

การพยากรณ์ปริมาณการใช้มอเตอร์
ของบริษัทผลิตเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่ง

FORECASTING THE MONTHLY NUMBER OF MOTORS
THAT AN AIR CONDITIONER MANUFACTURING
COMPANY USED



สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สถิติประยุกต์)
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2561 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FORECASTING THE MONTHLY NUMBER OF MOTORS
THAT AN AIR CONDITIONER MANUFACTURING
COMPANY USED



COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED STATISTICS)
DEPARTMENT OF STATISTICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ ACADEMIC YEAR 2018 นุญาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การพยากรณ์ปริมาณการใช้มอเตอร์ของบริษัทผลิตเครื่องปรับอากาศ แห่งหนึ่ง Forecasting the Monthly Number of Motors that an Air Conditioner Manufacturing Company Used
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐชิตา จงทำดีประเสริฐ รหัสนักศึกษา 58051208 นางสาวพีรญา สำราญวงศ์ รหัสนักศึกษา 58051284
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สถิติประยุกต์)
ภาควิชา	สถิติ
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พรรณทิพา วาณิชยจิรัฐติกาล

บทคัดย่อ

สหกิจศึกษาดำเนินนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณการใช้ Motor 1042420 และ Motor 1042773 โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิแบบรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 รวมทั้งสิ้น 132 เดือน โดยวิธีที่นำมาใช้ได้แก่ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ในการคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสม และใช้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์

ผลการศึกษาพบว่าวิธีที่ให้ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์สำหรับ Motor 1042420 คือวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งให้ค่า RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 33.2337 เมื่อนำตัวแบบที่ได้ไปใช้พยากรณ์ปริมาณการใช้ Motor 1042420 ของข้อมูล 12 เดือนสุดท้าย พบว่าให้ค่า MAPE เท่ากับ 90.36 % นั่นคือ ค่าพยากรณ์ห่างจากค่าสังเกต 90.36% และวิธีที่ให้ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์สำหรับ Motor 1042773 คือ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์แบบบวกรูปแบบ ซึ่งให้ค่า RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 16.8500 เมื่อนำตัวแบบที่ได้ไปใช้พยากรณ์ปริมาณการใช้ Motor 1042773 ของข้อมูล 12 เดือนสุดท้ายพบว่าให้ค่า MAPE เท่ากับ 91.23% นั่นคือค่าพยากรณ์ห่างจากค่าสังเกต 91.23% จากงานวิจัยฉบับนี้ ทางบริษัทสามารถนำตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์รุ่นต่าง ๆ ไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าและเพื่อลดต้นทุนในการจัดเก็บมอเตอร์ของทางบริษัท

คำสำคัญ : การพยากรณ์ วิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Forecasting the Monthly Number of Motors that an Air Conditioner Manufacturing Company Used
Students	Miss Nutchita Jongthamdeeprasert Student ID 58051208 Miss Peeraya Samranwong Student ID 58051284
Degree	Bachelor of Science (Applied Statistics)
Department	Statistics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Landkabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Dr. Puntipa Wanitjirattikal

Abstract

The objective of this study was to construct an appropriate model for forecasting the monthly number of motors that an air conditioner manufacturing company used by using secondary data collected monthly by the company for 132 months, from January 2008 to December 2019. The techniques used in the construction of the forecasting model were the following: Holt-Winter exponential smoothing method, Box and Jenkins method and artificial neural network. Minimum root mean square error (RMSE) was the criterion for choosing the appropriate forecasting model.

Two types of motor were of our interest. For motor of the type 1042420, artificial neural network was found to be the appropriate forecasting model, providing a minimum RMSE of 33.23. Applying this model to the records of the last 12 months, we found that the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) was 90.36%. For motor of the type 1042773, Holt-Winter Exponential Smoothing method (Additive) was found to be the appropriate forecasting model, providing the least RMSE of 16.85. Its corresponding MAPE was 91.23% for the last 12 months. The appropriate models found in this study can be beneficially used by the company to accurately forecast the number of motors of each type they are going to use each month and hence save their considerable inventory cost.

Keywords: Artificial Neural Network, Box and Jenkins method, Holt-Winter Exponential Smoothing method, Forecasting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดได้
หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

สหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พรรณทิพา วาณิชยจิรัฐติกาล ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษาและตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วลัยลักษณ์ อัครธีรวงศ์ อาจารย์คณะกรรมการ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ทำให้สหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณอรุณพันธ์ จันทรگانต์สกุล ผู้จัดการฝ่ายโรงงาน คุณธันวา ธนูปกรณ์ วิศวกรวางแผนการผลิต (พีเค็ยง) และเจ้าหน้าที่ทุกคนในแผนกฝ่ายการผลิต ที่ให้ความเมตตาและดูแลตลอดระยะเวลา 4 เดือนสำหรับการทำสหกิจ รวมถึงให้ความอนุเคราะห์ในการรวบรวมข้อมูลให้เป็นไปอย่างครบถ้วนและสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาคสฤติทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ตลอดการทำสหกิจศึกษาฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้จัดทำ ซึ่งสนับสนุนในด้านกำลังใจทรัพย์ และให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือในการทำงานมาโดยตลอด จนสหกิจศึกษาฉบับนี้สมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ณัฐชิตา จงทำดีประเสริฐ
พริญา สำราญวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ที่ศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา.....	3
2.1.1 ส่วนประกอบหลักของอนุกรมเวลา.....	3
2.1.2 วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลา.....	3
2.1.3 การทดสอบแนวโน้ม.....	4
2.1.4 การทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล.....	4
2.2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กโพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์.....	5
2.3 วิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์.....	6
2.3.1 การแปลงอนุกรมเวลาให้เป็นอนุกรมเวลาที่เสถียร.....	7
2.3.2 การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบบ็อกซ์และเจนกินส์.....	7
2.4 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	11
2.5 การวัดความถูกต้องของตัวแบบการพยากรณ์.....	15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1 ลักษณะข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูล.....	19
3.2 ตัวแปรและนิยาม.....	19
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	19
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	19
3.4.1 ศึกษาลักษณะของข้อมูล.....	19
3.4.2 พยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3 พยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์.....	21
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	22
4.1 ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420....	22
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กโพเนนเชียลแบบโฮลท์ และวินเทอร์.....	23
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์.....	32
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	37
4.1.4 ผลการเปรียบเทียบตัวแบบ.....	37
4.2 ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773....	39
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กโพเนนเชียลแบบโฮลท์ และวินเทอร์.....	40
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์.....	49
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	53
4.2.4 ผลการเปรียบเทียบตัวแบบ.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	56
5.1.1 มอเตอร์ 1042420.....	56
5.1.2 มอเตอร์ 1042773.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก.....	60
ภาคผนวก ข.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การวิเคราะห์ค่า $\hat{T}_i(t)$, $\hat{\beta}_i(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ของข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก เมื่อกำหนด $\alpha = 0.1025$, $\gamma = 0.01$ และ $\delta = 0.01$	23
4.2 การวิเคราะห์ค่า $\hat{T}_i(t)$, $\hat{\beta}_i(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ของข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบคูณ เมื่อกำหนด $\alpha = 0.0569$, $\gamma = 0.6219$ และ $\delta = 0.01$	28
4.3 ตัวแบบที่เป็นไปได้สำหรับพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ด้วยวิธีบ็อกซ์ และเจนกินส์.....	34
4.4 การทดสอบพารามิเตอร์ของตัวแบบ $ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(1,1,1)_{12}$	35
4.5 การทดสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ $ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(1,1,1)_{12}$	36
4.6 โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์และค่าวัดความถูกต้องของตัวแบบที่เหมาะสมด้วย วิธีโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดใช้มอเตอร์ 1042420.....	37
4.7 ผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธีของปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420...	37
4.8 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ มอเตอร์ 1042420.....	38
4.9 การวิเคราะห์ค่า $\hat{T}_i(t)$, $\hat{\beta}_i(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ของข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก เมื่อกำหนด $\alpha = 0.1199$, $\gamma = 0.01$ และ $\delta = 0.01$	40
4.10 การวิเคราะห์ค่า $\hat{T}_i(t)$, $\hat{\beta}_i(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ของข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบคูณ เมื่อกำหนด $\alpha = 0.0775$, $\gamma = 0.1480$ และ $\delta = 0.4060$	45
4.11 ตัวแบบที่เป็นไปได้สำหรับพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ด้วยวิธี บ็อกซ์ และเจนกินส์.....	51
4.12 การทดสอบพารามิเตอร์ของตัวแบบ $ARIMA(0,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$	51
4.13 การทดสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ $ARIMA(0,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์และค่าวัดความถูกต้องของตัวแบบที่เหมาะสมด้วย วิธีโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดใช้มอเตอร์ 1042773.....	53
4.15 ผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธีของปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773... 53	53
4.16 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ด้วยปรับให้เรียบเอ็กโพแนนเชียลแบบ ไฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบบวกสำหรับมอเตอร์ 1042773.....	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงข่ายประสาทเทียม.....	12
2.2 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบไปข้างหน้า.....	13
2.3 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการย้อนกลับ.....	14
2.4 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นมีชั้นซ่อน 2 ชั้น.....	14
4.1 ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420.....	22
4.2 อนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง.....	32
4.3 อนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง และการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง.....	33
4.4 คอเรโลแกรม ACF ของอนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ที่ได้จาก การหาผลต่าง 1 ครั้ง และการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง.....	33
4.5 คอเรโลแกรม PACF ของอนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ที่ได้จาก การหาผลต่าง 1 ครั้ง และการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง.....	34
4.6 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420และค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม....	39
4.7 ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773.....	39
4.8 อนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง.....	49
4.9 อนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง และการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง.....	50
4.10 คอเรโลแกรม ACF ของอนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง และการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง.....	50
4.11 คอเรโลแกรม PACF ของอนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง และการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง.....	51
4.12 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420และค่าพยากรณ์ โดยวิธีปรับให้เรียบ เอ็กโพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและส่งผลให้อากาศร้อน เครื่องปรับอากาศจึงกลายเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำเนินชีวิต ทำให้มีการแข่งขันทางธุรกิจสูง ดังนั้นหลาย ๆ องค์กรจึงต้องมีการวางแผนวิธีการผลิตและการบริหารจัดการหน่วยงานในองค์กรให้สามารถลดต้นทุนพร้อมทั้งสร้างกำไรและความพึงพอใจจากลูกค้า ซึ่งเทคนิคการพยากรณ์เป็นวิธีที่นำมาใช้ในการวางแผนการผลิตทั้งในระยะสั้นและระยะยาว และช่วยในการตัดสินใจในสถานการณ์ต่างๆที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ถ้าการพยากรณ์ถูกต้องและแม่นยำจะทำให้ธุรกิจได้ผลกำไรตามที่คาดการณ์ไว้

ในการผลิตเครื่องปรับอากาศของบริษัทแห่งหนึ่ง เป็นการผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ซึ่งไม่สามารถกักตุนชิ้นส่วนประกอบ (มอเตอร์) ในการผลิตเครื่องปรับอากาศไว้ในจำนวนมากได้ เนื่องจากอาจจะทำให้เกิดความสูญเปล่า ถ้าคำสั่งซื้อเครื่องปรับอากาศน้อยกว่าจำนวนมอเตอร์ที่มีการกักตุนเอาไว้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการเก็บมอเตอร์จึงจำเป็นต้องใช้การพยากรณ์เข้ามาช่วยในการคำนวณยอดการใช้มอเตอร์เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งเทคนิคการพยากรณ์มีประโยชน์อย่างมากในการเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่จะช่วยให้ได้ข้อมูลในอนาคต และยังสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลการดำเนินงาน เพื่อตรวจสอบว่าวิธีการหรือกลยุทธ์ที่องค์กรใช้อยู่ นั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมหรือไม่

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง ปิยะกิจ กิจจิตตุลาภานนท์ (2560) ได้ทำการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการพยากรณ์ความต้องการปุ๋ยเคมี งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเทคนิคด้านการพยากรณ์เพื่อค้นหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยวัดจากค่า MSE น้อยที่สุด พบว่ารหัสปุ๋ยเคมี CF201 CF229 และ CF204 เหมาะกับการพยากรณ์ด้วยวิธีการแยกส่วนรูปแบบการคูณ ทำให้ค่า MSE น้อยที่สุดคือ 11.39 11.40 และ 4.77 ตามลำดับ ส่วนรหัสปุ๋ยเคมี CF202 เหมาะกับการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮสต์ – วินเทอร์ ทำให้ค่า MSE น้อยที่สุดคือ 10.27 พันธุ์ทิพาคณฉลาด (2555) ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์การใช้พลังงานรวมทั้งหมดของประเทศไทย งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการพยากรณ์โดยวิธีจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ เพื่อหารูปแบบของการพยากรณ์ โดยวัดจากค่า RMSE และค่า MAPE พบว่าวิธีที่มีความเหมาะสม คือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE = 0.2182 และ MAPE = 1.9080 ซึ่งได้ตัวแบบคือ 4:3:1 ชม ปานตา (2560) ศึกษาเรื่องการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ 3 วิธีได้แก่วิธีแยกส่วนประกอบวิธีทำให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบวินเตอร์แบบคูณและวิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ซึ่งพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ผลการวิจัยพบว่า วิธีทำให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบวินเตอร์แบบคูณ ให้ค่า MSE ต่ำที่สุดในสถานี C.2 ค่ายจระเข้ประวัติน อ.เมือง จ.นครสวรรค์ และสถานี N.67 แม่น้ำน่านบ้านเกยไชยเหนือ อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ ส่วนสถานี Ct.4 แม่น้ำแม่จางบ้านศาลเจ้าไก่อต้อ.ลาดยาวจ.นครสวรรค์วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ให้ค่า MSE ต่ำที่สุดเมื่อพิจารณาภาพรวมจะเห็นว่าวิธีทำให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบวินเตอร์แบบคูณ เป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนมากที่สุด รองลงมาคือวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ บุญฤทธิ์ ชูประดิษฐ์ (2561) ศึกษาตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกมะม่วงของประเทศไทย โดยใช้วิธีแยก

องค์ประกอบ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลโฮลต์และวินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ โดยใช้เกณฑ์ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด ผลจากการศึกษาพบว่า วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์เป็นวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุด

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ยอดขายการใช้มอเตอร์ที่ได้จากการพยากรณ์ 3 วิธีคือ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลต์และวินเทอร์ (Holt-Winters exponential smoothing method) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ (Box - Jenkins) โดยโปรแกรมที่ใช้พยากรณ์คือ Minitab 18, SPSS 24 และ Weka 3.9 เพื่อเปรียบเทียบว่าวิธีการพยากรณ์ใดให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error , MSE) ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error , RMSE) และค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (mean absolute percentage error , MAPE) ต่ำที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ที่ศึกษา

1. เพื่อสร้างและหาตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณยอดขายการใช้มอเตอร์ของบริษัทเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่ง
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบทั้ง 3 วิธี คือ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลต์และวินเทอร์ (Holt-Winters exponential smoothing method) วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ (Box - Jenkins) และวิธีโครงข่ายประสาท- เทียม (Artificial neural network) ว่าวิธีใดให้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error, RMSE) ต่ำที่สุด
3. เพื่อพยากรณ์ปริมาณยอดขายการใช้มอเตอร์ด้วยตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากการเก็บข้อมูลของบริษัทผลิตเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่งโดยมีทั้งหมด 2 รุ่น ได้แก่ Motor 1042420 และ Motor 1042773 ใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 รวมทั้งสิ้น 132 เดือน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ใช้ในการหาตัวแบบพยากรณ์ จะใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 รวมทั้งสิ้น 120 เดือน ส่วนที่ 2 ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ จะใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 รวมทั้งสิ้น 12 เดือน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขายการใช้มอเตอร์ของบริษัทผลิตเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่ง
2. เป็นแนวทางในการนำวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลต์และวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ในการพยากรณ์ด้านอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอเนื้อหาที่เน้นถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดของเนื้อหาประกอบด้วยหัวข้อย่อย 5 หัวข้อ ดังนี้

- 2.1 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time series)
- 2.2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบ Holt – Winters (HWS)
- 2.3 วิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ (Box – Jenkins)
- 2.4 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)
- 2.5 การวัดความถูกต้องของตัวแบบการพยากรณ์
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time series)

อนุกรมเวลา หมายถึง กลุ่มของค่าสังเกตที่เก็บรวบรวมมาตามเวลาอย่างต่อเนื่อง ช่วงเวลา ระหว่างค่าสังเกตที่เก็บจะเท่ากันหรือไม่ก็ได้ มักใช้สัญลักษณ์ $\{Y_t\}$ แทนอนุกรมเวลา $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ ที่เก็บมาใน n ช่วงเวลา วิธีพยากรณ์ส่วนใหญ่จะใช้กับกรณีในช่วงเวลาห่างเท่ากัน เช่น วัน เดือน ปี ไตรมาส เป็นต้น ตัวอย่างของอนุกรมเวลา เช่น ปริมาณการส่งออกข้าวในแต่ละเดือน เป็นต้น

2.1.1 ส่วนประกอบหลักของอนุกรมเวลา

1. แนวโน้ม (Trend) หมายถึง การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาในระยะยาวซึ่งอาจจะเป็นแนวโน้มขึ้นหรือลง (upward หรือ downward trend)
2. อิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal Effect) หมายถึง การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา มีผลเนื่องมาจากฤดูกาล การเคลื่อนไหวจะเกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำอีกในช่วงเวลาหนึ่ง ส่วนใหญ่จะเป็นหนึ่งปี ปัจจัยที่ก่อให้เกิดอิทธิพลของฤดูกาลมีได้หลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศ อุณหภูมิ วัฒนธรรม เป็นต้น
3. อิทธิพลของวัฏจักร (Cyclical Effect) หมายถึง อนุกรมเวลาที่เก็บรวบรวมในระยะยาวหลายปี การเคลื่อนไหวอาจจะแสดงอิทธิพลของวัฏจักรที่มีลักษณะคล้ายกับอิทธิพลของฤดูกาล โดยวัฏจักรหนึ่งจะครอบคลุมระยะเวลาหลายปี แต่ละช่วงมีการเคลื่อนไหวไม่แตกต่างกันมากนัก วัฏจักรที่มักพบ ได้แก่ วัฏจักรธุรกิจ (business cycle) แบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงรุ่งเรือง (Growth) ช่วงคงที่ (maturity) และช่วงตกต่ำ (decline) นอกจากนี้ยังมีวัฏจักรอากาศ และวัฏจักรเสื้อผ้า เป็นต้น
4. เหตุการณ์ที่ผิดปกติ (Irregular Effect) หมายถึง การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา เฉพาะส่วนที่ไม่มีแผนแบบที่แน่นอน เหตุการณ์ผิดปกตินี้ส่วนใหญ่จะเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ได้คาดคิดมาก่อนหรือไม่เกิดบ่อยครั้ง เช่น น้ำท่วม พายุ อุบัติเหตุ ภัยพิบัติ สงคราม การนัดหยุดงาน เป็นต้น

2.1.2 วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลา

การวิเคราะห์อนุกรมเวลา เป็นการศึกษาแผนแบบการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่กำหนดด้วยรูปแบบอนุกรมเวลา (Time series model) จากแบบที่ได้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการพยากรณ์ โดยมีข้อสมมติว่าแผนแบบอนุกรมเวลาในอนาคตจะไม่ต่างไปจากแผนแบบการเคลื่อนไหวในอดีต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถูกต้องของการพยากรณ์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของรูปแบบอนุกรมเวลาที่ใช้ วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลา มีดังนี้

1. วิธีอย่างง่าย (Naïve Model) ค่าพยากรณ์ในอนาคตจะมีค่าเป็นส่วนหนึ่งของค่าสังเกตล่าสุด ซึ่งสัดส่วนอย่างไรนั้นผู้พยากรณ์จะเป็นผู้กำหนดขึ้น

2. วิธีแยกส่วนประกอบ (Decomposition Method) ค่าพยากรณ์ในอนาคตจะได้จากผลรวมค่าสัดส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ได้แก่ ค่าแนวโน้ม ค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาล ค่าวัฏจักร และค่าวัดเหตุการณ์ที่ผิดปกติ

3. วิธีปรับให้เรียบ (Smoothing Method) ค่าพยากรณ์ในอนาคตเป็นค่าที่ได้จากค่าสังเกตในอดีต โดยให้น้ำหนัก (Weight) กับค่าสังเกตแบบต่าง ๆ

4. วิธี Box และ Jenkins (Box-Jenkins Method) เป็นการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยการหารูปแบบที่เหมาะสมให้กับอนุกรมเวลา โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเอง (Autocorrelation Function, ACF) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function, PACF) เป็นหลักในการพิจารณา

2.1.3 การทดสอบแนวโน้ม

การทดสอบของ Box และ Pierce เป็นการทดสอบที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองช่วง k ต่าง ๆ (Autocorrelation Coefficient ที่ lag k) หรือ ACF ที่ lag k เพื่อพิจารณาลักษณะของอนุกรมเวลาลักษณะของ ACF หลาย ๆ ค่าพร้อมกัน โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. กำหนด H_0 และ H_1

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = \dots = \rho_k = 0$$

$$H_1: \text{มี } \rho_i \text{ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0 เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, k$$

2. ตัวสถิติ

$$Q_m = n \sum_{k=1}^m r_k^2 \text{ โดยที่ } r_k = \frac{\sum (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum (Y_t - \bar{Y})^2}$$

เมื่อ m เป็นจำนวนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองที่จะทดสอบ และ n เป็นขนาดของอนุกรมเวลา

3. เกณฑ์การตัดสินใจ

$$\text{บริเวณวิกฤต คือ } Q_m \geq \chi_{\alpha, m}^2$$

ซึ่ง $\chi_{\alpha, m}^2$ ที่ m และ α เป็นค่าวิกฤตที่ได้จากตารางสถิติ

การทดสอบนี้ได้มีการพัฒนาขึ้นมาโดย Box และ Ljung (เรียก modified Box-Pierce Test)

$$\text{ใช้ตัวสถิติ } Q'_m \text{ แทน } Q_m = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2}{n-k}$$

เกณฑ์การตัดสินใจจะใช้เหมือนกับการทดสอบของ Box-Pierce

2.1.4 การทดสอบอิทธิพลฤดูกาล

ใช้การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเอง ซึ่งเป็นการทดสอบแบบใช้พารามิเตอร์ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองที่ช่วง L เมื่อ L เป็นจำนวนฤดูกาลต่อปี นั่นคือ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุขัดแย้งและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่ทรงพินิจพิจารณาไป

พิจารณาว่าค่าสังเกตที่ห่างกัน L ช่วงเวลามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ กรณีที่มีสหสัมพันธ์กันเชิงบวก แสดงว่าอนุกรมเวลานั้นมีฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง การทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนด H_0 และ H_1

$$H_0 : \rho_L = 0$$

$$H_1 : \rho_L > 0$$

2. ตัวสถิติ r_L

3. เกณฑ์ในการตัดสินใจ ที่ระดับนัยสำคัญ α จะมีบริเวณวิกฤตเป็น $r_L \geq \frac{Z_\alpha}{\sqrt{n}}$

2.2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบ Holt - Winters (HWS)

เป็นวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาที่ใช้กับอนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวทั้งจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล รูปแบบอาจจะเป็นทั้งแบบบวกและแบบคูณ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ มีค่าปรับน้ำหนัก 3 ค่า คือ α เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าแนวโน้ม $\hat{T}_t(t)$, γ เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าความชัน $\hat{\beta}_t(t)$ และ δ เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับอิทธิพลของฤดูกาล $\hat{S}_t(t)$ ซึ่งรูปแบบของการรวมแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล แบ่งได้เป็น 2 รูปแบบคือ

1. รูปแบบบวกใช้กับข้อมูลที่มีอิทธิพลของฤดูกาลเพิ่มขึ้นหรือลดลงในอัตราคงที่ มีรูปแบบสมการดังนี้

$$Y_t = T_t(t) + S_t(t) + \varepsilon_t \quad (2-1)$$

เมื่อ $T_t(t)$ = ค่าแนวโน้ม ณ เวลา t

$\beta_t(t)$ = ค่าความชัน ณ เวลา t

$S_t(t)$ = ค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาล ณ เวลา t

สมการปรับค่าแบบปรับด้วยความคลาดเคลื่อน

$$\text{เมื่อ } \hat{T}_t(t) = \hat{T}_t(t-1) + \alpha e_t \quad (2-2)$$

$$\hat{\beta}_t(t) = \hat{\beta}_t(t-1) + \alpha \gamma e_t \quad (2-3)$$

$$\hat{S}_t(t) = \begin{cases} \hat{S}_t(t-1) + \delta(1-\alpha)e_t & \text{ถ้า } t \text{ อยู่ในฤดูกาลที่ } i \\ \hat{S}_t(t-1) & \text{ถ้า } t \text{ ไม่อยู่ในฤดูกาลที่ } i \end{cases}$$

เมื่อ α = ค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าแนวโน้ม อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

γ = ค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าความชัน อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

δ = ค่าปรับน้ำหนักสำหรับอิทธิพลของฤดูกาล อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

สมการพยากรณ์

$$\hat{Y}_{t+p}(t) = \hat{T}_{t+p}(t) + \hat{S}_{t+p}(t) \text{ สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (2-4)$$

$$\text{โดยที่ } \hat{T}_{t+p}(t) = \hat{T}_t(t) + p\hat{\beta}_t(t) \quad (2-5)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+p}(t)$ = ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t+p$

$\hat{T}_t(t)$ = ค่าประมาณแนวโน้ม ณ เวลา t

$\hat{\beta}_t(t)$ = ค่าประมาณความชัน ณ เวลา t

$\hat{S}_{t+p}(t)$ = ค่าประมาณวัดอิทธิพลของฤดูกาล ณ เวลา t+p

2. รูปแบบคูณใช้กับข้อมูลที่มีอิทธิพลของฤดูกาลเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นสัดส่วนค่าเฉลี่ย มีรูปแบบสมการเป็นดังนี้

$$Y_t = T_t(t) \times S_t \times \varepsilon_t \quad (2-6)$$

เมื่อ $T_t(t)$ = ค่าแนวโน้ม ณ เวลา t
 $\beta_t(t)$ = ค่าความชัน ณ เวลา t
 $S_t(t)$ = ค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาล ณ เวลา t

สมการปรับค่าแบบปรับด้วยความคลาดเคลื่อน

$$\hat{T}_t(t) = \hat{T}_t(t-1) + \frac{\alpha e_t}{\hat{S}_t(t-1)} \quad (2-7)$$

$$\hat{\beta}_t(t) = \hat{\beta}_t(t-1) + \frac{\gamma e_t}{\hat{S}_t(t-1)} \quad (2-8)$$

$$\hat{S}_t(t) = \begin{cases} \hat{S}_t(t-1) + \frac{\delta(1-\alpha)e_t}{\hat{T}_t(t)} & \text{ถ้า } t \text{ อยู่ในฤดูกาลที่ } i \\ \hat{S}_t(t-1) & \text{ถ้า } t \text{ ไม่อยู่ในฤดูกาลที่ } i \end{cases}$$

เมื่อ α = ค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าแนวโน้ม อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1
 γ = ค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าความชัน อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1
 δ = ค่าปรับน้ำหนักสำหรับอิทธิพลของฤดูกาล อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

สมการพยากรณ์

$$\hat{Y}_{t+p}(t) = \hat{T}_{t+p}(t) \times \hat{S}_{t+p}(t) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (2-9)$$

$$\text{โดยที่ } \hat{T}_{t+p}(t) = \hat{T}_t(t) + p\hat{\beta}_t(t) \quad (2-10)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+p}(t)$ = ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t+p
 $\hat{T}_t(t)$ = ค่าประมาณแนวโน้ม ณ เวลา t
 $\hat{\beta}_t(t)$ = ค่าประมาณความชัน ณ เวลา t
 $\hat{S}_{t+p}(t)$ = ค่าประมาณวัดอิทธิพลของฤดูกาล ณ เวลา t+p

2.3 วิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ (Box - Jenkins)

การวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ จะเลือกตัวแบบจากการพิจารณา ลักษณะของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเอง (Autocorrelation Function) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองส่วนย่อย (Partial Autocorrelation Function) ของอนุกรมเวลาที่สังเกตเห็น โดยบ็อกซ์และเจนกินส์สร้างตัวแบบเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Model) ตัวแบบการถดถอยในตนเอง (Autoregressive Model) และตัวแบบผสมการถดถอยในตนเองกับเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Mixed Autoregressive and Moving Average Model)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การแปลงอนุกรมเวลาให้เป็นอนุกรมเวลาที่เสถียร

อนุกรมเวลาที่เสถียรนั้นมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ ถ้าขาดคุณสมบัติดังกล่าวจะต้องแปลงอนุกรมเวลาดังกล่าวให้เป็นเสถียรก่อน ซึ่งแบ่งเป็น 3 กรณี คือ

1. หาผลต่าง (Regular Differencing) ของอนุกรมเวลา นั่นคือ ถ้าอนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ มีแนวโน้มจะแปลงให้เป็นอนุกรมเวลาใหม่ที่ไม่มีแนวโน้ม $\{Z_t\}$ โดย $Z_t = \nabla^d Y_t$ และ d เป็นจำนวนครั้งของการหาผลต่าง สามารถแปลงอนุกรมเวลานี้ให้เป็นอนุกรมเวลาที่เสถียร โดยการหาผลต่างดังนี้

ผลต่างครั้งที่หนึ่ง (First Differences) แทนด้วย ∇Y_t

$$Z_t = \nabla Y_t = Y_t - Y_{t-1} \quad \text{สำหรับ } t = 1, 2, 3, \dots, n$$

ผลต่างครั้งที่สอง (Second Differences) แทนด้วย $\nabla^2 Y_t$

$$Z_t = \nabla^2 Y_t = \nabla(Y_t - Y_{t-1}) = (Y_t - Y_{t-1}) - (Y_{t-1} - Y_{t-2}) \quad \text{สำหรับ } t = 3, 4, \dots, n$$

จำนวนครั้งที่หาผลต่างจะขึ้นอยู่กับว่าเมื่อหาผลต่างแล้วอนุกรมเวลาใหม่เป็นเสถียรหรือไม่ ถ้ายังไม่เป็นเสถียรต้องหาผลต่างต่อไป

2. หาผลต่างฤดูกาล (Seasonal Differencing) ของอนุกรมเวลา ถ้าอนุกรมเวลาที่มีอิทธิพลของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง จะแปลงอนุกรมเวลาเดิม $\{Y_t\}$ ให้เป็นอนุกรมเวลาใหม่ที่ไม่มีฤดูกาล $\{Z_t\}$ โดย $Z_t = \nabla_L^D Y_t$ โดย D เป็นจำนวนครั้งของการหาผลต่างฤดูกาลและ L เป็นจำนวนฤดูกาลต่อปี สามารถแปลงอนุกรมเวลานี้ให้เป็นอนุกรมเวลาที่เสถียร โดยการหาผลต่างฤดูกาล ดังนี้

ผลต่างฤดูกาลครั้งที่หนึ่ง (First Seasonal Differences) แทนด้วย $\nabla_L Y_t$

$$Z_t = \nabla_L Y_t = Y_t - Y_{t-L}$$

ผลต่างนี้จะทำกี่ครั้งขึ้นอยู่กับว่าเมื่อหาผลต่างแล้วอนุกรมเวลาใหม่เป็นเสถียรหรือไม่ ถ้ายังไม่เป็นก็ต้องหาผลต่างต่อไป

3. หาผลต่างและผลต่างฤดูกาล กรณีที่อนุกรมเวลามีทั้งแนวโน้มและฤดูกาล การปรับให้อนุกรมเวลาเป็นเสถียรนั้นจะทำได้โดยหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลควบคู่กันไป d และ D จะมีค่าเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับว่าอนุกรมเวลาใหม่เป็นเสถียรแล้วหรือยัง

4. การหาลอการิทึมของค่าสังเกตในอนุกรมเวลา นั่นคือ แปลงอนุกรมเวลาเดิม $\{Y_t\}$ ให้เป็นอนุกรมเวลาใหม่ $\{Z_t\}$ ซึ่ง $Z_t = \log(Y_t)$ การแปลงนี้จะทำเมื่อความผันแปรของอนุกรมเวลาไม่คงที่ นั่นคือ $V(Y_t)$ ไม่คงที่สำหรับค่า t ต่าง ๆ

ในอนุกรมเวลาชุดหนึ่ง ๆ อาจมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนไม่คงที่ทั้งสองอย่าง ควรแปลงให้ความแปรปรวนคงที่ก่อนจะแปลงค่าเฉลี่ยให้คงที่

2.3.2 การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบบ็อกซ์และเจนกินส์

ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 การหาตัวแบบ (Identification)

ตัวแบบสำหรับการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบบ็อกซ์และเจนกินส์

1. อนุกรมเวลาไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล

1.1 กระบวนการถดถอยในตนเองแบบไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ p

(Non – seasonal Autoregressive Process of Order p : AR (p))

เป็นกระบวนการที่ค่าปัจจุบัน Y_t แทนได้ด้วยฟังก์ชันเชิงเส้นของค่าในอดีต กับค่าความคลาดเคลื่อน ε_t โดยอนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ เป็นอนุกรมเวลาที่เสถียรเมื่อกำหนดให้ $Z_t = Y_t - \mu$ จะได้กระบวนการหรือตัวแบบ (Model) การถดถอยในตนเองอันดับ p คือ

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + \varepsilon_t$$

เมื่อ $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ คือ พารามิเตอร์ของการถดถอยในตนเองแบบไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล (Non – seasonal Autoregressive Parameter)

ε_t คือ ความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

Z_t คือ อนุกรมเวลาที่แปลงให้เป็นเสถียรแล้ว

1.2 กระบวนการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ q

(Non – seasonal Moving Average Process of Order q : MA (q))

แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลปัจจุบัน กับค่าความคลาดเคลื่อนของอนุกรมเวลาในอดีตที่ห่างกัน q หน่วยเวลา เมื่อกำหนดให้ $Z_t = Y_t - \mu$ จะได้กระบวนการหรือตัวแบบ (Model) การเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาลอันดับ q คือ

$$Z_t = -\theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t$$

เมื่อ $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ คือ พารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล (Non – seasonal Moving Average Parameter)

ε_t คือ ความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

Z_t คือ อนุกรมเวลาที่แปลงให้เป็นเสถียรแล้ว

1.3 กระบวนการถดถอยในตนเองแบบไม่มีฤดูกาลอันดับ p กับกระบวนการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ q (Non – seasonal Autoregressive Process of Order p and Non-seasonal Moving Average Process of Order q : ARMA (p,q))

เมื่อกำหนดให้ $Z_t = Y_t - \mu$ จะได้กระบวนการหรือตัวแบบ (Model) ถดถอยในตนเองแบบไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ p กับกระบวนการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ q คือ

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

2. อนุกรมเวลามีอิทธิพลของฤดูกาล

2.1 กระบวนการถดถอยในตนเองแบบมีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ P

(Seasonal Autoregressive Process of Order P : SAR (P))

เป็นกระบวนการอนุกรมเวลาที่ค่าปัจจุบัน Y_t แทนได้ด้วยฟังก์ชันเชิงเส้นของค่าความคลาดเคลื่อน ε_t โดยที่อนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ เป็นอนุกรมเวลาที่เสถียรเมื่อกำหนดให้ $Z_t = Y_t - \mu$ จะได้กระบวนการหรือตัวแบบ (Model) การถดถอยในตนเองอันดับ P คือ

$$Z_t = \phi_{1L} Z_{t-1L} + \phi_{2L} Z_{t-2L} + \dots + \phi_{PL} Z_{t-PL} + \varepsilon_t$$

เมื่อ $\phi_{1L}, \phi_{2L}, \dots, \phi_{PL}$ คือ พารามิเตอร์ของการถดถอยในตนเองแบบมีอิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Parameter)

L คือ จำนวนของฤดูกาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กระบวนการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ Q

(Seasonal Moving Average Process of Order Q : SMA (Q))

เมื่อกำหนดให้ $Z_t = Y_t - \mu$ จะได้กระบวนการหรือตัวแบบ (Model) การเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ Q คือ

$$Z_t = -\theta_{1L}\varepsilon_{t-1L} - \theta_{2L}\varepsilon_{t-2L} - \dots - \theta_{QL}\varepsilon_{t-QL} + \varepsilon_t$$

เมื่อ $\theta_{1L}, \theta_{2L}, \dots, \theta_{QL}$ คือ พารามิเตอร์ของการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีอิทธิพลของฤดูกาล
(Seasonal Moving Average Parameter)

2.3 กระบวนการถดถอยในตนเองแบบมีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ P ผสมกับกระบวนการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ Q (Seasonal Autoregressive Process of Order P and Seasonal Moving Average Process of Order Q : SARIMA (P,Q))

เมื่อกำหนดให้ $Z_t = Y_t - \mu$ จะได้กระบวนการหรือตัวแบบ (Model) การถดถอยในตนเองแบบมีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ P กับกระบวนการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีอิทธิพลของฤดูกาลอันดับ Q คือ

$$Z_t = \phi_{1L}Z_{t-1L} + \phi_{2L}Z_{t-2L} + \dots + \phi_{PL}Z_{t-PL} - \theta_{1L}\varepsilon_{t-1L} - \theta_{2L}\varepsilon_{t-2L} - \dots - \theta_{QL}\varepsilon_{t-QL} + \varepsilon_t$$

รูปแบบทั่วไปของ $ARIMA(p, d, q) \times SARIMA(P, D, Q)_L$ สำหรับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มและฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง รูปแบบที่จะใช้ ได้แก่ $ARIMA(p, d, q) \times SARIMA(P, D, Q)_L$ ซึ่งมีรูปแบบ ดังนี้

$$\begin{aligned} \phi_p(B)\phi_p(B^L)Z_t &= \theta_0 + \theta_q(B)\theta_q(B^L)\varepsilon_t \\ \text{โดยที่ } \phi_p(B) &= (1 - \phi_1B - \phi_2B^2 - \dots - \phi_pB^p) \\ \phi_p(B^L) &= (1 - \phi_{1L}B^L - \phi_{2L}B^{2L} - \dots - \phi_{pL}B^{pL}) \\ \theta_q(B) &= (1 - \theta_1B - \theta_2B^2 - \dots - \theta_qB^q) \\ \theta_q(B^L) &= (1 - \theta_{1L}B^L - \theta_{2L}B^{2L} - \dots - \theta_{qL}B^{qL}) \\ Z_t &= (1 - B^L)^D (1 - B)^d Y_t \end{aligned}$$

เมื่อ $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ คือ พารามิเตอร์ของการถดถอยในตนเองแบบไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล
 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ คือ พารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล
 $\phi_{1L}, \phi_{2L}, \dots, \phi_{pL}$ คือ พารามิเตอร์ของการถดถอยในตนเองแบบมีอิทธิพลของฤดูกาล
 $\theta_{1L}, \theta_{2L}, \dots, \theta_{qL}$ คือ พารามิเตอร์ของการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีอิทธิพลของฤดูกาล

p คือ อันดับของ AR (Autoregressive)
q คือ อันดับของ MA (Moving Average)
d คือ จำนวนครั้งของผลต่าง
D คือ จำนวนครั้งของผลต่างฤดูกาล
P คือ อันดับของ SAR (Seasonal Autoregressive)
Q คือ อันดับของ SMA (Seasonal Moving Average)
L คือ จำนวนของฤดูกาล
 ε_t คือ ความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimations)

เมื่อได้รูปแบบจากขั้นที่ 1 แล้ว จากนั้นจะทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Method)

ขั้นที่ 3 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ (Diagnostic Checking)

วิธีการตรวจสอบส่วนใหญ่จะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (e_t) ที่เป็นผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ มาเป็นหลักในการพิจารณาความเหมาะสมของรูปแบบจะทำได้ดังต่อไปนี้

1. พิจารณาว่าค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบมีค่าเป็น 0 หรือไม่ นั่นคือ เมื่อ θ , $\hat{\theta}$ และ $S_{\hat{\theta}}$ เป็นพารามิเตอร์ ค่าประมาณ และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณ $\hat{\theta}$ ตามลำดับ ด้วยการทดสอบสมมติฐาน

$$H_0 : \theta = 0$$

$$H_1 : \theta \neq 0$$

จะใช้ตัวทดสอบสถิติ $Z = \frac{\hat{\theta}}{S_{\hat{\theta}}}$ การปฏิเสธ H_0 จะทำเมื่อ $|Z| \geq Z_{\frac{\alpha}{2}}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α

2. การทดสอบของบ็อกซ์และจุง (Box - Ljung) เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (e_t) ว่าเป็นอิสระกันหรือไม่ด้วยการทดสอบสมมติฐาน

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

$$H_1 : \rho_k(e_t) \text{ อย่างน้อยหนึ่งค่าไม่เท่ากับ } 0 \text{ สำหรับ } k = 1, \dots, m$$

ตัวสถิติทดสอบ

$$\text{Box - Pierce} : Q = n \sum_{k=1}^m r_k^2(e_t)$$

$$\text{Box - Ljung} : Q_m = \frac{n(n+2) \sum_{k=1}^m (r_k^2(e_t))}{(n-k)}$$

โดยที่ n เป็นขนาดของอนุกรมเวลา $\{e_t\}$

M เป็นช่วงเวลาห่างสูงสุดของ e_t ในอนุกรมเวลา $\{e_t\}$ ที่นำมาพิจารณา

A เป็นจำนวนพารามิเตอร์ทั้งหมดในรูปแบบซึ่งรวมทั้ง θ_0 ด้วย

ช่วงวิกฤติ Q หรือ $Q_m \geq \chi_{\alpha, m-A}^2$

สรุปผลการทดสอบ เมื่อปฏิเสธ H_0 จะสรุปได้ว่ามี $H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อยหนึ่งค่าไม่เท่ากับ 0 สำหรับ $k = 1, \dots, m$ นั่นคือ มีสหสัมพันธ์ในตนเองระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่อยู่ห่างกัน k ค่า หรือสรุปได้ว่ารูปแบบที่กำหนดให้กับอนุกรมเวลายังไม่เหมาะสม

ขั้นที่ 4 การพยากรณ์ (Forecasting)

เมื่อได้ตัวแบบที่เหมาะสมแล้ว จะสามารถทำการพยากรณ์แบบจุด (Point Forecast) โดยการพยากรณ์จะใช้สมการพยากรณ์ที่สร้างจากรูปแบบการพยากรณ์ที่กำหนดและผ่านการตรวจสอบในขั้นตอนที่ผ่านมาแล้ว สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์มีหลายตัวแบบที่ผ่านการตรวจสอบความเหมาะสม จะใช้เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบ 2 เกณฑ์ ดังนี้

1. เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของอาไคเคะ (Akaike's Information Criterion : AIC) เป็นเกณฑ์ที่พิจารณาจากการประมาณความคลาดเคลื่อนรวมเข้ากับข้อสนเทศ (Information) ของค่าสังเกต และใช้แนวคิดค่าต่ำสุดของคูลแบ็ค - โลทเบอร์ (Kullback-Leiber) เพื่อนำมาใช้ในการปรับค่าประมาณของการพยากรณ์ให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยตัวแบบที่ให้ค่า AIC ต่ำสุด จะเป็นตัวแบบที่ดีที่สุด สามารถหาค่า AIC ได้โดย

$$AIC = n \log(\hat{\sigma}^2) + 2(p+1)$$

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง
P คือ จำนวนพารามิเตอร์
 $\hat{\sigma}^2$ คือ $\frac{SSE}{n}$

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

2. เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของเบส์ (Bayesian Information Criterion : BIC) ชวาร์ชได้เสนอเกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบ ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกตัวแบบทางสถิติที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง นั่นคือ เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของชวาร์ช (Schwarz Information Criterion : SIC, BIC, SBC) เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของชวาร์ช สามารถนำไปพัฒนาโดยใช้แนวคิดของเบส์ (Bayesian Approach) ซึ่งเรียกว่า เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของเบส์ (BIC) โดยตัวแบบที่ให้ค่า BIC ต่ำสุด จะเป็นตัวแบบที่ดีที่สุด สามารถหาค่า BIC ได้โดย

$$BIC = n \log(\hat{\sigma}^2) + \log(n)(p+1)$$

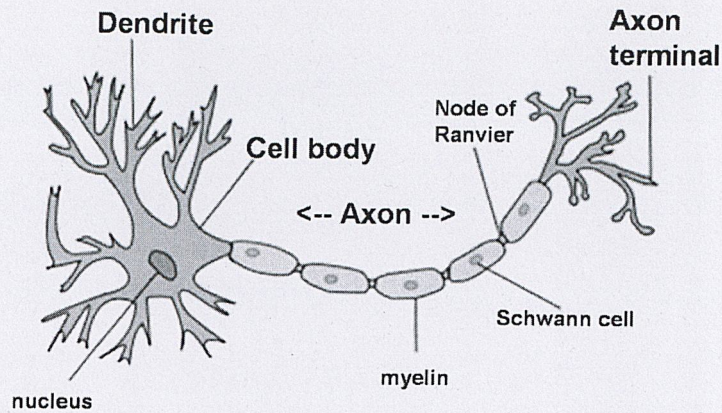
โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง
P คือ จำนวนพารามิเตอร์
 $\hat{\sigma}^2$ คือ $\frac{SSE}{n}$

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

2.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

โครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการทำงานของสมองมนุษย์ ซึ่งสมองประกอบด้วยหน่วยประมวลผลพื้นฐานที่เรียกว่า นิวรอล (เซลล์ประสาท หรือ neuron) ภายในสมองประกอบด้วยนิวรอลจำนวนมาก (ประมาณ 10^{11}) และมีจุดต่อจำนวนโครงข่ายประสาทประกอบขึ้นด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ โยประสาท (dendrite) ตัวเซลล์ (soma) และแกนประสาท (axon) ในแต่ละโครงข่ายประสาทจะเชื่อมต่อกันโดยจุดประสานประสาท (synapse) ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ตามสัญญาณที่ส่งระหว่างกันของเซลล์ประสาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงข่ายของเซลล์ประสาท (ที่มา: www.krusarawut.net)

2.4.1 ความรู้พื้นฐานของระบบประสาท (Neural System Knowledge)

ภายในสมองของมนุษย์ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลขนาดเล็กที่เรียกว่า เซลล์ประสาท (Neurons) ซึ่งจะมีประมาณ 10 เซลล์ ในเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ดังแสดงในรูปที่ 2-1 ประกอบด้วย โยประสาท (Dendrites) ตัวเซลล์ (Cell body) และเส้นใยประสาท (Axon) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 บริเวณด้วยกัน คือ

1. บริเวณนำกระแสประสาทเข้า (Input region) เป็นบริเวณที่จะมีการนำกระแสประสาท (nerve impulse) จากเซลล์ประสาทอื่นเข้ามาภายในตัวเซลล์โดยผ่านทางใยประสาทซึ่งมีลักษณะแตกเป็นกิ่งก้านคล้ายต้นไม้และมีจำนวนตั้งแต่ 1 โยขึ้นไป
2. บริเวณรวมกระแสประสาท (Integration region) เป็นบริเวณที่มีการรวมกระแสประสาทก่อนที่จะเข้าสู่บริเวณการนำกระแสประสาทรวมออกจากเซลล์
3. บริเวณการนำกระแสประสาทรวมออกจากเซลล์ (Conduction region) เป็นบริเวณที่จะนำกระแสประสาทรวมออกจากเซลล์ โดยใช้เส้นใยประสาทเป็นทางผ่าน ซึ่งมีเพียง 1 เส้น โยต่อเส้นเดียวเท่านั้น
4. บริเวณนำกระแสประสาทออก (Output region) เป็นบริเวณส่วนปลายของเส้นใยประสาทที่มีการแตกแขนง ใช้ในการถ่ายทอดกระแสประสาทข้ามเซลล์ไปยังเซลล์ประสาทอื่น โดยผ่านทางใยประสาทของเซลล์ประสาทนั้น

2.4.2 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Learning)

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีประสิทธิภาพเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ของโครงข่ายที่ทำการออกแบบซึ่งการฝึกหัด (Training) โครงข่ายคือการหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับโครงข่ายนั้น ๆ โดยทั่วไปสามารถจำแนกวิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมได้เป็น 2 ประเภทคือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอนและการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน

1. การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) การเรียนรู้แบบมีผู้สอนจะกำหนดข้อมูลฝึกหัด (Training data set) ให้กับโครงข่าย ซึ่งกลุ่มนี้ประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าและข้อมูลเป้าหมายที่ต้องการ จากนั้นโครงข่ายจะทำการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับข้อมูลฝึกหัด โดยคำตอบที่ได้จากโครงข่ายจะถูกคำนวณค่าความผิดพลาด (Error Value) ว่ามีความห่างจากคำตอบที่ต้องการของข้อมูลนำเข้าในชุดเดียวกันมากน้อยเพียงใด ถ้ายังมีความผิดพลาดสูงอยู่ การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

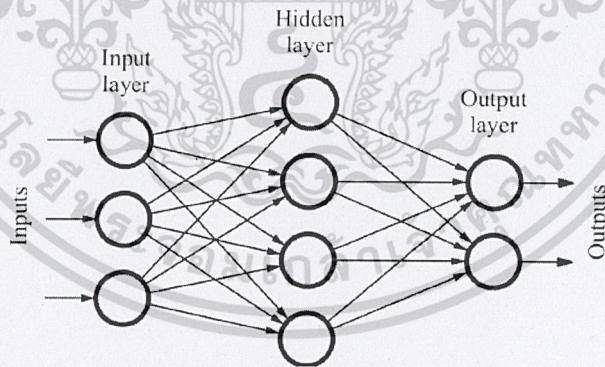
ฝึกหัดจะดำเนินต่อจนกว่าค่าความผิดพลาดจะลดลงต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ (Accepted level) จึงจะหยุดฝึกหัด สุดท้ายค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ที่ได้จะเป็นเหมือนฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงข้อมูล

2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนจะอาศัยชุดข้อมูลนำเข้าเพียงอย่างเดียวในการฝึกหัดโครงข่าย โดยไม่มีข้อมูลเป้าหมาย แต่จะใช้ข้อมูลนำออก (Output data) จากโครงข่ายแทน เมื่อป้อนข้อมูลเข้าโดยอาศัยค่าถ่วงน้ำหนักเป็นตัวแยกความแตกต่างของข้อมูลนำเข้าและนำไปเก็บไว้ในโหนดข้อมูลนำออกของโครงข่าย ซึ่งวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการจำแนกชุดข้อมูล

2.4.3 การเชื่อมโยงของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Linking)

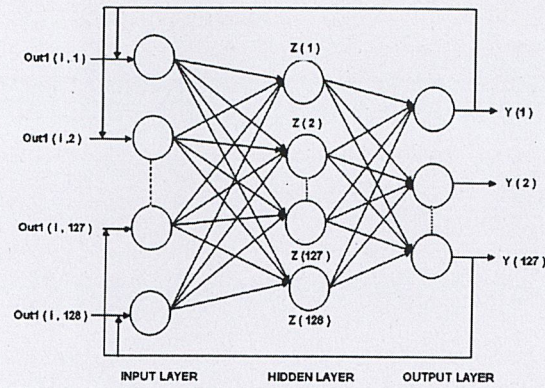
เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการเชื่อมโยงกันระหว่างเซลล์ประสาท โดยทั่วไปสามารถแบ่งการเชื่อมโยงของโครงข่ายได้ 2 ลักษณะ คือ

1. โครงข่ายแบบไปข้างหน้า (Feedforward network) เป็นโครงข่ายที่การประมวลผลจะอาศัยชุดข้อมูลปัจจุบันและส่งค่าที่ประมวลผลได้ไปยังชั้นถัดๆไป กล่าวคือ โครงข่ายชนิดนี้จะประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ โดยชั้นแรกจะเป็นชั้นนำเข้า (Input Layer) และชั้นสุดท้ายเป็นชั้นนำออก (Output Layer) ส่วนระหว่างชั้นนำเข้ากับชั้นนำออกอาจมีหรือไม่มีชั้นซ่อน (Hidden Layers) อยู่ภายใน ซึ่งขึ้นอยู่กับกฎการเรียนรู้ (Learning Rule) ที่ใช้ในการสอนโครงข่าย เช่น ถ้าเป็นโครงข่ายเพอร์เซปตรอนแบบหลายชั้น (Multi-layer Perceptron) จะมีชั้นซ่อนอยู่ระหว่างชั้นนำเข้ากับชั้นนำออก ซึ่งอาจมีมากกว่าหนึ่งชั้นได้ การเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงข่ายแบบส่งสัญญาณไปข้างหน้าจะมีค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) เป็นตัวเชื่อมและสัญญาณนำเข้าที่เข้ามาจะถูกส่งไปตามทิศทางของลูกศรจนถึงชั้นนำออกโดยไม่มีการป้อนกลับ สามารถแสดงตัวแบบโครงข่ายแบบไปข้างหน้าได้ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบไปข้างหน้า (ที่มา: www.th.wikipedia.org)

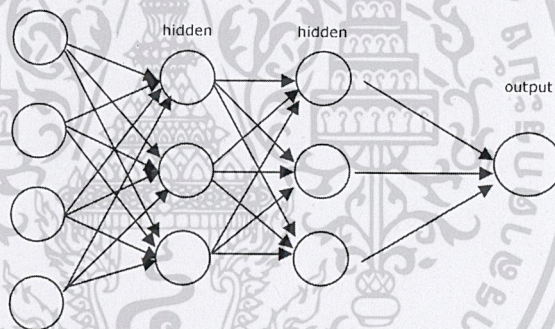
2. โครงข่ายแบบมีการย้อนกลับ (Feedback Network) โครงข่ายชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า โครงข่ายหันกลับ (recurrent network) เป็นโครงข่ายที่จะอาศัยข้อมูลทั้งข้อมูลในปัจจุบันและข้อมูลที่มีการถ่วงเวลามาใช้ในการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม สามารถแสดงตัวแบบโครงข่ายที่มีการย้อนกลับได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการย้อนกลับ (ที่มา: www.researchgate.net)

2.4.4 การแพร่แบบย้อนกลับ (Back-propagation)

การแพร่แบบย้อนกลับเป็นขั้นตอนที่ใช้สอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ซึ่งแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีการเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายแบบเป็นชั้น ๆ โครงข่ายชนิดนี้มีการเชื่อมโยงกัน 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นนำเข้า (Input Layer) ถัดมาเป็นชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นสุดท้ายคือชั้นนำออก (Output Layer) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น (ที่มา: neuralnetworksanddeeplearning.com)

2.4.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเรียนรู้การแพร่แบบย้อนกลับ

1. การกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนัก (Threshold) ก่อนที่จะทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น จำเป็นต้องกำหนดค่าเริ่มต้นให้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นทุกชั้น โดยค่านี้จะเป็นเลขจำนวนจริงที่มีค่าน้อย ๆ ที่ได้มาจากการสุ่ม (Randomness) ค่าเริ่มต้น

2. การกำหนดเกณฑ์การหยุดฝึกหัด เกณฑ์ในการหยุดฝึกหัดนั้นขึ้นอยู่กับผู้ทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมว่าต้องการที่จะให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำเพียงใด โดยทั่วไปนิยมใช้ค่าดัชนีที่ชี้ถ่วงค่าความผิดพลาดของระบบได้ ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยประกอบด้วยทั้งความแปรปรวนและความเอนเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate, η) อัตราการเรียนรู้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม โดยทั่วไปค่าที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.5 ถ้าอัตราการเรียนรู้มีค่าสูงแสดงว่ากำหนดให้โครงข่ายมีการเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักที่มาก ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราการเรียนรู้มีค่าต่ำแสดงว่ากำหนดให้โครงข่ายมีการเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักที่น้อย ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการเรียนรู้ที่มากขึ้น แต่จะมีข้อดีคือโครงข่ายจะมีเสถียรภาพ ขณะที่ทำการเรียนรู้

4) ค่าคงที่โมเมนตัม (Momentum Constant, α) ค่าคงที่โมเมนตัมเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ช่วยหน่วงไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักนั้นมากเกินไป เป็นการเพิ่มเสถียรภาพให้กับโครงข่ายได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งค่าโมเมนตัมที่เหมาะสมจะมีค่าเข้าใกล้ 1 และควรที่จะกำหนดให้สอดคล้องกับอัตราการเรียนรู้ด้วย เช่น ถ้าอัตราการเรียนรู้สูงก็ควรที่จะมีค่าโมเมนตัมที่ต่ำ และถ้าอัตราการเรียนรู้ต่ำก็ควรที่จะมีค่าโมเมนตัมที่สูง ทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักไม่มากเกินไป

2.5 การวัดความถูกต้องของตัวแบบการพยากรณ์

1. MSE (Mean Square Error) เป็นค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่วัดจากค่าความคลาดเคลื่อน โดยค่า MSE จะวัดต่อความคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ เพราะได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่ามายกกำลังสอง

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} \quad (2-11)$$

2. RMSE (Root Mean Square Error) เป็นค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เป็นค่าที่แสดงค่าความผิดพลาดของโมเดล ค่าวัดที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งถ้าค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองให้ค่าวัดที่น้อยกว่า แสดงถึงความแม่นยำที่มากกว่า

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (2-12)$$

3. MAPE (Mean Absolute Percentage Error) เป็นค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่วัดจากค่าความคลาดเคลื่อน โดยค่าวัดความถูกต้องนี้ไม่มีหน่วยจึงเหมาะที่จะใช้กับการเปรียบเทียบอนุกรมเวลาหลายชุดเมื่อใช้วิธีการพยากรณ์เดียวกัน หรือเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์หลายวิธีเมื่อใช้ออนุกรมเวลาชุดเดียวกัน

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{e_i}{Y_i} \right|}{n} \times 100 \quad (2-13)$$

โดยที่ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$

e_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_t คือ ข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

\hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

ในสหกิจศึกษาฉบับนี้จะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นสำคัญ เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าสังเกตทางจากค่าพยากรณ์มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งจะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดเป็นเกณฑ์ในการเลือกวิธีที่เหมาะสม เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยไม่สามารถนำค่าจริงที่มีค่าเท่ากับศูนย์มาคำนวณด้วย จึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยมีความเอนเอียงสูง แต่จะใช้อธิบายเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าพยากรณ์ที่ได้จากสมการพยากรณ์กับค่าสังเกต

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุธิดา ปรีชาเดช (2554) ศึกษาเรื่องการพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิคอนโดยโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิคอน โดยประยุกต์ใช้หลักการและทฤษฎีของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหารูปแบบในการพยากรณ์เวลาที่ให้กับเครื่องขัดแผ่นซิลิคอน ซึ่งผลการทดลองพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมประกอบด้วยจำนวนนิวรอนในชั้นอินพุต จำนวนนิวรอนในชั้นฮอน จำนวนนิวรอนในชั้นแสดงผลเท่ากับ 5-55-1 ตามลำดับรูปแบบฟังก์ชันการถ่ายโอนในชั้นฮอนและชั้นแสดงผลคือ ล็อก-ซิกมอยด์และลิเนียร์ตามลำดับค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ต่ำที่สุดคือ 0.0164 ของการบวกรวมการเรียนรู้ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าดัชนีประสิทธิภาพของกระบวนการทดสอบ คือ 0.0398 และ 87.97% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิคอนได้

บุญยานุช ใหม่เง่า (2560) ศึกษาเรื่องโปรแกรมช่วยวิเคราะห์อัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดลการวิเคราะห์อัตราเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดด้วยอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) และต้นไม้แห่งการตัดสินใจ (Decision tree) และเพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์อัตราเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด โดยในการทดลองสร้างโมเดลของทั้งสองอัลกอริทึมใช้โปรแกรมเวก้า (WEKA) เป็นเครื่องมือในการทดสอบการวิเคราะห์และจำแนกข้อมูลเพื่อหาอัลกอริทึมที่ดีที่สุด นำไปใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ผลการทดลองพบว่าอัลกอริทึมที่สามารถคาดการณ์จำแนกข้อมูลอัตราเสี่ยงของการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ดีที่สุด คือ อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีค่าที่โปรแกรมจำแนกได้ถูกต้องสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 97.2973 โดยที่อัลกอริทึมต้นไม้เพื่อการตัดสินใจมีค่าที่โปรแกรมจำแนกได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 95.3347 หลังจากนั้นจึงได้นำโมเดลของอัลกอริทึมของโครงข่ายประสาทเทียมและต้นไม้เพื่อการตัดสินใจมาพัฒนาเป็นโปรแกรมช่วยวิเคราะห์อัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด ผลการทดสอบการพัฒนาโปรแกรมพบว่า โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมสามารถคาดการณ์อัตราเสี่ยงถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 99.5

ผุสดี บุญรอด (2560) ศึกษาเรื่องแบบจำลองการพยากรณ์ราคามันสำปะหลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่ใช้การเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับในการหารูปแบบโครงข่ายสำหรับพยากรณ์ราคามันสำปะหลัง ผลการทดลองพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นมีค่าร้อยละเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 3.96 เคนเนียร์เสนเบอร์มีค่าร้อยละเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 11.10 จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้และต่อยอดในการพยากรณ์ราคามันสำปะหลังได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ

ชม ปานตา (2560) ศึกษาเรื่องการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ 3 วิธีได้แก่วิธีแยกส่วนประกอบวิธีทำให้เรียบเอกซ์โปเนนเชียลแบบวินเตอร์แบบคูณไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และวิธีของบอซซ์-เจนกินส์ซึ่งพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ผลการวิจัยพบว่า วิธีทำให้เรียบของเอกซ์โปเนนเชียลแบบวินเทอร์แบบคูณ ให้ค่า MSE ต่ำที่สุด ในสถานี C.2 ค่ายจิระประวัติ อ.เมือง จ.นครสวรรค์ และสถานี N.67 แม่น้ำน่านบ้านเกษไชยเหนือ อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ ส่วนสถานี Ct.4 แม่น้ำแม่งักบ้านศาลเจ้าไก่ต่ออ.ลาดยาวจ.นครสวรรค์วิธีของบอซซ์-เจนกินส์ให้ค่า MSE ต่ำที่สุดเมื่อพิจารณาภาพรวมจะเห็นว่าวิธีทำให้เรียบของเอกซ์โปเนนเชียลแบบวินเทอร์แบบคูณ เป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนมากที่สุด รองลงมาคือวิธีของบอซซ์-เจนกินส์

พันธ์ทิพา คนฉลาด (2555) ศึกษาเรื่องการพยากรณ์การใช้พลังงานรวมทั้งหมดของประเทศ ไทยโดยวิธีบอซซ์-เจนกินส์และโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบของการพยากรณ์การใช้พลังงานรวมทั้งหมดของประเทศไทยและเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ระหว่างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับแบบจำลองโดยวิธีบอซซ์-เจนกินส์ผลการศึกษาพบว่าวิธีที่มีความเหมาะสมคือวิธีการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมตัวแบบ 4:3:1

พรธณิภา คุ่มสิน (2561) ศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศโดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์, วิธีบอซซ์-เจนกินส์และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศ รุ่น A-3 ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบพยากรณ์ที่ได้จากวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์ ให้ความถูกต้องของการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศรุ่น A-3 มากที่สุด ซึ่งมีค่า RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1 เท่ากับ 4,252.7092 และมีค่า MAPE ของข้อมูลชุดที่ 2 เท่ากับ 14.36%

ดาว สวงนรังศิริกุล (2558) ศึกษาเรื่องการศึกษเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสม สำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานคร โดยมี วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์ประชากรที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานคร ผลการศึกษาพบว่า สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีแนวโน้มและฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดกับข้อมูลอนุกรมเวลาส่วนใหญ่ คือ วิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย ส่วนข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มและฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด คือ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์

จินตพร หนัวินัน (2555) ศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 4 วิธีสำหรับความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคกลางของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาช่วงการพยากรณ์ล่วงหน้าที่เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์ที่ให้รูปแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ วิธี การปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์เหมาะสำหรับการพยากรณ์ระยะสั้นล่วงหน้า 2 เดือน

วรารณณ์ ม้วนทอง (2558) ศึกษาเรื่องแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ Clarifier กรณีศึกษา : โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการทำนายค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากแคลริไฟเออร์ ด้วยข้อมูลการปฏิบัติงานในรูปแบบของอนุกรมเวลา ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง ANN ที่ชั้นซ่อน 2 ชั้นแสดงผลประสิทธิภาพการทำนายที่ดีกว่าแบบจำลองชั้นซ่อน 1 ชั้นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพดีในการทำนายที่ดีที่สุดคือแบบจำลองแบบ 2 ชั้นซ่อน โดยชั้นซ่อนที่หนึ่งมีจำนวนนิวรอนเท่ากับ 45 นิวรอนและชั้น

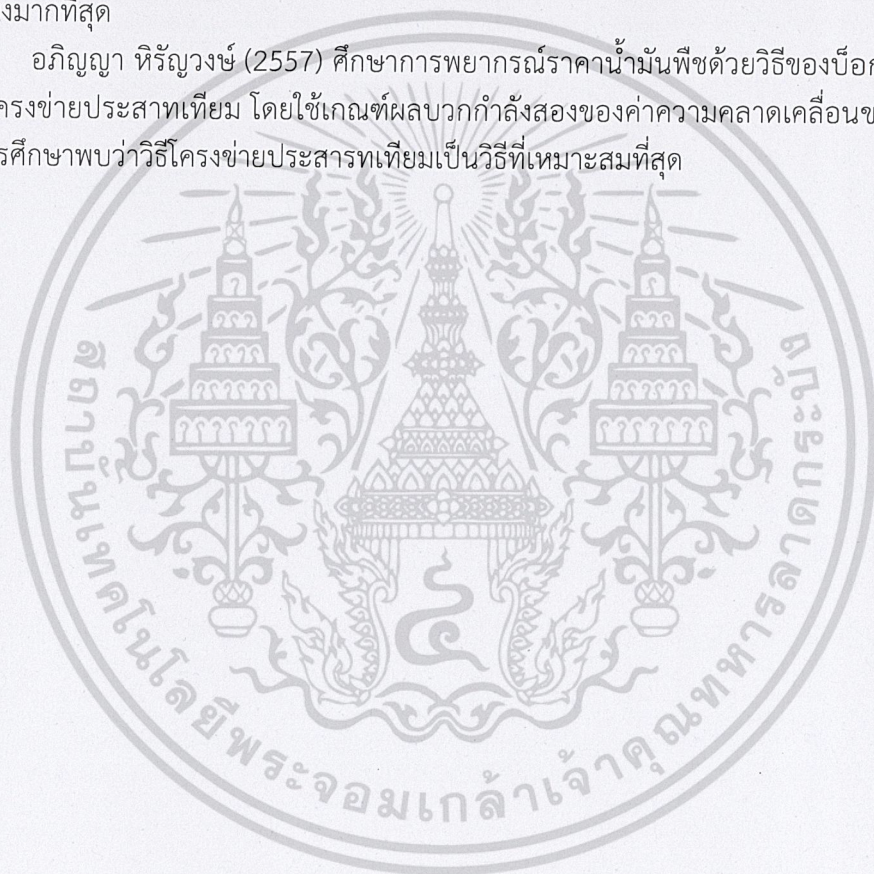
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการตีพิมพ์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอคนที่สองเท่ากับ 80 นีวรอนโดยแบบจำลองนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.92 และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เท่ากับ 0.016 NTU

ศศิธร โภฏสืบ (2559) ศึกษาเรื่องการสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์ราคาข้าวหอมมะลิ 105 โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ และเปรียบเทียบตัวแบบสำหรับการพยากรณ์โดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) น้อยที่สุด ผลการศึกษาพบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดคือ วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ ซึ่งได้ตัวแบบพยากรณ์ ARIMA (1,1,2)

บุญฤทธิ์ ชูประดิษฐ์ (2561) ศึกษาตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกมะม่วงของประเทศไทย โดยใช้วิธีแยกองค์ประกอบ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลไฮลด์และวินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ โดยใช้เกณฑ์ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด ผลจากการศึกษาพบว่า วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์เป็นวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุด

อภิญา หิรัญวงษ์ (2557) ศึกษาการพยากรณ์ราคาน้ำมันพืชด้วยวิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ และโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้เกณฑ์ผลบวกกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์ ผลการศึกษาพบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ลักษณะข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิ โดยเป็นข้อมูลปริมาณการใช้มอเตอร์ที่รวบรวมจากบริษัทผลิตเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่ง เป็นข้อมูลรายเดือนโดยมีทั้งหมด 2 รุ่น ได้แก่ Motor 1042420 และ Motor 1042773 ใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 รวมทั้งสิ้น 132 เดือน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลส่วนที่ 1 ใช้ในการหาตัวแบบพยากรณ์ จะใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2560 รวมทั้งสิ้น 120 เดือน และข้อมูลส่วนที่ 2 ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ จะใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 รวมทั้งสิ้น 12 เดือน

3.2 ตัวแปรและนิยาม

ตัวแปรอิสระ

X_1 แทน อุณหภูมิ (หน่วย: องศาเซลเซียส)

X_2 แทน ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (หน่วย: หนึ่งแสนบาท)

X_3 แทน พื้นที่ก่อสร้าง (หน่วย: หนึ่งแสนตารางเมตร)

ตัวแปรตาม

Y แทน ยอดการใช้มอเตอร์ (หน่วย: เครื่อง)

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

โปรแกรม MINITAB เวอร์ชัน 18 และ โปรแกรม WEKA เวอร์ชัน 3.9

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4.1 ศึกษาลักษณะของข้อมูล

ศึกษาลักษณะของข้อมูลโดยการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเบื้องต้น ได้แก่ การทดสอบแนวโน้มและทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล พบว่าข้อมูลมีแนวโน้มแบบควอดราติกและมีอิทธิพลของฤดูกาล จึงทำการวิเคราะห์อนุกรมเวลา 2 เทคนิค คือ 1. วิธีปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ (HWS) 2. วิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ (Box – Jenkins) พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

วิธีปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ (HWS)

เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติและพบว่าข้อมูลมีแนวโน้มและฤดูกาล จึงนำข้อมูลชุดที่ 1 มาวิเคราะห์โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างกราฟอนุกรมเวลาแล้วคำนวณหาแนวโน้มและฤดูกาล โดยใช้โปรแกรม Minitab 18 ช่วยในการหาค่า เพื่อกำหนดค่าเริ่มต้นของ $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{S}_t(t)$ ทั้งการพยากรณ์แบบบวกและแบบคูณ

2. ใช้ฟังก์ชัน Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel 2016 ในการปรับค่าพารามิเตอร์ α , β , γ และ δ ที่ทำให้สมการพยากรณ์มีค่า RMSE ต่ำที่สุด

ไม่วารสารนี้ เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกตัวแบบที่มีค่า RMSE ต่ำสุดเป็นตัวแบบที่เหมาะสมจากการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

วิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ (Box – Jenkins)

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ MINITAB ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำข้อมูลชุดที่ 1 มาสร้างกราฟเพื่อดูลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูล จะต้องพิจารณาว่าอนุกรมเวลานั้นมีคุณสมบัติเป็นข้อมูลที่มีความคงที่หรือไม่ หากพบว่าไม่มีความคงที่ต้องแปลงอนุกรมเวลาใหม่ให้มีความคงที่ก่อน

2. กำหนดตัวแบบให้กับอนุกรมเวลาแต่ละชุด โดยงานวิจัยนี้เลือกกำหนดตัวแบบ $ARIMA(p, d, q) \times SARIMA(P, D, Q)_L$ โดยพิจารณาจากคอเรลโลแกรมของ ACF (r_k) และ PACF (r_{kk}) สำหรับ $k = 1, 2, \dots$ และรูปแบบ $SARIMA(P, D, Q)_L$ จากค่า (r_k) และ (r_{kk}) สำหรับ $k = L, 2L, \dots$

3. ประเมินค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ในการคำนวณจะทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ได้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และทดสอบค่าพารามิเตอร์เหมาะสมกับตัวแบบที่กำหนดในข้อ 2 หรือไม่ หากไม่เหมาะสมจะไปดำเนินการในข้อที่ 2 ใหม่

4. ตรวจสอบว่าตัวแบบที่กำหนดมีความเหมาะสมหรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟ ACF ของค่าความคลาดเคลื่อน หากพบว่าตัวแบบไม่เหมาะสม ให้พิจารณาปรับปรุงหรือกำหนดตัวแบบใหม่ให้กับอนุกรมเวลา ประเมินค่าพารามิเตอร์ และตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ โดยจะกระทำวนซ้ำเช่นนี้ จนกว่าจะได้ตัวแบบที่เหมาะสม

5. พิจารณาเลือกตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งหากมีตัวแบบที่เหมาะสมหลายตัวแบบ จะใช้เกณฑ์การเลือกตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยเลือกตัวแบบที่ให้ค่า AIC ต่ำสุด เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ด้วยวิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์

วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้โปรแกรม WEKA เวอร์ชัน 3.9 ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการกำหนดโหนดในชั้นซ่อนจะใช้ Baum-Hausler rule เพื่อใช้ในการกำหนดโหนดในชั้นซ่อน โดยคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$n_{hidden} \leq n_{hmax} = \frac{n_{dataset} \times n_{input}}{n_{input} + n_{output}}$$

โดยที่	n_{hidden}	คือ จำนวนโหนดในชั้นซ่อน
	n_{hmax}	คือ จำนวนโหนดที่มากที่สุดในชั้นซ่อน
	n_{input}	คือ จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลเข้า
	n_{output}	คือ จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลออก
	$n_{dataset}$	คือ จำนวนโหนดในการฝึกหัด

ในที่นี้ $n_{dataset} = 120$, $n_{input} = 3$, $n_{output} = 1$

จำนวนโหนดมากที่สุดในชั้นซ่อนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n_{hidden} \leq n_{hmax} = \frac{120 \times 3}{3+1} = 90$$

ดังนั้นจำนวนโหนดที่มากที่สุดที่สุดในชั้นซ่อนจะมีจำนวนโหนด 90 โหนด เพื่อประหยัดเวลาในการทำงานของโปรแกรม จะกำหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อนโดยแบ่งเป็นช่วงละ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90

2. การปรับค่าข้อมูลเข้าและข้อมูลออกให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และกำหนดค่าน้ำหนักถ่วงเริ่มต้นให้กับเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้มีค่าอยู่ระหว่างช่วง (-1,1) กำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ (learning rate) และค่าโมเมนตัม (momentum) ให้อยู่ในช่วง (0,1) โดยทั่วไปค่าอัตราการเรียนรู้จะลู่เข้าสู่ 0 และค่าโมเมนตัมจะลู่เข้าสู่ 1 (Yusoff, 2003) ดังนั้นจึงได้กำหนดค่าอัตราการเรียนรู้เป็น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และกำหนดค่าโมเมนตัมเป็น 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 การกำหนดจำนวนรอบของการฝึกหัด (training time) เป็น 20,000 รอบ (สายชล, 2561) การวิจัยครั้งนี้ใช้อัลกอริทึมของวิธีโครงข่ายประสาทชนิดเพอร์เซปตรอนหลายชั้นที่มีชั้นซ่อน (hidden layer) 1 ชั้น

3.4.2 เลือกตัวแบบการพยากรณ์

เลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม เลือกรูปแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยใช้วิธีรากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) ในการพิจารณาเลือกรูปแบบสมการจากทั้ง 3 เทคนิค ได้แก่ วิธีปรับให้เรียบเอกซิโพเนนเชียลแบบโพลท์และวินเทอร์ วิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยวิธีใดให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด นั่นคือ วิธีที่เหมาะสมที่สุด

3.4.3 พยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์

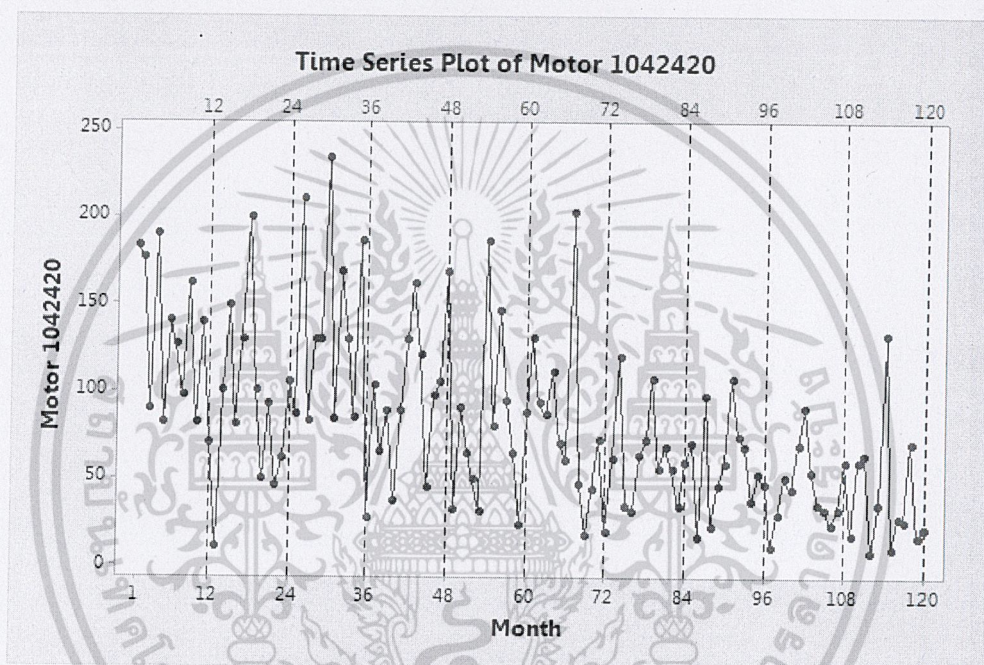
พยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ด้วยตัวแบบที่ได้จากข้อ 2 พร้อมทั้งหาค่า MAPE

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัยในบทนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 และตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 โดยจะทำการวิเคราะห์ 3 เทคนิค คือ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโสลท์ และวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ และวิธีโครข่ายประสาทเทียม

4.1 ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420



รูปที่ 4.1 ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420

จากรูปที่ 4.1 พบว่าลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 มีค่าลดลง แสดงว่าปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 มีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาฤดูกาลพบว่ามีลักษณะไม่ชัดเจน จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

ผลการทดสอบแนวโน้ม

ทดสอบว่าอนุกรมเวลามีแนวโน้มหรือไม่ โดยใช้การทดสอบของ Box และ Pierce สมมติฐานของการทดสอบ

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \dots = \rho_{12} = 0$$

$$H_1 : \rho_i(e_i) \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, 12$$

บริเวณวิกฤติ คือ $Q_{12} \geq \chi_{0.05,12}^2$ โดยที่ $\chi_{0.05,12}^2 = 21.026$

จากการทดสอบแนวโน้ม โดยการทดสอบของ Box และ Pierce พบว่าค่าสถิติ

$Q_{12} = 77.8042$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าไม่มีแนวโน้มที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ดังนั้น ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 มีแนวโน้มเข้ามาเกี่ยวข้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล

จากการทดสอบแนวโน้มปรากฏว่ามีแนวโน้มเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นต้องทำการขจัดแนวโน้มออกก่อน และทำการทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล

สมมติฐานของการทดสอบ

$$H_0 : \rho_{12} = 0$$

$$H_1 : \rho_{12} > 0$$

บริเวณวิกฤติ คือ $r_{12} \geq \frac{Z_{0.05}}{\sqrt{120}}$ โดยที่ $\frac{Z_{0.05}}{\sqrt{120}} = 0.1502$

จากการทดสอบอิทธิพลของฤดูกาลพบว่าค่าสถิติ $r_{12} = 0.21$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าไม่มีฤดูกาลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ดังนั้น ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 มีอิทธิพลของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

ทำการวิเคราะห์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ และใช้โปรแกรม Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อคำนวณหาค่า α , γ และ δ ที่ทำให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด

4.1.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก

จากการคำนวณ Solver ในโปรแกรม Excel พบว่าค่า $\alpha = 0.1025$, $\gamma = 0.01$ และ $\delta = 0.01$ ทำให้ได้ค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 39.7008

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{S}_t(t)$ ของข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก เมื่อกำหนด $\alpha = 0.1025$, $\gamma = 0.01$ และ $\delta = 0.01$

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
1	183							
2	176							
3	89							
4	190							
5	81							
6	140							
7	126							
8	97							
9	162							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
10	81							
11	139							
12	70							
13	10						-20.858	
14	100						2.6007	
15	149						2.9757	
16	80						-28.816	
17	129						-1.441	
18	200						49.559	
19	100						11.7257	
20	49						-1.816	
21	92						8.6007	
22	45						-22.233	
23	61						2.184	
24	105		111.338	-0.823	110.515	89.6574	-2.4826	
25	86	-3.6574	110.963	-0.8267	110.136	112.737	-20.89	13.3766
26	211	98.263	121.038	-0.726	120.312	123.288	3.48258	9655.63
27	82	-41.288	116.805	-0.7683	116.036	87.2204	2.60516	1704.68
28	129	41.7796	121.089	-0.7255	120.363	118.922	-28.441	1745.53
29	129	10.078	122.122	-0.7152	121.407	170.966	-1.3506	101.566
30	234	63.0343	128.585	-0.6505	127.934	139.66	50.1247	3973.33
31	83	-56.66	122.775	-0.7086	122.067	120.251	11.2172	3210.36
32	168	47.7492	127.671	-0.6597	127.012	135.612	-1.3875	2279.99
33	129	-6.6122	126.993	-0.6664	126.327	104.094	8.54136	43.7217
34	84	-20.094	124.933	-0.6871	124.246	126.43	-22.413	403.777
35	186	59.5701	131.041	-0.626	130.415	127.932	2.71862	3548.6
36	27	-100.93	120.692	-0.7295	119.963	99.0721	-3.3884	10187.3
37	103	3.92787	121.095	-0.7254	120.369	123.852	-20.855	15.4281
38	65	-58.852	115.061	-0.7858	114.275	116.88	2.9544	3463.55
39	88	-28.88	112.099	-0.8154	111.284	82.843	2.34597	834.051
40	36	-46.843	107.297	-0.8634	106.433	105.083	-28.861	2194.27
41	88	-17.083	105.545	-0.8809	104.664	154.789	-1.5039	291.815
42	129	-25.789	102.901	-0.9074	101.993	113.211	49.8933	665.064
43	162	48.7893	107.903	-0.8573	107.046	105.659	11.6551	2380.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนของภาควิชาสถิติ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
44	121	15.3415	109.476	-0.8416	108.635	117.176	-1.2498	235.361
45	44	-73.176	101.973	-0.9166	101.057	78.6439	7.88463	5354.73
46	97	18.3561	103.856	-0.8978	102.958	105.676	-22.248	336.948
47	105	-0.6763	103.786	-0.8985	102.888	99.4992	2.71255	0.45742
48	168	68.5008	110.81	-0.8283	109.981	89.1262	-2.7737	4692.35
49	32	-57.126	104.952	-0.8869	104.066	107.02	-21.368	3263.41
50	90	-17.02	103.207	-0.9043	102.303	104.649	2.80165	289.68
51	64	-40.649	99.0395	-0.946	98.0935	69.2321	1.98115	1652.34
52	49	-20.232	96.9651	-0.9667	95.9984	94.4945	-29.043	409.338
53	31	-63.495	90.4549	-1.0318	89.4231	139.316	-2.0737	4031.55
54	186	46.6837	95.2415	-0.984	94.2575	105.913	50.3122	2179.36
55	79	-26.913	92.4821	-1.0116	91.4705	90.2207	11.4135	724.286
56	146	55.7793	98.2012	-0.9544	97.2468	105.131	-0.7492	3111.33
57	94	-11.131	97.0599	-0.9658	96.0941	73.8459	7.78472	123.91
58	64	-9.8459	96.0504	-0.9759	95.0745	97.787	-22.337	96.9418
59	23	-74.787	88.3823	-1.0526	87.3298	84.5561	2.04136	5593.1
60	87	2.4439	88.6329	-1.0501	87.5828	66.215	-2.7517	5.97265
61	130	63.785	95.1729	-0.9847	94.1882	96.9899	-20.795	4068.53
62	93	-3.9899	94.7638	-0.9887	93.7751	95.7562	2.76585	15.9192
63	86	-9.7562	93.7635	-0.9987	92.7647	63.7217	1.8936	95.1836
64	111	47.2783	98.611	-0.9503	97.6607	95.587	-28.619	2235.24
65	70	-25.587	95.9875	-0.9765	95.011	145.323	-2.3033	654.696
66	60	-85.323	87.2392	-1.064	86.1752	97.5887	49.5465	7280.06
67	203	105.411	98.0472	-0.9559	97.0913	96.3421	12.3596	11111.5
68	46	-50.342	92.8855	-1.0075	91.878	99.6627	-1.201	2534.33
69	17	-82.663	84.41	-1.0923	83.3177	60.9811	7.04285	6833.12
70	43	-17.981	82.5663	-1.1107	81.4556	83.497	-22.498	323.321
71	72	-11.497	81.3875	-1.1225	80.265	77.5133	1.93818	132.18
72	19	-58.513	75.3881	-1.1825	74.2056	53.4101	-3.2769	3423.8
73	61	7.58986	76.1663	-1.1747	74.9915	77.7574	-20.727	57.606
74	120	42.2426	80.4975	-1.1314	79.3661	81.2597	3.14496	1784.44
75	33	-48.26	75.5493	-1.1809	74.3684	45.7497	1.46048	2328.99
76	31	-14.75	74.037	-1.196	72.841	70.5376	-28.751	217.554
77	63	-7.5376	73.2642	-1.2037	72.0604	121.607	-2.371	56.8161

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
78	72	-49.607	68.1779	-1.2546	66.9233	79.2828	49.1013	2460.84
79	107	27.7172	71.0198	-1.2262	69.7936	68.5926	12.6083	768.241
80	55	-13.593	69.6261	-1.2401	68.386	75.4288	-1.323	184.759
81	68	-7.4288	68.8644	-1.2477	67.6167	45.1187	6.97618	55.1874
82	55	9.88128	69.8775	-1.2376	68.6399	70.5781	-22.409	97.6396
83	33	-37.578	66.0246	-1.2761	64.7485	61.4716	1.60093	1412.11
84	59	-2.4716	65.7712	-1.2787	64.4925	43.7652	-3.299	6.10876
85	70	26.2348	68.4611	-1.2518	67.2093	70.3543	-20.492	688.264
86	16	-54.354	62.888	-1.3075	61.5805	63.041	2.65715	2954.39
87	97	33.959	66.3699	-1.2727	65.0972	36.3461	1.76525	1153.21
88	22	-14.346	64.899	-1.2874	63.6116	61.2406	-28.88	205.812
89	45	-16.241	63.2338	-1.304	61.9298	111.031	-2.5167	263.757
90	58	-53.031	57.7964	-1.3584	56.438	69.0463	48.6253	2812.29
91	107	37.9537	61.6879	-1.3195	60.3684	59.0454	12.9489	1440.48
92	74	14.9546	63.2212	-1.3042	61.917	68.8932	-1.1888	223.64
93	68	-0.8932	63.1296	-1.3051	61.8245	39.4153	6.96816	0.79784
94	36	-3.4153	62.7794	-1.3086	61.4709	63.0718	-22.44	11.6642
95	52	-11.072	61.6442	-1.3199	60.3243	57.0253	1.50156	122.585
96	46	-11.025	60.5138	-1.3312	59.1826	38.6907	-3.398	121.556
97	10	-28.691	57.5721	-1.3607	56.2114	58.8686	-20.749	823.157
98	29	-29.869	54.5096	-1.3913	53.1183	54.8836	2.38909	892.132
99	50	-4.8836	54.0089	-1.3963	52.6126	23.7328	1.72142	23.8494
100	43	19.2672	55.9844	-1.3765	54.6079	52.0911	-28.707	371.226
101	69	16.9089	57.7181	-1.3592	56.3589	104.984	-2.365	285.91
102	90	-14.984	56.1817	-1.3746	54.8072	67.7561	48.4909	224.527
103	53	-14.756	54.6688	-1.3897	53.2791	52.0903	12.8165	217.743
104	34	-18.09	52.8139	-1.4082	51.4057	58.3739	-1.3511	327.259
105	32	-26.374	50.1098	-1.4353	48.6745	26.2346	6.73147	695.58
106	23	-3.2346	49.7781	-1.4386	48.3395	49.8411	-22.469	10.4625
107	32	-17.841	47.9488	-1.4569	46.492	43.094	1.34145	318.305
108	59	15.906	49.5797	-1.4406	48.1391	27.3898	-3.2552	253.002
109	17	-10.39	48.5144	-1.4512	47.0632	49.4523	-20.843	107.948
110	59	9.54771	49.4934	-1.4414	48.0519	49.7734	2.47477	91.1588
111	63	13.2266	50.8495	-1.4279	49.4216	20.7147	1.84013	174.944

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
112	7	-13.715	49.4433	-1.4419	48.0014	45.6364	-28.83	188.094
113	34	-11.636	48.2502	-1.4539	46.7964	95.2872	-2.4694	135.406
114	132	36.7128	52.0145	-1.4162	50.5982	63.4147	48.8204	1347.83
115	9	-54.415	46.4352	-1.472	44.9632	43.6121	12.3282	2960.96
116	27	-16.612	44.732	-1.4891	43.2429	49.9744	-1.5002	275.961
117	25	-24.974	42.1713	-1.5147	40.6566	18.1877	6.50733	623.719
118	70	51.8123	47.4837	-1.4615	46.0222	47.3636	-22.004	2684.52
119	16	-31.364	44.2679	-1.4937	42.7742	39.519	1.05997	983.676
120	21	-18.519	42.3691	-1.5127	40.8565	20.0139	-3.4214	342.953
							RMSE	39.7008

จากตารางที่ 4.1 ได้ค่า RMSE เท่ากับ 39.6440 และสามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (42.369 - 1.5127p) + \hat{S}_i(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (4-1)$$

(origin เดือนธันวาคม ปี 2550, p มีหน่วยเป็นรายเดือน)

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\begin{aligned} \hat{S}_1 &= -20.843 & \hat{S}_2 &= 2.4748 & \hat{S}_3 &= 1.8401 & \hat{S}_4 &= -28.83 \\ \hat{S}_5 &= -2.4694 & \hat{S}_6 &= 48.82 & \hat{S}_7 &= 12.328 & \hat{S}_8 &= -1.5002 \\ \hat{S}_9 &= 6.5073 & \hat{S}_{10} &= -22.004 & \hat{S}_{11} &= 1.06 & \hat{S}_{12} &= -3.4214 \end{aligned}$$

เนื่องจากผลรวมของค่าประมาณดัชนีฤดูกาลไม่เท่ากับ 0 จึงแปลงค่าประมาณดัชนีฤดูกาลใหม่ให้ผลรวมเท่ากับ 0 จะได้สมการพยากรณ์และค่าประมาณดัชนีฤดูกาลใหม่ ดังนี้

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (41.8659 - 1.5127p) \times \hat{S}_i^*(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (4-2)$$

(origin เดือนธันวาคม ปี 2550, p มีหน่วยเป็นรายเดือน)

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\begin{aligned} \hat{S}_1^* &= -20.3395 & \hat{S}_2^* &= 2.9778 & \hat{S}_3^* &= 2.3432 & \hat{S}_4^* &= -28.3269 \\ \hat{S}_5^* &= -1.9664 & \hat{S}_6^* &= 49.3234 & \hat{S}_7^* &= 12.8312 & \hat{S}_8^* &= -0.9971 \\ \hat{S}_9^* &= 7.0104 & \hat{S}_{10}^* &= -21.5009 & \hat{S}_{11}^* &= 1.5630 & \hat{S}_{12}^* &= -2.9184 \end{aligned}$$

4.1.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์รูปแบบคูณ

จากการคำนวณ Solver ในโปรแกรม Excel พบว่าค่า $\alpha = 0.0569$, $\gamma = 0.6219$ และ $\delta = 0.01$ ทำให้ได้ค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 39.9599

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ค่า $\hat{T}_i(t)$, $\hat{\beta}_i(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ของข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์

1042420 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์รูปแบบคูณ
เมื่อกำหนด $\alpha = 0.0569$, $\gamma = 0.6219$ และ $\delta = 0.01$

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_i(t)$	$\hat{\beta}_i(t)$	$\hat{T}_{i+1}(t)$	$\hat{Y}_{i+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t^2
1	183							
2	176							
3	89							
4	190							
5	81							
6	140							
7	126							
8	97							
9	162							
10	81							
11	139							
12	70							
13	10						0.79316	
14	100						1.00938	
15	149						1.01372	
16	80						0.52828	
17	129						0.96505	
18	200						1.78757	
19	100						1.21809	
20	49						0.93388	
21	92						1.07815	
22	45						0.71842	
23	61						1.00066	
24	105		116.788	-0.898	115.89	91.9193	0.95365	
25	86	-5.9193	116.434	-1.118	115.316	116.398	0.79268	35.0383
26	211	94.6021	123.235	3.11222	126.348	128.081	1.01662	8949.55
27	82	-46.081	120.652	1.50555	122.158	64.5336	1.01012	2123.47
28	129	64.4664	124.289	3.76771	128.057	123.581	0.53317	4155.92
29	129	5.41857	124.868	4.12794	128.996	230.59	0.96546	29.3609
30	234	3.40988	125.07	4.25313	129.323	157.527	1.78783	11.6273
31	83	-74.527	122.694	2.77556	125.47	117.174	1.21236	5554.26
32	168	50.8263	125.083	4.26155	129.345	139.453	0.93771	2583.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
33	129	-10.453	124.448	3.86642	128.314	92.1837	1.07736	109.268
34	84	-8.1837	124.015	3.59718	127.612	127.697	0.7178	66.9723
35	186	58.3035	128.644	6.47626	135.12	128.857	1.00493	3399.29
36	27	-101.86	122.868	2.88359	125.751	99.6807	0.94583	10374.9
37	103	3.31926	123.068	3.00798	126.076	128.171	0.79293	11.0175
38	65	-63.171	118.528	0.18413	118.712	119.913	1.01159	3990.59
39	88	-31.913	116.73	-0.9341	115.796	61.739	1.00754	1018.44
40	36	-25.739	115.274	-1.8396	113.435	109.516	0.53107	662.498
41	88	-21.516	112.965	-3.2757	109.69	196.106	0.96366	462.957
42	129	-67.106	108.997	-5.744	103.253	125.18	1.78202	4503.21
43	162	36.8202	110.174	-5.0116	105.163	98.6123	1.21551	1355.73
44	121	22.3877	111.224	-4.3588	106.865	115.132	0.93961	501.208
45	44	-71.132	106.91	-7.0421	99.8676	71.6847	1.07108	5059.77
46	97	25.3153	108.257	-6.2044	102.052	102.556	0.72	640.862
47	105	2.44419	108.45	-6.084	102.366	96.8212	1.00515	5.97406
48	168	71.1788	112.486	-3.574	108.912	86.3599	0.9518	5066.43
49	32	-54.36	109.231	-5.5984	103.633	104.834	0.78824	2955
50	90	-14.834	108.158	-6.2654	101.893	102.661	1.0103	220.047
51	64	-38.661	105.978	-7.6218	98.3559	52.2334	1.0041	1494.7
52	49	-3.2334	105.794	-7.736	98.0582	94.4951	0.53078	10.4551
53	31	-63.495	98.977	-11.976	87.0008	155.037	0.95761	4031.63
54	186	30.9628	100.82	-10.83	89.9894	109.383	1.78492	958.695
55	79	-30.383	99.8495	-11.434	88.416	83.0766	1.21264	923.149
56	146	62.9234	102.807	-9.5943	93.2123	99.8382	0.94538	3959.36
57	94	-5.8382	102.455	-9.8131	92.6415	66.7021	1.07055	34.0844
58	64	-2.7021	102.311	-9.9026	92.4082	92.8838	0.71975	7.3016
59	23	-69.884	96.7776	-13.344	83.4335	79.412	0.99834	4883.74
60	87	7.58805	97.2108	-13.075	84.136	66.3195	0.95254	57.5785
61	130	63.6805	101.021	-10.705	90.3155	91.2458	0.79419	4055.2
62	93	1.75424	101.146	-10.627	90.5197	90.8908	1.01046	3.07735
63	86	-4.8908	100.871	-10.798	90.0723	47.8083	1.00364	23.9203
64	111	63.1917	104.459	-8.5666	95.8921	91.8276	0.53648	3993.19
65	70	-21.828	102.14	-10.009	92.1313	164.447	0.9556	476.444
66	60	-104.45	95.9114	-13.883	82.0284	99.4712	1.77465	10909.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยระบบอัตโนมัติของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
67	203	103.529	99.2359	-11.815	87.4207	82.646	1.22248	10718.2
68	46	-36.646	97.5276	-12.878	84.6499	90.6216	0.94184	1342.93
69	17	-73.622	93.073	-15.648	77.4246	55.7266	1.06309	5420.14
70	43	-12.727	92.3907	-16.073	76.318	76.1911	0.71845	161.967
71	72	-4.1911	92.0583	-16.28	75.7788	72.182	0.99791	17.5651
72	19	-53.182	89.0212	-18.169	70.8527	56.2702	0.9469	2828.33
73	61	4.72975	89.3059	-17.991	71.3144	72.0606	0.79469	22.3705
74	120	47.9394	92.7437	-15.853	76.8904	77.1705	1.01534	2298.19
75	33	-44.171	90.2645	-17.395	72.8693	39.0931	0.99903	1951.04
76	31	-8.0931	89.8029	-17.682	72.1205	68.9182	0.53563	65.4977
77	63	-5.9182	89.1732	-18.074	71.0992	126.176	0.95497	35.0253
78	72	-54.176	85.9403	-20.085	65.8554	80.5071	1.7687	2935.04
79	107	26.4929	86.7939	-19.554	67.2399	63.3292	1.22536	701.876
80	55	-8.3292	86.4065	-19.795	66.6116	70.814	0.94093	69.3749
81	68	-2.814	86.2361	-19.901	66.3352	47.6589	1.06278	7.91841
82	55	7.34115	86.6297	-19.656	66.9737	66.8336	0.71925	53.8924
83	33	-33.834	83.949	-21.323	62.6257	59.3004	0.99411	1144.71
84	59	-0.3004	83.9318	-21.334	62.5977	49.7455	0.94687	0.09022
85	70	20.2545	85.1508	-20.576	64.575	65.5654	0.79693	410.244
86	16	-49.565	81.6065	-22.78	58.826	58.7689	1.00961	2456.73
87	97	38.2311	83.7644	-21.438	62.3262	33.3839	1.00333	1461.62
88	22	-11.384	83.1178	-21.84	61.2775	58.5183	0.53434	129.594
89	45	-13.518	81.6761	-22.737	58.939	104.246	0.95341	182.744
90	58	-46.246	78.9119	-24.456	54.4555	66.7276	1.76318	2138.65
91	107	40.2724	80.2135	-23.647	56.5667	53.2253	1.2301	1621.87
92	74	20.7747	81.176	-23.048	58.1278	61.777	0.94334	431.588
93	68	6.22297	81.5519	-22.814	58.7376	42.2472	1.0635	38.7254
94	36	-6.2472	81.2172	-23.023	58.1946	57.8517	0.71853	39.0279
95	52	-5.8517	80.7531	-23.311	57.4418	54.3898	0.99342	34.2418
96	46	-8.3898	80.2718	-23.611	56.6612	45.1549	0.94588	70.3895
97	10	-35.155	78.1537	-24.928	53.2258	53.7373	0.79269	1235.87
98	29	-24.737	76.3753	-26.034	50.3412	50.509	1.00656	611.934
99	50	-0.509	76.3465	-26.052	50.2945	26.8744	1.00327	0.25906
100	43	16.1256	77.2625	-25.482	51.7802	49.3678	0.53631	260.035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่สู่สาธารณะได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
101	69	19.6322	79.3486	-24.185	55.1638	97.2635	0.95574	385.422
102	90	-7.2635	78.9155	-24.454	54.4613	66.9926	1.76231	52.759
103	53	-13.993	78.463	-24.736	53.7274	50.6834	1.22841	195.793
104	34	-16.683	77.689	-25.217	52.472	55.804	0.94132	278.334
105	32	-23.804	76.2479	-26.113	50.1346	36.0231	1.06055	566.629
106	23	-13.023	75.5482	-26.549	48.9996	48.6773	0.7169	169.602
107	32	-16.677	74.2225	-27.373	46.8493	44.3139	0.9913	278.133
108	59	14.6861	75.0667	-26.848	48.2187	38.2223	0.94773	215.681
109	17	-21.222	73.7906	-27.642	46.1488	46.4514	0.78997	450.387
110	59	12.5486	74.6958	-27.079	47.6171	47.7728	1.00814	157.468
111	63	15.2272	75.5566	-26.543	49.0133	26.2862	1.00517	231.868
112	7	-19.286	74.4632	-27.223	47.2397	45.1491	0.53387	371.959
113	34	-11.149	73.2731	-27.964	45.3094	79.8491	0.95431	124.303
114	132	52.1509	76.3873	-26.027	50.3606	61.8637	1.76875	2719.71
115	9	-52.864	74.6841	-27.086	47.598	44.8049	1.22174	2794.57
116	27	-17.805	73.8536	-27.603	46.251	49.0517	0.93904	317.013
117	25	-24.052	72.394	-28.51	43.8835	31.4602	1.05742	578.484
118	70	38.5398	74.471	-27.219	47.2524	46.8415	0.72178	1485.32
119	16	-30.842	72.0359	-28.733	43.3028	41.0392	0.98727	951.199
120	21	-20.039	70.8792	-29.453	41.4266	32.726	0.94506	401.57
							RMSE	39.9599

จากตารางที่ 4.2 ได้ค่า RMSE เท่ากับ 39.9078 และสามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (70.879 - 29.453p) \times \hat{S}_t(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (4-3)$$

(origin เดือนธันวาคม ปี 2550, p มีหน่วยเป็นรายเดือน)

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\begin{array}{llll} \hat{S}_1 = 0.7900 & \hat{S}_2 = 1.0081 & \hat{S}_3 = 1.0052 & \hat{S}_4 = 0.5339 \\ \hat{S}_5 = 0.9543 & \hat{S}_6 = 1.7687 & \hat{S}_7 = 1.2217 & \hat{S}_8 = 0.9390 \\ \hat{S}_9 = 1.0574 & \hat{S}_{10} = 0.7218 & \hat{S}_{11} = 0.9873 & \hat{S}_{12} = 0.9451 \end{array}$$

เนื่องจากผลรวมของค่าประมาณดัชนีฤดูกาลไม่เท่ากับ 12 จึงแปลงค่าประมาณดัชนีฤดูกาลใหม่ให้ผลรวมเท่ากับ 12 จะได้สมการพยากรณ์และค่าประมาณดัชนีฤดูกาลใหม่ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (70.4805 - 29.2874p) \times \hat{S}_i^*(120) \quad \text{สำหรับ } p=1,2,\dots \quad (4.4)$$

(origin เดือนธันวาคม ปี 2550, p มีหน่วยเป็นรายเดือน)

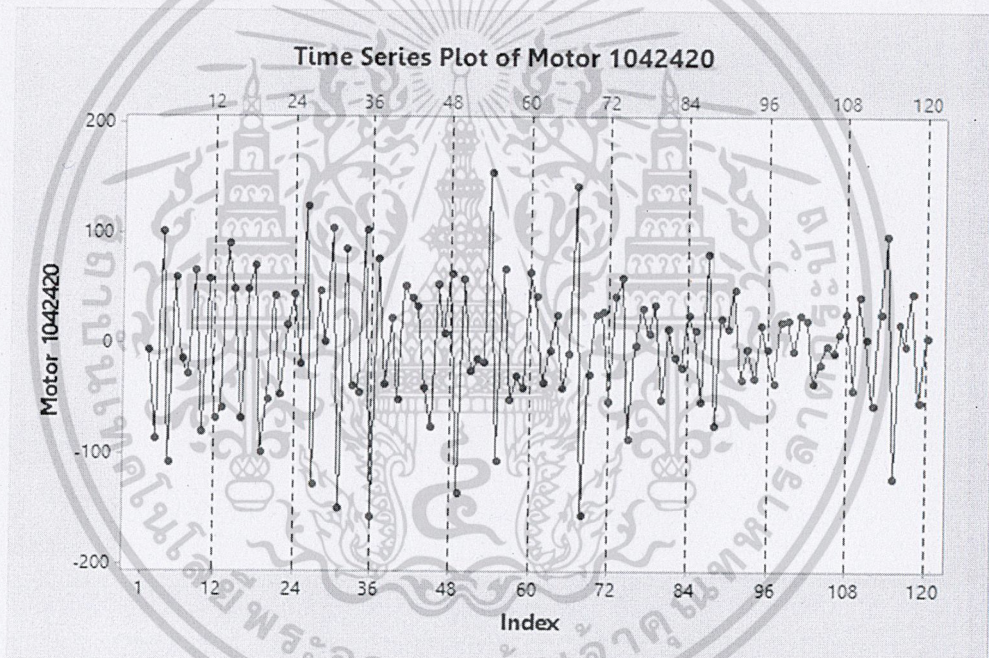
โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\begin{array}{cccc} \hat{S}_1^* = 0.7944 & \hat{S}_2^* = 1.0138 & \hat{S}_3^* = 1.0109 & \hat{S}_4^* = 0.5369 \\ \hat{S}_5^* = 0.9597 & \hat{S}_6^* = 1.7787 & \hat{S}_7^* = 1.2286 & \hat{S}_8^* = 0.9444 \\ \hat{S}_9^* = 1.0634 & \hat{S}_{10}^* = 0.7259 & \hat{S}_{11}^* = 0.9929 & \hat{S}_{12}^* = 0.9504 \end{array}$$

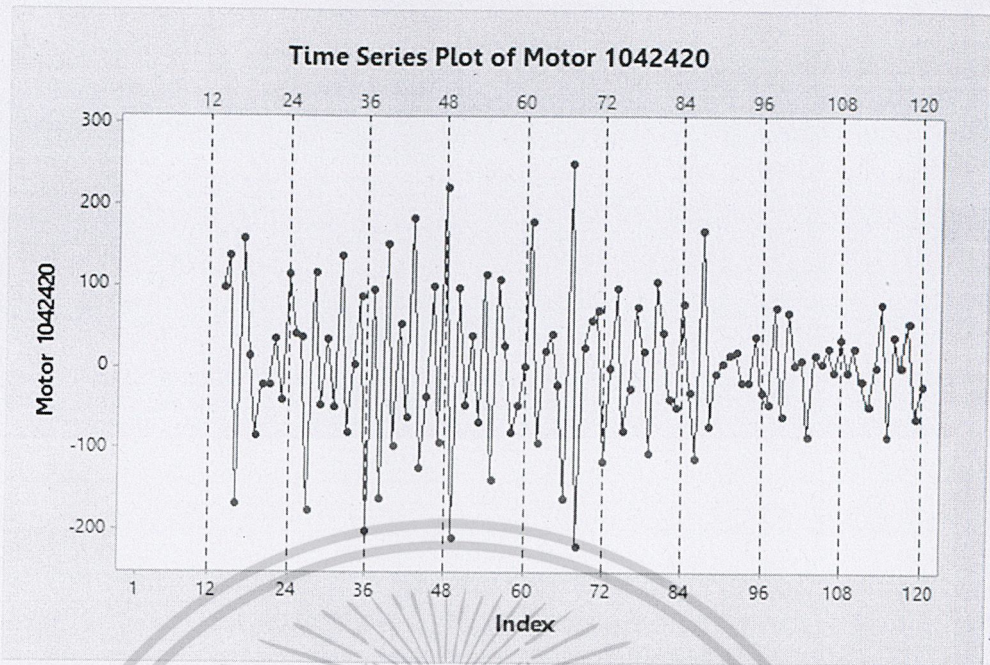
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์

จากรูปที่ 4.1 พบว่าปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 เป็นอนุกรมเวลาที่ไม่เสถียร เนื่องจากข้อมูลมีแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นจึงแปลงให้เป็นอนุกรมเวลาที่เสถียรก่อน โดยการหาผลต่าง 1 ครั้ง และหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



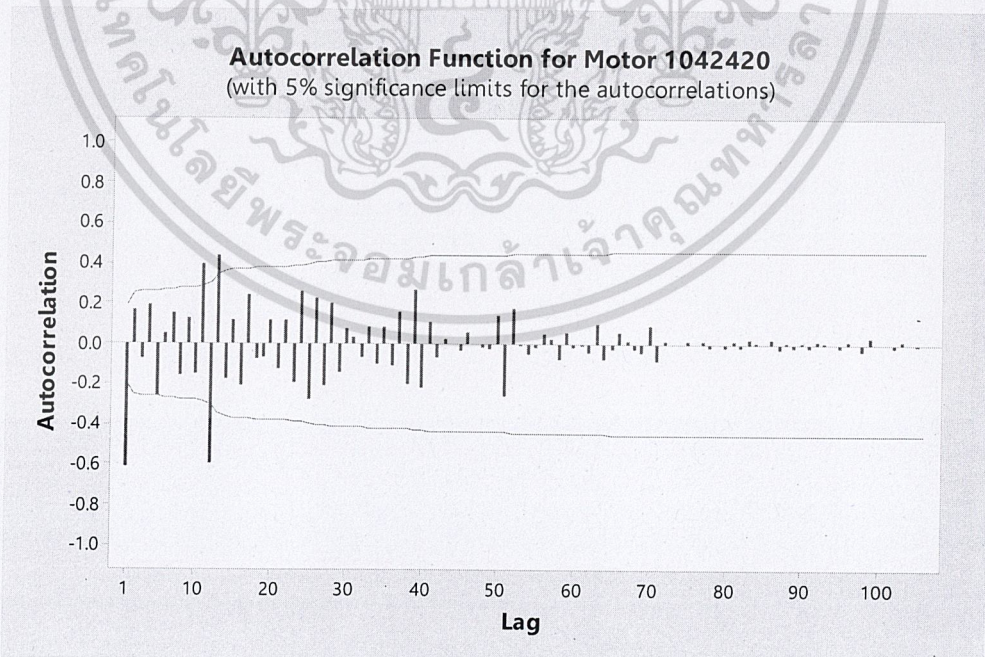
รูปที่ 4.2 อนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



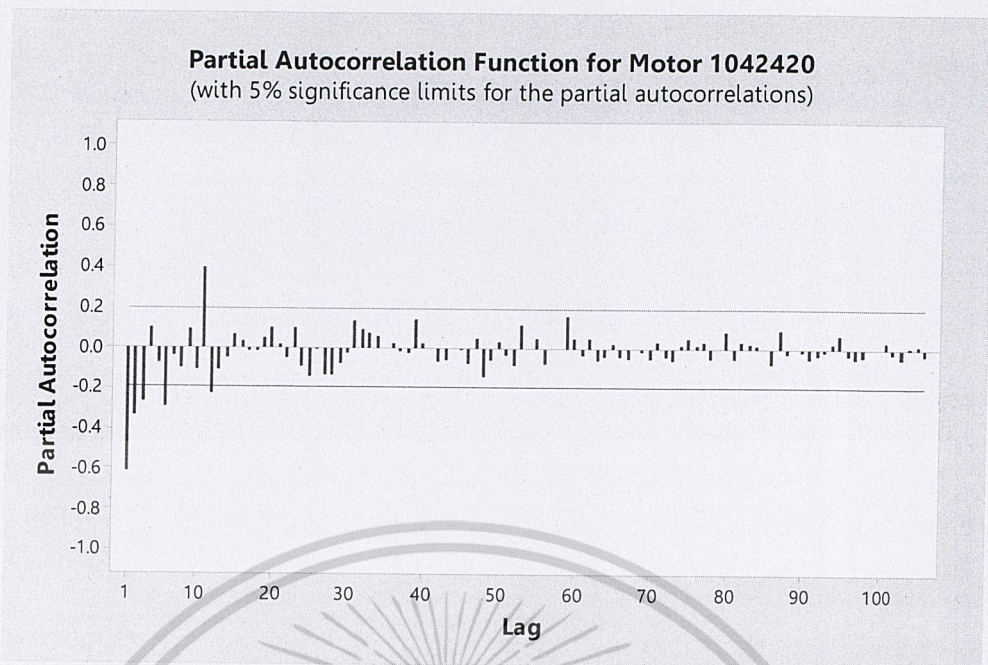
รูปที่ 4.3 อนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้งและการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง

จากรูปที่ 4.3 พบว่าอนุกรมเวลาชุดใหม่ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้งและผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง เป็นอนุกรมเวลาที่เสถียรแล้วนำอนุกรมเวลาที่เสถียรนี้ไปพล็อตคอเรโลแกรมของ Autocorrelation (ACF) และ Partial- Autocorrelation (PACF) เพื่อหาตัวแบบ ดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 คอเรโลแกรม ACF ของอนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง และการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีการสงวนลิขสิทธิ์ไว้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 คอเรโลแกรม PACF ของอนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง และการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง

เมื่อหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลแล้ว พบว่าเป็นอนุกรมเวลาที่สเตรชันนารีแล้ว และมีตัวแบบที่เป็นไปได้แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยได้ตัวแบบที่เหมาะสม คือ $ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(1,1,1)_{12}$ เพราะเป็นตัวแบบที่ให้ค่า AIC ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3 ตัวแบบที่เป็นไปได้สำหรับพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ด้วยวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์

ตัวแบบพยากรณ์	พจน์ค่าคงที่	df	p	RMSE	AIC
$ARIMA(0,1,1) \times SARIMA(1,1,1)_{12}$	มี	103	17	39.1394	364.0784
$ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$	มี	103	17	38.2999	362.1386
$ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(1,1,1)_{12}$	มี	102	18	37.9501	361.3179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1 ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ

ตารางที่ 4.4 การทดสอบพารามิเตอร์ของตัวแบบ $ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(1,1,1)_{12}$

Statistic	Coef	SE Coef	T	p-value
θ_0	-0.1712	0.0067	-25.6400	0.0000
θ_1	1.0041	0.0048	209.3800	0.0000
θ_{12}	0.9178	0.0730	12.5800	0.0000
ϕ_1	-0.2347	0.0984	-2.3800	0.0190
ϕ_{12}	-0.2200	0.1020	-2.1500	0.0340

สมมติฐานการทดสอบ

1. $H_0 : \theta_0 = 0$

$H_1 : \theta_0 \neq 0$

จากตารางที่ 4.4 จะได้ค่า P-Value = 0.0000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าค่าพารามิเตอร์ θ_0 ในตัวแบบมีค่าไม่เท่ากับ 0 นั่นคือพารามิเตอร์ θ_0 ควรจะมีในตัวแบบ

2. $H_0 : \theta_1 = 0$

$H_1 : \theta_1 \neq 0$

จากตารางที่ 4.4 จะได้ค่า P-Value = 0.0000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าค่าพารามิเตอร์ θ_1 ในตัวแบบมีค่าไม่เท่ากับ 0 นั่นคือพารามิเตอร์ θ_1 ควรจะมีในตัวแบบ

3. $H_0 : \theta_{12} = 0$

$H_1 : \theta_{12} \neq 0$

จากตารางที่ 4.4 จะได้ค่า P-Value = 0.0000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าค่าพารามิเตอร์ θ_{12} ในตัวแบบมีค่าไม่เท่ากับ 0 นั่นคือพารามิเตอร์ θ_{12} ควรจะมีในตัวแบบ

4. $H_0 : \phi_1 = 0$

$H_1 : \phi_1 \neq 0$

จากตารางที่ 4.4 จะได้ค่า P-Value = 0.0190 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_1 ในตัวแบบมีค่าไม่เท่ากับ 0 นั่นคือพารามิเตอร์ ϕ_1 ควรจะมีในตัวแบบ

5. $H_0 : \phi_{12} = 0$

$H_1 : \phi_{12} \neq 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 จะได้ค่า P-Value = 0.0340 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_2 ในตัวแบบมีค่าไม่เท่ากับ 0 นั่นคือพารามิเตอร์ ϕ_2 ควรจะมีในตัวแบบ

ตารางที่ 4.5 การทดสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ
 $ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(1,1,1)_{12}$

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square Statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	9.26	29.31	38.51	56.2
DF	7	19	31	43
P-Value	0.235	0.061	0.166	0.085

การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบโดยตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนโดยสถิติทดสอบ

สมมติฐานการทดสอบ

$$1. H_0 : \rho_1(e_t) = \rho_2(e_t) = \dots = \rho_{12}(e_t) = 0$$

$$H_1 : \rho_k(e_t) \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ } k = 1, 2, \dots, 12$$

จากตารางที่ 4.5 พบว่า Lag ที่ 12 ให้ค่า P-Value = 0.235 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$2. H_0 : \rho_1(e_t) = \rho_2(e_t) = \dots = \rho_{24}(e_t) = 0$$

$$H_1 : \rho_k(e_t) \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ } k = 1, 2, \dots, 24$$

จากตารางที่ 4.5 พบว่า Lag ที่ 24 ให้ค่า P-Value = 0.061 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$3. H_0 : \rho_1(e_t) = \rho_2(e_t) = \dots = \rho_{36}(e_t) = 0$$

$$H_1 : \rho_k(e_t) \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ } k = 1, 2, \dots, 36$$

จากตารางที่ 4.5 พบว่า Lag ที่ 36 ให้ค่า P-Value = 0.166 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันระดับนัยสำคัญ 0.05

$$4. H_0 : \rho_1(e_t) = \rho_2(e_t) = \dots = \rho_{48}(e_t) = 0$$

$$H_1 : \rho_k(e_t) \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ } k = 1, 2, \dots, 48$$

จากตารางที่ 4.5 พบว่า Lag ที่ 48 ให้ค่า P-Value = 0.085 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เพราะฉะนั้นตัวแบบ $ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(1,1,1)_{12}$ เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ค่าล่วงหน้าและได้ค่า RMSE เท่ากับ 37.9501

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับมอเตอร์ 1042420 โดยกำหนด โหนดชั้นซ่อน คือ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85 และ 90 อัตราการเรียนรู้ คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 และโมเมนตัม คือ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ผลลัพธ์ของการพยากรณ์แต่ละตัวแบบจะสามารถดูได้ในภาคผนวก ข พิจารณาตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด พบว่าโครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์และค่าวัดความถูกต้องของตัวแบบที่เหมาะสมด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดใช้มอเตอร์ 1042420

โครงข่ายประสาทเทียม	มอเตอร์ 1042420
โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์	3-60-1
อัตราการเรียนรู้	0.2
โมเมนตัม	0.5
จำนวนรอบการเรียนรู้	20000
RMSE	33.2337

4.1.4 ผลการเปรียบเทียบตัวแบบ

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธีของปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420

วิธี	RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1
1. วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ - รูปแบบบวก - รูปแบบคูณ	39.7008 39.9599
2. วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์	37.9501
3. วิธีโครงข่ายประสาทเทียม	33.3237

จากตารางที่ 4.7 จากการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี สำหรับข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 สรุปได้ว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ซึ่งได้ค่า RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1 เท่ากับ 33.2337 โดยมีตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดใช้มอเตอร์รุ่น 1042420 คือวิธีโครงข่ายประสาทเทียม 3-60-1 อัตราการเรียนรู้ 0.2 โมเมนตัม 0.5 จำนวนรอบการเรียนรู้ 20000 รอบ และได้ทำการพยากรณ์ค่าพยากรณ์ 12 ช่วงเวลาล่วงหน้าแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าจริง 12 ค่าในข้อมูลชุดที่ 2

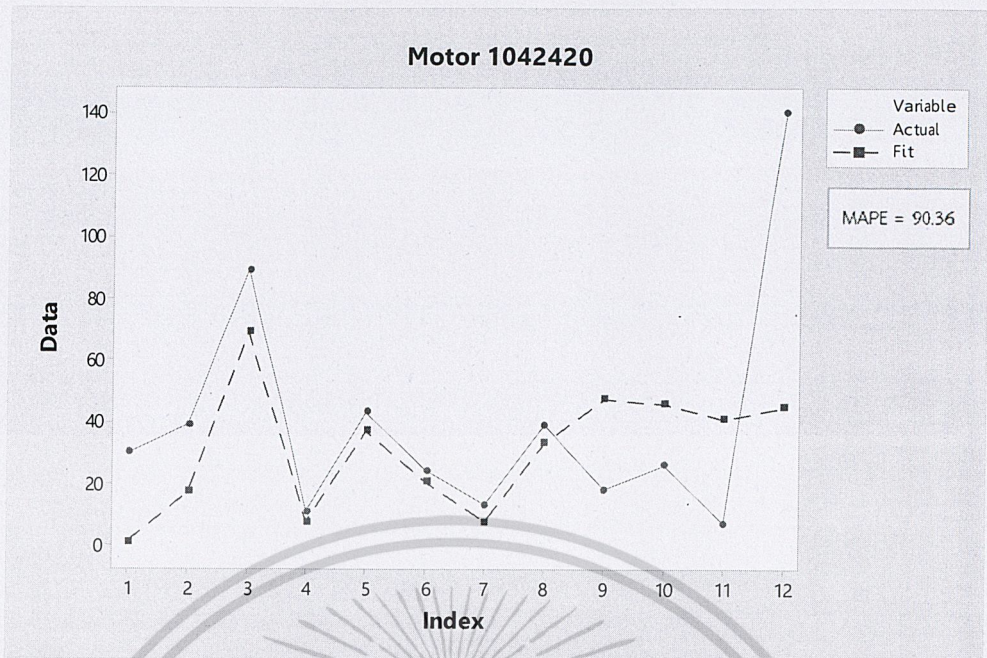
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับมอเตอร์ 1042420

เดือน	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เส้นโครงข่ายประสาทเทียม 3-60-1 อัตราการเรียนรู้ 0.2 โมเมนตัม 0.5 จำนวนรอบการเรียนรู้ 20000 รอบ			
	Y_t	\hat{Y}_t	e_t	$\left \frac{e_t}{Y_t} \right $
ม.ค. 2561	30	0.9210	29.0790	0.9693
ก.พ. 2561	39	17.1210	21.8790	0.5610
มี.ค. 2561	89	69.0500	19.9500	0.2242
เม.ษ. 2561	11	7.6950	3.3050	0.3005
พ.ค. 2561	43	36.9370	6.0630	0.1410
มิ.ย. 2561	24	20.5780	3.4220	0.1426
ก.ค. 2561	13	7.4980	5.5020	0.4232
ส.ค. 2561	39	33.0430	5.9570	0.1527
ก.ย. 2561	18	47.4570	-29.4570	1.6365
ต.ค. 2561	26	45.6960	-19.6960	0.7575
พ.ย. 2561	7	40.9830	-33.9830	4.8547
ธ.ค. 2561	140	44.7760	95.2240	0.6802
$MAPE = \frac{n}{\sum_{t=1}^n \left \frac{e_t}{Y_t} \right } \times \frac{100}{n} = 90.36\%$				

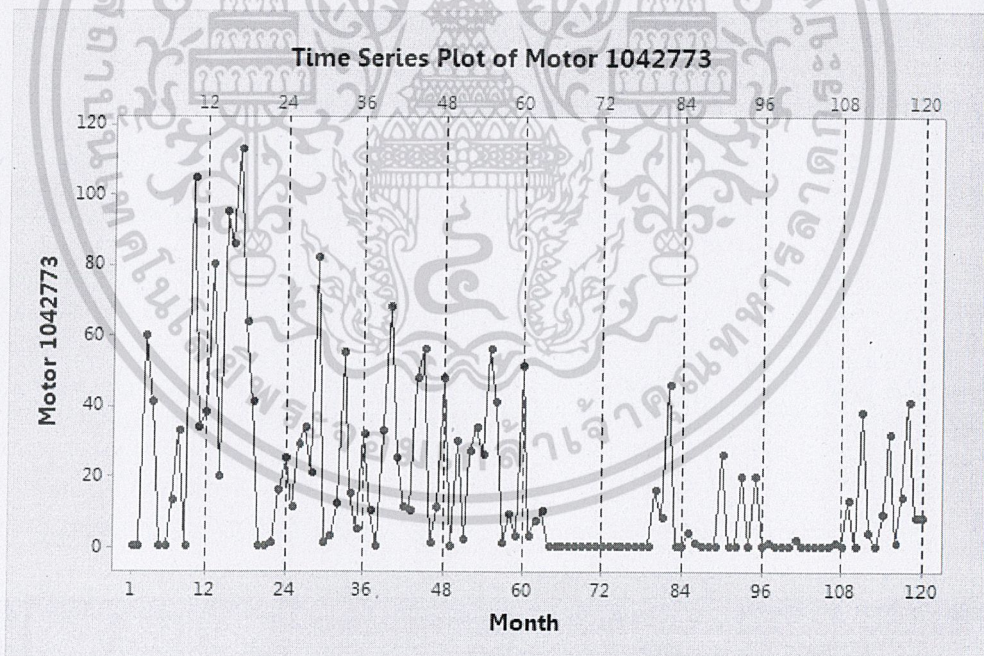
จากตารางที่ 4.8 ได้ค่า MAPE = 90.36% นั่นคือค่าจริงและค่าพยากรณ์แตกต่างกัน 90.36% และแสดงดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 และค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

4.2 ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773



รูปที่ 4.7 ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773

จากรูปที่ 4.7 พบว่าลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042770 มีค่าลดลง แสดงว่าปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 มีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาฤดูกาลพบว่ามีลักษณะไม่ชัดเจน จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาทดสอบสมมติฐานทางสถิติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบแนวโน้ม

ทดสอบว่าอนุกรมเวลามีแนวโน้มหรือไม่ โดยใช้การทดสอบของ Box และ Pierce

สมมติฐานของการทดสอบ

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \dots = \rho_{12} = 0$$

$$H_1 : \rho_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, 12$$

บริเวณวิกฤติ คือ $Q_{12} \geq \chi_{0.05,12}^2$ โดยที่ $\chi_{0.05,12}^2 = 21.026$

จากการทดสอบแนวโน้ม โดยการทดสอบของ Box และ Pierce พบว่าค่าสถิติ $Q_{12} = 79.6385$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าไม่มีแนวโน้มที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ดังนั้น ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 มีแนวโน้มเข้ามาเกี่ยวข้อง

ผลการทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล

จากการทดสอบแนวโน้มปรากฏว่ามีแนวโน้มเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นต้องทำการขจัดแนวโน้มออกก่อน และใช้การทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล

สมมติฐานของการทดสอบ

$$H_0 : \rho_{12} = 0$$

$$H_1 : \rho_{12} > 0$$

บริเวณวิกฤติ คือ $r_{12} \geq \frac{Z_{0.05}}{\sqrt{120}}$ โดยที่ $\frac{Z_{0.05}}{\sqrt{120}} = 0.1502$

จากการทดสอบอิทธิพลของฤดูกาลพบว่าค่าสถิติ $r_{12} = 0.2019$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าไม่มีฤดูกาลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ดังนั้น ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 มีอิทธิพลของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

ทำการวิเคราะห์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ และใช้โปรแกรม Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อคำนวณหาค่า α , γ และ δ ที่ทำให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด

4.2.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก

จากการคำนวณ Solver ในโปรแกรม Excel พบว่าค่า $\alpha = 0.1199$, $\gamma = 0.01$ และ $\delta = 0.01$ ทำให้ได้ค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 16.8500

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{S}_t(t)$ ของข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์

1042773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก เมื่อกำหนด $\alpha = 0.1199$, $\gamma = 0.01$ และ $\delta = 0.01$

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
1	0							
2	0							
3	60							

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
4	41							
5	0							
6	0							
7	13							
8	33							
9	0							
10	105							
11	34							
12	38							
13	80						-1.2847	
14	20						-0.4514	
15	95						6.17361	
16	86						-0.6181	
17	113						2.96528	
18	64						-0.6597	
19	41						-2.6597	
20	0						1.79861	
21	0						2.71528	
22	1						-2.4514	
23	16						-8.6597	
24	25		28.558	-0.303	28.255	26.9703	3.13194	
25	11	-15.97	26.6429	-0.3222	26.3207	25.8694	-1.4253	255.05
26	29	3.13065	27.0183	-0.3184	26.6999	32.8735	-0.4238	9.80094
27	34	1.12647	27.1534	-0.317	26.8363	26.2183	6.18352	1.26894
28	21	-5.2183	26.5276	-0.3233	26.2043	29.1696	-0.664	27.2305
29	82	52.8304	32.8629	-0.26	32.6029	31.9432	3.43023	2791.05
30	1	-30.943	29.1523	-0.2971	28.8552	26.1955	-0.932	957.483
31	3	-23.195	26.3707	-0.3249	26.0459	27.8445	-2.8639	538.031
32	12	-15.844	24.4707	-0.3439	24.1269	26.8421	1.65917	251.048
33	55	28.1579	27.8473	-0.3101	27.5372	25.0858	2.96309	792.865
34	15	-10.086	26.6379	-0.3222	26.3157	17.6559	-2.5402	101.724
35	5	-12.656	25.1202	-0.3374	24.7828	27.9148	-8.7711	160.173
36	32	4.08523	25.6101	-0.3325	25.2776	23.8523	3.16789	16.6891
37	10	-13.852	23.949	-0.3491	23.5999	23.176	-1.5472	191.887

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับงานวิจัยที่ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
38	0	-23.176	21.1698	-0.3769	20.7929	26.9764	-0.6278	537.129
39	33	6.02359	21.8921	-0.3697	21.5224	20.8585	6.23654	36.2836
40	68	47.1415	27.5452	-0.3131	27.232	30.6623	-0.2491	2222.33
41	25	-5.6623	26.8662	-0.3199	26.5462	25.6142	3.3804	32.0612
42	11	-14.614	25.1137	-0.3374	24.7762	21.9124	-1.0607	213.575
43	10	-11.912	23.6852	-0.3517	23.3335	24.9926	-2.9687	141.905
44	48	23.0074	26.4442	-0.3241	26.12	29.0831	1.86165	529.34
45	56	26.9169	29.6719	-0.2919	29.3801	26.8399	3.19998	724.519
46	1	-25.84	26.5733	-0.3228	26.2505	17.4793	-2.7676	667.702
47	11	-6.4793	25.7963	-0.3306	25.4657	28.6336	-8.8281	41.982
48	48	19.3664	28.1187	-0.3074	27.8113	26.2641	3.33833	375.058
49	0	-26.264	24.9692	-0.3389	24.6303	24.0025	-1.7783	689.803
50	30	5.99753	25.6884	-0.3317	25.3567	31.5932	-0.575	35.9703
51	2	-29.593	22.1396	-0.3672	21.7725	21.5234	5.97609	875.758
52	27	5.47664	22.7964	-0.3606	22.4358	25.8162	-0.2009	29.9935
53	34	8.18383	23.7778	-0.3508	23.427	22.3663	3.45242	66.975
54	26	3.6337	24.2135	-0.3464	23.8671	20.8984	-1.0287	13.2038
55	56	35.1016	28.4228	-0.3044	28.1184	29.9801	-2.6598	1232.12
56	41	11.0199	29.7443	-0.2911	29.4531	32.6531	1.95863	121.439
57	1	-31.653	25.9485	-0.3291	25.6194	22.8519	2.92141	1001.92
58	9	-13.852	24.2874	-0.3457	23.9417	15.1136	-2.8895	191.874
59	3	-12.114	22.8348	-0.3602	22.4746	25.8129	-8.9347	146.74
60	51	25.1871	25.8552	-0.33	25.5251	23.7468	3.56	634.389
61	3	-20.747	23.3673	-0.3549	23.0124	22.4374	-1.9609	430.43
62	7	-15.437	21.5161	-0.3734	21.1427	27.1188	-0.7109	238.312
63	10	-17.119	19.4633	-0.3939	19.0693	18.8684	5.82543	293.052
64	0	-18.868	17.2006	-0.4166	16.784	20.2365	-0.367	356.017
65	0	-20.236	14.7739	-0.4408	14.3331	13.3044	3.27433	409.515
66	0	-13.304	13.1785	-0.4568	12.7217	10.0619	-1.1458	177.007
67	0	-10.062	11.9719	-0.4689	11.5031	13.4617	-2.7483	101.243
68	0	-13.462	10.3576	-0.485	9.87263	12.794	1.84016	181.217
69	0	-12.794	8.82341	-0.5003	8.32306	5.43359	2.80881	163.687
70	0	-5.4336	8.17183	-0.5069	7.66497	-1.2698	-2.9373	29.5239
71	0	1.26977	8.3241	-0.5053	7.81876	11.3788	-8.9236	1.61231

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... (ส่วนนี้ถูกบดบังโดยลายน้ำ)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
72	0	-11.379	6.95959	-0.519	6.44061	4.47969	3.45986	129.476
73	0	-4.4797	6.4224	-0.5244	5.89805	5.18716	-2.0003	20.0676
74	0	-5.1872	5.80038	-0.5306	5.2698	11.0952	-0.7565	26.9067
75	0	-11.095	4.46987	-0.5439	3.92599	3.55903	5.72779	123.104
76	0	-3.559	4.04308	-0.5481	3.49493	6.76926	-0.3983	12.6667
77	0	-6.7693	3.23134	-0.5563	2.67507	1.5293	3.21475	45.8229
78	0	-1.5293	3.04795	-0.5581	2.48985	-0.2585	-1.1592	2.33875
79	0	0.25848	3.07894	-0.5578	2.52115	4.36131	-2.7461	0.06681
80	16	11.6387	4.47462	-0.5438	3.93078	6.7396	1.94259	135.459
81	8	1.2604	4.62576	-0.5423	4.08344	1.14614	2.8199	1.58862
82	46	44.8539	10.0045	-0.4885	9.51596	0.59239	-2.5425	2011.87
83	0	-0.5924	9.93345	-0.4892	9.44421	12.9041	-8.9288	0.35093
84	0	-12.904	8.38604	-0.5047	7.88132	5.88098	3.34629	166.515
85	4	-1.881	8.16048	-0.507	7.6535	6.89697	-2.0169	3.53807
86	1	-5.897	7.45333	-0.514	6.93929	12.6671	-0.8084	34.7742
87	0	-12.667	5.93434	-0.5292	5.4051	5.00682	5.6163	160.455
88	0	-5.0068	5.33394	-0.5352	4.7987	8.01345	-0.4423	25.0683
89	0	-8.0134	4.37299	-0.5449	3.82814	2.66891	3.14423	64.2153
90	26	23.3311	7.17078	-0.5169	6.65391	3.90785	-0.9539	544.34
91	0	-3.9079	6.70216	-0.5216	6.1806	8.12319	-2.7804	15.2713
92	0	-8.1232	5.72806	-0.5313	5.19676	8.01666	1.8711	65.9863
93	20	11.9833	7.16506	-0.5169	6.64813	4.10559	2.92537	143.6
94	0	-4.1056	6.67273	-0.5219	6.15088	-2.7779	-2.5787	16.8558
95	20	22.7779	9.40418	-0.4945	8.90964	12.2559	-8.7283	518.833
96	0	-12.256	7.93449	-0.5092	7.42525	5.40836	3.23843	150.208
97	1	-4.4084	7.40585	-0.5145	6.89133	6.0829	-2.0557	19.4336
98	0	-6.0829	6.67641	-0.5218	6.1546	11.7709	-0.862	37.0017
99	0	-11.771	5.26488	-0.5359	4.72895	4.28661	5.51271	138.554
100	0	-4.2866	4.75085	-0.5411	4.20978	7.354	-0.4801	18.375
101	2	-5.354	4.10881	-0.5475	3.56132	2.60742	3.09711	28.6653
102	0	-2.6074	3.79614	-0.5506	3.24552	0.46507	-0.9768	6.79865
103	0	-0.4651	3.74037	-0.5512	3.18919	5.06029	-2.7845	0.21629
104	0	-5.0603	3.13356	-0.5572	2.57631	5.50168	1.82656	25.6066
105	0	-5.5017	2.47381	-0.5638	1.90997	-0.6687	2.87695	30.2685

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
106	0	0.66871	2.554	-0.563	1.99096	-6.7373	-2.5728	0.44717
107	1	7.73735	3.48184	-0.5538	2.92808	6.16651	-8.6602	59.8666
108	0	-6.1665	2.74237	-0.5612	2.18121	0.12552	3.18416	38.0258
109	13	12.8745	4.28624	-0.5457	3.74052	2.87855	-1.9424	165.752
110	0	-2.8786	3.94105	-0.5492	3.39188	8.90459	-0.8873	8.28606
111	38	29.0954	7.43008	-0.5143	6.9158	6.43573	5.76877	846.543
112	4	-2.4357	7.13799	-0.5172	6.62079	9.7179	-0.5015	5.93277
113	0	-9.7179	5.97265	-0.5289	5.4438	4.46695	3.01158	94.4376
114	9	4.53305	6.51624	-0.5234	5.99283	3.20829	-0.937	20.5485
115	32	28.7917	9.96885	-0.4889	9.47996	11.3065	-2.5311	828.963
116	1	-10.307	8.73293	-0.5013	8.23168	11.1086	1.73586	106.224
117	14	2.89137	9.07965	-0.4978	8.58187	6.00908	2.9024	8.36005
118	41	34.9909	13.2757	-0.4558	12.8198	4.15961	-2.2648	1224.36
119	8	3.84039	13.7362	-0.4512	13.285	16.4691	-8.6264	14.7486
120	8	-8.4691	12.7206	-0.4614	12.2592	10.3168	3.10962	71.726
							RMSE	16.8500

จากตารางที่ 4.9 ได้ค่า RMSE เท่ากับ 16.8110 และสามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (12.7206 - 0.4614p) + \hat{S}_t(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (4-5)$$

(origin เดือนธันวาคม ปี 2550, p มีหน่วยเป็นรายเดือน)

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\begin{array}{llll} \hat{S}_1 = -1.9424 & \hat{S}_2 = -0.8873 & \hat{S}_3 = 5.7688 & \hat{S}_4 = -0.5015 \\ \hat{S}_5 = 3.0116 & \hat{S}_6 = -0.9370 & \hat{S}_7 = -2.5311 & \hat{S}_8 = 1.7359 \\ \hat{S}_9 = 2.9024 & \hat{S}_{10} = -2.2648 & \hat{S}_{11} = -8.6264 & \hat{S}_{12} = 3.1096 \end{array}$$

เนื่องจากผลรวมของค่าประมาณดัชนีฤดูกาลไม่เท่ากับ 0 จึงแปลงค่าประมาณดัชนีฤดูกาลใหม่ให้ผลรวมเท่ากับ 0 จะได้สมการพยากรณ์และค่าประมาณดัชนีฤดูกาลใหม่ ดังนี้

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (12.6241 - 0.4614p) + \hat{S}_t^*(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (4-6)$$

(origin เดือนธันวาคม ปี 2550, p มีหน่วยเป็นรายเดือน)

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\begin{array}{llll} \hat{S}_1^* = -1.8455 & \hat{S}_2^* = -0.7904 & \hat{S}_3^* = 5.8656 & \hat{S}_4^* = -0.4046 \\ \hat{S}_5^* = 3.1084 & \hat{S}_6^* = -0.8401 & \hat{S}_7^* = -2.4343 & \hat{S}_8^* = 1.8327 \\ \hat{S}_9^* = 2.9993 & \hat{S}_{10}^* = -2.1680 & \hat{S}_{11}^* = -8.5296 & \hat{S}_{12}^* = 3.2065 \end{array}$$

4.2.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบคูณ

จากการคำนวณ Solver ในโปรแกรม Excel พบว่าค่า $\alpha = 0.0775$, $\gamma = 0.1480$ และ $\delta = 0.4060$ ทำให้ได้ค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 20.4163

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ค่า $\hat{T}_i(t)$, $\hat{\beta}_i(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ของข้อมูลปริมาณยอดการเข้าชมเตอร์ 1042773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบคูณ เมื่อกำหนด $\alpha = 0.0775$, $\gamma = 0.1480$ และ $\delta = 0.4060$

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_i(t)$	$\hat{\beta}_i(t)$	$\hat{T}_{i+1}(t)$	$\hat{Y}_{i+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t^2
1	0							
2	0							
3	60							
4	41							
5	0							
6	0							
7	13							
8	33							
9	0							
10	105							
11	34							
12	38							
13	80						0.9560	
14	20						0.2694	
15	95						2.6461	
16	86						0.7565	
17	113						2.0743	
18	64						0.8806	
19	41						0.2510	
20	0						1.0569	
21	0						0.0949	
22	1						0.4863	
23	16						0.7237	
24	25		49.5920	-0.3920	49.2000	47.0327	1.8044	
25	11	-36.0327	48.0453	-0.6209	47.4244	12.7776	0.6751	1298.358
26	29	16.2224	49.9066	-0.3454	49.5611	131.141	0.3912	263.1673
27	34	-97.1412	30.6729	-3.1920	27.4808	20.7879	1.4599	9436.419

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
28	21	0.2121	30.6841	-3.1904	27.4938	57.0298	0.7590	0.0450
29	82	24.9702	33.2320	-2.8133	30.4188	26.7871	2.3557	623.5123
30	1	-25.7871	32.3842	-2.9387	29.4455	7.3905	0.5824	664.9737
31	3	-4.3905	31.8003	-3.0252	28.7752	30.4125	0.1993	19.2767
32	12	-18.4125	24.6442	-4.0842	20.5600	1.9513	0.7771	339.0186
33	55	53.0487	29.9316	-3.3017	26.6299	12.9509	0.7587	2814.159
34	15	2.0491	30.1408	-3.2708	26.8700	19.4458	0.5118	4.1988
35	5	-14.4458	27.9546	-3.5943	24.3603	43.9558	0.5302	208.6815
36	32	-11.9558	26.2080	-3.8528	22.3552	15.0912	1.6335	142.9400
37	10	-5.0912	25.9666	-3.8885	22.0781	8.6363	0.6016	25.9200
38	0	-8.6363	24.8548	-4.0531	20.8017	30.3687	0.2610	74.5865
39	33	2.6313	25.6355	-3.9375	21.6980	16.4696	1.4984	6.9236
40	68	51.5304	28.2992	-3.5433	24.7559	58.3173	1.4410	2655.379
41	25	-33.3173	26.5085	-3.8083	22.7001	13.2200	1.8850	1110.043
42	11	-2.2200	26.4172	-3.8218	22.5954	4.5028	0.5509	4.9286
43	10	5.4972	27.1901	-3.7075	23.4826	18.2478	0.2750	30.2189
44	48	29.7522	35.5695	-2.4673	33.1022	25.1146	1.0904	885.1916
45	56	30.8854	37.7634	-2.1426	35.6207	18.2304	1.0650	953.9098
46	1	-17.2304	36.5103	-2.3281	34.1822	18.1220	0.3350	296.8871
47	11	-7.1220	34.8639	-2.5717	32.2922	52.7507	0.4536	50.7230
48	48	-4.7507	34.0528	-2.6918	31.3610	18.8678	1.5813	22.5692
49	0	-18.8678	33.1287	-2.8286	30.3001	7.9094	0.3883	355.9929
50	30	22.0906	37.5346	-2.1765	35.3582	52.9791	0.4815	487.9952
51	2	-50.9791	29.3338	-3.3902	25.9436	37.3853	0.8475	2598.871
52	27	-10.3853	28.3846	-3.5307	24.8540	46.8489	1.3040	107.8544
53	34	-12.8489	27.6215	-3.6436	23.9778	13.2095	1.7107	165.0951
54	26	12.7905	28.2005	-3.5579	24.6426	6.7767	0.7208	163.5975
55	56	49.2233	33.4899	-2.7751	30.7148	33.4899	0.8255	2422.928
56	41	7.5101	34.1945	-2.6708	31.5237	33.5732	1.1726	56.4010
57	1	-32.5732	32.0430	-2.9892	29.0538	9.7342	0.6843	1061.010
58	9	-0.7342	31.9599	-3.0015	28.9584	13.1370	0.3264	0.5390
59	3	-10.1370	29.5548	-3.3575	26.1973	41.4257	0.3252	102.7582
60	51	9.5743	31.8351	-3.0200	28.8151	11.1897	1.6939	91.6680
61	3	-8.1897	31.4607	-3.0754	28.3853	13.6664	0.2908	67.0704

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
62	7	-6.6664	29.6854	-3.3382	26.3472	22.3283	0.3974	44.4403
63	10	-12.3283	27.2824	-3.6938	23.5886	30.7593	0.6782	151.9860
64	0	-30.7593	23.7697	-4.2137	19.5561	33.4554	0.8193	946.1342
65	0	-33.4554	20.6072	-4.6817	15.9255	11.4787	1.1027	1119.265
66	0	-11.4787	19.8010	-4.8010	14.9999	12.3822	0.5037	131.7595
67	0	-12.3822	17.8969	-5.0829	12.8140	15.0259	0.5664	153.3180
68	0	-15.0259	15.8420	-5.3870	10.4551	7.1543	0.8174	225.7762
69	0	-7.1543	15.1641	-5.4873	9.6768	3.1589	0.5076	51.1839
70	0	-3.1589	14.6821	-5.5586	9.1235	2.9669	0.2459	9.9785
71	0	-2.9669	13.7475	-5.6970	8.0505	13.6371	0.2444	8.8024
72	0	-13.6371	9.4252	-6.3367	3.0885	0.8982	1.1520	185.9694
73	0	-0.8982	9.3648	-6.3456	3.0192	1.1997	0.2549	0.8068
74	0	-1.1997	9.0003	-6.3995	2.6008	1.7639	0.3474	1.4393
75	0	-1.7639	8.6071	-6.4577	2.1493	1.7610	0.6015	3.1113
76	0	-1.7610	8.3803	-6.4913	1.8890	2.0830	0.7406	3.1012
77	0	-2.0830	8.1625	-6.5235	1.6389	0.8255	1.0071	4.3390
78	0	-0.8255	8.0990	-6.5329	1.5661	0.8870	0.4655	0.6814
79	0	-0.8870	7.9514	-6.5548	1.3966	1.1416	0.5246	0.7867
80	16	14.8584	10.1452	-6.2301	3.9151	1.9872	1.3659	220.7725
81	8	6.0128	10.4861	-6.1796	4.3065	1.0588	0.7223	36.1532
82	46	44.9412	15.3048	-5.4665	9.8383	2.4041	1.3456	2019.714
83	0	-2.4041	15.1664	-5.4870	9.6795	11.1511	0.1850	5.7798
84	0	-11.1511	10.4978	-6.1779	4.3199	1.1012	0.7542	124.3469
85	4	2.8988	10.7955	-6.1339	4.6616	1.6196	0.3555	8.4032
86	1	-0.6196	10.6605	-6.1538	4.5067	2.7106	0.3257	0.3839
87	0	-2.7106	10.0158	-6.2492	3.7666	2.7896	0.5001	7.3474
88	0	-2.7896	9.5838	-6.3132	3.2706	3.2939	0.6316	7.7821
89	0	-3.2939	9.1799	-6.3730	2.8069	1.3066	0.8727	10.8500
90	26	24.6934	11.3713	-6.0486	5.3227	2.7922	1.2788	609.7648
91	0	-2.7922	11.2022	-6.0737	5.1285	7.0051	0.4312	7.7963
92	0	-7.0051	9.9440	-6.2599	3.6842	2.6612	1.1021	49.0714
93	20	17.3388	11.1626	-6.0795	5.0831	6.8399	1.3041	300.6323
94	0	-6.8399	10.7564	-6.1396	4.6167	0.8541	1.1075	46.7843
95	20	19.1459	12.0953	-5.9415	6.1539	4.6412	0.7778	366.5669

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
96	0	-4.6412	11.6332	-6.0099	5.6233	1.9990	0.6048	21.5411
97	1	-0.9990	11.5053	-6.0288	5.4765	1.7835	0.3230	0.9979
98	0	-1.7835	11.0776	-6.0921	4.9854	2.4933	0.2654	3.1808
99	0	-2.4933	10.3498	-6.1998	4.1500	2.6212	0.4099	6.2163
100	0	-2.6212	9.8545	-6.2731	3.5814	3.1257	0.5320	6.8708
101	2	-1.1257	9.6907	-6.2974	3.3933	4.3393	0.8292	1.2671
102	0	-4.3393	9.2854	-6.3573	2.9280	1.2626	1.1038	18.8298
103	0	-1.2626	9.1968	-6.3705	2.8263	3.1148	0.3798	1.5943
104	0	-3.1148	8.5616	-6.4645	2.0971	2.7349	0.9658	9.7019
105	0	-2.7349	8.3423	-6.4969	1.8454	2.0437	1.1813	7.4795
106	0	-2.0437	8.2083	-6.5168	1.6915	1.3157	1.0142	4.1766
107	1	-0.3157	8.1842	-6.5203	1.6639	1.0063	0.7634	0.0997
108	0	-1.0063	8.0821	-6.5354	1.5467	0.4995	0.5581	1.0126
109	13	12.5005	9.8167	-6.2787	3.5380	0.9389	0.7999	156.2624
110	0	-0.9389	9.7258	-6.2922	3.4336	1.4074	0.2292	0.8815
111	38	36.5926	22.0907	-4.4622	17.6285	9.3782	1.0303	1339.018
112	4	-5.3782	21.6864	-4.5220	17.1644	14.2333	0.4391	28.9250
113	0	-14.2333	19.1759	-4.8936	14.2823	15.7643	0.5512	202.5857
114	9	-6.7643	18.2255	-5.0342	13.1912	5.0102	0.9648	45.7562
115	32	26.9898	20.3922	-4.7135	15.6787	15.1426	0.8755	728.4515
116	1	-14.1426	19.1411	-4.8987	14.2424	16.8248	0.6891	200.0139
117	14	-2.8248	18.8236	-4.9457	13.8779	14.0752	1.1251	7.9792
118	41	26.9248	20.6771	-4.6714	16.0057	12.2186	1.5019	724.9432
119	8	-4.2186	20.4595	-4.7036	15.7559	8.7941	0.6862	17.7969
120	8	-0.7941	20.3699	-4.7168	15.6530	12.5205	0.5435	0.6306
							RMSE	20.4163

จากตารางที่ 4.10 ได้ค่า RMSE เท่ากับ 20.4163 และสามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (20.3699 - 4.7168p) \times \hat{S}_t(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (4-7)$$

(origin เดือนธันวาคม ปี 2550, p มีหน่วยเป็นรายเดือน)

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\begin{aligned} \hat{S}_1 &= 0.7999 & \hat{S}_2 &= 0.2292 & \hat{S}_3 &= 1.0303 & \hat{S}_4 &= 0.4391 \\ \hat{S}_5 &= 0.5512 & \hat{S}_6 &= 0.9648 & \hat{S}_7 &= 0.8755 & \hat{S}_8 &= 0.6891 \\ \hat{S}_9 &= 1.1251 & \hat{S}_{10} &= 1.5019 & \hat{S}_{11} &= 0.6862 & \hat{S}_{12} &= 0.5435 \end{aligned}$$

เนื่องจากผลรวมของค่าประมาณดัชนีฤดูกาลไม่เท่ากับ 12 จึงแปลงค่าประมาณดัชนีฤดูกาลใหม่ให้ผลรวมเท่ากับ 12 จะได้สมการพยากรณ์และค่าประมาณดัชนีฤดูกาลใหม่ ดังนี้

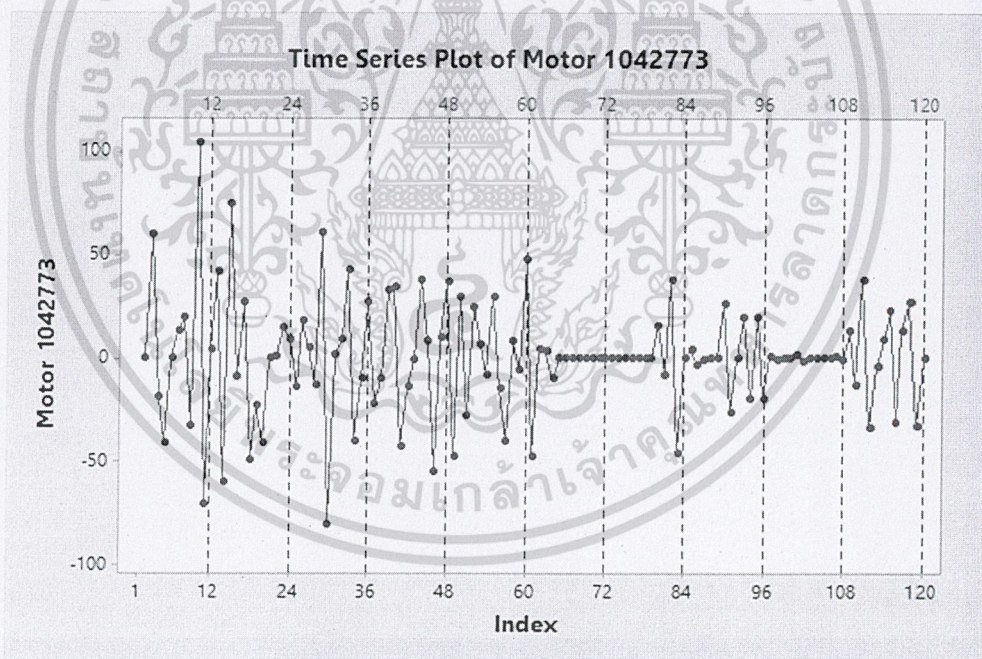
$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (16.0172 - 3.7089p) \times \hat{S}_i^*(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (4-8)$$

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\begin{aligned} \hat{S}_1^* &= 1.0172 & \hat{S}_2^* &= 0.2915 & \hat{S}_3^* &= 1.3103 & \hat{S}_4^* &= 0.5584 \\ \hat{S}_5^* &= 0.7010 & \hat{S}_6^* &= 1.2269 & \hat{S}_7^* &= 1.1134 & \hat{S}_8^* &= 0.8763 \\ \hat{S}_9^* &= 1.4309 & \hat{S}_{10}^* &= 1.9101 & \hat{S}_{11}^* &= 0.8726 & \hat{S}_{12}^* &= 0.6913 \end{aligned}$$

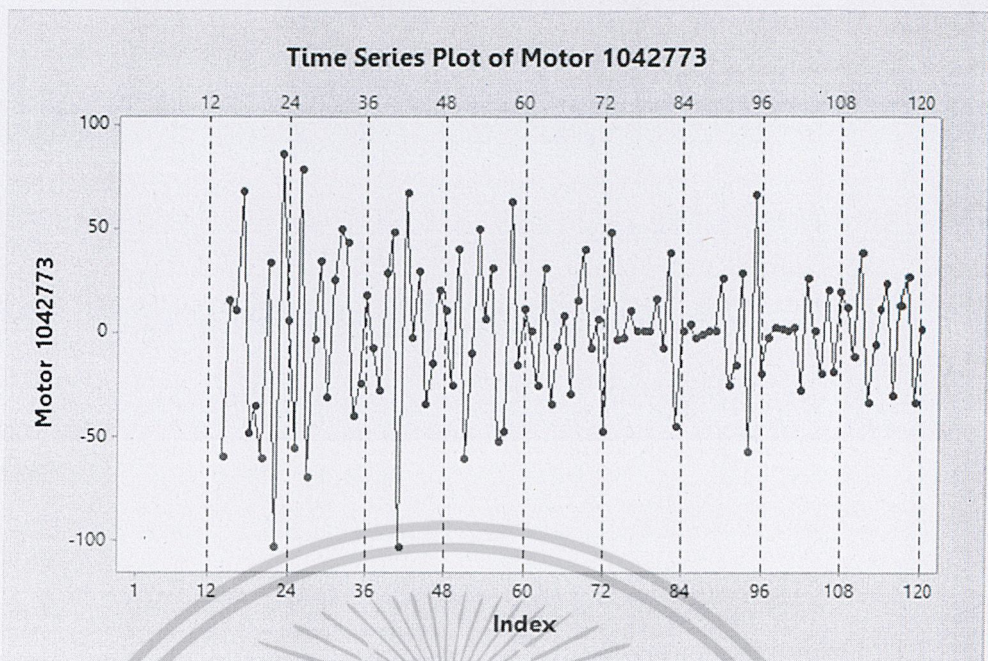
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์

จากรูปที่ 4.7 พบว่าปริมาณยอดขายการใช้มอเตอร์ 1042773 เป็นอนุกรมเวลาที่ไม่เสถียร เนื่องจากข้อมูลมีแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นจึงแปลงให้เป็นอนุกรมเวลาที่เสถียรขึ้นก่อน โดยการหาผลต่าง 1 ครั้ง และหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง แสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



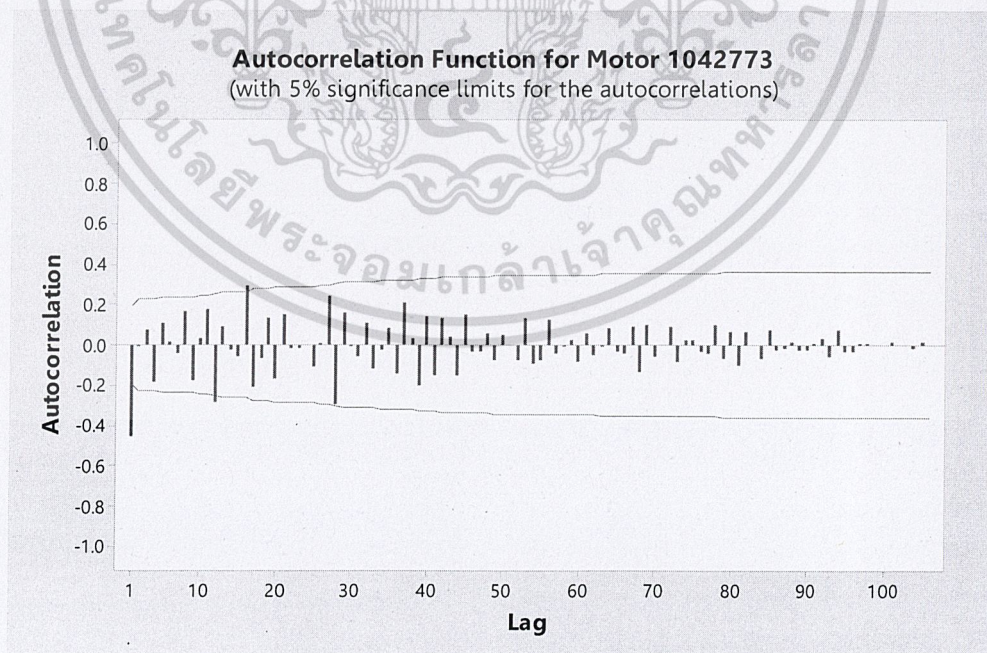
รูปที่ 4.8 อนุกรมเวลาปริมาณยอดขายการใช้มอเตอร์ 1042773 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



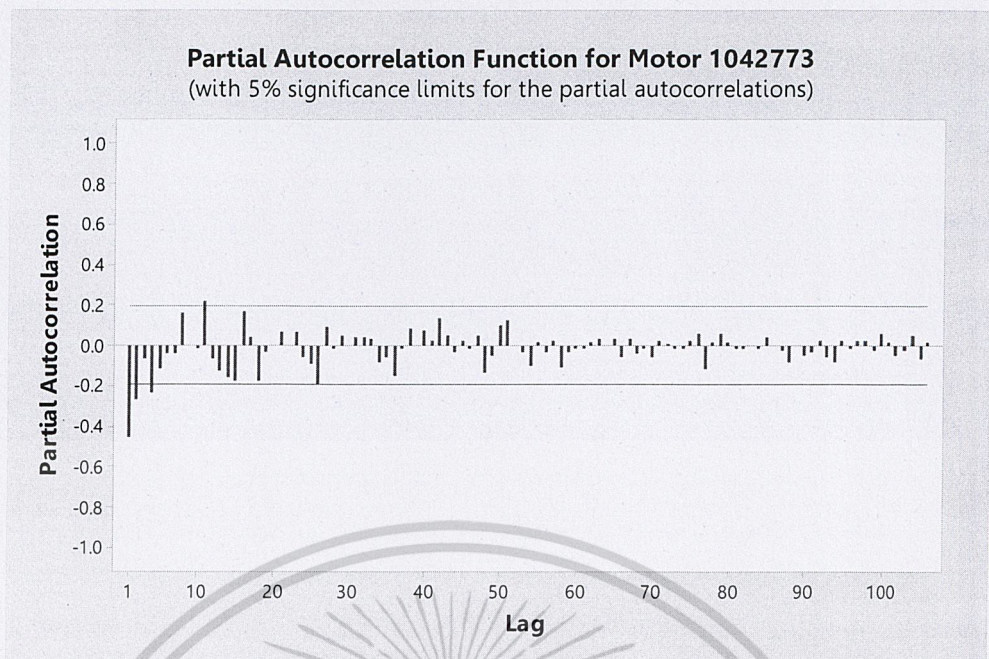
รูปที่ 4.9 อุนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้งและการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง

จากรูปที่ 4.9 พบว่าอุนุกรมเวลาชุดใหม่ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้งและผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง เป็นอุนุกรมเวลาที่สเตรชันนารีแล้วนำอุนุกรมเวลาที่สเตรชันนารีไปพล็อตคอเรลโรแกรมของ Autocorrelation (ACF) และ Partial- Autocorrelation (PACF) เพื่อหาตัวแบบ ดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 คอเรลโรแกรม ACF ของอุนุกรมเวลาปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง และการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงพาณิชย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 คอเรลโลแกรม PACF ของอนุกรมเวลาปริมาณยอดขายการใช้มอเตอร์ 1042773 ที่ได้จากการหาผลต่าง 1 ครั้ง และการหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง

เมื่อหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลแล้ว พบว่าเป็นอนุกรมเวลาที่เสถียรแล้ว และมีตัวแบบที่เป็นไปได้แสดงดังตารางที่ 4.11 โดยได้ตัวแบบที่เหมาะสม คือ $ARIMA(0,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$

ตารางที่ 4.11 ตัวแบบที่เป็นไปได้สำหรับพยากรณ์ปริมาณยอดขายการใช้มอเตอร์ 1042773 ด้วยวิธี บ็อกซ์และเจนกินส์

ตัวแบบพยากรณ์	พจน์ค่าคงที่	df	p	RMSE	AIC
$ARIMA(0,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$	ไม่มี	104	16	21.1837	309.8084
$ARIMA(0,1,1) \times SARIMA(1,1,0)_{12}$	ไม่มี	104	16	26.1615	328.8738

4.2.2.1 ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ

ตารางที่ 4.12 การทดสอบพารามิเตอร์ของตัวแบบ $ARIMA(0,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$

Statistic	Coef	SE Coef	T	P-Value
θ_1	0.7435	0.0610	12.18	0.0000
θ_{12}	0.9161	0.0620	14.79	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐานการทดสอบ

$$1. H_0 : \theta_1 = 0$$

$$H_1 : \theta_1 \neq 0$$

จากตารางที่ 4.12 จะได้ค่า P-Value = 0.0000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าค่าพารามิเตอร์ θ_1 ในตัวแบบมีค่าไม่เท่ากับ 0 นั่นคือพารามิเตอร์ θ_1 ควรมีในตัวแบบ

$$2. H_0 : \theta_{12} = 0$$

$$H_1 : \theta_{12} \neq 0$$

จากตารางที่ 4.12 จะได้ค่า P-Value = 0.0000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าค่าพารามิเตอร์ θ_{12} ในตัวแบบมีค่าไม่เท่ากับ 0 นั่นคือพารามิเตอร์ θ_{12} ควรมีในตัวแบบ

ตารางที่ 4.13 การทดสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ
 $ARIMA(0,1,1) \times SARIMA(0,1,1)_{12}$

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square Statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	12.67	19.68	26.58	41.02
DF	10	22	34	46
P-Value	0.243	0.603	0.814	0.680

การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบโดยตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนโดยสถิติทดสอบ

สมมติฐานการทดสอบ

$$1. H_0 : \rho_1(e_t) = \rho_2(e_t) = \dots = \rho_{12}(e_t) = 0$$

$$H_1 : \rho_k(e_t) \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ } k = 1, 2, \dots, 12$$

จากตารางที่ 4.13 พบว่า Lag ที่ 12 ให้ค่า P-Value = 0.243 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$2. H_0 : \rho_1(e_t) = \rho_2(e_t) = \dots = \rho_{24}(e_t) = 0$$

$$H_1 : \rho_k(e_t) \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ } k = 1, 2, \dots, 24$$

จากตารางที่ 4.13 พบว่า Lag ที่ 24 ให้ค่า P-Value = 0.603 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$3. H_0 : \rho_1(e_t) = \rho_2(e_t) = \dots = \rho_{36}(e_t) = 0$$

$$H_1 : \rho_k(e_t) \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ } k = 1, 2, \dots, 36$$

จากตารางที่ 4.13 พบว่า Lag ที่ 36 ให้ค่า P-Value = 0.814 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$4. H_0 : \rho_1(e_t) = \rho_2(e_t) = \dots = \rho_{48}(e_t) = 0$$

$$H_1 : \rho_k(e_t) \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ } k = 1, 2, \dots, 48$$

จากตารางที่ 4.13 พบว่า Lag ที่ 48 ให้ค่า P-Value = 0.680 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เพราะฉะนั้นตัวแบบ $ARIMA(1,1,1) \times SARIMA(1,1,1)_{12}$ เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ค่าล่วงหน้าและได้ค่า RMSE เท่ากับ 21.0151

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของมอเตอร์ 1042773 โดยกำหนด โหนดชั้นซ่อน คือ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85 และ 90 อัตราการเรียนรู้ คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 และโมเมนตัม คือ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ผลลัพธ์ของการพยากรณ์แต่ละตัวแบบจะสามารถดูได้ในภาคผนวก ข พิจารณาตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด พบว่าโครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์และค่าวัดความถูกต้องของตัวแบบที่เหมาะสมด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดขายมอเตอร์ 1042773

โครงข่ายประสาทเทียม	มอเตอร์ 1042773
โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์	3-35-1
อัตราการเรียนรู้	0.4
โมเมนตัม	0.9
จำนวนรอบการเรียนรู้	20000
RMSE	18.5949

4.2.4 ผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์

ตารางที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธีของปริมาณยอดขายมอเตอร์ 1042773

วิธี	RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1
1. วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ - รูปแบบบวก - รูปแบบคูณ	16.8500 20.4163
2. วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์	21.0151
3. วิธีโครงข่ายประสาทเทียม	18.5949

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.15 จากการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี สำหรับข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 สรุปได้ว่าวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ซึ่งได้ค่า RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1 เท่ากับ 16.8110 โดยมีตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณยอดใช้มอเตอร์รุ่น 1042773 คือ

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (12.6241 - 0.4614p) + \hat{S}_i^*(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (4-9)$$

(origin เดือนธันวาคม ปี 2550, p มีหน่วยเป็นรายเดือน)

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\begin{aligned} \hat{S}_1^* &= -1.8455 & \hat{S}_2^* &= -0.7904 & \hat{S}_3^* &= 5.8656 \\ \hat{S}_4^* &= -0.4046 \\ \hat{S}_5^* &= 3.1084 & \hat{S}_6^* &= -0.8401 & \hat{S}_7^* &= -2.4343 & \hat{S}_8^* &= 1.8327 \\ \hat{S}_9^* &= 2.9993 & \hat{S}_{10}^* &= -2.1680 & \hat{S}_{11}^* &= -8.5296 & \hat{S}_{12}^* &= 3.2065 \end{aligned}$$

และได้ทำการพยากรณ์ค่าพยากรณ์ 12 ช่วงเวลาล่วงหน้าแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าจริง 12 ค่าในข้อมูลชุดที่ 2

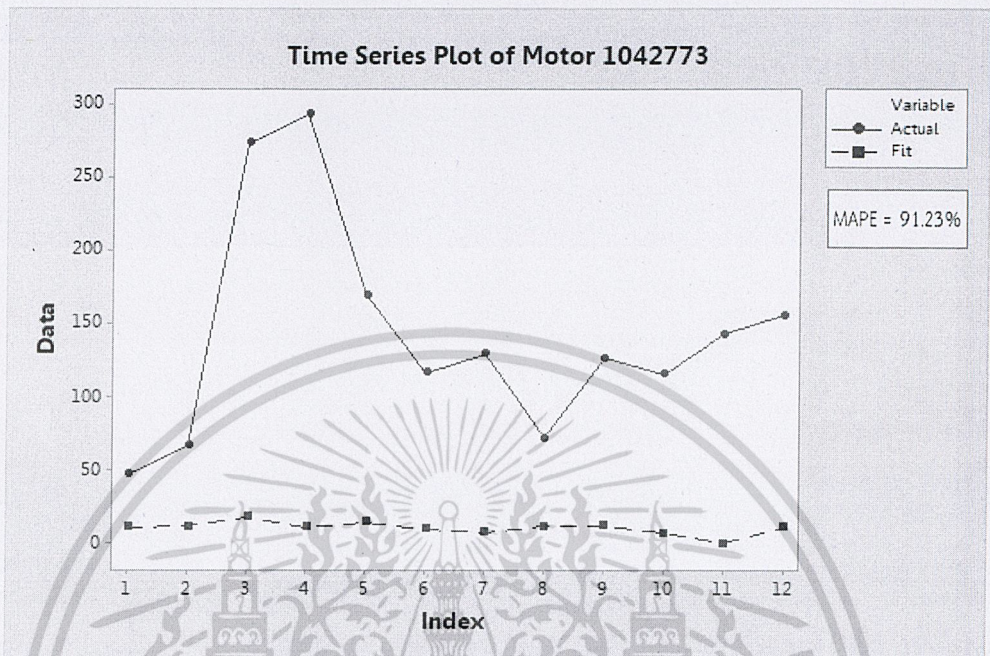
ตารางที่ 4.16 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ด้วยปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบบวกสำหรับมอเตอร์ 1042773

เดือน	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบบวก ($\alpha = 0.1199, \gamma = 0.01, \delta = 0.01$)			
	Y_t	\hat{Y}_t	e_t	$\left \frac{e_t}{Y_t} \right $
ม.ค. 2561	46	10.3172	35.6828	0.7757
ก.พ. 2561	66	10.9109	55.0891	0.8347
มี.ค. 2561	273	17.1055	255.8945	0.9373
เม.ษ. 2561	293	10.3739	282.6261	0.9646
พ.ค. 2561	169	13.4255	155.5745	0.9206
มิ.ย. 2561	116	9.0156	106.9844	0.9223
ก.ค. 2561	129	6.9600	122.0400	0.9460
ส.ค. 2561	71	10.7656	60.2344	0.8484
ก.ย. 2561	126	11.4708	114.5292	0.9090
ต.ค. 2561	115	5.8421	109.1579	0.9492
พ.ย. 2561	142	-0.9809	142.9809	1.0069
ธ.ค. 2561	155	10.2938	144.7062	0.9336

$$MAPE = \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \times \frac{100}{n} = 91.23\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ $t=1$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการทำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.16 ได้ค่า MAPE = 91.23% นั่นคือค่าจริงและค่าพยากรณ์แตกต่างกัน 89.07% และแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 และค่าพยากรณ์ โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กโพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้เสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ที่รวบรวมจากบริษัทผลิตเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่ง โดยมีมอเตอร์ทั้งหมด 2 รุ่น ได้แก่ Motor 1042420 และ Motor 1042773 ใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 รวมทั้งสิ้น 132 เดือน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ใช้ในการหาตัวแบบการพยากรณ์ จะใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2560 รวมทั้งสิ้น 120 เดือน โดยใช้เกณฑ์ RMSE ในการเปรียบเทียบการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์ และวินเทอร์ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมและวิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์ ส่วนที่ 2 ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ จะใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 รวมทั้งสิ้น 12 เดือน และพิจารณาค่า MAPE จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 รุ่น Motor 1042420

การพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ รุ่น Motor 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ได้ตัวแบบที่เหมาะสม คือ เส้นโครงข่ายประสาทเทียม 3-60-1 อัตราการเรียนรู้ 0.2 โมเมนตัม 0.5 จำนวนรอบการเรียนรู้ 20000 รอบ มีค่า RMSE เท่ากับ 33.2337 และค่า MAPE เท่ากับ 90.36 %

5.1.2 รุ่น Motor 1042773

การพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ รุ่น Motor 1042773 ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์มีค่า RMSE เท่ากับ 16.8500 ได้ตัวแบบที่เหมาะสม คือ $\hat{Y}_{120+p}(120) = (12.6241 - 0.4614p) + \hat{S}_i^*(120)$ และค่า MAPE เท่ากับ 91.23 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ อาจมีตัวแปรอิสระอื่น ๆ อีกหลายตัวแปรที่ผู้วิจัยไม่ได้นำมาใช้ ดังนั้นจึงควรมีการนำตัวแปรอิสระอื่น ๆ มาศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ตัวแบบในการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. ข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ควรจะมีการคัดกรองและตรวจสอบความถูกต้องขั้นต้นก่อน เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. ทางบริษัทสามารถใช้ตัวแบบพยากรณ์ในการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ล่วงหน้าได้ และสามารถปรับปรุงตัวแบบพยากรณ์ได้เมื่อมีข้อมูลเพิ่มเข้ามา เพื่อความแม่นยำในการพยากรณ์ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จินตพร หนั้วอินปิ่น. (2555). การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 4 วิธีสำหรับความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคกลางของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชม ปานตา. (2560). การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ. นครสวรรค์: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

ดาว สวงรังศิริกุล. (2558). การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

บุญฤทธิ์ ชูประดิษฐ์. (2561). ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกมะม่วงของประเทศไทย. พิษณุโลก: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

บุญยานุช ใหม่ง่า. (2560). โปรแกรมช่วยวิเคราะห์อัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด. เลย: สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.

ผุสดี บุญรอด. (2560). แบบจำลองการพยากรณ์ราคามันสำปะหลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น. กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พรรณีภา คุ่มสิน. (2561). การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศโดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์, วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พันธ์ทิพา คณฉลาด. (2555). การพยากรณ์การใช้พลังงานรวมทั้งหมดของประเทศไทยโดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และโครงข่ายประสาทเทียม. มหาสารคาม: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

วราภรณ์ ม้วนทอง. (2558). แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ Clarifier กรณีศึกษา : โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน. นครนายก: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ศศิธร โกฎสืบ. (2559). การสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์ราคาข้าวหอมมะลิ 105 โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลซ้ำสองครั้ง และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ และเปรียบเทียบตัวแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการพยากรณ์โดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) น้อยที่สุด . พิษณุโลก:
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

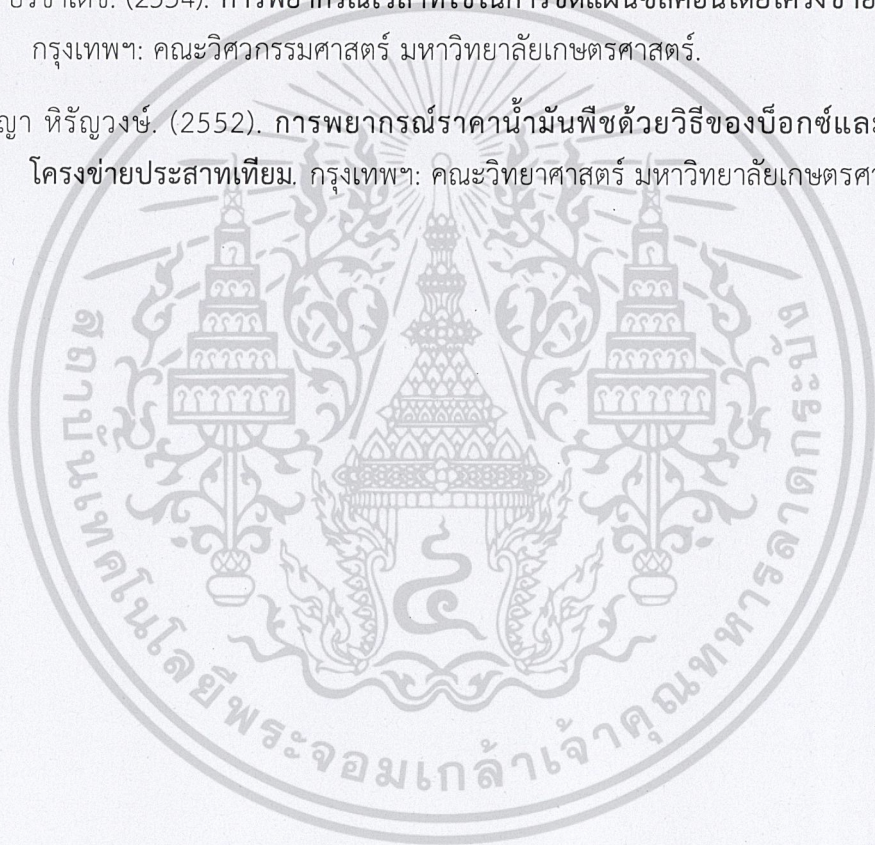
สมศรี บัณฑิตวิไล. (2561). เอกสารประกอบการเรียนวิชาอนุกรมเวลาและเลขดัชนี. กรุงเทพฯ:
คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สายชล สีนสมบูรณ์ทอง. (2558). การทำเหมืองข้อมูล Data Mining . กรุงเทพฯ: จามจุรี โปรดัก
(จำกัด).

สายชล สีนสมบูรณ์ทอง. (2560). การทำเหมืองข้อมูล Data Mining ตีพิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:
จามจุรี โปรดัก (จำกัด).

สุธิดา ปรีชาเดช. (2554). การพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการจัดแผนซึลิกอนโดยโครงข่ายประสาทเทียม.
กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิญา หิรัญวงษ์. (2552). การพยากรณ์ราคาน้ำมันพืชด้วยวิธีของบ็อกซ์และเจนกินส์และ
โครงข่ายประสาทเทียม. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ตั้งแต่ปี 2551 - 2561

เดือน	ปี พ.ศ.										
	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561
มกราคม	183	10	86	103	32	130	61	70	10	17	30
กุมภาพันธ์	176	100	211	65	90	93	120	16	29	59	39
มีนาคม	89	149	82	88	64	86	33	97	50	63	89
เมษายน	190	80	129	36	49	111	31	22	43	7	11
พฤษภาคม	81	129	129	88	31	70	63	45	69	34	43
มิถุนายน	140	200	234	129	186	60	72	58	90	132	24
กรกฎาคม	126	100	83	162	79	203	107	107	53	9	13
สิงหาคม	97	49	168	121	146	46	55	74	34	27	39
กันยายน	162	92	129	44	94	17	68	68	32	25	18
ตุลาคม	81	45	84	97	64	43	55	36	23	70	26
พฤศจิกายน	139	61	186	105	23	72	33	52	32	16	7
ธันวาคม	70	105	27	168	87	19	59	46	59	21	140

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ตั้งแต่ปี 2551 - 2561

เดือน	ปี พ.ศ.										
	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561
มกราคม	0	80	11	10	0	3	0	4	1	13	46
กุมภาพันธ์	0	20	29	0	30	7	0	1	0	0	66
มีนาคม	60	95	34	33	2	10	0	0	0	38	273
เมษายน	41	86	21	68	27	0	0	0	0	4	293
พฤษภาคม	0	113	82	25	34	0	0	0	2	0	169
มิถุนายน	0	64	1	11	26	0	0	26	0	9	116
กรกฎาคม	13	41	3	10	56	0	0	0	0	32	129
สิงหาคม	33	0	12	48	41	0	16	0	0	1	71
กันยายน	0	0	55	56	1	0	8	20	0	14	126
ตุลาคม	105	1	15	1	9	0	46	0	0	41	115
พฤศจิกายน	34	16	5	11	3	0	0	20	1	8	142
ธันวาคม	38	25	32	48	51	0	0	0	0	8	155

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข. ผลลัพธ์การพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 และ มอเตอร์ 1042773 ด้วย

วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ ข.1 ค่า RMSE ของการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาท

เทียม (โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ : 3-60-1)

อัตราการเรียนรู้	จำนวนชั้นซ่อน	โมเมนตัม				
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	5	48.8793	50.7470	58.4712	74.6117	82.5879
	10	44.5503	47.8800	53.3645	69.4027	83.4495
	15	40.9357	45.6392	46.1014	61.2234	80.9193
	20	43.2945	42.9794	55.8045	50.5849	89.7903
	25	50.0546	110.5053	48.3313	88.2489	101.5441
	30	43.2823	36.4631	56.7204	54.2028	93.3388
	35	46.5841	40.8864	42.6753	85.2812	89.2835
	40	51.3775	43.0095	42.2538	57.2643	92.2021
	45	42.3431	40.7808	46.4907	59.4530	87.1950
	50	45.0799	42.6036	45.7182	57.1190	87.1143
	55	45.9318	43.1265	51.1718	63.3463	83.6801
	60	51.7302	42.6287	44.4922	353.8784	83.6664
	65	48.5082	49.2690	45.7445	53.9968	83.6528
	70	44.0009	37.5275	41.7156	57.2442	106.5319
	75	44.6191	51.9400	44.7584	55.2173	83.6261
	80	45.7645	47.2418	58.2129	56.2668	83.6131
	85	46.1896	51.0949	33.7695	41.7906	83.6005
	90	42.7889	42.9718	54.0400	56.6903	83.5882

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

อัตราการเรียนรู้	จำนวนชั้นสอน	โมเมนต์				
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	5	47.6954	62.5103	64.2343	63.5405	48.9574
	10	48.8397	53.7921	56.1871	72.5676	65.0371
	15	49.3542	54.3508	39.8275	147.0259	69.7219
	20	49.2057	54.3127	62.4483	75.4662	97.8241
	25	58.4357	50.9775	67.3269	71.9018	143.7520
	30	48.6895	51.1052	65.9714	72.5613	75.8389
	35	76.0036	52.3318	57.8652	73.0721	129.1922
	40	40.3485	50.7225	62.7940	73.4830	77.6294
	45	36.9286	50.5713	56.7329	73.8229	78.2105
	50	50.2549	51.3676	53.8183	74.1103	78.8889
	55	59.8277	63.6732	66.7940	79.2319	79.3998
	60	33.3237	36.6298	68.2072	74.5730	79.8427
	65	134.7385	36.5453	38.2034	74.7633	105.3400
	70	362.7182	43.7405	44.7961	74.9331	158.8508
	75	52.0717	57.7658	68.3797	448.7173	258.0179
	80	59.7664	291.7098	129.3988	83.2639	41.4263
85	40.4829	197.0672	67.0734	72.5794	57.6259	
90	194.6255	46.6896	47.5902	66.6520	41.4258	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

อัตราการใช้ เรียนรู้	จำนวน ชั้นสอน	โมเมนต์				
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.3	5	57.6799	60.1955	62.5999	55.2207	101.3637
	10	42.0211	58.7295	61.5740	53.6035	58.4512
	15	56.8939	58.4995	60.8122	52.4633	57.3774
	20	43.6091	45.0522	60.1427	53.0623	56.8551
	25	56.5444	58.2601	58.8722	53.4709	91.0812
	30	56.4314	58.1813	58.7830	53.7715	57.9360
	35	56.3413	58.1201	56.0793	54.0072	57.4645
	40	56.2695	58.0653	56.2093	54.1969	56.7412
	45	56.2091	58.0283	56.3130	39.1093	56.6971
	50	56.1557	55.5587	56.3999	60.6914	103.4549
	55	54.7236	57.9608	58.8044	44.4814	102.4989
	60	63.1467	64.0420	67.5146	73.1421	77.7436
	65	37.7827	48.5979	639.0401	73.1432	77.7436
	70	59.1448	64.0780	67.5143	73.1462	77.7436
	75	41.3713	37.4262	44.7377	73.1462	77.7436
	80	41.6476	64.0416	67.5147	73.1462	77.7436
85	52.3279	52.9557	44.9556	73.5809	77.7439	
90	63.1350	64.0418	67.5146	73.1462	77.7436	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

อัตราการเรียนรู้	จำนวนชั้นสอน	โมเมนต์				
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.4	5	54.7709	56.6611	54.2094	54.7708	120.4850
	10	54.0117	55.1917	52.3704	56.7202	165.1130
	15	53.4743	54.5157	54.4075	53.3579	52.6758
	20	53.1244	54.1417	53.7585	52.4135	144.9598
	25	52.8767	53.9036	53.2682	51.8440	52.1512
	30	52.6881	53.7357	52.9428	51.5099	52.3907
	35	105.8193	96.2455	95.8354	49.3904	92.7583
	40	52.4212	53.5143	51.1026	78.5774	123.1220
	45	41.7756	51.4011	51.8396	86.6558	120.4842
	50	41.5017	51.7359	151.6786	86.6560	120.4842
	55	49.2642	51.8172	72.7841	86.6560	120.4842
	60	110.9718	38.1216	72.7846	86.6560	120.4842
	65	49.9739	51.0635	72.7838	86.6560	120.4842
	70	39.7584	68.3412	72.7842	86.6560	120.4842
	75	67.4691	68.3445	72.7919	86.7088	120.4842
	80	68.3513	68.3442	72.7842	86.6560	120.4842
	85	68.3513	68.3442	72.7842	86.6560	120.4842
90	68.3513	68.3442	72.7842	86.6560	120.4842	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

อัตราการเรียนรู้	จำนวนชั้นชอน	โมเมนต์				
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.5	5	52.9983	55.3696	57.6379	63.3386	97.4253
	10	52.1044	54.4063	56.1333	58.1881	101.5371
	15	51.2629	53.5896	54.4060	167.3193	101.5394
	20	50.7408	53.0423	53.2809	53.7861	71.5281
	25	43.0305	49.8312	52.6193	53.9431	81.0039
	30	87.5707	105.1526	125.7999	73.1024	447.6947
	35	44.9375	50.9457	73.9292	81.5311	100.1817
	40	57.6099	66.5929	62.6348	66.6794	101.5387
	45	150.8969	37.1344	62.6348	66.6795	101.5387
	50	72.0090	66.5932	62.6348	66.6795	101.5387
	55	72.0097	66.5932	62.6174	66.6732	100.9200
	60	72.0097	66.5932	62.6348	66.6795	101.5387
	65	72.0097	66.5932	62.6348	66.6795	101.5387
	70	72.0097	66.5929	62.6242	66.6795	101.5387
	75	40.5527	66.5943	62.6348	66.6795	101.5387
	80	72.0097	66.5932	62.6348	66.6795	101.5387
	85	72.0097	66.5932	62.6348	66.6795	101.5387
90	72.0097	66.5932	62.6348	66.6795	101.5387	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ค่า RMSE ของการพยากรณ์ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ 1042773 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ : 3-35-1)

อัตราการเรียนรู้	จำนวนชั้นซ่อน	โมเมนต์ัม				
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	5	149.3159	150.3655	149.0744	146.6947	138.4174
	10	156.3450	158.4256	149.5699	147.3375	139.5258
	15	145.9483	151.0248	149.8281	147.6580	140.0955
	20	133.2338	152.2866	153.4170	147.8619	140.4249
	25	143.7548	141.3219	120.5240	147.9761	140.6575
	30	132.8638	136.4539	200.1330	169.6960	140.8347
	35	146.6528	105.2384	131.9089	140.0419	129.8993
	40	129.1908	142.8735	148.6678	128.4383	141.3051
	45	147.9290	139.2335	153.5322	145.4846	141.1958
	50	143.2558	150.4347	154.0505	178.2963	141.2452
	55	143.6380	144.5018	129.1066	206.4304	150.2038
	60	145.5155	144.9416	119.6709	232.7814	145.5871
	65	143.2419	145.1998	200.8597	137.4358	141.4773
	70	145.5086	154.0853	151.9316	173.3701	141.2396
	75	151.1590	149.5192	136.5932	228.8998	144.5713
	80	149.5773	138.9298	129.8947	150.7512	146.4774
	85	142.2005	145.0195	216.9890	131.6216	140.4361
	90	144.6782	142.5828	146.1866	170.4797	140.4361

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

อัตราการเรียนรู้	จำนวนชั้นสอน	โมเมนต์				
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	5	145.5178	144.5862	145.0588	146.3966	148.2071
	10	145.9219	145.4922	147.8749	153.5877	150.4223
	15	146.2053	145.8181	148.3428	154.0944	151.4588
	20	148.1998	159.1168	159.9254	168.6866	152.0980
	25	154.3828	159.3744	160.6047	168.8911	152.5378
	30	154.7009	159.5339	139.5229	169.0411	174.1775
	35	152.8630	228.2605	146.2187	166.5070	153.1346
	40	156.3138	151.4289	142.9050	169.2565	153.3509
	45	140.5725	159.3873	160.1474	173.2523	173.2523
	50	122.0825	141.6413	161.1792	184.3502	155.6204
	55	136.7408	164.1865	165.8424	185.6067	185.1361
	60	166.5986	124.0080	140.1513	170.1662	185.2890
	65	144.8882	137.1980	155.3872	141.1845	187.8404
	70	234.8608	168.1769	128.5783	142.3625	169.1205
	75	161.3551	117.8775	150.4041	155.4667	154.1416
	80	131.3499	130.4173	160.8866	146.4206	135.7315
	85	143.7503	130.3012	131.1103	133.2374	135.7317
90	143.7286	130.2756	131.1243	133.2404	135.7317	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

อัตราการเรียนรู้	จำนวนชั้นสอน	โมเมนต์				
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.3	5	139.8192	137.2938	135.6080	137.5609	149.8230
	10	140.3892	138.0542	136.5881	138.7350	146.8165
	15	140.6575	138.4037	137.0357	139.2798	158.1362
	20	140.8298	138.6240	137.3152	139.5575	150.6605
	25	140.9521	138.7798	137.5124	139.7899	158.4414
	30	154.5878	149.6862	170.3256	139.9359	158.9393
	35	173.7378	168.2606	206.0156	140.1507	158.8733
	40	114.0217	143.1903	172.4017	143.8174	162.1888
	45	216.6273	150.2589	171.0050	119.6382	162.9510
	50	125.4120	144.0416	146.4998	154.2607	158.0764
	55	145.5386	158.3147	138.3618	127.6917	143.4688
	60	144.9456	125.8791	125.4869	127.6531	144.5291
	65	141.1685	138.0809	125.4865	127.6547	144.5291
	70	141.5828	138.6962	125.4858	127.6549	144.5291
	75	141.8542	140.1830	125.4870	127.6549	144.5291
	80	142.3744	139.3533	125.4879	127.6549	144.5291
85	142.9061	125.8868	125.4863	127.6549	144.5291	
90	126.9864	125.8761	125.4864	127.6549	144.5291	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

อัตราการเรียนรู้	จำนวนชั้นสอน	โมเมนต์				
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.4	5	136.1986	131.6190	126.7525	118.5673	91.3671
	10	136.5391	132.9510	127.5498	120.1193	100.3289
	15	136.6911	132.2254	127.9972	121.2380	100.5091
	20	136.8017	132.3811	128.2656	120.9896	97.9784
	25	156.3347	164.4227	128.3832	121.0970	96.8442
	30	164.1661	145.3481	115.9616	114.6823	97.4450
	35	135.5703	134.6757	130.5975	125.6239	76.4487
	40	122.3052	117.0532	133.1158	111.1248	187.5228
	45	125.1938	119.9901	116.4099	111.4582	101.6138
	50	137.2546	132.8265	116.4120	111.4907	101.6139
	55	138.4118	133.0678	116.4121	111.4907	101.6139
	60	123.6647	120.4565	116.4118	111.4907	101.6139
	65	123.6643	120.4565	116.4118	111.4907	101.6139
	70	123.6643	120.4565	116.4118	111.4907	101.6139
	75	123.6643	120.4565	116.4118	111.4907	101.6139
	80	123.6643	120.4565	116.4118	111.4907	101.6139
85	123.6643	120.4565	116.4118	111.4907	101.6139	
90	123.6643	120.4565	116.4118	111.4907	101.6139	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

อัตราการใช้ เรียนรู้	จำนวน ชั้นสอน	โมเมนต์				
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.5	5	138.5114	132.4678	123.4374	111.1143	105.7521
	10	138.2975	132.5216	123.9805	111.9078	106.9355
	15	138.2308	132.5260	124.1440	112.2337	88.0860
	20	132.1542	128.7776	124.2503	112.4207	107.9851
	25	133.8101	103.6631	127.1744	110.9437	94.2950
	30	133.5015	120.6981	121.7105	102.2988	100.1552
	35	126.8256	123.8216	111.4743	102.3840	100.1552
	40	122.7920	118.0631	111.4641	102.2982	100.1552
	45	138.3056	132.3535	111.4641	102.2982	100.1552
	50	122.4899	118.0626	111.4640	118.0626	111.4640
	55	122.4899	118.0626	111.4640	102.2982	100.1552
	60	122.4898	118.0626	111.4640	102.2982	100.1552
	65	126.9490	118.0597	111.4640	102.2982	100.1552
	70	122.4814	118.0623	111.4640	102.2982	100.1552
	75	122.4883	118.0625	111.4640	102.2982	100.1552
	80	122.4896	118.0626	111.4640	102.2982	100.1552
	85	122.4899	118.0626	111.4640	102.2982	100.1552
90	122.4899	118.0626	111.4640	102.2982	100.1552	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้