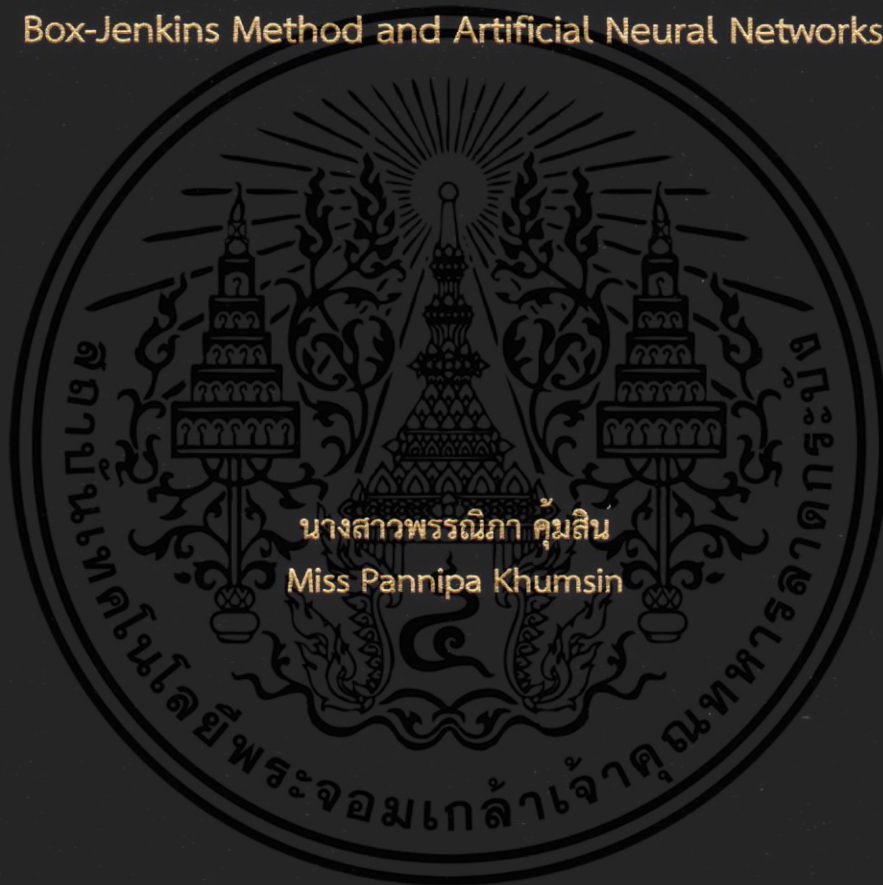


การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศ
โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์
วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

Comparison of Sales Forecasting Models for Air Conditioners by
Holt and Winters Exponential Smoothing Method,
Box-Jenkins Method and Artificial Neural Networks



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติประยุกต์
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-SC-M-050-034

การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศ
โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์
วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

Comparison of Sales Forecasting Models for Air Conditioners by
Holt and Winters Exponential Smoothing Method,
Box-Jenkins Method and Artificial Neural Networks



นางสาวพรณิภา คุ่มสิน
Miss Pannipa Khumsin

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติประยุกต์
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-SC-M-050-034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF SALES FORECASTING MODELS FOR
AIR CONDITIONERS BY HOLT AND WINTERS EXPONENTIAL
SMOOTHING METHOD, BOX-JENKINS METHOD AND
ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED STATISTICS
DEPARTMENT OF APPLIED STATISTICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-SC-M-050-034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

“การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศ
โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์
วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม”
(COMPARISON OF SALES FORECASTING MODELS FOR
AIR CONDITIONERS BY HOLT AND WINTERS EXPONENTIAL
SMOOTHING METHOD, BOX-JENKINS METHOD AND
ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS)

ชื่อนักศึกษา

นางสาวพรรณนิภา คุ่มสิน

รหัสประจำตัว

57605096

ปริญญา





วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาสถิติประยุกต์)

ภาควิชา

สถิติ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.สมศรี บัณฑิตวิไล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.สายชล สีนสมบูรณ์ทอง ประธานกรรมการ รศ.ดร.วัลย์ลักษณ์ อัครีวงศ์ อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง) รศ.สุมิตรา เรืองพีระกุล ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ ผศ.ดร.สมศรี บัณฑิตวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	   

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.00 - 12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 115 ตึกจุฬารณ 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุชนี ธนะบริพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่.../7...เดือน.../๗๓...พ.ศ.....6๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ยอดขาย
เครื่องปรับอากาศโดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล
แบบโฮลท์และวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์
และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ชื่อนักศึกษา

นางสาวพรณิภา คุ่มสิน

รหัสประจำตัว

57605096

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาสถิติประยุกต์)

ภาควิชา

สถิติ

พ.ศ.

2560

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.สมศรี บัณฑิตวิไล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 A-2 และ A-3 โดยใช้ข้อมูลปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ จำนวน 132 ค่า ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 เป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 สำหรับการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนชุดที่ 2 เป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 สำหรับทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE) เป็นเครื่องมือวัดประสิทธิภาพในการคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ ส่วนค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ใช้เพื่อแสดงเปอร์เซ็นต์ของค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริง ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบพยากรณ์ที่ได้จากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ให้ความถูกต้องของการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 และ A-2 มากที่สุด ซึ่งมีค่า RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1 เท่ากับ 7,027.8376 และ 5,481.5986 ตามลำดับ และมีค่า MAPE ของข้อมูลชุดที่ 2 เท่ากับ 27.07% และ 8.94% ตามลำดับ สำหรับการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 พบว่าตัวแบบพยากรณ์ที่ได้จากวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ให้ความถูกต้องของการพยากรณ์มากที่สุด ซึ่งมีค่า RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1 เท่ากับ 4,252.7092 และมีค่า MAPE ของข้อมูลชุดที่ 2 เท่ากับ 14.26%

จากนั้นผู้วิจัยนำตัวแบบที่เหมาะสมของเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 รุ่นไปประยุกต์ใช้โดยนำไปพยากรณ์ล่วงหน้าจำนวน 12 เดือน (เดือนเมษายน พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ช่วงตามการวางแผนการผลิตของบริษัท (ช่วงที่ 1 คือ เดือนเมษายน พ.ศ. 2559 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2559 และ ช่วงที่ 2 คือ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560) พบว่าการพยากรณ์ปริมาณยอดขายของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 A-2 ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และรุ่น A-3 ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์มีค่าความถูกต้องสูงกว่าวิธีเดิมของบริษัท

คำสำคัญ : การพยากรณ์ เครื่องปรับอากาศ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัดก้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Comparison of the Sales Forecasting Models for the Air Conditioners by Holt and Winters Exponential Smoothing Method, Box-Jenkins Method and Artificial Neural Networks
Student Name	Miss Pannipa Khumsin
Student ID	57605096
Degree	Master of Science (Applied Statistics)
Department	Statistics
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Somsri Banditvilai

Abstract

This research objective is to study the forecasting models for the air conditioner sales model A-1, A-2 and A-3. The data collected from April, 2005 to March, 2016 of 132 values were used and divided into 2 sets. The first set had 120 values from April, 2005 to March, 2015 for constructing and selection the forecasting models by Holt and Winters Exponential Smoothing method, Box-Jenkins method and Artificial Neural Networks. The second set had 12 values from April, 2015 to March, 2016 for comparing performance of the forecasting model. Root Mean Square Error (RMSE) was used as a criteria and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) was used to show percentage of error. The results showed that the forecasting models by Box-Jenkins method have the highest forecasting accuracy for model A-1 and A-2. RMSE and MAPE for model A-1 and A-2 were 7027.8376, 27.07% and 5481.5986 and 8.94% respectively. For model A-3, the forecasting model by Holt and Winters Exponential Smoothing method has the highest accuracy which the RMSE was 4252.7092 and the MAPE was 14.26%.

The researcher applied the appropriate forecasting models of the three air conditioners to forecast the next 12 months air conditioner sales, (April 2016 to March 2017) which is divided into 2 periods follow the production plan. (The first period is from April 2016 to September 2016 and the second period is from October 2016 to March 2017). The results showed that the sales forecasting of the air conditioners model A-1 and A-2 by Box-Jenkins method and model A-3 by Holt and Winters Exponential Smoothing method yield a higher accuracy than the current method of the company.

Keywords : Forecasting, Air conditioner, Artificial Neural Networks,

Box-Jenkins method, Holt and Winters Exponential Smoothing method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อใช้ภายในเท่านั้น และอยู่ภายใต้เงื่อนไขการคุ้มครองค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้อย่างดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สมศรี บัณฑิตวิไล ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษาและตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.สายชล สินสมบุรณ์ทอง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วลัยลักษณ์ อัครธีรวงศ์ และรศ.สุมิตรา เรืองพีระกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำที่ต็มจนวนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณบริษัทกรณิศศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ด้วยดีเสมอมา รวมถึงขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่คอยเป็นกำลังใจและห่วงใยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวพรรณนิภา คุ่มสิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎี ABC.....	6
2.2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโพลท์และวินเทอร์.....	7
2.2.1 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโพลท์และวินเทอร์รูปแบบบวกลบ.....	7
2.2.2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโพลท์และวินเทอร์รูปแบบคูณ.....	8
2.2.3 ขั้นตอนการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโพลท์และวินเทอร์	9
2.3 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	10
2.3.1 ความคงที่ของข้อมูล	10
2.3.2 ค่า ACF และ ค่า PACF	13
2.3.3 ขั้นตอนการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์.....	15
2.4 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม	22
2.4.1 ประวัติความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม	22
2.4.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม	23
2.4.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	27
2.4.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	28
2.4.5 ขั้นตอนการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	29
2.5 เกณฑ์ในการเปรียบเทียบเพื่อเลือกตัวแบบที่เหมาะสม	32
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3.1 การสำรวจสภาพปัจจุบันของการทำงานก่อนทำการวิจัย	35
3.2 เก็บรวบรวมข้อมูล.....	36
3.3 เลือกรุ่นของเครื่องปรับอากาศสำหรับการพยากรณ์.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม.....	37
3.4.1 การสร้างตัวแบบด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล แบบโฮลท์และวินเทอร์.....	37
3.4.2 การสร้างตัวแบบด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	38
3.4.3 การสร้างตัวแบบด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม	38
3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์	43
3.6 การประยุกต์ใช้ตัวแบบพยากรณ์.....	44
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	45
4.1 ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์.....	45
4.1.1 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล แบบโฮลท์และวินเทอร์.....	45
4.1.2 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	47
4.1.3 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม	54
4.1.4 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์เพื่อเลือกตัวแบบที่เหมาะสม.....	54
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์	56
4.3 การประยุกต์ใช้ตัวแบบพยากรณ์.....	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลการวิจัย	63
5.1.1 การพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1	63
5.1.2 การพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2.....	63
5.1.3 การพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก.....	68
ภาคผนวก ข.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อจอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าพยากรณ์ของเครื่องปรับอากาศบริษัททรนศึกษา ปี พ.ศ. 2558 ด้วยเทคนิค ABC Analysis	3
2.1 การพิจารณาค่า ACF และค่า PACF	17
3.1 สัดส่วนจำนวนข้อมูลของชุดการเรียนรู้ ชุดการทดสอบและชุดทวนสอบ	38
3.2 ค่า RMSE ของการปรับค่าโหนดชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียม	39
4.1 ค่าประมาณพารามิเตอร์และค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์	45
4.2 ตัวแบบที่เป็นไปได้สำหรับการพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	50
4.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบสมมติฐานของอนุกรมเวลายอดขาย เครื่องปรับอากาศรุ่น A-1	51
4.4 การประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบสมมติฐานของอนุกรมเวลายอดขาย เครื่องปรับอากาศรุ่น A-2	51
4.5 การประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบสมมติฐานของอนุกรมเวลายอดขาย เครื่องปรับอากาศรุ่น A-3	52
4.6 โครงข่ายประสาทเทียมและค่าวัดความถูกต้องของตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ ยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1, A-2 และ A-3	54
4.7 ค่า RMSE ของตัวแบบพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 A-2 และ A-3 โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1	55
4.8 ค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์	56
4.9 ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศและค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ของ เครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1	56
4.10 ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศและค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ของ เครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2	57
4.11 ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศและค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล แบบไฮลท์และวินเทอร์ของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3	58
4.12 ผลการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 ของข้อมูลใหม่	59
4.13 ผลการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 ของข้อมูลใหม่	60
4.14 ผลการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 ของข้อมูลใหม่	61
ก.1 ข้อมูลปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศของบริษัท ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 - 2558	68
ก.2 ข้อมูลปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 เดือนเมษายน 2548 - มีนาคม 2559	68
ก.3 ข้อมูลปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 เดือนเมษายน 2548 - มีนาคม 2559	69
ก.4 ข้อมูลปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 เดือนเมษายน 2548 - มีนาคม 2559	69
ข.1 ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบคูณ	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.2 ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบคูณ	73
ข.3 ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบคูณ	76
ข.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (ตัวแบบ : $ARIMA(0,1,2) \times SARIMA(2,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่)	79
ข.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (ตัวแบบ : $ARIMA(5,1,0) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่)	80
ข.6 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (ตัวแบบ : $ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่)	81
ข.7 ค่า RMSE ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	82
ข.8 ค่า RMSE ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	83
ข.9 ค่า RMSE ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ขั้นตอนการวิจัย..... 5
2.1	Pareto Diagram การแบ่งกลุ่มสินค้าแบบ ABC..... 6
2.2	รูปแบบการพยากรณ์ของการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล 9
2.3	อนุกรมเวลาที่มีความคงที่..... 11
2.4	อนุกรมเวลาที่ไม่มีความคงที่ (ผันผวนในอัตราไม่คงที่รอบค่าคงที่ค่าหนึ่ง) 11
2.5	อนุกรมเวลาที่ไม่มีความคงที่ (มีแนวโน้ม)..... 12
2.6	อนุกรมเวลาที่ไม่มีความคงที่ (มีอิทธิพลของฤดูกาล) 12
2.7	คอเรลโรแกรม ACF (Stationary)..... 16
2.8	คอเรลโรแกรม ACF (Non-Stationary)..... 16
2.9	โครงข่ายประสาทมนุษย์ 23
2.10	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม..... 24
2.11	องค์ประกอบของนิวรอน 24
2.12	ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเชิงเส้น..... 25
2.13	ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์..... 26
2.14	ฟังก์ชันกระตุ้นแบบไฮเปอร์โบลิกแทนเจนต์..... 27
2.15	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น 27
2.16	โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ไปข้างหน้า..... 28
2.17	โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ..... 29
3.1	กราฟเปรียบเทียบยอดขายจริงกับค่าพยากรณ์โดยวิธีของบริษัทปี พ.ศ. 2548 - 2558 36
3.2	กราฟแสดงการเลือกรุ่นเครื่องปรับอากาศสำหรับการพยากรณ์ 37
3.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหนดชั้นซ่อนและค่าRMSE ของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 40
3.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหนดชั้นซ่อนและค่าRMSE ของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-2 40
3.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหนดชั้นซ่อนและค่าRMSE ของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 41
3.6	โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 และ A-2..... 42
3.7	โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 42
4.1	กราฟ ACF ของค่าคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 โดยการพยากรณ์วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ 46
4.2	กราฟ ACF ของค่าคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 โดยการพยากรณ์วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ 46
4.3	กราฟ ACF ของค่าคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 โดยการพยากรณ์วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ 47
4.4	กราฟแสดงการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 47
4.5	กราฟแสดงการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-2 48
4.6	กราฟแสดงการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 เมื่อแปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1...	49
4.8 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 เมื่อแปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1...	49
4.9 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 เมื่อแปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1...	49
4.10 กราฟ ACF ของค่าคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 โดยการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์.....	52
4.11 กราฟ ACF ของค่าคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 โดยการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์.....	53
4.12 กราฟ ACF ของค่าคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 โดยการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์.....	53
4.13 กราฟเปรียบเทียบยอดขายจริงกับค่าพยากรณ์ของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1.....	60
4.14 กราฟเปรียบเทียบยอดขายจริงกับค่าพยากรณ์ของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2.....	61
4.15 กราฟเปรียบเทียบยอดขายจริงกับค่าพยากรณ์ของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโลกของเรากำลังประสบกับปัญหาอุณหภูมิเฉลี่ยบนโลกที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง หรือที่เราเรียกกันว่า ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งเกิดจากการที่โลกไม่สามารถระบายความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ออกไปได้อย่างที่เคยเป็น โดยในสภาวะปกติโลกเราจะได้รับพลังงานประมาณ 99.95 % จากดวงอาทิตย์ และจะมีกลไกที่ทำให้โลกรักษาพลังงานความร้อนไว้ได้ คือก๊าซกลุ่มหนึ่งเรียกว่า "ก๊าซเรือนกระจก" (Greenhouse Gas) ซึ่งทำหน้าที่ดักและสะท้อนความร้อนที่โลกแผ่กลับออกไปในอวกาศให้กลับเข้าไปในโลกอีก หากไม่มีก๊าซกลุ่มนี้โลกจะไม่สามารถเก็บพลังงานไว้ได้และจะส่งผลให้มีอุณหภูมิแปรปรวนในแต่ละวัน ก๊าซกลุ่มนี้จึงทำหน้าที่เหมือนผ้าห่มที่ปกคลุมโลก แต่ในสภาพปัจจุบันนี้โลกได้มีการสะสมก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศมากขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกทำให้โลกไม่สามารถแผ่ความร้อนออกไปได้ ส่งผลให้อุณหภูมิของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้สภาพอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ โดยเฉพาะกับมนุษย์ซึ่งไม่สามารถทนกับสภาพอากาศร้อนได้มากนัก จึงเลือกหาวิธีเพิ่มความสบายให้กับการใช้ชีวิตประจำวันด้วยการหันมาใช้เครื่องปรับอากาศกันมากขึ้น เครื่องปรับอากาศจึงกลายเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน ทำให้ยอดจำหน่ายเครื่องปรับอากาศเพิ่มสูงขึ้นตามมา สอดคล้องกับคำกล่าวของประธานกลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.) ที่ให้สัมภาษณ์กับหนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจว่า ในปี 2559 อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศจะดีขึ้นไปกว่าปี 2558 เนื่องจากผู้ผลิตในประเทศไทยมีความสามารถส่งออกเพิ่มขึ้น รวมทั้งมีปัจจัยหนุนจากการเปิดตลาดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (เออีซี) โดยประเทศไทยจะเป็นฐานการผลิตเครื่องปรับอากาศแหล่งใหญ่ที่สุดในอาเซียนที่มีกำลังการผลิตต่อปีประมาณ 8-10 ล้านเครื่องและมีตั้งแต่ขนาด 9,000 บีทียู ถึง 60,000 บีทียู ซึ่งในจำนวนนี้จะผลิตเพื่อส่งออกไปทั่วโลกประมาณ 8 ล้านเครื่องและขายในประเทศประมาณ 1.5 ล้านเครื่อง (ฐานเศรษฐกิจ, 2558)

จากอัตราการเติบโตของเครื่องปรับอากาศดังที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้ยอดจำหน่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริษัทที่ดำเนินธุรกิจในด้านนี้มีการแข่งขันกันเพื่อทำให้ผลประกอบการของบริษัทเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการพยากรณ์ยอดขายก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยให้เกิดผลตามคาดหวังได้ เนื่องจากว่าถ้าการพยากรณ์ยอดขายมีความถูกต้องแม่นยำ การผลิตสินค้าในจำนวนที่สอดคล้องกับยอดขายที่พยากรณ์จะทำให้ธุรกิจได้ผลกำไรตามที่คาดการณ์และมีเงินทุนหมุนเวียนในธุรกิจเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าหากการพยากรณ์ยอดขายมีความคลาดเคลื่อนสูงจะส่งผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการวางแผนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ มีการผลิตสินค้าเกินความต้องการของลูกค้า ทำให้มีสินค้าคงคลังจำนวนมาก เงินลงทุนกลายเป็นเงินจม และในทางตรงกันข้ามหากการพยากรณ์ยอดขายสินค้าน้อยเกินไป การผลิตสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ทำให้สินค้าขาดตลาดจะส่งผลให้บริษัทเสียโอกาสทางธุรกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการพยากรณ์ยอดขายมีบทบาทสำคัญในการวางแผนธุรกิจ ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วตารางการผลิตสินค้าจะถูกสร้างขึ้นมาจากคำสั่งซื้อและการพยากรณ์ยอดขายจากแผนกขายซึ่งจะสำรวจปริมาณของสินค้าในอนาคต 12 เดือนข้างหน้า (จิระนันท์ ตังคะวัชระ, 2550) ในปัจจุบันเทคนิคที่ใช้ในการพยากรณ์มีหลากหลายวิธี ดังนั้นการตัดสินใจเลือกเทคนิควิธีการพยากรณ์วิธีใดวิธีหนึ่งควรพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสม โดยพิจารณาจากประเด็นต่างๆหลายประการประกอบกัน เช่น ระยะเวลาในการพยากรณ์ ลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ และปัจจัยที่มีผลต่อการพยากรณ์ เป็นต้น ซึ่งเทคนิคหนึ่งที่ยิยมใช้ในการพยากรณ์ คือ การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) จะเป็นการพยากรณ์ที่อาศัยข้อมูลในอดีตที่เก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่องมาพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนไปว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร โดยต้องกำหนดรูปแบบของแนวโน้มหรือรูปแบบของฤดูกาล ซึ่งวิธีการพยากรณ์ที่ง่ายต่อการเข้าใจและเหมาะสมที่สุดกับข้อมูลที่มีทั้งแนวโน้ม (Trend) และอิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal) เข้ามาเกี่ยวข้องคือ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ (Holt and Winters Exponential Smoothing Method) (ดาว และคณะ, 2558) ส่วนอนุกรมเวลาที่ไม่มียุทธศาสตร์แนวโน้มหรือฤดูกาลที่เด่นชัดจะกำหนดรูปแบบของความสัมพันธ์ได้ยากขึ้น วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) จะเป็นวิธีการที่ใช้จัดปัญหาดังกล่าวได้ ประกอบกับเป็นวิธีการที่ให้ผลการทำนายที่มีความแม่นยำสูง (George. et al, 2015) และการพยากรณ์อีกวิธีหนึ่งที่ได้รับนิยามมากขึ้นในปัจจุบันคือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ซึ่งเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่เลียนแบบการทำงานของโครงข่ายสมองมนุษย์ ทำให้เชื่อว่าผลที่ได้จะคล้ายกับการคิดและการตัดสินใจของมนุษย์ อีกทั้งวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถวิเคราะห์ข้อมูลโดยไม่ขึ้นกับรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลและสามารถใช้กับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์หรือไม่ครบถ้วนในการหาค่าพยากรณ์ได้ และจุดเด่นอีกประการหนึ่งของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมคือให้ความถูกต้องในการทำนายสูงกว่าวิธีการพยากรณ์แบบอื่นๆ เมื่อข้อมูลมีรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Abhishek Singh and G.C. Mishra, 2015) เนื่องจากวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธีดังกล่าวต่างก็เป็นวิธีการที่ให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้เป็นวิธีในการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์

งานวิจัยในครั้งนี้จะทำการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ โดยนำข้อมูลจากบริษัทผลิตและจำหน่ายเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่งมาเป็นกรณีศึกษา มีกระบวนการวางแผนการผลิตของบริษัทในปัจจุบันด้วยวิธีการวางแผนธุรกิจแบบครึ่งปี ซึ่งกำหนดครึ่งปีแรกตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนกันยายนและครึ่งปีหลังตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนมีนาคม โดยใช้ค่าพยากรณ์ปริมาณยอดขายจากสำนักงานใหญ่มาประกอบการตัดสินใจที่เป้าหมายของค่าการพยากรณ์นั้นเกิดจากการพิจารณา ร่วมกันของการใช้วิจารณ์ญาณของผู้บริหารประกอบกับความเห็นของพนักงานขาย ซึ่งในทุกปีพบว่า การพยากรณ์ปริมาณยอดขายสูงกว่ายอดขายจริง เป็นสาเหตุให้การวางแผนการผลิตคลาดเคลื่อนทำให้บริษัทมีสินค้าคงคลังค่อนข้างสูงส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ดังนั้นการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าจึงจำเป็นต้องมีความแม่นยำเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจในการวางแผนกระบวนการผลิต

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีการผลิตและจำหน่ายเครื่องปรับอากาศ ทั้งหมด 12 รุ่น งานวิจัยนี้จึงจะพิจารณาเลือกเฉพาะบางรุ่นมาทำการพยากรณ์ ซึ่งพิจารณาจากมูลค่ายอดขายย้อนหลัง 12 เดือน (ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558) โดยใช้เทคนิค ABC Analysis ในการพิจารณา แสดงผลดังตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ผลการวิเคราะห์มูลค่ายอดขายเครื่องปรับอากาศบริษัททรนศึกษา ปี พ.ศ. 2558
ด้วยเทคนิค ABC Analysis

รายการที่	ชื่อรุ่น	ปริมาณยอดขาย ประจำปี (เครื่อง)	มูลค่ายอดขาย (บาท)	% ของมูลค่า ยอดขาย	หมวดหมู่
1	A-1	958,608	9,777,801,600	47.62%	A
2	A-2	567,275	4,282,926,250	20.86%	B
3	A-3	237,944	3,343,113,200	16.28%	B
4	A-4	151,525	1,727,385,000	8.41%	C
5	A-5	33,248	462,147,200	2.25%	C
6	A-6	24,012	255,727,800	1.25%	C
7	A-7	19,844	209,354,200	1.02%	C
8	A-8	15,129	182,304,450	0.89%	C
9	A-9	13,920	170,520,000	0.83%	C
10	A-10	17,182	93,641,900	0.46%	C
11	A-11	5,204	24,458,800	0.12%	C
12	A-12	474	2,535,900	0.01%	C
	รวม	2,044,365	20,531,916,300	100%	

จากตารางที่ 1.1 ผู้วิจัยจะเลือกเครื่องปรับอากาศรุ่นที่มีมูลค่ายอดขายอยู่ในหมวดหมู่ A และ B ซึ่งพบว่ามีจำนวน 3 รุ่น คือ รุ่น A-1 A-2 และ A-3 โดยมีเปอร์เซ็นต์ของมูลค่ายอดขาย 47.62%, 20.86% และ 16.28% ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์มูลค่ายอดขายรวม 84.76% ซึ่งครอบคลุมมูลค่ายอดขายเครื่องปรับอากาศโดยรวมของทั้งบริษัท ดังนั้นเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 รุ่นดังกล่าวเป็นรุ่นที่นำมาหาตัวแบบและทำการพยากรณ์ปริมาณยอดขาย โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์เปรียบเทียบกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ (Holt and Winters Exponential Smoothing Method) วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เพื่อคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสมและทำการพยากรณ์ปริมาณยอดขายต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 สร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 A-2 และ A-3 โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบและคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 A-2 และ A-3

1.2.3 นำตัวแบบที่เหมาะสมไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 A-2 และ A-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศของบริษัทกรณีศึกษาเฉพาะรุ่น A-1 A-2 และ A-3 เท่านั้น ซึ่งเก็บข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 รวม 132 เดือน โดยเปรียบเทียบการพยากรณ์จาก 3 วิธี คือ วิธีปรับให้เรียบ เอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้กำหนดวิธีดำเนินการวิจัย เพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งอธิบายแต่ละขั้นตอนดังนี้

1.4.1 กำหนดหัวข้องานวิจัย

1.4.2 รวบรวมข้อมูลมูลค่ายอดขาย (บาท) และ ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง) ของบริษัทกรณีศึกษา

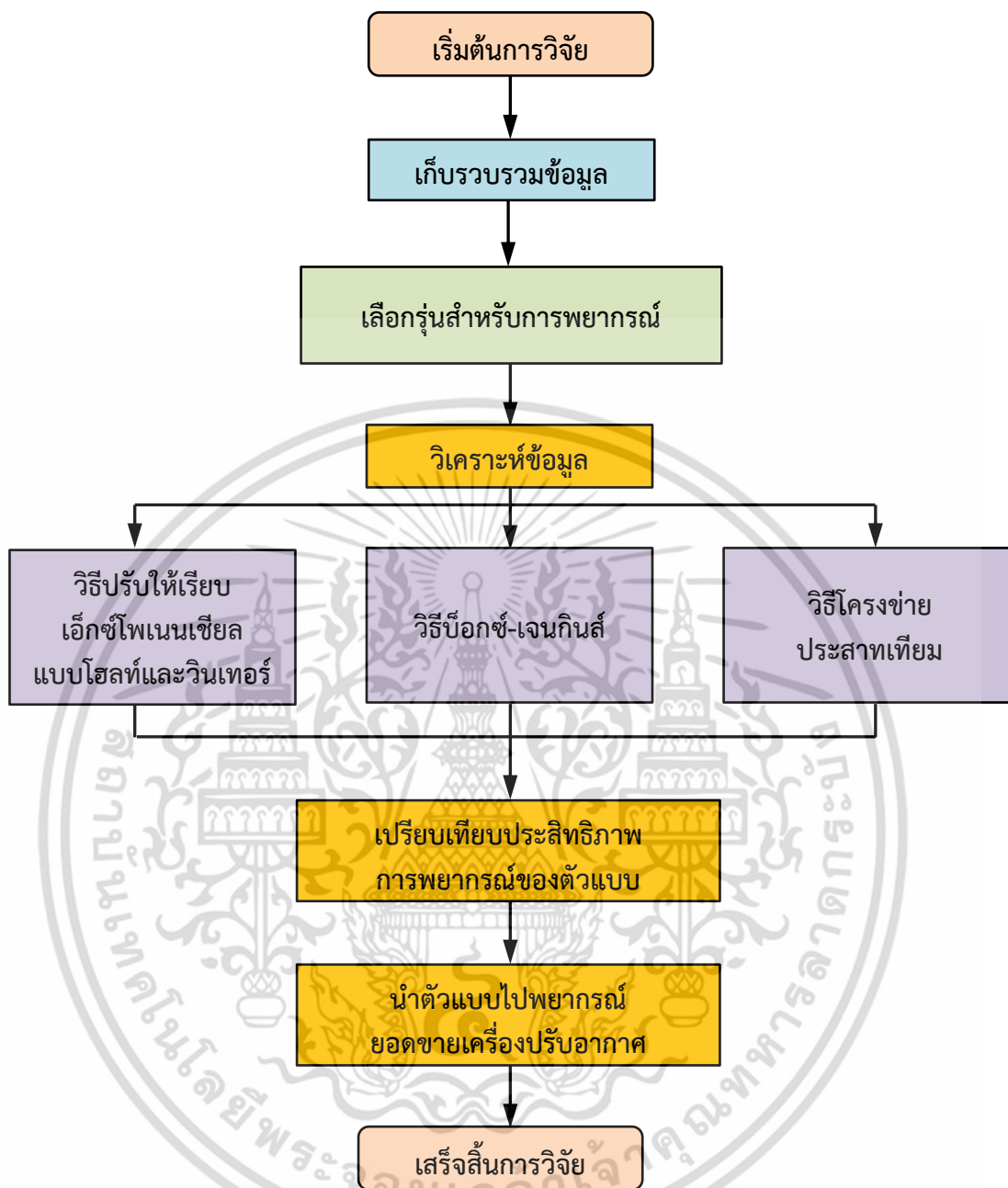
1.4.3 วิเคราะห์ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของมูลค่ายอดขายเพื่อเลือกรุ่นสำหรับการพยากรณ์ โดยใช้เทคนิค ABC Analysis

1.4.4 ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี คือ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

1.4.5 นำข้อมูลข้างต้น ดำเนินตามขั้นตอนของแต่ละวิธี เพื่อสร้างและคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

1.4.6 ดำเนินการวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์ของตัวแบบที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ซึ่งใช้แสดงเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนจากค่าจริง

1.4.7 สรุปผลและนำตัวแบบที่เหมาะสมไปใช้พยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 A-2 และ A-3

1.5.2 สามารถนำตัวแบบไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 A-2 และ A-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

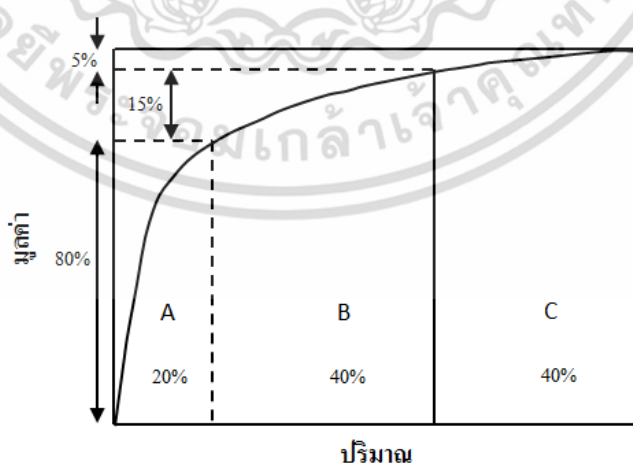
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี ABC

เทคนิค ABC Analysis เป็นแนวคิดที่ให้ความสำคัญกับสินค้าตามกลุ่มสินค้า โดยการจัดลำดับสินค้าตามยอดขายหรือส่วนแบ่งกำไรของสินค้านั้น ซึ่งสินค้าที่จัดอยู่ในกลุ่ม A ประกอบด้วยสินค้าเพียงไม่กี่ประเภทหรือมีจำนวน SKU (Stock Keeping Unit) น้อย แต่เป็นสินค้าที่มียอดขายหรือส่วนแบ่งกำไรมากที่สุด ส่วนสินค้าที่มียอดขายหรือส่วนแบ่งกำไรรองลงไป จะได้รับความสำคัญน้อยลงเป็น กลุ่ม B และกลุ่ม C ตามลำดับ (Stock and Lambert, 2001)

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลัก Pareto Diagram ในการจัดแบ่งสามารถใช้แยกประเภทข้อมูล โดยแบ่งตามมูลค่าหรือความสำคัญและยังสามารถประยุกต์ในการบริหารต้นทุนได้ โดยหลักการของ Pareto นั้นว่าด้วยเรื่องความไม่เท่าเทียมในการกระจายของความสำคัญ คือ สินค้าที่มีอยู่หลายตัวนั้น สินค้าที่มีน้อยแต่มีคุณค่ามากทำนองที่มีความสำคัญ เช่น ปริมาณการขายมาก มูลค่ายอดขายสูง ระยะเวลาการเก็บรักษาสั้น หรือเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญมาก สินค้าพวกนี้จะต้องมีการควบคุมอย่างใกล้ชิด

Pareto กล่าวว่า บางครั้งทรัพย์สินที่มีความจำเป็นกว่า 80% นั้น เราอาจมีอยู่ในมือแค่ 20% เท่านั้น หรือสินค้าที่ทำกำไรกว่า 80% นั้น มาจากสินค้าที่เรามีอยู่แค่ 20% เท่านั้น ในทางกลับกันเราอาจจะมีสินค้าที่ไม่จำเป็นหรือขายได้เพียง 20% แต่เรามีอยู่ในมือกว่า 80% หลักการนี้เราอาจเรียกว่า The 80% Principle ฉะนั้นจึงควรมีการจัดแบ่งประเภทของสินค้าอย่างชัดเจน เช่น สินค้าที่ทำยอดขายให้กว่า 80% ของทั้งหมด ซึ่งมีอยู่แค่ 20% นั้น ให้เป็นกลุ่ม A และ สินค้าที่มีอยู่ประมาณ 40% ซึ่งทำยอดขายให้ประมาณ 15% ให้เป็นกลุ่ม B และสินค้าที่เหลืออีก 40% นั้นทำยอดขายได้เพียง 5% เท่านั้น จัดให้อยู่กลุ่ม C ซึ่งสามารถเขียนเป็น Pareto Diagram แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Pareto Diagram การแบ่งกลุ่มสินค้าแบบ ABC

(ดัดแปลงจาก : สุขชาติ ศุภมงคล, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งขั้นตอนการแบ่งสินค้าสำเร็จรูปตามวิธี ABC Analysis มีดังนี้ คือ

- 2.1.1 จัดเตรียมข้อมูลสินค้าสำเร็จรูป
 - 2.1.2 เรียงลำดับยอดขายของสินค้าสำเร็จรูปจากมากไปน้อย
 - 2.1.3 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของจำนวนหน่วยสะสม
 - 2.1.4 นำมาสร้างตาราง และแบ่งกลุ่มสินค้าชนิด A B และ C ตามความเหมาะสม
- สำหรับการจัดกลุ่มสินค้าสำเร็จรูปโดยใช้เทคนิค ABC Analysis ในงานวิจัยนี้จะใช้หัวข้อ

ข้อพิจารณาในการแยกกลุ่ม ซึ่งพิจารณาจากปริมาณการขาย (Sales Volume)

- การจำแนกสินค้าสำเร็จรูปตามวิธี ABC Analysis นั้นจะสามารถแบ่งสินค้าเป็น 3 ชนิด คือ
- ชนิด A เป็นจำนวนสินค้าสำเร็จรูปในรอบปีที่มีการหมุนเวียนมีมูลค่าสูงที่สุด
- ชนิด B เป็นจำนวนสินค้าสำเร็จรูปในรอบปีที่มีการหมุนเวียนมีมูลค่าปานกลาง
- ชนิด C เป็นจำนวนสินค้าสำเร็จรูปในรอบปีที่มีการหมุนเวียนมีมูลค่าต่ำที่สุด

2.2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ (Holt and Winters Exponential Smoothing Method)

วิธีนี้มีวิวัฒนาการเริ่มต้นมาจากวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบง่าย (Single Exponential Smoothing) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะว่าเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว และมีความไม่แพง โดยเฉพาะส่วนใหญ่มักจะใช้สำหรับการวางแผนการผลิตและควบคุมสินค้าคงคลัง โดยวิธีการนี้จะให้ความสำคัญกับข้อมูลในปัจจุบันมากกว่าข้อมูลในอดีต ซึ่งมีเงื่อนไขที่ว่าข้อมูลในการวิเคราะห์ต้องมีลักษณะคงที่ แต่ในความเป็นจริงนั้นข้อมูลส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นในปี ค.ศ.1957 Holt จึงได้พัฒนาต่อมาเป็นวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบดับเบิล (Double Exponential Smoothing) หรือบางครั้งเรียกว่า Holt's Linear Method ซึ่งวิธีนี้จะพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนของแนวโน้ม (Trend) และหลังจากนั้นในปี ค.ศ.1960 Winters ได้พัฒนาวิธีการให้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีทั้งแนวโน้ม (Trend) และอิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal) จึงเหมาะสำหรับการพยากรณ์ระยะสั้นและระยะปานกลาง (นฤมล ซึ่งเกียรติตระกูล และสมชาติ จิรวิภากร, 2545) วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ มีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับให้เรียบ 3 ค่า ได้แก่ α , γ และ δ ซึ่งพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ α เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับแนวโน้ม γ เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าความลาดชัน (Slope) และ δ เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับอิทธิพลของฤดูกาล สำหรับการพยากรณ์ด้วยวิธีนี้มี 2 รูปแบบ คือ รูปแบบบวก (Additive model) และ รูปแบบคูณ (Multiplicative model) (ดาว และคณะ, 2558)

2.2.1 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก จะเหมาะกับการพยากรณ์ข้อมูลที่มีแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาลที่ไม่เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งมีรูปแบบสมการพยากรณ์ p ช่วงเวลาล่วงหน้า ที่เวลา t เป็นดังสมการที่ (2.1)

$$\hat{Y}_t(p) = \hat{T}_{t+p}(t) + \hat{S}_{t+p}(t) \quad ; p = 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

ซึ่ง $\hat{T}_{t+p}(t)$ เป็นค่าแนวโน้มที่เวลา $t + p$ เมื่อใช้ค่าสังเกต t ค่า มีค่าเท่ากับ $\hat{T}_t(t) + p\hat{\beta}_1(t)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $\hat{S}_{t+p}(t)$ มีค่าเท่ากับ $\hat{S}_i(t)$ จะได้ตั้งสมการที่ (2.2)

$$\hat{Y}_t(p) = \hat{T}_t(t) + p\hat{\beta}_1(t) + \hat{S}_i(t) \quad (2.2)$$

โดยที่ $\hat{T}_t(t)$ เป็นค่าแนวโน้ม ณ เวลา t

$\hat{\beta}_1(t)$ เป็นค่าความลาดชัน ณ เวลา t

$\hat{S}_i(t)$ เป็นค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาลที่ i ณ เวลา t

ค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_1(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ หาได้จากสมการที่ (2.3), (2.4) และ (2.5) ตามลำดับ

$$\hat{T}_t(t) = \alpha(Y_t - \hat{S}_i(t-1)) + (1-\alpha)\hat{T}_t(t-1) ; 0 < \alpha < 1 \quad (2.3)$$

$$\hat{\beta}_1(t) = \gamma(\hat{T}_t(t) - \hat{T}_t(t-1)) + (1-\gamma)\hat{\beta}_1(t-1) ; 0 < \gamma < 1 \quad (2.4)$$

$$\hat{S}_i(t) = \delta(Y_t - \hat{T}_t(t)) + (1-\delta)\hat{S}_i(t-1) ; 0 < \delta < 1 \quad (2.5)$$

2.2.2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบคูณ จะเหมาะกับการพยากรณ์ข้อมูลที่มีแนวโน้ม และอิทธิพลของฤดูกาลที่เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งมีรูปแบบสมการพยากรณ์ p ช่วงเวลาล่วงหน้า ที่เวลา t เป็นดังสมการที่ (2.6)

$$\hat{Y}_t(p) = \hat{T}_{t+p}(t)\hat{S}_{t+p}(t) ; p = 1, 2, \dots \quad (2.6)$$

ความหมายของ $\hat{T}_{t+p}(t)$ และ $\hat{S}_{t+p}(t)$ เป็นทำนองเดียวกับกรณีรูปแบบบวก จะได้ตั้งสมการที่ (2.7)

$$\hat{Y}_t(p) = (\hat{T}_t(t) + p\hat{\beta}_1(t))\hat{S}_i(t) \quad (2.7)$$

ค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_1(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ หาได้จากสมการที่ (2.8), (2.9) และ (2.10) ตามลำดับ

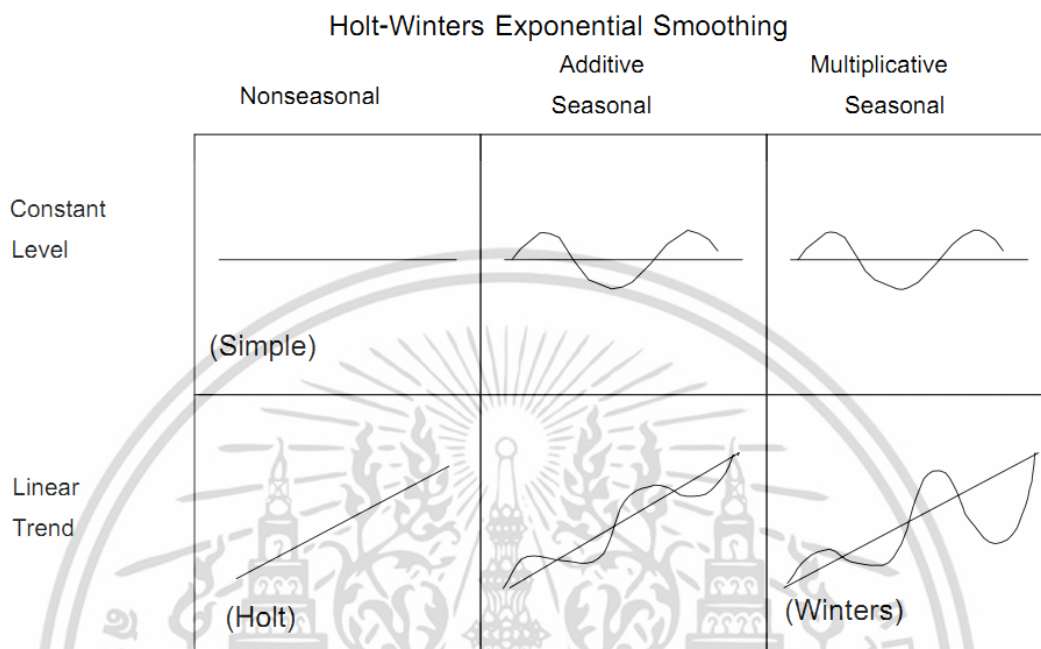
$$\hat{T}_t(t) = \frac{\alpha Y_t}{\hat{S}_i(t-1)} + (1-\alpha)\hat{T}_t(t-1) ; 0 < \alpha < 1 \quad (2.8)$$

$$\hat{\beta}_1(t) = \gamma(\hat{T}_t(t) - \hat{T}_t(t-1)) + (1-\gamma)\hat{\beta}_1(t-1) ; 0 < \gamma < 1 \quad (2.9)$$

$$\hat{S}_i(t) = \frac{\delta Y_t}{\hat{T}_t(t)} + (1-\delta)\hat{S}_i(t-1) ; 0 < \delta < 1 \quad (2.10)$$

ในการตัดสินใจเลือกใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก หรือรูปแบบคูณนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา โดยจะใช้รูปแบบบวกเมื่อการเปลี่ยนแปลงในส่วนของฤดูกาลมีลักษณะคงที่ กล่าวคือแม้เวลาของข้อมูลจะเปลี่ยนไปแต่รูปแบบในการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลจะมีลักษณะเช่นเดิมหรือไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก ส่วนการใช้รูปแบบคูณจะเลือกใช้เมื่อขนาดของการเปลี่ยนแปลงในส่วนของฤดูกาลเป็นสัดส่วนกับระดับแนวโน้ม เช่น เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือในทางกลับกันเมื่อแนวโน้มลดลงการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีขนาดลดลง เป็นต้น ซึ่งสามารถสรุปรูปแบบการพยากรณ์ของการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปแบบการพยากรณ์ของการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล
(ดัดแปลงจาก : Everette S. Gerdner, Jr., 1985)

2.2.3 ขั้นตอนการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

1) หาค่าเริ่มต้น \hat{T}_{init} และ $\hat{\beta}_{1_{init}}$ โดยนำข้อมูล 120 ค่า มาสร้างสมการแนวโน้มเส้นตรง

$$\hat{Y}_t = \hat{T}_{init} + \hat{\beta}_{1_{init}} t \quad (2.11)$$

2) หาค่าเริ่มต้นของ $\hat{S}_i(t)(init)$ จากสมการที่ (2.12) และ สมการที่ (2.13) โดย s คือ ช่วงความยาวของฤดูกาล

$$\text{สำหรับรูปแบบบวก ; } \hat{S}_i(t)(init) = Y_i - \hat{T}_{init} \quad , i = 1, 2, \dots, s \quad (2.12)$$

$$\text{สำหรับรูปแบบคูณ ; } \hat{S}_i(t)(init) = \frac{Y_i}{\hat{T}_{init}} \quad , i = 1, 2, \dots, s \quad (2.13)$$

3) นำค่าเริ่มต้นของ $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_1(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ไปหาค่าพยากรณ์โดยคำนวณตามสมการที่ (2.3), (2.4) และ (2.5) สำหรับรูปแบบบวก และคำนวณตามสมการที่สมการที่ (2.8), (2.9) และ (2.10) สำหรับรูปแบบคูณ โดยกำหนดค่าปรับให้เรียบ α , γ และ δ ที่เหมาะสม เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ให้ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) คำนวณค่า RMSE ของตัวแบบพยากรณ์
- 5) พิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบ โดยตรวจสอบคุณลักษณะของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งต้องมีการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระกัน

2.3 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method)

วิธีของ Box และ Jenkins เป็นวิธีการพยากรณ์ค่าอนาคตที่พัฒนาโดยนักสถิติผู้มีชื่อเสียงสองท่าน คือ George E.P. Box และ Gwilym M. Jenkins โดยได้เสนอไว้ในหนังสือชื่อ Time Series Analysis : Forecasting and Control วิธีนี้เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมจะนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริง เนื่องจากรูปแบบของข้อมูลธุรกิจและเศรษฐกิจโดยมากจะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ การนำวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มาใช้จะทำให้ได้ค่าพยากรณ์ที่มีค่าความถูกต้องสูงกว่าวิธีอื่นในการพยากรณ์ระยะสั้น แต่จะเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากในการวิเคราะห์ เนื่องจากมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ คือ อนุกรมเวลานั้นต้องมีความคงที่ (Stationary) และต้องไม่มีความผันแปรทางฤดูกาล อีกทั้งต้องมีการทำความเข้าใจเกี่ยวกับการคำนวณและความหมายของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเอง (Autocorrelation Function : ACF) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function : PACF) ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญที่จะใช้ระบุตัวแบบตามวิธีการของบ็อกซ์-เจนกินส์โดยอธิบายรายละเอียดของแต่ละส่วนและขั้นตอนการพยากรณ์ได้ดังนี้

2.3.1 ความคงที่ของข้อมูล (Stationary) (ภูมิฐาน รังคกุลนุวัฒน์, 2556)

อนุกรมเวลาของตัวแปร Y_t จะมีความคงที่ก็ต่อเมื่อมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้เกิดขึ้น

- 1) ค่าเฉลี่ยของตัวแปร Y ในแต่ละช่วงเวลา t มีค่าคงที่ หรือเขียนได้ว่า

$$E(Y_t) = \mu ; t = 1, 2, 3, \dots, n$$

- 2) ความแปรปรวนของตัวแปร Y ในแต่ละช่วงเวลา t มีค่าคงที่ หรือเขียนได้ว่า

$$E(Y_t - \mu)^2 = V(Y_t) = \sigma_{Y_t}^2 ; t = 1, 2, 3, \dots, n$$

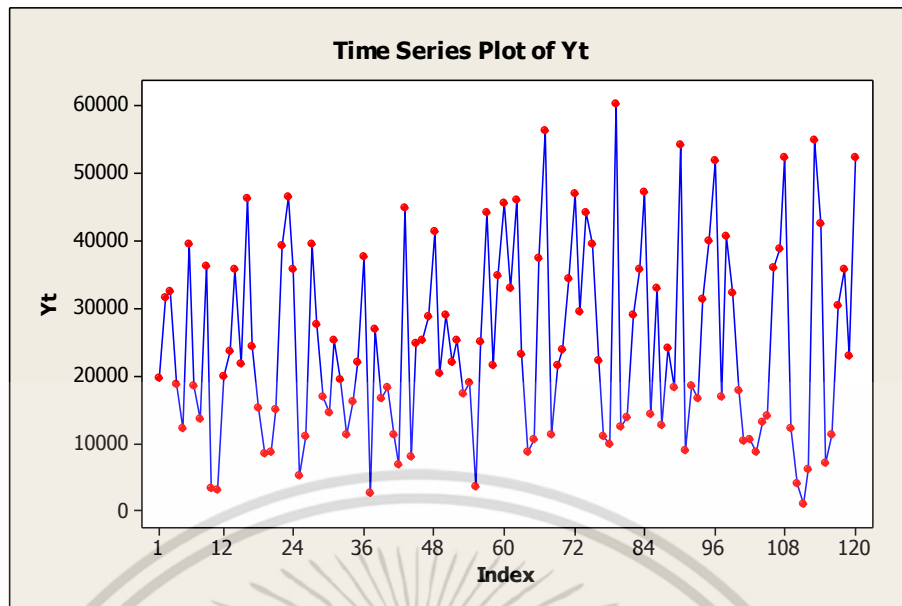
- 3) ความแปรปรวนร่วมของตัวแปร Y_t ณ เวลา t_1 และ t_2 ($t_1 \neq t_2$) จะมี

ค่าคงที่หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ว่า $Cov(Y_{t_1}, Y_{t_2})$ ซึ่งกล่าวได้ว่า ความแปรปรวนร่วมระหว่างข้อมูลอนุกรมเวลา (Y_t) ที่ต่างช่วงเวลากัน จะไม่ขึ้นอยู่กับว่าขณะนั้นตัวแปร Y_t อยู่ที่ ณ เวลา t_1 หรือ t_2 ดังนั้นเราสามารถเขียนได้อีกว่า $Cov(Y_{t_1}, Y_{t_2}) = Cov(Y_{t_1+k}, Y_{t_2+k})$ โดย k คือค่าคงที่ และจากคุณสมบัติข้อนี้ทำให้ได้คุณสมบัติเพิ่มเติม 2 ข้อ คือ ความแปรปรวนของตัวแปร Y ณ เวลา t เท่ากับ ความแปรปรวนร่วมของตัวแปร Y_t ณ เวลา t_1 และ t_2 ($t_1 \neq t_2$) หรือเขียนได้ว่า

$V(Y_t) = Cov(Y_{t_1}, Y_{t_2})$ และความแปรปรวนร่วมของตัวแปร Y_t ณ เวลา t_1 และ t_2 จะเท่ากับ ความแปรปรวนร่วมของตัวแปร Y_t ณ เวลา t_2 และ t_1 หรือเขียนได้อีกอย่างว่า

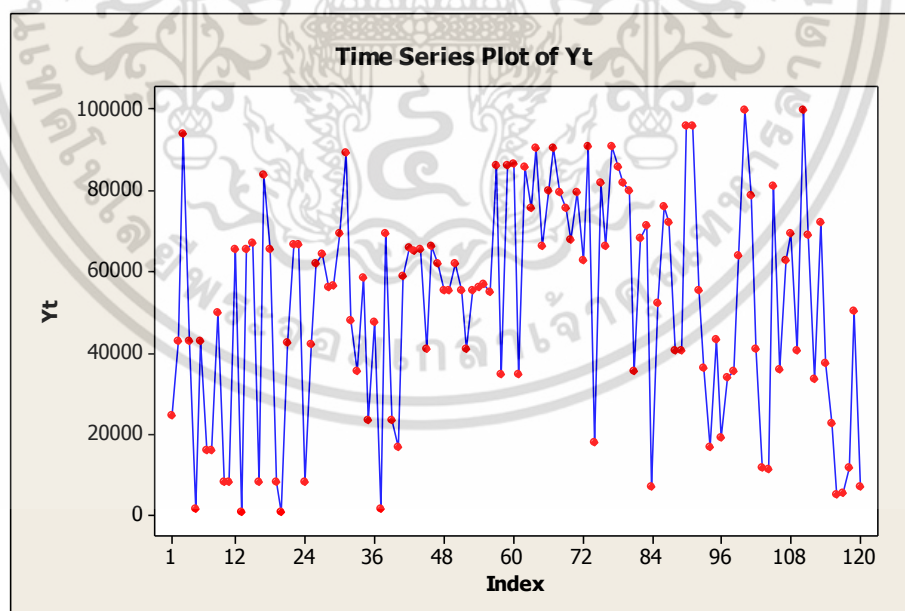
$$Cov(Y_{t_1}, Y_{t_2}) = Cov(Y_{t_2}, Y_{t_1})$$

เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ μ ซึ่งแสดงถึงค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลา Y_t และค่าพารามิเตอร์ $\sigma_{Y_t}^2$ ที่แสดงถึงความแปรปรวนของอนุกรมเวลา Y_t โดยทั้งสองค่านี้จะมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลา $t = 1, 2, 3, \dots, n$ ดังนั้น เมื่อนำข้อมูล Y_t มาแสดงในกราฟที่มีแกนตั้งคือค่า Y_t และแกนนอนคือเวลา เริ่มต้นที่ $t = 1, 2, 3, \dots, n$ พบว่าลักษณะกราฟที่ได้จะผันผวนในอัตราคงที่รอบๆ ค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.3



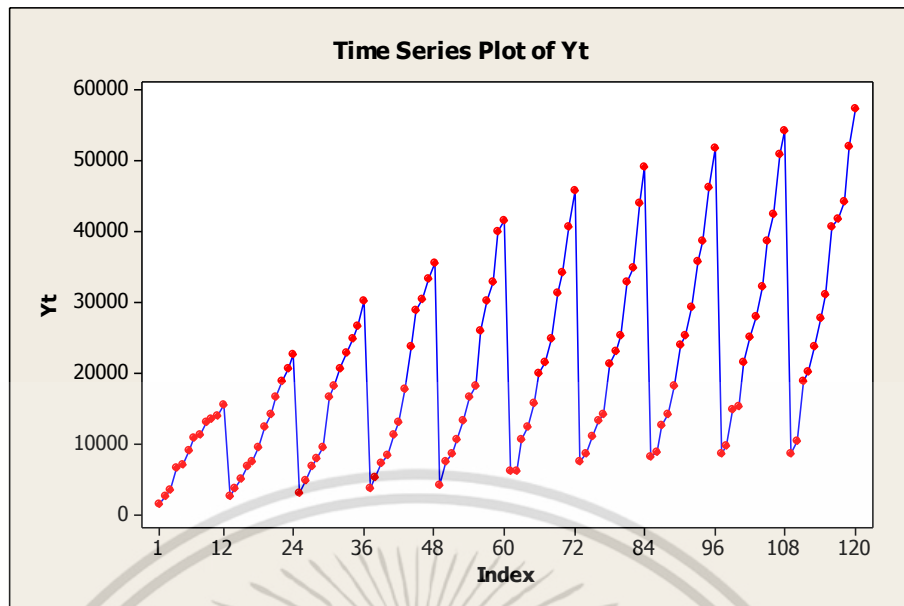
รูปที่ 2.3 อนุกรมเวลาที่มีความคงที่

แต่หากอนุกรมเวลา Y_t ไม่มีความคงที่ (Nonstationary Time Series) การนำข้อมูล Y_t มาแสดงลงในกราฟ พบว่าลักษณะกราฟที่ได้จะผันผวนในอัตราไม่คงที่รอบๆ ค่าคงที่ค่าหนึ่งก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 หรืออาจจะผันผวนคงที่รอบเส้นแนวโน้ม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 หรืออาจจะผันผวนในลักษณะของการมีอิทธิพลของฤดูกาลมาเกี่ยวข้อง ดังแสดงในรูปที่ 2.6

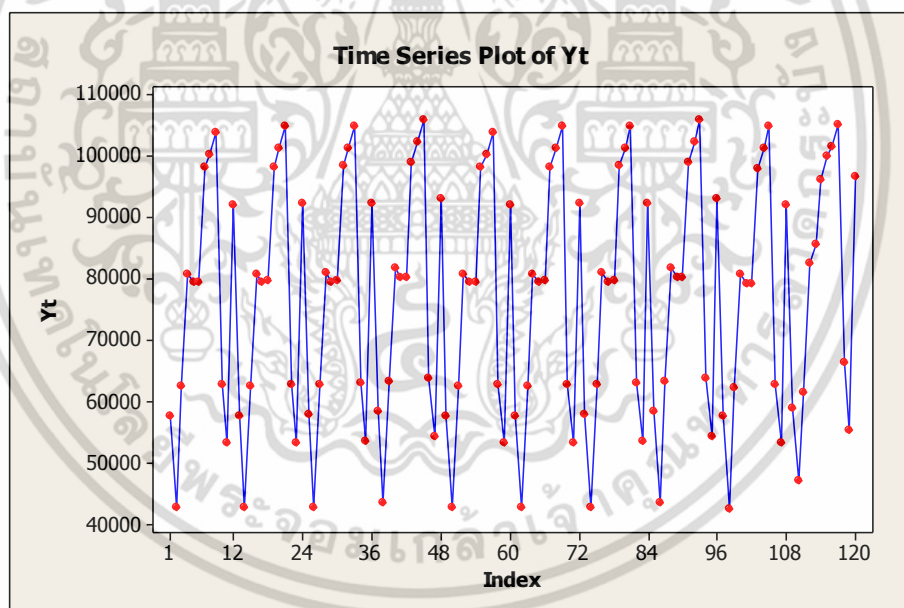


รูปที่ 2.4 อนุกรมเวลาที่ไม่มีความคงที่ (ผันผวนในอัตราไม่คงที่รอบค่าคงที่ค่าหนึ่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 อนุกรมเวลาที่ไม่มีความคงที่ (มีแนวโน้ม)



รูปที่ 2.6 อนุกรมเวลาที่ไม่มีความคงที่ (มีอิทธิพลของฤดูกาล)

ซึ่งหากพบว่าอนุกรมเวลาไม่มีความคงที่ (Nonstationary) จะต้องแปลงอนุกรมเวลาให้มีความคงที่ (Stationary) ก่อน โดยมีหลักการแปลงข้อมูลดังนี้

1) อนุกรมเวลามีแนวโน้ม แปลงโดยการหาผลต่าง (Regular Differencing) ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการนำข้อมูลในช่วงเวลาก่อนหน้านี้มาหักออกจากข้อมูลปัจจุบัน หรือเขียนได้ว่า $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$; $t = 2, 3, 4, \dots, n$ จะเห็นได้ว่าจำนวนข้อมูล ΔY_t มีทั้งหมด $n - 1$ ข้อมูล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะเมื่อพิจารณา ณ ข้อมูลตัวแรกคือ $t=1$ จะไม่สามารถหาค่าของ Y_{t-1} ได้ ทำให้การคำนวณผลต่างลำดับที่ 1 ต้องเริ่มตั้งแต่เวลา $t=2$ เป็นต้นไป

2) อนุกรมเวลามีอิทธิพลของฤดูกาล แปลงโดยการหาผลต่างฤดูกาล (Seasonal Differencing) ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการนำข้อมูล ณ ช่วงเวลา $t-12$ เดือนที่แล้วไปหักออกจากเดือน t หรือเขียนได้ว่า $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-12}$; $t = 13, 14, 15, \dots, n$

3) อนุกรมเวลามีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล แปลงโดยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล

4) อนุกรมเวลามีความแปรปรวนไม่คงที่ แปลงโดยการหาลอการิทึมของค่าสังเกต

2.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเอง (Autocorrelation Function : ACF) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function : PACF)

ในการพิจารณาว่าอนุกรมเวลามีความคงที่หรือไม่นั้น นอกจากจะใช้กราฟเพื่อประเมินถึงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอนุกรมเวลาว่าคงที่หรือไม่ เราอาจคำนวณค่า ACF และ PACF มาร่วมในการพิจารณาเพื่อให้แน่ใจมากขึ้น นอกจากนี้ค่า ACF และ PACF ยังช่วยในการตัดสินใจเบื้องต้นว่าควรเลือกแบบจำลองของ Box-Jenkins ตัวแบบใดจึงจะเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่กำลังพิจารณาอยู่อีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติที่เราควรทราบเกี่ยวกับค่า ACF และ PACF ได้แก่ การคำนวณและความหมายของค่า ACF และ PACF มีรายละเอียดดังนี้

1) การคำนวณและความหมายของค่า ACF (สมศรี บัณฑิตวิไล, 2558)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองมีสองแบบ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองของตัวอย่าง (เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ r_k) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองของประชากร (เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ρ_k) ซึ่ง r_k จะเป็นค่าประมาณของ ρ_k เมื่ออนุกรมเวลามีขนาดใหญ่พอสมควร นั่นคือ อนุกรมเวลาควรมีขนาดเกิน 30 จากการกำหนดให้ Y_1, Y_2, \dots, Y_n คืออนุกรมเวลาชุดหนึ่งที่มีความคงที่จำนวน n ข้อมูล ค่า ACF ณ k ช่วงเวลาที่แล้ว (r_k) จะคำนวณได้จากสมการที่ (2.14) และความแปรปรวนของ r_k คำนวณจากสมการที่ (2.15)

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (2.14)$$

โดยที่ Y_t คือข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

k คือจำนวนช่วงเวลาที่ข้อมูลห่างกัน $k = 1, 2, 3, \dots$

n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด

\bar{Y} คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล

$$\sigma_{r_k}^2 = \frac{1}{n} \left(1 + 2 \sum_{j=1}^{k-1} r_j^2 \right) \quad (2.15)$$

โดยที่ $\sigma_{r_k}^2$ คือความแปรปรวนของ r_k

k คือจำนวนช่วงเวลาที่มีข้อมูลห่างกัน $k = 1, 2, 3, \dots$

จากสมการที่ (2.14) ค่า ACF ณ k ช่วงเวลาที่แล้ว (r_k) ก็คือค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตในอนุกรมเวลาที่อยู่ห่างกัน k ช่วงเวลา คือ ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (Y_t) กับอนุกรมเวลา ณ k ช่วงเวลาถัดไป (Y_{t+k}) หรืออาจจะกล่าวอีกอย่างว่า (r_k) เป็นค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างอนุกรมเวลา ณ ช่วงเวลาปัจจุบันกับอนุกรมเวลา ณ k ช่วงเวลาที่ผ่านมา (Y_{t-k}) ก็ได้และเนื่องจาก r_k เป็นค่าสหสัมพันธ์ จึงมีคุณสมบัติต่อไปนี้

- ถ้าค่า $r_k > 0$ หมายถึง อนุกรมเวลา Y_t เปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันกับค่าสังเกตที่อยู่ห่างกัน k ช่วงเวลา หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลในอนุกรมเวลามีสหสัมพันธ์ในทางเดียวกัน
- ถ้าค่า $r_k < 0$ หมายถึง อนุกรมเวลา Y_t เปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้ามกับค่าสังเกตที่อยู่ห่างกัน k ช่วงเวลา หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลในอนุกรมเวลามีสหสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม
- ถ้าค่า $|r_k|$ เข้าใกล้ 0 หมายถึง อนุกรมเวลา Y_t ไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือทิศทางตรงกันข้ามกับค่าสังเกตที่อยู่ห่างกัน k ช่วงเวลา หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลในอนุกรมเวลานั้นมีความสัมพันธ์กันต่ำ
- ถ้าค่า $|r_k|$ เข้าใกล้ 1 หมายถึงอนุกรมเวลา Y_t เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันหรือทิศทางตรงกันข้ามกับค่าสังเกตที่อยู่ห่างกัน k ช่วงเวลา หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลในอนุกรมเวลานั้นมีความสัมพันธ์กันสูง
- ค่า r_k จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1

จากที่กล่าวมาแล้วว่า r_k เป็นค่าวัดลักษณะของตัวอย่างที่เป็นค่าประมาณของค่าวัดลักษณะของประชากร ρ_k ซึ่ง r_k มีการแจกแจงใกล้เคียงกับการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวน $\sigma_{r_k}^2$ โดยจะประมาณ $\sigma_{r_k}^2$ ด้วย $S_{r_k}^2$ ซึ่ง $S_{r_k}^2$ มีค่าใกล้เคียงกับ $\frac{1}{n}$ การทราบลักษณะการแจกแจงของ r_k จะทำให้สามารถทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ ρ_k ได้ นั่นคือ การทดสอบ $H_0: \rho_k = 0$ กับ $H_1: \rho_k \neq 0$ ซึ่งใช้ตัวสถิติทดสอบ $t = \frac{r_k}{S_{r_k}}$ เมื่อ $n > 30$ จึงใช้ Z แทน โดยมีเขตวิกฤติ $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α

2) การคำนวณและความหมายของค่า PACF (สมศรี บัณฑิตวิไล, 2558)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองบางส่วนมีสองแบบเช่นเดียวกับค่า ACF คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองบางส่วนของตัวเอง (เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ r_{kk}) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองบางส่วนของประชากร (เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ρ_{kk}) ซึ่ง r_{kk} จะเป็นค่าประมาณของ ρ_{kk} ด้วยเงื่อนไขเดียวกับ r_k และ ρ_k โดยสามารถคำนวณ ค่า r_{kk} ได้จากสมการที่ (2.16) และความแปรปรวนของ r_{kk} ($\sigma_{r_{kk}}^2$) คำนวณจากสมการที่ (2.17)

$$r_{kk} = \begin{cases} r_1 & ; k = 1 \\ \frac{r_k - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j} r_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j} r_j} & ; k = 2, 3, 4, \dots \end{cases} \quad (2.16)$$

โดยที่ $r_{k,j}$ คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน ที่ช่วงเวลาห่างกัน k และ j
 $r_{k,j} = r_{k-1,j} - r_{kk} r_{k-1,k-j} \quad ; j = 1, 2, 3, \dots, k-1$

$$\text{และ } \sigma_{r_{kk}}^2 = \frac{1}{n} \quad ; k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.17)$$

จากที่กล่าวมาแล้วว่า r_{kk} เป็นค่าวัดลักษณะของตัวอย่างที่เป็นค่าประมาณของค่าวัดลักษณะของประชากร ρ_{kk} ซึ่ง r_{kk} มีการแจกแจงใกล้เคียงกับการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และค่าความแปรปรวน $\sigma_{r_{kk}}^2$ ซึ่งประมาณ $\sigma_{r_{kk}}^2$ ด้วย $S_{r_{kk}}^2$ ที่ $S_{r_{kk}}^2 = \frac{1}{n}$ การทราบลักษณะการแจกแจงของ r_{kk} จะทำให้สามารถทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ ρ_{kk} ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานว่า r_{kk} มาจาก ρ_{kk} ที่เป็น 0 หรือไม่ จะเป็นทำนองเดียวกับการทดสอบว่า ρ_k เป็น 0 หรือไม่ จะทดสอบด้วยสมมติฐาน $H_0: \rho_{kk} = 0$ กับ $H_1: \rho_{kk} \neq 0$ จะใช้ตัวสถิติทดสอบ คือ r_{kk} และจะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $|r_{kk}| \geq Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{n}}$

ซึ่งค่า r_k และ r_{kk} ที่คำนวณได้สามารถสร้างกราฟหรือเรียกว่าคอเรโลแกรมของตัวอย่าง (r_k, r_{kk}) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับคอเรโลแกรมของประชากร (ρ_k, ρ_{kk}) เพื่อกำหนดตัวแบบให้กับข้อมูลอนุกรมเวลา และการพยากรณ์ด้วยวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ นอกจากจะเป็นการพิจารณา ค่า ACF และ PACF แล้ว จะเป็นการนำวิธีการถดถอยในตัวเอง (Autoregressive) มาใช้ร่วมกับวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) เพื่อกำหนดตัวแบบด้วย ซึ่งตัวแบบที่จะกำหนดให้กับอนุกรมเวลาจะเป็นตัวแบบในกลุ่มของ ARMA(p, q) (Autoregressive and Moving Average Order p and q Model) ซึ่งเป็นการรวมตัวแบบ AR(p) และตัวแบบ MA(q) เข้าด้วยกัน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- ตัวแบบ AR(p) หมายถึง รูปแบบที่แสดงว่าค่าสังเกต Y_t จะขึ้นอยู่กับค่าของ Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p} หรือค่าสังเกตที่เกิดขึ้นก่อนหน้า p ค่า
- ตัวแบบ MA(q) หมายถึง รูปแบบที่แสดงว่าค่าสังเกต Y_t จะขึ้นอยู่กับค่าของความคลาดเคลื่อน $\varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-q}$ หรือค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ก่อนหน้า q ค่า

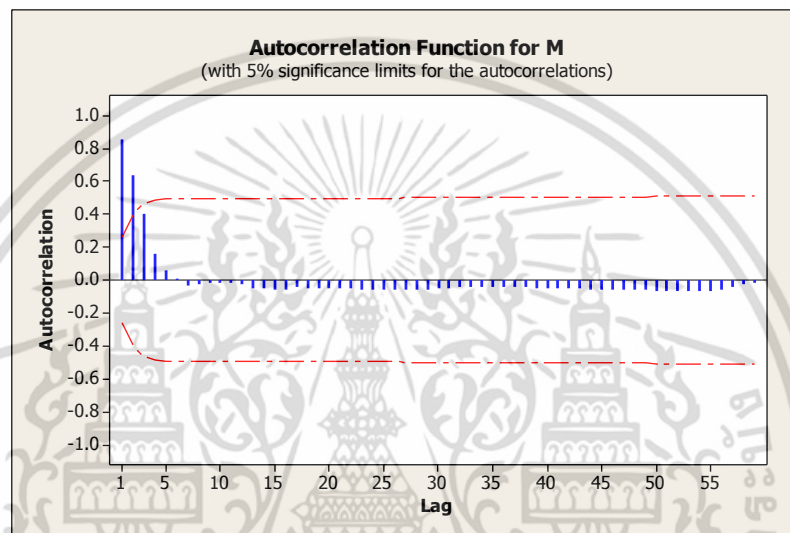
2.3.3 ขั้นตอนการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

การพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ มี 4 ขั้นตอน คือ กำหนดตัวแบบ การประมาณค่าพารามิเตอร์ การตรวจสอบตัวแบบ และการพยากรณ์ มีรายละเอียดดังนี้

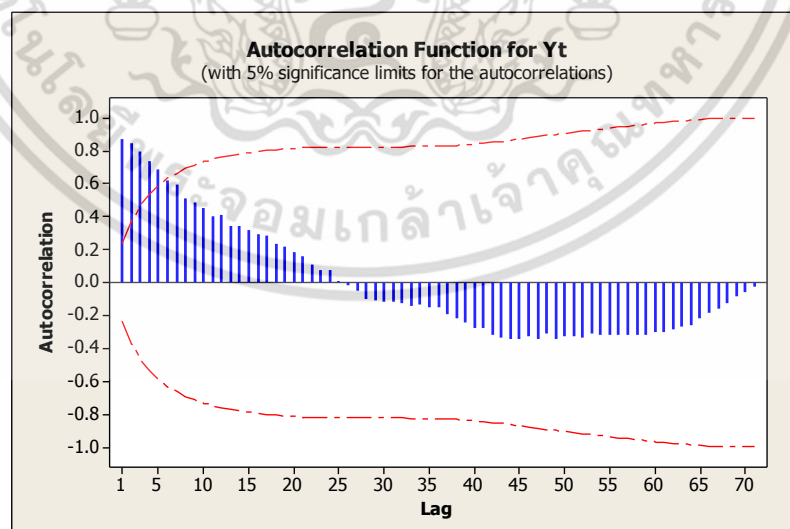
1) การกำหนดตัวแบบ (Identification)

เป็นการกำหนดตัวแบบ ARMA(p, q) ที่เหมาะสมให้กับอนุกรมเวลา โดยต้องทำการตรวจสอบว่าอนุกรมเวลามีคุณสมบัติคงที่หรือไม่ โดยอาจดูจากคอเรโลแกรมของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเอง (Autocorrelation Function : ACF) กล่าวคือ คอเรโลแกรม ACF ของอนุกรมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่คงที่ จะมีลักษณะลดลงเข้าสู่ศูนย์อย่างรวดเร็ว และเมื่อข้อมูลอนุกรมเวลามีระยะห่างกันเพิ่มขึ้น มีจุดถูกตัดออก (Cut off) ที่ระยะห่างช่วงใดช่วงหนึ่ง ดังรูปที่ 2.7 แต่ถ้าคอเรลโรแกรม ACF มีลักษณะลดลงเข้าสู่ศูนย์อย่างช้าๆ แสดงว่าข้อมูลอนุกรมเวลาไม่คงที่ ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นจะต้องแปลงให้มีความคงที่ก่อนจึงจะสามารถสร้างตัวแบบได้ ซึ่งรายละเอียดการแปลงข้อมูลเป็นดังที่กล่าวมาในข้อ 2.3.1 จากนั้นจึงหารูปแบบที่เหมาะสมให้กับอนุกรมเวลาโดยพิจารณาคอเรลโรแกรมของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเอง (Autocorrelation Function : ACF) ร่วมกับคอเรลโรแกรมของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function : PACF) สำหรับการกำหนดตัวแบบ ARMA(p, q) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.7 คอเรลโรแกรม ACF (Stationary)



รูปที่ 2.8 คอเรลโรแกรม ACF (Non-Stationary)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 : การพิจารณาค่า ACF และค่า PACF

ตัวแบบ	ACF	PACF
AR(p)	ลดลงเข้าสู่ศูนย์อย่างรวดเร็ว	หลัง lag p มีค่าเท่ากับศูนย์
MA(q)	หลัง lag q มีค่าเท่ากับศูนย์	ลดลงเข้าสู่ศูนย์อย่างรวดเร็ว
ARMA(p, q)	ลดลงเข้าสู่ศูนย์อย่างรวดเร็ว	ลดลงเข้าสู่ศูนย์อย่างรวดเร็ว

ตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีของ Box-Jenkins สำหรับอนุกรมเวลาที่มีความคงที่เป็นดังต่อไปนี้ (Bowerman and O'Connell, 1987, 1993)

ก. ตัวแบบการถดถอยในตัวเองอันดับ p (Autoregressive model of order p : AR(p)) มีตัวแบบดังสมการที่ (2.18)

$$Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.18)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา t
 θ_0 คือ ค่าคงที่
 ϕ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตัวเอง ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, p$
 ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ซึ่ง ε_t มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ σ_ε^2 และเป็นอิสระต่อกัน
 p คือ อันดับที่ของการถดถอยในตัวเอง

ข. ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ q (Moving Average method of order q : MA(q)) มีตัวแบบดังสมการที่ (2.19)

$$Y_t = \theta_0 - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (2.19)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา t
 θ_0 คือ ค่าคงที่
 θ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, q$
 ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ซึ่ง ε_t มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ σ_ε^2 และเป็นอิสระต่อกัน
 q คือ อันดับที่ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

ค. ตัวแบบผสมการถดถอยในตัวเองอันดับ p และ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ q (Autoregressive and Moving Average order p and q model) : ARMA(p, q) มีรูปแบบดังสมการที่ (2.20)

$$Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา t
 θ_0 คือ ค่าคงที่
 ϕ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตัวเอง ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, p$
 θ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, q$
 ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ซึ่ง ε_t มีการแจกแจงแบบปกติ
 ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ σ_ε^2 และเป็นอิสระต่อกัน
 p คือ อันดับที่ของการถดถอยในตัวเอง
 q คือ อันดับที่ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

ง. ตัวแบบ ARIMA (Integrated Autoregressive and Moving Average model : $ARIMA(p, d, q)$ มีตัวแบบดังสมการที่ (2.21)

$$Z_t = \theta_0 + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (2.21)$$

- โดยที่ Z_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลา t ซึ่ง $Z_t = \nabla^d Y_t$
 θ_0 คือ ค่าคงที่
 ϕ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตัวเอง ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, p$
 θ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, q$
 ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ซึ่ง ε_t มีการแจกแจงแบบปกติ
 ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ σ_ε^2 และเป็นอิสระต่อกัน
 p คือ อันดับที่ของการถดถอยในตัวเอง
 d คือ จำนวนครั้งของการหาผลต่างเพื่อแปลงอนุกรมเวลาที่ไม่มีความคงที่
 แนวโน้มให้มีความคงที่
 q คือ อันดับที่ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

จ. ตัวแบบ SARIMA (Seasonal Integrated Autoregressive and Moving Average model : $SARIMA(P, D, Q)_L$) มีตัวแบบดังสมการที่ (2.22)

$$Z_t = \theta_0 + \phi_{1L} Z_{t-L} + \dots + \phi_{PL} Z_{t-PL} - \theta_{1L} \varepsilon_{t-L} - \dots - \theta_{QL} \varepsilon_{t-QL} + \varepsilon_t \quad (2.22)$$

- โดยที่ Z_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลา t ซึ่ง $Z_t = \nabla_L^D Y_t$
 θ_0 คือ ค่าคงที่
 ϕ_{iL} คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตัวเอง ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, P$
 θ_{iL} คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, Q$
 ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ซึ่ง ε_t มีการแจกแจงแบบปกติ
 ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ σ_ε^2 และเป็นอิสระต่อกัน
 P คือ อันดับที่ของการถดถอยในตัวเองในส่วนฤดูกาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- D คือ จำนวนครั้งของการหาผลต่างฤดูกาลเพื่อแปลงอนุกรมเวลาที่ไม่มีความคงที่ เนื่องจากฤดูกาลให้มีความคงที่
 Q คือ อันดับที่ยของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในส่วนฤดูกาล
 L คือ ช่วงของการเกิดฤดูกาล

ฉ. ตัวแบบ $ARIMA(p, d, q) \times SARIMA(P, D, Q)_L$ มีตัวแบบดังสมการที่ (2.23)
 (สมศรี บัณฑิตวิไล, 2558)

$$\phi_p(B)\phi_P(B^L)Z_t = \theta_0 + \theta_q(B)\theta_Q(B^L)\varepsilon_t \quad (2.23)$$

เมื่อ

$$\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$$

$$\phi_P(B^L) = (1 - \phi_{1L} B^L - \phi_{2L} B^{2L} - \dots - \phi_{PL} B^{PL})$$

$$\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$$

$$\theta_Q(B^L) = (1 - \theta_{1L} B^L - \theta_{2L} B^{2L} - \dots - \theta_{QL} B^{PL})$$

- โดยที่ Z_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลา t ซึ่ง $Z_t = (1 - B^L)^D (1 - B)^d Y_t$
 B คือ Backward shift operator
 θ_0 คือ ค่าคงที่
 ϕ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตัวเอง ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, p$
 ϕ_{iL} คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตัวเองในส่วนฤดูกาล ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, P$
 θ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, q$
 θ_{iL} คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในส่วนฤดูกาล ตัวที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, Q$
 ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ซึ่ง ε_t มีการแจกแจงแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ σ_ε^2 และเป็นอิสระต่อกัน
 p คือ อันดับที่ยของการถดถอยในตัวเอง
 P คือ อันดับที่ยของการถดถอยในตัวเองในส่วนฤดูกาล
 d คือ จำนวนครั้งของการหาผลต่างเพื่อแปลงอนุกรมเวลาที่ไม่มีความคงที่ เนื่องจากแนวโน้มให้มีความคงที่
 D คือ จำนวนครั้งของการหาผลต่างฤดูกาลเพื่อแปลงอนุกรมเวลาที่ไม่มีความคงที่ เนื่องจากฤดูกาลให้มีความคงที่
 q คือ อันดับที่ยของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่
 Q คือ อันดับที่ยของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในส่วนฤดูกาล
 L คือ ช่วงของการเกิดฤดูกาล

ซึ่งเมื่อทำการกำหนดตัวแบบแล้วต้องทำการทดสอบพารามิเตอร์ค่าคงที่ (θ_0) ที่มีอยู่ในสมการว่าควรมีหรือไม่ โดยการพิจารณาค่าเฉลี่ย (μ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S_y) ของอนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ เนื่องจากพารามิเตอร์ θ_0 ที่ปรากฏอยู่ในทุกตัวแบบ สามารถเขียนได้เป็นฟังก์ชันของ μ ดังนั้นถ้า μ มีค่าไม่เป็น 0 ค่า θ_0 ก็จะไม่เป็น 0 ด้วย แต่ถ้า μ มีค่าเป็น 0 ค่า θ_0 จะเป็น 0 ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นตัวแบบที่กำหนดจะมีพารามิเตอร์ θ_0 หรือไม่ จึงขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ ซึ่งจะได้โดยการทดสอบสมมติฐาน

$$H_0: \mu = 0$$

$$H_1: \mu \neq 0$$

ตัวสถิติทดสอบที่ใช้ คือ $Z = \frac{\hat{\mu}_y}{S_{\hat{\mu}_y}}$ เมื่อ $\hat{\mu}_y$ คือค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ หรือค่าประมาณของพารามิเตอร์ θ_0 และ $S_{\hat{\mu}_y}$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ หรือค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ θ_0 โดยการปฏิเสธ H_0 จะทำเมื่อ $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α แสดงว่า μ มีค่าต่างจาก 0 นั่นคือ ควรมีพารามิเตอร์ θ_0 อยู่ในตัวแบบที่กำหนดให้กับอนุกรมเวลา

2) การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimation)

เป็นขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่มีอยู่ในตัวแบบอนุกรมเวลา ซึ่งมีวิธีการค่อนข้างซับซ้อน โดยวิธีการส่วนมากที่ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ วิธีการประมาณแบบง่าย (Simple) วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square) และวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood) อย่างไรก็ตามวิธีหลังเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด สำหรับวิธีการประมาณแบบง่าย ค่าประมาณของพารามิเตอร์เป็นคำตอบที่ได้จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ρ_k กับพารามิเตอร์ในตัวแบบ สำหรับวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ค่าประมาณของพารามิเตอร์จะเป็นค่าคงที่ ซึ่งทำให้ผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน (SSE) มีค่าต่ำที่สุด ส่วนวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ค่าประมาณของพารามิเตอร์จะเป็นค่าที่ทำให้ฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นมีค่าสูงสุด ซึ่งหาไม่ได้จากการแก้สมการ ดังนั้นในทางปฏิบัติจะใช้หลักการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical analysis) และคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ซึ่งการประมาณจะเริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ แล้วทำการคำนวณหลายๆรอบจนกว่าจะได้ค่าประมาณที่คงที่และให้ค่า SSE ที่ต่ำที่สุด ซึ่งจะนำค่าประมาณของพารามิเตอร์นี้ไปสร้างสมการพยากรณ์ (อนุชาติ อาจอำไพ, 2551)

3) การตรวจสอบตัวแบบ (Diagnostic Checking) (Douglas. et al, 2015)

เมื่อกำหนดตัวแบบและประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบแล้ว ตัวแบบที่กำหนดอาจจะไม่ใช่รูปแบบที่เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากคอเรลโรแกรมของ r_k และ r_{kk} ไม่เป็นไปตามลักษณะของคอเรลโรแกรมของ ρ_k และ ρ_{kk} ของรูปแบบใดแน่นอน ดังนั้นจะต้องทำการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบที่กำหนดในขั้นตอนแรกทุกครั้ง ซึ่งถ้าตรวจสอบแล้วพบว่า ตัวแบบที่กำหนดนั้นมีความเหมาะสมก็จะนำตัวแบบดังกล่าวไปใช้ในการพยากรณ์ แต่หากตรวจสอบแล้วพบว่า ตัวแบบที่กำหนดนั้นไม่เหมาะสม จะต้องกำหนดตัวแบบให้กับอนุกรมเวลานั้นๆใหม่ โดยวิธีการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบมีหลายวิธี วิธีการตรวจสอบส่วนใหญ่จะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (e_t) มาเป็นหลักในการพิจารณา ในงานวิจัยนี้มีการพิจารณา 3 วิธี คือ

ก. ทดสอบว่าอนุกรมเวลาของค่าความคลาดเคลื่อน (e_t) มีลักษณะการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระกันหรือไม่ นั่นคือ เป็นการตรวจสอบข้อจำกัดของรูปแบบที่กำหนดว่า e_t จะต้องมีการแจกแจงที่เป็นอิสระกัน หากพบว่า e_t มีลักษณะการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระกันจริง จะสามารถสรุปได้ว่าตัวแบบที่กำหนดนั้นเหมาะสมกับอนุกรมเวลาแล้ว ซึ่งจะได้โดยการทดสอบสมมติฐาน

$$H_0: \rho_k(e_t) = 0 \quad ; k = 1, 2, \dots$$

$$H_1: \rho_k(e_t) \neq 0 \quad ; k = 1, 2, \dots$$

ตัวสถิติทดสอบที่ใช้ คือ $Z = \frac{r_k(e_t)}{S_{r_k}(e_t)}$ การปฏิเสธ H_0 จะทำเมื่อ $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α แสดงว่า e_t มีลักษณะการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระกัน นั่นคือ ตัวแบบที่กำหนดให้กับอนุกรมเวลามีความเหมาะสม

ข. ทดสอบว่าพารามิเตอร์แต่ละตัวในตัวแบบมีค่าเป็น 0 หรือไม่ นั่นคือ เมื่อ $\theta, \hat{\theta}$ และ $S_{\hat{\theta}}$ เป็นค่าพารามิเตอร์ ค่าประมาณพารามิเตอร์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณ $\hat{\theta}$ ตามลำดับ โดยใช้การทดสอบ Z ภายใต้อสมมติฐาน

$$H_0: \theta = 0$$

$$H_1: \theta \neq 0$$

ตัวสถิติทดสอบที่ใช้ คือ $Z = \frac{\hat{\theta}}{S_{\hat{\theta}}}$ การปฏิเสธ H_0 จะทำเมื่อ $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α แสดงว่า ค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบมีค่าไม่เท่ากับ 0 นั่นคือ ตัวแบบที่กำหนดให้กับอนุกรมเวลามีความเหมาะสม

ค. การทดสอบ Box และ Ljung ทำการทดสอบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่อยู่ห่างกัน $1, 2, 3, \dots, m$ ช่วงเวลาเป็นอิสระกันหรือไม่ นั่นคือการพิจารณาว่า $\rho_k(e_t) = 0$ สำหรับ $k = 1, 2, 3, \dots, m$ หรือไม่ ซึ่งจะได้โดยการทดสอบสมมติฐาน

$$H_0: \rho_1(e_t) = \dots = \rho_m(e_t) = 0$$

$$H_1: \rho_k(e_t) \text{ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ } 0 ; k = 1, 2, 3, \dots, m$$

ตัวสถิติทดสอบคือ

$$Q_m = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2(e_t)}{(n-k)} \quad (2.24)$$

โดยที่ n คือ ขนาดของอนุกรมเวลา $\{e_t\}$

m คือ ช่วงเวลาห่างสูงสุดของ e_t ในอนุกรมเวลา $\{e_t\}$ ที่นำมาพิจารณา

เนื่องจาก Q_m มีการแจกแจงใกล้เคียงกับการแจกแจงไคสแควร์ การปฏิเสธ H_0 จึงทำเมื่อ ตัวสถิติ $Q_m \geq \chi_{\alpha, m-a}^2$ (a คือจำนวนพารามิเตอร์ทั้งหมดในตัวแบบ ซึ่งรวมค่าคงที่ด้วย) ซึ่งสรุปได้ว่ามี $\rho_k(e_t)$ อย่างน้อยหนึ่งค่าไม่เท่ากับ 0 สำหรับ $k = 1, 2, 3, \dots, m$ นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่อยู่ห่างกัน k ค่า ไม่เป็นอิสระกันหรือสรุปได้ว่าตัวแบบที่กำหนดให้กับอนุกรมเวลายังไม่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพบว่าตัวแบบที่เหมาะสมมีหลายตัวแบบจะใช้เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสมโดยเลือกตัวแบบที่ให้ค่าเกณฑ์สารสนเทศของอาไคเคะ (Akaike's Information Criterion : AIC) ต่ำสุดเป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีสูตรการคำนวณค่า AIC เป็นดังสมการที่ (2.25) (Harvey and Arthur, 2004)

$$AIC = n \cdot \ln\left(\frac{SSE}{n}\right) + 2p \quad (2.25)$$

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง

SSE คือ ผลบวกกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ

p คือ จำนวนพารามิเตอร์ในตัวแบบ

\ln คือ ลอการิทึมฐาน e

4) การพยากรณ์ (Forecasting)

เมื่อได้ตัวแบบที่ทำการทดสอบแล้วว่าเหมาะสม ก็จะใช้ตัวแบบนั้นเพื่อการพยากรณ์ค่าในอนาคต ซึ่งการพยากรณ์มี 2 แบบ คือ การพยากรณ์แบบจุด (Point Forecast) และการพยากรณ์แบบช่วง (Interval Forecast) โดยการพยากรณ์ล่วงหน้าก็ช่วงเวลาที่ใด แต่ปกติไม่นิยมพยากรณ์ล่วงหน้าในช่วงเวลาไกลมากนัก เพราะจะทำให้ได้ค่าพยากรณ์ที่แตกต่างจากค่าจริงมาก ดังนั้นเมื่อได้ค่าจริง ณ ช่วงเวลาถัดไปแล้ว ควรนำค่าดังกล่าวไปทำการปรับสมการพยากรณ์ใหม่ เพื่อหาค่าพยากรณ์ที่ใกล้กับค่าจริงมากขึ้น

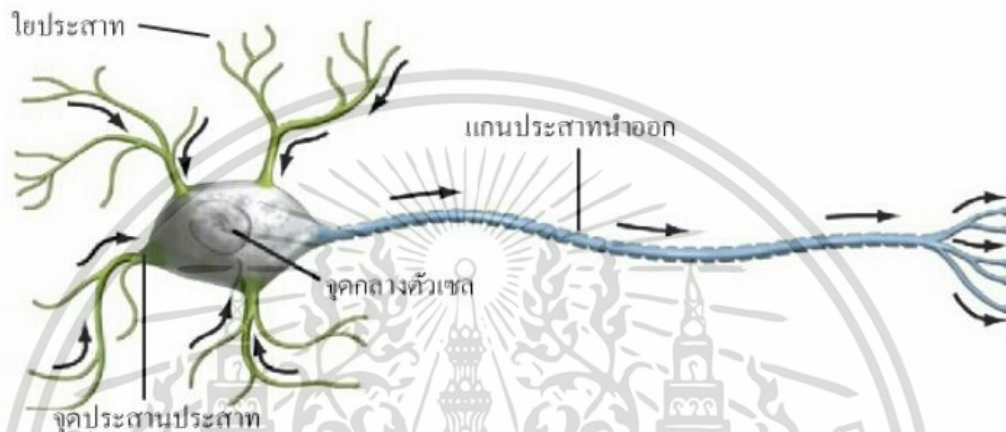
2.4 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ เป็นสมการคณิตศาสตร์และประมวลผลเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นแนวคิดที่ต้องการให้คอมพิวเตอร์มีความชาญฉลาดในการเรียนรู้ สามารถฝึกฝนได้ และสามารถนำความรู้และทักษะไปแก้ปัญหาต่างๆ มีนักวิจัยจำนวนมากได้คิดค้นรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมมีตั้งแต่การใช้เพื่อตัดสินใจง่ายไปจนถึงงานที่มีความยุ่งยากซับซ้อน ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานบางส่วน ได้แก่ งานด้านการควบคุม งานด้านการบิน ด้านยานยนต์ ด้านการบริหารจัดการ ด้านการธนาคาร ด้านการทหาร ด้านการบันเทิง และอื่นๆ อีกมากมาย

2.4.1 ประวัติความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม

ประวัติความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียมย้อนหลังไปประมาณ 60 กว่าปีก่อน ในปี ค.ศ. 1943 McCulloch และ Pitts แห่งมหาวิทยาลัยชิคาโก ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้นำเสนอบทความวิชาการ "Boolean brain" ซึ่งได้กลายเป็นจุดกำเนิดของการจัดรูปแบบคณิตศาสตร์ของประสาทเทียม ต่อมาได้มีนักวิจัยได้คิดค้นรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่างๆ มากมาย และทุกรูปแบบวิธีจะประกอบกับวิธีการสอนโครงข่ายด้วย ซึ่งวิธีการต่างๆจะมีความซับซ้อนแตกต่างกันไป โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks : ANN) เป็นการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ (Biological Neurons) ซึ่งอยู่ในส่วนสมองที่ประกอบด้วยประสาทจำนวนมากและมีจุดต่อจำนวนโครงข่ายประสาทประกอบขึ้นด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ไยประสาท เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Nerve fiber หรือ Dendrites) จุดกลางตัวเซลล์ (Cell body หรือ Soma) และแกนประสาทนำออก (Axon) ในแต่ละโครงข่ายประสาทจะเชื่อมต่อกันที่จุดประสานประสาท (Synapse) ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ตามสัญญาณที่ส่งระหว่างกันของเซลล์ประสาท การส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาทเป็นการถ่ายทอดสารประกอบไอออนิกและโพแทสเซียม ภาพร่างของประสาทแสดงในรูปที่ 2.9 จากภาพใยประสาททำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากเซลล์อื่นๆ เข้าตัวเซลล์หรือส่วนกลางเซลล์ทำหน้าที่รวมสัญญาณที่เข้ามาแล้วสร้างสัญญาณออกไปยังแกนประสาทนำออก แอ็กซอนหรือแกนประสาทนำออกจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยังใยประสาทของเซลล์อื่นๆ ต่อไป (พยุง มีสัจ, 2555)



รูปที่ 2.9 โครงข่ายประสาทมนุษย์
(พยุง มีสัจ, 2555)

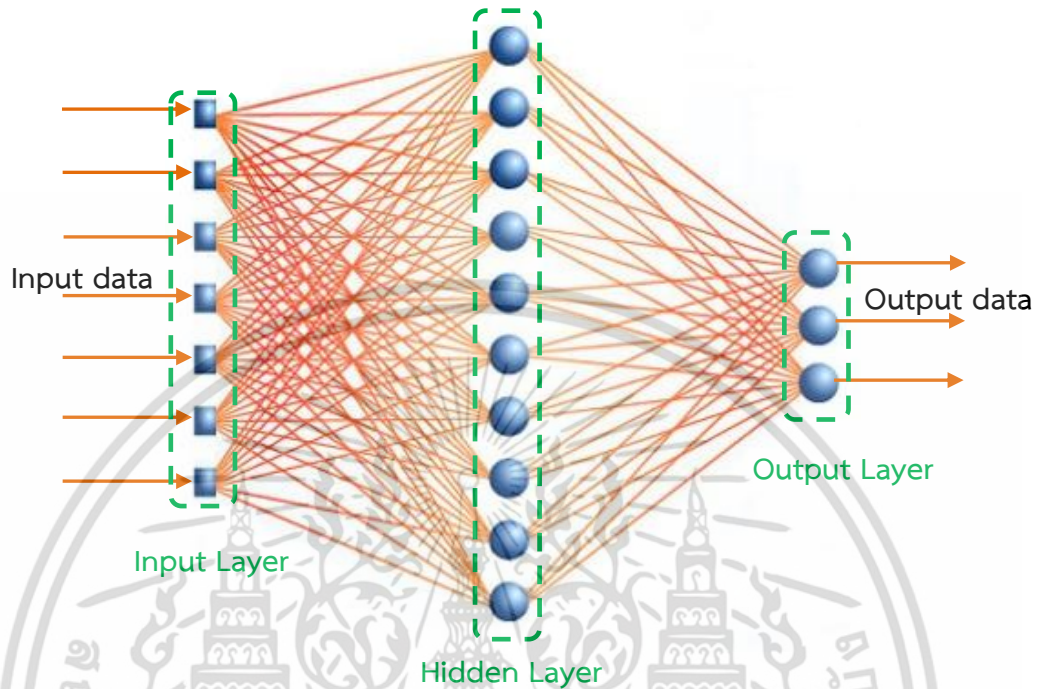
2.4.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยเซลล์ประสาทเทียมหรือโหนดจำนวนมากที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งการเชื่อมต่อกันจะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยเรียกว่า ชั้น (Layer) ในชั้นแรกจะเป็นชั้นนำข้อมูลเข้าเรียกว่าชั้นอินพุต (Input Layer) ส่วนชั้นสุดท้ายเรียกว่าชั้นเอาต์พุต (Output Layer) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต เรียกว่า ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งชั้นซ่อนจะมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ จึงสามารถแบ่งประเภทโครงข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของโครงข่ายแบบกว้างๆได้ 2 แบบคือ โครงข่ายแบบชั้นเดียว (Single Layer) และโครงข่ายแบบหลายชั้น (Multi-Layer) การนับชั้นของโครงข่ายจะนับเฉพาะชั้นที่มีการประมวลผลเท่านั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าจำนวนชั้นของโครงข่ายประสาทเทียม คือ จำนวนชั้นซ่อนรวมกับจำนวนชั้นเอาต์พุต (Kevin, 2004)

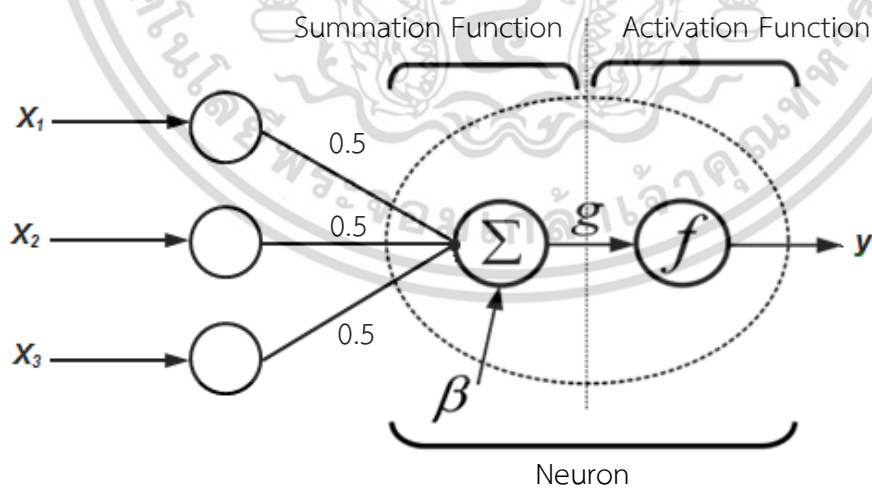
แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประกอบด้วยส่วนของการประมวลผลที่เรียกว่านิวรอน (Neuron) ทุกๆนิวรอนสามารถมีอินพุตได้หลายอินพุตแต่มีเอาต์พุตเพียงเอาต์พุตเดียว และทุกๆเอาต์พุตจะแยกไปยังอินพุตของนิวรอนอื่นๆภายในโครงข่าย การติดต่อกันภายในระหว่างนิวรอนไม่ใช่ลักษณะการต่อแบบธรรมดา ทุกๆอินพุตจะมีการกำหนดน้ำหนัก (Weight) ของการเชื่อมต่อภายในเพื่อช่วยในการตัดสินใจ การทำงานของนิวรอนในบางโครงข่ายจะถูกกำหนดไว้ตายตัว แต่บางโครงข่ายสามารถที่จะปรับแต่งได้ ซึ่งอาจจะเป็นการปรับแต่งจากภายนอกโครงข่าย หรือนิวรอนสามารถปรับได้ด้วยตัวเอง ในจุดนี้แสดงถึงความสามารถในการเรียนรู้และจดจำของโครงข่ายประสาทเทียม (พยุง มีสัจ, 2555) ซึ่งภาพโครงข่ายประสาทเทียมแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 โดย

องค์ประกอบที่ถูกบรรจุอยู่ในนิวรอนแต่ละตัวประกอบด้วย 2 ฟังก์ชันย่อย คือฟังก์ชันผลรวม
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ให้ผู้อื่นใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Summation Function) และ ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) และมีรายละเอียดการทำงานของนิวรอน แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม
(Graham Templeton., 2013)



รูปที่ 2.11 องค์ประกอบของนิวรอน (Neuron)
(Hagan et al., 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function)

ฟังก์ชันผลรวม ทำหน้าที่ในการคำนวณผลรวมของข้อมูลที่ได้จากชั้นอินพุต (Input Layer) ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2.26) (Hagan. et al., 1996)

$$g = \sum_{i=1}^z x_i w_i + \beta \quad (2.26)$$

กำหนดให้

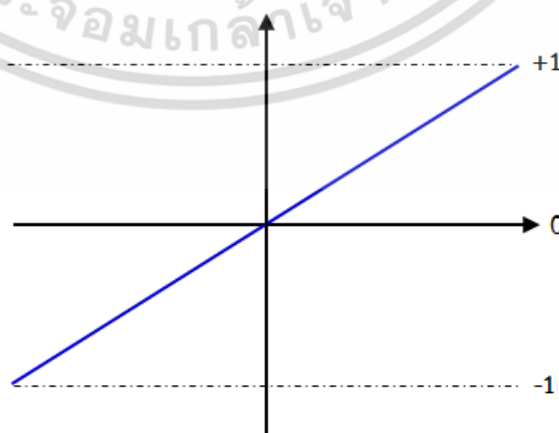
- ตัวแปร x คือ ค่าข้อมูลอินพุตตัวที่ i
- ตัวแปร w คือ ค่าน้ำหนักของข้อมูลอินพุตตัวที่ i
- ตัวแปร g คือ ผลลัพธ์จากฟังก์ชันผลรวม
- ตัวแปร z คือ จำนวนนิวรอนของข้อมูลเข้า
- ตัวแปร β คือ ค่าความเอนเอียง (Bias)

2) ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ทำหน้าที่ปรับค่าของข้อมูลที่ได้จากฟังก์ชันผลรวมให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ฟังก์ชันกระตุ้นที่นิยม ได้แก่ ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear Function) ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic Tangent Function) เป็นต้น (ธนาวุฒิ ประกอบผล, 2552)

ก. ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear Function)

ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเชิงเส้น สามารถเรียนรู้เพียงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุต ดังนั้นจึงไม่สามารถหาคำตอบได้สำหรับบางกรณี อย่างไรก็ตามถ้าคำตอบที่ได้ไม่ใช่คำตอบที่ดีพอ ฟังก์ชันเชิงเส้นจะหาค่าต่ำสุดของผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน แต่ถ้าอัตราการเรียนรู้ (η) มีค่าน้อย โครงข่ายประสาทเทียมจะหาคำตอบที่ใกล้เคียงเท่าที่จะเป็นไปได้โดยแสดงลักษณะโครงข่ายฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้น ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (2.27) และแสดงได้ดังรูปที่ 2.12

$$f(x) = x \quad (2.27)$$



รูปที่ 2.12 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function)

ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ จะบีบช่วงข้อมูลอินพุตที่ไม่จำกัดให้เป็นช่วงของข้อมูลเอาต์พุตที่จำกัดโดยที่ช่วงของข้อมูลเอาต์พุตจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ จะแสดงลักษณะของข้อเท็จจริงที่มีความชันเข้าใกล้ศูนย์เมื่อข้อมูลอินพุตมีจำนวนมาก มีขั้นตอนวิธีการฝึกฝนแบบแพร่ย้อนกลับ วัตถุประสงค์เพื่อลดผลกระทบที่ส่งผลต่อขนาดของอนุพันธ์ไม่ให้มีผลกระทบต่อค่าน้ำหนักปัจจุบัน โดยขนาดของการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักถูกกำหนดโดยค่าปัจจุบันที่แยกออกมา ค่าปัจจุบันสำหรับค่าน้ำหนักและความโน้มเอียงแต่ละค่าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุพันธ์ของฟังก์ชันสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักที่มีเครื่องหมายเดียวกันสำหรับการกระทำซ้ำรอบสอง และค่าปัจจุบันจะลดลงเมื่ออนุพันธ์ที่สัมพันธ์กับน้ำหนักเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายจากการกระทำซ้ำรอบก่อน ถ้าอนุพันธ์เท่ากับศูนย์แสดงว่าค่าปัจจุบันยังคงเดิม ฟังก์ชันซิกมอยด์สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (2.28) และแสดงได้ดังรูปที่ 2.13

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.28)$$



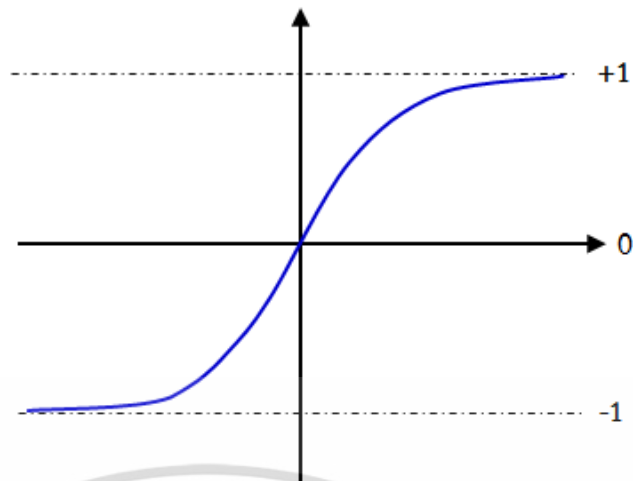
รูปที่ 2.13 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์

ค. ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (hyperbolic tangent function)

ฟังก์ชันกระตุ้นแบบไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ มีลักษณะเช่นเดียวกับฟังก์ชันการกระตุ้นแบบซิกมอยด์ แต่ต่างกันเพียงช่วงของข้อมูลเอาต์พุตจะอยู่ในช่วง -1 ถึง +1 ฟังก์ชันการกระตุ้นแบบไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์สมการที่ (2.29) และแสดงได้ดังรูปที่ 2.14

$$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^x} \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

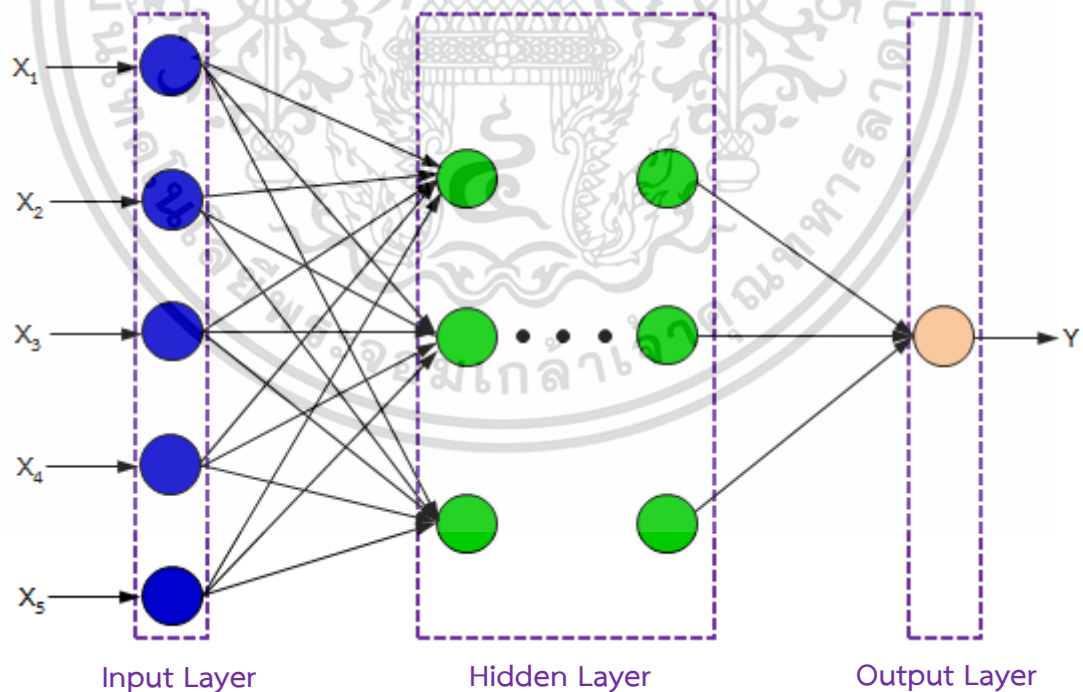


รูปที่ 2.14 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบไฮเปอร์โบลิกแทนเจนต์

2.4.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

(Multi-Layer Artificial Neural Networks)

ประกอบด้วยชั้นอินพุต (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) ซึ่งสามารถแทรกชั้นซ่อนจำนวนกี่ชั้นก็ได้เข้าไประหว่างชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต โดยชั้นซ่อนจะทำหน้าที่คล้ายการสกัดคุณลักษณะขึ้นมาใหม่จากชั้นอินพุต เพื่อป้อนต่อให้ชั้นซ่อนถัดไปหรือชั้นเอาต์พุต ลักษณะโครงข่ายแบบหลายชั้นแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

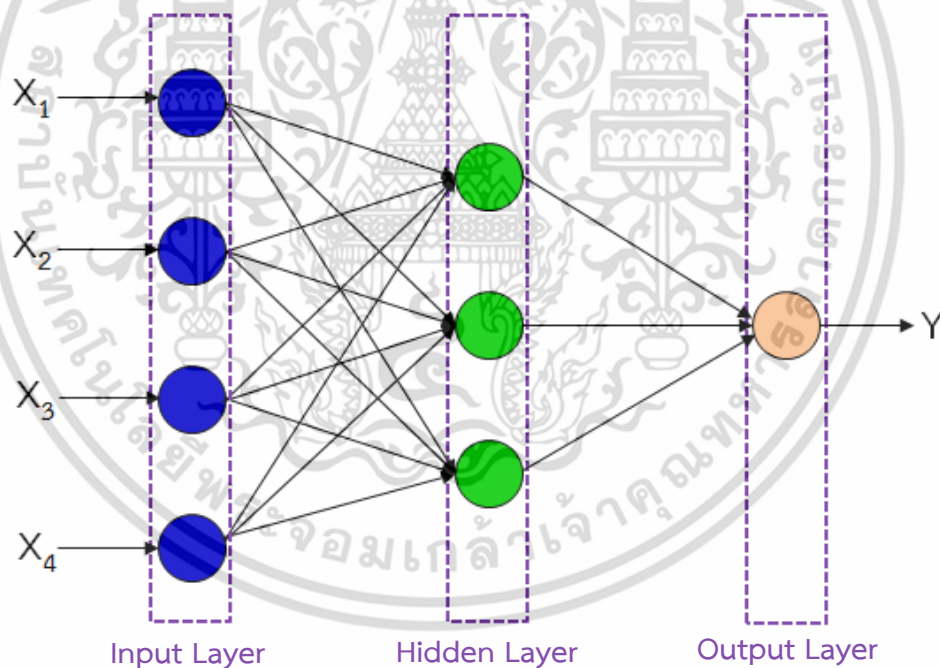
2.4.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

(Backpropagation Neural Networks : BPN)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ เป็นตัวแบบโครงข่ายที่ได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถแก้ปัญหาในลักษณะเชิงเส้น (Linear) และไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ได้ ซึ่งมีลักษณะสำคัญ ดังนี้

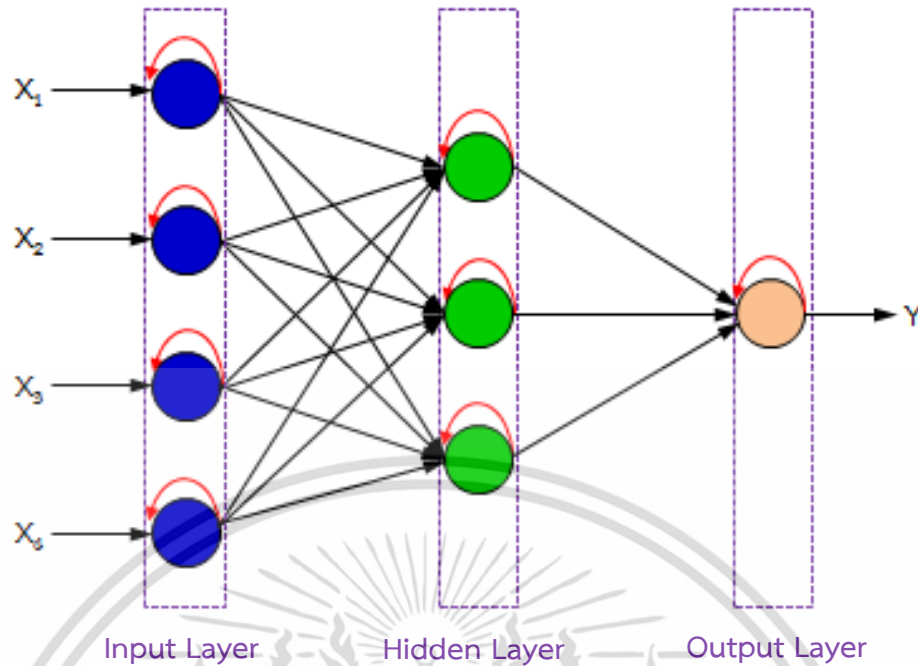
- 1) เป็นโครงข่ายหลายชั้น (Multi-Layer)
- 2) การเชื่อมโยงระหว่างโหนดในแต่ละชั้นเป็นแบบเชื่อมถึงกันหมด
- 3) ทิศทางการไหลของข้อมูลมีการส่งสัญญาณไปข้างหน้า แสดงดังรูปที่ 2.16
- 4) ทิศทางการไหลของข้อมูลมีการส่งสัญญาณย้อนกลับ โดยจะมีการส่งผ่านค่าความผิดพลาดจากชั้นเอาต์พุต (Output Layer) กลับมาชั้นก่อนหน้า เพื่อปรับน้ำหนักบนเส้นเชื่อมระหว่างโหนด แสดงดังรูปที่ 2.17

- 5) ผลลัพธ์ที่ได้จากชั้นซ่อนสามารถเป็นข้อมูลอินพุตของชั้นซ่อนเดียวกันได้
- 6) ฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นซ่อนแต่ละชั้นสามารถเลือกใช้ฟังก์ชันที่แตกต่างกันได้ แต่ฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นเดียวกันจำเป็นต้องเป็นชนิดเดียวกัน



รูปที่ 2.16 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ไปข้างหน้า (Feed Forward Neural Networks)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation Neural Networks)

2.4.5 ขั้นตอนการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม แบ่งออกเป็น 14 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้

- 1) กำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ จำนวนชั้นซ่อน จำนวนโหนดในชั้นอินพุต ชั้นซ่อน ชั้นเอาต์พุต และประเภทของฟังก์ชันกระตุ้น
- 2) แบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุด โดยข้อมูลชุดที่ 1 คือ ชุดการเรียนรู้ ใช้สำหรับฝึกสอนโครงข่ายที่กำหนด ข้อมูลชุดที่ 2 คือ ชุดการทดสอบ ใช้สำหรับยืนยันความถูกต้องของโครงข่ายที่ได้รับการฝึกสอนว่าสามารถแสดงถึงลักษณะการเคลื่อนไหวของสมการถดถอยได้ตามสภาพจริง ซึ่งช่วยเพิ่มความมั่นใจในการนำโครงข่ายไปใช้ในการพยากรณ์ และข้อมูลชุดที่ 3 คือ ชุดการทดสอบ ใช้สำหรับพยากรณ์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่าย
- 3) ป้อนข้อมูลเข้าสู่โหนดในชั้นอินพุต
- 4) ส่งข้อมูลจากโหนดชั้นอินพุตไปยังโหนดชั้นซ่อน โดยไม่ผ่านขั้นตอนการคำนวณใดๆ
- 5) คำนวณผลรวมของโหนดในชั้นซ่อน ซึ่งเป็นการนำค่าของโหนดข้อมูลอินพุตที่เชื่อมกันมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละเส้นเชื่อม ดังนั้นผลรวมของโหนดที่ j ในชั้นซ่อน คือ

$$net_j = \sum_{i=1}^n w_{i,j} x_i + bias \quad \text{สำหรับ } j = 1, 2, \dots, k \quad (2.30)$$

โดยที่ $w_{i,j}$ คือ ค่าน้ำหนักของข้อมูลอินพุตโหนดที่ i ไปยังโหนดที่ j

x คือ ค่าข้อมูลอินพุตตัวที่ i

n คือ จำนวนโหนดในชั้นอินพุต

k คือ จำนวนโหนดในชั้นซ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ปรับค่าผลรวมของข้อมูลในชั้นซ่อนด้วยฟังก์ชันกระตุ้น โดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function) เพื่อให้ได้ ผลลัพธ์ (y_j) ของชั้นซ่อน โดยที่

$$y_j = f(net_j) = \frac{1}{1 + e^{-net_j}} \quad (2.31)$$

7) คำนวณค่าผลรวมของโหนดในชั้นเอาต์พุต โดยใช้ฟังก์ชันผลรวม ซึ่งเป็นการนำค่าของโหนดในชั้นซ่อนมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละเส้นเชื่อม ดังนั้นผลรวมของโหนดที่ m ในชั้นเอาต์พุต คือ

$$net_m = \sum_{j=1}^k w_{j,m} y_j + bias \quad \text{สำหรับ } j = 1, 2, \dots, k \quad (2.32)$$

โดยที่ w คือ ค่าน้ำหนักของเส้นเชื่อมระหว่างชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตของข้อมูลตัวที่ j

y คือ ค่าข้อมูลเอาต์พุตจากโหนดชั้นซ่อนตัวที่ j

k คือ จำนวนโหนดในชั้นซ่อน

m คือ จำนวนโหนดชั้นเอาต์พุต ($m = 1$)

8) ปรับค่าผลรวมของข้อมูลในชั้นเอาต์พุต ด้วยฟังก์ชันกระตุ้น โดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear function) เพื่อให้ได้ ผลลัพธ์ (y_m) ของชั้นซ่อน โดยที่

$$y_m = f(net_m) = net_m \quad (2.33)$$

9) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อน โดยนำค่าผลลัพธ์ของโหนดที่ m ในชั้นเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.34

$$e(w) = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^n (t_m - y_m)^2 \quad (2.34)$$

โดยที่ t_m คือ ค่าจริง หมายถึง ค่าเป้าหมาย (Target) สำหรับโหนดที่ m ในชั้นเอาต์พุต

y_m คือ ค่าที่ประมาณได้ หมายถึง ค่าที่คำนวณได้จากโหนดที่ m ในชั้นเอาต์พุต

10) จากค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 9 มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าข้อมูลชุดการเรียนรู้ จึงมีการปรับค่าน้ำหนักของเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดต่างๆ ใหม่อีกครั้ง โดยใช้เทคนิคการแพร่แบบย้อนกลับของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งจุดมุ่งหมายในการปรับค่าน้ำหนักบนเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนด เพื่อให้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของข้อมูลชุดการเรียนรู้มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งสมการหาค่าความคลาดเคลื่อนและสมการที่ใช้ปรับค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมของชั้นเอาต์พุตและชั้นซ่อนสามารถสรุปได้ดังนี้ (ปริญา สวงสวัสดิ์, 2558)

ชั้นเอาต์พุต

สมการหาค่าความคลาดเคลื่อนเป็นดังสมการที่ 2.35

$$\delta_{jm} = y_m(1 - y_m)(t_m - y_m) \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ δ_{jm} คือ ค่าความผิดพลาดของโหนดที่ j ไปยังโหนดที่ m ในชั้นเอาต์พุต
 y_m คือ ค่าผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากโหนดที่ m ในชั้นเอาต์พุต
 t_m คือ ค่าเป้าหมายสำหรับโหนดที่ m ในชั้นเอาต์พุต

สมการที่ใช้ปรับค่าน้ำหนัก เป็นดังสมการที่ 2.36 และ 2.37

$$\Delta w_{jm}^{(new)} = \eta \delta_{jm} y_m + \alpha \Delta w_{jm}^{(old)} \quad (2.36)$$

และ
$$w_{jm}^{(new)} = w_{jm}^{(old)} + \Delta w_{jm}^{(new)} \quad (2.37)$$

โดยที่ η คือ อัตราการเรียนรู้ เป็นค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับความเร็วของการให้ค่าน้ำหนักให้เข้าสู่ค่าที่สมดุล มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1
 α คือ ค่าโมเมนต์ เป็นค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนัก มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่านี้จะแสดงถึงสัดส่วนของน้ำหนักครั้งก่อนที่นำมาใช้ในการปรับน้ำหนักครั้งปัจจุบัน

ชั้นซ่อน

สมการหาค่าความคลาดเคลื่อนเป็นดังสมการที่ 2.38

$$\delta_{ij} = y_j(1 - y_j) \sum w_{jm} \delta_{jm} \quad (2.38)$$

โดยที่ δ_{ij} คือ ค่าความผิดพลาดของโหนดที่ i ไปยังโหนดที่ j ในชั้นซ่อน
 y_j คือ ค่าผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากโหนดที่ j ในชั้นซ่อน
 δ_{jm} คือ ค่าความผิดพลาดของโหนดที่ j ไปยังโหนดที่ m ในชั้นเอาต์พุต

สมการที่ใช้ปรับค่าน้ำหนัก เป็นดังสมการที่ 2.39 และ 2.40

$$\Delta w_{ij}^{(new)} = \eta \delta_{ij} y_j + \alpha \Delta w_{ij}^{(old)} \quad (2.39)$$

และ
$$w_{ij}^{(new)} = w_{ij}^{(old)} + \Delta w_{ij}^{(new)} \quad (2.40)$$

11) ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 ถึง 10 จนกว่าค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดในชั้นเอาต์พุตให้เข้าสู่ค่าเริ่มต้น (Threshold) ต่ำที่สุดที่กำหนดไว้ หรือจำนวนรอบของการกระทำซ้ำๆ ถูกจำกัดโดยรอบที่ใช้ในการคำนวณ

12) คำนวณค่า RMSE ของแต่ละรอบสมการ

13) ตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียม โดยนำค่าน้ำหนักที่ได้จากการฝึกโครงข่ายมาใช้ในการสร้างตรวจสอบความถูกต้องด้วยข้อมูลชุดการทดสอบ แล้วทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบค่า RMSE ที่ได้จากข้อมูลชุดการเรียนรู้และข้อมูลชุดการทดสอบ หากมีค่าแตกต่างกันมาก สามารถทำการแก้ไขโดย

- ทดลองตั้งค่าน้ำหนักเริ่มต้นใหม่
- ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมใหม่

14) นำโครงข่ายเหมาะสมที่ได้ไปหาค่าพยากรณ์ด้วยข้อมูลชุดทดสอบ

2.5 เกณฑ์ในการเปรียบเทียบเพื่อเลือกตัวแบบที่เหมาะสม

การตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์เป็นการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริง (Y_t) กับค่าพยากรณ์ (\hat{Y}_t) โดยจะพิจารณาเลือกตัวแบบที่เหมาะสมจากการหาตัวแบบด้วยข้อมูลชุดที่ 1 ซึ่งจะเลือกตัวแบบที่ให้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ต่ำที่สุด จากนั้นตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ที่เลือกด้วยข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณยอดขาย 12 เดือน (ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559) เพื่อพิจารณาว่าค่าพยากรณ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าจริงมากน้อยเพียงใด โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ซึ่งสูตรของค่า RMSE และ MAPE เป็นดังสมการที่ (2.41) และ (2.42) ตามลำดับ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (2.41)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad (2.42)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา t
 n คือ ขนาดของอนุกรมเวลา
 e_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของอนุกรมเวลา t ซึ่ง $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมธาวรรณ ใจไว (2554) ศึกษาการทำนายคุณภาพการให้บริการของเว็บไซต์ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพการบริการ และสร้างความเชื่อมั่นในการเลือกใช้บริการของเว็บไซต์ โดยได้นำข้อมูลปริมาณงานและเวลาตอบสนองมาวิเคราะห์และทำนายโดยใช้วิธีบ็อก-เจนกินส์ เปรียบเทียบความแม่นยำของการทำนายกับวิธีปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย และวิธีประมาณค่าเส้นโค้งที่เหมาะสมในช่วงพหุนามอันดับ 3 โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งการตรวจสอบความแม่นยำของการทำนายคือวัดจากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error : MAPE) ผลที่ได้จากการศึกษา คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ให้ความแม่นยำมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัทพล คุณเลิศ และ พุทธศวี ศิริแสงตระกูล (2557) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตข้าว เพื่อการสร้างตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตข้าว โดยรวบรวมข้อมูลการเพาะปลูกข้าวจาก ศูนย์วิจัยข้าว 11 ศูนย์ทั่วประเทศ ซึ่งทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ แบบขั้นบันได พบว่ามี 11 ปัจจัยที่มีผลกับปริมาณผลผลิตข้าว จากนั้นนำปัจจัยเหล่านี้ใช้ในการสร้าง ตัวแบบเพื่อพยากรณ์ผลผลิตข้าวด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ ย้อนกลับเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้สำหรับวัดความแม่นยำของ การพยากรณ์ คือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบการพยากรณ์ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับมีประสิทธิภาพในการ พยากรณ์สูงกว่าตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยมีค่า RMSE จากทั้ง 2 วิธี คือ 0.0951 และ 0.1273 ตามลำดับ

ดาว สงวนรังศิริกุล ھرรษา เชี่ยวอนันตวานิช และ มณีรัตน์ แสงเกษม (2558) ทำการศึกษา หาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์ประชากรที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาใน กรุงเทพมหานคร โดยการใช้เทคนิคการพยากรณ์เปรียบเทียบกัน 5 วิธี ซึ่งประกอบด้วยวิธีเฉลี่ย เคลื่อนที่แบบง่าย (Simple Moving Average method) วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบง่าย (Simple Exponential Smoothing method) วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins method) วิธี สัดส่วนกับแนวโน้ม (Ratio-To-Trend method) และวิธีปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบ โฮลท์และวินเทอร์ (Holt and Winters Exponential Smoothing method) ในการพิจารณาเลือก วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม จะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ที่ต่ำที่สุด โดยนำข้อมูลทุติยภูมิที่รวบรวมจากสำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวง สาธารณสุข กรุงเทพมหานครมาวิเคราะห์ จากผลการศึกษาพบว่าสำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่ มีแนวโน้มและฤดูกาล การพยากรณ์ด้วยวิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (Simple Moving Average method) เหมาะสมที่สุดกับข้อมูลอนุกรมเวลาส่วนใหญ่ ส่วนข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มและ ฤดูกาล การพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ (Holt and Winters Exponential Smoothing method) เหมาะสมที่สุดกับข้อมูลอนุกรมเวลาส่วนใหญ่

Abhishek Singh and G. C. Mishra (2015) ศึกษาการพยากรณ์อนุกรมเวลาของราคาน้ำมัน ถั่วลิสงในมুমไบ ประเทศอินเดีย โดยการใช้รูปแบบ ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) ซึ่งเป็นวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ เปรียบเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks : ANN) ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้สำหรับวัดความแม่นยำของการพยากรณ์มี 3 เกณฑ์ คือ ค่าเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (MSE) , ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) จากผลการศึกษาพบว่า การ พยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ ได้ตัวแบบ ARIMA (0,1,0) (1,0,1) เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยทำการพยากรณ์ราคาล่วงหน้าจำนวน 3 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2010 ถึง เดือนกรกฎาคม 2010 พบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ MSE, RMSE, MAPE เท่ากับ 9.52, 3,00 และ 2.21% ตามลำดับ ส่วนการพยากรณ์ด้วยรูปแบบ ARIMA มีค่า MSE, RMSE, MAPE เท่ากับ 18.12, 4.26 และ 3.00% ตามลำดับ นั่นคือสามารถสรุปได้ว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ผล การพยากรณ์ราคาน้ำมันถั่วลิสงในมুমไบ ดีกว่ารูปแบบ ARIMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yan Xia (2016) ได้ศึกษาหาตัวแบบเพื่อพยากรณ์การซื้อเครื่องปรับอากาศจากเว็บไซต์ขายสินค้าออนไลน์ของประเทศจีน (Tmall) ซึ่งใช้เทคนิคการพยากรณ์ 2 วิธีเปรียบเทียบกัน คือ วิธี ARIMA และวิธี VAR โดยวิธี ARIMA พิจารณาจากตัวแปรเดียว ส่วนวิธี VAR พิจารณาตัวแปร 5 ตัวแปร ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบที่ได้จากวิธี ARIMA ให้ผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำกว่าวิธี VAR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย มีขั้นตอนต่างๆดังนี้

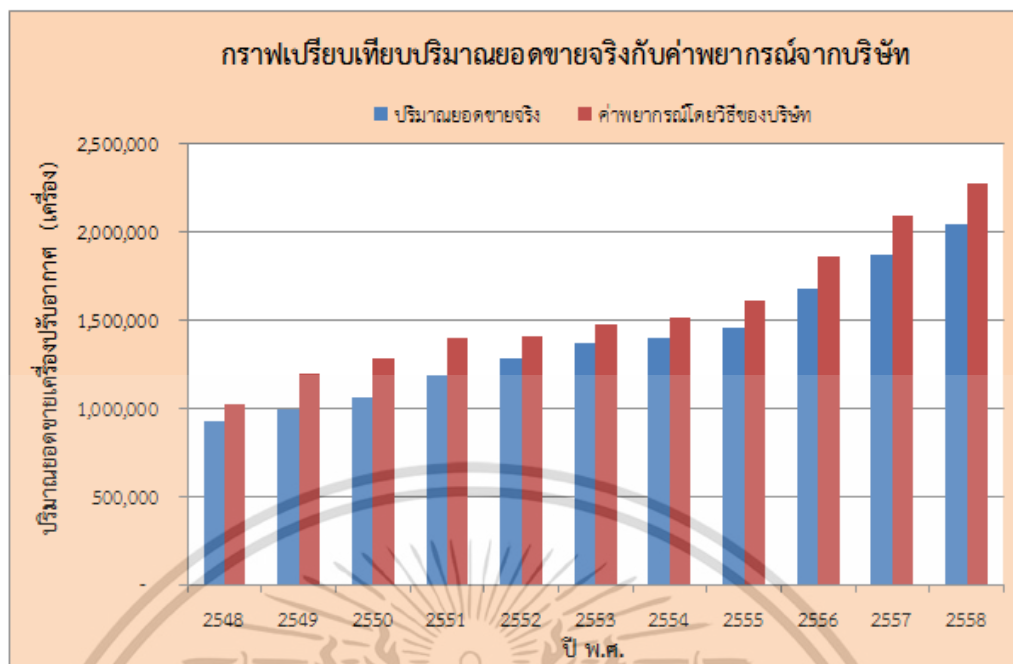
1. การสำรวจสภาพการทำงานปัจจุบันก่อนทำการวิจัย
2. เก็บรวบรวมข้อมูล
3. เลือกรุ่นของเครื่องปรับอากาศสำหรับการพยากรณ์
4. การสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม
5. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพยากรณ์
6. การประยุกต์ใช้ตัวแบบพยากรณ์

รายละเอียดของแต่ละขั้นตอน มีดังนี้

3.1 การสำรวจสภาพการทำงานปัจจุบันก่อนทำการวิจัย

ปัจจุบันข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศในภาพรวมของตลาด ทำการเก็บข้อมูลและทำการสรุปโดยวิจาร์ณญาณของผู้บริหารและฝ่ายการขายของบริษัท ซึ่งจะไม่ได้ใช้เครื่องมือทางสถิติในการคำนวณ แต่จะใช้วิธีการคาดการณ์อัตราการเติบโตของตลาดในปีถัดไป โดยใช้วิธีสำรวจหาข้อมูลจากผู้ขาย (Dealer) ต่างๆ แล้วนำตัวเลขมารวมกัน โดยแยกโซนเป็นประเทศและทวีป แต่เนื่องจากในแต่ละประเทศและทวีป มีสภาพอากาศและความนิยมในตัวผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ทำให้มีผลต่อปริมาณความต้องการที่แตกต่าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษารูปแบบแนวโน้มยอดขาย โดยพิจารณาข้อมูลย้อนหลังในช่วง 11 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2548 ถึง พ.ศ. 2558 พบว่าปริมาณยอดขายมีลักษณะเพิ่มขึ้นทุกปี ทำให้การพยากรณ์ปริมาณยอดขายโดยวิธีของบริษัทก็จะเพิ่มสูงขึ้นทุกปีเช่นกัน ดังรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าค่าการพยากรณ์ปริมาณยอดขายโดยวิธีของบริษัทมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณยอดขายจริง แต่จะเห็นว่ายังมีค่าความคลาดเคลื่อนจากยอดขายจริงค่อนข้างสูง ซึ่งในแต่ละเดือนจะมีการปรับแผนการผลิตรายเดือน (Monthly Plan) ประมาณ 3-4 ฉบับ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการจริงตามการสั่งซื้อ และในการเปลี่ยนแปลงแต่ละครั้งจะส่งผลกระทบต่อเตรียมแผนงานของฝ่ายการผลิตที่ไม่สามารถเตรียมแผนรองรับและปรับแผนการผลิตให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงได้ ทำให้ต้องผลิตสินค้าที่เกินความต้องการ ส่งผลให้บริษัทต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บสินค้าคงคลังที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



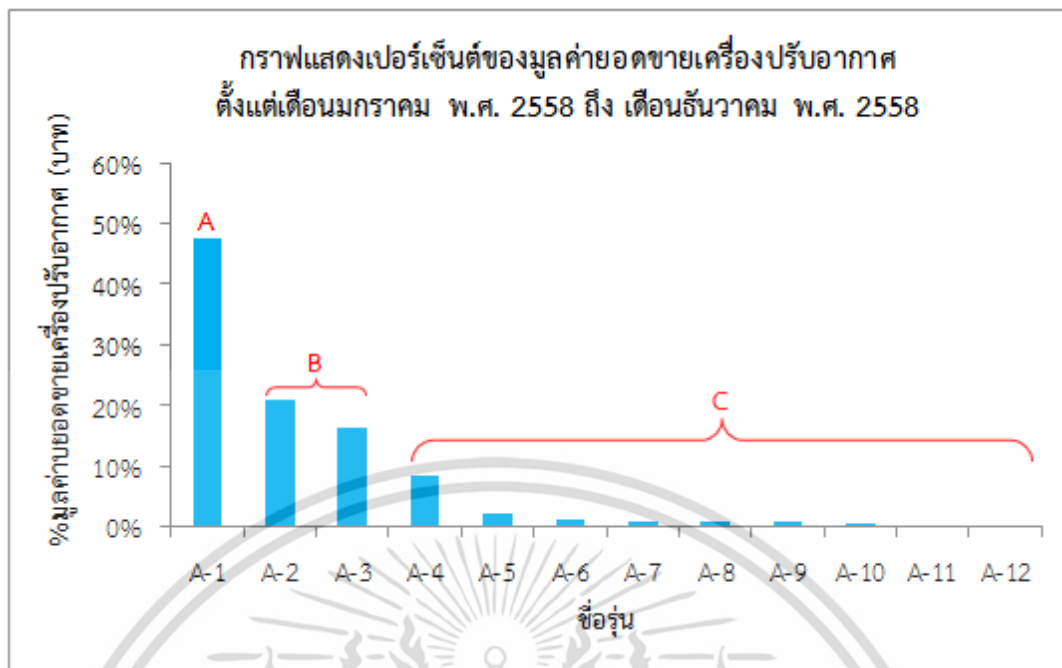
รูปที่ 3.1 กราฟเปรียบเทียบปริมาณยอดขายจริงกับค่าพยากรณ์โดยวิธีของบริษัท
ปี พ.ศ. 2548 ถึง พ.ศ.2558

3.2 เก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในการทำวิจัยเป็นข้อมูลทุติยภูมิจากบริษัทกรณีศึกษา เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีการผลิตและจำหน่ายเครื่องปรับอากาศทั้งหมดจำนวน 12 รุ่น ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะเลือกเฉพาะบางรุ่นมาทำการพยากรณ์ โดยเลือกพิจารณาจากข้อมูลมูลค่ายอดขายเครื่องปรับอากาศ (บาท) ในปี พ.ศ. 2558 ด้วยวิธี ABC Analysis เป็นข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 รวม 12 เดือน โดยจะเลือกรุ่นที่มีมูลค่ายอดขายเครื่องปรับอากาศอันดับต้นๆมาทำการพยากรณ์ เมื่อเลือกรุ่นสำหรับการพยากรณ์ในงานวิจัยนี้แล้ว จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง) สำหรับรุ่นที่เลือกนั้น ซึ่งเป็นข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 รวม 132 เดือน

3.3 เลือกุ่นของเครื่องปรับอากาศสำหรับทำการพยากรณ์

ใช้วิธี ABC Analysis ในการเลือกรุ่นการพยากรณ์ ซึ่งพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์มูลค่ายอดขายเครื่องปรับอากาศ ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 โดยจะเลือกรุ่นที่มีเปอร์เซ็นต์มูลค่ายอดขายเครื่องปรับอากาศอยู่ในกลุ่ม A และ B จากรูปที่ 3.2 พบว่ารุ่นของเครื่องปรับอากาศที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการพยากรณ์มีจำนวน 3 รุ่น คือ รุ่น A-1 A-2 และ A-3 มีเปอร์เซ็นต์ของมูลค่ายอดขาย 47.62%, 20.86% และ 16.28% ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์มูลค่ายอดขายรวม 84.76% ซึ่งครอบคลุมมูลค่ายอดขายเครื่องปรับอากาศโดยรวมของทั้งบริษัท ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 รุ่นดังกล่าว มาทำการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเอกสารนี้ เครื่องปรับอากาศในงานวิจัยนี้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงการเลือกรุ่นเครื่องปรับอากาศสำหรับการพยากรณ์

นำข้อมูลปริมาณยอดขายของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 A-2 และ A-3 จำนวน 132 ค่า มาแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยข้อมูลชุดที่ 1 จำนวน 120 ค่า ใช้สำหรับหาตัวแบบพยากรณ์ และข้อมูลชุดที่ 2 จำนวน 12 ค่า ใช้สำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์

3.4 การสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม

หาตัวแบบที่เหมาะสมของแต่ละวิธี ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

3.4.1 การสร้างตัวแบบด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2010 ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- 1) นำข้อมูลชุดที่ 1 ไปสร้างสมการแนวโน้มและคำนวณหาฤดูกาล โดยผู้วิจัยใช้โปรแกรม Minitab 16 ช่วยในหาค่าเพื่อกำหนดค่าเริ่มต้นของ $T_t(t)$, $\beta_1(t)$ และ $S_i(t)$ ทั้งการพยากรณ์รูปแบบบวกและรูปแบบคูณ ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนด $s = 12$
- 2) ใช้โมดูล Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel 2010 ในการปรับค่าพารามิเตอร์ α , γ และ δ ที่เหมาะสม ทำให้สมการพยากรณ์มีค่า RMSE ต่ำที่สุด
- 3) ทำการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบโดยตรวจสอบคุณลักษณะของค่าความคลาดเคลื่อนจากการพิจารณากราฟ ACF
- 4) เลือกตัวแบบที่มีค่า RMSE ต่ำที่สุดและผ่านข้อกำหนดของการตรวจสอบคุณลักษณะของค่าความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแบบที่เหมาะสมจากการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การสร้างตัวแบบด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

ใช้โปรแกรม Minitab 16 ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1) นำข้อมูลชุดที่ 1 มาสร้างกราฟเพื่อดูลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูล จะต้องพิจารณาว่าอนุกรมเวลานั้นมีคุณสมบัติเป็นข้อมูลที่มีความคงที่หรือไม่ หากพบว่าไม่มีความคงที่ที่ต้องแปลงอนุกรมเวลาใหม่ให้มีความคงที่ก่อน

2) กำหนดตัวแบบให้กับอนุกรมเวลาแต่ละชุด โดยงานวิจัยนี้เลือกกำหนดตัวแบบ $ARIMA(p, d, q) \times SARIMA(P, D, Q)_s$ โดยพิจารณาจากคอเรลโรแกรมของ ACF (r_k) และ PACF (r_{kk})

3) ประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ในการคำนวณจะทำงานกว่าจะได้ตัวประมาณที่ได้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และทดสอบว่าพารามิเตอร์เหมาะสมกับ ตัวแบบที่กำหนดในข้อ 2 หรือไม่ หากไม่เหมาะสมจะไปดำเนินการในขั้นตอนที่ 2 ใหม่

4) ตรวจสอบว่าตัวแบบที่กำหนดมีความเหมาะสมหรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟ ACF ของค่าความคลาดเคลื่อน หากพบว่าตัวแบบไม่เหมาะสม ให้พิจารณาปรับปรุงหรือกำหนดตัวแบบใหม่ให้กับอนุกรมเวลา ประมาณค่าพารามิเตอร์ และตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ โดยจะกระทำวนซ้ำเช่นนี้จนกว่าจะได้ตัวแบบที่เหมาะสม

5) พิจารณาเลือกตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งหากมีตัวแบบที่เหมาะสมหลายตัวแบบ จะใช้เกณฑ์การเลือกตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยเลือกตัวแบบที่ให้ค่า AIC ต่ำสุด เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

3.4.3 การสร้างตัวแบบด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ใช้โปรแกรม Weka 3.7.9 ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1) นำข้อมูลชุดที่ 1 มาแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 คือ ชุดการเรียนรู้ (Training set) นำมาใช้ฝึกสอนโครงข่ายเพื่อสร้างตัวแบบโดยใช้ข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชุดที่ 2 คือ ชุดการทดสอบ (Testing set) ใช้สำหรับยืนยันความถูกต้องของโครงข่ายที่ได้รับการฝึกสอน เพื่อช่วยเพิ่มความมั่นใจในการนำโครงข่ายไปใช้ในการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูล 20 เปอร์เซ็นต์ และส่วนข้อมูลชุดที่ 3 คือ ชุดการทวนสอบ (Validation set) ใช้สำหรับพยากรณ์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายโดยใช้ข้อมูล 10 เปอร์เซ็นต์

โดยข้อมูลจะเป็นลักษณะขยับข้อมูลปริมาณยอดขายไปที่ละเดือนจนครบจำนวนข้อมูลแต่ละชุด ซึ่งจะได้ข้อมูลทั้งหมด 107 ลำดับ โดยสัดส่วนการแบ่งจำนวนข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนจำนวนข้อมูลของชุดการเรียนรู้ ชุดการทดสอบและชุดทวนสอบ

ชุดข้อมูล	ลำดับข้อมูล	จำนวนข้อมูล	สัดส่วนข้อมูล
ชุดการเรียนรู้	75	1050	70%
ชุดการทดสอบ	20	280	20%
ชุดการทวนสอบ	12	168	10%
รวม	107	1498	100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กำหนดโครงข่ายประสาทเทียม โดยเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron)

3) พิจารณาโหนดชั้นอินพุตและโหนดชั้นเอาต์พุต ในงานวิจัยนี้กำหนดตัวแปรในชั้นอินพุตเท่ากับจำนวนที่แสดงให้เห็นแนวโน้มและฤดูกาลในข้อมูล คือ จำนวน 13 โหนด และกำหนดตัวแปรในชั้นเอาต์พุต เท่ากับ 1 โหนด

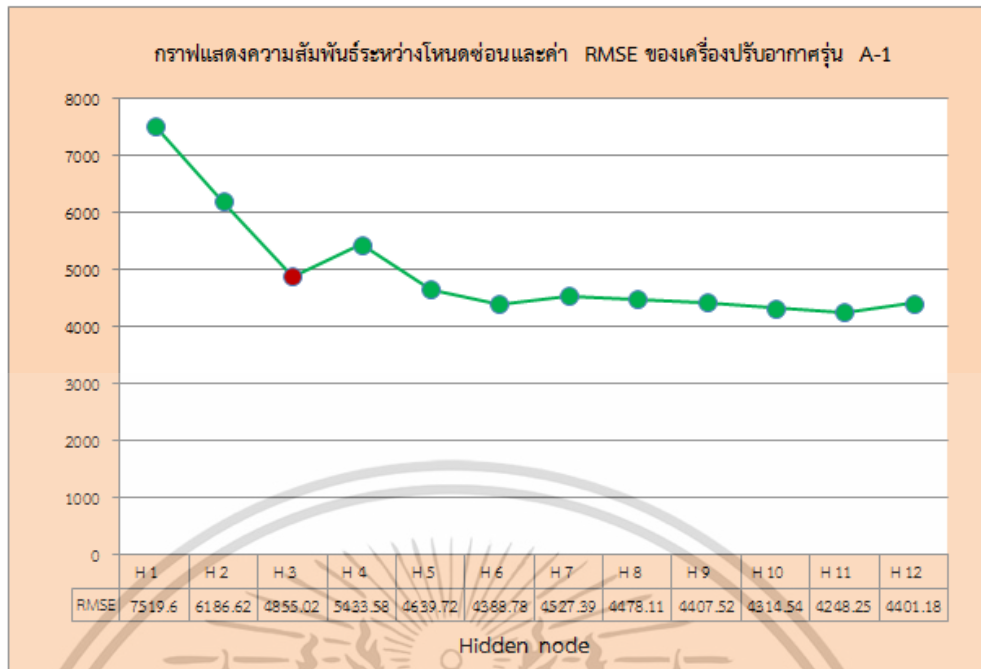
4) พิจารณาจำนวนโหนดซ่อน เนื่องจากยังไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนในการกำหนดจำนวนโหนดซ่อน การวิจัยที่ผ่านมา นักวิจัยกำหนดจำนวนชั้นซ่อนและโหนดซ่อนตามความเหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปมีหลักการ คือ จะเปลี่ยนจำนวนโหนดซ่อนไปเรื่อยๆ จนได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม ซึ่งมีหลักการกำหนดค่าโดยจะกำหนดจำนวนโหนดซ่อนไปเรื่อยๆ จนถึงค่า $n-1$ เมื่อ n คือ จำนวนโหนดอินพุต (Sathish, 2012) จากการกำหนดจำนวนโหนดอินพุตเท่ากับ 13 โหนด ดังนั้นจึงสามารถทำการทดลองซ้ำๆ โดยกำหนดจำนวนโหนดซ่อนได้ตั้งแต่ 1-12 โหนด

ในงานวิจัยนี้จะนำข้อมูล 107 ลำดับ ไปรันข้อมูลในโปรแกรมโดยจะทดลองปรับค่าโหนดซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยพารามิเตอร์อัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.01 ค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.3 และจำนวนรอบการเรียนรู้เท่ากับ 5,000 รอบ โดยเริ่มจาก 1 โหนด ถึง 12 โหนด ซึ่งผลลัพธ์การทดลองปรับค่าโหนดซ่อนของปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 A-2 และ A-3 แสดงดังตารางที่ 3.2

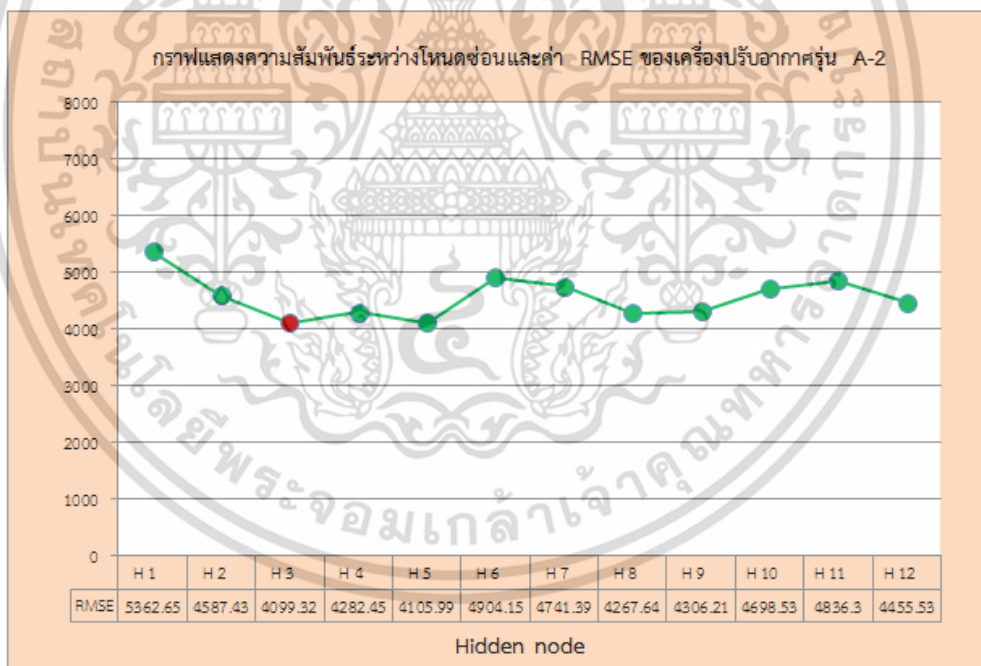
ตารางที่ 3.2 ค่า RMSE ของการปรับค่าโหนดซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียม

จำนวนโหนดซ่อน (Hidden node)	ค่า RMSE		
	รุ่น A-1	รุ่น A-2	รุ่น A-3
H1	7,519.6049	5,362.6535	4,537.1604
H2	6,186.6207	4,587.4293	3,827.9236
H3	4,855.0192	4,099.3174	2,775.2080
H4	5,433.5780	4,282.4510	2,467.4812
H5	4,639.7200	4,105.9858	2,502.2769
H6	4,388.7820	4,904.1540	2,539.8623
H7	4,527.3903	4,741.3905	2,873.9348
H8	4,478.1078	4,267.6436	2,709.3089
H9	4,407.5203	4,306.2116	2,610.5484
H10	4,314.5411	4,698.5321	2,996.9510
H11	4,248.2504	4,836.2962	2,665.7327
H12	4,401.1772	4,455.5265	2,960.2324

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

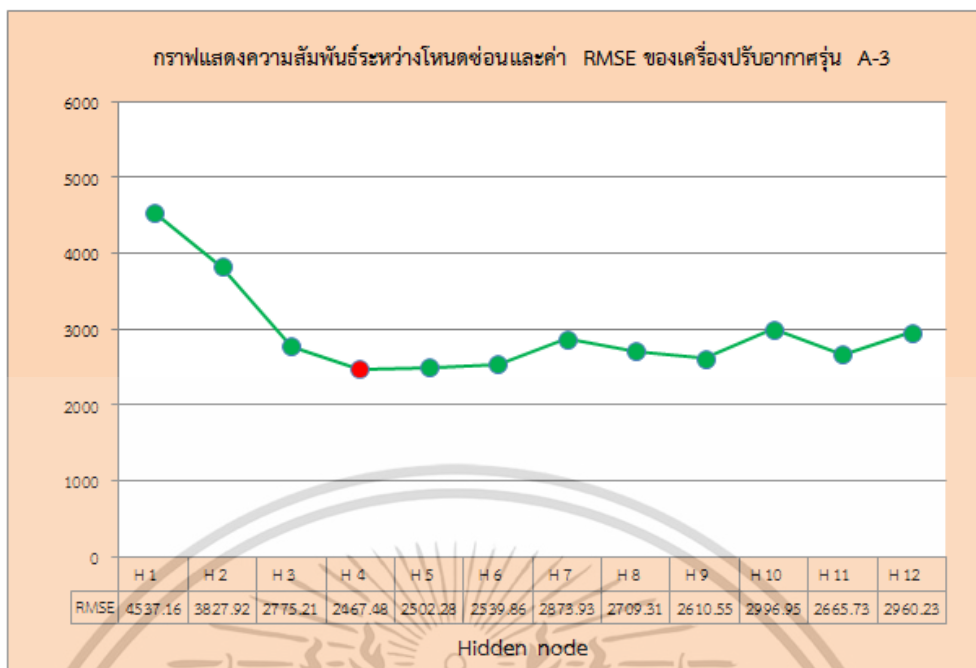


รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหนดซ่อนและค่า RMSE ของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหนดซ่อนและค่า RMSE ของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-2

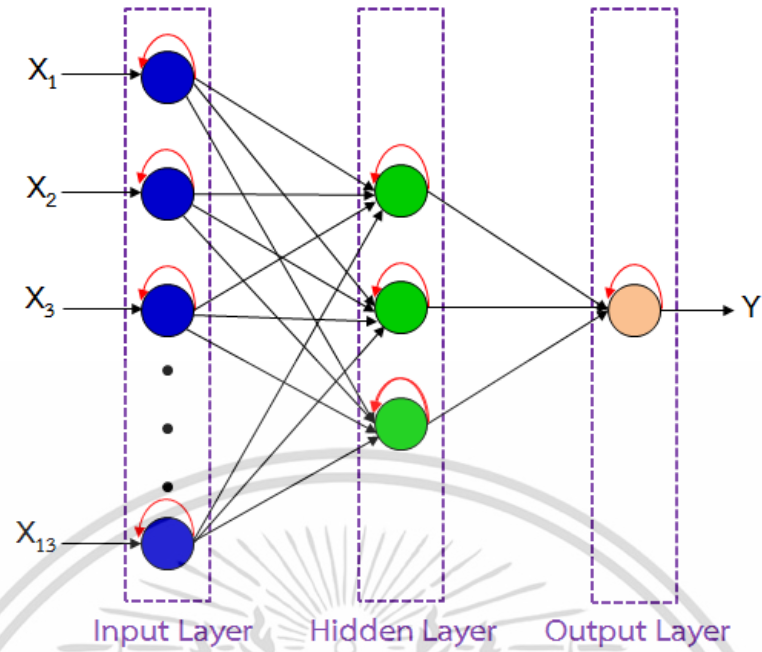
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



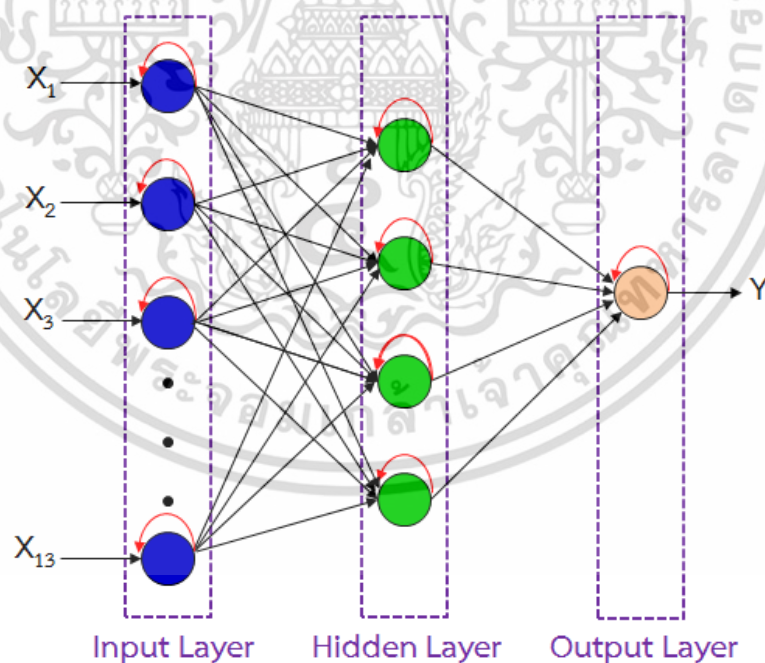
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหนดซ่อนและค่า RMSE ของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3

จากผลทดลองปรับค่าโหนดซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียมของเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 รุ่น ดังแสดงในรูปที่ 3.3 รูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าผลการทดลองของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 มีค่า RMSE ลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดซ่อนไปจนถึง 3 โหนด หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นวัฏจักร และเมื่อพิจารณาโหนดซ่อนที่ 11 จะมีค่า RMSE ที่ต่ำที่สุด สำหรับผลการทดลองของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-2 จะมีค่า RMSE ลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดซ่อนไปจนถึง 3 โหนด หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นวัฏจักรเช่นกัน แต่โหนดซ่อนที่ 3 จะเป็นโหนดซ่อนที่มีค่า RMSE ที่ต่ำที่สุดแล้ว ส่วนผลการทดลองของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 มีค่า RMSE ลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดซ่อนไปจนถึง 4 โหนด หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นวัฏจักร และเมื่อพิจารณาโหนดซ่อนที่ 4 จะมีค่า RMSE ที่ต่ำที่สุดแล้ว ซึ่งงานวิจัยนี้จะไม่เลือกโหนดซ่อนที่ให้ค่าผิดพลาดต่ำที่สุด เนื่องจากอาจทำให้เกิดปัญหา Over fitting คือ เหตุการณ์ที่โครงข่ายประสาทเทียมมีกระบวนการเรียนรู้ข้อมูลได้ดีเกินไป แต่มีข้อผิดพลาดอย่างมากในระหว่างกระบวนการทดสอบ (Satis, 2012) ดังนั้นจะพิจารณาเลือกโหนดซ่อนที่มีค่าผิดพลาดต่ำที่สุดในวัฏจักรแรกเนื่องจากเพื่อป้องกันการเกิดปัญหา Over fitting เมื่อเลือกโหนดซ่อนมากเกินไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเลือกกำหนดค่าโหนดซ่อนสำหรับเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 และ A-2 เท่ากับ 3 โหนด ส่วนเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 เลือกกำหนดค่าโหนดซ่อนเท่ากับ 4 โหนด

ดังนั้นโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโหนดอินพุต โหนดซ่อน และโหนดเอาต์พุตของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 และ A-2 กำหนดตัวแบบเป็น 13-3-1 แสดงดังรูปที่ 3.6 ส่วนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 กำหนดตัวแบบเป็น 13-4-1 แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับพยากรณ์ปริมาณยอดขาย
เครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 และ A-2



รูปที่ 3.7 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับพยากรณ์ปริมาณยอดขาย
เครื่องปรับอากาศรุ่น A-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) กำหนดค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากโครงสร้างของโครงข่ายต้องการปรับค่าพารามิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย อัตราการเรียนรู้ (Learning rate : η) ค่าโมเมนตัม (Momentum : α) จำนวนรอบการเรียนรู้ และฟังก์ชันการกระตุ้น

ค่าอัตราการเรียนรู้ เป็นค่าที่ควบคุมความคงตัวของค่าน้ำหนักเส้นเชื่อม และความเร็วในการปรับค่าน้ำหนักให้เข้าสู่ค่าที่สมดุล มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้ากำหนดให้ค่าอัตราการเรียนรู้มีค่าสูงเกินไป คือ เข้าใกล้ 1 ค่าน้ำหนักจะแกว่งไปมา ทำให้ถึงจุดที่ค่าน้ำหนักสมดุลได้ยากหรืออาจไม่สามารถเข้าสู่ค่าสมดุลได้เลย แต่ถ้ากำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ที่มีค่าต่ำเกินไป คือ เข้าใกล้ 0 จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ที่ช้ามาก แต่สามารถปรับค่าน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดได้ (Martin. et al, 2014) สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยกำหนดให้ค่าอัตราการเรียนรู้ คือ 0.05, 0.03, 0.01, 0.005 และ 0.001

ค่าโมเมนตัม เป็นค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนักเส้นเชื่อม มีผลช่วยลดการแกว่งในการปรับแก้ค่าน้ำหนัก ค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยจะแสดงถึงสัดส่วนของค่าน้ำหนักครั้งก่อนที่นำมาใช้ในการปรับค่าน้ำหนักครั้งปัจจุบัน (Martin. et al, 2014) สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยกำหนดให้ค่าโมเมนตัม คือ 0.5, 0.4, 0.3, 0.2 และ 0.1

จำนวนรอบการเรียนรู้ คือ จำนวนครั้งที่ทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลชุดเดิม หากกำหนดให้จำนวนรอบในการเรียนรู้มีค่าสูงเกินไป ไม่ได้ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ได้มากขึ้น ควรประมาณจำนวนรอบการเรียนรู้ที่น้อยที่สุดที่จำเป็นสำหรับการแก้ปัญหาหนึ่งๆ ที่ทำให้โครงข่ายเกิดการเรียนรู้ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงข่าย (Kevin, 2004) สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยกำหนดให้จำนวนรอบการเรียนรู้ คือ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000

ฟังก์ชันการกระตุ้นที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ คือ ผู้วิจัยกำหนดให้มี 2 ฟังก์ชันซึ่งเป็นฟังก์ชันที่อยู่ในโปรแกรม Weka 3.7.9 คือ ฟังก์ชันซิกมอยด์ซึ่งใช้กับการคำนวณในชั้นซ่อน และฟังก์ชันเชิงเส้นซึ่งใช้กับการคำนวณในชั้นเอาต์พุต

6) สร้างตัวแบบพยากรณ์ของโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลชุดการเรียนรู้ปรับค่าพารามิเตอร์ตามที่กำหนด เพื่อหาตัวแบบของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม

7) พิจารณาคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่า RMSE ต่ำที่สุดจากการฝึกสอนด้วยข้อมูลชุดการเรียนรู้ จากนั้นนำตัวแบบที่ได้รับคัดเลือกไปทำการทดสอบด้วยข้อมูลชุดทดสอบ

3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีปรับให้เรียบ เอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยจะพิจารณาเลือกตัวแบบที่เหมาะสมจากการหาตัวแบบด้วยข้อมูลชุดที่ 1 (ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558) ซึ่งจะเลือกตัวแบบที่ให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ต่ำที่สุด จากนั้นตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ที่เลือกด้วยข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณยอดขาย 12 เดือน (ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559) เพื่อพิจารณาว่าค่าพยากรณ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าจริงมากน้อยเพียงใด โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การประยุกต์ใช้ตัวแบบพยากรณ์

นำตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดไปทำการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศล่วงหน้า 12 เดือน (เดือนเมษายน พ.ศ. 2559 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2560) ซึ่งแบ่งการพิจารณาเป็น 2 ช่วง (ช่วงที่ 1 คือ เดือนเมษายน พ.ศ. 2559 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2559 และ ช่วงที่ 2 คือ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560) โดยเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ระหว่างค่าจริง ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีเดิมของบริษัท และค่าที่ได้รับจากวิธีของงานวิจัย ทำให้ทราบค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ เพื่อให้บริษัทนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับวางแผนการผลิตและลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าคงคลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัยในบทนี้จะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ และการประยุกต์ใช้ตัวแบบพยากรณ์ในส่วนที่ 1 โดยข้อมูลชุดที่ 1 ใช้สำหรับหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขาย เครื่องปรับอากาศทั้ง 3 รุ่น โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ (Holt and Winters Exponential Smoothing Method) วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ และข้อมูลชุดที่ 3 สำหรับการประยุกต์ใช้ตัวแบบพยากรณ์

4.1 ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์

4.1.1 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

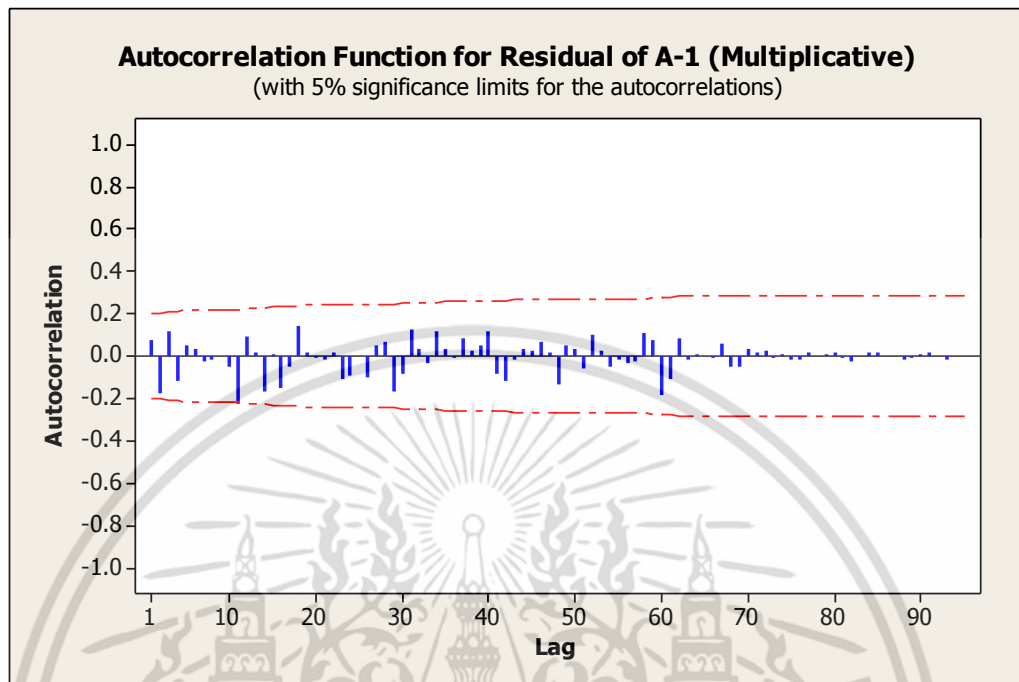
จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าประมาณพารามิเตอร์และค่า RMSE ของการพยากรณ์ด้วยข้อมูลชุดที่ 1 สำหรับวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ของเครื่องปรับอากาศแต่ละรุ่น โดยผู้วิจัยจะเลือกตัวแบบที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด ส่วนผลลัพธ์ของการพยากรณ์แต่ละขั้นตอนสามารถดูได้ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.1 ค่าประมาณพารามิเตอร์และค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

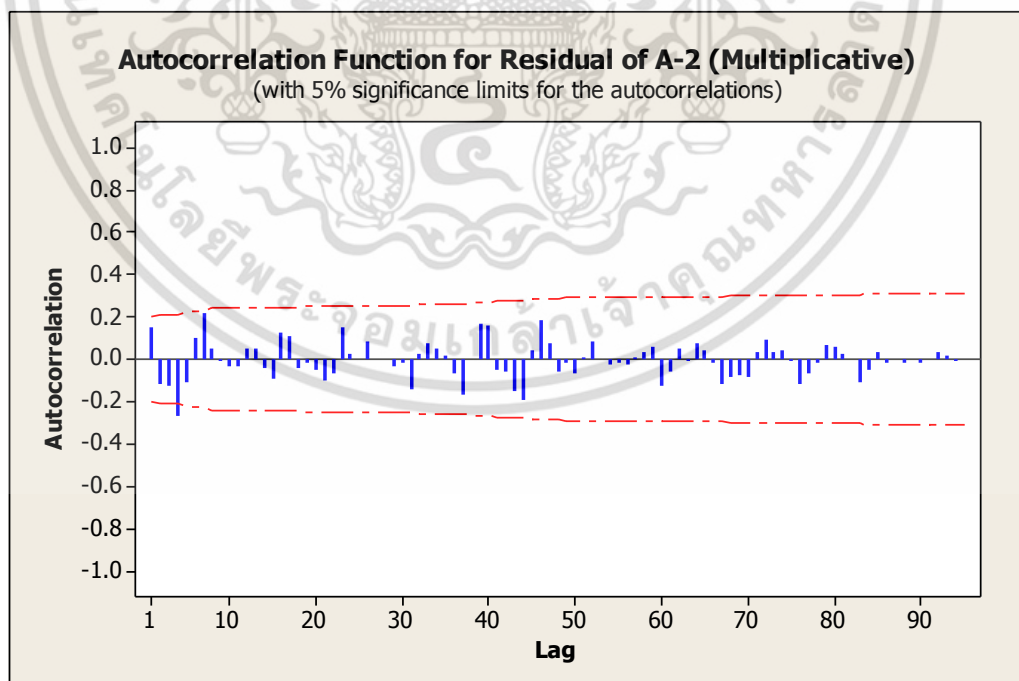
รุ่น	รูปแบบการพยากรณ์	α	γ	δ	RMSE
A-1	แบบบวก	0.7316	0.0000	0.0000	8,030.5586
	แบบคูณ	0.6894	0.0000	0.0000	7,783.0688
A-2	แบบบวก	0.2117	0.0000	0.6199	6,327.3085
	แบบคูณ	0.5375	0.0000	0.0487	5,093.5774
A-3	แบบบวก	0.3220	0.0000	0.0000	4,252.7092
	แบบคูณ	0.5685	0.0000	0.0029	4,833.6774

จากนั้นเมื่อนำตัวแบบที่เลือกไปพิจารณากราฟ ACF แสดงดังรูปที่ 4.1 รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 พบว่ากราฟ ACF ของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 และ A-3 มีค่าความคลาดเคลื่อนทุก lag ไม่เกินช่วงที่กำหนด จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังนั้นแสดงว่าตัวแบบพยากรณ์ที่เลือกมีความเหมาะสม แต่กราฟ ACF ของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-2 มีค่าความ

คลาดเคลื่อนใน lag ที่ 4 ออกนอกช่วงที่กำหนด จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวไม่เป็นอิสระกัน แสดงว่าตัวแบบที่เลือกยังไม่มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์

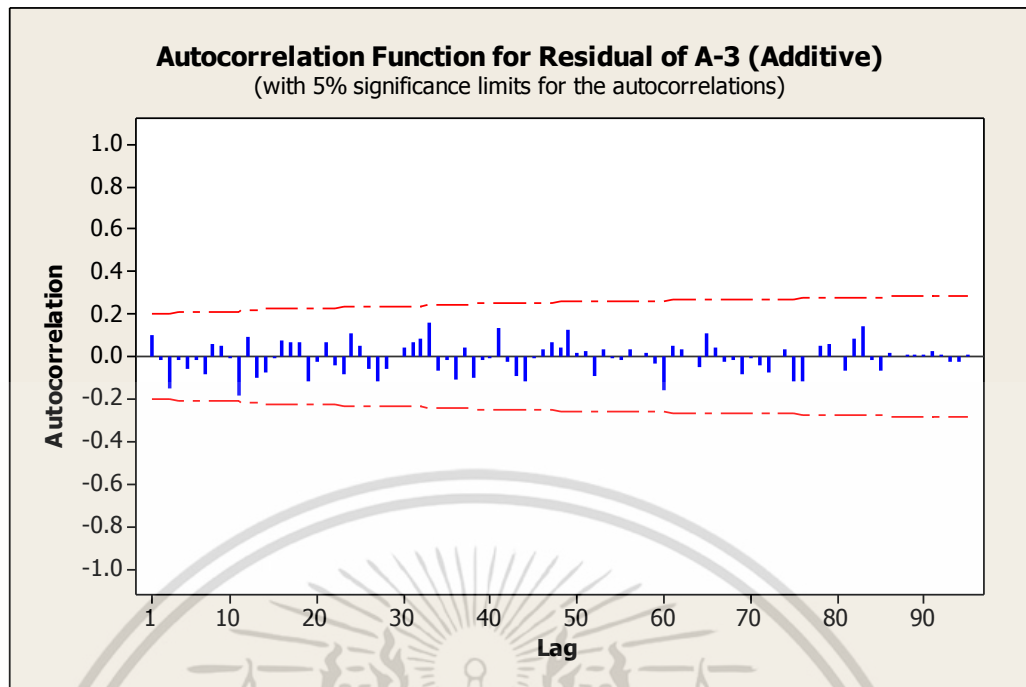


รูปที่ 4.1 กราฟ ACF ของค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 โดยการพยากรณ์วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์



รูปที่ 4.2 กราฟ ACF ของค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 โดยการพยากรณ์วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

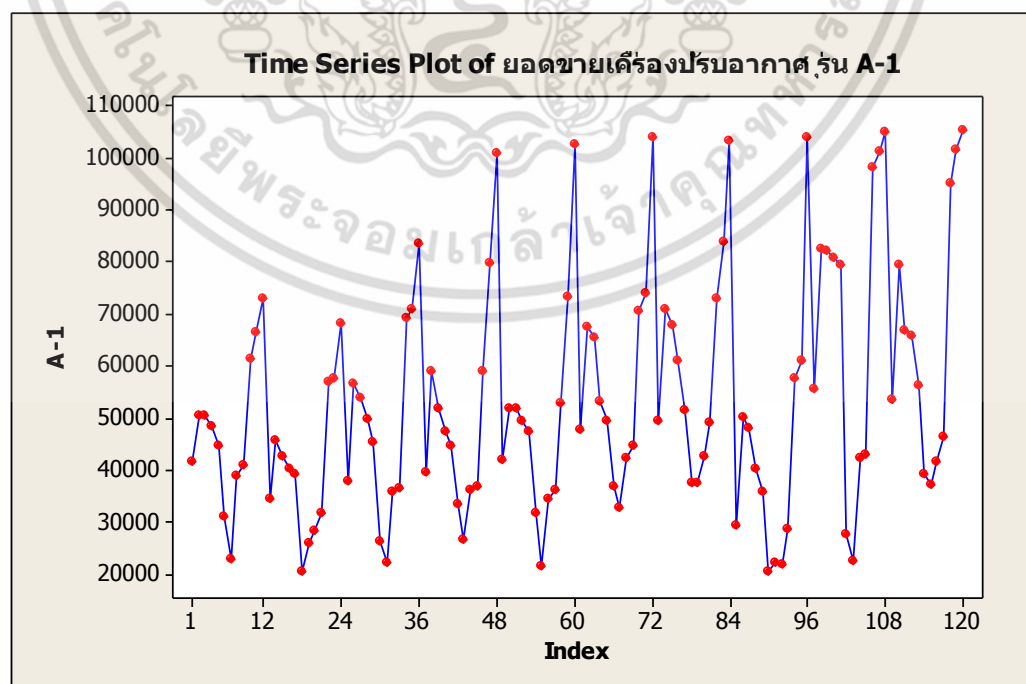
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



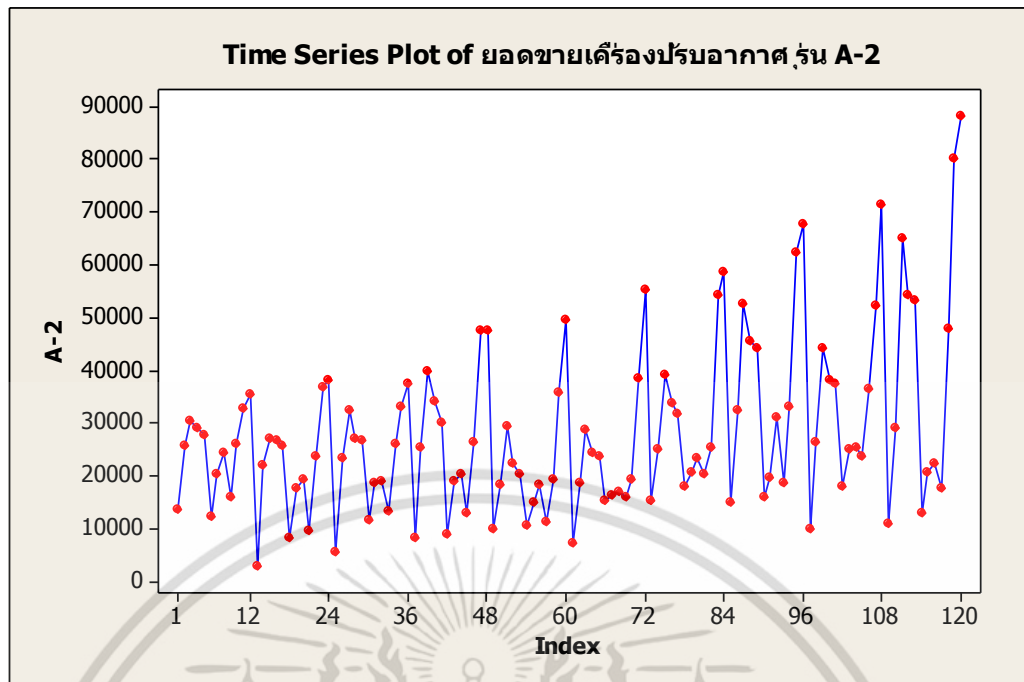
รูปที่ 4.3 กราฟ ACF ของค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 โดยการพยากรณ์วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

4.1.2 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

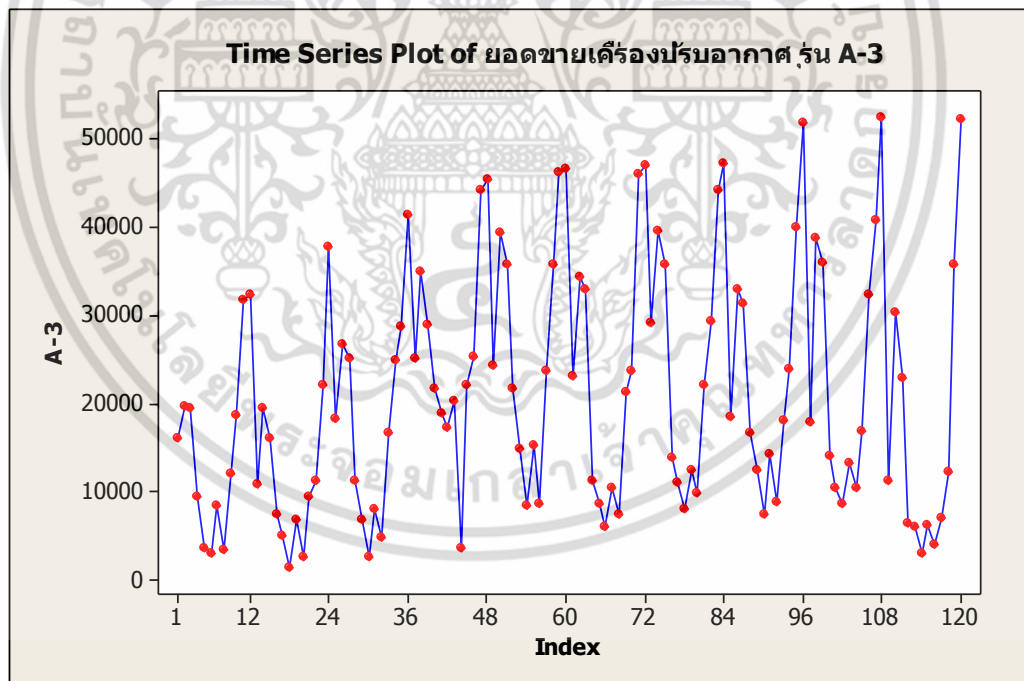
เมื่อพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 รุ่น โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เมษายน 2548 ถึง เดือนมีนาคม 2558 รวมทั้งสิ้น 120 เดือน สามารถแสดงได้ดัง รูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ผู้ใช้ต้องปฏิบัติตามการคุ้มครองทางกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ไม่อย่างนั้น อาจต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



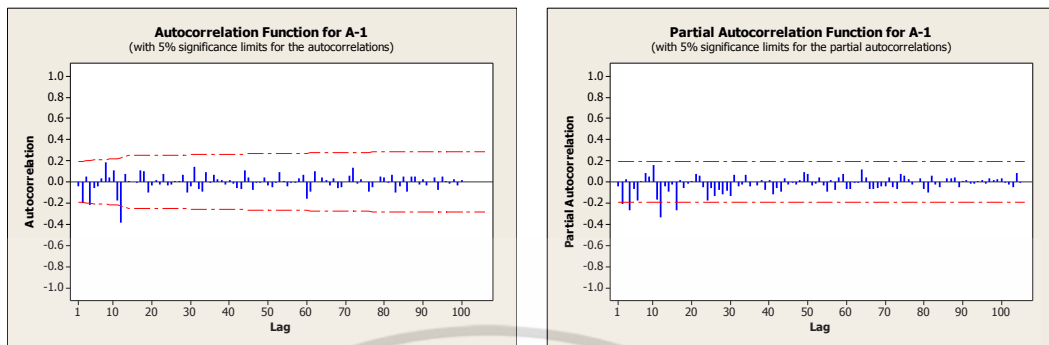
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-2



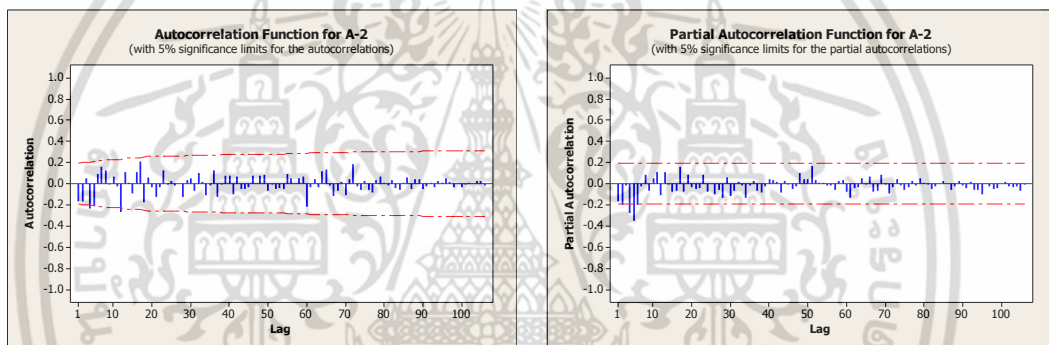
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3

จากการพิจารณารูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 พบว่าอนุกรมเวลายังไม่มีความคงที่ เนื่องจากมีส่วนของแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาลมาเกี่ยวข้อง ซึ่งระยะห่างเวลาตามความยาวฤดูกาล คือ 12 หน่วย ดังนั้นจึงต้องแปลงอนุกรมเวลาให้มีความคงที่ด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

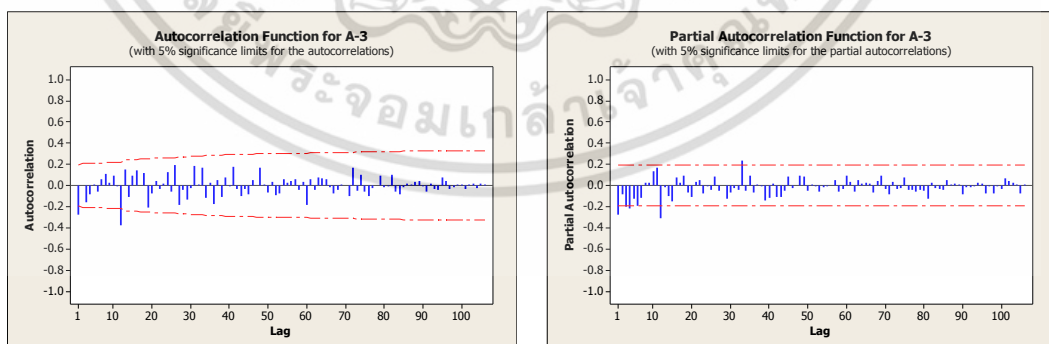
($d = 1$) และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1 ($D = 1$) เพื่อให้อนุกรมเวลามีความคงที่ แสดงดังรูปที่ 4.7 ถึง รูปที่ 4.9



รูปที่ 4.7 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 เมื่อแปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1



รูปที่ 4.8 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 เมื่อแปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1



รูปที่ 4.9 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 เมื่อแปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1

เมื่อหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลของอนุกรมเวลาแล้ว จะพบว่าอนุกรมเวลามีความคงที่ ผู้วิจัยจึงกำหนดตัวแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 คือ $ARIMA(0,1,2) \times SARIMA(2,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ ส่วนตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศรุ่น A-2 คือ $ARIMA(5,1,0) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ และตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 คือ $ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ เนื่องจากมีค่า AIC ที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.2 ตัวแบบที่เป็นไปได้สำหรับการพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

รุ่น	ตัวแบบพยากรณ์	พจน์ค่าคงที่	DF	p	RMSE	AIC
A-1	$ARIMA(0,1,2) \times SARIMA(2,1,2)_{12}$	ไม่มี	101	19	7,027.8376	2,143.1477
A-2	$ARIMA(0,1,2) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$	มี	103	17	5,491.9763	2,082.3189
	$ARIMA(0,1,2) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$	ไม่มี	104	16	5,602.8462	2,086.2751
	$ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(1,1,0)_{12}$	มี	103	17	5,567.7047	2,085.6056
	$ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(1,1,0)_{12}$	ไม่มี	104	16	5,611.6567	2,086.6522
	$ARIMA(5,1,0) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$	ไม่มี	101	19	5,481.5986	2,083.5119
	$ARIMA(5,1,0) \times SARIMA(1,1,0)_{12}$	ไม่มี	101	19	5,484.9344	2,083.6580
	$ARIMA(5,1,0) \times SARIMA(1,2,1)_{12}$	ไม่มี	88	32	5,674.3334	2,101.2714
A-3	$ARIMA(1,0,0) \times SARIMA(1,2,1)_{12}$	มี	92	28	4,468.7081	2,041.2807
	$ARIMA(1,0,0) \times SARIMA(1,2,1)_{12}$	ไม่มี	93	27	4,704.0933	2,052.8981
	$ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$	ไม่มี	104	16	4,364.7990	2,026.3465
	$ARIMA(1,1,0) \times SARIMA(1,1,0)_{12}$	ไม่มี	105	15	4,572.7315	2,036.6641
	$ARIMA(0,1,1) \times SARIMA(1,1,0)_{12}$	ไม่มี	105	15	4,430.2274	2,029.0657
	$ARIMA(3,1,0) \times SARIMA(1,1,0)_{12}$	ไม่มี	103	17	4,440.1269	2,031.2936
	$ARIMA(4,1,1) \times SARIMA(1,1,0)_{12}$	ไม่มี	101	19	4,484.1868	2,035.3104
	$ARIMA(0,1,1) \times SARIMA(1,2,1)_{12}$	ไม่มี	92	28	4,687.5592	2,052.7558
	$ARIMA(2,1,1) \times SARIMA(1,2,1)_{12}$	ไม่มี	90	30	4,799.8689	2,059.8007

จากนั้นนำตัวแบบพยากรณ์ที่เลือกสำหรับเครื่องปรับอากาศแต่ละรุ่นไปทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์พารามิเตอร์ทุกตัวจะมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 และเมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของค่าความคลาดเคลื่อนจากกราฟ ACF ดังรูปที่ 4.10 ถึง รูปที่ 4.12 ซึ่งค่าของทุก lag สามารถดูได้ในภาคผนวก ข จะพบว่าค่าทุก lag อยู่ในช่วงที่กำหนด จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Ljung Box Q มี p-value > 0.05) ดังนั้นแสดงว่าตัวแบบพยากรณ์ที่เลือกมีความเหมาะสม

ตารางที่ 4.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบสมมติฐานของอนุกรมเวลายอดขาย
เครื่องปรับอากาศรุ่น A-1

Final Estimates of Parameters					
Type		Coef	SE Coef	T	P
SAR	12	-1.0135	0.0470	-21.55	0.000
SAR	24	-0.9847	0.0503	-19.58	0.000
MA	1	0.1644	0.0784	2.10	0.038
MA	2	0.6464	0.0778	8.31	0.000
SMA	12	-0.4887	0.1143	-4.28	0.000
SMA	24	-0.7544	0.1210	-6.23	0.000

Differencing: 1 regular, 1 seasonal of order 12
 Number of observations: Original series 120, after differencing 107
 Residuals: SS = 4988440739 (backforecasts excluded)
 MS = 49390502 DF = 101

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	11.5	20.9	28.4	33.8
DF	6	18	30	42
P-Value	0.075	0.287	0.547	0.812

ตารางที่ 4.4 การประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบสมมติฐานของอนุกรมเวลายอดขาย
เครื่องปรับอากาศรุ่น A-2

Final Estimates of Parameters					
Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	-0.3278	0.0936	-3.50	0.001
AR	2	-0.3454	0.0949	-3.64	0.000
AR	3	-0.2584	0.1040	-2.49	0.015
AR	4	-0.4577	0.1007	-4.54	0.000
AR	5	-0.3727	0.1017	-3.66	0.000
SMA	12	0.3189	0.1187	2.69	0.008

Differencing: 1 regular, 1 seasonal of order 12
 Number of observations: Original series 120, after differencing 107
 Residuals: SS = 3034840273 (backforecasts excluded)
 MS = 30047923 DF = 101

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	8.6	20.4	26.7	36.6
DF	6	18	30	42
P-Value	0.200	0.308	0.640	0.708

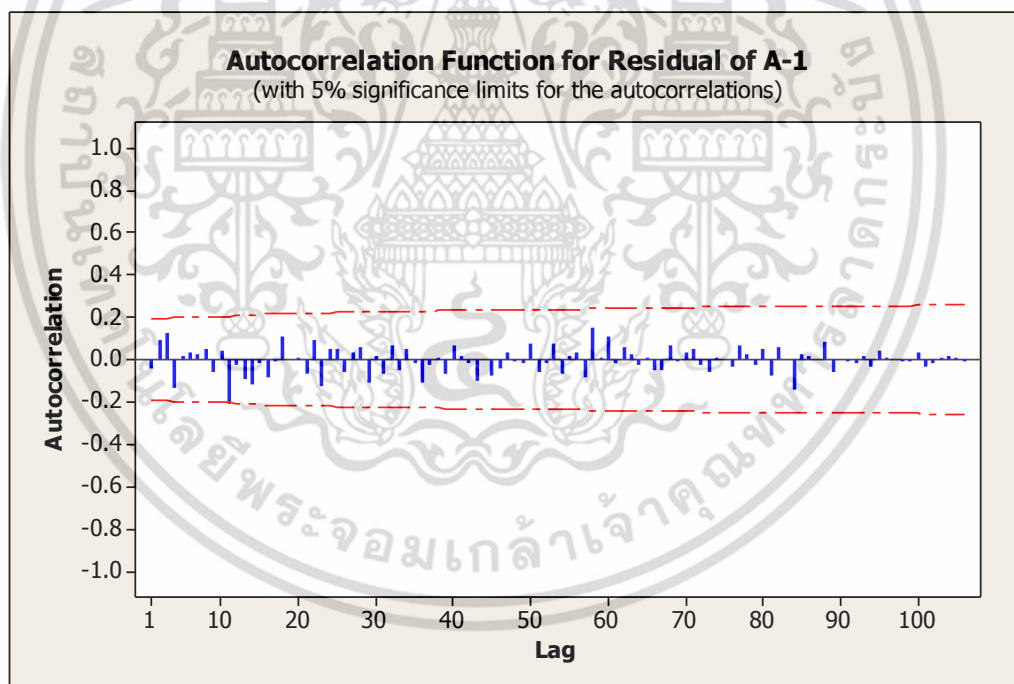
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบสมมติฐานของอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3

Final Estimates of Parameters					
Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0.3784	0.1360	2.78	0.006
MA	1	0.8510	0.0742	11.46	0.000
SMA	12	0.5879	0.1004	5.86	0.000

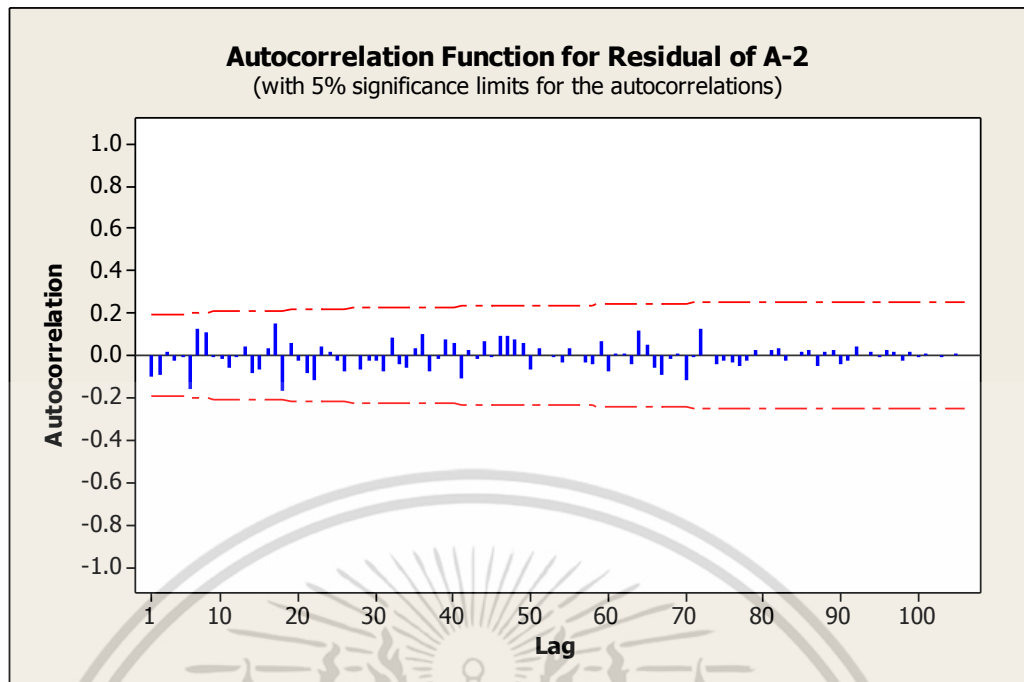
Differencing: 1 regular, 1 seasonal of order 12
 Number of observations: Original series 120, after differencing 107
 Residuals: SS = 1981352830 (backforecasts excluded)
 MS = 19051470 DF = 104

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	7.9	18.4	39.0	49.6
DF	9	21	33	45
P-Value	0.546	0.623	0.217	0.296

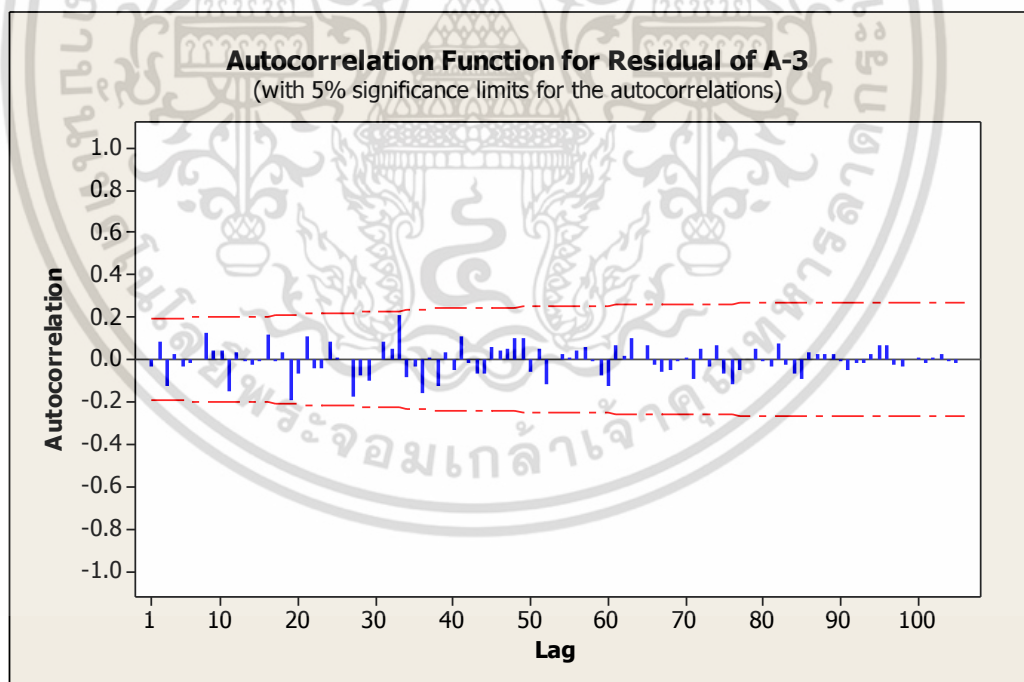


รูปที่ 4.10 กราฟ ACF ของค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 โดยการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟ ACF ของค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-2 โดยการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์



รูปที่ 4.12 กราฟ ACF ของค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับอนุกรมเวลายอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 โดยการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

การพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อหาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมได้ผลดังตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่า RMSE ของแต่ละชุดข้อมูลมีความใกล้เคียงกันหรือกล่าวได้ว่าไม่มีปัญหาการเข้ากันเกินไป (Over fitting) ดังนั้นจึงสามารถนำผลการวิเคราะห์นี้ไปเปรียบเทียบกับผลการพยากรณ์จากวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ได้ ซึ่งผลลัพธ์ของการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์สามารถดูได้ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.6 โครงข่ายประสาทเทียมและค่าวัดความถูกต้องของตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 A-2 และ A-3

โครงข่ายประสาทเทียม		รุ่น		
		A-1	A-2	A-3
โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์		13-3-1	13-3-1	13-4-1
อัตราการเรียนรู้		0.005	0.001	0.001
โมเมนตัม		0.1	0.5	0.4
จำนวนรอบการเรียนรู้		3,000	5,000	3,000
RMSE	ข้อมูลชุดเรียนรู้	7,679.6772	5,488.2444	5,475.3241
	ข้อมูลชุดทดสอบ	14,599.8589	7,953.8135	4,402.6234
	ข้อมูลชุดทวนสอบ	19,127.6008	10,462.3512	4,672.5315

4.1.4 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์เพื่อเลือกตัวแบบที่เหมาะสม

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของตัวแบบพยากรณ์ที่ได้จากการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี แสดงดังตารางที่ 4.7 ซึ่งผู้วิจัยจะเลือกตัวแบบพยากรณ์จากวิธีที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด เป็นวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุด พบว่าการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 ตัวแบบที่เหมาะสม คือ ตัวแบบจากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (RMSE = 7,027.8376) มีตัวแบบพยากรณ์ดังสมการที่ 4.1 สำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด แต่เนื่องจากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบแล้วพบว่าตัวแบบยังไม่มีความเหมาะสม จึงเลือกตัวแบบจากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่า RMSE รองลงมา (RMSE = 5,481.5986) มีตัวแบบพยากรณ์ดังสมการที่ 4.2 และสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 ตัวแบบที่เหมาะสม คือ ตัวแบบจากปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ (RMSE = 4,252.7092) มีตัวแบบพยากรณ์ดังสมการที่ 4.3

ตารางที่ 4.7 ค่า RMSE ของตัวแบบพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 A-2 และ A-3 โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1

รุ่น	RMSE		
	วิธีปรับให้เรียบ เอ็กซ์โพเนนเชียล แบบไฮลท์และวินเทอร์	วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	วิธีโครงข่ายประสาทเทียม
A-1	7,783.0688	7,027.8376	7,679.6772
A-2	5,093.5774	5,481.5986	5,488.2444
A-3	4,252.7092	4,364.7990	5,475.3241

ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1;

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & Y_{t-1} - 0.0135(Y_{t-12} - Y_{t-13}) + 0.0288(Y_{t-24} - Y_{t-25}) \\ & + 0.9847(Y_{t-36} - Y_{t-37}) - 0.1644e_{t-1} - 0.6464e_{t-2} + 0.4887e_{t-12} \\ & - 0.0803e_{t-13} - 0.3159e_{t-14} + 0.7544e_{t-24} - 0.1240e_{t-25} - 0.4876e_{t-26} \end{aligned} \quad (4.1)$$

เมื่อ \hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t
 Y_{t-j} คือ ค่าอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$
 e_{t-j} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$

ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2;

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & Y_{t-12} + 0.6722(Y_{t-1} - Y_{t-13}) - 0.0176(Y_{t-2} - Y_{t-14}) + 0.087(Y_{t-3} - Y_{t-15}) \\ & - 0.1993(Y_{t-4} - Y_{t-16}) + 0.085(Y_{t-5} - Y_{t-17}) + 0.3727(Y_{t-6} - Y_{t-18}) \\ & - 0.3189e_{t-12} \end{aligned} \quad (4.2)$$

เมื่อ \hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t
 Y_{t-j} คือ ค่าอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$
 e_{t-j} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$

ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3;

$$\hat{Y}_t(p) = (19698.3804 + 59.2p) + \hat{S}_i(t) \quad (4.3)$$

เมื่อ $\hat{Y}_t(p)$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t โดยที่ p เป็นจำนวนช่วงเวลาล่วงหน้า $p = 1, 2, \dots, 12$
 $\hat{S}_i(t)$ คือ ค่าประมาณของดัชนีฤดูกาล ณ เวลา t แสดงดังตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์

$\hat{S}_1(t) = -1,403.4201$	$\hat{S}_2(t) = 10,929.8715$	$\hat{S}_3(t) = 8,767.0799$
$\hat{S}_4(t) = -6,973.5868$	$\hat{S}_5(t) = -10,994.1285$	$\hat{S}_6(t) = -15,804.1285$
$\hat{S}_7(t) = -10,638.7535$	$\hat{S}_8(t) = -14,623.5868$	$\hat{S}_9(t) = -3,087.5451$
$\hat{S}_{10}(t) = 4,294.0799$	$\hat{S}_{11}(t) = 17,416.8299$	$\hat{S}_{12}(t) = 22,117.2882$

4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลชุดที่ 2 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.9 ตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 ซึ่งค่า MAPE ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 รุ่น คือ 27.07%, 8.94% และ 14.26% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศและค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1

เดือน	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ARIMA(0,1,2) x SARIMA(2,1,2) ₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงที่			
	Y_t	\hat{Y}_t	e_t	$\frac{e_t}{Y_t}$
เม.ย. 2558	72,694	43,032.2154	29,661.7846	0.4080
พ.ค. 2558	94,649	70,049.7933	24,599.2067	0.2599
มิ.ย. 2558	93,746	66,378.0361	27,367.9639	0.2919
ก.ค. 2558	77,308	66,325.9366	10,982.0634	0.1421
ส.ค. 2558	76,136	64,723.8345	11,412.1655	0.1499
ก.ย. 2558	56,734	31,152.0559	25,581.9441	0.4509
ต.ค. 2558	53,577	26,567.2490	27,009.7510	0.5041
พ.ย. 2558	65,865	36,378.4141	29,486.5859	0.4477
ธ.ค. 2558	66,139	39,357.0091	26,781.9909	0.4049
ม.ค. 2559	95,164	84,726.1389	10,837.8611	0.1134
ก.พ. 2559	99,475	91,673.2155	10,801.7845	0.1054
มี.ค. 2559	110,120	109,932.2830	6,187.7170	0.0533
ค่า MAPE			$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left \frac{e_t}{Y_t} \right = 27.07\%$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศและค่าพยากรณ์ด้วยวิธีวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2

เดือน	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ARIMA(5,1,0) × SARIMA(0,1,1) ₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงที่			
	Y_t	\hat{Y}_t	e_t	$\frac{e_t}{Y_t}$
เม.ย. 2558	25,115	24,020.5829	10,94.4171	0.0436
พ.ค. 2558	34,789	34,785.3853	3.6147	0.0001
มี.ย. 2558	64,486	58,590.4211	5,895.5789	0.0914
ก.ค. 2558	57,426	53,786.1198	3,639.8802	0.0634
ส.ค. 2558	48,668	60,549.5581	-11,881.5581	-0.2441
ก.ย. 2558	27,177	29,452.0818	-22,75.0818	-0.0837
ต.ค. 2558	30,967	37,137.8945	-6,170.8945	-0.1993
พ.ย. 2558	33,255	36,329.6741	-3,074.6741	-0.0925
ธ.ค. 2558	29,190	26,523.3353	2,666.6647	0.0914
ม.ค. 2559	44,327	49,456.6745	-5,129.6745	-0.1157
ก.พ. 2559	77,159	79,490.7873	-2,331.7873	-0.0302
มี.ค. 2559	90,524	92,148.0977	-1,624.0977	-0.0179
ค่า MAPE			$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left \frac{e_t}{Y_t} \right = 8.94\%$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศและค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบ
เอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3

เดือน	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบบวก ($\alpha = 0.3220, \gamma=0, \delta=0$)			
	Y_t	\hat{Y}_t	e_t	$\frac{e_t}{Y_t}$
เม.ย. 2558	14,841	18,354.1603	-3,513.1603	-0.2367
พ.ค. 2558	30,300	30,746.6519	-446.6519	-0.0147
มิ.ย. 2558	27,608	28,643.0603	-1,035.0603	-0.0375
ก.ค. 2558	12,471	12,961.5936	-490.5936	-0.0393
ส.ค. 2558	10,055	9,000.2519	1,054.7481	0.1049
ก.ย. 2558	7,655	4,249.4519	3,405.5481	0.4449
ต.ค. 2558	12,129	9,474.0269	2,654.9731	0.2189
พ.ย. 2558	8,130	5,548.3936	2,581.6064	0.3175
ธ.ค. 2558	14,805	17,143.6353	-2,338.6353	-0.1580
ม.ค. 2559	23,413	24,584.4603	-1,171.4603	-0.0500
ก.พ. 2559	37,119	37,766.4103	-647.4103	-0.0174
มี.ค. 2559	45,763	42,526.0686	3,236.9314	0.0707
ค่า MAPE			$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left \frac{e_t}{Y_t} \right = 14.26\%$	

4.3 การประยุกต์ใช้ตัวแบบพยากรณ์

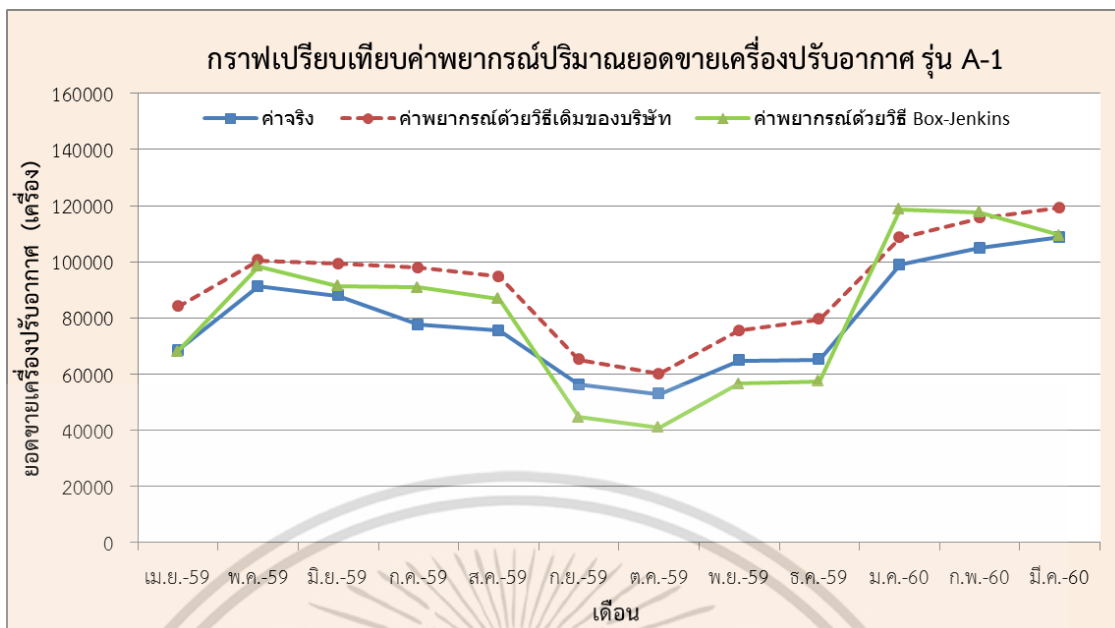
นำตัวแบบที่เหมาะสมในแต่ละรุ่นไปทำการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ และเพื่อประเมินผลความถูกต้องของตัวแบบ จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่จำนวน 12 เดือน (ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2559 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2560) เนื่องจากทางบริษัททำการพยากรณ์ล่วงหน้าทีละ 6 เดือน จึงแบ่งการพิจารณาเป็น 2 ช่วง (ช่วงที่ 1 คือ เดือนเมษายน พ.ศ. 2559 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2559 และ ช่วงที่ 2 คือ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560) จากตารางที่ 4.12 ถึง ตารางที่ 4.14 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าจริง ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีเดิมของบริษัท และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีที่ได้จากงานวิจัย พบว่าการพยากรณ์ปริมาณยอดขายของเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีค่าความถูกต้องสูงกว่าวิธีเดิมของบริษัท โดย MAPE จากวิธีเดิมของบริษัทและวิธีที่ได้จากงานวิจัยเป็น 16.30% และ 12.06% ตามลำดับ ซึ่งวิธีเดิมของบริษัทพยากรณ์ปริมาณยอดขายในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 จะเป็น 541,440 เครื่อง และ 558,201 เครื่อง ตามลำดับ ส่วนการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์จะเป็น 480,087 เครื่อง และ 500,425 เครื่อง ตามลำดับ ทำให้บริษัทสามารถวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นและช่วยลดปริมาณจัดเก็บสินค้าคงคลังลงได้ 119,129 เครื่อง/ปี ส่วนการพยากรณ์ปริมาณยอดขายของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงินกินส้มมีค่าความถูกต้องสูงกว่าวิธีเดิมของบริษัท โดย MAPE จากวิธีเดิมของบริษัทและวิธีที่ได้จากงานวิจัยเป็น 10.11% และ 3.64% ตามลำดับ ซึ่งวิธีเดิมของบริษัทพยากรณ์ปริมาณยอดขายในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 จะเป็น 328,736 เครื่อง และ 379,849 เครื่อง ตามลำดับ ส่วนการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์จะเป็น 308,555 เครื่อง และ 365,309 เครื่อง ตามลำดับ ทำให้บริษัทสามารถวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นและช่วยลดปริมาณจัดเก็บสินค้าคงคลังลงได้ 34,721 เครื่อง/ปี ส่วนการพยากรณ์ปริมาณยอดขายของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์มีค่าความถูกต้องสูงกว่าวิธีเดิมของบริษัท โดย MAPE จากวิธีเดิมของบริษัทและวิธีที่ได้จากงานวิจัยเป็น 19.97% และ 9.59% ตามลำดับ ซึ่งวิธีเดิมของบริษัทพยากรณ์ปริมาณยอดขายในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 จะเป็น 121,436 เครื่อง และ 157,646 เครื่อง ตามลำดับ ส่วนการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์จะเป็น 108,218 เครื่อง และ 141,306 เครื่อง ตามลำดับ ทำให้บริษัทสามารถวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นและช่วยลดปริมาณจัดเก็บสินค้าคงคลังลงได้ 29,558 เครื่อง/ปี ผลการเปรียบเทียบค่าจริง การพยากรณ์ด้วยวิธีเดิมของบริษัท และการพยากรณ์ด้วยวิธีที่ได้จากงานวิจัยของปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ แสดงดังรูปที่ 4.13 ถึง รูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.12 ผลการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 ของข้อมูลใหม่

ช่วงเวลา	เดือน	ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง)		
		ค่าจริง	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีเดิมของบริษัท	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์
ช่วงที่ 1	เม.ย. 2559	68,341	83,987	68,083
	พ.ค. 2559	91,250	100,561	98,356
	มิ.ย. 2559	87,942	99,327	91,418
	ก.ค. 2559	77,445	97,805	90,798
	ส.ค. 2559	75,482	94,632	86,759
	ก.ย. 2559	56,142	65,128	44,673
	รวม	456,602	541,440	480,087
ช่วงที่ 2	ต.ค. 2559	52,809	65,128	40,882
	พ.ย. 2559	64,773	75,490	56,472
	ธ.ค. 2559	65,149	79,542	57,409
	ม.ค. 2560	98,825	108,466	118,638
	ก.พ. 2560	104,925	115,487	117,669
	มี.ค. 2560	108,683	119,138	109,355
	รวม	495,164	558,201	500,425
ค่า MAPE			16.30%	12.07%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

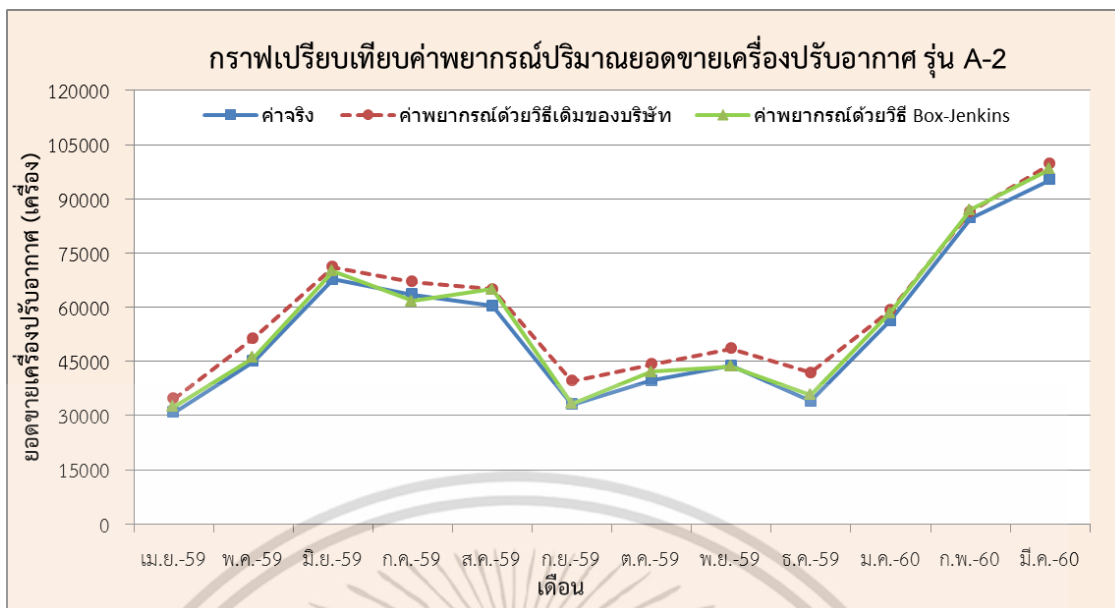


รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบปริมาณยอดขายจริงกับค่าพยากรณ์ของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1

ตารางที่ 4.13 ผลการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 ของข้อมูลใหม่

ช่วงเวลา	เดือน	ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง)		
		ค่าจริง	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีเดิมของบริษัท	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์
ช่วงที่ 1	เม.ย. 2559	30,917	34,619	32,488
	พ.ค. 2559	45,021	51,365	46,042
	มิ.ย. 2559	67,665	71,128	69,983
	ก.ค. 2559	63,526	67,093	61,708
	ส.ค. 2559	60,407	64,984	65,034
	ก.ย. 2559	32,980	39,547	33,300
	รวม		300,516	328,736
ช่วงที่ 2	ต.ค. 2559	39,642	44,238	42,178
	พ.ย. 2559	43,791	48,541	43,624
	ธ.ค. 2559	34,039	41,864	35,699
	ม.ค. 2560	56,282	59,127	58,501
	ก.พ. 2560	84,757	86,460	87,038
	มี.ค. 2560	95,266	99,619	98,269
	รวม		353,777	379,849
ค่า MAPE			10.11%	3.64%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

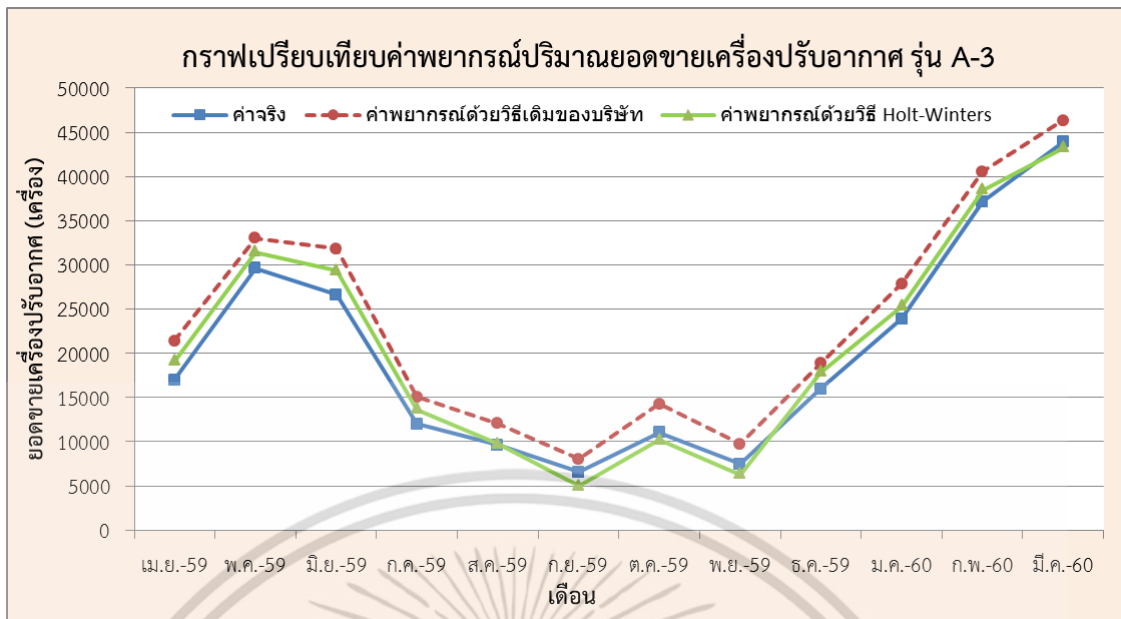


รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบปริมาณยอดขายจริงกับค่าพยากรณ์ของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2

ตารางที่ 4.14 ผลการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 ของข้อมูลใหม่

ช่วงเวลา	เดือน	ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง)		
		ค่าจริง	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีเดิมของบริษัท	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีโพลท์และวินเทอร์
ช่วงที่ 1	เม.ย. 2559	16,970	21,431	19,065
	พ.ค. 2559	29,640	33,038	31,457
	มิ.ย. 2559	26,608	31,857	29,353
	ก.ค. 2559	11,981	15,039	13,672
	ส.ค. 2559	9,603	12,036	9,711
	ก.ย. 2559	6,574	8,035	4,960
	รวม		101,376	121,436
ช่วงที่ 2	ต.ค. 2559	11,014	14,267	10,184
	พ.ย. 2559	7,489	9,743	6,259
	ธ.ค. 2559	15,987	18,874	17,854
	ม.ค. 2560	23,896	27,874	25,295
	ก.พ. 2560	37,165	40,560	38,477
	มี.ค. 2560	43,892	46,328	43,237
	รวม		139,443	157,646
ค่า MAPE			19.97%	9.59%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบปริมาณยอดขายจริงกับค่าพยากรณ์ของเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้เสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลา ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 A-2 และ A-3 ของบริษัททรนศึกษา ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูล ออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลจำนวน 120 ค่าแรก เป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 ใช้สำหรับสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยใช้เกณฑ์ RMSE ในการพิจารณาเปรียบเทียบการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล แบบโพลท์และวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ ดังนี้

5.1.1 การพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ได้ตัวแบบที่เหมาะสม คือ $ARIMA(0,1,2) \times SARIMA(2,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ มีค่า RMSE เท่ากับ 7,027.8376

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & Y_{t-1} - 0.0135(Y_{t-12} - Y_{t-13}) + 0.0288(Y_{t-24} - Y_{t-25}) \\ & + 0.9847(Y_{t-36} - Y_{t-37}) - 0.1644e_{t-1} - 0.6464e_{t-2} + 0.4887e_{t-12} \\ & - 0.0803e_{t-13} - 0.3159e_{t-14} + 0.7544e_{t-24} - 0.1240e_{t-25} - 0.4876e_{t-26} \end{aligned}$$

เมื่อ \hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t
 Y_{t-j} คือ ค่าอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$
 e_{t-j} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$

5.1.2 การพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ได้ ตัวแบบที่เหมาะสม คือ $ARIMA(5,1,0) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ มีค่า RMSE เท่ากับ 5,481.5986

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & Y_{t-12} + 0.6722(Y_{t-1} - Y_{t-13}) - 0.0176(Y_{t-2} - Y_{t-14}) + 0.087(Y_{t-3} - Y_{t-15}) \\ & - 0.1993(Y_{t-4} - Y_{t-16}) + 0.085(Y_{t-5} - Y_{t-17}) + 0.3727(Y_{t-6} - Y_{t-18}) \\ & - 0.3189e_{t-12} \end{aligned}$$

เมื่อ \hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t
 Y_{t-j} คือ ค่าอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$
 e_{t-j} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 ด้วยวิธีปรับให้เรียบ
 เอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ ได้ตัวแบบที่เหมาะสม คือ

$$\hat{Y}_t(p) = (19698.3804 + 59.2p) + \hat{S}_i(t) \text{ มีค่า RMSE เท่ากับ } 4,252.7092$$

เมื่อ $\hat{Y}_t(p)$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t โดยที่ p เป็นจำนวนช่วงเวลาล่วงหน้า $p = 1, 2, \dots, 12$

$\hat{S}_i(t)$ คือ ค่าประมาณของดัชนีฤดูกาล ณ เวลา t แสดงดังตารางที่ 4.8

เมื่อเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ของตัวแบบด้วยข้อมูลชุดที่ 2 คือ ข้อมูลจำนวน 12 ค่า เป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 โดยพิจารณาค่า MAPE พบว่าเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 รุ่น มีค่า MAPE เท่ากับ 27.07%, 8.94% และ 14.26% ตามลำดับ จากนั้นนำตัวแบบที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้กับการพยากรณ์ล่วงหน้า 12 เดือน (เดือนเมษายน พ.ศ. 2559 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2560) โดยแบ่งการพิจารณาเป็น 2 ช่วง (ช่วงที่ 1 คือ เดือนเมษายน พ.ศ. 2559 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2559 และ ช่วงที่ 2 คือ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560) เปรียบเทียบกับค่าจริงและค่าพยากรณ์ด้วยวิธีเดิมของบริษัท พบว่าค่าพยากรณ์ด้วยวิธีที่ได้จากงานวิจัย มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณยอดขายจริง ดังนั้นบริษัทควรวางแผนการผลิตเครื่องปรับอากาศตามที่ผู้วิจัยพยากรณ์ เพื่อทำช่วยลดปัญหาการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ตัวแบบที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-1 A-2 และ A-3 นั้น สามารถปรับเปลี่ยนและแก้ไขได้ เนื่องจากในแต่ละช่วงเวลาอาจมีการผลิตเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ๆ ทำให้ข้อมูลปริมาณยอดขายมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นผู้นำเอาตัวแบบพยากรณ์ไปใช้ควรมีการปรับปรุงตัวแบบให้ทันสมัย เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการหาค่าพยากรณ์ในอนาคตต่อไป และอย่างไรก็ตามปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศอาจไม่ได้ขึ้นกับปัจจัยด้านเวลาเพียงปัจจัยเดียว ดังนั้นสำหรับการศึกษารั้งต่อไป ผู้วิจัยควรพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วย เช่น ราคาของเครื่องปรับอากาศ ช่วงอายุของผู้บริโภค และอุณหภูมิของประเทศที่จำหน่าย เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- จิระนันท์ ตังคะวัชระ. 2550. “การพยากรณ์ยอดขายอุตสาหกรรมแหวนโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ฐานเศรษฐกิจ. 2558. “อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศเฮ ปี 59 ได้อานิสงส์จากตลาดส่งออกขยายตัวพร้อมเด็งรับเออีซี.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thansettakij.com>
- ดาว สงวนรังศิริกุล, ھرรษา เชี่ยวอนันตวานิช และ มณีนรัตน์ แสงเกษม. 2558. “การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานคร.” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 38(1) : 35-55.
- ธนาวุฒิ ประกอบผล. 2552. “โครงข่ายประสาทเทียม.” วารสาร มฉก.วิชาการ. 12(24) : 73-87.
- นฤมล ชิงเกียรติตระกูล และสมชาติ จิรวินากร. 2545. “การพยากรณ์โดยเทคนิคการเคลื่อนย้ายน้ำหนักของข้อมูลแต่ละค่าเท่าๆกันและเทคนิคการทำให้เรียบแบบเอกโพแนนเชียล.” วิศวกรรมลาดกระบัง. 19(1) : 101-107.
- ปริญญา สงวนสัตย์. 2558. “การเรียนรู้ของเครื่อง” [E-book]. กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์.
- พยุง มีสัจ. 2555. “ระบบพีซีและโครงข่ายประสาทเทียม.” [E-book]. กรุงเทพมหานคร : คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ภูมิฐาน รังคกุลนุวัฒน์. 2556. การวิเคราะห์อนุกรมเวลาสำหรับเศรษฐศาสตร์และธุรกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เมธาวรรณ ใจไว. 2554. “การทำนายคุณภาพการให้บริการของเว็บเซอร์วิสโดยใช้วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมศรี บัณฑิตวิไล. 2558. “อนุกรมเวลาและเลขดัชนี เล่ม 2.” [เอกสารประกอบการสอน]. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุชาติ ศุภมงคล. 2547. การจัดการอะไหล่ให้เพิ่มผลผลิต. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ด ยูเคชั่น.
- อนุชาติ อางอำไพ. 2551. “การศึกษาเปรียบเทียบวิธีโครงข่ายประสาทเทียมและวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัทพล คุณเลิศ และ พุชชดี ศิริแสงตระกูล. 2557. “แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตข้าวด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม.” การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ. 10 : 7-12.
- Abhishek Singh and G.C. Mishra. 2015. “Application of Box-Jenkins Method and Artificial Neural Network Procedure for Time Series Forecasting of Prices.” Statistics in Transition New Series. 16(1) : 83-96.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bowerman, B.L. and R.T O'Connell. 1987. **Time series forecasting : unified concepts and computer implementation.** Boston : Dundury, Inc.
- Bowerman, B.L. and R.T O'Connell. 1993. **Forecasting and Time Series : an applied approach.** 3rd ed. Boston : Duxbury Press, Inc.
- Douglas C. Montgomery, Cheryl L. Jennings, and Murat Kulahci. 2015. **Introduction to Time Series Analysis and Forecasting.** 2rd ed. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
- Everette S. Gerdner, Jr. 1985. "Exponential Smoothing : The State of the Art." **Journal of Forecasting.** 4(1) : 1-28.
- George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel, and Greta M. Ljung. 2015. **Time Series Analysis: Forecasting and control.** 5th ed. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
- Graham Templeton., 2013. **Facebook is working on deep learning neural networks to learn even more about your personal life.** [Online]. Available : <https://www.extremetech.com/?s=neural+networks>.
- Hagan, M., Demuth, H., and Beale, M. 1996. **Neural Network Design.** University of Colorado Bookstore : United States of America.
- Harvey M. and Arthur C. 2004. **Fitting Models to Biological Data Using Linear and Nonlinear Regression: A practical guide to curve fitting.** New York : Oxford university press.
- Kevin Gurney. 2004. **An Introduction to Neural Networks.** London : Taylor & Francis e-Library.
- Martin T. Hagan, Howaed B. Demuth, Mark Hudson Beale, and Orlando De Jesus., 2014. **Neural network design.** 2th ed. [Online]. Available : <http://hagan.okstate.edu/nnd.html>.
- Stock, J.R., and Lambert, D.M. 2001. **Strategic Logistics Management.** 4th ed. Boston MA : McGraw-Hill-Irwin.
- Satish, K. 2012. **Neural Networks: A Classroom Approach.** Columbus : McGraw Hill Education.
- Yan Xia. 2016. "An empirical analysis about forecasting Tmall air-conditioning sales using time series model." **International Journal of Engineering Research & Science.** 2: 45-49.

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศของบริษัท ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 - 2558

ปี พ.ศ.	ค่าพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง)		สินค้าคงคลัง (เครื่อง)
	ค่ายอดขายจริง	ค่าพยากรณ์ของบริษัท	
2548	926,742	1,026,532	99,790
2549	995,683	1,193,216	197,533
2550	1,055,976	1,286,465	230,489
2551	1,190,430	1,393,654	203,224
2552	1,285,961	1,405,638	119,677
2553	1,367,424	1,478,345	110,921
2554	1,398,765	1,508,658	109,893
2555	1,453,984	1,605,418	151,434
2556	1,678,609	1,856,129	177,520
2557	1,869,849	2,094,659	224,810
2558	2,044,365	2,271,876	227,511

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1 เดือนเมษายน 2548 - มีนาคม 2559

เดือน	พ.ศ.											
	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559
ม.ค.	-	61,194	56,805	69,185	59,008	52,663	70,509	73,006	57,694	98,032	95,094	95,164
ก.พ.	-	66,389	57,408	70,983	79,568	73,286	74,076	83,754	60,906	101,227	101,604	99,475
มี.ค.	-	72,760	68,037	83,272	10,0811	102,415	103,997	103,211	103,889	104,782	105,062	110,120
เม.ย.	41,499	34,293	37,973	39,456	41,875	47,607	49,482	29,303	55,405	53,348	72,694	-
พ.ค.	50,460	45,660	56,702	58,765	51,793	67,606	70,964	50,092	82,549	79,293	94,649	-
มิ.ย.	50,340	42,614	53,952	51,924	51,726	65,360	67,658	47,959	82,025	66,739	93,746	-
ก.ค.	48,481	40,201	49,820	47,295	49,410	53,264	60,892	40,317	80,773	65,740	77,308	-
ส.ค.	44,552	39,178	45,200	44,683	47,304	49,566	51,519	35,642	79,241	56,208	76,136	-
ก.ย.	31,026	20,432	26,392	33,455	31,527	36,823	37,636	20,579	27,591	39,034	56,734	-
ต.ค.	22,873	25,922	22,243	26,728	21,479	32,551	37,436	22,069	22,538	37,209	53,577	-
พ.ย.	38,856	28,183	35,648	36,174	34,477	42,184	42,705	21,947	42,400	41,502	65,865	-
ธ.ค.	40,923	31,676	36,489	36,705	36,174	44,700	49,106	28,743	42,916	46,341	66,139	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลยอดขายปริมาณเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2 เดือนเมษายน 2548 - มีนาคม 2559

เดือน	พ.ศ.											
	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559
ม.ค.	-	26,010	23,529	26,044	26,329	19,142	19,169	25,135	33,118	36,550	47,865	44,327
ก.พ.	-	32,650	36,759	32,890	47,317	35,566	38,251	54,057	62,236	52,034	80,230	77,159
มี.ค.	-	35,216	38,052	37,251	47,578	49,408	55,132	58,508	67,804	71,328	88,107	90,524
เม.ย.	13,598	2,825	5,314	8,041	9,939	7,057	15,187	14,714	9,760	10,835	25,115	-
พ.ค.	25,749	22,057	23,207	25,385	18,324	18,470	24,922	32,447	26,440	29,098	34,789	-
มิ.ย.	30,167	27,117	32,298	39,667	29,180	28,786	39,050	52,683	44,089	65,122	64,486	-
ก.ค.	28,906	26,650	26,814	34,045	22,385	24,319	33,750	45,574	38,152	54,306	57,426	-
ส.ค.	27,615	25,741	26,696	30,085	20,389	23,725	31,597	44,061	37,521	53,042	48,668	-
ก.ย.	12,191	8,290	11,592	8,653	10,608	15,287	17,873	15,802	17,889	12,930	27,177	-
ต.ค.	20,354	17,385	18,659	18,988	14,771	16,352	20,525	19,626	24,847	20,538	30,967	-
พ.ย.	24,225	19,118	18,730	20,344	18,273	16,727	23,141	30,984	25,362	22,229	33,255	-
ธ.ค.	15,889	9,535	13,162	12,896	11,218	15,935	20,387	18,686	23,633	17,559	29,190	-

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 เดือนเมษายน 2548 - มีนาคม 2559

เดือน	พ.ศ.											
	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559
ม.ค.	-	18,695	11,232	24,772	25,217	35,596	23,676	29,331	23,900	32,271	12,208	23,413
ก.พ.	-	31,576	22,001	28,585	44,127	46,040	45,891	44,066	39,903	40,607	35,585	37,119
มี.ค.	-	32,363	37,615	41,218	45,371	46,485	46,826	47,093	51,719	52,280	52,157	45,763
เม.ย.	16,050	10,863	18,142	24,983	24,251	23,136	28,997	18,460	17,755	11,246	14,841	-
พ.ค.	19,726	19,392	26,735	34,844	39,258	34,264	39,391	32,798	38,668	30,280	30,300	-
มิ.ย.	19,476	15,984	25,135	28,855	35,669	32,911	35,658	31,330	35,804	22,752	27,608	-
ก.ค.	9,397	7,506	11,303	21,564	21,738	11,264	13,790	16,609	14,055	6,478	12,471	-
ส.ค.	3,610	5,064	6,726	18,903	14,846	8,648	11,023	12,493	10,514	6,072	10,055	-
ก.ย.	3,081	1,440	2,641	17,266	8,456	6,056	8,072	7,398	8,583	2,998	7,655	-
ต.ค.	8,370	6,876	7,941	20,221	15,241	10,492	12,434	14,211	13,178	6,240	12,129	-
พ.ย.	3,364	2,520	4,736	3,576	8,591	7,358	9,782	8,800	10,353	3,992	8,130	-
ธ.ค.	12,067	9,425	16,608	21,959	23,621	21,344	22,069	18,123	16,844	6,960	14,805	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข. ผลลัพธ์การพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 วิธี

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1
วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบคูณ
($\alpha = 0.6894$, $\gamma = 0$, $\delta = 0$)

พ.ศ.	เดือน	Y_t	$\hat{T}_t(t)$	$\beta_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$S_t(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t	e_t^2
2548	เม.ย.	41,499							
	พ.ค.	50,460							
	มิ.ย.	50,340							
	ก.ค.	48,481							
	ส.ค.	44,552							
	ก.ย.	31,026							
	ต.ค.	22,873							
	พ.ย.	38,856							
	ธ.ค.	40,923							
2549	ม.ค.	61,194							
	ก.พ.	66,389							
	มี.ค.	72,760							
	เม.ย.	34,293				0.8223			
	พ.ค.	45,660				1.1950			
	มิ.ย.	42,614				1.0392			
	ก.ค.	40,201				0.9832			
	ส.ค.	39,178				0.9030			
	ก.ย.	20,432				0.5941			
	ต.ค.	25,922				0.4967			
	พ.ย.	28,183				0.7063			
	ธ.ค.	31,676				0.7403			
2550	ม.ค.	56,805				1.3053			
	ก.พ.	57,408				1.4495			
	มี.ค.	68,037	47,117	169	47,286	1.7651	38,882.6545		
	เม.ย.	37,973	46,523.31	169	46,692.3112	0.8223	55,798.6838	-909.6545	827,471.2675
	พ.ค.	56,702	47,213.45	169	47,382.4525	1.1950	49,239.1711	903.3162	815,980.2412
	มิ.ย.	53,952	50,509.1272	169	50,678.1272	1.0392	49,825.9120	47,12.8289	22,210,756.0490
	ก.ค.	49,820	50,673.9816	169	50,842.9816	0.9832	45,910.3157	-5.9120	34.9514
	ส.ค.	45,200	50,300.6481	169	50,469.6481	0.9030	29,983.4351	-710.3157	504,548.4456
	ก.ย.	26,392	46,301.8071	169	46,470.8071	0.5941	23,083.2466	-3,591.4351	12,898,406.1759
	ต.ค.	22,243	45,304.5768	169	45,473.5768	0.4967	32,117.3046	-840.2466	706,014.3336
	พ.ย.	35,648	48,920.0469	169	49,089.0469	0.7063	36,341.9628	3,530.6954	12,465,810.0903
	ธ.ค.	36,489	49,225.9766	169	49,394.9766	0.7403	64,476.4447	147.0372	21,619.9322
2551	ม.ค.	69,185	51,881.9068	169	52,050.9068	1.3053	75,447.8644	4,708.5553	22,170,493.2447
	ก.พ.	70,983	49,927.2524	169	50,096.2524	1.4495	88,423.8933	-4,464.8644	19,935,013.9737
	มี.ค.	83,272	48,083.9340	169	48,252.9340	1.7651	39,677.7515	-5,151.8933	26,542,004.9565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	Y_t	$\hat{T}_t(t)$	$\beta_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t	e_t^2
2551	เม.ย.	39,456	48,067.0091	169	48,236.0091	0.8223	57,643.4481	-221.7515	49,173.7455
	พ.ค.	58,765	48,883.0549	169	49,052.0549	1.1950	50,974.1982	1,121.5519	1,257,878.7368
	มี.ย.	51,924	49,682.1905	169	49,851.1905	1.0392	49,012.8812	949.8018	902,123.4126
	ก.ค.	47,295	48,646.5633	169	48,815.5633	0.9832	44,079.5928	-1,717.8812	2,951,115.8243
	ส.ค.	44,683	49,276.2710	169	49,445.2710	0.9030	29,374.8645	603.4072	364,100.2621
	ก.ย.	33,455	54,180.2462	169	54,349.2462	0.5941	26,996.6702	4,080.1355	16,647,505.7594
	ต.ค.	26,728	53,976.3422	169	54,145.3422	0.4967	38,242.0423	-268.6702	72,183.6647
	พ.ย.	36,174	52,126.6334	169	52,295.6334	0.7063	38,715.8865	-2,068.0423	4,276,798.9729
	ธ.ค.	36,705	50,422.9774	169	50,591.9774	0.7403	66,038.9186	-2,010.8865	4,043,664.3765
2552	ม.ค.	59,008	46,878.4383	169	47,047.4383	1.3053	68,195.3296	-7,030.9186	49,433,815.7338
	ก.พ.	79,568	52,456.7005	169	52,625.7005	1.4495	92,888.5717	11,372.6704	129,337,632.5960
	มี.ค.	100,811	55,720.1839	169	55,889.1839	1.7651	45,956.9392	7,922.4283	62,764,870.0570
	เม.ย.	41,875	52,466.7314	169	52,635.7314	0.8223	62,901.2455	-4,081.9392	16,662,227.7179
	พ.ค.	51,793	46,227.1616	169	46,396.1616	1.1950	48,214.2316	-11,108.2455	123,393,117.3704
	มี.ย.	51,726	48,726.0059	169	48,895.0059	1.0392	48,072.7760	3,511.7684	12,332,516.9556
	ก.ค.	49,410	49,832.7054	169	50,001.7054	0.9832	45,150.6582	1,337.2240	1,788,168.0186
	ส.ค.	47,304	51,645.8043	169	51,814.8043	0.9030	30,782.5769	2,153.3418	4,636,881.0192
	ก.ย.	31,527	52,678.7033	169	52,847.7033	0.5941	26,250.8152	744.4231	554,165.8080
	ต.ค.	21,479	46,224.6055	169	46,393.6055	0.4967	32,767.1070	-4,771.8152	22,770,219.9871
	พ.ย.	34,477	48,062.7087	169	48,231.7087	0.7063	35,707.2519	1,709.8930	2,923,733.9140
	ธ.ค.	36,174	48,666.3720	169	48,835.3720	0.7403	63,745.9794	466.7481	217,853.7684
2553	ม.ค.	52,663	42,981.6450	169	43,150.6450	1.3053	62,546.9221	-11,082.9794	122,832,433.2719
	ก.พ.	73,286	48,258.5472	169	48,427.5472	1.4495	85,478.4953	10,739.0779	115,327,794.7637
	มี.ค.	102,415	55,042.9094	169	55,211.9094	1.7651	45,400.0253	16,936.5047	286,845,192.8569
	เม.ย.	47,607	57,062.3206	169	57,231.3206	0.8223	68,393.1097	2,206.9747	4,870,737.3083
	พ.ค.	67,606	56,777.2213	169	56,946.2213	1.1950	59,177.7037	-787.1097	619,541.6483
	มี.ย.	65,360	61,047.7981	169	61,216.7981	1.0392	60,187.3621	6,182.2963	38,220,787.4174
	ก.ค.	53,264	56,361.9396	169	56,530.9396	0.9832	51,046.4415	-6,923.3621	47,932,942.4136
	ส.ค.	49,566	55,400.6071	169	55,569.6071	0.9030	33,013.2618	-1,480.4415	2,191,707.0122
	ก.ย.	36,823	59,990.7876	169	60,159.7876	0.5941	29,882.9157	3,809.7382	14,514,104.8880
	ต.ค.	32,551	63,862.9870	169	64,031.9870	0.4967	45,224.8311	2,668.0843	7,118,673.6239
	พ.ย.	42,184	61,063.6955	169	61,232.6955	0.7063	45,332.2377	-3,040.8311	9,246,653.7885
	ธ.ค.	44,700	60,643.9184	169	60,812.9184	0.7403	79,380.5574	-632.2377	399,724.5381
2554	ม.ค.	70,509	56,127.2042	169	56,296.2042	1.3053	81,601.4290	-8,871.5574	78,704,530.6614
	ก.พ.	74,076	52,716.8321	169	52,885.8321	1.4495	93,347.7248	-7,525.4290	56,632,081.7094
	มี.ค.	103,997	57,045.4160	169	57,214.4160	1.7651	47,046.6601	10,649.2752	113,407,063.0793
	เม.ย.	49,482	59,256.2973	169	59,425.2973	0.8223	71,014.9763	2,435.3399	5,930,880.4067
	พ.ค.	70,964	59,395.8881	169	59,564.8881	1.1950	61,898.9850	-50.9762	2,598.5785
	มี.ย.	67,658	63,385.6435	169	63,554.6435	1.0392	62,485.8938	5,759.0150	33,166,253.3101
	ก.ค.	60,892	62,436.9599	169	62,605.9599	0.9832	56,532.0777	-1,593.8938	2,540,497.3340
	ส.ค.	51,519	58,778.4229	169	58,947.4229	0.9030	35,019.9832	-5,013.0777	25,130,947.8508
	ก.ย.	37,636	61,983.2962	169	62,152.2962	0.5941	30,872.6461	2,616.0168	6,843,543.9807
	ต.ค.	37,436	71,261.9817	169	71,430.9817	0.4967	50,450.6299	6,563.3539	43,077,614.7160
	พ.ย.	42,705	63,870.1251	169	64,039.1251	0.7063	47,409.9142	-7,745.6299	59,994,782.9881
	ธ.ค.	49,106	65,618.6201	169	65,787.6201	0.7403	85,874.1545	1,696.0858	2,876,706.8986
2555	ม.ค.	73,006	58,991.0124	169	59,160.0124	1.3053	85,752.5232	-12,868.1545	165,589,399.3393
	ก.พ.	83,754	58,209.4410	169	58,378.4410	1.4495	103,042.6188	-1,998.5232	3,994,094.9309
	มี.ค.	103,211	58,444.2103	169	58,613.2103	1.7651	48,196.8702	168.3812	28,352.2248

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	Y_t	$\hat{T}_t(t)$	$\beta_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t	e_t^2
2555	เม.ย.	29,303	42,771.8734	169	42,940.8734	0.8223	51,315.6053	-18,893.8702	356,978,331.0817
	พ.ค.	50,092	42,234.9509	169	42,403.9509	1.1950	44,065.5830	-1,223.6053	1,497,209.9912
	มี.ย.	47,959	44,986.9958	169	45,155.9958	1.0392	44,396.6420	3,893.4170	15,158,695.5753
	ก.ค.	40,317	42,295.2347	169	42,464.2347	0.9832	38,344.4551	-4,079.6420	16,643,478.6173
	ส.ค.	35,642	40,400.8821	169	40,569.8821	0.9030	24,102.0985	-2,702.4551	7,303,263.4703
	ก.ย.	20,579	36,481.3454	169	36,650.3454	0.5941	18,205.1704	-3,523.0985	12,412,222.7761
	ต.ค.	22,069	42,013.1939	169	42,182.1939	0.4967	29,792.6502	3,863.8296	14,929,179.3303
	พ.ย.	21,947	34,523.7030	169	34,692.7030	0.7063	25,683.9560	-7,845.6502	61,554,227.4357
	ธ.ค.	28,743	37,541.4650	169	37,710.4650	0.7403	49,224.3722	3,059.0440	9,357,749.9931
2556	ม.ค.	57,694	42,183.8910	169	42,352.8910	1.3053	61,390.5765	8,469.6278	71,734,595.4202
	ก.พ.	60,906	42,122.4085	169	42,291.4085	1.4495	74,647.7195	-484.5765	234,814.3778
	มี.ค.	103,889	53,712.9895	169	53,881.9895	1.7651	44,306.4497	29,241.2805	855,052,483.5294
	เม.ย.	55,405	63,187.4348	169	63,356.4348	0.8223	75,712.8010	11,098.5503	123,177,818.5022
	พ.ค.	82,549	67,300.3752	169	67,469.3752	1.1950	70,113.2157	6,836.1990	46,733,616.6018
	มี.ย.	82,025	75,372.1181	169	75,541.1181	1.0392	74,270.8010	11,911.7843	141,890,605.9436
	ก.ค.	80,773	80,100.6451	169	80,269.6451	0.9832	72,482.0740	6,502.1990	42,278,591.9353
	ส.ค.	79,241	85,430.1555	169	85,599.1555	0.9030	50,853.4698	6,758.9260	45,683,081.2989
	ก.ย.	27,591	58,603.1851	169	58,772.1851	0.5941	29,193.6578	-23,262.4698	541,142,499.8461
	ต.ค.	22,538	49,534.3854	169	49,703.3854	0.4967	35,104.7549	-6,655.6578	44,297,781.2454
	พ.ย.	42,400	56,824.6012	169	56,993.6012	0.7063	42,193.9204	7,295.2451	53,220,601.4281
	ธ.ค.	42,916	57,666.0443	169	57,835.0443	0.7403	75,493.4670	722.0796	521,398.9947
2557	ม.ค.	98,032	69,739.2817	169	69,908.2817	1.3053	101,332.1549	22,538.5330	507,985,470.0052
	ก.พ.	101,227	69,858.2661	169	70,027.2661	1.4495	123,603.7271	-105.1549	11,057.5509
	มี.ค.	104,782	62,675.5402	169	62,844.5402	1.7651	51,676.2370	-18,821.7271	354,257,411.5859
	เม.ย.	53,348	64,246.2097	169	64,415.2097	0.8223	76,978.0681	1,671.7630	2,794,791.6700
	พ.ค.	79,293	65,750.7403	169	65,919.7403	1.1950	68,502.8572	2,314.9319	5,358,909.6056
	มี.ย.	66,739	64,749.5286	169	64,918.5286	1.0392	63,826.8434	-1,763.8572	3,111,192.0817
	ก.ค.	65,740	66,260.0884	169	66,429.0884	0.9832	59,984.2954	1,913.1566	3,660,168.0987
	ส.ค.	56,208	63,545.8476	169	63,714.8476	0.9030	37,852.2552	-3,776.2954	14,260,406.6568
	ก.ย.	39,034	65,086.2561	169	65,255.2561	0.5941	32,413.9661	1,181.7448	1,396,520.8355
	ต.ค.	37,209	71,910.5806	169	72,079.5806	0.4967	50,908.7256	4,795.0339	22,992,349.6468
	พ.ย.	41,502	62,897.2540	169	63,066.2540	0.7063	46,689.6712	-9,406.7256	88,486,486.5686
	ธ.ค.	46,341	62,741.5508	169	62,910.5508	0.7403	82,118.6471	-348.6712	121,571.6251
2558	ม.ค.	95,094	69,763.7777	169	69,932.7777	1.3053	101,367.6620	12,975.3529	168,359,781.7854
	ก.พ.	101,604	70,045.1888	169	70,214.1888	1.4495	123,933.6607	236.3380	55,855.6606
	มี.ค.	105,062	62,842.9589	169	63,011.9589	1.7651	51,813.9032	-18,871.6607	356,139,576.1115

RMSE 7,783.0688

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2
วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบคูณ
($\alpha = 0.5375$, $\gamma = 0$, $\delta = 0.0487$)

พ.ศ.	เดือน	Y_t	$\hat{T}_t(t)$	$\beta_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$S_t(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t	e_t^2
2548	เม.ย.	13,598							
	พ.ค.	25,749							
	มิ.ย.	30,167							
	ก.ค.	28,906							
	ส.ค.	27,615							
	ก.ย.	12,191							
	ต.ค.	20,354							
	พ.ย.	24,225							
	ธ.ค.	15,889							
2549	ม.ค.	26,010							
	ก.พ.	32,650							
	มี.ค.	35,216							
	เม.ย.	2,825				0.3174			
	พ.ค.	22,057				0.9028			
	มิ.ย.	27,117				1.3917			
	ก.ค.	26,650				1.1845			
	ส.ค.	25,741				1.1634			
	ก.ย.	8,290				0.4929			
	ต.ค.	17,385				0.7115			
	พ.ย.	19,118				0.8131			
	ธ.ค.	9,535				0.5617			
2550	ม.ค.	23,529				0.9959			
	ก.พ.	36,759				1.6104			
	มี.ค.	38,052	22,832	145	22,977	1.8547	7,293.7417		
	เม.ย.	5,314	19,624.71	145	19,769.7146	0.3152	17,847.2865	-1,979.7417	3,919,377.3025
	พ.ค.	23,207	22,960.95	145	23,105.9533	0.9080	32,156.5996	535.7135	28,726,528.6387
	มิ.ย.	32,298	23,160.5660	145	23,305.5660	1.3918	27,605.2919	141.4004	19,994.0705
	ก.ค.	26,814	22,946.4840	145	23,091.4840	1.1837	26,865.1359	-791.2919	626,142.9245
	ส.ค.	26,696	23,013.3414	145	23,158.3414	1.1633	11,415.1033	-169.1359	28,606.9436
	ก.ย.	11,592	23,351.2435	145	23,496.2435	0.4931	16,718.4117	176.8967	31,292.4503
	ต.ค.	18,659	24,962.2177	145	25,107.2177	0.7133	20,413.9361	1,940.5883	3,765,882.8439
	พ.ย.	18,730	23,993.9824	145	24,138.9824	0.8115	13,558.0375	-1,683.9361	2,835,640.8872
	ธ.ค.	13,162	23,759.9748	145	23,904.9748	0.5613	23,808.0673	-396.0375	156,845.6702
2551	ม.ค.	26,044	25,111.7112	145	25,256.7112	0.9980	40,672.7640	2,235.9327	4,999,395.1682
	ก.พ.	32,890	22,658.9664	145	22,803.9664	1.6026	42,294.0496	-7,782.7640	60,571,414.9225
	มี.ค.	37,251	21,342.4158	145	21,487.4158	1.8494	6,772.0723	-5,043.0496	25,432,348.8539
	เม.ย.	8,041	23,651.5739	145	23,796.5739	0.3164	21,607.6767	1,268.9277	1,610,177.4867
	พ.ค.	25,385	26,032.6162	145	26,177.6162	0.9113	36,435.0384	3,777.3233	14,268,171.1997
	มิ.ย.	39,667	27,425.7656	145	27,570.7656	1.3945	32,635.9799	3,231.9616	10,445,575.8368
	ก.ค.	34,045	28,210.5871	145	28,355.5871	1.1848	32,984.8145	1,409.0201	1,985,337.7389
	ส.ค.	30,085	27,015.6503	145	27,160.6503	1.1608	13,392.5371	-2,899.8145	8,408,924.2613
	ก.ย.	8,653	21,994.0753	145	22,139.0753	0.4882	15,791.5021	-4,739.5371	22,463,211.9105
	ต.ค.	18,988	24,547.8710	145	24,692.8710	0.7162	20,038.0120	3,196.4979	10,217,599.1199
	พ.ย.	20,344	24,895.5510	145	25,040.5510	0.8118	14,055.0171	305.9880	93,628.6298
	ธ.ค.	12,896	23,930.6305	145	24,075.6305	0.5602	24,026.3121	-1,159.0171	1,343,320.6048

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	Y_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t	e_t^2
2552	ม.ค.	26,329	25,315.8974	145	25,460.8974	1.0000	40,804.6180	2,302.6879	5,302,371.5974
	ก.พ.	47,317	27,645.1042	145	27,790.1042	1.6079	51,393.8417	6,512.3820	42,411,118.8750
	มี.ค.	47,578	26,681.0343	145	26,826.0343	1.8461	8,487.0310	-3,815.8417	14,560,647.7522
	เม.ย.	9,939	29,292.9116	145	29,437.9116	0.3175	26,826.3063	1,451.9690	2,108,214.0890
	พ.ค.	18,324	24,422.8950	145	24,567.8950	0.9034	34,259.7715	-8,502.3063	72,289,212.8116
	มิ.ย.	29,180	22,609.8748	145	22,754.8748	1.3894	26,960.9262	-5,079.7715	25,804,078.2755
	ก.ค.	22,385	20,678.9665	145	20,823.9665	1.1799	24,173.2673	-4,575.9262	20,939,100.1827
	ส.ค.	20,389	19,071.7031	145	19,216.7031	1.1564	9,382.2215	-3,784.2673	14,320,678.6578
	ก.ย.	10,608	20,566.2088	145	20,711.2088	0.4896	14,833.7652	1,225.7785	1,502,533.0498
	ต.ค.	14,771	20,664.1043	145	20,809.1043	0.7162	16,892.1355	-62.7652	3,939.4681
	พ.ย.	18,273	21,723.4478	145	21,868.4478	0.8132	12,250.6921	1,380.8645	1,906,786.8515
	ธ.ค.	11,218	20,877.5755	145	21,022.5755	0.5591	21,022.5781	-1,032.6921	1,066,452.9472
2553	ม.ค.	19,142	20,011.7392	145	20,156.7392	0.9979	32,410.9135	-1,880.5781	3,536,573.8502
	ก.พ.	35,566	21,211.4413	145	21,356.4413	1.6113	39,426.9069	3,155.0865	9,954,571.1187
	มี.ค.	49,408	24,262.4961	145	24,407.4961	1.8554	7,749.1189	9,981.0931	99,622,220.2282
	เม.ย.	7,057	23,235.7295	145	23,380.7295	0.3168	21,123.1700	-692.1189	479,028.5524
	พ.ค.	18,470	21,802.1969	145	21,947.1969	0.9007	30,494.1692	-2,653.1700	7,039,311.1533
	มิ.ย.	28,786	21,286.3777	145	21,431.3777	1.3876	25,285.9805	-1,708.1692	2,917,841.9253
	ก.ค.	24,319	20,990.8456	145	21,135.8456	1.1788	24,440.8530	-966.9805	935,051.3784
	ส.ค.	23,725	20,803.0967	145	20,948.0967	1.1556	10,255.6645	-715.8530	512,445.5621
	ก.ย.	15,287	26,472.0952	145	26,617.0952	0.4939	19,061.8535	5,301.3355	25,314,336.9729
	ต.ค.	16,352	24,583.1893	145	24,728.1893	0.7137	20,108.9199	-2,709.8535	7,343,306.1383
	พ.ย.	16,727	22,492.7834	145	22,637.7834	0.8098	12,656.4537	-3,381.9199	11,437,382.4976
	ธ.ค.	15,935	25,789.8304	145	25,934.8304	0.5619	25,879.9420	3,278.5463	10,748,865.8169
2554	ม.ค.	19,169	22,319.9569	145	22,464.9569	0.9911	36,197.6585	-671.9420	45,036,742.7472
	ก.พ.	38,251	23,149.9336	145	23,294.9336	1.6133	43,221.4623	2,053.3415	4,216,211.4267
	มี.ค.	55,132	26,745.4405	145	26,890.4405	1.8654	8,519.3871	11,910.5377	141,860,908.7440
	เม.ย.	15,187	38,202.7023	145	38,347.7023	0.3207	34,539.8815	6,667.6129	44,457,061.4319
	พ.ค.	24,922	32,608.0256	145	32,753.0256	0.8941	45,448.9523	-9,617.8815	92,503,643.7387
	มิ.ย.	39,050	30,274.3144	145	30,419.3144	1.3829	35,858.9076	-6,398.9523	40,946,590.9317
	ก.ค.	33,750	29,457.7034	145	29,602.7034	1.1772	34,208.7288	-2,108.9076	4,447,491.1668
	ส.ค.	31,597	28,387.8831	145	28,532.8831	1.1535	14,091.1258	-2,611.7288	6,821,127.2696
	ก.ย.	17,873	32,649.0839	145	32,794.0839	0.4965	23,404.0911	3,781.8742	14,302,572.3419
	ต.ค.	20,525	30,625.6377	145	30,770.6377	0.7116	24,918.4273	-2,879.0911	8,289,165.7299
	พ.ย.	23,141	29,590.8681	145	29,735.8681	0.8085	16,710.0282	-1,777.4273	3,159,247.7162
	ธ.ค.	20,387	33,252.9562	145	33,397.9562	0.5644	33,101.1078	3,676.9718	13,520,121.7772
2555	ม.ค.	25,135	29,077.6647	145	29,222.6647	0.9849	47,144.6927	-7,966.1078	63,458,872.8789
	ก.พ.	54,057	31,525.6945	145	31,670.6945	1.6182	59,079.5186	6,912.3073	47,779,992.1636
	มี.ค.	58,508	31,506.0146	145	31,651.0146	1.8650	10,152.0417	-571.5186	326,633.4827
	เม.ย.	14,714	39,295.9720	145	39,440.9720	0.3234	35,262.5824	4,561.9583	20,811,463.7769
	พ.ค.	32,447	37,748.2281	145	37,893.2281	0.8924	52,401.2418	-2,815.5824	7,927,504.1195
	มิ.ย.	52,683	38,002.7463	145	38,147.7463	1.3830	44,907.8310	281.7582	79,387.7017
	ก.ค.	45,574	38,451.9194	145	38,596.9194	1.1776	44,522.4210	666.1690	443,781.1541
	ส.ค.	44,061	38,381.9083	145	38,526.9083	1.1533	19,127.2432	-461.4210	212,909.3081
	ก.ย.	15,802	34,926.7243	145	35,071.7243	0.4943	24,955.3125	-3,325.2432	11,057,242.5825
	ต.ค.	19,626	31,045.9002	145	31,190.9002	0.7077	25,216.5642	-5,329.3125	28,401,571.2127
	พ.ย.	30,984	35,025.4490	145	35,170.4490	0.8122	19,851.5729	5,767.4358	33,263,316.1231
	ธ.ค.	18,686	34,060.4773	145	34,205.4773	0.5637	33,690.3953	-1,165.5729	1,358,560.1377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	Y_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t	e_t^2
2556	ม.ค.	33,118	33,893.1031	145	34,038.1031	0.9846	55,081.4901	-572.3953	327,636.4072
	ก.พ.	62,236	36,414.5552	145	36,559.5552	1.6227	68,184.4178	7,154.5099	51,187,012.3438
	มี.ค.	67,804	36,449.9159	145	36,594.9159	1.8648	11,833.4787	-380.4178	144,717.6884
	เม.ย.	9,760	33,148.2641	145	33,293.2641	0.3220	29,710.2349	-2,073.4787	4,299,314.0881
	พ.ค.	26,440	31,323.4795	145	31,468.4795	0.8900	43,521.9326	-3,270.2349	10,694,436.1376
	มิ.ย.	44,089	31,688.8694	145	31,833.8694	1.3834	37,487.5062	567.0674	321,565.4301
	ก.ค.	38,152	32,137.1770	145	32,282.1770	1.1781	37,229.4819	664.4938	441,551.9714
	ส.ค.	37,521	32,418.0493	145	32,563.0493	1.1535	16,096.5746	291.5181	84,982.8249
	ก.ย.	17,889	34,512.0958	145	34,657.0958	0.4955	24,526.2926	1,792.4254	3,212,788.9117
	ต.ค.	24,847	34,900.6855	145	35,045.6855	0.7079	28,462.9719	320.7074	102,853.2512
	พ.ย.	25,362	32,993.3817	145	33,138.3817	0.8101	18,679.0540	-3,100.9719	9,616,026.4789
	ธ.ค.	23,633	37,862.4612	145	38,007.4612	0.5666	37,420.6705	4,953.9460	24,541,581.2940
2557	ม.ค.	36,550	37,532.1252	145	37,677.1252	0.9840	61,136.9901	-870.6705	758,067.1191
	ก.พ.	52,034	34,661.7089	145	34,806.7089	1.6167	64,907.1372	-9,102.9901	82,864,428.1578
	มี.ค.	71,328	36,657.4830	145	36,802.4830	1.8687	11,848.7505	6,420.8628	41,227,479.1423
	เม.ย.	10,835	35,109.9967	145	35,254.9967	0.3213	31,377.9471	-1,013.7505	1,027,690.1263
	พ.ค.	29,098	33,878.0712	145	34,023.0712	0.8885	47,068.7287	-2,279.9471	5,198,158.7520
	มิ.ย.	65,122	41,037.4055	145	41,182.4055	1.3933	48,515.5035	18,053.2713	325,920,603.0618
	ก.ค.	54,306	43,824.4278	145	43,969.4278	1.1810	50,716.7312	5,790.4965	33,529,849.6643
	ส.ค.	53,042	45,053.0109	145	45,198.0109	1.1546	22,395.1613	2,325.2688	5,406,874.8922
	ก.ย.	12,930	34,930.0867	145	35,075.0867	0.4894	24,829.3575	-9,465.1613	89,589,279.1533
	ต.ค.	20,538	31,816.5886	145	31,961.5886	0.7049	25,890.5108	-4,291.3575	18,415,748.9065
	พ.ย.	22,229	29,531.9730	145	29,676.9730	0.8073	16,815.4213	-3,661.5108	13,406,661.5591
	ธ.ค.	17,559	30,382.3613	145	30,527.3613	0.5672	30,040.1048	743.5787	552,909.2402
2558	ม.ค.	47,865	40,263.8938	145	40,408.8938	0.9940	65,330.6932	17,824.8952	317,726,887.6214
	ก.พ.	80,230	45,362.4291	145	45,507.4291	1.6241	85,041.2396	14,899.3068	221,989,344.1606
	มี.ค.	88,107	46,389.2501	145	46,534.2501	1.8702	14,951.6821	3,065.7604	9,398,887.1101

RMSE = 5,093.5774

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3
วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบบวก
($\alpha = 0.3220$, $\gamma = 0$, $\delta = 0$)

พ.ศ.	เดือน	Y_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t	e_t^2
2548	เม.ย.	16,050							
	พ.ค.	19,726							
	มิ.ย.	19,476							
	ก.ค.	9,397							
	ส.ค.	3,610							
	ก.ย.	3,081							
	ต.ค.	8,370							
	พ.ย.	3,364							
	ธ.ค.	12,067							
2549	ม.ค.	18,695							
	ก.พ.	31,576							
	มี.ค.	32,363							
	เม.ย.	10,863				-1,403.4201			
	พ.ค.	19,392				10,929.8715			
	มิ.ย.	15,984				8,767.0799			
	ก.ค.	7,506				-6,973.5868			
	ส.ค.	5,064				-10,994.1285			
	ก.ย.	1,440				-15,804.1285			
	ต.ค.	6,876				-10,638.7535			
	พ.ย.	2,520				-14,623.5868			
	ธ.ค.	9,425				-3,087.5451			
2550	ม.ค.	11,232				4,294.0799			
	ก.พ.	22,001				17,416.8299			
	มี.ค.	37,615	18,724	59.2	18,783	22,117.2882	17,379.5799		
	เม.ย.	18,142	19,028.49	59.2	19,087.6930	-1,403.4201	30,017.5645	-762.4201	581,284.4682
	พ.ค.	26,735	18,030.73	59.2	18,089.9343	10,929.8715	26,857.0142	-3,282.5645	10,775,229.8199
	มิ.ย.	25,135	17,535.4600	59.2	17,594.6600	8,767.0799	10,621.0732	-1,722.0142	2,965,332.8168
	ก.ค.	11,303	17,814.2348	59.2	17,873.4348	-6,973.5868	6,879.3063	681.9268	465,024.2169
	ส.ค.	6,726	17,824.0714	59.2	17,883.2714	-10,994.1285	2,079.1429	-153.3063	23,502.8234
	ก.ย.	2,641	18,064.1847	59.2	18,123.3847	-15,804.1285	7,484.6313	561.8571	315,683.3550
	ต.ค.	7,941	18,270.3317	59.2	18,329.5317	-10,638.7535	3,705.9449	456.3687	208,272.4125
	พ.ย.	4,736	18,661.2009	59.2	18,720.4009	-14,623.5868	15,632.8558	1,030.0551	1,061,013.5001
	ธ.ค.	16,608	19,034.3893	59.2	19,093.5893	-3,087.5451	23,387.6692	975.1442	950,906.1937
2551	ม.ค.	24,772	19,539.3324	59.2	19,598.5324	4,294.0799	37,015.3623	1,384.3308	1,916,371.7954
	ก.พ.	28,585	16,884.0254	59.2	16,943.2254	17,416.8299	39,060.5136	-8,430.3623	71,071,008.2111
	มี.ค.	41,218	17,637.9182	59.2	17,697.1182	22,117.2882	16,293.6980	2,157.4864	4,654,747.7699
	เม.ย.	24,983	20,495.0017	59.2	20,554.2017	-1,403.4201	31,484.0732	8,689.3020	75,503,968.4554
	พ.ค.	34,844	21,636.0704	59.2	21,695.2704	10,929.8715	30,462.3502	3,359.9268	11,289,108.0209
	มิ.ย.	28,855	21,177.7169	59.2	21,236.9169	8,767.0799	14,263.3301	-1,607.3502	2,583,574.7783
	ก.ค.	21,564	23,587.6723	59.2	23,646.8723	-6,973.5868	12,652.7438	7,300.6699	53,299,781.5540
	ส.ค.	18,903	25,659.4032	59.2	25,718.6032	-10,994.1285	9,914.4747	6,250.2562	39,065,701.9610
	ก.ย.	17,266	28,085.7337	59.2	28,144.9337	-15,804.1285	17,506.1802	7,351.5253	54,044,923.7400
	ต.ค.	20,221	29,019.0832	59.2	29,078.2832	-10,638.7535	14,454.6964	2,714.8198	7,370,246.6379
	พ.ย.	3,576	25,575.4328	59.2	25,634.6328	-14,623.5868	22,547.0876	-10,878.6964	118,346,035.8030
	ธ.ค.	21,959	25,445.2734	59.2	25,504.4734	-3,087.5451	29,798.5533	-588.0876	345,847.0752

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	Y_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t	e_t^2
2552	ม.ค.	25,217	24,029.2511	59.2	24,088.4511	4,294.0799	41,505.2809	-4,581.5533	20,990,630.4227
	ก.พ.	44,127	24,932.6230	59.2	24,991.8230	17,416.8299	47,109.1112	2,621.7191	6,873,410.8208
	มี.ค.	45,371	24,432.1655	59.2	24,491.3655	22,117.2882	23,087.9454	-1,738.1112	3,021,030.4381
	เม.ย.	24,251	24,865.8595	59.2	24,925.0595	-1,403.4201	35,854.9310	1,163.0546	1,352,696.0312
	พ.ค.	39,258	26,020.8196	59.2	26,080.0196	10,929.8715	34,847.0995	3,403.0690	11,580,878.3561
	มิ.ย.	35,669	26,344.6648	59.2	26,403.8648	8,767.0799	19,430.2780	821.9005	675,520.4559
	ก.ค.	21,738	27,146.9322	59.2	27,206.1322	-6,973.5868	16,212.0038	2,307.7220	5,325,580.8307
	ส.ค.	14,846	26,766.2903	59.2	26,825.4903	-10,994.1285	11,021.3618	-1,366.0038	1,865,966.2916
	ก.ย.	8,456	25,999.4650	59.2	26,058.6650	-15,804.1285	15,419.9115	-2,565.3618	6,581,081.3205
	ต.ค.	15,241	26,001.0569	59.2	26,060.2569	-10,638.7535	11,436.6701	-178.9115	32,009.3241
	พ.ย.	8,591	25,143.9747	59.2	25,203.1747	-14,623.5868	22,115.6295	-2,845.6701	8,097,838.5406
	ธ.ค.	23,621	25,687.8915	59.2	25,747.0915	-3,087.5451	30,041.1714	1,505.3705	2,266,140.3068
2553	ม.ค.	35,596	27,535.7005	59.2	27,594.9005	4,294.0799	45,011.7303	5,554.8286	30,856,120.9724
	ก.พ.	46,040	27,925.9948	59.2	27,985.1948	17,416.8299	50,102.4830	1,028.2697	1,057,338.4886
	มี.ค.	46,485	26,820.3952	59.2	26,879.5952	22,117.2882	25,476.1750	-3,617.4830	13,086,183.3799
	เม.ย.	23,136	26,126.0781	59.2	26,185.2781	-1,403.4201	37,115.1496	-2,340.1750	5,476,419.0981
	พ.ค.	34,264	25,267.2315	59.2	25,326.4315	10,929.8715	34,093.5113	-2,851.1496	8,129,054.2949
	มิ.ย.	32,911	24,945.6726	59.2	25,004.8726	8,767.0799	18,031.2858	-1,182.5113	1,398,333.0415
	ก.ค.	11,264	22,825.8624	59.2	22,885.0624	-6,973.5868	11,890.9340	-6,767.2858	45,796,156.7668
	ส.ค.	8,648	21,840.8645	59.2	21,900.0645	-10,994.1285	6,095.9360	-3,242.9340	10,516,620.6207
	ก.ย.	6,056	21,887.2054	59.2	21,946.4054	-15,804.1285	11,307.6519	-39.9360	1,594,8833
	ต.ค.	10,492	21,683.7722	59.2	21,742.9722	-10,638.7535	7,119.3854	-815.6519	665,288.0724
	พ.ย.	7,358	21,819.8041	59.2	21,879.0041	-14,623.5868	18,791.4590	238.6146	56,936.9231
	ธ.ค.	21,344	22,700.9013	59.2	22,760.1013	-3,087.5451	27,054.1811	2,552.5410	6,515,465.5352
2554	ม.ค.	23,676	21,672.3548	59.2	21,731.5548	4,294.0799	39,148.3847	-3,378.1811	11,412,107.7728
	ก.พ.	45,891	23,902.6213	59.2	23,961.8213	17,416.8299	46,079.1095	6,742.6153	45,462,861.1463
	มี.ค.	46,826	24,202.3139	59.2	24,261.5139	22,117.2882	22,858.0937	746.8905	557,845.4235
	เม.ย.	28,997	26,238.1910	59.2	26,297.3910	-1,403.4201	37,227.2625	6,138.9063	37,686,170.0680
	พ.ค.	39,391	26,994.0966	59.2	27,053.2966	10,929.8715	35,820.3765	2,163.7375	4,681,759.7690
	มิ.ย.	35,658	27,001.0127	59.2	27,060.2127	8,767.0799	20,086.6259	-162.3765	26,366.1207
	ก.ค.	13,790	25,032.7512	59.2	25,091.9512	-6,973.5868	14,097.8227	-6,296.6259	39,647,498.0511
	ส.ค.	11,023	24,101.8836	59.2	24,161.0836	-10,994.1285	8,356.9552	-3,074.8227	9,454,534.5708
	ก.ย.	8,072	24,069.3304	59.2	24,128.5304	-15,804.1285	13,489.7770	-284.9552	81,199.4465
	ต.ค.	12,434	23,788.5790	59.2	23,847.7790	-10,638.7535	9,224.1922	-1,055.7770	1,114,664.9781
	พ.ย.	9,782	24,027.3885	59.2	24,086.5885	-14,623.5868	20,999.0433	557.8078	311,149.5894
	ธ.ค.	22,069	24,431.1057	59.2	24,490.3057	-3,087.5451	28,784.3856	1,069.9567	1,144,807.2443
2555	ม.ค.	29,331	24,666.3110	59.2	24,725.5110	4,294.0799	42,142.3409	546.6144	298,787.3512
	ก.พ.	44,066	25,344.9134	59.2	25,404.1134	17,416.8299	47,521.4016	1,923.6591	3,700,464.3553
	มี.ค.	47,093	25,266.1716	59.2	25,325.3716	22,117.2882	23,921.9515	-428.4016	183,527.9137
	เม.ย.	18,460	23,566.6683	59.2	23,625.8683	-1,403.4201	34,555.7399	-5,461.9515	29,832,913.9075
	พ.ค.	32,798	23,059.8906	59.2	23,119.0906	10,929.8715	31,886.1705	-1,757.7399	3,089,649.3953
	มิ.ย.	31,330	22,940.0083	59.2	22,999.2083	8,767.0799	16,025.6215	-556.1705	309,325.5856
	ก.ค.	16,609	23,187.0514	59.2	23,246.2514	-6,973.5868	12,252.1229	583.3785	340,330.4749
	ส.ค.	12,493	23,323.8118	59.2	23,383.0118	-10,994.1285	7,578.8833	240.8771	58,021.7801
	ก.ย.	7,398	23,324.7689	59.2	23,383.9689	-15,804.1285	12,745.2154	-180.8833	32,718.7805
	ต.ค.	14,211	23,855.9394	59.2	23,915.1394	-10,638.7535	9,291.5526	1,465.7846	2,148,524.5126
	พ.ย.	8,800	23,756.8635	59.2	23,816.0635	-14,623.5868	20,728.5184	-491.5526	241,623.9620
	ธ.ค.	18,123	22,977.1081	59.2	23,036.3081	-3,087.5451	27,330.3880	-2,605.5184	6,788,726.0785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	Y_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$S_t(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t	e_t^2
2556	ม.ค.	23,900	21,931.7515	59.2	21,990.9515	4,294.0799	39,407.7814	-3,430.3880	11,767,561.6694
	ก.พ.	39,903	22,150.4078	59.2	22,209.6078	17,416.8299	44,326.8960	495.2186	245,241.4958
	มี.ค.	51,719	24,589.8043	59.2	24,649.0043	22,117.2882	23,245.5841	7,392.1040	54,643,201.3801
	เม.ย.	17,755	22,881.0815	59.2	22,940.2815	-1,403.4201	33,870.1530	-5,490.5841	30,146,514.2095
	พ.ค.	38,668	24,485.1486	59.2	24,544.3486	10,929.8715	33,311.4285	4,797.8470	23,019,335.4644
	มิ.ย.	35,804	25,346.9361	59.2	25,406.1361	8,767.0799	18,432.5493	2,492.5715	6,212,912.7442
	ก.ค.	14,055	23,996.6013	59.2	24,055.8013	-6,973.5868	13,061.6729	-4,377.5493	19,162,937.6284
	ส.ค.	10,514	23,235.4717	59.2	23,294.6717	-10,994.1285	7,490.5432	-2,547.6729	6,490,637.0835
	ก.ย.	8,583	23,646.4338	59.2	23,705.6338	-15,804.1285	13,066.8803	1,092.4568	1,193,461.7706
	ต.ค.	13,178	23,741.4134	59.2	23,800.6134	-10,638.7535	9,177.0266	111.1197	12,347.5879
	พ.ย.	10,353	24,179.2671	59.2	24,238.4671	-14,623.5868	21,150.9220	1,175.9734	1,382,913.4559
	ธ.ค.	16,844	22,851.6738	59.2	22,910.8738	-3,087.5451	27,204.9537	-4,306.9220	18,549,577.0159
2557	ม.ค.	32,271	24,542.0989	59.2	24,601.2989	4,294.0799	42,018.1288	5,066.0463	25,664,825.5027
	ก.พ.	40,607	24,146.9271	59.2	24,206.1271	17,416.8299	46,323.4153	-1,411.1288	1,991,284.3850
	มี.ค.	52,280	26,124.0982	59.2	26,183.2982	22,117.2882	24,779.8781	5,956.5847	35,480,901.4882
	เม.ย.	11,246	21,825.5012	59.2	21,884.7012	-1,403.4201	32,814.5727	-13,533.8781	183,165,855.2753
	พ.ค.	30,280	21,068.5897	59.2	21,127.7897	10,929.8715	29,894.8696	-2,534.5727	6,424,058.8267
	มิ.ย.	22,752	18,827.8447	59.2	18,887.0447	8,767.0799	11,913.4579	-7,142.8696	51,020,585.4658
	ก.ค.	6,478	17,136.8721	59.2	17,196.0721	-6,973.5868	6,201.9436	-5,435.4579	29,544,202.0918
	ส.ค.	6,072	17,154.2313	59.2	17,213.4313	-10,994.1285	1,409.3029	-129.9436	16,885.3465
	ก.ย.	2,998	17,724.9787	59.2	17,784.1787	-15,804.1285	7,145.4252	1,588.6971	2,523,958.6261
	ต.ค.	6,240	17,492.6392	59.2	17,551.8392	-10,638.7535	2,928.2524	-905.4252	819,794.8281
	พ.ย.	3,992	17,894.3572	59.2	17,953.5572	-14,623.5868	14,866.0120	1,063.7476	1,131,558.8720
	ธ.ค.	6,960	15,407.8866	59.2	15,467.0866	-3,087.5451	19,761.1664	-7,906.0120	62,505,026.3707
2558	ม.ค.	12,208	13,035.0293	59.2	13,094.2293	4,294.0799	30,511.0592	-7,553.1664	57,050,323.0655
	ก.พ.	35,585	14,727.9964	59.2	14,787.1964	17,416.8299	36,904.4846	5,073.9408	25,744,875.3638
	มี.ค.	52,157	19,698.3804	59.2	19,757.5804	22,117.2882	18,354.1603	15,252.5154	232,639,226.7056

RMSE = 4,252.7092

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1
วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (ตัวแบบ : $ARIMA(0,1,2) \times SARIMA(2,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่)

Lag	ACF	T	Lag	ACF	T	Lag	ACF	T
1	-0.0414	-0.4284	37	-0.0255	-0.2204	73	-0.0606	-0.4868
2	0.0879	0.9080	38	0.0112	0.0962	74	0.0077	0.0615
3	0.1264	1.2950	39	-0.0706	-0.6092	75	0.0014	0.0109
4	-0.1324	-1.3356	40	0.0655	0.5634	76	-0.0332	-0.2659
5	0.0174	0.1725	41	0.0131	0.1125	77	0.0683	0.5471
6	0.0318	0.3156	42	-0.0152	-0.1303	78	0.0263	0.2104
7	0.0215	0.2134	43	-0.1006	-0.8618	79	-0.0233	-0.1857
8	0.0461	0.4573	44	-0.0016	-0.0136	80	0.0484	0.3864
9	-0.0562	-0.5555	45	-0.0779	-0.6624	81	-0.0748	-0.5963
10	0.0438	0.4319	46	-0.0436	-0.3696	82	0.0606	0.4812
11	-0.2127	-2.0944	47	0.0328	0.2774	83	-0.0031	-0.0249
12	-0.0236	-0.2236	48	-0.0096	-0.0812	84	-0.1381	-1.0951
13	-0.0949	-0.8979	49	-0.0187	-0.1585	85	0.0209	0.1641
14	-0.1144	-1.0741	50	0.0753	0.6365	86	0.0172	0.1352
15	-0.0207	-0.1924	51	-0.0593	-0.4995	87	0.0008	0.0066
16	-0.0856	-0.7946	52	-0.0137	-0.1147	88	0.0798	0.6256
17	-0.0102	-0.0944	53	0.0765	0.6426	89	-0.0597	-0.4663
18	0.1062	0.9806	54	-0.0704	-0.5891	90	0.0037	0.0288
19	0.0013	0.0119	55	0.0179	0.1497	91	-0.0053	-0.0414
20	0.0082	0.0748	56	0.0304	0.2537	92	-0.0187	-0.1460
21	-0.0678	-0.6200	57	-0.0852	-0.7100	93	0.0188	0.1462
22	0.0899	0.8196	58	0.1468	1.2179	94	-0.0356	-0.2771
23	-0.1213	-1.0988	59	0.0079	0.0651	95	0.0381	0.2964
24	0.0521	0.4667	60	0.1057	0.8648	96	0.0053	0.0411
25	0.0488	0.4363	61	-0.0148	-0.1203	97	0.0003	0.0020
26	-0.0607	-0.5414	62	0.0547	0.4448	98	-0.0088	-0.0687
27	0.0333	0.2967	63	0.0279	0.2264	99	-0.0093	-0.0723
28	0.0597	0.5308	64	-0.0264	-0.2140	100	0.0321	0.2495
29	-0.1112	-0.9860	65	0.0048	0.0387	101	-0.0360	-0.2796
30	0.0168	0.1476	66	-0.0489	-0.3960	102	-0.0148	-0.1146
31	-0.0705	-0.6199	67	-0.0486	-0.3933	103	0.0080	0.0619
32	0.0648	0.5679	68	0.0700	0.5658	104	0.0170	0.1316
33	-0.0506	-0.4421	69	-0.0093	-0.0748	105	0.0103	0.0797
34	0.0494	0.4304	70	0.0351	0.2826	106	-0.0087	-0.0674
35	-0.0183	-0.1591	71	0.0498	0.4012			
36	-0.1068	-0.9286	72	-0.0269	-0.2158			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2
วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (ตัวแบบ : $ARIMA(5,1,0) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่)

Lag	ACF	T	Lag	ACF	T	Lag	ACF	T
1	-0.1041	-1.0765	37	-0.0743	-0.6474	73	-0.0034	-0.0272
2	-0.0889	-0.9098	38	-0.0126	-0.1095	74	-0.0394	-0.3140
3	0.0133	0.1352	39	0.0777	0.6745	75	-0.0290	-0.2303
4	-0.0234	-0.2376	40	0.0621	0.5368	76	-0.0308	-0.2445
5	-0.0121	-0.1228	41	-0.1051	-0.9056	77	-0.0493	-0.3917
6	-0.1558	-1.5809	42	0.0253	0.2167	78	-0.0215	-0.1702
7	0.1226	1.2158	43	-0.0176	-0.1505	79	0.0221	0.1754
8	0.1091	1.0677	44	0.0659	0.5632	80	-0.0013	-0.0102
9	-0.0089	-0.0859	45	-0.0112	-0.0952	81	0.0256	0.2034
10	-0.0184	-0.1780	46	0.0928	0.7907	82	0.0370	0.2930
11	-0.0549	-0.5309	47	0.0914	0.7741	83	-0.0246	-0.1947
12	-0.0086	-0.0830	48	0.0713	0.6007	84	-0.0030	-0.0238
13	0.0377	0.3634	49	0.0599	0.5032	85	0.0188	0.1486
14	-0.0808	-0.7785	50	-0.0674	-0.5648	86	0.0267	0.2115
15	-0.0687	-0.6588	51	0.0348	0.2906	87	-0.0512	-0.4050
16	0.0300	0.2862	52	-0.0022	-0.0185	88	0.0135	0.1068
17	0.1479	1.4111	53	-0.0087	-0.0726	89	0.0284	0.2245
18	-0.1688	-1.5815	54	-0.0328	-0.2739	90	-0.0450	-0.3550
19	0.0560	0.5130	55	0.0305	0.2542	91	-0.0257	-0.2025
20	-0.0249	-0.2278	56	-0.0038	-0.0317	92	0.0434	0.3424
21	-0.0873	-0.7967	57	-0.0371	-0.3092	93	0.0042	0.0327
22	-0.1161	-1.0534	58	-0.0405	-0.3369	94	0.0141	0.1107
23	0.0385	0.3458	59	0.0661	0.5496	95	-0.0111	-0.0870
24	0.0141	0.1264	60	-0.0793	-0.6574	96	0.0275	0.2168
25	-0.0214	-0.1922	61	0.0084	0.0692	97	0.0162	0.1271
26	-0.0764	-0.6848	62	0.0091	0.0753	98	-0.0209	-0.1648
27	0.0037	0.0329	63	-0.0389	-0.3212	99	0.0145	0.1141
28	-0.0652	-0.5823	64	0.1204	0.9933	100	-0.0104	-0.0818
29	-0.0292	-0.2602	65	0.0483	0.3950	101	0.0087	0.0688
30	-0.0209	-0.1862	66	-0.0593	-0.4840	102	0.0033	0.0261
31	-0.0774	-0.6880	67	-0.0894	-0.7279	103	-0.0104	-0.0821
32	0.0821	0.7266	68	-0.0194	-0.1574	104	0.0023	0.0182
33	-0.0379	-0.3337	69	0.0125	0.1011	105	0.0096	0.0756
34	-0.0568	-0.4997	70	-0.1159	-0.9395	106	0.0025	0.0196
35	0.0328	0.2877	71	-0.0088	-0.0704			
36	0.0994	0.8723	72	0.1257	1.0099			

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้นิเทศ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3
วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (ตัวแบบ : $ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่)

Lag	ACF	T	Lag	ACF	T	Lag	ACF	T
1	-0.0309	-0.3199	37	0.0094	0.0781	73	-0.0365	-0.2767
2	0.0843	0.8707	38	-0.1258	-1.0424	74	0.0632	0.4785
3	-0.1239	-1.2711	39	0.0304	0.2495	75	-0.0707	-0.5344
4	0.0256	0.2587	40	-0.0469	-0.3843	76	-0.1179	-0.8891
5	-0.0349	-0.3530	41	0.1083	0.8868	77	-0.0534	-0.3995
6	-0.0173	-0.1750	42	-0.0179	-0.1457	78	-0.0034	-0.0255
7	-0.0040	-0.0407	43	-0.0664	-0.5395	79	0.0503	0.3760
8	0.1233	1.2437	44	-0.0663	-0.5368	80	-0.0102	-0.0765
9	0.0399	0.3966	45	0.0588	0.4748	81	-0.0310	-0.2314
10	0.0434	0.4308	46	0.0443	0.3572	82	0.0733	0.5466
11	-0.1483	-1.4708	47	0.0472	0.3802	83	-0.0290	-0.2159
12	0.0333	0.3233	48	0.1028	0.8266	84	-0.0644	-0.4789
13	-0.0124	-0.1204	49	0.1016	0.8122	85	-0.0942	-0.6991
14	-0.0232	-0.2248	50	-0.0549	-0.4357	86	0.0323	0.2389
15	-0.0103	-0.1000	51	0.0474	0.3762	87	0.0243	0.1794
16	0.1144	1.1099	52	-0.1174	-0.9296	88	0.0235	0.1737
17	-0.0105	-0.1004	53	0.0026	0.0200	89	0.0212	0.1568
18	0.0325	0.3117	54	0.0211	0.1659	90	-0.0085	-0.0626
19	-0.1953	-1.8722	55	0.0125	0.0978	91	-0.0463	-0.3415
20	-0.0635	-0.5901	56	0.0384	0.3016	92	-0.0205	-0.1511
21	0.1050	0.9715	57	0.0602	0.4720	93	-0.0136	-0.1002
22	-0.0402	-0.3685	58	-0.0105	-0.0822	94	0.0234	0.1726
23	-0.0417	-0.3824	59	-0.0716	-0.5606	95	0.0704	0.5184
24	0.0864	0.7907	60	-0.1214	-0.9474	96	0.0641	0.4706
25	0.0049	0.0444	61	0.0671	0.5194	97	-0.0258	-0.1891
26	0.0028	0.0252	62	0.0169	0.1306	98	-0.0374	-0.2740
27	-0.1725	-1.5693	63	0.1008	0.7783	99	-0.0020	-0.0150
28	-0.0776	-0.6904	64	-0.0004	-0.0033	100	0.0054	0.0392
29	-0.1005	-0.8904	65	0.0694	0.5327	101	-0.0142	-0.1039
30	-0.0011	-0.0095	66	-0.0233	-0.1785	102	0.0097	0.0707
31	0.0861	0.7567	67	-0.0579	-0.4434	103	0.0221	0.1615
32	0.0498	0.4356	68	-0.0509	-0.3891	104	-0.0076	-0.0559
33	0.2095	1.8286	69	-0.0104	-0.0793	105	-0.0129	-0.0944
34	-0.0836	-0.7076	70	0.0115	0.0880	106	0.0008	0.0057
35	-0.0351	-0.2961	71	-0.0953	-0.7273			
36	-0.1585	-1.3345	72	0.0468	0.3551			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ค่า RMSE ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-1
วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ : 13-3-1)

อัตรา การ เรียนรู้	โม เมนตัม	จำนวนรอบการเรียนรู้				
		1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
0.05	0.5	8,787.3540	10,652.4625	11,452.6372	11,528.1983	11,689.6615
	0.4	8,640.5741	10,273.0528	11,019.8593	11,589.7978	11,941.3815
	0.3	8,538.2010	10,112.3617	11,339.7599	12,196.0654	12,669.9931
	0.2	8,423.2010	9,675.9295	10,688.5059	11,670.4034	12,573.5939
	0.1	8,313.2430	9,369.3157	10,367.3658	11,199.3021	11,940.9932
0.03	0.5	8,324.2865	9,360.6239	10,350.0837	11,090.643	11,866.7032
	0.4	8,156.7981	8,966.1767	9,938.8519	10,573.6314	11,221.6410
	0.3	8,034.0385	8,731.0241	9,557.8609	10,199.8553	10,775.6809
	0.2	7,954.0499	8,569.4096	9,209.1618	9,901.6667	10,411.6841
	0.1	7,900.4003	8,448.7989	8,960.6453	9,630.2922	10,124.9936
0.01	0.5	7,738.7587	7,905.5025	8,273.2628	8,566.0538	8,922.0600
	0.4	7,719.3733	7,817.6151	8,069.1363	8,380.5789	8,620.3880
	0.3	7,711.2736	7,769.9834	7,931.7495	8,210.9938	8,449.1392
	0.2	7,711.5234	7,741.2377	7,850.5258	8,059.1111	8,309.5459
	0.1	7,720.5791	7,722.4519	7,800.1239	7,948.8134	8,172.0145
0.005	0.5	7,732.8537	7,701.0789	7,758.7129	7,866.4326	8,041.4449
	0.4	7,806.2345	7,687.0735	7,719.6178	7,782.6590	7,885.5538
	0.3	7,914.7456	7,682.5645	7,698.6304	7,739.0243	7,803.6744
	0.2	8,043.1782	7,685.8475	7,686.5806	7,713.6046	7,757.2504
	0.1	8,179.0854	7,697.9043	7,679.6772	7,697.5490	7,728.5833
0.001	0.5	10,875.9194	8,651.1647	8,082.3445	7,815.0610	7,708.1421
	0.4	11,917.9878	8,995.5985	8,314.0132	7,967.9701	7,788.4559
	0.3	12,815.0106	9,382.9451	8,539.8881	8,140.0185	7,902.6117
	0.2	13,589.5414	9,832.7764	8,763.7198	8,313.9384	8,035.4857
	0.1	14,321.4184	10,339.8985	8,996.3853	8,484.1019	8,174.8300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ค่า RMSE ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-2
วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ : 13-3-1)

อัตรา การเรียนรู้	โมเมนตัม	จำนวนรอบการเรียนรู้				
		1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
0.05	0.5	6,306.1793	6,527.3977	6,725.2128	7,172.5077	7,327.6955
	0.4	6,447.1024	6,574.7850	6,797.6725	7,229.8212	7,565.5828
	0.3	6,474.6509	6,637.0587	6,790.1310	7,046.9190	7,386.9183
	0.2	6,450.1002	6,652.6789	6,858.5346	7,071.8364	7,367.7702
	0.1	6,386.3736	6,567.2661	6,901.6742	7,143.2189	7,374.1008
0.03	0.5	6,421.8200	6,648.4381	6,818.0545	6,884.3717	6,955.5901
	0.4	6,279.7894	6,473.4882	6,864.2545	7,083.1278	7,193.6243
	0.3	6,104.5805	6,448.3234	6,668.3879	6,979.4431	7,098.3241
	0.2	5,947.3162	6,464.6222	6,496.9598	6,830.0991	7,015.8027
	0.1	5,849.9833	6,438.2198	6,421.8019	6,660.1535	6,903.5187
0.01	0.5	5,622.0354	5,924.4921	6,194.9034	6,246.2251	6,246.8931
	0.4	5,566.7786	5,823.8996	6,089.3205	6,229.2567	6,200.8950
	0.3	5,531.5196	5,753.2620	5,970.5914	6,190.0415	6,219.8464
	0.2	5,510.6802	5,696.4060	5,884.3221	6,096.5150	6,231.2308
	0.1	5,500.5812	5,648.6585	5,822.9165	5,999.4989	6,182.9201
0.005	0.5	5,508.6194	5,614.2191	5,775.9380	5,922.8710	6,096.4744
	0.4	5,529.1243	5,557.4054	5,697.7606	5,824.3442	5,951.5819
	0.3	5,576.0427	5,521.8886	5,635.9366	5,754.6400	5,859.5270
	0.2	5,645.5230	5,501.4262	5,588.2154	5,697.0883	5,795.1067
	0.1	5,732.1954	5,491.9389	5,552.3736	5,648.6091	5,742.3978
0.001	0.5	7,404.6824	6,092.3897	5,660.3848	5,521.1644	5,488.2444
	0.4	8,155.1914	6,360.0724	5,819.7110	5,592.6940	5,509.9544
	0.3	9,111.7868	6,611.0804	5,998.1863	5,695.2946	5,558.3444
	0.2	10,084.083	6,852.9834	6,180.2627	5,817.9512	5,629.3232
	0.1	10,875.357	7,106.9976	6,357.3503	5,951.1430	5,717.3614

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ค่า RMSE ของการพยากรณ์ปริมาณยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3
วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ : 13-4-1)

อัตรา การเรียนรู้	โมเมนตัม	จำนวนรอบการเรียนรู้				
		1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
0.05	0.5	7,324.0387	7,466.4138	7,678.0340	8,205.5333	8,662.5765
	0.4	7,630.8990	8,069.3991	7,837.4331	7,731.9330	7,893.1107
	0.3	7,232.8940	8,312.1095	8,128.2407	8,097.6370	8,276.7858
	0.2	6,767.3209	8,157.3187	8,380.6702	8,531.1426	8,696.6409
	0.1	6,330.0361	7,836.9147	8,131.8764	8,400.1481	8,496.5116
0.03	0.5	6,354.2355	7,364.2127	7,750.2434	8,288.1347	8,683.9280
	0.4	6,045.4849	7,257.0954	7,816.4391	7,882.5483	8,049.4776
	0.3	5,737.0486	6,510.2083	7,220.1776	7,608.2512	7,586.9398
	0.2	5,701.3186	6,666.5707	7,349.4897	7,693.1366	7,807.0430
	0.1	5,721.6427	6,196.7488	6,791.2161	7,169.0156	7,412.7366
0.01	0.5	5,847.3085	5,569.3921	5,823.5282	6,156.2781	6,462.7269
	0.4	5,795.7400	5,629.0743	5,659.7568	5,874.8133	6,132.0693
	0.3	5,740.4035	5,747.5469	5,563.1171	5,725.3011	5,902.8133
	0.2	5,686.2376	5,798.8532	5,536.5117	5,629.9435	5,766.4464
	0.1	5,638.9273	5,806.5121	5,608.9917	5,557.6872	5,680.1002
0.005	0.5	5,601.5496	5,795.1720	5,698.1901	5,502.0378	5,585.1494
	0.4	5,544.1612	5,759.9567	5,776.5128	5,602.2027	5,498.9158
	0.3	5,508.6789	5,715.8785	5,784.4997	5,717.0183	5,539.3875
	0.2	5,487.1818	5,669.3831	5,771.1610	5,766.1624	5,651.3951
	0.1	5,476.6716	5,627.1225	5,750.1816	5,777.1411	5,726.3227
0.001	0.5	5,872.1860	5,507.1428	5,482.4211	5,530.5654	5,589.5608
	0.4	6,096.9676	5,567.7388	5,475.3241	5,495.9352	5,539.7752
	0.3	6,326.0543	5,635.2248	5,492.1305	5,478.2338	5,507.5186
	0.2	6,522.0766	5,703.7016	5,525.8151	5,475.5645	5,487.1546
	0.1	6,680.4363	5,780.1703	5,568.1896	5,486.3868	5,476.8099

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวพรรณนิภา คุ่มสิน
วัน เดือน ปีเกิด	12 พฤศจิกายน 2530
ที่อยู่ปัจจุบัน	174/29 ถ.ราชกิจ ต.ท่าใหม่ อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี 22120 โทร. 089-7473640 E-mail : pannipa.c6677@gmail.com
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เกรดเฉลี่ย 3.40 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา พ.ศ. 2559 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 3.72 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้