การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

COMPARISON OF THAILAND'S ELECTRICAL APPLIANCES EXPORT AND IMPORT VALUES FORECASTING MODELS BY HOLT-WINTERS EXPONENTIAL SMOOTHING METHOD, BOX-JENKINS METHOD AND LONG SHORT-TERM MEMORY NEURAL NETWORKS

หัสยา มูลจิโน

HATSAYA MOONCHINO

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2565

KMITL-2022-SC-M-050-079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF THAILAND'S ELECTRICAL APPLIANCES EXPORT AND IMPORT VALUES FORECASTING MODELS BY HOLT-WINTERS EXPONENTIAL SMOOTHING METHOD, BOX-JENKINS METHOD AND LONG SHORT-TERM MEMORY NEURAL NETWORKS

HATSAYA MOONCHINO

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN STATISTICS AND BUSINESS ANALYTICS

DEPARTMENT OF STATISTICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2022

KMITL-2022-SC-M-050-079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

Comparison of Thailand's Electrical Appliances Export and Import Values Forecasting Models by Holt-Winters Exponential Smoothing Method, Box-Jenkins Method and Long Short-Term Memory Neural Networks

ชื่อนักศึกษา นางสาวหัสยา มูลจิโน
รหัสประจำตัว 63605119
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ)
ภาควิชา สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศรี บัณฑิตวิไล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล ประธานกรรมการ	
รองศาสตราจารย์ ดร.อัชฌา อระวีพร กรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศรี บัณฑิตวิไล กรรมการ	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2565 เวลา 13.00 – 16.00 น.
สถานที่สอบ ห้อง 114 อาคารจุฬาภรณวลัยลักษณ์ 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชุติไพจิตร)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
วันที่ 12 กรกฎาคม 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว
ชื่อนักศึกษา	นางสาวหัสยา มูลจิโน
รหัสประจำตัว	63605119
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ)
ภาควิชา	สถิติ
พ.ศ.	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศรี บัณฑิตวิไล

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาตัวแบบที่เหมาะสม สำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลมูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้ารายเดือน จากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ผู้วิจัยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 สำหรับสร้างและคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ และชุดที่ 2 ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 สำหรับตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบการพยากรณ์ โดยผู้วิจัยพบว่า มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล จึงเลือกใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว ในการสร้างตัวแบบการพยากรณ์ และใช้เกณฑ์รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) ในการคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสม นอกจากนั้น ผู้วิจัยใช้ข้อมูลชุดที่ 2 สำหรับตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบการพยากรณ์ โดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ผลการวิจัยพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ตัวแบบ ARIMA (3,1,3) x SARIMA$(4,1,0)_{12}$ มีความเหมาะสมมากที่สุด มีค่า RMSE เท่ากับ 3415.49 และเมื่อทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบ ได้ค่า MAPE เท่ากับ 7.74 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ตัวแบบ ARIMA (1,1,1) x SARIMA$(4,1,2)_{12}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความเหมาะสมมากที่สุด มีค่า RMSE เท่ากับ 1892.34 และเมื่อทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบ ได้ค่า MAPE เท่ากับ 19.84 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า การพยากรณ์ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์–วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์–เจนกินส์ โครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Comparison of Thailand's Electrical Appliances Export and Import Values Forecasting Models by Holt-Winters Exponential Smoothing Method, Box-Jenkins Method and Long Short-Term Memory Neural Networks
Student	Hatsaya Moonchino
Student ID	63605119
Degree	Master of Science (Statistics and Business Analytics)
Department	Statistics
Year	2022
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Somsri Banditvilai

Abstract

This research aimed to study Thailand's electrical appliances export and import values forecasting models. The monthly data were gathered from Information Technology and Communication Center, Ministry of Commerce from January, 2005 to September, 2021. The data were divided into 2 sets: The first set of data from January, 2005 to December, 2020 was used to construct and select the forecasting models and the second one from January, 2021 to September, 2021 was used for performance testing of the forecasting model. Since the export and import values data of electrical appliances showed trends and seasonal variation, the researcher used Holt-Winters Exponential Smoothing Method, Box-Jenkins Method, and Long Short-Term Memory Neural Networks for model construction and the model was chosen using Root Mean Square Error (RMSE). In addition, the researcher used the second set of data for performance testing of the forecasting model based on Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results of the research revealed that the forecasting model from Box-Jenkins Method was the most appropriate forecasting model for export and import values. In export values, model ARIMA $(3,1,3)$x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ had the RMSE 3415.49 and MAPE of 7.74%, while import values, model ARIMA $(1,1,1)$x SARIMA $(4,1,2)_{12}$ had the RMSE 1892.34 and MAPE of 19.84% respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords : Electrical Appliances Export and Import Values, Forecasting, Holt-Winters Exponential Smoothing Method, Box-Jenkins Method, Long Short-Term Memory Neural Networks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศรี บัณฑิตวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ช่วยเหลือและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนติดตามผลงานทุกขั้นตอนของการดำเนินงานในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทั้งสองท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก และรองศาสตราจารย์ ดร.อัชฌา อระวีพร ที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ สำหรับปรับปรุงแก้ไขทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ ที่เอื้อเฟื้อเผยแพร่ข้อมูลบนระบบออนไลน์ ให้ผู้วิจัยสามารถนำข้อมูลมาใช้สร้างตัวแบบพยากรณ์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้า ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือให้การทำงานมาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นางสาวหัสยา มูลจิโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะ 5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 การส่งออกและการนำเข้า 7
2.2 เครื่องใช้ไฟฟ้า 8
2.3 ข้อมูลการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 8
2.4 การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา 9
2.4.1 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method) 9
2.4.2 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) 10
2.4.3 วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory) 18
2.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์ 22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งออก 23
2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเข้า 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยโครงข่ายประสาทเทียม 25

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 27

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูล 27

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น 27

3.3 สร้างตัวแบบการพยากรณ์ 27

3.3.1 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method: HWS) 27

3.3.2 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) 28

3.3.3 วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) 29

3.4 เลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม 30

3.5 ทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบที่เหมาะสม 30

3.6 สรุปผลการวิจัย 30

บทที่ 4 ผลการวิจัย 31

4.1 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method) 31

4.1.1 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 31

4.1.2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ ของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 36

4.2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) 40

4.2.1 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 48

4.3 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory Neural Networks) 55

4.3.1 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 55

4.3.2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 57

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 60

5.1 สรุปผลการวิจัย 60

5.1.1 สรุปผลการคัดเลือกและตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 60

5.2.2 สรุปผลการคัดเลือกและตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 62

5.2 อภิปรายผลการวิจัย 63

5.3 ข้อเสนอแนะ 65

เอกสารอ้างอิง 66

ภาคผนวก 70

ภาคผนวก ก 71

ภาคผนวก ข 73

ภาคผนวก ค 93

ประวัติผู้เขียน 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ค่าประมาณพารามิเตอร์และค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า 32
4.2 ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก 33
4.3 ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ 35
4.4 ค่าประมาณพารามิเตอร์และค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า 36
4.5 ผลการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก 37
4.6 ผลการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ 39
4.7 การประมาณค่าพารามิเตอร์และการทดสอบสมมติฐานของตัวแบบ ARIMA (3,1,3) x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ 43
4.8 การประมาณค่าพารามิเตอร์และการทดสอบสมมติฐานของตัวแบบ ARIMA (1,1,1) x SARIMA $(4,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ 50
4.9 ค่าพารามิเตอร์และค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า 55
4.10 ค่าพารามิเตอร์และค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า 57
5.1 ค่า RMSE ของตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 60
5.2 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ 61
5.3 ค่า RMSE ของตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 62
5.4 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ก.1 อนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 71
ก.2 อนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 72
ข.1 ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก 73
ข.2 ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ 78
ข.3 ผลการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก 83
ข.4 ผลการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ 88
ค.1 ค่า RMSE ของชุดฝึกฝนและชุดทดสอบของการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว 93
ค.2 ค่า RMSE ของชุดฝึกฝนและชุดทดสอบของการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 อนุกรมเวลาของมูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563....4

1.2 อนุกรมเวลาของมูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563....4

2.1 โครงสร้างระบบประสาท....19

2.2 ส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม....19

2.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ LSTM....20

4.1 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก....34

4.2 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ....36

4.3 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก....38

4.4 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ....40

4.5 การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย....41

4.6 กราฟ ACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยเมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1....41

4.7 กราฟ PACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยเมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1....42

4.8 การทดสอบการแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ ARIMA (3,1,3) x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่....46

4.9 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์....48

4.10 การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย....48

4.11 กราฟ ACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยเมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1....49

4.12 กราฟ PACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยเมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1....49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.13 การทดสอบการแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ ARIMA (1,1,1) x SARIMA$(4,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ 53
4.14 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ 54
4.15 ผลการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 56
4.16 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว 57
4.17 ผลการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 58
4.18 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว 59
5.1 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์จากตัวแบบที่เหมาะสม 61
5.2 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์จากตัวแบบที่เหมาะสม 63
ค.1 ผลการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 100
ค.2 ผลการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย 104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สำคัญในภูมิภาคเอเชีย จากการที่รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการลงทุนจากต่างชาติในอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและการพัฒนาชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2515 และมีนโยบายสนับสนุนการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อส่งออก ปริมาณการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าของไทยในช่วงปี พ.ศ. 2559-2563 เติบโตเฉลี่ยร้อยละ 1.9 ต่อปี (วรรณา ยงพิศาลภพ, 2564) ในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 889,541.55 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 22.15 เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อนหน้า โดยมีการส่งออกไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และจีน มากที่สุด มีมูลค่าเท่ากับ 199,052.06 117,236.45 และ 54,835.85 ล้านบาท ตามลำดับ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการส่งออกสูงสุด ได้แก่ เครื่องปรับอากาศและส่วนประกอบ เครื่องใช้ไฟฟ้าและส่วนประกอบอื่น ๆ เครื่องรับวิทยุโทรทัศน์และส่วนประกอบ แผงสวิทซ์และแผงควบคุมกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตามมูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของไทย กลับมีทิศทางเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน โดยเฉพาะเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน ที่เป็นสินค้านำเข้าสำคัญของประเทศ อันดับที่ 12 โดยมีมูลค่าการนำเข้า ในปี พ.ศ. 2564 เท่ากับ 287,405.16 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 34.54 เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อนหน้า ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าจากประเทศจีน เวียดนาม และมาเลเซีย มากที่สุด มีมูลค่าเท่ากับ 216,104.06 32,936.37 และ 6,583.19 ล้านบาท ตามลำดับ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการนำเข้าสูงสุด ได้แก่ เครื่องรับวิทยุโทรศัพท์ โทรทัศน์ ไมโครโฟน ลำโพง หูฟัง เครื่องทำน้ำร้อน และเครื่องปรับอากาศ (กระทรวงพาณิชย์, 2564)

อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของไทย มีแนวโน้มการขยายตัวที่ดี เป็นผลมาจากความต้องการภายในประเทศสอดคล้องกับทิศทางของตลาดที่อยู่อาศัยที่คาดว่าจะขยายตัวเพิ่มขึ้น ความนิยมเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้ความสำคัญด้านสุขภาพ เช่น เครื่องฟอกอากาศ เครื่องซักผ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความสามารถควบคุมการทำงานผ่านการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต อีกทั้งยังมีช่องทางการจำหน่ายเครื่องใช้ไฟฟ้า ผ่านการทำตลาดสินค้าออนไลน์ ที่ทำให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงข้อมูลและตัดสินใจซื้อได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ ตลาดเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างประเทศยังมีแนวโน้มขยายตัวเช่นกัน จากโอกาสในการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของไทยจากมาตรการกีดกันทางการค้าระหว่างสหรัฐอเมริกาและจีน และความต้องการเครื่องใช้ไฟฟ้าในตลาดเอเชียและตลาดโลก ที่ต้องการสินค้าเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความจำเป็นในช่วงการทำงานที่บ้าน (Work From

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Home) และนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงพยาบาล อย่างไรก็ตาม ปัญหาและอุปสรรคของอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าของไทยยังมีอยู่ต่อเนื่อง จากการย้ายฐานการผลิตและการลงทุนของบริษัทข้ามชาติไปยังประเทศอื่นในอาเซียนแทนประเทศไทยมากขึ้น อีกทั้งยังเกิดปัญหาการขาดการพัฒนาและลงทุนในด้านวิจัยและพัฒนาของเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และการแข่งขันจากสินค้าราคาถูกและคุณภาพต่ำจากทั้งในและต่างประเทศ (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2564) ซึ่งในระยะยาวอาจจะส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของไทย ดังนั้น ถ้าภาคอุตสาหกรรมฯ สามารถคาดการณ์ได้อย่างแม่นยำว่ามูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าในอนาคตจะมีแนวโน้มเป็นอย่างไร และใช้เป็นข้อมูลประกอบการจัดทำแผนนโยบายหรือมาตรการเพื่อสนับสนุนผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าในประเทศให้วางแผนปรับเปลี่ยนกลยุทธ์การผลิตสินค้า จะสามารถทำให้อุตสาหกรรมดังกล่าว สามารถพัฒนาและทำการตลาดแข่งขันทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งสนับสนุนการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าทดแทนการนำเข้าที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (2564) ใช้การคาดการณ์หรือพยากรณ์แนวโน้มของอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในปีถัดไปหรือระยะต่อไป เพื่อประกอบการจัดทำรายงานสภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมรายปี โดยการคาดการณ์แนวโน้มของอุตสาหกรรมอาจใช้เทคนิคการพยากรณ์แนวโน้มในอนาคต โดยนำตัวแปรต่าง ๆ มาใช้ในการพยากรณ์ รวมถึงการทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์

การสร้างตัวแบบการพยากรณ์ มีหลายวิธีที่จะนำไปสู่การพยากรณ์ข้อมูลล่วงหน้าที่แม่นยำ การพยากรณ์ตัวแปรที่เป็นข้อมูลอนุกรมเวลา จะต้องใช้ข้อมูลในอดีตของตัวแปรนั้น มาทำการวิเคราะห์หารูปแบบ เพื่อทำการพยากรณ์ข้อมูล ข้อมูลอนุกรมเวลา จะประกอบด้วย 4 ส่วน คือ แนวโน้ม (Trend) วัฏจักร (Cycle) อิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal variations) และความผันผวนจากเหตุการณ์ไม่ปกติ (Irregular fluctuations) (ภูมิฐาน รังคกูลนุวัฒน์, 2556) การพยากรณ์อนุกรมเวลา จึงเป็นการศึกษาข้อมูลที่เก็บรวมรวบมานาน และมีความสัมพันธ์กับเวลา โดยทำการวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา (Time series pattern) เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ดังเช่น ในกรณีที่อนุกรมเวลามีส่วนประกอบทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล จะใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ หรือวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์, 2556) นอกจากนั้น ในปัจจุบันยังนิยมใช้วิธีการเทคนิคใหม่ ๆ เช่น วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ได้แก่ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ จึงเลือกใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) ซึ่ง LSTM นั้น ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการอ่านข้อมูลที่เป็นอนุกรมซึ่งมีความเหมาะสมกับข้อมูลอนุกรมเวลา โดยโครงสร้างของ LSTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะประกอบไปด้วยเซลล์และประตู (Gate) ที่ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลจากอนุกรมก่อนหน้าเข้ามาประมวลผล จดจำเฉพาะสิ่งที่สำคัญไว้ และตัดข้อมูลที่ไม่มีความสำคัญออกไป (ภูมิชาย จิตชัย และโอม ศรนิล, 2564)

ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ 3 วิธีดังกล่าว เพื่อนำเสนอการสร้างตัวแบบพยากรณ์จากวิธีการที่หลากหลาย และใช้รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) ในการเลือกตัวแบบการพยากรณ์ เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย และใช้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ในการแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์

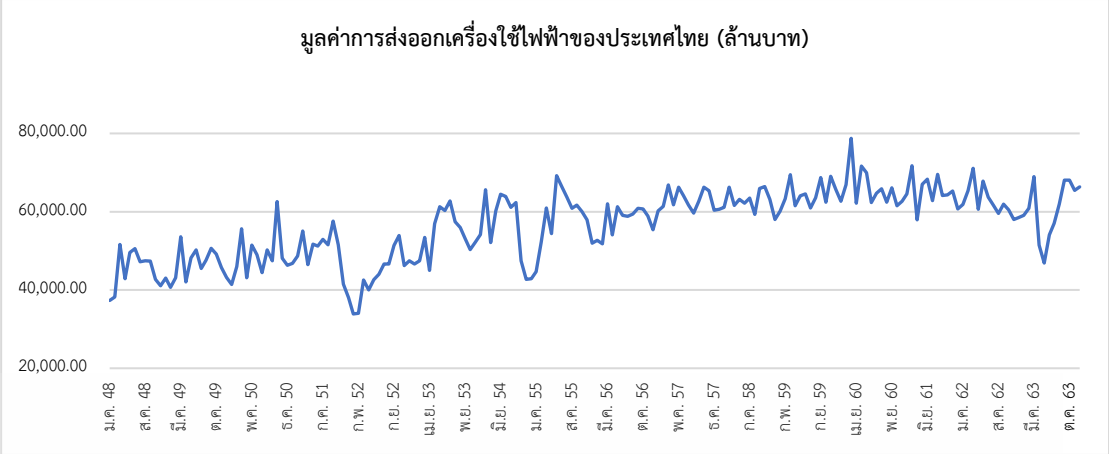
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม สำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method) วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory)
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์สำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

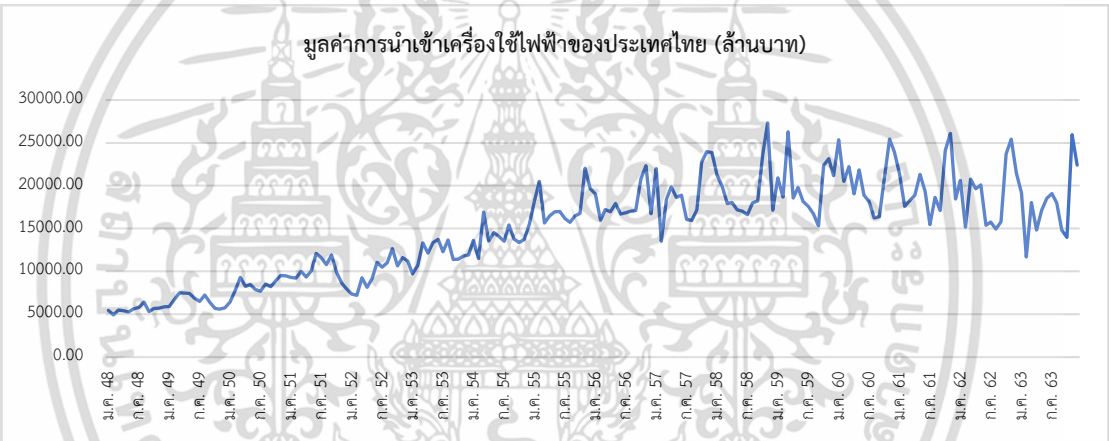
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ นำข้อมูลอนุกรมเวลาของมูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.1 และมูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.2 จากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร กระทรวงการคลัง เป็นข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จำนวน 201 ค่า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 192 ค่า ใช้ในการสร้างและคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory) โดยจะพิจารณาเลือกตัวแบบที่เหมาะสมจากค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ต่ำที่สุด และข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จำนวน 9 ค่า ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบการพยากรณ์ เพื่อพิจารณาว่าค่าพยากรณ์จากตัวแบบที่เหมาะสม มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากน้อยเพียงใดโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 อนุกรมเวลาของมูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563



รูปที่ 1.2 อนุกรมเวลาของมูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563

1.4 ขั้นตอนของการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลมูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย
2. วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น โดยนำข้อมูลชุดที่ 1 มาพล็อตกราฟเพื่อดูลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา พบว่าข้อมูลมูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า มีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล จึงเลือกใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory) ในการเปรียบเทียบเพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำข้อมูลชุดที่ 1 มาสร้างตัวแบบการพยากรณ์ ตามขั้นตอนของแต่ละวิธี

4. เลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

5. ตรวจสอบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ค่าล่วงหน้า 9 ค่า และใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลชุดที่ 2 กับค่าพยากรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสมกับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

2. สามารถนำวิธีการและค่าพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยไปใช้ในการประกอบการจัดทำข้อมูล และการวางแผนสำหรับหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนในอนาคตได้

3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา ค้นคว้า วิจัยในหัวข้ออื่น ๆ

1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

นำเข้า - ส่งออก ตามพระราชบัญญัติการส่งออกไปนอกและการนำเข้ามาในราชอาณาจักรซึ่งสินค้า พ.ศ. 2522 มาตรา 4 ให้ความหมายของ นำเข้า หมายความว่า นำหรือส่งเข้ามาในราชอาณาจักรซึ่งสินค้า และส่งออก หมายความว่า นำหรือส่งออกไปนอกราชอาณาจักรซึ่งสินค้า (ราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ เล่ม 96, 2522)

เครื่องใช้ไฟฟ้า หมายถึง เครื่องใช้ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น แสง เสียง ความร้อนหรือ พลังงานกล ฯลฯ แล้วนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ประโยชน์เพื่ออำนวยความสะดวก สร้างความสบาย หรือสำหรับใช้งานในชีวิตประจำวัน (ดำรงค์ หิรัญยะพรรณ์, 2545)

ตัวแบบ หมายถึง ตัวแบบทางสถิติ (Statistical model) ที่ประกอบด้วยสมการสำหรับอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบในระบบ เหมือนกับตัวแบบทางคณิตศาสตร์แต่จะแตกต่างกันที่ตัวแบบทางสถิติจะเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความแปรผัน หรือความแตกต่างของปรากฏการณ์ และมุ่งเน้นการอธิบายองค์ประกอบของการแปรผัน (วีระเกษตร สวนผกา, 2555) นอกจากนั้น ตัวแบบในงานวิจัยนี้ ยังหมายรวมถึง รูปแบบหรือลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบมาเพื่อเลียนแบบการทำงานการประมวลผลข้อมูล เช่นเดียวกับเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์ เพื่อสร้างเครื่องมือที่ช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเรียนรู้ การจดจำรูปแบบ เป็นต้น โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ให้สามารถเรียนรู้และตัดสินใจได้ด้วยตนเอง และหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม (ปรัชญา เกตุวงศา และคณะ, 2555) ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้ จะนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย การส่งออกและการนำเข้า เครื่องใช้ไฟฟ้า รายละเอียดข้อมูลการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การส่งออกและการนำเข้า

การค้าระหว่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นการส่งสินค้าไปขายต่างประเทศ หรือนำสินค้าต่างประเทศเข้ามานั้น เป็นสิ่งที่ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจ ทำให้ภาคธุรกิจสามารถหาสินค้ารูปแบบใหม่ ๆ สินค้าที่มีคุณภาพดี หรือสินค้าราคาถูกกว่าสินค้าในประเทศเข้ามาขาย และสามารถส่งสินค้าที่ผลิตในประเทศไปขายยังประเทศต่าง ๆ อีกทั้ง การส่งออกและนำเข้าสินค้ายังเป็นตัวชี้วัดรายได้ของประเทศอีกด้วย

การส่งออก (Export) หมายถึง การส่งสินค้าหรือบริการไปขายยังตลาดประเทศอื่น ๆ ในเส้นทางบก ทางน้ำ หรือทางอากาศ โดยการส่งออกสินค้าของประเทศไทยจะต้องผ่านกฎระเบียบตามที่กรมศุลกากรกำหนด โดยสินค้าที่ประเทศไทยส่งออกไปต่างประเทศ คือ สินค้าเกษตรกรรม สินค้าอุตสาหกรรมการเกษตร อัญมณี เชื้อเพลิง และสินค้าอุตสาหกรรม ได้แก่ สินค้าที่ใช้ประกอบการผลิต หรือใช้ในกระบวนการผลิต เช่น เหล็กที่ใช้ในกระบวนการผลิตรถยนต์

การนำเข้า (Import) หมายถึง การนำสินค้าจากต่างประเทศเข้ามาในประเทศ เพื่อการค้าหรือประโยชน์ในเชิงธุรกิจ สินค้าที่นำเข้ามักจะเป็นสินค้าที่ไม่มีในประเทศ หรือในประเทศไม่สามารถผลิตได้ โดยในการนำเข้าสินค้าจะต้องดำเนินการตามกฎระเบียบของกรมศุลกากรหรือกฎระเบียบของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกำหนดไว้อย่างเคร่งครัด สินค้าที่ประเทศไทยนำเข้าจากต่างประเทศ คือ สินค้าประเภทวัตถุดิบ ได้แก่ สินค้าที่นำมาเป็นหัวเชื้อในการผลิตสินค้า เช่น โซเดียม สินค้าทุน ได้แก่ เครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต สินค้าเชื้อเพลิง สินค้าอุปโภคบริโภค และสินค้าจากอุตสาหกรรมยานยนต์ (Giztix, 2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องใช้ไฟฟ้า

เครื่องใช้ไฟฟ้า คือ เครื่องใช้ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น แสง เสียง ความร้อน หรือพลังงานกล ฯลฯ แล้วนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ประโยชน์เพื่ออำนวยความสะดวก สร้างความสบาย หรือสำหรับใช้งานในชีวิตประจำวัน (ดำรงค์ หิรัญยะพรรณ์, 2545)

เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน โดยใช้ประโยชน์จากพลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านสามารถจำแนกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

- เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทให้แสงสว่าง เช่น หลอดไฟ โคมไฟ
- เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทให้ความร้อน เช่น หม้อหุงข้าวไฟฟ้า เตารีด เครื่องเป่าผม เตาอบ เตาไฟฟ้า
- เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทมอเตอร์หมุน เช่น พัดลม เครื่องซักผ้า
- เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทให้ความเย็น เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ
- เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ เครื่องคอมพิวเตอร์

(ธีรพงษ์ จันทรโสภณ, 2560)

2.3 ข้อมูลการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร กระทรวงการคลัง เผยแพร่ข้อมูลการส่งออกและการนำเข้าสินค้าของประเทศไทย โดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านทางเว็บไซต์และเว็บเซอร์วิสข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย ชื่อชุดข้อมูลภาพรวมการค้าระหว่างประเทศ ที่เป็นข้อมูลการส่งออก นำเข้า ดุลการค้าและมูลค่าการค้า จำแนกตามประเทศ โดยกำหนดปี เดือน แสดงผลมูลค่าหน่วยเป็นเงินบาทและเหรียญสหรัฐ มีความถี่ในการเผยแพร่ข้อมูลเป็นรายเดือน

ข้อมูลมูลค่าการส่งออกและมูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลภาพรวมมูลค่าของการส่งออกและนำเข้ารวมทุกประเทศ มีความถี่เป็นรายเดือน และแสดงมูลค่าหน่วยเป็นเงินบาท กระทรวงพาณิชย์จัดประเภทโครงสร้างสินค้า ดังนี้

1. สินค้าส่งออกสำคัญของไทยตามโครงสร้างสินค้าของกระทรวงพาณิชย์ ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศและส่วนประกอบ เครื่องใช้ไฟฟ้าและส่วนประกอบอื่น ๆ เครื่องรับวิทยุ โทรทัศน์และส่วนประกอบ แผงสวิทช์และแผงควบคุมกระแสไฟฟ้า ตู้เย็น ตู้แช่แข็งและส่วนประกอบ เครื่องตัดต่อและป้องกันวงจรไฟฟ้า เครื่องซักผ้า เครื่องซักแห้งและส่วนประกอบ เตาอบไมโครเวฟและเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้ความร้อน สายไฟฟ้า สายเคเบิ้ล เครื่องคอมเพรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเครื่องทำความเย็น เครื่องวิดีโอ เครื่องเสียง อุปกรณ์และส่วนประกอบ หม้อแบตเตอรี่และส่วนประกอบ พัดลม เครื่องพักกระแสไฟฟ้า ลำโพงขยายเสียงและส่วนประกอบ เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับให้สัญญาณเสียงและส่วนประกอบ ส่วนประกอบที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หลอดไฟฟ้า และหลอดภาพโทรทัศน์สี

2. สินค้านำเข้าสำคัญของไทยตามโครงสร้างสินค้าของกระทรวงพาณิชย์ ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำน้ำร้อน ไมโครโฟน ลำโพง หูฟัง เครื่องวีดีโอ เครื่องซักผ้า เครื่องรับวิทยุ โทรศัพท์ โทรเลข โทรทัศน์ ตู้เย็น ตู้แช่ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อื่น ๆ (กระทรวงพาณิชย์, 2564)

2.4 การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา

2.4.1 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method)

เป็นวิธีการพยากรณ์ที่ใช้กับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบแนวโน้ม โดยเฉพาะแนวโน้มที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีอิทธิพลของฤดูกาล ทั้งในรูปแบบบวกและรูปแบบคูณ วิธีการนี้จะใช้ค่าปรับให้เรียบ 3 ค่า คือ α, γ และ δ ที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ α คือ ค่าปรับน้ำหนักของแนวโน้ม γ คือ ค่าปรับน้ำหนักของความชัน (Slope) และ δ คือ ค่าปรับน้ำหนักของฤดูกาล (ทรงศิริ แต้สมบัติ, 2549)

รูปแบบสมการพยากรณ์แบบบวก มีสมการพยากรณ์ p ช่วงเวลาล่วงหน้า ดังสมการที่ (2.1)

$$\hat{Y}_t(p) = \hat{T}_t(t) + p\hat{\beta}_1(t) + \hat{S}_i(t); p = 1,2,... \tag{2.1}$$

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

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

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

หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_1(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ได้จาก สมการที่ (2.2), (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ

$$\hat{T}_t(t) = \alpha(Y_t - \hat{S}_i(t-1)) + (1-\alpha)\hat{T}_t(t-1) \tag{2.2}$$

$$\hat{\beta}_1(t) = \gamma(\hat{T}_t(t) - \hat{T}_t(t-1)) + (1-\gamma)\hat{\beta}_1(t-1) \tag{2.3}$$

$$\hat{S}_i(t) = \begin{cases} \delta(Y_t - \hat{T}(t)) + (1-\delta)\hat{S}_i(t-1) & \text{เมื่อเวลา t อยู่ในฤดูกาลที่ i} \\ \hat{S}_i(t-1) & \text{เมื่อเวลา t ไม่อยู่ในฤดูกาลที่ i} \end{cases} \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบสมการพยากรณ์แบบคูณ มีสมการพยากรณ์ p ช่วงเวลาล่วงหน้า ดังสมการที่ (2.5)

$$\hat{Y}_t(p) = (\hat{T}_t(t) + p\hat{\beta}_1(t))\hat{S}_i(t); p = 1,2,... \quad (2.5)$$

หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_1(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ได้จาก สมการที่ (2.6), (2.7) และ (2.8) ตามลำดับ

$$\hat{T}_t(t) = \frac{\alpha Y_t}{\hat{S}_i(t-1)} + (1-\alpha)\hat{T}_t(t-1) \quad (2.6)$$

$$\hat{\beta}_1(t) = \gamma(\hat{T}_t(t) - \hat{T}_t(t-1)) + (1-\gamma)\hat{\beta}_1(t-1) \quad (2.7)$$

$$\hat{S}_i(t) = \begin{cases} \frac{\delta Y_t}{\hat{T}_t(t)} + (1-\delta)\hat{S}_i(t-1) & \text{เมื่อเวลา t อยู่ในฤดูกาลที่ i} \\ \hat{S}_i(t-1) & \text{เมื่อเวลา t ไม่อยู่ในฤดูกาลที่ i} \end{cases} \quad (2.8)$$

การสร้างสมการพยากรณ์ของวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ นั้น จะต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_1(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ และกำหนดค่าปรับให้เรียบ α, γ และ δ ที่ทำให้ค่า RMSE ต่ำสุด

2.4.2 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method)

วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ถูกนำเสนอโดย George E.P. Box และ Gwilym M. Jenkins ในปี 1970 โดยการนำเสนอรูปแบบ ARIMA ไว้ในหนังสือ Time Series Analysis: Forecasting and Control จนเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากวิธีการนี้ สามารถใช้ได้กับอนุกรมเวลาที่เป็นสเตชันนารีและอนุกรมเวลาที่ไม่เป็นสเตชันนารี โดยการแปลงอนุกรมเวลาที่ไม่สเตชันนารีให้เป็นอนุกรมเวลาที่สเตชันนารีก่อนแล้วจึงกำหนดรูปแบบ ARIMA นอกจากนั้น วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ยังเป็นวิธีการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูงในการพยากรณ์ระยะสั้น (ทรงศิริ แต้สมบัติ, 2549)

2.4.2.1 ประเภทของอนุกรมเวลาที่นำมาพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

1. อนุกรมเวลาที่เป็นสเตชันนารี (Stationary series) คือ อนุกรมเวลา Y_t ที่มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเอง (Autocorrelation Function : ACF) ที่ lag k ขึ้นกับค่า k อย่างเดียวโดยไม่ขึ้นอยู่กับเวลา t

2. อนุกรมเวลาที่ไม่เป็นสเตชันนารี (Nonstationary series) คือ อนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ยและ/หรือความแปรปรวนไม่คงที่ ณ เวลา t ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเอง (Autocorrelation Function : ACF) ที่ lag k ไม่ขึ้นกับค่า k อย่างเดียวแต่ขึ้นอยู่กับเวลา t ด้วย ดังนั้น ในการกำหนดตัวแบบ ARIMA จึงต้องทำการแปลงอนุกรมเวลาที่ไม่สเตชันนารีให้เป็นอนุกรมเวลาที่สเตชันนารีก่อน ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 หาผลต่าง (Regular Differencing) ของอนุกรมเวลา Y_t ที่มีแนวโน้ม โดยแปลงอนุกรมเวลาเดิม Y_t ให้เป็นอนุกรมเวลาใหม่ Z_t ที่ไม่มีแนวโน้ม ด้วยการหาผลต่าง $Z_t = \nabla^d Y_t$ โดยที่ ∇^d คือ การหาค่าของผลต่างจำนวน d ครั้ง ซึ่งจำนวนครั้งของการหาผลต่างจะขึ้นอยู่กับอนุกรมเวลาใหม่นั้นเป็นสเตชันนารีแล้วหรือยัง

2.2 หาผลต่างฤดูกาล (Seasonal Differencing) ของอนุกรมเวลา Y_t ที่มีอิทธิพลของฤดูกาล โดยแปลงอนุกรมเวลาเดิม Y_t ให้เป็นอนุกรมเวลาใหม่ Z_t ที่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ด้วยการหาผลต่าง $Z_t = \nabla_L^D Y_t$ โดยที่ ∇_L^D คือ การหาค่าของผลต่างฤดูกาลจำนวน D ครั้ง และ L คือ จำนวนฤดูกาลต่อปี

2.3 หาผลต่างและผลต่างฤดูกาล หากอนุกรมเวลามีทั้งแนวโน้ม และอิทธิพลของฤดูกาล ให้ทำการแปลงอนุกรมเวลาเดิม Y_t ให้เป็นอนุกรมเวลาใหม่ Z_t ที่ไม่มีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ด้วยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล $Z_t = \nabla^d \nabla_L^D Y_t$

2.4 หาลอการิทึม หากอนุกรมเวลามีความแปรปรวนไม่คงที่ $V(Y_t)$ ที่เวลา t ให้ทำการแปลงอนุกรมเวลาเดิม Y_t ให้เป็นอนุกรมเวลาใหม่ Z_t ที่มีความแปรปรวนคงที่ $Z_t = \ln(Y_t)$ (ทรงศิริ แต้สมบัติ, 2549)

2.4.2.2 ขั้นตอนการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

1. การกำหนดรูปแบบ (Identification) คือ การหารูปแบบ ARMA(p,q) ที่คาดว่าจะมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลา โดยพิจารณาเปรียบเทียบค่า r_k และ r_{kk} ของอนุกรมเวลากับค่า ρ_k และ ρ_{kk} ของแต่ละรูปแบบ ซึ่งในการพิจารณา r_k, r_{kk}, ρ_k และ ρ_{kk} พร้อมกันหลาย ๆ ค่า จึงพิจารณาจากรูปแบบที่เรียกว่าคอเรลโรแกรม (Correlogram) ที่ได้จากการพล็อต r_k, r_{kk} กับ k ดังนั้น จึงเป็นการเปรียบเทียบคอเรลโรแกรมของ r_k กับ ρ_k และคอเรลโรแกรมของ r_{kk} กับ ρ_{kk} สำหรับแต่ละรูปแบบมีคอเรลโรแกรมของ ρ_k และ ρ_{kk} ต่างกัน อนุกรมเวลาที่นำมากำหนดรูปแบบต้องเป็นอนุกรมเวลาที่สเตชันนารีแล้วเท่านั้น

2. การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimation) คือ การหาค่าประมาณแบบง่ายที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Analysis) โดยการสร้างสมการที่มาจากความสัมพันธ์ระหว่าง ρ_k และพารามิเตอร์ โดยสมการที่สร้างขึ้นจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณ ส่วนค่าประมาณที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขจะได้จากการแก้สมการที่สร้างขึ้นจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยค่าประมาณของพารามิเตอร์เป็นค่าที่ทำให้ผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน (SSE) มีค่าต่ำสุด

3. การตรวจสอบรูปแบบ (Diagnostic Checking) คือ การตรวจสอบรูปแบบที่กำหนดว่ามีความเหมาะสมจริงหรือไม่ การตรวจสอบทำได้หลายวิธี โดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (e_t) ที่เป็นผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์เป็นหลัก โดยมีวิธีการดังนี้

3.1 พิจารณาว่าค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบมีค่าเป็น 0 หรือไม่ เมื่อ $\theta, \hat{\theta}$ และ $S_{\hat{\theta}}$ เป็นพารามิเตอร์ ค่าประมาณ และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณ $\hat{\theta}$ ตามลำดับ การทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \theta = 0$ กับ $H_1 : \theta \neq 0$ โดยใช้สถิติทดสอบ $Z = \hat{\theta} / S_{\hat{\theta}}$ และปฏิเสธ H_0 เมื่อ $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α

3.2 พิจารณาว่า $\rho_k(e_t) = 0$ สำหรับ k = 1,...,m หรือไม่ โดยพิจารณาว่าค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่อยู่ห่างกัน 1,...,m ช่วงเวลาเป็นอิสระกันหรือไม่ ใช้การทดสอบของ Box และ Ljung สมมติฐานทดสอบคือ

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

$H_1 : \rho_1(e_t)$ อย่างน้อยหนึ่งค่าไม่เท่ากับ 0 สำหรับ k=1,...,m

สถิติทดสอบ

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

ซึ่ง n คือ ขนาดของอนุกรมเวลา e_t

m คือ ช่วงเวลาห่างสูงสุดของ e_t ในอนุกรมเวลา e_t ที่นำมาพิจารณา

A คือ จำนวนพารามิเตอร์ทั้งหมดในรูปแบบ ซึ่งรวม θ_0 ด้วย

ช่วงวิกฤต $Q_m \geq \chi^2_{\alpha,m-A}$

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

3.3 พิจารณาว่าอนุกรมเวลา (e_t) มีการแจกแจงปกติหรือไม่โดยแบบทดสอบ Anderson-Darling สมมติฐานทดสอบคือ (Stephanie Glen, 2014)

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left[(2i-1) \left\{ \ln F_x(x_i) + \ln \left[1 - F_x(x_{n-i-1}) \right] \right\} \right]$$

เมื่อ $F_x(x_i)$ คือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability function)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x_i คือ ข้อมูลลำดับที่ i เมื่อข้อมูลเรียงลำดับจากน้อยไปหามากแล้ว

n คือ จำนวนข้อมูล

สรุปผลการทดสอบ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p-value <$ ระดับนัยสำคัญ α หรือ ปฏิเสธ H_0 เมื่อสถิติทดสอบ AD ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า Z ที่แสดงดังสมการ

$$Z = AD\left(1+\frac{0.75}{n}+\frac{2.25}{n^2}\right)$$

โดยอนุกรมเวลา (e_t) ที่มีการแจกแจงปกติ จะแสดงว่ารูปแบบที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม

4. การพยากรณ์ จะทำการพยากรณ์แบบจุด (Point Forecast) โดยใช้สมการพยากรณ์ที่สร้างจากรูปแบบการพยากรณ์ที่กำหนดและผ่านการตรวจสอบรูปแบบที่เหมาะสมแล้ว (ทรงศิริ แต้สมบัติ, 2549)

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

กำหนดรูปแบบ ARMA(p,q) ให้กับอนุกรมเวลา ทำได้โดยการเปรียบเทียบคอเรลโรแกรมของ r_k และ r_{kk} จากอนุกรมเวลากับคอเรลโรแกรมของ ρ_k และ ρ_{kk} ของรูปแบบ ดังนั้น จึงต้องคำนวณหาค่า r_k และ r_{kk} สำหรับ k หลาย ๆ ค่า สำหรับอนุกรมเวลาฤดูกาลควรหาค่า r_k และ r_{kk} สำหรับ k ที่เป็นจำนวนเท่าของจำนวนฤดูกาลต่อปีหลาย ๆ ค่า

r_k เป็นค่าประมาณของ ρ_k สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.9) และความแปรปรวนของ r_k จากสมการที่ (2.10)

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k}(Y_t-\bar{Y})(Y_{t+k}-\bar{Y})}{\sum_{t=1}^{n-k}(Y_t-\bar{Y})^2} \quad \text{สำหรับ k= 1,2...} \qquad (2.9)$$

และ $$V(r_k) = \frac{1}{n}(1+2\sum_{j=1}^{k-1} r_j^2) \quad \text{สำหรับ k= 1,2...} \qquad (2.10)$$

โดยที่ r_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองของตัวอย่าง ที่ lag k

ρ_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองของประชากร ที่ lag k

r_{kk} คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองบางส่วนของตัวอย่าง ที่ lag k

ρ_{kk} คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตนเองบางส่วนของประชากร ที่ lag k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Y_t คือ ค่าสังเกตุ ณ เวลาที่ t

n คือ จำนวนข้อมูล

$\bar{Y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตุ

ความหมายของ r_k จะเป็นทำนองเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ เป็นค่าวัดสหสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตในอนุกรมเวลาที่อยู่ห่างกัน k ช่วงเวลา หรือค่าวัดสหสัมพันธ์ระหว่าง Y_t และ Y_{t-k}

1. r_k มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เมื่อขนาดของ r_k ที่วัดด้วย $|r_k|$ มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าค่าสังเกตที่อยู่ห่างกัน k ช่วงเวลามีสหสัมพันธ์กันสูง และถ้า $|r_k|$ มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีสหสัมพันธ์กันต่ำ ถ้า r_k มีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่ามีสหสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้า r_k มีค่ามากกว่า 0 แสดงว่ามีสหสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

2. $r_k = r_{-k}$ คือ การวัดสหสัมพันธ์ระหว่าง Y_t และ Y_{t-k} หรือระหว่าง Y_t และ Y_{t+k} ซึ่งเป็นค่าสังเกตที่อยู่ห่างกัน k ค่า

r_{kk} เป็นค่าประมาณของ ρ_{kk} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.11) และความแปรปรวนของ r_{kk} จากสมการที่ (2.12)

$$r_{kk} = \begin{cases} r_1 & ,k=1 \\ \dfrac{r_k - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j} r_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j} r_j} & ,k=2,3... \end{cases} \qquad (2.11)$$

โดยที่ $r_{kj} = r_{k-1,j} - r_{kk} r_{k-1,k-j} \quad , j = 1,2,...,k-1$

และ $V(r_{kk}) = \dfrac{1}{n}$ สำหรับ k = 1,2,... (2.12)

r_k เป็นค่าวัดลักษณะของตัวอย่างที่เป็นค่าประมาณของค่าวัดลักษณะของประชากร ρ_k และ r_k มีการแจกแจงใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวน $\sigma^2_{r_k}$ หรือ $r_k \sim N(0, \sigma^2_{r_k})$ ซึ่งประมาณ $\sigma^2_{r_k}$ ด้วย $S^2_{r_k}$ โดย $S^2_{r_k}$ มีค่าใกล้เคียงกับ 1/n การทราบลักษณะการแจกแจงของ r_k จะทำให้ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ ρ_k ได้ด้วยการทดสอบ

$$H_0 : \rho_k = 0$$
$$H_1 : \rho_k \neq 0$$

ใช้สถิติทดสอบ $Z = \dfrac{r_k}{S_{r_k}} \sim \dfrac{r_k}{\sqrt{\frac{1}{n}}} = \sqrt{n} r_k$ มีช่วงวิกฤติเป็น $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α ซึ่งอาจใช้การทดสอบสถิติ r_k ที่มีช่วงวิกฤตเป็น $|r_k| \geq Z_{\alpha/2}\sqrt{\dfrac{1}{n}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r_{kk} เป็นค่าวัดลักษณะของตัวอย่างที่เป็นค่าประมาณของค่าวัดลักษณะของประชากร ρ_{kk} และ r_{kk} มีการแจกแจงใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวน $\sigma^2_{r_{kk}}$ หรือ $r_{kk} \sim N(0, \sigma^2_{r_{kk}})$ ซึ่งประมาณ $\sigma^2_{r_{kk}}$ ด้วย $S^2_{r_{kk}}$ โดย $S^2_{r_{kk}} = \frac{1}{n}$ ดังนั้น การทดสอบสมมติฐานว่า r_{kk} ที่เป็น 0 หรือไม่ เช่นเดียวกันกับการทดสอบว่า ρ_k เป็น 0 หรือไม่ ด้วยการทดสอบ

$$H_0 : \rho_{kk} = 0$$
$$H_1 : \rho_{kk} \neq 0$$

จะใช้การทดสอบสถิติ คือ r_{kk} และปฏิเสธ H_0 เมื่อ $|r_{kk}| \geq Z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{1}{n}}$

กำหนดรูปแบบ ARMA(p,q) ให้กับอนุกรมเวลา โดยการเปรียบเทียบค่า r_k และ r_{kk} จากอนุกรมเวลากับค่า ρ_k และ ρ_{kk} ของรูปแบบ โดยค่า r_k และ r_{kk} สามารถหาได้แต่อาจจะมีค่าน้อยจนสรุปได้ว่ามาจาก ρ_k และ ρ_{kk} ที่มีค่าเป็น 0 (ทรงศิริ แต้สมบัติ, 2549)

2.4.2.4 รูปแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

รูปแบบ ARMA(p,q) สำหรับอนุกรมเวลา จะมี p เป็นอันดับของ AR และ q เป็นอันดับของ MA มีจำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่รวมค่าคงที่เท่ากับ p+q รูปแบบที่เหมาะสมควรเป็นรูปแบบที่มีจำนวนพารามิเตอร์น้อยที่สุด และสามารถอธิบายการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาได้ดี (Box , George E.P., 1994)

รูปแบบ AR(p) มีรูปแบบดังสมการที่ (2.13)

$$Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \ldots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.13)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t

θ_0 คือ ค่าคงที่

ϕ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตนเอง ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,p

ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลาที่ t

p คือ อันดับที่ของการถดถอยในตนเอง

รูปแบบ MA(q) มีรูปแบบดังสมการที่ (2.14)

$$Y_t = \theta_0 + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \ldots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.14)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t

θ_0 คือ ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

θ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,q

ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลาที่ t

q คือ อันดับที่ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

รูปแบบ ARMA(p,q) มีรูปแบบดังสมการที่ (2.15)

$$Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + ... + \phi_p Y_{t-p} - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - ... - \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (2.15)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t

θ_0 คือ ค่าคงที่

ϕ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตนเอง ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,p

θ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,q

ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลาที่ t

p คือ อันดับที่ของการถดถอยในตนเอง

q คือ อันดับที่ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

รูปแบบ ARIMA(p,d,q) มีรูปแบบดังสมการที่ (2.16)

$$Z_t = \theta_0 + \phi_1 Z_{t-1} + ... + \phi_p Z_{t-p} - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - ... - \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (2.16)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t ซึ่ง $Z_t = \nabla^d Y_t$

θ_0 คือ ค่าคงที่

ϕ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตนเอง ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,p

θ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,q

ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลาที่ t

p คือ อันดับที่ของการถดถอยในตนเอง

q คือ อันดับที่ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

d คือ จำนวนครั้งของการหาผลต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบ SARIMA$(P,D,Q)_L$ มีรูปแบบดังสมการที่ (2.17)

$$Z_t = \theta_0 + \phi_{1L}Z_{t-L} + \ldots + \phi_{PL}Z_{t-PL} - \theta_{1L}\varepsilon_{t-1L} - \ldots - \theta_{QL}\varepsilon_{t-QL} + \varepsilon_t \qquad (2.17)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t

ซึ่ง $Z_t = \nabla_L^D Y_t$

θ_0 คือ ค่าคงที่

ϕ_{iL} คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตนเองในส่วนฤดูกาล ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,P

θ_{iL} คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในส่วนฤดูกาล ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,Q

ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลาที่ t

P คือ อันดับที่ของการถดถอยในตนเองในส่วนฤดูกาล

Q คือ อันดับที่ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในส่วนฤดูกาล

D คือ จำนวนครั้งของการหาผลต่างฤดูกาล

L คือ จำนวนฤดูกาลต่อปี

รูปแบบ ARIMA(p,d,q) x SARIMA$(P,D,Q)_L$ มีรูปแบบดังสมการที่ (2.18)

$$\phi_p(B)\phi_p(B^L)Z_t = \theta_0 + \theta_q(B)\theta_Q(B^L)\varepsilon_t \qquad (2.18)$$

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

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

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

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

$Z_t = (1 - B^L)^D (1 - B)^d Y_t$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t

B คือ Backward shift operator

θ_0 คือ ค่าคงที่

ϕ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตนเอง ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,p

θ_i คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,q

ϕ_{iL} คือ ค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตนเองในส่วนฤดูกาล ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

θ_{iL} คือ ค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในส่วนฤดูกาล ตัวที่ i โดยที่ i = 1,2,...,Q

ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลาที่ t

p คือ อันดับที่ของการถดถอยในตนเอง

q คือ อันดับที่ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

d คือ จำนวนครั้งของการหาผลต่าง

P คือ อันดับที่ของการถดถอยในตนเองในส่วนฤดูกาล

Q คือ อันดับที่ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในส่วนฤดูกาล

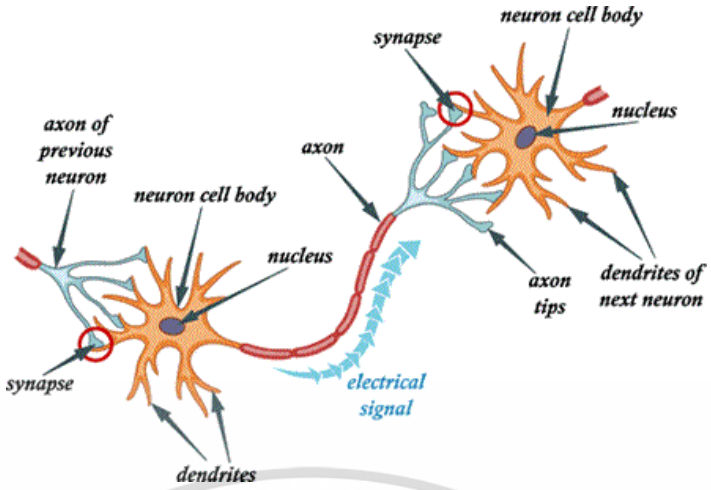
D คือ จำนวนครั้งของการหาผลต่างฤดูกาล

L คือ จำนวนฤดูกาลต่อปี

2.4.3 วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory)

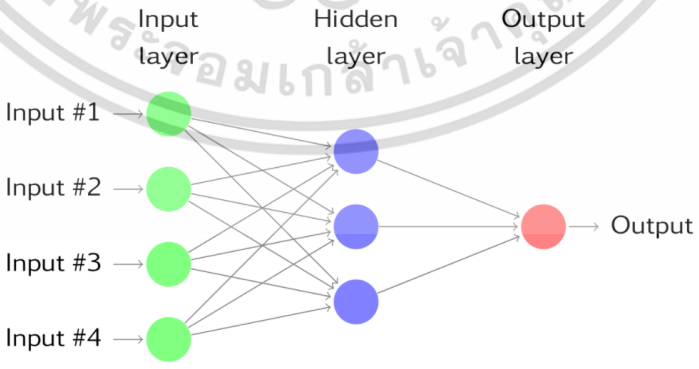
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เป็นการจำลองการทำงานที่เลียนแบบสมองของมนุษย์ เพื่อสร้างเครื่องมือที่มีความสามารถในการเรียนรู้ การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการสกัดความรู้ใหม่ (Knowledge Extraction) เหมือนกับความสามารถในสมองของมนุษย์ ที่มีลักษณะเป็นเครือข่ายไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ประกอบด้วยเซลล์ประสาท หรือนิวรอน (Neurons) และจุดประสาท (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วย ใยประสาทในการรับกระแสประสาทที่เรียกว่า เดนไดรท์ (Dendrite) และแกนประสาทในการส่งกระแสประสาทเรียกว่าแอคซอน (Axon) โดยเซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่นิวเคลียสซึ่งจะเป็นตัวตัดสินว่าจะต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอนิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอคซอน ดังรูปที่ 2.1 (รสริน โคตรเสนา และอัจฉราพรรณ ประทุมมณี, 2563)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบประสาท (Winn Voravuthikunchai, 2019)

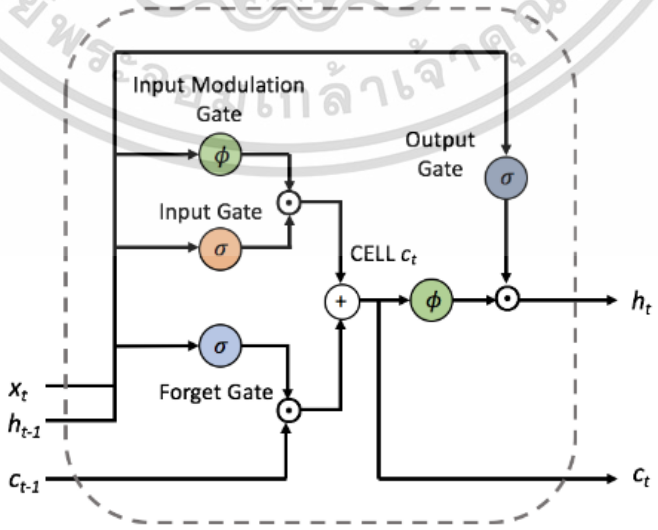
โครงข่ายประสาทเทียม จึงเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) โดยในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะสร้างการเรียนรู้เพื่อให้มีความคิดเสมือนมนุษย์ด้วยอัลกอริทึมการแพร่ย้อนกลับ (Backpropagation Algorithm) และการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมมี 2 วิธี คือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) เป็นการสอนให้คอมพิวเตอร์หาคำตอบของปัญหาได้ด้วยตัวเอง โดยมีข้อมูลและคำตอบเป้าหมาย และการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) เป็นการให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ด้วยตัวเอง โดยไม่ได้กำหนดค่าเป้าหมายของแต่ละข้อมูล ทั้งนี้ โครงข่ายประสาทเทียม จะมีส่วนประกอบพื้นฐาน 3 ชั้น (Layer) ได้แก่ ชั้นข้อมูลเข้า (Input layer) ที่มีโหนดนำเข้า (Input node) เชื่อมโยงกับชั้นซ่อน (Hidden layer) ที่ประกอบด้วย โหนดซ่อน (Hidden node) และเชื่อมโยงไปยังชั้นส่งออก (Output layer) ที่มีโหนดส่งออก (Output node) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม (Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G., 2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) เป็นโครงข่ายประสาทเทียม ที่พัฒนามาจาก Recurrent Neural Network (RNN) ซึ่งจะทำงานโดยใช้หลักการการนำผลลัพธ์ (Output) ที่ได้มาจากการคำนวณจากโหนดก่อนหน้ามาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input) สำหรับโหนดถัดไป LSTM สำหรับการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลานั้นมีจุดเริ่มต้นมาจากการใช้หลักการ Time Delayed Neural Network คือ การกำหนดค่าข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง ให้มีค่าช่วงเวลา (Lag Time) ในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบปกติ ที่จะมีลักษณะเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ซึ่งจะมีข้อจำกัดในการพิจารณาว่าต้องใช้ lag เท่าใดจึงจะมีความเหมาะสม และหากต้องการให้แบบจำลองสามารถจดจำข้อมูลในอดีตยาวนาน จะต้องใช้ค่า lag ที่มีค่ามาก ๆ จึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการจัดเตรียมข้อมูลนำเข้า จำนวนค่าน้ำหนัก (Weights) ของแบบจำลองเพิ่มตามจำนวน lag ที่กำหนด ทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำต่ำหากข้อมูลไม่เพียงพอ ดังนั้น จึงมีการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมาอีกรูปแบบหนึ่ง คือ Recurrent Neural Network (RNN) ที่ต่างจาก Time Delayed Neural Network คือ การนำผลลัพธ์ที่ได้มาจากชั้นซ่อน มาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับโหนดถัดไป ทำให้แบบจำลองสามารถจำข้อมูลในอดีตได้ แต่อย่างไรก็ตาม RNN ยังมีข้อจำกัดในการจดจำข้อมูลในอดีตจำนวนมาก ๆ หรือมีลำดับยาว ๆ หรือที่เรียกว่าปัญหา Vanishing Gradient จึงทำให้เกิดการพัฒนา RNN เป็น LSTM ที่สามารถจดจำข้อมูลในอดีตที่มีจำนวนมากยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มความจำระยะยาว (Long-term State) มีจุดเด่นคือฟังก์ชั่นพิเศษที่ทำหน้าที่เป็นประตู (Gate) ควบคุมข้อมูลแต่ละโหนดซึ่งประกอบด้วย ชั้นประตูลืม (Forget gate layer) ที่ทำหน้าที่ในการกำหนดว่าข้อมูลที่เข้ามาในเซลล์สเตรท (cell state) ควรถูกเก็บไว้หรือควรตัดทิ้งไป ชั้นประตูนำเข้า (Input gate layer) ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้ามาใหม่แล้วบันทึกลงไปในแต่ละโหนด และชั้นประตูส่งออก (Output gate layer) จะทำหน้าที่เตรียมการส่งออกข้อมูล โดยควบคุมว่าข้อมูลใดที่ควรส่งออกไปที่ผลลัพธ์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ LSTM (Sirinart, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นประตูลืม (Forget gate layer) ทำหน้าที่กำหนดว่าข้อมูลที่เข้ามาในเซลล์สเตท (cell state) ควรถูกเก็บไว้หรือควรลบข้อมูลบางส่วนทิ้ง โดยพิจารณาจากข้อมูลนำเข้าที่เข้ามาและผลลัพธ์ ที่ได้จากโหนดก่อนหน้า ผ่านไปยัง Activation function ที่ชื่อซิกมอยด์ (Sigmoid) ดังสมการที่ (2.19)

$$forget\ gate = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \tag{2.19}$$

โดยที่ σ คือ ซิกมอยด์

W_f คือ ค่าน้ำหนักของเมตริทซ์

h_{t-1} คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากเซลล์สเตทก่อนหน้า ณ เวลาที่ t – 1

x_t คือ ค่าข้อมูลนำเข้าที่เข้ามาในเซลล์สเตท ณ เวลาที่ t

b_f คือ ค่าความเอนเอียง

ชั้นประตูลืม จะให้ผลลัพธ์ที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 โดยถ้าค่าเป็น 0 จะหมายถึงให้ลบข้อมูลในเซลล์สเตทเดิมออก หากค่าเป็น 1 จะหมายถึงให้เก็บค่าเซลล์สเตรทนี้ไว้

ชั้นประตูนำเข้า (Input gate layer) ทำหน้าที่รับข้อมูลนำเข้าเข้ามาใหม่ และบันทึกข้อมูลลงไปในแต่ละโหนด ซึ่งจะแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 พิจารณาการปรับปรุงเซลล์สเตรท (update cell state) เมื่อข้อมูลนำเข้าเข้ามาผ่านฟังก์ชั่นซิกมอยด์ และส่วนที่ 2 พิจารณาการปรับปรุงเซลล์สเตรท เมื่อข้อมูลนำเข้าเข้ามาผ่านฟังก์ชั่นไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Tanh) และทำการสร้างค่าแข่งขัน (Candidate values) (C_t) ขึ้นมาในเซลล์สเตรท ดังสมการที่ (2.20) และ (2.21)

$$input\ gate = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \tag{2.20}$$

$$C_t = \phi(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \tag{2.21}$$

โดยที่ σ คือ ซิกมอยด์

C_t คือ ค่าแข่งขันของเซลล์สเตรท ณ เวลาที่ t

ϕ คือ ไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์

W_i, W_c คือ ค่าน้ำหนักของเมตริกซ์

h_{t-1} คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากเซลล์สเตรทก่อนหน้า ณ เวลาที่ t – 1

x_t คือ ค่าข้อมูลนำเข้าที่เข้ามาในเซลล์สเตรท ณ เวลาที่ t

b_i, b_c คือ ค่าความเอนเอียง

ชั้นประตูส่งออก (Output gate layer) ทำหน้าที่เตรียมการส่งออกข้อมูลโดยจะมีฟังก์ชั่นซิกมอยด์ ที่จะพิจารณาว่าข้อมูลใดในเซลล์สเตรทที่จะส่งออก และมีการส่งค่าเซลล์สเตรท ไปยังฟังก์ชั่นไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ เพื่อพิจารณาว่าค่าที่ได้จะเป็น 1 หรือ -1 แล้วจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากซิกมอยด์ จึงจะได้ค่าผลลัพธ์ ดังสมการที่ (2.22) และ (2.23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$output\ gate = \sigma(W_0 \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_0) \quad (2.22)$$

$$h_t = output\ gate \cdot \phi(C_t) \quad (2.23)$$

โดยที่ σ คือ ซิกมอยด์

ϕ คือ ไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์

C_t คือ ค่าแข่งขันของเซลล์สเตรท ณ เวลาที่ t

W_0 คือ ค่าน้ำหนักของเมตริกซ์

h_{t-1} คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากเซลล์สเตรทก่อนหน้า ณ เวลาที่ t – 1

x_t คือ ค่าข้อมูลนำเข้าที่เข้ามาในเซลล์สเตรท ณ เวลาที่ t

b_0 คือ ค่าความเอนเอียง

h_t คือ ค่าผลลัพธ์

ค่าผลลัพธ์ที่ได้จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้ของโหนดนั้น ๆ กับค่าผลลัพธ์ ที่ส่งไปเป็นข้อมูลนำเข้าของโหนดถัดไป (Christopher Olah, 2015)

2.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์

การวิจัยนี้ ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบการพยากรณ์แต่ละวิธี ด้วยการวัดความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริง (Y_t) กับค่าพยากรณ์ $(\hat{Y}_t)$ ด้วยวิธีการทางสถิติ โดยในการพิจารณาคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม ใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) นอกจากนั้น ในการวัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบที่เหมาะสม ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) เพื่อดูว่าค่าพยากรณ์ $(\hat{Y}_t)$ ใกล้เคียงกับค่าจริง (Y_t) เพียงใด ดังนี้

1. ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) ดังสมการที่ (2.24)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} e_t^2} \quad (2.24)$$

2. ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ดังสมการที่ (2.25)

$$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{e_t}{Y_t}\right| \quad (2.25)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกต ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n คือ จำนวนค่าสังเกตของอนุกรมเวลา

e_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

ซึ่ง $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งออกและนำเข้าสินค้าของประเทศไทย รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method) วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) โดยเฉพาะการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory)

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งออก

ปิยมาภรณ์ รอดบาง (2549) ทำการศึกษาการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกปลาทูน่ากระป๋อง โดยวิธีอารีมา โดยข้อมูลมีลักษณะเป็นข้อมูลรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2534 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549 จำนวน 185 ค่า จากการศึกษาพบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลดังกล่าวนี้ คือ ตัวแบบ AR(1) AR(2) SAR(12) SMA(12)

นิฉา แก้วหาวงษ์ (2556) ทำการเปรียบเทียบตัวแบบ Pegels, ARIMA และตัวแบบผสม Pegels-ARIMA ในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกมะม่วงของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 จำนวน 120 ค่า โดยพบว่าตัวแบบผสม Pegels-ARIMA มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกมะม่วงของประเทศไทยมากที่สุด

วรางคณา กีรติวิบูลย์ (2557) ทำการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกต้นกล้วยไม้ ที่เป็นข้อมูลรายเดือน จำนวน 187 ค่า ตั้งแต่เดือนมกราคม 2541 ถึงเดือนกรกฎาคม 2556 ด้วยวิธีวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์ ผลการวิจัยพบว่า วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

สุรีรัตน์ อนุเพ็ญ และคณะ (2564) ศึกษาการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกน้ำยางข้น โดยการเปรียบเทียบด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยศึกษากับมูลค่าการส่งออกน้ำยางข้นตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิถุนายน พ.ศ. 2563 เพื่อพยากรณ์หามูลค่าการส่งออกน้ำยางข้นในเดือนถัดไป และพบว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลดังกล่าวมากที่สุด

อุรชา จันทรภา และนันทชัย กานตานันทะ (2564) ศึกษาการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบของประเทศไทยด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ และวิธี SARIMA ใช้ข้อมูลจำนวน 144 เดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ผลการศึกษาพบว่าวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์มีความเหมาะสมและมีความแม่นยำในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และชิ้นส่วนของประเทศไทยมากกว่าวิธี SARIMA

เพชรรัตน์ เหมือนเพชร และรวิพิมพ์ ฉวีสุข (2564) ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแท่ง (STR) ของประเทศไทยด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา ที่เป็นข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 72 ค่า ด้วยวิธีปรับให้เรียบ Simple Exponential Smoothing Method, Double Exponential Smoothing Method และDamped Exponential Smoothing Method วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบส่งถ่ายข้อมูลย้อนกลับ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองบ็อกซ์-เจนกินส์ ARIMA (1,1,2) มีความเหมาะสมในการพยากรณ์มากที่สุด

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเข้า

สุกัญญา ยองประยูร และพรธิภา องค์คุณารักษ์ (2553) ทำการศึกษาหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการนำเข้ากุ้งขาวแช่แข็งของประเทศสหรัฐอเมริกาและปริมาณการส่งออกกุ้งแช่แข็งของไทยไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยเทคนิควิเคราะห์อนุกรมเวลา จากการศึกษาพบว่าวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมในการพยากรณ์การนำเข้ากุ้งของประเทศสหรัฐอเมริกาในปี พ.ศ. 2553 มากที่สุด คือ วิธีปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบคูณ และวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกุ้งแช่แข็งของประเทศไทยไปยังสหรัฐอเมริกามากที่สุด คือ วิธีปรับให้เรียบฤดูกาลแบบคูณ

ภรณ์ทิพย์ จันทร์แดง (2560) ได้ศึกษาการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าและการส่งออกชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จังหวัดลำพูน โดยวิธีอารีแมกซ์ การศึกษาพบว่าแบบจำลอง ARIMAX(6,1,9) เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาของมูลค่าการนำเข้าชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จังหวัดลำพูน ซึ่งตัวแปรอัตราเงินเฟ้อ มีผลต่อมูลค่าการนำเข้าอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และแบบจำลองนี้มีค่า MSE เท่ากับ 98.170 ค่า RMSE เท่ากับ 9.908 และค่า MAPE เท่ากับ 8.5379

Tello A., Izquierdo และคณะ (2562) ได้ศึกษาการคาดการณ์ข้อมูลการนำเข้าเครื่องใช้ในบ้านของเอกวาดอร์ ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Long Short-Term Memory (LSTM) โดยเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี ARIMA และทำการเพิ่มตัวแปรการเติบโตของ GDP ประชากร และอัตราเงินเฟ้อ เข้ามาในแบบจำลองเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลอง และเปรียบเทียบค่า MSE RMSE และ MAE ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง LSTM คาดการณ์ข้อมูลนำเข้าเครื่องใช้ในบ้านได้ดีกว่าแบบจำลอง ARIMA นอกจากนี้ การใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบพหุตัวแปร ได้แก่ การเติบโตของ GDP ประชากร และอัตราเงินเฟ้อ ในแบบจำลอง LSTM ไม่ทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ไม่มีตัวแปรเพิ่ม

ภีมฟ้า รัศมีเนตร และคณะ (2564) ทำการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการนำเข้ากาแฟของประเทศไทย ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ผลการศึกษาเชิงประจักษ์ พบว่าตัวแบบที่เหมาะสมต่อการพยากรณ์มากที่สุด คือ SARIMA$(0,1,2)(0,1,1)_{12}$

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

ธนิศเชษฐ์ คำศรีสุข (2562) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านสำหรับบ้านอัจฉริยะ ด้วยวิธีการทำเหมืองข้อมูล โดยสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับวางแผนลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน คือ แบบจำลอง Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) และแบบจำลอง Recurrent Neural Network (RNN) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าการพยากรณ์ข้อมูลด้วยแบบจำลอง ARIMA รายชั่วโมง วัน สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.160 0.076 และ 0.179 ตามลำดับ ส่วนการพยากรณ์เฉพาะข้อมูลรายวันด้วยแบบจำลอง RNN มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.349 ซึ่งแบบจำลอง ARIMA มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรายวันดีที่สุด

วิชญา กัลยา และภวัต ภักดิ์ศรานุวัต (2562) ศึกษาการพยากรณ์ราคาปิดของบิทคอยน์โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Recurrent Neural Network และแบบ Long Short – Term Memory ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 โดยใช้ข้อมูลราคาปิดรายวันของบิทคอยน์ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2562 รวมทั้งสิ้น 786 วัน แบ่งข้อมูลเป็นชุดฝึกฝน 70% สำหรับสร้างตัวแบบ และชุดทดสอบ 30% สำหรับตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบ จากนั้นเปรียบเทียบตัวแบบด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Root Mean Square Error: RMSE) ผลการศึกษาพบว่าเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบ LSTM มีค่า RMSE ต่ำกว่า มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ดีกว่าวิธี RNN

กานต์กมล ทวีผล (2562) ทำการศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกสำหรับการทำนายปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง PM 2.5 บริเวณพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครชั้นในโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบ Long Short-Term Memory (LSTM) และอนุกรมเวลา SARIMAX โดยใช้ข้อมูลรายชั่วโมง ตั้งแต่ปี 2017 ถึงปี 2018 ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ LSTM ให้ค่า RMSE และ MAE ที่ดีกว่าแบบจำลอง SARIMAX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า และมูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย จากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร กระทรวงการคลัง เป็นข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จำนวน 201 ค่า

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

แบ่งข้อมูลอนุกรมเวลาทั้งสอง ออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 192 ค่า ใช้ในการสร้างและคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ และชุดที่ 2 ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จำนวน 9 ค่า ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบการพยากรณ์ จากนั้น นำข้อมูลชุดที่ 1 มาพล็อตกราฟเพื่อดูแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล พบว่าอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า และมูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย มีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล จึงเลือกใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory) ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์

3.3 สร้างตัวแบบการพยากรณ์

3.3.1 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method: HWS)

ผู้วิจัยสร้างตัวแบบการพยากรณ์ของอนุกรมเวลาทั้งสอง ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้น โดยนำข้อมูลอนุกรมเวลาชุดที่ 1 มาทำการประมาณค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_1(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ในการพยากรณ์รูปแบบบวกและรูปแบบคูณ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ 24, 36, 48 และ 60 เดือน หาสมการแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลเป็นค่าเริ่มต้น ด้วยโปรแกรม Minitab 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ใช้โมดูล Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel ในการปรับค่าพารามิเตอร์ α, γ และ δ ที่ทำให้สมการพยากรณ์มีค่า RMSE ต่ำที่สุด

3.3.2 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method)

วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์นี้ ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม Minitab 17 ในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาทั้งสอง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาอนุกรมเวลาของข้อมูลชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 192 ค่า ว่าลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามีความคงที่หรือไม่ ซึ่งพบว่าอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า และมูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย มีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลจึงทำการแปลงอนุกรมเวลาให้มีความคงที่โดยการหาผลต่าง 1 ครั้ง และหาผลต่างฤดูกาล 1 ครั้ง สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาทั้งสอง

ขั้นตอนที่ 2 จากอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ที่มีความคงที่แล้ว กำหนดตัวแบบให้กับอนุกรมเวลาโดยอนุกรมเวลาทั้งสอง มีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล จึงเลือกกำหนดตัวแบบ ARIMA (p,d,q) x SARIMA $(P,D,Q)_L$ โดยพิจารณาจากคอเรลโรแกรมของ ACF และ PACF

ขั้นตอนที่ 3 ประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ ดังนี้

1. ตรวจสอบว่าค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบมีค่าเป็น 0 หรือไม่ โดยการทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \theta = 0$ กับ $H_1 : \theta \neq 0$ โดยใช้สถิติทดสอบ $Z = \hat{\theta} / S_{\hat{\theta}}$ และปฏิเสธ H_0 เมื่อ $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α =0.01

2. ตรวจสอบว่า $\rho_k(e_t) = 0$ สำหรับ k = 1,...,m หรือไม่ โดยพิจารณาว่าค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่อยู่ห่างกัน 1,...,m ช่วงเวลาเป็นอิสระกันหรือไม่ ใช้การทดสอบของ Box และ Ljung สมมติฐานทดสอบ $H_0 : \rho_1(e_t) = ... = \rho_m(e_t) = 0$ และ $H_1 : \rho_1(e_t)$ อย่างน้อยหนึ่งค่าไม่เท่ากับ 0 สำหรับ k=1,...,m

3. ตรวจสอบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบมีการแจกแจงปกติหรือไม่ โดยแบบทดสอบ Anderson-Darling สมมติฐานการทดสอบ คือ

H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory: LSTM)

งานวิจัยนี้ สร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (LSTM) สำหรับอนุกรมเวลาทั้งสองด้วยภาษา Python โดยใช้ Library Keras และใช้โมเดลใน Keras ชื่อ Sequential สำหรับการสร้างโครงสร้างของประสาทเทียม และเพิ่ม layer ต่างๆ ในโครงสร้าง ประกอบด้วย LSTM และ Dense รันในโปรแกรม Jupyter Notebook โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำข้อมูลอนุกรมเวลาชุดที่ 1 จำนวน 192 ค่า สร้างโครงข่ายประสาทเทียม โดยกำหนดชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม (Training Set) โดยใช้ข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นจำนวน 134 เดือน ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม (Testing Set) โดยใช้ข้อมูล 30 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นจำนวน 58 เดือน

ขั้นตอนที่ 2 แบ่งข้อมูลทั้งชุดฝึกฝนและชุดทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลนำเข้า (Input) และข้อมูลส่งออก (Output) โดยทดลองกำหนดข้อมูลนำเข้า เท่ากับ 12, 13, 14, และ 15 โหนด เนื่องจากอนุกรมเวลาทั้งสอง มีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล จึงกำหนดค่าข้อมูลนำเข้าที่แสดงให้เห็นแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล และกำหนดข้อมูลส่งออก เท่ากับ 1 โหนด แทนค่าพยากรณ์ 1 หน่วยเวลาล่วงหน้า (นฤดล พิทักษ์วิทยกูล, 2563)

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับ LSTM ด้วยอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) เท่ากับ 0.001 ค่าโมเมนตัม (Momentum) เท่ากับ 0.9 ตามค่าเริ่มต้นของ Adam หรือ Optimizer ที่ทำหน้าที่ลดความคลาดเคลื่อนในการฝึกฝน และช่วยให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น (Diederik P. Kingma & Jimmy Lei Ba, 2015) กำหนดขนาดของรายการข้อมูล (Batch size) เท่ากับ 1 เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนไม่มากนัก และทำการหาค่า Hidden neuron และจำนวนรอบการเรียนรู้ (Epochs) ที่เหมาะสมสำหรับ LSTM โดยเริ่มทดสอบด้วยการกำหนด Hidden neuron ตั้งแต่ 2 - 13 โหนด และ Epochs ตั้งแต่ 100, 200, 300, 400 และ 500 รอบ เนื่องจากไม่มีกฎที่แน่นอนว่าชุดข้อมูลใด ต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์อย่างไรบ้าง ดังนั้น จึงใช้หลักการโดยการทดสอบกำหนดค่าต่าง ๆ แล้วพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้ (Trial and Error) ว่ามีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด จึงเลือกใช้ค่าที่ดีที่สุด (กอบเกียรติ สระอุบล, 2563)

ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาคัดเลือกตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว โดยพิจารณาเลือก RMSE ของชุดฝึกฝนและชุดทดสอบที่ต่ำที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม

การคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสม จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 3 วิธี ด้วยการวัดความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริง (Y_t) กับค่าพยากรณ์ $(\hat{Y}_t)$ ของตัวแบบจากข้อมูลชุดที่ 1 โดยเลือกตัวแบบที่ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) ต่ำที่สุด

3.5 ทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบที่เหมาะสม

ตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบที่เหมาะสม โดยนำตัวแบบที่เลือกไปพยากรณ์ข้อมูลล่วงหน้า 9 เดือน และเปรียบเทียบกับข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 พิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ระหว่างค่าพยากรณ์กับข้อมูลชุดที่ 2

3.6 สรุปผลการวิจัย

ทำการสรุปผลการสร้างตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย จากทั้ง 3 วิธี และทำการคัดเลือกตัวแบบที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด เป็นตัวแบบที่เหมาะสมกับการพยากรณ์ และตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบที่เหมาะสมด้วยค่า MAPE ว่าค่าพยากรณ์มีความใกล้เคียงกับค่าจริงเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ทำการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method) วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory Neural Networks) โดยในบทนี้ จะนำเสนอผลการสร้างตัวแบบการพยากรณ์และหาตัวแบบที่เหมาะสม

4.1 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method)

การสร้างตัวแบบการพยากรณ์ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ โดยกำหนดค่าเริ่มต้นจากการนำอนุกรมเวลาชุดที่ 1 มาทำการประมาณค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_1(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ในการพยากรณ์รูปแบบบวกและรูปแบบคูณ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ 24, 36, 48 และ 60 เดือน หาสมการแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลที่เป็นค่าเริ่มต้น ด้วยโปรแกรม Minitab 17 จากนั้นใช้โมดูล Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel ในการปรับค่าพารามิเตอร์ α, γ และ δ ที่ทำให้สมการพยากรณ์มีค่า RMSE ต่ำที่สุด

4.1.1 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าประมาณพารามิเตอร์และค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า

ค่าสังเกตเริ่มต้น	รูปแบบการพยากรณ์	α	γ	δ	RMSE
24	รูปแบบบวก	0.7071	0.0000	0.4173	4118.17
	รูปแบบคูณ	0.5789	0.0000	0.7029	4303.69
36	**รูปแบบบวก**	**0.8210**	**0.0000**	**0.2529**	**3697.96**
	รูปแบบคูณ	0.8523	0.0000	0.7786	3892.27
48	รูปแบบบวก	0.8253	0.0000	0.2481	3851.76
	รูปแบบคูณ	0.4100	0.0000	0.6976	4672.54
60	รูปแบบบวก	0.7981	0.0000	0.5929	3716.52
	รูปแบบคูณ	**0.8301**	**0.0000**	**1.0000**	**3811.19**

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการสร้างตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก ที่กำหนดค่าเริ่มต้นจากค่าสังเกต 36 ค่า ให้ RMSE ต่ำที่สุด เท่ากับ 3697.96 มีค่าปรับน้ำหนักที่เหมาะสม คือ α เท่ากับ 0.8210 γ เท่ากับ 0.0000 และ δ เท่ากับ 0.2529 ส่วนการสร้างตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ ที่กำหนดค่าเริ่มต้นจากค่าสังเกต 60 ค่า ให้ RMSE ต่ำที่สุด เท่ากับ 3811.19 มีค่าปรับน้ำหนักที่เหมาะสม คือ α เท่ากับ 0.8301 γ เท่ากับ 0.0000 และ δ เท่ากับ 1.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก ตั้งแต่ t=181-192 โดยค่าเริ่มต้นคำนวณจากค่าสังเกต 36 ค่าแรก ค่าปรับน้ำหนัก คือ $\alpha = 0.8210$, $\gamma = 0.0000$ และ $\delta = 0.2529$

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$
2563	ม.ค.	181	59,079.41	58,173.38	63,635.31	181.70	63,817.01	**-4677.09**	61,653.65
	ก.พ.	182	60,827.97	61,653.65	63,139.16	181.70	63,320.86	**-2200.75**	70,306.43
	มี.ค.	183	68,964.28	70,306.43	62,219.01	181.70	62,400.71	**6924.79**	59,102.61
	เม.ย.	184	51,476.10	59,102.61	56,139.70	181.70	56,321.40	**-3643.48**	59,335.77
	พ.ค.	185	46,903.26	59,335.77	46,114.88	181.70	46,296.58	**2451.35**	48,528.35
	มิ.ย.	186	54,115.04	48,528.35	50,882.99	181.70	51,064.69	**2484.77**	51,499.43
	ก.ค.	187	57,028.66	51,499.43	55,603.94	181.70	55,785.64	**685.13**	56,950.44
	ส.ค.	188	61,904.87	56,950.44	59,852.99	181.70	60,034.69	**1389.17**	62,773.98
	ก.ย.	189	68,033.40	62,773.98	64,352.44	181.70	64,534.14	**2977.47**	64,478.43
	ต.ค.	190	68,073.01	64,478.43	67,485.12	181.70	67,666.82	**107.08**	65,135.39
	พ.ย.	191	65,451.87	65,135.39	67,926.64	181.70	68,108.34	**-2517.10**	63,563.73
	ธ.ค.	192	66,352.86	63,563.73	**70,398.09**	**181.70**	70,579.79	**-4418.30**	65,902.70

(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)

สามารถเขียนตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก ได้ดังสมการ

$$\hat{Y}_{192+p} = 70,398.09 + 181.70p + \hat{S}_i \quad \text{สำหรับ} \quad p = 1, 2, \ldots$$

(origin ที่เดือนธันวาคม ปี 2547, t มีหน่วยเป็นเดือน)

ซึ่ง $\hat{S}_1 = -4677.09$ $\hat{S}_2 = -2200.75$ $\hat{S}_3 = 6924.79$ $\hat{S}_4 = -3643.48$

$\hat{S}_5 = 2451.35$ $\hat{S}_6 = 2484.77$ $\hat{S}_7 = 685.13$ $\hat{S}_8 = 1389.17$

$\hat{S}_9 = 2977.47$ $\hat{S}_{10} = 107.08$ $\hat{S}_{11} = -2517.10$ $\hat{S}_{12} = -4418.30$

เนื่องจากผลรวมของค่าดัชนีฤดูกาลไม่เท่ากับ 0 หรือ $\sum_{i=1}^{12} \hat{S}_i \neq 0$ จึงทำการแปลงค่าดัชนีฤดูกาลใหม่ให้มีผลรวมเท่ากับ 0 โดย แปลงค่า $\hat{S}_i(t)$ เป็น $\hat{S}_i^*(t)$

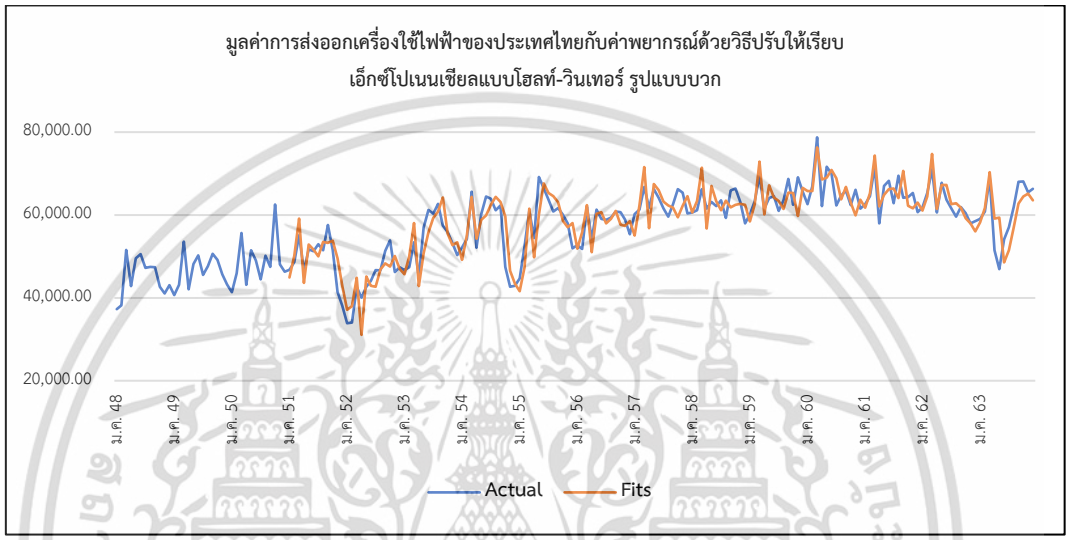
จาก $\hat{S}_i^*(t) = \hat{S}_i(t) - \bar{S}$ และทำการแปลง $\hat{T}_t(t)$ เป็น $\hat{T}_t^*(t)$ จาก $\hat{T}_t^*(t) = \hat{T}_t(t) + \bar{S}$ จะได้สมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{Y}_{192+p} = 70,361.67 + 181.70p + \hat{S}_i^* \quad \text{สำหรับ} \quad p = 1,2,...$$

(origin ที่เดือนธันวาคม ปี 2547, t มีหน่วยเป็นเดือน)

ซึ่ง $\hat{S}_1^* = -4640.68$ $\hat{S}_2^* = -2164.33$ $\hat{S}_3^* = 6961.20$ $\hat{S}_4^* = -3607.07$
$\hat{S}_5^* = 2487.77$ $\hat{S}_6^* = 2521.18$ $\hat{S}_7^* = 721.55$ $\hat{S}_8^* = 1425.58$
$\hat{S}_9^* = 3013.88$ $\hat{S}_{10}^* = 143.49$ $\hat{S}_{11}^* = -2480.68$ $\hat{S}_{12}^* = -4381.89$



รูปที่ 4.1 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ ตั้งแต่ t=181-192 โดยค่าเริ่มต้นคำนวณจากค่าสังเกต 60 ค่าแรก ค่าปรับน้ำหนัก คือ $\alpha = 0.8301$, $\gamma = 0.0000$ และ $\delta = 1.0000$

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$
2563	ม.ค.	181	59,079.41	57812.84	63763.53	19.30	63782.83	**0.9265**
	ก.พ.	182	60,827.97	61281.86	63390.69	19.30	63409.99	**0.9596**
	มี.ค.	183	68,964.28	68586.42	63699.97	19.30	63719.27	**1.0826**
	เม.ย.	184	51,476.10	59296.43	56743.58	19.30	56762.88	**0.9072**
	พ.ค.	185	46,903.26	59643.52	46698.22	19.30	46717.52	**1.0044**
	มิ.ย.	186	54,115.04	48320.45	51367.93	19.30	51387.23	**1.0535**
	ก.ค.	187	57,028.66	51131.26	56307.04	19.30	56326.34	**1.0128**
	ส.ค.	188	61,904.87	57325.46	60061.36	19.30	60080.66	**1.0307**
	ก.ย.	189	68,033.40	62496.93	64498.69	19.30	64517.99	**1.0548**
	ต.ค.	190	68,073.01	65870.74	66308.50	19.30	66327.80	**1.0266**
	พ.ย.	191	65,451.87	66761.43	65247.83	19.30	65267.13	**1.0031**
	ธ.ค.	192	66,352.86	60978.62	**70041.91**	**19.30**	70061.21	**0.9473**

(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)

สามารถเขียนตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ ได้ดังสมการ

$$\hat{Y}_{192+p} = (70,041.91 + 19.30p)\hat{S}_i \text{ สำหรับ } p = 1,2,...$$

(origin ที่เดือนธันวาคม ปี 2547, t มีหน่วยเป็นเดือน)

ซึ่ง $\hat{S}_1 = 0.9265$ $\hat{S}_2 = 0.9596$ $\hat{S}_3 = 1.0826$ $\hat{S}_4 = 0.9072$

$\hat{S}_5 = 1.0044$ $\hat{S}_6 = 1.0535$ $\hat{S}_7 = 1.0128$ $\hat{S}_8 = 1.0307$

$\hat{S}_9 = 1.0548$ $\hat{S}_{10} = 1.0266$ $\hat{S}_{11} = 1.0031$ $\hat{S}_{12} = 0.9473$

เนื่องจากผลรวมของค่าดัชนีฤดูกาลไม่เท่ากับ 12 หรือ $\sum_{i=1}^{12} \hat{S}_i \neq 12$ จึงทำการแปลงค่าดัชนีฤดูกาลใหม่ให้มีผลรวมเท่ากับ 12 โดย แปลงค่า $\hat{S}_i(t)$ เป็น $\hat{S}_i^*(t)$

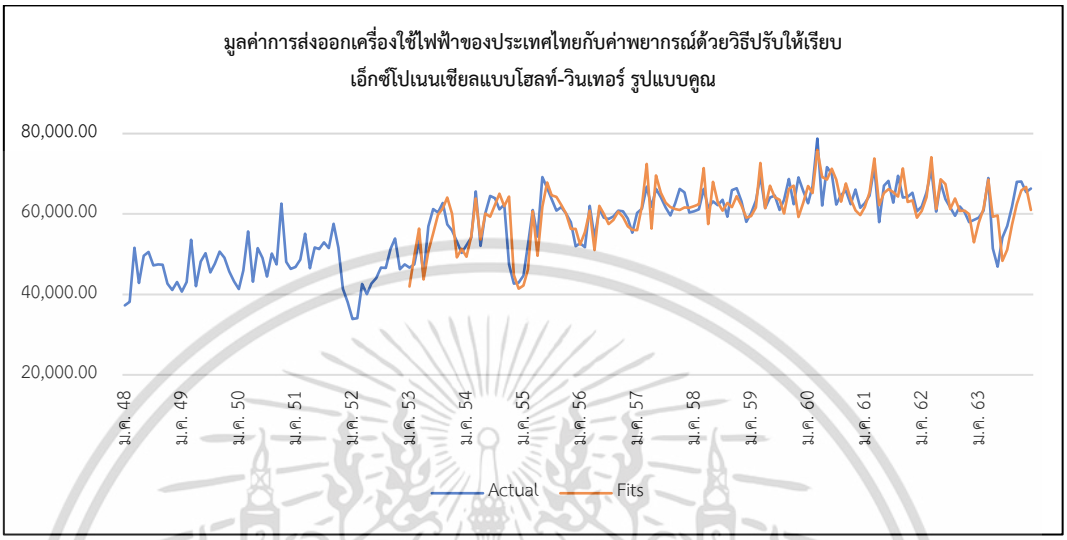
จาก $\hat{S}_i^*(t) = \frac{\hat{S}_i(t)}{\overline{S}}$ และทำการแปลง $\hat{T}_t(t)$ เป็น $\hat{T}_t^*(t)$ จาก $\hat{T}_t^*(t) = \overline{S}\hat{T}_t(t)$ จะได้สมการต่อไปนี้

$$\hat{Y}_{192+p} = (70,095.46 + 19.31p)\hat{S}_i^* \text{ สำหรับ } p = 1,2,...$$

(origin ที่เดือนธันวาคม ปี 2547, t มีหน่วยเป็นเดือน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง $\hat{S}_1^* = 0.9258$ $\hat{S}_2^* = 0.9588$ $\hat{S}_3^* = 1.0818$ $\hat{S}_4^* = 0.9065$
$\hat{S}_5^* = 1.0036$ $\hat{S}_6^* = 1.0527$ $\hat{S}_7^* = 1.0120$ $\hat{S}_8^* = 1.0299$
$\hat{S}_9^* = 1.0540$ $\hat{S}_{10}^* = 1.0258$ $\hat{S}_{11}^* = 1.0024$ $\hat{S}_{12}^* = 0.9466$



รูปที่ 4.2 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ

4.1.2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ ของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

ตารางที่ 4.4 ค่าประมาณพารามิเตอร์และค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า

ค่าสังเกตเริ่มต้น	รูปแบบการพยากรณ์	α	γ	δ	RMSE
24	**รูปแบบบวก**	**0.0705**	**0.0843**	**0.3685**	**2223.29**
	รูปแบบคูณ	**0.0716**	**0.0706**	**0.4028**	**2262.65**
36	รูปแบบบวก	0.0416	0.1339	0.3691	2314.21
	รูปแบบคูณ	0.0420	0.1170	0.4158	2378.07
48	รูปแบบบวก	0.0355	0.2298	0.3623	2303.77
	รูปแบบคูณ	0.0421	0.1690	0.4043	2358.23
60	รูปแบบบวก	0.0959	0.0963	0.3865	2483.18
	รูปแบบคูณ	0.1204	0.0525	0.4385	2572.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการสร้างตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก ที่กำหนดค่าเริ่มต้นจากค่าสังเกต 24 ค่า ให้ RMSE ต่ำที่สุด เท่ากับ 2223.29 มีค่าปรับน้ำหนักที่เหมาะสม คือ α เท่ากับ 0.0705 γ เท่ากับ 0.0843 และ δ เท่ากับ 0.3685 ส่วนการสร้างตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์–วินเทอร์ รูปแบบคูณ ที่กำหนดค่าเริ่มต้นจากค่าสังเกต 24 ค่า ให้ RMSE ต่ำที่สุด เท่ากับ 2262.65 มีค่าปรับน้ำหนักที่เหมาะสม คือ α เท่ากับ 0.0716 γ เท่ากับ 0.0706 และ δ เท่ากับ 0.4028

ตารางที่ 4.5 ผลการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก ตั้งแต่ t=181-192 โดยค่าเริ่มต้นคำนวณจากค่าสังเกต 24 ค่าแรก ค่าปรับน้ำหนัก คือ $\alpha = 0.0705$, $\gamma = 0.0843$ และ $\delta = 0.3685$

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$
2563	ม.ค.	181	19144.95	20857.68	19469.64	-45.20	19424.43	**680.61**	16523.76
	ก.พ.	182	11699.96	16523.76	19084.47	-73.86	19010.62	**-4553.16**	19393.10
	มี.ค.	183	18050.87	19393.10	18916.02	-81.83	18834.19	**-77.33**	17765.17
	เม.ย.	184	14828.09	17765.17	18627.20	-99.27	18527.93	**-2075.18**	18630.29
	พ.ค.	185	17125.79	18630.29	18421.90	-108.21	18313.69	**-413.03**	15692.74
	มิ.ย.	186	18534.86	15692.74	18513.99	-91.33	18422.66	**-1647.32**	14791.45
	ก.ค.	187	19089.64	14791.45	18725.58	-65.80	18659.78	**-2158.78**	15294.63
	ส.ค.	188	18006.05	15294.63	18850.87	-49.69	18801.17	**-2436.30**	15398.79
	ก.ย.	189	14793.78	15398.79	18758.54	-53.29	18705.25	**-3609.64**	21711.42
	ต.ค.	190	13958.97	21711.42	18158.89	-99.33	18059.55	**350.41**	23187.48
	พ.ย.	191	25973.05	23187.48	18255.87	-82.79	18173.08	**6082.18**	18860.81
	ธ.ค.	192	22410.26	18860.81	**18423.23**	**-61.71**	18361.52	**1903.66**	19042.13

(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)

สามารถเขียนตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก ได้ดังสมการ

$$\hat{Y}_{192+p} = 18,423.23 - 61.71p + \hat{S}_i \text{ สำหรับ } p = 1,2,...$$

(origin ที่เดือนธันวาคม ปี 2547, t มีหน่วยเป็นเดือน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง $\hat{S}_1 = 680.61$ $\hat{S}_2 = -4553.16$ $\hat{S}_3 = -77.33$ $\hat{S}_4 = -2075.18$
$\hat{S}_5 = -413.03$ $\hat{S}_6 = -1647.32$ $\hat{S}_7 = -2158.78$ $\hat{S}_8 = -2436.30$
$\hat{S}_9 = -3609.64$ $\hat{S}_{10} = 350.41$ $\hat{S}_{11} = 6082.18$ $\hat{S}_{12} = 1903.66$

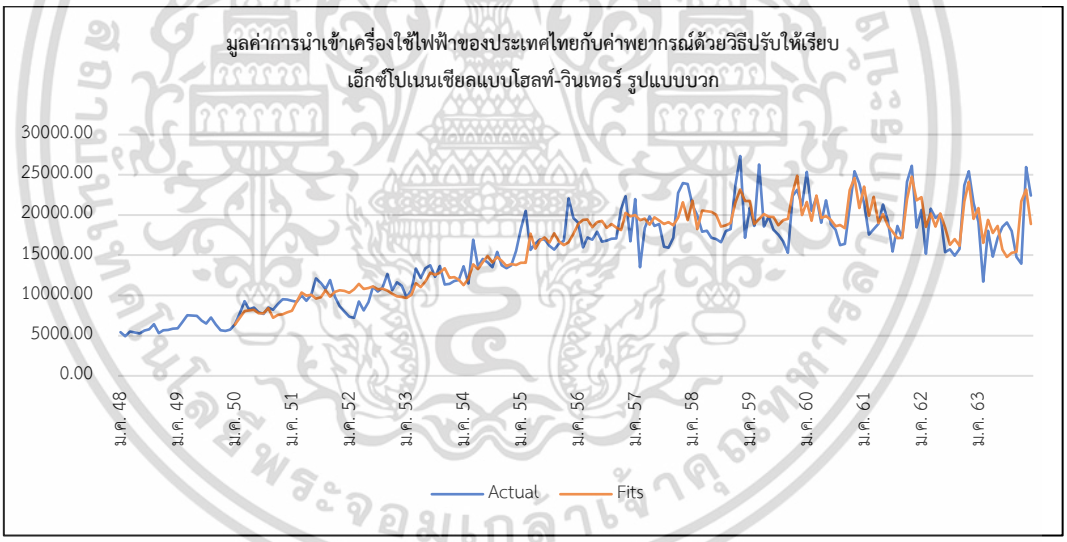
เนื่องจากผลรวมของค่าดัชนีฤดูกาลไม่เท่ากับ 0 หรือ $\sum_{i=1}^{12} \hat{S}_i \neq 0$ จึงทำการแปลงค่าดัชนีฤดูกาลใหม่ให้มีผลรวมเท่ากับ 0 โดย แปลงค่า $\hat{S}_i(t)$ เป็น $\hat{S}_i^*(t)$

จาก $\hat{S}_i^*(t) = \hat{S}_i(t) - \bar{S}$ และทำการแปลง $\hat{T}_t(t)$ เป็น $\hat{T}_t^*(t)$ จาก $\hat{T}_t^*(t) = \hat{T}_t(t) + \bar{S}$ จะได้สมการต่อไปนี้

$$\hat{Y}_{192+p} = 17,760.41 - 61.71p + \hat{S}_i^* \quad \text{สำหรับ} \quad p = 1,2,...$$

(origin ที่เดือนธันวาคม ปี 2547, t มีหน่วยเป็นเดือน)

ซึ่ง $\hat{S}_1^* = 1343.43$ $\hat{S}_2^* = -3890.34$ $\hat{S}_3^* = 585.50$ $\hat{S}_4^* = -1412.35$
$\hat{S}_5^* = 249.79$ $\hat{S}_6^* = -984.50$ $\hat{S}_7^* = -1495.96$ $\hat{S}_8^* = -1773.48$
$\hat{S}_9^* = -2946.82$ $\hat{S}_{10}^* = 1013.24$ $\hat{S}_{11}^* = 6745.00$ $\hat{S}_{12}^* = 2566.49$



รูปที่ 4.3 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ t=181-192 โดยค่าเริ่มต้นคำนวณจากค่าสังเกต 24 ค่าแรก ค่าปรับน้ำหนัก คือ $\alpha = 0.0716$, $\gamma = 0.0706$ และ $\delta = 0.4028$

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$
2563	ม.ค.	181	19144.95	20784.65	19299.47	-40.40	19259.07	**1.0391**
	ก.พ.	182	11699.96	16512.62	18857.13	-68.76	18788.37	**0.7619**
	มี.ค.	183	18050.87	19314.33	18700.37	-74.97	18625.40	**1.0027**
	เม.ย.	184	14828.09	17823.45	18401.26	-90.78	18310.48	**0.8961**
	พ.ค.	185	17125.79	18599.01	18206.63	-98.11	18108.52	**0.9855**
	มิ.ย.	186	18534.86	15796.99	18333.25	-82.25	18251.00	**0.9282**
	ก.ค.	187	19089.64	15011.56	18606.04	-57.20	18548.83	**0.9045**
	ส.ค.	188	18006.05	15490.69	18764.51	-41.99	18722.52	**0.8853**
	ก.ย.	189	14793.78	15617.94	18651.77	-46.98	18604.79	**0.8177**
	ต.ค.	190	13958.97	21719.75	18128.77	-80.56	18048.21	**1.0073**
	พ.ย.	191	25973.05	22992.34	18215.75	-68.74	18147.01	**1.3351**
	ธ.ค.	192	22410.26	18988.71	**18381.15**	**-52.22**	18328.93	**1.1160**

(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)

สามารถเขียนตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ ได้ดังสมการ

$$\hat{Y}_{192+p} = (18{,}381.15 - 52.22p)\hat{S}_i \quad \text{สำหรับ } p = 1,2,...$$

(origin ที่เดือนธันวาคม ปี 2547, t มีหน่วยเป็นเดือน)

ซึ่ง $\hat{S}_1 = 1.0391$ $\hat{S}_2 = 0.7619$ $\hat{S}_3 = 1.0027$ $\hat{S}_4 = 0.8961$

$\hat{S}_5 = 0.9855$ $\hat{S}_6 = 0.9282$ $\hat{S}_7 = 0.9045$ $\hat{S}_8 = 0.8853$

$\hat{S}_9 = 0.8177$ $\hat{S}_{10} = 1.0073$ $\hat{S}_{11} = 1.3351$ $\hat{S}_{12} = 1.1160$

เนื่องจากผลรวมของค่าดัชนีฤดูกาลไม่เท่ากับ 12 หรือ $\sum_{i=1}^{12} \hat{S}_i \neq 12$ จึงทำการแปลงค่าดัชนีฤดูกาลใหม่ให้มีผลรวมเท่ากับ 12 โดย แปลงค่า $\hat{S}_i(t)$ เป็น $\hat{S}_i^*(t)$

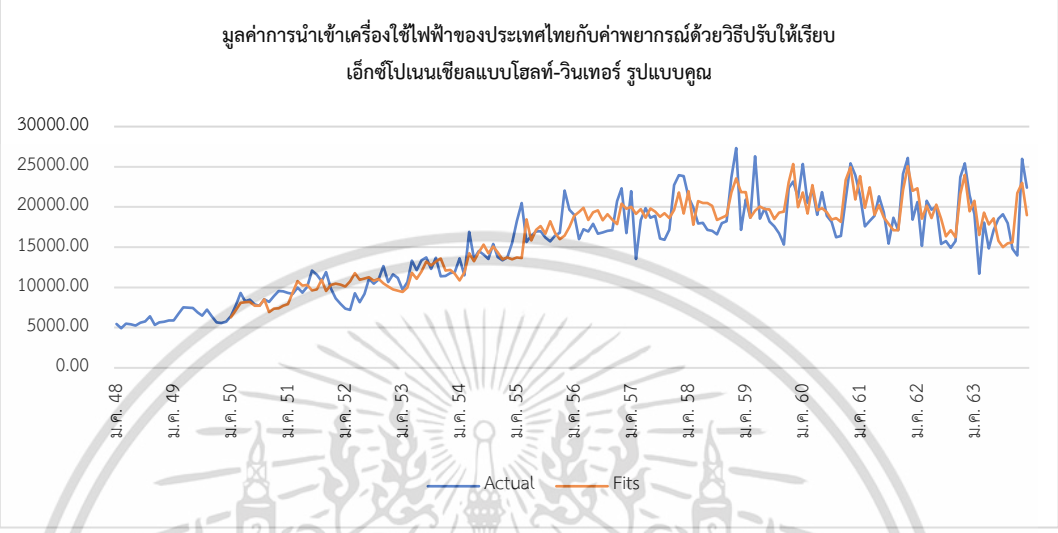
จาก $\hat{S}_i^*(t) = \frac{\hat{S}_i(t)}{\bar{S}}$ และทำการแปลง $\hat{T}_t(t)$ เป็น $\hat{T}_t^*(t)$ จาก $\hat{T}_t^*(t) = \bar{S}\hat{T}_t(t)$ จะได้สมการต่อไปนี้

$$\hat{Y}_{192+p} = (17{,}890.05 - 50.83p)\hat{S}_i^* \quad \text{สำหรับ } p = 1,2,...$$

(origin ที่เดือนธันวาคม ปี 2547, t มีหน่วยเป็นเดือน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง $\hat{S}_1^* = 1.0676$ $\hat{S}_2^* = 0.7829$ $\hat{S}_3^* = 1.0303$ $\hat{S}_4^* = 0.9207$
$\hat{S}_5^* = 1.0125$ $\hat{S}_6^* = 0.9537$ $\hat{S}_7^* = 0.9293$ $\hat{S}_8^* = 0.9096$
$\hat{S}_9^* = 0.8401$ $\hat{S}_{10}^* = 1.0350$ $\hat{S}_{11}^* = 1.3718$ $\hat{S}_{12}^* = 1.1466$



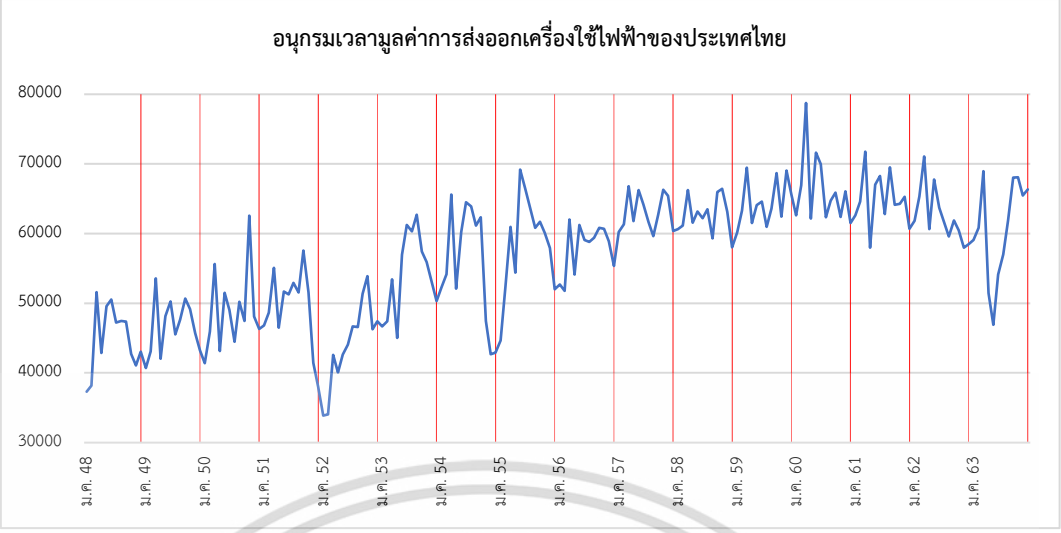
รูปที่ 4.4 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ

4.2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method)

4.2.1 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

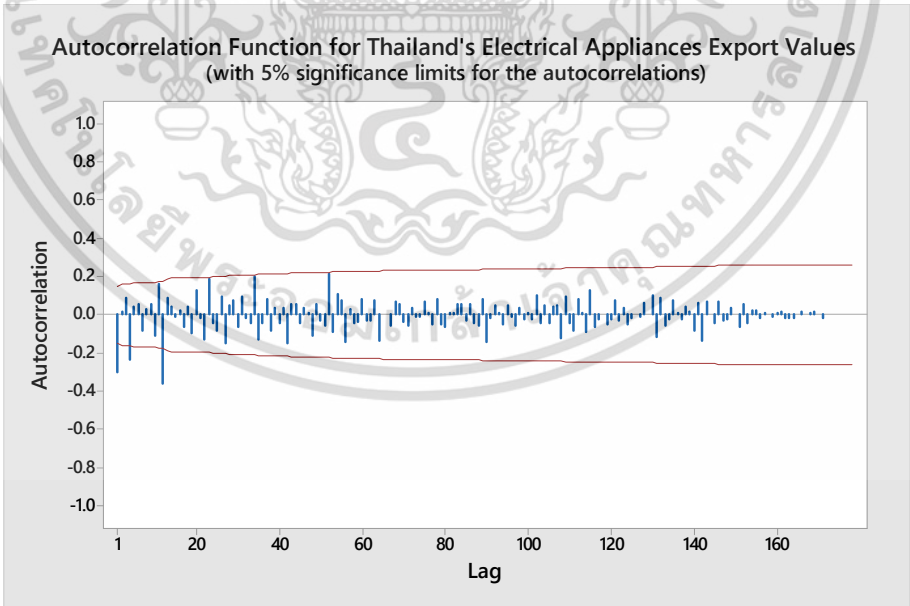
การพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาข้อมูลชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 192 ค่า โดยลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



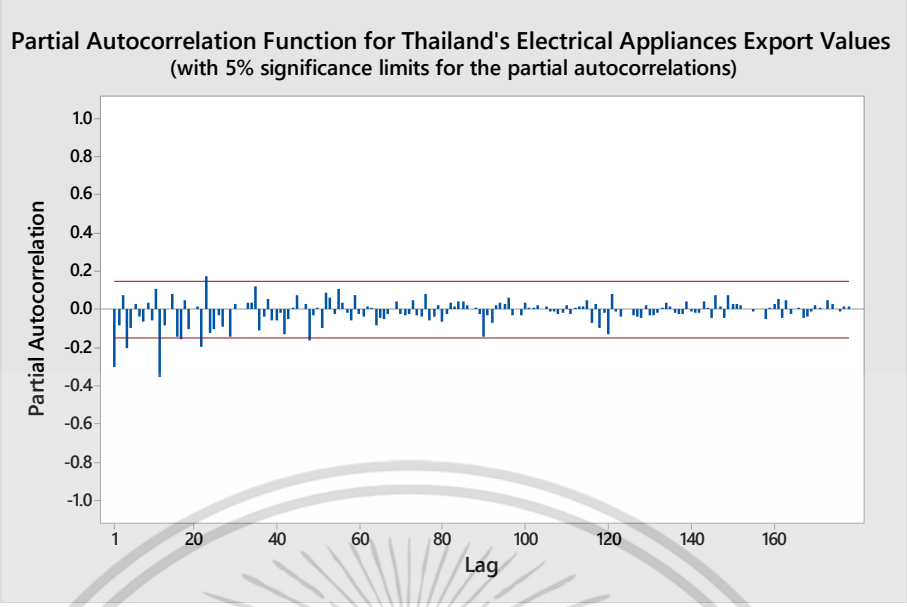
รูปที่ 4.5 การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

จากรูปที่ 4.5 พบว่าอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยไม่มีความคงที่ เนื่องจากมีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล จึงทำการแปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่าง 1 ครั้ง (d=1) และผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง เมื่อจำนวนฤดูกาลเท่ากับ 12 (D=1 และ L=12) แล้วพบว่าอนุกรมเวลามีความคงที่ จึงนำอนุกรมเวลาที่มีความคงที่แล้วมาพล็อตคอเรลโรแกรม ACF และ PACF ดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 กราฟ ACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยเมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟ PACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยเมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าคอเรลโรแกรมของ ACF ที่ lag 4,5,6, ... ลดลงอย่างรวดเร็ว และ PACF ที่ lag 4,5,6, ... ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงได้ตัวแบบเป็น ARIMA (4,1,4) และเมื่อพิจารณาในส่วนของฤดูกาล พบว่า ACF ที่ lag 12, 24, 36,... ลดลงอย่างรวดเร็ว และ PACF cut off ที่ lag 48 จึงได้ตัวแบบ SARIMA $(4,1,0)_{12}$ ดังนั้น จะได้ตัวแบบ ARIMA (4,1,4) x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ แต่เนื่องจากโปรแกรม Minitab 17 กำหนดให้มีพารามิเตอร์ได้ไม่เกิน 10 ตัว จึงปรับตัวแบบ ARIMA (3,1,3) x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ พบว่าตัวแบบ ARIMA (3,1,3) x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ เป็นตัวแบบที่เหมาะสม สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบสมมติฐานดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 การประมาณค่าพารามิเตอร์และการทดสอบสมมติฐานของตัวแบบ ARIMA (3,1,3) x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่

Final Estimates of Parameters

Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
AR 1	0.8466	0.0733	11.54	0.000
AR 2	-0.7310	0.0965	-7.57	0.000
AR 3	0.4849	0.0951	5.10	0.000
SAR 12	-0.6387	0.0759	-8.41	0.000
SAR 24	-0.5555	0.0865	-6.42	0.000
SAR 36	-0.5210	0.0790	-6.60	0.000
SAR 48	-0.5446	0.0771	-7.07	0.000
MA 1	1.1241	0.0121	92.90	0.000
MA 2	-1.0231	0.0531	-19.26	0.000
MA 3	0.9110	0.0661	13.77	0.000

Differencing: 1 regular, 1 seasonal of order 12

Number of observations: Original series 192, after differencing 179

Residual Sums of Squares

DF	SS	MS
169	1971476585	11665542

Back forecasts excluded

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square Statistic

Lag	12	24	36	48
Chi-Square	5.71	13.23	32.08	48.07
DF	2	14	26	38
P-Value	0.058	0.508	0.190	0.127

จากตัวแบบพยากรณ์ ARIMA (3,1,3) x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์และตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ ดังนี้

ก. พิจารณาว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3, ϕ_{12}, ϕ_{24}, ϕ_{36}, ϕ_{48}, θ_1, θ_2 และ θ_3 ในตัวแบบมีค่าเป็น 0 หรือไม่

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_1

$$H_0 : \phi_1 = 0$$
$$H_1 : \phi_1 \neq 0$$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_1 มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_2

$$H_0 : \phi_2 = 0$$
$$H_1 : \phi_2 \neq 0$$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_2 มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_3

$H_0 : \phi_3 = 0$

$H_1 : \phi_3 \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_3 มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_{12}

$H_0 : \phi_{12} = 0$

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

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_{12} มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_{24}

$H_0 : \phi_{24} = 0$

$H_1 : \phi_{24} \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_{24} มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_{36}

$H_0 : \phi_{36} = 0$

$H_1 : \phi_{36} \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_{36} มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_{48}

$H_0 : \phi_{48} = 0$

$H_1 : \phi_{48} \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_{48} มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ θ_1

$H_0 : \theta_1 = 0$

$H_1 : \theta_1 \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ θ_1 มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ θ_2

$H_0 : \theta_2 = 0$

$H_1 : \theta_2 \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ θ_2 มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ θ_3

$H_0 : \theta_3 = 0$

$H_1 : \theta_3 \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ θ_3 มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3, ϕ_{12}, ϕ_{24}, ϕ_{36}, ϕ_{48}, θ_1, θ_2 และ θ_3 ในตัวแบบ พบว่าพารามิเตอร์ทุกตัวมีค่าแตกต่างจาก 0

ข. พิจารณาว่า $\rho_k(e_t) = 0$ สำหรับ $k = 1,2,...,m$ หรือไม่ โดยพิจารณาว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่อยู่ห่างกัน 1,...,m ช่วงเวลาเป็นอิสระกันหรือไม่

ทดสอบสมมติฐานที่ Lag 12

$H_0 : \rho_1(e_1) = ... = \rho_{12}(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อย 1 ค่า ไม่เท่ากับ 0 ; $k = 1,2,...,12$

พบว่าที่ Lag 12 มีค่า p-value เท่ากับ 0.058 ซึ่งมีค่ามากกว่า α = 0.01 จึงยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ทดสอบสมมติฐานที่ Lag 24

$H_0 : \rho_1(e_1) = ... = \rho_{24}(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อย 1 ค่า ไม่เท่ากับ 0 ; $k = 1,2,...,24$

พบว่าที่ Lag 24 มีค่า p-value เท่ากับ 0.508 ซึ่งมีค่ามากกว่า α = 0.01 จึงยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ทดสอบสมมติฐานที่ Lag 36

$H_0 : \rho_1(e_1) = ... = \rho_{36}(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อย 1 ค่า ไม่เท่ากับ 0 ; $k = 1,2,...,36$

พบว่าที่ Lag 36 มีค่า p-value เท่ากับ 0.190 ซึ่งมีค่ามากกว่า α = 0.01 จึงยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ทดสอบสมมติฐานที่ Lag 48

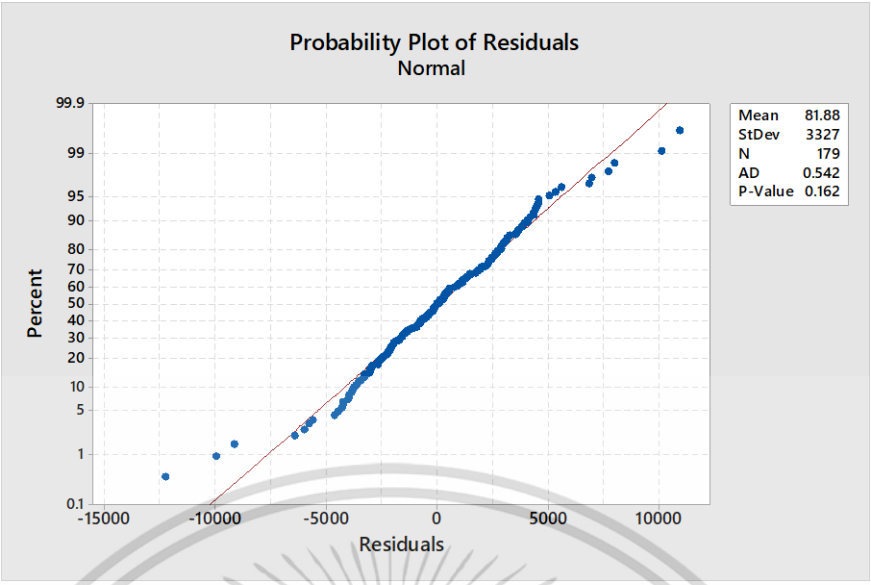
$H_0 : \rho_1(e_1) = ... = \rho_{48}(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อย 1 ค่า ไม่เท่ากับ 0 ; $k = 1,2,...,48$

พบว่าที่ Lag 48 มีค่า p-value เท่ากับ 0.127 ซึ่งมีค่ามากกว่า α = 0.01 จึงยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

จากการทดสอบด้วยสถิติ Box-Ljung พบว่าที่ Lag 12, 24, 36 และ 48 มีค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เนื่องจาก p-value มีค่ามากกว่า 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การทดสอบการแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ ARIMA (3,1,3) x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่

เพื่อให้เชื่อมั่นได้ว่าตัวแบบ ARIMA (3,1,3) x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ เป็นตัวแบบที่เหมาะสม จึงนำค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบไปทดสอบการแจงแจกปกติ โดยแบบทดสอบ Anderson-Darling สมมติฐานการทดสอบ คือ

H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบมีการแจกแจงแบบปกติ

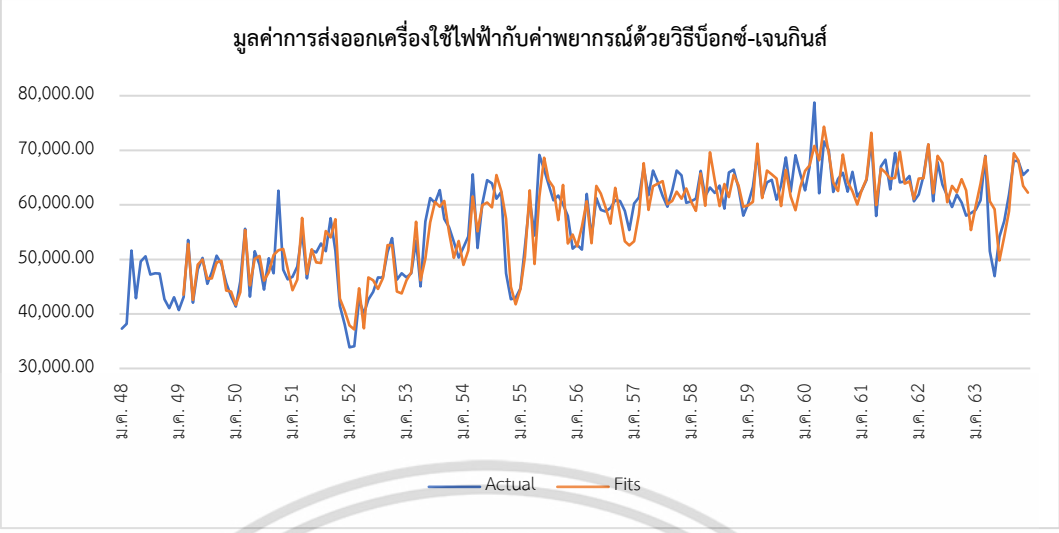
H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบมีการแจกแจงปกติ โดยค่า p-value มากกว่า α = 0.01 ดังรูปที่ 4.8 ดังนั้น ตัวแบบ ARIMA (3,1,3) x SARIMA $(4,1,0)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ เป็นตัวแบบที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยเขียนตัวแบบการพยากรณ์ได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$
\hat{Y}_{192}(l)=\begin{cases}
\begin{aligned}
&0.3613Y_{181}+0.0832Y_{169}+0.0342Y_{157}-0.0236Y_{145}+1.8466Y_{192}-0.6672Y_{180}\\
&-0.1536Y_{168}-0.0637Y_{156}+0.0436Y_{144}-1.5776Y_{191}-1.0076Y_{179}+0.1312Y_{167}\\
&+0.0545Y_{155}-0.0200Y_{143}+1.2159Y_{190}+0.0456Y_{178}+0.2085Y_{166}-0.0420Y_{154}\\
&+0.0287Y_{142}-0.4849Y_{189}-0.3097Y_{177}+0.0403Y_{165}+0.0168Y_{153}-0.0115Y_{141}\\
&+0.5446Y_{133}-1.0057Y_{132}+0.8592Y_{131}-0.2641Y_{130}+1.5776Y_{179}-0.4849Y_{178}\\
&+0.4849Y_{177}-0.3097Y_{166}+0.2641Y_{129}-1.1241e_{192}+1.0231e_{191}-0.9110e_{190}
\end{aligned} & ;l=1\\[2ex]
\begin{aligned}
&0.3613Y_{180+l}+0.0832Y_{168+l}+0.0342Y_{156+l}-0.0236Y_{144+l}+1.8466\hat{Y}_{192}(l-1)\\
&-0.6672Y_{179+l}-0.1536Y_{167+l}-0.0637Y_{155+l}+0.0436Y_{143+l}-1.5776Y_{192}-1.0076Y_{178+l}\\
&+0.1312Y_{166+l}+0.0545Y_{154+l}-0.0200Y_{142+l}+1.2159Y_{191}+0.0456Y_{177+l}+0.2085Y_{165+l}\\
&-0.0420Y_{153+l}+0.0287Y_{141+l}-0.4849Y_{188+l}-0.3097Y_{176+l}+0.0403Y_{164+l}+0.0168Y_{152+l}\\
&-0.0115Y_{140+l}+0.5446Y_{132+l}-1.0057Y_{131+l}+0.8592Y_{130+l}-0.2641Y_{129+l}+1.5776Y_{178+l}\\
&-0.4849Y_{177+l}+0.4849Y_{176+l}-0.3097Y_{165+l}+0.2641Y_{128+l}+1.0231e_{192}-0.9110e_{191}
\end{aligned} & ;l=2\\[2ex]
\begin{aligned}
&0.3613Y_{180+l}+0.0832Y_{168+l}+0.0342Y_{156+l}-0.0236Y_{144+l}+1.8466\hat{Y}_{192}(l-1)\\
&-0.6672Y_{179+l}-0.1536Y_{167+l}-0.0637Y_{155+l}+0.0436Y_{143+l}-1.5776\hat{Y}_{192}(l-2)\\
&-1.0076Y_{178+l}+0.1312Y_{166+l}+0.0545Y_{154+l}-0.0200Y_{142+l}+1.2159Y_{192}+0.0456Y_{177+l}\\
&+0.2085Y_{165+l}-0.0420Y_{153+l}+0.0287Y_{141+l}-0.4849Y_{188+l}-0.3097Y_{176+l}+0.0403Y_{164+l}\\
&+0.0168Y_{152+l}-0.0115Y_{140+l}+0.5446Y_{132+l}-1.0057Y_{131+l}+0.8592Y_{130+l}-0.2641Y_{129+l}\\
&+1.5776Y_{178+l}-0.4849Y_{177+l}+0.4849Y_{176+l}-0.3097Y_{165+l}+0.2641Y_{128+l}-0.9110e_{192}
\end{aligned} & ;l=3\\[2ex]
\begin{aligned}
&0.3613Y_{180+l}+0.0832Y_{168+l}+0.0342Y_{156+l}-0.0236Y_{144+l}+1.8466\hat{Y}_{192}(l-1)\\
&-0.6672Y_{179+l}-0.1536Y_{167+l}-0.0637Y_{155+l}+0.0436Y_{143+l}-1.5776\hat{Y}_{192}(l-2)\\
&-1.0076Y_{178+l}+0.1312Y_{166+l}+0.0545Y_{154+l}-0.0200Y_{142+l}+1.2159\hat{Y}_{192}(l-3)\\
&+0.0456Y_{177+l}+0.2085Y_{165+l}-0.0420Y_{153+l}+0.0287Y_{141+l}-0.4849Y_{188+l}-0.3097Y_{176+l}\\
&+0.0403Y_{164+l}+0.0168Y_{152+l}-0.0115Y_{140+l}+0.5446Y_{132+l}-1.0057Y_{131+l}+0.8592Y_{130+l}\\
&-0.2641Y_{129+l}+1.5776Y_{178+l}-0.4849Y_{177+l}+0.4849Y_{176+l}-0.3097Y_{165+l}+0.2641Y_{128+l}
\end{aligned} & ;l\geq 4
\end{cases}
$$

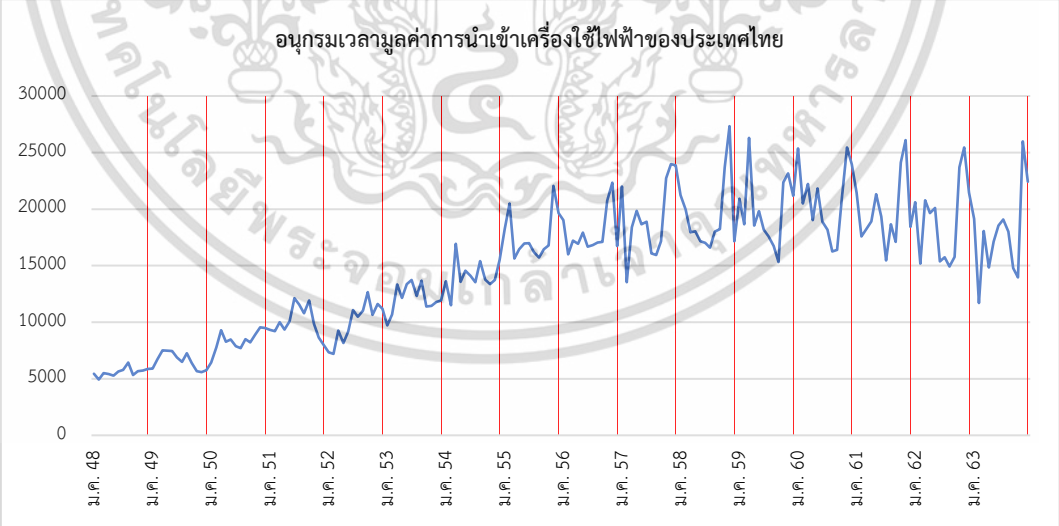
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

4.2.2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

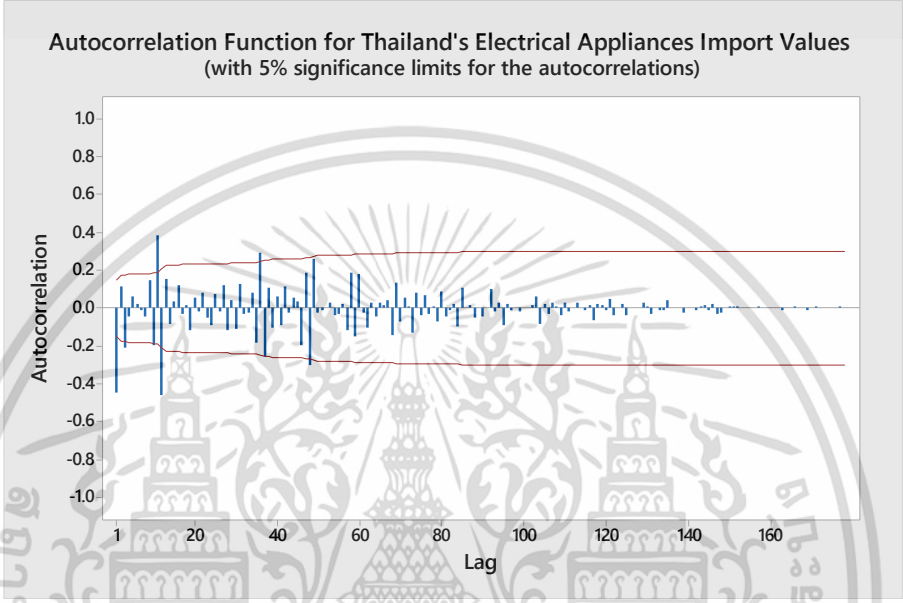
การพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาข้อมูลชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 192 ค่า โดยลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 4.10



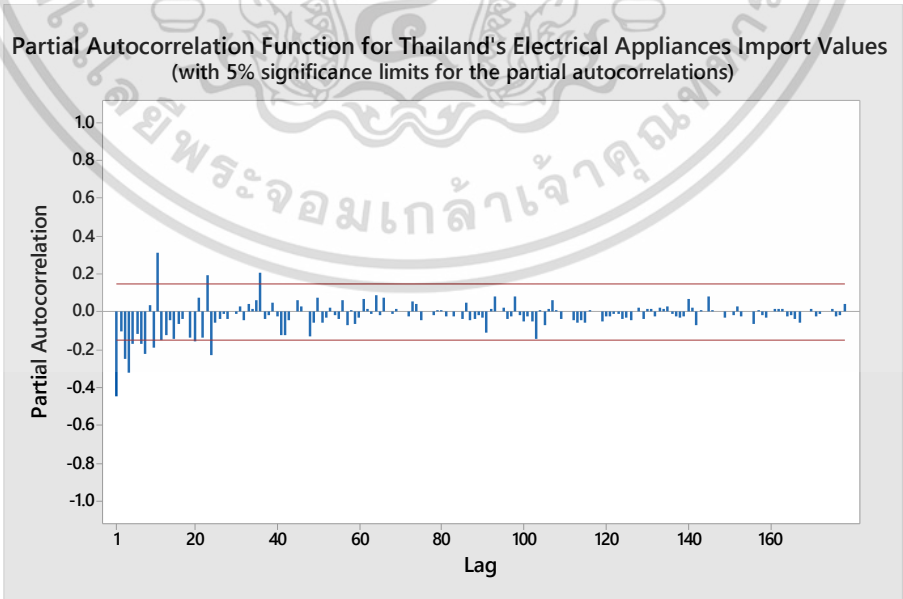
รูปที่ 4.10 การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยไม่มีความคงที่ เนื่องจากมีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล จึงทำการแปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่าง 1 ครั้ง (d=1) และผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง เมื่อจำนวนฤดูกาลเท่ากับ 12 (D=1 และ L=12) แล้วพบว่าอนุกรมเวลามีความคงที่ จึงนำอนุกรมเวลาที่มีความคงที่แล้วมาพล็อตคอเรลโรแกรม ACF และ PACF ดังรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 กราฟ ACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยเมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1



รูปที่ 4.12 กราฟ PACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยเมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าคอเรลโรแกรมของ ACF ลดลงอย่างรวดเร็ว และ PACF ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงได้ตัวแบบเป็น ARIMA (1,1,1) และเมื่อพิจารณาในส่วนของฤดูกาล พบว่า ACF ที่ lag 48,60,72,... ลดลงอย่างรวดเร็ว และ PACF ที่ lag 24,36,48, ... ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงได้ตัวแบบ SARIMA $(4,1,2)_{12}$ ดังนั้น จะได้ตัวแบบ ARIMA (1,1,1) x SARIMA $(4,1,2)_{12}$ เป็นตัวแบบที่เหมาะสม สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบสมมติฐานดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การประมาณค่าพารามิเตอร์และการทดสอบสมมติฐานของตัวแบบ ARIMA (1,1,1) x SARIMA $(4,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่

Final Estimates of Parameters

Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
AR 1	0.2904	0.0900	3.23	0.001
SAR 12	-0.4407	0.0839	-5.25	0.000
SAR 24	-1.0415	0.0697	-14.94	0.000
SAR 36	-0.5852	0.0673	-8.70	0.000
SAR 48	-0.7312	0.0819	-8.93	0.000
MA 1	0.8887	0.0402	22.11	0.000
SMA 12	0.3939	0.0960	4.10	0.000
SMA 24	-0.8155	0.0939	-8.68	0.000

Differencing: 1 regular, 1 seasonal of order 12

Number of observations: Original series 192, after differencing 179

Residual Sums of Squares

DF	SS	MS
171	612339625	3580933

Back forecasts excluded

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square Statistic

Lag	12	24	36	48
Chi-Square	12.64	23.46	31.57	41.33
DF	4	16	28	40
P-Value	0.013	0.102	0.292	0.413

จากตัวแบบพยากรณ์ ARIMA (1,1,1) x SARIMA $(4,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์และตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ ดังนี้

ก. พิจารณาว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_1, ϕ_{12}, ϕ_{24}, ϕ_{36}, ϕ_{48}, θ_1, θ_{12} และ θ_{24} ในตัวแบบมีค่าเป็น 0 หรือไม่

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_1

$$H_0 : \phi_1 = 0$$
$$H_1 : \phi_1 \neq 0$$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_1 มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_{12}

$H_0 : \phi_{12} = 0$

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

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_{12} มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_{24}

$H_0 : \phi_{24} = 0$

$H_1 : \phi_{24} \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_{24} มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_{36}

$H_0 : \phi_{36} = 0$

$H_1 : \phi_{36} \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_{36} มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ ϕ_{48}

$H_0 : \phi_{48} = 0$

$H_1 : \phi_{48} \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ ϕ_{48} มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ θ_1

$H_0 : \theta_1 = 0$

$H_1 : \theta_1 \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ θ_1 มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ θ_{12}

$H_0 : \theta_{12} = 0$

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

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ θ_{12} มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ θ_{24}

$H_0 : \theta_{24} = 0$

$H_1 : \theta_{24} \neq 0$

พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α = 0.01 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าพารามิเตอร์ θ_{24} มีค่าแตกต่างจาก 0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ ϕ_1, ϕ_{12}, ϕ_{24}, ϕ_{36}, ϕ_{48}, θ_1, θ_{12} และ θ_{24} ในตัวแบบ พบว่าพารามิเตอร์ทุกตัวมีค่าแตกต่างจาก 0

ข. พิจารณาว่า $\rho_k(e_t)=0$ สำหรับ $k=1,2,...,m$ หรือไม่ โดยพิจารณาว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่อยู่ห่างกัน 1,...,m ช่วงเวลาเป็นอิสระกันหรือไม่

ทดสอบสมมติฐานที่ Lag 12

$H_0 : \rho_1(e_1) = ... = \rho_{12}(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อย 1 ค่า ไม่เท่ากับ 0 ; $k=1,2,...,12$

พบว่าที่ Lag 12 มีค่า p-value เท่ากับ 0.013 ซึ่งมีค่ามากกว่า α = 0.01 จึงยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ทดสอบสมมติฐานที่ Lag 24

$H_0 : \rho_1(e_1) = ... = \rho_{24}(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อย 1 ค่า ไม่เท่ากับ 0 ; $k=1,2,...,24$

พบว่าที่ Lag 24 มีค่า p-value เท่ากับ 0.102 ซึ่งมีค่ามากกว่า α = 0.01 จึงยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ทดสอบสมมติฐานที่ Lag 36

$H_0 : \rho_1(e_1) = ... = \rho_{36}(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อย 1 ค่า ไม่เท่ากับ 0 ; $k=1,2,...,36$

พบว่าที่ Lag 36 มีค่า p-value เท่ากับ 0.292 ซึ่งมีค่ามากกว่า α = 0.01 จึงยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ทดสอบสมมติฐานที่ Lag 48

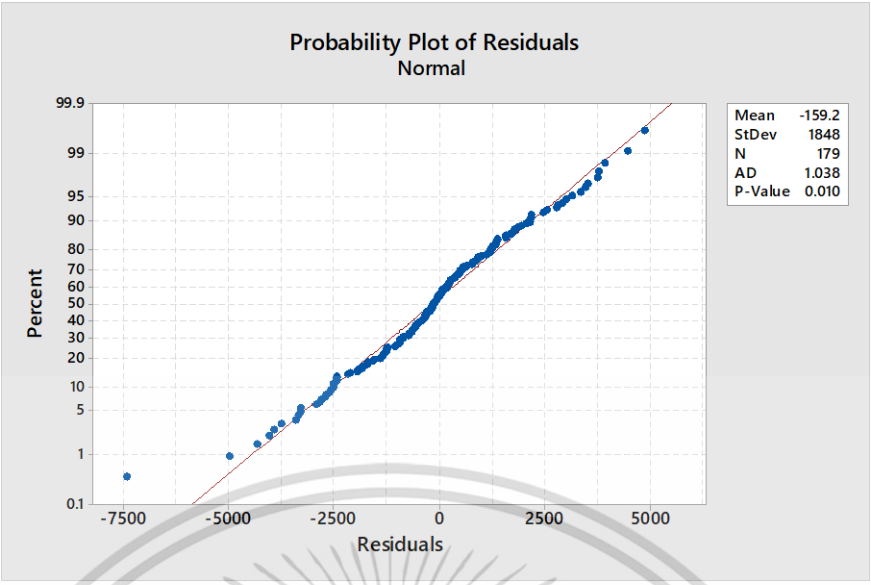
$H_0 : \rho_1(e_1) = ... = \rho_{48}(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อย 1 ค่า ไม่เท่ากับ 0 ; $k=1,2,...,48$

พบว่าที่ Lag 48 มีค่า p-value เท่ากับ 0.413 ซึ่งมีค่ามากกว่า α = 0.01 จึงยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

จากการทดสอบด้วยสถิติ Box-Ljung พบว่าที่ Lag 12, 24, 36 และ 48 มีค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เนื่องจาก p-value มีค่ามากกว่า 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การทดสอบการแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ ARIMA (1,1,1) x SARIMA$(4,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่

เพื่อให้เชื่อมั่นได้ว่าตัวแบบ ARIMA (1,1,1) x SARIMA $(4,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ เป็นตัวแบบที่เหมาะสม จึงนำค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบไปทดสอบการแจงแจกปกติ โดยแบบทดสอบ Anderson-Darling สมมติฐานการทดสอบ คือ

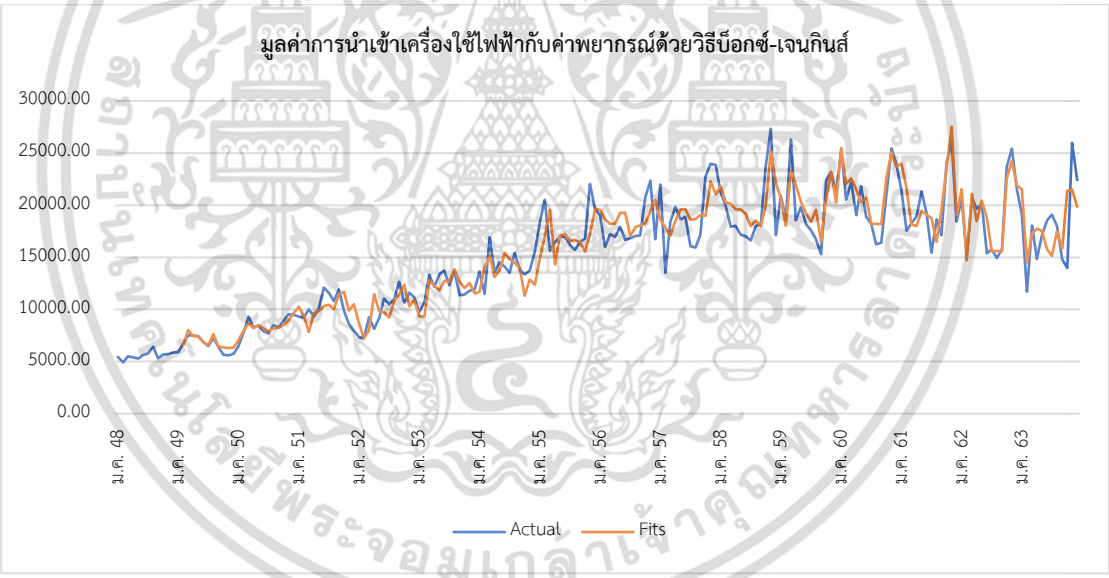
H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบมีการแจกแจงปกติ โดยค่า p-value เท่ากับ α = 0.01 ดังรูปที่ 4.13 ดังนั้น ตัวแบบ ARIMA (1,1,1) x SARIMA$(4,1,2)_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ เป็นตัวแบบที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยเขียนตัวแบบการพยากรณ์ได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{Y}_{192}(l)=\begin{cases}0.5593Y_{181}-0.6044Y_{169}+0.4563Y_{157}-0.1460Y_{145}+1.2904Y_{192}-0.7217Y_{180} & \\ -1.3077Y_{168}-0.5888Y_{156}-0.2362Y_{144}-0.2904Y_{191}+0.4184Y_{179}-0.1745Y_{167} & ;l=1\\ -0.3174Y_{155}-0.0424Y_{143}+0.7312Y_{133}-0.9435Y_{132}-0.2123Y_{131}-0.8887e_{192} & \\ -0.3939e_{181}+0.3500e_{180}+0.8155e_{169}-0.7247e_{168} & \\ \\ 0.5593Y_{180+l}-0.6044Y_{168+l}+0.4563Y_{156+l}-0.1460Y_{144+l}+1.2904\hat{Y}_{192}(l-1) & \\ -0.7217Y_{179+l}-1.3077Y_{167+l}-0.5888Y_{155+l}-0.2362Y_{143+l}-0.2904Y_{192}+0.4184Y_{178+l} & ;l=2\\ -0.1745Y_{166+l}-0.3174Y_{154+l}-0.0424Y_{142+l}+0.7312Y_{132+l}-0.9435Y_{131+l}-0.2123Y_{130+l} & \\ -0.3939e_{180+l}+0.3500e_{179+l}+0.8155e_{168+l}-0.7247e_{167+l} & \\ \\ 0.5593Y_{180+l}-0.6044Y_{168+l}+0.4563Y_{156+l}-0.1460Y_{144+l}+1.2904\hat{Y}_{192}(l-1) & \\ -0.7217Y_{179+l}-1.3077Y_{167+l}-0.5888Y_{155+l}-0.2362Y_{143+l}-0.2904\hat{Y}_{192}(l-2) & ;l\geq 3\\ +0.4184Y_{178+l}-0.1745Y_{166+l}-0.3174Y_{154+l}-0.0424Y_{142+l}+0.7312Y_{132+l}-0.9435Y_{131+l} & \\ -0.2123Y_{130+l}-0.3939e_{180+l}+0.3500e_{179+l}+0.8155e_{168+l}-0.7247e_{167+l} & \end{cases}$$



รูปที่ 4.14 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory Neural Networks)

การสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว โดยทดลองกำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย ข้อมูลนำเข้า (Input) เท่ากับ 12, 13, 14, และ 15 โหนด กำหนดข้อมูลส่งออก (Output) เท่ากับ 1 โหนด กำหนดค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมด้วยอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) เท่ากับ 0.001 ค่าโมเมนตัม (Momentum) เท่ากับ 0.9 กำหนดขนาดของรายการข้อมูล (Batch size) เท่ากับ 1 และทำการปรับค่าโหนดซ่อน (Hidden neuron) และจำนวนรอบการเรียนรู้ (Epochs) โดยเริ่มทดสอบด้วยการกำหนดค่าโหนดซ่อน ตั้งแต่ 2 - 13 โหนด และจำนวนรอบการเรียนรู้ ตั้งแต่ 100, 200, 300, 400 และ 500 รอบ ให้กับอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกและนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย และพิจารณาเลือกโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่า RMSE ของชุดฝึกฝนและชุดทดสอบต่ำที่สุดและมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงดังภาคผนวก ค

4.3.1 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์และค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	
ข้อมูลนำเข้า	14	
โหนดซ่อน	5	
จำนวนรอบการเรียนรู้	100	
ขนาดของรายการข้อมูล	1	
RMSE	ชุดฝึกฝน	3866.07
	ชุดทดสอบ	3945.14

จากตารางที่ 4.9 การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า พบว่าการกำหนดข้อมูลนำเข้า เท่ากับ 14 โหนด โหนดซ่อนเท่ากับ 5 โหนด และจำนวนรอบการเรียนรู้เท่ากับ 100 รอบ ทำให้ได้ค่า RMSE ของชุดฝึกฝนและชุดทดสอบต่ำที่สุดและมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยค่า RMSE ของชุดทดสอบเท่ากับ 3945.14 จึงได้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 14-5-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
# reshape
look_back = 14
trainX, trainY = create_dataset(train, look_back)
testX, testY = create_dataset(test, look_back)
# reshape input to be [samples, time steps, features]
trainX = numpy.reshape(trainX, (trainX.shape[0],1,trainX.shape[1]))
testX = numpy.reshape(testX, (testX.shape[0],1,testX.shape[1]))
```

```
# create and fit the LSTM network
model = Sequential()
model.add(LSTM(5, input_shape=(1, look_back)))
model.add(Dense(1))
model.compile(loss='mean_squared_error', optimizer='adam')
model.fit(trainX, trainY, epochs=100, batch_size=1, verbose=2)
```

```
Epoch 92/100
119/119 - 0s - loss: 0.0079
Epoch 93/100
119/119 - 0s - loss: 0.0084
Epoch 94/100
119/119 - 0s - loss: 0.0080
Epoch 95/100
119/119 - 0s - loss: 0.0080
Epoch 96/100
119/119 - 0s - loss: 0.0079
Epoch 97/100
119/119 - 0s - loss: 0.0077
Epoch 98/100
119/119 - 0s - loss: 0.0082
Epoch 99/100
119/119 - 0s - loss: 0.0080
Epoch 100/100
119/119 - 0s - loss: 0.0080

<tensorflow.python.keras.callbacks.History at 0x282f83878b0>
```

```
print(model.summary())
```

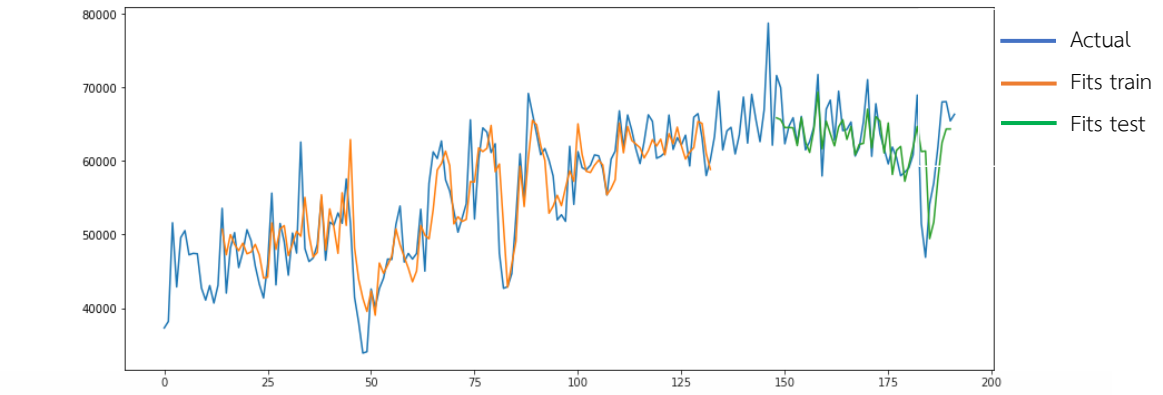
```
Model: "sequential"
_________________________________________________________________
Layer (type)                 Output Shape              Param #
=================================================================
lstm (LSTM)                  (None, 5)                 400
_________________________________________________________________
dense (Dense)                (None, 1)                 6
=================================================================
Total params: 406
Trainable params: 406
Non-trainable params: 0
_________________________________________________________________
None
```

```
# calculate root mean squared error
trainScore = math.sqrt(mean_squared_error(trainY[0], trainPredict[:,0]))
testScore = math.sqrt(mean_squared_error(testY[0], testPredict[:,0]))
trainScore,testScore
```

```
(3866.0770243610045, 3945.1438874366127)
```

รูปที่ 4.15 ผลการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

4.3.2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์และค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	
ข้อมูลนำเข้า	13	
โหนดซ่อน	6	
จำนวนรอบการเรียนรู้	100	
ขนาดของรายการข้อมูล	1	
RMSE	ชุดฝึกฝน	1618.22
	ชุดทดสอบ	2836.04

จากตารางที่ 4.10 การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า พบว่าการกำหนดข้อมูลนำเข้าเท่ากับ 13 โหนด โหนดซ่อนเท่ากับ 6 โหนด และจำนวนรอบการเรียนรู้เท่ากับ 100 รอบ ทำให้ได้ค่า RMSE ของชุดฝึกฝนและชุดทดสอบต่ำที่สุดและมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยค่า RMSE ของชุดทดสอบเท่ากับ 2836.04 จึงได้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 13-6-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
# reshape
look_back = 13
trainX, trainY = create_dataset(train, look_back)
testX, testY = create_dataset(test, look_back)
# reshape input to be [samples, time steps, features]
trainX = numpy.reshape(trainX, (trainX.shape[0], 1, trainX.shape[1]))
testX = numpy.reshape(testX, (testX.shape[0], 1, testX.shape[1]))
```

```
# create and fit the LSTM network
model = Sequential()
model.add(LSTM(6, input_shape=(1, look_back)))
model.add(Dense(1))
model.compile(loss='mean_squared_error', optimizer='adam')
model.fit(trainX, trainY, epochs=100, batch_size=1, verbose=2)
```

```
Epoch 92/100
120/120 - 0s - loss: 0.0056
Epoch 93/100
120/120 - 0s - loss: 0.0055
Epoch 94/100
120/120 - 0s - loss: 0.0057
Epoch 95/100
120/120 - 0s - loss: 0.0056
Epoch 96/100
120/120 - 0s - loss: 0.0056
Epoch 97/100
120/120 - 0s - loss: 0.0057
Epoch 98/100
120/120 - 0s - loss: 0.0055
Epoch 99/100
120/120 - 0s - loss: 0.0058
Epoch 100/100
120/120 - 0s - loss: 0.0060

<tensorflow.python.keras.callbacks.History at 0x2420558cd90>
```

```
print(model.summary())
```

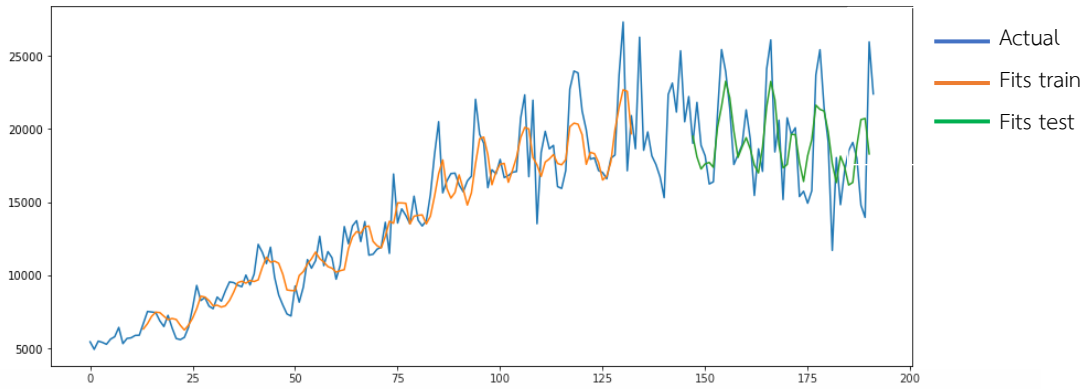
```
Model: "sequential"
_________________________________________________________________
Layer (type)                 Output Shape              Param #
=================================================================
lstm (LSTM)                  (None, 6)                 480
_________________________________________________________________
dense (Dense)                (None, 1)                 7
=================================================================
Total params: 487
Trainable params: 487
Non-trainable params: 0
_________________________________________________________________
None
```

```
# calculate root mean squared error
trainScore = math.sqrt(mean_squared_error(trainY[0], trainPredict[:,0]))
testScore = math.sqrt(mean_squared_error(testY[0], testPredict[:,0]))
trainScore,testScore
```

```
(1618.2244107739575, 2836.0476845700946)
```

รูปที่ 4.17 ผลการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ในบทที่ 3 และ 4 ผู้วิจัยเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยทำการเปรียบเทียบค่า RMSE ของแต่ละวิธีและเลือกตัวแบบจากวิธีที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด

5.1.1 สรุปผลการคัดเลือกและตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

ตารางที่ 5.1 ค่า RMSE ของตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

วิธีการพยากรณ์	RMSE
วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก	3697.96
วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ	3811.19
วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	**3415.49**
วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว	3945.14

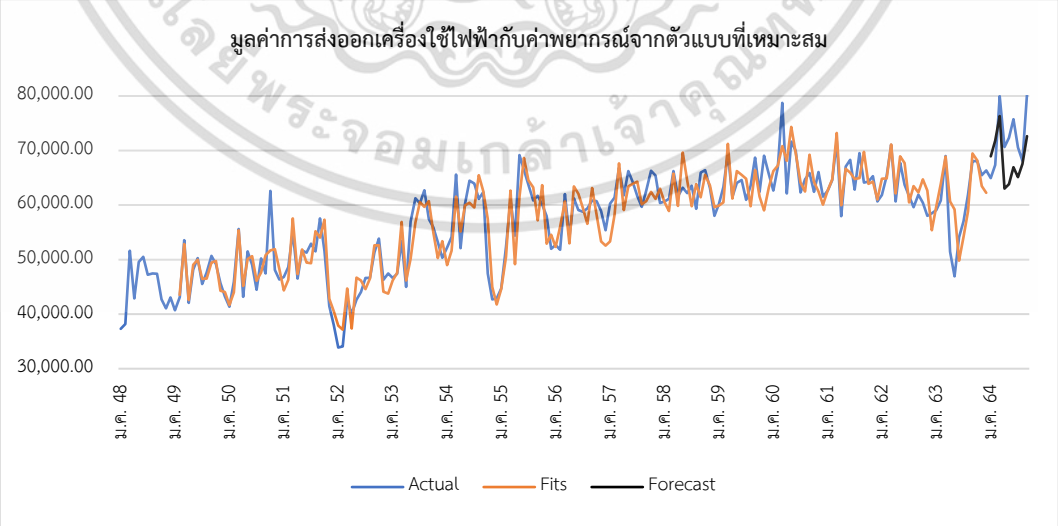
จากตารางที่ 5.1 พบว่าการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก มีค่า RMSE เท่ากับ 3697.96 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ มีค่า RMSE เท่ากับ 3811.19 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ มีค่า RMSE เท่ากับ 3415.49 และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว มีค่า RMSE เท่ากับ 3945.14 ดังนั้น ตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ ตัวแบบจากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เนื่องจากมีค่า RMSE ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

เดือน	Y_t	$\hat{Y}_t$	e_t	$\left\|\frac{e_t}{Y_t}\right\|$
มกราคม 2564	64,937.07	68,911.09	-3,974.03	0.06
กุมภาพันธ์ 2564	67,365.92	71,836.58	-4,470.68	0.07
มีนาคม 2564	79,957.17	76,324.46	3,632.67	0.05
เมษายน 2564	70,608.25	63,019.38	7,588.85	0.11
พฤษภาคม 2564	72,325.78	63,843.64	8,482.18	0.12
มิถุนายน 2564	75,735.95	66,921.24	8,814.75	0.12
กรกฎาคม 2564	70,586.10	65,112.62	5,473.50	0.08
สิงหาคม 2564	68,134.44	67,547.31	587.14	0.01
กันยายน 2564	80,359.49	72,641.50	7,717.99	0.10
			$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{t=1}^{n}\left\|\frac{e_t}{Y_t}\right\| =$ 7.74%	

สรุปผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยนำตัวแบบวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ไปพยากรณ์ข้อมูลล่วงหน้า 9 เดือน และเปรียบเทียบกับอนุกรมเวลาชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 พบว่ามีค่า MAPE เท่ากับ 7.74 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.1 มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์จากตัวแบบที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 สรุปผลการคัดเลือกและตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

ตารางที่ 5.3 ค่า RMSE ของตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

วิธีการพยากรณ์	RMSE
วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์–วินเทอร์ รูปแบบบวก	2223.29
วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์–วินเทอร์ รูปแบบคูณ	2262.65
วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	**1892.34**
วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว	2836.04

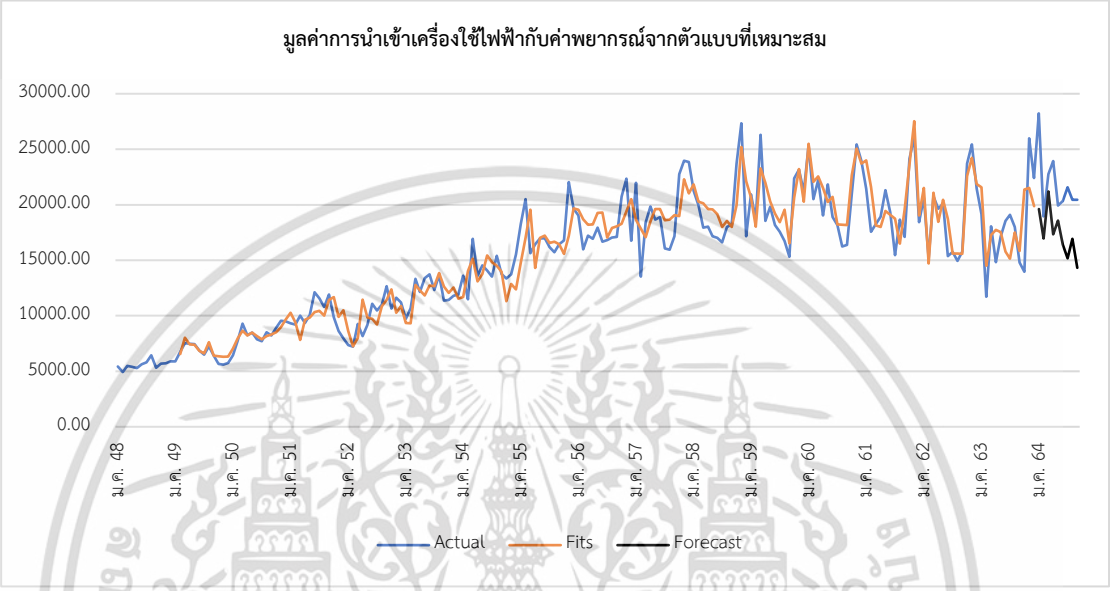
จากตารางที่ 5.3 พบว่าการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก มีค่า RMSE เท่ากับ 2223.29 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ มีค่า RMSE เท่ากับ 2262.65 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ มีค่า RMSE เท่ากับ 1892.34 และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว มีค่า RMSE เท่ากับ 2836.04 ดังนั้น ตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ ตัวแบบจากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เนื่องจากมีค่า RMSE ต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.4 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

เดือน	Y_t	$\hat{Y}_t$	e_t	$\left\|\frac{e_t}{Y_t}\right\|$
มกราคม 2564	28230.031	19618.11	8611.92	0.31
กุมภาพันธ์ 2564	18955.295	16959.34	1995.96	0.11
มีนาคม 2564	22755.255	21194.87	1560.39	0.07
เมษายน 2564	23934.647	17338.25	6596.39	0.28
พฤษภาคม 2564	19942.644	18570.16	1372.48	0.07
มิถุนายน 2564	20319.207	16401.07	3918.13	0.19
กรกฎาคม 2564	21585.913	15160.75	6425.16	0.30
สิงหาคม 2564	20460.280	16931.65	3528.63	0.17
กันยายน 2564	20447.085	14318.67	6128.41	0.30
			$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{t=1}^{n}\left\|\frac{e_t}{Y_t}\right\| =$ 19.84%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบที่เหมาะสมของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยนำตัวแบบวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ไปพยากรณ์ข้อมูลล่วงหน้า 9 เดือน และเปรียบเทียบกับอนุกรมเวลาชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 พบว่ามีค่า MAPE เท่ากับ 19.84 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.2 มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกับค่าพยากรณ์จากตัวแบบที่เหมาะสม

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลมูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย รายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 มาใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพบว่าข้อมูลมูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย มีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การพยากรณ์ 3 วิธี ได้แก่ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว ผลการศึกษาพบว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุด สำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย เนื่องจากมีค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ได้ตัวแบบ ARIMA (3,1,3) x SARIMA$(4,1,0)_{12}$ มีค่า RMSE เท่ากับ 3415.49 และเมื่อทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบ ได้ค่า MAPE เท่ากับ 7.74 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ได้ตัวแบบ ARIMA (1,1,1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x SARIMA$(4,1,2)_{12}$ มีค่า RMSE เท่ากับ 1892.34 และเมื่อทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบได้ค่า MAPE เท่ากับ 19.84 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของเพชรรัตน์ เหมือนเพชร และรวิพิมพ์ ฉวีสุข (2564) ที่ทำการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแท่ง (STR) ของประเทศไทยด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา โดยเปรียบเทียบการพยากรณ์ระหว่างวิธีปรับให้เรียบทางสถิติ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบส่งถ่ายข้อมูลย้อนกลับ โดยพบว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์–เจนกินส์ มีความถูกต้องในการพยากรณ์มากที่สุด

สำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากอนุกรมเวลามีแนวโน้มที่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ผลการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์จึงไม่ดีมากนัก ซึ่งวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ จะใช้ได้ดีกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีอิทธิพลของฤดูกาล (ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์, 2556) ส่วนการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม จะต้องมีข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝนจำนวนมากพอจึงจะได้ผลลัพธ์ที่ดี และหากมีข้อมูลในการฝึกฝนจำนวนไม่มากพอจะทำให้ผลลัพธ์มีความคลาดเคลื่อนสูง (รสริน โคตรเสนา และอัจฉราพรรณ ประทุมมณี, 2563)

การพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ นอกจากเงื่อนไขที่อนุกรมเวลาต้องมีความคงที่โดยต้องแปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่าง 1 ครั้ง เพื่อขจัดแนวโน้มแล้วนั้น อนุกรมเวลาจะต้องไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลด้วย จึงต้องหาผลต่างฤดูกาลอีก 1 ครั้ง เพื่อให้อนุกรมเวลามีความคงที่ ก่อนหาตัวแบบการพยากรณ์ ซึ่งข้อมูลทางเศรษฐกิจและธุรกิจส่วนใหญ่เป็นรายเดือนหรือรายไตรมาส ที่มักจะมีอิทธิพลของฤดูกาล เช่น ดัชนีผลผลิตสินค้าเกษตรรายเดือน ที่มีอิทธิพลของฤดูกาลจากจำนวนผลผลิตที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศในแต่ละเดือน หรือยอดขายรายไตรมาสของห้างสรรพสินค้า ที่มีอิทธิพลของฤดูกาลจากการจับจ่ายใช้สอยเพื่อซื้อของขวัญให้แก่กันในช่วงไตรมาสสุดท้ายของปี โดยอิทธิพลของฤดูกาลมักจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ความแปรปรวนของอนุกรมเวลามีค่าสูง และทำให้ผลการพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนสูง (ภูมิฐาน รังคกูลนุวัฒน์, 2556) ในการวิจัยนี้ สร้างตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่เป็นข้อมูลทางเศรษฐกิจ มีอิทธิพลของฤดูกาลมาเกี่ยวข้อง เนื่องจากสินค้าเครื่องใช้ไฟฟ้ามีอิทธิพลของฤดูกาลจากความต้องการเครื่องปรับอากาศในฤดูร้อน ความต้องการเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าในฤดูฝน (ประชาชาติธุรกิจ, 2564) ดังนั้นการพยากรณ์ด้วยวิธีวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่ได้ขจัดทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลก่อนสร้างตัวแบบการพยากรณ์ จึงทำให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากกว่าวิธีการอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

การสร้างตัวแบบพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว สามารถทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสมกับข้อมูล ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้ค่ามาตรฐาน (default) ของ Adam หรือ Optimizer ที่กำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) เท่ากับ 0.001 ค่าโมเมนตัม (Momentum) เท่ากับ 0.9 ซึ่งในการวิจัยต่อไป อาจทำการปรับค่าอัตราการเรียนรู้ และค่าโมเมนตัม ในการสร้างโครงข่ายประสามเทียมที่มีความเหมาะสมกับการพยากรณ์ข้อมูลอื่น ๆ มากขึ้น นอกจากนั้น หากมีข้อมูลจำนวนมากสำหรับใช้ในการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม เช่น ข้อมูลรายชั่วโมง ข้อมูลรายวัน ข้อมูลรายสัปดาห์ จะทำให้ได้โครงข่ายประสาทเทียมที่ทำให้การพยากรณ์ข้อมูลมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. 2564. **สินค้าเครื่องใช้ไฟฟ้า.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.ditp.go.th/contents_attach/734542/734542.pdf.

กระทรวงพาณิชย์. 2564. **สรุปการส่งออก/นำเข้า/ดุลการค้า.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://tradereport.moc.go.th/TradeThai.aspx.

กอบเกียรติ สระอุบล. 2563. **เรียนรู้ Data Science และ AI : Machine Learning ด้วย Python.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มีเดีย เน็ทเวิร์ค.

กานต์กมล ทวีผล. 2562. “แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบลึกสำหรับการทำนายปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง PM2.5 บริเวณพื้นที่จังหวัดหรุงเทพมหานครชั้นใน.” ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ดาว สงวนรังศิริกุล, หรรษา เชี่ยวอนันตวานิช และ มณีรัตน์ แสงเกษม. 2558. “การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานคร.” *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.* 38(1). 35-55.

ดำรงค์ หิรัญยะพรรณ์. 2545. **วงจรไฟฟ้า.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/createweb/10000/technology/10000-7138.html.

ทรงศิริ แต้สมบัติ. 2549. **การพยากรณ์เชิงปริมาณ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนิศเชษฐ์ คำศรีสุข. 2562. “การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านสำหรับบ้านอัจฉริยะด้วยวิธีการเหมืองข้อมูล.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ธีรพงษ์ จันทรโสภณ. 2562. **ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://stmath09.wordpress.com/หน่วยที่-4-เรื่องที่-3-ความ/.

นฤดล พิทักษ์วิทยกูล. 2563. “การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์เบี้ยประกันชีวิตรายใหม่ประเภทสามัญด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์–วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิฉา แก้วหาวงษ์. 2556. “การเปรียบเทียบตัวแบบ Pegels, ARIMA และตัวแบบผสม Pegels-ARIMA ในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกมะม่วงของประเทศไทย.” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.* 21(6) : 578-593.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชาชาติธุรกิจ. 2564. **เครื่องใช้ไฟฟ้างัดแผนปี 65 ค่ายดังชู "สุขภาพ-สมาร์ท" แทนแข่งราคา.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.prachachat.net/marketing/news-830383.

ปรัชญา เกตุวงศา และคณะ. 2555. "โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประยุกต์ใช้ในเภสัชภัณฑ์รูปแบบของแข็ง." *วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยากรสุขภาพ.* 7(3). 143-147.

ปิยมาภรณ์ รอดบาง. 2549. "การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกปลาทูน่ากระป๋องโดยวิธีอารีมา." การค้นคว้าแบบอิสระหลักสูตรปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พรรณิภา คุ้มสิน. 2560. "การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศโดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถิติประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พระราชบัญญัติการส่งออกไปนอกและการนำเข้ามาในราชอาณาจักรซึ่งสินค้า พ.ศ. 2522. (2522, เมษายน 30). ราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ 96. หน้า 1-2.

พีรพล ศิริพงศ์วุฒิกร. 2563. การพยากรณ์อนุกรมเวลาและ Long-Short Term Memory Network. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://lms.learn-ai.in.th/courses/course-v1:Learn-AI+AI203+2020_AI203/about

เพชรรัตน์ เหมือนเพชร และรวิพิมพ์ ฉวีสุข. 2564. "การพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแท่ง (STR) ของประเทศไทยด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา." หน้า 521-533. ใน **การประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 9.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ภรณ์ทิพย์ จันทร์แดง. 2560. "การพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าและการส่งออกชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือจังหวัดลำพูน โดยวิธีอารีแมกซ์." สารนิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิตสาขาเศรษฐศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภีมฟ้า รัศมีเนตร, เฉลิมพล จตุพร, วสุ สุวรรณวิหค และนารีรัตน์ สีระสาร. 2564. "การพยากรณ์ปริมาณการนำเข้ากาแฟของประเทศไทย : กรณีศึกษาเชิงประจักษ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนคินส์." *Journal of Roi Kaensarn Acadami.* 6(8) : 318-331.

ภูมิชาย จิตชัย และโอม ศรนิล. 2564. "การทำนายดัชนีหุ้นด้วยการใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)." หน้า 616-628. ใน **การประชุมวิชาการปัญญาภิวัฒน์ระดับชาติ ครั้งที่ 11 และนานาชาติ ครั้งที่ 5.** นนทบุรี : สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์.

ภูมิฐาน รังคกูลนุวัฒน์. 2556. **การวิเคราะห์อนุกรมเวลาสำหรับเศรษฐศาสตร์และธุรกิจ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รสริน โคตรเสนา และ อัจฉราพรรณ ประทุมมณี. 2563. "การพยากรณ์ความต้องการสินค้าโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของโรงงาน ผลิตขนมปังแห่งหนึ่ง." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วรรณา ยงพิศาลภพ. 2564. **แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.krungsri.com /th/research/industry/industry-outlook/Hi-tech-Industri- es/Electrical-Appliances/IO/io-Electrical-Appliances-21.

วรางคณา กีรติวิบูลย์. 2557. "การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ระหว่างวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์ สำหรับการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกต้นกล้วยไม้." *วารสารวิจัย.* 7(1) : 62-72.

วิชญา กัลยา และภวัต ภักดิ์ศรานุวัต. 2562. "การพยากรณ์ราคาปิดของบิทคอยน์โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม แบบ Recurrent Neural Network และแบบ Long Short – Term Memory ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562." ใน **การประชุมวิชาการระดับปริญญาตรีสาขาสถิติ ระดับชาติ ประจำปี พ.ศ. 2562.** เชียงใหม่.

วีระเกษตร สวนผกา. 2555. **โมเดล หรือ แบบจำลอง.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://pirun.ku.ac.th/~fengwks/SD/2model.pdf.

ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์. 2556. **เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม : มหาวิทยาลัยมหิดล.

สุกัญญา ยองประยูร และพรธิภา องค์คุณารักษ์. 2553. "การพยากรณ์ปริมาณการนำเข้ากุ้งขาวแช่แข็งของประเทศสหรัฐอเมริกาด้วยเทคนิควิเคราะห์อนุกรมเวลา." หน้า 516-522. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรีรัตน์ อนุเพ็ญ และคณะ. 2564. "การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกน้ำยางข้นโดยการเปรียบเทียบด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และวิธีบอกซ์-เจนกินส์." หน้า 1211-1226. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย ครั้งที่ 9.** ราชบุรี : มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2564. คู่มือการปฏิบัติงานเรื่อง : **การจัดทำรายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมรายปี.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.oie.go.th/assets /portals /1/files /mpi_ quarter_service.pdf.

อภิชาติ สุนทรวิภาต. 2558. "การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการจัดการความต้องการวัตถุดิบชีวมวล : กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวลแห่งหนึ่ง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

อุรชา จันทรภา และนันทชัย กานตานันทะ. 2564. "การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบของประเทศไทยด้วยวิธีอนุกรมเวลา." *Thai Journal of Operations Research*. 9(2) : 12-20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Box, G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C.. 1994. **Time series analysis forecasting and control.** New Jersey : Prentice hall.

Christopher Olah. 2015. **Understanding LSTM Networks.** [Online]. Available : https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/.

Diederik P. Kingma & Jimmy Lei Ba. 2015. "ADAM: A METHOD FOR STOCHASTIC OPTIMIZATION." 1-15. in Proc. **International Conference on Learning Representations**. USA.

Giztix. 2019. **รู้จักกับการ Import, Export สินค้า และภาษี.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://blog.giztix.com/เข้าใจง่ายๆกับสินค้า-import-export-และภาษี/.

Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. 2018. **Forecasting: principles and practice (2nd ed.).** [Online]. Available : https://otexts.com/fpp2/nnetar.html.

Jason Brownlee. 2016. **Time Series Prediction with LSTM Recurrent Neural Networks in Python with Keras.** [Online]. Available : https://machine learningmastery.com/time-series-prediction-lstm-recurrent-neural-networks-python-keras/

Sirinart Tangruamsub. 2017. **Long Short-Term Memory (LSTM).** [Online]. Available : https://medium.com /@sinart.t/long-short-term-memory-lstm-e6cb23b494c6.

Stephanie Glen. 2014. **Anderson-Darling Test & Statistic: Definition, Examples.** [Online]. Available : https://www.statisticshowto.com/anderson-darling-test/.

Tello A., Izquierdo I., Pacheco G., Vanegas P. 2019. "Prediction of Imports of Household Appliances in Ecuador Using LSTM Networks." 194-207. in Proc. **Conference on Information Technologies and Communication of Ecuador**. Ecuador.

Winn Voravuthikunchai. 2019. **Artificial Neural Network ความสำเร็จครั้งใหญ่ของมนุษย์ในการเลียนแบบธรรมชาติ.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://medium.com/botnoi-classroom/artificial-neuron-network-ความสำเร็จครั้งใหญ่ในการเลียนแบบธรรมชาติของมนุษย์-d5d6e81318ff.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก อนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

ตารางที่ ก.1 อนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 หน่วย : ล้านบาท

ปี พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2548	37,298.03	38,186.18	51,602.08	42,875.11	49,594.36	50,533.47	47,240.28	47,444.24	47,387.41	42,721.58	41,085.20	43,061.26
2549	40,687.25	43,112.92	53,565.87	42,040.40	48,172.56	50,259.08	45,510.07	47,643.62	50,660.75	49,146.46	45,712.04	43,228.24
2550	41,375.25	45,961.10	55,631.90	43,152.48	51,503.79	49,038.30	44,471.12	50,202.22	47,481.14	62,573.55	48,091.30	46,324.74
2551	46,808.12	48,658.86	55,094.59	46,509.04	51,696.52	51,252.50	52,936.40	51,527.51	57,556.55	51,567.87	41,453.83	38,041.46
2552	33,881.00	34,067.55	42,591.78	40,052.66	42,660.56	44,064.55	46,665.21	46,609.85	51,357.06	53,877.77	46,260.41	47,431.32
2553	46,663.29	47,428.99	53,439.08	45,019.45	56,964.37	61,241.16	60,334.00	62,720.55	57,431.17	55,923.13	53,215.46	50,313.38
2554	52,222.94	54,176.32	65,600.82	52,110.23	60,221.51	64,499.12	63,922.16	61,146.01	62,342.95	47,469.07	42,685.71	42,905.02
2555	44,680.71	52,312.50	60,975.32	54,395.05	69,184.64	66,448.30	63,724.90	60,850.31	61,690.79	60,089.37	57,949.22	51,989.57
2556	52,690.41	51,791.76	62,003.95	54,099.69	61,264.55	59,088.09	58,792.23	59,397.84	60,826.54	60,709.53	58,878.41	55,371.06
2557	60,239.97	61,337.95	66,823.58	61,772.89	66,257.55	64,171.50	61,646.29	59,636.08	62,644.97	66,278.82	65,402.32	60,364.74
2558	60,639.05	61,139.99	66,244.73	61,570.87	63,173.69	62,187.80	63,509.31	59,322.70	65,953.84	66,437.01	63,139.95	58,013.87
2559	60,165.06	63,308.24	69,486.64	61,505.80	64,090.18	64,578.96	60,955.62	63,563.05	68,696.65	62,427.62	69,073.28	65,657.40
2560	62,626.97	66,956.63	78,746.94	62,146.01	71,619.23	69,958.66	62,331.88	64,737.91	65,884.38	62,408.70	66,065.43	61,512.98
2561	62,632.34	64,580.91	71,758.74	57,958.89	67,033.71	68,275.35	62,822.21	69,494.22	64,128.03	64,295.59	65,301.30	60,672.21
2562	61,859.87	65,335.54	71,065.44	60,631.56	67,785.81	63,712.35	61,646.12	59,598.31	61,890.77	60,443.51	57,993.64	58,491.77
2563	59,079.41	60,827.97	68,964.28	51,476.10	46,903.26	54,115.04	57,028.66	61,904.87	68,033.40	68,073.01	65,451.87	66,352.86
2564	64,937.07	67,365.92	79,957.17	70,608.25	72,325.78	75,735.95	70,586.10	68,134.44	80,359.49			

ตารางที่ ก.2 อนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 หน่วย : ล้านบาท

ปี พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2548	5442.10	4926.36	5492.07	5402.74	5272.91	5628.04	5789.82	6428.19	5318.94	5673.52	5715.86	5880.25
2549	5893.95	6715.11	7520.23	7484.54	7446.24	6880.91	6488.96	7254.48	6398.23	5669.03	5593.61	5747.05
2550	6440.98	7776.43	9300.62	8266.75	8478.93	7886.75	7710.93	8505.67	8220.83	8925.82	9542.08	9497.69
2551	9315.93	9214.19	10009.06	9337.23	10077.43	12112.10	11566.91	10799.06	11918.79	9856.13	8641.66	7961.33
2552	7350.79	7208.65	9261.01	8154.77	9182.65	11069.18	10479.51	11004.90	12662.79	10656.58	11617.46	11192.20
2553	9729.70	10688.32	13330.27	12155.95	13378.89	13734.32	12305.02	13675.32	11374.61	11435.11	11786.91	11916.93
2554	13621.78	11494.65	16929.23	13573.05	14541.96	14088.19	13522.41	15410.87	13765.06	13369.72	13736.21	15529.26
2555	18268.31	20509.09	15640.76	16454.04	16958.33	16987.24	16182.35	15714.57	16453.48	16788.14	22044.18	19647.89
2556	19038.01	15992.63	17219.53	16941.15	17928.23	16682.53	16826.43	17048.63	17098.84	20749.46	22347.02	16746.47
2557	21982.07	13523.50	18397.76	19851.51	18648.40	18889.52	16067.81	15940.77	17170.37	22741.44	23976.96	23849.76
2558	21242.09	19944.54	17941.21	18033.67	17164.14	17026.39	16602.29	17999.74	18233.71	23695.45	27332.40	17151.13
2559	20924.59	18656.59	26293.29	18551.43	19809.24	18169.73	17578.94	16730.52	15309.70	22375.13	23150.27	21168.43
2560	25362.98	20501.92	22229.00	19031.59	21834.17	18891.08	18168.80	16244.11	16394.31	20991.23	25448.01	23943.43
2561	21417.16	17577.78	18250.42	18915.78	21319.51	19329.26	15457.81	18654.20	17108.47	24125.49	26108.35	18440.19
2562	20611.68	15181.27	20773.93	19642.24	20093.72	15384.68	15749.33	14929.05	15781.09	23704.38	25437.70	21462.94
2563	19144.95	11699.96	18050.87	14828.09	17125.79	18534.86	19089.64	18006.05	14793.78	13958.97	25973.05	22410.26
2564	28230.03	18955.30	22755.25	23934.65	19942.64	20319.21	21585.91	20460.28	20447.08			

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์

ตารางที่ ข.1 ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก โดยค่าเริ่มต้นคำนวณจากค่าสังเกต 36 ค่าแรก $\hat{T}_t = 43433 + 181.7t$ ค่าปรับน้ำหนัก คือ $\alpha = 0.8210$, $\gamma = 0.0000$ และ $\delta = 0.2529$

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t-1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t
2548	ม.ค.	1	37,298.03							
	ก.พ.	2	38,186.18							
	มี.ค.	3	51,602.08							
	เม.ย.	4	42,875.11							
	พ.ค.	5	49,594.36							
	มิ.ย.	6	50,533.47							
	ก.ค.	7	47,240.28							
	ส.ค.	8	47,444.24							
	ก.ย.	9	47,387.41							
	ต.ค.	10	42,721.58							
	พ.ย.	11	41,085.20							
	ธ.ค.	12	43,061.26							
2549	ม.ค.	13	40,687.25							
	ก.พ.	14	43,112.92							
	มี.ค.	15	53,565.87							
	เม.ย.	16	42,040.40							
	พ.ค.	17	48,172.56							
	มิ.ย.	18	50,259.08							
	ก.ค.	19	45,510.07							
	ส.ค.	20	47,643.62							
	ก.ย.	21	50,660.75							
	ต.ค.	22	49,146.46							
	พ.ย.	23	45,712.04							
	ธ.ค.	24	43,228.24							
2550	ม.ค.	25	41,375.25					-5265.02		
	ก.พ.	26	45,961.10					-1759.03		
	มี.ค.	27	55,631.90					8243.44		
	เม.ย.	28	43,152.48					-4174.54		
	พ.ค.	29	51,503.79					2507.65		
	มิ.ย.	30	49,038.30					2104.21		
	ก.ค.	31	44,471.12					626.84		
	ส.ค.	32	50,202.22					1548.68		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t-1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t
	ก.ย.	33	47,481.14					2782.89		
	ต.ค.	34	62,573.55					-396.9		
	พ.ย.	35	48,091.30					-2977.86		
	ธ.ค.	36	46,324.74		49,974.20	181.70	50,155.90	-3240.36	44,890.88	
2551	ม.ค.	37	46,808.12	44,890.88	51,729.87	181.70	51,911.57	-5178.20	50,152.54	1917.24
	ก.พ.	38	48,658.86	50,152.54	50,685.33	181.70	50,867.03	-1826.67	59,110.47	-1493.68
	มี.ค.	39	55,094.59	59,110.47	47,570.18	181.70	47,751.88	8061.58	43,577.34	-4015.87
	เม.ย.	40	46,509.04	43,577.34	50,158.67	181.70	50,340.37	-4041.78	52,848.02	2931.71
	พ.ค.	41	51,696.52	52,848.02	49,395.04	181.70	49,576.74	2455.50	51,680.95	-1151.50
	มิ.ย.	42	51,252.50	51,680.95	49,225.00	181.70	49,406.70	2084.81	50,033.54	-428.46
	ก.ค.	43	52,936.40	50,033.54	51,789.81	181.70	51,971.51	758.30	53,520.19	2902.86
	ส.ค.	44	51,527.51	53,520.19	50,335.61	181.70	50,517.31	1458.44	53,300.20	-1992.69
	ก.ย.	45	57,556.55	53,300.20	54,011.58	181.70	54,193.28	2975.64	53,796.38	4256.35
	ต.ค.	46	51,567.87	53,796.38	52,363.78	181.70	52,545.48	-497.82	49,567.62	-2228.51
	พ.ย.	47	41,453.83	49,567.62	45,884.43	181.70	46,066.13	-3345.30	42,825.77	-8113.79
	ธ.ค.	48	38,041.46	42,825.77	42,138.43	181.70	42,320.13	-3457.02	37,141.93	-4784.32
2552	ม.ค.	49	33,881.00	37,141.93	39,643.05	181.70	39,824.75	-5325.87	37,998.08	-3260.93
	ก.พ.	50	34,067.55	37,998.08	36,597.97	181.70	36,779.67	-2004.67	44,841.24	-3930.53
	มี.ค.	51	42,591.78	44,841.24	34,932.96	181.70	35,114.66	7959.71	31,072.88	-2249.47
	เม.ย.	52	40,052.66	31,072.88	42,486.64	181.70	42,668.34	-3635.12	45,123.84	8979.77
	พ.ค.	53	42,660.56	45,123.84	40,646.10	181.70	40,827.80	2343.95	42,912.61	-2463.28
	มิ.ย.	54	44,064.55	42,912.61	41,773.49	181.70	41,955.19	2136.97	42,713.49	1151.94
	ก.ค.	55	46,665.21	42,713.49	45,199.37	181.70	45,381.07	937.25	46,839.51	3951.72
	ส.ค.	56	46,609.85	46,839.51	45,192.53	181.70	45,374.23	1448.04	48,349.87	-229.66
	ก.ย.	57	51,357.06	48,349.87	47,843.00	181.70	48,024.70	3111.82	47,526.88	3007.19
	ต.ค.	58	53,877.77	47,526.88	53,238.49	181.70	53,420.19	-210.21	50,074.89	6350.89
	พ.ย.	59	46,260.41	50,074.89	50,288.67	181.70	50,470.37	-3518.04	47,013.35	-3814.48
	ธ.ค.	60	47,431.32	47,013.35	50,813.51	181.70	50,995.21	-3438.09	45,669.34	417.97
2553	ม.ค.	61	46,663.29	45,669.34	51,811.19	181.70	51,992.89	-5280.86	49,988.22	993.95
	ก.พ.	62	47,428.99	49,988.22	49,891.88	181.70	50,073.58	-2120.57	58,033.29	-2559.23
	มี.ค.	63	53,439.08	58,033.29	46,301.94	181.70	46,483.64	7751.66	42,848.52	-4594.22
	เม.ย.	64	45,019.45	42,848.52	48,265.88	181.70	48,447.58	-3536.81	50,791.53	2170.93
	พ.ค.	65	56,964.37	50,791.53	53,515.20	181.70	53,696.90	2623.49	55,833.87	6172.84
	มิ.ย.	66	61,241.16	55,833.87	58,136.03	181.70	58,317.73	2381.85	59,254.99	5407.29
	ก.ค.	67	60,334.00	59,254.99	59,203.55	181.70	59,385.25	986.12	60,833.29	1079.01
	ส.ค.	68	62,720.55	60,833.29	60,934.61	181.70	61,116.31	1533.51	64,228.13	1887.26
	ก.ย.	69	57,431.17	64,228.13	55,536.32	181.70	55,718.02	2804.02	55,507.80	-6796.96
	ต.ค.	70	55,923.13	55,507.80	56,058.99	181.70	56,240.69	-191.41	52,722.64	415.33
	พ.ย.	71	53,215.46	52,722.64	56,645.26	181.70	56,826.96	-3495.72	53,388.87	492.82
	ธ.ค.	72	50,313.38	53,388.87	54,302.12	181.70	54,483.82	-3577.37	49,202.97	-3075.50
2554	ม.ค.	73	52,222.94	49,202.97	56,963.09	181.70	57,144.79	-5144.10	55,024.22	3019.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t-1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t
	ก.พ.	74	54,176.32	55,024.22	56,448.70	181.70	56,630.40	-2158.96	64,382.05	-847.91
	มี.ค.	75	65,600.82	64,382.05	57,630.94	181.70	57,812.64	7806.85	54,275.84	1218.76
	เม.ย.	76	52,110.23	54,275.84	56,034.78	181.70	56,216.48	-3634.88	58,839.97	-2165.61
	พ.ค.	77	60,221.51	58,839.97	57,350.65	181.70	57,532.35	2686.06	59,914.20	1381.54
	มิ.ย.	78	64,499.12	59,914.20	61,296.36	181.70	61,478.06	2589.48	62,464.18	4584.92
	ก.ค.	79	63,922.16	62,464.18	62,675.00	181.70	62,856.70	1052.14	64,390.20	1457.98
	ส.ค.	80	61,146.01	64,390.20	60,193.36	181.70	60,375.06	1386.59	63,179.08	-3244.19
	ก.ย.	81	62,342.95	63,179.08	59,688.64	181.70	59,870.34	2766.15	59,678.93	-836.13
	ต.ค.	82	47,469.07	59,678.93	49,846.60	181.70	50,028.30	-744.34	46,532.58	-12209.86
	พ.ย.	83	42,685.71	46,532.58	46,870.20	181.70	47,051.90	-3669.93	43,474.53	-3846.87
	ธ.ค.	84	42,905.02	43,474.53	46,584.35	181.70	46,766.05	-3603.16	41,621.96	-569.51
2555	ม.ค.	85	44,680.71	41,621.96	49,277.15	181.70	49,458.85	-5005.58	47,299.89	3058.75
	ก.พ.	86	52,312.50	47,299.89	53,573.97	181.70	53,755.67	-1931.96	61,562.52	5012.61
	มี.ค.	87	60,975.32	61,562.52	53,273.61	181.70	53,455.31	7780.26	49,820.43	-587.20
	เม.ย.	88	54,395.05	49,820.43	57,210.86	181.70	57,392.56	-3427.71	60,078.62	4574.62
	พ.ค.	89	69,184.64	60,078.62	64,868.19	181.70	65,049.89	3098.43	67,639.37	9106.02
	มิ.ย.	90	66,448.30	67,639.37	64,072.08	181.70	64,253.78	2535.54	65,305.92	-1191.07
	ก.ค.	91	63,724.90	65,305.92	62,955.83	181.70	63,137.53	980.55	64,524.12	-1581.02
	ส.ค.	92	60,850.31	64,524.12	60,121.50	181.70	60,303.20	1220.22	63,069.35	-3673.81
	ก.ย.	93	61,690.79	63,069.35	59,171.46	181.70	59,353.16	2703.73	58,608.82	-1378.56
	ต.ค.	94	60,089.37	58,608.82	60,568.62	181.70	60,750.32	-677.29	57,080.39	1480.55
	พ.ย.	95	57,949.22	57,080.39	61,463.59	181.70	61,645.29	-3630.59	58,042.13	868.83
	ธ.ค.	96	51,989.57	58,042.13	56,676.42	181.70	56,858.12	-3877.25	51,852.54	-6052.56
2556	ม.ค.	97	52,690.41	51,852.54	57,545.97	181.70	57,727.67	-4967.63	55,795.71	837.87
	ก.พ.	98	51,791.76	55,795.71	54,440.61	181.70	54,622.31	-2113.29	62,402.57	-4003.95
	มี.ค.	99	62,003.95	62,402.57	54,295.07	181.70	54,476.77	7762.21	51,049.05	-398.62
	เม.ย.	100	54,099.69	51,049.05	56,981.20	181.70	57,162.90	-3289.56	60,261.33	3050.64
	พ.ค.	101	61,264.55	60,261.33	57,986.50	181.70	58,168.20	3143.86	60,703.74	1003.22
	มิ.ย.	102	59,088.09	60,703.74	56,841.83	181.70	57,023.53	2462.37	58,004.07	-1615.64
	ก.ค.	103	58,792.23	58,004.07	57,670.57	181.70	57,852.27	1016.24	59,072.48	788.15
	ส.ค.	104	59,397.84	59,072.48	58,119.37	181.70	58,301.07	1234.95	61,004.79	325.36
	ก.ย.	105	60,826.54	61,004.79	58,154.73	181.70	58,336.43	2695.65	57,659.14	-178.26
	ต.ค.	106	60,709.53	57,659.14	60,840.66	181.70	61,022.36	-539.15	57,391.78	3050.40
	พ.ย.	107	58,878.41	57,391.78	62,242.82	181.70	62,424.52	-3563.26	58,547.27	1486.63
	ธ.ค.	108	55,371.06	58,547.27	59,817.00	181.70	59,998.70	-4021.09	55,031.07	-3176.21
2557	ม.ค.	109	60,239.97	55,031.07	64,274.97	181.70	64,456.67	-4731.75	62,343.38	5208.90
	ก.พ.	110	61,337.95	62,343.38	63,631.26	181.70	63,812.96	-2158.82	71,575.16	-1005.43
	มี.ค.	111	66,823.58	71,575.16	59,912.13	181.70	60,093.83	7547.03	56,804.26	-4751.58
	เม.ย.	112	61,772.89	56,804.26	64,172.84	181.70	64,354.54	-3064.56	67,498.41	4968.63
	พ.ค.	113	66,257.55	67,498.41	63,335.85	181.70	63,517.55	3087.67	65,979.93	-1240.86
	มิ.ย.	114	64,171.50	65,979.93	62,032.91	181.70	62,214.61	2380.48	63,230.85	-1808.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t-1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t
	ก.ค.	115	61,646.29	63,230.85	60,913.76	181.70	61,095.46	944.48	62,330.41	-1584.56
	ส.ค.	116	59,636.08	62,330.41	58,883.53	181.70	59,065.23	1112.94	61,760.89	-2694.33
	ก.ย.	117	62,644.97	61,760.89	59,791.03	181.70	59,972.73	2735.69	59,433.58	884.08
	ต.ค.	118	66,278.82	59,433.58	65,592.36	181.70	65,774.06	-229.16	62,210.80	6845.25
	พ.ย.	119	65,402.32	62,210.80	68,394.16	181.70	68,575.86	-3418.73	64,554.77	3191.53
	ธ.ค.	120	60,364.74	64,554.77	65,136.04	181.70	65,317.74	-4210.84	60,585.99	-4190.03
2558	ม.ค.	121	60,639.05	60,585.99	65,361.30	181.70	65,543.00	-4729.34	63,384.18	53.07
	ก.พ.	122	61,139.99	63,384.18	63,700.62	181.70	63,882.32	-2260.45	71,429.35	-2244.19
	มี.ค.	123	66,244.73	71,429.35	59,625.99	181.70	59,807.69	7312.24	56,743.13	-5184.61
	เม.ย.	124	61,570.87	56,743.13	63,771.04	181.70	63,952.74	-2845.93	67,040.41	4827.74
	พ.ค.	125	63,173.69	67,040.41	60,778.34	181.70	60,960.04	2912.56	63,340.52	-3866.72
	มิ.ย.	126	62,187.80	63,340.52	60,013.71	181.70	60,195.41	2328.28	61,139.89	-1152.72
	ก.ค.	127	63,509.31	61,139.89	62,140.60	181.70	62,322.30	1051.78	63,435.23	2369.42
	ส.ค.	128	59,322.70	63,435.23	58,946.09	181.70	59,127.79	926.70	61,863.48	-4112.53
	ก.ย.	129	65,953.84	61,863.48	62,485.79	181.70	62,667.49	2920.92	62,438.33	4090.36
	ต.ค.	130	66,437.01	62,438.33	65,950.22	181.70	66,131.92	-48.08	62,713.19	3998.67
	พ.ย.	131	63,139.95	62,713.19	66,482.27	181.70	66,663.97	-3399.41	62,453.13	426.76
	ธ.ค.	132	58,013.87	62,453.13	63,019.55	181.70	63,201.25	-4411.87	58,471.90	-4439.26
2559	ม.ค.	133	60,165.06	58,471.90	64,591.25	181.70	64,772.95	-4652.67	62,512.50	1693.16
	ก.พ.	134	63,308.24	62,512.50	65,426.21	181.70	65,607.91	-2224.41	72,920.15	795.74
	มี.ค.	135	69,486.64	72,920.15	62,789.16	181.70	62,970.86	7156.75	60,124.93	-3433.51
	เม.ย.	136	61,505.80	60,124.93	64,104.49	181.70	64,286.19	-2783.39	67,198.75	1380.87
	พ.ค.	137	64,090.18	67,198.75	61,734.19	181.70	61,915.89	2771.79	64,244.17	-3108.58
	มิ.ย.	138	64,578.96	64,244.17	62,190.74	181.70	62,372.44	2343.44	63,424.22	334.79
	ก.ค.	139	60,955.62	63,424.22	60,345.83	181.70	60,527.53	939.99	61,454.23	-2468.60
	ส.ค.	140	63,563.05	61,454.23	62,258.77	181.70	62,440.47	1022.20	65,361.40	2108.82
	ก.ย.	141	68,696.65	65,361.40	65,178.56	181.70	65,360.26	3071.96	65,312.19	3335.25
	ต.ค.	142	62,427.62	65,312.19	62,992.16	181.70	63,173.86	-178.71	59,774.46	-2884.57
	พ.ย.	143	69,073.28	59,774.46	70,807.77	181.70	70,989.47	-2978.30	66,577.59	9298.82
	ธ.ค.	144	65,657.40	66,577.59	70,234.03	181.70	70,415.73	-4453.55	65,763.06	-920.20
2560	ม.ค.	145	62,626.97	65,763.06	67,841.14	181.70	68,022.84	-4794.69	65,798.43	-3136.09
	ก.พ.	146	66,956.63	65,798.43	68,973.67	181.70	69,155.37	-2171.96	76,312.12	1158.20
	มี.ค.	147	78,746.94	76,312.12	71,154.25	181.70	71,335.95	7267.01	68,552.55	2434.82
	เม.ย.	148	62,146.01	68,552.55	66,076.47	181.70	66,258.17	-3073.52	69,029.96	-6406.54
	พ.ค.	149	71,619.23	69,029.96	68,383.85	181.70	68,565.55	2889.04	70,908.98	2589.28
	มิ.ย.	150	69,958.66	70,908.98	67,785.37	181.70	67,967.07	2300.40	68,907.06	-950.33
	ก.ค.	151	62,331.88	68,907.06	62,569.15	181.70	62,750.85	642.23	63,773.04	-6575.19
	ส.ค.	152	64,737.91	63,773.04	63,542.96	181.70	63,724.66	1065.89	66,796.62	964.87
	ก.ย.	153	65,884.38	66,796.62	62,975.75	181.70	63,157.45	3030.65	62,978.75	-912.24
	ต.ค.	154	62,408.70	62,978.75	62,689.47	181.70	62,871.17	-204.52	59,892.87	-570.05
	พ.ย.	155	66,065.43	59,892.87	67,938.56	181.70	68,120.26	-2698.77	63,666.71	6172.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t-1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t
	ธ.ค.	156	61,512.98	63,666.71	66,352.14	181.70	66,533.84	-4551.08	61,739.15	-2153.74
2561	ม.ค.	157	62,632.34	61,739.15	67,267.11	181.70	67,448.81	-4754.24	65,276.85	893.19
	ก.พ.	158	64,580.91	65,276.85	66,877.48	181.70	67,059.18	-2203.48	74,326.19	-695.93
	มี.ค.	159	71,758.74	74,326.19	64,951.42	181.70	65,133.12	7150.74	62,059.60	-2567.45
	เม.ย.	160	57,958.89	62,059.60	61,766.62	181.70	61,948.32	-3259.22	64,837.36	-4100.72
	พ.ค.	161	67,033.71	64,837.36	63,751.42	181.70	63,933.12	2988.51	66,233.52	2196.35
	มิ.ย.	162	68,275.35	66,233.52	65,609.37	181.70	65,791.07	2392.87	66,433.29	2041.83
	ก.ค.	163	62,822.21	66,433.29	62,826.53	181.70	63,008.23	478.70	64,074.12	-3611.09
	ส.ค.	164	69,494.22	64,074.12	67,457.88	181.70	67,639.58	1311.35	70,670.23	5420.10
	ก.ย.	165	64,128.03	70,670.23	62,268.74	181.70	62,450.44	2734.38	62,245.91	-6542.20
	ต.ค.	166	64,295.59	62,245.91	64,133.13	181.70	64,314.83	-111.70	61,616.05	2049.68
	พ.ย.	167	65,301.30	61,616.05	67,340.25	181.70	67,521.95	-2531.88	62,970.87	3685.25
	ธ.ค.	168	60,672.21	62,970.87	65,634.86	181.70	65,816.56	-4655.18	61,062.32	-2298.65
2562	ม.ค.	169	61,859.87	61,062.32	66,471.31	181.70	66,653.01	-4718.12	64,449.53	797.55
	ก.พ.	170	65,335.54	64,449.53	67,380.38	181.70	67,562.08	-2163.35	74,712.83	886.01
	มี.ค.	171	71,065.44	74,712.83	64,567.75	181.70	64,749.45	6985.57	61,490.23	-3647.38
	เม.ย.	172	60,631.56	61,490.23	64,044.52	181.70	64,226.22	-3298.11	67,214.73	-858.66
	พ.ค.	173	67,785.81	67,214.73	64,695.05	181.70	64,876.75	3014.37	67,269.62	571.07
	มิ.ย.	174	63,712.35	67,269.62	61,956.40	181.70	62,138.10	2231.77	62,616.80	-3557.26
	ก.ค.	175	61,646.12	62,616.80	61,341.22	181.70	61,522.92	434.74	62,834.26	-970.68
	ส.ค.	176	59,598.31	62,834.26	58,866.35	181.70	59,048.05	1164.80	61,782.43	-3235.95
	ก.ย.	177	61,890.77	61,782.43	59,136.99	181.70	59,318.69	2739.29	59,206.99	108.34
	ต.ค.	178	60,443.51	59,206.99	60,333.82	181.70	60,515.52	-55.70	57,983.64	1236.52
	พ.ย.	179	57,993.64	57,983.64	60,523.74	181.70	60,705.44	-2531.43	56,050.26	10.01
	ธ.ค.	180	58,491.77	56,050.26	62,709.80	181.70	62,891.50	-4544.61	58,173.38	2441.51
2563	ม.ค.	181	59,079.41	58,173.38	63,635.31	181.70	63,817.01	-4677.09	61,653.65	906.03
	ก.พ.	182	60,827.97	61,653.65	63,139.16	181.70	63,320.86	-2200.75	70,306.43	-825.68
	มี.ค.	183	68,964.28	70,306.43	62,219.01	181.70	62,400.71	6924.79	59,102.61	-1342.16
	เม.ย.	184	51,476.10	59,102.61	56,139.70	181.70	56,321.40	-3643.48	59,335.77	-7626.50
	พ.ค.	185	46,903.26	59,335.77	46,114.88	181.70	46,296.58	2451.35	48,528.35	-12432.51
	มิ.ย.	186	54,115.04	48,528.35	50,882.99	181.70	51,064.69	2484.77	51,499.43	5586.68
	ก.ค.	187	57,028.66	51,499.43	55,603.94	181.70	55,785.64	685.13	56,950.44	5529.23
	ส.ค.	188	61,904.87	56,950.44	59,852.99	181.70	60,034.69	1389.17	62,773.98	4954.43
	ก.ย.	189	68,033.40	62,773.98	64,352.44	181.70	64,534.14	2977.47	64,478.43	5259.42
	ต.ค.	190	68,073.01	64,478.43	67,485.12	181.70	67,666.82	107.08	65,135.39	3594.57
	พ.ย.	191	65,451.87	65,135.39	67,926.64	181.70	68,108.34	-2517.10	63,563.73	316.49
	ธ.ค.	192	66,352.86	63,563.73	70,398.09	181.70	70,579.79	-4418.30	65,902.70	2789.13
							$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} e_t^2} = 3697.96$			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ โดยค่าเริ่มต้นคำนวณจากค่าสังเกต 60 ค่าแรก $\hat{T}_t = 46170 + 19.30t$ ค่าปรับน้ำหนัก คือ $\alpha = 0.8301$, $\gamma = 0.0000$ และ $\delta = 1.0000$

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t
2548	ม.ค.	1	37,298.03						
	ก.พ.	2	38,186.18						
	มี.ค.	3	51,602.08						
	เม.ย.	4	42,875.11						
	พ.ค.	5	49,594.36						
	มิ.ย.	6	50,533.47						
	ก.ค.	7	47,240.28						
	ส.ค.	8	47,444.24						
	ก.ย.	9	47,387.41						
	ต.ค.	10	42,721.58						
	พ.ย.	11	41,085.20						
	ธ.ค.	12	43,061.26						
2549	ม.ค.	13	40,687.25						
	ก.พ.	14	43,112.92						
	มี.ค.	15	53,565.87						
	เม.ย.	16	42,040.40						
	พ.ค.	17	48,172.56						
	มิ.ย.	18	50,259.08						
	ก.ค.	19	45,510.07						
	ส.ค.	20	47,643.62						
	ก.ย.	21	50,660.75						
	ต.ค.	22	49,146.46						
	พ.ย.	23	45,712.04						
	ธ.ค.	24	43,228.24						
2550	ม.ค.	25	41,375.25						
	ก.พ.	26	45,961.10						
	มี.ค.	27	55,631.90						
	เม.ย.	28	43,152.48						
	พ.ค.	29	51,503.79						
	มิ.ย.	30	49,038.30						
	ก.ค.	31	44,471.12						
	ส.ค.	32	50,202.22						
	ก.ย.	33	47,481.14						
	ต.ค.	34	62,573.55						
	พ.ย.	35	48,091.30						
	ธ.ค.	36	46,324.74						
2551	ม.ค.	37	46,808.12						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t
	ก.พ.	38	48,658.86						
	มี.ค.	39	55,094.59						
	เม.ย.	40	46,509.04						
	พ.ค.	41	51,696.52						
	มิ.ย.	42	51,252.50						
	ก.ค.	43	52,936.40						
	ส.ค.	44	51,527.51						
	ก.ย.	45	57,556.55						
	ต.ค.	46	51,567.87						
	พ.ย.	47	41,453.83						
	ธ.ค.	48	38,041.46						
2552	ม.ค.	49	33,881.00					0.8863	
	ก.พ.	50	34,067.55					0.9567	
	มี.ค.	51	42,591.78					1.1281	
	เม.ย.	52	40,052.66					0.9141	
	พ.ค.	53	42,660.56					1.0340	
	มิ.ย.	54	44,064.55					1.0210	
	ก.ค.	55	46,665.21					1.0141	
	ส.ค.	56	46,609.85					1.0336	
	ก.ย.	57	51,357.06					1.0596	
	ต.ค.	58	53,877.77					1.0863	
	พ.ย.	59	46,260.41					0.9438	
	ธ.ค.	60	47,431.32		47328.00	19.30	47347.30	0.9226	
2553	ม.ค.	61	46,663.29	41961.54	51751.04	19.30	51770.34	0.9017	4701.74
	ก.พ.	62	47,428.99	49526.62	49950.27	19.30	49969.57	0.9495	-2097.62
	มี.ค.	63	53,439.08	56372.17	47811.39	19.30	47830.69	1.1177	-2933.09
	เม.ย.	64	45,019.45	43722.99	49007.96	19.30	49027.26	0.9186	1296.46
	พ.ค.	65	56,964.37	50693.70	54061.31	19.30	54080.61	1.0537	6270.67
	มิ.ย.	66	61,241.16	55216.30	58978.86	19.30	58998.16	1.0384	6024.86
	ก.ค.	67	60,334.00	59827.08	59413.11	19.30	59432.41	1.0155	506.92
	ส.ค.	68	62,720.55	61428.74	60469.86	19.30	60489.16	1.0372	1291.81
	ก.ย.	69	57,431.17	64094.92	55268.90	19.30	55288.20	1.0391	-6663.75
	ต.ค.	70	55,923.13	60058.47	52128.19	19.30	52147.49	1.0728	-4135.33
	พ.ย.	71	53,215.46	49214.20	55666.82	19.30	55686.12	0.9560	4001.27
	ธ.ค.	72	50,313.38	51374.35	54731.52	19.30	54750.82	0.9193	-1060.97
2554	ม.ค.	73	52,222.94	49368.14	57378.90	19.30	57398.20	0.9101	2854.80
	ก.พ.	74	54,176.32	54500.99	57114.37	19.30	57133.67	0.9486	-324.67
	มี.ค.	75	65,600.82	63858.64	58427.52	19.30	58446.82	1.1228	1742.18
	เม.ย.	76	52,110.23	53690.13	57019.19	19.30	57038.49	0.9139	-1579.91
	พ.ค.	77	60,221.51	60101.42	57133.09	19.30	57152.39	1.0541	120.09
	มิ.ย.	78	64,499.12	59344.63	61272.96	19.30	61292.26	1.0527	5154.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t
	ก.ค.	79	63,922.16	62242.28	62665.41	19.30	62684.71	1.0201	1679.88
	ส.ค.	80	61,146.01	65017.84	59586.12	19.30	59605.42	1.0262	-3871.83
	ก.ย.	81	62,342.95	61937.34	59929.43	19.30	59948.73	1.0403	405.61
	ต.ค.	82	47,469.07	64313.01	46915.73	19.30	46935.03	1.0118	-16843.93
	พ.ย.	83	42,685.71	44868.18	45039.95	19.30	45059.25	0.9477	-2182.47
	ธ.ค.	84	42,905.02	41421.89	46398.47	19.30	46417.77	0.9247	1483.12
2555	ม.ค.	85	44,680.71	42246.76	48637.61	19.30	48656.91	0.9186	2433.95
	ก.พ.	86	52,312.50	46153.92	54046.25	19.30	54065.55	0.9679	6158.57
	มี.ค.	87	60,975.32	60703.32	54266.65	19.30	54285.95	1.1236	272.01
	เม.ย.	88	54,395.05	49612.30	58630.01	19.30	58649.31	0.9278	4782.75
	พ.ค.	89	69,184.64	61819.69	64449.28	19.30	64468.58	1.0735	7364.95
	มิ.ย.	90	66,448.30	67862.98	63353.01	19.30	63372.31	1.0489	-1414.69
	ก.ค.	91	63,724.90	64643.24	62625.01	19.30	62644.31	1.0176	-918.34
	ส.ค.	92	60,850.31	64284.26	59866.57	19.30	59885.87	1.0164	-3433.95
	ก.ย.	93	61,690.79	62297.64	59401.64	19.30	59420.94	1.0385	-606.85
	ต.ค.	94	60,089.37	60121.77	59394.35	19.30	59413.65	1.0117	-32.40
	พ.ย.	95	57,949.22	56308.10	60851.05	19.30	60870.35	0.9523	1641.12
	ธ.ค.	96	51,989.57	56287.28	57012.44	19.30	57031.74	0.9119	-4297.70
2556	ม.ค.	97	52,690.41	52391.94	57301.44	19.30	57320.74	0.9195	298.47
	ก.พ.	98	51,791.76	55481.94	54156.08	19.30	54175.38	0.9563	-3690.18
	มี.ค.	99	62,003.95	60872.77	55011.04	19.30	55030.34	1.1271	1131.19
	เม.ย.	100	54,099.69	51055.40	57754.09	19.30	57773.39	0.9367	3044.29
	พ.ค.	101	61,264.55	62018.24	57190.58	19.30	57209.88	1.0712	-753.70
	มิ.ย.	102	59,088.09	60005.03	56484.20	19.30	56503.50	1.0461	-916.94
	ก.ค.	103	58,792.23	57495.88	57561.00	19.30	57580.30	1.0214	1296.34
	ส.ค.	104	59,397.84	58526.47	58291.92	19.30	58311.22	1.0190	871.37
	ก.ย.	105	60,826.54	60558.35	58525.58	19.30	58544.88	1.0393	268.19
	ต.ค.	106	60,709.53	59229.95	59758.84	19.30	59778.14	1.0159	1479.58
	พ.ย.	107	58,878.41	56927.48	61478.66	19.30	61497.96	0.9577	1950.93
	ธ.ค.	108	55,371.06	56079.91	60852.71	19.30	60872.01	0.9099	-708.85
2557	ม.ค.	109	60,239.97	55973.66	64723.30	19.30	64742.60	0.9307	4266.31
	ก.พ.	110	61,337.95	61916.10	64240.78	19.30	64260.08	0.9548	-578.14
	มี.ค.	111	66,823.58	72428.72	60132.12	19.30	60151.42	1.1113	-5605.13
	เม.ย.	112	61,772.89	56345.33	64961.06	19.30	64980.36	0.9509	5427.56
	พ.ค.	113	66,257.55	69609.23	62383.20	19.30	62402.50	1.0621	-3351.68
	มิ.ย.	114	64,171.50	65279.22	61523.53	19.30	61542.83	1.0430	-1107.72
	ก.ค.	115	61,646.29	62859.22	60557.08	19.30	60576.38	1.0180	-1212.93
	ส.ค.	116	59,636.08	61725.64	58874.17	19.30	58893.47	1.0129	-2089.57
	ก.ย.	117	62,644.97	61208.90	60040.43	19.30	60059.73	1.0434	1436.08
	ต.ค.	118	66,278.82	61015.21	64360.53	19.30	64379.83	1.0298	5263.61
	พ.ย.	119	65,402.32	61656.87	67626.16	19.30	67645.46	0.9671	3745.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t
	ธ.ค.	120	60,364.74	61551.91	66562.45	19.30	66581.75	0.9069	-1187.17
2558	ม.ค.	121	60,639.05	61969.69	65395.02	19.30	65414.32	0.9273	-1330.63
	ก.พ.	122	61,139.99	62458.46	64268.09	19.30	64287.39	0.9513	-1318.47
	มี.ค.	123	66,244.73	71441.25	60405.81	19.30	60425.11	1.0967	-5196.52
	เม.ย.	124	61,570.87	57459.56	64013.96	19.30	64033.26	0.9618	4111.31
	พ.ค.	125	63,173.69	68010.08	60253.42	19.30	60272.72	1.0485	-4836.39
	มิ.ย.	126	62,187.80	62866.86	59732.31	19.30	59751.61	1.0411	-679.06
	ก.ค.	127	63,509.31	60826.33	61939.35	19.30	61958.65	1.0253	2682.98
	ส.ค.	128	59,322.70	62760.47	59141.48	19.30	59160.78	1.0031	-3437.77
	ก.ย.	129	65,953.84	61727.16	62523.39	19.30	62542.69	1.0549	4226.69
	ต.ค.	130	66,437.01	64406.81	64179.15	19.30	64198.45	1.0352	2030.20
	พ.ย.	131	63,139.95	62087.33	65101.92	19.30	65121.22	0.9699	1052.62
	ธ.ค.	132	58,013.87	59057.70	64165.80	19.30	64185.10	0.9041	-1043.82
2559	ม.ค.	133	60,165.06	59517.13	64765.11	19.30	64784.41	0.9290	647.93
	ก.พ.	134	63,308.24	61631.18	66247.73	19.30	66267.03	0.9556	1677.05
	มี.ค.	135	69,486.64	72672.51	63855.60	19.30	63874.90	1.0882	-3185.86
	เม.ย.	136	61,505.80	61437.12	63934.18	19.30	63953.48	0.9620	68.69
	พ.ค.	137	64,090.18	67053.07	61607.73	19.30	61627.03	1.0403	-2962.90
	มิ.ย.	138	64,578.96	64160.40	61960.74	19.30	61980.04	1.0423	418.55
	ก.ค.	139	60,955.62	63551.03	59878.89	19.30	59898.19	1.0180	-2595.41
	ส.ค.	140	63,563.05	60081.73	62779.13	19.30	62798.43	1.0125	3481.31
	ก.ย.	141	68,696.65	66243.97	64728.46	19.30	64747.76	1.0613	2452.68
	ต.ค.	142	62,427.62	67025.62	61060.76	19.30	61080.06	1.0224	-4598.00
	พ.ย.	143	69,073.28	59239.30	69496.69	19.30	69515.99	0.9939	9833.98
	ธ.ค.	144	65,657.40	62851.11	72092.45	19.30	72111.75	0.9107	2806.28
2560	ม.ค.	145	62,626.97	66989.88	68213.29	19.30	68232.59	0.9181	-4362.91
	ก.พ.	146	66,956.63	65205.03	69754.07	19.30	69773.37	0.9599	1751.60
	มี.ค.	147	78,746.94	75926.26	71925.01	19.30	71944.31	1.0948	2820.68
	เม.ย.	148	62,146.01	69211.70	65847.67	19.30	65866.97	0.9438	-7065.68
	พ.ค.	149	71,619.23	68521.04	68339.10	19.30	68358.40	1.0480	3098.19
	มิ.ย.	150	69,958.66	71246.96	67332.36	19.30	67351.66	1.0390	-1288.30
	ก.ค.	151	62,331.88	68562.76	62270.89	19.30	62290.19	1.0010	-6230.89
	ส.ค.	152	64,737.91	63068.00	63659.25	19.30	63678.55	1.0169	1669.91
	ก.ย.	153	65,884.38	67582.39	62350.50	19.30	62369.80	1.0567	-1698.00
	ต.ค.	154	62,408.70	63765.96	61267.83	19.30	61287.13	1.0186	-1357.26
	พ.ย.	155	66,065.43	60913.73	65589.66	19.30	65608.96	1.0073	5151.69
	ธ.ค.	156	61,512.98	59752.63	67213.40	19.30	67232.70	0.9152	1760.35
	ก.พ.	158	64,580.91	65340.89	67413.62	19.30	67432.92	0.9580	-759.98
	มี.ค.	159	71,758.74	73828.79	65863.48	19.30	65882.78	1.0895	-2070.04
	เม.ย.	160	57,958.89	62179.15	62170.96	19.30	62190.26	0.9323	-4220.27
	พ.ค.	161	67,033.71	65175.27	63662.27	19.30	63681.57	1.0530	1858.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t
	มิ.ย.	162	68,275.35	66165.46	65367.19	19.30	65386.49	1.0445	2109.89
	ก.ค.	163	62,822.21	65450.53	63206.91	19.30	63226.21	0.9939	-2628.32
	ส.ค.	164	69,494.22	64297.53	67468.00	19.30	67487.30	1.0300	5196.69
	ก.ย.	165	64,128.03	71312.34	61843.63	19.30	61862.93	1.0369	-7184.30
	ต.ค.	166	64,295.59	63014.88	62906.59	19.30	62925.89	1.0221	1280.71
	พ.ย.	167	65,301.30	63382.34	64507.31	19.30	64526.61	1.0123	1918.97
	ธ.ค.	168	60,672.21	59054.06	65994.28	19.30	66013.58	0.9194	1618.16
2562	ม.ค.	169	61,859.87	60756.69	67008.54	19.30	67027.84	0.9232	1103.18
	ก.พ.	170	65,335.54	64211.34	68001.95	19.30	68021.25	0.9608	1124.20
	มี.ค.	171	71,065.44	74109.65	65701.92	19.30	65721.22	1.0816	-3044.20
	เม.ย.	172	60,631.56	61268.61	65153.99	19.30	65173.29	0.9306	-637.05
	พ.ค.	173	67,785.81	68624.75	64511.92	19.30	64531.22	1.0507	-838.95
	มิ.ย.	174	63,712.35	67402.18	61598.83	19.30	61618.13	1.0343	-3689.83
	ก.ค.	175	61,646.12	61243.09	61954.72	19.30	61974.02	0.9950	403.02
	ส.ค.	176	59,598.31	63835.24	58559.57	19.30	58578.87	1.0177	-4236.93
	ก.ย.	177	61,890.77	60742.68	59497.93	19.30	59517.23	1.0402	1148.09
	ต.ค.	178	60,443.51	60831.40	59202.22	19.30	59221.52	1.0210	-387.88
	พ.ย.	179	57,993.64	59950.45	57616.96	19.30	57636.26	1.0065	-1956.80
	ธ.ค.	180	58,491.77	52988.22	62605.38	19.30	62624.68	0.9343	5503.55
2563	ม.ค.	181	59,079.41	57812.84	63763.53	19.30	63782.83	0.9265	1266.56
	ก.พ.	182	60,827.97	61281.86	63390.69	19.30	63409.99	0.9596	-453.88
	มี.ค.	183	68,964.28	68586.42	63699.97	19.30	63719.27	1.0826	377.85
	เม.ย.	184	51,476.10	59296.43	56743.58	19.30	56762.88	0.9072	-7820.33
	พ.ค.	185	46,903.26	59643.52	46698.22	19.30	46717.52	1.0044	-12740.26
	มิ.ย.	186	54,115.04	48320.45	51367.93	19.30	51387.23	1.0535	5794.58
	ก.ค.	187	57,028.66	51131.26	56307.04	19.30	56326.34	1.0128	5897.40
	ส.ค.	188	61,904.87	57325.46	60061.36	19.30	60080.66	1.0307	4579.40
	ก.ย.	189	68,033.40	62496.93	64498.69	19.30	64517.99	1.0548	5536.47
	ต.ค.	190	68,073.01	65870.74	66308.50	19.30	66327.80	1.0266	2202.26
	พ.ย.	191	65,451.87	66761.43	65247.83	19.30	65267.13	1.0031	-1309.55
	ธ.ค.	19	66,352.86	60978.62	70041.91	19.30	70061.21	0.9473	5374.24
						$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} e_t^2} = 3811.19$			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก โดยค่าเริ่มต้นคำนวณจากค่าสังเกต 24 ค่าแรก $\hat{T}_t = 5134 + 76.2t$ ค่าปรับน้ำหนัก คือ $\alpha = 0.0705$, $\gamma = 0.0843$ และ $\delta = 0.3685$

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t-1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t
2548	ม.ค.	1	5442.10							
	ก.พ.	2	4926.36							
	มี.ค.	3	5492.07							
	เม.ย.	4	5402.74							
	พ.ค.	5	5272.91							
	มิ.ย.	6	5628.04							
	ก.ค.	7	5789.82							
	ส.ค.	8	6428.19							
	ก.ย.	9	5318.94							
	ต.ค.	10	5673.52							
	พ.ย.	11	5715.86							
	ธ.ค.	12	5880.25							
2549	ม.ค.	13	5893.95					-675.65		
	ก.พ.	14	6715.11					81.95		
	มี.ค.	15	7520.23					807.68		
	เม.ย.	16	7484.54					727.20		
	พ.ค.	17	7446.24					694.18		
	มิ.ย.	18	6880.91					139.49		
	ก.ค.	19	6488.96					45.25		
	ส.ค.	20	7254.48					590.26		
	ก.ย.	21	6398.23					-678.02		
	ต.ค.	22	5669.03					-494.69		
	พ.ย.	23	5593.61					-629.65		
	ธ.ค.	24	5747.05		6962.80	76.20	7039.00	-608.01	6363.35	
2550	ม.ค.	25	6440.98	6363.35	7044.47	76.66	7121.13	-649.06	7203.08	77.63
	ก.พ.	26	7776.43	7203.08	7161.54	80.07	7241.61	278.36	8049.28	573.35
	มี.ค.	27	9300.62	8049.28	7329.79	87.50	7417.29	1236.35	8144.50	1251.34
	เม.ย.	28	8266.75	8144.50	7425.91	88.23	7514.14	769.08	8208.31	122.26
	พ.ค.	29	8478.93	8208.31	7533.21	89.83	7623.04	786.88	7762.53	270.62
	มิ.ย.	30	7886.75	7762.53	7631.79	90.57	7722.36	182.05	7767.62	124.21
	ก.ค.	31	7710.93	7767.62	7718.37	90.23	7808.60	25.83	8398.87	-56.69
	ส.ค.	32	8505.67	8398.87	7816.13	90.87	7907.00	626.85	7228.98	106.80
	ก.ย.	33	8220.83	7228.98	7976.90	96.76	8073.66	-338.24	7578.97	991.85
	ต.ค.	34	8925.82	7578.97	8168.58	104.76	8273.34	-33.30	7643.69	1346.86
	พ.ย.	35	9542.08	7643.69	8407.13	116.03	8523.16	20.68	7915.15	1898.39
	ธ.ค.	36	9497.69	7915.15	8634.69	125.43	8760.13	-65.88	8111.07	1582.54
2551	ม.ค.	37	9315.93	8111.07	8845.04	132.59	8977.63	-236.31	9256.00	1204.86
	ก.พ.	38	9214.19	9256.00	8974.68	132.34	9107.03	264.04	10343.38	-41.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t-1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t
	มี.ค.	39	10009.06	10343.38	9083.47	130.36	9213.82	1121.82	9982.91	-334.32
	เม.ย.	40	9337.23	9982.91	9168.32	126.52	9294.84	547.89	10081.72	-645.68
	พ.ค.	41	10077.43	10081.72	9294.54	126.50	9421.03	785.41	9603.08	-4.29
	มิ.ย.	42	12112.10	9603.08	9597.86	141.40	9739.26	1041.56	9765.09	2509.02
	ก.ค.	43	11566.91	9765.09	9866.24	152.10	10018.34	643.08	10645.19	1801.82
	ส.ค.	44	10799.06	10645.19	10029.19	153.01	10182.20	679.56	9843.96	153.87
	ก.ย.	45	11918.79	9843.96	10328.43	165.34	10493.76	372.53	10460.46	2074.83
	ต.ค.	46	9856.13	10460.46	10451.17	161.75	10612.92	-240.32	10633.60	-604.33
	พ.ย.	47	8641.66	10633.60	10472.54	149.92	10622.45	-661.70	10556.57	-1991.95
	ธ.ค.	48	7961.33	10556.57	10439.55	134.50	10574.05	-954.93	10337.75	-2595.24
2552	ม.ค.	49	7350.79	10337.75	10363.55	116.76	10480.31	-1259.55	10744.35	-2986.96
	ก.พ.	50	7208.65	10744.35	10231.13	95.76	10326.89	-947.18	11448.71	-3535.70
	มี.ค.	51	9261.01	11448.71	10172.71	82.77	10255.47	372.38	10803.37	-2187.70
	เม.ย.	52	8154.77	10803.37	10068.81	67.04	10135.85	-359.43	10921.26	-2648.59
	พ.ค.	53	9182.65	10921.26	10013.32	56.71	10070.02	189.82	11111.58	-1738.61
	มิ.ย.	54	11069.18	11111.58	10067.04	56.46	10123.49	1027.03	10766.58	-42.40
	ก.ค.	55	10479.51	10766.58	10103.26	54.75	10158.01	544.74	10837.58	-287.06
	ส.ค.	56	11004.90	10837.58	10169.81	55.75	10225.55	736.88	10598.08	167.32
	ก.ย.	57	12662.79	10598.08	10371.06	68.01	10439.07	1079.84	10198.75	2064.70
	ต.ค.	58	10656.58	10198.75	10471.34	70.73	10542.07	-83.49	9880.37	457.83
	พ.ย.	59	11617.46	9880.37	10664.49	81.05	10745.53	-66.62	9790.60	1737.09
	ธ.ค.	60	11192.20	9790.60	10844.31	89.37	10933.68	-474.79	9674.13	1401.60
2553	ม.ค.	61	9729.70	9674.13	10937.60	89.70	11027.30	-1240.51	10080.12	55.57
	ก.พ.	62	10688.32	10080.12	11070.17	93.31	11163.48	-738.83	11535.86	608.20
	มี.ค.	63	13330.27	11535.86	11289.94	103.97	11393.91	987.09	11034.48	1794.41
	เม.ย.	64	12155.95	11034.48	11472.95	110.63	11583.58	24.75	11773.40	1121.47
	พ.ค.	65	13378.89	11773.40	11696.73	120.17	11816.90	739.81	12843.93	1605.48
	มิ.ย.	66	13734.32	12843.93	11879.65	125.46	12005.11	1332.05	12549.85	890.38
	ก.ค.	67	12305.02	12549.85	11987.85	124.00	12111.85	460.87	12848.74	-244.83
	ส.ค.	68	13675.32	12848.74	12170.11	128.91	12299.02	1020.04	13378.86	826.58
	ก.ย.	69	11374.61	13378.86	12157.77	117.01	12274.78	393.24	12191.29	-2004.25
	ต.ค.	70	11435.11	12191.29	12221.48	112.52	12334.00	-342.53	12267.38	-756.18
	พ.ย.	71	11786.91	12267.38	12300.14	109.66	12409.80	-231.22	11935.01	-480.47
	ธ.ค.	72	11916.93	11935.01	12408.53	109.56	12518.08	-480.98	11277.57	-18.08
2554	ม.ค.	73	13621.78	11277.57	12683.29	123.48	12806.77	-437.46	12067.94	2344.22
	ก.พ.	74	11494.65	12067.94	12766.37	120.07	12886.44	-935.22	13873.53	-573.30
	มี.ค.	75	16929.23	13873.53	13101.79	138.22	13240.02	2033.88	13264.76	3055.70
	เม.ย.	76	13573.05	13264.76	13261.74	140.05	13401.80	130.35	14141.61	308.28
	พ.ค.	77	14541.96	14141.61	13430.01	142.43	13572.45	876.96	14904.50	400.36
	มิ.ย.	78	14088.19	14904.50	13514.92	137.58	13652.50	1052.41	14113.37	-816.31
	ก.ค.	79	13522.41	14113.37	13610.85	134.07	13744.93	258.42	14764.97	-590.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t-1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t
	ส.ค.	80	15410.87	14764.97	13790.45	137.91	13928.36	1241.31	14321.60	645.90
	ก.ย.	81	13765.06	14321.60	13889.13	134.60	14023.74	202.59	13681.21	-556.54
	ต.ค.	82	13369.72	13681.21	14001.79	132.75	14134.54	-449.24	13903.32	-311.49
	พ.ย.	83	13736.21	13903.32	14122.76	131.76	14254.52	-288.46	13773.54	-167.11
	ธ.ค.	84	15529.26	13773.54	14378.26	142.19	14520.45	120.47	14082.99	1755.72
2555	ม.ค.	85	18268.31	14082.99	14815.41	167.05	14982.46	996.31	14047.24	4185.31
	ก.พ.	86	20509.09	14047.24	15437.87	205.43	15643.30	1278.41	17677.18	6461.85
	มี.ค.	87	15640.76	17677.18	15499.78	193.33	15693.11	1336.27	15823.47	-2036.42
	เม.ย.	88	16454.04	15823.47	15737.55	197.08	15934.63	346.37	16811.59	630.57
	พ.ค.	89	16958.33	16811.59	15944.97	197.95	16142.92	927.23	17195.34	146.74
	มิ.ย.	90	16987.24	17195.34	16128.26	196.72	16324.97	981.12	16583.40	-208.10
	ก.ค.	91	16182.35	16583.40	16296.71	194.33	16491.04	121.04	17732.35	-401.04
	ส.ค.	92	15714.57	17732.35	16348.84	182.35	16531.19	550.08	16733.78	-2017.78
	ก.ย.	93	16453.48	16733.78	16511.43	180.68	16692.12	106.57	16242.88	-280.30
	ต.ค.	94	16788.14	16242.88	16730.54	183.92	16914.47	-262.45	16626.00	545.27
	พ.ย.	95	22044.18	16626.00	17296.32	216.10	17512.42	1567.64	17632.89	5418.18
	ธ.ค.	96	19647.89	17632.89	17654.43	228.07	17882.50	810.75	18878.81	2015.00
2556	ม.ค.	97	19038.01	18878.81	17893.72	229.02	18122.74	1050.84	19401.15	159.21
	ก.พ.	98	15992.63	19401.15	17882.52	208.77	18091.29	110.76	19427.56	-3408.52
	มี.ค.	99	17219.53	19427.56	17935.68	195.66	18131.34	579.86	18477.71	-2208.02
	เม.ย.	100	16941.15	18477.71	18023.05	186.53	18209.58	-180.01	19136.81	-1536.56
	พ.ค.	101	17928.23	19136.81	18124.40	179.35	18303.76	513.21	19284.88	-1208.57
	มิ.ย.	102	16682.53	19284.88	18120.35	163.90	18284.25	89.64	18405.29	-2602.35
	ก.ค.	103	16826.43	18405.29	18172.98	154.52	18327.50	-419.83	18877.58	-1578.85
	ส.ค.	104	17048.63	18877.58	18198.60	143.66	18342.25	-76.46	18448.82	-1828.95
	ก.ย.	105	17098.84	18448.82	18247.11	135.64	18382.75	-355.89	18120.30	-1349.98
	ต.ค.	106	20749.46	18120.30	18568.04	151.25	18719.30	638.22	20286.94	2629.15
	พ.ย.	107	22347.02	20286.94	18864.48	163.49	19027.97	2273.36	19838.72	2060.08
	ธ.ค.	108	16746.47	19838.72	18810.04	145.12	18955.16	-248.56	20006.01	-3092.25
2557	ม.ค.	109	21982.07	20006.01	19094.43	156.86	19251.29	1727.79	19362.04	1976.06
	ก.พ.	110	13523.50	19362.04	18839.81	122.18	18961.99	-1889.35	19541.85	-5838.54
	มี.ค.	111	18397.76	19541.85	18881.36	115.39	18996.75	187.93	18816.74	-1144.09
	เม.ย.	112	19851.51	18816.74	19069.67	121.53	19191.20	174.47	19704.41	1034.78
	พ.ค.	113	18648.40	19704.41	19116.78	115.26	19232.04	151.45	19321.68	-1056.01
	มิ.ย.	114	18889.52	19321.68	19201.58	112.69	19314.28	-58.40	18894.45	-432.15
	ก.ค.	115	16067.81	18894.45	19115.07	95.90	19210.97	-1388.15	19134.50	-2826.64
	ส.ค.	116	15940.77	19134.50	18985.89	76.93	19062.82	-1170.54	18706.93	-3193.73
	ก.ย.	117	17170.37	18706.93	18954.53	67.81	19022.34	-882.27	19660.56	-1536.56
	ต.ค.	118	22741.44	19660.56	19239.47	86.11	19325.57	1693.64	21598.94	3080.88
	พ.ย.	119	23976.96	21598.94	19493.17	100.23	19593.40	3088.00	19344.84	2378.03
	ธ.ค.	120	23849.76	19344.84	19910.89	126.99	20037.87	1294.69	21765.66	4504.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t-1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t
2558	ม.ค.	121	21242.09	21765.66	20000.97	123.88	20124.85	1548.43	18235.50	-523.57
	ก.พ.	122	19944.54	18235.50	20245.30	134.03	20379.33	-1303.89	20567.26	1709.04
	มี.ค.	123	17941.21	20567.26	20194.26	118.43	20312.69	-711.68	20487.16	-2626.05
	เม.ย.	124	18033.67	20487.16	20139.77	103.86	20243.63	-666.02	20395.08	-2453.50
	พ.ค.	125	17164.14	20395.08	20015.93	84.67	20100.60	-955.37	20042.20	-3230.94
	มิ.ย.	126	17026.39	20042.20	19888.06	66.76	19954.81	-1091.53	18566.66	-3015.81
	ก.ค.	127	16602.29	18566.66	19816.37	55.09	19871.46	-2061.09	18700.92	-1964.38
	ส.ค.	128	17999.74	18700.92	19822.04	50.92	19872.97	-1410.74	18990.70	-701.18
	ก.ย.	129	18233.71	18990.70	19819.62	46.43	19866.05	-1141.59	21559.69	-756.98
	ต.ค.	130	23695.45	21559.69	20016.57	59.11	20075.68	2425.29	23163.68	2135.76
	พ.ย.	131	27332.40	23163.68	20369.47	83.87	20453.35	4516.08	21748.04	4168.71
	ธ.ค.	132	17151.13	21748.04	20129.38	56.57	20185.95	-280.07	21734.37	-4596.91
2559	ม.ค.	133	20924.59	21734.37	20128.88	51.76	20180.64	1271.02	18876.75	-809.78
	ก.พ.	134	18656.59	18876.75	20165.12	50.45	20215.57	-1379.31	19503.90	-220.16
	มี.ค.	135	26293.29	19503.90	20694.06	90.78	20784.84	1614.17	20118.82	6789.39
	เม.ย.	136	18551.43	20118.82	20674.38	81.47	20755.84	-1202.96	19800.47	-1567.39
	พ.ค.	137	19809.24	19800.47	20756.46	81.52	20837.98	-952.37	19746.46	8.77
	มิ.ย.	138	18169.73	19746.46	20726.86	72.16	20799.02	-1631.67	18737.93	-1576.73
	ก.ค.	139	17578.94	18737.93	20717.34	65.27	20782.61	-2458.12	19371.86	-1158.99
	ส.ค.	140	16730.52	19371.86	20596.46	49.58	20646.04	-2315.59	19504.45	-2641.35
	ก.ย.	141	15309.70	19504.45	20350.41	24.67	20375.08	-2578.59	22800.37	-4194.75
	ต.ค.	142	22375.13	22800.37	20345.11	22.14	20367.25	2279.62	24883.34	-425.24
	พ.ย.	143	23150.27	24883.34	20245.12	11.85	20256.96	3922.38	19976.89	-1733.07
	ธ.ค.	144	21168.43	19976.89	20340.94	18.93	20359.87	128.11	21630.88	1191.54
2560	ม.ค.	145	25362.98	21630.88	20622.89	41.09	20663.98	2549.52	19284.68	3732.10
	ก.พ.	146	20501.92	19284.68	20749.77	48.32	20798.09	-962.31	22412.26	1217.25
	มี.ค.	147	22229.00	22412.26	20785.18	47.23	20832.41	1551.39	19629.45	-183.26
	เม.ย.	148	19031.59	19629.45	20790.28	43.68	20833.96	-1407.77	19881.59	-597.86
	พ.ค.	149	21834.17	19881.59	20971.57	55.28	21026.85	-283.47	19395.18	1952.58
	มิ.ย.	150	18891.08	19395.18	20991.32	52.29	21043.61	-1804.36	18585.49	-504.10
	ก.ค.	151	18168.80	18585.49	21014.25	49.81	21064.06	-2600.87	18748.47	-416.69
	ส.ค.	152	16244.11	18748.47	20887.56	34.94	20922.50	-3173.51	18343.91	-2504.36
	ก.ย.	153	16394.31	18343.91	20785.10	23.36	20808.46	-3246.46	23088.07	-1949.60
	ต.ค.	154	20991.23	23088.07	20660.68	10.90	20671.58	1561.30	24593.97	-2096.84
	พ.ย.	155	25448.01	24593.97	20731.77	15.98	20747.75	4214.96	20875.86	854.05
	ธ.ค.	156	23943.43	20875.86	20963.94	34.20	20998.13	1178.97	23547.66	3067.57
2561	ม.ค.	157	21417.16	23547.66	20847.99	21.54	20869.53	1819.68	19907.21	-2130.50
	ก.พ.	158	17577.78	19907.21	20705.36	7.71	20713.06	-1760.31	22264.45	-2329.43
	มี.ค.	159	18250.42	22264.45	20430.17	-16.14	20414.04	176.30	19006.27	-4014.03
	เม.ย.	160	18915.78	19006.27	20407.66	-16.67	20390.99	-1438.77	20107.51	-90.49
	พ.ค.	161	21319.51	20107.51	20476.40	-9.47	20466.93	131.72	18662.57	1211.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t-1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	e_t
	มิ.ย.	162	19329.26	18662.57	20513.91	-5.51	20508.40	-1575.97	17907.53	666.69
	ก.ค.	163	15457.81	17907.53	20335.75	-20.06	20315.69	-3440.07	17142.18	-2449.72
	ส.ค.	164	18654.20	17142.18	20422.25	-11.08	20411.16	-2655.54	17164.70	1512.03
	ก.ย.	165	17108.47	17164.70	20407.20	-11.42	20395.78	-3265.73	21957.08	-56.24
	ต.ค.	166	24125.49	21957.08	20548.60	1.46	20550.06	2304.13	24765.02	2168.40
	พ.ย.	167	26108.35	24765.02	20644.74	9.44	20654.18	4675.14	21833.15	1343.33
	ธ.ค.	168	18440.19	21833.15	20415.06	-10.71	20404.34	16.64	22224.02	-3392.96
2562	ม.ค.	169	20611.68	22224.02	20290.71	-20.29	20270.42	1267.34	18510.12	-1612.34
	ก.พ.	170	15181.27	18510.12	20035.82	-40.06	19995.76	-2900.67	20172.06	-3328.85
	มี.ค.	171	20773.93	20172.06	20038.17	-36.49	20001.69	382.48	18562.92	601.87
	เม.ย.	172	19642.24	18562.92	20077.75	-30.08	20047.68	-1069.02	20179.40	1079.32
	พ.ค.	173	20093.72	20179.40	20041.64	-30.58	20011.06	102.37	18435.09	-85.68
	มิ.ย.	174	15384.68	18435.09	19796.08	-48.70	19747.37	-2620.95	16307.31	-3050.41
	ก.ค.	175	15749.33	16307.31	19708.05	-52.02	19656.03	-3631.21	17000.50	-557.98
	ส.ค.	176	14929.05	17000.50	19510.05	-64.32	19445.72	-3365.15	16180.00	-2071.44
	ก.ย.	177	15781.09	16180.00	19417.61	-66.69	19350.92	-3402.38	21655.05	-398.91
	ต.ค.	178	23704.38	21655.05	19495.35	-54.52	19440.83	3006.17	24115.97	2049.33
	พ.ย.	179	25437.70	24115.97	19533.98	-46.67	19487.31	5127.92	19503.96	1321.73
	ธ.ค.	180	21462.94	19503.96	19625.38	-35.03	19590.34	687.73	20857.68	1958.98
2563	ม.ค.	181	19144.95	20857.68	19469.64	-45.20	19424.43	680.61	16523.76	-1712.73
	ก.พ.	182	11699.96	16523.76	19084.47	-73.86	19010.62	-4553.16	19393.10	-4823.80
	มี.ค.	183	18050.87	19393.10	18916.02	-81.83	18834.19	-77.33	17765.17	-1342.23
	เม.ย.	184	14828.09	17765.17	18627.20	-99.27	18527.93	-2075.18	18630.29	-2937.08
	พ.ค.	185	17125.79	18630.29	18421.90	-108.21	18313.69	-413.03	15692.74	-1504.50
	มิ.ย.	186	18534.86	15692.74	18513.99	-91.33	18422.66	-1647.32	14791.45	2842.12
	ก.ค.	187	19089.64	14791.45	18725.58	-65.80	18659.78	-2158.78	15294.63	4298.19
	ส.ค.	188	18006.05	15294.63	18850.87	-49.69	18801.17	-2436.30	15398.79	2711.42
	ก.ย.	189	14793.78	15398.79	18758.54	-53.29	18705.25	-3609.64	21711.42	-605.02
	ต.ค.	190	13958.97	21711.42	18158.89	-99.33	18059.55	350.41	23187.48	-7752.45
	พ.ย.	191	25973.05	23187.48	18255.87	-82.79	18173.08	6082.18	18860.81	2785.57
	ธ.ค.	192	22410.26	18860.81	18423.23	-61.71	18361.52	1903.66	19042.13	3549.45
							$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} e_t^2} = 2223.29$			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ผลการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ โดยค่าเริ่มต้นคำนวณจากค่าสังเกต 24 ค่าแรก $\hat{T}_t = 5209 + 71.6t$ ค่าปรับน้ำหนัก คือ $\alpha = 0.0716$, $\gamma = 0.0706$ และ $\delta = 0.4028$

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t
2548	ม.ค.	1	5442.10						
	ก.พ.	2	4926.36						
	มี.ค.	3	5492.07						
	เม.ย.	4	5402.74						
	พ.ค.	5	5272.91						
	มิ.ย.	6	5628.04						
	ก.ค.	7	5789.82						
	ส.ค.	8	6428.19						
	ก.ย.	9	5318.94						
	ต.ค.	10	5673.52						
	พ.ย.	11	5715.86						
	ธ.ค.	12	5880.25						
2549	ม.ค.	13	5893.95					0.8978	
	ก.พ.	14	6715.11					1.0128	
	มี.ค.	15	7520.23					1.1206	
	เม.ย.	16	7484.54					1.1077	
	พ.ค.	17	7446.24					1.1029	
	มิ.ย.	18	6880.91					1.0208	
	ก.ค.	19	6488.96					1.0119	
	ส.ค.	20	7254.48					1.1050	
	ก.ย.	21	6398.23					0.8895	
	ต.ค.	22	5669.03					0.9218	
	พ.ย.	23	5593.61					0.9021	
	ธ.ค.	24	5747.05		6927.40	71.60	6999.00	0.9072	
2550	ม.ค.	25	6440.98	6283.56	7011.56	72.49	7084.04	0.9062	157.42
	ก.พ.	26	7776.43	7175.00	7126.56	75.49	7202.05	1.0444	601.43
	มี.ค.	27	9300.62	8070.33	7280.67	81.03	7361.70	1.1838	1230.30
	เม.ย.	28	8266.75	8154.48	7368.96	81.54	7450.50	1.1134	112.27
	พ.ค.	29	8478.93	8217.16	7467.50	82.74	7550.24	1.1160	261.77
	มิ.ย.	30	7886.75	7707.36	7562.82	83.63	7646.46	1.0297	179.39
	ก.ค.	31	7710.93	7737.07	7644.61	83.50	7728.11	1.0106	-26.14
	ส.ค.	32	8505.67	8539.56	7725.91	83.35	7809.26	1.1034	-33.89
	ก.ย.	33	8220.83	6946.10	7911.88	90.59	8002.46	0.9497	1274.73
	ต.ค.	34	8925.82	7376.59	8122.81	99.08	8221.89	0.9931	1549.23
	พ.ย.	35	9542.08	7417.13	8390.56	110.98	8501.53	0.9968	2124.95
	ธ.ค.	36	9497.69	7712.42	8642.45	120.92	8763.37	0.9844	1785.26
2551	ม.ค.	37	9315.93	7941.16	8872.00	128.58	9000.59	0.9641	1374.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t
	ก.พ.	38	9214.19	9400.23	8987.83	127.68	9115.52	1.0367	-186.05
	มี.ค.	39	10009.06	10790.55	9068.24	124.35	9192.59	1.1515	-781.50
	เม.ย.	40	9337.23	10234.92	9134.86	120.28	9255.13	1.0766	-897.69
	พ.ค.	41	10077.43	10328.82	9239.00	119.14	9358.14	1.1058	-251.39
	มิ.ย.	42	12112.10	9635.90	9530.34	131.29	9661.63	1.1269	2476.20
	ก.ค.	43	11566.91	9763.76	9789.39	140.30	9929.69	1.0795	1803.15
	ส.ค.	44	10799.06	10956.02	9919.51	139.58	10059.09	1.0974	-156.96
	ก.ย.	45	11918.79	9553.37	10237.43	152.16	10389.60	1.0361	2365.42
	ต.ค.	46	9856.13	10318.11	10356.29	149.81	10506.10	0.9764	-461.97
	พ.ย.	47	8641.66	10472.84	10374.56	140.53	10515.10	0.9308	-1831.18
	ธ.ค.	48	7961.33	10351.42	10341.24	128.27	10469.51	0.8980	-2390.09
2552	ม.ค.	49	7350.79	10093.95	10265.78	113.89	10379.67	0.8642	-2743.16
	ก.พ.	50	7208.65	10760.19	10134.35	96.59	10230.94	0.9056	-3551.54
	มี.ค.	51	9261.01	11781.20	10074.22	85.53	10159.75	1.0580	-2520.19
	เม.ย.	52	8154.77	10938.35	9974.62	72.47	10047.08	0.9723	-2783.58
	พ.ค.	53	9182.65	11110.41	9922.26	63.66	9985.92	1.0332	-1927.76
	มิ.ย.	54	11069.18	11252.64	9974.26	62.84	10037.10	1.1200	-183.46
	ก.ค.	55	10479.51	10834.62	10013.54	61.18	10074.72	1.0662	-355.11
	ส.ค.	56	11004.90	11056.42	10071.36	60.94	10132.29	1.0955	-51.52
	ก.ย.	57	12662.79	10498.45	10281.87	71.49	10353.36	1.1149	2164.34
	ต.ค.	58	10656.58	10109.40	10393.49	74.32	10467.81	0.9961	547.18
	พ.ย.	59	11617.46	9743.68	10611.96	84.49	10696.45	0.9969	1873.78
	ธ.ค.	60	11192.20	9605.39	10822.98	93.42	10916.41	0.9528	1586.81
2553	ม.ค.	61	9729.70	9433.88	10940.92	95.15	11036.07	0.8743	295.82
	ก.พ.	62	10688.32	9994.24	11090.95	99.02	11189.97	0.9290	694.08
	มี.ค.	63	13330.27	11838.64	11290.93	106.14	11397.07	1.1074	1491.63
	เม.ย.	64	12155.95	11081.02	11476.24	111.73	11587.97	1.0073	1074.93
	พ.ค.	65	13378.89	11972.38	11685.45	118.61	11804.06	1.0782	1406.50
	มิ.ย.	66	13734.32	13220.22	11836.93	120.93	11957.85	1.1362	514.10
	ก.ค.	67	12305.02	12749.40	11928.01	118.82	12046.83	1.0523	-444.38
	ส.ค.	68	13675.32	13197.65	12078.05	121.02	12199.07	1.1103	477.67
	ก.ย.	69	11374.61	13600.28	12056.12	110.94	12167.06	1.0458	-2225.67
	ต.ค.	70	11435.11	12119.91	12117.83	107.46	12225.30	0.9750	-684.81
	พ.ย.	71	11786.91	12186.89	12196.57	105.44	12302.00	0.9846	-399.98
	ธ.ค.	72	11916.93	11721.71	12316.67	106.47	12423.15	0.9588	195.22
2554	ม.ค.	73	13621.78	10861.62	12649.21	122.42	12771.63	0.9559	2760.16
	ก.พ.	74	11494.65	11864.88	12743.09	120.41	12863.50	0.9181	-370.23
	มี.ค.	75	16929.23	14244.73	13037.09	132.66	13169.74	1.1844	2684.50
	เม.ย.	76	13573.05	13265.86	13191.58	134.20	13325.78	1.0160	307.18
	พ.ค.	77	14541.96	14367.69	13337.35	135.01	13472.36	1.0831	174.27
	มิ.ย.	78	14088.19	15307.51	13395.52	129.59	13525.11	1.1022	-1219.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t
	ก.ค.	79	13522.41	14231.96	13476.83	126.18	13603.01	1.0326	-709.55
	ส.ค.	80	15410.87	15103.69	13622.82	127.58	13750.40	1.1188	307.18
	ก.ย.	81	13765.06	14380.45	13708.27	124.61	13832.88	1.0290	-615.39
	ต.ค.	82	13369.72	13486.92	13824.27	124.00	13948.27	0.9718	-117.21
	พ.ย.	83	13736.21	13733.38	13948.48	124.02	14072.50	0.9847	2.83
	ธ.ค.	84	15529.26	13492.11	14224.64	134.75	14359.40	1.0123	2037.15
2555	ม.ค.	85	18268.31	13726.32	14699.63	158.76	14858.39	1.0715	4541.98
	ก.พ.	86	20509.09	13642.04	15393.95	196.54	15590.50	1.0850	6867.05
	มี.ค.	87	15640.76	18465.15	15419.74	184.49	15604.23	1.1159	-2824.39
	เม.ย.	88	16454.04	15854.01	15646.52	187.48	15834.00	1.0303	600.03
	พ.ค.	89	16958.33	17149.40	15821.37	186.59	16007.95	1.0786	-191.07
	มิ.ย.	90	16987.24	17643.54	15965.31	183.58	16148.89	1.0868	-656.30
	ก.ค.	91	16182.35	16674.88	16114.73	181.17	16295.90	1.0211	-492.53
	ส.ค.	92	15714.57	18231.08	16134.83	169.80	16304.64	1.0604	-2516.51
	ก.ย.	93	16453.48	16777.98	16282.06	168.21	16450.27	1.0216	-324.50
	ต.ค.	94	16788.14	15986.69	16509.32	172.38	16681.70	0.9900	801.45
	พ.ย.	95	22044.18	16425.96	17090.26	201.20	17291.46	1.1076	5618.22
	ธ.ค.	96	19647.89	17504.44	17443.08	211.90	17654.98	1.0583	2143.45
2556	ม.ค.	97	19038.01	18916.76	17663.08	212.47	17875.56	1.0740	121.25
	ก.พ.	98	15992.63	19394.40	17651.04	196.63	17847.68	1.0129	-3401.77
	มี.ค.	99	17219.53	19915.91	17674.65	184.42	17859.07	1.0588	-2696.38
	เม.ย.	100	16941.15	18401.08	17757.61	177.27	17934.88	0.9996	-1459.94
	พ.ค.	101	17928.23	19343.80	17840.90	170.64	18011.53	1.0489	-1415.57
	มิ.ย.	102	16682.53	19574.93	17820.96	157.19	17978.15	1.0261	-2892.39
	ก.ค.	103	16826.43	18358.22	17870.73	149.61	18020.34	0.9891	-1531.79
	ส.ค.	104	17048.63	19109.18	17881.20	139.79	18021.00	1.0173	-2060.55
	ก.ย.	105	17098.84	18409.85	17929.10	133.31	18062.41	0.9942	-1311.01
	ต.ค.	106	20749.46	17881.34	18269.87	147.95	18417.82	1.0487	2868.12
	พ.ย.	107	22347.02	20399.82	18543.70	156.83	18700.53	1.1469	1947.20
	ธ.ค.	108	16746.47	19790.28	18494.58	142.30	18636.88	0.9967	-3043.80
2557	ม.ค.	109	21982.07	20016.68	18767.91	151.54	18919.45	1.1132	1965.39
	ก.พ.	110	13523.50	19163.36	18520.74	123.41	18644.16	0.8990	-5639.86
	มี.ค.	111	18397.76	19740.97	18553.32	117.00	18670.32	1.0318	-1343.21
	เม.ย.	112	19851.51	18662.89	18755.47	123.01	18878.48	1.0233	1188.62
	พ.ค.	113	18648.40	19801.34	18799.77	117.46	18917.23	1.0259	-1152.95
	มิ.ย.	114	18889.52	19410.98	18880.84	114.89	18995.73	1.0158	-521.46
	ก.ค.	115	16067.81	18788.39	18798.77	101.00	18899.77	0.9350	-2720.58
	ส.ค.	116	15940.77	19227.22	18668.44	84.67	18753.12	0.9515	-3286.45
	ก.ย.	117	17170.37	18644.93	18646.92	77.18	18724.10	0.9647	-1474.56
	ต.ค.	118	22741.44	19635.70	18936.16	92.14	19028.31	1.1100	3105.75
	พ.ย.	119	23976.96	21823.27	19162.78	101.63	19264.41	1.1889	2153.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t
	ธ.ค.	120	23849.76	19201.28	19598.36	125.19	19723.55	1.0854	4648.48
2558	ม.ค.	121	21242.09	21956.27	19677.61	121.95	19799.57	1.0996	-714.18
	ก.พ.	122	19944.54	17799.95	19970.38	134.00	20104.39	0.9392	2144.59
	มี.ค.	123	17941.21	20742.76	19909.95	120.28	20030.24	0.9791	-2801.55
	เม.ย.	124	18033.67	20497.01	19857.86	108.12	19965.98	0.9769	-2463.34
	พ.ค.	125	17164.14	20484.07	19734.27	91.78	19826.04	0.9630	-3319.93
	มิ.ย.	126	17026.39	20138.74	19606.64	76.30	19682.94	0.9564	-3112.35
	ก.ค.	127	16602.29	18402.78	19545.04	66.57	19611.61	0.9005	-1800.49
	ส.ค.	128	17999.74	18660.21	19561.90	63.06	19624.96	0.9389	-660.48
	ก.ย.	129	18233.71	18931.36	19573.18	59.41	19632.58	0.9513	-697.64
	ต.ค.	130	23695.45	21792.64	19755.33	68.07	19823.40	1.1460	1902.81
	พ.ย.	131	27332.40	23568.36	20050.10	84.06	20134.16	1.2591	3764.04
	ธ.ค.	132	17151.13	21854.18	19823.90	62.17	19886.07	0.9967	-4703.06
2559	ม.ค.	133	20924.59	21867.26	19824.68	57.84	19882.52	1.0818	-942.67
	ก.พ.	134	18656.59	18673.05	19881.27	57.75	19939.02	0.9389	-16.46
	มี.ค.	135	26293.29	19522.87	20434.16	92.68	20526.84	1.1030	6770.42
	เม.ย.	136	18551.43	20052.90	20416.79	84.92	20501.71	0.9494	-1501.46
	พ.ค.	137	19809.24	19743.80	20506.57	85.26	20591.84	0.9642	65.44
	มิ.ย.	138	18169.73	19694.14	20477.70	77.21	20554.92	0.9286	-1524.41
	ก.ค.	139	17578.94	18509.89	20480.89	71.99	20552.88	0.8835	-930.95
	ส.ค.	140	16730.52	19296.30	20357.19	58.18	20415.37	0.8917	-2565.78
	ก.ย.	141	15309.70	19421.69	20105.86	36.35	20142.20	0.8748	-4111.99
	ต.ค.	142	22375.13	23083.89	20097.92	33.22	20131.14	1.1329	-708.76
	พ.ย.	143	23150.27	25347.63	20006.18	24.40	20030.58	1.2180	-2197.36
	ธ.ค.	144	21168.43	19964.53	20117.07	30.51	20147.58	1.0191	1203.89
2560	ม.ค.	145	25362.98	21796.53	20383.64	47.16	20430.80	1.1473	3566.45
	ก.พ.	146	20501.92	19181.65	20531.50	54.27	20585.76	0.9629	1320.28
	มี.ค.	147	22229.00	22706.95	20554.74	52.08	20606.81	1.0943	-477.95
	เม.ย.	148	19031.59	19564.26	20566.64	49.24	20615.88	0.9397	-532.67
	พ.ค.	149	21834.17	19878.36	20761.12	59.49	20820.61	0.9995	1955.82
	มิ.ย.	150	18891.08	19333.29	20786.51	57.08	20843.60	0.9206	-442.21
	ก.ค.	151	18168.80	18415.52	20823.60	55.67	20879.27	0.8791	-246.72
	ส.ค.	152	16244.11	18618.56	20688.60	42.22	20730.82	0.8488	-2374.45
	ก.ย.	153	16394.31	18136.16	20588.25	32.16	20620.41	0.8432	-1741.85
	ต.ค.	154	20991.23	23359.98	20470.69	21.60	20492.29	1.0896	-2368.75
	พ.ย.	155	25448.01	24960.61	20520.94	23.62	20544.56	1.2269	487.41
	ธ.ค.	156	23943.43	20936.63	20755.83	38.53	20794.36	1.0733	3006.80
2561	ม.ค.	157	21417.16	23856.93	20642.08	27.78	20669.87	1.1031	-2439.77
	ก.พ.	158	17577.78	19903.19	20496.94	15.58	20512.52	0.9205	-2325.41
	มี.ค.	159	18250.42	22447.78	20237.87	-3.80	20234.08	1.0168	-4197.36
	เม.ย.	160	18915.78	19014.40	20226.56	-4.33	20222.24	0.9379	-98.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

พ.ศ.	เดือน	t	Y_t	$\hat{Y}_t(t-1)$	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t
	พ.ค.	161	21319.51	20211.26	20301.64	1.28	20302.91	1.0199	1108.24
	มิ.ย.	162	19329.26	18691.04	20352.56	4.78	20357.34	0.9323	638.22
	ก.ค.	163	15457.81	17895.70	20158.75	-9.23	20149.52	0.8339	-2437.89
	ส.ค.	164	18654.20	17102.95	20280.39	0.00	20280.39	0.8774	1551.25
	ก.ย.	165	17108.47	17100.42	20281.07	0.05	20281.12	0.8433	8.05
	ต.ค.	166	24125.49	22097.94	20414.37	9.45	20423.82	1.1267	2027.55
	พ.ย.	167	26108.35	25058.64	20485.09	13.77	20498.86	1.2461	1049.71
	ธ.ค.	168	18440.19	22000.64	20261.31	-2.99	20258.33	1.0075	-3560.45
2562	ม.ค.	169	20611.68	22346.47	20145.71	-10.93	20134.78	1.0709	-1734.79
	ก.พ.	170	15181.27	18533.65	19873.99	-29.33	19844.66	0.8574	-3352.38
	มี.ค.	171	20773.93	20177.65	19886.65	-26.37	19860.28	1.0280	596.28
	เม.ย.	172	19642.24	18626.92	19937.80	-20.90	19916.90	0.9569	1015.32
	พ.ค.	173	20093.72	20312.70	19901.53	-21.98	19879.54	1.0158	-218.99
	มิ.ย.	174	15384.68	18534.42	19637.63	-39.05	19598.58	0.8724	-3149.74
	ก.ค.	175	15749.33	16342.29	19547.66	-42.64	19505.02	0.8225	-592.96
	ส.ค.	176	14929.05	17113.86	19326.71	-55.22	19271.49	0.8351	-2184.80
	ก.ย.	177	15781.09	16252.57	19231.45	-58.05	19173.41	0.8342	-471.48
	ต.ค.	178	23704.38	21603.17	19306.94	-48.63	19258.32	1.1674	2101.21
	พ.ย.	179	25437.70	23997.71	19341.06	-42.79	19298.28	1.2739	1439.99
	ธ.ค.	180	21462.94	19443.83	19441.78	-32.66	19409.11	1.0464	2019.11
2563	ม.ค.	181	19144.95	20784.65	19299.47	-40.40	19259.07	1.0391	-1639.70
	ก.พ.	182	11699.96	16512.62	18857.13	-68.76	18788.37	0.7619	-4812.65
	มี.ค.	183	18050.87	19314.33	18700.37	-74.97	18625.40	1.0027	-1263.46
	เม.ย.	184	14828.09	17823.45	18401.26	-90.78	18310.48	0.8961	-2995.36
	พ.ค.	185	17125.79	18599.01	18206.63	-98.11	18108.52	0.9855	-1473.22
	มิ.ย.	186	18534.86	15796.99	18333.25	-82.25	18251.00	0.9282	2737.87
	ก.ค.	187	19089.64	15011.56	18606.04	-57.20	18548.83	0.9045	4078.08
	ส.ค.	188	18006.05	15490.69	18764.51	-41.99	18722.52	0.8853	2515.35
	ก.ย.	189	14793.78	15617.94	18651.77	-46.98	18604.79	0.8177	-824.16
	ต.ค.	190	13958.97	21719.75	18128.77	-80.56	18048.21	1.0073	-7760.78
	พ.ย.	191	25973.05	22992.34	18215.75	-68.74	18147.01	1.3351	2980.71
	ธ.ค.	192	22410.26	18988.71	18381.15	-52.22	18328.93	1.1160	3421.55
						$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} e_t^2} = 2262.65$			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

ตารางที่ ค.1 ค่า RMSE ของชุดฝึกฝนและชุดทดสอบของการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

Input node	Hidden node	จำนวนรอบการเรียนรู้ (Epochs)									
		100		200		300		400		500	
		Train	Test	Train	Test	Train	Test	Train	Test	Train	Test
12	2	4443.76	5016.42	4210.45	4828.78	3971.56	4833.65	4162.56	4733.43	3951.67	5072.45
	3	4216.45	4778.86	4073.23	4757.54	4012.54	4985.63	3739.36	4775.46	3497.54	4999.64
	4	4198.08	4677.27	3935.12	4862.92	3491.23	4794.08	3951.98	5071.03	3482.38	4657.26
	5	4272.23	4719.98	4195.70	4727.67	3751.11	4988.56	3443.04	4781.65	3498.83	5310.72
	6	4204.15	4729.54	4052.65	4714.53	3947.89	4920.32	3607.37	4775.37	3373.23	4914.67
	7	4135.76	4755.42	4084.76	4688.42	3433.45	4748.87	3571.11	4912.87	3061.91	5178.92
	8	4240.35	4682.69	3824.56	4868.94	3900.05	5051.59	3250.98	4899.50	3093.10	5064.98
	9	4803.22	5851.54	4078.88	4895.16	3482.34	4807.64	3137.59	5208.65	3917.65	5518.53
	10	4215.42	4735.57	3974.54	4763.56	3269.87	4747.31	3360.06	4920.49	2890.43	5052.75
	11	4116.87	4672.08	3836.34	4617.32	3546.45	5011.61	3009.43	4985.73	2986.71	4962.93
	12	4379.56	4826.36	3995.65	4955.08	3380.36	4931.97	3584.87	5639.37	2956.37	4915.36
	13	4188.02	4697.01	3941.12	4766.45	3623.77	4796.34	2954.92	5007.98	3347.09	4920.18
13	2	3780.13	4073.85	3723.98	4015.20	3543.47	4082.35	3638.54	4183.64	3330.87	4194.75
	3	4072.52	4414.43	3703.65	4185.54	3504.30	4087.07	3704.63	4166.73	3415.05	4752.56
	4	3928.72	4216.82	3525.35	4014.62	3653.28	4225.27	3259.46	4186.08	3176.35	4198.70
	5	3827.13	4057.69	3637.26	3960.47	3486.8	4239.05	3057.32	4156.48	2903.54	4663.64
	6	3882.76	4135.41	3491.87	3997.31	3520.95	4034.47	3172.15	4150.36	3138.02	4139.76
	7	3918.58	4186.32	3521.56	4104.45	3540.54	4191.64	3174.07	4154.39	3112.40	4521.06
	8	3735.90	3987.01	3724.33	4387.73	3418.76	4130.42	3030.57	4292.42	2740.54	4592.64
	9	3762.44	3984.65	3616.41	4017.92	3177.21	4178.97	2876.65	4343.56	2581.24	4621.54
	10	3841.35	4203.56	3508.09	4085.15	3131.69	4091.13	2914.34	4208.76	2618.87	4453.31
	11	3821.74	4181.27	3632.16	4107.48	3231.54	4107.87	2907.65	4312.65	2542.45	4352.66
	12	3754.26	4009.76	3389.60	4128.05	3267.68	4241.23	2852.13	4223.07	2552.07	4290.36
	13	3746.81	4018.91	3858.54	4620.64	3003.05	4175.59	2679.37	4164.14	2809.89	4335.86
14	2	3877.03	4084.79	3657.56	4145.87	3709.87	4144.31	3657.45	4207.65	3486.65	4060.53
	3	3836.43	4057.31	3828.34	4597.45	3712.01	4105.65	3391.71	4039.67	3260.37	4287.36
	4	3835.12	4046.45	3697.86	4488.41	3526.99	4086.17	3174.20	4161.91	3212.80	4200.08
	5	**3866.07**	**3945.14**	3828.01	4146.03	3326.13	4247.65	3394.33	4085.76	3212.65	4437.57
	6	3817.98	4008.20	3627.45	3991.82	3493.56	4094.37	3231.54	4057.64	2964.87	4054.51
	7	3733.56	3970.76	3621.87	3998.31	3354.22	4108.80	2712.31	4192.95	2855.98	4220.67
	8	3849.45	3986.05	3463.32	4047.86	3380.43	4090.75	3299.56	4559.09	2741.87	4416.31
	9	3881.27	4039.00	3543.09	4007.18	3190.65	4199.32	2979.98	4407.56	2569.44	4412.65
	10	3785.88	4138.37	3643.25	4186.57	3873.27	4789.76	2854.67	4239.45	2723.36	4432.47
	11	3838.03	3978.79	3846.14	4593.68	3090.08	4370.29	2832.65	4244.76	2610.09	4850.93
	12	3768.11	4037.96	3377.87	4018.31	3086.89	4109.51	2823.44	4287.45	2372.54	4503.65
	13	3905.00	4383.05	3471.59	4104.54	3072.56	4124.62	2914.38	4626.43	2259.22	4440.97
15	2	4256.01	4402.05	3711.76	3934.42	3775.67	4236.56	3470.76	4268.42	3522.11	4267.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

Input node	Hidden node	จำนวนรอบการเรียนรู้ (Epochs)									
		100		200		300		400		500	
		Train	Test	Train	Test	Train	Test	Train	Test	Train	Test
	3	3994.87	4023.31	3737.34	3997.98	3385.33	4239.76	3302.97	4037.30	3129.87	4449.32
	4	3830.46	4013.45	3719.65	3963.53	3346.21	4035.90	3538.45	4418.56	3363.95	4110.65
	5	3827.38	4004.26	3551.34	4231.03	3662.98	4283.87	3233.33	3990.74	3027.36	4341.46
	6	3776.98	4022.67	3733.19	4333.18	3675.07	4187.29	3461.26	4154.48	2903.08	3992.29
	7	3908.66	4077.43	3543.65	4041.54	3611.75	4228.52	2973.21	4036.98	3063.54	4047.46
	8	3882.05	4310.95	3555.07	3975.39	3423.48	4247.87	3622.77	4757.32	2969.72	4313.83
	9	4186.11	4674.76	3535.34	4047.06	3604.09	4183.19	2734.95	4192.50	2697.49	4371.15
	10	3743.76	3994.34	3847.66	4375.65	3219.45	3884.65	2860.03	4144.73	2400.60	4041.87
	11	4044.84	4633.61	3422.43	4008.75	3214.82	3862.89	2726.56	4092.86	2652.76	4129.43
	12	3832.37	4188.76	3695.21	4379.96	2995.49	3943.15	3115.38	4561.26	2788.48	4496.38
	13	3860.46	4200.03	3779.87	4594.32	2942.91	4036.80	2671.91	4037.85	2398.32	4601.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ค่า RMSE ของชุดฝึกฝนและชุดทดสอบของการพยากรณ์มูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

Input node	Hidden node	จำนวนรอบการเรียนรู้ (Epochs)									
		100		200		300		400		500	
		Train	Test	Train	Test	Train	Test	Train	Test	Train	Test
12	2	1664.53	3016.45	1683.34	2965.76	1583.65	2847.12	1566.98	2922.02	1481.76	2820.24
	3	1626.69	2971.05	1561.12	2909.53	1565.23	2999.77	1520.45	2849.55	1427.23	2824.67
	4	1648.21	3119.47	1630.98	3102.78	1580.97	3035.03	1436.65	2870.54	1371.65	2783.53
	5	1740.15	2919.31	1576.67	2951.59	1509.44	2882.56	1539.13	3087.78	1270.25	3175.57
	6	1742.04	2908.48	1584.45	2944.66	1506.03	2884.97	1412.42	2857.58	1291.04	2973.69
	7	1655.44	2920.32	1547.70	2945.09	1469.83	2921.17	1326.09	2977.92	1235.78	3037.23
	8	1582.78	2906.67	1540.23	2947.30	1433.56	2850.44	1393.56	3045.45	1420.55	2896.54
	9	1649.99	2973.11	1570.41	2986.11	1528.38	2888.62	1430.68	2880.34	1442.23	2906.70
	10	1603.02	2950.34	1542.05	2877.24	1535.72	3094.11	1379.07	2940.96	1411.82	3223.81
	11	1603.51	3049.65	1544.12	2872.65	1457.89	2843.39	1364.56	2990.40	1173.33	3185.76
	12	1748.67	3300.58	1506.76	2858.89	1479.44	2944.56	1589.47	3304.35	1263.50	2935.05
	13	1680.44	2945.63	1536.94	2849.64	1471.67	3117.33	1379.98	2992.20	1236.26	3110.47
13	2	1714.25	3051.88	1586.32	2819.45	1526.94	2857.03	1509.34	2905.09	1489.76	2908.23
	3	1626.63	2979.24	1665.98	2913.03	1463.34	2955.43	1460.56	2895.45	1515.14	3138.53
	4	1580.84	2858.12	1565.12	2912.57	1541.65	2826.87	1472.87	2852.75	1431.65	2838.11
	5	1613.32	3018.51	1552.43	2845.34	1504.22	2938.54	1519.56	3023.43	1348.08	2879.38
	6	**1618.22**	**2836.04**	1536.65	2941.65	1490.84	3000.87	1458.11	2733.01	1389.65	2882.36
	7	1620.21	3023.35	1620.23	3061.11	1708.54	3310.45	1418.56	2811.74	1397.45	2828.64
	8	1628.85	2857.76	1622.65	3106.43	1439.12	2925.44	1567.34	2653.44	1363.55	2752.93
	9	1695.21	3185.33	1537.23	2949.89	1456.36	2927.23	1477.98	2721.67	1366.50	3046.30
	10	1607.76	2961.95	1632.62	3147.43	1413.90	2894.75	1606.54	2854.55	1303.76	2662.21
	11	1652.27	3026.13	1543.80	2871.99	1482.43	2835.89	1448.70	2718.76	1334.98	2980.49
	12	1730.20	2971.84	1502.35	2907.42	1417.75	2722.43	1317.57	2893.46	1770.53	3635.66
	13	1620.32	2891.75	1485.48	2920.28	1463.49	2722.91	1282.21	2835.22	1215.32	2911.33
14	2	1677.78	3044.54	1573.09	2911.23	1536.12	2959.34	1481.87	2903.54	1534.69	2939.40
	3	1631.12	2985.75	1575.76	3076.45	1576.87	3003.71	1411.09	2864.41	1568.70	3017.89
	4	1679.82	3156.70	1610.43	2978.23	1545.69	2976.05	1488.32	2892.41	1466.63	2907.45
	5	1710.45	2939.11	1603.76	2988.89	1541.76	2958.43	1510.54	2921.70	1296.91	2916.04
	6	1647.48	3020.79	1554.05	2915.40	1515.02	2873.45	1368.24	2850.54	1505.28	2920.80
	7	1637.43	2989.07	1487.54	2984.23	1555.01	2879.56	1527.66	2856.12	1327.56	2933.05
	8	1676.22	3070.19	1633.73	2951.11	1579.54	2859.08	1434.08	2998.76	1218.08	2967.51
	9	1601.67	2937.24	1536.87	2955.34	1472.11	2865.43	1405.54	2892.78	1197.30	3121.05
	10	1620.31	3108.11	1564.65	3074.10	1462.65	2845.34	1383.77	2859.32	1203.89	2973.05
	11	1610.30	2987.38	1555.45	2838.32	1474.11	3056.74	1485.13	2845.55	1246.89	2898.98
	12	1611.27	2935.43	1531.98	2866.54	1435.44	2900.72	1417.33	3028.99	1400.06	2937.19
	13	1637.67	3064.43	1639.01	2877.46	1439.47	2827.06	1467.45	2940.32	1204.75	3289.26
15	2	1813.98	3248.56	1652.85	3019.92	1568.86	2981.74	1559.34	2913.48	1528.06	3001.88
	3	1726.65	3050.43	1605.10	2917.46	1547.77	2951.94	1580.69	2961.33	1490.05	2899.73
	4	1690.01	3015.12	1577.05	2966.96	1551.52	2974.78	1523.76	2921.75	1436.97	2901.62
	5	1687.87	2918.41	1570.45	2893.43	1479.05	2888.34	1424.31	2878.60	1413.61	2993.07
	6	1627.76	2939.08	1515.18	2870.94	1497.45	2885.01	1356.84	2842.39	1355.52	2873.01
	7	1603.13	2906.65	1677.89	2994.65	1709.06	3120.48	1406.46	2905.42	1291.60	2947.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

Input node	Hidden node	จำนวนรอบการเรียนรู้ (Epochs)									
		100		200		300		400		500	
		Train	Test	Train	Test	Train	Test	Train	Test	Train	Test
	8	1614.43	2973.22	1554.51	2847.99	1465.85	2762.30	1360.49	2990.94	1400.58	2964.67
	9	1622.87	2929.54	1506.99	2845.86	1543.18	2917.11	1318.50	2906.78	1283.87	2874.23
	10	1613.13	2970.10	1505.63	2912.06	1395.65	2891.86	1491.37	2948.02	1291.44	2873.00
	11	1625.98	2933045	1542.98	2856.06	1533.14	2978.78	1315.75	2758.31	1242.57	2855.75
	12	1628.76	3030.54	1627.02	2904.64	1537.09	3047.93	1271.27	2879.64	1262.16	2712.65
	13	1636.43	2895.18	1540.40	3026.65	1495.55	2941.61	1327.30	2883.53	1415.22	3512.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

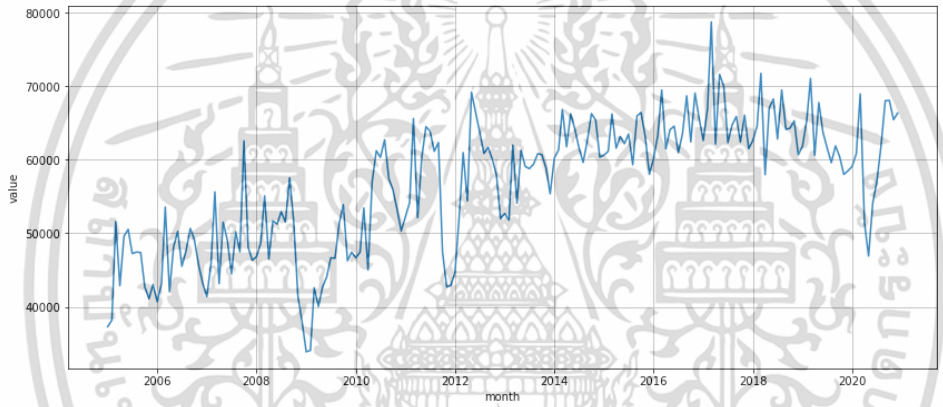
การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

LSTM

```
import numpy
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import math
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from keras.layers import LSTM
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from sklearn.metrics import mean_squared_error
# fix random seed for reproducibility
numpy.random.seed(7)
```

```
#Import data
df = pd.DataFrame()
df = pd.read_excel('export.xlsx',index_col='month', parse_dates=True)
df = pd.DataFrame(df)
df = df.astype('float32')
df.index = pd.to_datetime(df.index)
```

```
#Plot data
plt.figure(figsize=(14,6))
plt.grid(True)
plt.xlabel('month')
plt.ylabel('value')
plt.plot(df)
plt.show()
```




```
# normalize the dataset
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
dataset = scaler.fit_transform(df)
```

```
# split into train and test sets
train_size = int(len(dataset) * 0.7)
test_size = len(dataset) - train_size
train, test = dataset[0:train_size,:], dataset[train_size:len(dataset),:]
print(len(train), len(test))
```

```
134 58
```

```
# convert an array of values into a dataset matrix
def create_dataset(dataset, look_back=14):
    dataX, dataY = [], []
    for i in range(len(dataset)-look_back-1):
        a = dataset[i:(i+look_back), 0]
        dataX.append(a)
        dataY.append(dataset[i + look_back, 0])
    return numpy.array(dataX), numpy.array(dataY)
```

```
# reshape
look_back = 14
trainX, trainY = create_dataset(train, look_back)
testX, testY = create_dataset(test, look_back)
# reshape input to be [samples, time steps, features]
trainX = numpy.reshape(trainX, (trainX.shape[0],1 , trainX.shape[1]))
testX = numpy.reshape(testX, (testX.shape[0],1, testX.shape[1]))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
# create and fit the LSTM network
model = Sequential()
model.add(LSTM(5, input_shape=(1, look_back)))
model.add(Dense(1))
model.compile(loss='mean_squared_error', optimizer='adam')
model.fit(trainX, trainY, epochs=100, batch_size=1, verbose=2)
```

```
Epoch 92/100
119/119 - 0s - loss: 0.0079
Epoch 93/100
119/119 - 0s - loss: 0.0084
Epoch 94/100
119/119 - 0s - loss: 0.0080
Epoch 95/100
119/119 - 0s - loss: 0.0080
Epoch 96/100
119/119 - 0s - loss: 0.0079
Epoch 97/100
119/119 - 0s - loss: 0.0077
Epoch 98/100
119/119 - 0s - loss: 0.0082
Epoch 99/100
119/119 - 0s - loss: 0.0080
Epoch 100/100
119/119 - 0s - loss: 0.0080

<tensorflow.python.keras.callbacks.History at 0x282f83878b0>
```

```
print(model.summary())
```

```
Model: "sequential"
_________________________________________________________________
Layer (type)                 Output Shape              Param #
=================================================================
lstm (LSTM)                  (None, 5)                 400
_________________________________________________________________
dense (Dense)                (None, 1)                 6
=================================================================
Total params: 406
Trainable params: 406
Non-trainable params: 0
_________________________________________________________________
None
```

```
# make predictions
trainPredict = model.predict(trainX)
testPredict = model.predict(testX)
# invert predictions
trainPredict = scaler.inverse_transform(trainPredict)
trainY = scaler.inverse_transform([trainY])
testPredict = scaler.inverse_transform(testPredict)
testY = scaler.inverse_transform([testY])
```

```
# calculate root mean squared error
trainScore = math.sqrt(mean_squared_error(trainY[0], trainPredict[:,0]))
testScore = math.sqrt(mean_squared_error(testY[0], testPredict[:,0]))
trainScore,testScore
```

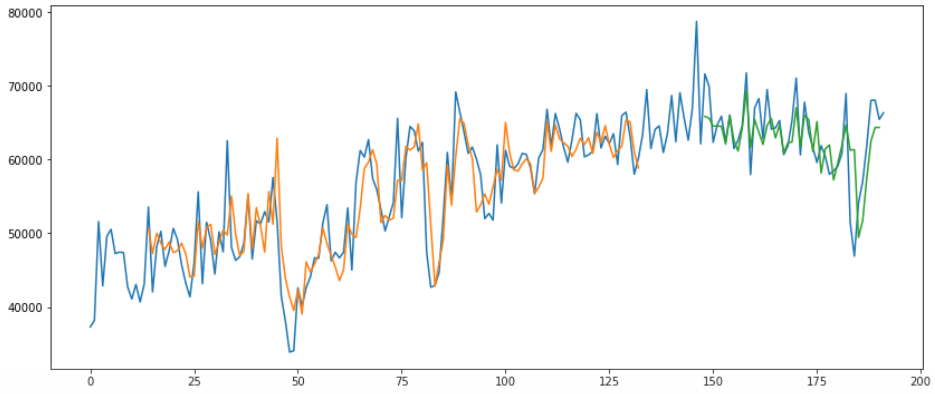
```
(3866.0770243610045, 3945.1438874366127)
```

```
# shift train predictions for plotting
trainPredictPlot = numpy.empty_like(dataset)
trainPredictPlot[:, :] = numpy.nan
trainPredictPlot[look_back:len(trainPredict)+look_back, :] = trainPredict
```

```
# shift test predictions for plotting
testPredictPlot = numpy.empty_like(dataset)
testPredictPlot[:, :] = numpy.nan
testPredictPlot[len(trainPredict)+(look_back*2)+1:len(dataset)-1, :] = testPredict
```

```
# plot baseline and predictions
plt.figure(figsize=(14,6))
plt.plot(scaler.inverse_transform(dataset))
plt.plot(trainPredictPlot)
plt.plot(testPredictPlot)
plt.show()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




```
# 44 is (last index value - time step)
x_input=test[44:].reshape(1,-1)
x_input.shape
```

```
(1, 14)
```

```
temp_input=list(x_input)
temp_input=temp_input[0].tolist()
```

```
temp_input
```

```
[0.5374376773834229,
 0.5485401153564453,
 0.5616378784179688,
 0.6006109714508057,
 0.7819578647613525,
 0.3921705484390259,
 0.2902482748031616,
 0.45098876953125,
 0.5159294605255127,
 0.6246134042739868,
 0.7612100839614868,
 0.7620928287506104,
 0.7036713361740112,
 0.7237530946731567]
```

```
# demonstrate prediction for next 9 month
import numpy as np
from numpy import array

lst_output=[]
n_steps=14
i=0
while(i<9):

    if(len(temp_input)>14):
        #print(temp_input)
        x_input=np.array(temp_input[1:])
        print("{} input {}".format(i,x_input))
        x_input=x_input.reshape(1,-1)
        x_input = x_input.reshape((1,1,n_steps))
        #print(x_input)
        yhat = model.predict(x_input, verbose=0)
        print("{} output {}".format(i,yhat))
        temp_input.extend(yhat[0].tolist())
        temp_input=temp_input[1:]
        #print(temp_input)
        lst_output.extend(yhat.tolist())
        i=i+1
    else:
        x_input = x_input.reshape((1,1,n_steps))
        yhat = model.predict(x_input, verbose=0)
        print(yhat[0])
        temp_input.extend(yhat[0].tolist())
        print(len(temp_input))
        lst_output.extend(yhat.tolist())
        i=i+1


print(lst_output)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
[0.64387304]
15
1 input [0.54854012 0.56163788 0.60061097 0.78195786 0.39217055 0.29024827
 0.45098877 0.51592946 0.6246134  0.76121008 0.76209283 0.70367134
 0.72375309 0.64387304]
1 output [[0.63744694]]
2 input [0.56163788 0.60061097 0.78195786 0.39217055 0.29024827 0.45098877
 0.51592946 0.6246134  0.76121008 0.76209283 0.70367134 0.72375309
 0.64387304 0.63744694]
2 output [[0.71229553]]
3 input [0.60061097 0.78195786 0.39217055 0.29024827 0.45098877 0.51592946
 0.6246134  0.76121008 0.76209283 0.70367134 0.72375309 0.64387304
 0.63744694 0.71229553]
3 output [[0.4790864]]
4 input [0.78195786 0.39217055 0.29024827 0.45098877 0.51592946 0.6246134
 0.76121008 0.76209283 0.70367134 0.72375309 0.64387304 0.63744694
 0.71229553 0.4790864 ]
4 output [[0.38988]]
5 input [0.39217055 0.29024827 0.45098877 0.51592946 0.6246134  0.76121008
 0.76209283 0.70367134 0.72375309 0.64387304 0.63744694 0.71229553
 0.4790864  0.38988   ]
5 output [[0.4581953]]
6 input [0.29024827 0.45098877 0.51592946 0.6246134  0.76121008 0.76209283
 0.70367134 0.72375309 0.64387304 0.63744694 0.71229553 0.4790864
 0.38988    0.4581953 ]
6 output [[0.4961558]]
7 input [0.45098877 0.51592946 0.6246134  0.76121008 0.76209283 0.70367134
 0.72375309 0.64387304 0.63744694 0.71229553 0.4790864  0.38988
 0.4581953  0.4961558 ]
7 output [[0.59451395]]
8 input [0.51592946 0.6246134  0.76121008 0.76209283 0.70367134 0.72375309
 0.64387304 0.63744694 0.71229553 0.4790864  0.38988    0.4581953
 0.4961558  0.59451395]
8 output [[0.6880633]]
[[0.6438730359077454], [0.637446939945221], [0.7122955322265625], [0.47908639907836914], [0.3898800015449524], [0.4581952989101
41], [0.4961557984352112], [0.5945139527320862], [0.6880633234977722]]
```

```
lst_output = scaler.inverse_transform(lst_output)
```

```
lst_output
```

```
array([[62768.96798071],
       [62480.65519645],
       [65838.80704548],
       [55375.66194386],
       [51373.33378121],
       [54438.36326502],
       [56141.4964541 ],
       [60554.42671306],
       [64751.60641727]])
```

```
forecast = pd.DataFrame(lst_output, columns=['forecast'])
forecast.index = pd.date_range('2021-01', '2021-09',freq='MS')
forecast
```

	forecast
2021-01-01	62768.967981
2021-02-01	62480.655196
2021-03-01	65838.807045
2021-04-01	55375.661944
2021-05-01	51373.333781
2021-06-01	54438.363265
2021-07-01	56141.496454
2021-08-01	60554.426713
2021-09-01	64751.606417

รูปที่ ค.1 ผลการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

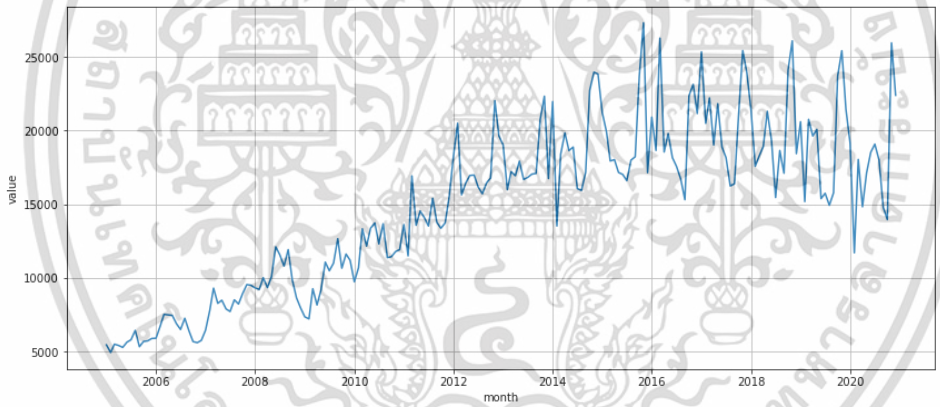
LSTM

```
import numpy
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import math
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from keras.layers import LSTM
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from sklearn.metrics import mean_squared_error
# fix random seed for reproducibility
numpy.random.seed(7)
```

```
#Import data
df = pd.DataFrame()
df = pd.read_excel('imports.xlsx',index_col='month', parse_dates=True)
df = pd.DataFrame(df)
df = df.astype('float32')
df.index = pd.to_datetime(df.index)
```

```
#Import data
df = pd.DataFrame()
df = pd.read_excel('imports.xlsx',index_col='month', parse_dates=True)
df = pd.DataFrame(df)
df = df.astype('float32')
df.index = pd.to_datetime(df.index)
```

```
#Plot data
plt.figure(figsize=(14,6))
plt.grid(True)
plt.xlabel('month')
plt.ylabel('value')
plt.plot(df)
plt.show()
```




```
# normalize the dataset
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
dataset = scaler.fit_transform(df)
```

```
# split into train and test sets
train_size = int(len(dataset) * 0.7)
test_size = len(dataset) - train_size
train, test = dataset[0:train_size,:], dataset[train_size:len(dataset),:]
print(len(train), len(test))
```

```
134 58
```

```
# convert an array of values into a dataset matrix
def create_dataset(dataset, look_back=13):
    dataX, dataY = [], []
    for i in range(len(dataset)-look_back-1):
        a = dataset[i:(i+look_back), 0]
        dataX.append(a)
        dataY.append(dataset[i + look_back, 0])
    return numpy.array(dataX), numpy.array(dataY)
```

```
# reshape
look_back = 13
trainX, trainY = create_dataset(train, look_back)
testX, testY = create_dataset(test, look_back)
# reshape input to be [samples, time steps, features]
trainX = numpy.reshape(trainX, (trainX.shape[0], 1, trainX.shape[1]))
testX = numpy.reshape(testX, (testX.shape[0], 1, testX.shape[1]))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
# create and fit the LSTM network
model = Sequential()
model.add(LSTM(6, input_shape=(1, look_back)))
model.add(Dense(1))
model.compile(loss='mean_squared_error', optimizer='adam')
model.fit(trainX, trainY, epochs=100, batch_size=1, verbose=2)
```

```
Epoch 92/100
120/120 - 0s - loss: 0.0056
Epoch 93/100
120/120 - 0s - loss: 0.0055
Epoch 94/100
120/120 - 0s - loss: 0.0057
Epoch 95/100
120/120 - 0s - loss: 0.0056
Epoch 96/100
120/120 - 0s - loss: 0.0056
Epoch 97/100
120/120 - 0s - loss: 0.0057
Epoch 98/100
120/120 - 0s - loss: 0.0055
Epoch 99/100
120/120 - 0s - loss: 0.0058
Epoch 100/100
120/120 - 0s - loss: 0.0060

<tensorflow.python.keras.callbacks.History at 0x2420558cd90>
```

```
print(model.summary())
```

```
Model: "sequential"
_________________________________________________________________
Layer (type)                 Output Shape              Param #
=================================================================
lstm (LSTM)                  (None, 6)                 480
_________________________________________________________________
dense (Dense)                (None, 1)                 7
=================================================================
Total params: 487
Trainable params: 487
Non-trainable params: 0
_________________________________________________________________
None
```

```
# make predictions
trainPredict = model.predict(trainX)
testPredict = model.predict(testX)
# invert predictions
trainPredict = scaler.inverse_transform(trainPredict)
trainY = scaler.inverse_transform([trainY])
testPredict = scaler.inverse_transform(testPredict)
testY = scaler.inverse_transform([testY])
```

```
# calculate root mean squared error
trainScore = math.sqrt(mean_squared_error(trainY[0], trainPredict[:,0]))
testScore = math.sqrt(mean_squared_error(testY[0], testPredict[:,0]))
trainScore,testScore
```

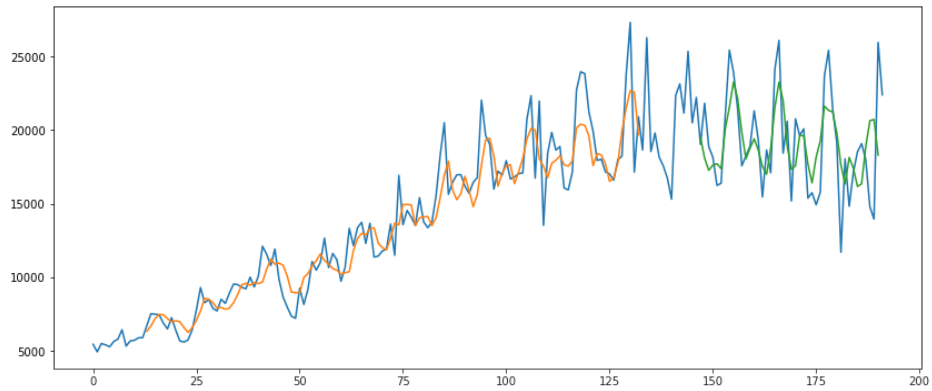
```
(1618.2244107739575, 2836.0476845700946)
```

```
# shift train predictions for plotting
trainPredictPlot = numpy.empty_like(dataset)
trainPredictPlot[:, :] = numpy.nan
trainPredictPlot[look_back:len(trainPredict)+look_back, :] = trainPredict
```

```
# shift test predictions for plotting
testPredictPlot = numpy.empty_like(dataset)
testPredictPlot[:, :] = numpy.nan
testPredictPlot[len(trainPredict)+(look_back*2)+1:len(dataset)-1, :] = testPredict
```

```
# plot baseline and predictions
plt.figure(figsize=(14,6))
plt.plot(scaler.inverse_transform(dataset))
plt.plot(trainPredictPlot)
plt.plot(testPredictPlot)
plt.show()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




```
# 45 is (last index value - time step)
x_input=test[45:].reshape(1,-1)
x_input.shape
```

```
(1, 13)
```

```
temp_input=list(x_input)
temp_input=temp_input[0].tolist()
```

```
temp_input
```

```
[0.7380411624908447,
 0.6345875859260559,
 0.3023114800453186,
 0.5857575535774231,
 0.4419224262237549,
 0.5444705486297607,
 0.6073583960533142,
 0.6321188807487488,
 0.583757162094116 2,
 0.44039100408554077,
 0.4031326174736023,
 0.9393310546875,
 0.7803207635879517]
```

```
# demonstrate prediction for next 9 month
import numpy as np
from numpy import array

lst_output=[]
n_steps=13
i=0
while(i<9):

    if(len(temp_input)>13):
        #print(temp_input)
        x_input=np.array(temp_input[1:])
        print("{} input {}".format(i,x_input))
        x_input=x_input.reshape(1,-1)
        x_input = x_input.reshape((1,1,n_steps))
        #print(x_input)
        yhat = model.predict(x_input, verbose=0)
        print("{} output {}".format(i,yhat))
        temp_input.extend(yhat[0].tolist())
        temp_input=temp_input[1:]
        #print(temp_input)
        lst_output.extend(yhat.tolist())
        i=i+1
    else:
        x_input = x_input.reshape((1,1,n_steps))
        yhat = model.predict(x_input, verbose=0)
        print(yhat[0])
        temp_input.extend(yhat[0].tolist())
        print(len(temp_input))
        lst_output.extend(yhat.tolist())
        i=i+1


print(lst_output)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
[0.7054025]
14
1 input [0.63458759 0.30231148 0.58575755 0.44192243 0.54447055 0.6073584
 0.63211888 0.58375716 0.440391   0.40313262 0.93933105 0.78032076
 0.70540249]
1 output [[0.5120723]]
2 input [0.30231148 0.58575755 0.44192243 0.54447055 0.6073584  0.63211888
 0.58375716 0.440391   0.40313262 0.93933105 0.78032076 0.70540249
 0.51207232]
2 output [[0.44601813]]
3 input [0.58575755 0.44192243 0.54447055 0.6073584  0.63211888 0.58375716
 0.440391   0.40313262 0.93933105 0.78032076 0.70540249 0.51207232
 0.44601813]
3 output [[0.52186954]]
4 input [0.44192243 0.54447055 0.6073584  0.63211888 0.58375716 0.440391
 0.40313262 0.93933105 0.78032076 0.70540249 0.51207232 0.44601813
 0.52186954]
4 output [[0.59545386]]
5 input [0.54447055 0.6073584  0.63211888 0.58375716 0.440391   0.40313262
 0.93933105 0.78032076 0.70540249 0.51207232 0.44601813 0.52186954
 0.59545386]
5 output [[0.59124744]]
6 input [0.6073584  0.63211888 0.58375716 0.440391   0.40313262 0.93933105
 0.78032076 0.70540249 0.51207232 0.44601813 0.52186954 0.59545386
 0.59124744]
6 output [[0.55528903]]
7 input [0.63211888 0.58375716 0.440391   0.40313262 0.93933105 0.78032076
 0.70540249 0.51207232 0.44601813 0.52186954 0.59545386 0.59124744
 0.55528903]
7 output [[0.5708487]]
8 input [0.58375716 0.440391   0.40313262 0.93933105 0.78032076 0.70540249
 0.51207232 0.44601813 0.52186954 0.59545386 0.59124744 0.55528903
 0.5708487 ]
8 output [[0.5722325]]
[[0.7054024934768677], [0.5120723247528076], [0.44601812958717346], [0.5218695402145386], [0.5954538583755493], [0.591247439384
4604], [0.5552890300750732], [0.5708487033843994], [0.5722324848175049]]
```

```
lst_output = scaler.inverse_transform(lst_output)
```

```
lst_output
```

```
array([[20731.63661713],
       [16399.87413138],
       [14919.86153669],
       [16619.39088183],
       [18268.1236743 ],
       [18173.87450406],
       [17368.1891342 ],
       [17716.81971563],
       [17747.82477056]])
```

```
forecast = pd.DataFrame(lst_output, columns=['forecast'])
forecast.index = pd.date_range('2021-01', '2021-09',freq='MS')
forecast
```

	forecast
2021-01-01	20731.636617
2021-02-01	16399.874131
2021-03-01	14919.861537
2021-04-01	16619.390882
2021-05-01	18268.123674
2021-06-01	18173.874504
2021-07-01	17368.189134
2021-08-01	17716.819716
2021-09-01	17747.824771

รูปที่ ค.2 ผลการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวของอนุกรมเวลามูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวหัสยา มูลจิโน
วัน เดือน ปีเกิด	23 เมษายน 2536
ที่อยู่ปัจจุบัน	462/79 ซอยพหลโยธิน 24 ถนนพหลโยธิน แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	(2558) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสถิติ เกรดเฉลี่ย 2.31 (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) (2565) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ เกรดเฉลี่ย 4.00 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้