ่อน และชั้นเอาท์พุท



รูปที่ 5 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับสำหรับพยากรณ์ Peak Load

แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัยนี้ได้สร้างจาก Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB 6.5 และได้ทำการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับด้วย Levenberg-Marquardt Algorithm [10] โดยชั้นซ่อนใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-Sigmoid ดังสมการที่ (7) และในชั้นเอาท์พุทใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear ดังสมการที่ (8)

$$f^1(n1) = \frac{1}{1 + e^{-n1}} \quad (7)$$

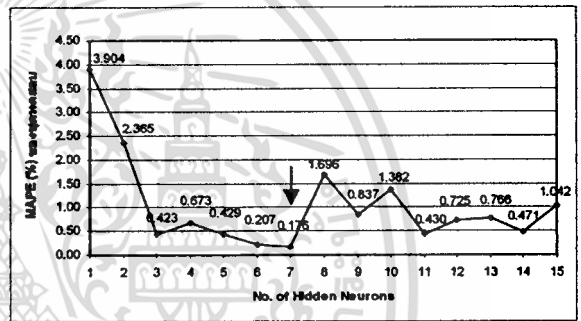
$$f^2(n2) = n2 \quad (8)$$

4.3.1 การหาจำนวนของอินพุทและเอาท์พุท

เนื่องจากเอาท์พุทที่ต้องการ คือ Peak Load ซึ่งมีอยู่ 1 ค่า ดังนั้นจะได้จำนวนเซลล์ประสาทของเอาท์พุทเป็น 1 เซลล์ ส่วนอินพุท คือ GDP และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า แต่ได้วิธีเลื่อนหน้าต่างข้อมูลย้อนหลังไป 1 และ 2 ปี ดังนั้นจะได้จำนวนของอินพุทเป็น 4

4.3.2 การหาจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการหาจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนโดยการเริ่มต้นจาก 1 เซลล์ และทำการฝึกสอนในแต่ละครั้งซึ่งค่าน้ำหนักและค่าไบอัสเริ่มต้นจะใช้เลขแบบสุ่ม จากนั้นจะทำการทดสอบ และคำนวณค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ และทำการปรับเพิ่มจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนทีละ 1 จนถึง 15 เพื่อหาโครงสร้างที่ให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ต่ำที่สุด ซึ่งแต่ละโครงสร้างจะทำการฝึกสอนจำนวน 30 ครั้ง ในการฝึกสอนแต่ละครั้งจะทำการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสจำนวน 1,000 epochs ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนที่เหมาะสมคือ 7 เซลล์



รูปที่ 6 การเลือกจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อน

ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าผิดพลาดจากการทดสอบต่ำที่สุดจะสามารถนำไปพยากรณ์ Peak Load ในอนาคตได้ โดยนำค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสไปใช้กับชุดพยากรณ์ที่ได้จัดเตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 7

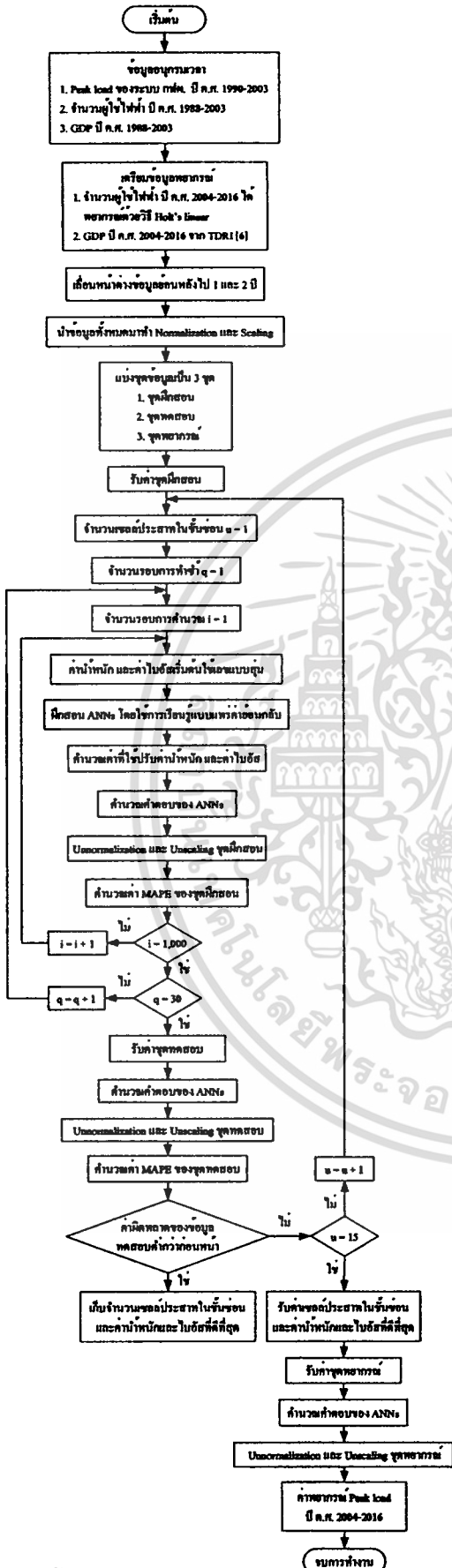
4.3.3 การวัดประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม

ค่าสถิติที่ใช้วัดความแม่นยำของค่าพยากรณ์ซึ่งได้จากค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์นั้นมีหลายวิธี [7] วิธีการหนึ่งที่ได้รับนิยมคือจะใช้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error) จากข้อมูลทดสอบซึ่งเป็นค่าตอบของโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอนแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าตอบจริง ดังสมการที่ (9)

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Load Output_{Actual_i} - Load Output_{ANN_{i1}}}{Load Output_{Actual_i}} \right| \times 100\% \quad (9)$$

โดย  $Load Output_{ANN_{i1}}$  คือ Load ที่เป็นคำตอบจาก ANNs  
 $Load Output_{Actual}$  คือ Load ที่เป็นคำตอบจริง  
 $N$  คือ จำนวนข้อมูลทดสอบ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



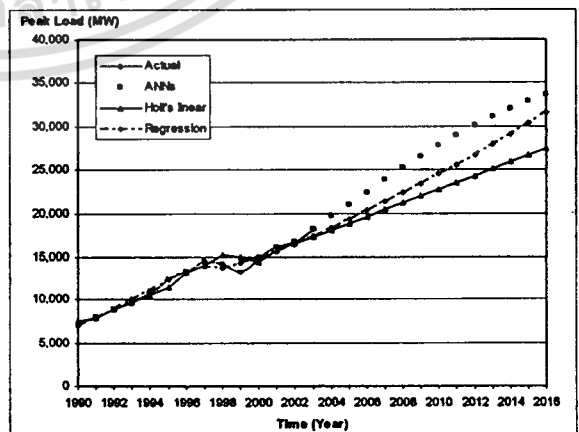
รูปที่ 7 ขั้นตอนการพยากรณ์ Peak Load ด้วยวิธี ANNs

5. ผลการทดลอง

หลังจากได้ฝึกสอนด้วยข้อมูลฝึกสอนที่เตรียมไว้พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้โครงสร้าง ที่มีอินพุต 4 ชั้นซ่อน 7 และชั้นเอาต์พุต 1 สามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่าง GDP, จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า และ Peak Load ในปี 1990-2000 ได้ดี โดยมีค่า MAPE จากการฝึกสอน 6E-14% ดังตารางที่ 1 และเมื่อได้เปรียบเทียบกับวิธี Holt's Linear (ค่า  $\alpha = 1$  และ  $\beta = 0$ ) และวิธี Multiple Linear Regression (ค่า  $R^2 = 0.981$ ,  $F = 260.633$  และ  $D.W. = 1.712$ ) ซึ่งจะพบว่าได้ค่า MAPE = 4.192% และ 2.45% ตามลำดับ

เมื่อนำข้อมูล GDP และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นชุดทดสอบที่โครงข่ายประสาทเทียมไม่เคยเห็นมาทดสอบกับโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ฝึกสอนแล้ว พบว่าค่าตอบที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมค่อนข้างแม่นยำ โดยมีค่า MAPE จากการทดสอบ 0.1764% เมื่อได้เปรียบเทียบกับวิธี Holt's Linear, วิธี Multiple Linear Regression และของคณะกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า หรือ TLFS (Thailand Load Forecast Subcommittee) [11] พบว่าได้ค่า MAPE = 2.849%, 3.144% และ 2.388% ตามลำดับ

จากนั้นนำค่าน้ำหนักและค่าไบอัสของโครงสร้างที่ให้ค่าผิดพลาดจากการทดสอบต่ำสุดไปใช้กับชุดพยากรณ์ GDP และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เตรียมไว้ก็จะได้ค่าพยากรณ์ Peak Load ของปี ค.ศ. 2004-2016 ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่าพยากรณ์ Peak Load ในปี ค.ศ. 2004-2016 ด้วยวิธี Holt's Linear, วิธี Multiple Linear Regression และวิธี ANNs

เอกรังสรรค์ นนทวัฒน์, อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลการพยากรณ์ Peak Load ปี ค.ศ. 2004-2016 โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธี ANNs, Holt's Linear, Multiple Linear Regression และจาก TLFS [11]

หน่วย : MW

ปี	ค่าจริง	ANNs	Holt's Linear	Multiple Linear Regression	TLFS [11]
1990	7,093.7	7,093.7	7,484.93	6,941.98	-
1991	8,045.0	8,045.0	7,876.16	7,935.08	-
1992	8,876.9	8,876.9	8,827.46	8,927.31	-
1993	9,730.0	9,730.0	9,659.36	9,983.99	-
1994	10,708.8	10,708.8	10,512.46	11,016.12	-
1995	12,267.9	12,267.9	11,491.26	12,299.31	-
1996	13,310.9	13,310.9	13,050.36	13,321.59	-
1997	14,506.3	14,506.3	14,093.36	13,918.59	-
1998	14,179.9	14,179.9	15,288.76	13,666.74	-
1999	13,712.4	13,172.4	14,962.36	14,322.11	-
2000	14,918.3	14,918.3	14,494.86	15,017.27	-
MAPE	-	6E-14%	4.1920%	2.4501%	-
Testing					
2001	16,126.4	16,084.32	15,700.76	15,558.32	16,184.0
2002	16,681.1	16,712.93	16,483.22	16,406.45	17,388.0
2003	18,121.4	18,107.15	17,265.68	17,349.00	18,587.0
MAPE	-	0.1764%	2.8493%	3.1438%	2.3881%
Forecasting					
2004	-	19,646.38	18,048.14	18,323.63	19,913.0
2005	-	20,960.37	18,830.60	19,289.71	21,222.0
2006	-	22,391.00	19,613.06	20,277.77	22,552.0
2007	-	23,827.50	20,395.52	21,288.55	23,951.0
2008	-	25,213.93	21,177.98	22,324.52	25,450.0
2009	-	26,542.24	21,960.44	23,384.34	27,232.0
2010	-	27,796.95	22,742.90	24,467.95	28,912.0
2011	-	28,973.43	23,525.36	25,586.51	30,587.0
2012	-	30,084.61	24,307.82	26,728.73	32,405.0
2013	-	31,094.65	25,090.28	27,906.34	34,352.0
2014	-	32,034.93	25,872.74	29,106.18	36,366.0
2015	-	32,874.21	26,655.20	30,353.01	38,519.0
2016	-	33,660.40	27,437.66	31,621.72	40,699.0

## 6. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ Peak Load ของระบบ กฟผ. ในอนาคต จากการนำค่า GDP และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นชุดทดสอบมาทดสอบกับโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอนแล้วพบว่าค่าตอบเออร์ทุทที่ได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยมีค่า MAPE เท่ากับ 0.1764% ซึ่งได้ต่ำกว่าของเทคนิคการพยากรณ์แบบดั้งเดิม ด้วยเหตุนี้โครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นอีก

ทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้พยากรณ์ระยะยาวได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้วางแผนขยายระบบไฟฟ้า เช่น กำหนดกำลังการผลิต, ขนาดของสายส่ง และอุปกรณ์ระบบส่ง และระบบจำหน่ายที่จะต้องจัดหาเพิ่มขึ้นต่อไป

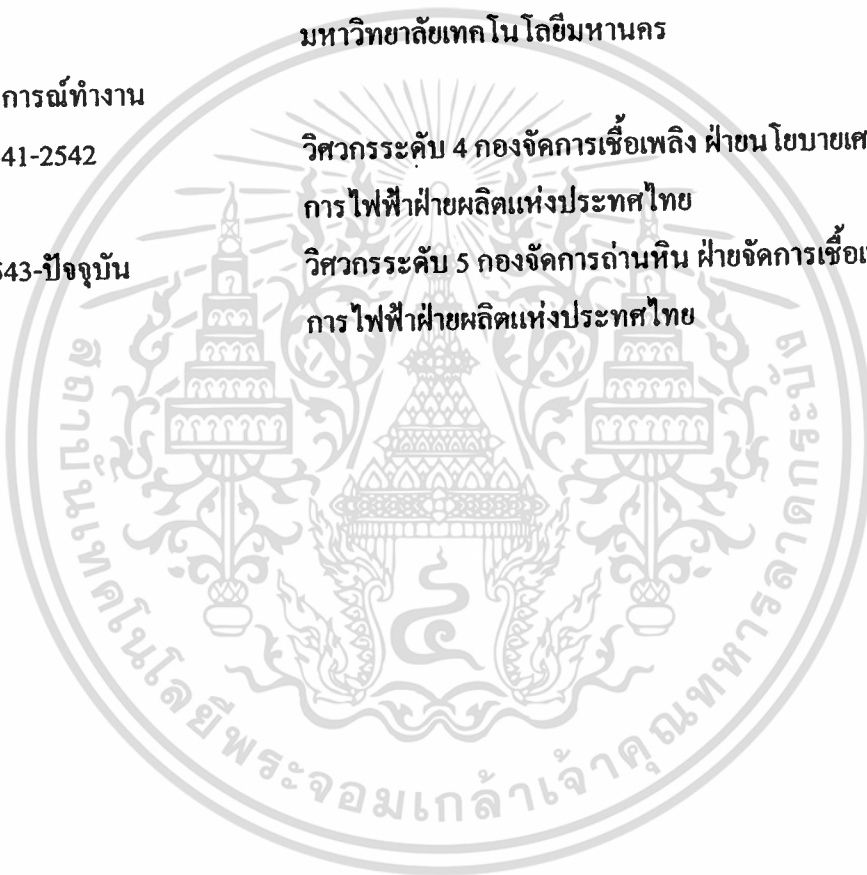
## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] X. Wang and J.R. McDonald, *Modern Power System Planning*, McGraw-Hill, Inc, 1994
- [2] สิริทัต กลั่นความดี, *การวางแผนขยายแหล่งผลิตและระบบส่งไฟฟ้า*, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, มี.ค. 2527
- [3] E.H. Barakat and S.A. Al-Rashed, "Long Range Peak Demand Forecasting Under Conditions of High Growth", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 7, pp. 1483-1486, Nov. 1992
- [4] K.S. Swarup and B. Satish, "Integrated ANN Approach to Forecast Load", *IEEE Computer Application in Power*, Vol. 15, pp. 46-51, Apr. 2002
- [5] B. Kermanshahi, "Recurrent Neural Network for Forecasting Next 10 Years Loads of Nine Japanese Utilities", *Neurocomputing*, Vol. 23, pp. 125-133, Dec. 1998
- [6] สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, *การพยากรณ์เศรษฐกิจไทยในช่วงปี 2545-2559*, มี.ค. 2546
- [7] S. Makridakis, S.C. Wheelwright and R.J. Hyndman, *Forecasting: Methods and Application*, 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons, Inc., 1998
- [8] กัลยา วานิชย์บัญชา, *การใช้ SPSS for Windows ใน การวิเคราะห์ข้อมูล*, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- [9] S. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2<sup>nd</sup> ed., Prentice-Hall, Inc., 1999
- [10] M.T. Hagan and M.B. Menhaj, "Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm", *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 5, pp. 989-993, Nov. 1994
- [11] คณะอนุกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า, *รายงานการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า*, ก.พ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการรายงานการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า, ก.พ. 2544 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายโอฬาร ธรรมานนท์
วัน เดือน ปีเกิด	2 พฤษภาคม 2517 ที่จังหวัดชุมพร
ที่อยู่	เลขที่ 105/14 หมู่ที่ 1 คอนโดบ้านสวนพงษ์เพชร อาคาร C ช.แจ้งวัฒนะ 43 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.คลองเกลือ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี รหัสไปรษณีย์ 11120 โทร. 0-2575-3613
ประวัติการศึกษา	2541 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ประสบการณ์ทำงาน	วิศวกรระดับ 4 กองจัดการเชื้อเพลิง ฝ่ายนโยบายเศรษฐกิจ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
พ.ศ. 2541-2542	
พ.ศ. 2543-ปัจจุบัน	วิศวกรระดับ 5 กองจัดการถ่านหิน ฝ่ายจัดการเชื้อเพลิง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้