

ตัวกรองคาลมานและการประยุกต์ใช้งานในด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรม
กรณีศึกษาการพยากรณ์ ความต้องการของลูกค้า
KALMAN FILTER AND ITS APPLICATION
FOR INDUSTRIAL ENGINEERING
A CASE STUDY OF CUSTOMER DEMAND FORECASTING

นายกฤษติพงษ์ เพ็ญภาค รหัส 53360927
นางสาวขวัญใจ สมรัก รหัส 53360989

| |
|--------------------------------------------------|
| ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| วันที่รับ..... 27, 2.1, 54 |
| เลขทะเบียน..... 16549159 |
| เลขเรียกหนังสือ..... 25. |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 284 ๓ 2556 |

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2556



ใบรับรองปริญญาโท

| | | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|
| ชื่อหัวข้อโครงการ | ตัวกรองกาลมานและการประยุกต์ใช้งานในด้านวิศวกรรมอุตสาหการ กรณีศึกษาการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า | | |
| ผู้ดำเนินโครงการ | นายกฤษติพงษ์ เพ็ญภาค | รหัส | 53360927 |
| | นางสาวขวัญใจ สมรัก | รหัส | 53360989 |
| ที่ปรึกษาโครงการ | ดร.พิสุทธิ์ อภิษยกุล | | |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| ภาควิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| ปีการศึกษา | 2556 | | |

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.พิสุทธิ์ อภิษยกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน)

.....กรรมการ
(ดร.สุธนิตย์ พุทธพนม)

| | | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|
| ชื่อหัวข้อโครงการ | ตัวกรองคาลมานและการประยุกต์ใช้งานในด้านวิศวกรรมอุตสาหการ กรณีศึกษาการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า | | |
| ผู้ดำเนินโครงการ | นายกฤษติพงษ์ | เพ็ญภาค | รหัส 53360927 |
| | นางสาวขวัญใจ | สมรัก | รหัส 53360989 |
| ที่ปรึกษาโครงการ | ดร.พิสุทธิ์ | อภิชยกุล | |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| ภาควิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| ปีการศึกษา | 2556 | | |

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาตัวกรองคาลมาน และนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมอุตสาหการ ในกรณีศึกษาการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าโดยมีขั้นตอน คือ

เขียนโปรแกรมการคำนวณเกี่ยวกับการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า โดยใช้โปรแกรม MATLAB และทำการพยากรณ์ความต้องการสินค้า โดยชุดข้อมูลเป็นอนุกรมเวลาแบบระดับ (Level), แบบแนวโน้ม (Trend) และแบบแนวโน้มบวกฤดูกาล (Trend and Seasonal) โดยใช้วิธีการพยากรณ์แบบ Last Period Demand, Moving Average, Exponential Weighted Moving Average และ Kalman Filter จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์แบบต่างๆ โดยใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบแบบการหาค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation, MAD), การหาค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square Error, MSE), และการหาค่าผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)

ผลที่ได้ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการใช้ Kalman Filter จะให้ค่าพยากรณ์ที่ดีกว่าวิธีพยากรณ์แบบอื่นๆ เพราะมีค่าร้อยละของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย MAD, MSE และ MAPE น้อยกว่าวิธี LPD, MA และ EWMA คือ (1) แบบระดับ มีค่าร้อยละของ MAD เท่ากับ 69.25, 78.02 และ 69.25 ตามลำดับ มีค่าร้อยละของ MAPE เท่ากับ 73.44, 77.17 และ 55.91 ตามลำดับ มีค่าร้อยละของ MSE เท่ากับ 48.85, 59.56 และ 31.22 ตามลำดับ, (2) แบบแนวโน้มมีค่าร้อยละของ MAD เท่ากับ 40.37, 41.87 และ 33.42 ตามลำดับ มีค่าร้อยละของ MAPE เท่ากับ 39.73, 41.46, และ 33.07 ตามลำดับ มีค่าร้อยละของ MSE เท่ากับ 16.66, 17.23 และ 10.94 ตามลำดับ และ (3) แบบแนวโน้มบวกฤดูกาล มีค่าร้อยละของ MAD เท่ากับ 24.32, 37.59 และ 31.35 ตามลำดับ มีค่าร้อยละของ MAPE เท่ากับ 39.73, 41.41 และ 33.57 ตามลำดับ และมีค่าร้อยละของ MSE เท่ากับ 16.66, 11.84 และ 9.14 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.พิสุทธิ์ อภิขยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด จนโครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ดำเนินโครงการจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ ที่ได้ให้คำปรึกษา และแนะนำในเรื่องอนุกรมเวลา และการพยากรณ์

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ทำให้ผู้ดำเนินโครงการ ได้มีโอกาสในการทำโครงการนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้ปกครอง ที่ได้ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา และขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และถามไถ่ความเป็นไปของโครงการอยู่เสมอ ทำให้ผู้ดำเนินโครงการมีกำลังใจในการดำเนินโครงการจนสำเร็จได้



ผู้ดำเนินโครงการ
นายกฤษติพงษ์ เพ็ญภาค
นางสาวขวัญใจ สมรัก

พฤศจิกายน 2556

สารบัญ

| | หน้า |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| ใบรับรองปริญญาโท..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูป..... | ช |
| สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ..... | ซ |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... | 2 |
| 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน..... | 2 |
| 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ..... | 2 |
| 1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงการ..... | 2 |
| 1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ..... | 2 |
| 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ..... | 2 |
| 1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ..... | 3 |
| | |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น..... | 4 |
| 2.1 ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter)..... | 4 |
| 2.2 การจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management) | 6 |
| 2.3 อนุกรมเวลา (Time Series) | 7 |
| 2.4 ซอฟต์แวร์ MATLAB (Matrix Laboratory) | 12 |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 12 |
| | |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ..... | 14 |
| 3.1 เก็บข้อมูลและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวกรองคาลมาน..... | 15 |
| 3.2 การกำหนดขอบเขตโครงการ..... | 15 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3 กำหนดระบบที่แก้ไข..... | 16 |
| 3.4 การวิเคราะห์ชนิดของอนุกรมเวลา..... | 16 |
| 3.5 วิธีการพยากรณ์ (Time Series Forecasting) | 16 |
| 3.6 ตัวกรองคาลมาน..... | 16 |
| 3.7 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากตัวกรองคาลมานและค่าที่ได้จากการพยากรณ์..... | 17 |
| 3.8 สรุปผลการดำเนินโครงการและจัดทำรูปเล่ม..... | 17 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์..... | 18 |
| 4.1 การใช้งานซอฟต์แวร์ MATLAB เบื้องต้น..... | 18 |
| 4.2 การทดสอบการทดสอบโปรแกรม..... | 21 |
| 4.3 วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบระดับ (Time Series, Level) | 24 |
| 4.4 วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม (Time Series, Trend)..... | 28 |
| 4.5 วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม และฤดูกาล (Time Series, Trend and Seasonal)..... | 33 |
| บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ..... | 38 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 40 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ..... | 3 |
| 4.1 การทดสอบ Water Level In Tank..... | 21 |
| 4.2 ผลการทดสอบ Algorithm ด้วยวิธีตัวกรองคาลมาน..... | 22 |
| 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์แบบระดับ..... | 27 |
| 4.4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์แบบระดับเป็นร้อยละ..... | 28 |
| 4.5 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม..... | 32 |
| 4.6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์แบบแนวโน้มเป็นร้อยละ..... | 32 |
| 4.7 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม และฤดูกาล..... | 37 |
| 4.8 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์แบบแนวโน้ม และแบบฤดูกาลเป็นร้อยละ..... | 37 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 รูปแบบการทำงานของตัวกรองคาลมาน..... | 5 |
| 2.2 รูปแบบการทำงานของตัวกรองคาลมาน (2)..... | 6 |
| 2.4 ลักษณะกราฟของชุดข้อมูลที่มีระดับ..... | 7 |
| 2.5 ลักษณะกราฟของชุดข้อมูลที่มีแนวโน้ม..... | 8 |
| 2.6 ลักษณะกราฟของชุดข้อมูลที่มีฤดูกาล..... | 9 |
| 3.1 ขั้นตอนวิธีการคำนวณโครงงาน..... | 14 |
| 3.2 แบบจำลองระบบความต้องการสินค้าของลูกค้า..... | 15 |
| 3.3 แผนภาพแสดงการแก้ปัญหาโดยใช้ตัวกรองคาลมาน..... | 16 |
| 3.4 แผนภาพแสดงแบบจำลองการทำงานของตัวกรองคาลมาน..... | 17 |
| 4.1 หน้าต่างโปรแกรม MATLAB..... | 18 |
| 4.2 วิธีเรียกใช้งาน New Script สำหรับเขียนโปรแกรม..... | 19 |
| 4.3 หน้าต่าง New Script สำหรับเขียนโปรแกรม..... | 19 |
| 4.4 หน้าต่างเมื่อเขียนโปรแกรม..... | 20 |
| 4.5 วิธีบันทึกโปรแกรม..... | 20 |
| 4.6 Work Space สำหรับเช็คค่าพารามิเตอร์..... | 21 |
| 4.7 ฮิสโตแกรมที่มีสัญญาณรบกวนภายในระบบ (1)..... | 24 |
| 4.8 ชุดข้อมูลอนุกรมเวลาแบบระดับที่นำมาพยากรณ์..... | 24 |
| 4.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี LPD..... | 25 |
| 4.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี MA..... | 26 |
| 4.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี EWMA..... | 26 |
| 4.12 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีตัวกรองคาลมาน..... | 27 |
| 4.13 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์แบบระดับ..... | 28 |
| 4.14 ฮิสโตแกรมที่มีสัญญาณรบกวนภายในระบบ (2)..... | 29 |
| 4.15 ชุดข้อมูลอนุกรมเวลาแบบแนวโน้มที่นำมาพยากรณ์..... | 29 |
| 4.16 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี LPD..... | 30 |
| 4.17 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี MA..... | 30 |
| 4.18 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี EWMA..... | 31 |
| 4.19 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีตัวกรองคาลมาน..... | 31 |
| 4.20 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์แบบแนวโน้ม..... | 33 |
| 4.21 ชุดข้อมูลอนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม และฤดูกาลที่นำมาพยากรณ์..... | 33 |

สารบัญญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.22 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี LPD..... | 34 |
| 4.23 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี MA..... | 35 |
| 4.24 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี EWMA..... | 35 |
| 4.25 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีตัวกรองคาลมาน..... | 36 |



สารบัญสัญลักษณ์

| | | |
|------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alpha | = | ค่าคงที่การปรับเรียบที่ถูกกำหนดเป็นตัวแปรถ่วงน้ำหนัก มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 |
| A | = | State Transition |
| B | = | อัตราการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยของ x |
| H | = | Observation Model |
| HXk | = | ฟังก์ชันของเครื่องมือวัด (Linear System) |
| Kk | = | Kalman Gain |
| MA | = | Moving Average |
| MAD | = | Mean Absolute Deviation |
| MAPE | = | Mean Absolute Percentage Error |
| MSE | = | Mean Square Error |
| n | = | จำนวนช่วงเวลาทั้งหมด ใน MA |
| Pk | = | ความแปรปรวนร่วมสถานะของระบบ การทำนายที่เวลา k |
| Q | = | ค่าคงที่ จะมีผลต่อความแปรปรวนของสัญญาณในระบบ |
| R | = | ค่าคงที่ มีผลต่อการแปรปรวนของสัญญาณที่คาดว่าจะเกิดขึ้น |
| t | = | ช่วงเวลา |
| V _k | = | สัญญาณรบกวนได้จากการวัด (Noise Measurement) มีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability) มีค่าเฉลี่ย (Mean) เป็น 0 และมีค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance) เป็น R _k |
| W _k | = | สัญญาณรบกวนได้จากการวัด (Noise Measurement) มีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability) มีค่าเฉลี่ย (Mean) เป็น 0 และมีค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance) เป็น Q _k |
| X [^] t | = | ค่าพยากรณ์ |
| X _k | = | สถานะประมาณของระบบที่เวลา k |
| X _t | = | ตัวแปรอิสระ ใช้แทนที่เวลาที่ t |
| Y _{t-1} | = | ค่าพยากรณ์ของเดือนที่ผ่านมา |
| Y [^] | = | ค่าพยากรณ์ |
| Z _k | = | ค่าที่ได้จากการวัด |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimator) ตัวกรองคาลมานจะทำงานได้ดีกับระบบที่มีสัญญาณรบกวน ข้อมูลที่ได้จากระบบมีความไม่แน่นอน (Uncertainty) และมีความไม่แม่นยำ โดยมีสมมติฐานว่าการกระจายตัวของสัญญาณรบกวนนั้นเป็นการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ตัวกรองคาลมานจะทำงานวนรอบเติมอีกครั้งเมื่อมีข้อมูลใหม่ป้อนเข้ามา โดยจะประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่ ทำให้มีการอัปเดตค่าพารามิเตอร์ ด้วยโครงสร้างของตัวกรองคาลมานจึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้เป็นค่าที่เหมาะสม และมีค่าเป็นปัจจุบัน

ตัวกรองคาลมาน ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านติดตามวัตถุ เช่น การหาตำแหน่ง และความเร็วของดาวเทียมในอวกาศ โดยใช้สัญญาณจีพีเอส, ด้านการเดินเรือ เช่น แก้ปัญหาการนำร่องการเดินเรืออัตโนมัติ และด้านเศรษฐศาสตร์ การเงิน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยต่างๆ ที่ได้นำเครื่องมือชนิดนี้มาช่วยในการพยากรณ์สินค้าคงคลัง และงานอื่นๆ ในด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกับการเก็บข้อมูลที่มีลักษณะเป็นข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series) ซึ่งเป็นการพยากรณ์ ที่จะอาศัยข้อมูลในอดีตมาพิจารณาว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล เมื่อเวลาเปลี่ยนไปมีลักษณะเป็นอย่างไร โดยจะพิจารณาจากชนิดของอนุกรมเวลา ได้แก่ แนวโน้ม (Trend), ฤดูกาล (Seasonal), วัฏจักร (Cyclical) และการสุ่ม (Random) ข้อมูลชนิดนี้อาจจะประกอบไปด้วย สัญญาณรบกวน ความไม่แน่นอนที่มีอยู่ในข้อมูล เมื่อได้ค่าพยากรณ์แล้ว จะต้องตรวจสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของค่าที่พยากรณ์ โดยการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ถ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยแสดงว่าการพยากรณ์นั้นมีความแม่นยำสูง

การใช้งานด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรม จะใช้ในการวางแผน และควบคุมการผลิต การควบคุมสินค้าคงคลังและการจัดการสินค้าคงคลัง โดยจะใช้ตัวกรองคาลมานทำการพยากรณ์ เช่น ใช้ตัวกรองคาลมานจำลองสต็อกสินค้าคงคลังที่การพยากรณ์ไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากความแปรปรวน, สร้างแบบจำลองตัวกรองคาลมาน เพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่ใกล้เคียง เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ที่ไม่เหมาะสม จะส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ และยังใช้ตัวกรองคาลมานแทนการพยากรณ์ เพื่อจะลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และการพยากรณ์ที่ผิดพลาด จากข้อมูลเบื้องต้น การศึกษาการพยากรณ์ การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากข้อมูลเชิงการผลิต หรือการขนส่งสินค้า โดยใช้เครื่องมือตัวกรองคาลมาน จึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ

ดังนั้น จึงได้นำตัวกรองคาลมานมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมอุตสาหการ โดยประยุกต์ใช้ตัวกรองคาลมานร่วมกับการพยากรณ์ เพื่อจัดการสินค้าคงคลัง ซึ่งจะพิจารณาจากอนุกรมเวลา และตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ ด้วยการหาค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาเครื่องมือตัวกรองคาลมาน และนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมอุตสาหการ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Outputs)

1.3.1 เครื่องมือนี้สามารถใช้ในการพยากรณ์ความต้องการสินค้า

1.3.2 ผลการเปรียบเทียบความสามารถของเครื่องมือตัวกรองคาลมาน และวิธีการพยากรณ์แบบอื่นๆ อยู่ในระดับที่มีความถูกต้อง และยอมรับได้

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

แบบจำลองสามารถทำนายความต้องการสินค้าของลูกค้าอยู่ในระดับที่มีความถูกต้องที่ยอมรับได้

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.5.1 สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของข้อมูล จากแบบจำลองระบบความต้องการสินค้าของลูกค้าที่สร้างขึ้น

1.5.2 ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาพยากรณ์ความต้องการสินค้าของลูกค้าบนคอมพิวเตอร์ โดยจะใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB โดยใช้วิธีตัวกรองคาลมาน

1.5.3 ใช้ค่าที่ได้จากการพยากรณ์แบบอื่นๆ มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากตัวกรองคาลมาน

1.5.4 จำลองได้กับสมการเส้นตรงเพียงอย่างเดียว

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่เดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

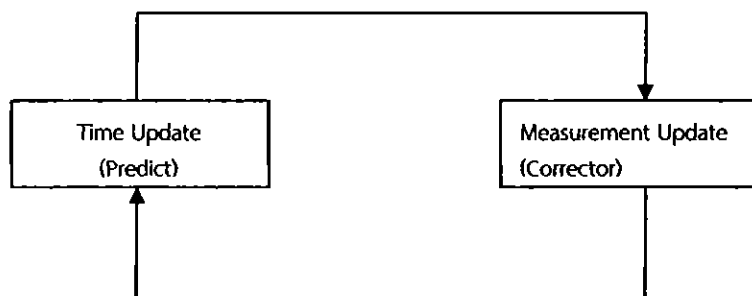
2.1 ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter)

ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) คือ การประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการกำลังสองเชิงเส้น (Linear Quadratic Estimation) เป็นขั้นตอนแบบวิธีเวียนบังเกิด (Recursive) ใช้ในการประมาณค่าตัวแปรสถานะของระบบพลวัต (Dynamic System) หรือระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นอยู่กับเวลา โดยการประมาณค่าตัวแปรสถานะของระบบพลวัตนี้ อาจประยุกต์ใช้ในกรณีที่ต้องการประมาณค่าตัวแปรสถานะที่ถูกสัญญาณรบกวน หรือเกิดจากข้อจำกัดในตัวแปรสถานะนั้นๆ ในบางกรณีจะใช้ร่วมกับข้อมูลของตัวแปรสถานะที่ได้รับมาจากเซ็นเซอร์ ซึ่งทำให้ข้อมูลของตัวแปรสถานะ มีความแม่นยำขึ้นมากกว่าการเลือกใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์เพียงอย่างเดียว และถูกตั้งชื่อตาม รูดอล์ฟ อีมีว คาลมาน

รูดอล์ฟ อีมีว คาลมาน นักทฤษฎีระบบเชิงคณิตศาสตร์ และยังเป็นผู้พัฒนาตัวกรองคาลมาน ในปี ค.ศ. 1960 ตัวกรองคาลมานถูกนำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรก โดย รูดอล์ฟ อีมีว คาลมาน ซึ่งเขาได้นำเสนอผลงานเรื่องการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานะ (State Space) เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ในรูปการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการกำลังสองเชิงเส้น และคิด ค้น ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) โดยการใช้งานครั้งแรกของตัวกรองคาลมานนั้น ได้ถูกประยุกต์ให้เป็นส่วนหนึ่งของระบบนำร่องในโครงการอพอลโล และหลังจากนั้นถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย

2.1.1 ประเภทของตัวกรองคาลมาน

The Discrete Kalman Filter ใช้ประมาณค่าสถานะ (x) ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งแบบ Discrete Time การทำงานของตัวกรองคาลมาน เป็นการทำงานแบบวนรอบ (Iterative) ประกอบด้วยสมการปรับเวลา (Time Update) และสมการปรับการวัด (Measurement Update) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบการทำงานของ Kalman Filter

ที่มา : A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, Transaction of the ASME–Journal of Basic Engineering, 1960.

2.1.1.1 สมการปรับเวลา (Time Update) จะตอบสนองต่องานล่วงหน้า ที่สถานะปัจจุบัน และความแปรปรวนร่วม (Covariance) ของการประมาณค่าที่ผิดพลาด เพื่อให้ได้การประมาณค่า ล่วงหน้าของช่วงเวลาต่อไป ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$\mathbf{x}_k^- = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}_{k-1} \quad (2.1)$$

$$\mathbf{P}_k^- = \mathbf{A}\mathbf{P}_{k-1}\mathbf{A}^T + \mathbf{Q} \quad (2.2)$$

| | | |
|--------|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| โดยที่ | \mathbf{x}_k^- | คือ สถานะประมาณการของระบบ จากการทำนายที่เวลา k |
| | \mathbf{A} | คือ State Transition |
| | $\hat{\mathbf{x}}_{k-1}$ | คือ สถานะประมาณของระบบที่เวลา $k - 1$ |
| | \mathbf{P}_k^- | คือ ความแปรปรวนร่วมสถานะของระบบ การทำนายที่เวลา k |
| | \mathbf{P}_{k-1} | คือ ความแปรปรวนร่วมสถานะของระบบที่เวลา $k - 1$ |
| | \mathbf{Q} | คือ ค่าคงที่ จะมีผลต่อความแปรปรวนของสัญญาณในระบบ |

2.1.1.2 สมการปรับการวัด (Measurement Update) ตอบสนองต่อการป้อนกลับข้อมูล คือ การวัดครั้งใหม่จะถูกรวมเข้ากับการประมาณ เพื่อให้ได้มาซึ่งการปรับปรุงการประมาณล่วงหน้า ดังสมการที่ 2.3, 2.4 และ 2.5

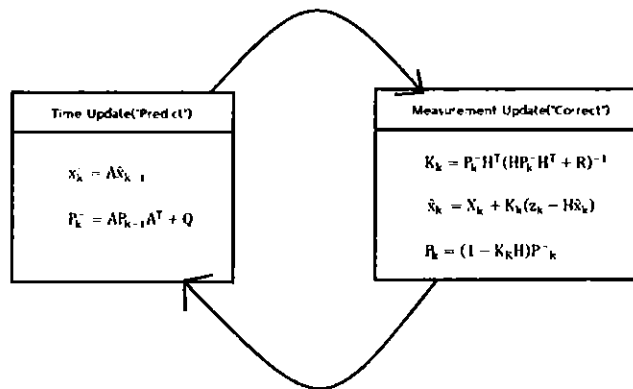
$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_k^- \mathbf{H}^T (\mathbf{H} \mathbf{P}_k^- \mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (2.3)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \mathbf{x}_k^- + \mathbf{K}_k (\mathbf{z}_k - \mathbf{H} \hat{\mathbf{x}}_k^-) \quad (2.4)$$

$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}) \mathbf{P}_k^- \quad (2.5)$$

| | | |
|--------|----------------------|------------------------------------------------------------|
| โดยที่ | \mathbf{K}_k | คือ Kalman Gain |
| | \mathbf{P}_k^- | คือ ความแปรปรวนร่วมสถานะของระบบ การทำนายที่เวลา k |
| | \mathbf{H} | คือ Observation Model |
| | \mathbf{R} | คือ ค่าคงที่ มีผลต่อการแปรปรวนของสัญญาณที่คาดว่าจะเกิดขึ้น |
| | $\hat{\mathbf{x}}_k$ | คือ สถานะประมาณของระบบ ที่ผ่านขั้นตอนการปรับแก้เวลา |
| | \mathbf{z}_k | คือ ค่าที่ได้จากการวัด |

การออกแบบระบบฟิลเตอร์เพื่อการใช้งาน จะมีการรบกวนของการวัด (Measurement Error Covariance) โดยที่ \mathbf{R} เป็นความแปรปรวนร่วม ที่ได้จากการประมวลผลของการวัดก่อนหน้า สามารถหาค่าความผิดพลาดได้จริงจากกระบวนการวัด โดยการคำนวณหาค่า \mathbf{Q} (Process Noise Covariance) จะทำได้ยากมาก จึงต้องมีการการประมาณค่า เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของแบบจำลอง กระบวนการที่มีผลลัพธ์เป็นที่ยอมรับ ความสัมพันธ์ของระบบสามารถอธิบายได้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปแบบการทำงานของ Kalman Filter (2)

ที่มา : Olivier Cadet, Transocean Inc. Introduction to Kalman Filter – Application to DP

2.2 การจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management)

สินค้าคงคลัง (Inventory) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับธุรกิจ เพราะจัดเป็นสินทรัพย์หมุนเวียนรายการหนึ่ง ซึ่งธุรกิจพึงมีไว้ เพื่อให้การผลิตหรือการขายสามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่น การมีสินค้าคงคลังมากเกินไปอาจจะเป็นปัญหากับธุรกิจ ทั้งในเรื่องต้นทุนการเก็บรักษาที่สูง สินค้าเสื่อมสภาพ หมดอายุ ถูกขโมยหรือสูญหาย นอกจากนี้ยังทำให้สูญเสียโอกาสในการนำเงินที่จมอยู่กับสินค้าคงคลังนี้ ไปสร้างประโยชน์ในด้านอื่นๆ แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าธุรกิจมีสินค้าคงคลังน้อยเกินไปก็อาจจะประสบปัญหาสินค้าขาดแคลนไม่เพียงพอ (Stock Out) สูญเสียโอกาสในการขายสินค้าให้แก่ลูกค้า เป็นการเปิดช่องให้แก่คู่แข่ง และอาจจะต้องสูญเสียลูกค้าไป นอกจากนี้ถ้าสิ่งของที่ขาดแคลนนั่น เป็นวัตถุดิบที่สำคัญ การดำเนินงานทั้งการผลิต และการขายก็อาจต้องหยุดก่อน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของธุรกิจในอนาคตได้ ดังนั้น จึงเป็นหน้าที่ของผู้ประกอบการในการจัดการสินค้าคงคลังให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป เพราะการลงทุนในสินค้าคงคลัง ต้องใช้เงินจำนวนมาก และอาจส่งผลกระทบต่อถึงสภาพคล่องของธุรกิจได้

2.2.1 ปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดปริมาณของสินค้าคงคลัง

การพิจารณาถึงจำนวนสินค้าคงคลังในระดับที่ถูกต้องนั้น เป็นเรื่องจำเป็นต่อผู้ประกอบการ เพราะสามารถนำมาช่วยในด้านการกำหนดปริมาณของสินค้าคงคลัง ในระดับที่เหมาะสมต่อการผลิต ซึ่งจะประกอบไปด้วย

2.2.1.1 ยอดขายในอดีตของธุรกิจ สามารถนำยอดขายที่เกิดขึ้นในอดีตมาพยากรณ์ยอดขายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ถ้าเป็นธุรกิจที่เพิ่งเกิดขึ้นใหม่ไม่มียอดขายในอดีต ก็จะสามารถกำหนดระดับของสินค้าคงคลังได้จากการประมาณการยอดขายของตนที่ผ่านมาในอดีต

2.2.1.2 การซื้อขายตามฤดูกาล (Seasonal Selling) เป็นธุรกิจที่มีการซื้อขายตามฤดูกาล

เช่น ธุรกิจขายร่ม ซึ่งถ้าเข้าสู่ช่วงฤดูฝน ยอดขายก็อาจมากกว่าปกติ ดังนั้น ระดับของปริมาณสินค้าคงคลังในช่วงฤดูฝนก็จะมากขึ้นตามปริมาณของยอดขายที่เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นยอดขายก็จะลดลงมาสู่ระดับปกติ ระดับของปริมาณสินค้าคงคลังก็จะลดลงตาม รวมถึงค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา

2.2.1.3 ความนิยมในตัวสินค้า ถ้าธุรกิจมีสินค้าประเภทล้าสมัยไม่เป็นที่นิยม ปริมาณสินค้าคงเหลือของสินค้าชนิดนี้ ก็ควรที่จะมีปริมาณน้อยกว่าสินค้าประเภทอื่น ในสายของการผลิตนั้น

2.2.1.4 ความไม่แน่นอนในการส่งสินค้าของ Suppliers ในบางครั้งธุรกิจอาจจะต้องสั่งซื้อวัตถุดิบจาก Suppliers โดยปกติจะมีระยะเวลาในการสั่งซื้อสินค้า (Lead Time) ที่แน่นอน แต่เมื่อถึงเวลาการจัดส่งวัตถุดิบจริงอาจมีความล่าช้าเกิดขึ้น ดังนั้น การกำหนดปริมาณของสินค้าคงคลังควรจะต้องมีสินค้าเพื่อปลอดภัยเก็บไว้ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้ธุรกิจหยุดชะงัก และสูญเสียโอกาสการขาย

2.3 อนุกรมเวลา (Time Series)

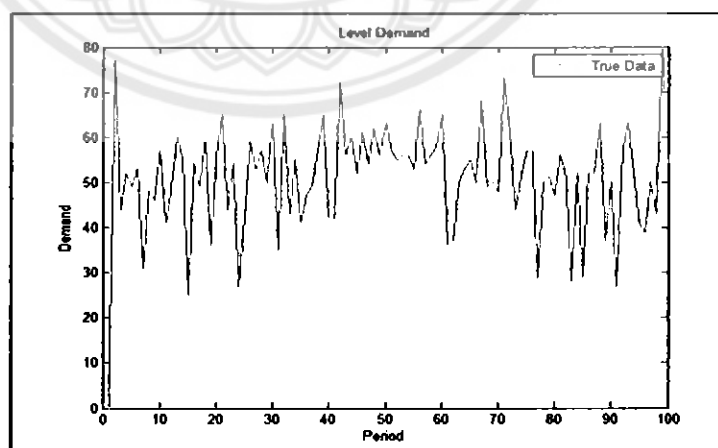
ข้อมูลหรือค่าสังเกตที่เปลี่ยนแปลงตามลำดับเวลาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลเหล่านี้ถูกเก็บรวบรวม ณ ช่วงเวลาต่างๆ เช่น รายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน รายไตรมาส หรือรายปี

2.3.1 ส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

ข้อมูลแบบอนุกรมเวลา เป็นข้อมูลลักษณะที่แตกต่างกัน จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของข้อมูลชุดนั้นๆ โดยสามารถแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาออกเป็นส่วนประกอบย่อยๆ ต่างๆ ดังนี้

2.3.1.1 ระดับ (Level Component)

การเคลื่อนไหวของข้อมูลแบบมีระดับ คือ ข้อมูลจะลักษณะเข้าใกล้เส้นตรง มีระดับค่าความต้องการ แต่ค่าไม่ห่างกันมากยังอยู่ใกล้กลุ่มเดียวกัน

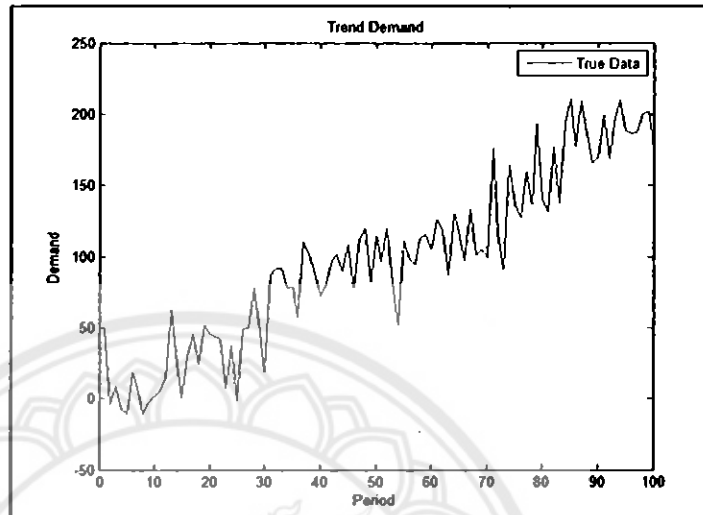


รูปที่ 2.3 ลักษณะกราฟของชุดข้อมูลที่มีระดับ

ที่มา : ข้อมูลจากหนังสือ Forecasting And Marketing Analysis, Page 59

2.3.1.2 แนวโน้ม (Trend Component)

การเคลื่อนไหวของข้อมูลแบบแนวโน้ม เป็นการแสดงถึงเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในระยะยาว เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย, ปริมาณการนำเข้าน้ำมันดิบ เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ลักษณะกราฟของชุดข้อมูลที่มีแนวโน้ม

ที่มา : ข้อมูลจากหนังสือ Forecasting And Marketing Analysis, Page 59

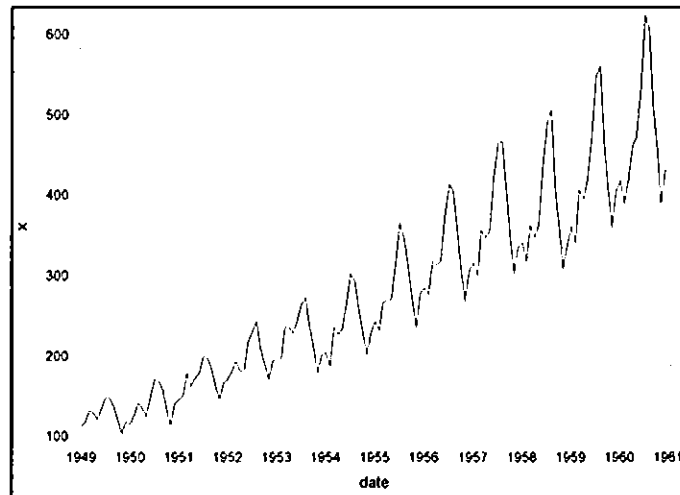
การหาค่าแนวโน้ม ทำให้ผลต่างระหว่างข้อมูลอนุกรมเวลากับค่าแนวโน้มมีค่าน้อยที่สุด ดังสมการที่ 2.6

$$\hat{y}_t = \alpha + bx_t \quad (2.6)$$

โดยที่ \hat{y}_t เป็น ค่าแนวโน้ม ณ เวลา t
 α เป็น ค่าแนวโน้ม เมื่อ $x_t = 0$
 b เป็น อัตราการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยของ x
 x_t เป็นตัวแปรอิสระ ใช้แทนที่เวลาที่ t

2.3.1.3 ฤดูกาล (Seasonal Component)

การเคลื่อนไหวของข้อมูลตามฤดูกาล จะมีลักษณะเกิดขึ้นซ้ำๆ กัน ในรอบ 1 ปี จนเป็นแบบแผนเดียวกัน เช่น การผลิตข้าวจะสูงในช่วงไตรมาสแรกของปี, ยอดขายของห้างสรรพสินค้าจะสูงในช่วงปลายปี ในการวิเคราะห์การผันแปรตามฤดูกาล จะวัดในรูปของ (Seasonal Index)



รูปที่ 2.5 ลักษณะกราฟของฤดูกาลในอนุกรมเวลา

ที่มา : ข้อมูลจากหนังสือ Forecasting And Marketing Analysis, Page 59

2.3.2 วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลา (Time - Series Forecasting)

เป็นการพยากรณ์ ที่จะอาศัยข้อมูลในอดีตมาพิจารณาว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล เมื่อเวลาเปลี่ยนไปมีลักษณะเป็นอย่างไร โดยมีวิธีการพยากรณ์ ดังนี้

2.3.2.1 วิธีอุปสงค์ของช่วงเวลาก่อนหน้า (Last Period Demand Method)

ความต้องการในช่วงเวลาถัดไป จะมีขนาดเท่ากับความต้องการในช่วงเวลาก่อนหน้า ดังสมการที่ 2.7

$$\hat{Y}_t = Y_{t-1} \quad (2.7)$$

โดยที่

\hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์

Y_{t-1} คือ ค่าความต้องการก่อนหน้า ณ ช่วงเวลา $t - 1$

t คือ ช่วงเวลา

2.3.2.2 วิธีค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average Method)

เป็นอนุกรมของค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ ใช้กรณีที่เป็นพยากรณ์ที่มีแนวโน้มเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีแนวโน้ม เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ระยะสั้น และค่าตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในหน่วยเวลาที่ทำการพยากรณ์ ดังสมการที่ 2.8

$$\hat{Y}_t = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{t-i}}{n} \quad (2.8)$$

โดยที่

- \hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ที่ช่วงเวลา t
 Y_{t-i} คือ ค่าความต้องการจริง ณ ช่วงเวลา $t - i$
 n คือ จำนวนช่วงเวลาทั้งหมด ใน MA

2.3.2.3 วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Exponential Weighted Moving Average Method)

ใช้เมื่อเหตุการณ์มีแนวโน้มเข้ามาเกี่ยวข้อง จะส่งผลให้ข้อมูลที่มีความเก่ามากยิ่งมีความสำคัญลดลง ค่าถ่วงน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับประการณ์ของผู้ทำการพยากรณ์ ดังสมการที่ 2.9

$$\hat{Y}_t = \alpha Y_{t-1} + (1 - \alpha) \hat{Y}_{t-1} \quad (2.9)$$

โดยที่

- \hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์
 α คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบอยู่ระหว่าง $0 - 1$

2.3.2.4 วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing Method)

คือ รูปแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) โดยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักนั้น จะลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งข้อมูลล่าสุดจะมีค่าถ่วงน้ำหนักมากที่สุด และลดลงไปตามเวลาของข้อมูล จะต้องมีค่าคงที่ปรับเรียบ ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ความเหมาะสมของค่าคงที่ปรับเรียบ (Smoothing Constant) หรือ α ทำให้ความแตกต่างระหว่างการพยากรณ์ที่แน่นอน และไม่แน่นอนมีความใกล้เคียง จะทำนายค่าของอนุกรมเวลาตัวถัดไปโดยแบบจำลอง ดังสมการที่ 2.10

$$\hat{Y}_t = Y_{t-1} + \alpha(A_{t-1} + Y_{t-1}) \quad (2.10)$$

โดยที่

- \hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ของเดือนปัจจุบัน
 Y_{t-1} คือ ค่าพยากรณ์ของเดือนที่ผ่านมา
 A_{t-1} คือ ค่าจริงของเดือนที่ผ่านมา
 α คือ ค่าคงที่ ที่ถูกกำหนดเป็นตัวแปรถ่วงน้ำหนัก ตั้งแต่ $0 - 1$

2.3.3 การตรวจสอบข้อผิดพลาดในการพยากรณ์

ใช้เปรียบเทียบค่าการพยากรณ์แต่ละรูปแบบ โดยจะบอกว่าการพยากรณ์ใดมีค่าความคลาดเคลื่อนมากน้อยกว่ากัน เพื่อใช้ในการสรุปว่า การพยากรณ์มีความแม่นยำเพียงพอหรือไม่ โดยใช้เกณฑ์ในการเปรียบเทียบความสามารถในการพยากรณ์ 3 วิธี ได้แก่

2.3.3.1 การหาค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) คือ หาค่าความแตกต่างระหว่างยอดการขายจากการพยากรณ์กับยอดการขายที่เกิดขึ้นจริง จะเป็นบวก ดังสมการที่ 2.11

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n} = \frac{\sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t|}{n} \quad (2.11)$$

2.3.3.2 การหาค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square Error : MSE) เริ่มจากหาค่าผลต่างระหว่างยอดขายที่ทำการพยากรณ์กับยอดขายที่เกิดขึ้นจริง ภายในเครื่องหมายวงเล็บก่อนแล้วยกกำลังสอง ดังสมการที่ 2.12

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n} = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n} \quad (2.12)$$

2.3.3.3 การหาค่าผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) จะมีข้อได้เปรียบกว่าอีก 2 วิธีที่กล่าวมา เนื่องจากเป็นการวัดความคลาดเคลื่อนการพยากรณ์เทียบกับค่าข้อมูลจริง จึงสามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบการพยากรณ์ได้เหมาะสมกว่า คือ ถ้าค่า MAPE ยิ่งน้อย การพยากรณ์ยิ่งแม่นยำ ดังสมการที่ 2.13

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t / Y_t| \times 100}{n} \quad (2.13)$$

2.4 ซอฟต์แวร์ MATLAB (Matrix Laboratory)

เป็นซอฟต์แวร์ในการคำนวณและการเขียนโปรแกรม มีความสามารถครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนาอัลกอริธึม, การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์, การทำซิมูเลชันของระบบ, การสร้างระบบควบคุม และการสร้างเมตริกซ์

ซอฟต์แวร์ MATLAB สามารถทำงานได้ในลักษณะของการติดต่อโดยตรง คือ การเขียนคำสั่งเข้าไปที่ละคำสั่ง เพื่อให้ซอฟต์แวร์ MATLAB ประมวลผลไปเรื่อยๆ ข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บในลักษณะของแถวลำดับ ซึ่งทำให้สามารถแก้ปัญหาของตัวแปรที่อยู่ในลักษณะของเมตริกซ์ และเวกเตอร์ได้โดยง่าย ทำให้ลดเวลาในการทำงานลงได้อย่างมาก เมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมโดยภาษาซี หรือภาษาอื่นๆ

การสร้างแบบจำลองบนซอฟต์แวร์ MATLAB จะช่วยคำนวณในทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้อง โดยจะประกอบด้วย การตั้งสมมติฐาน หรือการหาแบบจำลองของสิ่งที่ศึกษา จากนั้นจะนำแบบจำลองที่ได้มาทดลองบนซอฟต์แวร์ MATLAB เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจริง

2.4.1 การสร้างแอปพลิเคชัน หรือฟังก์ชันเฉพาะงาน โดยเขียนโปรแกรม m-file

2.4.1.1 ฟังก์ชัน M-File ที่ต้องป้อนตัวแปรรับเข้า หรือรับค่าจากตัวแปรส่งออก ในการทำงาน จะเรียกเพื่อการคำนวณ เช่น Det() เป็นฟังก์ชันสำเร็จรูปในซอฟต์แวร์ MATLAB สำหรับคำนวณค่าดีเทอร์มิแนนต์ (Determinant) ของเมตริกซ์ เมื่อเรียกใช้จะต้องใส่ค่าตัวแปรเมตริกซ์ที่ต้องการคำนวณไว้ในวงเล็บ ส่วนคำตอบจะกำหนดตัวแปรเพื่อรับค่า หรือไม่ก็ได้

2.4.1.2 สคริปต์ M-File จะรวมคำสั่ง หรือฟังก์ชันต่างๆ ไว้ด้วยกัน สะดวกในการทำซ้ำ เพียงแค่เรียกชื่อสคริปต์บน Command Windows คำสั่งในสคริปต์ก็จะทำงาน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 A Time Series Framework Supply Chain Inventory Management

พิจารณาห่วงโซ่อุปทาน ภายใต้กระบวนการความต้องการพื้นฐาน ที่สามารถอธิบายได้ในรูปแบบเชิงเส้น สินค้าคงคลังจะถูกจัดการที่จุดต่างๆของห่วงโซ่ ตามข้อมูลที่สังเกตและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ลักษณะสำคัญของแบบจำลอง คือ คำนี้ถึงความสามารถของสมาชิกที่จะสังเกต และนำมาใช้ในการพยากรณ์ ช่วยในการจำลองสถานการณ์ที่จะหาผลลัพธ์ โดยจะกำหนดตัวแปรของความต้องการด้วยตัวอักษร และจะใช้ข้อมูลเวลาร่วมในแบบจำลอง โดยใช้เทคนิคตัวกรองคาลมาน

การวัดประสิทธิภาพการทำงานและเป้าหมายระดับสินค้าคงคลัง จะนำเสนออยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ เพราะสามารถรองรับความถี่ที่มีขนาดใหญ่ของแบบจำลองเชิงเส้น และช่วยให้ง่ายต่อการนำมาใช้

ที่มา : A Time Series Framework for Supply Chain Inventory Management, Yossi Aviv, Olin School of Business, Washington University, 2003

2.5.2 Multi Rotor Flying Object

ขอบเขตของงานวิจัย เพื่อพัฒนาเครื่องบินที่สามารถบินลอยนิ่งอยู่ในอากาศ หรือสามารถควบคุมผ่านรีโมตบังคับได้ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบิน

ผลสรุปของงานวิจัย การใช้ตัวกรองกาลมาน จะช่วยในการคาดคะเนทิศทาง และความเร็ว ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นลดลง ค่าที่ได้จะมีค่าเฉลี่ยที่เข้าใกล้ศูนย์ ต่างจากการไม่ใช้ตัวกรองกาลมาน ทำให้ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่มา : Logbook Multi Rotor Flying Object, นายจักรพรรณ ดีสุด และนายจักรกริช หล่อประโคน, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2554

2.5.3 การประยุกต์การควบคุมด้วยแบบจำลองเจเนริกร่วมกับกาลมานฟิลเตอร์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์กังววนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน

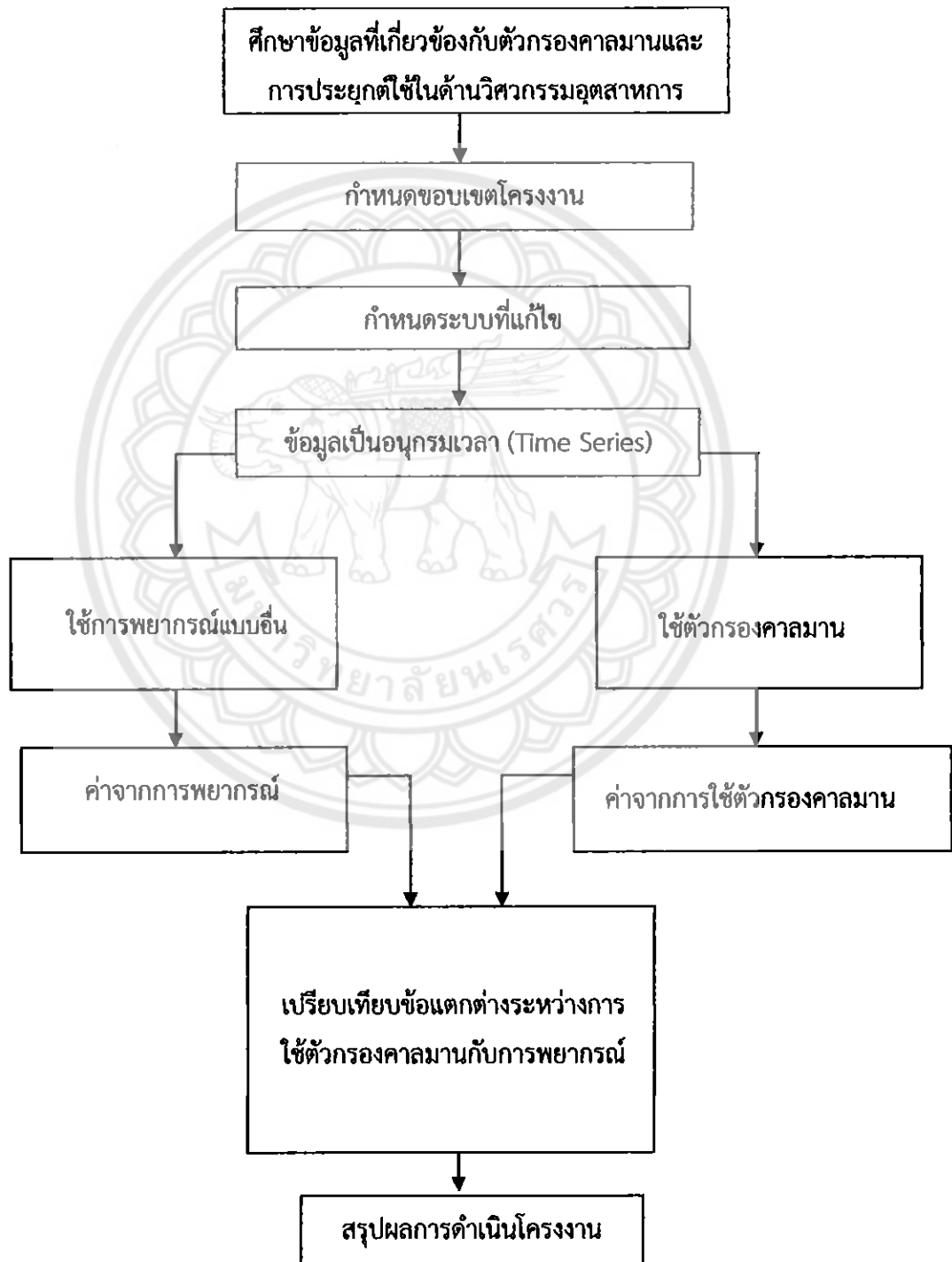
เพื่อออกแบบเครื่องควบคุมด้วยแบบจำลองเจเนริกร่วมกับกาลมานฟิลเตอร์ ซึ่งจะส่งผลให้สมรรถนะในการควบคุมที่ดี และมีเสถียรภาพของระบบ โดยพิจารณาการควบคุมในด้านสมรรถนะในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนในระบบ และการควบคุมในกรณีที่มีความผิดพลาดของค่า พารามิเตอร์ของแบบจำลอง/กระบวนการ ที่ทำการควบคุม

จากผลการจำลอง ระบบมีสมรรถนะและความทนทานที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอทีในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์กังววนแบบต่อเนื่อง ทั้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน และเครื่องควบคุมยังให้สมรรถนะในการควบคุมที่ดีในกรณีที่มีความผิดพลาดของแบบจำลอง/กระบวนการที่ทำการควบคุม

ที่มา : วิทยานิพนธ์ การประยุกต์การควบคุมด้วยแบบจำลองเจเนริกร่วมกับตัวกรองกาลมาน สำหรับเครื่องปฏิกรณ์กังววนแบบต่อเนื่อง ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน, อนุวัฒน์ วรดิถี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงานในการศึกษาตัวกรองคาลมานและการประยุกต์ใช้งานในด้านวิศวกรรม
อุตสาหกรรม มีรายละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปขั้นตอนวิธีการดำเนินโครงการ

จากแผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการ ดังรูปที่ 3.1 มีรายละเอียด ดังนี้

3.1 เก็บข้อมูลและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวกรองคาลมาน

3.1.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับตัวกรองคาลมาน

3.1.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์

3.1.3 Time Series Model

3.1.4 การตั้งสมมติฐานและการตรวจสอบสมมติฐาน

3.1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.6 ซอฟต์แวร์ MATLAB และฟังก์ชัน

3.2 กำหนดขอบเขตการดำเนินโครงการ

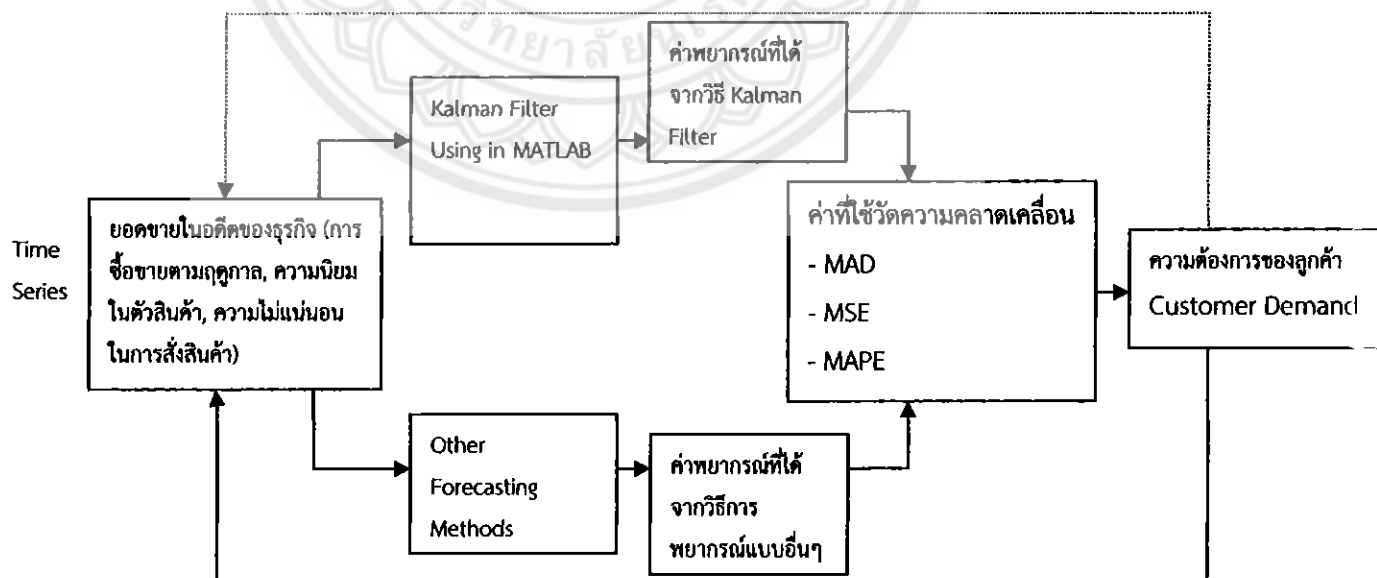
3.2.1 สามารถทราบค่าพารามิเตอร์ของข้อมูล จากแบบจำลองระบบความต้องการสินค้าของลูกค้า
ค่าที่สร้างขึ้น

3.2.2 ใช้แบบจำลองพยากรณ์ความต้องการสินค้าของลูกค้า บนคอมพิวเตอร์ โดยจะใช้ซอฟต์แวร์
MATLAB

3.2.3 จำลองกับสมการเส้นตรงเพียงอย่างเดียว

3.2.4 ใช้ค่าที่ได้จากตัวกรองคาลมานมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์

3.2.5 ใช้ข้อมูลเดิมที่มีอยู่แล้วในการหาค่าพารามิเตอร์



รูปที่ 3.2 แบบจำลองระบบความต้องการสินค้าของลูกค้า

3.3 กำหนดระบบที่แก้ไข

จัดการสินค้าคงคลัง ด้วยการจำลองระบบความต้องการสินค้าของลูกค้า จะช่วยจัดการสินค้าคงคลังอย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้เกิดสมดุลระหว่างสินค้า และระดับความพึงพอใจของลูกค้า

จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาจำลองระบบความต้องการสินค้าของลูกค้า เพื่อพยากรณ์ความต้องการสินค้าของลูกค้า บนคอมพิวเตอร์ โดยซอฟต์แวร์ MATLAB

3.4 การวิเคราะห์ชนิดของอนุกรมเวลา

วิเคราะห์จาก การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์อนุกรมเวลา ซึ่งจะอาศัยข้อมูลจากอดีตเพื่อคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยอาศัยหลักการทางสถิติ ส่วนประกอบในอนุกรมเวลา ตัวแปรอิสระในที่นี่ คือ เวลา ซึ่งอาจกำหนดเป็นสัปดาห์ เดือน ปี และตัวแปรตามก็ คือ ตัวแปรที่เราต้องการที่จะพยากรณ์ค่าการผันแปรของตัวแปรตามในอนุกรมเวลาหนึ่งๆ สามารถแยกได้เป็น 3 ชนิด

3.4.1 ระดับ (Level Component)

3.4.2 แนวโน้ม (Trend Component)

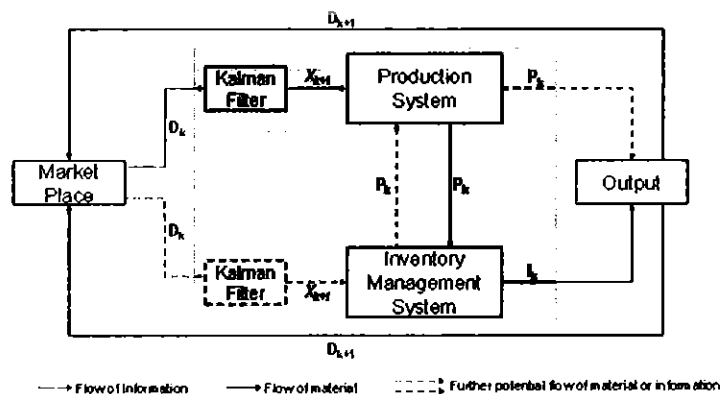
3.4.3 ฤดูกาล (Seasonal Component)

3.5 วิธีการพยากรณ์ (Forecasting Methods)

จะศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา และสร้างสมการพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์ซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่ Moving Average Method, Weighted Moving Average และ Exponential Smoothing เป็นต้น

3.6 ตัวกรองคาลมาน

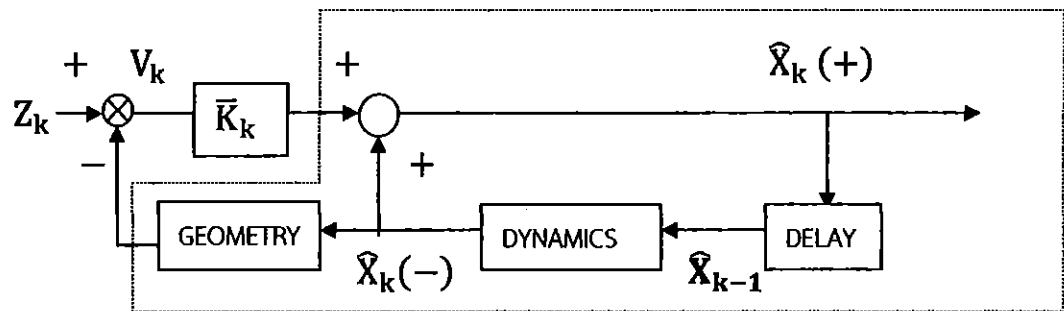
ตัวกรองคาลมาน จะทำงานวนรอบเดิมอีกครั้งเมื่อมีข้อมูลใหม่ป้อนเข้ามา โดยจะประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่ ทำให้มีการอัปเดตของข้อมูล ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการแก้ปัญหาโดยใช้ตัวกรองคาลมาน

ที่มา : Katharina Amann. An Approach of Forecasting Customer Demand with The Discrete Kalman Filter for The Calculation of Lot Size, 2556

สร้างแบบจำลองการทำงานของตัวกรองคาลมานบนคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB ซึ่งสามารถจำลองกับระบบไดนามิก ที่เป็นเชิงเส้น และมีเวลาที่ไม่ต่อเนื่องได้ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รูปแบบการทำงานของตัวกรองคาลมาน

ที่มา : Mohinder S. Grewal, Angus P. Andrews. Kalman Filtering Theory and Practice Using MATLAB, 2001

3.7 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากตัวกรองคาลมาน และค่าที่ได้จากการพยากรณ์

ตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของค่าการพยากรณ์ โดยการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ถ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยแสดงว่าการพยากรณ์นั้นมีความแม่นยำสูง

การวัดค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ ใช้เปรียบเทียบค่าการพยากรณ์แต่ละรูปแบบ โดยจะบอกว่าการพยากรณ์ใดมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่ากัน เพื่อสรุปว่าการพยากรณ์มีความแม่นยำเพียงพอหรือไม่ จะใช้การหาค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation) คือ จะหาความแตกต่างระหว่างยอดการขายจากการพยากรณ์กับยอดการขายที่เกิดขึ้นจริง การหาค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square Error) เริ่มจากหาผลต่างระหว่างยอดการขายที่ทำการพยากรณ์กับยอดการขายที่เกิดขึ้นจริง และใช้การหาค่าผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error)

พิจารณาจากค่า MSE, MAD และ MAPE ถ้ามีค่าต่ำ แสดงถึงวิธีการพยากรณ์นั้นมีความแม่นยำมาก

3.8 สรุปผลการดำเนินโครงการและจัดทำรูปเล่ม

สรุปผลจากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ จากการใช้ตัวกรองคาลมาหาค่าความต้องการของลูกค้า แล้วนำมาจัดการสินค้าคงคลังในการวางแผนการผลิต จากสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ จะศึกษาเครื่องมือตัวกรองคาลมาน และนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรม จากการสร้างแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB นำผลสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ของมูลมาเรียบเรียง และจัดทำรูปเล่มโครงการ

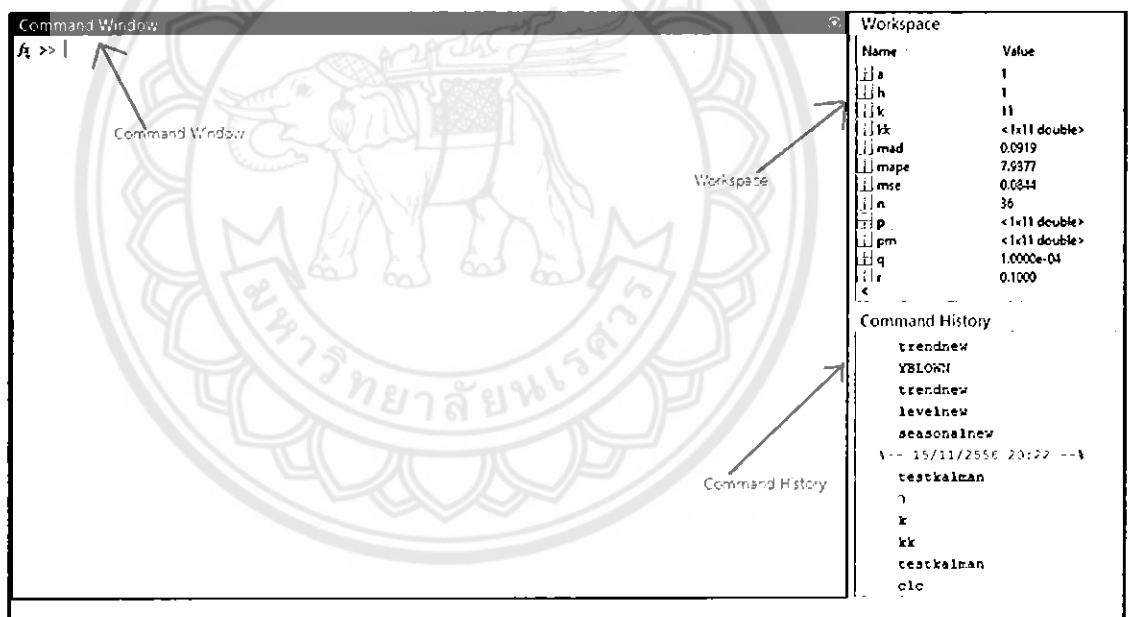
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการออกแบบการเขียนแบบจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ โดยใช้วิธีตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) และวิธีการพยากรณ์ที่จะอาศัยชุดข้อมูลในแบบอนุกรมเวลา (Time Series) บนซอฟต์แวร์ MATLAB (Matrix Laboratory) และเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดจากการหาค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ นอกจากนี้ยังกล่าวถึงวิธีการใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB เบื้องต้น

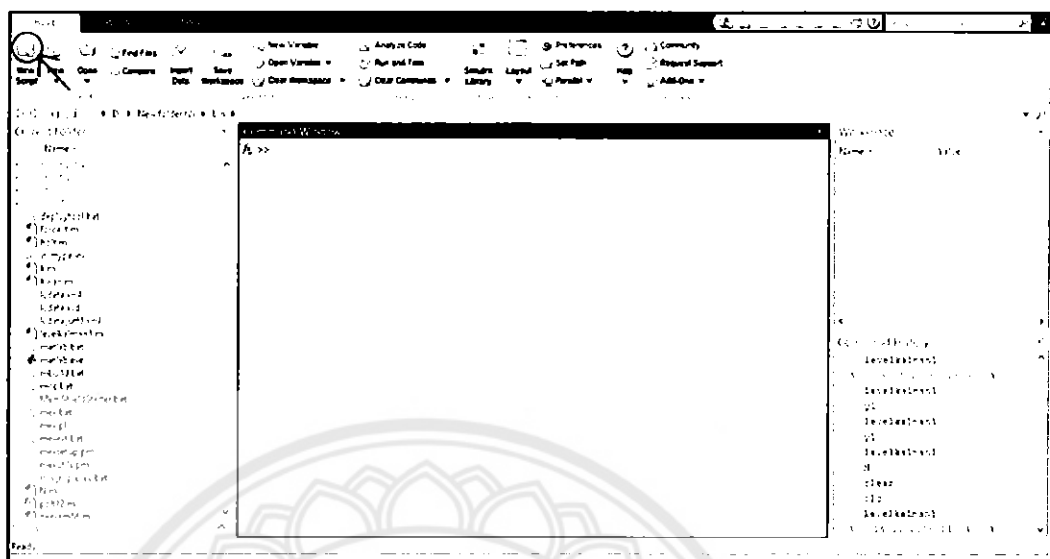
ซึ่งจะสามารถแบ่งหัวข้อของผลการเขียนแบบจำลอง และการวิเคราะห์ได้ ดังต่อไปนี้

4.1 การใช้งานซอฟต์แวร์ MATLAB เบื้องต้น



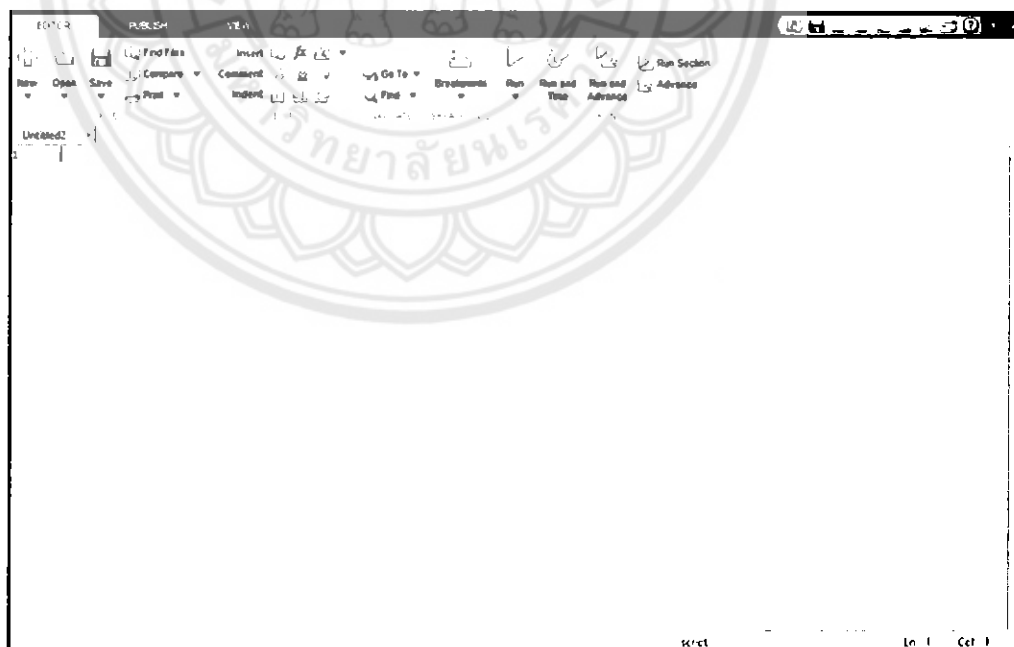
รูปที่ 4.1 หน้าต่างซอฟต์แวร์ MATLAB

4.1.1 เรียกใช้งาน New Script



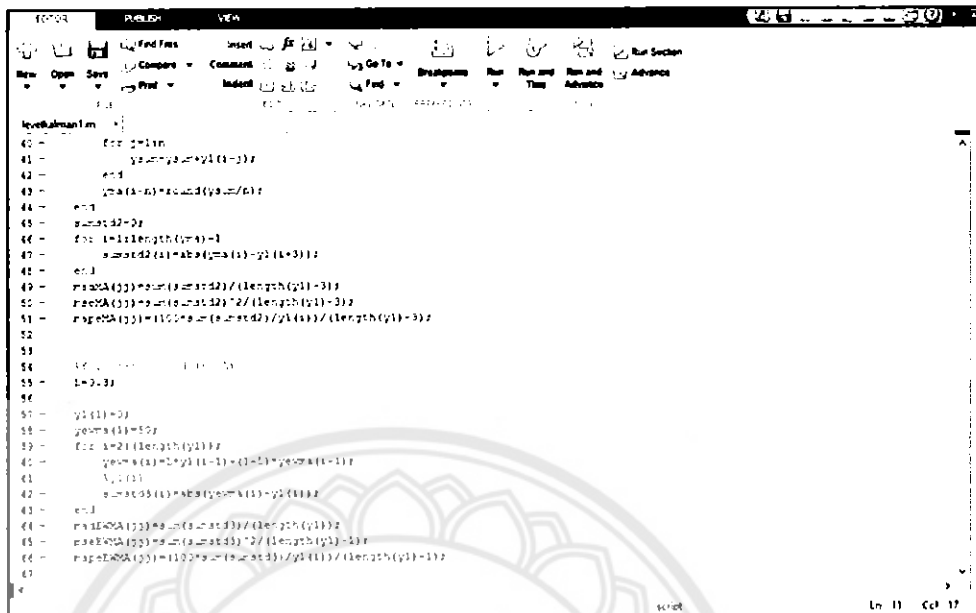
รูปที่ 4.2 วิธีเรียกใช้งาน New Script สำหรับเขียนโปรแกรม

4.1.2 หลังจากเรียกใช้งาน New Script แล้ว จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 4.3



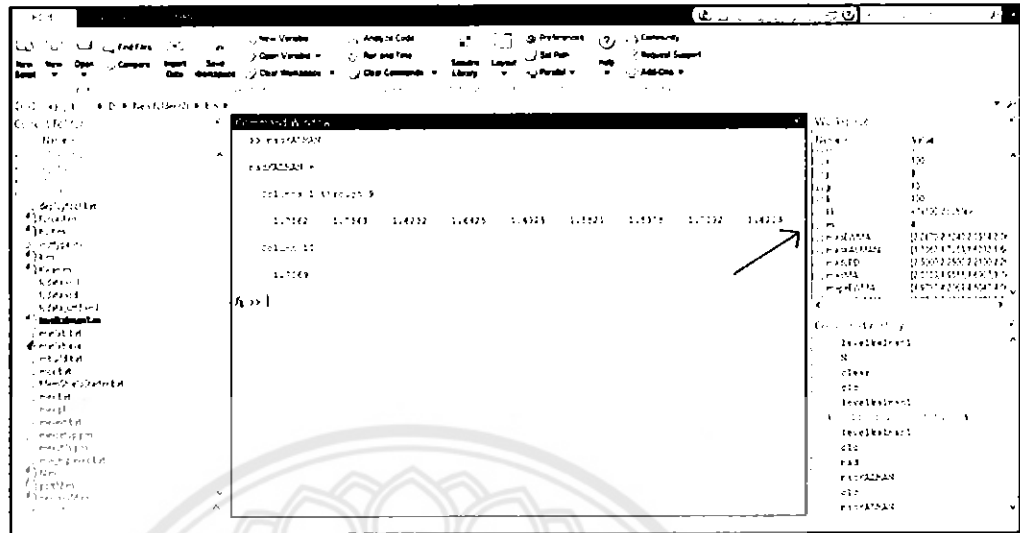
รูปที่ 4.3 หน้าต่าง New Script สำหรับเขียนโปรแกรม

4.1.3 เริ่มเขียนโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ ดังรูปที่ 4.4



```
levelkman1.m
40 - for i=1:n
41 -     y=mu+sigma*y1(1-i);
42 -     end
43 -     ym=(1-n)*round(y/m);
44 -     end
45 -     sumx2(i)=0;
46 -     for l=1:length(y)-1
47 -         sumx2(i)=abs(ym(i)-y1(i+1));
48 -     end
49 -     sumx4(i)=sum((sumx2(i)/length(y1)-3));
50 -     sumx8(i)=sum((sumx2(i)^2/(length(y1)-3)));
51 -     sumx16(i)=(1/2)*sum((sumx2(i)/y1(i))/(length(y1)-3));
52
53
54 -     [C,~,~]=lsqnonneg(
55 -         [1=);
56
57 -     y1(i)=0;
58 -     ym=(1)=0;
59 -     for l=2:length(y1)+1
60 -         ym=(i)=2*y1(i-1)-(1-i)*ym(i-1);
61 -         y1(i)=
62 -         sumx2(i)=abs(ym(i)-y1(i));
63 -     end
64 -     sumx4(i)=sum((sumx2(i)/length(y1)-3));
65 -     sumx8(i)=sum((sumx2(i)^2/(length(y1)-3)));
66 -     sumx16(i)=(1/2)*sum((sumx2(i)/y1(i))/(length(y1)-3));
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2
```

4.1.5 เมื่อกด Run แล้วสามารถเช็คค่าพารามิเตอร์ได้ที่หน้าต่าง Work Space ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 Work Space สำหรับเช็คค่าพารามิเตอร์

4.2 การทดสอบโปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ และให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องหรือไม่

4.2.1 การทดสอบโปรแกรมโดยใช้วิธีตัวกรองคาลมาน

ทำการทดสอบโปรแกรม โดยจะใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับงานวิจัย Kalman Filter Tank Filling Example : Water Level In Tank, Page 8

ตารางที่ 4.1 การทดสอบ Water Level In Tank

| t | Predict | | Update | | | |
|----|-------------|--------|--------|--------|---------------|--------|
| | \hat{X}_k | P_k | Z_k | K_k | \hat{X}_k^A | P_k |
| 3 | 0.8499 | 0.0501 | 1.1000 | 0.3339 | 0.9334 | 0.0334 |
| 4 | 0.9334 | 0.0335 | 1.0000 | 0.2509 | 0.9501 | 0.0251 |
| 5 | 0.9501 | 0.0252 | 0.9500 | 0.2012 | 0.9501 | 0.0201 |
| 6 | 0.9501 | 0.0202 | 1.0500 | 0.1682 | 0.9669 | 0.0168 |
| 7 | 0.9669 | 0.0169 | 1.2000 | 0.1447 | 1.0006 | 0.0145 |
| 8 | 1.0006 | 0.0146 | 0.9000 | 0.1272 | 0.9878 | 0.0145 |
| 9 | 0.9878 | 0.0128 | 0.8500 | 0.1136 | 0.9772 | 0.0114 |
| 10 | 0.9772 | 0.0115 | 1.1500 | 0.1028 | 0.9905 | 0.0103 |

ที่มา : www.cs.unc.edu/welch/kalman/media/pdf/kttool_models.pdf

จากตารางที่ 4.1 ทำการเขียนโปรแกรมการคำนวณ โดยใช้วิธีตัวกรองคาลมาน จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม จะมีค่าเท่ากับกับการคำนวณในงานวิจัย ดังตารางข้างต้น

4.2.2 การทดสอบโปรแกรมโดยใช้วิธีการพยากรณ์แบบอื่นๆ

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับ วิธี EWMA with Trend Correction จากหนังสือ Forecasting And Marketing Analysis

Example : EWMA with Trend Correction, Page 59

ตารางที่ 4.2 วิธีการพยากรณ์แบบอื่นๆ 3 วิธีการ

| No. | Actual Demand | Last Period Demand | Three Month Moving Average | EWMA |
|-----|---------------|--------------------|----------------------------|-----------------|
| | | Forecast Demand | Forecast Demand | Forecast Demand |
| 1 | 180 | 185 | - | 185 |
| 2 | 186 | 180 | - | 184 |
| 3 | 179 | 186 | - | 184 |
| 4 | 170 | 179 | 182 | 183 |
| 5 | 170 | 170 | 178 | 179 |
| 6 | 165 | 170 | 173 | 176 |
| 7 | 155 | 165 | 168 | 173 |
| 8 | 150 | 155 | 163 | 167 |
| 9 | 170 | 150 | 157 | 162 |
| 10 | 192 | 170 | 158 | 165 |
| 11 | 195 | 192 | 171 | 173 |
| 12 | 205 | 195 | 186 | 179 |
| 13 | 215 | 205 | 197 | 187 |
| 14 | 208 | 215 | 205 | 195 |
| 15 | 195 | 208 | 209 | 199 |
| 16 | 200 | 195 | 206 | 198 |
| 17 | 194 | 200 | 201 | 199 |
| 18 | 185 | 194 | 196 | 197 |
| 19 | 180 | 185 | 193 | 194 |
| 20 | 180 | 180 | 186 | 189 |
| 21 | 181 | 180 | 182 | 187 |
| 22 | 205 | 181 | 180 | 185 |
| 23 | 225 | 205 | 189 | 191 |

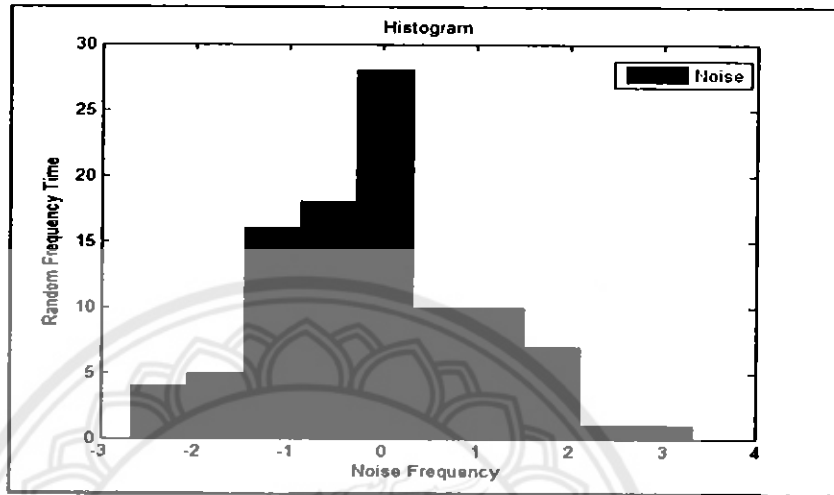
ตารางที่ 4.2 (ต่อ) วิธีการพยากรณ์แบบอื่นๆ 3 วิธีการ

| No. | Actual Demand | Last Period Demand | Three Month Moving Average | EWMA |
|-----|---------------|--------------------|----------------------------|-----------------|
| | | Forecast Demand | Forecast Demand | Forecast Demand |
| 24 | 235 | 225 | 204 | 201 |
| 25 | 225 | 235 | 222 | 211 |
| 26 | 225 | 225 | 228 | 215 |
| 27 | 215 | 225 | 228 | 218 |
| 28 | 225 | 215 | 222 | 217 |
| 29 | 210 | 225 | 222 | 220 |
| 30 | 200 | 210 | 217 | 217 |
| 31 | 204 | 200 | 212 | 212 |
| 32 | 195 | 204 | 205 | 209 |
| 33 | 210 | 195 | 200 | 205 |
| 34 | 220 | 210 | 203 | 207 |
| 35 | 240 | 220 | 208 | 211 |
| 36 | 250 | 240 | 223 | 219 |
| 37 | | 250 | 237 | 229 |
| 24 | 235 | 225 | 204 | 201 |
| 25 | 225 | 235 | 222 | 211 |
| 26 | 225 | 225 | 228 | 215 |
| 27 | 215 | 225 | 228 | 218 |
| 28 | 225 | 215 | 222 | 217 |
| 29 | 210 | 225 | 222 | 220 |
| 30 | 200 | 210 | 217 | 217 |
| 31 | 204 | 200 | 212 | 212 |
| 32 | 195 | 204 | 205 | 209 |

จากตารางที่ 4.2 นำชุดข้อมูลดังกล่าว มาเขียนโปรแกรม บนซอฟต์แวร์ MATLAB และทำการทดสอบโปรแกรม นำมาเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ของชุดข้อมูล ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม มีค่าเท่ากับการคำนวณในหนังสือ ดังตารางข้างต้น

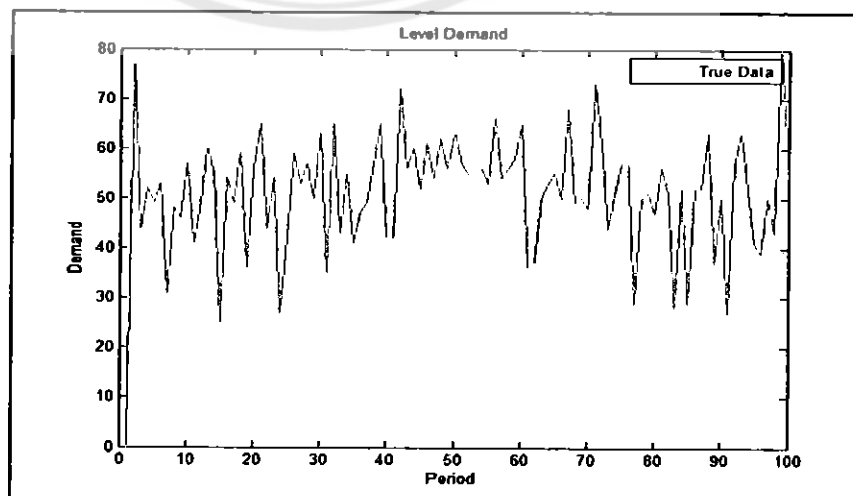
4.3 วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบระดับ (Time Series, Level)

อนุกรมเวลาแบบระดับ ข้อมูลจะใช้บอกระดับความต้องการสินค้าว่ามีระดับไหน ลักษณะกราฟ จะมีความไม่แน่นอน แต่ค่าจะมีความใกล้เคียงกัน และมีความชันเป็นศูนย์ โดยให้ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ฮิสโตแกรมที่มีสัญญาณรบกวนภายในระบบ (1)

ในที่นี้ จะใช้ฟังก์ชัน $Y(t) = mx(t) + b + \text{Noise}$ ในการสร้างชุดข้อมูลที่จะนำมาพยากรณ์ โดยที่ $Y(t)$ คือ ชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นมาจากสมการเส้นตรง และเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม โดยให้สัญญาณรบกวนแบบสุ่มมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) จึงใช้คำสั่ง `randn()` ในการสร้างสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม ผลที่ได้จากฟังก์ชัน $Y(t) = 50 +$ ค่าสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม ที่มีความยาวการสุ่มเท่ากับ 100 และค่าแปรผันเท่ากับ 10 แสดงดังรูปที่ 4.8

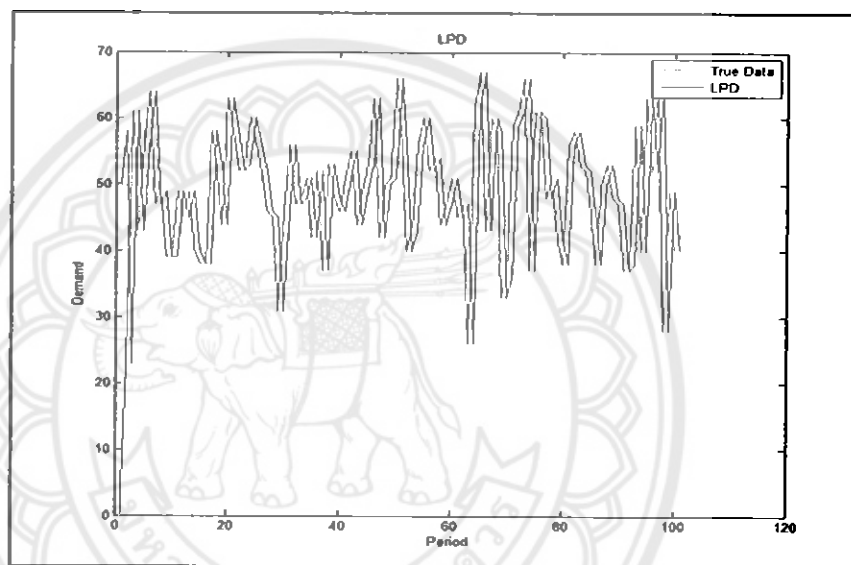


รูปที่ 4.8 ชุดข้อมูลอนุกรมเวลาแบบระดับที่นำมาพยากรณ์

จากข้อมูลในรูปที่ 4.8 ข้อมูลจะมีการกระจายตัวแบบปกติ และมีสัญญาณรบกวน จากนั้นนำข้อมูลชุดนี้มาหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการพยากรณ์แบบอื่น และวิธีตัวกรองคาลมาน บนซอฟต์แวร์ MATLAB

4.3.1 การพยากรณ์ข้อมูลแบบระดับ โดยใช้วิธีอุปสงค์ของช่วงเวลาก่อนหน้า (Last Period Demand Method, LPD)

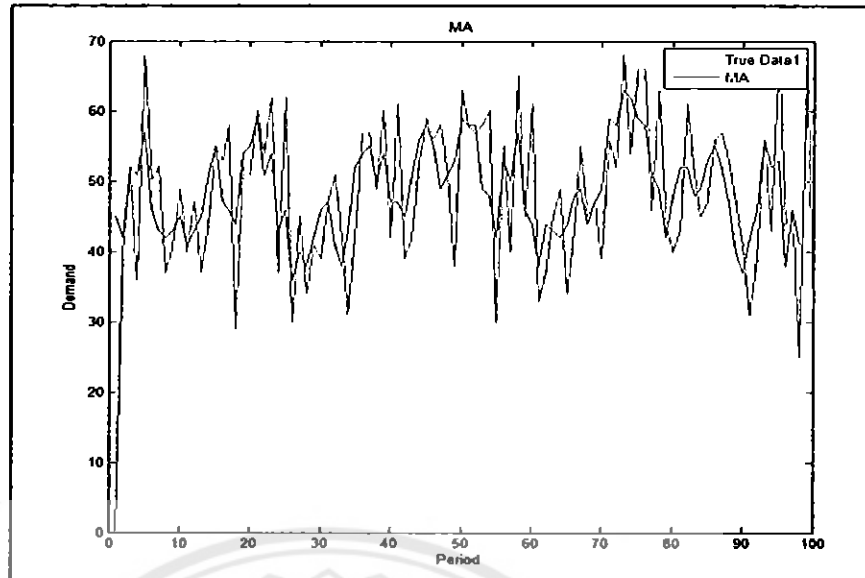
การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี LPD ดังแสดงในสมการที่ 2.7 โดยใช้ค่าเริ่มต้น $Y_{LPD} = 50$ ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี LPD

4.3.2 การพยากรณ์ข้อมูลแบบระดับ โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average Method, MA)

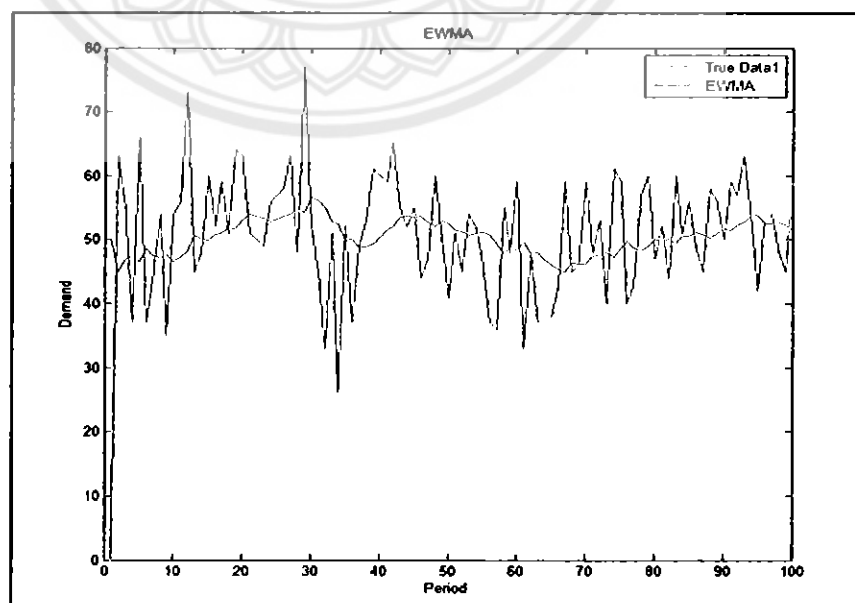
การหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี MA ในที่นี้ ได้เลือกใช้ 3 Months Moving Average (ใช้ค่าก่อนหน้า 3 เดือน) ดังแสดงในสมการที่ 2.8 ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี MA

4.3.3 การพยากรณ์ข้อมูลแบบระดับ โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Exponential Weighted Moving Average Method, EWMA)

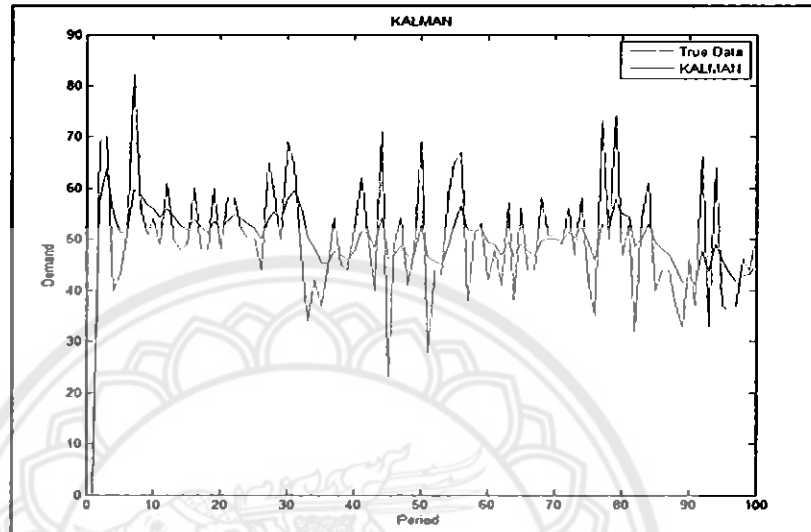
การหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี EWMA ดังแสดงในสมการที่ 2.9 ในที่นี้ กำหนดค่าคงที่ของการปรับเรียบ $\alpha = 0.1$ ซึ่งเป็นค่าปรับเรียบที่ดีที่สุดของวิธี EWMA สำหรับชุดข้อมูลที่นำมาพยากรณ์ ค่าเริ่มต้น $Y_1(1) = 0$ และค่าพยากรณ์เริ่มต้น $YEWMA(1) = 50$ ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี EWMA

4.3.4 การพยากรณ์ข้อมูลแบบระดับ โดยใช้วิธีตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter)

การหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี ตัวกรองคาลมาน ดังแสดงในสมการที่ 2.4 ในที่นี้มีการกำหนดตัวแปร ได้แก่ เมตริกซ์ $A = 1$, ค่าเริ่มต้น $X_h(1) = 0$, $P(1) = 50$, $Q = 0.9$, $H = 1$ และค่า $R = 10$ ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี Kalman Filter

4.3.5 การเปรียบเทียบความถูกต้องในการพยากรณ์ข้อมูลแบบระดับ

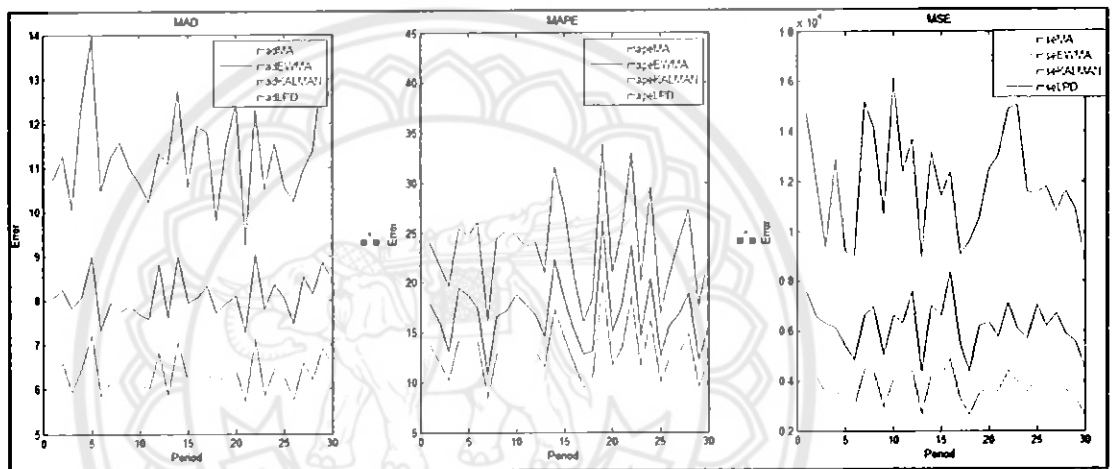
การทดสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่พยากรณ์ได้กับค่าจริง โดยพิจารณาได้จากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด ได้แก่ MAD, MAPE และ MSE จากการทดสอบค่าทั้งหมด 30 ครั้ง ผลที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์แบบระดับ

| Level | MAD | MAPE | MSE |
|-----------------------------------------|------|-------|----------|
| MA | 9.43 | 19.84 | 8661.55 |
| EWMA, Alpha = 0.1 | 8.37 | 18.88 | 7103.25 |
| LPD | 9.43 | 26.06 | 13553.49 |
| Kalman Filter Q = 0.9, R = 10, A = 1 | 6.53 | 14.57 | 4230.83 |

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์แบบระดับเป็นร้อยละ

| Forecasting Methods | MAD (ร้อยละ) | MAPE (ร้อยละ) | MSE (ร้อยละ) |
|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Kalman Filter น้อยกว่า MA | 69.25 | 73.44 | 48.85 |
| Kalman Filter น้อยกว่า EWMA | 78.02 | 77.17 | 59.56 |
| Kalman Filter น้อยกว่า LPD | 69.25 | 55.91 | 31.22 |

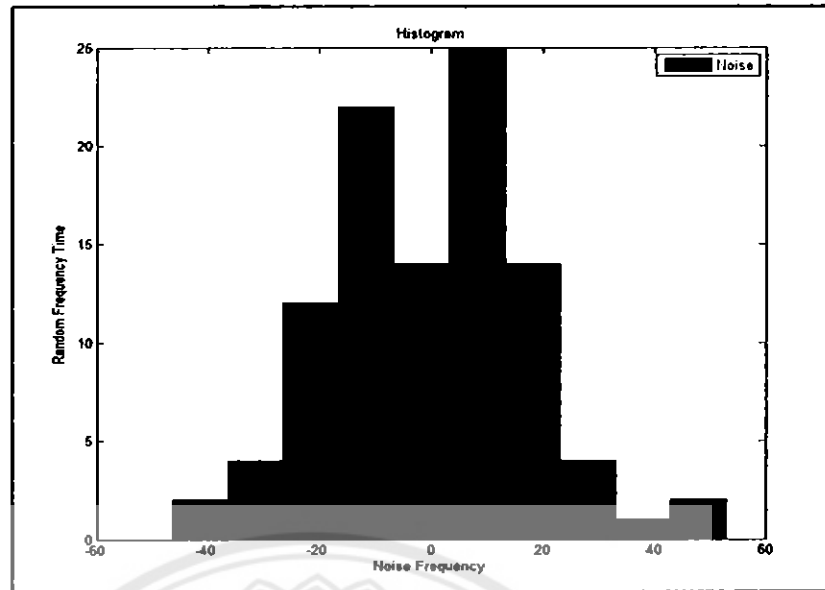


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์แบบระดับ โดยทดสอบ 30 ครั้ง

จากรูปที่ 4.13 ข้อมูลที่นำมาพยากรณ์ เป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นมาจากสมการเส้นตรง ที่มีสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม (Noise) โดยจะใช้ฟังก์ชัน $Y(t) = mx(t) + b + \text{Noise}$ ในการใช้งานตัวกรองคาลมานเพื่อการพยากรณ์นั้น จะต้องกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ในตัวกรองคาลมาน ในที่นี้ คือ ค่า Q และ R ซึ่งค่าทั้งสองจะมีผลต่อการพยากรณ์

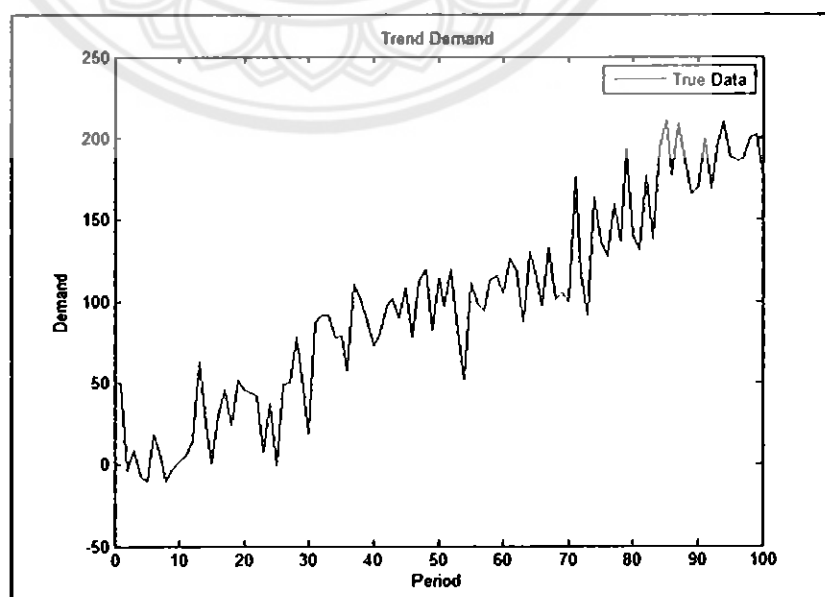
4.4 วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม (Time Series, Trend)

ข้อมูลชุดนี้เป็นข้อมูลที่สร้างขึ้น โดยให้อยู่ในรูปแบบของอนุกรมเวลาแบบมีแนวโน้ม กำหนดให้มีการกระจายตัวแบบปกติ ดังรูปที่ 4.14 และเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป ลักษณะของข้อมูลจะมีความชันเข้ามาเกี่ยวข้อง บ่งบอกแนวโน้มของความต้องการสินค้า ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 ฮิสโตแกรมที่มีสัญญาณรบกวนภายในระบบ (2)

ในที่นี้ จะใช้ฟังก์ชัน $Y(t) = mx(t) + b + \text{Noise}$ โดยที่ $Y(t)$ คือ ชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นจากสมการเส้นตรงที่มีความชันเข้ามาเกี่ยวข้อง และเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม โดยให้สัญญาณรบกวนแบบสุ่มมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) จึงใช้คำสั่ง `randn(,)` ในการสร้างสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม ผลที่ได้จากฟังก์ชัน $Y(t) = mx(t) + \text{สัญญาณรบกวนแบบสุ่ม}$ โดยที่มีค่าความชันเท่ากับ 10, จุดตัดแกน x มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 100, ความยาวการสุ่มเท่ากับ 100 และค่าแปรผันเท่ากับ 10 แสดงดังรูปที่ 4.15

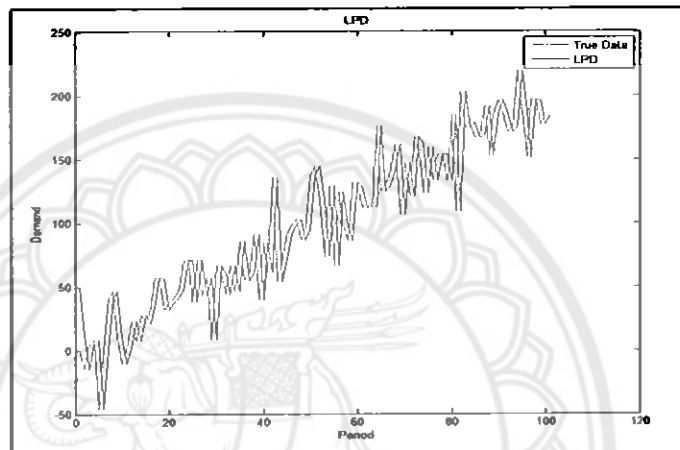


รูปที่ 4.15 ชุดข้อมูลอนุกรมเวลาแบบมีแนวโน้มที่นำมาพยากรณ์

จากข้อมูลในรูปที่ 4.15 ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และมีสัญญาณรบกวน นำข้อมูลชุดนี้ มาหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการพยากรณ์ และวิธีตัวกรองคาลมาน บนซอฟต์แวร์ MATLAB

4.4.1 การพยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม โดยวิธีอุปสงค์ของช่วงเวลาก่อนหน้า (Last Period Demand Method, LPD)

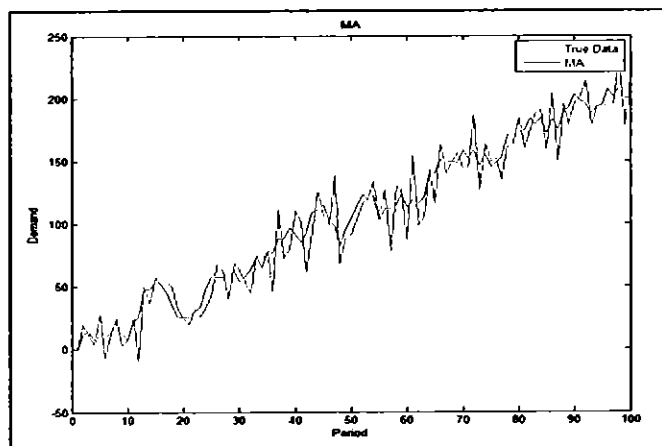
การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี LPD ดังแสดงในสมการที่ 2.7 โดยใช้ค่าปีก่อนหน้า $Y_{LPD} = 50$ ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี LPD

4.4.2 การพยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average Method, MA)

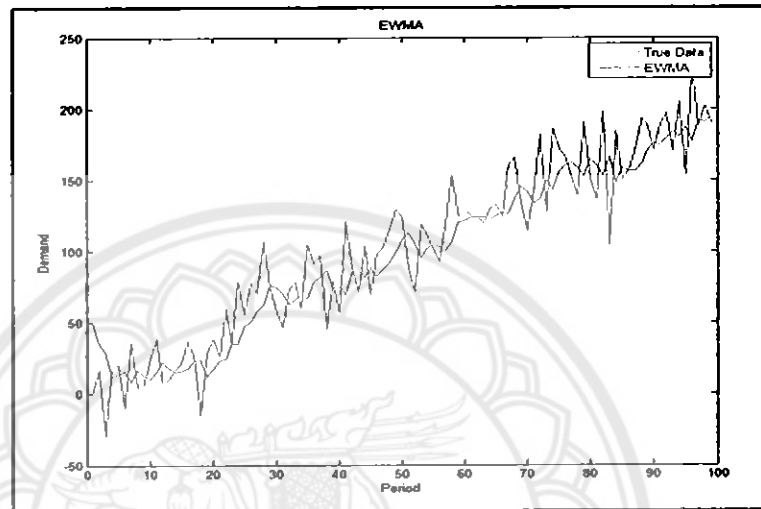
การหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี MA ในที่นี้ได้เลือกใช้ 3 Months Moving Average (ใช้ค่าก่อนหน้า 3 เดือน ในการพยากรณ์) ดังแสดงในสมการที่ 2.8 ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี MA

4.4.3 การพยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม โดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Exponential Weighted Moving Average Method, EWMA)

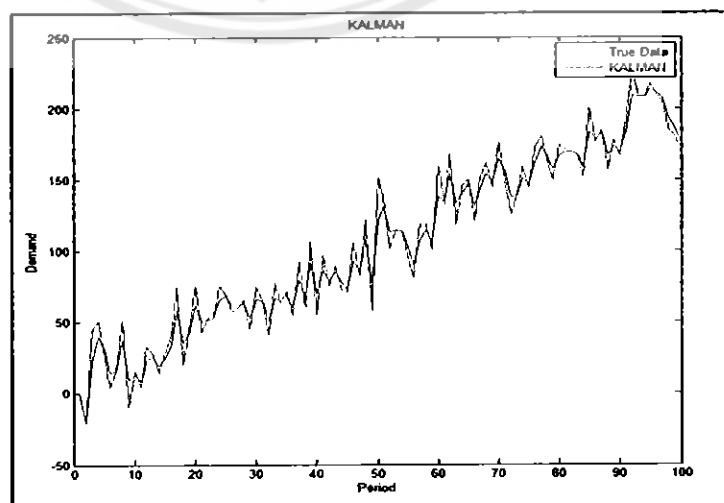
การหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี EWMA ดังแสดงในสมการที่ 2.9 ในที่นี้ กำหนดตัวแปร $\text{Alpha} = 0.3$ ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับวิธี EWMA ค่าพยากรณ์เริ่มต้น $Y_1(1) = 0$ และค่าพยากรณ์เริ่มต้น $Y_{EWMA}(1) = 50$ ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี EWMA

4.4.4 การพยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม โดยใช้วิธีตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter)

การหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีตัวกรองคาลมาน ดังแสดงในสมการที่ 2.4 จะกำหนดตัวแปร $A = 1$ ค่าเริ่มต้น $X_h(1) = 0$, $P(1) = 50$, $Q = 0.9$, $H = 1$ และ $R = 1$ ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีตัวกรองคาลมาน

4.4.6 การเปรียบเทียบความถูกต้องในการพยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม

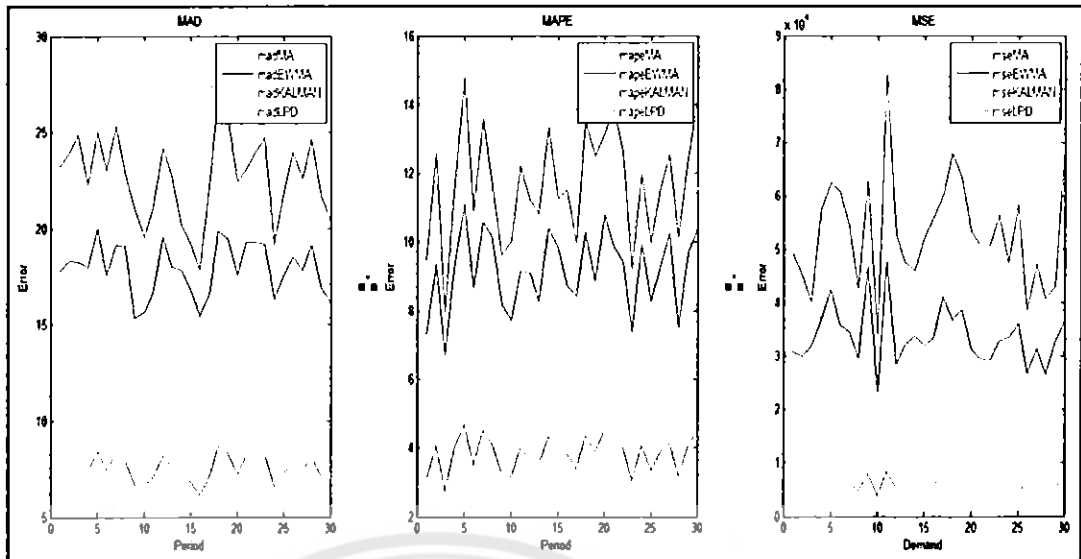
การทดสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่พยากรณ์ได้กับค่าจริง โดยพิจารณาได้จากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด ได้แก่ MAD, MAPE และ MSE จากการทดสอบค่าทั้งหมด 30 ครั้ง ผลที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม

| Trend | MAD | MAPE | MSE |
|------------------------------------------------|-------|-------|----------|
| MA | 18.63 | 9.59 | 33858.88 |
| EWMA, Alpha = 0.3 | 17.96 | 9.19 | 32740.20 |
| LPD | 22.50 | 11.52 | 51581.98 |
| Kalman Filter Q = 0.9, H = 1, R = 10, A = 1 | 7.52 | 3.81 | 5642.17 |

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์แบบแนวโน้มเป็นร้อยละ

| Forecasting Methods | MAD (ร้อยละ) | MAPE (ร้อยละ) | MSE (ร้อยละ) |
|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Kalman Filter น้อยกว่า MA | 40.37 | 39.73 | 16.66 |
| Kalman Filter น้อยกว่า EWMA | 41.87 | 41.46 | 17.23 |
| Kalman Filter น้อยกว่า LPD | 33.42 | 33.07 | 10.94 |

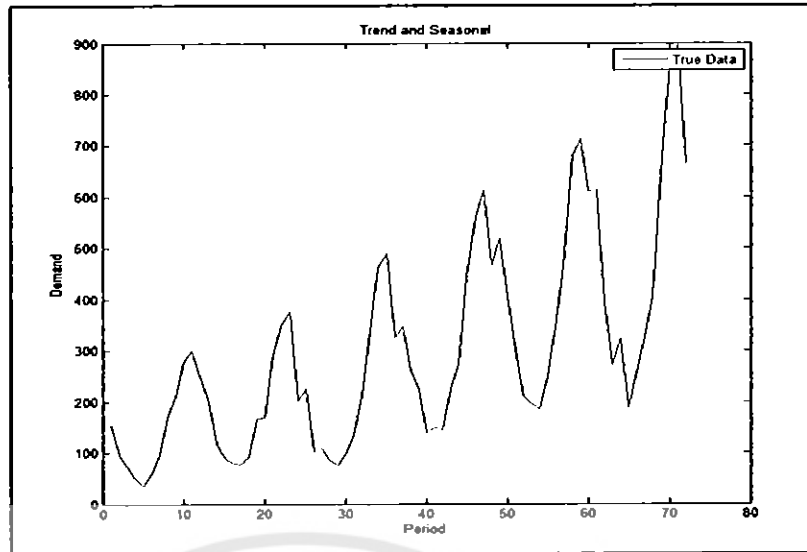


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์แบบแนวโน้ม

จากรูปที่ 4.20 ข้อมูลที่นำมาพยากรณ์ เป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นมาโดยใช้สมการเส้นตรงที่มีความชันและสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม คือ $Y(t) = mx(t) + b + \text{Noise}$ โดยที่มีค่าความชันเท่ากับ 10, จุดตัดแกน x มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 100, ความยาวการสุ่มเท่ากับ 100 และค่าแปรผันเท่ากับ 10 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีตัวกรองคาลมาน ทั้งแบบ MAD, MAPE และ MSE มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีอื่นๆ และการใช้งานตัวกรองคาลมาน เพื่อการพยากรณ์นั้น จะต้องมีการตั้งค่าคงที่ต่างๆ ในตัวกรองคาลมาน ในที่นี้ คือ ค่า Q และค่า R ซึ่งค่าทั้งสองจะมีผลต่อการพยากรณ์ ในสมการที่ใช้ในการพยากรณ์ จะกำหนดขึ้นเองโดยผู้ใช้งาน

4.5 วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบมีแนวโน้ม และมีฤดูกาล (Time Series, Trend and Seasonal)

ข้อมูลชุดนี้เป็นข้อมูลอนุกรมเวลา มีการกระจายตัวแบบปกติ ของ Company X's Sales Data จากหนังสือ Time Series Analysis and Forecasting by Example หน้า 316 กราฟที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.21

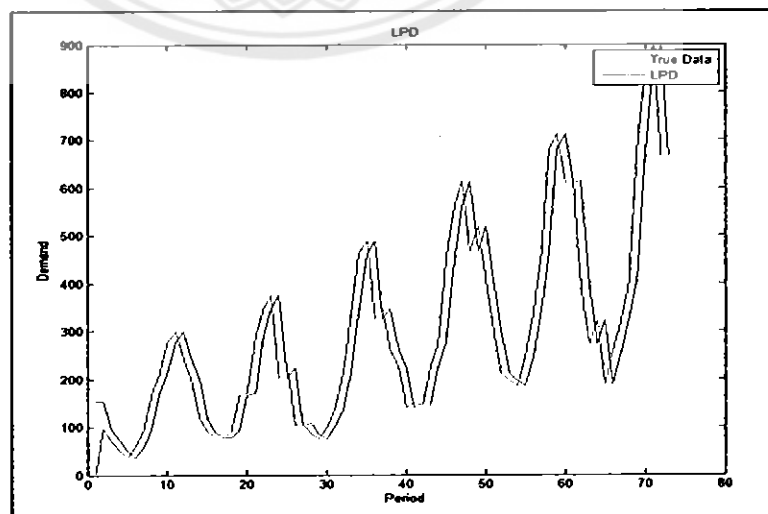


รูปที่ 4.21 ชุดข้อมูลอนุกรมเวลาแบบมีแนวโน้ม และฤดูกาลที่นำมาพยากรณ์

จากข้อมูลในรูปที่ 4.21 ข้อมูลจะเป็นการกระจายตัวแบบปกติ และมีความชัน คือข้อมูลอนุกรมเวลาแบบมีแนวโน้ม และฤดูกาล นำข้อมูลชุดดังกล่าวมาหาค่าพารามิเตอร์ โดยวิธีการพยากรณ์แบบต่างๆ ดังนี้

4.4.1 การพยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม และฤดูกาล โดยใช้วิธีอุปสงค์ของช่วงเวลาก่อนหน้า (Last Period Demand Method, LPD)

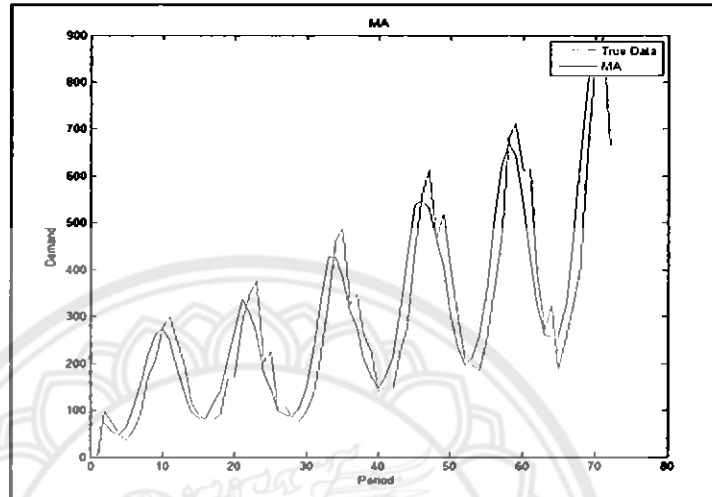
การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี LPD ดังแสดงในสมการที่ 2.7 โดยใช้ค่าความต้องการปีก่อนหน้า $Y_{LPD} = 154$ ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี LPD

4.4.2 การพยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม และฤดูกาล โดยวิธีค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average Method, MA)

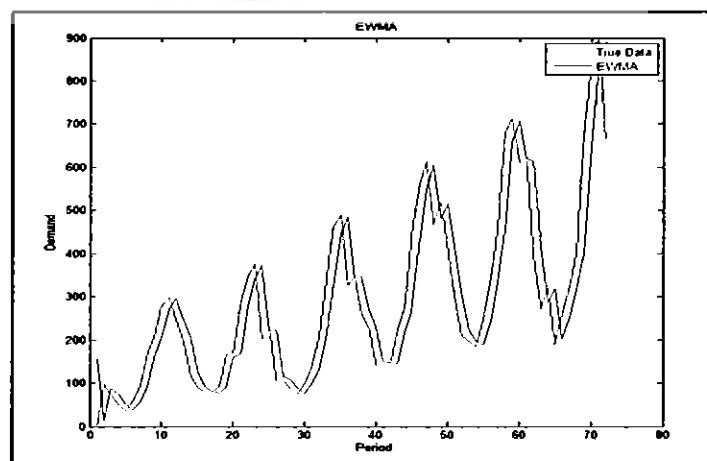
การหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี MA ในที่นี้ได้เลือกใช้ 3 Months Moving Average (ใช้ค่าก่อนหน้า 3 เดือน ในการพยากรณ์) ดังแสดงในสมการที่ 2.8 ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี MA

4.4.3 การพยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม และฤดูกาล โดยจะใช้วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Exponential Weighted Moving Average Method, EWMA)

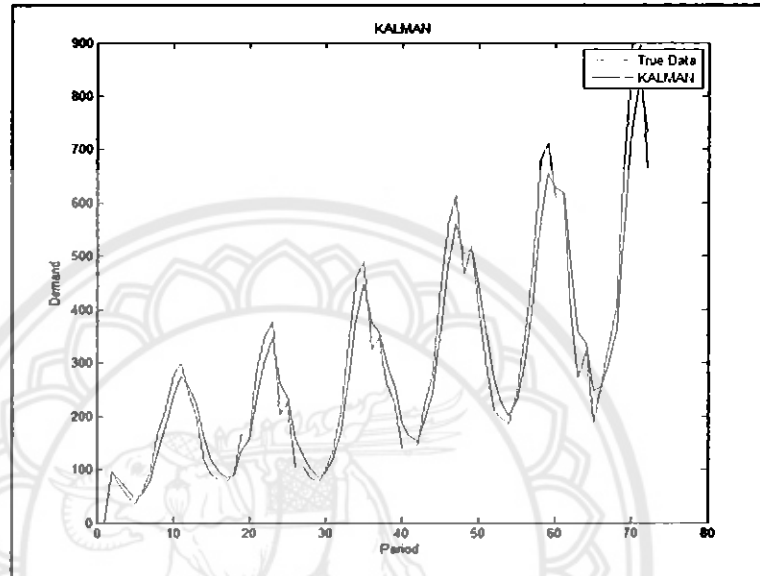
การหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี EWMA ดังแสดงในสมการที่ 2.9 ในที่นี้ กำหนดตัวแปร $\text{Alpha} = 0.9$ ซึ่งเป็นค่าปรับเรียงที่ดีที่สุด ค่าเริ่มต้น $Y(1) = 0$ และค่าพยากรณ์เริ่มต้น $YEWMA(1) = 154$ ผลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธี EWMA

4.4.4 การพยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม และฤดูกาล โดยจะใช้วิธีตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter)

การหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีตัวกรองคาลมาน ดังแสดงในสมการที่ 2.4 ในที่นี้จะต้องกำหนดตัวแปร เมตริกซ์ $A = 1$, ค่าเริ่มต้น $X_h(1) = 0$, $P(1) = 90$, $Q = 0.9$, $H = 1$ และ $R = 1$ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีตัวกรองคาลมาน

4.4.5 การเปรียบเทียบความถูกต้องในการพยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม และฤดูกาล

การทดสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่าที่พยากรณ์ได้กับค่าจริง โดยพิจารณาได้จากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด ได้แก่ MAD, MAPE และ MSE จากการทดสอบค่าทั้งหมด 30 ครั้ง ผลที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม และฤดูกาล

| Trend and Seasonal | MAD | MAPE | MSE |
|-----------------------------------------------|-------|-------|----------|
| MA | 18.63 | 9.59 | 33858.88 |
| EWMA, Alpha = 0.9 | 20.03 | 9.20 | 47655.61 |
| LPD | 24.02 | 11.35 | 61759.45 |
| Kalman Filter Q = 0.9, H = 1, R = 1, A = 1 | 7.53 | 3.81 | 5642.17 |

ตารางที่ 4.8 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์แบบแนวโน้ม และแบบฤดูกาลเป็นร้อยละ

| Forecasting Methods | MAD (ร้อยละ) | MAPE (ร้อยละ) | MSE (ร้อยละ) |
|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Kalman Filter น้อยกว่า MA | 24.32 | 39.73 | 16.66 |
| Kalman Filter น้อยกว่า EWMA | 37.59 | 41.41 | 11.84 |
| Kalman Filter น้อยกว่า LPD | 31.35 | 33.57 | 9.14 |

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีตัวกรองคาลมาน แบบ MAD, MAPE และ MSE มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีพยากรณ์แบบอื่นๆ แสดงว่าวิธีตัวกรองคาลมานพยากรณ์ค่าได้ดีที่สุดในชุดข้อมูลอนุกรมเวลาแบบมีแนวโน้ม และฤดูกาลที่นำมาพยากรณ์ ในการใช้งานตัวกรองคาลมาน เพื่อการพยากรณ์นั้น จะต้องมีการตั้งค่าคงที่ต่างๆ ในตัวกรองคาลมาน ในที่นี้ คือ ค่า Q และ R ซึ่งค่าทั้งสองจะมีผลต่อการพยากรณ์ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรนั้นๆ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินโครงการนี้ เป้าหมายของการดำเนินโครงการงาน คือ ศึกษาตัวกรองคาลมาน และประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมอุตสาหการ ซึ่งผู้ดำเนินโครงการงาน สามารถสรุปผลการดำเนินโครงการงานได้ ดังนี้

5.1 บทสรุป

จากการดำเนินโครงการงานในครั้งนี้ ทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ สำหรับการพยากรณ์ความต้องการสินค้าของลูกค้า ระหว่างการใช้วิธีตัวกรองคาลมาน เปรียบเทียบกับวิธีพยากรณ์แบบอุปสงค์ของช่วงเวลาก่อนหน้า, วิธีค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่, วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก และวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการจัดการสินค้าคงคลังได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ โดยหาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยสุดของการพยากรณ์ โดยใช้ค่า MAD, MAPE และ MSE ในการหาวิธีพยากรณ์ และค่าที่ดี ที่ยอมรับได้

ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยสุดของการพยากรณ์ ตัวกรองคาลมาน เป็นวิธีพยากรณ์ที่ดีที่สุด เพราะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการพยากรณ์แบบอื่นๆ โดยสามารถแสดงค่าเป็นร้อยละได้ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์เป็นร้อยละ

| Time Series | Forecasting Methods | MAD (ร้อยละ) | MAPE (ร้อยละ) | MSE (ร้อยละ) |
|-------------|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Level | Kalman Filter น้อยกว่า MA | 69.25 | 73.44 | 48.85 |
| | Kalman Filter น้อยกว่า EWMA | 78.02 | 77.17 | 59.56 |
| | Kalman Filter น้อยกว่า LPD | 69.25 | 55.91 | 31.22 |
| Trend | Kalman Filter น้อยกว่า MA | 40.37 | 39.73 | 16.66 |
| | Kalman Filter น้อยกว่า EWMA | 41.87 | 41.46 | 17.23 |
| | Kalman Filter น้อยกว่า LPD | 33.42 | 33.07 | 10.94 |

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการพยากรณ์เป็นร้อยละ

| Time Series | Forecasting Methods | MAD (ร้อยละ) | MAPE (ร้อยละ) | MSE (ร้อยละ) |
|--------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Trend and Seasonal | Kalman Filter น้อยกว่า MA | 24.32 | 39.73 | 16.66 |
| | Kalman Filter น้อยกว่า EWMA | 37.59 | 41.41 | 11.84 |
| | Kalman Filter น้อยกว่า LPD | 31.35 | 33.57 | 9.14 |

5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงการ

ในการใช้งานตัวกรองคาลมานเพื่อการพยากรณ์นั้น จะต้องมีการตั้งค่าคงที่ต่างๆ ในตัวกรองคาลมาน ในที่นี้ คือ ค่า Q และ R ซึ่งค่าทั้งสองจะมีผลกระทบต่อความถูกต้องของการพยากรณ์

ค่าเริ่มต้น และค่าตัวแปรที่เป็นค่าคงที่ต่างๆ ในสมการที่ใช้ในการพยากรณ์ จะกำหนดขึ้นเองโดยผู้ใช้งาน ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อการพยากรณ์ เพื่อให้การพยากรณ์มีความถูกต้อง และแม่นยำมากขึ้น จึงควรมีการศึกษาถึงผลกระทบของค่าเริ่มต้น และค่าคงที่ต่างๆ เหล่านี้ ที่มีผลต่อการพยากรณ์

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาสิ่งสำคัญ จะต้องพิจารณาเลือกรูปแบบของการพยากรณ์ให้สอดคล้องกับลักษณะของข้อมูล เพื่อผลการพยากรณ์ที่แม่นยำ และมีประสิทธิภาพ

5.3.2 ในการดำเนินโครงการ ใช้วิธีตัวกรองคาลมานเปรียบเทียบกับวิธีพยากรณ์แบบอุปสงค์ของช่วงเวลาก่อนหน้า, วิธีค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่, วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก และวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ในการพยากรณ์นั้น ยังมีวิธีอื่น ที่สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ และใช้ในโครงการได้ ในที่นี้ ผู้ดำเนินโครงการได้เสนอแนะวิธีการปรับเรียบด้วยเอ็กซ์โพเนนเชียลสองชั้น (Double Exponential Smoothing) ซึ่งเป็นวิธีการปรับเรียบโดยนำค่าของการพยากรณ์มาปรับเรียบซ้ำอีกครั้ง เพื่อลดปัจจัยที่ทำให้ค่าพยากรณ์เกิดความคลาดเคลื่อน โดยมีสมการดังนี้

$$Y_t = \alpha Y_{t-1} + (1 - \alpha) Y_{t-1} \quad (5.1)$$

$$\hat{Y}_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha) \hat{Y}_{t-1} \quad (5.2)$$

โดยที่

Y_t คือ ค่าพยากรณ์จากวิธีการปรับเรียบด้วยเอ็กซ์โพเนนเชียลหนึ่งชั้น

Y_{t-1} คือ ค่าจริง ณ เวลาที่ t

\hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์จากการปรับเรียบด้วยเอ็กซ์โพเนนเชียลสองชั้น

เอกสารอ้างอิง

พรชัย ทรัพย์นิธิ. (2547). คู่มือการใช้โปรแกรม MATLAB.

มุกดา มั่นมิตร. (2549). อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. กรุงเทพมหานคร: โฟร์พรีนติ้ง จำกัด
วิทยา สุธฤตดำรง. (2545). การจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Management).

Andrew C. Harvet. (2533). Forecasting, Structural Time Series Models and the
Kalman Filter.

Mohinder S. Grewal, Angus P. Andrews. (2001). Kalman Filtering Theory and
Practice Using MATLAB.

Katharina Amann. (2012). An Approach of Forecasting Customer Demand with the
Discrete Kalman Filter for the Calculation of Lot Size.

Soren Bisgaard and Murat Kulahci. (2011). Time Series Analysis and Forecasting by
Example.

สืบค้นเมื่อ 6 กรกฎาคม 2556, จาก

<http://cs.brown.edu/stc/education/course/Kalman-Filters/kalman.html>.

สืบค้นเมื่อ 9 กรกฎาคม 2556, จาก

<http://oakovermars.exteen.com/20110121/enterprise-systems-erp-supplychains-crm-and-km>

สืบค้นเมื่อ 9 กรกฎาคม 2556, จาก

<http://www.obgyn.cam.ac.uk/camonly/statsbook/sttimser.html>

สืบค้นเมื่อ 12 กรกฎาคม 2556, จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Kalman_filter

สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2556, จาก

<http://teacher.aru.ac.th/waraporn/images/stories/stabu/lesson10.pdf>

สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2556, จาก

www.oocities.org/goodyuta/time02.doc

สืบค้นเมื่อ 16 พฤศจิกายน 2556, จาก

www.mathworks.com/products/.../description6.html

สืบค้นเมื่อ 6 ธันวาคม 2556, จาก

www.teacher.aru.ac.th/waraporn/images/stories/stabu/lesson10.pdf



ภาคผนวก ก
โครงการเขียนโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

อธิบายโค้ดการเขียนโปรแกรม

1. ฟังก์ชันสำหรับสร้างชุดข้อมูล

$$Y1 = 50 + 10 * Y(i)$$

ฟังก์ชันนี้จะใช้สร้างชุดข้อมูลที่เป็นแบบระดับโดยที่ไม่มีค่าความชันเข้ามาเกี่ยวข้อง

$$Y1 = 2 * DD + 20 * HHJ$$

โดยที่ HHJ = randn(1,100) และ DD = 1:1:100

ฟังก์ชันนี้จะใช้สร้างชุดข้อมูลที่เป็นแบบระดับโดยที่มีค่าความชันเข้ามาเกี่ยวข้อง

2. โค้ดโปรแกรมสมการตัวกรองคาลมาน

$$\begin{aligned}x_m(k) &= A * x_h(k-1) \\ p_m(k) &= A * p(k-1) * (a') + Q \\ k_k(k) &= (p_m(k) * h') * \text{inv}((h * p_m(k) * h' + R)) \\ x_h(k) &= x_m(k) + k_k(k) * (z(k) - h * x_m(k)) \\ P(k) &= (1 - k_k(k) * h) * p_m(k)\end{aligned}$$

โดยที่ R และ Q เป็นค่าที่สามารถปรับได้ เป็นความแปรปรวนร่วม ที่ได้จากการประมวลผลของการวัดก่อนหน้า ใช้หาค่าความผิดพลาดได้จริงจากกระบวนการวัด โดยการคำนวณ ซึ่งทำได้ยากมาก จึงต้องมีการประมาณค่า เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของแบบจำลอง

3. โค้ดโปรแกรมสมการ EWMA

$$YEWMA(i) = \text{Alpha} * Y1(i-1) + (1-\text{Alpha}) * YEWMA(i-1)$$

ค่า Alpha คือค่าปรับเรียบข้อมูล สามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์มีค่าที่ดีที่สุด โดยที่ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

4. โค้ดโปรแกรมสมการ LPD

$$YLPD(i+1) = Y1(i)$$

5. โค้ดโปรแกรมสมการ MA

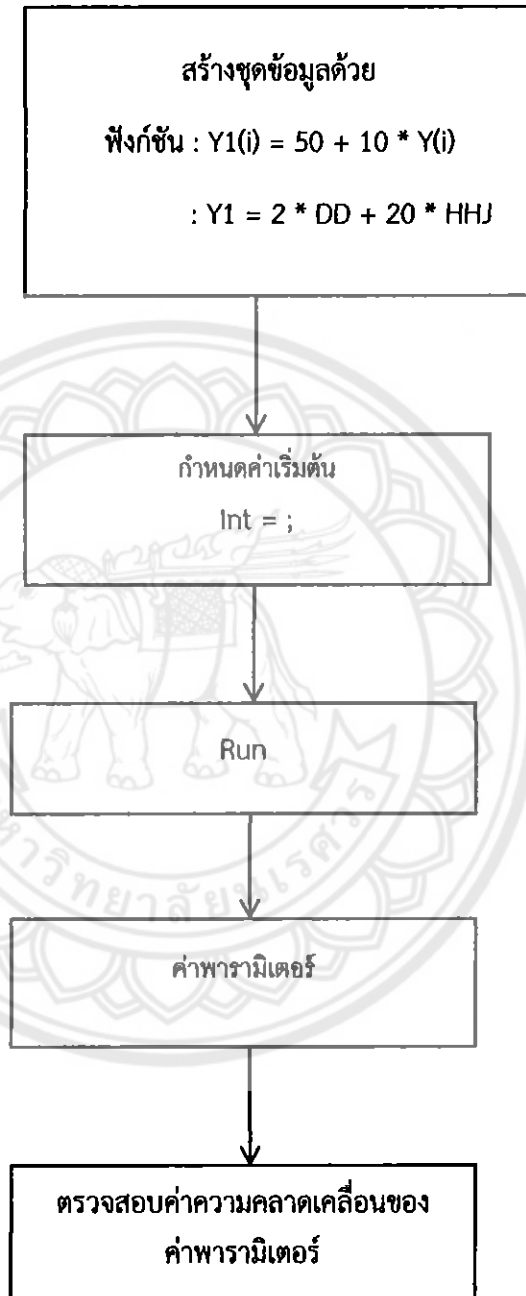
$$Y_{sum} = y_{sum} + Y_1(i-j)$$

$$YMA(i-n) = \text{round}(y_{sum}/n)$$

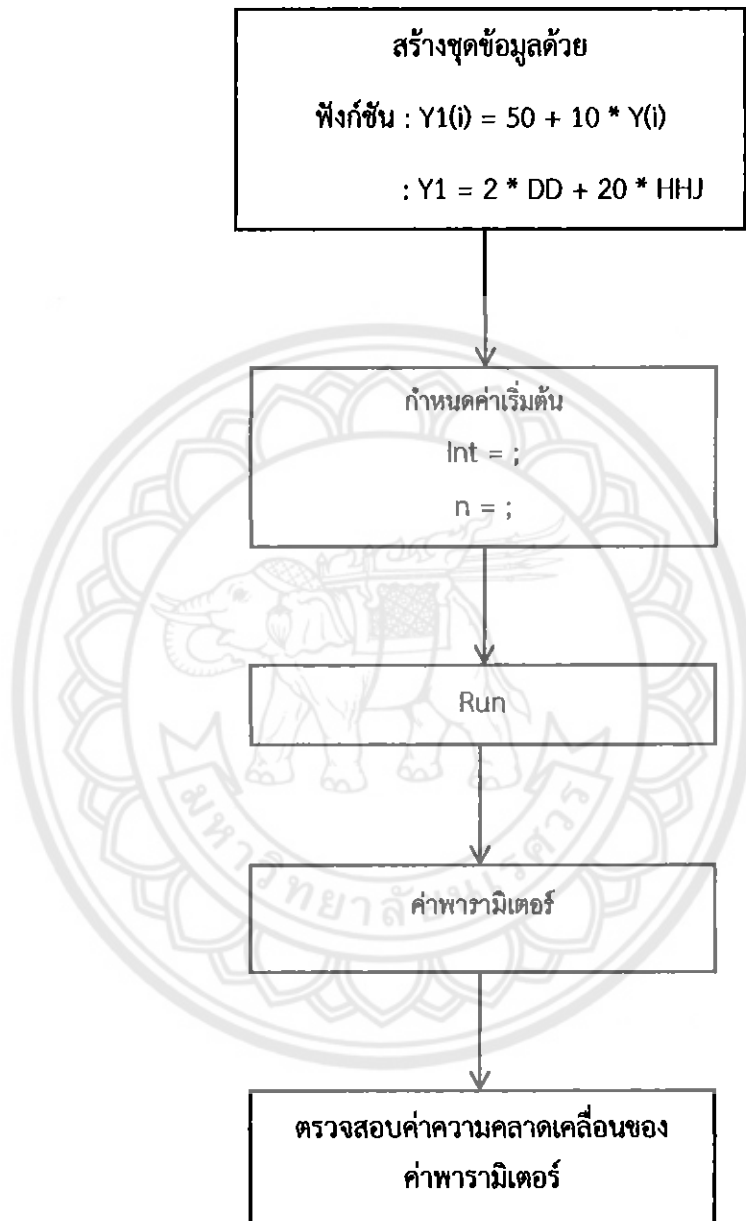
โดยที่ n คือ จำนวนเดือนก่อนหน้าที่เราต้องการหาค่าพารามิเตอร์



ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีพยากรณ์แบบ LPD

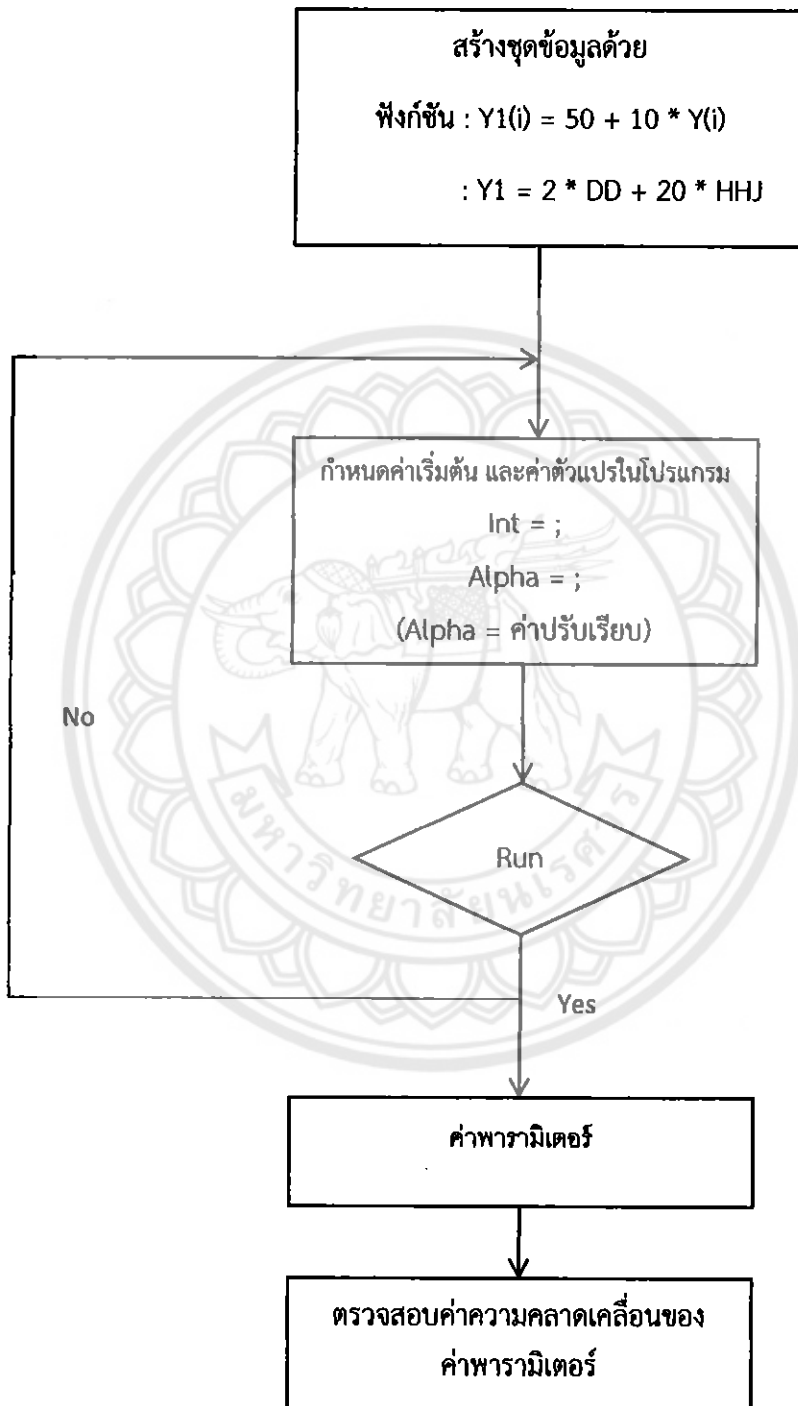


ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีพยากรณ์แบบ MA



ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีพยากรณ์แบบ EWMA

กำหนดค่าตัวแปร
Alpha ใหม่ เพื่อ
หาค่าปรับเรียบที่ดี
ที่สุดสำหรับชุด
ข้อมูลที่นำมาหา
ค่าพารามิเตอร์



ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีตัวกรองคาลมานบนซอฟต์แวร์ MATLAB

กำหนดค่าตัวแปร
Q และ R ใหม่ เพื่อ
ปรับค่าพารามิเตอร์

