

การพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ
สำหรับการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า

อรรถพันธ์ จันทรกานต์สกุล

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2562

AIR CONDITIONER COMPONENT PART DEMAND FORECASTING
FOR MASS CUSTOMIZATION

Atthaphan Chantarakarnsakul

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
For The Degree of Master Engineering Program in Engineering Technology
Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology
Academic Year 2019

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ
โดย	สำหรับการผลิตแบบเฉพาะตามความต้องการของลูกค้า
สาขาวิชา	อรรถพันธ์ จันทรวงศ์สกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	เทคโนโลยีวิศวกรรม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)
วันที่ เดือน พ.ศ.

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ สุพิทักษ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิโรช ทัดชนะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน)

อรรถพันธ์ จันทรกานต์สกุล : การพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ สำหรับ
การผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.
ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน, 88 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ ความต้องการ
ชิ้นส่วนของเครื่องปรับอากาศ สำหรับการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำ
เทคนิคการพยากรณ์ 2 วิธี มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ และวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์ โดยพิจารณาวิธีการพยากรณ์ที่
เหมาะสมจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์
(MAPE) ที่ต่ำที่สุด ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลทุติยภูมิ การเบิกใช้งานจริงชิ้นส่วนประเภทยอเตอร์ของ
เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน จำนวน 2 รายการ เป็นกรณีศึกษา ลักษณะข้อมูลจำแนกเป็นรายเดือน
ตั้งแต่เดือนมกราคม 2551 ถึงเดือนธันวาคม 2561 จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ทั้ง 2 วิธี พบว่า
วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด คือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

บัณฑิตวิทยาลัย

สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ATTHAPHAN CHANTARAKARNSAKUL: AIR CONDITIONER COMPONENT PART
DEMAND FORECASTING FOR MASS CUSTOMIZATION. ADVISOR: ASSISTANT
PROFESSOR DR. DUMRONGKIAT RATANA-AMORNPIN, 88 PP.

The objective of this research is to determine optimal models for forecasting the Air conditioner component part demand for Mass customization. There are two techniques for data analysis. These include Artificial Neural Network with Back propagation method and Exponential Smoothing Holt-Winter method. The suitable forecasting models were chosen by considering the smallest value of MSE. and MAPE. Our raw data were secondary data, which were using actual demand of 2 item of motor for split type air conditioner as case study. Data were separated on a month basis between from January 2008 and December 2018. Through the comparative study of 2 forecasting method, the results showed that the Artificial Neural Network with Back propagation method is the most appropriate forecasting method

Graduate School

Field of Engineering of Technology

Academic Year 2019

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยการได้รับคำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน ขอขอบพระคุณประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ สุพิทักษ์ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิโรช ทศนะ อาจารย์ประจำคณะ วิศวกรรมศาสตร์ รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ด้วย ที่คอยให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในทุกขั้นตอนของการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี เพื่อให้งานวิจัยฉบับนี้มีความเรียบร้อย สมบูรณ์

ขอขอบคุณ บริษัท ยูไนเต็ท เทคโนโลยี ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด ผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศทุกชนิด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาในการวิจัยครั้งนี้

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิด ภรรยาและบุตรที่คอยให้กำลังใจ และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและสนับสนุนในการทำงาน และการศึกษาค้นคว้าสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อรรถพันธ์ จันทรภานต์สกุล

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
แผนงานและระยะเวลาดำเนินการ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ระบบการผลิตแบบ Mass Cutomization.....	4
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network).....	7
ความหมายและหลักการของโครงข่ายประสาทเทียม.....	7
สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม.....	9
ประเภทการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม.....	11
โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ.....	12
ขั้นตอนในการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม.....	12
การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis).....	17
วิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์.....	18
รูปแบบแนวโน้มและฤดูกาลแบบบวก.....	18
รูปแบบแนวโน้มและฤดูกาลแบบคูณ	19
การวัดประสิทธิภาพและความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์.....	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
2	การทบทวนวรรณกรรม	21
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
	ลักษณะข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูล.....	25
	กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา.....	25
	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	25
	วิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	26
	วิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโวลท์-วินเทอร์	28
	เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์.....	28
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	29
	วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	29
	ตัวแบบที่เหมาะสมของมอเตอร์หมายเลข 1042420	30
	ตัวแบบที่เหมาะสมของมอเตอร์หมายเลข 1042773	31
	วิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโวลท์-วินเทอร์	33
	ตัวแบบที่เหมาะสมของมอเตอร์หมายเลข 1042420	34
	ตัวแบบที่เหมาะสมของมอเตอร์หมายเลข 1042773	37
	ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์	39
5	บทสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	40
	สรุปผลการวิจัย.....	40
	วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมของมอเตอร์หมายเลข 1042420	40
	วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมของมอเตอร์หมายเลข 1042773	40
	อภิปรายผล	41
	ข้อเสนอแนะ	41
	บรรณานุกรม	43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก 47	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ 48	
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการวิเคราะห์เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสม 55	
ประวัติย่อผู้วิจัย 88	



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินงานปี พ.ศ. 2561 – 2562	3
2.1 สรุปรงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
4.1 โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ สำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ...	30
4.2 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ หมายเลข 1042420 และค่าพยากรณ์ด้วย วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	30
4.3 โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ สำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ...	30
4.4 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ หมายเลข 1042773 และค่าพยากรณ์ด้วย วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	32
4.5 รูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กโพเนนเชียลแบบโวลท์-วินเทอร์ สำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420.....	34
4.6 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ หมายเลข 1042420 และค่าพยากรณ์ด้วย วิธีการปรับให้เรียบเอ็กโพเนนเชียลแบบโวลท์-วินเทอร์	35
4.7 รูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กโพเนนเชียลแบบโวลท์-วินเทอร์ สำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773.....	37
4.8 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ หมายเลข 1042773 และค่าพยากรณ์ด้วย วิธีการปรับให้เรียบเอ็กโพเนนเชียลแบบโวลท์-วินเทอร์.....	38
4.9 เปรียบเทียบค่า MAPE ของการพยากรณ์ขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ ประเภทมอเตอร์ จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ และวิธีปรับให้เรียบเอ็กโพเนนเชียลแบบโวลท์และวินเทอร์	39
ก.1 ข้อมูลใช้ในการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศสำหรับ การผลิตแบบตามความต้องการเฉพาะของลูกค้า	49
ข.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วน เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง

หน้า

ข.2	การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วน เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	61
ข.3	การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก	66
ข.4	การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ	71
ข.5	การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก	76
ข.6	การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ	82

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 Mass Customization คือการรวมกันของ Mass Production และ Customization.....	5
2.2 ความต่อเนื่องของขั้นตอนในการจำแนกระดับของ Customization	6
2.3 ประเภทความเป็นโมดูล (Modularity type)	7
2.4 โครงสร้างระบบประสาท	8
2.5 โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม	9
2.6 แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายแบบชั้นเดียว	10
2.7 แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายแบบหลายชั้น	11
2.8 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	12
3.1 แสดงโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม	27
4.1 กราฟแสดงปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ชิ้นส่วนประเภท มอเตอร์หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	31
4.2 กราฟแสดงปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ชิ้นส่วนประเภท มอเตอร์หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	32
4.3 ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420....	34
4.4 กราฟแสดงปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ชิ้นส่วนประเภท มอเตอร์หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล แบบโวลท์-วินเทอร์.....	35
4.5 ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773....	37
4.6 กราฟแสดงปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ชิ้นส่วนประเภท มอเตอร์หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล แบบโวลท์-วินเทอร์.....	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจของโลกในปัจจุบันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว สภาพแวดล้อมทางธุรกิจมีการแข่งขันสูง ผู้ประกอบการจำเป็นต้องหาวิธีการสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันเหนือคู่แข่งทางการค้าให้ได้มากที่สุด เช่นเดียวกัน ในธุรกิจการผลิตเครื่องปรับอากาศก็มีแข่งขันรุนแรงทั้งในเรื่องราคา และรูปแบบของสินค้ารวมถึงระยะเวลาในการส่งมอบ การตอบสนองความความต้องการของลูกค้าจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ การผลิตสินค้าที่เหมือนกันครั้งละจำนวนมากๆ (Mass Production) ไม่สามารถตอบสนองความต้องการที่หลากหลายในปัจจุบันได้ การสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันโดยการพัฒนาศักยภาพด้านการผลิตมาเป็นแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า (Mass Customization) ทำให้การผลิตสินค้ามีความแตกต่างในสายตาลูกค้าได้อย่างชัดเจน และในขณะเดียวกันก็สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าในแต่ละกลุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บริษัท ทรนิกศึกษา เป็นผู้ประกอบการที่ประกอบธุรกิจผลิตเครื่องปรับอากาศทุกประเภทผลิตภัณฑ์ ของบริษัทมีความหลากหลายเข้าถึงทุกกลุ่มลูกค้าตั้งแต่ เครื่องปรับอากาศที่ใช้กับบ้านพักอาศัย ร้านค้าอาคารพาณิชย์ ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงงานอุตสาหกรรม การรับคำสั่งซื้อที่มีทั้งแบบที่เป็นสินค้านำมามาตรฐาน และรุ่นพิเศษแบบตามที่ต้องการ เพื่อให้สามารถตอบสนองทุกความต้องการของลูกค้าทุกกลุ่ม บริษัทได้พัฒนาการผลิตจากแบบครั้งละจำนวนมากๆ (Mass Production) มาเป็นแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า (Mass Customization) เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในกระบวนการผลิต โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ให้สามารถใช้ชิ้นส่วนร่วมกันได้ (Common Component Part) ปรับปรุงสายการผลิตขั้นตอนการประกอบให้มีความยืดหยุ่นสามารถประกอบเครื่องปรับอากาศได้หลายรุ่นในสายการผลิตเดียวกันได้ และจัดทำสต็อกชิ้นส่วนประกอบ (Component Part Inventory) เพื่อให้พร้อมสำหรับการประกอบสินค้าทั้งรุ่นมาตรฐาน และรุ่นพิเศษทั้งนี้เพื่อทำให้ระยะเวลาในการส่งมอบสินค้าสั้นที่สุด โดยชิ้นส่วนประกอบ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มชิ้นส่วนประกอบที่ผลิตขึ้นเองภายใน เช่น ชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก ชิ้นส่วนแผงคอยล์ และกลุ่มชิ้นส่วนมาตรฐานที่สั่งซื้อมาจากภายนอก เช่น คอมเพรสเซอร์ มอเตอร์ ซึ่งการกำหนดปริมาณการจัดเก็บชิ้นส่วน แต่ละรายการมาจากเป้าหมายการขายสินค้านำมามาตรฐานในแต่ละรุ่น (Sale Forecasting) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการขายจริง ซึ่งมีทั้งแบบที่เป็นสินค้านำมามาตรฐาน และรุ่นพิเศษแบบ ตามที่ลูกค้าต้องการ (Customize) ทำให้ชิ้นส่วนบางรายการไม่เพียงพอและเกิดความ

ล่าช้าในการผลิตรวมถึงการส่งมอบ และขึ้นส่วนบางรายการมีมากเกินไป โดยขึ้นส่วนที่มีปัญหาคือ กลุ่มขึ้นส่วนมาตรฐานที่สั่งซื้อจากภายนอก เนื่องจากมีเงื่อนไขในการสั่งซื้อได้แก่จำนวนสั่งซื้อขั้นต่ำ (MOQ : Minimum Order Quantity) และระยะเวลาการส่งมอบ (Order Lead Time) ดังนั้นหากมีตัวแบบในการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนที่เหมาะสมกับการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า (Mass Customization) จะมีประโยชน์อย่างมาก

ปัจจุบันมีเทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression) และการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เป็นต้น จากการศึกษาเทคนิคของการพยากรณ์จากงานวิจัยต่างๆ พบว่าเทคนิคการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก และถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์ในหลายๆ ด้าน เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลในอดีตและหาความสัมพันธ์ของข้อมูลปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์เพื่อนำไปพยากรณ์ข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม แบบแพร่ย้อนกลับ (Back propagation Artificial Neural Network) และการวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กโพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method) มาใช้ในการพยากรณ์เปรียบเทียบเพื่อหาวิธีการและตัวแบบที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาและสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมในการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ สำหรับการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า (Mass Customization)

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบและเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ สำหรับการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) เป็นค่าวัดประสิทธิภาพและความแม่นยำของการพยากรณ์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงงานวิจัยนี้มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการศึกษาข้อมูลจำนวนขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ ซึ่งผู้วิจัยได้จำกัดขอบเขตการศึกษาไว้ดังนี้

1.3.1 ศึกษาข้อมูลจำนวนการเปิดใช้จริงขึ้นส่วนประกอบในกลุ่มขึ้นส่วนมาตรฐานที่สั่งซื้อมาจากภายนอกประเภทมอเตอร์ที่มีการใช้งานต่อเนื่อง จำนวน 2 รายการ ได้แก่ มอเตอร์หมายเลข 1042420 และหมายเลข 1042773 เป็นกรณีศึกษา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงแนวทางที่เหมาะสมในการนำรูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า (Mass Customization) โดยเลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และการวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นกรณีศึกษาประกอบงานวิจัยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นดังนี้

1. ระบบการผลิตแบบ Mass Customization
2. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)
3. การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis)
4. วิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method)
5. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ระบบการผลิตแบบ Mass Customization

2.1.1 แนวความคิด Mass Customization [1] [2]

Davis เป็นผู้กล่าวถึงคำว่า Mass Customization ในปีค.ศ.1987 ด้วยเหตุผลที่ว่าสภาพแวดล้อมด้านประชากรศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ลูกค้ามีลักษณะเป็นส่วนตัว มีรสนิยมที่หลากหลาย และพร้อมที่จะจ่ายเงินซื้อสินค้าหรือบริการทุกราคาถ้าองค์กรสามารถตอบสนองได้ตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามนี่เป็นเพียงคำกล่าวในช่วงการแข่งขันยังอยู่ในรูปแบบการผลิตขนาดใหญ่ ในโลกธุรกิจปัจจุบันองค์กรทั้งหลายล้วนเผชิญกับแรงกดดันทั้งจากลูกค้าและคู่แข่งจำนวนมาก องค์กรต้องสามารถตอบสนองต่อแรงกดดันต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ ไม่เพียงแต่ความสามารถในการแข่งขันด้วยคุณภาพที่สูงภายใต้ต้นทุนที่ต่ำเท่านั้น แต่องค์กรยังต้องสามารถตอบสนองด้วยคุณค่าที่หลากหลาย (Variety) ได้ด้วย คำกล่าวนี้เองทำให้เกิดการพัฒนาแนวคิดที่จะตอบสนองลูกค้าเฉพาะรายในทุกสิ่งที่ลูกค้าต้องการ (Customization) ในเวลาต่อมา และนำไปสู่แนวคิดแบบ Mass Customization ที่ได้จากงานวิจัยของพายนในปี 1993 [1]

Mass Customization เป็นแนวคิดทางธุรกิจที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสินค้าให้ตรงความต้องการของลูกค้าเฉพาะรายโดยที่ต้นทุนสามารถแข่งขันกับการผลิตแบบจำนวนมาก (Mass Production) ได้ Svensson & Barford ได้อธิบายไว้ว่าตลาดของ Mass Customization เกิดขึ้น

จากการหาสมดุลระหว่าง ประสิทธิภาพของการผลิตแบบปริมาณมาก (Mass production) และความ ต้องการเฉพาะรายของการผลิตหัตถกรรมแบบดั้งเดิม (Customization) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Mass Customization คือการรวมกันของ Mass Production และ Customization

Hart ให้นิยามความหมายของ Mass Customization ไว้ 2 นิยาม คือนิยามเชิง วิสัยทัศน์ และนิยาม เชิงการปฏิบัติ ความหมายด้านวิสัยทัศน์คือ Mass Customization หมายถึง ความสามารถขององค์กรในการตอบสนองทุกความต้องการของลูกค้า ทุกที่ ทุกเวลาและทุกวิธี เมื่อ ลูกค้าต้องการ อีกความหมายเป็นความหมายเชิงปฏิบัติคือ Mass Customization หมายถึง กระบวนการผลิตที่ยืดหยุ่น และโครงสร้างองค์กร ที่สอดคล้องและสามารถผลิต ผลิตภัณฑ์และบริการ ที่หลากหลายเพื่อตอบสนองทุกความต้องการของลูกค้าเฉพาะรายภายใต้มาตรฐานด้วยต้นทุนต่ำแบบ ในระบบการผลิตปริมาณมาก [2]

2.1.2 แนวทางและวิธีการของ Mass Customization [3]

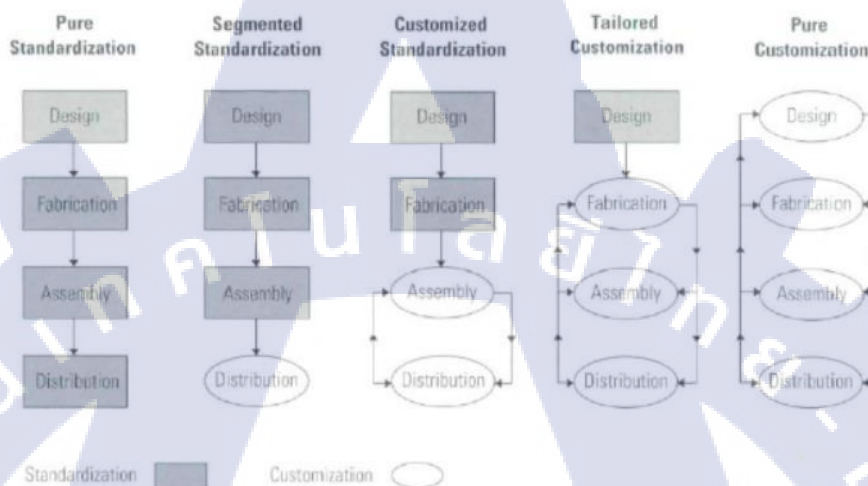
บริษัทหรือองค์กร มีโอกาสในการนำเสนอมุมมองที่แตกต่างของการปรับแต่งตาม ความต้องการให้กับลูกค้าของพวกเขา ดังนั้นความพยายามในการทำตามคำสั่งซื้อหลายครั้งทำให้ สามารถจำแนกระดับของ Mass Customization ในเชิงปฏิบัติได้ หลักเกณฑ์หลักในการจำแนก คือ ระดับการมีส่วนร่วมของลูกค้า ในทางปฏิบัติระดับของการปรับแต่งตามความต้องการ (Customization) จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการมีส่วนร่วมของลูกค้าอยู่ในขั้นตอนการผลิตที่สูงขึ้นในห่วงโซ่ คุณค่า ได้กำหนด 4 ขั้นตอนสำคัญในห่วงโซ่คุณค่า ได้แก่ การออกแบบ (Design) การผลิตชิ้นส่วน (Fabrication) การประกอบ (Assembly) และ การส่งมอบหรือกระจายสินค้า (Distribution) และ ได้กำหนด 5 กลยุทธ์ ในการจำแนกระดับของการปรับแต่งตามความต้องการ (Customization) แสดงดังรูปที่ 2.2 ประกอบด้วย

1. เป็นมาตรฐานทุกขั้นตอน (Pure Standardization)
2. เป็นมาตรฐานมีการปรับแต่งในขั้นตอนการกระจายสินค้า (Segmented Standardization)
3. เป็นมาตรฐานและมีการปรับแต่งในขั้นตอนการประกอบและการกระจาย

สินค้า(Customization Standardization)

4. มีการปรับแต่งตามความต้องการเป็นมาตรฐานเฉพาะขั้นตอนการออกแบบ
(Tailored Customization)

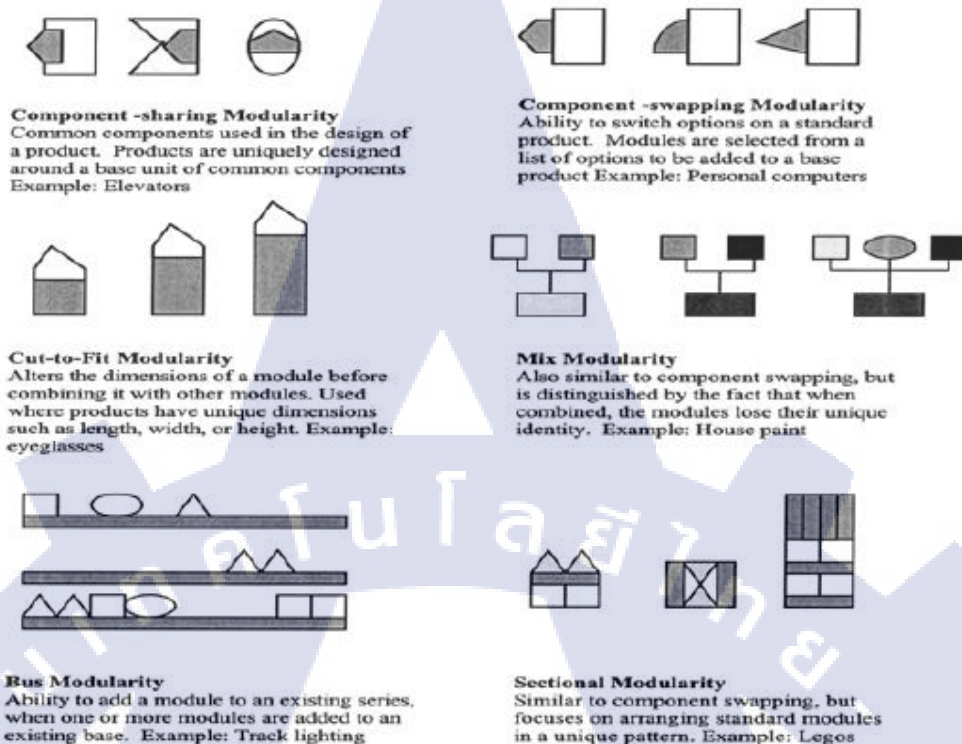
5. มีการปรับแต่งตามความต้องการทุกขั้นตอน (Pure Customization)



รูปที่ 2.2 ความต่อเนื่องของขั้นตอนในการจำแนกระดับของ Customization

Lampel & Mintzberg กล่าวว่าแนวโน้มในปัจจุบันไม่ได้มุ่งเน้นที่การปรับแต่งตามความต้องการทุกขั้นตอน (Pure Customization) แต่ต้องการการปรับแต่งแบบกลางที่มีทั้งเป็นมาตรฐานและมีการปรับแต่ง (Customization Standardization)

Durey et al กล่าวว่าการมีส่วนร่วมของลูกค้า (Customer Involvement) และความเป็นโมดูล (Modularity) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการอธิบายลักษณะแนวทางและวิธีการของ Mass Customization. และได้จำแนกประเภทความเป็นโมดูล (Modularity) แสดงดังรูปที่ 2.3



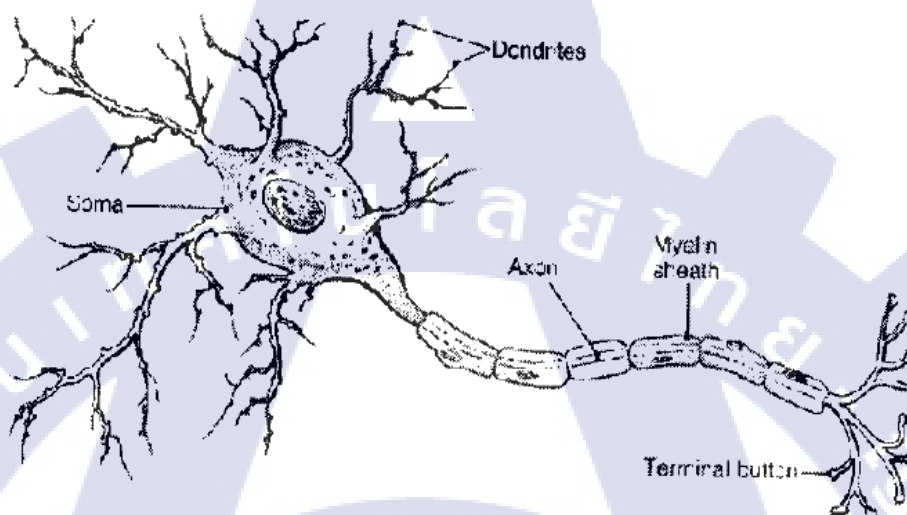
รูปที่ 2.3 ประเภทความเป็นโมดูล (Modularity type)

2.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

2.2.1 ความหมายและหลักการของโครงข่ายประสาทเทียม [4]

โครงข่ายประสาทเทียม คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ โดยที่โครงข่ายประสาทของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neural) และจุดประสานประสาทหรือไซแนปส์ (Synapses) โดยโครงสร้างของการส่งสัญญาณประสาทประกอบจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทหลายพันล้านเซลล์ เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ประกอบด้วยแขนงรับสัญญาณประสาทซึ่งเป็นเสมือนหน่วยรับข้อมูลป้อนเข้า เรียกว่า เดนไดรต์ (Dendrites) และส่วนปลายของเซลล์ประสาทในการส่งสัญญาณประสาทเป็นเสมือนหน่วยส่งออกข้อมูลของเซลล์ เรียกว่า แอคซอน (Axon) โดยการส่งสัญญาณประสาทดังกล่าวอาจทำให้เกิดได้ทั้งการกระตุ้นและการยับยั้ง ทั้งนี้นอกจากลักษณะดังกล่าวแล้ว วิธีการประมวลผลภายในเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ยังมีการขยายหรือลดขนาดของสัญญาณอีกด้วย โดยสัญญาณจากเดนไดรต์ต่างๆ จะรวมกันเข้าสู่เซลล์ประสาท และหากสัญญาณรวมมีความแรงเกินค่าระดับ (Threshold) ของเซลล์ประสาทรุนั้นๆ เซลล์ประสาทก็จะส่งสัญญาณออกทางแอกซอนต่อไป

กระบวนการเรียนรู้ในสิ่งมีชีวิตจะมีผลให้เกิดการสร้างไซแนปส์ระหว่างเซลล์ประสาทขึ้นมาใหม่ หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของไซแนปส์ต่างๆ ในโครงข่ายของเซลล์ประสาท โครงข่ายประสาทของสิ่งมีชีวิตจึงไม่ได้ทำงานแบบเป็นลำดับขั้นตอน (Sequential) แต่เพียงอย่างเดียว ลักษณะโดยทั่วไปของโครงสร้างระบบประสาทแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างระบบประสาท

โครงข่ายประสาทเทียมมีคุณลักษณะคล้ายกับการส่งผ่านสัญญาณประสาทในสมองของมนุษย์ กล่าวคือ มีความสามารถในการรวบรวมความรู้ (Knowledge) โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ (Learning Process) และความรู้เหล่านี้จะจัดเก็บอยู่ในโครงข่ายในรูปแบบค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เมื่อมีการเรียนรู้สิ่งใหม่ๆ เข้าไป ค่าน้ำหนักทำหน้าที่เปรียบเสมือนความรู้ที่รวบรวมไว้เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะอย่างของมนุษย์

การประมวลผลต่างๆ เกิดในหน่วยประมวลผลย่อย เรียกว่า โหนด (Node) ซึ่งโหนดเป็นการจำลองลักษณะการทำงานมาจากเซลล์การส่งสัญญาณ (Signal) ระหว่างโหนดที่เชื่อมต่อกัน (Connection) จำลองมาจากการเชื่อมต่อของเดรนไดรฟ์ และแอกซอน ในระบบประสาทของมนุษย์ ภายในโหนดจะมีฟังก์ชันกำหนดสัญญาณส่งออกที่เรียกว่า ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) หรือ ฟังก์ชันการแปลง (Transfer function) ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนกระบวนการทำงานในเซลล์

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ดังนี้ แสดงดังรูปที่ 2.5

1. ข้อมูลส่งออก (Output) คือ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง (Actual Output)

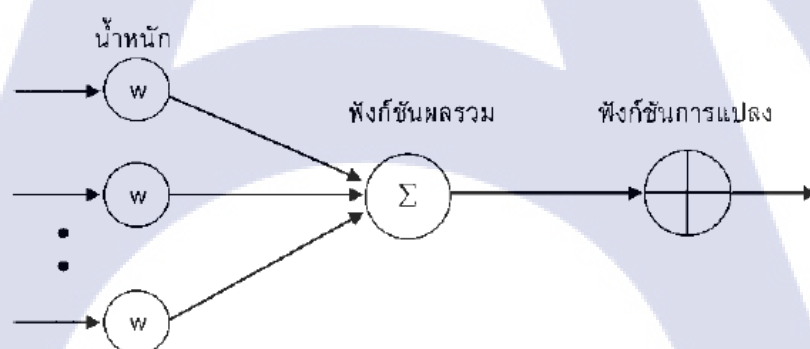
จากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

2. การประมาณข้อมูลป้อนเข้า (Input) เป็นข้อมูลที่ป้อนเข้าเป็นตัวเลข หากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพต้องแปลงให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณที่โครงข่ายประสาทเทียมยอมรับได้

3. ค่าน้ำหนัก (Weight) คือ สิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าความรู้ (Knowledge) ค่านี้นี้จะถูกเก็บเป็นทักษะเพื่อใช้ในการจดจำข้อมูลอื่นๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน

4. ฟังก์ชันผลรวม (Summation function: Σ) เป็นผลรวมของข้อมูลป้อนเข้า และค่าน้ำหนัก

5. ฟังก์ชันการแปลง (Transfer function) เป็นการคำนวณการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม เช่น ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (sigmoid function) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิคแทนเจนต์ (hyperbolic tangent function) เป็นต้น



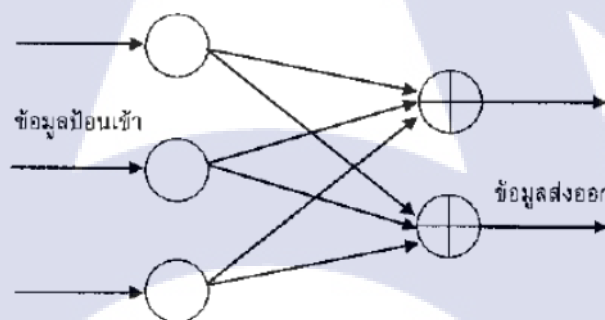
รูปที่ 2.5 โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

2.2.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network Architecture) [5]

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยเซลล์หรือโหนด (Node) จำนวนมากที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งการเชื่อมต่อกันจะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยเรียกว่า ชั้น (layer) ในชั้นแรกเรียกว่าชั้นข้อมูลเข้า (Input Layer) ส่วนชั้นสุดท้ายเรียกว่าชั้นข้อมูลออก (Output Layer) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต เรียกว่า ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งชั้นซ่อน จะมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ จึงสามารถแบ่งประเภทโครงข่ายประสาทเทียมแบบกว้างๆ ได้ 2 แบบคือ โครงข่ายแบบชั้นเดียว (Single Layer)

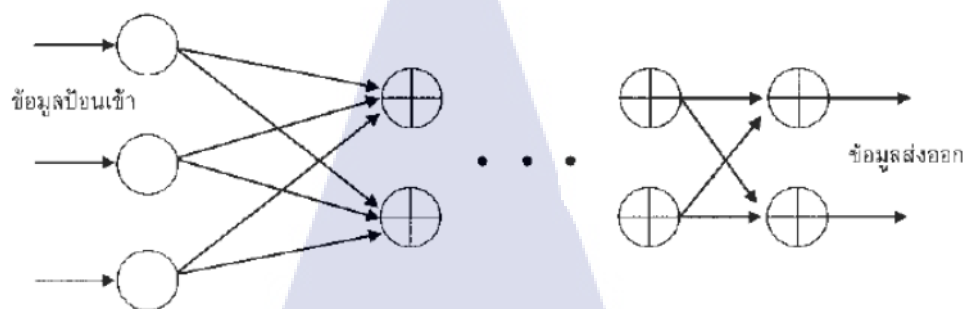
และโครงข่ายแบบหลายชั้น (Multi-Layer) การนับชั้นของโครงข่ายจะนับเฉพาะชั้นที่มีการประมวลผลเท่านั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าจำนวนชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมคือ จำนวนชั้นซ่อนรวมกับจำนวนชั้นข้อมูลออก

1. โครงข่ายแบบชั้นเดียว (Single Layer) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายที่มีเพียงชั้นข้อมูลเข้าและชั้นข้อมูลออกเท่านั้น โหนดในชั้นข้อมูลเข้าจะทำหน้าที่รับข้อมูล (Input Value) แล้วส่งข้อมูลผ่านเส้นเชื่อมโยงต่างๆ ไปให้โหนดในชั้นข้อมูลออก ความเข้มของสัญญาณหรือปริมาณข้อมูลที่นำเข้าสู่โหนดในชั้นข้อมูลเข้าจะขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักที่อยู่บนเส้นเชื่อมโยง โหนดในชั้นข้อมูลออกจะนำข้อมูลที่รับมามีค่าคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ที่เหมาะสมกับปัญหาแล้วส่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นข้อมูลส่งออก ตัวอย่างโครงข่ายแบบชั้นเดียว เช่น เพอเซปตรอนอย่างง่าย (Simple Perceptron) โครงข่ายโฮปฟิลด์ (Hopfield Network) เป็นต้น ลักษณะโครงข่าย แบบชั้นเดียว แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายแบบชั้นเดียว

2. โครงข่ายแบบหลายชั้น (Multi-Layer) เป็นโครงข่ายที่มีชั้นฮิดเดน ตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป โครงข่ายแบบหลายชั้นจะใช้ในกรณีที่มีปัญหาที่ซับซ้อนซึ่งโครงข่ายแบบชั้นเดียวไม่เพียงพอในการแก้ปัญหา จึงเพิ่มจำนวนของโหนดที่มีการคำนวณหรือชั้นฮิดเดนให้กับโครงข่าย ตัวอย่างโครงข่ายแบบหลายชั้น เช่น การแพร่แบบย้อนกลับ (Back propagation) เซลล์พื่อแกในซึ่งแมปซ์ (Self-Organizing Map) เคาน์เตอร์พรอพเกชัน (Counter propagation) เป็นต้น ลักษณะโครงข่ายแบบหลายชั้นแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายแบบหลายชั้น

2.2.3 ประเภทของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม [6]

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีประสิทธิภาพเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนัก (weight) ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ทำการออกแบบ ซึ่งการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมคือการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับโครงข่ายประสาทเทียมนั้นๆ โดยทั่วไปสามารถจำแนกวิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมได้ 2 ประเภท

1. การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) จะกำหนดข้อมูลฝึกหัด (Training data set) ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลเข้า (Input data) และข้อมูลเป้าหมาย (target data) ที่ต้องการ หลังจากนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการคำนวณค่าน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับข้อมูลฝึกหัด โดยคำตอบที่พยากรณ์ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกคำนวณค่าความผิดพลาด (Error value) ว่ามีความห่างจากคำตอบที่แท้จริงของข้อมูลนำเข้าในชุดเดียวกันมากน้อยเพียงใด ถ้ายังพบความผิดพลาดสูงอยู่ การฝึกหัดจะดำเนินต่อไปจนกว่าค่าความผิดพลาดจะลดลงต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ (Accept level) จึงจะหยุดฝึกหัด สุดท้ายค่าน้ำหนักที่ได้จะเป็นเหมือนฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงข้อมูล

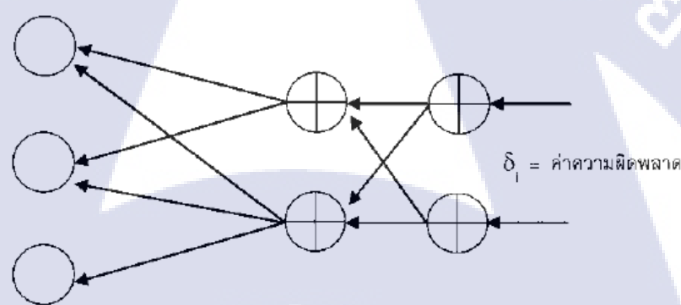
2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) จะอาศัยชุดข้อมูลเข้าอย่างเดียวในการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมโดยไม่มีข้อมูลเป้าหมาย แต่จะใช้ข้อมูลออก (Output data) จากโครงข่ายประสาทเทียมแทน เมื่อป้อนข้อมูลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม โครงข่ายประสาทเทียมจะคำนวณค่าความสัมพันธ์ที่มีอยู่ภายในกลุ่มข้อมูลเข้า โดยอาศัยค่าน้ำหนักเป็นตัวแยกความแตกต่างของข้อมูลเข้าและนำไปเก็บไว้ในโหนดออกของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการจำแนกชุดข้อมูล (Classification)

2.2.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่แบบย้อนกลับ (Back propagation Artificial Neural Network) [5]

การแพร่แบบย้อนกลับเป็นขั้นตอนที่ใช้สอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ เป็นตัวแบบโครงข่ายที่ได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถแก้ปัญหาในลักษณะเชิงเส้น (linear) และไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear) ได้ โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับมีลักษณะสำคัญดังนี้

1. เป็นโครงข่ายแบบหลายชั้น (Multi-layer)
2. การเชื่อมโยงในแต่ละชั้นเป็นแบบต่อถึงกันหมด (Fully connected)
3. เป็นโครงข่ายที่ส่งสัญญาณไปข้างหน้า (Feed forward network)
4. มีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ เพื่อปรับน้ำหนักบนเส้นเชื่อมโยงระหว่างโหนด

แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

2.2.5 ขั้นตอนในการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

แบ่งออกเป็น 16 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [5]

1. กำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ จำนวน โหนดในชั้นข้อมูลเข้า ชั้นซ่อน ชั้นข้อมูลออก จำนวนชั้นซ่อน และประเภทของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน
2. แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม ข้อมูลกลุ่มที่ 1 ใช้สำหรับฝึกสอนโครงข่ายและข้อมูลกลุ่มที่ 2 เพื่อยืนยันความถูกต้อง (Validation) ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการฝึกสอนว่าสามารถแสดงถึงลักษณะการเคลื่อนไหวของสมการถดถอยได้ตามสภาพจริง ซึ่งช่วยเพิ่มความมั่นใจในการนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ไปใช้ในการพยากรณ์
3. แปลงค่าของตัวแปรให้อยู่ในสเกลเดียวกัน ทั้งในส่วนของตัวแปรเข้าและตัวแปรออกให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

4. กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเส้นเชื่อมโยงระหว่าง โหนด โดยการสุ่มหรือการกำหนดขึ้นเองให้มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1
5. ป้อนข้อมูลที่แปลงค่าแล้วเข้าสู่ โหนดในชั้นข้อมูลเข้า
6. ส่งข้อมูลจาก โหนดในชั้นข้อมูลเข้าไปยัง โหนดในชั้นซ่อน โดยไม่ผ่านชั้นตอนใดๆ
7. คำนวณผลรวมของสัญญาณอินพุตของแต่ละ โหนดในชั้นฮิดเดน คำนวณจากสมการ

$$I_{0,j,0} = \sum_{i=1}^n O_{i,0,0} w_{i,j} \quad (2.1)$$

- เมื่อ $I_{0,j,0}$ = สัญญาณอินพุตของ โหนดที่ j ในชั้นฮิดเดน
 $O_{i,0,0}$ = ข้อมูลเอาต์พุตของ โหนดที่ i ในชั้นอินพุต
 $w_{i,j}$ = ค่าถ่วงน้ำหนักบนเส้นเชื่อมโยงจาก โหนดที่ i ไปยังโหนดที่ j
8. คำนวณค่าเอาต์พุตของโหนดที่ j ในชั้นฮิดเดนโดยใช้ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน โดยทั่วไปนิยมใช้ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function) คำนวณจากสมการ

$$O_{0,j,0} = \frac{1}{1 + e^{-I_{0,j,0}}} \quad (2.2)$$

- เมื่อ $O_{0,j,0}$ = ข้อมูลเอาต์พุตของ โหนดที่ j ในชั้นฮิดเดน
9. คำนวณผลรวมสัญญาณอินพุตของแต่ละ โหนดในชั้นเอาต์พุต จากสมการ

$$I_{0,0,k} = \sum_{j=1}^m O_{0,j,0} w_{j,k} \quad (2.3)$$

- เมื่อ $I_{0,0,k}$ = ข้อมูลอินพุตของ โหนดที่ k ในชั้นเอาต์พุต
 $O_{0,i,0}$ = ข้อมูลเอาต์พุตของ โหนดที่ j ในชั้นฮิดเดน
 $w_{i,k}$ = ค่าน้ำหนักบนเส้นเชื่อมโยงจาก โหนดที่ j ไปยังโหนด k
10. คำนวณค่าเอาต์พุตของ โหนด k ในชั้นอินพุต โดยน้ใช้ซิกมอยด์ฟังก์ชัน คำนวณได้จากสมการ

$$O_{0,0,k} = \frac{1}{1 + e^{-I_{0,j,0}}} \quad (2.4)$$

เมื่อ $O_{0,0,k}$ = ข้อมูลเอาต์พุตของ โหนดที่ k ในชั้นเอาต์พุต

11. คำนวณความคลาดเคลื่อนโดยการนำค่าเอาต์พุตของ โหนดที่ k ในชั้นเอาต์พุต มาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย ซึ่งหาได้จากสมการ

$$e_k = D_k - O_{0,0,k} \quad (2.5)$$

เมื่อ D_k = ข้อมูลจริงหรือค่าเป้าหมายของ โหนดที่ k ในชั้นเอาต์พุต

12. ปรับค่าถ่วงน้ำหนักของเส้นเชื่อมโยงโดยการแพร่แบบย้อนกลับของค่าความคลาดเคลื่อน (Back Propagation Error Adjust Weight) สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน ซึ่งการปรับค่าน้ำหนักบนเส้นเชื่อมโยงมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ค่าผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน (SSE) ของชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนมีค่าต่ำสุด มีรายละเอียดดังนี้

$$I_{0,0,k} = \sum w_{j,k} O_{0,j,0} \quad (2.6)$$

จาก

เมื่อ

$$O_{0,0,k} = \frac{1}{1 + e^{-I_{0,0,k}}}$$

$I_{0,0,k}$ = ข้อมูลอินพุตของ โหนดที่ k ในชั้นเอาต์พุต

$O_{0,j,0}$ = ข้อมูลเอาต์พุตของ โหนดที่ j ในชั้นฮิดเดน

$O_{0,0,k}$ = ข้อมูลเอาต์พุตของ โหนดที่ k ในชั้นฮิดเดน

$w_{j,k}$ = ค่าน้ำหนักบนเส้นเชื่อมโยงจาก โหนดที่ j ไปยัง โหนดที่ k

การหาอนุพันธ์ของการแพร่แบบย้อนกลับใช้กฎลูกโซ่ (chain rule) มีตัวแบบดังนี้

$$\delta_{j,k} = \frac{\partial SSE}{\partial w_{j,k}} \left(\frac{\partial SSE}{\partial O_{0,0,k}} \right) \left(\frac{\partial O_{0,0,k}}{\partial I_{0,0,k}} \right) \left(\frac{\partial I_{0,0,k}}{\partial w_{j,k}} \right) \quad (2.7)$$

จาก $e_k = D_k - O_{0,0,k}$
 เมื่อ D_k = ข้อมูลจริงหรือค่าเป้าหมายของ โหนดที่ k ในชั้นเอาต์พุต
 $O_{0,0,k}$ = ข้อมูลเอาต์พุตของ โหนดที่ k ในชั้นเอาต์พุต

และ
$$SSE = \sum (D_k - O_{0,0,k})^2$$

ดังนั้น
$$\left(\frac{\partial SSE}{\partial O_{0,0,k}} \right) = -2 \sum (D_k - O_{0,0,k})$$

จาก
$$O_{0,0,k} = \frac{1}{1 + e^{-I_{0,0,k}}}$$

ดังนั้น
$$\left(\frac{\partial O_{0,0,k}}{\partial I_{0,0,k}} \right) = O_{0,0,k} (1 - O_{0,0,k})$$

จาก
$$I_{0,0,k} = \sum w_{j,k} O_{0,j,0}$$

ดังนั้น
$$\left(\frac{\partial I_{0,0,k}}{\partial w_{j,k}} \right) = O_{0,j,k}$$

จากสมการ
$$\delta_{j,k} = \frac{\partial SSE}{\partial w_{j,k}} \left(\frac{\partial SSE}{\partial O_{0,0,k}} \right) \left(\frac{\partial O_{0,0,k}}{\partial I_{0,0,k}} \right) \left(\frac{\partial I_{0,0,k}}{\partial w_{j,k}} \right)$$

สามารถเขียนรูปสมการใหม่

$$\delta_{j,k} = 2e_k O_{0,0,k} (1 - O_{0,0,k}) O_{0,j,k} \quad (2.8)$$

จากสมการข้างต้น จะได้สมการที่ใช้ปรับค่าน้ำหนักคือ

$$\eta \Delta w_{j,k}^{(new)} = \delta_{j,k} O_{0,j,k} + \alpha \Delta w_{j,k}^{(old)} \quad (2.9)$$

และ
$$w_{j,k}^{(new)} = w_{j,k}^{(old)} + \Delta w_{j,k}^{(new)} \quad (2.10)$$

เมื่อ α = ค่าโมเมนตัม เป็นค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนัก มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โมเมนตัม จะแสดงถึงสัดส่วนของน้ำหนักครั้งก่อนที่นำมาใช้ในการปรับน้ำหนักปัจจุบัน

η = อัตราการเรียนรู้ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

สำหรับการปรับน้ำหนักบนเส้นเชื่อมโยงระหว่างชั้นข้อมูลเข้ากับชั้นซ่อนค่าความคลาดเคลื่อนของค่าออกในชั้นซ่อน จะหาได้จากความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนในชั้นเอาต์พุตแสดงดังสมการ

$$e_j = \sum w_{j,k} e_k \quad (2.11)$$

เมื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของค่าออกในชั้นซ่อนได้แล้ว จะสามารถหาค่าปรับน้ำหนักและคำนวณค่าปรับน้ำหนักใหม่ได้จากสมการ

$$\delta_{i,j} = 2e_j O_{0,j,0} (1 - O_{0,j,0}) O_{0,j,0} \quad (2.12)$$

สมการที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนักคือ

$$\Delta w_{i,j}^{(new)} = \eta \delta_{i,j} O_{0,j,0} + \alpha \Delta w_{i,j}^{(old)} \quad (2.13)$$

และ

$$w_{i,j}^{(new)} = w_{i,j}^{(old)} + \Delta w_{i,j}^{(new)} \quad (2.14)$$

13. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 5 ถึง 12 จนกว่าข้อมูลจะถูกป้อนเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมจนหมดจะเรียกการคำนวณที่ใช้ข้อมูลทั้งหมดว่า Epoch

14. คำนวณหาค่า RMSE ของแต่ละรอบจากสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{nt} e_i^2}{nt}} \quad (2.15)$$

เมื่อ $RMSE$ = ค่าประมาณของความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
(Root Mean Square Error)

e_i = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์กับค่าจริงในแต่ละรอบการสอน

nt = จำนวนความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการสอน

หากค่า RMSE มีค่าต่ำสุดหรืออยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จะดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 15 แต่ถ้าค่า

RMSE มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (Terminate Criteria) ให้ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 5 ถึง 14 ใหม่

15. ตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียม โดยการนำค่าน้ำหนักที่ได้จากโครงข่ายมาใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มที่ 2 แล้วทำการเปรียบเทียบค่า RMSE ที่ได้จากข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนกับค่า RMSE ที่ได้จากข้อมูลกลุ่มที่ 2 หากมีค่าแตกต่างกันมากทำการแก้ไขโดย

- ทดลองตั้งค่าน้ำหนักใหม่
- ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมใหม่
- ทดลองเปลี่ยนวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการพยากรณ์

16. นำโครงข่ายที่ได้ไปหาค่าพยากรณ์ต่อไป

2.3 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis)

2.3.1 ทฤษฎีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Forecasting) [7]

การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาเป็นการพยากรณ์เชิงปริมาณจะต้องอาศัยข้อมูลหลักการทางสถิติคณิตศาสตร์ในอดีตเป็นหลักเพื่อช่วยในการพยากรณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตซึ่งการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลานั้นเป็นเทคนิคที่มีการยอมรับโดยทั่วไปว่ามีความถูกต้องมากที่สุด สามารถนำข้อมูลที่มีค่าหลากหลายจำนวนมากมาคำนวณหาค่าพยากรณ์ได้ โดยวิธีการคำนวณมีความสะดวกและรวดเร็วอีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่ถูกมาก สำหรับการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาจะต้องใช้ข้อมูลทางสถิติในอดีตมาเก็บรวบรวมในช่วงระยะเวลาหนึ่งที่สม่ำเสมอโดยช่วงระยะเวลาในการเก็บข้อมูลต้องมีระยะเวลาที่เท่าๆกัน เช่น การเก็บข้อมูลทุกเดือน ทุกไตรมาส ทุกปี เป็นระยะเวลา 10 ปี เป็นต้น ซึ่งจากการเก็บข้อมูลจะสามารถพบถึงลักษณะของอิทธิพลต่างๆ 4 แบบด้วยกันดังนี้

1. ลักษณะแนวโน้ม (Trend) หมายถึง การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาในระยะยาวซึ่งอาจจะเป็นแนวโน้มขึ้นหรือลง (Upward หรือ Downward Trend)
2. อิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal Effect) หมายถึง การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่มีผลเนื่องมาจากฤดูกาล การเคลื่อนไหวจะเกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำอีกในช่วงเวลาหนึ่ง ส่วนใหญ่จะเป็นหนึ่งปี ปัจจัยที่ก่อให้เกิดอิทธิพลของฤดูกาลมีได้หลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศ อุณหภูมิ วัฒนธรรม เป็นต้น
3. อิทธิพลของวัฏจักร (Cyclical Effect) หมายถึง อนุกรมเวลาที่เก็บรวบรวมในระยะยาวหลายปี การเคลื่อนไหวอาจจะแสดงอิทธิพลของวัฏจักรที่มีลักษณะคล้ายกับอิทธิพลของฤดูกาล โดยวัฏจักรหนึ่งจะครอบคลุมระยะเวลาหลายปี แต่ละช่วงมีการเคลื่อนไหวไม่แตกต่างกันมากนัก วัฏจักรที่มักพบ ได้แก่ วัฏจักรธุรกิจ (Business Cycle) แบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงรุ่งเรือง (Growth) ช่วงคงที่ (Maturity) และช่วงตกต่ำ (Decline) นอกจากนี้ยังมีวัฏจักรอากาศ และวัฏจักรเสื้อผ้า เป็นต้น

4. เหตุการณ์ที่ผิดปกติ (Irregular Effect) หมายถึง การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาเฉพาะส่วนที่ไม่มีแผนแบบที่แน่นอน เหตุการณ์ผิดปกตินี้ส่วนใหญ่จะเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ได้คาดคิดมาก่อนหรือไม่เกิดบ่อยครั้ง เช่น น้ำท่วม พายุ อุบัติเหตุ ไข้หวัด สงคราม การนัดหยุดงาน เป็นต้น

2.4 วิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Exponential Smoothing Holt-Winters Method) [8]

เป็นวิธีการสร้างสมการพยากรณ์สำหรับอนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวทั้งจากลักษณะแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล มีทั้งรูปแบบแนวโน้มและฤดูกาลแบบบวกและรูปแบบแนวโน้มและฤดูกาลแบบคูณ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ มีค่าปรับน้ำหนัก 3 ค่า คือ α เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าแนวโน้ม γ เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าความชัน และ δ เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับอิทธิพลของฤดูกาล ซึ่งรูปแบบของการรวมแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล แบ่งได้เป็น 2 รูปแบบคือ

2.4.1 รูปแบบแนวโน้มและฤดูกาลแบบบวก

ใช้กับข้อมูลที่มีอิทธิพลของฤดูกาลเพิ่มขึ้นหรือลดลงในอัตราคงที่ มีรูปแบบสมการดังนี้

$$Y_t = T_t(t) + S_t(t) + \varepsilon_t \quad (2.16)$$

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

สมการปรับค่าแบบปรับด้วยความคลาดเคลื่อน

$$\hat{T}_t(t) = \hat{T}_t(t-1) + \alpha e_t \quad (2.17)$$

$$\hat{\beta}_t(t) = \hat{\beta}_t(t-1) + \alpha \gamma e_t \quad (2.18)$$

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

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

สมการพยากรณ์

$$\hat{Y}_{t+p}(t) = \hat{T}_{t+p}(t) + \hat{S}_{t+p}(t) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (2.19)$$

โดยที่

$$\hat{T}_{t+p}(t) = \hat{T}_t(t) + p\hat{\beta}_1(t) \quad (2.20)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+p}(t)$ = ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t+p
 $\hat{T}_t(t)$ = ค่าประมาณแนวโน้ม ณ เวลา t
 $\hat{\beta}_1(t)$ = ค่าประมาณความชัน ณ เวลา t
 $\hat{S}_{t+p}(t)$ = ค่าประมาณวัดอิทธิพลของฤดูกาล ณ เวลา t+p

2.4.2 รูปแบบแนวโน้มและฤดูกาลแบบคูณ

ใช้กับข้อมูลที่มีอิทธิพลของฤดูกาลเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นสัดส่วนค่าเฉลี่ย มีรูปแบบ

สมการดังนี้

$$Y_t = T_t(t) \times S_t \times \varepsilon_t \quad (2.21)$$

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

สมการปรับค่าแบบปรับด้วยความคลาดเคลื่อน

$$\hat{T}_t(t) = \hat{T}_t(t-1) + \frac{\alpha e_t}{\hat{S}_t(t-1)} \quad (2.22)$$

เมื่อ

$$\beta_i(t) = \hat{\beta}_i(t-1) + \frac{\alpha \gamma e_i}{\hat{S}_i(t-1)} \quad (2.23)$$

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

เมื่อ

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

สมการพยากรณ์

$$\hat{Y}_{t+p}(t) = \hat{T}_{t+p}(t) \times \hat{S}_{t+p}(t) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (2.24)$$

โดยที่

$$\hat{T}_{t+p}(t) = \hat{T}_t(t) + p\hat{\beta}_1(t) \quad (2.25)$$

เมื่อ

 $\hat{Y}_{t+p}(t)$ = ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t+p $\hat{T}_t(t)$ = ค่าประมาณแนวโน้ม ณ เวลา t $\hat{\beta}_1(t)$ = ค่าประมาณความชัน ณ เวลา t $\hat{S}_{t+p}(t)$ = ค่าประมาณอิทธิพลของฤดูกาล ณ เวลา t+p

2.5 การวัดประสิทธิภาพและความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์

2.5.1 MSE (Mean Square Error)

ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเป็นค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่วัดจากค่าความคลาดเคลื่อน โดยค่า MSE จะวัดความคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ เพราะได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่ามายกกำลังสอง แสดงดังสมการ (2.26)

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n} \quad (2.26)$$

2.4.2 RMSE (Root Mean Square Error)

ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เป็นค่าที่แสดงค่าความผิดพลาดของโมเดล ค่าวัดที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งถ้าค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองให้ค่าวัดที่น้อยกว่า แสดงถึงความแม่นยำที่มากกว่า ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (2.15)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{nt} e_i^2}{nt}}$$

2.4.1 MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

ค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เป็นค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่วัดจากความคลาดเคลื่อน โดยค่าวัดความถูกต้องนี้ไม่มีหน่วยจึงเหมาะที่จะใช้กับการเปรียบเทียบอนุกรมเวลาหลายชุดเมื่อใช้วิธีการพยากรณ์เดียวกัน หรือเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์หลายวิธีเมื่อใช้ออนุกรมเวลาชุดเดียวกัน

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right|}{n} \times 100 \quad (2.27)$$

โดยที่ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$

e_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_t คือ ข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

ในงานวิจัยนี้ใช้ค่า MSE. และ MAPE. ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์

2.5 การทบทวนวรรณกรรม

ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้วยการหาข้อมูลในฐานข้อมูลมาตรฐานต่าง ๆ จากเว็บไซต์ พร้อมทั้งหาบทความเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการเทคนิคและวิธีการพยากรณ์เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย ซึ่งสามารถรวบรวมงานวิจัยดังต่อไปนี้

นิธิดา เกื้อกูลรัฐ [5] ได้ศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ปริมาณการส่งออก สับปะรดกระป๋องของประเทศไทย โดยใช้วิธีการพยากรณ์เชิงสถิติ 2 วิธี คือ วิธีการทอดยเชิงเส้นตรงแบบพหุ และ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล จำนวน 120 เดือน ผลการศึกษาพบว่าผลการศึกษาพบว่าวิธีการวิเคราะห์การทอดยเชิงเส้นตรงแบบพหุได้ค่า MSE เท่ากับ 1,812,344 ซึ่งน้อยกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งได้ค่า MSE เท่ากับ 10,579,058 และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าพยากรณ์ที่มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 88%

ปิยะนันท์ ทองโพธิ์ [7] ได้ศึกษาวิธีการพยากรณ์ความต้องการสินค้าเพื่อการวางแผนการผลิตด้วยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา 4 วิธี ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่, วิธีเอ็กซ์โพเนนเชียลปรับเรียบ วิธีเอ็กซ์โพเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น และวิธีพยากรณ์แบบฤดูกาลของวินเทอร์ โดยใช้ข้อมูลยอดขายจำนวน 36 เดือน ซึ่งข้อมูลมีลักษณะแนวโน้มและมีอิทธิพลฤดูกาล โดยผลการศึกษาพบว่าวิธีการพยากรณ์แบบฤดูกาลของวินเทอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยการคำนวณหาค่า MAD, MSE, MAPE เป็นตัวเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์

ดาว สงวนรังสิริกุล, หรรษา เชี่ยวอนันตวานิช และมณีนรัตน์ แสงเกษม [8] ได้ศึกษาเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ โดยงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการพยากรณ์โดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา 5 วิธี ประกอบด้วย วิธีเคลื่อนที่แบบง่าย, วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบง่าย, วิธีบอกซ์ - เจนกินส์, วิธีสัดส่วนกับแนวโน้ม, วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์ ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีลักษณะแนวโน้ม และอิทธิพลฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด คือ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์ โดยพิจารณาจากค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด

ธีระพงษ์ ทับพร, ยอดนภา เกษเมือง, เอกพล ทับพร และ พชรดิษฐ์ แบ่งจิตต์ [9] งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการพยากรณ์โดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา 6 วิธี ได้แก่วิธีการเคลื่อนที่, วิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก, วิธีเอ็กซ์โพเนน, วิธีดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล, วิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบฤดูกาลไฮลท์-วินเทอร์, วิธีการปรับให้เรียบแบบแนวโน้มของฤดูกาลของไฮลท์-วินเทอร์ ผลการศึกษาพบว่าวิธีพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุดคือ วิธีการพยากรณ์โดยวิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก โดยมีค่า MAPE เท่ากับ 9.48

จามจุรี ชูบัวทอง และสมศรี บัณฑิตวิไล [10] ได้ศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบเพื่อพยากรณ์คุณภาพผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยการวิเคราะห์การทอดยโลจิสติกส์ และโครงข่ายประสาทเทียม โดยผลจากการศึกษาพบว่าการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ได้ดีกว่าแบบจำลองจากการวิเคราะห์การ

ทดถอยโลจิสติกส์ โดยการพยากรณ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าพยากรณ์ที่มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 92%

วชิราภรณ์ แก้วมาตย์ และดร.สุรัชย์ จันทร์จรัส [12] ได้ศึกษาการพยากรณ์ดัชนีหลักทรัพ์ของ 9 ประเทศ ได้แก่ ไทย สิงคโปร์ มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ญี่ปุ่น และฮ่องกง โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ผลการศึกษาพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำโดยมีค่า MAPE ของข้อมูลชุดทดสอบ (test) ของประเทศต่างๆคือ 0.198, 0.2387, 0.1983, 0.4191, 0.9812, 0.7045×10^{-4} , 0.5206, 0.5157×10^{-3} และ 0.6634×10^{-5} ตามลำดับ

ปฎิมาพร อุดม [13] ได้ศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ยอดขายรายเดือนของสินค้ากลุ่มทั่วไปและสินค้ากลุ่มที่มีคุณสมบัติพิเศษสำหรับผู้แทนจำหน่ายเม็ดพลาสติก โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธี บอกรี-เจนกินส์ การพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และการพยากรณ์โดยประยุกต์ใช้วิธีทางพันธุศาสตร์ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม ผลการศึกษาพบว่าเทคนิคการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยการประยุกต์ใช้วิธีทางพันธุศาสตร์ให้ค่า MAPE ต่ำสุด สำหรับสินค้ากลุ่มทั่วไป และเทคนิคการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม เป็นเทคนิคที่ให้ค่า MAPE ต่ำสุด สำหรับสินค้ากลุ่มที่มีคุณสมบัติพิเศษ

คงฤทธิ์ โกมาสธิต [14] ได้ศึกษาการพยากรณ์อุปสงค์พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในระยะยาวด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โดยมีช่วงฝึกสอนตั้งแต่ พ.ศ. 2537-2549 และช่วงทดสอบตั้งแต่ พ.ศ. 2550-2554 ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำกว่าวิธีของคณะอนุกรรมการพยากรณ์แห่งประเทศไทย โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม มีค่า MAPE เท่ากับ 2.5%

จากการค้นคว้างานวิจัยที่มีเนื้อหาสำคัญและเกี่ยวข้องสรุปได้ทั้งหมด 8 ฉบับ โดยมีประเด็นที่สำคัญและผลการวิจัยสรุปไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลำดับที่	ผู้แต่ง	เรื่อง	ประเด็นสำคัญ / ผลที่ได้
1	นิธิดา เกื้อกุลรัฐ [5]	การเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกสับประรดกระป๋องของประเทศไทยโดยการทดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุและตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม	ผลการศึกษาพบว่าวิธีการวิเคราะห์การทดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุได้ค่า MSE เท่ากับ 1,812,344 ซึ่งน้อยกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งได้ค่า MSE เท่ากับ 10,579,058 วิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าประมาณความถูกต้องเท่ากับ 88.8% ผลการเปรียบเทียบพบว่าวิธีที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกสับประรดกระป๋องของประเทศไทยคือวิธีการวิเคราะห์การทดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ

ตารางที่ 2.1สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง(ต่อ)

ลำดับที่	ผู้แต่ง	เรื่อง	ประเด็นสำคัญ / ผลที่ได้
2	ปิยะนันท์ ทองโพธิ์ [7]	การประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์ความต้องการสินค้าเพื่อการวางแผนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตชุดชั้นใน	งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบวิธีการพยากรณ์สินค้าโดยวิธีวิเคราะห์หอนุกรมเวลา 4 วิธี เพื่อลดต้นทุนรวมสินค้าคงคลัง ผลการศึกษาพบว่าวิธีการพยากรณ์แบบฤดูกาลของวินเทอร์มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด โดยการคำนวณหาค่าวัดค่า MAD, MSE, MAPE เป็นตัวเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์
3	ดาว สวงวันศิริกุล, ھرรษา ھےวอนันตวานิช และ มณีนรัตน์ แสงเกษม [8]	การเปรียบเทียบเพื่อตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานคร	งานวิจัยนี้ได้้นำเทคนิคการพยากรณ์โดยการวิเคราะห์หอนุกรมเวลา 5 วิธี ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลหอนุกรมเวลาที่มีลักษณะแนวโน้มและอิทธิพลฤดูกาลวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดคือวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์วินเทอร์ โดยพิจารณาจากค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด
4	ธีระพงษ์ ทับพร, ยอดนภา เกษเมือง, เอกพล ทับพร และ พัชรดิษฐ์ แป้งจิตต์ [9]	การพยากรณ์ยอดขายและการบริหารสินค้าคงคลังของสินค้าคงคลังเชิงแข่งขันของบริษัท สยามแม็คโคร จำกัด มหาชน	งานวิจัยนี้ได้้นำเทคนิคการพยากรณ์โดยการวิเคราะห์หอนุกรมเวลา 6 วิธี ได้แก่ ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุดคือวิธีการพยากรณ์โดยวิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก โดยมีค่า MAPE เท่ากับ 9.48
5	จามรี ชูบัวทอง และ สมศรี บัณจิตวิไล [10]	การพัฒนาตัวแบบเพื่อพยากรณ์คุณภาพผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ด้วยการทดลองใช้สถิติและโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้วิเคราะห์เหมือนข้อมูล	งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบเพื่อพยากรณ์คุณภาพผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ และโครงข่ายประสาทเทียม ผลจากการศึกษาพบว่าการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ได้ดีกว่า โดยให้ค่าพยากรณ์ที่มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 92%
6	วชิรภรณ์ แก้วมาตย์ และ สุรัช จันทร์จรัส [12]	การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ดัชนีราคาหลักทรัพย์	งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ราคาหลักทรัพย์ของ 9 ประเทศ โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดแรกจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 1,435 วัน สำหรับสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และข้อมูลชุดที่สองจำนวน 100 วันสำหรับทดสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ ผลการศึกษาพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำ
7	ปฐมาพร อุดม [13]	การพยากรณ์ยอดขายสำหรับผู้แทนจำหน่ายเม็ดพลาสติก	งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ยอดขายรายเดือนของสินค้ากลุ่มทั่วไปและสินค้ากลุ่มที่มีคุณสมบัติพิเศษ ผลการศึกษาพบว่าเทคนิคการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยการประยุกต์ใช้วิธีทางพันธุศาสตร์ให้ค่า MAPE ต่ำสุด สำหรับสินค้ากลุ่มทั่วไป และเทคนิคการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ให้ค่า MAPE ต่ำสุด สำหรับสินค้ากลุ่มที่มีคุณสมบัติพิเศษ
8	คงฤทธิ์ โกมลาลิตย์ [14]	การพยากรณ์อุปสงค์พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในระยะยาวด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม	งานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับในการพยากรณ์อุปสงค์พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย โดยมีช่วงฝึกสอนตั้งแต่ พ.ศ. 2537-2549 และช่วงทดสอบตั้งแต่ พ.ศ. 2550-2554 ผลการศึกษาสรุปได้ว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำกว่าวิธีของคณะอนุกรรมการพยากรณ์แห่งประเทศไทย โดยมีค่า MAPE เท่ากับ 2.50%

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ลักษณะข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิรายเดือนจำนวน 132 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 ซึ่งเก็บรวบรวมจาก 4 แหล่ง

1. บริษัทกรณีศึกษา

ได้แก่ ข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ ของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน แบบตั้งแขวนที่ใช้กับบ้านพักอาศัยและสำนักงานขนาดตั้งแต่ 12,000 บีทียู ถึง 60,000 บีทียูจำนวน

2 รายการ ได้แก่ มอเตอร์หมายเลข 1042420 และหมายเลข 1042773

2. กรมอุตุนิยมวิทยา

ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย

3. ธนาคารแห่งประเทศไทย

ได้แก่ ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ หรือ GDP.

4. สำนักงานสถิติแห่งชาติ

ได้แก่ ข้อมูลพื้นที่สิ่งก่อสร้างที่เป็นอาคารโรงเรียน

3.2 กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยมีทั้งหมด 4 ตัว โดยผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมและคัดเลือกจากงานวิจัยที่เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อยอดการขายเครื่องปรับอากาศ โดยกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้แทนตัวแปรต่างๆ ดังนี้

Y แทน ยอดการเบิกใช้ชิ้นมอเตอร์

X_1 แทน อุณหภูมิเฉลี่ย

X_2 แทน ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

X_3 แทน พื้นที่สิ่งก่อสร้างที่เป็นอาคารโรงเรียน

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 ศึกษาลักษณะของข้อมูล

ศึกษาลักษณะของข้อมูลโดยการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเบื้องต้น ได้แก่ การทดสอบแนวโน้มและทดสอบประสิทธิภาพของฤดูกาล พบว่าข้อมูลมีแนวโน้มแบบควอดราติกและมี

อิทธิพลของฤดูกาล จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วย วิธีปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์

3.3.2 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้โปรแกรม WEKA เวอร์ชัน 3.9 ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. แบ่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมเป็น 2 ชุด คือชุดที่ 1 เพื่อใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2560 รวม 120 เดือน และชุดที่ 2 เป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2561 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2561 รวม 12 เดือนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อวัดประสิทธิภาพและความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์

2. กำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม โดยจำนวนโหนดในชั้นข้อมูลเข้าจะเท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ 16 โหนด จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลออกเท่ากับ 1 โหนด สำหรับการกำหนดโหนดในชั้นซ่อนจะใช้กฎของ Baum-Hausser rule [5] เพื่อใช้ในการกำหนดโหนดในชั้นซ่อน โดยคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$n_{hidden} \leq n_{h \max} = \frac{n_{dataset} \times n_{input}}{n_{input} + n_{output}} \quad (3.1)$$

โดยที่

n_{hidden}	คือ จำนวนโหนดในชั้นซ่อน
$n_{h \max}$	คือ จำนวนโหนดที่มากที่สุดในชั้นซ่อน
$n_{dataset}$	คือ จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลเข้า
n_{input}	คือ จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลออก
n_{output}	คือ จำนวนโหนดในการฝึกหัด

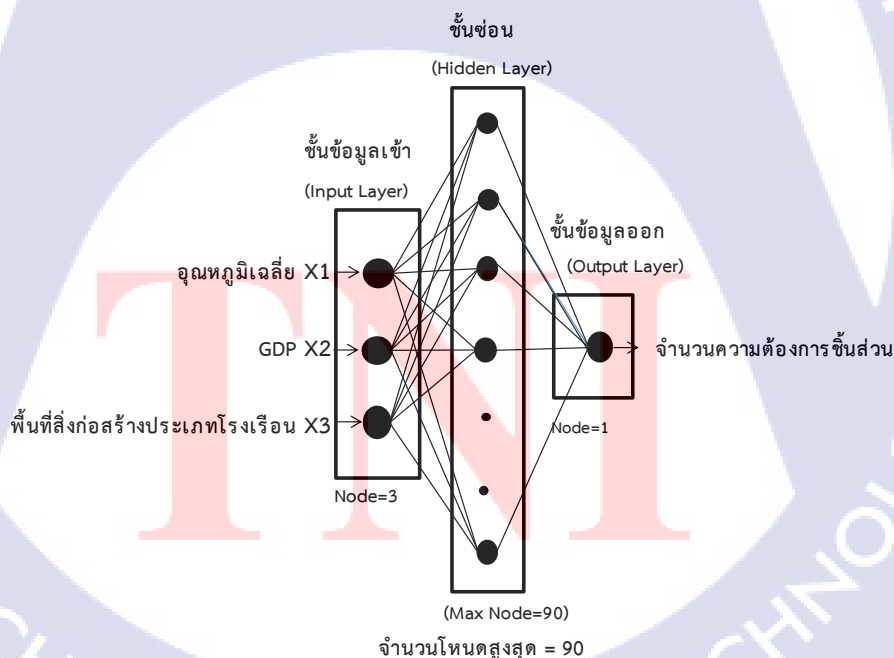
ในที่นี้ $n_{dataset} = 120, n_{input} = 3, n_{output} = 1$

จำนวนโหนดที่มากที่สุดในชั้นซ่อน คือ

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

ดังนั้นจำนวนโหนดที่มากที่สุดในชั้นซ่อนจะมีจำนวนโหนด 90 โหนด ในงานวิจัยนี้จะกำหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อนโดยแบ่งเป็นช่วงละ 5 โดยจะกำหนดโหนดในชั้นซ่อนเป็นดังนี้ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90

3. ทำการปรับค่าข้อมูลเข้าให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และกำหนดค่าน้ำหนักถ่วงเริ่มต้นให้กับเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้มีค่าอยู่ระหว่างช่วง $(-1,1)$ กำหนดค่าอัตราการเรียนรู้โดยทั่วไปค่าอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.5 ถ้าอัตราการเรียนรู้มีค่าสูงแสดงว่ากำหนดให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการเปลี่ยนแปลงที่มาก ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราการเรียนรู้มีค่าต่ำ แสดงว่ากำหนดให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักถ่วงที่น้อยซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการเรียนรู้ที่มากขึ้น แต่จะมีข้อดีคือโครงข่ายประสาทเทียมจะมีเสถียรภาพขณะที่ทำการเรียนรู้ ส่วนค่าโมเมนตัมที่เหมาะสมจะมีค่าเข้าใกล้ 1.0 และควรกำหนดให้สอดคล้องกับอัตราการเรียนรู้ด้วย เช่น ถ้าอัตราการเรียนรู้ต่ำ ก็ควรมีค่าโมเมนตัมสูง [6] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดค่าอัตราการเรียนรู้เป็น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และกำหนดค่าโมเมนตัมเป็น 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 กำหนดจำนวนรอบของการสอน เท่ากับ 20,000 รอบ และทรานสเฟอร์ฟังก์ชันที่ใช้คือ ซิกมอยด์ ฟังก์ชัน การวิจัยครั้งนี้ใช้โครงสร้างโครงข่ายประสาทแบบหลายชั้น ที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้น. แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

4. นำโครงข่ายที่ดีที่สุดที่มีค่า RMSE ต่ำสุดจากการฝึกสอนด้วยข้อมูลชุดที่ 1 มาทำการพยากรณ์

3.3.3 วิธีปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์

1. ศึกษาลักษณะข้อมูลโดยการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติเบื้องต้นโดยใช้การทดสอบของ Box-Pierce ทดสอบแนวโน้มและทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล
2. สร้างกราฟอนุกรมเวลาแล้วคำนวณหาแนวโน้มและฤดูกาล โดยใช้โปรแกรม Minitab 18 ช่วยในการหาค่า เพื่อกำหนดค่าเริ่มต้นของ $\hat{T}_t(t)$ $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{S}_t(t)$ ทั้งการพยากรณ์แบบบวกและแบบคูณ
3. ใช้ฟังก์ชัน Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel 2016 เพื่อช่วยในการปรับค่าพารามิเตอร์ α γ δ ที่ทำให้สมการพยากรณ์มีค่า RMSE ต่ำที่สุด
4. เลือกตัวแบบที่มีค่า RMSE ต่ำสุดเป็นตัวแบบที่เหมาะสมจากการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์

3.4 เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความแม่นยำของการพยากรณ์ ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ และวิธีปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) วิธีที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดจะเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการพยากรณ์มากที่สุด

TNI

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากที่ได้ดำเนินการตามวิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัยในบทนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนแรกเป็นตัวแทนที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 และตัวแทนที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ และวิธีปรับให้เรียบ เอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโวลท์-วินเทอร์ และในส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ เพื่อหารูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด

4.1 วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

ในงานวิจัยครั้งนี้มีการกำหนดโครงสร้างของแบบจำลองดังนี้

- จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลเข้าเท่ากับ 3 โหนด
- จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90
- จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลออกเท่ากับ 1 โหนด
- อัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5
- ค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9
- จำนวนรอบการเรียนรู้ 20,000 รอบ

4.1.1 ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน เท่ากับ 60, อัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.2, และโมเมนตัม เท่ากับ 0.5 ทำให้ได้ค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 33.3237 จะเป็นโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4.1 ส่วนรายละเอียดข้อมูลการวิเคราะห์สามารถดูได้ในภาคผนวก ข.

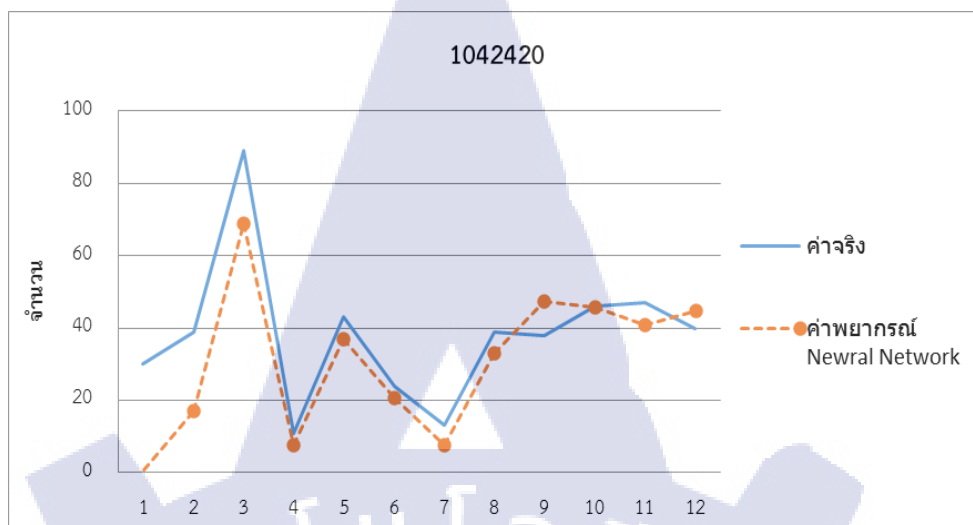
ตารางที่ 4.1 โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ สำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420

หมายเลขมอเตอร์	โครงสร้างตัวแบบพยากรณ์	อัตราการเรียนรู้	โมเมนตัม	ค่า RMSE
104240	3-60-1	0.2	0.5	33.3237

จากตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมนำมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์โดยทำการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์เดือนมกราคม พ.ศ.2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 แสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ หมายเลข 1042420 และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

เดือน	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม				
	Y_t	$\hat{Y}_t$	e_t	e_t^2	$\left \frac{e_t}{Y_t} \right $
ม.ค.-61	30	0.9210	-29.0790	845.5882	0.9693
ก.พ.-61	39	17.1210	-21.8790	478.6906	0.5610
มี.ค.-61	89	69.0500	-19.9500	398.0025	0.2242
เม.ษ.-61	11	7.6950	-3.3050	10.9230	0.3005
พ.ค.-61	43	36.9370	-6.0630	36.7600	0.1410
มิ.ย.-61	24	20.5780	-3.4220	11.7101	0.1426
ก.ค.-61	13	7.4980	-5.5020	30.2720	0.4232
ส.ค.-61	39	33.0430	-5.9570	35.4858	0.1527
ก.ย.-61	38	47.4570	9.4570	89.4348	0.2489
ต.ค.-61	46	45.6960	-0.3040	0.0924	0.0089
พ.ย.-61	47	40.9830	-6.0170	36.2043	0.1280
ธ.ค.-61	40	44.7760	4.7760	22.8102	0.1194
$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n} = 166.33$			$MAPE = \sum_{t=1}^n \left \frac{e_t}{y_t} \right \times \frac{100}{n} = 28.48\%$		



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ชิ้นส่วน
ประเภท มอเตอร์หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

4.1.2 ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน เท่ากับ 35, อัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.4, และโมเมนตัม เท่ากับ 0.9 ทำให้ได้ค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 76.4487 จะเป็นโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4.3 ส่วนรายละเอียดข้อมูลการวิเคราะห์สามารถดูได้ในภาคผนวก ข.

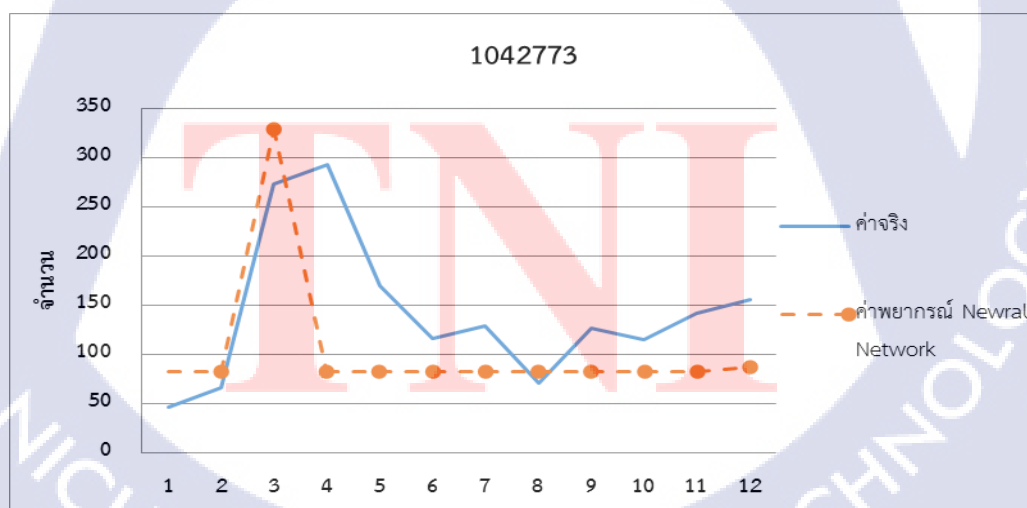
ตารางที่ 4.3 โครงสร้างของตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ สำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773

หมายเลขมอเตอร์	โครงสร้างตัวแบบพยากรณ์	อัตราการเรียนรู้	โมเมนตัม	ค่า RMSE
1042773	3-35-1	0.4	0.9	76.4487

จากตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมนำมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์โดยทำการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์เดือนมกราคม พ.ศ.2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.4 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ หมายเลข 1042773 และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

เดือน	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม				
	Y_t	$\hat{Y}_t$	e_t	e_t^2	$\left \frac{e_t}{Y_t} \right $
ม.ค.-61	46	85.5250	-39.5250	1562.2256	0.8592
ก.พ.-61	66	85.0630	-19.0630	363.3980	0.2888
มี.ค.-61	273	328.4290	-55.4280	3072.2632	0.2030
เม.ษ.-61	293	83.8000	209.2000	43764.6400	0.7140
พ.ค.-61	169	82.5860	86.4140	7467.3794	0.5113
มิ.ย.-61	116	83.4700	32.5300	1058.2009	0.2804
ก.ค.-61	129	84.2090	44.7910	2006.2337	0.3472
ส.ค.-61	71	83.7030	-12.7830	163.4051	0.1789
ก.ย.-61	126	82.8860	43.1140	1858.8170	0.3422
ต.ค.-61	115	83.2170	31.7830	1010.1591	0.2764
พ.ย.-61	142	85.2010	56.7990	3226.1264	0.3999
ธ.ค.-61	155	87.3090	67.6910	4582.0715	0.4367
$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n} = 5844.57$			$MAPE = \sum_{t=1}^n \left \frac{e_t}{Y_t} \right \times \frac{100}{n} = 40.32\%$		



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

4.2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์

4.2.1 ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์

หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดขายการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 จำนวน 120 เดือน พบว่าลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามีค่าลดลง แสดงว่า ปริมาณความต้องการใช้งานมีแนวโน้มลดลง แสดงดังรูปที่ 4.3 และเมื่อพิจารณาอิทธิพลฤดูกาลพบว่าไม่มีลักษณะไม่ชัดเจน จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อหาว่าข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดขายการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 มีลักษณะแนวโน้มและอิทธิพลฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้องหรือไม่

การทดสอบแนวโน้ม ทดสอบว่าอนุกรมเวลามีลักษณะแนวโน้มหรือไม่ โดยใช้การทดสอบของ Box – Pierce สมมติฐานของการทดสอบ มีดังนี้

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

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

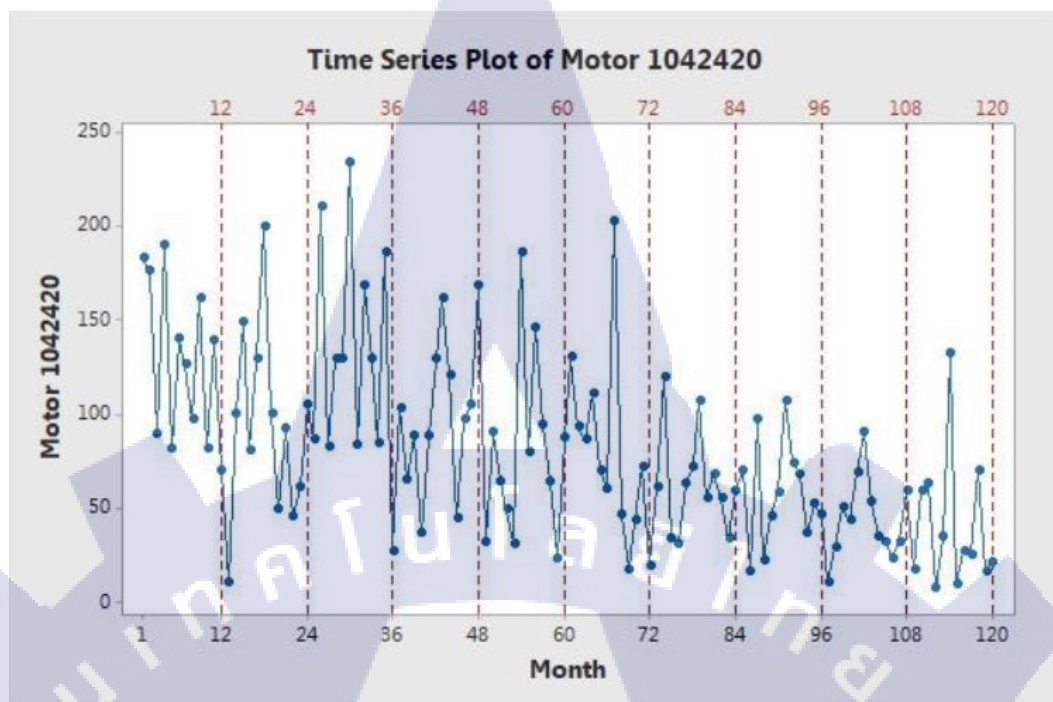
บริเวณวิกฤติ คือ $Q_{12} \geq x^2_{0.05,12}$ โดยที่ $x^2_{0.05,12} = 21.026$ จากการทดสอบแนวโน้ม โดยการทดสอบของ Box – Pierce พบว่าค่าสถิติ $Q_{12} = 77.8042$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าไม่มีแนวโน้มที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 มีลักษณะแนวโน้มเข้ามาเกี่ยวข้อง

การทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล จากการทดสอบแนวโน้มปรากฏมีแนวโน้มเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นต้องทำการขจัดแนวโน้มออกก่อน และทำการทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล สมมติฐานของการทดสอบ มีดังนี้

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

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

บริเวณวิกฤติ คือ $r_{12} \geq \frac{Z_{0.05}}{\sqrt{120}}$ โดยที่ $\frac{Z_{0.05}}{\sqrt{120}} = 0.1502$ จากการทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล พบว่าค่าสถิติ $r_{12} = 0.21$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าไม่มีฤดูกาลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 มีอิทธิพลฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง



รูปที่ 4.3 ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ รูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมคือ รูปแบบบวก โดยมีค่า $\alpha = 0.1025$, $\gamma = 0.01$ และ $\delta = 0.01$ ทำให้ได้ค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 39.7008 ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4.5 ส่วนรายละเอียดข้อมูลการวิเคราะห์สามารถดูได้ในภาคผนวก ข. และสามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (42.369 - 1.5127_p) + \hat{S}_i(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (4.1)$$

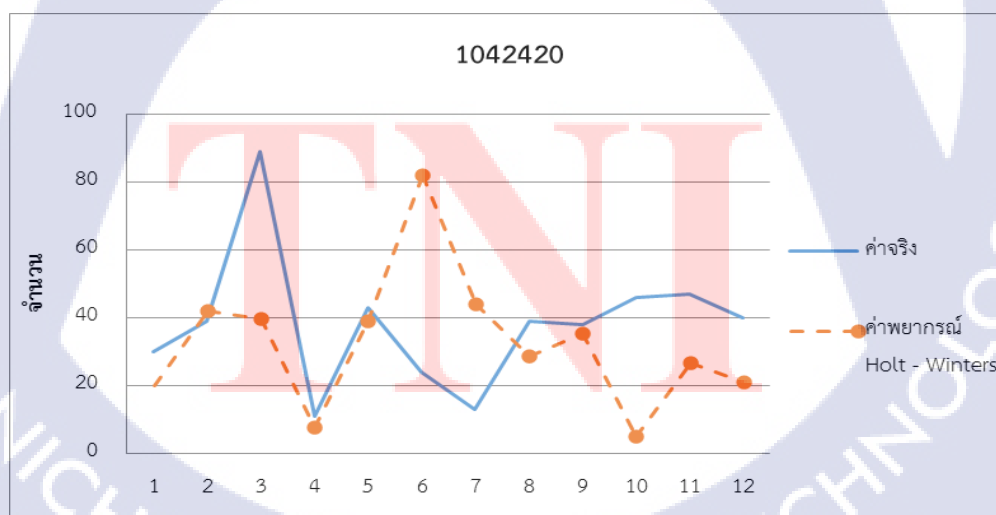
ตารางที่ 4.5 รูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ สำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420

หมายเลขมอเตอร์	รูปแบบการพยากรณ์	α	γ	δ	ค่า RMSE
104240	รูปแบบบวก	0.1025	0.0100	0.0100	33.3237

จากรูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมนำมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์โดยทำการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์เดือนมกราคม พ.ศ.2561 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2561 แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.6 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ หมายเลข 1042420 และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์

เดือน	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์				
	Y_t	$\hat{Y}_t$	e_t	e_t^2	$\left \frac{e_t}{Y_t} \right $
ม.ค.-61	30	20.0139	9.9861	99.7222	0.3329
ก.พ.-61	39	41.8185	-2.8185	7.9439	0.0723
มี.ค.-61	89	39.6712	49.3288	2433.3305	0.5543
เม.ษ.-61	11	7.4884	3.5116	12.3313	0.3192
พ.ค.-61	43	32.3363	10.6637	113.7145	0.2480
มิ.ย.-61	24	82.1134	-58.1134	3377.1673	2.4214
ก.ค.-61	13	44.1085	-31.1085	967.7388	2.3930
ส.ค.-61	39	28.7674	10.2326	104.7061	0.2624
ก.ย.-61	38	35.2623	-2.7377	7.4950	0.0720
ต.ค.-61	46	5.2383	-40.7617	1661.5162	0.8861
พ.ย.-61	47	26.7895	20.2105	408.4643	0.4300
ธ.ค.-61	40	20.7954	-19.2046	368.8167	0.4801
$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n} = 796.91$			$MAPE = \sum_{t=1}^n \left \frac{e_t}{Y_t} \right \times \frac{100}{n} = 69.33\%$		



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์

4.2.2 ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์

หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 จำนวน 120 เดือน พบว่าลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามีค่าลดลง แสดงว่า ปริมาณความต้องการใช้งานมีแนวโน้มลดลง แสดงดังรูปที่ 4.5 และเมื่อพิจารณาอิทธิพลฤดูกาลพบว่ามีลักษณะไม่ชัดเจน จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อหาว่าข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 มีลักษณะแนวโน้มและอิทธิพลฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้องหรือไม่

การทดสอบแนวโน้ม ทดสอบว่าอนุกรมเวลามีลักษณะแนวโน้มหรือไม่ โดยใช้การทดสอบของ Box – Pierce สมมติฐานของการทดสอบ มีดังนี้

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

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

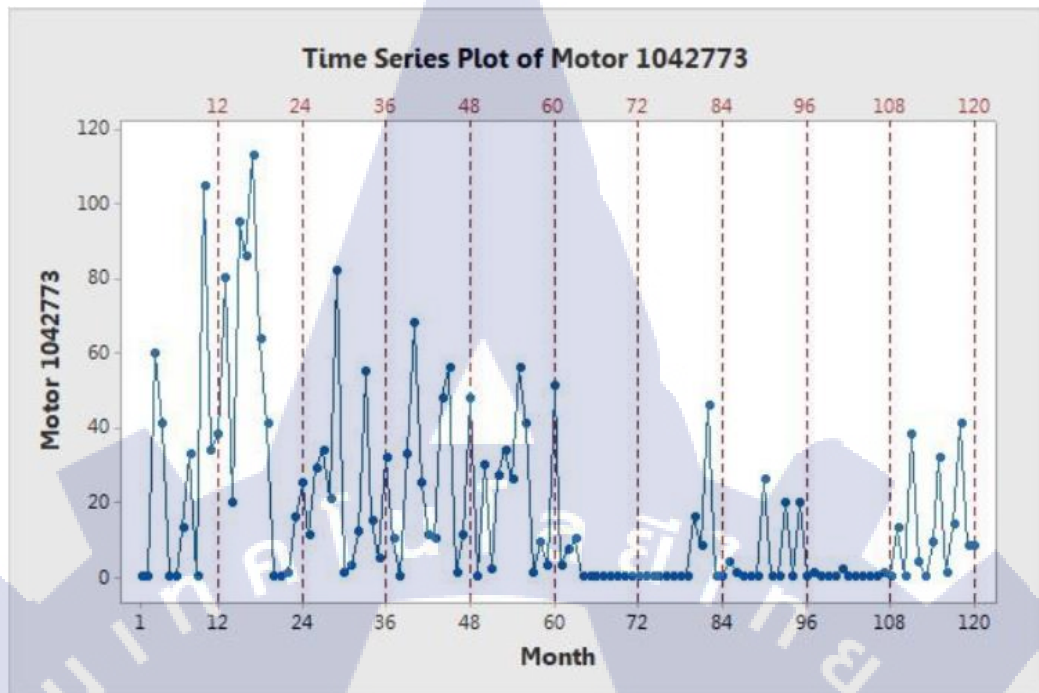
บริเวณวิกฤติ คือ $Q_{12} \geq x^2_{0.05,12}$ โดยที่ $x^2_{0.05,12} = 21.026$ จากการทดสอบแนวโน้ม โดยการทดสอบของ Box – Pierce พบว่าค่าสถิติ $Q_{12} = 79.6385$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าไม่มีแนวโน้มที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 มีลักษณะแนวโน้มเข้ามาเกี่ยวข้อง

การทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล จากการทดสอบแนวโน้มปรากฏมีแนวโน้มเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นต้องทำการขจัดแนวโน้มออกก่อน และทำการทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล สมมติฐานของการทดสอบ มีดังนี้

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

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

บริเวณวิกฤติ คือ $r_{12} \geq \frac{Z_{0.05}}{\sqrt{120}}$ โดยที่ $\frac{Z_{0.05}}{\sqrt{120}} = 0.1502$ จากการทดสอบอิทธิพลของฤดูกาล พบว่าค่าสถิติ $r_{12} = 0.2019$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าไม่มีฤดูกาลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 มีอิทธิพลฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง



รูปที่ 4.5 ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณยอดการใช้ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม คือ รูปแบบบวก โดยมีค่า $\alpha = 0.1199$, $\gamma = 0.01$ และ $\delta = 0.01$ ทำให้ได้ค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 16.8500 ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4.7 ส่วนรายละเอียดข้อมูลการวิเคราะห์สามารถดูได้ในภาคผนวก ข. และสามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (12.7206 - 0.4614_p) + \hat{S}_i(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots \quad (4.2)$$

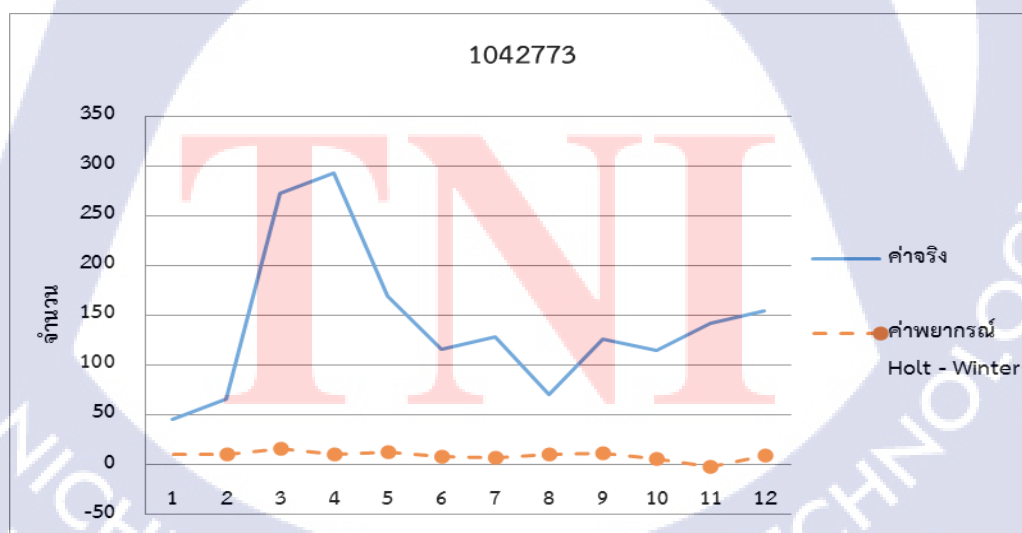
ตารางที่ 4.7 รูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ สำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773

หมายเลขมอเตอร์	รูปแบบการพยากรณ์	α	γ	δ	ค่า RMSE
1042773	รูปแบบบวก	0.1199	0.0100	0.0100	16.8500

จากรูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมนำมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์โดยทำการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์เดือนมกราคม พ.ศ.2561 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2561 แสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.8 ปริมาณยอดการใช้มอเตอร์ หมายเลข 1042773 และค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบ
เอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์

เดือน	ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์				
	Y_t	$\hat{Y}_t$	e_t	e_t^2	$\left \frac{e_t}{Y_t} \right $
ม.ค.-61	46	10.3168	35.6832	1273.2908	0.7757
ก.พ.-61	66	10.9105	55.0895	3034.8530	0.8347
มี.ค.-61	273	17.1052	255.8948	65482.1487	0.9373
เม.ษ.-61	293	10.3736	282.6264	79877.6820	0.9646
พ.ค.-61	169	13.4253	155.5747	24203.4873	0.9206
มิ.ย.-61	116	9.0154	106.9846	11445.7046	0.9223
ก.ค.-61	129	6.9598	122.0402	14893.8104	0.9460
ส.ค.-61	71	10.7655	60.2345	3628.1950	0.8484
ก.ย.-61	126	11.4706	114.5294	13116.9835	0.9090
ต.ค.-61	115	5.8420	109.1580	11915.4690	0.9492
พ.ย.-61	142	-0.9809	142.9809	20443.5378	1.0069
ธ.ค.-61	155	10.2937	144.7063	20939.9133	0.9336
$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n} = 22521.25$			$MAPE = \sum_{t=1}^n \left \frac{e_t}{Y_t} \right \times \frac{100}{n} = 91.24$		



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณยอดการใช้มอเตอร์และค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ชิ้นส่วน
ประเภทมอเตอร์หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์

4.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์

เปรียบเทียบประสิทธิภาพและความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยค่า MSE และค่า MAPE แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า MSE และค่า MAPE ของการพยากรณ์ชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ ประเภทมอเตอร์ จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ และวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์

หมายเลขมอเตอร์	วิธีโครงข่ายประสาทเทียม		วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล	
	MSE	MAPE	MSE	MAPE
1042420	166.33	28.48%	796.91	69.33%
1042773	5844.57	40.32%	22521.25	91.24%

บทที่ 5

บทสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ สำหรับการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาและสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมในการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ สำหรับการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า
2. เพื่อเปรียบเทียบและเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ สำหรับการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า โดยใช้ค่า MSE และค่า MAPE เป็นค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420

วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์คือ 3-60-1 ซึ่งมีจำนวนโนนดในชั้นข้อมูลเข้าเท่ากับ 3 โนนด จำนวนโนนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 60 โนนด จำนวนโนนดในชั้นข้อมูลออกเท่ากับ 1 โนนด มีอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.2 และมีค่าโมเมนตัม เท่ากับ 0.5 โดยมีค่า MSE เท่ากับ 166.33 และค่า MAPE เท่ากับ 28.48%

วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ คือ รูปแบบบวก ได้สมการที่เหมาะสมคือ

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (42.369 - 1.5127_p) + \hat{S}_i(120)$$

โดยมีค่าMSE. เท่ากับ 796.91 และค่าMAPE. เท่ากับ 69.33%

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์โดยการวัดค่า MSE และค่า MAPE พบว่าวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 คือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ เนื่องจากมีค่า MSE และค่า MAPE ต่ำกว่า

5.1.2 วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773

วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์คือ 3-35-1 ซึ่งมีจำนวนโนนดในชั้นข้อมูลเข้าเท่ากับ 3 โนนด จำนวนโนนดในชั้นซ่อนเท่ากับ

35 โหนด จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลออกเท่ากับ 1 โหนด มีอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.4 และมีค่าโมเมนตัม เท่ากับ 0.9 โดยมีค่า MSE เท่ากับ 5844.57 และค่า MAPE เท่ากับ 40.32%

วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ คือ รูปแบบบวก ได้สมการที่เหมาะสมคือ

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (12.7206 - 0.4614_p) + \hat{S}_i(120)$$

โดยมีค่า MSE เท่ากับ 22521.25 และค่า MAPE เท่ากับ 91.24%

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์โดยการวัดค่าMSE. และค่า MAPE. พบว่าวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 คือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ เนื่องจากมีค่า MSE และค่า MAPE ต่ำกว่า

5.2 อภิปรายผล

อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องปรับอากาศในปัจจุบันมีการแข่งขันที่สูงมากทั้งในเรื่องราคา และระยะเวลาในการส่งมอบ ต้นทุนในการการผลิตสินค้าแบบครั้งละมากๆในประเทศไทยสูงขึ้นจนไม่สามารถแข่งขันกับสินค้าจากต่างประเทศที่มีต้นทุนต่ำกว่าได้ การผลิตสินค้าแบบความเฉพาะความต้องการของลูกค้าแต่ละรายหรือ แบบMass Customization จึงยังมีช่องว่างทางการตลาดอยู่มาก เนื่องจากลักษณะการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า มีความหลากหลายของรูปแบบสินค้า (High Variety) แต่ปริมาณความต้องการในแต่ละรูปแบบมีจำนวนน้อย (Low Volume) และต้องมียุทธศาสตร์ในการส่งมอบที่สั้นที่สุด (Shortest Lead time) ซึ่งหากสามารถพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนประกอบที่มีความผันแปรสูงได้แม่นยำ จะช่วยลดปริมาณการจัดเก็บชิ้นส่วนลงได้ และทำให้ระยะเวลาในการส่งมอบสั้นลง ซึ่งทำให้เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ สำหรับการผลิตแบบความต้องการเฉพาะของลูกค้า เพื่อนำไปสู่การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กร และอุตสาหกรรมผลิตเครื่องปรับอากาศในประเทศไทย

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์หอนุกรมเวลา วิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-

วินเทอร์ ซึ่งพบว่ามีความยุ่งยาก ซับซ้อน ที่แตกต่างกัน และให้ผลความแม่นยำที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้น การนำเทคนิคการพยากรณ์แต่ละวิธีในงานวิจัยนี้ไปปรับใช้ อาจต้องดูความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานด้วย ผู้นำไปประยุกต์ใช้อาจต้องมีการวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลก่อน

ในการศึกษาการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนเครื่องปรับอากาศในครั้งนี้อาจมีตัวแปรอิสระอื่นๆที่เกี่ยวข้องที่ผู้วิจัยไม่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นควรมีการนำตัวแปรอิสระอื่นๆ มาศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำมากขึ้น ถือเป็นข้อเสนอแนะในแนวทางการวิจัยในอนาคตต่อไป



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] ไพโรจน์ ปิยะวงศ์วัฒนา, “Mass Customization : กระบวนทัศน์ใหม่การแข่งขัน,” *วารสารวิจัยทรัพยากรมนุษย์*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2, หน้า 42-51, กรกฎาคม – ธันวาคม, 2553.
- [2] T. Paulraj, “*Implementing Mass Customization Using Sapnvariant Configuration and A 3D Printer*,” Master’s Thesis (Industrail Management), University of Vaasa, Finland, 2014.
- [3] P. Rstov and A. Trpeska Ristova, “*Web-Based Product Configuration for Mass Customization*,” Master’s Thesis (Production Engineering), KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2011.
- [4] ธนาวุฒิ ประกอบผล, “โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network),” *วารสารมอก.วิชาการ*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 24, หน้า 73-87, มกราคม – มิถุนายน, 2552.
- [5] นิธิดา เกื้อกูลรัฐ, “การเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกลับประเทศของประเทศไทยโดยการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุและตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ,” *วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สถิติประยุกต์)*, สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2551.
- [6] สายชล สีนสมบูรณ์ทอง, “การทำเหมืองข้อมูล เล่ม 1 : การค้นหาความรู้จากข้อมูล,” พิมพ์ครั้งที่ 2, ฉบับปรับปรุง, กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.
- [7] ปิยะนันท์ ทองโพธิ์, “การประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์ความต้องการสินค้าเพื่อการวางแผนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตชุดชั้นใน,” *วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (อุตสาหกรรม)*, มหาวิทยาลัยราชชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2558.
- [8] ดาว สงวนรังศิริกุล, ھرรรษา เชื้อวอนันตวานิช และมณีนรัตน์ แสงเกษม, “การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานคร,” *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, ปีที่ 38, ฉบับที่ 1, หน้า 35-55, มกราคม – มีนาคม, 2558.
- [9] ชีรพงษ์ ทับพร, ยอดนภา เกษเมือง, เอกพล ทับพรหม, พัชรดิษฐ์ แปงจิตต์, “การพยากรณ์ยอดขายและการบริหารสินค้าคงคลัง ของสินค้าคงหมักยักซ์แซ่แซ่ : บริษัท สยามแม็คโคร จำกัด มหาชน,” *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 2, หน้า 28-41, กรกฎาคม – ธันวาคม, 2561.

- [10] จามรี ชูบัวทอง และสมศรี บัญญัติวิไล, “การพัฒนาตัวแบบเพื่อพยากรณ์คุณภาพผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ด้วยการถดถอยโลจิสติกและโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้การวิเคราะห์เหมืองข้อมูล,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 1, หน้า 1-13, มกราคม – กุมภาพันธ์, 2560.
- [11] วชิรภรณ์ แก้วมาตย์ และสุรัชย์ จันทรจรัส, “การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ดัชนีราคาหลักทรัพย์,” *วารสารวิจัย มช.*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, หน้า 108-118, มกราคม – เมษายน, 2556.
- [12] ปฐิมาพร อุดม, “การพยากรณ์ยอดขายสำหรับผู้แทนจำหน่ายเม็ดพลาสติก,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (อุตสาหกรรม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2556.
- [13] คงฤทธิ์ โกมาสถิต, “การพยากรณ์อุปสงค์พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในระยะยาวด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (อุตสาหกรรม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2555.
- [14] นันทนัฐ พันธุ์สีดา, “การจำลองข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ระหว่างวิธีโครงข่ายประสาทเทียมกับวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีน,” วิทยานิพนธ์ วท.ม.(สถิติ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2556.
- [15] ภัททิรา ล้อมเล็ก และวิทยา จงเจริญ, “การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายสมรรถนะเครื่องทำความเย็น,” *วารสารวิจัยพลังงาน*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, หน้า 67-78, กรกฎาคม – ธันวาคม, 2557.
- [16] นิภาดา พากักดี, นันทพัชร เสนาวงค์ และปิยะภัทร บุชบาบดินทร์, “การเปรียบเทียบรูปแบบการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 2, หน้า 302-313, เมษายน – มิถุนายน, 2562.
- [17] วิจิตร คลังภูเขียว, ปิยะภัทร บุชบาบดินทร์ และบังอร กุมพล, “การพยากรณ์ความผันผวนราคาทองคำด้วยโครงข่ายประสาทเทียม,” *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, ปีที่ 22, ฉบับที่ 11, หน้า 125-134, มกราคม – เมษายน, 2560.
- [18] ญัฐฐา ผิวนา, “การพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์แนวโน้มการสมัครงานให้ตรงกับวุฒิการศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม,” *วารสารปัญญาภิวัฒน์*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, หน้า 1-16, พฤษภาคม – สิงหาคม, 2558.
- [19] A. Kochak and S. Sharma, “Demand forecasting using neural network for supply chain management,” *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, vol. 4, no. 1, pp. 96-104, January 2015.

- [20] J. Farhat and M. Owayjan, "ERP neural network inventory control," *Proceeding of Complex Adaptive Systems Conference with Theme: Engineering Cyber Physical Systems*, CAS, Chicago, Illinois, USA, October 30 – November 1, 2017, pp. 288-295.
- [21] ดุษฎี บุญธรรม, วชิรภรณ์ เพิ่มพูนสินทรัพย์ และประยูร สุรินทร์, "การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพในโรงงานอุตสาหกรรม," *วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 2, หน้า 17-24, เมษายน – มิถุนายน, 2561.
- [22] A. Z. Ravasan and S. Rouhani, "An expert system for predicting ERP post-implementation benefits using artificial neural network," *International Journal of Enterprise Information System*, vol. 10, no. 3, pp. 24-45, July – September 2014.
- [23] วราภรณ์ ม้วนทอง, วรณศักดิ์ เลี่ยมแหลม และเสฏฐา ศาสนนันท์, "แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ Clarifier กรณีศึกษา : โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 1, หน้า 32-44, มกราคม – มิถุนายน, 2558.
- [24] อติสรณ์ กำลังเพชร, พนิดา หล่อวงศ์ตะกุล และอริยะ นามวงศ์, "การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ตัวชี้วัดทางเทคนิคเพื่อการลงทุนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย," *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 53-63, มกราคม – มิถุนายน, 2558.

ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.
ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์

TNI

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์

เดือน-พ.ศ.	Y		X_1	X_2	X_3
	1042420	1042773			
ม.ค.-51	183	0	24.76	8.29	24.61
ก.พ.-51	176	0	25.18	7.6	25.53
มี.ค.-51	89	60	27.72	8.22	26.44
เม.ย.-51	190	41	28.87	7.48	27.34
พ.ค.-51	81	0	27.84	8.81	28.22
มิ.ย.-51	140	0	27.97	8.16	29.10
ก.ค.-51	126	13	27.65	8.11	29.96
ส.ค.-51	97	33	27.66	8.22	30.80
ก.ย.-51	162	0	27.30	8.3	31.64
ต.ค.-51	81	105	27.29	8.08	32.46
พ.ย.-51	139	34	25.33	7.3	33.27
ธ.ค.-51	70	38	23.58	8.11	34.06
ม.ค.-52	10	80	23.11	7.89	27.90
ก.พ.-52	100	20	27.03	7.73	27.90
มี.ค.-52	149	95	27.93	7.98	41.82
เม.ย.-52	80	86	29.01	7.4	30.39
พ.ค.-52	129	113	28.26	8.43	31.58
มิ.ย.-52	200	64	28.30	7.59	37.52
ก.ค.-52	100	41	27.80	7.65	38.99
ส.ค.-52	49	0	28.13	8.21	32.83
ก.ย.-52	92	0	27.74	8.1	36.48
ต.ค.-52	45	1	27.39	8.87	35.58
พ.ย.-52	61	16	25.88	8.36	43.07

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ (ต่อ)

เดือน-พ.ศ.	Y		X_1	X_2	X_3
	1042420	1042773			
ธ.ค.-52	105	25	25.17	8.38	43.12
ม.ค.-53	86	11	25.61	9.35	37.24
ก.พ.-53	211	29	27.39	8.38	53.29
มี.ค.-53	82	34	28.51	9.78	54.50
เม.ย.-53	129	21	30.63	7.90	43.16
พ.ค.-53	129	82	30.14	9.26	39.91
มิ.ย.-53	234	1	29.34	9.36	53.28
ก.ค.-53	83	3	28.12	8.24	50.72
ส.ค.-53	168	12	27.32	8.87	46.44
ก.ย.-53	129	55	27.46	9.46	51.71
ต.ค.-53	84	15	26.57	9.49	50.37
พ.ย.-53	186	5	25.58	8.75	58.55
ธ.ค.-53	27	32	24.87	9.25	54.16
ม.ค.-54	103	10	23.89	9.40	49.27
ก.พ.-54	65	0	26.15	9.30	56.94
มี.ค.-54	88	33	25.63	10.90	54.91
เม.ย.-54	36	68	28.14	8.82	39.54
พ.ค.-54	88	25	28.05	9.56	50.98
มิ.ย.-54	129	11	28.12	9.73	56.43
ก.ค.-54	162	10	27.50	10.03	45.06
ส.ค.-54	121	48	27.17	9.33	61.64
ก.ย.-54	44	56	27.00	9.16	59.04
ต.ค.-54	97	1	26.57	9.34	39.73
พ.ย.-54	105	11	25.89	8.68	38.21

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ (ต่อ)

เดือน-พ.ศ.	Y		X_1	X_2	X_3
	1042420	1042773			
ธ.ค.-54	168	48	23.89	8.81	47.25
ม.ค.-55	32	0	25.12	10.15	45.43
ก.พ.-55	90	30	26.91	10.57	62.23
มี.ค.-55	64	2	28.20	9.31	57.98
เม.ย.-55	49	27	29.20	9.13	54.95
พ.ค.-55	31	34	28.71	10.35	61.58
มิ.ย.-55	186	26	28.31	10.46	68.05
ก.ค.-55	79	56	27.72	9.85	71.04
ส.ค.-55	146	41	27.70	9.95	66.53
ก.ย.-55	94	1	27.34	10.72	61.68
ต.ค.-55	64	9	27.44	10.71	70.70
พ.ย.-55	23	3	27.33	11.35	57.67
ธ.ค.-55	87	51	26.27	10.58	69.21
ม.ค.-56	130	3	25.18	10.33	67.40
ก.พ.-56	93	7	27.40	10.36	57.69
มี.ค.-56	86	10	28.67	12.19	77.37
เม.ย.-56	111	0	29.80	9.67	44.62
พ.ค.-56	70	0	29.49	10.96	54.75
มิ.ย.-56	60	0	28.32	10.77	50.91
ก.ค.-56	203	0	27.61	10.36	60.30
ส.ค.-56	46	0	27.61	10.89	61.61
ก.ย.-56	17	0	27.27	10.54	68.80
ต.ค.-56	43	0	26.69	10.92	59.40
พ.ย.-56	72	0	26.50	10.95	52.92

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ (ต่อ)

เดือน-พ.ศ.	Y		X_1	X_2	X_3
	1042420	1042773			
ธ.ค.-56	19	0	22.67	11.21	47.66
ม.ค.-57	61	0	22.95	10.42	43.01
ก.พ.-57	120	0	25.89	10.77	53.35
มี.ค.-57	33	0	28.51	12.02	64.00
เม.ย.-57	31	0	29.51	10.03	56.05
พ.ค.-57	63	0	29.60	10.98	59.81
มิ.ย.-57	72	0	28.83	11.41	49.36
ก.ค.-57	107	0	28.18	10.8	50.53
ส.ค.-57	55	16	27.73	11.42	53.44
ก.ย.-57	68	8	27.67	10.36	71.34
ต.ค.-57	55	46	27.07	11.02	59.18
พ.ย.-57	33	0	26.80	11.43	48.88
ธ.ค.-57	59	0	24.90	11.65	60.15
ม.ค.-58	70	4	23.85	11.41	50.04
ก.พ.-58	16	1	25.90	9.93	53.63
มี.ค.-58	97	0	28.60	12.99	54.31
เม.ย.-58	22	0	29.32	10.71	54.73
พ.ค.-58	45	0	29.98	11.91	51.95
มิ.ย.-58	58	26	29.25	10.73	52.55
ก.ค.-58	107	0	28.43	11.02	64.63
ส.ค.-58	74	0	28.07	11.14	47.86
ก.ย.-58	68	20	27.87	11.98	52.05
ต.ค.-58	36	0	27.26	11.91	52.70
พ.ย.-58	52	20	27.38	11.86	55.71

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ (ต่อ)

เดือน-พ.ศ.	Y		X_1	X_2	X_3
	1042420	1042773			
ธ.ค.-58	46	0	26.11	11.88	53.55
ม.ค.-59	10	1	25.22	10.97	42.73
ก.พ.-59	29	0	25.55	11.74	45.26
มี.ค.-59	50	0	29.05	12.77	54.59
เม.ย.-59	43	0	31.45	11.57	41.37
พ.ค.-59	69	2	30.09	12.09	44.45
มิ.ย.-59	90	0	28.62	11.81	51.69
ก.ค.-59	53	0	27.75	11.5	49.29
ส.ค.-59	34	0	28.26	12.31	50.03
ก.ย.-59	32	0	27.67	12.31	51.25
ต.ค.-59	23	0	27.31	11.78	55.24
พ.ย.-59	32	1	26.90	13.35	47.99
ธ.ค.-59	59	0	25.27	12.6	55.94
ม.ค.-60	17	13	25.53	12.61	38.10
ก.พ.-60	59	0	26.05	11.24	45.29
มี.ค.-60	63	38	28.30	14.54	55.78
เม.ย.-60	7	4	29.05	11.95	46.73
พ.ค.-60	34	0	28.68	12.88	50.16
มิ.ย.-60	132	9	28.54	12.65	59.89
ก.ค.-60	9	32	27.68	11.81	53.50
ส.ค.-60	27	1	28.06	13.15	53.69
ก.ย.-60	25	14	28.09	13.5	60.33
ต.ค.-60	70	41	27.30	12.61	39.63
พ.ย.-60	16	8	26.34	14.47	47.45

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ (ต่อ)

เดือน-พ.ศ.	Y		X_1	X_2	X_3
	1042420	1042773			
ธ.ค.-60	21	8	24.48	13.11	57.61
ม.ค.-61	30	46	25.23	13.56	45.97
ก.พ.-61	39	66	25.68	11.89	49.20
มี.ค.-61	89	273	27.86	15.22	71.42
เม.ย.-61	11	293	28.38	12.56	40.83
พ.ค.-61	43	169	28.41	13.88	46.52
มิ.ย.-61	24	116	28.25	13.51	43.51
ก.ค.-61	13	129	27.89	13.39	40.57
ส.ค.-61	39	71	27.75	13.79	47.81
ก.ย.-61	38	126	27.9	13.39	55.51
ต.ค.-61	46	115	27.82	13.59	53.50
พ.ย.-61	47	142	27.1	13.63	53.86
ธ.ค.-61	40	155	26.85	13.68	55.70

โดยที่

 Y คือ ยอดการเบิกใช้ไฮมอเตอร์ X_1 คือ อุณหภูมิเฉลี่ย X_2 คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ X_3 คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการวิเคราะห์เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสม

TNI

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ

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

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ (ต่อ)

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

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ (ต่อ)

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

ตารางที่ ข.1การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ (ต่อ)

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

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ (ต่อ)

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

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โครงข่ายประสาทเทียม
ที่มีชั้นซ่อน เท่ากับ 60, อัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.2, และโมเมนตัม เท่ากับ 0.5 ทำให้ได้ค่า RMSE
ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 33.3237 จะเป็นโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการ
ชิ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ

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

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ (ต่อ)

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

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ (ต่อ)

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

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ (ต่อ)

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

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773 ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่
ย้อนกลับ (ต่อ)

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

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน เท่ากับ 35, อัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.4, และโมเมนตัม เท่ากับ 0.9 ทำให้ได้ค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 76.4487 จะเป็นโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ความต้องการขึ้นส่วนประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042773

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024240 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล
แบบไฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t^2
1	183	-	-	-	-	-	-	-
2	176	-	-	-	-	-	-	-
3	89	-	-	-	-	-	-	-
4	190	-	-	-	-	-	-	-
5	81	-	-	-	-	-	-	-
6	140	-	-	-	-	-	-	-
7	126	-	-	-	-	-	-	-
8	97	-	-	-	-	-	-	-
9	162	-	-	-	-	-	-	-
10	81	-	-	-	-	-	-	-
11	139	-	-	-	-	-	-	-
12	70	-	-	-	-	-	-	-
13	10	-	-	-	-	-	-20.858	-
14	100	-	-	-	-	-	2.6007	-
15	149	-	-	-	-	-	2.9757	-
16	80	-	-	-	-	-	-28.816	-
17	129	-	-	-	-	-	-1.441	-
18	200	-	-	-	-	-	49.559	-
19	100	-	-	-	-	-	11.7257	-
20	49	-	-	-	-	-	-1.816	-
21	92	-	-	-	-	-	8.6007	-
22	45	-	-	-	-	-	-22.233	-
23	61	-	-	-	-	-	2.184	-
24	105	-	111.338	-0.823	110.515	89.6574	-2.4826	-

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024240 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล
แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
25	86	-3.6574	110.963	-0.8267	110.136	112.737	-20.89	13.3766
26	211	98.263	121.038	-0.726	120.312	123.288	3.48258	9655.63
27	82	-41.288	116.805	-0.7683	116.036	87.2204	2.60516	1704.68
28	129	41.7796	121.089	-0.7255	120.363	118.922	-28.441	1745.53
29	129	10.078	122.122	-0.7152	121.407	170.966	-1.3506	101.566
30	234	63.0343	128.585	-0.6505	127.934	139.66	50.1247	3973.33
31	83	-56.66	122.775	-0.7086	122.067	120.251	11.2172	3210.36
32	168	47.7492	127.671	-0.6597	127.012	135.612	-1.3875	2279.99
33	129	-6.6122	126.993	-0.6664	126.327	104.094	8.54136	43.7217
34	84	-20.094	124.933	-0.6871	124.246	126.43	-22.413	403.777
35	186	59.5701	131.041	-0.626	130.415	127.932	2.71862	3548.6
36	27	-100.93	120.692	-0.7295	119.963	99.0721	-3.3884	10187.3
37	103	3.92787	121.095	-0.7254	120.369	123.852	-20.855	15.4281
38	65	-58.852	115.061	-0.7858	114.275	116.88	2.9544	3463.55
39	88	-28.88	112.099	-0.8154	111.284	82.843	2.34597	834.051
40	36	-46.843	107.297	-0.8634	106.433	105.083	-28.861	2194.27
41	88	-17.083	105.545	-0.8809	104.664	154.789	-1.5039	291.815
42	129	-25.789	102.901	-0.9074	101.993	113.211	49.8933	665.064
43	162	48.7893	107.903	-0.8573	107.046	105.659	11.6551	2380.4
44	121	15.3415	109.476	-0.8416	108.635	117.176	-1.2498	235.361
45	44	-73.176	101.973	-0.9166	101.057	78.6439	7.88463	5354.73
46	97	18.3561	103.856	-0.8978	102.958	105.676	-22.248	336.948
47	105	-0.6763	103.786	-0.8985	102.888	99.4992	2.71255	0.45742
48	168	68.5008	110.81	-0.8283	109.981	89.1262	-2.7737	4692.35

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024240 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบไฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
49	32	-57.126	104.952	-0.8869	104.066	107.02	-21.368	3263.41
50	90	-17.02	103.207	-0.9043	102.303	104.649	2.80165	289.68
51	64	-40.649	99.0395	-0.946	98.0935	69.2321	1.98115	1652.34
52	49	-20.232	96.9651	-0.9667	95.9984	94.4945	-29.043	409.338
53	31	-63.495	90.4549	-1.0318	89.4231	139.316	-2.0737	4031.55
54	186	46.6837	95.2415	-0.984	94.2575	105.913	50.3122	2179.36
55	79	-26.913	92.4821	-1.0116	91.4705	90.2207	11.4135	724.286
56	146	55.7793	98.2012	-0.9544	97.2468	105.131	-0.7492	3111.33
57	94	-11.131	97.0599	-0.9658	96.0941	73.8459	7.78472	123.91
58	64	-9.8459	96.0504	-0.9759	95.0745	97.787	-22.337	96.9418
59	23	-74.787	88.3823	-1.0526	87.3298	84.5561	2.04136	5593.1
60	87	2.4439	88.6329	-1.0501	87.5828	66.215	-2.7517	5.97265
61	130	63.785	95.1729	-0.9847	94.1882	96.9899	-20.795	4068.53
62	93	-3.9899	94.7638	-0.9887	93.7751	95.7562	2.76585	15.9192
63	86	-9.7562	93.7635	-0.9987	92.7647	63.7217	1.8936	95.1836
64	111	47.2783	98.611	-0.9503	97.6607	95.587	-28.619	2235.24
65	70	-25.587	95.9875	-0.9765	95.011	145.323	-2.3033	654.696
66	60	-85.323	87.2392	-1.064	86.1752	97.5887	49.5465	7280.06
67	203	105.411	98.0472	-0.9559	97.0913	96.3421	12.3596	11111.5
68	46	-50.342	92.8855	-1.0075	91.878	99.6627	-1.201	2534.33
69	17	-82.663	84.41	-1.0923	83.3177	60.9811	7.04285	6833.12
70	43	-17.981	82.5663	-1.1107	81.4556	83.497	-22.498	323.321
71	72	-11.497	81.3875	-1.1225	80.265	77.5133	1.93818	132.18
72	19	-58.513	75.3881	-1.1825	74.2056	53.4101	-3.2769	3423.8

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024240 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
73	61	7.58986	76.1663	-1.1747	74.9915	77.7574	-20.727	57.606
74	120	42.2426	80.4975	-1.1314	79.3661	81.2597	3.14496	1784.44
75	33	-48.26	75.5493	-1.1809	74.3684	45.7497	1.46048	2328.99
76	31	-14.75	74.037	-1.196	72.841	70.5376	-28.751	217.554
77	63	-7.5376	73.2642	-1.2037	72.0604	121.607	-2.371	56.8161
78	72	-49.607	68.1779	-1.2546	66.9233	79.2828	49.1013	2460.84
79	107	27.7172	71.0198	-1.2262	69.7936	68.5926	12.6083	768.241
80	55	-13.593	69.6261	-1.2401	68.386	75.4288	-1.323	184.759
81	68	-7.4288	68.8644	-1.2477	67.6167	45.1187	6.97618	55.1874
82	55	9.88128	69.8775	-1.2376	68.6399	70.5781	-22.409	97.6396
83	33	-37.578	66.0246	-1.2761	64.7485	61.4716	1.60093	1412.11
84	59	-2.4716	65.7712	-1.2787	64.4925	43.7652	-3.299	6.10876
85	70	26.2348	68.4611	-1.2518	67.2093	70.3543	-20.492	688.264
86	16	-54.354	62.888	-1.3075	61.5805	63.041	2.65715	2954.39
87	97	33.959	66.3699	-1.2727	65.0972	36.3461	1.76525	1153.21
88	22	-14.346	64.899	-1.2874	63.6116	61.2406	-28.88	205.812
89	45	-16.241	63.2338	-1.304	61.9298	111.031	-2.5167	263.757
90	58	-53.031	57.7964	-1.3584	56.438	69.0463	48.6253	2812.29
91	107	37.9537	61.6879	-1.3195	60.3684	59.0454	12.9489	1440.48
92	74	14.9546	63.2212	-1.3042	61.917	68.8932	-1.1888	223.64
93	68	-0.8932	63.1296	-1.3051	61.8245	39.4153	6.96816	0.79784
94	36	-3.4153	62.7794	-1.3086	61.4709	63.0718	-22.44	11.6642
95	52	-11.072	61.6442	-1.3199	60.3243	57.0253	1.50156	122.585
96	46	-11.025	60.5138	-1.3312	59.1826	38.6907	-3.398	121.556

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024240 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
96	46	-11.025	60.5138	-1.3312	59.1826	38.6907	-3.398	121.556
97	10	-28.691	57.5721	-1.3607	56.2114	58.8686	-20.749	823.157
98	29	-29.869	54.5096	-1.3913	53.1183	54.8836	2.38909	892.132
99	50	-4.8836	54.0089	-1.3963	52.6126	23.7328	1.72142	23.8494
100	43	19.2672	55.9844	-1.3765	54.6079	52.0911	-28.707	371.226
101	69	16.9089	57.7181	-1.3592	56.3589	104.984	-2.365	285.91
102	90	-14.984	56.1817	-1.3746	54.8072	67.7561	48.4909	224.527
103	53	-14.756	54.6688	-1.3897	53.2791	52.0903	12.8165	217.743
104	34	-18.09	52.8139	-1.4082	51.4057	58.3739	-1.3511	327.259
105	32	-26.374	50.1098	-1.4353	48.6745	26.2346	6.73147	695.58
106	23	-3.2346	49.7781	-1.4386	48.3395	49.8411	-22.469	10.4625
107	32	-17.841	47.9488	-1.4569	46.492	43.094	1.34145	318.305
108	59	15.906	49.5797	-1.4406	48.1391	27.3898	-3.2552	253.002
109	17	-10.39	48.5144	-1.4512	47.0632	49.4523	-20.843	107.948
110	59	9.54771	49.4934	-1.4414	48.0519	49.7734	2.47477	91.1588
111	63	13.2266	50.8495	-1.4279	49.4216	20.7147	1.84013	174.944
112	7	-13.715	49.4433	-1.4419	48.0014	45.6364	-28.83	188.094
113	34	-11.636	48.2502	-1.4539	46.7964	95.2872	-2.4694	135.406
114	132	36.7128	52.0145	-1.4162	50.5982	63.4147	48.8204	1347.83
115	9	-54.415	46.4352	-1.472	44.9632	43.6121	12.3282	2960.96
116	27	-16.612	44.732	-1.4891	43.2429	49.9744	-1.5002	275.961
117	25	-24.974	42.1713	-1.5147	40.6566	18.1877	6.50733	623.719
118	70	51.8123	47.4837	-1.4615	46.0222	47.3636	-22.004	2684.52
119	16	-31.364	44.2679	-1.4937	42.7742	39.519	1.05997	983.676
120	21	-18.519	42.3691	-1.5127	40.8565	20.0139	-3.4214	342.953
							RMSE	39.7008

จากตารางที่ ข.3 ได้ค่า RMSE เท่ากับ 39.7008 สามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

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

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์คือ

$$\begin{aligned} \hat{S}_1 &= -20.843 & \hat{S}_2 &= 2.474 & \hat{S}_3 &= 1.840 & \hat{S}_4 &= -28.830 \\ \hat{S}_5 &= -2.469 & \hat{S}_6 &= 48.820 & \hat{S}_7 &= 12.328 & \hat{S}_8 &= -1.500 \\ \hat{S}_9 &= 6.507 & \hat{S}_{10} &= -22.004 & \hat{S}_{11} &= 1.059 & \hat{S}_{12} &= -3.421 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t^2
1	183	-	-	-	-	-	-	-
2	176	-	-	-	-	-	-	-
3	89	-	-	-	-	-	-	-
4	190	-	-	-	-	-	-	-
5	81	-	-	-	-	-	-	-
6	140	-	-	-	-	-	-	-
7	126	-	-	-	-	-	-	-
8	97	-	-	-	-	-	-	-
9	162	-	-	-	-	-	-	-
10	81	-	-	-	-	-	-	-
11	139	-	-	-	-	-	-	-
12	70	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
13	10	-	-	-	-	-	0.79316	-
14	100	-	-	-	-	-	1.00938	-
15	149	-	-	-	-	-	1.01372	-
16	80	-	-	-	-	-	0.52828	-
17	129	-	-	-	-	-	0.96505	-
18	200	-	-	-	-	-	1.78757	-
19	100	-	-	-	-	-	1.21809	-
20	49	-	-	-	-	-	0.93388	-
21	92	-	-	-	-	-	1.07815	-
22	45	-	-	-	-	-	0.71842	-
23	61	-	-	-	-	-	1.00066	-
24	105	-	116.788	-0.898	115.89	91.9193	0.95365	-
25	86	-5.9193	116.434	-1.118	115.316	116.398	0.79268	35.0383
26	211	94.6021	123.235	3.11222	126.348	128.081	1.01662	8949.55
27	82	-46.081	120.652	1.50555	122.158	64.5336	1.01012	2123.47
28	129	64.4664	124.289	3.76771	128.057	123.581	0.53317	4155.92
29	129	5.41857	124.868	4.12794	128.996	230.59	0.96546	29.3609
30	234	3.40988	125.07	4.25313	129.323	157.527	1.78783	11.6273
31	83	-74.527	122.694	2.77556	125.47	117.174	1.21236	5554.26
32	168	50.8263	125.083	4.26155	129.345	139.453	0.93771	2583.32
33	129	-10.453	124.448	3.86642	128.314	92.1837	1.07736	109.268
34	84	-8.1837	124.015	3.59718	127.612	127.697	0.7178	66.9723
35	186	58.3035	128.644	6.47626	135.12	128.857	1.00493	3399.29
36	27	-101.86	122.868	2.88359	125.751	99.6807	0.94583	10374.9

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล
แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
37	103	3.31926	123.068	3.00798	126.076	128.171	0.79293	11.0175
38	65	-63.171	118.528	0.18413	118.712	119.913	1.01159	3990.59
39	88	-31.913	116.73	-0.9341	115.796	61.739	1.00754	1018.44
40	36	-25.739	115.274	-1.8396	113.435	109.516	0.53107	662.498
41	88	-21.516	112.965	-3.2757	109.69	196.106	0.96366	462.957
42	129	-67.106	108.997	-5.744	103.253	125.18	1.78202	4503.21
43	162	36.8202	110.174	-5.0116	105.163	98.6123	1.21551	1355.73
44	121	22.3877	111.224	-4.3588	106.865	115.132	0.93961	501.208
45	44	-71.132	106.91	-7.0421	99.8676	71.6847	1.07108	5059.77
46	97	25.3153	108.257	-6.2044	102.052	102.556	0.72	640.862
47	105	2.44419	108.45	-6.084	102.366	96.8212	1.00515	5.97406
48	168	71.1788	112.486	-3.574	108.912	86.3599	0.9518	5066.43
49	32	-54.36	109.231	-5.5984	103.633	104.834	0.78824	2955
50	90	-14.834	108.158	-6.2654	101.893	102.661	1.0103	220.047
51	64	-38.661	105.978	-7.6218	98.3559	52.2334	1.0041	1494.7
52	49	-3.2334	105.794	-7.736	98.0582	94.4951	0.53078	10.4551
53	31	-63.495	98.977	-11.976	87.0008	155.037	0.95761	4031.63
54	186	30.9628	100.82	-10.83	89.9894	109.383	1.78492	958.695
55	79	-30.383	99.8495	-11.434	88.416	83.0766	1.21264	923.149
56	146	62.9234	102.807	-9.5943	93.2123	99.8382	0.94538	3959.36
57	94	-5.8382	102.455	-9.8131	92.6415	66.7021	1.07055	34.0844
58	64	-2.7021	102.311	-9.9026	92.4082	92.8838	0.71975	7.3016
59	23	-69.884	96.7776	-13.344	83.4335	79.412	0.99834	4883.74
60	87	7.58805	97.2108	-13.075	84.136	66.3195	0.95254	57.5785

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
61	130	63.6805	101.021	-10.705	90.3155	91.2458	0.79419	4055.2
62	93	1.75424	101.146	-10.627	90.5197	90.8908	1.01046	3.07735
63	86	-4.8908	100.871	-10.798	90.0723	47.8083	1.00364	23.9203
64	111	63.1917	104.459	-8.5666	95.8921	91.8276	0.53648	3993.19
65	70	-21.828	102.14	-10.009	92.1313	164.447	0.9556	476.444
66	60	-104.45	95.9114	-13.883	82.0284	99.4712	1.77465	10909.1
67	203	103.529	99.2359	-11.815	87.4207	82.646	1.22248	10718.2
68	46	-36.646	97.5276	-12.878	84.6499	90.6216	0.94184	1342.93
69	17	-73.622	93.073	-15.648	77.4246	55.7266	1.06309	5420.14
70	43	-12.727	92.3907	-16.073	76.318	76.1911	0.71845	161.967
71	72	-4.1911	92.0583	-16.28	75.7788	72.182	0.99791	17.5651
72	19	-53.182	89.0212	-18.169	70.8527	56.2702	0.9469	2828.33
73	61	4.72975	89.3059	-17.991	71.3144	72.0606	0.79469	22.3705
74	120	47.9394	92.7437	-15.853	76.8904	77.1705	1.01534	2298.19
75	33	-44.171	90.2645	-17.395	72.8693	39.0931	0.99903	1951.04
76	31	-8.0931	89.8029	-17.682	72.1205	68.9182	0.53563	65.4977
77	63	-5.9182	89.1732	-18.074	71.0992	126.176	0.95497	35.0253
78	72	-54.176	85.9403	-20.085	65.8554	80.5071	1.7687	2935.04
79	107	26.4929	86.7939	-19.554	67.2399	63.3292	1.22536	701.876
80	55	-8.3292	86.4065	-19.795	66.6116	70.814	0.94093	69.3749
81	68	-2.814	86.2361	-19.901	66.3352	47.6589	1.06278	7.91841
82	55	7.34115	86.6297	-19.656	66.9737	66.8336	0.71925	53.8924
83	33	-33.834	83.949	-21.323	62.6257	59.3004	0.99411	1144.71
84	59	-0.3004	83.9318	-21.334	62.5977	49.7455	0.94687	0.09022

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
85	70	20.2545	85.1508	-20.576	64.575	65.5654	0.79693	410.244
86	16	-49.565	81.6065	-22.78	58.826	58.7689	1.00961	2456.73
87	97	38.2311	83.7644	-21.438	62.3262	33.3839	1.00333	1461.62
88	22	-11.384	83.1178	-21.84	61.2775	58.5183	0.53434	129.594
89	45	-13.518	81.6761	-22.737	58.939	104.246	0.95341	182.744
90	58	-46.246	78.9119	-24.456	54.4555	66.7276	1.76318	2138.65
91	107	40.2724	80.2135	-23.647	56.5667	53.2253	1.2301	1621.87
92	74	20.7747	81.176	-23.048	58.1278	61.777	0.94334	431.588
93	68	6.22297	81.5519	-22.814	58.7376	42.2472	1.0635	38.7254
94	36	-6.2472	81.2172	-23.023	58.1946	57.8517	0.71853	39.0279
95	52	-5.8517	80.7531	-23.311	57.4418	54.3898	0.99342	34.2418
96	46	-8.3898	80.2718	-23.611	56.6612	45.1549	0.94588	70.3895
97	10	-35.155	78.1537	-24.928	53.2258	53.7373	0.79269	1235.87
98	29	-24.737	76.3753	-26.034	50.3412	50.509	1.00656	611.934
99	50	-0.509	76.3465	-26.052	50.2945	26.8744	1.00327	0.25906
100	43	16.1256	77.2625	-25.482	51.7802	49.3678	0.53631	260.035
101	69	19.6322	79.3486	-24.185	55.1638	97.2635	0.95574	385.422
102	90	-7.2635	78.9155	-24.454	54.4613	66.9926	1.76231	52.759
103	53	-13.993	78.463	-24.736	53.7274	50.6834	1.22841	195.793
104	34	-16.683	77.689	-25.217	52.472	55.804	0.94132	278.334
105	32	-23.804	76.2479	-26.113	50.1346	36.0231	1.06055	566.629
106	23	-13.023	75.5482	-26.549	48.9996	48.6773	0.7169	169.602
107	32	-16.677	74.2225	-27.373	46.8493	44.3139	0.9913	278.133
108	59	14.6861	75.0667	-26.848	48.2187	38.2223	0.94773	215.681

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1042420 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล
แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t^2
109	17	-21.222	73.7906	-27.642	46.1488	46.4514	0.78997	450.387
110	59	12.5486	74.6958	-27.079	47.6171	47.7728	1.00814	157.468
111	63	15.2272	75.5566	-26.543	49.0133	26.2862	1.00517	231.868
112	7	-19.286	74.4632	-27.223	47.2397	45.1491	0.53387	371.959
113	34	-11.149	73.2731	-27.964	45.3094	79.8491	0.95431	124.303
114	132	52.1509	76.3873	-26.027	50.3606	61.8637	1.76875	2719.71
115	9	-52.864	74.6841	-27.086	47.598	44.8049	1.22174	2794.57
116	27	-17.805	73.8536	-27.603	46.251	49.0517	0.93904	317.013
117	25	-24.052	72.394	-28.51	43.8835	31.4602	1.05742	578.484
118	70	38.5398	74.471	-27.219	47.2524	46.8415	0.72178	1485.32
119	16	-30.842	72.0359	-28.733	43.3028	41.0392	0.98727	951.199
120	21	-20.039	70.8792	-29.453	41.4266	32.726	0.94506	401.57
							RMSE	39.9599

จากตารางที่ ข.4 ได้ค่า RMSE เท่ากับ 39.9599 สามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

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

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์คือ

$$\hat{S}_1 = 0.789$$

$$\hat{S}_2 = 1.008$$

$$\hat{S}_3 = 1.005$$

$$\hat{S}_4 = 0.533$$

$$\hat{S}_5 = 0.954$$

$$\hat{S}_6 = 1.768$$

$$\hat{S}_7 = 1.221$$

$$\hat{S}_8 = 0.939$$

$$\hat{S}_9 = 1.057$$

$$\hat{S}_{10} = 0.721$$

$$\hat{S}_{11} = 0.987$$

$$\hat{S}_{12} = 0.945$$

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบไฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
1	0	-	-	-	-	-	-	-
2	0	-	-	-	-	-	-	-
3	60	-	-	-	-	-	-	-
4	41	-	-	-	-	-	-	-
5	0	-	-	-	-	-	-	-
6	0	-	-	-	-	-	-	-
7	13	-	-	-	-	-	-	-
8	33	-	-	-	-	-	-	-
9	0	-	-	-	-	-	-	-
10	105	-	-	-	-	-	-	-
11	34	-	-	-	-	-	-	-
12	38	-	-	-	-	-	-	-
13	80	-	-	-	-	-	-1.2847	-
14	20	-	-	-	-	-	-0.4514	-
15	95	-	-	-	-	-	6.17361	-
16	86	-	-	-	-	-	-0.6181	-
17	113	-	-	-	-	-	2.96528	-
18	64	-	-	-	-	-	-0.6597	-
19	41	-	-	-	-	-	-2.6597	-
20	0	-	-	-	-	-	1.79861	-
21	0	-	-	-	-	-	2.71528	-
22	1	-	-	-	-	-	-2.4514	-
23	16	-	-	-	-	-	-8.6597	-
24	25	-	28.558	-0.303	28.255	26.9703	3.13194	-

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
25	11	-15.97	26.6429	-0.3222	26.3207	25.8694	-1.4253	255.05
26	29	3.13065	27.0183	-0.3184	26.6999	32.8735	-0.4238	9.80094
27	34	1.12647	27.1534	-0.317	26.8363	26.2183	6.18352	1.26894
28	21	-5.2183	26.5276	-0.3233	26.2043	29.1696	-0.664	27.2305
29	82	52.8304	32.8629	-0.26	32.6029	31.9432	3.43023	2791.05
30	1	-30.943	29.1523	-0.2971	28.8552	26.1955	-0.932	957.483
31	3	-23.195	26.3707	-0.3249	26.0459	27.8445	-2.8639	538.031
32	12	-15.844	24.4707	-0.3439	24.1269	26.8421	1.65917	251.048
33	55	28.1579	27.8473	-0.3101	27.5372	25.0858	2.96309	792.865
34	15	-10.086	26.6379	-0.3222	26.3157	17.6559	-2.5402	101.724
35	5	-12.656	25.1202	-0.3374	24.7828	27.9148	-8.7711	160.173
36	32	4.08523	25.6101	-0.3325	25.2776	23.8523	3.16789	16.6891
37	10	-13.852	23.949	-0.3491	23.5999	23.176	-1.5472	191.887
38	0	-23.176	21.1698	-0.3769	20.7929	26.9764	-0.6278	537.129
39	33	6.02359	21.8921	-0.3697	21.5224	20.8585	6.23654	36.2836
40	68	47.1415	27.5452	-0.3131	27.232	30.6623	-0.2491	2222.33
41	25	-5.6623	26.8662	-0.3199	26.5462	25.6142	3.3804	32.0612
42	11	-14.614	25.1137	-0.3374	24.7762	21.9124	-1.0607	213.575
43	10	-11.912	23.6852	-0.3517	23.3335	24.9926	-2.9687	141.905
44	48	23.0074	26.4442	-0.3241	26.12	29.0831	1.86165	529.34
45	56	26.9169	29.6719	-0.2919	29.3801	26.8399	3.19998	724.519
46	1	-25.84	26.5733	-0.3228	26.2505	17.4793	-2.7676	667.702
47	11	-6.4793	25.7963	-0.3306	25.4657	28.6336	-8.8281	41.982
48	48	19.3664	28.1187	-0.3074	27.8113	26.2641	3.33833	375.058

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
49	0	-26.264	24.9692	-0.3389	24.6303	24.0025	-1.7783	689.803
50	30	5.99753	25.6884	-0.3317	25.3567	31.5932	-0.575	35.9703
51	2	-29.593	22.1396	-0.3672	21.7725	21.5234	5.97609	875.758
52	27	5.47664	22.7964	-0.3606	22.4358	25.8162	-0.2009	29.9935
53	34	8.18383	23.7778	-0.3508	23.427	22.3663	3.45242	66.975
54	26	3.6337	24.2135	-0.3464	23.8671	20.8984	-1.0287	13.2038
55	56	35.1016	28.4228	-0.3044	28.1184	29.9801	-2.6598	1232.12
56	41	11.0199	29.7443	-0.2911	29.4531	32.6531	1.95863	121.439
57	1	-31.653	25.9485	-0.3291	25.6194	22.8519	2.92141	1001.92
58	9	-13.852	24.2874	-0.3457	23.9417	15.1136	-2.8895	191.874
59	3	-12.114	22.8348	-0.3602	22.4746	25.8129	-8.9347	146.74
60	51	25.1871	25.8552	-0.33	25.5251	23.7468	3.56	634.389
61	3	-20.747	23.3673	-0.3549	23.0124	22.4374	-1.9609	430.43
62	7	-15.437	21.5161	-0.3734	21.1427	27.1188	-0.7109	238.312
63	10	-17.119	19.4633	-0.3939	19.0693	18.8684	5.82543	293.052
64	0	-18.868	17.2006	-0.4166	16.784	20.2365	-0.367	356.017
65	0	-20.236	14.7739	-0.4408	14.3331	13.3044	3.27433	409.515
66	0	-13.304	13.1785	-0.4568	12.7217	10.0619	-1.1458	177.007
67	0	-10.062	11.9719	-0.4689	11.5031	13.4617	-2.7483	101.243
68	0	-13.462	10.3576	-0.485	9.87263	12.794	1.84016	181.217
69	0	-12.794	8.82341	-0.5003	8.32306	5.43359	2.80881	163.687
70	0	-5.4336	8.17183	-0.5069	7.66497	-1.2698	-2.9373	29.5239
71	0	1.26977	8.3241	-0.5053	7.81876	11.3788	-8.9236	1.61231
72	0	-11.379	6.95959	-0.519	6.44061	4.47969	3.45986	129.476

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบบวก (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
73	0	-4.4797	6.4224	-0.5244	5.89805	5.18716	-2.0003	20.0676
74	0	-5.1872	5.80038	-0.5306	5.2698	11.0952	-0.7565	26.9067
75	0	-11.095	4.46987	-0.5439	3.92599	3.55903	5.72779	123.104
76	0	-3.559	4.04308	-0.5481	3.49493	6.76926	-0.3983	12.6667
77	0	-6.7693	3.23134	-0.5563	2.67507	1.5293	3.21475	45.8229
78	0	-1.5293	3.04795	-0.5581	2.48985	-0.2585	-1.1592	2.33875
79	0	0.25848	3.07894	-0.5578	2.52115	4.36131	-2.7461	0.06681
80	16	11.6387	4.47462	-0.5438	3.93078	6.7396	1.94259	135.459
81	8	1.2604	4.62576	-0.5423	4.08344	1.14614	2.8199	1.58862
82	46	44.8539	10.0045	-0.4885	9.51596	0.59239	-2.5425	2011.87
83	0	-0.5924	9.93345	-0.4892	9.44421	12.9041	-8.9288	0.35093
84	0	-12.904	8.38604	-0.5047	7.88132	5.88098	3.34629	166.515
85	4	-1.881	8.16048	-0.507	7.6535	6.89697	-2.0169	3.53807
86	1	-5.897	7.45333	-0.514	6.93929	12.6671	-0.8084	34.7742
87	0	-12.667	5.93434	-0.5292	5.4051	5.00682	5.6163	160.455
88	0	-5.0068	5.33394	-0.5352	4.7987	8.01345	-0.4423	25.0683
89	0	-8.0134	4.37299	-0.5449	3.82814	2.66891	3.14423	64.2153
90	26	23.3311	7.17078	-0.5169	6.65391	3.90785	-0.9539	544.34
91	0	-3.9079	6.70216	-0.5216	6.1806	8.12319	-2.7804	15.2713
92	0	-8.1232	5.72806	-0.5313	5.19676	8.01666	1.8711	65.9863
93	20	11.9833	7.16506	-0.5169	6.64813	4.10559	2.92537	143.6
94	0	-4.1056	6.67273	-0.5219	6.15088	-2.7779	-2.5787	16.8558
95	20	22.7779	9.40418	-0.4945	8.90964	12.2559	-8.7283	518.833
96	0	-12.256	7.93449	-0.5092	7.42525	5.40836	3.23843	150.208

จากตารางที่ ข.5 ได้ค่า RMSE เท่ากับ 16.8500 สามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

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

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์คือ

$$\begin{aligned} \hat{S}_1 &= -1.942 & \hat{S}_2 &= -0.887 & \hat{S}_3 &= 5.768 & \hat{S}_4 &= -0.501 \\ \hat{S}_5 &= 3.011 & \hat{S}_6 &= -0.937 & \hat{S}_7 &= -2.531 & \hat{S}_8 &= 1.735 \\ \hat{S}_9 &= 2.902 & \hat{S}_{10} &= -2.264 & \hat{S}_{11} &= -8.626 & \hat{S}_{12} &= 3.109 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
1	0	-	-	-	-	-	-	-
2	0	-	-	-	-	-	-	-
3	60	-	-	-	-	-	-	-
4	41	-	-	-	-	-	-	-
5	0	-	-	-	-	-	-	-
6	0	-	-	-	-	-	-	-
7	13	-	-	-	-	-	-	-
8	33	-	-	-	-	-	-	-
9	0	-	-	-	-	-	-	-
10	105	-	-	-	-	-	-	-
11	34	-	-	-	-	-	-	-
12	38	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
13	80	-	-	-	-	-	0.9560	-
14	20	-	-	-	-	-	0.2694	-
15	95	-	-	-	-	-	2.6461	-
16	86	-	-	-	-	-	0.7565	-
17	113	-	-	-	-	-	2.0743	-
18	64	-	-	-	-	-	0.8806	-
19	41	-	-	-	-	-	0.2510	-
20	0	-	-	-	-	-	1.0569	-
21	0	-	-	-	-	-	0.0949	-
22	1	-	-	-	-	-	0.4863	-
23	16	-	-	-	-	-	0.7237	-
24	25	-	49.5920	-0.3920	49.2000	47.0327	1.8044	-
25	11	-36.0327	48.0453	-0.6209	47.4244	12.7776	0.6751	1298.358
26	29	16.2224	49.9066	-0.3454	49.5611	131.141	0.3912	263.1673
27	34	-97.1412	30.6729	-3.1920	27.4808	20.7879	1.4599	9436.419
28	21	0.2121	30.6841	-3.1904	27.4938	57.0298	0.7590	0.0450
29	82	24.9702	33.2320	-2.8133	30.4188	26.7871	2.3557	623.5123
30	1	-25.7871	32.3842	-2.9387	29.4455	7.3905	0.5824	664.9737
31	3	-4.3905	31.8003	-3.0252	28.7752	30.4125	0.1993	19.2767
32	12	-18.4125	24.6442	-4.0842	20.5600	1.9513	0.7771	339.0186
33	55	53.0487	29.9316	-3.3017	26.6299	12.9509	0.7587	2814.159
34	15	2.0491	30.1408	-3.2708	26.8700	19.4458	0.5118	4.1988
35	5	-14.4458	27.9546	-3.5943	24.3603	43.9558	0.5302	208.6815
36	32	-11.9558	26.2080	-3.8528	22.3552	15.0912	1.6335	142.9400

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
37	10	-5.0912	25.9666	-3.8885	22.0781	8.6363	0.6016	25.9200
38	0	-8.6363	24.8548	-4.0531	20.8017	30.3687	0.2610	74.5865
39	33	2.6313	25.6355	-3.9375	21.6980	16.4696	1.4984	6.9236
40	68	51.5304	28.2992	-3.5433	24.7559	58.3173	1.4410	2655.379
41	25	-33.3173	26.5085	-3.8083	22.7001	13.2200	1.8850	1110.043
42	11	-2.2200	26.4172	-3.8218	22.5954	4.5028	0.5509	4.9286
43	10	5.4972	27.1901	-3.7075	23.4826	18.2478	0.2750	30.2189
44	48	29.7522	35.5695	-2.4673	33.1022	25.1146	1.0904	885.1916
45	56	30.8854	37.7634	-2.1426	35.6207	18.2304	1.0650	953.9098
46	1	-17.2304	36.5103	-2.3281	34.1822	18.1220	0.3350	296.8871
47	11	-7.1220	34.8639	-2.5717	32.2922	52.7507	0.4536	50.7230
48	48	-4.7507	34.0528	-2.6918	31.3610	18.8678	1.5813	22.5692
49	0	-18.8678	33.1287	-2.8286	30.3001	7.9094	0.3883	355.9929
50	30	22.0906	37.5346	-2.1765	35.3582	52.9791	0.4815	487.9952
51	2	-50.9791	29.3338	-3.3902	25.9436	37.3853	0.8475	2598.871
52	27	-10.3853	28.3846	-3.5307	24.8540	46.8489	1.3040	107.8544
53	34	-12.8489	27.6215	-3.6436	23.9778	13.2095	1.7107	165.0951
54	26	12.7905	28.2005	-3.5579	24.6426	6.7767	0.7208	163.5975
55	56	49.2233	33.4899	-2.7751	30.7148	33.4899	0.8255	2422.928
56	41	7.5101	34.1945	-2.6708	31.5237	33.5732	1.1726	56.4010
57	1	-32.5732	32.0430	-2.9892	29.0538	9.7342	0.6843	1061.010
58	9	-0.7342	31.9599	-3.0015	28.9584	13.1370	0.3264	0.5390
59	3	-10.1370	29.5548	-3.3575	26.1973	41.4257	0.3252	102.7582
60	51	9.5743	31.8351	-3.0200	28.8151	11.1897	1.6939	91.6680

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
61	3	-8.1897	31.4607	-3.0754	28.3853	13.6664	0.2908	67.0704
62	7	-6.6664	29.6854	-3.3382	26.3472	22.3283	0.3974	44.4403
63	10	-12.3283	27.2824	-3.6938	23.5886	30.7593	0.6782	151.9860
64	0	-30.7593	23.7697	-4.2137	19.5561	33.4554	0.8193	946.1342
65	0	-33.4554	20.6072	-4.6817	15.9255	11.4787	1.1027	1119.265
66	0	-11.4787	19.8010	-4.8010	14.9999	12.3822	0.5037	131.7595
67	0	-12.3822	17.8969	-5.0829	12.8140	15.0259	0.5664	153.3180
68	0	-15.0259	15.8420	-5.3870	10.4551	7.1543	0.8174	225.7762
69	0	-7.1543	15.1641	-5.4873	9.6768	3.1589	0.5076	51.1839
70	0	-3.1589	14.6821	-5.5586	9.1235	2.9669	0.2459	9.9785
71	0	-2.9669	13.7475	-5.6970	8.0505	13.6371	0.2444	8.8024
72	0	-13.6371	9.4252	-6.3367	3.0885	0.8982	1.1520	185.9694
73	0	-0.8982	9.3648	-6.3456	3.0192	1.1997	0.2549	0.8068
74	0	-1.1997	9.0003	-6.3995	2.6008	1.7639	0.3474	1.4393
75	0	-1.7639	8.6071	-6.4577	2.1493	1.7610	0.6015	3.1113
76	0	-1.7610	8.3803	-6.4913	1.8890	2.0830	0.7406	3.1012
77	0	-2.0830	8.1625	-6.5235	1.6389	0.8255	1.0071	4.3390
78	0	-0.8255	8.0990	-6.5329	1.5661	0.8870	0.4655	0.6814
79	0	-0.8870	7.9514	-6.5548	1.3966	1.1416	0.5246	0.7867
80	16	14.8584	10.1452	-6.2301	3.9151	1.9872	1.3659	220.7725
81	8	6.0128	10.4861	-6.1796	4.3065	1.0588	0.7223	36.1532
82	46	44.9412	15.3048	-5.4665	9.8383	2.4041	1.3456	2019.714
83	0	-2.4041	15.1664	-5.4870	9.6795	11.1511	0.1850	5.7798
84	0	-11.1511	10.4978	-6.1779	4.3199	1.1012	0.7542	124.3469

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน

เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

แบบโฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_t(t)$	e_t^2
85	4	2.8988	10.7955	-6.1339	4.6616	1.6196	0.3555	8.4032
86	1	-0.6196	10.6605	-6.1538	4.5067	2.7106	0.3257	0.3839
87	0	-2.7106	10.0158	-6.2492	3.7666	2.7896	0.5001	7.3474
88	0	-2.7896	9.5838	-6.3132	3.2706	3.2939	0.6316	7.7821
89	0	-3.2939	9.1799	-6.3730	2.8069	1.3066	0.8727	10.8500
90	26	24.6934	11.3713	-6.0486	5.3227	2.7922	1.2788	609.7648
91	0	-2.7922	11.2022	-6.0737	5.1285	7.0051	0.4312	7.7963
92	0	-7.0051	9.9440	-6.2599	3.6842	2.6612	1.1021	49.0714
93	20	17.3388	11.1626	-6.0795	5.0831	6.8399	1.3041	300.6323
94	0	-6.8399	10.7564	-6.1396	4.6167	0.8541	1.1075	46.7843
95	20	19.1459	12.0953	-5.9415	6.1539	4.6412	0.7778	366.5669
96	0	-4.6412	11.6332	-6.0099	5.6233	1.9990	0.6048	21.5411
97	1	-0.9990	11.5053	-6.0288	5.4765	1.7835	0.3230	0.9979
98	0	-1.7835	11.0776	-6.0921	4.9854	2.4933	0.2654	3.1808
99	0	-2.4933	10.3498	-6.1998	4.1500	2.6212	0.4099	6.2163
100	0	-2.6212	9.8545	-6.2731	3.5814	3.1257	0.5320	6.8708
101	2	-1.1257	9.6907	-6.2974	3.3933	4.3393	0.8292	1.2671
102	0	-4.3393	9.2854	-6.3573	2.9280	1.2626	1.1038	18.8298
103	0	-1.2626	9.1968	-6.3705	2.8263	3.1148	0.3798	1.5943
104	0	-3.1148	8.5616	-6.4645	2.0971	2.7349	0.9658	9.7019
105	0	-2.7349	8.3423	-6.4969	1.8454	2.0437	1.1813	7.4795
106	0	-2.0437	8.2083	-6.5168	1.6915	1.3157	1.0142	4.1766
107	1	-0.3157	8.1842	-6.5203	1.6639	1.0063	0.7634	0.0997
108	0	-1.0063	8.0821	-6.5354	1.5467	0.4995	0.5581	1.0126

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์หาค่า $\hat{T}_t(t)$, $\hat{\beta}_t(t)$ และ $\hat{T}_{t+1}(t)$ ของข้อมูลยอดการเบิกใช้ชิ้นส่วน
เครื่องปรับอากาศประเภทมอเตอร์ หมายเลข 1024773 ด้วยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล
แบบไฮลท์-วินเทอร์ รูปแบบคูณ (ต่อ)

t	Y_t	e_t	$\hat{T}_t(t)$	$\hat{\beta}_t(t)$	$\hat{T}_{t+1}(t)$	$\hat{Y}_{t+1}(t)$	$\hat{S}_i(t)$	e_t^2
109	13	12.5005	9.8167	-6.2787	3.5380	0.9389	0.7999	156.2624
110	0	-0.9389	9.7258	-6.2922	3.4336	1.4074	0.2292	0.8815
111	38	36.5926	22.0907	-4.4622	17.6285	9.3782	1.0303	1339.018
112	4	-5.3782	21.6864	-4.5220	17.1644	14.2333	0.4391	28.9250
113	0	-14.2333	19.1759	-4.8936	14.2823	15.7643	0.5512	202.5857
114	9	-6.7643	18.2255	-5.0342	13.1912	5.0102	0.9648	45.7562
115	32	26.9898	20.3922	-4.7135	15.6787	15.1426	0.8755	728.4515
116	1	-14.1426	19.1411	-4.8987	14.2424	16.8248	0.6891	200.0139
117	14	-2.8248	18.8236	-4.9457	13.8779	14.0752	1.1251	7.9792
118	41	26.9248	20.6771	-4.6714	16.0057	12.2186	1.5019	724.9432
119	8	-4.2186	20.4595	-4.7036	15.7559	8.7941	0.6862	17.7969
120	8	-0.7941	20.3699	-4.7168	15.6530	12.5205	0.5435	0.6306
							RMSE	20.4163

จากตารางที่ ข.6 ได้ค่า RMSE เท่ากับ 20.4163 สามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\hat{Y}_{120+p}(120) = (20.369 - 4.716_p) \times \hat{S}_i(120) \quad \text{สำหรับ } p = 1, 2, \dots$$

โดย p คือหน่วยเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า และอยู่ในฤดูกาลที่ i

โดยค่าประมาณดัชนีฤดูกาลของตัวแบบพยากรณ์คือ

$$\begin{array}{llll} \hat{S}_1 = 0.799 & \hat{S}_2 = 0.229 & \hat{S}_3 = 1.030 & \hat{S}_4 = 0.439 \\ \hat{S}_5 = 0.551 & \hat{S}_6 = 0.964 & \hat{S}_7 = 0.875 & \hat{S}_8 = 0.689 \\ \hat{S}_9 = 1.125 & \hat{S}_{10} = 1.501 & \hat{S}_{11} = 0.686 & \hat{S}_{12} = 0.543 \end{array}$$