# การวางแผนกำลังการผลิตสำหรับกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง

นายสมโภช ศรีเกื้อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# CAPACITY PLANNING FOR CONTINUOUS PROCESS

Mr. Sompoch Srigue

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การวางแผนกำลังการผลิตสำหรับกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง |
| โดย | นายสมโภช ศรีเกื้อ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดาริชา สุธีวงศ์)

……กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑา พิชิตลำเค็ญ)

สมโภช ศรีเกื้อ : การวางแผนกำลังการผลิตสำหรับกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง. (CAPACITY PLANNING FOR CONTINUOUS PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ, 222 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวางแผนกำลังการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการ ให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำที่สุด ในปัจจุบันพบว่าบริษัทไม่มีวิธีการพยากรณ์ความต้องการที่ถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งส่งผลต่อการวางแผนกำลังการผลิต ดังนั้นจำเป็นต้องหาแนวทางในการพยากรณ์ความต้องการเพื่อนำค่าที่ได้จากการพยากรณ์มาใช้ในการวางแผนกำลังการผลิต ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับความต้องการ โดยขั้นตอนในการวิจัยได้นำข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ในอดีตปี 2002-2007 มาวิเคราะห์หาวิธีการพยากรณ์ความต้องการที่เหมาะสม จากนั้นทำการพยากรณ์ความต้องการในอนาคตปี 2008 และนำค่าพยากรณ์ที่ได้ไปวางแผนกำลังการผลิต โดยในการวางแผนกำลังการผลิตจะสร้างแนวทางตามเงื่อนไขที่บริษัทกำหนด ซึ่งเลือกแนวทางที่ให้ค่าต้นทุนต่ำที่สุดนำไปประยุกต์ใช้

ผลจากการวิจัยพบว่า การพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์จากข้อมูลในอดีตโดยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ ให้ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ต่ำที่สุดโดยมีค่า MAD = 77.29, RMSE=126.07 และ MAPE= 2.71 ซึ่งได้นำวิธีการพยากรณ์นี้ไปใช้ในการพยากรณ์ความต้องการในปี 2008 และนำไปวางแผนกำลังการผลิตตามแนวทางต่างๆ ซึ่งการหากำลังการผลิตจากแนวทางและเงื่อนไขที่กำหนดโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง พบว่าแนวทางในการเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยการควบคุมกำลังการผลิตให้เป็นอิสระต่อกัน และให้ระดับคงคลังอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดเป็นแนวทางที่ให้ต้นทุนต่ำ และรายได้จากความร้อนที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตสูงกว่าวิธีการอื่น จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมและนำแนวทางนี้มาใช้ในการวางแผนกำลังการผลิต เมื่อทำการเปรียบเทียบแผนการผลิตจากงานวิจัยและค่าการผลิตจริงของปี 2008 พบว่าสามารถลดต้นทุนลงได้ 27.34 บาท/ตัน เมื่อพิจารณากำไรกรณีคิดรายได้จากความร้อนที่เกิดจากกระบวนการพบว่ากำไรเพิ่มขึ้น 92.67 บาท/ตัน ซึ่งแนวทางจากงานวิจัยนำมาประยุกต์ใช้วางแผนกำลังการผลิตจริงในปี 2009

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2551 .....

## 5071450821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : CAPACITY PLANNING/ CONTINUOUS PROCESS / FORECAST

SOMPOCH SRIGUE: CAPACITY PLANNING FOR CONTINUOUS PROCESS. ADVISOR : ASST. PROF. WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, Ph.D., 222 pp.

This research focuses on the capacity planning for formaldehyde product under uncertain demand. The objective is to minimize cost per unit of production. Currently, the company does not have a forecast procedure, which affects capacity planning process. Therefore, a forecast model and capacity plan are developed under uncertain demand to minimize cost per unit of production. A research methodology gathers formaldehyde demand data between 2002 to 2007, analyzes data and forecasts 2008 demand. A capacity plan is developed based upon the forecasted demand and company conditions, then the plan with the minimize cost per unit of production is chosen to be applied.

The results show that the best forecast model is Winter's exponential smoothing Method with forecast errors MAD = 77.29, RMSE = 126.07 and MAPE = 2.71. This method is used to forecast 2008 demand. Options for capacity plan are developed based upon a company policy. Linear programming models are developed to search for the optimal capacity plan for each option. The best capacity planning approach is to operate the process three months consecutively with independent capacity levels in each month. This approach provides the minimum cost and maximum profit per unit of production. Comparing the plan from research with the current operation in 2008, we found that the cost per unit is reduced by 27.34 baht/ton and the profit per unit is increased by 92.67 baht/ton. The approach from research will be applied for capacity planning in 2009.

Department : Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2008

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดาริชา สุธีวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑา พิชิตลำเค็ญ กรรมการสอบ และอาจารย์อังศุมาลิน เสนจันทร์ตมิไชย ที่กรุณาให้คำแนะนำข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านผู้ประสาทวิชาแก่ผู้วิจัยให้ได้รับความรู้และมีความสามารถในการศึกษาและขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้ทุกสิ่งทุกอย่างแก่ผู้วิจัย ทั้งกำลังใจตลอดการศึกษา จนสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฒ

**บทที่ 1 บทนำ**..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 สภาพอุตสาหกรรมและลักษณะปัญหา..... 1

1.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์..... 1

1.2.2 สภาพอุตสาหกรรมและแนวโน้มด้านการผลิต..... 3

1.2.3 ลักษณะปัญหา..... 6

1.3 วัตถุประสงค์..... 8

1.4 ขอบเขตการศึกษา..... 8

1.5 แนวทางการศึกษา..... 8

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 8

1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย..... 9

**บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**..... 10

2.1 ทฤษฎี..... 10

2.1.1 การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research)..... 10

2.1.2 การวางแผนการผลิต (Production Planning)..... 17

2.1.3 การวางแผนกำลังการผลิต (Capacity Planning)..... 19

2.1.4 การบริหารพัสดุคงคลัง (Inventory Management)..... 21

2.1.5 การพยากรณ์ (Forecasting)..... 23

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 43

หน้า

**บทที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและขั้นตอนการวิจัย**…….. 49

3.1 กระบวนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์……... 49

3.2 ผลิตภัณฑ์และการประยุกต์ใช้งาน…… 53

3.3 การจัดการสินค้าคงคลัง ……... 55

3.4 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต……..…….. 56

3.5 ไอน้ำที่เกิดจากกระบวนการผลิต……..…….. 65

3.6 ขั้นตอนการวิจัย……. 66

**บทที่ 4 การพยากรณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์**…….. 67

4.1 ข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007…….. 67

4.2 การพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์……. 69

4.2.1. การพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาความต้องการจำนวน 72 ข้อมูล…… 69

4.2.1.1 การพยากรณ์โดยใช้การเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย

(Simple Moving Average)…… 69

4.2.1.2 การพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน

(Decomposition Method)…….. 73

4.2.1.3 การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย

(Single Exponential Smoothing Method)…….. 82

4.2.1.4 การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (winter)….. 86

4.2.1.5 การพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย……. 94

4.2.2 การพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาความต้องการจำนวน 36 ข้อมูล……. 102

4.2.2.1 การพยากรณ์โดยใช้การเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย

(Simple Moving Average) กรณี 36 ข้อมูล……. 103

4.2.2.2 การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย

(Single Exponential Smoothing Method) กรณี 36 ข้อมูล…….. 106

4.2.2.3 การพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย (Regression) กรณี 36 ข้อมูล……... 109

4.2.2.4 การพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วยวิธีของบอกซ์ เจนคินส์ (Box-Jenkins)… 115

4.3 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์……..…….. 121

หน้า

**บทที่ 5 การวางแผนกำลังการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์**..... 123

5.1 การวางแผนกำลังการผลิต..... 124

5.1.1. เดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากัน..... 135

5.1.1.1 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 มากกว่าระดับสำรองคลัง และน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้..... 135

5.1.1.2 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 เท่ากับระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้..... 142

5.1.2 เดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน..... 148

5.1.2.1 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 มากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้..... 148

5.1.2.2 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 เท่ากับระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้... 154

5.1.3 วิเคราะห์ผลการวางแผนกำลังการผลิต..... 160

5.2 เปรียบเทียบผลการวางแผนกำลังการผลิตกับการผลิตจริงปี 2008..... 164

5.3 แผนกำลังการผลิตปี 2009..... 167

5.3.1 การพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2009..... 167

5.3.2 แผนกำลังการผลิต 2009..... 168

5.4 สรุปขั้นตอนในการวางแผนกำลังการผลิต..... 171

**บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**..... 175

6.1 สรุปผลการวิจัย..... 175

6.2 ข้อเสนอแนะ..... 176

รายการอ้างอิง..... 178

ภาคผนวก..... 182

ภาคผนวก ก. ข้อมูลดิบที่ใช้ในงานวิจัย..... 183

ภาคผนวก ข. การพิจารณาส่วนประกอบของอนุกรมเวลา..... 200

ภาคผนวก ค. รายละเอียดการคำนวณ..... 210

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 222

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าในการผลิตต่อหน่วยที่อัตรากำลังการผลิต 75%, 88.5%, 100%…….. | 7 |
| 1.2 | ค่าเฉลี่ยต้นทุนไฟฟ้าในการผลิตต่อหน่วยที่อัตรากำลังการผลิต 75%, 88.5%, 100%…….. | 7 |
| 2.1 | ลักษณะ $\rho_K$ และ $\rho_{KK}$ สำหรับตัวแบบ ARMA(p,q)……..…. | 39 |
| 3.1 | ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเริ่มเดินเครื่องฟอร์มาลดีไฮด์ …… | 57 |
| 3.2 | ข้อมูลค่าเฉลี่ยไฟฟ้าต่อหน่วยที่กำลังการผลิตต่าง ๆ ของสายการผลิตที่ 1…….. | 58 |
| 3.3 | ข้อมูลค่าเฉลี่ยไฟฟ้าต่อหน่วยที่กำลังการผลิตต่าง ๆ ของสายการผลิตที่ 2…….. | 59 |
| 4.1 | ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% ปี 2002-2007 รายเดือน……..…... | 67 |
| 4.2 | ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้จากวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย…. | 70 |
| 4.3 | ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่ายที่ K=5…….....…… | 72 |
| 4.4 | ผลการคำนวณค่าดัชนีฤดูกาล…..…….. | 74 |
| 4.5 | ดัชนีฤดูกาล…….....…….. | 75 |
| 4.6 | ความต้องการต่อปีในปี 2002 – 2007 …….. | 75 |
| 4.7 | ค่าพยากรณ์ความต้องการโดยใช้สมการแนวโน้ม…..……... | 76 |
| 4.8 | ค่าพยากรณ์ความต้องการปี 2002-2007 โดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน (ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม)…… | 77 |
| 4.9 | ข้อมูลการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน (ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม)…….....……... | 79 |
| 4.10 | ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน (ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม)…….... | 81 |
| 4.11 | ค่าพยากรณ์ความต้องการปี 2002-2007 โดยการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย…….....…..……. | 83 |
| 4.12 | ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPEในการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย…… | 85 |

ตารางที่ หน้า


4.13 ค่าต่างๆ ที่ได้จากวิธีการพยากรณ์โดยใช้การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter)……..... 90

4.14 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์ โดยใช้การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (winter)…….. 92

4.15 การกำหนดค่าเมตริกซ์เพื่อหาค่าคงที่ในสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย…….. 95

4.16 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้การใช้วิธีการถดถอย…… 99

4.17 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยใช้วิธีการถดถอย……..…….. 101

4.18 ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% ปี 2005 -2007 ที่นำมาใช้เป็นข้อมูลในการพยากรณ์ความต้องการจำนวน 36 ข้อมูล……... 102

4.19 ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์จากวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (กรณี36 ข้อมูล)……... 104

4.20 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ใน การพยากรณ์โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่ายกรณี 36 ข้อมูล ที่ K=5 ….....…… 105

4.21 ค่าพยากรณ์ความต้องการปี 2005-2007 โดยการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (กรณี 36 ข้อมูล)…….....……... 107

4.22 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPEในการพยากรณ์ด้วยการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (กรณี 36 ข้อมูล)……. 108

4.23 การกำหนดค่าเมตริกซ์เพื่อหาค่าคงที่ในสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย (กรณี 36 ข้อมูล)…….. 110

4.24 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้การใช้วิธีการถดถอย (กรณี 36 ข้อมูล)……. 113

4.25 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยใช้วิธีการถดถอย (กรณี 36 ข้อมูล)…….....……... 114

4.26 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้การใช้วิธี Box-Jenkins (ARMA(1,1))……. 119

4.27 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยใช้วิธี Box-Jenkins (ARMA(1,1))…….....……... 120

4.28 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPEของการพยากรณ์แต่ละวิธี…….....…….. 121

ตารางที่ หน้า


4.29 ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008 ที่นำไปใช้ในการวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งได้จากการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์…….…….....…… 122

5.1 ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008……. 123

5.2 ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอด……. 138

5.3 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอด…….....……. 139

5.4 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอด…….. 140

5.5 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกับรายได้จาก Steam กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอด……. 141

5.6 ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอดและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 สูงสุด …….. 144

5.7 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอดและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด …….. 145

5.8 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอดและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด …… 146

5.9 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกับรายได้จาก Steam กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอดและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด …….. 147

5.10 ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน…….. 150

5.11 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน……... 151

5.12 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน…… 152

ตารางที่ หน้า


5.13 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกับรายได้จาก Steam กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน..... 153

5.14 ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 สูงสุด..... 156

5.15 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด..... 157

5.16 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด..... 158

5.17 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกับรายได้จาก Steam กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด..... 159

5.18 เปรียบเทียบผลจากการวางแผนกำลังการผลิตกรณีพิจารณาเฉพาะต้นทุน..... 160

5.19 เปรียบเทียบผลจากการวางแผนกำลังการผลิตกรณีพิจารณาต้นทุนและรายได้..... 161

5.20 แผนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008..... 163

5.21 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวางแผนกำลังการผลิตจากงานวิจัยกับการผลิตจริง ปี 2008..... 164

5.22 ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2009..... 167

5.23 แผนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2009..... 170

ก.1 การผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่การเดินเครื่อง 75%..... 183

ก.2 การผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่การเดินเครื่อง 88.5 %..... 184

ก.3 การผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่การเดินเครื่อง 100 % ..... 184

ก.4 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่กำลังการผลิตต่างกันของสายการผลิตที่ 1..... 185

ก.5 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่กำลังการผลิตต่างกันของสายการผลิตที่ 2..... 186

ก.6 ค่าใช้จ่ายของการซ่อมบำรุงปี 2008..... 187

ก.7 ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สำหรับการสร้างสมการปี 2008..... 187

ก.8 ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ สินค้าคงคลัง และคำนวณความต้องการของฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007..... 189

| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ก.9 | ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ สินค้าคงคลัง และคำนวณความต้องการของฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008……. | 191 |
| ก.10 | ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตปี 2008……...……. | 192 |
| ก.11 | สรุปข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008 กรณีพิจารณาความร้อนที่ใช้จริงอัตรา 1.5 ตันต่อชั่วโมง……... | 198 |
| ก.12 | สรุปต้นทุนจริงในการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008 (กรณีพิจารณาความร้อนที่ใช้งานจริงอัตรา 1.5 ตันต่อชั่วโมง)……... | 198 |
| ก.13 | สรุปต้นทุนและรายได้จริงในการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008 (กรณีพิจารณาความร้อนที่ใช้งานจริงอัตรา 1.5 ตันต่อชั่วโมง)……...… | 199 |
| ข.1 | การหาค่า V (จำนวนผลต่างครั้งที่หนึ่งของ $Y_i - Y_{i-1}$ ของอนุกรมที่เป็นบวก ….. | 204 |
| ข.2 | ค่าต่างๆ ที่ใช้ทดสอบความผันแปรตามฤดูกาล……... | 206 |
| ข.3 | ค่าผลรวมของอันดับข้อมูลในฤดูกาลที่ i……. | 208 |
| ค.1 | ค่าต่างๆ ที่ได้จากวิธีการพยากรณ์โดยใช้การทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter) เพิ่มเติมปี 2008…… | 214 |
| ค.2 | ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน(ปี 2009)… | 215 |
| ค.3 | คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน (ปี 2009)…… | 216 |
| ค.4 | คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน โดยให้ค่าดอกเบี้ยในการเก็บรักษาเท่ากับ 10%…… | 217 |
| ค.5 | ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 4 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน……. | 218 |
| ค.6 | คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 4 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน……... | 219 |
| ค.7 | ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกรณีเดินเครื่องจักร 4 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน…… | 220 |
| ค.8 | ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกับรายได้จาก Steam กรณีเดินเครื่องจักร 4 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน ……... | 221 |

# สารบัญภาพ


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | กระบวนการผลิตและจัดเก็บฟอร์มาลดีไฮด์…… | 2 |
| 1.2 | ปริมาณการผลิต Formaldehyde ปี 2002 – 2007…… | 3 |
| 1.3 | ปริมาณการผลิต Formaldehyde ความเข้มข้น50% รายเดือนปี 2007…….... | 4 |
| 1.4 | ปริมาณการผลิต Urea Formaldehyde Resin ปี 2002 – 2007……... | 5 |
| 1.5 | ปริมาณการผลิต Urea Formaldehyde Resin ปี 2007 แยกรายเดือน…….. | 5 |
| 1.6 | กราฟพลังงานไฟฟ้าในการผลิตต่อหน่วยที่อัตรากำลังการผลิต 75%, 88.5%, 100%... | 6 |
| 2.1 | การพยากรณ์เชิงปริมาณและการพยากรณ์เชิงคุณภาพ……. | 24 |
| 2.2 | The supply chain process…….. | 43 |
| 3.1 | แยกส่วนหลักของกระบวนการผลิตและจัดเก็บฟอร์มาลดีไฮด์……..……. | 49 |
| 3.2 | ขั้นตอนการผสมและจัดเก็บ…….…… | 51 |
| 3.3 | ถังเก็บผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์และความจุ…….……. | 52 |
| 3.4 | การใช้งานฟอร์มาลดีไฮด์ในอุตสาหกรรมต่างๆ…….…….. | 54 |
| 3.5 | ถังเก็บผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์สำเร็จรูปพร้อมระบุระดับปริมาณสำรองคลัง……..… | 55 |
| 3.6 | ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยที่กำลังการผลิตต่างกันของ สายการผลิตที่ 1…….…….... | 58 |
| 3.7 | ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยที่กำลังการผลิตต่างกันของ สายการผลิตที่ 2…….…….... | 59 |
| 3.8 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิตต่างกัน... | 61 |
| 3.9 | ไอน้ำที่ออกจากกระบวนการผลิตและการใช้งาน…….…… | 65 |
| 3.10 | ขั้นตอนการวิจัย…….……... | 66 |
| 4.1 | ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% รายเดือนใน ปี 2002-2007……..…… | 68 |
| 4.2 | แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จาก การพยากรณ์โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่ายที่ K=5…….……...….. | 72 |
| 4.3 | กราฟแสดงความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% ปี 2002-2007 รายเดือน…….……. | 74 |
| 4.4 | แนวโน้มความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์รายปี……...…….……. | 76 |

รูปที่ หน้า


4.5 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน (ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม)…….. 81

4.6 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย…….. 85

4.7 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter)…… 93

4.8 ค่าคงที่ในการคำนวณด้วยการถดถอย……... 97

4.9 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้วิธีการถดถอย…… 101

4.10 แผนภาพการกระจายของความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% ปี 2002-2007……...……..……... 102

4.11 ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% รายเดือนใน ปี 2005-2007…….. 103

4.12 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2005-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่ายที่ K=5 (กรณี 36 ข้อมูล)……... 105

4.13 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2005-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (กรณี 36 ข้อมูล)….. 108

4.14 ค่าคงที่ในการคำนวณด้วยการถดถอย……... 111

4.15 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้วิธีการถดถอย (กรณี 36 ข้อมูล)……. 114

4.16 แผนภาพคลอเรลโรแกรมของสหสัมพันธ์ในตัวเองของอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อดูลักษณะ $r_k$ ……..…….. 115

4.17 แผนภาพคลอเรลโรแกรมของสหสัมพันธ์ในตัวเองของอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์……..……. 116

4.18 แผนภาพคลอเรลโรแกรมของสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์…… 116

4.19 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ของตัวแบบ ARMA(1,1)……... 117

4.20 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2005-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้วิธี Box-Jenkins (ARMA(1,1))…… 120

รูปที่ หน้า


4.21 แผนภาพความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 และค่าพยากรณ์ปี 2008 ด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์..... 122

5.1 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ของบริษัท..... 126

5.2 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในส่วนของการผลิต..... 129

5.3 แผนการเดินเครื่องจักรและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกรณีควบคุมกำลังการผลิตเท่ากันตลอด Period และระดับคงคลังสิ้น Period มากกว่าระดับสำรองคลัง และน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้..... 131

5.4 แผนการเดินเครื่องจักรและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกรณีควบคุมกำลังการผลิตเท่ากันตลอด Period และระดับคงคลังสิ้น Period ก่อนการหยุดเครื่องจักรมีค่าสูงสุดที่รองรับได้..... 132

5.5 แผนการเดินเครื่องจักรและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกรณีควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและระดับคงคลังสิ้น Period มากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้..... 132

5.6 แผนการเดินเครื่องจักรและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกรณีควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและระดับคงคลังสิ้น Period ก่อนการหยุดเครื่องจักรมีค่าสูงสุดที่รองรับได้.... 133

5.7 แผนภาพแนวทางในการวางแผนกำลังการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์..... 134

5.8 แผนภาพรายละเอียดผลจากการคำนวณในแต่ละแนวทาง..... 162

5.9 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์จริงกับแผนการผลิตที่ได้จากงานวิจัยของปี 2008..... 165

5.10 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยในการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์จริงกับแผนการผลิตที่ได้จากงานวิจัย ของปี 2008..... 166

5.11 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนในการเก็บรักษาฟอร์มาลดีไฮด์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ในการผลิตจริงกับแผนการผลิตที่ได้จากงานวิจัยของปี 2008..... 166

5.12 แผนภาพกระบวนการวางแผนกำลังการผลิต..... 172

5.13 แบบฟอร์มแผนงานการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ประจำเดือนหน้า 1..... 173

5.14 แบบฟอร์มแผนงานการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ประจำเดือนหน้า 2..... 174

ก.1 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาที่ปริมาณการผลิตต่างกัน..... 188

ข.1 แผนภาพการกระจายของความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% รายเดือนปี 2002-2007..... 202

รูปที่ หน้า

ข.2 แผนภาพการกระจายพร้อมเส้นแนวโน้มของความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% รายเดือน ปี 2002-2007 (X=0 ที่เดือนมกราคม 2002)..... 203
ค.1 การป้อนข้อมูลใน Minitab เพื่อทำการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน..... 210
ค.2 การเลือกคำสั่งใน Minitab เพื่อทำการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน..... 211
ค.3 การกำหนดตัวแปรใน Minitab เพื่อทำการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน..... 211
ค.4 ผลการคำนวณของการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน..... 212
ค.5 การกำหนดค่าต่างๆ ใน Solver เพื่อคำนวณหาค่า Optimal $\alpha$ ..... 212
ค.6 การกำหนดค่าต่างๆ ใน Solver เพื่อคำนวณหาค่า Optimal $\alpha$ , $\gamma$ , $\delta$ ..... 213

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวการณ์ปัจจุบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมมีความก้าวหน้าอย่างมาก มีโรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งที่สร้างรายได้แก่ประเทศ อุตสาหกรรมปิโตรเคมีนับเป็นส่วนหนึ่งใน อุตสาหกรรมที่สำคัญ อันเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน และตอบสนองความต้องการของมนุษย์ยุคปัจจุบัน

จากภาวะทางด้านเศรษฐกิจที่มีความไม่แน่นอน วิกฤตการณ์เศรษฐกิจตกต่ำทั่ว โลก ทำให้ภาคธุรกิจอุตสาหกรรมได้รับผลกระทบอันเนื่องจากกำลังซื้อลดลง ในขณะที่ต้นทุนด้าน ต่างๆ คงเดิม ไม่ว่าต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อผลประกอบการ นอกจากนี้ การแข่งขันระหว่างบริษัทคู่แข่ง ทั้งด้านคุณภาพ ราคา การบริการให้ลูกค้าได้รับความพึงพอใจ ผู้ที่ประสบความสำเร็จและดำเนินธุรกิจอยู่ได้นั้นต้องมีความพร้อมและปัจจัยสนับสนุนต่าง ๆ ใน การจัดสรรทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ในอุตสาหกรรมนอกจากความเป็นผู้นำทางด้าน คุณภาพแล้วจำเป็นต้องบริหารด้านต้นทุนให้เหมาะสมเพื่อการแข่งขันและสร้างผลกำไร

ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมต้องปรับตัวด้านการบริหารจัดการ เพื่อการลดต้นทุนและ ดำเนินการผลิตภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด และความไม่แน่นอนของความต้องการ ให้ สามารถรักษาต้นทุนการผลิตในระดับที่เหมาะสม เพื่อเป็นผู้นำในการแข่งขันทั้งด้านคุณภาพและ ราคาที่เหมาะสมตามความพึงพอใจของลูกค้าสูงสุด

## 1.2 สภาพอุตสาหกรรมและลักษณะปัญหา

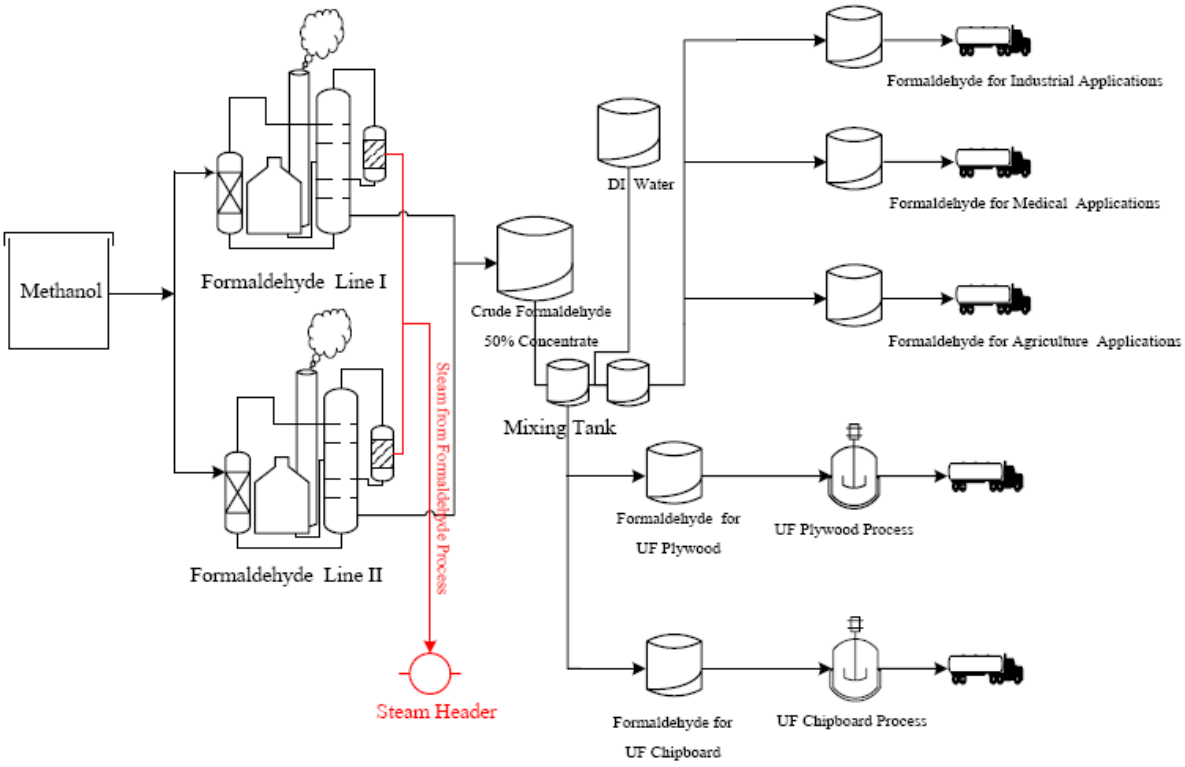
### 1.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตที่เป็นกรณีศึกษา คือกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) โดยมีปฏิกิริยาการ สังเคราะห์ดังสมการที่ (1)

$$CH_3OH + 1/2O_2 \xrightarrow{\text{Catalyst, Heat}} CH_2O + H_2O \quad \text{..... (1)}$$

เมทานอล ออกซิเจน ฟอร์มาลดีไฮด์

จากสมการการสังเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์วัตถุดิบ คือเมทานอล และออกซิเจน ซึ่งวัตถุดิบทั้ง 2 ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยผ่านเข้าสู่ Catalyst Bed ที่ให้ความร้อนและมีตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เปลี่ยนเมทานอลในอากาศเป็นไอฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการดูดซึมกลายเป็นสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลินซึ่งมีความเข้มข้นที่ออกจากกระบวนการ 50% โดยกระบวนการผลิตและการจัดเก็บแสดงได้ดังแผนภาพในรูปที่ 1.1




รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตและจัดเก็บฟอร์มาลดีไฮด์

จากรูปที่ 1.1 กระบวนผลิตเริ่มจากวัตถุดิบเมทานอลจาก Storage Tank ถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตที่ประกอบด้วยหน่วยต่าง ๆ และผลผลิตที่ออกจากกระบวนการผลิตเป็น Crude Formaldehyde ก่อนถูกส่งเข้าสู่การผสมปรับความเข้มข้นตามความต้องการของลูกค้าและจัดเก็บใน Storage tank ก่อนการนำไปใช้งานแยกตามความต้องการและการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่อไป โดยผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารละลายที่เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องโดยสามารถแยกประเภทการใช้งานผลิตภัณฑ์ ฟอร์มาลดีไฮด์ตามลักษณะการใช้งานดังนี้

1. ฟอร์มาลดีไฮด์สำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม (Industrial Application)

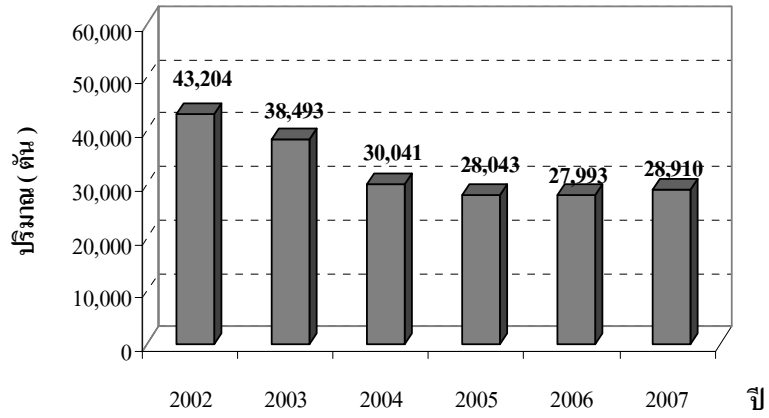
ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมต่อเนื่องทั้งในอุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมสีและงานเคลือบผิว อุตสาหกรรมกาว เป็นต้น ตัวอย่างอุตสาหกรรมกาวซึ่งบริษัทกรณีศึกษาดำเนินการผลิตโดยใช้ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นวัตถุดิบได้แก่ อุตสาหกรรมกาวไม้อัดซึ่งแยกเป็น 2 กลุ่มหลัก

- Urea Formaldehyde Resin (Plywood)
- Urea Formaldehyde Resin (Chipboard)

2. Formaldehyde สำหรับการใช้งานด้านเกษตรกรรม
3. Formaldehyde สำหรับการใช้งานในกลุ่มยาและการแพทย์

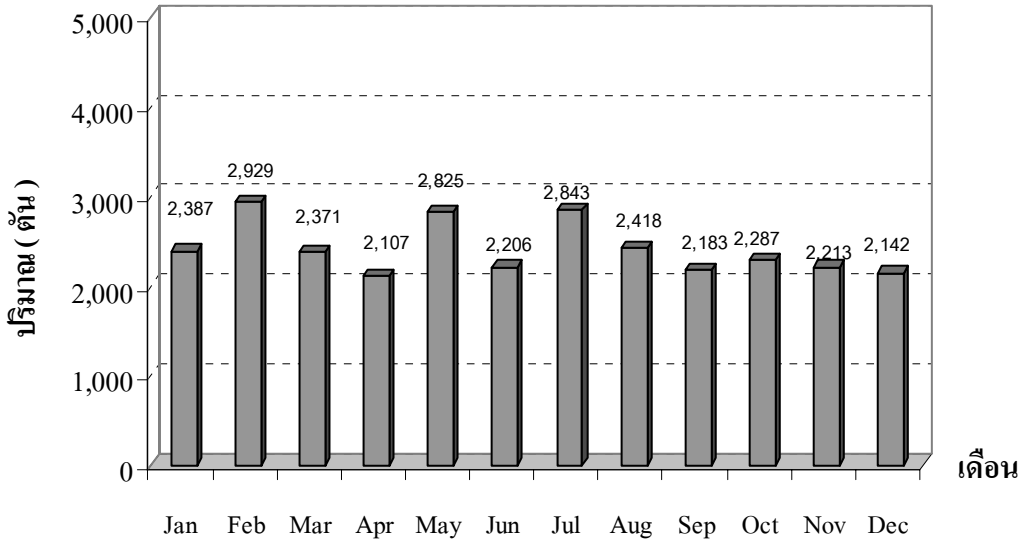
**1.2.2 สภาพอุตสาหกรรมและแนวโน้มด้านการผลิต**

ฟอร์มาลดีไฮด์นับเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางที่จะเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลาย ซึ่งการผลิตจะต้องผ่านกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) และจัดเก็บผลิตภัณฑ์ในรูปแบบสารละลายใน Storage Tank ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่อไป โดยบริษัทกรณีศึกษาผลิตฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อจำหน่ายและเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของการผลิต Urea Formaldehyde Resin (ผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องของบริษัท) ทั้งนี้ความต้องการของผลิตภัณฑ์ Formaldehyde ขึ้นอยู่กับความต้องการในแต่ละช่วงเวลาอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอุตสาหกรรมต่อเนื่องและการขยายตัวทางเศรษฐกิจ เมื่อพิจารณาการเติบโตทางการตลาด ความต้องการของฟอร์มาลดีไฮด์ตั้งแต่ปี 2002 จนถึงปี 2007 (ข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษา) มีอัตราความต้องการที่เปลี่ยนแปลงโดยตลอด โดยจากอดีตจนถึงปี 2007 การผลิตมีแนวโน้มลดลง ซึ่งพิจารณาจากปริมาณการผลิตตามแผนภาพในรูปที่ 1.2



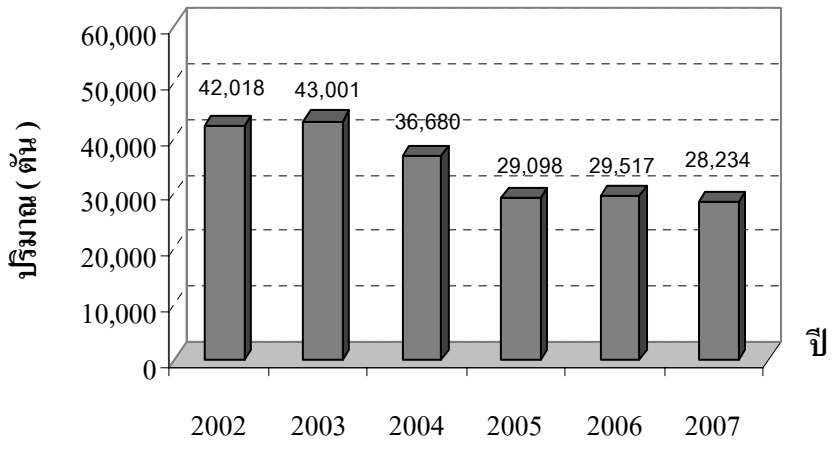

รูปที่ 1.2 ปริมาณการผลิต Formaldehyde ปี 2002 – 2007
(ที่มา: ข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา)

เมื่อพิจารณาปริมาณการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2007 แยกเป็นรายเดือน พบว่าในแต่ละเดือนกำลังการผลิตจะมีปริมาณไม่คงที่แตกต่างกัน ตามสภาวะการณ์ทางการตลาดและปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อความต้องการตามแผนภาพในรูปที่ 1.3

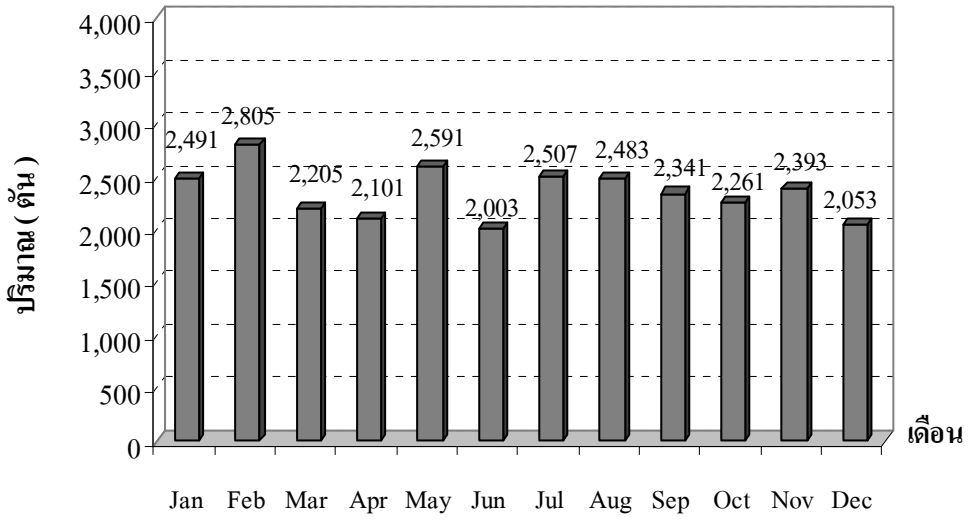



รูปที่ 1.3 ปริมาณการผลิต Formaldehyde ความเข้มข้น 50% รายเดือนในปี 2007
(ที่มา: ข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา)

จากข้อมูลแนวโน้มการผลิต Formaldehyde เห็นได้ถึงปริมาณการผลิตในแต่ละช่วงเวลาจะมีความไม่แน่นอนของปริมาณ โดยการผันแปรผันตามกับความต้องการ โดยความต้องการมากน้อยแตกต่างกัน อันขึ้นอยู่กับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลปริมาณการผลิต Urea Formaldehyde Resin ซึ่งใช้ Formaldehyde เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต เมื่อพิจารณาพบว่าแนวโน้มจากปี 2002 - 2007 มีปริมาณการผลิตลดลงและเริ่มคงที่ในปี 2005-2007 จำนวนเฉลี่ยประมาณ 29,000 ตันต่อปี ดังแผนภาพรูปที่ 1.4 และพิจารณาการผลิตรายเดือนในปี 2007 ที่มีความไม่แน่นอนของปริมาณดังแผนภาพรูปที่ 1.5




รูปที่ 1.4 ปริมาณการผลิต Urea Formaldehyde Resin ปี 2002 – 2007
(ที่มา: ข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา)

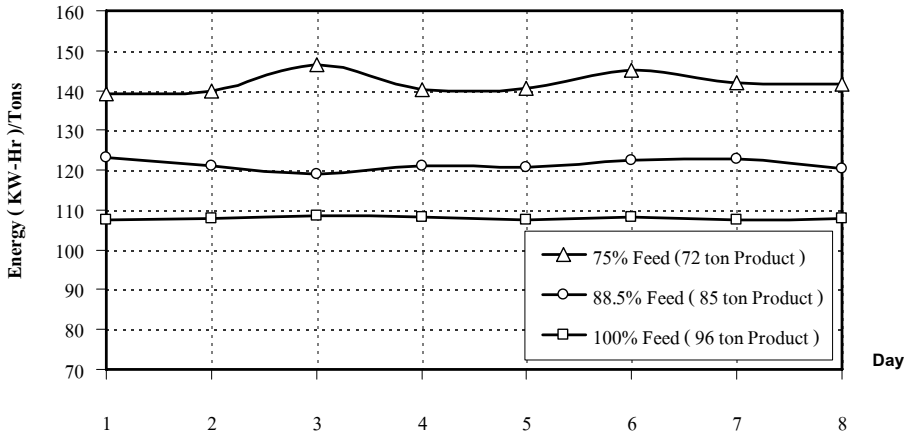



รูปที่ 1.5 ปริมาณการผลิต Urea Formaldehyde Resin ปี 2007 แยกเป็นรายเดือน
(ที่มา: ข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา)

**1.2.3 ลักษณะปัญหา**

จากแนวโน้มความต้องการและการเติบโตของอุตสาหกรรม Formaldehyde ที่มีค่าลดลงและเริ่มคงที่ ทำให้บริษัทต้องปรับตัวในสภาวะเศรษฐกิจและการแข่งขันในปัจจุบัน จากปัญหาด้านต้นทุนด้านการผลิตที่สูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบ แรงงาน พลังงาน ซึ่งต้องหาแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตลงที่จะทำให้แข่งขันด้านการตลาดและลูกค้าพึงพอใจด้านราคามากที่สุด

ในการผลิต Formaldehyde เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ซึ่งต้องวางแผนการเดินเครื่องและป้อนวัตถุดิบเข้ากระบวนการ โดยข้อมูลการวางแผนมาจากแผนการขายและความต้องการ Formaldehyde เมื่อพิจารณาความต้องการปริมาณการใช้งานพบว่าความต้องการไม่แน่นอนและไม่เป็นไปตามแผนการขาย ทำให้เกิดปัญหาในการวางแผนกำลังการผลิต นอกจากนี้การที่ปริมาณความต้องการไม่สม่ำเสมอทำให้ต้องหยุดการเดินเครื่องเนื่องจากมีปริมาณผลิตภัณฑ์มากเกินจนทำให้ไม่มี Storage Tank ในการจัดเก็บ ต้องรอระบายสินค้าออกก่อนจึงจะทำการเดินเครื่องผลิตใหม่ ทำให้เกิดความไม่คุ้มค่าด้านพลังงานที่ใช้ส่งผลต่อการวางแผนการผลิตและไม่สามารถควบคุมต้นทุนได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่า เนื่องจากกำลังผลิตที่มีมากเกินกว่าความต้องการและไม่สมดุลกันกับความต้องการ ทำให้กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องไม่สามารถควบคุมการเดินเครื่องในกำลังการผลิตที่สูงสุดได้ เมื่อพิจารณาต้นทุนที่เกี่ยวข้อง เช่น ต้นทุนไฟฟ้าในกระบวนการผลิต พบว่าการเดินเครื่องในอัตรากำลังการผลิตที่ต่ำ ส่งผลต่อต้นทุนด้านพลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มีค่าสูง แสดงดังรูปที่ 1.6




รูปที่ 1.6 กราฟพลังงานไฟฟ้าในการผลิตต่อหน่วยที่อัตรากำลังการผลิต 75%, 88.5%, 100%

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 1.6 ข้อมูลการเดินเครื่อง 8 วันต่อเนื่อง พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องที่กำลังการผลิต 100%, 88.5%, และ 75% มีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงต้นทุนไฟฟ้าในการผลิตต่อหน่วยได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าในการผลิตต่อหน่วยที่อัตรากำลังการผลิต 75%, 88.5%, 100%

| กำลังการผลิต (เปอร์เซ็นต์) | พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) | ผลิตภัณฑ์ (ตัน) | พลังงาน/หน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน) |
|---|---|---|---|
| 75% | 81695 | 576 | **141.83** |
| 88.50% | 82493 | 680 | **121.31** |
| 100% | 82880 | 768 | **107.92** |

พลังงานไฟฟ้าในการผลิตต่อหน่วยที่แสดงในตารางที่ 1.1 สามารถคำนวณออกมาในรูปค่าใช้จ่ายของค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 1.2 โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ยที่ 2.65 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง (โดยประมาณ)

ตารางที่ 1.2 ค่าเฉลี่ยต้นทุนไฟฟ้าในการผลิตต่อหน่วยที่อัตรากำลังการผลิต 75%, 88.5%, 100%

| กำลังการผลิต (เปอร์เซ็นต์) | ปริมาณ (ตัน) | ต้นทุน (บาท) | ต้นทุน/หน่วย (บาท/ตัน) |
|---|---|---|---|
| 75% | 576 | 216,491.75 | **375.85** |
| 88.50% | 680 | 218,606.45 | **321.48** |
| 100% | 768 | 219,632.00 | **285.98** |

เห็นได้อย่างชัดเจนว่าต้นทุนไฟฟ้าในการเดินเครื่องที่กำลังการผลิต 100% เทียบกับ 75% มีค่าต่างกันถึงประมาณตันละ 90 บาท นอกจากจะคำนึงถึงต้นทุนในการผลิตแล้ว ยังมีส่วนของต้นทุนที่เกิดจากการจัดเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ต้องพิจารณาในการวางแผน จากข้อมูลที่กล่าวสามารถสรุปประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นคือ

- ความไม่แน่นอนของความต้องการทำให้การวางแผนกำลังการผลิตได้ยากและไม่เหมาะสม
- การเดินเครื่องที่กำลังการผลิตต่ำ (อัตรา Feed ต่ำ) ทำให้ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยสูง
- ขาดการศึกษาและแนวทางในการวางแผนกำลังการผลิตที่เหมาะสม

ดังนั้นต้องหาแนวทางในการวางแผนกำลังการผลิตให้มีต้นทุนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดของปัจจัยการผลิตและความไม่แน่นอนของความต้องการ เพื่อเป็นการลดต้นทุนและจัดสรรทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**1.3วัตถุประสงค์**

เพื่อวางแผนกำลังการผลิตสินค้า Formaldehyde ภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการ

**1.4 ขอบเขตการศึกษา**

1. ศึกษากระบวนการผลิตสินค้า Formaldehyde และกระบวนการที่เกี่ยวข้องดังนี้
   - การวางแผนกำลังการผลิต
   - กระบวนการผลิต Formaldehyde
   - การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ใน Storage Tank
   - ความต้องการ Formaldehyde สำหรับลูกค้าทั่วไปและการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อเนื่อง
2. ความต้องการ Formaldehyde พิจารณาจาก
   - ความต้องการของลูกค้าทั่วไปสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมต่อเนื่องทั่วไป และอุตสาหกรรมยาและการแพทย์
   - ความต้องการในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องของบริษัทคือ Urea Formaldehyde Resin
3. ข้อมูลความต้องการผลิตภัณฑ์ Formaldehyde ข้อมูลกำลังการผลิต ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต นำข้อมูลในอดีตจนถึงปัจจุบันปี 2002-2007 มาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้
4. การศึกษาความคุ้มค่าทางต้นทุนจะพิจารณาต้นทุนด้านพลังงาน คือ พลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ในกระบวนการและต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการเก็บรักษาสินค้าคงคลังเป็นหลัก

**1.5 แนวทางการศึกษา**

1. ศึกษากระบวนการผลิตและการวางแผนการผลิต Formaldehyde
2. ศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงเวลาและพยากรณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์จากข้อมูลในอดีต
3. วิเคราะห์ทางเลือกในการวางแผนกำลังการผลิต
4. วิเคราะห์ความคุ้มค่าของทางเลือกต่างๆ ในการวางแผนกำลังการผลิต
5. พัฒนาและนำแนวทางประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม
6. จัดทำรายงานสรุปผลการวิจัย

**1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. สามารถวางแผนกำลังการผลิตได้อย่างเหมาะสม ภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการ
2. ทำให้การบริหารการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า
3. สามารถวิเคราะห์ความคุ้มค่าของแต่ละทางเลือกในการวางแผน
4. เพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการวางแผนการผลิต
5. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีปัญหาใกล้เคียงกัน

**1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย**

**บทที่ 2** นำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) โดยรายละเอียดเกี่ยวข้องกับการนำเทคนิคต่าง ๆ มาช่วยในการหาคำตอบ จะเน้นในเรื่องการพยากรณ์ การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ การวางแผนการผลิต การหาค่าเหมาะสมที่สุด เพื่อหาคำตอบและเป็นทางเลือกในการตัดสินใจในการดำเนินงาน

**บทที่ 3** แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์ รวมถึงกระบวนการผลิตปัจจุบัน กระบวนการวางแผนการผลิต การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ และนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา รวมถึงข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนกำลังการผลิต

**บทที่ 4** เสนอข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ในอดีตปี 2002-2007 นำมาวิเคราะห์เพื่อดูลักษณะความต้องการว่าเป็นไปในลักษณะใด และนำข้อมูลดังกล่าวมาพยากรณ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ความต้องการในอนาคต

**บทที่ 5** แสดงรายละเอียดในการวางแผนกำลังการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ในปี 2008 โดยใช้ค่าความต้องการที่ได้จากการพยากรณ์ สร้างทางเลือกในการวางแผนกำลังการผลิต ตามเงื่อนไขที่บริษัทต้องการ และเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดซึ่งพิจารณาจากต้นทุนการผลิต ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเก็บรักษา และรายได้จากความร้อนที่เกิดจากกระบวนการผลิต

**บทที่ 6** สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาเน้นทางด้านการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) โดยรายละเอียดเกี่ยวข้องกับการนำเทคนิคต่าง ๆ มาช่วยในการหาคำตอบ จะเน้นในเรื่องการพยากรณ์ การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ การวางแผนการผลิต การหาค่าเหมาะสมที่สุด เพื่อหาคำตอบและเป็นทางเลือกในการตัดสินใจในการดำเนินงาน ดังนั้นได้นำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

**ทฤษฎี**

- การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research)
- การวางแผนการผลิต (Production Planning )
- การวางแผนกำลังการผลิต (Capacity Planning )
- การบริหารพัสดุคงคลัง (Inventory Management)
- การพยากรณ์ (Forecasting)

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

กล่าวถึงผลงานทางด้านการจัดการในระบบการผลิตในกรณีต่างๆ ที่จะสามารถบริหารทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวัตถุประสงค์หลักคือการควบคุมต้นทุนที่ต่ำที่สุด ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์หาคำตอบที่เหมาะสม นอกจากนี้มีผลงานที่ศึกษาถึงวิธีการพยากรณ์ที่ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลเพื่อประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ในการพยากรณ์ความต้องการ

## 2.1 ทฤษฎี

**2.1.1 การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research)** วิจิตร ตัณฑสุทธิ์ และคณะ (2527)

การวิจัยดำเนินงานเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อช่วยตัดสินใจเกี่ยวกับการปฏิบัติงานในระบบองค์การต่าง ๆ ว่าควรจะดำเนินการอย่างไร โดยการวิจัยดำเนินงานจะพยายามแก้ไขข้อขัดข้องระหว่างองค์ประกอบขององค์การให้เป็นผลดีที่สุด

ความหมายของการวิจัยดำเนินงาน คือ วิธีการอย่างมีหลักเกณฑ์ในการจัดรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์เป็นตัวเลข สำหรับช่วยตัดสินใจให้กับฝ่ายบริหาร โดยคำนึงว่าการทำงานนั้นต้องอยู่ภายใต้อำนาจการควบคุมได้ การวิจัยดำเนินงานโดยทั่ว ๆ ไปมีลักษณะเป็นการใช้ประโยชน์ของวิธีการเป็นหลักการ เป็นเทคนิคและเครื่องมือสำหรับแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวกับระบบการทำงาน

โดยการใช้ข่ายงานภายใต้การควบคุมให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานั้น ๆ การวิจัยดำเนินงานใช้วิธีการเตรียมงานไว้แล้ว เพื่อทำการจัดรูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ที่แสดงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของระบบ เพื่อใช้วิเคราะห์หาข้อมูลเป็นตัวเลขไปช่วยในการตัดสินใจ และเป็นการแสดงออกถึงปัญหาใหม่ ๆ แนวทางเพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยจะสรุปลักษณะของการวิจัยดำเนินงานได้ดังนี้

1. มีลักษณะเป็น Research on Operations คือเป็นการศึกษาและวิจัยขั้นตอนในการดำเนินงานและการประสานงาน เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการดำเนินหรือกิจการภายในองค์กรอุตสาหกรรมหรือขอบเขตหนึ่ง ๆ

2. มีลักษณะพิจารณาปัญหาของระบบองค์การเป็นส่วนรวม คือความเข้าใจในสถานการณ์และหน้าที่ของโครงสร้างของส่วนต่าง ๆ ภายในระบบที่มีความเกี่ยวพันธ์กันในการรวมตัวเข้ากันเป็นระบบที่ซับซ้อนและแก้ปัญหาให้มีผลดีต่อส่วนรวมเป็นหลัก

3. เป็น Interdisciplinary team effort คือการดำเนินงานโดยทีมงานของผู้ชำนาญในด้านต่าง ๆ เช่น วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เป็นต้น

4. เพื่อให้ได้ Optimal decision making คือให้ผลลัพธ์หรือแนวทางการแก้ปัญหาของระบบที่ซับซ้อนได้เหมาะสมที่สุด เพื่อช่วยในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. เป็นการใช้ Application of scientific method คือการใช้หลักเกณฑ์อย่างมีขั้นตอนในการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ

6. มีลักษณะแบบ Quantitative model construction and analysis คือสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์แทนระบบที่ต้องการศึกษาและดำเนินการวิเคราะห์โดยเทคนิคที่มีอยู่ สรรหาแนวทางหรือผลลัพธ์ต่าง ๆ ซึ่งทำให้สามารถได้คำตอบเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด

7. เป็นการ Identification of further research needs คือ การพบปัญหาใหม่ภายหลังจากที่ได้แก้ไขปัญหาหนึ่ง ๆ ไปแล้ว

**ขั้นตอนการดำเนินงานของการวิจัยดำเนินงาน**

โดยความหมายของการวิจัยดำเนินงาน จะเห็นได้ว่าการวิจัยดำเนินงานเน้นเทคนิคในเชิงปริมาณ (Quantitative technique) อย่างมาก ฉะนั้นการตั้งรูปแบบของสมการหรืออสมการทางคณิตศาสตร์ แทนระบบของปัญหาและอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์มาช่วยวิเคราะห์ปัญหานั้น ๆ ซึ่งหลักทั่วไปและขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

1. การจัดตั้งปัญหา (Formulating the problem)
2. การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์แทนระบบปัญหา (Constructing a mathematical model)
3. การหาผลลัพธ์ของปัญหา (Deriving a solution)
4. การทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์และผลลัพธ์ (testing the model and solution)

5. การตั้งขอบข่ายการควบคุมผลลัพธ์ (establishing controls over the solution)

6. การนำผลลัพธ์ไปใช้งาน (Implementation)

ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการวิจัยจะกล่าวได้ดังต่อไปนี้

**1. การจัดตั้งปัญหา (Formulating the problem)**

โดยทั่วไปปัญหาที่เกิดขึ้นในองค์การหรือส่วนงานหนึ่งๆ ย่อมมีลักษณะ ขนาด และความซับซ้อนต่างๆ กัน การกำหนดปัญหาให้ตรงเป้าหมายจึงจำเป็นอย่างยิ่ง บ่อยครั้งที่ปัญหาต่างๆ อยู่ในลักษณะที่ไม่ชัดเจนและมีขอบข่ายกว้างเกินไป ยากแก่การเข้าใจและแก้ไขให้ได้ผลลัพธ์ถูกต้องแน่นอน การตั้งปัญหาที่ไม่ถูกต้องอาจจะหาผลลัพธ์ไม่ได้หรือผลลัพธ์อาจหาออกมาได้แต่นำไปปฏิบัติจริงๆ ไม่ได้ การตั้งปัญหาให้ถูกต้องและเข้าใจง่ายจะช่วยให้การหาผลลัพธ์ง่ายขึ้นมาก การตั้งปัญหาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง กล่าวโดยสังเขปได้ดังนี้

1. ศึกษาระบบที่กำลังเป็นปัญหาและความสัมพันธ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้ชัดเจนและเข้าใจ
2. กำหนดปัญหาที่พิจารณาให้แน่ชัด และเลือกแบ่งแยกปัญหาให้ถูกต้อง โดยกำหนดข้อความบรรยายลักษณะปัญหาอย่างรัดกุมและเข้าใจง่าย
3. กำหนดจุดประสงค์และเลือกวิธีการจัดผลการดำเนินงานให้เป็นไปตามจุดประสงค์
4. กำหนดขอบข่ายของปัญหาและข้อสมมุติต่างๆ
5. กำหนดแนวทางดำเนินงานต่างๆ ที่เป็นไปได้เพื่อการแก้ปัญหา
6. กำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและการตัดสินใจเพื่อดำเนินงานในการแก้ปัญหานั้นๆ

**2. การสร้างรูปแบบางคณิตศาสตร์แทนระบบของปัญหา (Constructing a mathematical model )**

เมื่อกำหนดและเข้าใจปัญหาอย่างถูกต้องและมีจุดประสงค์สอดคล้องกัน เพื่อหาแนวทางการดำเนินงานเป็นที่ถูกต้องแล้ว งานขั้นต่อไปคือ การจัดรูปแบบของปัญหาให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ยิ่งขึ้น การจัดรูปแบบของปัญหาโดยทั่วไปนิยมใช้อยู่ 2 วิธี คือ การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์และการจัดรูปแบบโดยใช้รูปภาพ แผนภูมิ กราฟเข้ามาช่วย การจัดรูปแบบโดยใช้รูปเข้ามาช่วยมีผลดีตรงที่ดูแล้วเข้าใจง่ายและสามารถรู้ได้ทันที แต่มีข้อเสียคือขอบเขตของปัญหาจะถูกจำกัดอยู่ในวงแคบมาก ในทางการวิจัยดำเนินงานจึงนิยมใช้แบบทางคณิตศาสตร์สำหรับแทนระบบของปัญหาโดยมีสมการต่างๆ แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัน โครงสร้างทางคณิตศาสตร์ซึ่งสร้างขึ้นแทนระบบของปัญหาดังกล่าว ต้องมีลักษณะที่แทนระบบได้อย่างสมบูรณ์และบกพร่องน้อยที่สุด คือต้องพิจารณาองค์ประกอบของปัญหาอย่างละเอียดโดยให้ครอบคลุมอยู่ในโครงสร้างของปัญหาอย่างรัดกุม เพื่อวิเคราะห์และได้ผลลัพธ์อย่างถูกต้อง

**3. การหาผลลัพธ์ของปัญหา (Deriving a solution)**

การหาผลลัพธ์แนวปฏิบัติที่ได้ผลดีเหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งไม่ได้หมายความว่าจะสามารถนำผลลัพธ์ที่ดีที่สุดมาปฏิบัติการได้ การหาแนวปฏิบัติที่เหมาะสมที่สุดจึงเป็นแนวความคิดที่ถูกต้องกว่า โดยพยายามหาผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการแก้ปัญหาในแนวทางที่เหมาะสมกับสภาพการณ์ ซึ่งแนวทางได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมสุดย่อมมีได้หลายแนวทาง

**4. การทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์และผลลัพธ์ (Testing the model and solution)**

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แทนระบบปัญหาไม่ถูกต้อง อันเนื่องมาจากความบกพร่องในการละเว้นองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน ซึ่งหมายถึงรูปแบบที่เรานำมาวิเคราะห์ไม่ใช่ตัวแทนระบบปัญหาที่ดี การทดสอบรูปแบบแทนระบบจึงเป็นส่วนที่ขาดไม่ได้ การทดสอบรูปแบบแทนระบบมีความจำเป็นเพราะองค์ประกอบหลายๆ อย่างที่ใช้ในขณะที่สร้างรูปแบบแทนระบบอาจเปลี่ยนแปลงได้ในเวลาที่จะนำไปใช้งาน

**5. การตั้งขอบข่ายการควบคุมผลลัพธ์ (Establishing controls over the solution)**

โดยสภาพการณ์ที่เป็นจริง สภาวะและเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมของระบบปัญหามักจะเปลี่ยนไปตามกาลเวลาไม่มากก็น้อย โดยมีผลทำให้รูปแบบแทนระบบบิดเบือนไปด้วย คือ นำรูปแบบแทนระบบอันเดิมมาวิเคราะห์ปัญหาที่มีเงื่อนไขแตกต่างกันจึงให้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดไป ความผิดพลาดภายในขอบเขตที่อนุโลมได้จะไม่มีผลเสียหายมากนัก แต่ถ้าผิดพลาดเกินขอบเขตที่กำหนด ก็มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการแก้ไขข้อบกพร่องในรูปแบบแทนระบบ เพื่อจะได้ผลลัพธ์ที่เป็นประโยชน์ยิ่งขึ้น การควบคุมผลลัพธ์ให้อยู่ในขอบข่ายที่ใกล้เคียงสภาพเป็นจริงมีหลักการดังนี้

1. พิจารณาค่าตัวแปรที่เป็น Input Parameter ว่าอยู่ในขอบข่ายที่ถูกต้องเพียงใดโดยวิธี Sensitivity Analysis จะทำให้รู้ผลของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร
2. ใช้ Control Chart ควบคุมความผันแปรของ Input Parameter ช่วยให้ขจัดความผันแปรที่ผิดปกติ
3. ดัดแปลงผลลัพธ์และแนวการดำเนินงานตามผลลัพธ์ให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น

**6. การนำผลลัพธ์ไปใช้งาน (Implementation)**

ขั้นตอนสุดท้ายของการวิจัยดำเนินงานก็คือ การนำผลลัพธ์ที่ถูกต้องเป็นที่ยอมรับใช้ดำเนินงานจริง

**ประเภทของตัวแบบและวิธีการในการวิจัยการดำเนินงาน**

ในการวิจัยการดำเนินงานได้มีการแบ่งตัวแบบและวิธีการต่าง ๆ ไว้ 3 ประเภท ดังนี้

1. Mathematical programming techniques ใช้ในการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันที่มีหลายตัวแปรภายใต้เงื่อนไขของเซตที่มีขอบเขตหรือข้อจำกัด

2. Stochastic process techniques สามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาที่อยู่ในรูปของเซตแบบตัวแปรสุ่มที่รู้ความน่าจะเป็นแบบกระจาย

3. Statistical Methods จะอนุญาตให้เพียงผู้เดียวเท่านั้น ที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองและสร้างตัวแบบจากการสังเกต เพื่อเก็บข้อมูลที่ถูกต้องลง สถานการณ์

**ตัวแบบของการวิจัยดำเนินงาน (Models in Operations Research)**

ตัวแบบในการวิจัยการดำเนินงานที่สำคัญ คือ ตัวแบบที่ได้จากปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ๆ และจะต้องมีการกำหนดให้ทุกๆ ตัวแปรที่สัมพันธ์กันแบบเชิงปริมาณความ สัมพันธ์ของตัวแบบอยู่ในรูปฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายพฤติกรรมของระบบ และผลลัพธ์ของตัวแบบที่สร้างขึ้นหาได้โดยใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ เมื่อได้ผลลัพธ์ของตัวแบบที่สร้างขึ้นแล้ว จึงมีการแปลความหมายออกมาในรูปของระบบปัญหาจริงๆ ตัวแบบแทนระบบปัญหาของการวิจัยการดำเนินงานที่สำคัญ และใช้กันแพร่หลายมีดังต่อไปนี้ โดยการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับลักษณะและความยุ่งยากซับซ้อนของปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น

1. ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model) เป็นตัวแบบแทนระบบปัญหาเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพที่สุด และความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ เป็นแบบเชิงเส้นทั้งสิ้น การหาผลลัพธ์ของตัวแปรนี้มีหลายวิธี แต่ที่นิยมคือ วิธีซิมเพลกซ์ (Simplex Method)

2. ตัวแบบกำหนดการไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Programming Model) เป็นตัวแบบแทนระบบปัญหาที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรไม่เป็นแบบเชิงเส้น

3. ตัวแบบกำหนดการพลวัต (Dynamic Programming Model) เป็นตัวแบบแทนระบบปัญหาที่มีการตัดสินใจติดต่อกันเป็นขั้นตอนหลายๆ ขั้นตอน สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ที่มีความยุ่งยากซับซ้อน การแตกปัญหาออกเป็นขั้นตอนย่อยๆ แล้วแก้ปัญหาแต่ละขั้นตอนย่อยๆ นั้นง่ายกว่าการแก้ปัญหาขนาดใหญ่

4. ตัวแบบปัญหาการขนส่ง (Transportation Model) เป็นตัวแบบแทนปัญหาการขนส่งทรัพยากรระหว่างแหล่งต่าง ๆ

5. ตัวแบบแถวคอย (Queuing Model) เป็นตัวแบบแทนระบบปัญหาเกี่ยวกับการให้บริการที่ไม่ต้องการให้ลูกค้าเสียเวลารอคอยนานเกินไป โดยคำนึงถึงการประหยัดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

6. ตัวแบบสินค้าคงคลัง (Inventory Model) เป็นตัวแบบแทนระบบปัญหาที่เกี่ยวกับการหาจำนวนสินค้าที่สั่งซื้อหรือผลิตในแต่ละครั้ง

7. ตัวแบบการแข่งขัน (Competitive Model) เป็นตัวแบบแทนระบบปัญหาที่ต้องมีการตัดสินใจในการประกอบธุรกิจ เพราะว่าในการทำธุรกิจย่อมต้องมีการแข่งขันกัน

8. ตัวแบบการจำลอง (Simulation Model) เป็นตัวแบบที่สามารถแทนระบบปัญหาต่างๆได้มากมาย

9. ตัวแบบข่ายงานรวมทั้งเพอร์ทและซีพีเอ็ม (Network Models including PERT and CPM) เป็นตัวแบบที่ใช้ในปัญหาการควบคุมงานที่เป็นโครงการใหญ่ๆ ให้เสร็จตามกำหนดเวลา

โดยในงานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการแก้ปัญหาโดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของต้นทุนการผลิต

**กำหนดการเชิงเส้นตรง (Linear Programming)**

การโปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นเทคนิคที่รู้จักกันแพร่หลายในส่วนงานของการวิจัยดำเนินงาน ทั้งนี้เพราะว่าได้นำวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการแก้ปัญหาทางการจัดสรรปัจจัยหรือทรัพยากร ที่มีอยู่อย่างจำกัดทั้งขนาด ปริมาณและขอบเขตของการใช้งาน เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่การตัดสินใจให้เกิดผลการดำเนินงานสูงสุดของระบบ ในการแก้ปัญหามีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ปัญหาและตัดสินใจให้เกิดผลดำเนินงานที่ดีที่สุด เช่น กำไรสูงสุด ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และแนวทางอื่นๆ ที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุด โดยมีเงื่อนไขที่กำหนดในสภาวะต่างๆ เช่น ขีดความสามารถในการผลิต เครื่องจักร แรงงาน ปริมาณความต้องการ พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด เป็นต้น

**รูปแบบแทนระบบของโปรแกรมเชิงเส้น**

รูปแบบแทนระบบทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรมเชิงเส้นตรงมีโครงสร้างดังนี้

1.สมการกำหนดเป้าหมาย (Objective Function) คือสมการแสดงความสัมพันธ์ของเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุด เช่น ต้นทุน ผลกำไร

2. สมการแสดงขอบข่าย (Constraints) ตัวแบบจะต้องมีข้อจำกัด หรือขอบข่าย ซึ่งจำกัดค่าของตัวแปรตัดสินใจที่เป็นไปได้

3. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) คือตัวแปรที่ยังไม่รู้ค่าแต่จะหาค่าได้จากตัวแบบที่สร้างขึ้น

4. พารามิเตอร์ (Parameters) คือค่าคงที่ (ตัวคูณ หรือ ค่าทางด้านขวาของสมการ) ในข้อจำกัดหรือขอบเขตและฟังก์ชันเป้าหมายหรือตัวแปรที่ควบคุมได้ของระบบอาจเป็นแบบแน่นอน (Deterministic) หรืออาจจะเป็นแบบความน่าจะเป็น (Probabilistic)

**ขั้นตอนการดำเนินการของการโปรแกรมเชิงเส้นตรง**

เพื่อช่วยให้เข้าใจลักษณะปัญหาและวิธีการใช้เทคนิคทางโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ซึ่งสรุปการดำเนินการได้ดังนี้

**- การจัดตั้งรูปแบบแทนระบบของปัญหา (Model Formulation)**

ขั้นตอนแรกต้องทำการศึกษาข้อมูลองค์ประกอบของปัญหาให้เข้าใจ โดยเลือกเฉพาะองค์ประกอบที่สำคัญและมีอิทธิพลมาก แล้วจัดตั้งตัวแปรแทนส่วนประกอบของปัญหานั้นๆ ให้ถูกต้องจนสามารถจัดตั้งส่วนประกอบดังนี้

1. สมการกำหนดเป้าหมาย
2. สมการหรืออสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรภายใต้ขอบเขตต่างๆ ที่มีอยู่
3. สมการหรืออสมการที่ตั้งขึ้นเป็นไปในลักษณะสมการเชิงเส้นตรง

**- การหาผลลัพธ์ของรูปแบบแทนระบบของปัญหา (Model Solution)**

เมื่อสามารถจัดรูปแบบของปัญหาเชิงเส้นตรงแล้ว จะสามารถหาผลลัพธ์จากรูปแบบแทนระบบด้วยวิธีการดังกล่าวดังนี้

1. ในกรณีที่เป็นปัญหาที่มีตัวแปรเป็น 2 ตัวอาจจะใช้
   - วิธีกำจัดขอบข่ายของคำตอบ (Direct Elimination Method)
   - วิธีอนุมานทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Deduction Method)
   - วิธีกราฟ (Graphical Method)
2. กรณีที่เป็นปัญหาที่มีตัวแปรมากกว่า 2 ตัว อาจจะใช้
   - วิธีทางพีชคณิตทั่วๆ ไป (General Algebraic Method)
   - วิธี Simplex Method

เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นตรงแบบจำนวนจริง เป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมเส้นตรงอีกรูปแบบหนึ่ง โดยตัวแปรที่ควบคุมได้ (Decision Variable) เป็นค่าจำนวนเต็ม หากตัวแปรทั้งหมดเป็นค่าจำนวนเต็ม เรียกว่าโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนจริงบริสุทธิ์ (Pure Integer Linear Programming) กรณีที่บางตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม บางตัวแปรเป็นจำนวนต่อเนื่อง เรียกว่าโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนจริงผสม (Mixed Integer Linear Programming)

โดยสรุปแล้วในการหาคำตอบในการวางแผนกำลังการผลิตในงานวิจัยฉบับนี้จะนำวิธีการในการหาคำตอบโดยการใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตมาหาความสัมพันธ์ และใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์หาคำตอบที่เหมาะสม คือต้นทุนต่ำที่สุด เพื่อใช้ในการวางแผนให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากที่สุด

**2.1.2 การวางแผนการผลิต (Production Planning )** กิตติพงศ์ วิเวกานนท์ และคณะ (2547)

การวางแผนการผลิตถือเป็นระบบงานหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบหลักของการจัดการกระบวนการผลิต โดยทำหน้าที่ในการเป็นตัวกลางในการรับข้อมูลจากฝ่ายขาย นับเป็นข้อมูลความต้องการของลูกค้ามาแปลงเป็นแผนสำหรับเตรียมจัดความพร้อมด้านทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อดำเนินการด้านการผลิต แผนดังกล่าวจะถูกส่งผ่านไปยังฝ่ายผลิต เพื่อดำเนินงานและควบคุมกระบวนการผลิตให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของลูกค้า ทั้งในด้านปริมาณ และระยะเวลา การวางแผนการผลิตนั้นมีลำดับขั้นที่สามารถแยกย่อยได้ตามช่วงเวลา คือ การวางแผนการผลิตระยะยาว ระยะกลาง และระยะสั้น ซึ่งในแต่ละลำดับขั้นนั้นก็มีจุดประสงค์และหัวข้อที่เป็นองค์ประกอบของการวางแผนแตกต่างกัน โดยการวางแผนจะแบ่งแยกตามระยะเวลาได้ดังนี้

**การวางแผนการผลิตระยะยาว (Long-term Production Planning)**

การวางแผนการผลิตระยะยาว หมายถึง การวางแผนการผลิตในช่วงเวลามากกว่า 1 ปีขึ้นไป โดยทั่วไปแล้วจะอยู่ระหว่าง 3 – 5 ปี ซึ่งเป็นการวางแผนระดับกลยุทธ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการตัดสินใจในการเตรียมความพร้อมด้านกำลังการผลิตสำหรับการดำเนินกิจการในอนาคต เช่น สาธารณูปโภคของโรงงาน การวางแผนระยะยาวนี้มุ่งเน้นที่การวางแผนกำลังการผลิตเป็นหลัก ซึ่งต้องมีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับการวางแผนการผลิตในลำดับขั้นอื่น ๆ เพราะกำลังการผลิตที่มากกว่าแผนการผลิต คือการลงทุนในส่วนที่เพิ่มและในทางตรงข้ามหากกำลังการผลิตมีค่าต่ำกว่าความต้องการของสินค้า ก็จะทำให้เสียโอกาส ดังนั้นการวางแผนต้องมีความสอดคล้องกัน

**การวางแผนการผลิตระยะกลาง (Middle-term Production Planning )**

การวางแผนระยะกลาง หมายถึง การวางแผนการผลิตในช่วงระยะเวลาระหว่าง 1 – 12 เดือน ข้างหน้าซึ่งเป็นการวางแผนระดับจัดการ มีจุดประสงค์เพื่อจัดสรรการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้สามารถเกิดผลอย่างเต็มที่ในกระบวนการผลิต โดยทรัพยากร หมายถึงสิ่งที่จำเป็นและใช้เป็นปัจจัยในการผลิต เช่น วัตถุดิบ เครื่องจักร เป็นต้น การวางแผนระยะกลางมีหัวข้อดังนี้

**- การวางแผนการผลิตรวม (Aggregate Planning )**

การวางแผนการผลิตรวมเป็นลำดับขั้นแรกของการวางแผนการผลิตระยะกลาง ซึ่งแผนการผลิตรวมเป็นแผนการที่สร้างขึ้นเพื่อทำการเชื่อมโยงความสามารถในการผลิตทั้งหมดที่มีอยู่ให้สอดคล้องกับความต้องการในตัวสินค้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ทั้งนี้จะไม่เจาะจงรายละเอียดในระดับปัจจัยการผลิต แต่เป็นการกำหนดลักษณะพิจารณาโดยรวมทั้งหมด ความสำคัญในการวางแผนการผลิตรวมคือเป็นการจัดเตรียมทรัพยากรการผลิตในระยะกลางให้สอดคล้องกับแผนการผลิตที่จะเกิดขึ้นภายใต้กำลังการผลิตที่กำหนดไว้ รวมทั้งมุ่งเน้นในเรื่องต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่ต่ำที่สุด

**- การจัดตารางการผลิตหลัก (Master Production Scheduling : MPS )**

การจัดตารางการผลิตหลัก เป็นการจัดทำแผนการผลิตที่ระบุเจาะลงไปว่าจะทำการผลิตงานอะไร จำนวนเท่าใดและจะต้องเสร็จสมบูรณ์เมื่อใด โดยทั่วไปมักจะจัดทำตารางการผลิตหลักเป็นรายเดือนหรือรายสัปดาห์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการผลิตสินค้านั้น ๆ ข้อมูลในตารางการผลิตหลักจะมาจากค่าการพยากรณ์ยอดขาย ซึ่งอาจจะคำนวณตามหลักสถิติหรือมาจากใบสั่งซื้อของลูกค้า ทั้งนี้การจัดตารางการผลิตต้องสอดคล้องกับแผนการผลิตรวมที่กำหนดไว้ด้วย

**- การวางแผนความต้องการวัสดุ ( Material Requirement Planning : MRP )**

การวางแผนความต้องการวัสดุ เป็นเทคนิคในการจัดการเกี่ยวกับความต้องการวัตถุดิบชิ้นส่วน เพื่อให้สามารถรู้ถึงปริมาณความต้องการในแต่ละช่วงเวลา และสามารถจัดหาได้อย่างเพียงพอทันเวลาตามต้องการ โดยใช้ข้อมูลจากตารางการผลิตหลัก ซึ่งจะบอกถึงสิ่งที่ต้องผลิตว่ามีจำนวนเท่าใด ในเวลาใด จากนั้นจะพิจารณาถึงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ว่ามีวัตถุดิบใด โดยต้องดูและควบคุมวัตถุดิบคงคลังพร้อมกับการจัดหาในปริมาณที่เพียงพอ

**- การวางแผนความต้องการกำลังการผลิต (Capacity requirement Planning : CRP )**

การวางแผนความต้องการกำลังการผลิต เป็นการจัดทำแผนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดกำลังการผลิตที่จำเป็นสำหรับแต่ละหน่วยงาน เช่นแรงงาน เครื่องจักร หรือปัจจัยการผลิตอื่น ๆ ว่าควรมีอยู่ในปริมาณเท่าใด และต้องการในช่วงเวลาใด โดยจะรับข้อมูลความต้องการวัสดุจาก MRP มาประเมินผลว่ามีความเหมาะสมเพียงใด ทั้งนี้ให้สอดคล้องกับกำลังการผลิต เพื่อให้มั่นใจได้ว่ากำลังการผลิตที่มีอยู่ และในช่วงเวลานั้นมีความสมดุลเพียงพอสำหรับแต่ละหน่วยงานโดยไม่ให้เกิดการมาก หรือน้อยเกินไป

**การวางแผนการผลิตระยะสั้น (Short-term Production Planning )**

การวางแผนระยะสั้น หมายถึง การวางแผนการผลิตที่ช่วงเวลาเป็นรายสัปดาห์หรือรายวัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณงานและความซับซ้อนของกระบวนการผลิต เป็นการวางแผนระดับปฏิบัติการ ที่มีจุดประสงค์เพื่อจัดเตรียมกำหนดเวลาในการทำงานการใช้งานให้กับทรัพยากรการผลิตที่เกี่ยวข้อง เช่น แรงงาน เครื่องจักร การวางแผนระยะสั้นจะมุ่งเน้นเรื่องการจัดตารางการผลิตเป็นหลัก ซึ่งถือเป็นขั้นสุดท้ายของระบบการวางแผนการผลิตโดยต้องมีความยืดหยุ่นค่อนข้างสูง เพื่อให้สอดคล้องกับสถานภาพของกระบวนการผลิต

**การจัดตารางการผลิต (Production Scheduling )**

การจัดตารางการผลิต เป็นการจัดสรรทรัพยากรไม่ว่าจะแรงงาน เครื่องจักรหรือระบบอำนวยความสะดวก ให้ดำเนินการผลิตตามที่มอบหมายภายในช่วงเวลากำหนดไว้ การจัดตารางการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการผลิตทั้งแบบต่อเนื่อง และ ไม่ต่อเนื่อง เพราะต้องจัดทรัพยากรการผลิตที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด

จากการวิเคราะห์ระบบการวางแผนการผลิตทั้งหมดพบว่า ในการวางแผนแต่ละลำดับขั้นนั้นต้องมุ่งเน้นในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรการผลิตที่มีอยู่ให้เกิดผลสูงสุด หากมีปัญหาใดเกิดขึ้นก็อาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนแผนการผลิตให้เหมาะสม เพื่อให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินการภายใต้ข้อกำหนดต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**2.1.3 การวางแผนกำลังการผลิต (Capacity Planning )** สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน (2548)

กำลังการผลิต (Capacity) หมายถึง ขอบเขตบนหรือเพดานบนของปริมาณงานที่หน่วยผลิตหนึ่งสามารถกระทำได้ โดยหน่วยผลิตนี้จะกล่าวรวมถึง โรงงาน หน่วยงาน ร้านหรือแรงงาน กำลังการผลิตของหน่วยผลิตเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวางแผนขององค์กร ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจความสามารถเชิงปริมาณในรูปของทรัพยากรที่ใช้และผลผลิต ในบางกรณีมีการปรับกำลังการผลิตที่เหมาะสมอยู่บ่อยครั้ง และในบางกรณีกำลังการผลิตจะไม่ถูกปรับเปลี่ยนบ่อยนัก โดยทั่วไปแล้วปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถี่คือ ความคงที่ของอุปสงค์ การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี หรืออื่น ๆ ซึ่งจะต้องคำนึงถึงระบบการผลิตว่าเหมาะสมหรือไม่

**ความสำคัญของการตัดสินใจเรื่องกำลังการผลิต (Importance of capacity decision )**

1. การตัดสินใจเลือกกำลังการผลิตมีผลกระทบอย่างแท้จริงต่อความสามารถขององค์กรที่จะตอบสนองอุปสงค์ในอนาคต นั้นคือกำลังการผลิตจะกำหนดขีดจำกัดของปริมาณผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ การมีกำลังการผลิตที่สามารถตอบสนองอุปสงค์ได้อย่างดีย่อมทำให้ไม่เสียโอกาสไป ซึ่งในบางครั้งที่ปริมาณอุปสงค์เกิดมีมากจนกำลังการผลิตมีไม่เพียงพอที่จะผลิตได้ทันตามความต้องการ ผลก็คือเสียโอกาสในการที่จะได้รับกำไร

2. การตัดสินใจเลือกกำลังการผลิตมีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต ในอุดมคติแล้วกำลังการผลิตและปริมาณอุปสงค์จะพอดีกัน ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด แต่ในทางปฏิบัติเรื่องนี้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ยาก เพราะปริมาณอุปสงค์ที่แท้จริงจะแตกต่างจากปริมาณอุปสงค์ที่คาดไว้หรือมีการขึ้นลงเป็นวัฏจักร ซึ่งการตัดสินใจต้องพยายามทำให้ต้นทุนระหว่างกำลังการผลิต ไม่พอกับกำลังการผลิตเกิดสมดุลกันให้ได้

3. กำลังการผลิตเป็นตัวกำหนดหลักของเงินลงทุน โดยปกติแล้วยิ่งกำลังการผลิตสูง เงินลงทุนก็จะสูงตาม แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีสัดส่วนหนึ่งต่อหนึ่ง เพราะในหลายกรณีที่เงินลงทุนส่วนเพิ่มจะลดลงเรื่อย ๆ เป็นสัดส่วนของกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น

4. เมื่อได้เลือกกำลังการผลิตแล้ว การเปลี่ยนแปลงแผนการใช้ทรัพยากรมีความยุ่งยากมาก และจะเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตซึ่งมากขึ้นไปอีก

5. การเลือกกำลังการผลิตครั้งหนึ่งเป็นการเลือกในการใช้ทรัพยากรในระยะยาว และเมื่อมีการใช้กำลังการผลิตนั้นแล้ว การเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตจะเป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้ หรือเป็นไปได้ยากและมีต้นทุนสูงมาก

6. การตัดสินใจเลือกกำลังการผลิตมีอิทธิพลต่อความสามารถในการแข่งขัน หากผู้ผลิตรายหนึ่งกำลังการผลิตส่วนเกินอยู่หรือสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ง่าย ก็เสมือนว่าเป็นการสร้างอุปสรรคในการเข้าสู่ตลาดของผู้ผลิตรายใหม่

**การกำหนดและวัดกำลังการผลิต (Defining and Measuring Capacity)**

กำลังการผลิตมักจะหมายถึงขอบเขตบนของอัตราการเกิดผลผลิต แม้ว่าคำจำกัดความนี้จะดูง่าย แต่ในบางกรณีการวัดจะยาก ซึ่งในการปฏิบัติการวัดกำลังการผลิตจะดูจากทรัพยากรที่มีอยู่ในการผลิต ไม่มีการวัดกำลังการผลิตวิธีหนึ่งวิธีใดจะมีความเหมาะสมในทุกสถานการณ์ โดยจะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ เพื่อให้เกิดความเหมาะสม เช่น โรงกลั่นน้ำมัน ทรัพยากรคือ ปริมาณน้ำมันดิบ ผลผลิตคือน้ำมันสำเร็จรูป (ลิตรต่อวัน) นอกจากนี้มีอีก 2 คำจำกัดความที่เกี่ยวกับกำลังการผลิต คือ

1. กำลังการผลิตที่ออกแบบไว้ (Design capacity ) คือผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้

2. กำลังการผลิตที่ทำได้จริง (Effective capacity) คือผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ภายใต้ข้อจำกัดและสถานการณ์ที่มีผลกระทบ

กำลังการผลิตที่ออกแบบไว้ คือ อัตราการผลิตสูงสุดภายใต้สถานการณ์ในอุดมคติ ซึ่งกำลังการผลิตที่ทำได้จริงโดยปกติแล้วจะน้อยกว่ากำลังการผลิตที่ออกแบบไว้ ผลผลิตที่แท้จริงจะน้อยกว่ากำลังการผลิต เช่น การเกิดการชำรุดของเครื่องจักร การขาดแคลนวัตถุดิบ เป็นต้น

เนื่องจากกำลังการผลิตที่มีประสิทธิผลเป็นตัวจำกัดผลผลิตที่แท้จริง ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่สำคัญในการเพิ่มการใช้ประโยชน์คือ การเพิ่มกำลังการผลิตที่ทำได้จริงโดยพยายามลดปัญหาด้านคุณภาพ การบำรุงรักษาเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพที่ดี อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์ที่สูงจะจำเป็นเมื่อมีปริมาณอุปสงค์มีมากเพียงพอ หากปริมาณอุปสงค์มีอยู่ไม่มากนัก การให้ความสนใจในการเพิ่มการใช้ประโยชน์เพียงอย่างเดียวจะก่อให้เกิดผลเสียได้ เพราะผลผลิตส่วนเกินไม่เพียงแต่จะเพิ่มต้นทุนผันแปรในการผลิตเท่านั้น และยังก่อให้เกิดต้นทุนในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ข้อเสียการที่ใช้ประโยชน์สูงอาจทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นอันเนื่องจากการรอคอยในจุดที่เกิดปัญหา

**การกำหนดกำลังการผลิตที่ต้องการ (Determining Capacity Requirement)**

การวางแผนกำลังการผลิตเป็นการพิจารณาทั้งในระยะสั้นและระยะยาว การพิจารณาระยะยาวเกี่ยวกับระดับโดยรวมของกำลังการผลิต เช่น ขนาดโรงงาน ส่วนการพิจารณาในระยะสั้นจะเกี่ยวข้องกับความผันแปรในกำลังการผลิตที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากอุปสงค์ที่ผันแปรตามฤดูกาลอย่างไม่มีรูปแบบหรืออย่างผิดปกติ การกำหนดกำลังการผลิตในระยะยาวต้องอาศัยการพยากรณ์อุปสงค์ ที่มีแนวโน้มและพิจารณาข้อมูลในอดีต ส่วนการกำหนดกำลังการผลิตในระยะสั้นไม่มีความจำเป็นต้องพิจารณารูปแบบแนวโน้มและวัฏจักร แต่จะมองว่ามีกำลังการผลิตเพียงพอหรือไม่ ซึ่งองค์กรสามารถทราบรูปแบบการแปรผันแบบฤดูกาลได้จากการพยากรณ์ สามารถพิจารณาได้ทั้งรายปี รายเดือนและรายสัปดาห์ รายวัน

**2.1.4 การบริหารพัสดุคงคลัง (Inventory Management)** สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน (2548)

สินค้าคงคลังคือสินค้าที่ยังไม่ได้ใช้และรอเวลาที่จะนำไปใช้ โดยปกติแล้วบริษัทจะเก็บไว้เป็นจำนวนมาก สินค้าคงคลังมักจะเกี่ยวข้องกับองค์กรไม่ว่าทางใดก็ทางหนึ่ง โรงงานจะมีวัตถุดิบ อะไหล่ ชิ้นส่วน เครื่องจักร เครื่องมือ และผลผลิตเป็นสินค้าคงคลัง ในอดีตระบบสินค้าคงคลังจะมีหน้าที่เป็นเพียงระบบจัดเก็บสิ่งของที่มีอยู่ในองค์กรไว้ โดยไม่คำนึงว่าระบบคงคลังก็เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในองค์กร หากองค์กรใดมีการบริหารสินค้าคงคลังที่ดีจะทำให้ลดปัญหาต่างๆได้มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการขาดแคลนวัตถุดิบที่ส่งผลให้ไม่สามารถผลิตได้ตามแผนการผลิตที่วางไว้ และอาจจะทำให้การส่งสินค้าไม่ทันเวลา นอกจากนี้องค์กรสามารถลดต้นทุนในการสำรองกักตุนสินค้าที่ไม่จำเป็นได้ ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ รวมถึงต้นทุนของสินค้าที่ต้องจมอยู่ด้วย เพราะการบริหารคงคลังที่ดีจะต้องมีต้นทุนคงคลัง (Inventory Cost) ต่ำ โดยพัสดุคงคลังเพียงพอกับความต้องการ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงการสั่งซื้อว่าควรสั่งซื้อเมื่อใดและในปริมาณเท่าใด

**วัตถุประสงค์ของการควบคุมสินค้าคงคลัง**

การควบคุมสินค้าคงคลังอย่างไม่มีประสิทธิภาพจะทำให้มีสินค้าคงคลังมากหรือน้อยเกินกว่าจำเป็น ถ้าสินค้าคงคลังมีน้อยเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาคอขวดในการผลิต จัดส่งสินค้าล่าช้า ทำให้ลูกค้าไม่พอใจ ส่วนกรณีที่มีสินค้าคงคลังมากเกินไป ปัญหาหลักจะอยู่ที่ต้นทุนในการเก็บรักษาที่จะสูงมากจนเกินไป การบริหารสินค้าคงคลังจะให้ความสนใจใน 2 เรื่อง คือ

- ระดับของการบริการลูกค้า นั้นคือการมีสินค้าคงคลังที่ถูกต้อง มีปริมาณเพียงพอและในสถานที่ซึ่งเหมาะสม
- ต้นทุนในการสั่งซื้อและเก็บรักษาสินค้าคงคลัง

เป้าหมายโดยรวมของการบริหารสินค้าคงคลังคือสามารถตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า โดยที่ต้นทุนเกี่ยวกับสินค้าคงคลังอยู่ในระดับที่รับได้ กล่าวคือ ผู้บริหารต้องจัดสมดุลในการเก็บสินค้าคงคลัง ต้องตัดสินใจเรื่องขนาดและเวลาที่จะสั่งซื้อสินค้าคงคลัง

ในการหาระดับพัสดุคงคลังที่เหมาะสมด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์นั้น ต้องมีการนิยามเกณฑ์ที่ใช้วัด เพื่อจะตอบให้ได้ว่าระดับพัสดุคงคลังใดที่เหมาะสมที่สุด โดยทั่วไปแล้วมักใช้ค่าใช้จ่ายเป็นเกณฑ์สำคัญ ดังนั้นระดับพัสดุคงคลังที่เหมาะสมที่สุดจะต้องมีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด (Cost Minimization) หรือให้กำไรมากที่สุด (Profit Maximization) ค่าใช้จ่ายที่นำมาพิจารณาในปัญหาพัสดุคงคลังถูกจำแนกออกมาเป็น 3 กลุ่ม คือ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาพัสดุ (Holding Cost) ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ/สั่งผลิต (Ordering Cost) และค่าใช้จ่ายจากพัสดุขาดมือ (Shortage Cost)ในแต่ละระบบพัสดุคงคลังอาจประกอบด้วยผลรวมของค่าใช้จ่ายทั้ง 3 กลุ่มหรืออย่างน้อย 2 กลุ่มแรก

**ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาพัสดุ (Holding Cost/Carrying Cost)**

คือค่าใช้จ่ายที่แปรผันโดยตรงกับปริมาณของพัสดุคงคลังที่เก็บรักษาไว้ เช่น ค่าสถานที่จัดเก็บ ค่าขนถ่ายโยกย้าย เบี้ยประกัน การเสื่อมสภาพ ค่าเสียโอกาสในการลงทุน และอื่น ๆ พัสดุคงคลังเปรียบเสมือนเป็นเงินสดเพราะเงินลงทุนบางส่วนตกอยู่ในรูปของพัสดุคงคลัง ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสามารถประมาณให้อยู่ในรูปร้อยละของราคาพัสดุคงคลังต่อหน่วยโดยจะคิดเป็นต่อระยะเวลา (การจัดเก็บต่อปี) แต่โดยปกติมักจะระบุค่าใช้จ่ายเป็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของพัสดุ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$h = IC$$

โดยที่ h = ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บพัสดุ

I = ร้อยละของค่าเก็บรักษาต่อปี

C = มูลค่าพัสดุต่อหน่วย

**ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ/ผลิต (Ordering /Set up cost)**

คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตเท่านั้น ค่าใช้จ่ายนี้ประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 2 ส่วน คือ ส่วนที่คงที่ (Ordering/Set up Cost) ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนนี้ไม่แปรผันตามจำนวนหน่วยที่มีการสั่งซื้อหรือผลิต จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสั่งซื้อหรือผลิตเท่านั้น โดยจะเกิดขึ้นทันที เช่น การอนุมัติการจัดซื้อ การติดตามการสั่งซื้อ การตรวจรับ การออกคำสั่งผลิต การเบิกวัสดุเครื่องมือ โดยค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะแทนด้วย K ค่าใช้จ่ายอีกส่วนหนึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่แปรผันโดยตรงกับปริมาณสั่งซื้อหรือผลิต ถ้ามีการสั่งซื้อ/ผลิตครั้งหนึ่งในปริมาณ X หน่วย โดย

ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของการซื้อ/ผลิต คือ C ดังนั้นค่าใช้จ่ายในส่วนนี้คือ CX ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้คือ K + CX

**ค่าใช้จ่ายจากพัสดุขาดมือหรือค่าร้างพัสดุ (Shortage/Penalty Cost)**

คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีพัสดุไม่เพียงพอต่อความต้องการหรืออุปสงค์ นั่นคือมีอุปสงค์มากกว่าอุปทาน ตัวอย่างเช่น ค่าเสียโอกาสทำกำไรจากการขาย ค่าเสียโอกาสจากการหยุดชะงักของกิจกรรมต่าง ๆ เป็นต้น

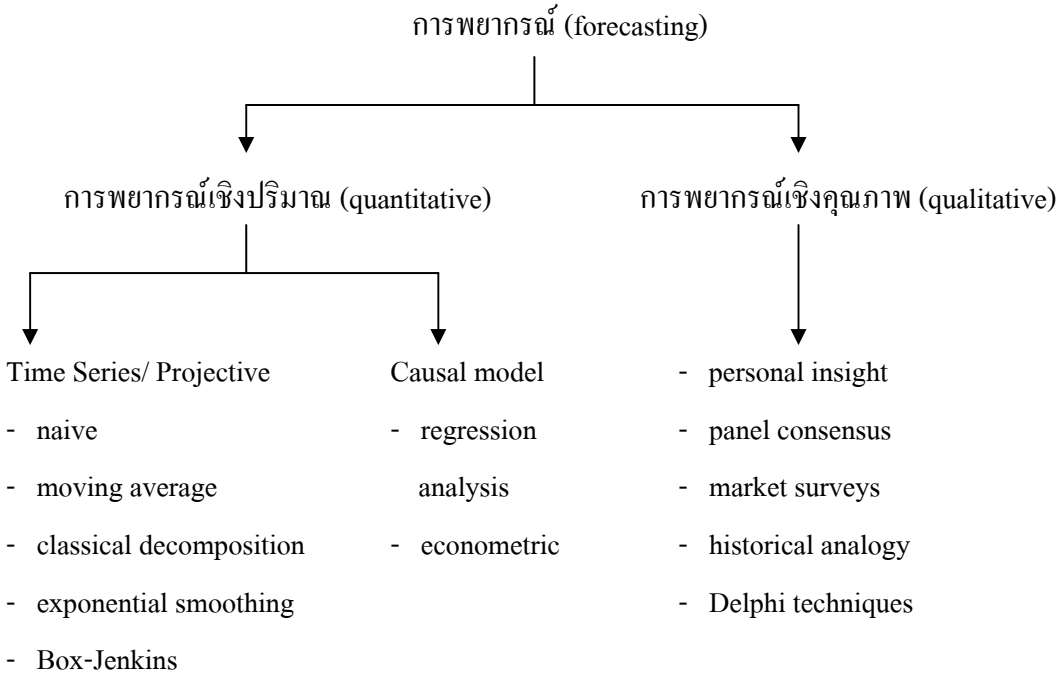
**2.1.5 การพยากรณ์ (Forecasting)** สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน (2548)

การวางแผนจำเป็นต้องมีข้อมูลข่าวสาร เนื่องจากข้อมูลของอนาคตมีความไม่แน่นอนอยู่เสมอ และถ้าความไม่แน่นอนในอนาคตมีอยู่มากเกินไป การวางแผนก็จะไม่มีประสิทธิภาพ การพยากรณ์ คือ การคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตนั้นช่วยลดความไม่แน่นอนได้บางส่วน ดังนั้นการพยากรณ์จึงมีความสำคัญต่อการวางแผน การพยากรณ์ช่วยในการวางแผนได้สองระดับ ระดับแรกคือผู้บริหารในการวางแผนระบบและระดับที่สองคือ ช่วยการสร้างแผนในการใช้ระบบการวางแผนระบบโดยปกติเป็นการวางแผนระยะยาวเกี่ยวกับการเลือกชนิดของสินค้าหรือบริการที่จะผลิต การเลือกทำเลที่ตั้ง เป็นต้น ส่วนในการวางแผนการใช้ระบบจะอยู่ในระยะกลางและระยะสั้น เช่นการวางแผนกำลังการผลิต การวางแผนเรื่องแรงงาน เป็นต้น

อัจราวรรณ ทองไสย (2544) เมื่อพิจารณาถึงการพยากรณ์สามารถแบ่ง การพยากรณ์ ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative forecasting) และการพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative forecasting) ซึ่งการพยากรณ์เชิงปริมาณจำแนกตามแนวคิดได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 มีแนวคิดว่าพฤติกรรมในอดีตเพียงพอที่จะพยากรณ์พฤติกรรมในอนาคตได้ หรือเรียกว่าการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time series) ซึ่งมีวิธีการพยากรณ์ ได้แก่ วิธีง่าย (Native) วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average) วิธีการแยกส่วนประกอบ (Classical decomposition) วิธีปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential smoothing) และวิธีบ็อกซ์-เจนกิ้นส์ (Box-Jenkins)

ประเภทที่ 2 มีแนวคิดว่าพฤติกรรมของสิ่งที่จะพยากรณ์มีสิ่งอื่นๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์บางลักษณะกับสิ่งที่จะพยากรณ์เป็นตัวกำหนด หรือเรียกว่าโมเดลเชิงสาเหตุ (Causal model) ได้แก่ วิธีการวิเคราะห์ถดถอย (Regression analysis) และวิธีการพยากรณ์เชิงเศรษฐมิติ (Econometric) ดังแสดงในรูปที่ 2.1




รูปที่ 2.1 การพยากรณ์เชิงปริมาณและการพยากรณ์เชิงคุณภาพ

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าการพยากรณ์มีวิธีแตกต่างกัน แต่ละวิธีมีคุณลักษณะและข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ทำให้การเลือกวิธีการพยากรณ์ต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ การเลือกวิธีการพยากรณ์วิธีใดวิธีหนึ่ง ผู้พยากรณ์จำเป็นต้องพิจารณาสถานการณ์และลักษณะปัญหาที่ต้องการพยากรณ์ให้ชัดเจน ซึ่งอาจพิจารณาจากหลักต่อไปนี้ มุกดา แม้นมินทร์(2549)

**1. รูปแบบของค่าพยากรณ์**

โดยทั่วไปเมื่อมีปัญหาที่ต้องทราบค่าพยากรณ์ สิ่งหนึ่งที่ผู้พยากรณ์จำเป็นต้องทราบคือรูปแบบของค่าพยากรณ์ ที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปนั้นเป็นรูปของค่าพยากรณ์แบบจุดหรือแบบช่วง ทั้งนี้เพราะวิธีพยากรณ์บางวิธีจะให้ค่าพยากรณ์แบบจุดเท่านั้น

**2. ความแม่น**

ความแม่นของค่าพยากรณ์ เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่ช่วยให้เลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมได้บางปัญหาต้องการค่าพยากรณ์คร่าว ๆ ในขณะที่บางปัญหาค่าพยากรณ์ที่แม่นเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนี้คุณสมบัติความแม่นของแต่ละวิธีพยากรณ์แตกต่างกัน บางวิธีให้ค่าแม่นเฉพาะในช่วงระยะเวลาสั้นในอนาคตเท่านั้น บางวิธีเหมาะสมที่จะใช้ในการพยากรณ์ระยะยาวด้วย

**3. กรอบเวลา**

เนื่องจากการหาค่าพยากรณ์ คือการหาค่าของตัวแปรที่พิจารณาในอนาคตที่ช่วงเวลาห่างไปจากปัจจุบันเป็นวัน สัปดาห์ เดือน ปี เป็นต้น ช่วงเวลาเหล่านี้เรียกว่า กรอบเวลา โดยทั่วไปอาจจำแนกกรอบเวลาตามความยาวของกรอบเวลาดังนี้

ค่าพยากรณ์ระยะใกล้ หมายถึง ค่าพยากรณ์ในอนาคตในช่วงเวลาห่างจากปัจจุบันน้อยกว่าหนึ่งเดือน

ค่าพยากรณ์ระยะสั้น หมายถึง ค่าพยากรณ์ในอนาคตในช่วงเวลาห่างจากปัจจุบัน 1 เดือน แต่ไม่มากกว่า 3 เดือน

ค่าพยากรณ์ระยะกลาง หมายถึง ค่าพยากรณ์ในอนาคตในช่วงเวลาห่างจากปัจจุบันมากกว่า 3 เดือน แต่น้อยกว่า 2 ปี

ค่าพยากรณ์ระยะยาว หมายถึง ค่าพยากรณ์ในอนาคตในช่วงเวลาจากปัจจุบัน 2 ปี หรือมากกว่า 2 ปี

**4. ลักษณะของข้อมูล**

นอกจากส่วนประกอบข้างต้นแล้วสิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่จะเป็นเสมือนเงื่อนไขในการเลือกวิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ คือ ผู้พยากรณ์ควรตรวจสอบดูว่าข้อมูลที่มีอยู่เป็นข้อมูลประเภทใด เป็นข้อมูลที่เป็นค่าของตัวแปรที่จะพยากรณ์เท่านั้นหรือเป็นค่าของตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องด้วย นอกจากในกรณีที่ข้อมูลที่พิจารณาเป็นข้อมูลที่เหมาะสมที่จะพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบอนุกรมเวลาจะต้องพิจารณาต่อไปว่าอนุกรมเวลานั้นมีส่วนประกอบส่วนใดบ้าง ผู้พยากรณ์สามารถนำลักษณะของข้อมูลเหล่านี้มาประกอบการพิจารณาเลือกใช้วิธีพยากรณ์ตามความรู้เกี่ยวกับวิธีการพยากรณ์

**5. ค่าใช้จ่าย**

ในการพยากรณ์แต่ละครั้งย่อมมีค่าใช้จ่ายหลายประการ เช่น ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการรวบรวมข้อมูล ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการวิเคราะห์ขอมูล เป็นต้น และในบางครั้งถ้ายิ่งต้องการค่าพยากรณ์ที่มีความแม่นสูงค่าใช้จ่ายจะยิ่งเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ถ้าพิจารณาการพยากรณ์ที่ซับซ้อนใช้เวลาในการคำนวณมาก หรือใช้ข้อมูลในการคำนวณมากกว่าหนึ่งประเภทในการคำนวณ จะพบว่าค่าใช้จ่ายสำหรับวิธีการพยากรณ์เหล่านี้จะสูงกว่าวิธีการพยากรณ์ที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อนง่ายแก่การเข้าใจ และใช้ประเภทของข้อมูลน้อยกว่าเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นค่าใช้จ่ายจึงเป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งที่สำคัญในการพิจารณาเลือกวิธีการพยากรณ์

**6. ข้อมูลที่มีอยู่**

ผู้พยากรณ์ควรทราบว่าชนิดของข้อมูลที่มีอยู่เป็นข้อมูลในอดีตที่ทันสมัย หรือเป็นอดีตมากไปจนลักษณะของข้อมูลอาจแตกต่างไปจากลักษณะของข้อมูลที่ทันสมัยกว่ามาก เหมาะที่จะใช้ทั้งหมดหรือไม่หรือใช้ได้แต่เพียงบางส่วน ข้อมูลที่เป็นค่าของตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์และตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีอยู่อย่างมบูรณ์หรือไม่ จำนวนข้อมูลมีเท่าเนื่องจากวิธีพยากรณ์บางวิธีมีเงื่อนไขเกี่ยวกับจำนวนข้อมูล การพยากรณ์ที่แม่นจะเกิดขึ้นไม่ได้ถ้าไม่มีข้อมูลที่ทันสมัยเพียงพอและสมบูรณ์

**7. ความซับซ้อน**

โดยทั่วไปความเข้าใจในวิธีการพยากรณ์ที่ใช้ช่วยให้เกิดความเชื่อมั่นในการตัดสินใจใช้ค่าพยากรณ์ในการตอบปัญหาต่าง ๆ ดังนั้นความซับซ้อนของวิธีการพยากรณ์ซึ่งอยู่ในระดับที่ผู้ใช้วิธีพยากรณ์นั้น ๆ สามารถเข้าใจง่าย เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ จึงอาจกล่าวได้ว่าวิธีที่ซับซ้อนน้อยแต่แม่นน้อยกว่าอาจเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าวิธีที่ซับซ้อนแต่ให้ค่าพยากรณ์ที่แม่นมากกว่า ถ้าความแม่นนั้นแตกต่างกันน้อยมาก

จากรายละเอียดที่กล่าวมาข้างต้นการพยากรณ์ที่พิจารณาในงานวิจัยฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์เชิงปริมาณ ซึ่งเป็นการพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ในอนาคตเพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนกำลังการผลิต ดังนั้นจะกล่าวถึงรายละเอียดของการพยากรณ์เชิงปริมาณ และรายละเอียดของการพยากรณ์แต่ละวิธีที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้

**การพยากรณ์เชิงปริมาณ** สมเกียรติ เกตุเอี่ยม (2548)

เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ เป็นการพยากรณ์ที่ต้องอาศัยวามรู้ทางด้านคณิตศาสตร์และสถิติไปสร้างรูปแบบหรือสมการพยากรณ์เพื่อจะพยากรณ์ข้อมูลหรือเหตุการณ์ในอนาคต ดังนั้นการพยากรณ์แบบนี้จะต้องมีการใช้ข้อมูลในอดีตที่ผ่านมา ข้อมูลในอดีตจะต้องอยู่ในรูปของตัวเลขหรือสามารถแปลงเป็นตัวเลขได้ และจะต้องมีปริมาณมากพอสมควรจึงจะทำการพยากรณ์แบบนี้มีความเชื่อถือได้มาก เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time series models) และเทคนิคการพยากรณ์แบบเป็นเหตุเป็นผล (Causal model or explanatory models)

**1. เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time series models)**

เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาเป็นการพยากรณ์ที่อาศัยข้อมูลในอดีตมาพิจารณาว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลดังกล่าวเมื่อเวลาเปลี่ยนไปมีลักษณะเป็นอย่างไร มีการเคลื่อนไหวมากน้อยเพียงใด โดยมีข้อสมมุติว่าแบบแผนการเคลื่อนไหวของข้อมูลในอนาคตจะไม่แตกต่างจากแผนแบบการเคลื่อนไหวของข้อมูลในอดีต ซึ่งแสดงข้อมูลดังนี้

**ส่วนประกอบของอนุกรมเวลา** ทรงศิริ แต้สมบัติ(2549)

การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาขึ้นกับส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนประกอบ ได้แก่ แนวโน้ม อิทธิพลของฤดูกาล อิทธิพลของวัฏจักร และเหตุการณ์ที่ผิดปกติ การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาอาจจะเกิดจากส่วนประกอบหลักมากกว่าหนึ่งส่วนประกอบ แต่ทุกอนุกรมเวลาจะมีการเคลื่อนไหวเนื่องจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติหรืออิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่เนื่องจากแนวโน้ม อิทธิพลของฤดูกาล อิทธิพลของวัฏจักร โดยความหมายของแต่ละส่วนประกอบหลักมีดังนี้

**1. แนวโน้ม (Trend)**

หมายถึงการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาในระยะยาวเป็นได้ทั้งแนวโน้มขึ้นและแนวโน้มลง แนวโน้มมักจะขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวกับเศรษฐกิจ จำนวนประชากร วัฒนธรรมทางสังคม สิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี ลักษณะของแนวโน้มมีหลายลักษณะ เช่น แนวโน้มเส้นตรง แนวโน้มกำลังสอง แนวโน้มเอกซ์โปเนนเชียล แนวโน้มแบบตัว S เป็นต้น

**2. อิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal Effect)**

การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาเนื่องจากอิทธิพลของฤดูกาลเป็นกรณีที่การเคลื่อนไหวเกิดขึ้นซ้ำๆ ในแต่ละช่วง โดยลักษณะการเคลื่อนไหวในแต่ละช่วงไม่แตกต่างกัน ปัจจัยที่มีผลต่อฤดูกาลมีหลายปัจจัย เช่นสภาพอากาศ อุณหภูมิ สภาพทางสังคม วัฒนธรรม ในทางปฏิบัติอนุกรมเวลาที่นำมาศึกษาอิทธิพลของฤดูกาลมักเป็นอนุกรมเวลารายเดือน รายไตรมาส หรือรายงวดที่มีแผนแบบคงที่ หรือไม่คงที่ การวิเคราะห์อนุกรมเวลาส่วนใหญ่จะสมมุติให้มีแบบแผนคงที่

**3. อิทธิพลของวัฏจักร (Cyclical Effect)**

การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่เก็บรวบรวมเป็นระยะเวลาต่อเนื่องกันหลายปีอาจจะแสดงอิทธิพลของวัฏจักร โดยหนึ่งวัฏจักรจะคลุมระยะเวลาหลายปี แผนแบบวัฏจักรในแต่ละช่วงของวัฏจักรมักจะแตกต่างกันและช่วงของวัฏจักรจะสั้นยาวต่างกัน วัฏจักรที่พบเสมอได้แก่วัฏจักรทางธุรกิจ เช่น ช่วงรุ่งเรือง ช่วงตกต่ำ หรือวัฏจักรของอากาศ การพยากรณ์การเคลื่อนไหวของวัฏจักรทำได้ยากกว่าการพยากรณ์การเคลื่อนไหวของฤดูกาล เพราะในแต่ละช่วงวัฏจักรมักมีแผนแบบการเคลื่อนไหวที่ต่างกันและช่วงวัฏจักรคลุมช่วงเวลาไม่เท่ากัน มักมีการเปลี่ยนตำแหนงของค่าต่ำค่าสูงต่างกัน สำหรับอนุกรมเวลาที่มีขนาดใหญ่มากอาจจะปรากฏวัฏจักรรวมอยู่กับแนวโน้มเนื่องจากยังแสดงอิทธิพลของวัฏจักรไม่ชัดเจน

**4. เหตุการณ์ที่ผิดปกติ (Irregular Effect)**

เป็นเหตุการณ์ที่เกิดจากปัจจัยอื่นๆ ที่นอกเหนือจากแนวโน้ม ฤดูกาล วัฏจักร นั่นคือเหตุการณ์ที่ไม่ได้คาดมาก่อนว่าจะเกิดขึ้นหรือเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่บ่อยนัก เช่น ภัยธรรมชาติ อุบัติเหตุ มีผลทำให้การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาไม่มีแผนแบบที่แน่นอน

การวิเคราะห์อนุกรมเวลามีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพิจารณาแบบแผนการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่ได้จากการแยกส่วนประกอบของอุกรมเวลา ได้แก่ แนวโน้ม อิทธิพลของฤดูกาล อิทธิพลของวัฏจักร และเหตุการณ์ผิดปกติ ในรูปสมการหรือแบบแผนเชิงคณิตศาสตร์ที่อธิบายได้จากข้อมูลส่วนประกอบและลักษณะของอนุกรมเวลาแสดงเทคนิคหรือวิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ได้ดังนี้

**1. วิธีแบบง่ายๆ (Naive or last period method)**

วิธีการนี้ค่าพยากรณ์ในอนาคตจะมีค่าเป็นสัดส่วนของข้อมูลตัวล่าสุดหรือค่าสังเกตุล่าสุด ซึ่งสัดส่วนอย่างไรนั้นผู้พยากรณ์จะเป็นผู้กำหนดขึ้นมาเอง

**2. การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน (Decomposition or classical method)**

ตามวิธีการนี้ค่าพยากรณ์ได้จากการรวมส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ซึ่งได้แก่ ค่าแนวโน้ม ค่าความผันแปรตามฤดูกาล ค่าความผันแปรตามวัฏจักร และค่าความผันแปรเนื่องจากเหตุการที่ผิดปกติ ส่วนประกอบทั้ง 4 ค่านี้ ส่วนใหญ่จะหาได้จากวิธีการเฉลี่ยแบบธรรมดา (Simple average) แบบเคลื่อนที่ (Moving average) แบบ Census II และวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares method)

**3. เทคนิคการทำให้เรียบ (Smoothing method)**

วิธีการพยากรณ์แบบนี้ ค่าพยากรณ์ในอนาคตจะขึ้นอยู่กับค่าที่สังเกตุในอดีตโดยมีการให้น้ำหนักกับค่าสังเกตุในอดีตที่แตกต่างกันออกไป เช่น กรณีที่ให้น้ำหนักกับค่าสังเกตุเท่ากันหมดทุกค่า จะเรียกว่าวิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average method) กรณีให้น้ำหนักกับค่าสังเกตุไม่เท่ากัน จะเรียกวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted moving average method) และกรณีให้น้ำหนักกับค่าสังเกตุลดหลั่นกันแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing method) สำหรับการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing method) สำหรับการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลยังมีชื่อเรียกเฉพาะอีกต่างหากซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลอนุกรมเวลา

**4. การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบบอกซ์-เจนกินส์**

การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบบอกซ์-เจนกินส์เป็นการพยากรณ์ที่ต้องหารูปแบบที่เหมาะสมให้กับข้อมูลในอนุกรมเวลาโดยพิจารณาจากฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation function :ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation function :PACF) วิธีการสร้างรูปแบบดังกล่าวจะอยู่ในรูปของ ARIMA (p, d, q) (Autoregressive Integrated Moving Average) ซึ่งเป็นรูปแบบที่กำหนดว่าค่าพยากรณ์ในอนาคตเป็นค่าที่ได้จากค่าสังเกตุหรือค่าพยากรณ์ และค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ก่อนหน้านี้

**5. การพยากรณ์แบบปรับได้ (Adaptive Forecasting)**

การพยากรณ์แบบปรับได้ เป็นการพยากรณ์ที่พัฒนามาจากวิธีการพยากรณ์การทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย วิธีการแบบนี้จะมีการกำหนดค่าคงที่การทำให้เรียบ (Smoothing Constant) ขึ้นมาใหม่ในแต่ละครั้งของการพยากรณ์ค่าสังเกตุ ตามลักษณะความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจริง

**2. เทคนิคการพยากรณ์แบบเป็นเหตุเป็นผล (Causal model or explanatory models)**

การพยากรณ์ด้วยวิธีนี้จะเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์หรือเรียกว่าตัวแปรตาม กับตัวแปรที่มีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ ตัวแปรดังกล่าวเรียกว่า ตัวแปรอิสระ สำหรับตัวแบบที่นิยมใช้กันมากคือ ตัวแบบการถดถอย และตัวแบบเศรษฐมิติ สำหรับการพยากรณ์ด้วยการหาความสัมพันธ์แบบนี้นั้นสามารถใช้พยากรณ์ได้ทุกช่วงเวลา และจำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิเคราะห์ค่อนข้าองมาก แต่ให้ความแม่นยำของการพยากรณ์ค่อนข้างสูง

**1. ตัวแบบการถดถอย (Regression models)**

ตัวแบบการถดถอยเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระว่ารูปแบบความสัมพันธ์นั้น ควรจะเป็นแบบใดโดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีต ทั้งนี้เพื่อให้ได้รูปแบบ (สมการถดถอย) ไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป ตัวแบบการถดถอยดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับตัวแปรนั้น จะต้องเป็นตัวแปรที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามเท่านั้นจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ

**2. ตัวแบบเศรษฐมิติ (Econometrics models)**

ตัวแบบเศรษฐมิติเป็นตัวแบบที่ศึกษาความสัมพันธ์เชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกัน กล่าวคือเป็นตัวแบบคล้ายกับตัวแบบการถดถอย เพียงแต่ว่าตัวแปรอิสระที่เรากำลังศึกษากันแทนที่จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเพียงอย่างเดียว ตัวแปรอิสระเหล่านั้นอาจจะมีความสัมพันธ์กันกับตัวแปรอื่นๆ ที่เราไม่ได้นำมาศึกษา

จากข้อมูลการพยากรณ์เชิงปริมาณที่นำเสนอ เป็นรายละเอียดอย่างคร่าว ๆ ไม่ได้ลงขั้นตอนและวิธีการในการหาค่าและสมการพยากรณ์ โดยในการพยากรณ์ข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ จะทำการใช้วิธีการต่างๆ และเลือกวิธีที่ให้ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ต่ำที่สุดมาใช้ ซึ่งรายละเอียดและขั้นตอนการพยากรณ์แต่ละวิธีแสดงได้ดังนี้

**รายละเอียดและขั้นตอนในการพยากรณ์แต่ละวิธี** สมเกียรติ เกตุเอี่ยม (2548)

ในการพยากรณ์ข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ในงานวิจัยฉบับนี้ จะพิจารณาวิธีการพยากรรณ์ด้วยวิธีการต่างๆ คือ การพยากรณ์โดยใช้การเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average) การพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน (Decomposition Method) การ

ทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Single Exponential Smoothing Method) การทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter's Exponential Smoothing Method) การพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วยวิธีการถดถอย (Regression) และวิธีบ็อกซ์-เจนกิ้นส์ (Box-Jenkins) โดยแสดงรายละเอียดของแต่ละวิธีการได้ดังนี้

**การพยากรณ์โดยใช้การเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average)**

การเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายเป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะกับข้อมูลที่มีลักษระการเคลื่อนไหวอยู่ในระดับคงที่หรือข้อมูลค่อนข้างเรียบตามแนวนอน และเหมาะกับการพยากรณ์ระยะสั้น การพยากรณ์ตามวิธีการนี้จะมีการนำค่าสังเกตหรือข้อมูลล่าสุดจำนวนหนึ่งมาหาค่าเฉลี่ย เช่น 3 หรือ 5 ค่า ซึ่งการเฉลี่ยนี้เป็นการเฉลี่ยที่ให้น้ำหนักกับค่าสังเกตแต่ละค่าเท่ากัน สำหรับจำนวนค่าสังเกตที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ยนั้น ถ้าข้อมูลมีการเคลื่อนไหวมาก ควรใช้จำนวนค่าสังเกตมาก และในทางกลับกันถ้าข้อมูลค่อนข้างเรียบควรใช้จำนวนค่าสังเกตน้อยลง

สำหรับสูตรที่ใช้ในการพยากรณ์แสดงได้ดังสมการ

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + ... + Y_{t-k+1}}{k}$$

โดยที่ $\hat{Y}_{t+1}$ = ค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ t+1

$Y_t$ = ค่าสังเกตหรือข้อมูล ณ เวลาที่ t

$k$ = จำนวนข้อมูลที่นำมาหาค่าเฉลี่ย

**การพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน (Decomposition Method)**

การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน จัดว่าเป็นวิธีการพยากรณ์ที่จะแยกอนุกรมเวลาออกเป็นส่วนๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าแนวโน้ม ค่าความผันแปรตามฤดูกาล เป็นต้น การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยการวิเคราะห์อนุกรมแบบแยกส่วน โดยการพิจารณาส่วนประกอบที่มีผลต่อค่าพยากรณ์ คือแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาลนั้น กำหนดให้ค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลาที่ t ดังสมการ

$$\hat{Y}_t = Y_t^{'} \times S_t$$

โดยที่ $\hat{Y}_t$ = ค่าพยากรณ์ข้อมูล ณ เวลาที่ t

$Y_t^{'}$ = ค่าแนวโน้ม ณ ช่วงเวลา t

$S_t$ = เป็นค่าดัชนีฤดูกาล ณ ช่วงเวลาที่ t

**การพยากรณ์ด้วยเทคนิคการปรับเรียบ (Exponential Smoothing Method)**

การปรับเรียบ หมายถึงการใช้ข้อมูลหรือค่าสังเกตในอดีตส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดในการสร้างสมการพยากรณ์ โดยน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกตแต่ละค่าแตกต่างกัน วิธีการให้น้ำหนักแก่ค่าสังเกตหรือข้อมูลในอดีตนั้นมีผู้คิดค้นไว้หลายวิธีด้วยกันขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลหรือค่าสังเกตว่ามีส่วนประกอบของแนวโน้มหรือฤดูกาลหรือไม่ เหตุผลประการสำคัญที่มีการใช้เทคนิคการทำให้เรียบ เนื่องมาจากในข้อมูลอนุกรมเวลามักจะมีความผันแปรเนื่องจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปรเนื่องจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติจะทำให้เราไม่สามารถเห็นส่วนประกอบอื่น ๆ ของอนุกรมเวลาได้และสามารถจะพยากรณ์ค่าอนุกรมเวลาได้ในอนาคต

สำหรับเทคนิคการปรับเรียบมีด้วยกันอยู่หลายวิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลอนุกรมเวลา โดยจะนำเสนอใน 2 ส่วนคือ การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่ายและ การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์

**- การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Single Exponential Smoothing Method)**

การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย เป็นวิธีการที่ค่าพยากรณ์คำนวณได้จากข้อมูลที่ผ่านมาทั้งหมด โดยมีการให้น้ำหนักหรือความสำคัญของข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน การให้น้ำหนักจะให้เท่ากับค่าที่เกิดขึ้นล่าสุด ($Y_t$) มากที่สุดและจะลดหลั่นกันไปในลักษณะแบบเอกซ์โพเนนเชียล สำหรับค่าสังเกตที่อยู่ห่างออกไป ($Y_{t-1}$, $Y_{t-2}$, ... ) ส่วนน้ำหนักที่ให้จะขึ้นกับค่าคงที่ในการทำให้เรียบ ( $\alpha$ ) หรือบางทีเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การทำให้เรียบ โดยที่ $0 \le \alpha \le 1$ สำหรับสูตรที่ใช้ในการพยากรณ์เขียนได้ดังสมการ

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

โดยที่ $\hat{Y}_{t+1}$ = ค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ต้องการ

$\hat{Y}_t$ = ค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ t

$\alpha$ = ค่าสัมประสิทธิ์การทำให้เรียบ โดยที่ $0 \le \alpha \le 1$

ในส่วนของการกำหนดค่าเริ่มต้น $\hat{Y}_{initial}$ เพื่อทำการหาค่าพยากรณ์ตัวถัดไปและการกำหนดค่า $\alpha$ นิยมการกำหนดได้ดังนี้

1. กำหนดให้ $\hat{Y}_{initial} = \hat{Y}_1 = Y_1$ จะทำให้ค่าพยากรณ์ $\hat{Y}_t$ สำหรับ t=2, 3, 4, ...ได้
2. $\hat{Y}_{initial} = \overline{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

ส่วนค่า $\alpha$ จะกำหนดขึ้นเองหรือจะใช้ค่า $\alpha$ ที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

**- การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter)**

การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์(Triple exponential smoothing : Winter's Method) วิธีการพยากรณ์นี้เหมาะกับข้อมูลที่มีแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาลและยังเหมาะกับการพยากรณ์ในระยะสั้นจนถึงการพยากรณ์ในระยะปานกลาง ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการคำนวณควรจะเป็นข้อมูลรายสัปดาห์ รายเดือนหรือรายไตรมาส เพื่อจะได้วิเคราะห์ความผันแปรตามฤดูกาลได้และข้อมูลควรมีอย่างน้อย 36 ค่าขึ้นไปสำหรับข้อมูลที่เป็นรายเดือน ซึ่งการพยากรณ์ด้วยวิธีของวินเตอร์ขึ้นอยู่กับตัวแบบของข้อมูลอนุกรมว่าเป็นแบบใด ในที่นี้นำเสนอเมื่อเป็นตัวแบบการคูณ (Multiplicative seasonality model) จะมีตัวแบบเป็น

$$Y_t = (\beta_0 + \beta_1 t) S_t \varepsilon_t$$

เมื่อ $Y_t$ คือข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ. เวลา t

$\beta_0, \beta_1$ คือค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

$\varepsilon_t$ คือค่าคลาดเคลื่อน ณ. เวลา t

$S_t$ คือค่าความผันแปรตามฤดูกาล ณ. เวลา t

สำหรับสมการที่ใช้ในการพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_{t+m} = \begin{cases} (a_t + b_t(m))\hat{S}_t \; ; t \le p \\ (a_t + b_t(m))\hat{S}_{t-p+m} \; ; t > p \end{cases}$$

ค่า $a_t$ คือระดับของข้อมูลหรือส่วนที่เป็นการทำให้เรียบ

$$a_t = \begin{cases} \dfrac{\alpha Y_t}{\hat{S}_t} + (1-\alpha)\left[a_{t-1} + b_{t-1}\right]; t \le p \\ \dfrac{\alpha Y_t}{\hat{S}_{t-p}} + (1-\alpha)\left[a_{t-1} + b_{t-1}\right]; t > p \end{cases}$$

ค่า $b_t$ คือส่วนที่เป็นแนวโน้ม

$$b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$$

ค่า $\hat{S}_t$ คือส่วนที่เป็นฤดูกาล

$$\hat{S}_t = \frac{\delta Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-p}$$

$m$ คือจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

$p$ คือจำนวนฤดูกาล ถ้า p = 4 เมื่อข้อมูลเป็นรายไตรมาส p = 7 เมื่อข้อมูลเป็นรายวันและ p = 12 เมื่อข้อมูลเป็นรายเดือน

$\alpha$ คือค่าคงที่การทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์และ $0 \le \alpha \le 1$

$\gamma$ คือค่าคงที่การทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณของแนวโน้มและ $0 \le \gamma \le 1$

$\delta$ คือค่าคงที่การทำให้เรียบระหว่างค่าฤดูกาลจริงกับค่าประมาณฤดูกาลและ $0 \le \delta \le 1$

สำหรับการกำหนดค่าเริ่มต้นของ $a_t$ , $b_t$ , $\hat{S}_t$ ได้มีผู้เสนอไว้หลายแบบดังนี้

1. ค่าเริ่มต้นของ $a_t$ คือ $a_0$ ซึ่ง $a_0 = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + ... + Y_p}{p}$ หรือ $a_0 = Y_p$ หรือ $a_0 = Y_l$ หรือ $a_0$ ได้จากการสร้างสมการแนวโน้ม $\hat{Y} = a + bX$ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน ซึ่ง $a_0 = a$ นั่นเอง

2. ค่าเริ่มต้นของ $b_t$ คือ $b_0$ ซึ่ง $b_0 = 0$ หรือ

$b_0 = \frac{(Y_{p+1} - Y_1) + (Y_{P+2} - Y_2) + (Y_{p+3} - Y_3) + ... + (Y_{2p} - Y_p)}{p^2}$ หรือ $b_0$ ได้จากการสร้างสมการแนวโน้ม $\hat{Y} = a + bX$ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน ซึ่ง $b_0 = b$

3. ค่าเริ่มต้นของ $\hat{S}_t$ จะหาทั้งหมดเท่ากับ p ค่า โดยที่ $\hat{S}_t = \frac{Y_t}{a_0}$ เมื่อ t=1, 2, 3,...,p หรือค่า $\hat{S}_t (t = 1,2,3,..., p)$ มีค่าเท่ากับค่าดัชนีฤดูกาลที่หาได้จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน โดยการประมาณค่าดัชนีฤกาลให้เป็นดัชนีฤดูกาลที่แท้จริง ยึดหลักที่ว่าผลรวมของดัชนีฤดูกาลของข้อมูลจะมีค่าเท่ากับฤดูกาล กรณีฤดูกาลเท่ากับ 12 ผลรวมจะเท่ากับ 12 หากมีค่ามากหรือน้อยกว่าต้องเท่าการปรับด้วยวิธีการเทียบบัญญัติไตรยางค์ ซึ่ง $\sum_{i=1}^{12} \hat{S}_i = 12$

ส่วนค่า $\alpha$ , $\gamma$ และ $\delta$ นั้นผู้พยากรณ์อาจจะเป็นผู้กำหนดเองหรืออาจจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปค้นหาค่าของ $\alpha$ , $\gamma$ และ $\delta$ ที่ทำให้ SSE หรือ MSE มีค่าต่ำสุดก็ได้

**การพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย (Regression)**

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติวิธีหนึ่งที่มีผู้นำมาใช้ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลาเพื่อศึกษาแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ค่าของตัวแปรตามเป็นค่าสังเกตในอนุกรมเวลาที่สนใจลักษณะการเคลื่อนไหว ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลามีหลายตัวแปร โดยตั้งชื่อตามลักษณะของตัวแปร ในกรณีที่ข้อมูลอนุกรมเวลามีค่าเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มและ/หรือความผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งในกรณีนี้ตัวแบบการถดถอยก็อาจจะประกอบไปด้วยแนวโน้มเพียงอย่างเดียว หรือแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล ตัวแปรอิสระที่ใช้แทนความผันแปรตามฤดูกาลจะเป็นตัวแปรดัมมี่ ซึ่งตัวแปรนี้จะมีการกำหนดค่า

ขึ้นมาเพื่อจะบอกว่าข้อมูลอนุกรมเวลานั้นเกิดขึ้นในฤดูกาลใด ค่าตัวแปรดัมมี่ที่มักนิยมใช้กันคือ 0 หรือ 1 โดยที่ 0 ถ้าอนุกรมเวลาไม่ตกในฤดูกาลที่กำหนดและเท่ากับ 1 ถ้าข้อมูลอนุกรมเวลาตกอยู่ในฤดูกาลที่กำหนด สำหรับตัวแปรดัมมี่กำหนดให้เป็น $S_{it}$ โดยที่

$$S_{it} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อค่าสังเกตุ } Y_i \text{ ตกอยู่ในช่วงฤดูกาลที่ i ; i = 1, 2, 3, …, L-1} \\ 0 & \text{เมื่อค่าสังเกตุ } Y_i \text{ ไม่ตกอยู่ในช่วงฤดูกาลที่ i ; i = 1, 2, 3, …, L-1} \end{cases}$$

**1. ข้อมูลอนุกรมเวลามีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและความผันแปรตามฤดูกาล**

ส่วนตัวแบบการถดถอยคือ

$$Y_t = \alpha + \beta t + \beta_1 S_{1t} + \beta_2 S_{2t} + \beta_3 S_{3t} + ... + \beta_{L-1} S_{L-1,t} + \varepsilon_t$$

$Y_t$ คือข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

$\alpha$ คือระยะที่ตัดแกนตั้ง (Y-intercept)

$\beta$ คืออัตราการเพิ่มหรือลดของ $Y_t$ เมื่อ t เพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย

$\beta_i$ คือค่าวัดความผันแปรตามฤดูกาลที่ i เมื่อเทียบกับฤดูกาลที่ L สำหรับ i=1, 2, 3, ..., L-1

$\varepsilon_t$ คือค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

สมการที่ใช้ในการพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_t = a + bt + b_1 S_{1t} + b_2 S_{2t} + b_3 S_{3t} + ... + b_{L-1} S_{L-1}$$

โดยที่ค่า a, b และ $b_1, b_2, b_3, ..., b_{L-1}$ เป็นค่าประมาณของ $\alpha, \beta$ และ $\beta_1, \beta_2, \beta_3, ..., \beta_{L-1}$ ตามลำดับ

**2. ข้อมูลอนุกรมเวลามีแนวโน้มเป็นโพลิโนเมียลกำลังสองและความผันแปรตามฤดูกาล**

ส่วนตัวแบบการถดถอยคือ

$$Y_t = \alpha + \beta t + \gamma t^2 + \beta_1 S_{1t} + \beta_2 S_{2t} + \beta_3 S_{3t} + ... + \beta_{L-1} S_{L-1,t} + \varepsilon_t$$

$Y_t$ คือข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

$\alpha, \beta, \gamma$ คือค่าคงที่ที่อธิบายส่วนที่เป็นแนวโน้มแบบโพลิโนเมียล

$\beta_i =$ คือค่าวัดความผันแปรตามฤดูกาลที่ i เมื่อเทียบกับฤดูกาลที่ L สำหรับ i=1, 2, 3, ..., L-1

$\varepsilon_t =$ คือค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

สมการที่ใช้ในการพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_t = a + bt + ct^2 + b_1 S_{1t} + b_2 S_{2t} + b_3 S_{3t} + ... + b_{L-1} S_{L-1}$$

โดยค่า a,b,c และ $b_1, b_2, b_3, ..., b_{L-1}$ เป็นค่าประมาณของ $\alpha, \beta, \gamma$ และ $\beta_1, \beta_2, \beta_3, ..., \beta_{L-1}$ ตามลำดับ

**3. ข้อมูลอนุกรมเวลามีแนวโน้มเป็นเอกซ์โพเนนเชียลและความผันแปรตามฤดูกาล**

ส่วนตัวแบบการถดถอยคือ

$$Y_t = \alpha\beta^t \beta_1^{S_{11}} \beta_2^{S_{21}} \beta_3^{S_{31}} ... \beta_{L-1}^{S_{L-1,t}} \varepsilon_t$$

หรือ $\ln Y_t = \ln\alpha + (\ln\beta)t + (\ln\beta_1)S_{1t} + (\ln\beta_2)S_{2t} + ... + (\ln\beta_{L-1})S_{L-1,t} + \ln\varepsilon_t$

$Y_t$ คือข้อมูลหรือค่าสังเกตุ ณ เวลา t

$\alpha, \beta$ คือค่าคงที่ที่อธิบายส่วนที่เป็นแนวโน้มแบบเอกซ์โพเนนเชียล

$\beta_i =$ คือค่าวัดความผันแปรตามฤดูกาลที่ i เมื่อเทียบกับฤดูกาลที่ L สำหรับ i=1, 2, 3, ..., L-1

$\varepsilon_t =$ คือค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

สมการที่ใช้ในการพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_t = ab^t b_1^{S_{1t}} b_2^{S_{2t}} b_3^{S_{3t}} ... b_{L-1}^{S_{L-1,t}}$$

โดยที่ค่า a, b และ $b_1, b_2, b_3, ..., b_{L-1}$ เป็นค่าประมาณของ $\alpha, \beta$ และ $\beta_1, \beta_2, \beta_3, ..., \beta_{L-1}$ ตามลำดับ

**การพยากรณ์โดยใช้วิธีบ็อกซ์-เจนกิ้นส์ (Box-Jenkins)** สมเกียรติ เกตุเอี่ยม (2548)

การพยากรณ์อนุกรมด้วยวิธีนี้ผู้ที่คิดค้นก็คือนักสถิติผู้มีชื่อเสียงสองท่านคือ George E.P.Box และ Gwilym M.Jenkins (1970) การกำหนดตัวแบบให้กับอนุกรมเวลาตามวิธีของ บอกซ์ เจนคินส์ จะกำหนดตัวแบบอยู่ในกลุ่มของตัวแบบ ARMA(p, q) (Auto Regressive and Moving Average order p and q model) หรือ ARIMA(p, d, q) (Auto Regressive Integrated Moving Average of order p, d and q) ตัวแบบ ARMA(p, q) จะเป็นตัวแบบที่ใช้กับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีลักษณะเป็นสเตชันนารี ส่วนตัวแบบ ARIMA(p, d, q) จะเป็นตัวแบบที่ใช้กับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีลักษณะไม่เป็นสเตชันนารี ดังนั้นตามวิธีของ บอกซ์เจนคินส์ สามารถจะแบ่งข้อมูลอนุกรมเวลาออกเป็น 2 แบบได้ดังนี้

1. อนุกรมเวลาที่เป็นแบบคงที่(stationary time series) เป็นอนุกรมเวลาที่ค่าสังเกต($Y_t$) มีคุณสมบัติทางสถิติคือ ค่าเฉลี่ย($E(Y_t)$) ค่าความแปรปรวน($V(Y_t)$) และฟังก์ชันความน่าจะเป็นของค่าสังเกต ณ เวลาต่างๆ กันคงที่ กล่าวคือ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป เช่น อนุกรมเวลา $Y_1$, $Y_2$, $Y_3$,..., $Y_n$ เป็นอนุกรมเวลาสเตชันนารี แสดงว่า ความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่าง $Y_t$, $Y_{t-1}$, $Y_{t-2}$,..., $Y_{t+T-1}$ ที่จุดเริ่มต้น t จะไม่ต่างจากความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่าง $Y_{t+j}$, $Y_{t+j-1}$, $Y_{t+j-2}$,..., $Y_{t+j+T-1}$ ที่จุดเริ่ม t+j สำหรับ j = 1, 2, 3,..., n การพิจารณาว่าอนุกรมเวลาชุดใดชุดหนึ่งเป็นสเตชันนารีหรือไม่ ให้พิจารณาได้จาก

- ค่าเฉลี่ย($E(Y_t)$) คงที่สำหรับทุกๆ ค่าของ t หรือไม่ จะทำได้โดยการแบ่งอนุกรมเวลาออกเป็นส่วนๆ แล้วหาค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาแต่ละส่วน ถ้าค่าเฉลี่ยแต่ละส่วนย่อยไม่แตกต่างกันมากนัก จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยคงที่
- ค่าความแปรปรวน($V(Y_t)$) คงที่สำหรับทุกๆ ค่าของ t หรือไม่ จะทำได้โดยการแบ่งอนุกรมเวลาออกเป็นส่วนๆ แล้วหาค่าเลี่ยงเบนมาตรฐานของอนุกรมเวลาแต่ละส่วน ถ้าค่าเลี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละส่วนย่อยไม่แตกต่างกันมากนักจะสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนคงที่
- การพล๊อตกราฟของอนุกรมเวลาแล้วดูการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา ถ้าการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามีแนวโน้มและ/หรือฤดูกาล แสดงว่าอนุกรมเวลาชุดนั้นไม่สเตชันนารี
- พิจารณาคอเรลโรแกรม (correlogram) ของ $r_K$ ซึ่งเป็นกราฟที่เกิดจากการพล๊อตค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองที่ lag K (coefficient autocorrelation ay lag K : $r_K$) กับค่า K ถ้าอนุกรมเวลาเป็นสเตชันนารีค่า $r_K$ มีลักษณะลดลง (die down) อย่างรวดเร็ว เมื่อ K มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้าค่า $r_K$ มีลักษณะลดลงค่อนข้างช้า เมื่อ K มีค่าเพิ่มขึ้น และ/หรือค่า $r_K$ มีค่าค่อนข้างสูงที่ K = L, 2L, 3L,... เมื่อ L เป็นจำนวนฤดูกาล แสดงว่าอนุกรมเวลาชุดนั้นไม่เป็นสเตชันนารี

สำหรับการกำหนดตัวแบบให้กับอนุกรมเวลาที่สเตชันนารี จะกำหนดตัวแบบในรูป ARMA(p, q) ซึ่งตัวแบบ ARMA(p, q) จะประกอบไปด้วยตัวแบบ AR(p) (Autoregressive order p) และตัวแบบ MA(q) (Moving Average order q)

2. อนุกรมเวลาที่ไม่คงที่ (nonstationary time series) เป็นอนุกรมเวลาที่ค่าสังเกต ($Y_t$) มีคุณสมบัติทางสถิติไม่คงที่ คือเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่เปลี่ยนไป อนุกรมเวลาที่ไม่เป็นสเตชันนารี จะใช้ตัวแบบ ARMA(p, q) ไม่ได้ต้องแปลงอนุกรมเวลาดังกล่าวให้เป็นอนุกรมเวลาใหม่ที่มีคุณสมบัติเป็นสเตชันนารีเสียก่อนแล้วจึงจะใช้ตัวแบบ ARMA(p, q) ได้ การแปลงอนุกรมเวลาที่ไม่เป็นสเตชันนารีให้เป็นอนุกรมเวลาที่เป็นสเตชันนารีสามารถกระทำด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

- การหาผลต่าง (Regular Differencing) สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่คงที่ในค่าเฉลี่ยทำให้ข้อมูลอนุกรมเวลาใหม่คงที่ในค่าเฉลี่ย

- การหาผลต่างฤดูกาล (Seasonal Differencing) สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ข้อมูลอนุกรมเวลาใหม่ไม่มีฤดูกาล

- การหาลอการิทึมของข้อมูลอนุกรมเวลา สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีความแปรปรวนไม่คงที่ ทำให้ข้อมูลใหม่มีค่าความแปรปรวนคงที่

เมื่อแปลงอนุกรมเวลาเดิมที่ไม่เป็นสเตชันนารีให้เป็นอนุกรมเวลาที่เป็นสเตชันนารีตัวแบบสำหรับอนุกรมเวลาใหม่คือ ARMA(p,q) ส่วนตัวแบบอนุกรมเวลาเดิมคือ ARIMA(p,d,q) สำหรับรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปจะกล่าวถึงตัวแบบ ARMA(p,q)

**ตัวแบบ ARMA(p,q)**

ตัวแบบ ARMA(p,q) มี p เป็นอันดับของ AR และ q เป็นอันดับของ MA จำนวนพารามิเตอร์จะเท่ากับ p+q+1 ตัวแบบที่กำหนดให้กับอนุกรมเวลามักจะเป็นตัวแบบที่มีจำนวนพารามิเตอร์น้อย ในทางปฏิบัติมักไม่เกิน 3 พารามิเตอร์ สำหรับตัวแบบ ARMA(p,q) เมื่ออนุกรมเวลามีคุณสมบัติสเตชันนารีดังนี้

1. ตัวแบบการถดถอยในตัวเองอันดับที่ p (Autoregressive model of order p: AR(p)) มีตัวแบบทั่วไปดังนี้

$$Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + ... + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t$$

โดยที่ $Y_t$ คือข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

$\delta$ คือค่าคงที่

$\phi_i$ คือค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตัวเองที่ i

$\varepsilon_t$ คือค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ซึ่ง $\varepsilon_t$ มีการแจกแจงปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ $\sigma_\varepsilon^2$ และเป็นอิสระต่อกัน ($\varepsilon_t \sim IN(0, \sigma_\varepsilon^2)$)

จาก $Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + ... + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t$

หรือ $Y_t - \phi_1 Y_{t-1} - \phi_2 Y_{t-2} - ... - \phi_p Y_{t-p} = \delta + \varepsilon_t$

จากสมการสามารถเขียนในรูป Backward operator ได้เป็น

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - ... - \phi_p B^p) Y_t = \delta + \varepsilon_t$$

ตัว B เรียกว่าตัวถอยหลัง (Backward shift หรือ Backshift) โดยที่ $B^p Y_t = Y_{t-p}$

ตัวแบบการถดถอยในตัวเองอันดับที่ p (AR(p)) ที่นิยมใช้กันเมื่อ p=1 และ 2 ซึ่งมีตัวแบบดังนี้

1.1 ตัวแบบถดถอยในตัวเองอันดับที่ 1 (AR(1)) มีตัวแบบดังนี้

$Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t$ หรือ $Y_t - \phi_1 Y_{t-1} = \delta + \varepsilon_t$ หรือ $(1-\phi_1 B)Y_t = \delta + \varepsilon_t$

มี $|\phi_1| < 1$ เป็นเงื่อนไขที่ทำให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติเป็นสเตชันนารี

1.2 ตัวแบบถดถอยในตัวเองอันดับที่ 2 (AR(2)) มีตัวแบบดังนี้

$Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \varepsilon_t$ หรือ $Y_t - \phi_1 Y_{t-1} - \phi_2 Y_{t-2} = \delta + \varepsilon_t$ หรือ
$(1-\phi_1 B - \phi_2 B^2)Y_t = \delta + \varepsilon_t$

มี $\phi_1 + \phi_2 < 1, \phi_2 - \phi_1 < 1$ และ $|\phi_2| < 1$ เป็นเงื่อนไขที่ทำให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติเป็นสเตชันนารี

2. ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ q (Moving average model of order q : MA(q))

มีตัวแบบทั่วไปดังนี้

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - ... - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

โดยที่ $Y_t$ คือข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

$\mu$ คือค่าคงที่

$\theta_i$ คือค่าพารามิเตอร์ของการถดถอยในตัวเองที่ i

$\varepsilon_t$ คือค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ซึ่ง $\varepsilon_t$ มีการแจกแจงปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ $\sigma_\varepsilon^2$ และเป็นอิสระต่อกัน ($\varepsilon_t \sim IN(0, \sigma_\varepsilon^2)$)

จากสมการสามารถเขียนในรูป Backward operator ได้เป็น

$$Y_t = \mu + (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - ... - \theta_q B^q)\varepsilon_t$$

เมื่อ $B^q \varepsilon_t = \varepsilon_{t-q}$

ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q(MA(q)) ที่นิยมใช้กันมากคือ q=1 และ 2 ซึ่งมีตัวแบบดังนี้

2.1 ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 (MA(1)) มีตัวแบบดังนี้

$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$ หรือ $Y_t = \mu + (1 - \theta_1 B)\varepsilon_t$

มี $|\theta_1| < 1$ เป็นเงื่อนไขที่ทำให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติเป็นอินเวอร์ติเบิ้ล ซึ่งคุณสมบัตินี้หมายถึง การที่สามารถเขียน $\varepsilon_t$ ในเทอม $Y_t$, $Y_{t-1}$, $Y_{t-2}$,... ได้และหาค่าประมาณของค่าความคลาดเคลื่อน $\varepsilon_t$ ได้

2.2 ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 2 (MA(2)) มีตัวแบบดังนี้

$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2}$ หรือ $Y_t = \mu + (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2)\varepsilon_t$

มี $\theta_1 + \theta_2 < 1, \theta_2 - \theta_1 < 1$ และ $|\theta_2| < 1$ และ เป็นเงื่อนไขที่ทำให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติเป็นอินเวอร์ติเบิ้ล

3. ตัวแบบผสมการถดถอยในตัวเองและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ p และ q (Mixed autoregressive and moving average model of order p and q : ARMA(p,q)

มีแบบทั่วไปดังนี้

$$Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + ... + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - ... - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

ตัวแบบลักษณะนี้จะมีเทอมของ AR อยู่ p เทอม และเทอมของ MA อยู่ q เทอม ตัวแบบ ARMA(p,q) ที่สำคัญและใช้กันมากคือตัวแบบ ARMA(1,1) ซึ่งมีตัวแบบดังนี้

$$Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$$

ตัวแบบในสมการจะมี $|\phi_1| < 1$ เป็นเงื่อนไขที่ทำให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติเป็นสเตชันนารีและ $|\theta_1| < 1$ เป็นเงื่อนไขที่ทำให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติเป็นอินเวอร์ติเบิ้ล

จากตัวแบบที่แสดงไปแล้วนั้นจะทำการพิจารณาว่าใช้ตัวแบบใด ได้จากลักษณะของ $\rho_K$ และ $\rho_{KK}$ ที่แสดงด้วยคลอเรลโรแกรมสำหรับตัวแบบ ARMA(p,q) แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะ $\rho_K$ และ $\rho_{KK}$ สำหรับตัวแบบ ARMA(p,q)

| ตัวแบบ | $\rho_K$ | $\rho_{KK}$ |
|---|---|---|
| ARMA(0,0) | $\rho_K = 0$ สำหรับ K=1, 2, ... | $\rho_{KK} = 0$ สำหรับ K=1, 2, ... |
| AR(1) | $\rho_K$ มีค่าเข้าใกล้ 0 เมื่อ K มีค่ามากขึ้น | $\rho_{KK} \begin{cases} \neq 0 & \text{สำหรับ K=1} \\ = 0 & \text{สำหรับ K} \geq 2 \end{cases}$ |
| AR(2) | $\rho_K$ มีค่าเข้าใกล้ 0 เมื่อ K มีค่ามากขึ้น | $\rho_{KK} \begin{cases} \neq 0 & \text{สำหรับ K=1,2} \\ = 0 & \text{สำหรับ K} \geq 3 \end{cases}$ |
| MA(1) | $\rho_K \begin{cases} \neq 0 & \text{สำหรับ K=1} \\ = 0 & \text{สำหรับ K} \geq 2 \end{cases}$ | $\rho_{KK}$ มีค่าเข้าใกล้ 0 เมื่อ K มีค่ามากขึ้น |
| MA(2) | $\rho_K \begin{cases} \neq 0 & \text{สำหรับ K=1,2} \\ = 0 & \text{สำหรับ K} \geq 3 \end{cases}$ | $\rho_{KK}$ มีค่าเข้าใกล้ 0 เมื่อ K มีค่ามากขึ้น |
| ARMA(1,1) | $\rho_K$ มีค่าเข้าใกล้ 0 เมื่อ K มีค่ามากขึ้น | $\rho_{KK}$ มีค่าเข้าใกล้ 0 เมื่อ K มีค่ามากขึ้น |

จากตัวแบบที่อันดับต่างๆ ที่นำเสนอ ในการสร้างตัวแบบและการใช้งานการพยากรณ์ด้วยวิธีการนี้มีขั้นตอนหลักอยู่ทั้งหมด 4 ขั้นตอนคือ

ขั้นที่ 1 การกำหนดหรือการคาดเดาตัวแบบ (Identification Model) เป็นการหาตัวแบบที่คาดว่าจะเหมาะสมให้กับข้อมูลอนุกรมเวลาโดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autoregressive function : ACF) และค่าหสัมพันธ์เชิงส่วน (Partial Autoregressive function :PACF) ของข้อมูลอนุกรมเวลา ถ้าข้อมูลอนุกรมเวลาอยู่ในสภาวะไม่คงที่ จะต้องแปลงข้อมูลอนุกรมเวลาให้อยู่ในสภาวะคงที่เสียก่อน จึงสามารถนำข้อมูลมากำหนดตัวแบบได้

ขั้นที่ 2 การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter Estimation) ทำได้โดยการหาแบบง่ายค่าประมาณแบบวิเคราะห์ตัวเลข (Numeric Analysis) โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least-Squares Method) โดยโปรแกรมสำเร็จรูปจะกำหนดค่าประมาณเบื้องต้น (Initial Estimates) เพื่อหาค่าสุดท้าย (Final Estimates) ซึ่งประมาณค่าสุดท้าย โปรแกรมจะทำการคำนวณแบบย้อนซ้ำ (Iterative) จนกว่าจะได้ค่าประมาณซึ่งทำให้ผลรวมกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำสุดจากนั้นนำแบบจำลองที่ได้ไปตรวจสอบความเหมาะสม

ขั้นที่ 3 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ (Diagonostic Checking) เมื่อกำหนดรูปแบบและประมาณค่าพารามิเตอร์แล้ว จะต้องตรวจสอบทุกครั้งว่ารูปแบบที่กำหนดนั้นมีความเหมาะสมจริงหรือไม่ การตรวจสอบสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ในตัวเองและสหสัมพันธ์เชิงส่วน ของค่าคลาดเคลื่อน การทดสอบด้วยค่าสถิติ t ทดสอบว่าค่าผิดพลาดสุ่มมีอัตตสหสัมพันธ์หรือไม่ และทดสอบอัตตสหสัมพันธ์รวมด้วยสถิติไคสแควร์ (Chi-squared Test) ว่าค่าผิดพลาดไม่มีอัตตสหสัมพันธ์ k lag แรก การเขียนกราฟระหว่างค่าคลาดเคลื่อนกับเวลา ถ้าพบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการกระจายเป็นแนวขนานรอบค่าเฉลี่ยศูนย์แสดงว่าค่าผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่ ถ้ารูปแบบที่กำหนดนั้นเหมาะสมแล้ว จะใช้รูปแบบนั้นทำการพยากรณ์ต่อไป แต่ถ้ารูปแบบที่กำหนดนั้นไม่มีความเหมาะสม จะต้องทำการกำหนดตัวแบบในขั้นที่ 1 ใหม่

ขั้นที่ 4 การพยากรณ์ (Forecasting) จะทำได้ทั้งการพยากรณ์แบบจุดและการพยากรณ์แบบช่วง โดยการพยากรณ์จะใช้สมการที่สร้างจากรูปแบบการพยากรณ์ที่กำหนดและผ่านการตรวจสอบในขั้นตอนที่ผ่านมาแล้ว

จากวิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอ การตัดสินใจเลือกวิธีการที่เหมาะสมนั้น จะพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ ซึ่งทำการเปรียบเทียบกันระหว่างความคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธี โดยค่าคลาดคลื่อนที่ใช้แสดงได้ดังนี้

**ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์**

สำหรับการตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์นั้น จะนำหลักสถิติมาใช้กับข้อมูล โดยวัตถุประสงค์หลักในการพยากรณ์คือ การได้มาซึ่งข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำในทางสถิติ สามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากการพยากรณ์ได้หลายวิธี การหาค่าคลาดเคลื่อนที่นิยมใช้มีดังนี้

กำหนดให้ n = จำนวนข้อมูล

$Y_i$ = ค่าข้อมูลจริงชุดที่ i

$\hat{Y}_i$ = ค่าพยากรณ์ชุดที่ i

$e_i$ = แทนค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ชุดที่ i

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i$$

โดยที่ i = 1, 2,3, .....,n

1. ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation: MAD) เป็นการวัดความแม่นยำที่วัดจากค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ โดยไม่คำนึงถึงทิศทางของความคลาดเคลื่อน MAD จะมีหน่วยวัดเหมือนกับค่าสังเกตุ

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n} |e_i|}{n}$$

2. ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) เป็นการวัดความแม่นยำจากค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{n}$$

3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

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

4. ร้อยละของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Percentage Error : MPE) เป็นการวัดความแม่นยำจากค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับค่าข้อมูลจริง

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left\{ \left( \frac{e_i}{Y_i} \right) \times 100 \right\}}{n}$$

5. ร้อยละของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) เป็นการวัดความแม่นยำจากค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับข้อมูลจริงโดยไม่คิดเครื่องหมาย จึงเหมาะที่จะใช้กับการเปรียบเทียบอนุกรมเวลาหลายชุดเมื่อใช้วิธีการพยากรณ์เดียวกันหรือเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์หลายวิธีเมื่อใช้อนุกรมเวลาชุดเดียวกัน

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| \frac{e_i}{Y_i} \right| \times 100}{n}$$

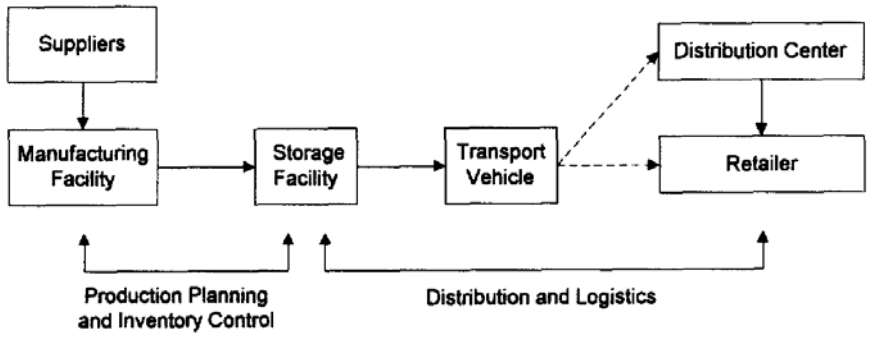
จากวิธีการตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ การนำไปใช้งานมีข้อสังเกตคือ ค่า MAD MPE MAPE ส่วนใหญ่ใช้เป็นค่าเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทางธุรกิจ 2 รายการหรือมากกว่า 2 รายการขึ้นไป ส่วนค่า MSE และ RMSE ส่วนใหญ่ใช้เป็นค่าพิจารณาหาจุดเหมาะสมสำหรับรูปแบบหรือสมการพยากรณ์ ด้วยการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการที่ทำให้ค่า MSE หรือ RMSE มีค่าต่ำที่สุด

**2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

การศึกษาการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อตอบสนองความต้องการและรักษาความพึงพอใจของลูกค้าเป็นสำคัญทั้งด้านคุณภาพ เวลาและบริการจำเป็นต้องมีระบบและแผนการดำเนินการที่ช่วยให้ระบบการผลิตและกระบวนการที่เกี่ยวข้องสอดคล้องกัน เมื่อพิจารณาในส่วนของอุตสาหกรรม การวางแผนที่ดีต้องมีการบริหารจัดการที่ทำให้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด ไม่ว่าจะเป็นระบบการจัดซื้อ กระบวนการผลิต การบริหารสินค้าคงคลัง และการจัดส่ง โดยรวมแล้วจำเป็นต้องจัดการบริหารในทุกขั้นตอนที่เหมาะสมเพื่อเป็นการบริหารด้านต้นทุน

ในการดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพของกระบวนการโดยรวมทั้งกระบวนการตั้งแต่การจัดซื้อ การผลิต ตลอดจนการจัดส่ง ซึ่งมีผลงานวิจัยที่ศึกษาระบบความสัมพันธ์เหล่านี้ที่เน้นเรื่องการบริหารจัดการให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุดโดย Benita M. Beamon ( 1998 ) ทำการศึกษารวบรวมการจัดการด้าน Supply Chainโดยใช้วิธีการต่าง ๆ ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดของกระบวนการ โดยงานวิจัยนี้ได้รวบรวมระบบ Supply Chain ในหลายกระบวนการผลิตที่ต่างกันพร้อมความเหมาะสมของแต่ละวิธี โดยการจัดการด้าน Supply Chain ก็เพื่อจะเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบระบบงาน ซึ่งจุดมุ่งหมายสำคัญคือการควบคุมต้นทุนในอุตสาหกรรม การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การบริหารสินค้าคงคลัง และเพื่อรองรับภาวะเศรษฐกิจโลกที่เปลี่ยนแปลงที่จะส่งผลต่อความต้องการ โดยจุดประสงค์ในการรวบรวมครั้งนี้ก็เพื่อทำการทบทวนเอกสารและรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ Multi – Stage Supply Chain Modeling และกำหนดแนวทางการวิจัยและเลือก Model ของอุตสาหกรรมแต่ละสาขาในอนาคต

Supply Chain อาจจะกำหนดได้ว่าเป็นการรวมกันของกระบวนการตั้งแต่ Supplier กระบวนการผลิต การจัดเก็บ การกระจาย และการขาย เป็นต้น ดังรูปที่ 2.2




รูปที่ 2.2 The supply chain process

จากรูปที่ 2.2 สามารถอธิบายการจัดการได้เป็น 2 กลุ่ม คือ 1. การวางแผนการผลิตและควบคุมสินค้าคงคลัง 2. การกระจายและการจัดส่ง งานวิจัยนี้สรุป Model ของ Supply Chain ตามประเภทขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอุตสาหกรรมและวัตถุประสงค์ แบ่งได้เป็น 4 ประเภท

1. Deterministic analytical models ทราบตัวแปรและค่าต่าง ๆ

2. Stochastic analytical models มีตัวแปรอย่างน้อย 1 ตัวไม่ทราบค่าและจะมีการตั้งสมมุติว่าตัวแปรมีความน่าจะเป็นและมีการกระจาย

3. Economic models พิจารณาความสัมพันธ์ของ Buyer – Supplier ใน Supply Chain

4. Simulation models เป็นเทคนิคที่ใช้ประเมินผลที่เกิดจาก Demand ที่เปลี่ยนแปลง

โดยการวัดสมรรถนะของ Supply Chain มีดังนี้

1. Qualitative performance measures ซึ่งวัดจากความพึงพอใจของลูกค้า และประสิทธิภาพของ Supplier การจัดการผลจากความเสี่ยง

2. Quantitative performance measures เป็นการวัดที่ออกมาเป็นจำนวนได้ อันได้แก่ การวัดโดยมีฐานเป็นต้นทุน เช่น Cost Minimization, Profit maximization เป็นต้น

ในส่วนของการตัดสินใจเลือกตัวแปรใน Supply Chain Modeling เพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ที่ต้องการ ต้องมีการเลือกในการตัดสินใจเลือกตัวแปรให้เหมาะสมกับ Model เช่น การเลือกตารางแผนการผลิต การกระจาย ระดับของสินค้าคงคลัง เป็นต้น จาก Supply Chain ที่ Beamon (1998) นำเสนอไปนั้นเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ในส่วนของการวางแผนการผลิตและควบคุมพัสดุคงคลัง ซึ่งจะทำการเน้นในส่วนนี้เพียงส่วนเดียวที่จะวัดประสิทธิภาพในการวางแผนให้มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาถึงงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบในการหาคำตอบที่เหมาะสมในการจัดการหรือการผลิต มีงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องนี้ เช่น Al - Othman et al. (2007) ได้พัฒนา Multi- period stochastic planning model นำมาใช้งานสำหรับ Supply Chain ของอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่ดำเนินการของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ภายใต้ความไม่แน่นอนของการตลาด โดยงานวิจัยของ Othman et al. มีวัตถุประสงค์ที่แก้ปัญหาที่ประกอบด้วยกิจกรรมที่เกี่ยวกับการผลิตน้ำมัน กระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง การกระจาย ซึ่งความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นนั้นมาจากความต้องการของตลาดและราคา งานวิจัยนี้ใช้ Deterministic Optimization Model พัฒนาขึ้นมาและทดสอบ ซึ่งปัจจัยของ Supply Chain ที่มีระดับของความไม่แน่นอนสูง ทำให้ไม่สามารถควบคุมตัวแปรนั้นโดยการตัดสินใจ ขึ้นอยู่และแปรผันไปตามความไม่แน่นอน ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดนั้นจะเลือกวิธีการที่ได้ utilization สูง และความสามารถของทรัพยากร ในงานวิจัยนี้ได้ตั้ง Objective คือ Minimize Cost ด้านการผลิต Minimize Cost ด้านการจัดเก็บ (Storage) Minimize Cost ด้านการขนส่ง โดยใช้ความพึงพอใจและความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก ซึ่ง Stochastic mathematic Model เป็นทางเลือกในการวางแผนสำหรับตัดสินใจและวิเคราะห์ความไม่แน่นอน โดยจะสร้างสถานการณ์แต่ละแบบพร้อมตัวแปรขึ้นมา โดยพิจารณาความต้องการที่

เปลี่ยนไปทั้งด้านการตลาดและราคา เพื่อหาจุดของแต่ละสถานการณ์ โดยบทสรุปหลักในการศึกษาดูที่ผลิตภัณฑ์น้ำมันและกระบวนการ เมื่อมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้น โดยใช้ Model ในการจัดการความสมดุล ส่วนงานวิจัยของ Jung et al. (2004) ก็พิจารณาต้นทุนมีผลจากการจัดการด้าน Supply Chain ภายใต้ความหลากหลายของตลาด การจัดส่ง และกระบวนการผลิตที่ไม่มีความแน่นอน โดยความไม่แน่นอนใน Suนั้นจะเพิ่มต้นทุนของบริษัท วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการใช้ Deterministic planning and scheduling model ในการรักษาระดับของ Safety Stock โดยทำให้เหมาะสมกับความต้องการที่ไม่คงที่ เปลี่ยนให้เป็นการดำเนินการประจำเพื่อประยุกต์ใช้ในกรณีที่ความต้องการไม่แน่นอน

นอกจากงานวิจัยที่กล่าวไปแล้วนั้น การจัดการและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนของความต้องการที่มีผลต่ออุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้อง ในการหาคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งทำการสร้าง Optimization Model ไม่ว่าจะเป็นงานของ Kelly (2003) ให้ความสำคัญและกำหนดรายละเอียดของ Optimization Model ที่ใช้ในการวางแผนการกลั่นของปิโตรเลียมและปิโตรเคมี โดยการสร้าง Mathematic Model เพื่อจะหาจุดที่เหมาะสมและเป็นจุดที่เป็นเกณฑ์ในการแก้ปัญหาในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งใช้การวางแผน Non-Linear planning model และเลือก Objective ตามที่ต้องการ ซึ่งการหาคำตอบจะใช้ Program ช่วยวิเคราะห์ออกมา เช่นเดียวกันกับผลงานของ Lababidi et al. (2003) ที่พัฒนา Optimization Model สำหรับ Supply Chain ของบริษัทปิโตรเคมีที่ดำเนินการภายใต้ความไม่แน่นอนของกระบวนการและเงื่อนไขทางด้านเศรษฐกิจ โดยความไม่แน่นอนจะเป็นตัวแปร มี Objective Function อยู่บนพื้นฐานของค่าเหมาะสมที่สุดของทรัพยากร ซึ่งความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นกับความต้องการ ราคาตลาด ต้นทุนวัตถุดิบ Chen et al. (2006) ศึกษาโดยสร้าง Model เป็น Supply Chain Planning Model ใช้ Mixed-integer linear programming (MILP) เพื่อหาคำตอบแต่ละสถานการณ์ที่เกิดขึ้น สำหรับการตัดสินใจที่เหมาะสมและใช้งานภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการจะพิจารณาดังนี้

Objective 1: Minimizing the total cost

Objective 2: Maximizing the robustness of total cost to demand uncertainties

Objective 3: Minimizing the local incentives

Objective 4: Minimizing the total transport time

จาก Objective ที่สร้างขึ้นถูกนำมาแก้ปัญหาด้วย MILP model หาคำตอบออกมาในแต่ละสถานการณ์เพื่อหาวิธีการที่ดีที่สุดที่นำมาใช้ในการตัดสินใจได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

การหาคำตอบที่เหมาะสมโดยการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย ทำให้มองเห็นภาพและความเหมาะสมในการจัดการ ซึ่งเทคนิคและงานวิจัยเหล่านี้สามารถนำมาช่วยในการวางแผนกำลังการผลิตสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งถ้ามองในส่วนของการศึกษาที่เน้นในส่วนของการวางแผนการผลิตในส่วนผลิตนั้นก็มีผู้ศึกษาไว้ ซึ่งใช้เทคนิคเดียวกันกับการจัดการระบบ Supply Chain ทั้งระบบ อย่างเช่นผลงานของ โชคชัย ธนเมธี (2543) ทำการสร้างแบบจำลองในการวางแผนการผลิตสำหรับโรงแยกก๊าซ ซึ่งใช้หลักการวิจัยดำเนินงานในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำการจำลองปัญหาในการวางแผนการผลิตและใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการแก้ปัญหา โดยทำการประยุกต์วิธีการหนึ่งของโปรแกรมเชิงเส้นที่เรียกว่าการโปรแกรมเป้าหมาย (Goal Programming) ในการแก้ไขปัญหาที่ต้องการให้บรรลุวัตถุประสงค์หลาย ๆ วัตถุประสงค์ สรุปแล้วแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้วางแผนการผลิตและแก้ไขปัญหาเมื่อปัจจัยต่าง ๆ เปลี่ยนแปลง เช่นราคาผลิตภัณฑ์ ทำให้การตัดสินใจและปรับแผนการผลิตที่เหมาะสม ผลงาน Kosmidis et al. (2005) นำเสนอ Mixed integer nonlinear (MINLP) model สำหรับการจัดตารางการผลิตประจำวันในสายของปิโตรเลียม เมื่อพฤติกรรมที่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นของแหล่งน้ำมันหรือการมีหลายเงื่อนไขในการเจาะน้ำมัน โดยทำการพิจารณาหลายอย่างพร้อม ๆ กัน โดยการตัดสินใจจะรวมถึงสภาวะของการปฏิบัติการ การใช้งานของบ่อหรือการแยกของกระบวนการกลั่นแยก สรุปแล้วการประยุกต์ใช้ Mixed integer optimization model และขั้นตอนของการแก้ปัญหาตารางผลิตเสนอแนวทางเมื่อมีหลายบ่อ หลายหน่วยแยก โดยสามารถหาค่าการปฏิบัติที่เหมาะสม โดยวิธีนี้จะเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพิ่มผลกำไรและหาค่าเหมาะสมในความสามารถในการใช้ทรัพยากร

นอกจากผลงานพวกนี้ที่ประยุกต์ใช้ได้กับการวางแผนการผลิตแล้วยังมีส่วนที่ใช้โปรแกรมเชิงเส้นช่วยในการวางแผนการสั่งซื้อล่วงหน้าของ วรินทร์ เกียรตินุกูล (2548) เพื่อวางแผนการสั่งซื้อล่วงหน้าให้เกิดต้นทุนที่เหมาะสมที่สุดตามนโยบายของการจัดเก็บ โดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นนั้น เริ่มจากการแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมเชิงเส้น ต้องกำหนดเงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เงื่อนไขด้านเวลา เงื่อนไขด้านพัสดุคงคลัง ด้านนโยบาย ทำให้การสั่งซื้อมีประสิทธิภาพมากขึ้น Zukui Li, Marianthi Ierapetritou (2008) ศึกษาความไม่แน่นอนที่มีผลเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิต ซึ่งเป็นเหตุให้การผลิตเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นการวางแผนการผลิตภายใต้ความไม่แน่นอน จึงเป็นหัวข้อที่ต้องทำการศึกษาและหาแนวทางในการใช้งาน งานวิจัยฉบับนี้ได้มีการพัฒนาการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตกรณีที่มีความไม่แน่นอนของปัจจัยต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อการวางแผน โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ สร้างรูปแบบมาอธิบายและรองรับปัญหา มีส่วนช่วยในการตัดสินใจในการจัดสรรทรัพยากรที่จำกัด เวลาในการผลิต การจัดการวัตถุดิบคงคลัง โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ Maximize Profit และ Minimize total cost

การแก้ปัญหาในการจัดการโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์นั้นเป็นสิ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพขององค์กร แต่มีส่วนของความไม่แน่นอนของความต้องการมาเกี่ยวข้องที่คาดการณ์ได้ยาก ส่งผลให้การจัดการทางด้านการวางแผนทำได้ยาก และ เป็นไปได้ยากทีจะขจัดเป็นหาความไม่แน่นอนนี้ แต่สามารถใช้การพยากรณ์เข้ามาช่วยในการคาดการความต้องการในอนาคตเพื่อทราบถึงความต้องการแล้วนำค่าไปใช้ในการวางแผนหรือหาคำตอบด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ในการบริหารจัดการทรัพยากร ให้เกิดความคุ้มค่า โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์จะเสนอวิธีต่างๆ ที่ใช้ในการพยากรณ์ ผลงานของ วรินทร์ เกียรตินุกูล (2548) ที่ได้กล่าวไปแล้วในการใช้โปรแกรมเชิงเส้นวางแผนการสั่งซื้อล่วงหน้าให้เกิดต้นทุนที่เหมาะสมที่สุด ในขั้นแรกต้องทำการพยากรณ์ตัวแบบเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจ และได้นำการพยากรณ์วิธีต่างๆ มาใช้พบว่าการพยากรณ์โดยวิธีการ Winter ให้ค่าเบี่ยงเบนต่ำสุด และนำค่าที่ได้จากการพยากรณ์มากำหนดระดับการเก็บพัสดุคงคลังตามเงื่อนไข ทำให้การสั่งซื้อมีประสิทธิภาพมากขึ้น จะเห็นได้ว่างานวิจัยของ วรินทร์ เกียรตินุกูล ประกอบด้วย 2 ส่วน คือการพยากรณ์และการวางแผน

เมื่อพิจารณาถึงงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ มีการศึกษาในหลายอุตสาหกรรม อย่างการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าของ อารักข์ หาญสันเทียะ (2549) ได้นำเสนอการหาแบบจำลองการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ารายเดือนที่เหมาะสม ตลอดจนต้องการหาวิธีพยากรณ์ออโต้รีเกรซซีฟมูฟวิ่งเอฟเวอร์เรจทั้ง 5 แบบ ว่าวิธีใดเหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด และเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย วิธีอนุกรมเวลา และอนุกรรมการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า โดยข้อมูลที่นำมาพิจารณาเป็นข้อมูล 81 เดือน พบว่า วิธีการพยากรณ์ด้วยออโต้รีเกรซซีฟมูฟวิ่งเอฟเวอร์เรจ เหมาะสมมากกว่าวิธีการอื่น ค่าที่ได้มีความแม่นยำ ทำให้การวางแผนการผลิตไฟฟ้าได้ถูกต้องและคุ้มค่า นพรัตน์ ศิริโชติ (2549) นำเสนอการศึกษาและหารูปแบบการพยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลปัจจัยทางเศรษฐกิจ 8 ปัจจัย ของประเทศไทยระหว่างปี 2525 – 2543 ของการสร้างรูปแบบของการพยากรณ์ ซึ่งวิธีการพยากรณ์ที่ใช้คือโครงข่ายประสาทเทียม พร้อมกับเปรียบเทียบกับการพยากรณ์ด้วยวิธี ARIMA(Box-Jenkins) Salman Al-shobaki, Mousa Mohsen (2008) พัฒนารูปแบบการพยากรณ์เพื่อทำการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้าใน Jordan โดยได้นำเสนอรูปแบบการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในอดีตดูแนวโน้มและลักษณะฤดูกาล สร้าง Model ขึ้นมา ซึ่งเมื่อนำมาประยุกต์ใช้แล้วพบว่ามีความแม่นยำกว่าวิธีการเดิมที่ใช้ ทำให้การผลิตไฟฟ้าเหมาะกับความต้องการซึ่งสามารถลดความสูญเสียลงได้ นอกจากการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าแล้วการพยากรณ์ใช้กับการพยากรณ์ความต้องการสินค้าในแต่ละช่วงเวลา อย่างการศึกษาของปิยเชษฐ โอภาสชวลิตและคณะ (2548) มีแนวคิดในการนำเอาระบบโครงข่ายประสาท (Neural Network) มาช่วยในการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า เพื่อช่วยในการวางแผนการผลิตได้อย่าง

ถูกต้อง รวมถึงการสร้างแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบที่ดี ต้นทุนในการบริหารวัตถุดิบ และบริหารสินค้าคงคลัง ทำให้ต้นทุนในการผลิตโดยรวมลดลง โดยในงานวิจัยฉบับนี้ใช้รูปแบบของอนุพันธ์เวลาและทฤษฎี Back Propagation Neural Network (BPN) มาช่วยในการเรียนรู้ข้อมูลในอดีต รวมถึงรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในรูปของอนุพันธ์เวลา สามารถบอกถึงลักษณะและแนวโน้มของข้อมูลได้ถูกต้อง

เสาวลักษณ์ อนันตะ, ณฐา คุปตัษเฐียร (2551) ได้เสนอแนวทางในการวางแผนการสั่งซื้อสินค้า โดยได้หาแนวทางในการตัดสินใจเพื่อกำหนดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าอย่างเหมาะสม ให้มีความสอดคล้องกับปริมาณความต้องการ โดยนำข้อมูลยอดขายและการสั่งซื้อสินค้า นำมาพยากรณ์ยอดขายในอนาคต จากนั้นนำค่าพยากรณ์ที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด กำหนดจุดสั่งซื้อ จำนวนครั้งในการส่งซื้อ ระยะห่างของเวลาในการสั่งซื้อ ซึ่งในการพยากรณ์ได้เลือกใช้วิธีการพยากรณ์หลายวิธี โดยวิธีการที่เหมาะสมและมีความแม่นยำ คือวิธีการพยากรณ์แบบฤดูกาลของวินเตอร์ เมื่อนำมาวางแผนแล้วจะให้ค่าใกล้เคียงและทำให้ควบคุมต้นทุนได้อย่างเหมาะสมและลดลงจากปัจจุบัน วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล (2549) ทำการหาตัวแบบอนุกรมเวลาสำหรับการพยากรณ์ราคาทองคำ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการรักษาเสถียรภาพของราคา ตัวแบบอนุกรมเวลาที่สร้างสำหรับพยากรณ์ระยะเวลา 10 วัน โดยวิธีในการพยากรณ์เปรียบเทียบกันทั้งหมด 3 วิธี คือ วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ วิธีการพยากรณ์ของบ๊อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent: MAPE) ที่ต่ำที่สุด พบว่าการพยากรณ์ราคาทองคำรับซื้อ โดยวิธีการพยากรณ์ของบ๊อกซ์-เจนกินส์ มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากกว่าวิธีอื่น

บทสรุปในการวางแผนการผลิตที่ต้องพิจารณาของ X. Liu, Yl. Tu (2008) คำนึงถึงสถานการณ์และสินค้าคงคลัง รวมถึงกำลังการผลิต ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่บ่อยครั้ง ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมปิโตรเคมี กระบวนการผลิตอาหาร อุตสาหกรรมอื่น ๆ จึงมีการศึกษาและสร้างเอกสารเพื่อเป็นการอ้างอิงในการวางแผนรองรับสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ จะพิจารณาปัญหาในการวางแผนการผลิต กำลังการผลิต และสินค้าคงคลัง โดยนำมาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการวางแผน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดพิจารณาในส่วนของการศึกษาหาแนวทางในการหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งเน้นการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิต ในส่วนของตัวแปรที่มีความไม่แน่นอนอย่างความต้องการ มีการนำการพยากรณ์เข้ามาช่วยเพื่อพยากรณ์ความต้องการที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งงานวิจัยที่ได้ศึกษานี้นำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนกำลังการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ในงานวิจัยฉบับนี้ได้

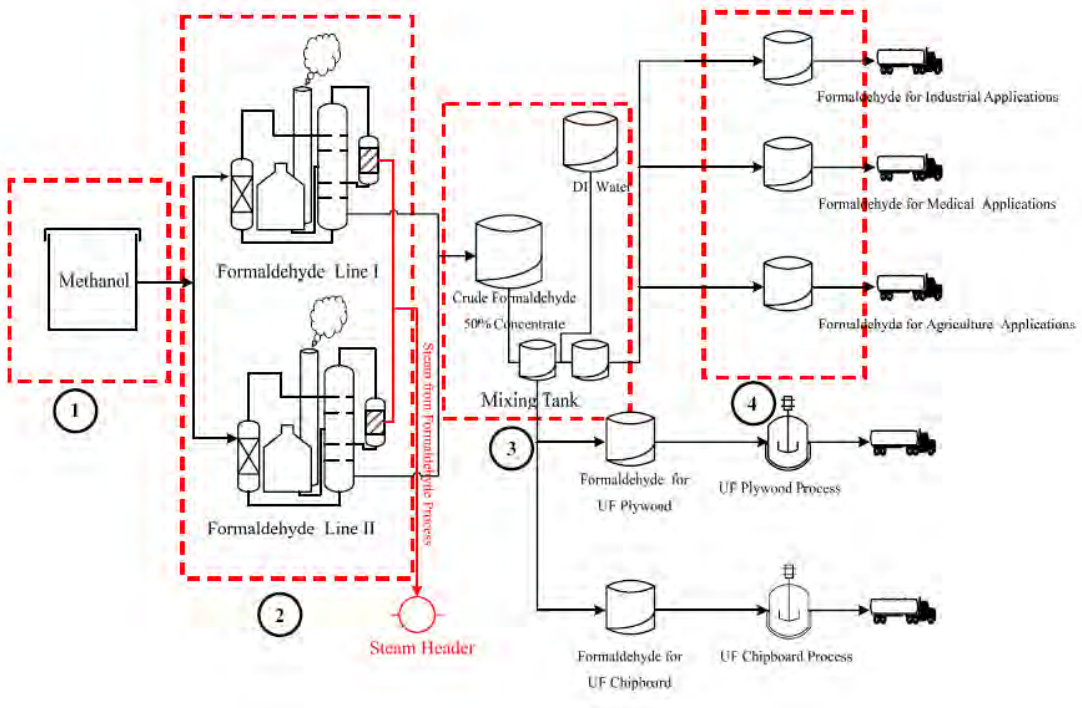
# บทที่ 3

# ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและขั้นตอนการวิจัย

ในบทนี้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์ รวมถึงกระบวนการผลิตปัจจุบัน กระบวนการวางแผนการผลิต การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ และนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา รวมถึงข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งทำให้เข้าใจกระบวนการผลิตมากยิ่งขึ้น

## 3.1 กระบวนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์

กระบวนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องซึ่งประกอบด้วยหน่วยต่าง ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ขอแยกส่วนต่าง ๆ ประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก เพื่อแสดงให้เห็นภาพรวมของการผลิตที่ทำหน้าที่ในการผลิตรวมถึงการปรับคุณภาพก่อนส่งลูกค้าใช้งานต่อไป ซึ่งแสดงส่วนต่าง ๆ ได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.1




รูปที่ 3.1 ส่วนหลักของกระบวนการผลิตและจัดเก็บฟอร์มาลดีไฮด์

**1. ส่วนวัตถุดิบ (Raw Material)**

ตามที่กล่าวไปข้างต้นในบทที่ 1 ถึงวัตถุดิบหลักในการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์คือ เมทานอล (Methanol) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl Alcohol) ความบริสุทธิ์ 99.5 % ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางสายอัลเคน โดยเมทานอลที่ใช้เป็นวัตถุดิบถูกจัดเก็บบริเวณ Tank Farm บรรจุในถังบรรจุขนาดความจุ 1000 ตัน และ 600 ตัน ก่อนที่จะถูกปั๊มส่งมายัง Sub Tank ซึ่งเป็นถังที่ใช้บรรจุเมทานอลก่อนเข้ากระบวนการผลิตความจุ 15 ตัน ซึ่งเมทานอลที่ป้อนเข้าระบบหากมีสัดส่วนมากเกินก็จะ Return กลับเข้าถังนี้ โดยระดับวัตถุดิบเมทานอลจะถูกสำรองคลังไว้เพื่อการผลิต ซึ่งการจัดส่งวัตถุดิบจะบรรจุรถแท้งค์ขนาด 24 ตัน เติมเข้าสู่ถังเก็บและมีการกำหนดระดับสำรองคลังของปริมาณเมทานอลไว้ที่ 1000 ตัน

**2. ส่วนของกระบวนการผลิต (Process)**

กระบวนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องที่มีการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการ และการดำเนินการผ่านหน่วยต่าง ๆ ซึ่งส่งผ่านตามท่อและอุปกรณ์อัตโนมัติ ซึ่งเป็นการผลิตในระบบปิด จนได้ผลิตภัณฑ์และจัดเก็บต่อไป กระบวนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ของบริษัทกรณีศึกษาประกอบด้วย 2 สายการผลิต ซึ่งมีกำลังการผลิตสูงสุดต่างกันแสดงได้ดังนี้

สายการผลิตที่ 1 กำลังการผลิตสูงสุด 108 ตัน/วัน ที่ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ 50%

อัตราเมทานอลป้อนสูงสุด (Maximum Feed ) = 2650 Kg/hr

อัตราการเกิด Steam 4.5 ตัน / ชั่วโมง (Maximum)

สายการผลิตที่ 2 กำลังการผลิตสูงสุด 96 ตัน/วัน ที่ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ 50%

อัตราเมทานอลป้อนสูงสุด (Maximum Feed ) = 2400 Kg/hr

อัตราการเกิด Steam 4 ตัน / ชั่วโมง(Maximum)

โดยในกระบวนการจะมีหน่วยที่สำคัญคือ

**Air Blower Unit** เป็นหน่วยที่ป้อนอากาศเข้าเพื่อรวมกับเมทานอลที่ป้อนเข้ามาจาก Storage Tank

**Pre-vaporizer Unit** เป็นหน่วยที่ป้อนเมทานอลและอากาศเข้าผสมกันจนสารผสมอยู่ในเฟสไอ

**Vaporizer Unit** เป็นหน่วยที่ให้ความร้อนแก่ Process Gas

**Reactor Unit** เป็นหน่วยสำคัญที่อากาศ และเมทานอล (Process Gas) เข้าสู่ Reactor เพื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมี Catalyst เป็นตัวเปลี่ยน Process Gas เป็น Formaldehyde Gas

**HTF Condenser (Separate Part)** เป็นหน่วยแยกก๊าซและส่วนที่เป็นของเหลวจากปฏิกิริยาที่ผ่านการออกซิเดชั่นออกจากกัน และจะมีการวนก๊าซในกระบวนการ เข้าทำปฏิกิริยาอีกครั้ง

**HTF Condenser (Condenser Part)** เป็นหน่วยของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์เข้าสู่การควบแน่นเป็นของเหลว

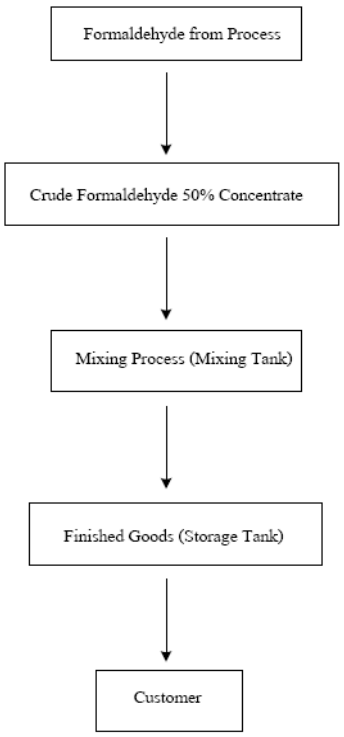
**Absorption Tower** มีการป้อนน้ำเข้าสู่ระบบเพื่อ Spray ให้ไอฟอร์มาลดีไฮด์เกิดการ Absorb กับน้ำจนได้ฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 50% ก่อนส่งเก็บยังถังเก็บผลิตภัณฑ์

**Stack Gas Absorber** ก๊าซเสียจากระบวนการเข้าสู่ระบบ VOCs Oxidation เพื่อเปลี่ยนก๊าซเสียจากกระบวนการเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนปล่อยออกจากกระบวนการ

ในการควบคุมกระบวนการผลิตทำการควบคุมผ่านห้องควบคุม ซึ่งประกอบด้วยระบบคอมพิวเตอร์และโปรแกรมควบคุมผ่าน Instrument Equipment โดยกระบวนการควบคุมกำลังการผลิตจะควบคุมอัตราส่วนการป้อนของเมทานอลและอากาศเข้าสู่ระบบซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการปรับกำลังการผลิตตามต้องการ

**3. ส่วนของการผสมและปรับคุณภาพ (Mixing)**

สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้จากกระบวนการผลิตจำเป็นต้องปรับคุณภาพให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าและการประยุกต์การใช้งาน โดยกระบวนการในการผสมฟอร์มาลดีไฮด์และการปรับคุณภาพดำเนินการหลังจากฟอร์มาลดีไฮด์เก็บในถังเก็บฟอร์มาลดีไฮด์ดิบที่มีความเข้มข้น 50% ซึ่งให้นิยามฟอร์มาลดีไฮด์ดิบ (Crude Formaldehyde) ว่าเป็นฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้จากการผลิตระดับความเข้มข้น 50 -51% โดยในงานวิจัยนี้ตั้งฐานการคำนวณและใช้ค่าความเข้มข้นที่ 50% ในขั้นตอนการผสมจะปั๊มฟอร์มาลดีไฮด์เข้าสู่ถังผสมขนาดความจุ 30 ตัน มีอยู่ 2 ชุด ก่อนส่งเก็บยังถังเก็บผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปก่อนส่งลูกค้า โดยมีแผนภาพขั้นตอนดังรูปที่ 3.2

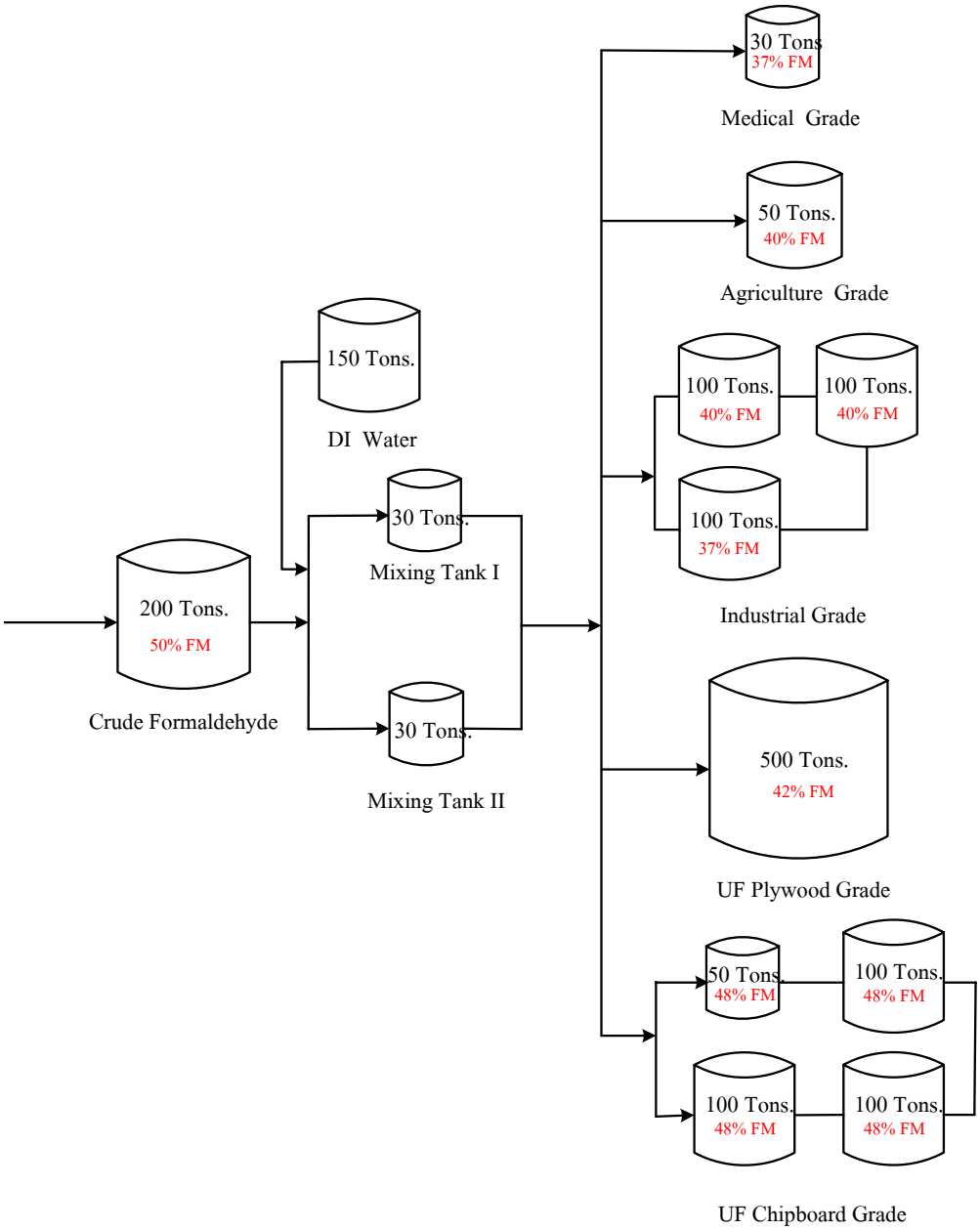



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการผสมและจัดเก็บ

ในการผสมจุดประสงค์หลักเพื่อทำการปรับความเข้มข้นลงจากเดิม และปรับคุณสมบัติอย่างอื่นตามต้องการ โดยน้ำที่ใช้ในการปรับความเข้มข้นลงจะใช้เป็นน้ำบริสุทธิ์ (Demineral Ionizations) และสารเคมีอื่นตามที่ลูกค้าต้องการ

**4. ส่วนของการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ (Finished Goods)**

การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ออกจากกระบวนการผลิต หลังจากผ่านกระบวนการผสมและปรับคุณภาพแล้วจะถูกส่งเข้าสู่ถังเก็บ (Storage Tank) ขนาดความจุต่าง ๆ ตามความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ เพื่อรอส่งลูกค้าต่อไป ซึ่งถังเก็บผลิตภัณฑ์ทั้งหมดแสดงได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.3




รูปที่ 3.3 ถังเก็บผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์และความจุ

จากรูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดการเก็บผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปแยกตามความเข้มข้น

1. ฟอร์มาลดีไฮด์เกรดอุตสาหกรรม (Industrial Grade) ความเข้มข้น 40% และ 37%
2. ฟอร์มาลดีไฮด์เกรดเกษตร(Agricultures Grade) ความเข้มข้น 40%
3. ฟอร์มาลดีไฮด์เกรดยา (Medical Grade) ความเข้มข้น 37%
4. ฟอร์มาลดีไฮด์สำหรับผลิตกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิ่น แบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก
   - สินค้ากลุ่ม Plywood ใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 42%
   - สินค้ากลุ่ม Chipboard และ MUFใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 48%

ในส่วนของระดับสำรองคลัง (Safety Stock) ของฟอร์มาลดีไฮด์แต่ละเกรดนั้นมีการกำหนดระดับไว้ซึ่งแสดงรายละเอียดในส่วนการจัดการสินค้าคงคลัง ในการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปในถังเก็บนั้นจะรวมอยู่บริเวณ Tank Farm ของสินค้าสำเร็จรูป ในส่วนของการจัดส่งสินค้าสำหรับลูกค้าภายนอก 3 กลุ่มข้างต้น จะทำการปั๊มสินค้าจากถังเก็บลงรถแท้งค์ส่งขายต่อไป

**3.2 ผลิตภัณฑ์และการประยุกต์ใช้งาน**

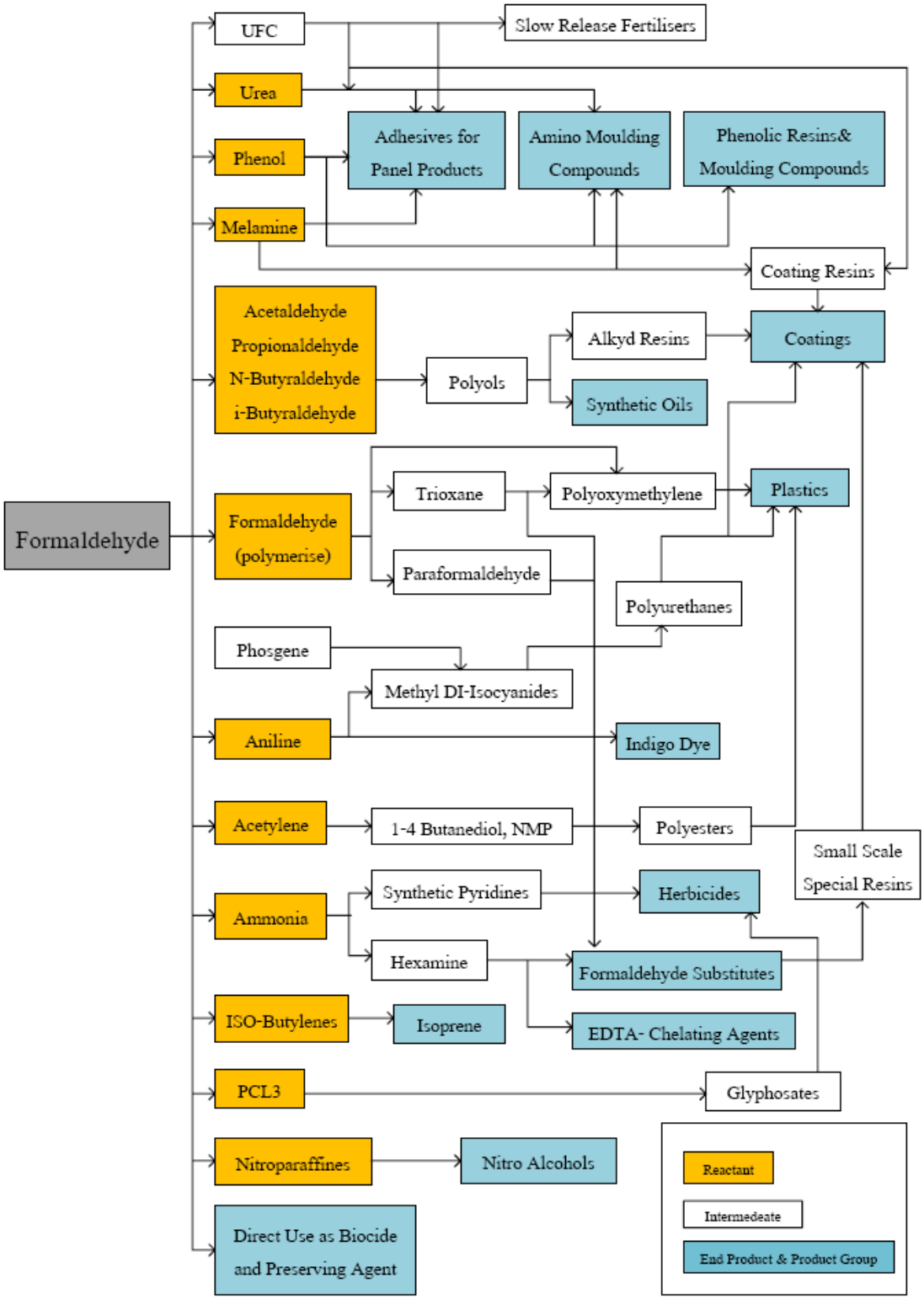
ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่อเนื่องหลาย ๆ ประเภท ไม่ว่าจะใช้งานในอุตสาหกรรมสำหรับเป็นสารตั้งต้น หรือสารทำละลาย เป็นสารในการฆ่าเชื้อและรักษาสภาพ เป็นต้น ซึ่งความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ของบริษัทแยกลูกค้าได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือลูกค้าภายนอก และลูกค้าภายใน (ผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องของบริษัท)

1. ลูกค้าภายนอก
   - ฟอร์มาลดีไฮด์เกรดอุตสาหกรรม (Industrial Grade)
   - ฟอร์มาลดีไฮด์เกรดเกษตร(Agricultures Grade)
   - ฟอร์มาลดีไฮด์เกรดยา (Medical Grade)

ปริมาณความต้องการอยู่ที่ 40% ของปริมาณการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมด ตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่น เป็นวัตถุดิบในการผลิตจาน ชามเมลามีน (เมลามีนยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์) ใช้สำหรับการดองศพให้คงสภาพ การฉีดศพ ใช้เป็นสารละลายในอุตสาหกรรมพลาสติก เป็นต้น

2. ลูกค้าภายใน
   - ฟอร์มาลดีไฮด์สำหรับผลิตกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิ่น

ปริมาณความต้องการของลูกค้าภายในอยู่ที่ 60 % ของปริมาณการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมด ตัวอย่าง การนำไปใช้งานของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิ่น นำไปเป็นกาวประสานในอุตสาหกรรมอัดไม้ ทำเป็นแผ่นไม้อัด ชิ้นไม้อัด จำพวก Particle Board, Medium Density Fiber Board (MDF) เป็นต้น โดยกาวจะเป็นส่วนยึดเกาะและเพิ่มความแข็งแรง โดยการใช้งานฟอร์มาลดีไฮด์ส่วนใหญ่แสดงได้ดังรูปที่ 3.4

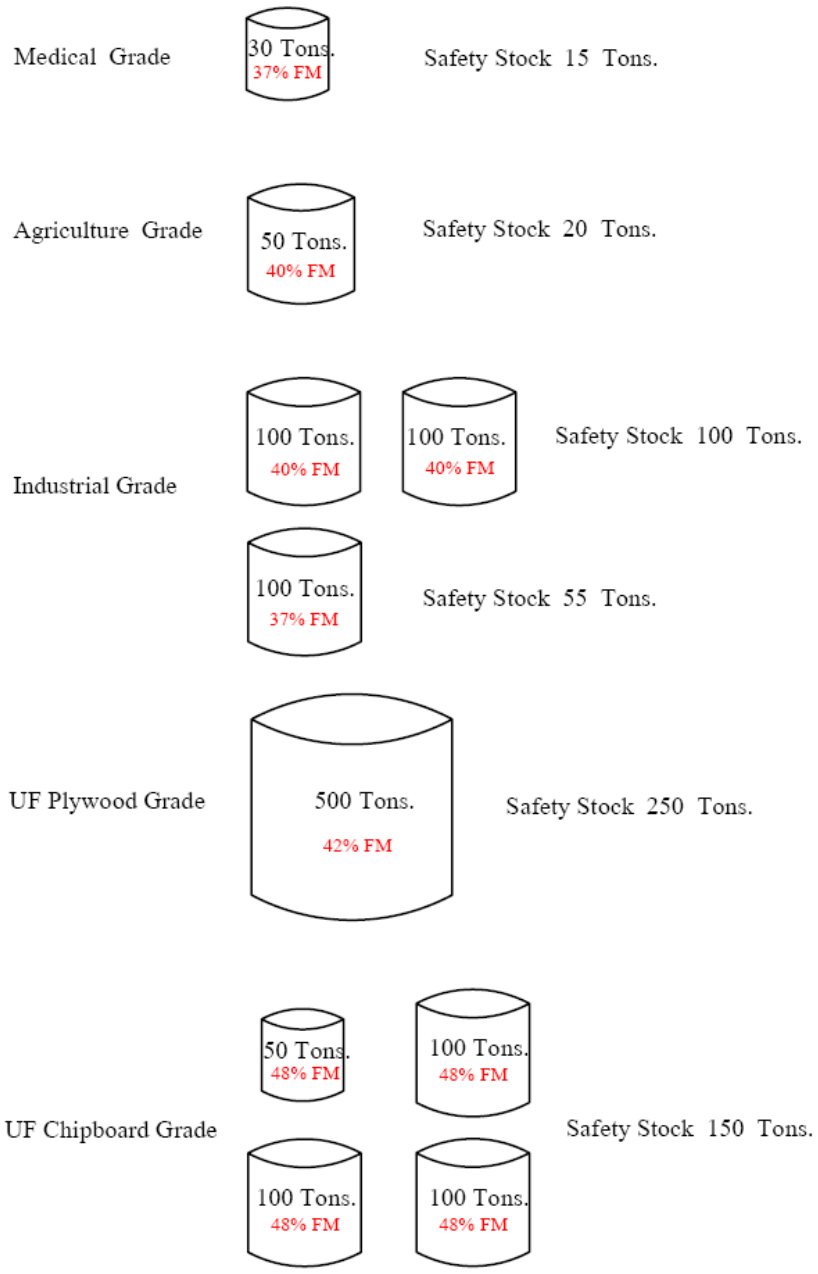



รูปที่ 3.4 การใช้งานฟอร์มาลดีไฮด์ในอุตสาหกรรมต่างๆ

### 3.3 การจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management)

**ปริมาณสำรองคลัง (Safety Stock)**

นโยบายด้านการจัดการพัสดุคงคลังได้กำหนดระดับสินค้าสำรองคลัง (Safety Stock) ของฟอร์มาลดีไฮด์แยกตามความต้องการ เพื่อไม่ให้เกิดการขาดมือซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.5




รูปที่ 3.5 ถังเก็บผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์สำเร็จรูปพร้อมระบุระดับปริมาณสำรองคลัง

ในงานวิจัยนี้ตั้งฐานการคำนวณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ 50% ดังนั้นจากระดับสำรองคลังที่ % ต่างกันตามรูปสามารถปรับให้อยู่ในฐานการคำนวณที่ 50% ทำให้ระดับสำรองคลังของสินค้าสำเร็จรูปทั้งหมดมีค่าอยู่ที่ 501.8 ตัน โดยนำค่านี้อ้างอิงในการวางแผนกำลังการผลิต

**ความจุของถังเก็บ (Storage Capacity)**

การจัดเก็บฟอร์มาลดีไฮด์ที่แสดงดังภาพความจุของถังเก็บผลิตภัณฑ์แยกออกได้ดังนี้

Crude Tank ความจุ 200 ตัน

Mixing Tank ความจุ 60 ตัน

Finished Goods ความจุ 1230 ตัน

เมื่อเปลี่ยนฐานการคำนวณมาที่ความเข้มข้น 50% ความจุของถังผลิตภัณฑ์รวม Crude Tank 200 ตัน และ FG Tank มีความจุอยู่ที่ 1058.2 ตัน รวมทั้งหมดที่ความเข้มข้น 50% ความจุรวม 1258.2 ตัน (ไม่รวม Mixing Tank) โดยใช้ค่าวามจุนี้อ้างอิงเป็นความจุสูงสุดในการวางแผนการผลิต

**3.4 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต**

ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ขอแสดงเฉพาะในส่วนของต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) ที่มีส่วนทำให้ต้นทุนการผลิตต่างกันซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้พิจารณาใน 3 ส่วนหลัก คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการสั่งผลิตแต่ละครั้ง ค่าใช้จ่ายจากค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บพัสดุคงคลัง แสดงรายละเอียดดังนี้

**ค่าใช้จ่ายในการการสั่งผลิต (Ordering Cost)**

เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการสั่งผลิต พิจารณาในส่วนของการเริ่มเดินเครื่องที่มีค่าใช้จ่ายในการให้ความร้อนแก่กระบวนการและเตรียมความพร้อมต่าง ๆ ต้นทุนในการเริ่มเดินเครื่อง (Start up) ใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงการเริ่มเดินเครื่องแสดงข้อมูล 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- **การให้ความร้อน (Heat up)** เพื่อให้ความร้อนแก่ระบบใช้เวลา 16 ชั่วโมง
- **การเดินเครื่อง (Start)** เริ่มป้อนสารเข้าระบบใช้เวลา 4 ชั่วโมง จึงได้ผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาเวลารวมในการเริ่มผลิตแต่ละครั้ง 20 ชั่วโมง ซึ่งไม่ได้ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ โดยปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเริ่มเดินเครื่องแสดงได้ตามข้อมูลการ Start up วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2551 เริ่มเวลา 18.00 น.

- **การให้ความร้อน (Heat up)** ใช้เวลา 16 ชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้า 4,752 KW-Hr.
- **การเดินเครื่อง (Start)** ใช้เวลา 4 ชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้า 1,442 KW-Hr.

รวมพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 6,194 KW-Hr. (คำนวณค่าไฟฟ้าที่ 2.65 บาท/KW-Hr.) ได้เท่ากับ 16,414 บาท โดยสรุปจะใช้ค่า 6,200KW-Hr. อ้างอิงสำหรับวางแผนการผลิต แสดงข้อมูลดิบดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเริ่มเดินเครื่องฟอร์มาลดีไฮด์

| วันที่จดเลขอ่าน | ชั่วโมงที่ | เวลา | เลขอ่านครั้งหลัง (KW-Hr) | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (KW-Hr) |
|---|---|---|---|---|
| 13/02/2008 | 0 | 18:00:00 | 4915432 | **77** |
| 13/02/2008 | 1 | 19:00:00 | 4915802 | **370** |
| 13/02/2008 | 2 | 20:00:00 | 4916177 | **375** |
| 13/02/2008 | 3 | 21:00:00 | 4916550 | **373** |
| 13/02/2008 | 4 | 22:00:00 | 4916920 | **370** |
| 13/02/2008 | 5 | 23:00:00 | 4917290 | **371** |
| 14/02/2008 | 6 | 00:00:00 | 4917651 | **361** |
| 14/02/2008 | 7 | 01:00:00 | 4917984 | **333** |
| 14/02/2008 | 8 | 02:00:00 | 4918223 | **239** |
| 14/02/2008 | 9 | 03:00:00 | 4918439 | **216** |
| 14/02/2008 | 10 | 04:00:00 | 4918730 | **291** |
| 14/02/2008 | 11 | 05:00:00 | 4918879 | **149** |
| 14/02/2008 | 12 | 06:00:00 | 4919181 | **302** |
| 14/02/2008 | 13 | 07:00:00 | 4919411 | **230** |
| 14/02/2008 | 14 | 08:00:00 | 4919616 | **204** |
| 14/02/2008 | 15 | 09:00:00 | 4919877 | **262** |
| 14/02/2008 | 16 | 10:00:00 | 4920184 | **307** |
| 14/02/2008 | 17 | 11:00:00 | 4920548 | **364** |
| 14/02/2008 | 18 | 12:00:00 | 4920826 | **278** |
| 14/02/2008 | 19 | 13:00:00 | 4921181 | **355** |
| 14/02/2008 | 20 | 14:00:00 | 4921626 | **445** |

**TOTAL** **6271**

หักชั่วโมงที่ 0 ปริมาณ 77 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการเริ่มเดินเครื่อง 6194 กิโลวัตต์- ชั่วโมง

**ค่าใช้จ่ายในส่วนของการผลิต (Operating Cost)**

**ค่าไฟฟ้าในการผลิต**

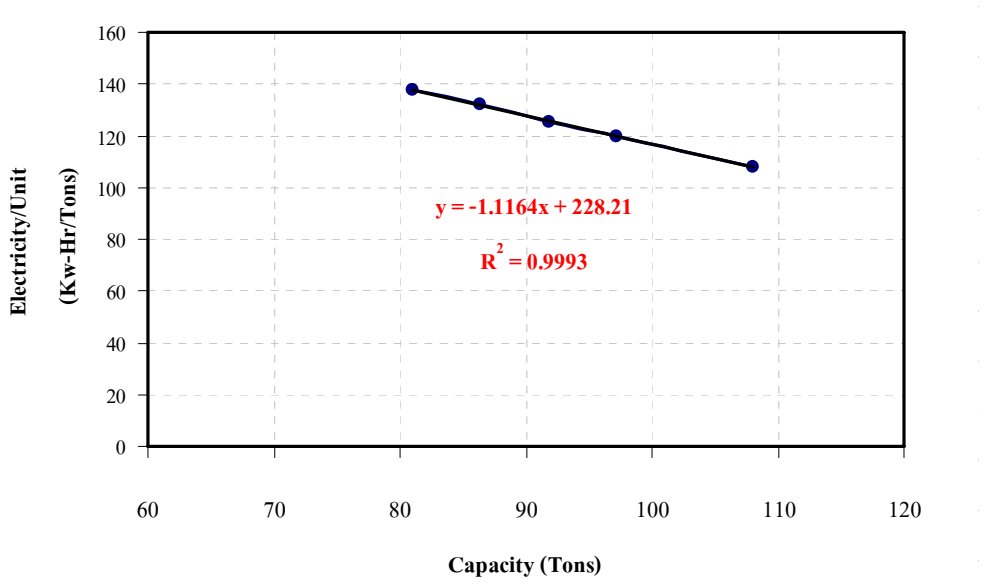
ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า ใช้ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในอดีตที่กำลังการผลิตต่างกัน นำมาหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์และทำการเขียนกราฟพร้อมหาสมการเพื่อใช้ในการอ้างอิงสำหรับการวางแผน ซึ่งข้อมูลดิบแสดงไว้ในภาคผนวก ก สมการพลังงานไฟฟ้าของสายการผลิตแสดงได้ดังนี้

**สายการผลิตที่ 1**

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลค่าเฉลี่ยไฟฟ้าต่อหน่วยที่กำลังการผลิตต่าง ๆ ของสายการผลิตที่ 1

| กำลังการผลิต (%) | PRODUCT (Tons.) | ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้า/หน่วย (Kw-Hr./Ton) |
|---|---|---|
| 100 | 108 | 107.82 |
| 90 | 97.2 | 119.64 |
| 85 | 91.8 | 125.23 |
| 80 | 86.4 | 132.04 |
| 75 | 81 | 137.88 |

จากตารางที่ 3.2 เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่กำลังการผลิตต่างกันสามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.6



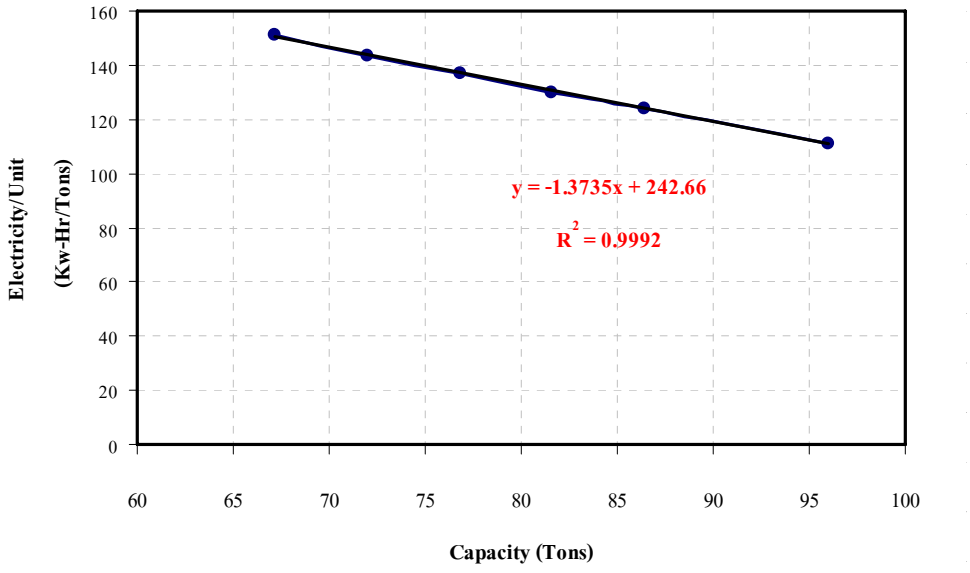

รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยที่กำลังการผลิตต่างกันของสายการผลิตที่ 1

**สายการผลิตที่ 2**

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลค่าเฉลี่ยไฟฟ้าต่อหน่วยที่กำลังการผลิตต่าง ๆ ของสายการผลิตที่ 2

| กำลังการผลิต (%) | PRODUCT (Tons.) | ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้า/หน่วย (Kw-Hr./Ton) |
|---|---|---|
| 100 | 96 | 111.13 |
| 90 | 86.4 | 124.02 |
| 85 | 81.6 | 130.12 |
| 80 | 76.8 | 137.01 |
| 75 | 72 | 143.42 |
| 70 | 67.2 | 150.98 |

จากตารางที่ 3.3 เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่กำลังการผลิตต่างกัน สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่




รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยที่กำลังการผลิตต่างกันของสายการผลิตที่ 2

**สมการพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์**

**สายการผลิตที่ 1**

**Y = -1.1164x + 228.21**

**สายการผลิตที่ 2**

**Y = -1.3735x + 242.66**

กำหนดให้ Y = ปริมาณไฟฟ้าในการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน)

x = กำลังการผลิต (ตัน)

ในกรณีที่ต้องการทราบปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เดินเครื่องจักรที่กำลังการผลิตต่างๆ ต่อวัน สามารถแสดงสมการที่ใช้อ้างอิงได้ดังนี้

**สมการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันที่กำลังการผลิตต่างกัน**

**สายการผลิตที่ 1**

**E = 47.353x + 7207.5**

**สายการผลิตที่ 2**

**E = 28.394x + 8257.5**

กำหนดให้ E = ปริมาณไฟฟ้าในการผลิตต่อวัน(กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน)

x = กำลังการผลิต (ตัน/วัน)

จากสมการค่าไฟฟ้าที่แสดงจะนำสมการนี้อ้างอิงในการวางแผนกำลังการผลิตในงานวิจัยฉบับนี้

**ค่าใช้จ่ายในส่วนของเครื่องจักร**

ต้นทุนที่เกิดจากเครื่องจักรในกระบวนการผลิตมาจากค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมด สำหรับสายการผลิตที่ 1 และสายการผลิตที่ 2 คือ 1,210,499 บาท/เดือน

**ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรง**

จากการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์มีพนักงานที่ควบคุมกระบวนการผลิตแบ่งเป็นวันละ 3 กะ ประกอบด้วย หัวหน้าหน่วย กะละ 1 คน พนักงานควบคุมการผลิต กะละ 2 คน พนักงานผสม กะละ 1 คน ซึ่งรายละเอียดต้นทุนจากค่าแรงดังนี้

เงินเดือนหัวหน้าหน่วย 15,000 บาท/เดือน/คน รวมทั้งสิ้น 45,000 บาท/เดือน

เงินเดือนพนักงานควบคุมการผลิต 10,000 บาท/เดือน/คน รวมทั้งสิ้น 60,000 บาท/เดือน

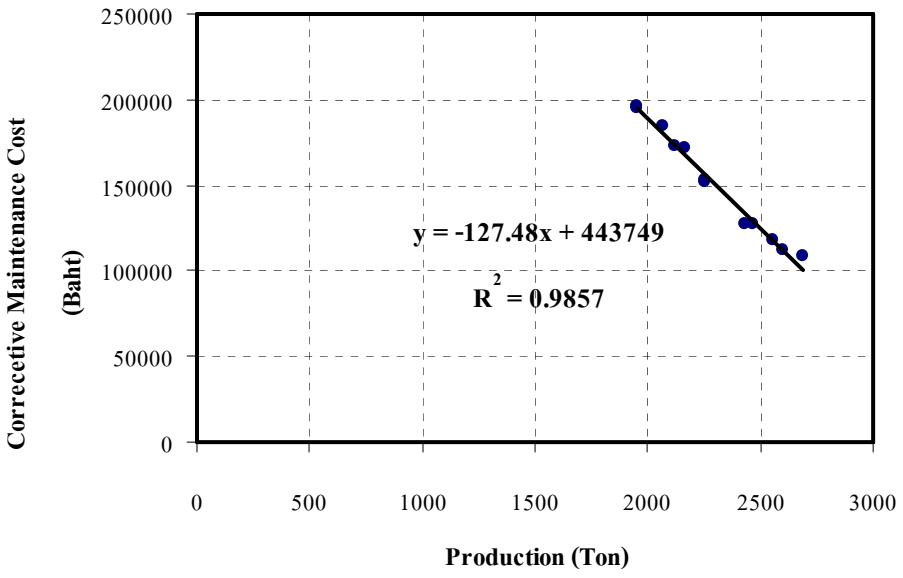
เงินเดือนพนักงานผสม 8,000 บาท/เดือน/คน รวมทั้งสิ้น 24,000 บาท/เดือน

รวมค่าใช้จ่ายค่าแรงเท่ากับ 129,000 บาท/เดือน (โดยค่าแรงนี้เป็นเงินเดือนประจำไม่นับรวมสวัสดิการอื่นๆ)

**ค่าใช่จ่ายในงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร**

การบำรุงรักษาเครื่องจักรเป็นต้นทุนในการดำเนินงานซึ่งสามารถแจกแจงรายละเอียดการซ่อมบำรุงได้ 2 ประเภท ดังนี้

1. Corrective Maintenances (CM) เป็นการบำรุงรักษาตามอาการหรือการเกิดการชำรุดของเครื่องจักร โดยค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นพิจารณาข้อมูลในปี 2008 พร้อมเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงกับปริมาณการผลิตพบว่ามีการแปรผันตามปริมาณการผลิต ซึ่งพบว่าการเดินเครื่องจักรในอัตราที่ต่ำ ส่งผลต่อเครื่องจักรมากกว่าที่อัตราการผลิตสูงอันเนื่องมาจากการป้อนอัตราต่ำ ทำให้การไหลของสารในระบบมีความผันผวน จนส่งผลต่อเครื่องจักร เช่น การเกิดการสั่นของเครื่องจักร การควบคุมระบบของเครื่องมือควบคุม ซึ่งทำให้ค่าซ่อมบำรุงมากกว่าการที่เดินเครื่องในอัตราสูง ซึ่งมีความคงที่และการไหลไม่ปั่นป่วนมาก จึงใช้สมการนี้ในการวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.8




รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิตต่างกัน

2. Preventive Maintenances (PM) เป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยบริษัทกำหนดการบำรุงรักษาเชิงป้องกันไว้ที่ทุกๆ 3 เดือน และทำการตรวจสอบ เปลี่ยนและบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยเปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆ ดังนี้

Part Pump Manifold NPT 518-138-552 = 1,260 บาท

BELT : Type timing belt power grip GT2 size 8M = 4,400 บาท

Bearing (all) = 2,660 บาท

Gasket : Graphite Gasket sheet size W1000X = 985 บาท

Graphite Gasket sheet with Foil SUS304 = 6,800 บาท

PTFE Gasket sheet size W1000 x L200(03) = 3,780 บาท

PTFE Gasket sheet size W1000 x L200(05) = 8,250 บาท

Other Gasket = 4,070 บาท

Multiple spring seal (07) = 5,000 บาท

Multiple spring seal (012) = 7,500 บาท

Multiple spring seal Dia. 20 mm. = 10,150 บาท

O – Ring (all) = 228 บาท

Oil – seal (all) = 361 บาท

Joint sealants packing PTFE = 2,400 บาท

PTFE packing size 3/8 in. = 1,786 บาท

Other part = 5,000 บาท

รวมค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันส่วนของการเปลี่ยนชิ้นส่วนต่อครั้ง 64,630 บาท

นอกจากนี้ยังมีการเปิดในส่วนของ Condenser และ Unit ต่างๆ ในกระบวนการผลิต เพื่อทำการทำความสะอาดพวกตะกรัน พาราฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดการสะสมในส่วนต่างๆ ซึ่งเป็นงานรับเหมาโดยมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 65,000 บาท/ครั้ง

โดยสรุปการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 129,630 บาท/ครั้ง

**ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยา**

ตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตเป็นต้นทุนแปรผันตามจำนวนการผลิตซึ่งข้อมูลมาจากใบแสดงรายละเอียดของตัวเร่งปฏิกิริยา (Specification) ที่ได้จากการสั่งซื้อ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมด 2100 กิโลกรัม ราคารวม 5,561,850.25 บาท ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 50% กำหนดไว้ที่ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กิโลกรัม เกิดฟอร์มาลดีไฮด์ 16.28 ตัน ดังนั้นการเกิดผลิตภัณฑ์ 1 ตัน มีค่าใช้จ่ายจากตัวเร่งปฏิกิริยา 162.68 บาท/ตัน

**ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (Holding Cost)**

ฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นสินค้าสำเร็จรูปถูกจัดเก็บในถังเก็บแยกตามเกรดสินค้า ตามปกติแล้วการจัดเก็บผลิตภัณฑ์จะมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ (Holding Cost) ในที่นี้หมายถึงค่าสถานที่จัดเก็บคือ ถังเก็บผลิตภัณฑ์ ค่าเบี้ยประกัน การเสื่อมสภาพ ค่าเสียโอกาสในการลงทุน เป็นต้น โดยปกติค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาจะประมาณการให้อยู่ในรูปของร้อยละของราคาพัสดุคงคลังต่อหน่วย จะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 40 (อ้างอิงจาก สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน (2548)) โดยในงานวิจัยฉบับนี้แจกแจงรายละเอียดของค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

**ค่าเสื่อมราคาของถังเก็บผลิตภัณฑ์**

ถังเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งหมด ประกอบด้วย Crude Tank, Mixing Tank, Finished Goods Tank โดยถังเก็บผลิตภัณฑ์ทั้งหมดคิดค่าเสื่อมราคาต่อเดือนในปี 2008 ไว้ที่ 21,126 บาท/เดือน

**ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ**

ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาซึ่งบริษัทมีถังเก็บผลิตภัณฑ์เป็นของบริษัท จึงไม่เกิดค่าเช่าพื้นที่ในการจัดเก็บ แต่มีค่าดูแลรักษา ค่าดำเนินการ ค่าซ่อมบำรุงในการดูแลถังเก็บผลิตภัณฑ์

- ค่าแรงในส่วนของพนักงานผู้ดูแลถังจัดเก็บผลิตภัณฑ์

พนักงานในการดูแลจำนวน 2 คน โดยประมาณค่าแรงไว้ที่ 8000 บาท/คน/เดือน ซึ่งสรุปค่าแรงทั้งหมดคือ 16,000 บาท/เดือน

- ค่าการดำเนินงาน (ค่าไฟฟ้า)

ค่าไฟฟ้าในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ถังเก็บส่วนหลักเป็นค่าไฟฟ้าในส่วนของแสงสว่างบริเวณ Tank Farm ซึ่งอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 2,200 KW-Hr/เดือน คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ค่าไฟฟ้า 2.65 บาท/ KW-Hr ดังนั้นค่าไฟฟ้าต่อเดือนอยู่ที่ 5,830 บาท/เดือน

- ค่าทำความสะอาดถังเก็บผลิตภัณฑ์

การทำความสะอาดถังเก็บผลิตภัณฑ์จะกำหนดตตามระยะเวลา ซึ่งมีกำหนดในแต่ละถังทุกๆ 1 ปี สลับกันตามแผนงานจนครบ ใช้เวลาในการทำความสะอาด 5 วัน ( ซึ่งประกอบด้วยระบายอากาศ กำจัดพาราฟอร์มในถัง ล้างทำความสะอาด) จะเป็นงานเหมาผู้รับเหมาภายนอกโดยค่าใช้จ่ายต่อครั้งอยู่ที่ประมาณ 10000 บาท/ถัง ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดต่อปีอยู่ที่ 140000 บาท/ปี (จำนวน 14 ถัง) เมื่อคิดต่อเดือนอยู่ที่ 11,667 บาท/เดือน

**ค่าเสื่อมภาพของผลิตภัณฑ์**

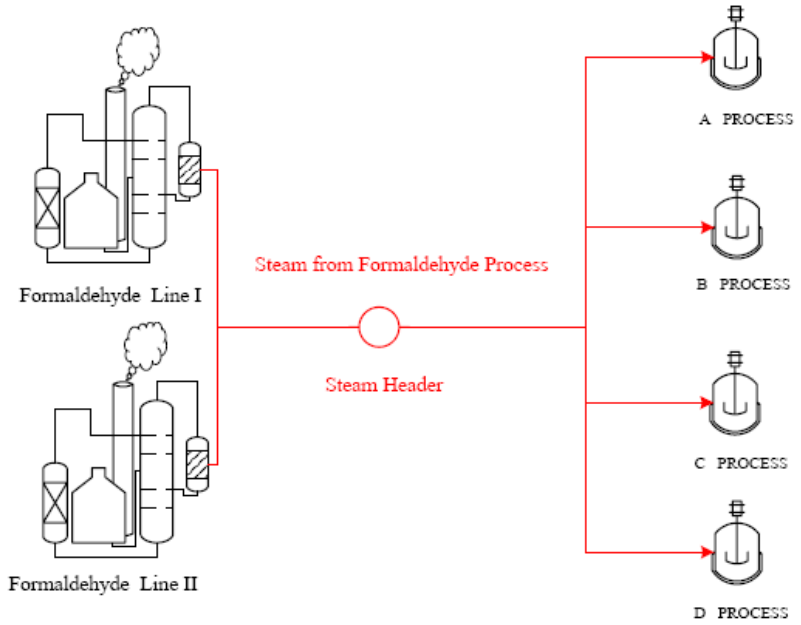
ผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ออกจากกระบวนการผลิตและจัดเก็บยังถังเก็บผลิตภัณฑ์มีการเกิดพาราฟอร์มาลดีไฮด์ ( เกิดการตกตะกอนเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง) ซึ่งจะตกตะกอนอยู่ภายในถังเก็บผลิตภัณฑ์และมีการสะสม โดยค่าการเสื่อมสภาพนี้จะคิดจากพาราฟอร์มาลดีไฮด์ที่กำจัดออกในการล้างทำความสะอาดถัง โดยเฉลี่ยใน 1 ปี พาราฟอร์มที่กำจัดออกมีจำนวนประมาณ 1.5 ตัน/ถัง รวมทั้งสิ้น 21 ตันต่อปี หรือ 1.75 ตัน/เดือน คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการเสื่อมสภาพที่ 22,750 บาท/เดือน

**ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (ดอกเบี้ย)**

ค่าเสียโอกาสในการลงทุนคิดจากผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้ ที่เสียซึ่งเสียโอกาสในการนำเงินที่อยู่ในส่วนนี้ไปลงทุนทำประโยชน์ โดยอัตราดอกเบี้ยอ้างอิงจากข้อมูลจากธนาคารกรุงเทพใช้อัตราดอกเบี้ย MLR หมายถึงอัตราดอกเบี้ยเงินกู้แบบมีระยะเวลาที่ธนาคารพาณิชย์เรียกเก็บจากลูกค้ารายใหญ่ชั้นดี ข้อมูล ณ วันที่ 2 มีนาคม 2552 อัตราดอกเบี้ยสูงสุดอยู่ที่ 11.5%

**3.5 ไอน้ำที่เกิดจากกระบวนการผลิต**

ไอน้ำเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งคุณภาพไอน้ำที่ได้จากกระบวนการมีคุณภาพในการใช้งานเช่นเดียวกันกับไอน้ำที่ผลิตจาก Boiler ซึ่งปริมาณไอน้ำที่ออกมากระบวนการผลิตจะขึ้นอยู่อัตราการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์โดยปกติแล้วหากเดินเครื่อง 100 % จะได้ไอน้ำในอัตรา 4.5 ตัน/ชั่วโมง สำหรับสายการผลิตที่ 1 และ 4 ตัน/ชั่วโมง สำหรับสายการผลิตที่ 2 และจะมีค่าลดลงกรณีที่กำลังการผลิตลดลงตามสัดส่วน ซึ่งไอน้ำที่ออกมาถูกส่งไปให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตอื่น ๆ แสดงดังรูปที่ 3.9



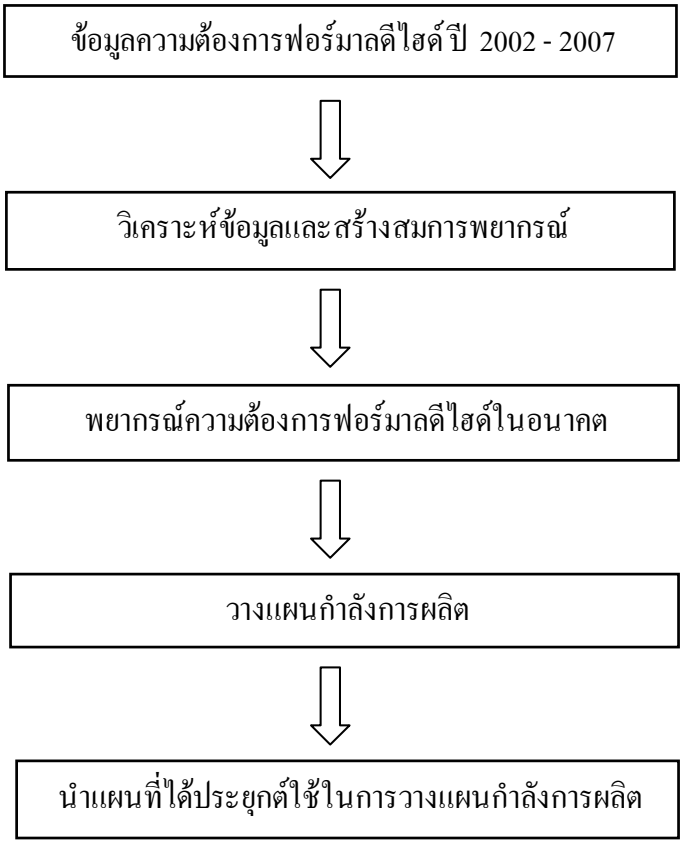

รูปที่ 3.9 ไอน้ำที่ออกจากกระบวนการผลิตและการใช้งาน

จากรูปไอน้ำที่ออกถูกส่งเข้าสู่ท่อผ่านไปยังส่วนผลิตแบบ Batch หากอัตราการใช้ความร้อนของกระบวนการผลิตแบบ Batch น้อย ไอน้ำบางส่วนก็จะถูกปล่อยทิ้ง เมื่อพิจารณาแล้วไอน้ำที่ได้จากกระบวนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์นี้ นับเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งของกระบวนการเมื่อส่งออกไปใช้งานนับเป็นรายได้ที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยฉบับนี้

ในการกำหนดราคาของไอน้ำนั้นจะเทียบเท่ากับการผลิตไอน้ำที่เกิดจาก Boiler โดยข้อมูลจากบริษัทพบว่าการผลิตไอน้ำปริมาณ 1 ตัน จาก Boiler ใช้ปริมาณน้ำมันเตาเฉลี่ย 86 ลิตร เมื่อพิจารณาราคาน้ำมันเตา เกรด A 12.50 บาท (ราคา ณ. วันที่ 12 พฤศจิกายน 2551) สามารถกำหนดราคาไอน้ำไว้ที่ 1075 บาท/ตัน ในการใช้งานไอน้ำแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกันซึ่งอัตราการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งจะใช้ค่านี้อ้างอิงในการวางแผนกำลังการผลิต

**3.6 ขั้นตอนการวิจัย**

ในการดำเนินการวิจัยซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักคือ การวางแผนกำลังการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการ ให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุดที่มีข้อจำกัดต่าง ๆ โดยข้อมูลที่แสดงในบทที่ 3 เป็นส่วนหนึ่งในการวางแผนกำลังการผลิต และอาศัยข้อมูลความต้องการในอดีตมาวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์ความต้องการ โดยขั้นตอนการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.10




รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการวิจัย

ส่วนสำคัญในงานวิจัยนี้คือการพยากรณ์ความต้องการ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตที่ถูกต้องและเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่าพยากรณ์แม่นยำมากที่สุด เพื่อนำค่าดังกล่างมาวางแผนกำลังการผลิตได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

# บทที่ 4

# การพยากรณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์

ในบทนี้นำเสนอข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ในอดีตปี 2002-2007 ซึ่งนำมาวิเคราะห์เพื่อดูลักษณะความต้องการว่าเป็นไปในลักษณะใด และนำข้อมูลดังกล่าวมาพยากรณ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ความต้องการ ซึ่งพิจารณาเปรียบเทียบได้จากค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ โดยวิธีการพยากรณ์ที่ได้จะนำมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการในอนาคตเพื่อใช้ค่าดังกล่าวในการวางแผนกำลังการผลิตที่จะกล่าวถึงในบทที่ 5

## 4.1 ข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007

ในส่วนของแผนกผลิตไม่มีข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ในอดีตโดยตรง แต่สามารถหาได้จากข้อมูลการผลิตและสินค้าคงคลังจากสมการที่ 4.1

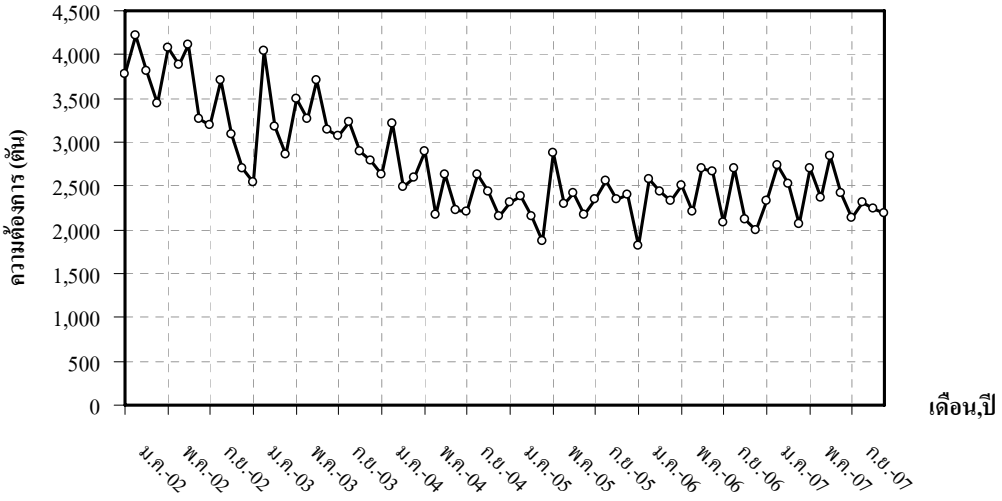
$$\text{Demand} = \text{Production} + \text{Beginning Stock} - \text{Ending Stock} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.1)$$

โดยข้อมูลดิบและตารางการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.8 ซึ่งข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์รายเดือนปี 2002-2007 แสดงค่าได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% ปี 2002-2007 รายเดือน

| เดือน | ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 50% (ตัน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| ม.ค. | 3775 | 2546 | 2626 | 2305 | 1821 | 2329 |
| ก.พ. | 4217 | 4043 | 3212 | 2375 | 2571 | 2741 |
| มี.ค. | 3810 | 3174 | 2490 | 2145 | 2434 | 2523 |
| เม.ย. | 3438 | 2863 | 2598 | 1873 | 2337 | 2072 |
| พ.ค. | 4069 | 3502 | 2895 | 2873 | 2501 | 2701 |
| มิ.ย. | 3884 | 3260 | 2167 | 2296 | 2204 | 2373 |
| ก.ค. | 4121 | 3709 | 2632 | 2410 | 2701 | 2840 |
| ส.ค. | 3262 | 3145 | 2225 | 2171 | 2668 | 2410 |
| ก.ย. | 3199 | 3072 | 2203 | 2346 | 2077 | 2130 |
| ต.ค. | 3714 | 3224 | 2629 | 2561 | 2704 | 2310 |
| พ.ย. | 3094 | 2895 | 2438 | 2350 | 2119 | 2241 |
| ธ.ค. | 2693 | 2796 | 2157 | 2405 | 1992 | 2184 |
| **รวม** | **43276** | **38230** | **30273** | **28110** | **28128** | **28853** |

จากข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% ปี 2002-2007 ที่แสดงในตารางที่ 4.1 นำมาเขียนกราฟเพื่อดูลักษณะของข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 4.1




รูปที่ 4.1 ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% รายเดือนใน ปี 2002-2007

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลด้วยสายตาจะเห็นได้ว่าความต้องการมีแนวโน้มที่ลดลง และมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการขึ้นลง ดังนั้นได้ทำการทดสอบแนวโน้มและฤดูกาล แสดงไว้ในภาคผนวก ข และเมื่อพิจารณาข้อมูลช่วงปี 2005-2007 จะเห็นได้ว่ามีลักษณะคงที่ ปราศจากแนวโน้ม ในการวิจัยจึงทดลองหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมโดย 1).ใช้ข้อมูลปี 2002-2007 จำนวน 72 ข้อมูลมาใช้พิจารณา 2.)ใช้ข้อมูลความต้องการในช่วงที่มีการกระจายคงที่ ปี 2005-2007 จำนวน 36 ข้อมูลมาพิจารณา เพื่อทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของจำนวนข้อมูลที่ลดลง และเลือกวิธีการที่ให้ค่า MAD, RMSE, MAPE ต่ำที่สุดใช้ในการพยากรณ์ความต้องการเพื่อใช้ในการวางแผนการผลิตต่อไป

**4.2 การพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์**

จากที่ได้กล่าวแล้วนั้นข้อมูลที่ใช้พิจารณาทั้งหมดจำนวน 72 ข้อมูล จะแยกการพิจารณาในการพยากรณ์เป็น 2 ชุดข้อมูล คือ

1. การพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลปี 2002-2007 ทั้งหมดจำนวน 72 ข้อมูล

2. การพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลในช่วงที่มีการกระจายคงที่ปี 2005-2007 ทั้งหมดจำนวน 36 ข้อมูล (ตัดข้อมูลช่วง 3 ปีแรกที่มีแนวโน้มออก)

**4.2.1. การพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาความต้องการจำนวน 72 ข้อมูล**

ข้อมูลดังตารางที่ 4.1 เป็นข้อมูลความต้องการปี 2002-2007 โดยใช้ข้อมูลนี้ในการพยากรณ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ คือ การพยากรณ์โดยใช้การเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average) การพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน (Decomposition Method) การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Single Exponential Smoothing Method) การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter's Exponential Smoothing Method) การพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วยวิธีการถดถอย (Regression) ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

**4.2.1.1 การพยากรณ์โดยใช้การเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average)**

การเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายเป็นวิธีการพยากรณ์ที่นำค่าสังเกตหรือข้อมูลล่าสุดจำนวนหนึ่งมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งการเฉลี่ยนี้เป็นการเฉลี่ยที่ให้น้ำหนักกับค่าสังเกตแต่ละค่าเท่ากัน สำหรับสูตรที่ใช้ในการพยากรณ์แสดงได้ดังสมการที่ 4.2

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + ... + Y_{t-k+1}}{K} \quad .....(4.2)$$

โดยที่ $\hat{Y}_{t+1}$ = ค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ t+1

$Y_t$ = ค่าสังเกตหรือข้อมูล ณ เวลาที่ t

$K$ = จำนวนข้อมูลที่นำมาหาค่าเฉลี่ย

โดยในการหาจำนวน K ที่เหมาะสมในการพยากรณ์จะทำการสุ่มหาค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ต่ำที่สุด ในงานวิจัยนี้ใช้ K=3, K=4, K=5, K=6, K=8, K=10 ซึ่งแสดงค่าที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้จากวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย

| ปี | เดือน | Demand (Ton.) $Y_t$ | ค่าพยากรณ์ที่ได้จากการเฉลี่ยเคลื่อนที่ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\hat{Y}_t$ (K=3) | $\hat{Y}_t$ (K=4) | $\hat{Y}_t$ (K=5) | $\hat{Y}_t$ (K=6) | $\hat{Y}_t$ (K=8) | $\hat{Y}_t$ (K=10) |
| **2002** | ม.ค. | **3775** | * | * | * | * | * | * |
| | ก.พ. | **4217** | * | * | * | * | * | * |
| | มี.ค. | **3810** | * | * | * | * | * | * |
| | เม.ย. | **3438** | 3934 | * | * | * | * | * |
| | พ.ค. | **4069** | 3822 | 3810 | * | * | * | * |
| | มิ.ย. | **3884** | 3772 | 3883 | 3862 | * | * | * |
| | ก.ค. | **4121** | 3797 | 3800 | 3884 | 3865 | * | * |
| | ส.ค. | **3262** | 4025 | 3878 | 3864 | 3923 | * | * |
| | ก.ย. | **3199** | 3756 | 3834 | 3755 | 3764 | 3822 | * |
| | ต.ค. | **3714** | 3527 | 3616 | 3707 | 3662 | 3750 | * |
| | พ.ย. | **3094** | 3392 | 3574 | 3636 | 3708 | 3687 | 3749 |
| | ธ.ค. | **2693** | 3336 | 3317 | 3478 | 3546 | 3598 | 3681 |
| **2003** | ม.ค. | **2546** | 3167 | 3175 | 3192 | 3347 | 3505 | 3528 |
| | ก.พ. | **4043** | 2778 | 3012 | 3049 | 3085 | 3314 | 3402 |
| | มี.ค. | **3174** | 3094 | 3094 | 3218 | 3215 | 3334 | 3463 |
| | เม.ย. | **2863** | 3254 | 3114 | 3110 | 3211 | 3216 | 3373 |
| | พ.ค. | **3502** | 3360 | 3157 | 3064 | 3069 | 3166 | 3271 |
| | มิ.ย. | **3260** | 3180 | 3396 | 3226 | 3137 | 3204 | 3209 |
| | ก.ค. | **3709** | 3209 | 3200 | 3368 | 3231 | 3147 | 3209 |
| | ส.ค. | **3145** | 3491 | 3334 | 3302 | 3425 | 3224 | 3260 |
| | ก.ย. | **3072** | 3372 | 3404 | 3296 | 3276 | 3280 | 3203 |
| | ต.ค. | **3224** | 3309 | 3297 | 3338 | 3259 | 3346 | 3201 |
| | พ.ย. | **2895** | 3147 | 3288 | 3282 | 3319 | 3244 | 3254 |
| | ธ.ค. | **2796** | 3064 | 3084 | 3209 | 3218 | 3209 | 3289 |
| **2004** | ม.ค. | **2626** | 2972 | 2997 | 3026 | 3140 | 3201 | 3164 |
| | ก.พ. | **3212** | 2772 | 2885 | 2923 | 2960 | 3091 | 3109 |
| | มี.ค. | **2490** | 2878 | 2882 | 2951 | 2971 | 3085 | 3144 |
| | เม.ย. | **2598** | 2776 | 2781 | 2804 | 2874 | 2933 | 3043 |
| | พ.ค. | **2895** | 2767 | 2732 | 2744 | 2769 | 2864 | 2977 |
| | มิ.ย. | **2167** | 2661 | 2799 | 2764 | 2769 | 2842 | 2895 |
| | ก.ค. | **2632** | 2553 | 2538 | 2672 | 2665 | 2710 | 2797 |
| | ส.ค. | **2225** | 2565 | 2573 | 2556 | 2666 | 2677 | 2753 |
| | ก.ย. | **2203** | 2341 | 2480 | 2503 | 2501 | 2606 | 2654 |
| | ต.ค. | **2629** | 2353 | 2307 | 2424 | 2453 | 2553 | 2584 |
| | พ.ย. | **2438** | 2353 | 2422 | 2371 | 2459 | 2480 | 2568 |
| | ธ.ค. | **2157** | 2424 | 2374 | 2425 | 2382 | 2473 | 2549 |

ตารางที่ 4.2 ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้จากวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (ต่อ)

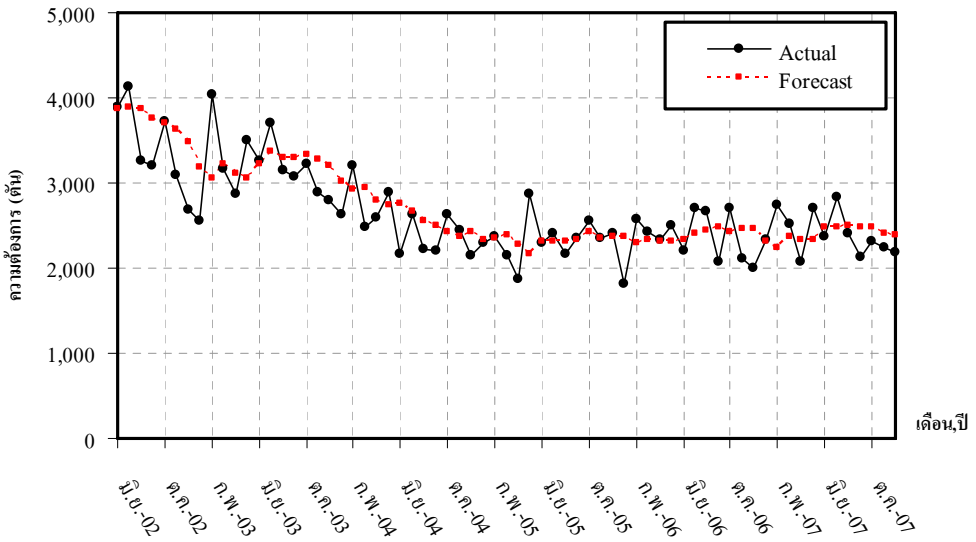
| ปี | เดือน | Demand (Ton.) $Y_t$ | ค่าพยากรณ์ที่ได้จากการเฉลี่ยเคลื่อนที่ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\hat{Y}_t$ (K=3) | $\hat{Y}_t$ (K=4) | $\hat{Y}_t$ (K=5) | $\hat{Y}_t$ (K=6) | $\hat{Y}_t$ (K=8) | $\hat{Y}_t$ (K=10) |
| **2005** | ม.ค. | **2305** | 2408 | 2357 | 2331 | 2381 | 2418 | 2443 |
| | ก.พ. | **2375** | 2300 | 2383 | 2347 | 2326 | 2345 | 2425 |
| | มี.ค. | **2145** | 2279 | 2319 | 2381 | 2351 | 2371 | 2403 |
| | เม.ย. | **1873** | 2275 | 2246 | 2284 | 2342 | 2310 | 2328 |
| | พ.ค. | **2873** | 2131 | 2174 | 2171 | 2215 | 2266 | 2298 |
| | มิ.ย. | **2296** | 2297 | 2316 | 2314 | 2288 | 2349 | 2322 |
| | ก.ค. | **2410** | 2347 | 2296 | 2312 | 2311 | 2308 | 2329 |
| | ส.ค. | **2171** | 2526 | 2363 | 2319 | 2328 | 2304 | 2350 |
| | ก.ย. | **2346** | 2292 | 2437 | 2324 | 2294 | 2306 | 2304 |
| | ต.ค. | **2561** | 2309 | 2306 | 2419 | 2328 | 2311 | 2295 |
| | พ.ย. | **2350** | 2359 | 2372 | 2357 | 2443 | 2334 | 2335 |
| | ธ.ค. | **2405** | 2419 | 2357 | 2368 | 2356 | 2360 | 2340 |
| **2006** | ม.ค. | **1821** | 2439 | 2416 | 2367 | 2374 | 2426 | 2343 |
| | ก.พ. | **2571** | 2192 | 2284 | 2297 | 2276 | 2295 | 2311 |
| | มี.ค. | **2434** | 2266 | 2287 | 2342 | 2342 | 2329 | 2380 |
| | เม.ย. | **2337** | 2275 | 2308 | 2316 | 2357 | 2332 | 2336 |
| | พ.ค. | **2501** | 2447 | 2291 | 2314 | 2320 | 2353 | 2341 |
| | มิ.ย. | **2204** | 2424 | 2460 | 2333 | 2345 | 2372 | 2350 |
| | ก.ค. | **2701** | 2347 | 2369 | 2409 | 2311 | 2328 | 2353 |
| | ส.ค. | **2668** | 2469 | 2436 | 2435 | 2458 | 2372 | 2389 |
| | ก.ย. | **2077** | 2524 | 2519 | 2482 | 2474 | 2405 | 2399 |
| | ต.ค. | **2704** | 2482 | 2413 | 2430 | 2415 | 2437 | 2372 |
| | พ.ย. | **2119** | 2483 | 2538 | 2471 | 2476 | 2453 | 2402 |
| | ธ.ค. | **1992** | 2300 | 2392 | 2454 | 2412 | 2414 | 2431 |
| **2007** | ม.ค. | **2329** | 2272 | 2223 | 2312 | 2377 | 2371 | 2374 |
| | ก.พ. | **2741** | 2146 | 2286 | 2244 | 2315 | 2349 | 2363 |
| | มี.ค. | **2523** | 2354 | 2295 | 2377 | 2327 | 2416 | 2404 |
| | เม.ย. | **2072** | 2531 | 2396 | 2341 | 2401 | 2394 | 2406 |
| | พ.ค. | **2701** | 2445 | 2416 | 2331 | 2296 | 2320 | 2393 |
| | มิ.ย. | **2373** | 2432 | 2509 | 2473 | 2393 | 2398 | 2393 |
| | ก.ค. | **2840** | 2382 | 2417 | 2482 | 2456 | 2356 | 2363 |
| | ส.ค. | **2410** | 2638 | 2496 | 2502 | 2542 | 2446 | 2439 |
| | ก.ย. | **2130** | 2541 | 2581 | 2479 | 2487 | 2499 | 2410 |
| | ต.ค. | **2310** | 2460 | 2438 | 2491 | 2421 | 2474 | 2411 |
| | พ.ย. | **2241** | 2283 | 2422 | 2413 | 2461 | 2420 | 2443 |
| | ธ.ค. | **2184** | 2227 | 2273 | 2386 | 2384 | 2385 | 2434 |
| | **MAD** | | 284.6 | 282.5 | **268.6** | 292.6 | 285.3 | 291.4 |
| | **RMSE** | | 361.0 | 346.5 | **341.0** | 364.9 | 364.5 | 372.0 |
| | **MAPE** | | 10.7 | 10.8 | **10.3** | 11.2 | 11.2 | 11.6 |

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าพยากรณ์โดยใช้ค่าเฉลี่ยอย่างง่าย พบว่าการใช้ข้อมูลในการเฉลี่ย 5 ข้อมูลหรือ K=5 จะให้ค่า MAD, RMSE, MAPE ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่ายที่ K=5

| วิธีการตรวจสอบความแม่นยำ | ค่าที่ได้ |
|---|---|
| MAD | **268.65** |
| RMSE | **341.03** |
| MAPE | **10.34** |

จากข้อมูลค่าจริงและค่าที่ได้จากการพยากรณ์นำมาเขียนกราฟเพื่อแสดงการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ดังรูปที่ 4.2




รูปที่ 4.2 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่ายที่ K=5

ดังนั้นการพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยอย่างง่ายใช้ K=5 ในการพยากรณ์ ซึ่งสมการพยากรณ์แสดงได้ดังสมการที่ 4.3

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + ... + Y_{t-4}}{5} \quad \text{.....(4.3)}$$

โดยวิธีการนี้ไม่เหมาะสมกับกลุ่มข้อมูล

**4.2.1.2 การพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน (Decomposition Method)**

การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยการวิเคราะห์อนุกรมแบบแยกส่วน โดยการพิจารณาส่วนประกอบที่มีผลต่อค่าพยากรณ์ คือแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งกำหนดให้ค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลาที่ t ดังสมการที่ 4.4

$$\hat{Y}_t = Y_t^{'} \times S_t \text{.....(4.4)}$$

โดยที่ $\hat{Y}_t$ = ค่าพยากรณ์ข้อมูล ณ เวลาที่ t

$Y_t^{'}$ = ค่าค่าแนวโน้ม ณ ช่วงเวลา t

$S_t$ = เป็นค่าดัชนีฤดูกาล ณ ช่วงเวลาที่ t

การวิเคราะห์หาดัชนีฤดูกาล (Seasonal Index) ซึ่งจะพิจารณาฤดูกาล 12 เดือน ใช้เป็น Factor ที่ใช้ร่วมกับสมการแนวโน้มเพื่อพยากรณ์ความต้องการในอนาคต มีขั้นตอนในการหาค่าดัชนีฤดูกาลและการพยากรณ์ดังนี้

1. คำนวณหาผลรวมของปริมาณความต้องการรายเดือน (12 ฤดูกาล) ของข้อมูลปี 2002-2007 ซึ่งจะได้ข้อมูล 6 ชุดในแต่ละฤดูกาล

2. คำนวณหาผลรวมปริมาณความต้องการทั้งหมด

3. หาอัตราส่วนของผลรวมของความต้องการในแต่ฤดูกาลต่อผลรวมความต้องการทั้งหมด ซึ่งจะได้ค่าดัชนีฤดูกาลแต่ละเดือน

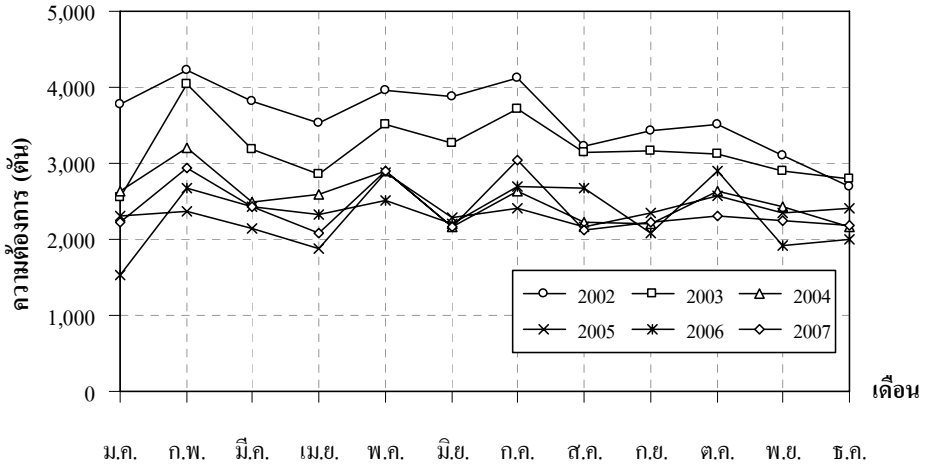
4. พิจารณาสมการแนวโน้มจากข้อมูลผลรวมรายปี 2002 -2007

5. หาปริมาณความต้องการจากสมการแนวโน้มปี 2002 – 2007 โดย X=1 แทนค่าปี 2002

6. ใช้ดัชนีฤดูกาลคูณกับค่าความต้องการที่คำนวณได้จากสมการแนวโน้ม ซึ่งจะได้ค่าพยากรณ์ความต้องการในแต่ละเดือน

โดยสรุปแล้วการใช้วิธีการนี้จะแบ่งเป็นสองส่วนคือการหาดัชนีฤดูกาลในแต่ละเดือน เพื่อนำมาคูณกับความต้องการที่พยากรณ์จากสมการแนวโน้ม ซึ่งออกมาเป็นค่าพยากรณ์ที่มีทั้งส่วนประกอบของฤดูกาลและแนวโน้ม แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. พิจารณาข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์รายเดือนปี 2002-2007 ซึ่งแสดงออกมาในรูปกราฟดังรูปที่ 4.3




รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% ปี 2002-2007 รายเดือน

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นลักษณะความต้องการมีแบบของฤดูกาลรายเดือน ดังนั้นทำการหา Factor ซึ่งเป็นค่าของดัชนีฤดูกาล เพื่อนำมาใช้พยากรณ์ร่วมกับสมการแนวโน้ม

2. แสดงผลการคำนวณในขั้นตอนที่ 2-3 ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณค่าดัชนีฤดูกาล

| ปี / เดือน | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | รวม | ดัชนีฤดูกาล |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ม.ค. | 3775 | 2546 | 2626 | 2305 | 1521 | 2229 | 15002 | **0.076** |
| ก.พ. | 4217 | 4043 | 3212 | 2375 | 2671 | 2941 | 19460 | **0.099** |
| มี.ค. | 3810 | 3174 | 2490 | 2145 | 2434 | 2423 | 16475 | **0.084** |
| เม.ย. | 3538 | 2863 | 2598 | 1873 | 2337 | 2072 | 15280 | **0.078** |
| พ.ค. | 3969 | 3502 | 2895 | 2873 | 2501 | 2901 | 18640 | **0.095** |
| มิ.ย. | 3884 | 3260 | 2167 | 2296 | 2204 | 2173 | 15985 | **0.081** |
| ก.ค. | 4121 | 3709 | 2632 | 2410 | 2701 | 3040 | 18613 | **0.095** |
| ส.ค. | 3224 | 3145 | 2225 | 2171 | 2668 | 2113 | 15547 | **0.079** |
| ก.ย. | 3437 | 3170 | 2203 | 2346 | 2077 | 2227 | 15459 | **0.079** |
| ต.ค. | 3514 | 3126 | 2629 | 2561 | 2904 | 2310 | 17046 | **0.087** |
| พ.ย. | 3094 | 2895 | 2438 | 2350 | 1919 | 2241 | 14937 | **0.076** |
| ธ.ค. | 2693 | 2796 | 2157 | 2405 | 1992 | 2184 | 14228 | **0.072** |
| **รวม** | **43276** | **38230** | **30273** | **28110** | **27928** | **28855** | **196671** | **1.000** |

3. แสดงค่าดัชนีฤดูกาลดังตารางที่ 4.5 ซึ่งค่าดัชนีฤดูกาลที่ได้จะนำไปใช้ร่วมกับค่าที่คำนวณจากสมการแนวโน้มเพื่อพยากรณ์ความต้องการ

ตารางที่ 4.5 ดัชนีฤดูกาล

| เดือน (ฤดูกาล) | ดัชนีฤดูกาล |
|---|---|
| มกราคม | **0.076** |
| กุมภาพันธ์ | **0.099** |
| มีนาคม | **0.084** |
| เมษายน | **0.078** |
| พฤษภาคม | **0.095** |
| มิถุนายน | **0.081** |
| กรกฎาคม | **0.095** |
| สิงหาคม | **0.079** |
| กันยายน | **0.079** |
| ตุลาคม | **0.087** |
| พฤศจิกายน | **0.076** |
| ธันวาคม | **0.072** |
| **รวม** | **1.000** |

4. จากข้อมูลความต้องการสรุปเป็นจำนวนรวมรายปี และนำค่ารายปีมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์และหาสมการแนวโน้มเพื่อนำสมการไปพยากรณ์ความต้องการรวมต่อปี ซึ่งปริมาณความต้องการรายปีแสงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความต้องการต่อปีในปี 2002 – 2007

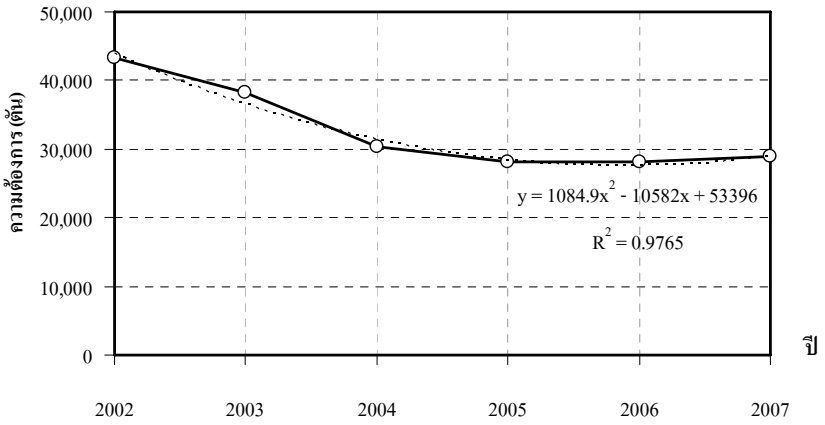
| Year | Demand (Tons) |
|---|---|
| 2002 | 43276 |
| 2003 | 38230 |
| 2004 | 30273 |
| 2005 | 28110 |
| 2006 | 28128 |
| 2007 | 28853 |

จากข้อมูลความต้องการในตารางที่ 4.6 นำค่ามาเขียนกราฟเพื่อดูแนวโน้มและหาสมการแนวโน้มได้ดังกราฟในรูปที่ 4.4 ซึ่งจะได้สมการแนวโน้มดังสมการที่ 4.5

$$\mathbf{Y = 1084.9X^2 - 10582X + 53396} \text{ .....(4.5)}$$

โดยที่ X = ปี (2002 = 1)

Y = ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ (ตัน)




รูปที่ 4.4 แนวโน้มความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์รายปี

เมื่อนำค่าสมการแนวโน้ม $Y = 1084.9X^2 - 10582X + 53396$ เป็นสมการหลักในการพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ต่อปี ซึ่งค่าที่ได้จากการพยากรณ์พร้อมหาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD ได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าพยากรณ์ความต้องการโดยใช้สมการแนวโน้ม

| Year | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $e_i$ | $\lvert e_i \rvert$ |
|---|---|---|---|---|
| 2002 | 43276 | 43899 | -622.9 | 622.9 |
| 2003 | 38230 | 36572 | 1658.4 | 1658.4 |
| 2004 | 30273 | 31414 | -1141.1 | 1141.1 |
| 2005 | 28110 | 28426 | -316.4 | 316.4 |
| 2006 | 28128 | 27609 | 519.5 | 519.5 |
| 2007 | 28853 | 28960 | -107.4 | 107.4 |
| | | | $\sum_{i=1}^{6}$ | **4365.7** |
| | | | **MAD** | **727.62** |

5. นำค่าดัชนีฤดูกาลเป็น Factor คูณกับค่าพยากรณ์รายปีจะได้เป็นค่าพยากรณ์ทั้งหมดของปี 2002-2007 แสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าพยากรณ์ความต้องการปี 2002-2007 โดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน (ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม)

| ปี | ดัชนีฤดูกาล | เดือน | ค่าจริง (ตัน) | ค่าพยากรณ์ (ตัน) |
|---|---|---|---|---|
| **2002** | 0.076 | ม.ค. | 3775 | 3352.6 |
| | 0.099 | ก.พ. | 4217 | 4348.7 |
| | 0.084 | มี.ค. | 3810 | 3681.8 |
| | 0.078 | เม.ย. | 3438 | 3414.5 |
| | 0.095 | พ.ค. | 4069 | 4165.5 |
| | 0.081 | มิ.ย. | 3884 | 3572.1 |
| | 0.095 | ก.ค. | 4121 | 4159.4 |
| | 0.079 | ส.ค. | 3262 | 3474.4 |
| | 0.079 | ก.ย. | 3199 | 3454.7 |
| | 0.087 | ต.ค. | 3714 | 3809.2 |
| | 0.076 | พ.ย. | 3094 | 3338.0 |
| | 0.072 | ธ.ค. | 2693 | 3179.5 |
| **2003** | 0.076 | ม.ค. | 2546 | 2787.4 |
| | 0.099 | ก.พ. | 4043 | 3615.5 |
| | 0.084 | มี.ค. | 3174 | 3061.0 |
| | 0.078 | เม.ย. | 2863 | 2838.9 |
| | 0.095 | พ.ค. | 3502 | 3463.3 |
| | 0.081 | มิ.ย. | 3260 | 2969.9 |
| | 0.095 | ก.ค. | 3709 | 3458.2 |
| | 0.079 | ส.ค. | 3145 | 2888.7 |
| | 0.079 | ก.ย. | 3072 | 2872.3 |
| | 0.087 | ต.ค. | 3224 | 3167.0 |
| | 0.076 | พ.ย. | 2895 | 2775.2 |
| | 0.072 | ธ.ค. | 2796 | 2643.5 |
| **2004** | 0.076 | ม.ค. | 2626 | 2390.4 |
| | 0.099 | ก.พ. | 3212 | 3100.6 |
| | 0.084 | มี.ค. | 2490 | 2625.0 |
| | 0.078 | เม.ย. | 2598 | 2434.5 |
| | 0.095 | พ.ค. | 2895 | 2970.0 |
| | 0.081 | มิ.ย. | 2167 | 2546.9 |
| | 0.095 | ก.ค. | 2632 | 2965.6 |
| | 0.079 | ส.ค. | 2225 | 2477.2 |
| | 0.079 | ก.ย. | 2203 | 2463.2 |
| | 0.087 | ต.ค. | 2629 | 2715.9 |
| | 0.076 | พ.ย. | 2438 | 2379.9 |
| | 0.072 | ธ.ค. | 2157 | 2266.9 |

ตารางที่ 4.8 ค่าพยากรณ์ความต้องการปี 2002-2007 โดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน (ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม) (ต่อ)

| ปี | ดัชนีฤดูกาล | เดือน | ค่าจริง (ตัน) | ค่าพยากรณ์ (ตัน) |
|---|---|---|---|---|
| **2005** | 0.076 | ม.ค. | 2305 | 2161.5 |
| | 0.099 | ก.พ. | 2375 | 2803.8 |
| | 0.084 | มี.ค. | 2145 | 2373.8 |
| | 0.078 | เม.ย. | 1873 | 2201.5 |
| | 0.095 | พ.ค. | 2873 | 2685.7 |
| | 0.081 | มิ.ย. | 2296 | 2303.1 |
| | 0.095 | ก.ค. | 2410 | 2681.7 |
| | 0.079 | ส.ค. | 2171 | 2240.1 |
| | 0.079 | ก.ย. | 2346 | 2227.4 |
| | 0.087 | ต.ค. | 2561 | 2455.9 |
| | 0.076 | พ.ย. | 2350 | 2152.1 |
| | 0.072 | ธ.ค. | 2405 | 2049.9 |
| **2006** | 0.076 | ม.ค. | 1821 | 2100.9 |
| | 0.099 | ก.พ. | 2571 | 2725.2 |
| | 0.084 | มี.ค. | 2434 | 2307.2 |
| | 0.078 | เม.ย. | 2337 | 2139.8 |
| | 0.095 | พ.ค. | 2501 | 2610.4 |
| | 0.081 | มิ.ย. | 2204 | 2238.5 |
| | 0.095 | ก.ค. | 2701 | 2606.6 |
| | 0.079 | ส.ค. | 2668 | 2177.3 |
| | 0.079 | ก.ย. | 2077 | 2164.9 |
| | 0.087 | ต.ค. | 2704 | 2387.1 |
| | 0.076 | พ.ย. | 2119 | 2091.8 |
| | 0.072 | ธ.ค. | 1992 | 1992.5 |
| **2007** | 0.076 | ม.ค. | 2329 | 2208.5 |
| | 0.099 | ก.พ. | 2741 | 2864.7 |
| | 0.084 | มี.ค. | 2523 | 2425.4 |
| | 0.078 | เม.ย. | 2072 | 2249.3 |
| | 0.095 | พ.ค. | 2701 | 2744.1 |
| | 0.081 | มิ.ย. | 2373 | 2353.1 |
| | 0.095 | ก.ค. | 2840 | 2740.0 |
| | 0.079 | ส.ค. | 2410 | 2288.8 |
| | 0.079 | ก.ย. | 2130 | 2275.8 |
| | 0.087 | ต.ค. | 2310 | 2509.3 |
| | 0.076 | พ.ย. | 2241 | 2198.9 |
| | 0.072 | ธ.ค. | 2184 | 2094.5 |

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน (ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม)

| ปี | เดือน | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\left\lvert \frac{e_i}{Y_i} \right\rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2002** | ม.ค. | 3775 | 3353 | 422.1 | 178155.98 | 422.1 | 0.1118 |
| | ก.พ. | 4217 | 4349 | -131.5 | 17279.13 | 131.5 | 0.0312 |
| | มี.ค. | 3810 | 3682 | 127.8 | 16329.53 | 127.8 | 0.0335 |
| | เม.ย. | 3438 | 3415 | 23.5 | 549.98 | 23.5 | 0.0068 |
| | พ.ค. | 4069 | 4166 | -96.5 | 9313.72 | 96.5 | 0.0237 |
| | มิ.ย. | 3884 | 3572 | 311.9 | 97301.73 | 311.9 | 0.0803 |
| | ก.ค. | 4121 | 4159 | -38.9 | 1515.62 | 38.9 | 0.0094 |
| | ส.ค. | 3262 | 3474 | -212.4 | 45120.76 | 212.4 | 0.0651 |
| | ก.ย. | 3199 | 3455 | -255.7 | 65398.03 | 255.7 | 0.0799 |
| | ต.ค. | 3714 | 3809 | -95.2 | 9053.99 | 95.2 | 0.0256 |
| | พ.ย. | 3094 | 3338 | -243.5 | 59302.85 | 243.5 | 0.0787 |
| | ธ.ค. | 2693 | 3179 | -486.5 | 236686.12 | 486.5 | 0.1807 |
| **2003** | ม.ค. | 2546 | 2787 | -241.0 | 58079.08 | 241.0 | 0.0946 |
| | ก.พ. | 4043 | 3616 | 427.3 | 182586.79 | 427.3 | 0.1057 |
| | มี.ค. | 3174 | 3061 | 112.8 | 12725.42 | 112.8 | 0.0355 |
| | เม.ย. | 2863 | 2839 | 24.2 | 586.38 | 24.2 | 0.0085 |
| | พ.ค. | 3502 | 3463 | 39.0 | 1519.44 | 39.0 | 0.0111 |
| | มิ.ย. | 3260 | 2970 | 290.4 | 84343.19 | 290.4 | 0.0891 |
| | ก.ค. | 3709 | 3458 | 251.2 | 63078.05 | 251.2 | 0.0677 |
| | ส.ค. | 3145 | 2889 | 256.7 | 65884.79 | 256.7 | 0.0816 |
| | ก.ย. | 3072 | 2872 | 199.7 | 39883.10 | 199.7 | 0.0650 |
| | ต.ค. | 3224 | 3167 | 57.0 | 3248.40 | 57.0 | 0.0177 |
| | พ.ย. | 2895 | 2775 | 119.5 | 14287.41 | 119.5 | 0.0413 |
| | ธ.ค. | 2796 | 2643 | 152.6 | 23283.63 | 152.6 | 0.0546 |
| **2004** | ม.ค. | 2626 | 2390 | 235.7 | 55544.77 | 235.7 | 0.0897 |
| | ก.พ. | 3212 | 3101 | 111.5 | 12435.62 | 111.5 | 0.0347 |
| | มี.ค. | 2490 | 2625 | -135.0 | 18215.98 | 135.0 | 0.0542 |
| | เม.ย. | 2598 | 2435 | 163.3 | 26669.24 | 163.3 | 0.0629 |
| | พ.ค. | 2895 | 2970 | -75.1 | 5642.78 | 75.1 | 0.0259 |
| | มิ.ย. | 2167 | 2547 | -379.6 | 144119.56 | 379.6 | 0.1752 |
| | ก.ค. | 2632 | 2966 | -334.0 | 111546.22 | 334.0 | 0.1269 |
| | ส.ค. | 2225 | 2477 | -252.4 | 63694.71 | 252.4 | 0.1134 |
| | ก.ย. | 2203 | 2463 | -259.7 | 67465.98 | 259.7 | 0.1179 |
| | ต.ค. | 2629 | 2716 | -86.5 | 7478.44 | 86.5 | 0.0329 |
| | พ.ย. | 2438 | 2380 | 58.1 | 3377.06 | 58.1 | 0.0238 |
| | ธ.ค. | 2157 | 2267 | -109.7 | 12032.93 | 109.7 | 0.0508 |

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน (ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม) (ต่อ)

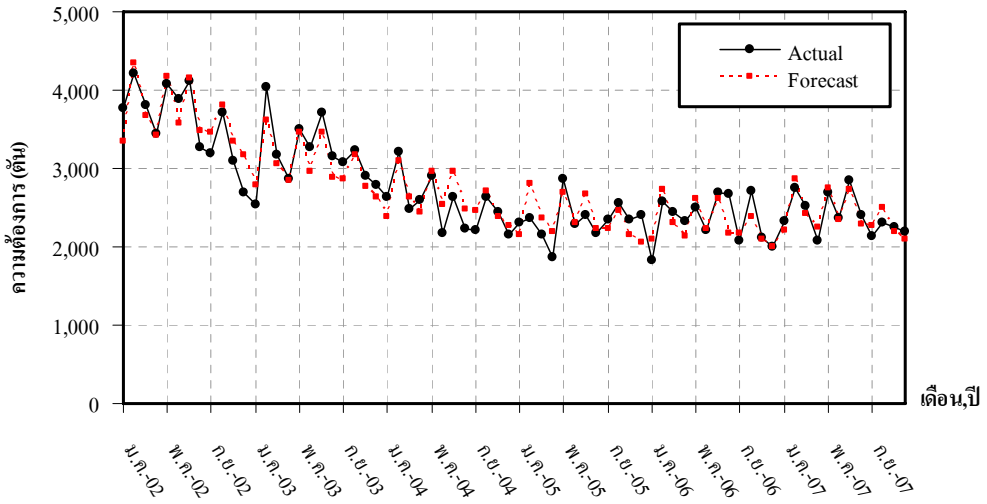
| ปี | เดือน | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\left\lvert \frac{e_i}{Y_i} \right\rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2005** | ม.ค. | 2305 | 2162 | 143.9 | 20704.75 | 143.9 | 0.0624 |
| | ก.พ. | 2375 | 2804 | -428.9 | 183981.03 | 428.9 | 0.1806 |
| | มี.ค. | 2145 | 2374 | -229.1 | 52500.43 | 229.1 | 0.1068 |
| | เม.ย. | 1873 | 2201 | -328.8 | 108117.64 | 328.8 | 0.1756 |
| | พ.ค. | 2873 | 2686 | 187.0 | 34964.89 | 187.0 | 0.0651 |
| | มิ.ย. | 2296 | 2303 | -7.2 | 52.38 | 7.2 | 0.0032 |
| | ก.ค. | 2410 | 2682 | -271.9 | 73933.60 | 271.9 | 0.1128 |
| | ส.ค. | 2171 | 2240 | -68.9 | 4748.84 | 68.9 | 0.0317 |
| | ก.ย. | 2346 | 2227 | 118.2 | 13976.11 | 118.2 | 0.0504 |
| | ต.ค. | 2561 | 2456 | 105.5 | 11125.47 | 105.5 | 0.0412 |
| | พ.ย. | 2350 | 2152 | 197.8 | 39135.08 | 197.8 | 0.0842 |
| | ธ.ค. | 2405 | 2050 | 355.5 | 126381.02 | 355.5 | 0.1478 |
| **2006** | ม.ค. | 1821 | 2101 | -279.9 | 78366.31 | 279.9 | 0.1537 |
| | ก.พ. | 2571 | 2725 | -154.2 | 23763.39 | 154.2 | 0.0600 |
| | มี.ค. | 2434 | 2307 | 126.5 | 15994.56 | 126.5 | 0.0520 |
| | เม.ย. | 2337 | 2140 | 196.8 | 38713.03 | 196.8 | 0.0842 |
| | พ.ค. | 2501 | 2610 | -109.7 | 12026.54 | 109.7 | 0.0439 |
| | มิ.ย. | 2204 | 2239 | -34.5 | 1193.01 | 34.5 | 0.0157 |
| | ก.ค. | 2701 | 2607 | 94.8 | 8988.46 | 94.8 | 0.0351 |
| | ส.ค. | 2668 | 2177 | 490.9 | 240962.42 | 490.9 | 0.1840 |
| | ก.ย. | 2077 | 2165 | -88.2 | 7776.46 | 88.2 | 0.0425 |
| | ต.ค. | 2704 | 2387 | 316.9 | 100438.76 | 316.9 | 0.1172 |
| | พ.ย. | 2119 | 2092 | 27.1 | 731.71 | 27.1 | 0.0128 |
| | ธ.ค. | 1992 | 1992 | -0.4 | 0.19 | 0.4 | 0.0002 |
| **2007** | ม.ค. | 2329 | 2209 | 120.0 | 14401.34 | 120.0 | 0.0515 |
| | ก.พ. | 2741 | 2865 | -123.5 | 15261.15 | 123.5 | 0.0451 |
| | มี.ค. | 2523 | 2425 | 98.1 | 9617.99 | 98.1 | 0.0389 |
| | เม.ย. | 2072 | 2249 | -177.5 | 31501.50 | 177.5 | 0.0857 |
| | พ.ค. | 2701 | 2744 | -43.5 | 1894.88 | 43.5 | 0.0161 |
| | มิ.ย. | 2373 | 2353 | 20.1 | 402.59 | 20.1 | 0.0085 |
| | ก.ค. | 2840 | 2740 | 100.0 | 9991.83 | 100.0 | 0.0352 |
| | ส.ค. | 2410 | 2289 | 121.2 | 14693.08 | 121.2 | 0.0503 |
| | ก.ย. | 2130 | 2276 | -145.9 | 21297.52 | 145.9 | 0.0685 |
| | ต.ค. | 2310 | 2509 | -199.3 | 39715.63 | 199.3 | 0.0863 |
| | พ.ย. | 2241 | 2199 | 41.9 | 1759.39 | 41.9 | 0.0187 |
| | ธ.ค. | 2184 | 2094 | 89.4 | 8000.04 | 89.4 | 0.0410 |
| | | | | $\sum_{i=1}^{72}$ | **3180849.39** | **12460.57** | **4.72** |

จากข้อมูลการพยากรณ์ในตารางที่ 4.9 นำมาหาค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการพยากรณ์ด้วยวิธีอื่นๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน (ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม)

| วิธีการตรวจสอบความแม่นยำ | ค่าที่ได้ |
|---|---|
| MAD | **173.06** |
| RMSE | **210.19** |
| MAPE | **6.55** |

จากข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ค่าจริงและค่าพยากรณ์โดยใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้มแสดงในตารางที่ 4.9 นำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.5




รูปที่ 4.5 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน (ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม)

**ข้อควรพิจารณาในการพยากรณ์โดยการพยากรณ์แบบแยกส่วน**
**(ใช้ดัชนีฤดูกาลร่วมกับสมการแนวโน้ม)**

1. ดัชนีฤดูกาลต้องมีการวิเคราะห์และปรับปรุงค่าทุกปีเมื่อมีข้อมูลใหม่เพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำของดัชนีฤดูกาล

2. สมการแนวโน้มความต้องการรายปีต้องมีการวิเคราะห์และหาแนวโน้มใหม่เมื่อมีข้อมูลใหม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความสัมพันธ์ของข้อมูลอาจจะมีแนวโน้มเปลี่ยนไปจากเดิม เช่น เพิ่มขึ้นหรือลดลง ไม่เป็นไปตามสมการแนวโน้มที่คำนวณไว้เดิม ซึ่งหากไม่มีการทบทวนทุกปีค่าที่ได้อาจจะมีความคลาดเคลื่อน

**4.2.1.3 การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย**

**(Single Exponential Smoothing Method)**

การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย เป็นวิธีการที่ค่าพยากรณ์คำนวณได้จากข้อมูลที่ผ่านมาทั้งหมด โดยมีการให้น้ำหนักหรือความสำคัญของข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน การให้น้ำหนักจะให้เท่ากับค่าที่เกิดขึ้นล่าสุด ($Y_t$) มากที่สุดและจะลดหลั่นกันไปในลักษณะแบบเอกซ์โพเนนเชียล สำหรับค่าสังเกตที่อยู่ห่างออกไป ($Y_{t-1}$, $Y_{t-2}$, ... ) ส่วนน้ำหนักที่ให้จะขึ้นกับค่าคงที่ในการทำให้เรียบ ( $\alpha$ ) หรือบางทีเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การทำให้เรียบ โดยที่ $0 \le \alpha \le 1$ สำหรับสูตรที่ใช้ในการพยากรณ์เขียนได้ดังสมการที่ 4.6

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha)\hat{Y}_t \text{ .....(4.6)}$$

โดยที่ $\hat{Y}_{t+1}$ = ค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ต้องการ

$\hat{Y}_t$ = ค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ t

$\alpha$ = ค่าสัมประสิทธิ์การทำให้เรียบ โดยที่ $0 \le \alpha \le 1$

ในส่วนของการกำหนดค่าเริ่มต้น $\hat{Y}_{initial}$ เพื่อทำการหาค่าพยากรณ์ตัวถัดไปและการกำหนดค่า $\alpha$ นิยมการกำหนดได้ดังนี้

1. กำหนดให้ $\hat{Y}_{initial} = \hat{Y}_1 = Y_1$ จะทำให้ค่าพยากรณ์ $\hat{Y}_t$ สำหรับ t=2, 3, 4, ...ได้

$$\hat{Y}_{initial} = Y_1 = 3775$$

2. $\hat{Y}_{initial} = \overline{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

$$\hat{Y}_{initial} = \overline{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{72} Y_i}{72}$$

$$\hat{Y}_{initial} = \overline{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{72} (3775 + 4217 + 3810 + ... + 2184)}{72}$$

$$\hat{Y}_{initial} = \hat{Y}_1 = 2734.3$$

ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้ในข้อที่ 1 ในส่วนของค่า $\alpha$ ใช้ค่าที่ทำให้ค่า MAPE ในการพยากรณ์ต่ำที่สุดด้วยการหาค่าโดยใช้ Solver โดยค่าที่ได้คือ $\alpha = 0.29$ (แสดงการหาค่าดังภาคผนวก ค)

จากค่าเริ่มต้นและสมการในการคำนวณด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย สามารถแสดงค่าพยากรณ์และข้อมูลในการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4. 11 ค่าพยากรณ์ความต้องการปี 2002-2007 โดยการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย

| ปี | เดือน | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\lvert \frac{e_i}{Y_i} \rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2002** | ม.ค. | **3775** | 3775 | 0 | 0.1 | 0.3 | 0.000 |
| | ก.พ. | **4217** | 3775 | -442 | 195658.5 | 442.3 | 0.105 |
| | มี.ค. | **3810** | 3904 | 94 | 8829.3 | 94.0 | 0.025 |
| | เม.ย. | **3438** | 3876 | 438 | 192007.4 | 438.2 | 0.127 |
| | พ.ค. | **4069** | 3749 | -320 | 102557.0 | 320.2 | 0.079 |
| | มิ.ย. | **3884** | 3842 | -42 | 1775.9 | 42.1 | 0.011 |
| | ก.ค. | **4121** | 3854 | -266 | 70942.5 | 266.4 | 0.065 |
| | ส.ค. | **3262** | 3932 | 670 | 448343.3 | 669.6 | 0.205 |
| | ก.ย. | **3199** | 3737 | 538 | 289357.4 | 537.9 | 0.168 |
| | ต.ค. | **3714** | 3581 | -134 | 17827.4 | 133.5 | 0.036 |
| | พ.ย. | **3094** | 3619 | 525 | 275530.7 | 524.9 | 0.170 |
| | ธ.ค. | **2693** | 3467 | 774 | 598713.3 | 773.8 | 0.287 |
| **2003** | ม.ค. | **2546** | 3242 | 695 | 483598.7 | 695.4 | 0.273 |
| | ก.พ. | **4043** | 3040 | -1003 | 1006452.8 | 1003.2 | 0.248 |
| | มี.ค. | **3174** | 3331 | 157 | 24784.9 | 157.4 | 0.050 |
| | เม.ย. | **2863** | 3286 | 422 | 178430.9 | 422.4 | 0.148 |
| | พ.ค. | **3502** | 3163 | -340 | 115291.9 | 339.5 | 0.097 |
| | มิ.ย. | **3260** | 3261 | 1 | 1.3 | 1.1 | 0.000 |
| | ก.ค. | **3709** | 3261 | -448 | 200924.1 | 448.2 | 0.121 |
| | ส.ค. | **3145** | 3391 | 246 | 60550.8 | 246.1 | 0.078 |
| | ก.ย. | **3072** | 3320 | 248 | 61440.4 | 247.9 | 0.081 |
| | ต.ค. | **3224** | 3248 | 24 | 566.9 | 23.8 | 0.007 |
| | พ.ย. | **2895** | 3241 | 346 | 119817.9 | 346.1 | 0.120 |
| | ธ.ค. | **2796** | 3140 | 344 | 118483.0 | 344.2 | 0.123 |
| **2004** | ม.ค. | **2626** | 3040 | 414 | 171513.7 | 414.1 | 0.158 |
| | ก.พ. | **3212** | 2920 | -292 | 85438.9 | 292.3 | 0.091 |
| | มี.ค. | **2490** | 3005 | 515 | 264894.9 | 514.7 | 0.207 |
| | เม.ย. | **2598** | 2855 | 257 | 66197.7 | 257.3 | 0.099 |
| | พ.ค. | **2895** | 2780 | -115 | 13119.2 | 114.5 | 0.040 |
| | มิ.ย. | **2167** | 2814 | 646 | 417817.7 | 646.4 | 0.298 |
| | ก.ค. | **2632** | 2626 | -6 | 35.2 | 5.9 | 0.002 |
| | ส.ค. | **2225** | 2627 | 403 | 162080.2 | 402.6 | 0.181 |
| | ก.ย. | **2203** | 2510 | 307 | 94217.3 | 306.9 | 0.139 |
| | ต.ค. | **2629** | 2421 | -208 | 43384.4 | 208.3 | 0.079 |
| | พ.ย. | **2438** | 2482 | 44 | 1906.7 | 43.7 | 0.018 |
| | ธ.ค. | **2157** | 2469 | 312 | 97201.1 | 311.8 | 0.145 |

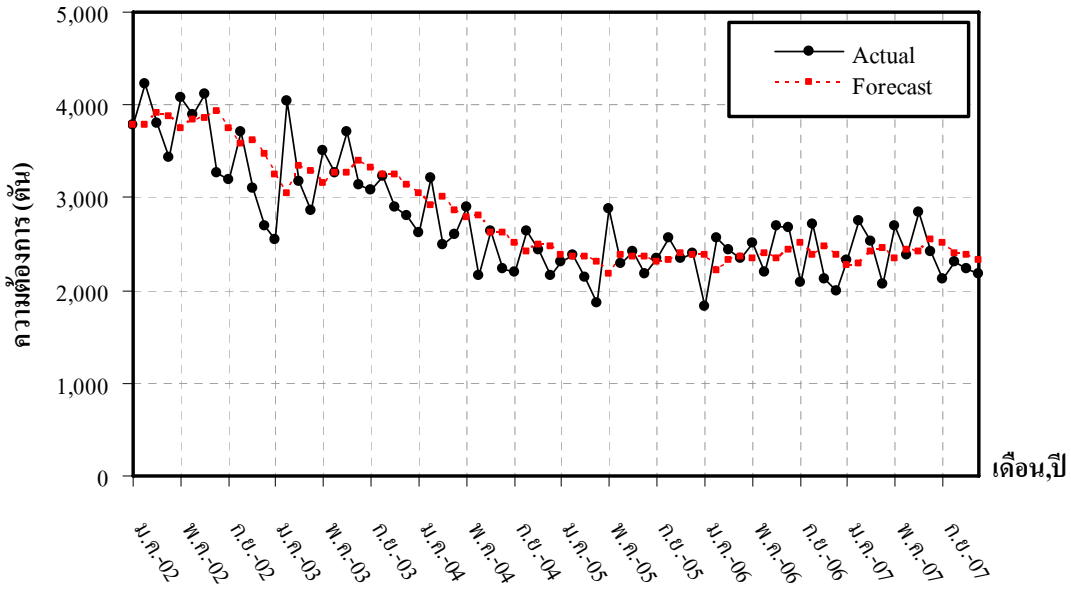
ตารางที่ 4.11 ค่าพยากรณ์ความต้องการปี 2002-2007 โดยการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (ต่อ)

| ปี | เดือน | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\left\lvert \frac{e_i}{Y_i} \right\rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2005** | ม.ค. | **2305** | 2378 | 73 | 5319.0 | 72.9 | 0.032 |
| | ก.พ. | **2375** | 2357 | -18 | 312.3 | 17.7 | 0.007 |
| | มี.ค. | **2145** | 2362 | 218 | 47378.5 | 217.7 | 0.101 |
| | เม.ย. | **1873** | 2299 | 426 | 181770.1 | 426.3 | 0.228 |
| | พ.ค. | **2873** | 2175 | -698 | 486651.5 | 697.6 | 0.243 |
| | มิ.ย. | **2296** | 2378 | 82 | 6731.7 | 82.0 | 0.036 |
| | ก.ค. | **2410** | 2354 | -56 | 3114.3 | 55.8 | 0.023 |
| | ส.ค. | **2171** | 2370 | 199 | 39632.1 | 199.1 | 0.092 |
| | ก.ย. | **2346** | 2312 | -33 | 1104.8 | 33.2 | 0.014 |
| | ต.ค. | **2561** | 2322 | -239 | 57300.7 | 239.4 | 0.093 |
| | พ.ย. | **2350** | 2392 | 42 | 1738.6 | 41.7 | 0.018 |
| | ธ.ค. | **2405** | 2380 | -26 | 672.0 | 25.9 | 0.011 |
| **2006** | ม.ค. | **1821** | 2387 | 566 | 320414.1 | 566.1 | 0.311 |
| | ก.พ. | **2571** | 2222 | -349 | 121462.0 | 348.5 | 0.136 |
| | มี.ค. | **2434** | 2324 | -110 | 12071.9 | 109.9 | 0.045 |
| | เม.ย. | **2337** | 2356 | 19 | 369.8 | 19.2 | 0.008 |
| | พ.ค. | **2501** | 2350 | -151 | 22668.4 | 150.6 | 0.060 |
| | มิ.ย. | **2204** | 2394 | 190 | 36089.1 | 190.0 | 0.086 |
| | ก.ค. | **2701** | 2339 | -363 | 131520.9 | 362.7 | 0.134 |
| | ส.ค. | **2668** | 2444 | -224 | 50186.9 | 224.0 | 0.084 |
| | ก.ย. | **2077** | 2509 | 433 | 187060.7 | 432.5 | 0.208 |
| | ต.ค. | **2704** | 2384 | -320 | 102704.2 | 320.5 | 0.119 |
| | พ.ย. | **2119** | 2477 | 358 | 128074.6 | 357.9 | 0.169 |
| | ธ.ค. | **1992** | 2373 | 381 | 144880.6 | 380.6 | 0.191 |
| **2007** | ม.ค. | **2329** | 2262 | -67 | 4428.5 | 66.5 | 0.029 |
| | ก.พ. | **2741** | 2281 | -460 | 211453.1 | 459.8 | 0.168 |
| | มี.ค. | **2523** | 2415 | -108 | 11753.4 | 108.4 | 0.043 |
| | เม.ย. | **2072** | 2447 | 375 | 140389.0 | 374.7 | 0.181 |
| | พ.ค. | **2701** | 2338 | -363 | 131714.7 | 362.9 | 0.134 |
| | มิ.ย. | **2373** | 2443 | 70 | 4889.1 | 69.9 | 0.029 |
| | ก.ค. | **2840** | 2423 | -417 | 174057.4 | 417.2 | 0.147 |
| | ส.ค. | **2410** | 2544 | 134 | 17979.9 | 134.1 | 0.056 |
| | ก.ย. | **2130** | 2505 | 375 | 140794.6 | 375.2 | 0.176 |
| | ต.ค. | **2310** | 2396 | 86 | 7392.3 | 86.0 | 0.037 |
| | พ.ย. | **2241** | 2371 | 130 | 16947.4 | 130.2 | 0.058 |
| | ธ.ค. | **2184** | 2333 | 149 | 22271.1 | 149.2 | 0.068 |
| | | | | $\sum_{i=1}^{72}$ | **8962993.0** | **20343.3** | **7.7** |

ตารางที่ 4.12 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย

| วิธีการตรวจสอบความแม่นยำ | ค่าที่ได้ |
|---|---|
| MAD | **282.55** |
| RMSE | **352.83** |
| MAPE | **10.63** |

จากข้อมูลค่าจริงและค่าที่ได้จากการพยากรณ์นำมาเขียนกราฟเพื่อแสดงการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ดังรูปที่ 4.6




รูปที่ 4.6 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย

**4.2.1.4 การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (winter)**

วิธีการนี้ใช้ข้อมูลหรือค่าสังเกตในอดีตส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดในการสร้างสมการพยากรณ์ โดยน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกตแต่ละค่าแตกต่างกัน วิธีการให้น้ำหนักแก่ค่าสังเกตหรือข้อมูลในอดีตนั้นมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูล จากข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ทั้ง 72 เดือน ซึ่งจะใช้การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ โดยสมการพยากรณ์ที่ใช้อยู่ในรูป

$$\hat{Y}_{t+m} = \begin{cases} (a_t + b_t(m))\hat{S}_t ; t \le p \\ (a_t + b_t(m))\hat{S}_{t-p+m} ; t > p \end{cases}$$

$a_t$ คือระดับของข้อมูลหรือส่วนที่เป็นการทำให้เรียบ

$b_t$ คือส่วนที่เป็นแนวโน้ม

$\hat{S}_t$ คือส่วนที่เป็นฤดูกาล

$m$ คือจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

$p$ คือจำนวนฤดูกาล

$$a_t = \begin{cases} \dfrac{\alpha Y_t}{\hat{S}_t} + (1-\alpha)[a_{t-1} + b_{t-1}] ; t \le p \\ \dfrac{\alpha Y_t}{\hat{S}_{t-p}} + (1-\alpha)[a_{t-1} + b_{t-1}] ; t > p \end{cases}$$

$$b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$$

$$\hat{S}_t = \frac{\delta Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-p}$$

$\alpha$ คือค่าคงที่การทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์และ $0 \le \alpha \le 1$

$\gamma$ คือค่าคงที่การทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณของแนวโน้มและ $0 \le \gamma \le 1$

$\delta$ คือค่าคงที่การทำให้เรียบระหว่างค่าฤดูกาลจริงกับค่าประมาณฤดูกาลและ $0 \le \delta \le 1$

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่า $\alpha = 0.1$, $\gamma = 0.12$ และ $\delta = 0.9$ ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อน MAPE มีค่าต่ำที่สุด (แสดงการหาค่าดังภาคผนวก ค) จากข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ลักษณะของฤดูกาลเป็นรายเดือน ดังนั้น p = 12 โดยแสดงการหาค่าในสมการพยากรณ์ดังนี้

1. การหาค่าเริ่มต้น

**ค่า** $a_0$

$$a_0 = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + ... + Y_p}{p}$$

$$a_0 = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + ... + Y_{12}}{12}$$

แทนค่าข้อมูลความต้องการที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ลงในสมการ

$$a_0 = \frac{3775 + 4217 + 3810 + 3438 + ... + 2241 + 2184}{12}$$

$$a_0 = 3606.29$$

**ค่า** $b_0$

$$b_0 = \frac{(Y_{p+1} - Y_1) + (Y_{P+2} - Y_2) + (Y_{p+3} - Y_3) + ... + (Y_{2p} - Y_p)}{p^2}$$

$$b_0 = \frac{(2546 - 3775) + (4043 - 4217) + (3174 - 3810) + ... + (2796 - 2693)}{12^2}$$

$$b_0 = -35.75$$

**ค่า** $\hat{S}_t$

ค่าเริ่มต้นของ $\hat{S}_t$ ทั้ง 12 ค่า (p=12) ให้มีค่าเท่ากับค่าดัชนีฤดูกาลที่หาได้จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน โดยใช้ Minitab (แสดงดังภาคผนวก ค)

| **Period** | **Index** | |
|---|---|---|
| 1 | 0.91915 | $= \hat{S}_1$ |
| 2 | 1.13403 | $= \hat{S}_2$ |
| 3 | 0.97986 | $= \hat{S}_3$ |
| 4 | 0.89092 | $= \hat{S}_4$ |
| 5 | 1.11584 | $= \hat{S}_5$ |
| 6 | 0.98468 | $= \hat{S}_6$ |
| 7 | 1.14217 | $= \hat{S}_7$ |
| 8 | 0.93987 | $= \hat{S}_8$ |
| 9 | 0.92397 | $= \hat{S}_9$ |
| 10 | 1.08857 | $= \hat{S}_{10}$ |
| 11 | 0.95918 | $= \hat{S}_{11}$ |
| 12 | 0.92176 | $= \hat{S}_{12}$ |

จากค่าเริ่มต้นของ $a_0$, $b_0$, $\hat{S}_t$ นำค่าดังกล่าวแทนในสมการเพื่อหาค่า $a_t$, $b_t$, $\hat{S}_t$, $\hat{Y}_t$

$$a_1 = \frac{\alpha Y_1}{\hat{S}_1} + (1-\alpha)[a_0 + b_0]$$

$$a_1 = \frac{(0.1)(3775)}{0.91915} + (1-0.1)[3606.29 + (-35.75)]$$

$$a_1 = 3624.2$$

$$b_1 = \gamma(a_1 - a_0) + (1-\gamma)b_0$$

$$b_1 = 0.12(3624.2 - 3606.29) + (1-0.12)(-35.75)$$

$$b_1 = -29.095$$

แทนค่าในสมการพยากรณ์

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t(m))\hat{S}_t; t \le 12$$

$$\hat{Y}_1 = \hat{Y}_{0+1} = (a_0 + b_0(1))\hat{S}_1$$

$$\hat{Y}_1 = (3606.29 - 35.75(1))0.91915$$

$$\hat{Y}_1 = 3281.9$$

$$a_2 = \frac{\alpha Y_2}{\hat{S}_2} + (1-0.1)[a_1 + b_1]$$

$$a_2 = \frac{(0.1)(4217)}{1.13403} + (1-0.1)[3624.2 + (-29.095)]$$

$$a_2 = 3607.4$$

$$b_2 = \gamma(a_2 - a_1) + (1-\gamma)b_1$$

$$b_2 = 0.12(3607.4 - 3624.2) + (1-0.12)(-29.095)$$

$$b_2 = -27.559$$

$$\hat{Y}_2 = \hat{Y}_{1+1} = (a_1 + b_1(1))\hat{S}_2$$

$$\hat{Y}_2 = (3624.2 - 29.095(1))1.13403$$

$$\hat{Y}_2 = 4076.9$$

$$a_3 = \frac{\alpha Y_3}{\hat{S}_3} + (1-0.1)\left[a_2 + b_2\right]$$

$$a_3 = \frac{(0.1)(3810)}{0.97986} + (1-0.1)\left[3607.4 + (-27.559)\right]$$

$$a_3 = 3610.7$$

$$b_3 = \gamma(a_3 - a_2) + (1-\gamma)b_2$$

$$b_3 = 0.12(3610.7 - 3607.4) + (1-0.12)(-27.559)$$

$$b_3 = -23.736$$

$$\hat{Y}_3 = \hat{Y}_{2+1} = (a_2 + b_2(1))\hat{S}_3$$

$$\hat{Y}_3 = (3607.4 - 27.559(1))0.97986$$

$$\hat{Y}_3 = 3507.8$$

ค่า $a_t$ , $b_t$ , $\hat{Y}_t$ ที่เหลือทำการคำนวณในทำนองเดียวกันซึ่งได้แสดงในตารางผลการคำนวณที่ 4.13

ส่วนค่า $\hat{S}_t = \frac{\delta Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-p}$ ทำการแทนค่าดังนี้

$\hat{S}_{13} = \frac{0.9Y_{13}}{a_{13}} + (1-0.9)\hat{S}_{13-12}$ ซึ่งนำค่าต่างๆ แทนในสมการและทำการคำนวณไปจนครบแสดงค่าที่ได้ในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าต่างๆ ที่ได้จากวิธีการพยากรณ์โดยใช้การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter)

| ปี | เดือน | $Y_t$ | $a_t$ | $b_t$ | $\hat{S}_t$ | $\hat{Y}_t$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\left\lvert \frac{e_i}{Y_i} \right\rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2002** | ม.ค.-02 | **3775** | 3624.2 | -29.095 | 0.91915 | **3281.9** | 492.8 | 242869.7 | 492.8 | 0.1306 |
| | ก.พ.-02 | **4217** | 3607.4 | -27.559 | 1.13403 | **4076.9** | 140.3 | 19693.1 | 140.3 | 0.0333 |
| | มี.ค.-02 | **3810** | 3610.7 | -23.736 | 0.97986 | **3507.8** | 301.8 | 91059.8 | 301.8 | 0.0792 |
| | เม.ย.-02 | **3438** | 3614.1 | -20.360 | 0.89092 | **3195.7** | 242.3 | 58721.7 | 242.3 | 0.0705 |
| | พ.ค.-02 | **4069** | 3599.1 | -19.704 | 1.11584 | **4010.1** | 59.0 | 3476.3 | 59.0 | 0.0145 |
| | มิ.ย.-02 | **3884** | 3615.9 | -15.172 | 0.98468 | **3524.5** | 359.5 | 129254.2 | 359.5 | 0.0926 |
| | ก.ค.-02 | **4121** | 3601.4 | -15.087 | 1.14217 | **4112.6** | 7.9 | 62.3 | 7.9 | 0.0019 |
| | ส.ค.-02 | **3262** | 3574.7 | -16.522 | 0.93987 | **3370.7** | -108.7 | 11806.0 | 108.7 | 0.0333 |
| | ก.ย.-02 | **3199** | 3548.6 | -17.713 | 0.92397 | **3287.7** | -88.7 | 7865.2 | 88.7 | 0.0277 |
| | ต.ค.-02 | **3714** | 3519.0 | -19.191 | 1.08857 | **3843.6** | -129.6 | 16792.6 | 129.6 | 0.0349 |
| | พ.ย.-02 | **3094** | 3472.4 | -22.588 | 0.95918 | **3356.9** | -262.5 | 68910.8 | 262.5 | 0.0848 |
| | ธ.ค.-02 | **2693** | 3391.6 | -29.818 | 0.93919 | **3240.1** | -547.1 | 299307.1 | 547.1 | 0.2032 |
| **2003** | ม.ค.-03 | **2546** | 3302.6 | -37.159 | 0.78583 | **2641.8** | -95.4 | 9101.2 | 95.4 | 0.0375 |
| | ก.พ.-03 | **4043** | 3295.4 | -33.441 | 1.21752 | **3975.8** | 67.0 | 4494.4 | 67.0 | 0.0166 |
| | มี.ค.-03 | **3174** | 3259.7 | -33.725 | 0.97428 | **3178.1** | -4.3 | 18.1 | 4.3 | 0.0013 |
| | เม.ย.-03 | **2863** | 3224.7 | -33.879 | 0.88816 | **2865.2** | -2.1 | 4.3 | 2.1 | 0.0007 |
| | พ.ค.-03 | **3502** | 3185.6 | -34.526 | 1.10103 | **3513.2** | -11.0 | 120.8 | 11.0 | 0.0031 |
| | มิ.ย.-03 | **3260** | 3167.1 | -32.542 | 1.02495 | **3229.7** | 30.6 | 933.9 | 30.6 | 0.0094 |
| | ก.ค.-03 | **3709** | 3145.9 | -31.138 | 1.17542 | **3684.4** | 24.9 | 620.5 | 24.9 | 0.0067 |
| | ส.ค.-03 | **3145** | 3137.9 | -28.261 | 0.99611 | **3102.6** | 42.7 | 1823.6 | 42.7 | 0.0136 |
| | ก.ย.-03 | **3072** | 3131.2 | -25.591 | 0.97539 | **3033.1** | 38.9 | 1511.0 | 38.9 | 0.0127 |
| | ต.ค.-03 | **3224** | 3091.2 | -27.377 | 1.04752 | **3253.2** | -29.2 | 851.0 | 29.2 | 0.0090 |
| | พ.ย.-03 | **2895** | 3059.2 | -27.946 | 0.94753 | **2903.0** | -8.3 | 69.0 | 8.3 | 0.0029 |
| | ธ.ค.-03 | **2796** | 3025.9 | -28.619 | 0.92556 | **2805.6** | -9.6 | 92.1 | 9.6 | 0.0034 |
| **2004** | ม.ค.-04 | **2626** | 3031.7 | -24.343 | 0.85816 | **2572.1** | 53.9 | 2908.5 | 53.9 | 0.0205 |
| | ก.พ.-04 | **3212** | 2970.4 | -28.925 | 1.09497 | **3292.9** | -80.9 | 6539.7 | 80.9 | 0.0252 |
| | มี.ค.-04 | **2490** | 2902.9 | -33.712 | 0.86943 | **2557.4** | -67.4 | 4536.5 | 67.4 | 0.0270 |
| | เม.ย.-04 | **2598** | 2874.8 | -33.020 | 0.90211 | **2588.4** | 9.5 | 89.9 | 9.5 | 0.0037 |
| | พ.ค.-04 | **2895** | 2820.5 | -35.658 | 1.03382 | **2937.9** | -43.0 | 1852.0 | 43.0 | 0.0149 |
| | มิ.ย.-04 | **2167** | 2717.8 | -43.980 | 0.82017 | **2284.1** | -116.8 | 13647.6 | 116.8 | 0.0539 |
| | ก.ค.-04 | **2632** | 2630.4 | -49.378 | 1.01798 | **2721.9** | -90.3 | 8152.3 | 90.3 | 0.0343 |
| | ส.ค.-04 | **2225** | 2546.2 | -53.691 | 0.88601 | **2286.8** | -61.9 | 3836.0 | 61.9 | 0.0278 |
| | ก.ย.-04 | **2203** | 2469.2 | -56.589 | 0.90067 | **2245.0** | -41.5 | 1724.7 | 41.5 | 0.0188 |
| | ต.ค.-04 | **2629** | 2422.4 | -55.379 | 1.08169 | **2609.7** | 19.7 | 390.0 | 19.7 | 0.0075 |
| | พ.ย.-04 | **2438** | 2387.6 | -52.821 | 1.01377 | **2399.6** | 38.5 | 1479.6 | 38.5 | 0.0158 |
| | ธ.ค.-04 | **2157** | 2334.4 | -52.871 | 0.92427 | **2157.9** | -0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.0003 |

ตารางที่ 4.13 ค่าต่างๆ ที่ได้จากวิธีการพยากรณ์โดยใช้การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter) (ต่อ)

| ปี | เดือน | $Y_t$ | $a_t$ | $b_t$ | $\hat{S}_t$ | $\hat{Y}_t$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\left\lvert \frac{e_i}{Y_i} \right\rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2005** | ม.ค.-05 | **2305** | 2322.0 | -47.844 | 0.97940 | **2234.5** | 70.9 | 5033.4 | 70.9 | 0.0308 |
| | ก.พ.-05 | **2375** | 2263.6 | -49.150 | 1.05372 | **2396.3** | -21.5 | 460.9 | 21.5 | 0.0090 |
| | มี.ค.-05 | **2145** | 2239.7 | -46.019 | 0.94875 | **2101.0** | 43.7 | 1907.2 | 43.7 | 0.0204 |
| | เม.ย.-05 | **1873** | 2181.9 | -47.481 | 0.86266 | **1892.4** | -19.7 | 389.0 | 19.7 | 0.0105 |
| | พ.ค.-05 | **2873** | 2198.8 | -39.484 | 1.27919 | **2730.3** | 142.4 | 20266.8 | 142.4 | 0.0496 |
| | มิ.ย.-05 | **2296** | 2223.3 | -31.542 | 1.01136 | **2183.9** | 111.9 | 12532.0 | 111.9 | 0.0488 |
| | ก.ค.-05 | **2410** | 2209.4 | -29.364 | 1.08347 | **2374.8** | 35.1 | 1231.2 | 35.1 | 0.0146 |
| | ส.ค.-05 | **2171** | 2207.0 | -26.006 | 0.97398 | **2123.3** | 47.9 | 2296.4 | 47.9 | 0.0221 |
| | ก.ย.-05 | **2346** | 2223.4 | -20.753 | 1.03956 | **2267.3** | 78.3 | 6132.4 | 78.3 | 0.0334 |
| | ต.ค.-05 | **2561** | 2219.1 | -18.700 | 1.14698 | **2526.4** | 35.1 | 1229.7 | 35.1 | 0.0137 |
| | พ.ย.-05 | **2350** | 2212.2 | -17.241 | 1.05741 | **2326.8** | 23.2 | 536.4 | 23.2 | 0.0099 |
| | ธ.ค.-05 | **2405** | 2235.7 | -12.182 | 1.06075 | **2328.3** | 77.1 | 5950.1 | 77.1 | 0.0321 |
| **2006** | ม.ค.-06 | **1821** | 2187.1 | -16.703 | 0.84728 | **1884.0** | -63.0 | 3964.9 | 63.0 | 0.0346 |
| | ก.พ.-06 | **2571** | 2197.4 | -13.357 | 1.15841 | **2514.2** | 56.8 | 3224.2 | 56.8 | 0.0221 |
| | มี.ค.-06 | **2434** | 2222.1 | -8.626 | 1.08056 | **2359.9** | 73.7 | 5436.2 | 73.7 | 0.0303 |
| | เม.ย.-06 | **2337** | 2263.0 | -2.482 | 1.01551 | **2247.8** | 88.7 | 7867.6 | 88.7 | 0.0380 |
| | พ.ค.-06 | **2501** | 2230.0 | -6.275 | 1.13720 | **2570.7** | -69.9 | 4890.5 | 69.9 | 0.0280 |
| | มิ.ย.-06 | **2204** | 2219.2 | -6.827 | 0.99494 | **2212.4** | -8.5 | 71.8 | 8.5 | 0.0038 |
| | ก.ค.-06 | **2701** | 2240.5 | -3.341 | 1.19348 | **2640.5** | 60.9 | 3709.4 | 60.9 | 0.0225 |
| | ส.ค.-06 | **2668** | 2287.4 | 2.894 | 1.14722 | **2566.5** | 101.7 | 10333.8 | 101.7 | 0.0381 |
| | ก.ย.-06 | **2077** | 2261.0 | -0.738 | 0.93061 | **2131.4** | -54.6 | 2980.5 | 54.6 | 0.0263 |
| | ต.ค.-06 | **2704** | 2270.0 | 0.469 | 1.18677 | **2682.4** | 21.6 | 465.3 | 21.6 | 0.0080 |
| | พ.ย.-06 | **2119** | 2243.8 | -2.841 | 0.95561 | **2169.7** | -50.9 | 2587.4 | 50.9 | 0.0240 |
| | ธ.ค.-06 | **1992** | 2204.7 | -7.347 | 0.91927 | **2060.0** | -68.0 | 4627.8 | 68.0 | 0.0342 |
| **2007** | ม.ค.-07 | **2329** | 2252.4 | -0.509 | 1.01515 | **2230.6** | 97.9 | 9592.1 | 97.9 | 0.0421 |
| | ก.พ.-07 | **2741** | 2263.3 | 0.912 | 1.20585 | **2715.4** | 25.7 | 662.1 | 25.7 | 0.0094 |
| | มี.ค.-07 | **2523** | 2271.4 | 1.794 | 1.10794 | **2508.7** | 14.8 | 218.5 | 14.8 | 0.0059 |
| | เม.ย.-07 | **2072** | 2249.9 | -1.098 | 0.93035 | **2114.8** | -43.0 | 1845.5 | 43.0 | 0.0207 |
| | พ.ค.-07 | **2701** | 2261.4 | 0.466 | 1.18851 | **2672.7** | 27.9 | 776.4 | 27.9 | 0.0103 |
| | มิ.ย.-07 | **2373** | 2274.2 | 1.998 | 1.03869 | **2349.3** | 23.9 | 570.1 | 23.9 | 0.0101 |
| | ก.ค.-07 | **2840** | 2286.5 | 3.282 | 1.23721 | **2816.1** | 23.9 | 571.6 | 23.9 | 0.0084 |
| | ส.ค.-07 | **2410** | 2270.9 | 0.935 | 1.06986 | **2449.7** | -39.7 | 1579.9 | 39.7 | 0.0165 |
| | ก.ย.-07 | **2130** | 2273.5 | 1.145 | 0.93621 | **2126.9** | 3.0 | 9.0 | 3.0 | 0.0014 |
| | ต.ค.-07 | **2310** | 2241.8 | -2.928 | 1.04606 | **2379.4** | -69.4 | 4813.2 | 69.4 | 0.0300 |
| | พ.ย.-07 | **2241** | 2249.5 | -1.612 | 0.99209 | **2221.2** | 19.6 | 385.6 | 19.6 | 0.0088 |
| | ธ.ค.-07 | **2184** | 2260.7 | -0.026 | 0.96138 | **2161.1** | 22.9 | 522.9 | 22.9 | 0.0105 |
| | | | | | | | $\sum_{i=1}^{72}$ | **1144287.56** | **5564.88** | **1.95** |

ตารางที่ 4.14 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยใช้การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (winter)

| วิธีการตรวจสอบความแม่นยำ | ค่าที่ได้ |
|---|---|
| MAD | **77.29** |
| RMSE | **126.07** |
| MAPE | **2.71** |

จากตัวแบบการคูณซึ่งมี $\sum_{i=1}^{12}\hat{S}_i = 12$ แต่ค่า $\hat{S}_i$ ที่คำนวณได้ในปี 2007 มีค่า $\sum_{i=1}^{12}\hat{S}_i = 12.73$ จึงต้องทำการปรับแก้ค่า $\hat{S}_i$ โดยที่ $\hat{S}_i^* = \frac{12\hat{S}_i}{12.73}$ เพื่อทำให้ $\sum_{i=1}^{12}\hat{S}_i = 12$ ซึ่งจะได้ค่าที่ปรับค่าแล้วดังนี้

$\hat{S}_1^* = 0.9569$ $\hat{S}_2^* = 1.1367$ $\hat{S}_3^* = 1.0441$ $\hat{S}_4^* = 0.8770$

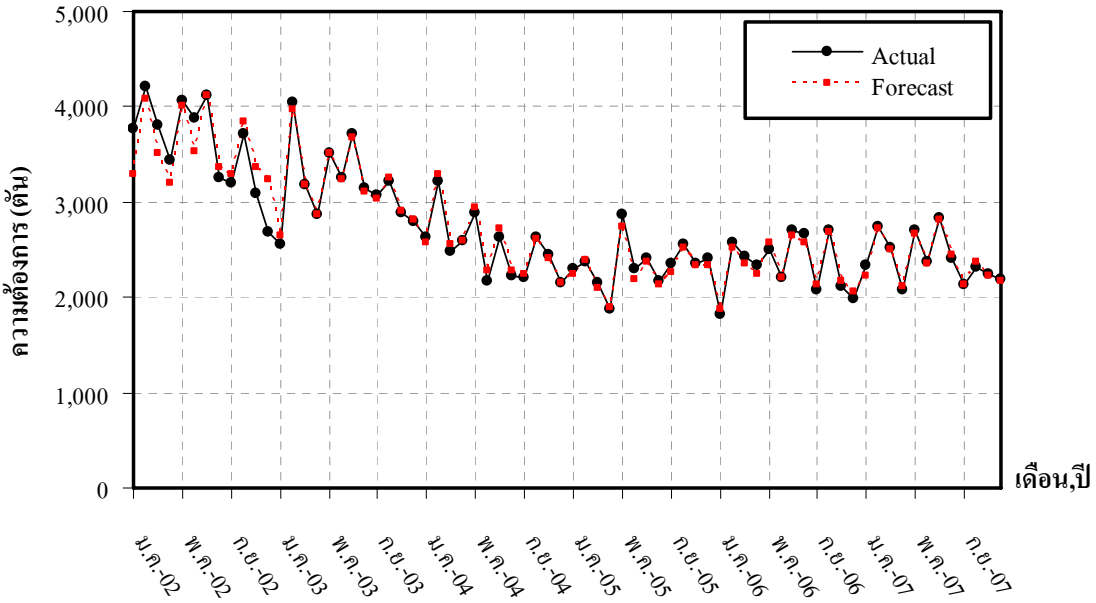
$\hat{S}_5^* = 1.1204$ $\hat{S}_6^* = 0.9796$ $\hat{S}_7^* = 1.1663$ $\hat{S}_8^* = 1.0085$

$\hat{S}_9^* = 0.8825$ $\hat{S}_{10}^* = 0.9861$ $\hat{S}_{11}^* = 0.9352$ $\hat{S}_{12}^* = 0.9063$

โดยสมการพยากรณ์ที่ได้คือ

$$\hat{Y}_{72+m} = (a_{72} + b_{72}(m))\hat{S}_{72-p+m}$$

ค่าของ $\hat{S}_{72-p+m}$ จะเท่ากับ $\hat{S}_i^*((i = 1,2,3,...,12)$ เมื่อช่วงเวลาที่พยากรณ์ 72-p+m ตกอยู่ในช่วงฤดูกาลที่ i จากการพยากรณ์ในปี 2002-2007 ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter) เมื่อนำค่าจริงและค่าพยากรณ์มาเขียนกราฟเปรียบเทียบแสดงได้ดังรูป 4.7




รูปที่ 4.7 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter)

**4.2.1.5 การพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย**

ตัวแบบที่นำมาพิจารณาเพื่อพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์จะพิจารณาตัวแบบที่ข้อมูลมีแนวโน้ม และความผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งค่าแนวโน้มความต้องการรายเดือนเมื่อสังเกตุจากการเขียนกราฟจะเห็นว่าแนวโน้มนั้นมีลักษณะลดลง ดังนั้นจึงทำการพิจารณาตัวแบบการถดถอยรูปแบบแนวโน้มเป็นเส้นตรงและความผันแปรตามฤดูกาล การสร้างตัวแปรดัมมี่จะมีจำนวนเท่ากับ L-1 ตัว โดยที่ L เป็นฤดูกาลต่อปี ดังนั้นเราพิจารณาฤดูกาลรายเดือนค่า L=12 สำหรับตัวแปรดัมมี่กำหนดให้เป็น $S_{it}$ โดยที่

$$S_{it} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อค่าสังเกตุ } Y_i \text{ ตกอยู่ในช่วงฤดูกาลที่ i ; i = 1, 2, 3, …, L-1} \\ 0 & \text{เมื่อค่าสังเกตุ } Y_i \text{ ไม่ตกอยู่ในช่วงฤดูกาลที่ i ; i = 1, 2, 3, …, L-1} \end{cases}$$

**ส่วนตัวแบบการถดถอย**

$$Y_t = \alpha + \beta t + \gamma t^2 + \beta_1 S_{1t} + \beta_2 S_{2t} + \beta_3 S_{3t} + ... + \beta_{L-1} S_{L-1,t} + \varepsilon_t$$

$Y_t$ คือข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

$\alpha$ , $\beta$ และ $\gamma$ คือค่าคงที่ที่อธิบายส่วนที่เป็นแนวโน้มแบบโพลิโนเมียล

$\beta_i$ คือค่าวัดความผันแปรตามฤดูกาลที่ i เมื่อเทียบกับฤดูกาลที่ L สำหรับ i=1, 2, 3, ..., L-1

$\varepsilon_t$ คือค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

**สมการที่ใช้ในการพยากรณ์**

$$\hat{Y}_t = a + bt + ct^2 + b_1 S_{1t} + b_2 S_{2t} + b_3 S_{3t} + ... + b_{L-1} S_{L-1t}$$

โดยที่ค่า a, b, c และ $b_1, b_2, b_3, ..., b_{L-1}$ เป็นค่าประมาณของ $\alpha, \beta, \gamma$ และ $\beta_1, \beta_2, \beta_3, ..., \beta_{L-1}$ ตามลำดับ

จากความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ทำการวิเคราะห์และหาสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย ซึ่งสมการที่ใช้ในการพยากรณ์อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น การหาค่าคงที่ a, b, c, …. ในสมการ จะนำวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณมาใช้ในการหาค่าคงที่ จากข้อมูลความต้องการ 72 ค่า มีส่วนประกอบของแนวโน้มและฤดูกาลแสดงสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\hat{Y}_t = a + bt + ct^2 + b_1 S_{1t} + b_2 S_{2t} + b_3 S_{3t} + ... + b_{11} S_{11t}$$

โดยสามารถหาค่าของ a, b, c, $b_1, b_2, b_3, …, b_{11}$ ใช้การวิเคราะห์เชิงพหุคูณโดยใช้ค่าเมตริกซ์และตัวแปรดัมมี่แสดงได้ดังตารางที่ 4.15 และทำการหาค่าด้วยโปรแกรม SPSS

ตารางที่ 4.15 การกำหนดค่าเมตริกซ์เพื่อหาค่าคงที่ในสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย

| ปี | เดือน | Demand ($Y_t$) | t | $t^2$ | $S_{1t}$ | $S_{2t}$ | $S_{3t}$ | $S_{4t}$ | $S_{5t}$ | $S_{6t}$ | $S_{7t}$ | $S_{8t}$ | $S_{9t}$ | $S_{10t}$ | $S_{11t}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2002** | ม.ค. | 3775 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.พ. | 4217 | 2 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มี.ค. | 3810 | 3 | 9 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | เม.ย. | 3438 | 4 | 16 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | พ.ค. | 4069 | 5 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มิ.ย. | 3884 | 6 | 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ค. | 4121 | 7 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ส.ค. | 3262 | 8 | 64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ย. | 3199 | 9 | 81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | ต.ค. | 3714 | 10 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | พ.ย. | 3094 | 11 | 121 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ธ.ค. | 2693 | 12 | 144 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2003** | ม.ค. | 2546 | 13 | 169 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.พ. | 4043 | 14 | 196 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มี.ค. | 3174 | 15 | 225 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | เม.ย. | 2863 | 16 | 256 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | พ.ค. | 3502 | 17 | 289 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มิ.ย. | 3260 | 18 | 324 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ค. | 3709 | 19 | 361 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ส.ค. | 3145 | 20 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ย. | 3072 | 21 | 441 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | ต.ค. | 3224 | 22 | 484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | พ.ย. | 2895 | 23 | 529 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ธ.ค. | 2796 | 24 | 576 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2004** | ม.ค. | 2626 | 25 | 625 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.พ. | 3212 | 26 | 676 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มี.ค. | 2490 | 27 | 729 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | เม.ย. | 2598 | 28 | 784 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | พ.ค. | 2895 | 29 | 841 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มิ.ย. | 2167 | 30 | 900 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ค. | 2632 | 31 | 961 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ส.ค. | 2225 | 32 | 1024 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ย. | 2203 | 33 | 1089 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | ต.ค. | 2629 | 34 | 1156 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | พ.ย. | 2438 | 35 | 1225 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ธ.ค. | 2157 | 36 | 1296 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.15การกำหนดค่าเมตริกซ์เพื่อหาค่าคงที่ในสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย (ต่อ)

| ปี | เดือน | Demand ($Y_t$) | t | $t^2$ | $S_{1t}$ | $S_{2t}$ | $S_{3t}$ | $S_{4t}$ | $S_{5t}$ | $S_{6t}$ | $S_{7t}$ | $S_{8t}$ | $S_{9t}$ | $S_{10t}$ | $S_{11t}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2005** | ม.ค. | 2305 | 37 | 1369 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.พ. | 2375 | 38 | 1444 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มี.ค. | 2145 | 39 | 1521 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | เม.ย. | 1873 | 40 | 1600 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | พ.ค. | 2873 | 41 | 1681 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มิ.ย. | 2296 | 42 | 1764 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ค. | 2410 | 43 | 1849 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ส.ค. | 2171 | 44 | 1936 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ย. | 2346 | 45 | 2025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | ต.ค. | 2561 | 46 | 2116 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | พ.ย. | 2350 | 47 | 2209 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ธ.ค. | 2405 | 48 | 2304 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2006** | ม.ค. | 1821 | 49 | 2401 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.พ. | 2571 | 50 | 2500 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มี.ค. | 2434 | 51 | 2601 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | เม.ย. | 2337 | 52 | 2704 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | พ.ค. | 2501 | 53 | 2809 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มิ.ย. | 2204 | 54 | 2916 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ค. | 2701 | 55 | 3025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ส.ค. | 2668 | 56 | 3136 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ย. | 2077 | 57 | 3249 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | ต.ค. | 2704 | 58 | 3364 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | พ.ย. | 2119 | 59 | 3481 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ธ.ค. | 1992 | 60 | 3600 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2007** | ม.ค. | 2329 | 61 | 3721 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.พ. | 2741 | 62 | 3844 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มี.ค. | 2523 | 63 | 3969 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | เม.ย. | 2072 | 64 | 4096 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | พ.ค. | 2701 | 65 | 4225 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มิ.ย. | 2373 | 66 | 4356 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ค. | 2840 | 67 | 4489 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ส.ค. | 2410 | 68 | 4624 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ย. | 2130 | 69 | 4761 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | ต.ค. | 2310 | 70 | 4900 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | พ.ย. | 2241 | 71 | 5041 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ธ.ค. | 2184 | 72 | 5184 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

จากค่าในตารางที่ 4.15 ใช้โปรแกรม SPSS แก้ปัญหาหาคำตอบของเมตริกซ์เพื่อหาค่าคงที่แทนในสมการพยากรณ์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.8

**Variables Entered/Removed[b]**

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|---|---|---|---|
| 1 | S11t, t2, S6t, S7t, S5t, S8t, S4t, S9t, S3t, S10t, S2t, S1t, t[a] | . | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Demand

**Model Summary**

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|---|---|---|---|---|
| 1 | .936[a] | .876 | .849 | 229.976 |

a. Predictors: (Constant), S11t, t2, S6t, S7t, S5t, S8t, S4t, S9t, S3t, S10t, S2t, S1t, t

**ANOVA[b]**

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Regression | 21726568 | 13 | 1671274.468 | 31.600 | .000[a] |
| | Residual | 3067563 | 58 | 52889.021 | | |
| | Total | 24794131 | 71 | | | |

a. Predictors: (Constant), S11t, t2, S6t, S7t, S5t, S8t, S4t, S9t, S3t, S10t, S2t, S1t, t

b. Dependent Variable: Demand

**Coefficients[a]**

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | 3785.785 | 125.435 | | 30.181 | .000 |
| | t | -65.706 | 5.293 | -2.327 | -12.414 | .000 |
| | t2 | .616 | .070 | 1.643 | 8.772 | .000 |
| | S1t | -32.399 | 133.571 | -.015 | -.243 | .809 |
| | S2t | 620.674 | 133.436 | .292 | 4.651 | .000 |
| | S3t | 215.850 | 133.315 | .102 | 1.619 | .111 |
| | S4t | 7.793 | 133.208 | .004 | .059 | .954 |
| | S5t | 591.005 | 133.114 | .278 | 4.440 | .000 |
| | S6t | 220.152 | 133.030 | .104 | 1.655 | .103 |
| | S7t | 612.400 | 132.958 | .288 | 4.606 | .000 |
| | S8t | 209.917 | 132.897 | .099 | 1.580 | .120 |
| | S9t | 85.869 | 132.847 | .040 | .646 | .521 |
| | S10t | 455.422 | 132.809 | .214 | 3.429 | .001 |
| | S11t | 137.077 | 132.785 | .065 | 1.032 | .306 |

a. Dependent Variable: Demand

รูปที่ 4.8 ค่าคงที่ในการคำนวณด้วยการถดถอย

ดังนั้นสมการที่ใช้ในการพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_t = a + bt + ct^2 + b_1S_{1t} + b_2S_{2t} + b_3S_{3t} + ... + b_{11}S_{11t}$$

$$\hat{Y}_t = 3785.785 - 65.706t + 0.616t^2 - 32.399S_{1t} + 620.674S_{2t} + 215.850S_{3t} + 7.793S_{4t} + 591.005S_{5t} + 220.152S_{6t} + 612.400S_{7t} + 209.917S_{8t} + 85.869S_{9t} + 455.422S_{10t} + 137.077S_{11t}$$

โดยที่ $\hat{Y}_t$ = ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ที่เวลาที่ t

t = เวลา

จากสมการพยากรณ์นำมาหาค่าที่ได้จากการพยากรณ์

ปี 2002

มกราคม (1) $\hat{Y}_1 = 3785.785 - 65.706(1) + 0.616(1^2) - 32.399$

$\hat{Y}_1 = 3688.3$

กุมภาพันธ์ (2) $\hat{Y}_2 = 3785.785 - 65.706(2) + 0.616(2^2) + 620.674$

$\hat{Y}_2 = 4277.5$

มีนาคม (3) $\hat{Y}_3 = 3785.785 - 65.706(3) + 0.616(3^2) + 215.850$

$\hat{Y}_3 = 3810.1$

เมษายน (4) $\hat{Y}_4 = 3785.785 - 65.706(4) - 0.616(4^2) + 7.793$

$\hat{Y}_4 = 3500.4$

พฤษภาคม (5) $\hat{Y}_5 = 3785.785 - 65.706(5) - 0.616(5^2) + 591.005$

$\hat{Y}_5 = 4063.7$

ทำการแทนค่าจนครบซึ่งแสดงค่าการคำนวณได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้การใช้วิธีการถดถอย

| ปี | เดือน | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\left\lvert \frac{e_i}{Y_i} \right\rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2002** | ม.ค. | 3775 | 3688.3 | 202.8 | 41113.96 | 202.8 | 0.0560 |
| | ก.พ. | 4217 | 4277.5 | -78.2 | 6121.53 | 78.2 | 0.0182 |
| | มี.ค. | 3810 | 3810.1 | 126.1 | 15912.83 | 126.1 | 0.0327 |
| | เม.ย. | 3438 | 3500.4 | 171.9 | 29553.54 | 171.9 | 0.0480 |
| | พ.ค. | 4069 | 4063.7 | -9.1 | 83.30 | 9.1 | 0.0022 |
| | มิ.ย. | 3884 | 3633.9 | 34.0 | 1158.47 | 34.0 | 0.0094 |
| | ก.ค. | 4121 | 3968.4 | -62.3 | 3878.71 | 62.3 | 0.0154 |
| | ส.ค. | 3262 | 3509.5 | -251.8 | 63426.56 | 251.8 | 0.0755 |
| | ก.ย. | 3199 | 3330.2 | 14.1 | 199.60 | 14.1 | 0.0043 |
| | ต.ค. | 3714 | 3645.7 | -172.7 | 29810.72 | 172.7 | 0.0480 |
| | พ.ย. | 3094 | 3374.6 | -304.4 | 92640.82 | 304.4 | 0.0986 |
| | ธ.ค. | 2693 | 3086.0 | -420.1 | 176453.18 | 420.1 | 0.1520 |
| **2003** | ม.ค. | 2546 | 3003.3 | -264.1 | 69758.23 | 264.1 | 0.1025 |
| | ก.พ. | 4043 | 3607.3 | 356.9 | 127356.50 | 356.9 | 0.0895 |
| | มี.ค. | 3174 | 3154.6 | 257.0 | 66032.26 | 257.0 | 0.0765 |
| | เม.ย. | 2863 | 2859.8 | 9.3 | 86.81 | 9.3 | 0.0033 |
| | พ.ค. | 3502 | 3437.8 | 23.3 | 543.41 | 23.3 | 0.0068 |
| | มิ.ย. | 3260 | 3022.8 | 349.1 | 121874.18 | 349.1 | 0.1047 |
| | ก.ค. | 3709 | 3372.1 | 303.3 | 92008.96 | 303.3 | 0.0817 |
| | ส.ค. | 3145 | 2928.0 | 233.0 | 54304.76 | 233.0 | 0.0725 |
| | ก.ย. | 3072 | 2763.5 | 203.3 | 41321.96 | 203.3 | 0.0691 |
| | ต.ค. | 3224 | 3093.8 | 18.4 | 337.82 | 18.4 | 0.0058 |
| | พ.ย. | 2895 | 2837.5 | 166.4 | 27684.39 | 166.4 | 0.0557 |
| | ธ.ค. | 2796 | 2563.7 | 293.7 | 86284.63 | 293.7 | 0.0999 |
| **2004** | ม.ค. | 2626 | 2495.7 | 125.6 | 15763.35 | 125.6 | 0.0490 |
| | ก.พ. | 3212 | 3114.5 | 83.9 | 7042.91 | 83.9 | 0.0263 |
| | มี.ค. | 2490 | 2676.6 | -102.3 | 10473.89 | 102.3 | 0.0400 |
| | เม.ย. | 2598 | 2396.6 | 160.8 | 25852.11 | 160.8 | 0.0621 |
| | พ.ค. | 2895 | 2989.4 | -137.6 | 18936.77 | 137.6 | 0.0492 |
| | มิ.ย. | 2167 | 2589.2 | -360.9 | 130240.79 | 360.9 | 0.1642 |
| | ก.ค. | 2632 | 2953.3 | -311.9 | 97267.22 | 311.9 | 0.1194 |
| | ส.ค. | 2225 | 2523.9 | -214.1 | 45835.48 | 214.1 | 0.0913 |
| | ก.ย. | 2203 | 2374.2 | -420.8 | 177054.94 | 420.8 | 0.2184 |
| | ต.ค. | 2629 | 2719.3 | -120.9 | 14607.30 | 120.9 | 0.0470 |
| | พ.ย. | 2438 | 2477.8 | 63.0 | 3968.17 | 63.0 | 0.0254 |
| | ธ.ค. | 2157 | 2218.7 | -62.2 | 3868.80 | 62.2 | 0.0282 |

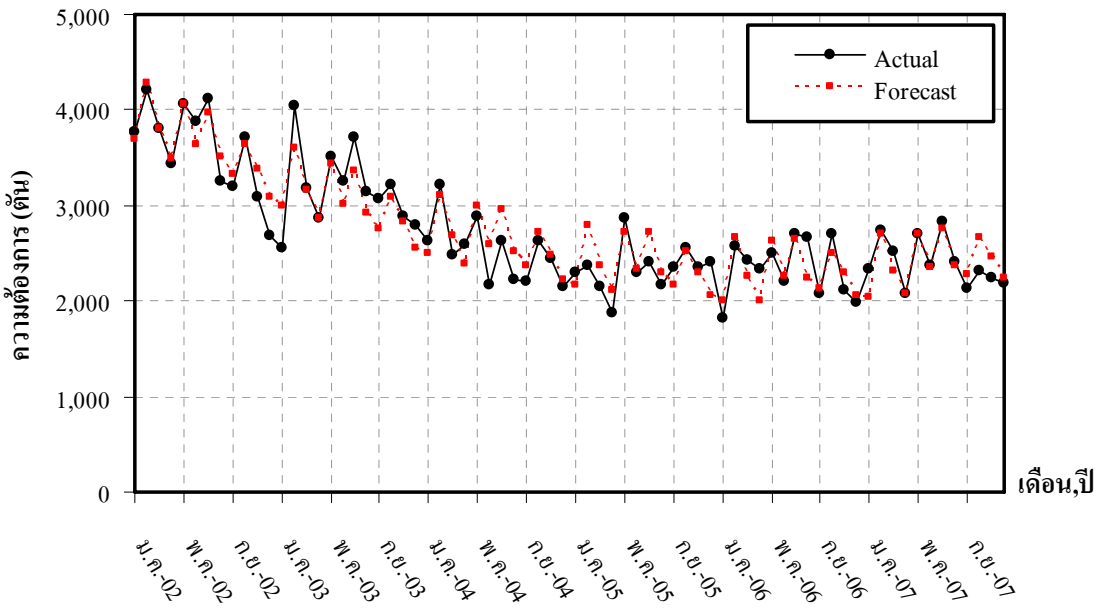
ตารางที่ 4.16 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้การใช้วิธีการถดถอย (ต่อ)

| ปี | เดือน | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\left\lvert \frac{e_i}{Y_i} \right\rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2005** | ม.ค. | 2305 | 2165.6 | 132.8 | 17629.42 | 132.8 | 0.0568 |
| | ก.พ. | 2375 | 2799.1 | -331.1 | 109617.51 | 331.1 | 0.1333 |
| | มี.ค. | 2145 | 2376.0 | -323.8 | 104834.98 | 323.8 | 0.1556 |
| | เม.ย. | 1873 | 2110.7 | -284.7 | 81044.34 | 284.7 | 0.1489 |
| | พ.ค. | 2873 | 2718.3 | 195.1 | 38066.68 | 195.1 | 0.0685 |
| | มิ.ย. | 2296 | 2332.9 | 35.1 | 1228.86 | 35.1 | 0.0149 |
| | ก.ค. | 2410 | 2711.8 | -268.9 | 72306.92 | 268.9 | 0.1132 |
| | ส.ค. | 2171 | 2297.2 | -196.2 | 38504.03 | 196.2 | 0.0927 |
| | ก.ย. | 2346 | 2162.3 | 121.0 | 14630.61 | 121.0 | 0.0539 |
| | ต.ค. | 2561 | 2522.2 | 175.6 | 30842.52 | 175.6 | 0.0673 |
| | พ.ย. | 2350 | 2295.4 | 239.5 | 57337.17 | 239.5 | 0.0987 |
| | ธ.ค. | 2405 | 2051.2 | 210.1 | 44146.30 | 210.1 | 0.0928 |
| **2006** | ม.ค. | 1821 | 2012.8 | -331.4 | 109857.03 | 331.4 | 0.1831 |
| | ก.พ. | 2571 | 2661.2 | -83.2 | 6914.22 | 83.2 | 0.0313 |
| | มี.ค. | 2434 | 2252.8 | 129.6 | 16808.24 | 129.6 | 0.0526 |
| | เม.ย. | 2337 | 2002.3 | 80.9 | 6546.59 | 80.9 | 0.0365 |
| | พ.ค. | 2501 | 2624.7 | -185.5 | 34423.39 | 185.5 | 0.0776 |
| | มิ.ย. | 2204 | 2254.1 | 101.9 | 10391.15 | 101.9 | 0.0434 |
| | ก.ค. | 2701 | 2647.8 | 200.3 | 40104.94 | 200.3 | 0.0723 |
| | ส.ค. | 2668 | 2247.9 | 375.6 | 141103.32 | 375.6 | 0.1432 |
| | ก.ย. | 2077 | 2127.8 | 69.5 | 4828.32 | 69.5 | 0.0326 |
| | ต.ค. | 2704 | 2502.5 | 298.8 | 89295.23 | 298.8 | 0.1122 |
| | พ.ย. | 2119 | 2290.5 | -142.2 | 20231.79 | 142.2 | 0.0717 |
| | ธ.ค. | 1992 | 2061.0 | -65.3 | 4267.72 | 65.3 | 0.0338 |
| **2007** | ม.ค. | 2329 | 2037.5 | 135.4 | 18339.68 | 135.4 | 0.0567 |
| | ก.พ. | 2741 | 2700.6 | 52.9 | 2798.70 | 52.9 | 0.0181 |
| | มี.ค. | 2523 | 2307.1 | -85.6 | 7326.57 | 85.6 | 0.0361 |
| | เม.ย. | 2072 | 2071.3 | -137.3 | 18849.22 | 137.3 | 0.0652 |
| | พ.ค. | 2701 | 2708.5 | 115.0 | 13225.52 | 115.0 | 0.0407 |
| | มิ.ย. | 2373 | 2352.6 | -158.2 | 25040.96 | 158.2 | 0.0717 |
| | ก.ค. | 2840 | 2761.1 | 140.6 | 19770.61 | 140.6 | 0.0495 |
| | ส.ค. | 2410 | 2376.1 | 54.5 | 2969.45 | 54.5 | 0.0225 |
| | ก.ย. | 2130 | 2270.7 | 13.8 | 191.77 | 13.8 | 0.0063 |
| | ต.ค. | 2310 | 2660.2 | -198.3 | 39304.09 | 198.3 | 0.0867 |
| | พ.ย. | 2241 | 2463.0 | -21.3 | 452.73 | 21.3 | 0.0096 |
| | ธ.ค. | 2184 | 2248.3 | 44.6 | 1991.50 | 44.6 | 0.0208 |
| | | | | $\sum_{i=1}^{72}$ | **7136891.29** | **18497.05** | **7.09** |

ตารางที่ 4.17 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยใช้วิธีการถดถอย

| วิธีการตรวจสอบความแม่นยำ | ค่าที่ได้ |
|---|---|
| MAD | **167.25** |
| RMSE | **208.75** |
| MAPE | **6.43** |

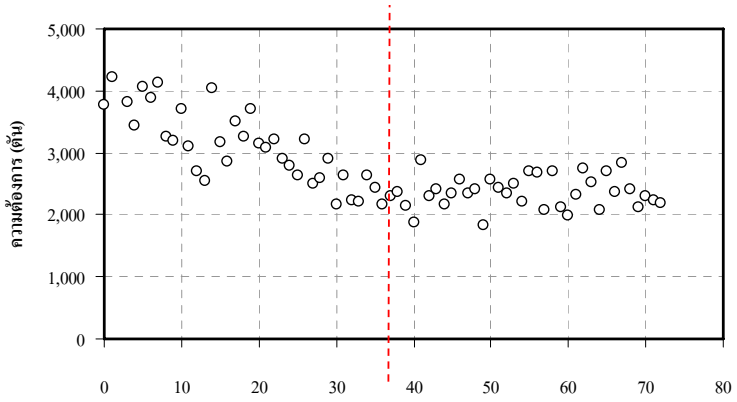
เมื่อนำค่าจริงและค่าพยากรณ์มาเขียนกราฟเปรียบเทียบแสดงได้ดังรูป 4.9




รูปที่ 4.9 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้วิธีการถดถอย

**4.2.2 การพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาความต้องการจำนวน 36 ข้อมูล**

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% รายเดือนปี 2002- 2007 ที่นำเสนอในรูปกราฟเส้น เมื่อพิจารณาด้วยสายตาจะเห็นได้ว่าลักษณะกราฟมีแนวโน้มลดลงในช่วงปี 2002-2004 และจะเริ่มกระจายตัวคงที่ในปี 2005 -2007 จึงทำการตัดข้อมูลปี 2002-2004 ซึ่งมีแนวโน้มออกเพื่อพิจารณาการพยากรณ์ความต้องการลักษณะข้อมูลที่มีการกระจายคงที่ ไม่มีส่วนประกอบของแนวโน้ม ทำให้สามารถพยากรณ์ง่ายขึ้น ข้อมูลที่เหลือตั้งแต่ปี 2005 -2007 จำนวน 36 ข้อมูล มาใช้ในการพยากรณ์ โดยพิจารณาแผนภาพการกระจายได้ดังรูปที่ 4.10 และแสดงข้อมูลความต้องการในปี 2005-2007 ได้ดังตารางที่ 4.18

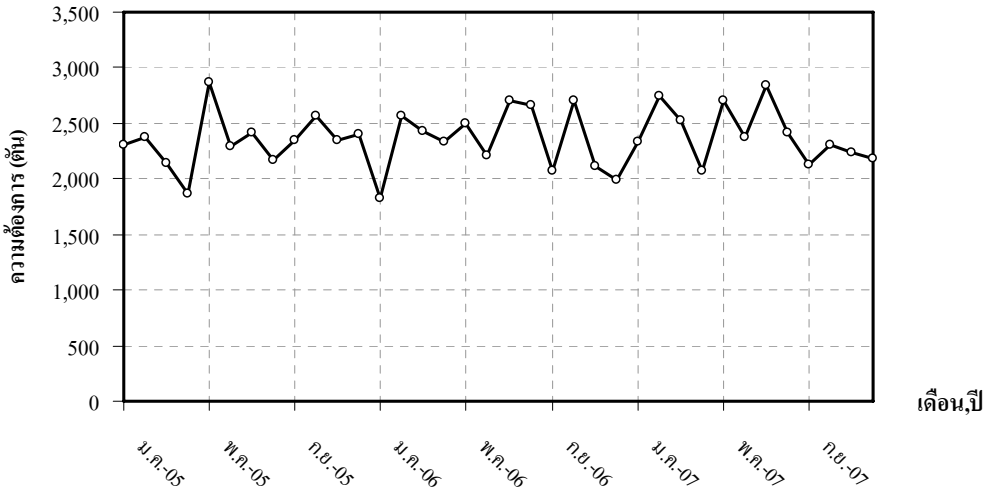



รูปที่ 4.10 แผนภาพการกระจายของความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% ปี 2002-2007

ตารางที่ 4.18 ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% ปี 2005 -2007 ที่นำมาใช้เป็นข้อมูลในการพยากรณ์ความต้องการจำนวน 36 ข้อมูล

| เดือน | ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 50% | | |
|---|---|---|---|
| | **2005** | **2006** | **2007** |
| ม.ค. | 2305 | 1821 | 2329 |
| ก.พ. | 2375 | 2571 | 2741 |
| มี.ค. | 2145 | 2434 | 2523 |
| เม.ย. | 1873 | 2337 | 2072 |
| พ.ค. | 2873 | 2501 | 2701 |
| มิ.ย. | 2296 | 2204 | 2373 |
| ก.ค. | 2410 | 2701 | 2840 |
| ส.ค. | 2171 | 2668 | 2410 |
| ก.ย. | 2346 | 2077 | 2130 |
| ต.ค. | 2561 | 2704 | 2310 |
| พ.ย. | 2350 | 2119 | 2241 |
| ธ.ค. | 2405 | 1992 | 2184 |
| **รวม** | **28110** | **28128** | **28853** |

จากข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้ตัดข้อมูลที่มีแนวโน้มในปี 2002-2004 แล้วเหลือข้อมูลปี 2005-2007 ดังตารางที่ 4.18 นำมาเขียนกราฟเพื่อดูลักษณะของข้อมูลได้ดังรูปที่ 4.11




รูปที่ 4.11 ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% รายเดือนใน ปี 2005-2007

จากรูปที่ 4.11 พบว่าการกระจายของข้อมูลมีลักษณะที่ขึ้นลงรอบค่าเฉลี่ยหรือมีลักษณะคงที่ ทำให้สมารถวิเคราะห์และหาวิธีการพยากรณ์ได้ง่ายขึ้น จากข้อมูลอนุกรมเวลาที่ใช้ดังตารางที่ 4.18 เป็นข้อมูลความต้องการปี 2002-2005 (36 ข้อมูล) โดยใช้ข้อมูลนี้ในการพยากรณ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ คือ การพยากรณ์โดยใช้การเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average) การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Single Exponential Smoothing Method) การพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วยวิธีการถดถอย (Regression) การพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วยวิธีของบอกซ์ เจนคินส์ (Box-Jenkins) ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

**4.2.2.1 การพยากรณ์โดยใช้การเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average)**

**กรณี 36 ข้อมูล**

จากข้อมูลความต้องการจำนวน 36 ข้อมูล สามารถใช้การหาค่าด้วยการเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย ซึ่งรายละเอียดสมการตามที่ได้แสดงในการหาค่าของข้อมูล 72 ข้อมูล ตามสมการที่ 4.2 ซึ่งจะใช้หลักการเดียวกัน โดยในการหาจำนวน K ที่เหมาะสมในการพยากรณ์จะทำการสุ่มหาค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ต่ำที่สุด ในงานวิจัยนี้ใช้ K=3, K=4, K=5, K=6, K=8, K=10 ซึ่งแสดงค่าที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์จากวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (กรณี36 ข้อมูล)

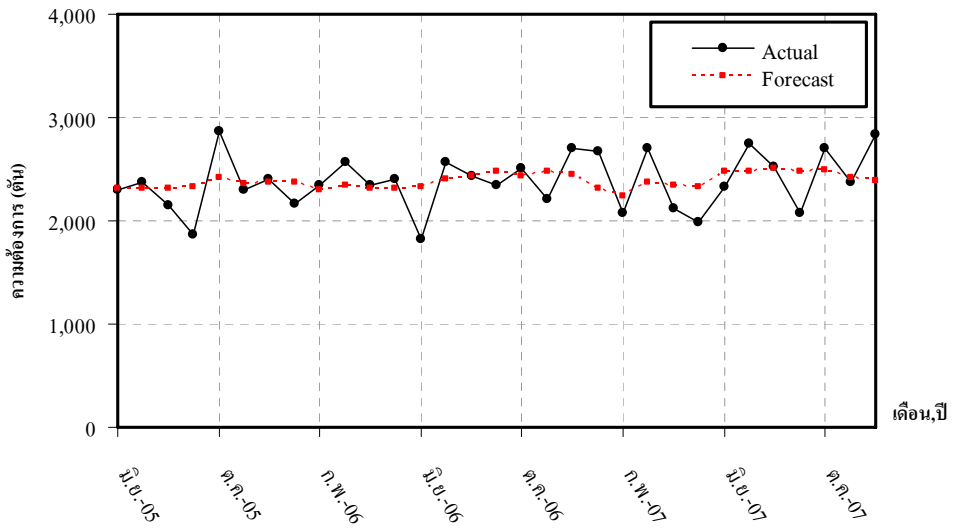
| ปี | เดือน | Demand (Ton.) $Y_t$ | ค่าพยากรณ์ที่ได้จากการเฉลี่ยเคลื่อนที่ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\hat{Y}_t$ (K=3) | $\hat{Y}_t$ (K=4) | $\hat{Y}_t$ (K=5) | $\hat{Y}_t$ (K=6) | $\hat{Y}_t$ (K=8) | $\hat{Y}_t$ (K=10) |
| **2005** | ม.ค. | **2305** | * | * | | * | * | * |
| | ก.พ. | **2375** | * | * | | * | * | * |
| | มี.ค. | **2145** | * | * | | * | * | * |
| | เม.ย. | **1873** | 2275 | * | | * | * | * |
| | พ.ค. | **2873** | 2131 | 2174 | | * | * | * |
| | มิ.ย. | **2296** | 2297 | 2316 | 2314 | * | * | * |
| | ก.ค. | **2410** | 2347 | 2296 | 2312 | 2311 | * | * |
| | ส.ค. | **2171** | 2526 | 2363 | 2319 | 2328 | * | * |
| | ก.ย. | **2346** | 2292 | 2437 | 2324 | 2294 | 2306 | * |
| | ต.ค. | **2561** | 2309 | 2306 | 2419 | 2328 | 2311 | * |
| | พ.ย. | **2350** | 2359 | 2372 | 2357 | 2443 | 2334 | 2335 |
| | ธ.ค. | **2405** | 2419 | 2357 | 2368 | 2356 | 2360 | 2340 |
| **2006** | ม.ค. | **1821** | 2439 | 2416 | 2367 | 2374 | 2426 | 2343 |
| | ก.พ. | **2571** | 2192 | 2284 | 2297 | 2276 | 2295 | 2311 |
| | มี.ค. | **2434** | 2266 | 2287 | 2342 | 2342 | 2329 | 2380 |
| | เม.ย. | **2337** | 2275 | 2308 | 2316 | 2357 | 2332 | 2336 |
| | พ.ค. | **2501** | 2447 | 2291 | 2314 | 2320 | 2353 | 2341 |
| | มิ.ย. | **2204** | 2424 | 2460 | 2333 | 2345 | 2372 | 2350 |
| | ก.ค. | **2701** | 2347 | 2369 | 2409 | 2311 | 2328 | 2353 |
| | ส.ค. | **2668** | 2469 | 2436 | 2435 | 2458 | 2372 | 2389 |
| | ก.ย. | **2077** | 2524 | 2519 | 2482 | 2474 | 2405 | 2399 |
| | ต.ค. | **2704** | 2482 | 2413 | 2430 | 2415 | 2437 | 2372 |
| | พ.ย. | **2119** | 2483 | 2538 | 2471 | 2476 | 2453 | 2402 |
| | ธ.ค. | **1992** | 2300 | 2392 | 2454 | 2412 | 2414 | 2431 |
| **2007** | ม.ค. | **2329** | 2272 | 2223 | 2312 | 2377 | 2371 | 2374 |
| | ก.พ. | **2741** | 2146 | 2286 | 2244 | 2315 | 2349 | 2363 |
| | มี.ค. | **2523** | 2354 | 2295 | 2377 | 2327 | 2416 | 2404 |
| | เม.ย. | **2072** | 2531 | 2396 | 2341 | 2401 | 2394 | 2406 |
| | พ.ค. | **2701** | 2445 | 2416 | 2331 | 2296 | 2320 | 2393 |
| | มิ.ย. | **2373** | 2432 | 2509 | 2473 | 2393 | 2398 | 2393 |
| | ก.ค. | **2840** | 2382 | 2417 | 2482 | 2456 | 2356 | 2363 |
| | ส.ค. | **2410** | 2638 | 2496 | 2502 | 2542 | 2446 | 2439 |
| | ก.ย. | **2130** | 2541 | 2581 | 2479 | 2487 | 2499 | 2410 |
| | ต.ค. | **2310** | 2460 | 2438 | 2491 | 2421 | 2474 | 2411 |
| | พ.ย. | **2241** | 2283 | 2422 | 2413 | 2461 | 2420 | 2443 |
| | ธ.ค. | **2184** | 2227 | 2273 | 2386 | 2384 | 2385 | 2434 |
| | **MAD** | | 248.9 | 249.2 | **209.4** | 228.6 | 227.9 | 221.9 |
| | **RMSE** | | 315.4 | 300.2 | **257.3** | 270.0 | 277.3 | 268.0 |
| | **MAPE** | | 10.7 | 10.6 | **9.1** | 9.8 | 9.8 | 9.6 |

จากตารางที่ 4.19 แสดงค่าพยากรณ์โดยใช้ค่าเฉลี่ยอย่างง่าย กรณี 36 ข้อมูล พบว่าการใช้ข้อมูลในการเฉลี่ย 5 ข้อมูลหรือ K=5 จะให้ค่า MAD, RMSE, MAPE ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่ายกรณี 36 ข้อมูล ที่ K=5

| วิธีการตรวจสอบความแม่นยำ | ค่าที่ได้ |
|---|---|
| MAD | **209.36** |
| RMSE | **257.32** |
| MAPE | **9.05** |

จากข้อมูลค่าจริงและค่าที่ได้จากการพยากรณ์นำมาเขียนกราฟเพื่อแสดงการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ดังรูปที่ 4.12




รูปที่ 4.12 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2005-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่ายที่ K=5 (กรณี 36 ข้อมูล)

ดังนั้นการพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยอย่างง่ายใช้ K=5 ในการพยากรณ์ ซึ่งสมการพยากรณ์แสดงได้ดังสมการ

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + ... + Y_{t-4}}{5}$$

เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าการใช้ข้อมูล 72 ข้อมูล และ 36 ข้อมูลจะได้ผลในการพยากรณ์เป็นไปในแนวเดียวกันคือที่ K=5 ซึ่งค่าพยากรณ์ในอนาคตใช้ข้อมูลของค่าเฉลี่ย 5 ค่าล่าสุดทำให้ค่าพยากรณ์ออกมาเท่ากัน

#### 4.2.2.2 การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Single Exponential Smoothing Method) กรณี 36 ข้อมูล

ในการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่ายที่ได้เสนอไปในส่วนแรก เมื่อเปลี่ยนข้อมูลจาก 72 ข้อมูล มาเป็น 36 ข้อมูล สามารถกำหนดหาได้จากสมการ

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

กำหนดให้

$\hat{Y}_{initial} = \hat{Y}_1 = Y_1$ จะทำให้ค่าพยากรณ์ $\hat{Y}_t$ สำหรับ t=2, 3, 4, ...ได้

$$\hat{Y}_{initial} = Y_1 = 2305$$

ในส่วนของค่า $\alpha$ ใช้ค่าที่ทำให้ค่า MAPE ในการพยากรณ์ต่ำที่สุด ด้วยการหาค่าโดยใช้ Solver โดยค่าที่ได้คือ $\alpha = 0.0023$

จากค่าเริ่มต้นและสมการในการคำนวณด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย สามารถแสดงค่าพยากรณ์และข้อมูลในการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ดังตารางที่ 4.21

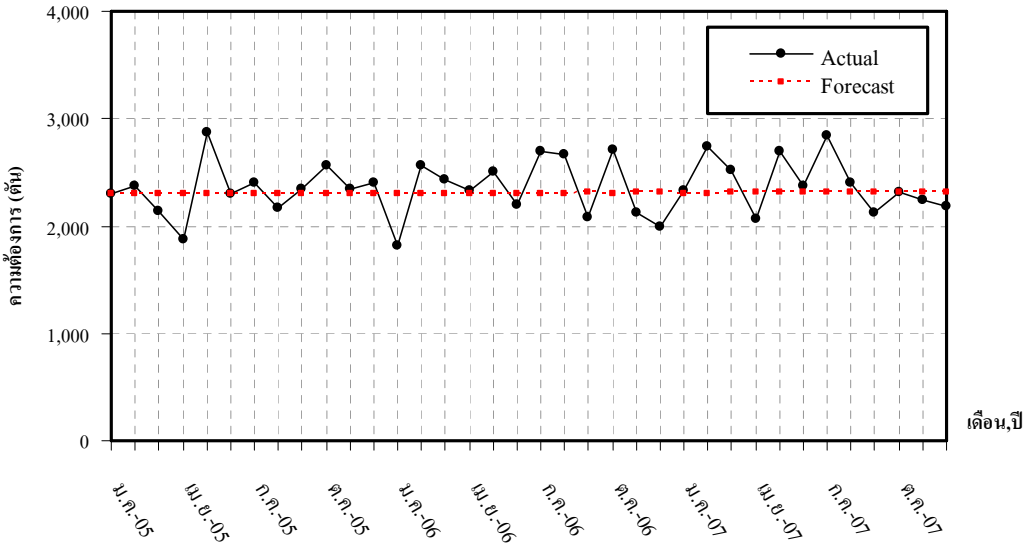
ตารางที่ 4. 21 ค่าพยากรณ์ความต้องการปี 2005-2007 โดยการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (กรณี 36 ข้อมูล)

| ปี | เดือน | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\left\lvert \frac{e_i}{Y_i} \right\rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2005** | ม.ค. | **2305** | 2305 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.000 |
| | ก.พ. | **2375** | 2305 | -70 | 4877.5 | 69.8 | 0.029 |
| | มี.ค. | **2145** | 2305 | 161 | 25766.1 | 160.5 | 0.075 |
| | เม.ย. | **1873** | 2305 | 432 | 186725.0 | 432.1 | 0.231 |
| | พ.ค. | **2873** | 2304 | -569 | 323596.5 | 568.9 | 0.198 |
| | มิ.ย. | **2296** | 2305 | 9 | 85.8 | 9.3 | 0.004 |
| | ก.ค. | **2410** | 2305 | -105 | 10973.9 | 104.8 | 0.043 |
| | ส.ค. | **2171** | 2305 | 134 | 17993.4 | 134.1 | 0.062 |
| | ก.ย. | **2346** | 2305 | -41 | 1648.5 | 40.6 | 0.017 |
| | ต.ค. | **2561** | 2305 | -256 | 65695.3 | 256.3 | 0.100 |
| | พ.ย. | **2350** | 2306 | -44 | 1958.4 | 44.3 | 0.019 |
| | ธ.ค. | **2405** | 2306 | -100 | 9930.7 | 99.7 | 0.041 |
| **2006** | ม.ค. | **1821** | 2306 | 485 | 235234.4 | 485.0 | 0.266 |
| | ก.พ. | **2571** | 2305 | -266 | 70799.5 | 266.1 | 0.103 |
| | มี.ค. | **2434** | 2306 | -128 | 16425.8 | 128.2 | 0.053 |
| | เม.ย. | **2337** | 2306 | -31 | 943.4 | 30.7 | 0.013 |
| | พ.ค. | **2501** | 2306 | -195 | 37964.8 | 194.8 | 0.078 |
| | มิ.ย. | **2204** | 2306 | 102 | 10476.1 | 102.4 | 0.046 |
| | ก.ค. | **2701** | 2306 | -395 | 156244.2 | 395.3 | 0.146 |
| | ส.ค. | **2668** | 2307 | -361 | 130456.7 | 361.2 | 0.135 |
| | ก.ย. | **2077** | 2308 | 231 | 53372.5 | 231.0 | 0.111 |
| | ต.ค. | **2704** | 2307 | -397 | 157398.6 | 396.7 | 0.147 |
| | พ.ย. | **2119** | 2308 | 189 | 35848.8 | 189.3 | 0.089 |
| | ธ.ค. | **1992** | 2308 | 316 | 99673.9 | 315.7 | 0.158 |
| **2007** | ม.ค. | **2329** | 2307 | -22 | 463.1 | 21.5 | 0.009 |
| | ก.พ. | **2741** | 2307 | -434 | 188451.7 | 434.1 | 0.158 |
| | มี.ค. | **2523** | 2308 | -215 | 46394.3 | 215.4 | 0.085 |
| | เม.ย. | **2072** | 2309 | 237 | 56013.3 | 236.7 | 0.114 |
| | พ.ค. | **2701** | 2308 | -393 | 154088.6 | 392.5 | 0.145 |
| | มิ.ย. | **2373** | 2309 | -64 | 4137.3 | 64.3 | 0.027 |
| | ก.ค. | **2840** | 2309 | -531 | 281932.5 | 531.0 | 0.187 |
| | ส.ค. | **2410** | 2310 | -100 | 9955.7 | 99.8 | 0.041 |
| | ก.ย. | **2130** | 2310 | 181 | 32604.2 | 180.6 | 0.085 |
| | ต.ค. | **2310** | 2310 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 |
| | พ.ย. | **2241** | 2310 | 69 | 4788.6 | 69.2 | 0.031 |
| | ธ.ค. | **2184** | 2310 | 126 | 15861.9 | 125.9 | 0.058 |
| | | | | $\sum_{i=1}^{36}$ | **2448781.4** | **7388.2** | **3.1** |

ตารางที่ 4.22 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (กรณี 36 ข้อมูล)

| วิธีการตรวจสอบความแม่นยำ | ค่าที่ได้ |
|---|---|
| MAD | **205.23** |
| RMSE | **260.81** |
| MAPE | **8.64** |

จากข้อมูลค่าจริงและค่าที่ได้จากการพยากรณ์นำมาเขียนกราฟเพื่อแสดงการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ดังรูปที่ 4.13




รูปที่ 4.13 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2005-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (กรณี 36 ข้อมูล)

จากค่าพยากรณ์ที่ได้ด้วยการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (กรณี 36 ข้อมูล) ค่าที่ได้ค่อนข้างคงที่ ซึ่งค่าสุดท้ายมีค่าพยากรณ์เท่ากับ 2310 ตัน ทำให้สรุปค่าพยากรณ์ในอนาคตได้เท่ากับ 2310 ตัน เช่นกัน

**4.2.2.3 การพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย (Regression) กรณี 36 ข้อมูล**

จากข้อมูลความต้องการจำนวน 36 ข้อมูล ตัวแบบที่นำมาพิจารณาเพื่อพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์จะพิจารณาตัวแบบที่ข้อมูลไม่มีแนวโน้ม แต่จะพิจารณาความผันแปรตามฤดูกาล การสร้างตัวแปรดัมมี่จะมีจำนวนเท่ากับ L-1 ตัว โดยที่ L เป็นฤดูกาลต่อปี ดังนั้นเราพิจารณาฤดูกาลรายเดือนค่า L=12 สำหรับตัวแปรดัมมี่กำหนดให้เป็น $S_{it}$ โดยที่

$$S_{it} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อค่าสังเกตุ } Y_i \text{ ตกอยู่ในช่วงฤดูกาลที่ i ; i = 1, 2, 3, …, L-1} \\ 0 & \text{เมื่อค่าสังเกตุ } Y_i \text{ ไม่ตกอยู่ในช่วงฤดูกาลที่ i ; i = 1, 2, 3, …, L-1} \end{cases}$$

**ส่วนตัวแบบการถดถอย**

$$Y_t = \alpha + \beta_1 S_{1t} + \beta_2 S_{2t} + \beta_3 S_{3t} + ... + \beta_{L-1} S_{L-1,t} + \varepsilon_t$$

$Y_t$ คือข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

$\alpha$ คือระยะที่ตัดแกนตั้ง (Y-intercept)

$\beta_i$ คือค่าวัดความผันแปรตามฤดูกาลที่ i เมื่อเทียบกับฤดูกาลที่ L สำหรับ i=1, 2, 3, ..., L-1 เมื่อ $\beta_i$ เป็นบวกแสดงว่าฤดูกาลที่ i มีความผันแปรเหนือฤดูกาลที่ L และเมื่อ $\beta_i$ เป็นลบแสดงว่าฤดูกาลที่ i มีความผันแปรน้อยกว่าฤดูกาลที่ L

$\varepsilon_t$ คือค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

**สมการที่ใช้ในการพยากรณ์**

$$\hat{Y}_t = a + b_1 S_{1t} + b_2 S_{2t} + b_3 S_{3t} + ... + b_{L-1} S_{L-1t}$$

โดยที่ค่า a และ $b_1, b_2, b_3, ..., b_{L-1}$ เป็นค่าประมาณของ $\alpha$ และ $\beta_1, \beta_2, \beta_3, ..., \beta_{L-1}$ ตามลำดับ

จากความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ทำการวิเคราะห์และหาสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย การหาค่าคงที่ในสมการ จะนำวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณมาใช้ในการหาแสดงสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\hat{Y}_t = a + b_1 S_{1t} + b_2 S_{2t} + b_3 S_{3t} + ... + b_{11} S_{11t}$$

โดยสามารถหาค่าของ a, $b_1$, $b_2$, $b_3$, …, $b_{11}$ ใช้การวิเคราะห์เชิงพหุคูณโดยใช้ค่าเมตริกซ์และตัวแปรดัมมี่แสดงได้ดังตารางที่ 4.23 และทำการหาค่าด้วยโปรแกรม SPSS

ตารางที่ 4.23 การกำหนดค่าเมตริกซ์เพื่อหาค่าคงที่ในสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย (กรณี 36 ข้อมูล)

| ปี | เดือน | Demand ($Y_t$) | $S_{1t}$ | $S_{2t}$ | $S_{3t}$ | $S_{4t}$ | $S_{5t}$ | $S_{6t}$ | $S_{7t}$ | $S_{8t}$ | $S_{9t}$ | $S_{10t}$ | $S_{11t}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2005** | ม.ค. | 2305 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.พ. | 2375 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มี.ค. | 2145 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | เม.ย. | 1873 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | พ.ค. | 2873 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มิ.ย. | 2296 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ค. | 2410 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ส.ค. | 2171 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ย. | 2346 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | ต.ค. | 2561 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | พ.ย. | 2350 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ธ.ค. | 2405 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2006** | ม.ค. | 1821 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.พ. | 2571 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มี.ค. | 2434 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | เม.ย. | 2337 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | พ.ค. | 2501 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มิ.ย. | 2204 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ค. | 2701 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ส.ค. | 2668 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ย. | 2077 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | ต.ค. | 2704 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | พ.ย. | 2119 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ธ.ค. | 1992 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2007** | ม.ค. | 2329 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.พ. | 2741 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มี.ค. | 2523 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | เม.ย. | 2072 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | พ.ค. | 2701 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | มิ.ย. | 2373 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ค. | 2840 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ส.ค. | 2410 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | ก.ย. | 2130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | ต.ค. | 2310 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | พ.ย. | 2241 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ธ.ค. | 2184 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

จากค่าในตารางที่ 4.23 ใช้โปรแกรม SPSS แก้ปัญหาหาคำตอบของเมตริกซ์เพื่อหาค่าคงที่แทนในสมการพยากรณ์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.14

**Variables Entered/Removed[b]**

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|---|---|---|---|
| 1 | S11t, S10t, S9t, S8t, S7t, S5t, S4t, S3t, S1t, S6t, S2t[a] | . | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Demand

**Model Summary**

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|---|---|---|---|---|
| 1 | .768[a] | .590 | .403 | 199.341 |

a. Predictors: (Constant), S11t, S10t, S9t, S8t, S7t, S5t, S4t, S3t, S1t, S6t, S2t

**ANOVA[b]**

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Regression | 1374540 | 11 | 124958.149 | 3.145 | .009[a] |
| | Residual | 953682.0 | 24 | 39736.750 | | |
| | Total | 2328222 | 35 | | | |

a. Predictors: (Constant), S11t, S10t, S9t, S8t, S7t, S5t, S4t, S3t, S1t, S6t, S2t

b. Dependent Variable: Demand

**Coefficients[a]**

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | 2193.667 | 115.089 | | 19.061 | .000 |
| | S1t | -42.000 | 162.761 | -.046 | -.258 | .799 |
| | S2t | 368.667 | 162.761 | .401 | 2.265 | .033 |
| | S3t | 173.667 | 162.761 | .189 | 1.067 | .297 |
| | S4t | -99.667 | 162.761 | -.108 | -.612 | .546 |
| | S5t | 498.000 | 162.761 | .541 | 3.060 | .005 |
| | S6t | 97.333 | 162.761 | .106 | .598 | .555 |
| | S7t | 456.667 | 162.761 | .496 | 2.806 | .010 |
| | S8t | 222.667 | 162.761 | .242 | 1.368 | .184 |
| | S9t | -9.333 | 162.761 | -.010 | -.057 | .955 |
| | S10t | 331.333 | 162.761 | .360 | 2.036 | .053 |
| | S11t | 43.000 | 162.761 | .047 | .264 | .794 |

a. Dependent Variable: Demand

รูปที่ 4.14 ค่าคงที่ในการคำนวณด้วยการถดถอย

ดังนั้นสมการที่ใช้ในการพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_t = a + b_1 S_{1t} + b_2 S_{2t} + b_3 S_{3t} + ... + b_{11} S_{11t}$$

$$\hat{Y}_t = 2193.667 - 42S_{1t} + 368.667S_{2t} + 173.667S_{3t} - 99.667S_{4t} + 498S_{5t} + 97.333S_{6t} + 456.667S_{7t} + 222.667S_{8t} + 9.333S_{9t} + 331.333S_{10t} + 43S_{11t}$$

โดยที่ $\hat{Y}_t$ = ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ที่เวลาที่ t

t = เวลา

จากสมการพยากรณ์นำมาหาค่าที่ได้จากการพยากรณ์

ปี 2005

มกราคม (1) $\hat{Y}_1 = 2193.667 - 42$

$\hat{Y}_1 = 2152$

กุมภาพันธ์ (2) $\hat{Y}_2 = 2193.667 + 368.667$

$\hat{Y}_2 = 2562$

มีนาคม (3) $\hat{Y}_3 = 2193.667 + 173.667$

$\hat{Y}_3 = 2367$

เมษายน (4) $\hat{Y}_4 = 2193.667 - 99.667$

$\hat{Y}_4 = 2094$

พฤษภาคม (5) $\hat{Y}_5 = 2193.667 + 498$

$\hat{Y}_5 = 2692$

ทำการแทนค่าจนครบซึ่งแสดงค่าการคำนวณได้ดังตารางที่ 4.24

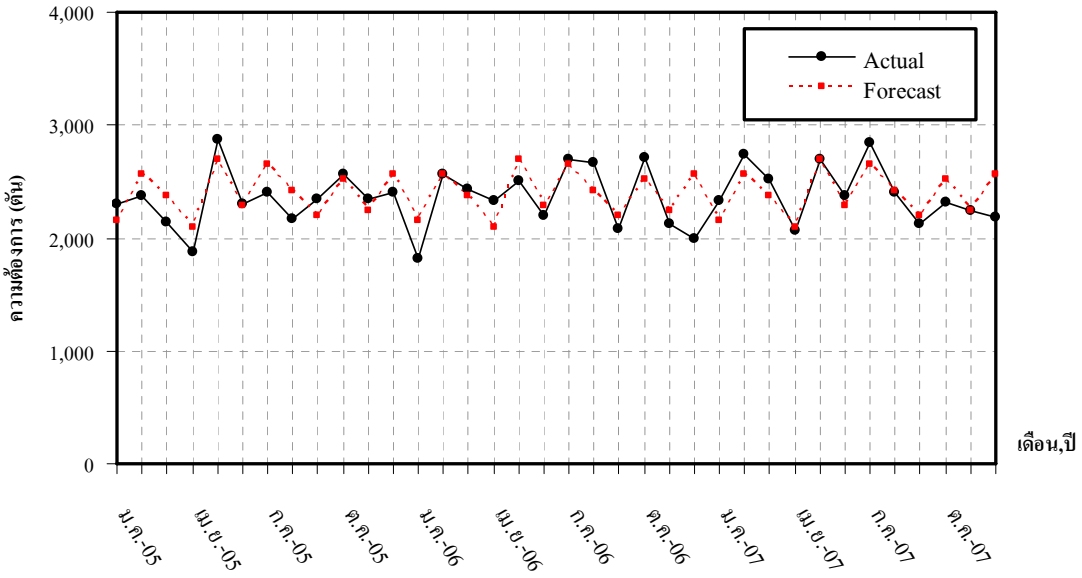
ตารางที่ 4.24 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้การใช้วิธีการถดถอย (กรณี 36 ข้อมูล)

| ปี | เดือน | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\lvert \frac{e_i}{Y_i} \rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2005** | ม.ค. | **2305** | 2152 | -154 | 23646.1 | 153.8 | 0.067 |
| | ก.พ. | **2375** | 2562 | 187 | 35154.0 | 187.5 | 0.079 |
| | มี.ค. | **2145** | 2367 | 223 | 49592.6 | 222.7 | 0.104 |
| | เม.ย. | **1873** | 2094 | 221 | 48982.5 | 221.3 | 0.118 |
| | พ.ค. | **2873** | 2692 | -181 | 32765.7 | 181.0 | 0.063 |
| | มิ.ย. | **2296** | 2291 | -5 | 23.4 | 4.8 | 0.002 |
| | ก.ค. | **2410** | 2650 | 240 | 57837.4 | 240.5 | 0.100 |
| | ส.ค. | **2171** | 2416 | 245 | 60100.5 | 245.2 | 0.113 |
| | ก.ย. | **2346** | 2203 | -143 | 20340.5 | 142.6 | 0.061 |
| | ต.ค. | **2561** | 2525 | -36 | 1326.4 | 36.4 | 0.014 |
| | พ.ย. | **2350** | 2237 | -113 | 12830.8 | 113.3 | 0.048 |
| | ธ.ค. | **2405** | 2562 | 157 | 24616.2 | 156.9 | 0.065 |
| **2006** | ม.ค. | **1821** | 2152 | 331 | 109340.7 | 330.7 | 0.182 |
| | ก.พ. | **2571** | 2562 | -9 | 75.1 | 8.7 | 0.003 |
| | มี.ค. | **2434** | 2367 | -66 | 4401.8 | 66.3 | 0.027 |
| | เม.ย. | **2337** | 2094 | -243 | 58816.0 | 242.5 | 0.104 |
| | พ.ค. | **2501** | 2692 | 191 | 36460.8 | 190.9 | 0.076 |
| | มิ.ย. | **2204** | 2291 | 87 | 7576.0 | 87.0 | 0.039 |
| | ก.ค. | **2701** | 2650 | -51 | 2603.7 | 51.0 | 0.019 |
| | ส.ค. | **2668** | 2416 | -252 | 63416.3 | 251.8 | 0.094 |
| | ก.ย. | **2077** | 2203 | 126 | 15936.5 | 126.2 | 0.061 |
| | ต.ค. | **2704** | 2525 | -179 | 32041.0 | 179.0 | 0.066 |
| | พ.ย. | **2119** | 2237 | 118 | 13887.9 | 117.8 | 0.056 |
| | ธ.ค. | **1992** | 2562 | 570 | 325258.1 | 570.3 | 0.286 |
| **2007** | ม.ค. | **2329** | 2152 | -177 | 31284.1 | 176.9 | 0.076 |
| | ก.พ. | **2741** | 2562 | -179 | 31985.9 | 178.8 | 0.065 |
| | มี.ค. | **2523** | 2367 | -156 | 24369.1 | 156.1 | 0.062 |
| | เม.ย. | **2072** | 2094 | 22 | 490.2 | 22.1 | 0.011 |
| | พ.ค. | **2701** | 2692 | -9 | 78.7 | 8.9 | 0.003 |
| | มิ.ย. | **2373** | 2291 | -82 | 6757.5 | 82.2 | 0.035 |
| | ก.ค. | **2840** | 2650 | -190 | 35973.2 | 189.7 | 0.067 |
| | ส.ค. | **2410** | 2416 | 6 | 40.1 | 6.3 | 0.003 |
| | ก.ย. | **2130** | 2203 | 73 | 5346.5 | 73.1 | 0.034 |
| | ต.ค. | **2310** | 2525 | 215 | 46207.8 | 215.0 | 0.093 |
| | พ.ย. | **2241** | 2237 | -4 | 17.4 | 4.2 | 0.002 |
| | ธ.ค. | **2184** | 2562 | 378 | 143182.0 | 378.4 | 0.173 |
| | | | | $\sum_{i=1}^{36}$ | **1362762.4** | **5620.1** | **2.5** |

ตารางที่ 4.25 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยใช้วิธีการถดถอย (กรณี 36 ข้อมูล)

| วิธีการตรวจสอบความแม่นยำ | ค่าที่ได้ |
|---|---|
| MAD | **156.11** |
| RMSE | **194.56** |
| MAPE | **6.87** |

เมื่อนำค่าจริงและค่าพยากรณ์มาเขียนกราฟเปรียบเทียบแสดงได้ดังรูป 4.15



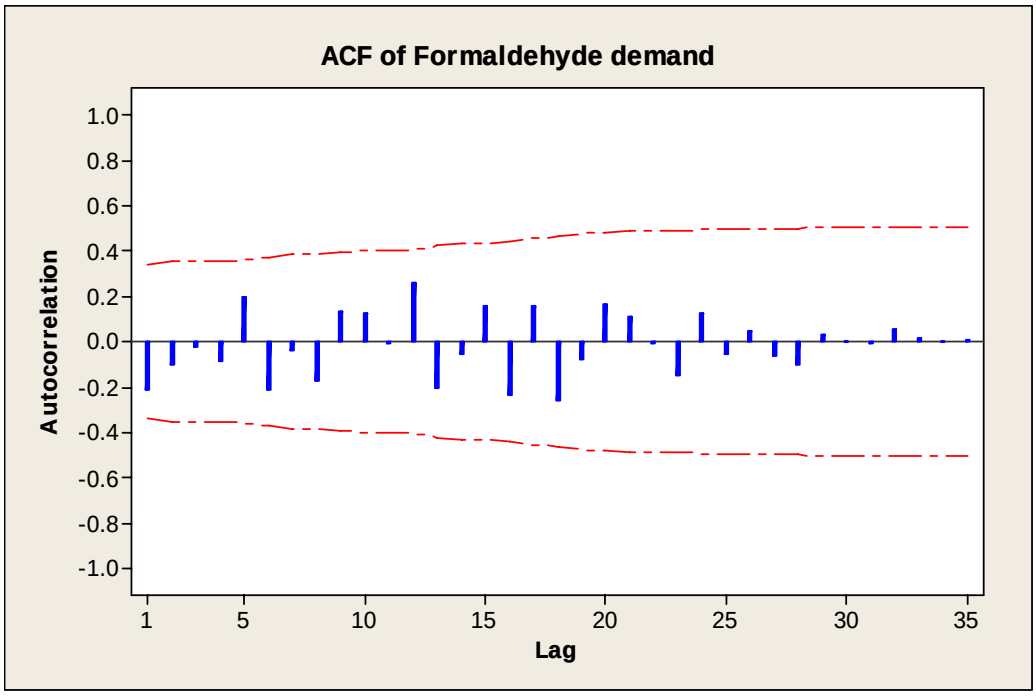

รูปที่ 4.15 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้วิธีการถดถอย (กรณี 36 ข้อมูล)

**4.2.2.4 การพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วยวิธีของบอกซ์ เจนคินส์ (Box-Jenkins)**

จากอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์จำนวน 36 ข้อมูลเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาพยากรณ์โดยใช้วีการของบอกซ์ เจนคินส์ แสดงขั้นตอนในการกำหนดตัวแบบและการพยากรณ์ได้ดังนี้

1. การกำหนดแบบจำลอง

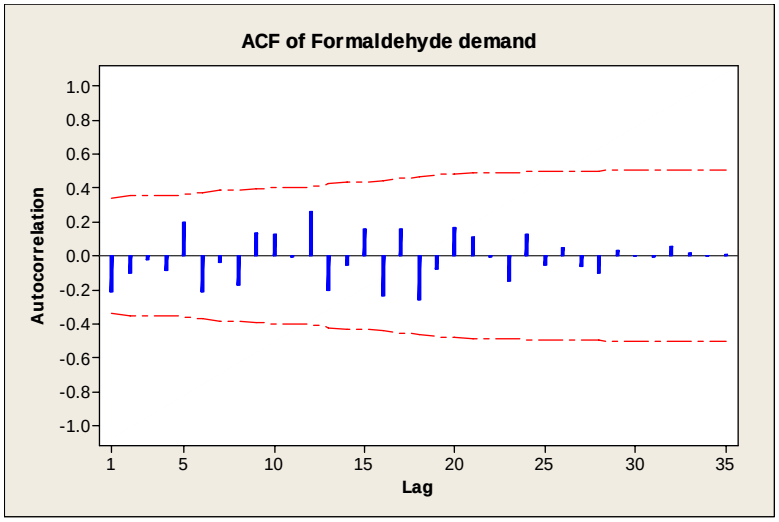
การวิเคราะห์เริ่มจากการนำข้อมูลมาเขียนกราฟเพื่อดูรูปแบบของข้อมูลว่ามีลักษณะนิ่งหรือไม่ หรือพิจารณาจากคลอเรลโรแกรมของ $r_k$ ซึ่งเป็นกราฟที่เกิดจากการพล๊อตค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองที่ Lag K กับค่า K ถ้าอนุกรมเวลาเป็นอนุกรมเวลาที่สเตชันนารีค่า $r_k$ มีลักษณะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อ K มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าค่า $r_k$ มีลักษณะลดลงค่อนข้างช้าเมื่อ K เพิ่มมากขึ้น หรือค่า $r_k$ มีค่าค่อนข้างสูงที่ K=L, 2L, 3L … เมื่อ L เป็นจำนวนฤดูกาล แสดงว่าอนุกรมเวลาชุดนั้นไม่เป็นสเตชันนารี จากข้อมูลแสดงคลอเรลโรแกรมของสหสัมพันธ์ในตัวเอง $r_k$ ได้ดังรูปที่ 4.16



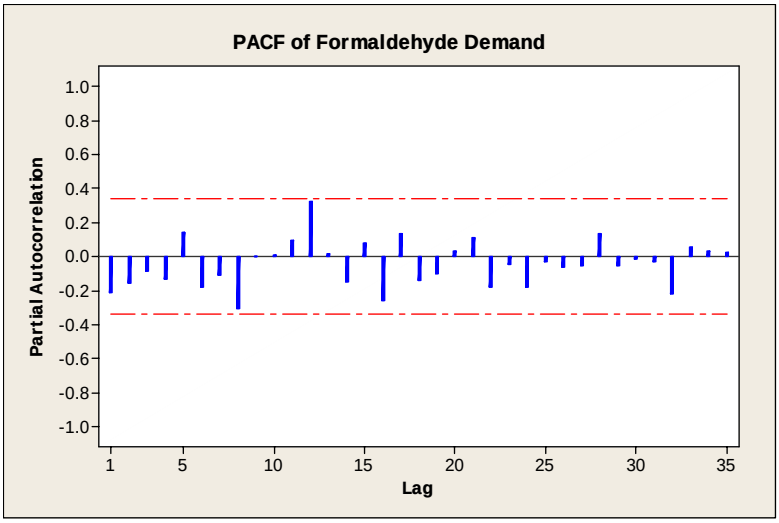

รูปที่ 4.16 แผนภาพคลอเรลโรแกรมของสหสัมพันธ์ในตัวเองของอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อดูลักษณะ $r_k$

จากรูปที่ 4.16 เมื่อพิจารณาพบว่า $r_k$ มีลักษณะลดลงอย่างเร็วเมื่อ K มีค่าเพิ่มมากขึ้น แสดงว่าอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์มีลักษณะสเตชันนารี

เมื่อทำการตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาสเตชันนารีแล้วการกำหนดตัวแบบ ARMA(p,q) ให้กับอนุกรมเวลานั้นทำการเปรียบเทียบคลอเรลโรแกรมของ $r_k$ , $r_{kk}$ กับคลอเรลโรแกรมของ $\rho_k$ , $\rho_{kk}$ ของตัวแบบถ้า $r_k$ , $r_{kk}$ มีลักษณะคล้ายกับคลอเรลโรแกรมของ $\rho_k$ , $\rho_{kk}$ ใดมากที่สุดจะกำหนดตัวแบบนั้นให้อนุกรมเวลา จากข้อมูลอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์แสดงคลอเรลโรแกรม $r_k$ ,$r_{kk}$ ดังรูปที่ 4.17 และ4.18




รูปที่ 4.17 แผนภาพคลอเรลโรแกรมของสหสัมพันธ์ในตัวเองของอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์




รูปที่ 4.18 แผนภาพคลอเรลโรแกรมของสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์

จากลักษณะของ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาพบว่ามีการมีรูปแบบคล้ายกับ $\rho_k$ , $\rho_{kk}$ ของ ARMA(1,1) ซึ่งจะทำการประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบต่อไป

2. การประมาณค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์จากตัวแบบ ARIMA (1,1) ที่ได้ มีสมการคือ

$$Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$$

ทำการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรม MINITAB จะได้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

```
Final Estimates of Parameters

Type          Coef  SE Coef       T      P
AR   1     0.5892   0.1660    3.55  0.001
MA   1     0.9542   0.1005    9.49  0.000
Constant  976.351    3.160  309.00  0.000
Mean      2376.73     7.69

Number of observations:  36
Residuals:    SS =  1928293 (backforecasts excluded)
              MS =  58433  DF = 33


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

Lag             12     24  36  48
Chi-Square     9.0   27.3   *   *
DF               9     21   *   *
P-Value      0.440  0.162   *   *
```

รูปที่ 4.19 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ของตัวแบบ ARMA(1,1)

จากค่าที่ได้สรุปพารามิเตอร์ได้ดังนี้

$$\theta_0 = 976.351$$
$$\phi_1 = 0.5892$$
$$\theta_1 = 0.9542$$

แทนค่าในสมการ

$$Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$$

$$Y_t = 976.351 + 0.5892 Y_{t-1} + \varepsilon_t - 0.9542 \varepsilon_{t-1}$$

3. การตรวจสอบแบบจำลอง

การตรวจสอบตัวแบบ ARMA (1,1) เหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้หรือไม่

1. ตั้งสมมุติฐาน

$H_0 : \theta_1 = 0$

$H_1 : \theta_1 \neq 0$

พิจารณาค่า P-Value ที่ได้จากการประมาณค่าพบว่า

P-Value =0.000 สำหรับ $\theta_1$

ซึ่งค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$ จะปฏิเสธ $H_0, H_0'$ แสดงว่า $\theta_1 \neq 0, \phi_1 \neq 0$ หรือสรุปได้ว่าตัวแบบ ARMA (1,1)เหมาะสมแล้ว

2. พิจารณาค่า $e_t$ เป็นอิสระต่อกันหรือไม่โดยตั้งสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \rho_i(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_i(e_t)$ อย่างน้อย 1 ค่าไม่เท่ากับศูนย์

โดยพิจารณาจากค่า Residual จะได้ค่าสถิติ Ljung-Box มี Chi-Square ที่ K=24 เท่ากับ 27.3 มี P-Value เท่ากับ 0.162 ซึ่งมากกว่า 0.05 ซึ่งจะปฏิเสธ $H_0$ แสดงว่า $e_t$ เป็นอิสระกันหรือตัวแบบ ARMA (1,1) เหมาะสมแล้ว

4. การพยากรณ์

การพยากรณ์แบบจุดที่เวลา t+m เมื่อผ่านขั้นตอนของการกำหนดรูปแบบ การประมาณค่าพารามิเตอร์และการตรวจสอบรูปแบบแล้ว จะใช้สมการที่สร้างจากรูปแบบ ARMA(1,1) เป็นสมการพยากรณ์ ค่าพยากรณ์ในอนาคตได้จากการแทนค่าสังเกตในอดีตหรือค่าคลาดเคลื่อนในอดีตในสมการพยากรณ์ โดยสมการพยากรณ์แสดงได้ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = \begin{cases} \theta_0 + \phi_1 Y_t - \theta_1 e_t ; m = 1 \\ \theta_0 + \phi_1 \hat{Y}_{t+m-1} ; m \geq 2 \end{cases}$$

แทนค่า

$$\hat{Y}_{36+m} = \begin{cases} 976.351 + 0.5892 Y_t - 0.9542 e_t ; m = 1 \\ 976.351 + 0.5892 \hat{Y}_{t+m-1} ; m \geq 2 \end{cases}$$

จากข้อมูลและสมการพยากรณ์ทำการหาค่าการพยากรณ์เพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของข้อมูล 2005-2007 ได้ดังตารางที่ 4.26

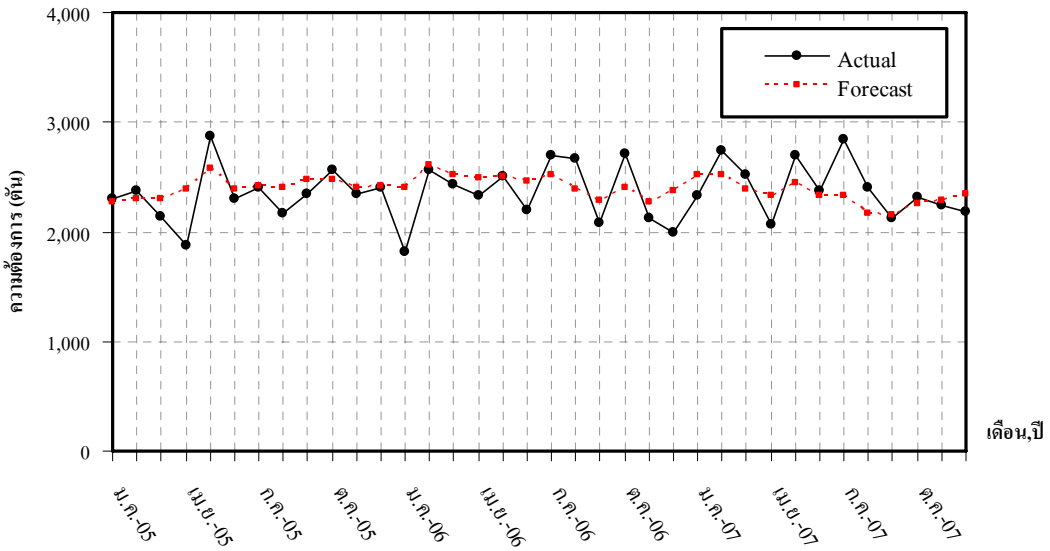
ตารางที่ 4.26 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้การใช้วิธี Box-Jenkins (ARMA(1,1))

| ปี | เดือน | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $e_i$ | $e_i^2$ | $\lvert e_i \rvert$ | $\left\lvert \frac{e_i}{Y_i} \right\rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2005** | ม.ค. | **2305** | 2270 | -35 | 1259.5 | 35.5 | 0.015 |
| | ก.พ. | **2375** | 2301 | -74 | 5449.4 | 73.8 | 0.031 |
| | มี.ค. | **2145** | 2305 | 160 | 25750.6 | 160.5 | 0.075 |
| | เม.ย. | **1873** | 2393 | 520 | 270712.1 | 520.3 | 0.278 |
| | พ.ค. | **2873** | 2576 | -297 | 87953.8 | 296.6 | 0.103 |
| | มิ.ย. | **2296** | 2386 | 90 | 8098.2 | 90.0 | 0.039 |
| | ก.ค. | **2410** | 2415 | 5 | 25.4 | 5.0 | 0.002 |
| | ส.ค. | **2171** | 2401 | 230 | 52812.6 | 229.8 | 0.106 |
| | ก.ย. | **2346** | 2475 | 129 | 16734.0 | 129.4 | 0.055 |
| | ต.ค. | **2561** | 2482 | -80 | 6355.3 | 79.7 | 0.031 |
| | พ.ย. | **2350** | 2410 | 60 | 3562.9 | 59.7 | 0.025 |
| | ธ.ค. | **2405** | 2418 | 12 | 154.8 | 12.4 | 0.005 |
| **2006** | ม.ค. | **1821** | 2406 | 585 | 341850.7 | 584.7 | 0.321 |
| | ก.พ. | **2571** | 2607 | 36 | 1311.2 | 36.2 | 0.014 |
| | มี.ค. | **2434** | 2526 | 92 | 8475.0 | 92.1 | 0.038 |
| | เม.ย. | **2337** | 2498 | 162 | 26082.3 | 161.5 | 0.069 |
| | พ.ค. | **2501** | 2507 | 6 | 39.1 | 6.3 | 0.002 |
| | มิ.ย. | **2204** | 2456 | 252 | 63347.9 | 251.7 | 0.114 |
| | ก.ค. | **2701** | 2515 | -186 | 34700.2 | 186.3 | 0.069 |
| | ส.ค. | **2668** | 2390 | -278 | 77161.7 | 277.8 | 0.104 |
| | ก.ย. | **2077** | 2283 | 207 | 42716.6 | 206.7 | 0.100 |
| | ต.ค. | **2704** | 2397 | -307 | 94175.3 | 306.9 | 0.113 |
| | พ.ย. | **2119** | 2277 | 158 | 24932.4 | 157.9 | 0.075 |
| | ธ.ค. | **1992** | 2375 | 383 | 146964.9 | 383.4 | 0.192 |
| **2007** | ม.ค. | **2329** | 2516 | 187 | 35092.5 | 187.3 | 0.080 |
| | ก.พ. | **2741** | 2527 | -214 | 45903.1 | 214.3 | 0.078 |
| | มี.ค. | **2523** | 2387 | -136 | 18591.3 | 136.4 | 0.054 |
| | เม.ย. | **2072** | 2333 | 261 | 68309.0 | 261.4 | 0.126 |
| | พ.ค. | **2701** | 2446 | -254 | 64566.8 | 254.1 | 0.094 |
| | มิ.ย. | **2373** | 2325 | -48 | 2334.2 | 48.3 | 0.020 |
| | ก.ค. | **2840** | 2329 | -511 | 261509.5 | 511.4 | 0.180 |
| | ส.ค. | **2410** | 2162 | -248 | 61643.0 | 248.3 | 0.103 |
| | ก.ย. | **2130** | 2159 | 30 | 872.0 | 29.5 | 0.014 |
| | ต.ค. | **2310** | 2259 | -51 | 2562.4 | 50.6 | 0.022 |
| | พ.ย. | **2241** | 2289 | 48 | 2333.9 | 48.3 | 0.022 |
| | ธ.ค. | **2184** | 2343 | 159 | 25204.7 | 158.8 | 0.073 |
| | | | | $\sum_{i=1}^{36}$ | **1929548.4** | **6492.6** | **2.8** |

ตารางที่ 4.27 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ในการพยากรณ์โดยใช้วิธี Box-Jenkins (ARMA(1,1))

| วิธีการตรวจสอบความแม่นยำ | ค่าที่ได้ |
|---|---|
| MAD | **180.35** |
| RMSE | **231.51** |
| MAPE | **7.90** |

เมื่อนำค่าจริงและค่าพยากรณ์มาเขียนกราฟเปรียบเทียบแสดงได้ดังรูป 4.20




รูปที่ 4.20 แผนภาพเปรียบเทียบความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2005-2007 ค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้วิธี Box-Jenkins (ARMA(1,1))

**4.3 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์**

จากการพิจารณาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งเป็นข้อมูลในอดีตปี 2002- 2007 เมื่อนำข้อมูลมาพิจารณาเป็น 2 แบบ คือการใช้ข้อมูลทั้งหมดคือปี 2002-2007 ทั้งหมด 72 ข้อมูล ซึ่งมีส่วนประกอบของแนวโน้ม และข้อมูลตั้งแต่ปี 2005-2007 ทั้งหมด 36 ข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีลักษณะคงที่และไม่มีแนวโน้ม โดยได้ทำการใช้ข้อมูลทั้ง 2 แบบมาพยากรณ์ความต้องการด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการพยากรณ์ โดยเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ได้ดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, RMSE, MAPE ของการพยากรณ์แต่ละวิธี

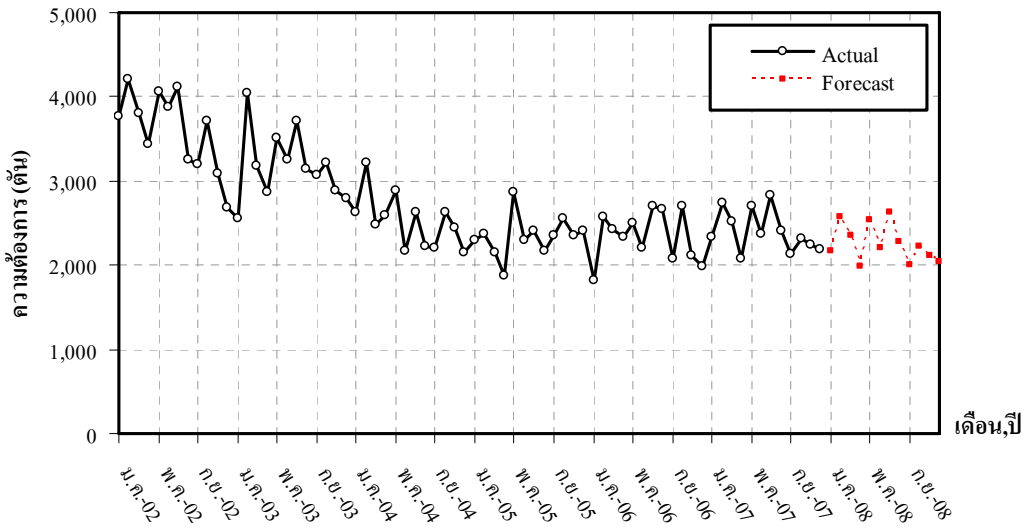
| ชุดข้อมูล | วิธีการพยากรณ์ | ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **MAD** | **RMSE** | **MAPE** |
| ชุดที่ 1 2002-2007 (72 ข้อมูล) | Moving Average | 268.65 | 341.03 | 10.34 |
| | Decomposition | 173.06 | 210.19 | 6.55 |
| | Exponential Smoothing | 282.55 | 352.83 | 10.63 |
| | **Winter** | **77.29** | **126.07** | **2.71** |
| | Regression | 167.25 | 208.75 | 6.43 |
| | | | | |
| ชุดที่ 2 2005-2007 (36 ข้อมูล) | Moving Average | 209.36 | 257.32 | 9.05 |
| | Exponential Smoothing | 205.23 | 260.81 | 8.64 |
| | Regression | 156.11 | 194.56 | 6.87 |
| | Box-Jenkins(ARMA(1,1)) | 180.35 | 231.51 | 7.9 |
| | | | | |

จากตารางที่ 4.28 พบว่าการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ให้ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ต่ำกว่าวิธีการอื่น ซึ่งจะใช้วิธีการนี้ในการพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ในปี 2008 เพื่อใช้ค่าความต้องการที่ได้มาวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งข้อมูลค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008 โดยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์แสดงได้ดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008 ที่นำไปใช้ในการวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งได้จากการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์

| ปี | เดือน | ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ (ตัน) |
|---|---|---|
| **2008** | ม.ค. | 2163.2 |
| | ก.พ. | 2569.7 |
| | มี.ค. | 2360.3 |
| | เม.ย. | 1982.5 |
| | พ.ค. | 2532.7 |
| | มิ.ย. | 2214.4 |
| | ก.ค. | 2636.4 |
| | ส.ค. | 2279.7 |
| | ก.ย. | 1994.8 |
| | ต.ค. | 2229.0 |
| | พ.ย. | 2113.9 |
| | ธ.ค. | 2048.6 |

โดยค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ในปี 2008 นำมาเขียนแผนภาพร่วมกับข้อมูลในอดีต แสดงได้ดังรูปที่ 4.21




รูปที่ 4.21 แผนภาพความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 และค่าพยากรณ์ปี 2008 ด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์

# บทที่ 5

## การวางแผนกำลังการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์

จากความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 นำมาทำการวิเคราะห์และหาแนวทางในการพยากรณ์หาค่าความต้องการในอนาคต ซึ่งจุดประสงค์หลักในการพยากรณ์เพื่อต้องการทราบความต้องการที่มีความแม่นยำที่จะนำมาวางแผนกำลังการผลิตให้มีความเหมาะสมและต้นทุนที่ต่ำ ซึ่งจากการพยากรณ์ความต้องการที่นำเสนอในบทที่ 4 นั้น การพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ให้ค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ต่ำกว่าวิธีการอื่น จึงใช้ค่าที่ได้พยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ในปี 2008 แสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008

| เดือน | ความต้องการ (ตัน) |
|---|---|
| มกราคม | **2163.2** |
| กุมภาพันธ์ | **2569.7** |
| มีนาคม | **2360.3** |
| เมษายน | **1982.5** |
| พฤษภาคม | **2532.7** |
| มิถุนายน | **2214.4** |
| กรกฎาคม | **2636.4** |
| สิงหาคม | **2279.7** |
| กันยายน | **1994.8** |
| ตุลาคม | **2229.0** |
| พฤศจิกายน | **2113.9** |
| ธันวาคม | **2048.6** |
| **รวม** | **27125.3** |

จากตารางที่ 5.1 เป็นความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งค่านี้จะนำไปใช้ในการวางแผนกำลังการผลิตเพื่อใช้เป็นแผนการเดินเครื่องจักรในปี 2008 โดยในการวางแผนกำลังการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องตามที่เสนอในบทที่ 3 ซึ่งการวางแผนต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดของทางบริษัท

**5.1 การวางแผนกำลังการผลิต**

ในการวางแผนการเดินเครื่องจักรเพื่อให้ได้กำลังการผลิตที่เหมาะสมตามความต้องการผลิตภัณฑ์ของลูกค้า ซึ่งต้องรักษาสมดุลระหว่างความต้องการและการผลิตให้มีความสมดุลกัน ไม่มากเกินไปจนเกิดปัญหาด้านสินค้าคงคลังและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการจัดเก็บ และไม่น้อยจนทำให้เกิดการขาดมือของสินค้า และสามารถเดินเครื่องจักรต่อเนื่องได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะใช้การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยแสดงรายละเอียดตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

**ตัวแปรและรายละเอียดที่กำหนด**

**1. ความต้องการและปริมาณการผลิต**

$D_i$ = ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ในเดือนที่ i (ตัน) ; i = 1, 2, …,12

$P_{Ti}$ = ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้จากการผลิตในเดือนที่ i (ตัน) ; i = 1, 2, …,12

**2. เครื่องจักรและการผลิต**

- กระบวนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ประกอบด้วย 2 สายการผลิตดังนี้

$P_{LineIi}$ = กำลังการผลิตของสายการผลิตที่ 1 ในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …,12
(กำลังการผลิตสูงสุด 108 ตัน/วัน ที่ความเข้มข้น 50% การควบคุมกำลังการผลิตต้องมากกว่า 60 ตัน/วัน เนื่องจากกำลังการผลิตที่ต่ำกว่า 60 ตัน/วัน การควบคุมกระบวนการทำได้ยากและเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์จนเกิดอันตรายต่อกระบวนการ)

$H_{Steam\ Line\ Ii}$ = ปริมาณ Steam ที่ได้จากกระบวนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์สายการผลิตที่ 1 ในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …,12
(อัตราการเกิด Steam 4.5 ตัน / ชั่วโมงที่กำลังการผลิตสูงสุด)

$P_{LineIIi}$ = กำลังการผลิตของสายการผลิตที่ 2 ในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …,12
(กำลังการผลิตสูงสุด 96 ตัน/วัน ที่ความเข้มข้น 50% การควบคุมกำลังการผลิตต้องมากกว่า 58 ตัน/วัน เนื่องจากกำลังการผลิตที่ต่ำกว่า 58 ตัน/วัน การควบคุมกระบวนการทำได้ยากและเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์จนเกิดอันตรายต่อกระบวนการ)

$H_{Steam\ Line\ IIi}$ = ปริมาณ Steam ที่ได้จากกระบวนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์สายการผลิตที่ 2 ในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …,12
(อัตราการเกิด Steam 4 ตัน / ชั่วโมง ที่กำลังการผลิตสูงสุด)

$N_i$ = จำนวนครั้งในการเดินเครื่องในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …,12

$n_i$ = จำนวนวันการผลิตในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …,12

- นโยบายการเดินเครื่องต้องเดินเครื่องต่อเนื่อง 3 เดือน ก่อนการหยุดเพื่อบำรุงรักษา

- กำหนดให้การเดินเครื่องจักร Line I และ Line II สลับกันหรือขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และความพร้อมของเครื่องจักร โดยการเริ่มเดินเครื่องจักรไม่ได้ผลิตภัณฑ์ 1 วัน (Heat up) และให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามกำลังการผลิตที่ควบคุมในวันถัดไป

- ขณะหยุดเครื่องจักรเมื่อระดับสินค้าคงคลังอยู่ในระดับสูงสุด การเดินเครื่องจักรในครั้งถัดไปกำหนดระยะเวลาห่างจากวันหยุดเครื่อง 6 วัน เป็นค่าเฉลี่ยที่ทำให้ระดับคงคลังลดลงเท่ากับระดับสำรองคลัง (Heat Up ในวันที่ 6 จะได้ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 7)

**3. พัสดุคงคลัง**

พัสดุคงคลังคือฟอร์มาลดีไฮด์โดยคิดจากพัสดุคงคลัง ณ วันสิ้นเดือนนำมาคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

$I_0$ = ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่เก็บรักษา ณ. วันเริ่มต้นเดือนคือ 1 มกราคม 2551 มีค่าเท่ากับ 895 ตัน ที่ความเข้มข้น 50%

$I_i$ = ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่เก็บรักษา ณ. วันสิ้นเดือนที่ i ที่ความเข้มข้น 50%
โดยที่ i = 1, 2, ..., 12

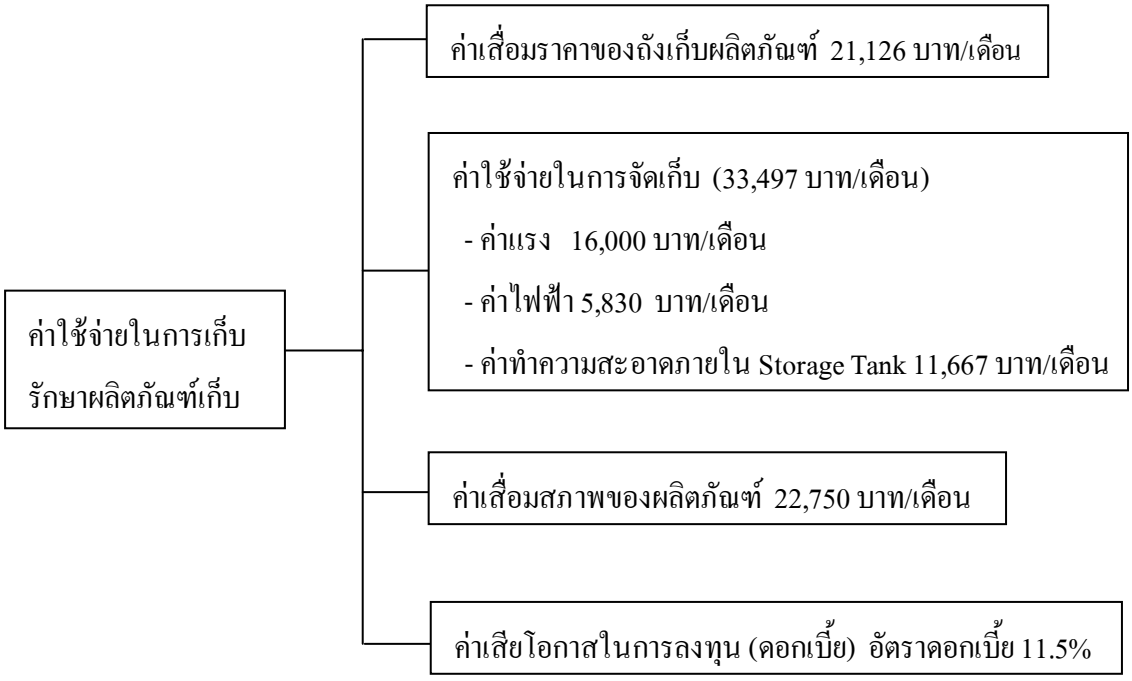
$I_{Safety}$ = ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์สำรองคลังรวม มีค่าเท่ากับ 501.8 ตัน ที่ความเข้มข้น 50%

$I_{Max}$ = ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์คงคลังสูงสุด มีค่าเท่ากับ 1258.2 ตัน ที่ความเข้มข้น 50%

h = ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (บาท/หน่วย)

C= ราคาผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% ในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ 13 บาท/กิโลกรัม

โดยค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย พิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ของบริษัท แสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 ซึ่งสรุปค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการจัดเก็บได้ดังรูปที่ 5.1




รูปที่ 5.1 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ของบริษัท

โดยค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บที่เกิดขึ้นมีส่วนของค่าใช้จ่ายคงที่รวมเท่ากับ 77,373 บาท/เดือน และค่าใช้จ่ายที่แปรผันคือค่าเสียโอกาสจากดอกเบี้ย ซึ่งนำค่าใช้จ่ายทั้งสองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์รวมกับปริมาณสินค้าคงคลัง แสดงดังกราฟในภาคผนวก ก รูปที่ ก.1 ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$\text{Inventory holding cost}_i = 124.58I_i + 77373 \quad ; \; i = 1, 2, ..., 12$$

จากความสัมพันธ์ตามสมการนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บในงานวิจัย

**4. กระบวนการผลิต**

ค่าใช้จ่ายที่พิจารณาในกระบวนการผลิตนำค่าใช้จ่ายที่เกิดจากพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานซ่อมบำรุง ค่าตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิต ค่าไฟฟ้าในการเริ่มเดินเครื่องจักร นอกจากนี้พิจารณาความเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการหยุดเดินเครื่องแต่ละครั้ง ในส่วนของ Steam ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ ถูกส่งไปใช้ในการให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตอื่นๆ นับเป็นรายได้ที่เกิดขึ้นนอกจากตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะนำมาคำนวณในงานวิจัยนี้ โดยรายละเอียดแสดงได้ดังนี้

**Operating Cost**

**ค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิต**

สายการผลิตที่ 1 $Y = -1.1164\ P_{LineIi} + 228.21$

สายการผลิตที่ 2 $Y = -1.3735\ P_{LineIIi} + 242.66$

กำหนดให้ Y = ปริมาณไฟฟ้าในการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน)

กรณีต้องการทราบพลังงานไฟฟ้าในการผลิตที่กำลังการผลิตต่างๆ ต่อวัน สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าในการผลิตที่กำลังการผลิตต่างกันดังนี้

สายการผลิตที่ 1 $E = 47.353\ P_{LineIi} + 7207.5$

สายการผลิตที่ 2 $E = 28.394\ P_{LineIIi} + 8257.5$

กำหนดให้ E = ปริมาณไฟฟ้าในการผลิตต่อวัน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน)

**ค่าใช้จ่ายในส่วนของเครื่องจักร**

ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมด สำหรับสายการผลิตที่ 1 และสายการผลิตที่ 2 คือ 1,210,499 บาท/เดือน

**ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรง**

ค่าใช้จ่ายค่าแรงเท่ากับ 129,000 บาท/เดือน ซึ่งรายละเอียดได้แสดงไว้ในบทที่ 3

**ค่าใช่จ่ายในงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร**

- Corrective Maintenances (CM) เป็นการบำรุงรักษาตามอาการหรือการเกิดการชำรุดของเครื่องจักร โดยค่าใช้จ่ายในงานซ่อมที่เกิดขึ้นพิจารณาและหาได้จากสมการดังนี้

$$MT\ Cost_i = -127.48P_{Ti} + 442749 \ ;\ i = 1, 2, ..., 12$$

- Preventive Maintenances (PM) เป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยบริษัทกำหนดการบำรุงรักษาเชิงป้องกันไว้ที่ทุกๆ 3 เดือน เมื่อหยุดเครื่องจักร ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 129,630 บาท/ครั้ง

**ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยา**

ตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตเป็นต้นทุนแปรผันตามจำนวนการผลิต กำหนดไว้ที่ตัวเร่งการเกิดผลิตภัณฑ์ 1 ตัน มีค่าใช้จ่ายจากตัวเร่งปฏิกิริยา 162.68 บาท/ตัน

**Set up Cost**

**ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่อง (Start Up Cost)**

ในการเริ่มเดินเครื่องจักรจะพิจารณาในส่วนของค่าไฟฟ้าช่วงเริ่มเดินเครื่อง ซึ่งข้อมูลการเริ่มเดินเครื่องใช้ไฟฟ้า 6,194 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยคิดค่าไฟฟ้าที่ 2.65 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง กำหนดตัวแปรคือ

K= Start Up Cost (ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องต่อครั้ง)

K= 16,414.6 บาท/ครั้ง

**ค่าความเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst decay)**

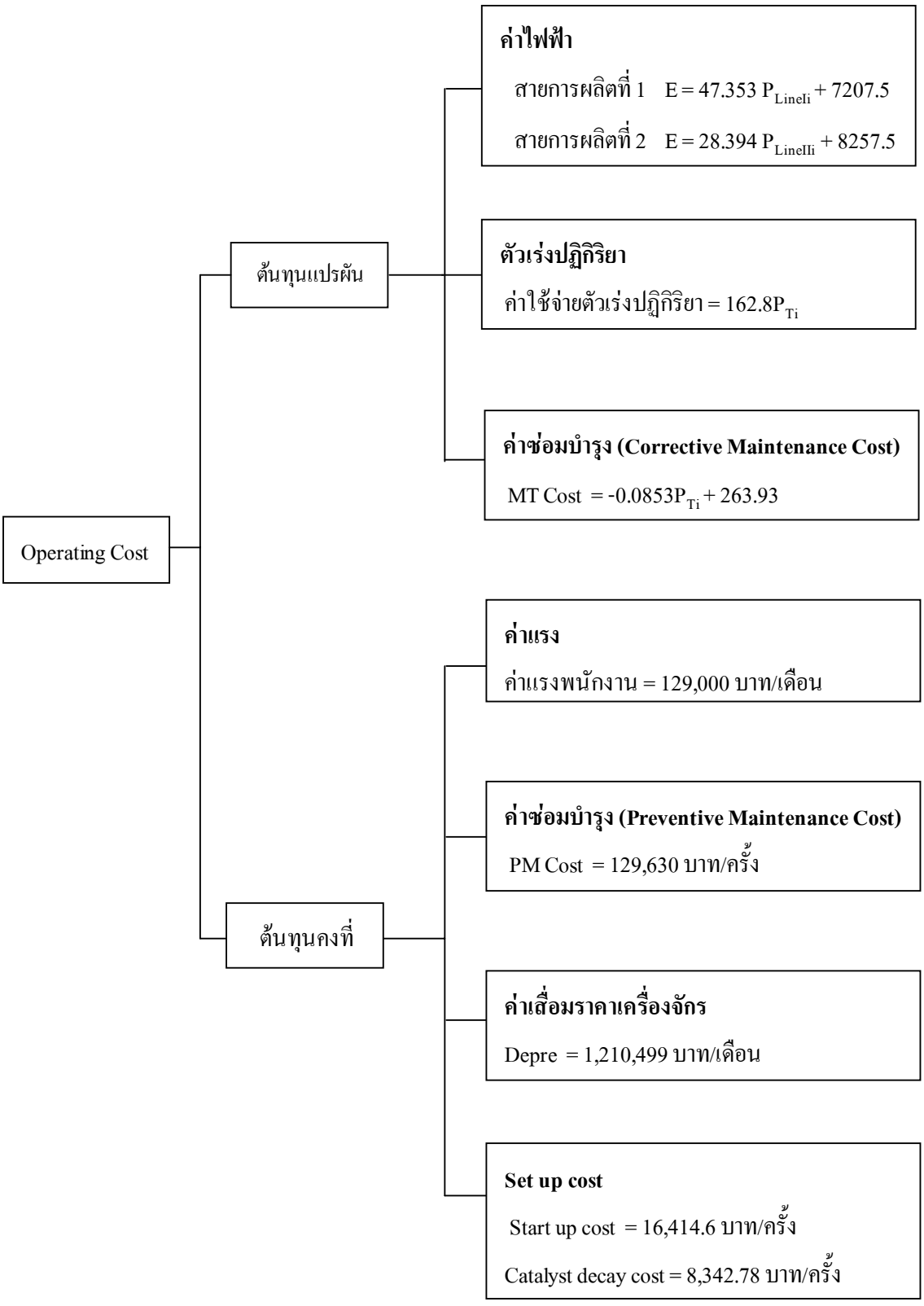
ในการทำปฏิกิริยาใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ใน Reactor เป็นตัวเปลี่ยนสารตั้งต้นเป็นผลิตภัณฑ์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยามีอัตราการเสื่อมสภาพจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง-ต่ำ ซึ่งกำหนดอัตราการเสื่อมสภาพอยู่ที่ 0.15% ต่อการหยุด-เดินเครื่องแต่ละครั้งจะได้ว่าการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยาในการเดินเครื่อง 1 ครั้งกำหนดได้เป็นดังนี้

$C_{decay}$= ค่าเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการหยุดเครื่อง 1 ครั้ง

$C_{decay}$= 0.0015x 5,561,850.25 ; 5,561,850.25 เป็นราคาตัวเร่งปฏิกิริยา

= 8342.78 บาท/ครั้ง

จากรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต มีทั้งส่วนของค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายแปรผันที่แปรผันตามจำนวนการผลิต ซึ่งแสดงรายละเอียดทั้งสองส่วนได้ดังรูปที่ 5.2




รูปที่ 5.2 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในส่วนของการผลิต

**Revenue (R)**

**รายได้จาก Steam ที่เกิดจากกระบวนการผลิต**

Steam ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสามารถกำหนดราคาไว้ที่ 1,075 บาท/ตัน ตามรายละเอียดในบทที่ 3 ซึ่งสามารถกำหนดตัวแปรและความสัมพันธ์ของรายได้ที่เกิดขึ้นดังนี้

$H_{\text{Steam Use i}}$ = ปริมาณ Steam ที่นำไปในเดือนที่ i ; i=1, 2, ..., 12

$R_i = 1075\ H_{\text{Steam Use i}}$ ; i=1, 2, ..., 12

โดยอัตราการใช้ Steam ที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีอัตรา 1.5 ตัน/ชั่วโมง หรือ 36 ตันต่อวัน โดยอัตราดังกล่าวเป็นอัตราเฉลี่ยการใช้งานที่เกิดขึ้น โดยในการผลิตจะมีอัตราการเกิดความร้อนต่อผลิตภัณฑ์ในอัตรา 1:1 ดังนั้นความร้อนที่เกิดจากกระบวนการมีจำนวนมากเกินพอ จึงพิจารณาตามจำนวนวันที่ทำการผลิตที่มีการเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง ซึ่งจากการเดินเครื่องจักรที่กำลังการผลิตต่ำที่สุดที่กำหนดก็ยังมีความร้อนจากกระบวนการพอใช้และมีส่วนที่มากเกินพอจากการใช้งานจะปล่อยทิ้ง ดังนั้น Revenue ที่ได้จาก Steam ในแต่ละวันถือเป็นค่าคงที่และจำนวนรวมจะแปรผันตามจำนวนวันในการผลิต

**ข้อมูลและสมมุติฐานอื่นๆ**

- ระยะเวลาการเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง 1 Period เท่ากับ 3 เดือน จำนวนวันในแต่ละเดือนผู้วางแผนเป็นผู้กำหนด

- ในการวางแผนกำหนดให้สภาพเครื่องจักรพร้อมใช้งานและอยู่ในสภาพปกติ ในการวางแผนการเดินเครื่องจักรต่อเนื่องไม่คำนึงถึงการหยุดเครื่องจักรฉุกเฉินจากความผิดปกติหรือการชำรุดของเครื่องจักร

- จำนวนวันในการผลิตแต่ละเดือนผู้วางแผนเป็นผู้กำหนดโดยจำนวนวันเป็นวันที่เดินเครื่องในกำลังการผลิตที่วางแผน ไม่นับรวมวัน Heat Up ซึ่งจะเริ่มก่อนล่วงหน้า 1 วัน

- การซ่อมบำรุงเชิงป้องกันหลังจากการหยุดเดินเครื่องจักรใช้เวลา 15 วัน โดยมีการตรวจเช็คเครื่องจักร อุปกรณ์ทั้งระบบ การตรวจสอบตัวเร่งปฏิกิริยาภายในห้องทดลอง การทำความสะอาดภายในหน่วยต่างๆ ของกระบวนการ การตรวจสอบสภาพภายในหน่วยต่างๆ ของกระบวนการ เป็นต้น โดยเมื่อทำการบำรุงรักษาเสร็จ เครื่องจักรพร้อมใช้งานในการเดินเครื่องผลิตใน Period ต่อไป หรือการเดินเครื่องกรณีที่สายการผลิตที่เดินเครื่องอยู่เกิดการหยุดเครื่องฉุกเฉินและไม่สามารถแก้ไขได้

- การวางแผนการผลิตโดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นในงานวิจัยนี้อยู่บนพื้นฐานของการเดินเครื่องจักรสายการผลิตเดียวในแต่ละ Period ไม่นับรวมการเดินเครื่องจักรพร้อมกัน 2 สายการผลิต เนื่องจากการเดินเครื่องสายการผลิตเดียวสามารถรองรับความต้องการที่มีได้

จากข้อมูลและตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนกำลังการผลิตและการคำนวณ สามารถแสดงรายละเอียดของทางเลือกในการวางแผนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ตามที่บริษัทต้องการได้ดังนี้

**1. กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากัน**

จากข้อกำหนดที่ต้องการเดินเครื่องจักรต่อเนื่องเป็นเวลา 3 เดือน โดยต้องการทราบปริมาณการผลิตในแต่ละเดือน เพื่อกำหนดกำลังการผลิตในแต่ละวัน ซึ่งกรณีนี้กำลังการผลิตสำหรับเดินเครื่องจักรแต่ละวันตลอดเวลา 3 เดือนควบคุมให้เท่ากันตลอด คือทำการปรับอัตราสารป้อนเข้าเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มเดินเครื่องจักรในต้นเดือนแรก แยกได้ 2 กรณีคือ

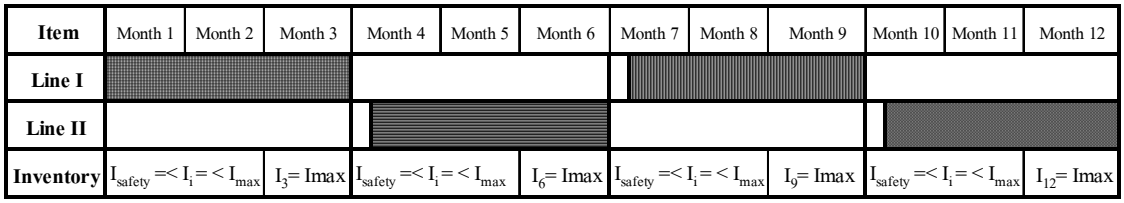
1. ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 มากกว่าระดับสำรองคลัง และน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ ซึ่งเป็นเงื่อนไขของสินค้าคงคลังปกติ เมื่อหยุดเครื่องจักรแล้วจะทำการเดินเครื่องจักรอีกสายการผลิตโดยไม่เว้นระยะเวลา (ทำการ Heat up ในวันที่ 1 และได้ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 2) แสดงได้ดังรูปที่ 5.3

| Item | Month 1 | Month 2 | Month 3 | Month 4 | Month 5 | Month 6 | Month 7 | Month 8 | Month 9 | Month 10 | Month 11 | Month 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Line I | | | | | | | | | | | | |
| Line II | | | | | | | | | | | | |
| Inventory | $I_{safety} =< I_i = < I_{max}$ | | | $I_{safety} =< I_i = < I_{max}$ | | | $I_{safety} =< I_i = < I_{max}$ | | | $I_{safety} =< I_i = < I_{max}$ | | |

กำหนดให้ = เดินเครื่องจักรและควบคุมกำลังการผลิตต่อวันเท่ากัน (กำลังการผลิตใน Period เดียวเท่ากัน)

รูปที่ 5.3 แผนการเดินเครื่องจักรและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกรณีควบคุมกำลังการผลิตเท่ากันตลอด Period และระดับคงคลังสิ้น Period มากกว่าระดับสำรองคลัง และน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้

2. ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 เท่ากับระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ เป็นเงื่อนไขที่ทางบริษัทกำหนดขึ้นเพื่อให้ระยะเวลาหลังจากการหยุดเดินเครื่องจักรก่อนการเดินเครื่องจักรใหม่ในอีกสายการผลิตเว้นระยะโดยสินค้าไม่ขาดมือ ซึ่งระยะเวลาหลังจากหยุดเครื่องจักรที่ระดับสินค้าคงคลังสูงสุดก่อนเดินเครื่องจักรใหม่เว้นระยะได้ 6 วัน (ทำการ Heat up ในวันที่ 6 และได้ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 7) แสดงได้ดังรูปที่ 5.4




กำหนดให้ = เดินเครื่องจักรและควบคุมกำลังการผลิตต่อวันเท่ากัน (กำลังการผลิตใน Period เดียวเท่ากัน)

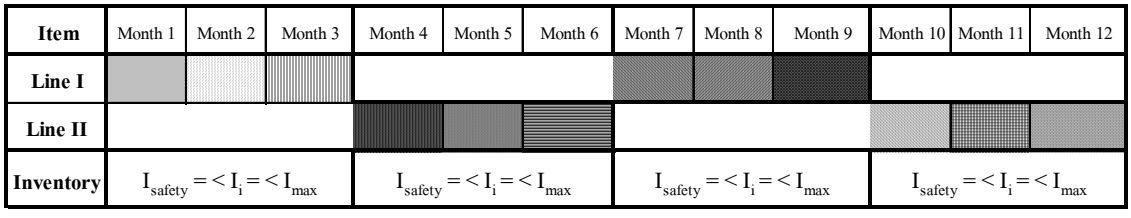
= เว้นระยะก่อนเดินเครื่องจักร 6 วัน

รูปที่ 5.4 แผนการเดินเครื่องจักรและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกรณีควบคุมกำลังการผลิตเท่ากันตลอด Period และระดับคงคลังสิ้น Period ก่อนการหยุดเครื่องจักรมีค่าสูงสุดที่รองรับได้

**2. กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน**

กรณีนี้กำลังการผลิตสำหรับเดินเครื่องจักรแต่ละวันในเดือนเดียวกันจะเท่ากันและกำหนดให้ปรับกำลังการผลิตเดือนละ 1 ครั้ง ณ เวลาต้นเดือน ดังนั้นกรณีนี้ทำการปรับอัตราสารป้อนเข้าตลอดการเดินเครื่องจักรทั้งหมด 3 ครั้ง แยกได้ 2 กรณีเช่นเดียวกัน

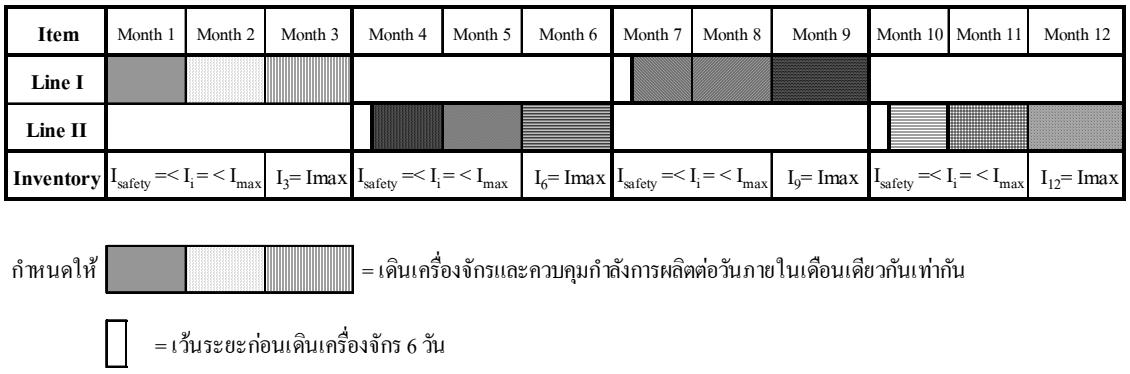
1.ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 มากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ แสดงได้ดังรูปที่ 5.5




กำหนดให้ = เดินเครื่องจักรและควบคุมกำลังการผลิตต่อวันภายในเดือนเดียวกันเท่ากัน

รูปที่ 5.5 แผนการเดินเครื่องจักรและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกรณีควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน และระดับคงคลังสิ้น Period มากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้

2. ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 เท่ากับระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ แสดงได้ดังรูปที่ 5.6




รูปที่ 5.6 แผนการเดินเครื่องจักรและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกรณีควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน และระดับคงคลังสิ้น Period ก่อนการหยุดเครื่องจักรมีค่าสูงสุดที่รองรับได้

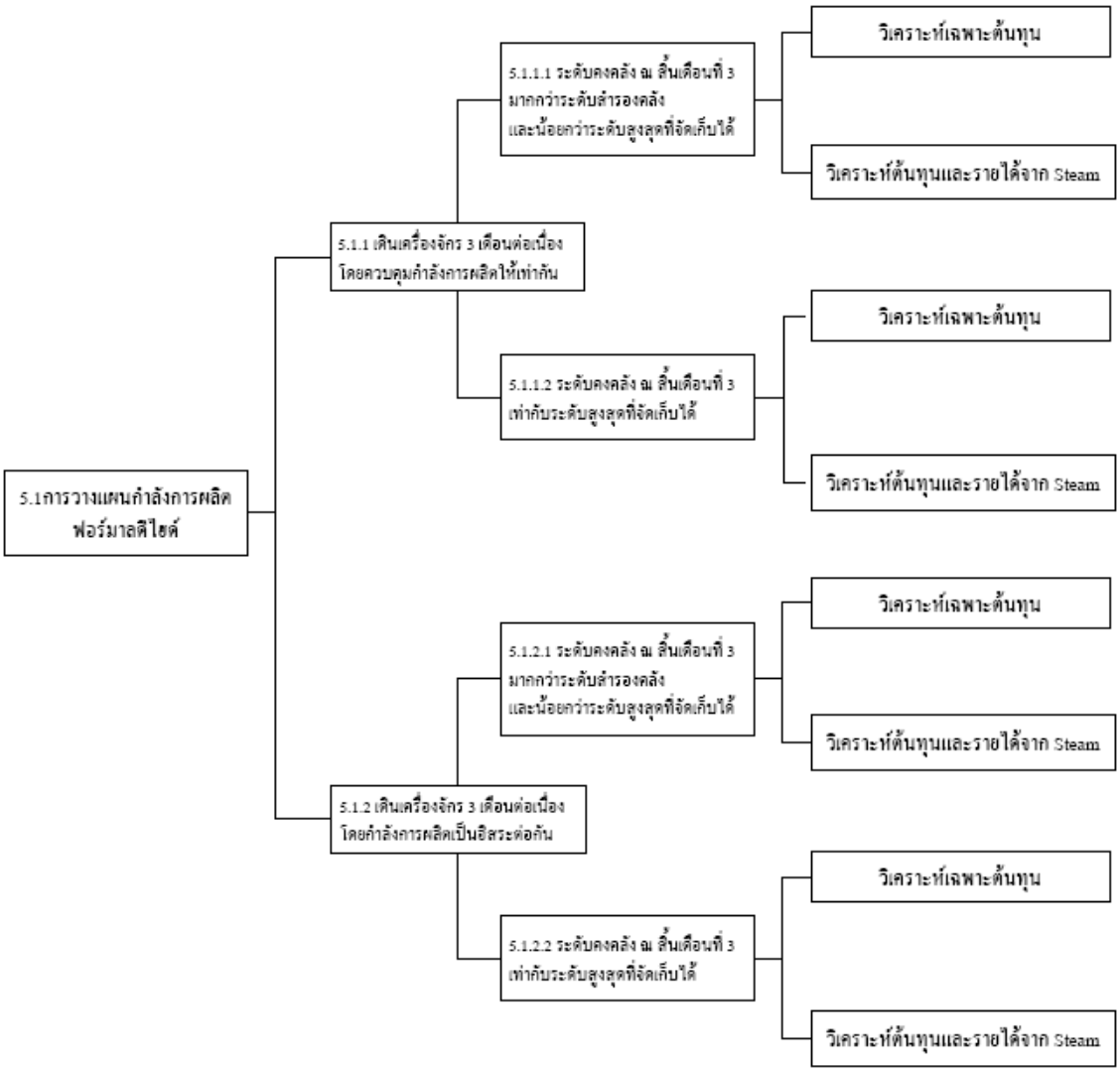
จากแนวทางที่นำเสนอจะแยกการหาคำตอบในการวางแผนกำลังการผลิตเป็น 2 กรณี คือ การพิจารณาเฉพาะต้นทุนเนื่องจากเป็นแนวทางในการคำนวณปัจจุบันของบริษัท และกรณีของการพิจารณาต้นทุนกับรายได้จากความร้อนที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ในการหาคำตอบของกำลังการผลิตในการเดินเครื่องจักรตามแนวทางที่กำหนดในแต่ละกรณีนั้น นำการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) มาช่วยในการหาคำตอบกำลังการผลิตที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์คือ หาจุดที่ต้นทุนต่ำสุด (สมการวัตถุประสงค์พิจารณา Operating Cost และ Inventory Holding Cost ) เมื่อได้คำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้นตรงจะนำไปคำนวณต้นทุนรวมและรายได้ซึ่งไม่แปรผันกับตัวแปรตัดสินใจ โดยเงื่อนไขที่กำหนด ด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงมีโครงสร้างดังนี้

1. สมการกำหนดเป้าหมาย (Objective Function) ในที่นี้คือต้นทุนที่ต่ำที่สุด

2. สมการแสดงขอบข่าย (Constraints) ข้อจำกัดของการผลิต ระดับสินค้าคงคลัง

3. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) คือตัวแปรที่ยังไม่รู้ค่าที่ต้องการหาคือกำลังการผลิต และระดับสินค้าคงคลัง ณ สิ้นเดือน

จากโครงสร้างของสมการเชิงเส้น เมื่อทำการกำหนดตัวแปรต่างๆ แล้วจะนำมาหาคำตอบโดยใช้ โปรแกรม Excel ในส่วนของ Solver เพื่อหาคำตอบ ซึ่งแสดงแนวทางทั้งหมดได้ดังรูปที่ 5.7




รูปที่ 5.7 แผนภาพแนวทางในการวางแผนกำลังการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์

**5.1.1. เดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากัน**

**5.1.1.1 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 มากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้**

จากนโยบายในการเดินเครื่องจักรที่กำหนดให้การเดินเครื่องต่อเนื่องระยะยาวได้สูงสุด 3 เดือน ก่อนการหยุดเพื่อทำการซ่อมบำรุง โดยทางเลือกนี้จะกำหนดให้กำลังการผลิตในการเดินเครื่องแต่ละวันตลอดเวลา 3 เดือน เท่ากัน คือจะปรับกำลังการผลิตเพียงครั้งเดียว และระดับสินค้าคงคลังในแต่ละเดือนให้มีค่ามากกว่าระดับสำรองคลังและไม่เกินระดับที่สามารถรองรับได้ แสดงการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่ทำให้ต้นทุนการผลิตและต้นทุนในการเก็บรักษาสินค้าต่ำที่สุด และนำมาพิจารณาหาต้นทุนรวมกับการวิเคราะห์ต้นทุนรวมกับรายได้จาก Steam โดยแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

**วิเคราะห์เฉพาะต้นทุน**

Total Cost = Operating $Cost_i$ + Inventory holding $cost_i$ + Start up $Cost_i$ + Catalyst Decay $Cost_i$

$$Total\ Cost = \sum_{i=1}^{12}(Operating\ Cost_i + Inventory\ Holding\ Cost_i + Start\ Up\ Cost_i + Catalyst\ Decay\ Cost_i)$$

โดยที่

Operating $Cost_i$ = Operating $Cost_i$ (Variable) + Operating $Cost_i$ (Fixed)

Operating $Cost_i$ (Variable) + Inventory holding $cost_i$ หาจากโปรแกรมเชิงเส้นตรง

Operating $Cost_i$ (Fixed) = Labor $Cost_i$ + Preventive Maintenance $Cost_i$
+ Machine Depreciation $Cost_i$

Labor $Cost_i$ = 129,000 ; i = 1, 2, …, 12

Preventive Maintenance $Cost_i$= 129,630 ; i = 3, 6, 9, 12

Machine Depreciation $Cost_i$ = 1,210,499 ; i = 1, 2, …, 12

Start up $Cost_i$ = $KN_i$ = 16414.6 $N_i$ ; i = 1, 2, …, 12

Catalyst decay $Cost_i$ = $C_{decay}$ $N_i$ = 8342.78 $N_i$ ; i = 1, 2, …, 12

$N_i$ = จำนวนครั้งในการเดินเครื่อง ในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …, 12

$N_i$ = ค่าคงที่

**วิเคราะห์ต้นทุนรวมกับรายได้จาก Steam**

Total Profit = $Revenue_i$- Operating $Cost_i$ - Inventory holding $cost_i$ - Start up $Cost_i$ – Catalyst Decay $Cost_i$)

$$Total\ Profit = \sum_{i=1}^{12} (Revenue_i - Operating\ Cost_i - Inventory\ Holding\ Cost_i - Start\ Up\ Cost_i - Catalyst\ Decay\ Cost_i)$$

โดยที่

Revenue $= 1075\ H_{Steam\ Use\ i}$ ; i = 1, 2, …, 12

(เมื่ออัตราการใช้ Steam เท่ากับ 1.5 ตัน/ชั่วโมง ซึ่ง $H_{Steam\ Use\ i} = 1.5(24)(n_i)$)

$n_i$ = จำนวนวันในการเดินเครื่องจักรต่อเนื่องในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …, 12

$n_i$ = ค่าคงที่

**โปรแกรมเชิงเส้นในการหากำลังการผลิต**

**Decision Variables**

$P_{Ti}$ = Total Production in Month i ; i = 1, 2, …, 12

$I_i$ = Total of Inventory in Month i ; i = 1, 2, …, 12

**Objective**

Minimize Costs

Minimize(Operating Cost (Variable) + Inventory holding cost)

$$Minimize\ Z = Minimize\ \sum_{i=1}^{12} (Operating\ Cost_i(Variable) + Inventory\ Holding\ Cost_i)$$

โดยที่

Operating $Cost_i$ (Variable) = Electric $Cost_i$+ Catalyst $Cost_i$+ Corrective Maintenance $Cost_i$

Electric $Cost_i = 2.65\ n_i\ (47.353P_{line\ Ii} + 7207.5) = 2.65\ n_i\ (47.353(P_{Ti}/n_i) + 7207.5)$

$= 2.65\ (47.353P_{Ti} + 7207.5\ n_i)$ สำหรับสายการผลิตที่ 1 ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

Electric $Cost_i = 2.65\ n_i\ (28.394P_{line\ IIi} + 8257.5) = 2.65\ n_i\ (28.394(P_{Ti}/n_i) + 8257.5)$

$= 2.65\ (28.394P_{Ti} + 8257.5\ n_i)$ สำหรับสายการผลิตที่ 2 ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

Catalyst $Cost_i = 162.8\ P_{Ti}$ ; i = 1, 2, …, 12

Corrective Maintenance $Cost_i = -127.48\ P_{Ti} + 443749$ ; i = 1, 2, …, 12

Inventory holding $cost_i = 124.58I_i + 77373$ ; i = 1, 2, …, 12

$n_i$ = จำนวนวันในการเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง ในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …, 12

**Subject to**

**1. Inventory Balance**

$\mathbf{I_{i-1} + P_{Ti} = D_i + I_i \quad ; i = 1, 2, \ldots, 12}$

$I_0$=895 ..... (Initial Inventory)

$I_0 + P_{T1} = D_1 + I_1$ .....(Month 1)

$I_1 + P_{T2} = D_2 + I_2$ .....(Month 2)

$I_2 + P_{T3} = D_3 + I_3$ .....(Month 3)

.

.

.

$I_{11} + P_{T12} = D_{12} + I_{12}$ .....(Month 12)

**2. Storage Capacity**

$\mathbf{I_{safety} \leq I_i \leq I_{max}}$

$501.8 \leq I_i \leq 1258.2$ ; i = 1, 2, 3, …, 12

**3. Production Constraint**

$P_{line\ Ii} = P_{Ti}/(n_i)$ ------> $P_{line\ Ii}\, n_i - P_{Ti} = 0$ ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$P_{line\ IIi} = P_{Ti}/(n_i)$ ------> $P_{line\ IIi}\, n_i - P_{Ti} = 0$ ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$60 \leq P_{LineIi} \leq 108$ .....(Production Capacity Line I) ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$58 \leq P_{LineIIi} \leq 96$ .....(Production Capacity Line II) ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$P_{LineI1} = P_{LineI2} = P_{LineI3}$

$P_{LineII4} = P_{LineII5} = P_{LineII6}$

$P_{LineI7} = P_{LineI8} = P_{LineI9}$

$P_{LineII10} = P_{LineII11} = P_{LineII12}$

$P_{Ti} \geq 0$ ; i = 1, 2, …, 12

จาก Objective Function และ Constraint ทำการหาค่าโดยใช้ Solver เพื่อหาค่าตัวแปรตัดสินใจและค่าที่ได้จากสมการวัตถุประสงค์ ซึ่งค่าที่ได้นำไปวิเคราะห์เป็น 2 กรณี คือนำไปหาต้นทุนรวม และต้นทุนกับรายได้จาก Steam ที่นำไปใช้ ซึ่งแสดงค่าตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 5.2 และค่าของตัวแปรตัดสินใจกับคำตอบของสมการวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 5.3 ซึ่งค่าที่ได้จากสมการวัตถุประสงค์เป็นต้นทุนของการผลิตและการจัดเก็บที่มีความผันแปรตามกำลังการผลิตนำมาวิเคราะห์ต้นทุนรวมดังตาราง ที่ 5.4 กับการวิเคราะห์ต้นทุนกับรายได้จาก Steam ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.2 ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอด

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Demand (Ton), $D_i$ | | 2163.2 | 2569.7 | 2360.3 | 1982.5 | 2532.7 | 2214.4 | 2636.4 | 2279.7 | 1994.8 | 2229 | 2113.9 | 2048.6 |
| Number of Production Run, $N_i$ | | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Production Run (day), $n_i$ | | 28 | 29 | 31 | 29 | 31 | 30 | 30 | 31 | 30 | 30 | 30 | 28 |
| Minimum capacity (Ton/day) | | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 |
| Maximum capacity (Ton/day) | | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 |
| Inventory Safety Stock , $I_{safety}$ | | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 |
| Maximum Inventory, $I_{Max}$ | | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 |

ตารางที่ 5.3 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอด

**Decision Variable**

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Production (Ton), $P_{Ti}$ | | **2131.8** | **2208.0** | **2360.2** | **2307.1** | **2466.2** | **2386.6** | **2206.2** | **2279.7** | **2206.2** | **2106.9** | **2106.9** | **1966.4** |
| Ending Inventory (Ton), $I_i$ | **895** | **863.6** | **501.9** | **501.8** | **826.4** | **759.8** | **932.0** | **501.8** | **501.8** | **713.2** | **591.0** | **584.0** | **501.8** |

**Other Variable**

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Production Capacity (Ton/day), $P_{lineIi/lineIIi}$ | | **76** | **76** | **76** | **80** | **80** | **80** | **74** | **74** | **74** | **70** | **70** | **70** |
| Production Capacity (%) | | 70.5 | 70.5 | 70.5 | 82.9 | 82.9 | 82.9 | 68.1 | 68.1 | 68.1 | 73.2 | 73.2 | 73.2 |
| Steam Generate (Ton), $H_{Steam\ Line\ Ii/LineIIi}$ | | 2131.8 | 2208.0 | 2360.2 | 2307.1 | 2466.2 | 2386.6 | 2206.2 | 2279.7 | 2206.2 | 2106.9 | 2106.9 | 1966.4 |
| Steam Use (Ton), $H_{Steam\ Use\ i}$ | | 1008.0 | 1044.0 | 1116.0 | 1044.0 | 1116.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1116.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1008.0 |

**Objective Value**

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Operating cost (Variable cost)** | | | | | | | | | | | | | |
| - Electric Cost (Baht) | | 802,308.7 | 830,962.5 | 888,270.3 | 808,181.5 | 863,918.1 | 836,049.8 | 849,837.4 | 878,165.3 | 849,837.4 | 815,000.4 | 815,000.4 | 760,667.1 |
| - Catalyst Cost (Baht) | | 347,060.0 | 359,455.0 | 384,245.0 | 375,589.2 | 401,491.9 | 388,540.6 | 359,163.1 | 371,135.2 | 359,163.1 | 342,997.7 | 342,997.7 | 320,131.2 |
| - Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 171,984.8 | 162,279.0 | 142,867.2 | 149,645.1 | 129,362.1 | 139,503.6 | 162,507.6 | 153,132.8 | 162,507.6 | 175,165.8 | 175,165.8 | 193,071.3 |
| **Inventory holding cost (Baht)** | | 184,963 | 139,896 | 139,887 | 180,321 | 172,032 | 193,486 | 139,887 | 139,887 | 166,219 | 151,003 | 150,127 | 139,887 |
| **Total cost (Baht)** | | 1,506,316 | 1,492,593 | 1,555,270 | 1,513,737 | 1,566,804 | 1,557,580 | 1,511,395 | 1,542,321 | 1,537,727 | 1,484,167 | 1,483,291 | 1,413,757 |

**Total (Baht)** **18,164,957**

(All Year)

ตารางที่ 5.4 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอด

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrical cost (Baht) | | 802,308.7 | 830,962.5 | 888,270.3 | 808,181.5 | 863,918.1 | 836,049.8 | 849,837.4 | 878,165.3 | 849,837.4 | 815,000.4 | 815,000.4 | 760,667.1 |
| Catalyst Cost (Baht) | | 347,060.0 | 359,455.0 | 384,245.0 | 375,589.2 | 401,491.9 | 388,540.6 | 359,163.1 | 371,135.2 | 359,163.1 | 342,997.7 | 342,997.7 | 320,131.2 |
| Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 171,984.8 | 162,279.0 | 142,867.2 | 149,645.1 | 129,362.1 | 139,503.6 | 162,507.6 | 153,132.8 | 162,507.6 | 175,165.8 | 175,165.8 | 193,071.3 |
| Labor Cost (Baht) | | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 |
| Preventive Maintenance Cost (Baht) | | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - |
| Machine Depreciation Cost (Baht) | | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 |
| Inventory holding cost (Baht) | | 184,962.6 | 139,896.3 | 139,887.2 | 180,320.8 | 172,032.1 | 193,486.4 | 139,887.2 | 139,887.2 | 166,218.6 | 151,003.1 | 150,126.8 | 139,887.2 |
| Stat up cost (Baht) | | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - |
| Catalyst decay value (Baht) | | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - |
| **Total (Baht)** | | 3,000,202 | 2,832,092 | 2,894,769 | 3,007,623 | 2,906,303 | 2,897,079 | 3,005,282 | 2,881,820 | 2,877,226 | 2,978,053 | 2,822,790 | 2,753,256 |

**Total Cost (Baht)** **34,856,494**

(All Year)

ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกับรายได้จาก Steam กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอด

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrical cost (Baht) | | -802,308.7 | -830,962.5 | -888,270.3 | -808,181.5 | -863,918.1 | -836,049.8 | -849,837.4 | -878,165.3 | -849,837.4 | -815,000.4 | -815,000.4 | - 760,667.1 |
| Catalyst Cost (Baht) | | -347,060.0 | -359,455.0 | -384,245.0 | -375,589.2 | -401,491.9 | -388,540.6 | -359,163.1 | -371,135.2 | -359,163.1 | -342,997.7 | -342,997.7 | - 320,131.2 |
| Corrective Maintenance Cost (Baht) | | -171,984.8 | -162,279.0 | -142,867.2 | -149,645.1 | -129,362.1 | -139,503.6 | -162,507.6 | -153,132.8 | -162,507.6 | -175,165.8 | -175,165.8 | - 193,071.3 |
| Labor Cost (Baht) | | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | - 129,000.0 |
| Preventive Maintenance Cost (Baht) | | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - |
| Machine Depreciation Cost (Baht) | | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | - 1,210,499 |
| Inventory holding cost (Baht) | | -184,962.6 | -139,896.3 | -139,887.2 | -180,320.8 | -172,032.1 | -193,486.4 | -139,887.2 | -139,887.2 | -166,218.6 | -151,003.1 | -150,126.8 | - 139,887.2 |
| Stat up cost (Baht) | | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - |
| Catalyst decay value (Baht) | | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - |
| Revenue (Baht) | | 1,083,600 | 1,122,300 | 1,199,700 | 1,122,300 | 1,199,700 | 1,161,000 | 1,161,000 | 1,199,700 | 1,161,000 | 1,161,000 | 1,161,000 | 1,083,600 |
| **Total (Baht)** | | -1,916,602 | -1,709,792 | -1,695,069 | -1,885,323 | -1,706,603 | -1,736,079 | -1,844,282 | -1,682,120 | -1,716,226 | -1,817,053 | -1,661,790 | - 1,669,656 |

** รายได้คิดเฉพาะรายได้จากความร้อนที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต โดยไม่รวมรายได้จากสินค้าขาย

**Total Profit (Baht)** **-21,040,594**
(All Year)

**5.1.1.2 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 เท่ากับระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้**

ทางเลือกนี้จะกำหนดให้กำลังการผลิตในการเดินเครื่องแต่ละวันตลอดเวลา 3 เดือนเท่ากัน และระดับสินค้าคงคลังในแต่ละเดือนให้มีค่ามากกว่าระดับสำรองคลังและไม่เกินระดับที่สามารถรองรับได้ และกำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 ก่อนการหยุดเครื่องอยู่ที่ระดับสูงสุด โดยการวิเคราะห์คำนวณหาต้นทุนและรายได้ใช้รายละเอียดที่แสดงแล้วในการคำนวณตามหัวข้อ 5.1.1.1 โดยรายละเอียดในการคำนวณโปรแกรมเชิงเส้น แสดงได้ดังนี้

**โปรแกรมเชิงเส้นในการหากำลังการผลิต**

**Decision Variables**

$P_{Ti}$ = Total Production in Month i ; i = 1, 2, …, 12

$I_i$ = Total of Inventory in Month i ; i = 1, 2, …, 12

**Objective**

Minimize Costs

Minimize(Operating Cost (Variable) + Inventory holding cost)

$$Minimize\ Z = Minimize\ \sum_{i=1}^{12}(Operating\ Cost_i(Variable) + Inventory\ Holding\ Cost_i\ )$$

โดยที่

Operating $Cost_i$ (Variable) = Electric $Cost_i$+ Catalyst $Cost_i$+ Corrective Maintenance $Cost_i$

Electric $Cost_i = 2.65\ n_i\ (47.353P_{line\ Ii} + 7207.5\ ) = 2.65\ n_i\ (47.353(P_{Ti}/n_i) + 7207.5)$

$= 2.65\ (47.353P_{Ti} + 7207.5\ n_i)$ สำหรับสายการผลิตที่ 1 ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

Electric $Cost_i = 2.65\ n_i\ (28.394P_{line\ IIi} + 8257.5\ ) = 2.65\ n_i\ (28.394(P_{Ti}/n_i) + 8257.5)$

$= 2.65\ (28.394P_{Ti} + 8257.5\ n_i)$ สำหรับสายการผลิตที่ 2 ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

Catalyst $Cost_i = 162.8\ P_{Ti}$ ; i = 1, 2, …, 12

Corrective Maintenance $Cost_i = -127.48\ P_{Ti} + 443749$ ; i = 1, 2, …, 12

Inventory holding $cost_i = 124.58I_i + 77373$ ; i = 1, 2, …, 12

$n_i$ = จำนวนวันในการเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง ในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …, 12

**Subject to**

**1. Inventory Balance**

$\mathbf{I_{i-1} + P_{Ti} = D_i + I_i \quad ; i = 1, 2, \ldots, 12}$

$I_0$=895 ..... (Initial Inventory)

$I_0 + P_{T1} = D_1 + I_1$ .....(Month 1)

$I_1 + P_{T2} = D_2 + I_2$ .....(Month 2)

$I_2 + P_{T3} = D_3 + I_3$ .....(Month 3)

.

.

.

$I_{11} + P_{T12} = D_{12} + I_{12}$ .....(Month 12)

**2. Storage Capacity**

$\mathbf{I_{safety} \leq I_i \leq I_{max} \quad ; i = 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11}$

$501.8 \leq I_i \leq 1258.2$ ; i = 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10,11

$\mathbf{I_i = I_{max} \quad ; i = 3, 6, 9, 12}$

$I_i$ =1258.2 ; i = 3, 6, 9, 12

**3. Production Constraint**

$P_{line\ Ii} = P_{Ti}/(n_i)$ ------> $P_{line\ Ii}\, n_i - P_{Ti} = 0$ ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$P_{line\ IIi} = P_{Ti}/(n_i)$ ------> $P_{line\ IIi}\, n_i - P_{Ti} = 0$ ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$60 \leq P_{LineIi} \leq 108$ .....(Production Capacity Line I) ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$58 \leq P_{LineIIi} \leq 96$ .....(Production Capacity Line II) ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$P_{LineI1} = P_{LineI2} = P_{LineI3}$

$P_{LineII4} = P_{LineII5} = P_{LineII6}$

$P_{LineI7} = P_{LineI8} = P_{LineI9}$

$P_{LineII10} = P_{LineII11} = P_{LineII12}$

$P_{Ti} \geq 0$ ; i = 1, 2, …, 12

จาก Objective Function และ Constraint ทำการหาค่าโดยใช้ Solver เพื่อหาค่าตัวแปรตัดสินใจและค่าที่ได้จากสมการวัตถุประสงค์ ซึ่งค่าที่ได้นำไปวิเคราะห์เป็น 2 กรณี คือนำไปหาต้นทุนรวม และต้นทุนกับรายได้จาก Steam ที่นำไปใช้ ซึ่งแสดงค่าตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 5.6 และค่าของตัวแปรตัดสินใจกับคำตอบของสมการวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 5.7 ซึ่งค่าที่ได้จากสมการวัตถุประสงค์เป็นต้นทุนของการผลิตและการจัดเก็บที่มีความผันแปรตามกำลังการผลิตนำมาวิเคราะห์ต้นทุนรวมดังตารา งที่ 5.8 กับการวิเคราะห์ต้นทุนกับรายได้จาก Steam ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.6 ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอดและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 สูงสุด

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Demand (Ton), $\mathbf{D_i}$ | | 2163.2 | 2569.7 | 2360.3 | 1982.5 | 2532.7 | 2214.4 | 2636.4 | 2279.7 | 1994.8 | 2229 | 2113.9 | 2048.6 |
| Number of Production Run, $\mathbf{N_i}$ | | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Production Run (day), $\mathbf{n_i}$ | | 28 | 29 | 31 | 24 | 31 | 30 | 25 | 31 | 30 | 25 | 30 | 28 |
| Minimum capacity (Ton/day) | | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 |
| Maximum capacity (Ton/day) | | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 |
| Inventory Safety Stock , $\mathbf{I_{safety}}$ | | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 |
| Maximum Inventory, $\mathbf{I_{Max}}$ | | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 |

ตารางที่ 5.7 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอดและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด

**Decision Variable**

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Production (Ton), $P_{Ti}$ | | **2372.5** | **2457.2** | **2626.7** | **1900.1** | **2454.3** | **2375.2** | **2009.0** | **2491.1** | **2410.8** | **1925.2** | **2310.2** | **2156.2** |
| Ending Inventory (Ton), $I_i$ | **895** | **1104.3** | **991.8** | **1258.2** | **1175.8** | **1097.4** | **1258.2** | **630.8** | **842.2** | **1258.2** | **954.4** | **1150.6** | **1258.2** |

**Other Variable**

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Production Capacity (Ton/day), $P_{lineIi/\ lineIIi}$ | | **85** | **85** | **85** | **79** | **79** | **79** | **80** | **80** | **80** | **77** | **77** | **77** |
| Production Capacity (%) | | 78.5 | 78.5 | 78.5 | 82.5 | 82.5 | 82.5 | 74.4 | 74.4 | 74.4 | 80.2 | 80.2 | 80.2 |
| Steam Generate (Ton), $H_{Steam\ Line\ Ii/LineIIi}$ | | 2372.5 | 2457.2 | 2626.7 | 1900.1 | 2454.3 | 2375.2 | 2009.0 | 2491.1 | 2410.8 | 1925.2 | 2310.2 | 2156.2 |
| Steam Use (Ton), $H_{Steam\ Use\ i}$ | | 1008.0 | 1044.0 | 1116.0 | 864.0 | 1116.0 | 1080.0 | 900.0 | 1116.0 | 1080.0 | 900.0 | 1080.0 | 1008.0 |

**Objective Value**

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Operating cost (Variable cost)** | | | | | | | | | | | | | |
| - Electric Cost (Baht) | | 832,509.6 | 862,242.1 | 921,707.0 | 668,150.0 | 863,027.1 | 835,187.5 | 729,595.0 | 904,697.7 | 875,513.9 | 691,915.6 | 830,298.7 | 774,945.5 |
| - Catalyst Cost (Baht) | | 386,241.5 | 400,035.9 | 427,624.5 | 309,339.9 | 399,564.1 | 386,674.9 | 327,062.4 | 405,557.3 | 392,474.8 | 313,414.5 | 376,097.4 | 351,024.3 |
| - Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 141,303.9 | 130,502.2 | 108,899.0 | 201,521.4 | 130,871.7 | 140,964.5 | 187,643.9 | 126,178.7 | 136,422.9 | 198,330.8 | 149,247.2 | 168,880.6 |
| **Inventory holding cost (Baht)** | | 214,946 | 200,933 | 234,120 | 223,857 | 214,093 | 234,120 | 155,956 | 182,297 | 234,120 | 196,266 | 220,719 | 234,120 |
| **Total cost (Baht)** | | 1,575,001 | 1,593,713 | 1,692,350 | 1,402,868 | 1,607,556 | 1,596,946 | 1,400,257 | 1,618,731 | 1,638,531 | 1,399,927 | 1,576,362 | 1,528,970 |

**Total (Baht)** **18,631,212**

(All Year)

ตารางที่ 5.8 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอดและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrical cost (Baht) | | 832,509.6 | 862,242.1 | 921,707.0 | 668,150.0 | 863,027.1 | 835,187.5 | 729,595.0 | 904,697.7 | 875,513.9 | 691,915.6 | 830,298.7 | 774,945.5 |
| Catalyst Cost (Baht) | | 386,241.5 | 400,035.9 | 427,624.5 | 309,339.9 | 399,564.1 | 386,674.9 | 327,062.4 | 405,557.3 | 392,474.8 | 313,414.5 | 376,097.4 | 351,024.3 |
| Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 141,303.9 | 130,502.2 | 108,899.0 | 201,521.4 | 130,871.7 | 140,964.5 | 187,643.9 | 126,178.7 | 136,422.9 | 198,330.8 | 149,247.2 | 168,880.6 |
| Labor Cost (Baht) | | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 |
| Preventive Maintenance Cost (Baht) | | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - |
| Machine Depreciation Cost (Baht) | | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 |
| Inventory holding cost (Baht) | | 214,945.6 | 200,933.1 | 234,119.6 | 223,856.9 | 214,093.0 | 234,119.6 | 155,955.9 | 182,296.9 | 234,119.6 | 196,266.0 | 220,718.6 | 234,119.6 |
| Stat up cost (Baht) | | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - |
| Catalyst decay value (Baht) | | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - |
| **Total (Baht)** | | 3,068,887 | 2,933,212 | 3,031,849 | 2,896,755 | 2,947,055 | 2,936,445 | 2,894,143 | 2,958,230 | 2,978,030 | 2,893,813 | 2,915,861 | 2,868,469 |

**Total Cost (Baht)** **35,322,750**

(All Year)

ตารางที่ 5.9 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกับรายได้จาก Steam กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากันโดยตลอดและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrical cost (Baht) | | -832,509.6 | -862,242.1 | -921,707.0 | -668,150.0 | -863,027.1 | -835,187.5 | -729,595.0 | -904,697.7 | -875,513.9 | -691,915.6 | -830,298.7 | - 774,945.5 |
| Catalyst Cost (Baht) | | -386,241.5 | -400,035.9 | -427,624.5 | -309,339.9 | -399,564.1 | -386,674.9 | -327,062.4 | -405,557.3 | -392,474.8 | -313,414.5 | -376,097.4 | - 351,024.3 |
| Corrective Maintenance Cost (Baht) | | -141,303.9 | -130,502.2 | -108,899.0 | -201,521.4 | -130,871.7 | -140,964.5 | -187,643.9 | -126,178.7 | -136,422.9 | -198,330.8 | -149,247.2 | - 168,880.6 |
| Labor Cost (Baht) | | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | - 129,000.0 |
| Preventive Maintenance Cost (Baht) | | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - |
| Machine Depreciation Cost (Baht) | | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | - 1,210,499 |
| Inventory holding cost (Baht) | | -214,945.6 | -200,933.1 | -234,119.6 | -223,856.9 | -214,093.0 | -234,119.6 | -155,955.9 | -182,296.9 | -234,119.6 | -196,266.0 | -220,718.6 | - 234,119.6 |
| Stat up cost (Baht) | | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - |
| Catalyst decay value (Baht) | | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - |
| Revenue (Baht) | | 1,083,600 | 1,122,300 | 1,199,700 | 928,800 | 1,199,700 | 1,161,000 | 967,500 | 1,199,700 | 1,161,000 | 967,500 | 1,161,000 | 1,083,600 |
| **Total (Baht)** | | -1,985,287 | -1,810,912 | -1,832,149 | -1,967,955 | -1,747,355 | -1,775,445 | -1,926,643 | -1,758,530 | -1,817,030 | -1,926,313 | -1,754,861 | - 1,784,869 |

** รายได้คิดเฉพาะรายได้จากความร้อนที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต โดยไม่รวมรายได้จากสินค้าขาย

**Total Profit (Baht)** **-22,087,350**

(All Year)

### 5.1.2 เดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน

**5.1.2.1 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 มากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้**

แนวทางนี้จะกำหนดให้กำลังการผลิตในการเดินเครื่องจะกำหนดให้กำลังการผลิตในการเดินเครื่องแต่ละเดือนเป็นอิสระต่อกัน และระดับสินค้าคงคลังในแต่ละเดือนให้มีค่ามากกว่าระดับสำรองคลังและไม่เกินระดับที่สามารถรองรับได้ โดยจะปรับกำลังการผลิตเดือนละ 1 ครั้ง ณ เวลาต้นเดือน แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

**โปรแกรมเชิงเส้นในการหากำลังการผลิต**

**Decision Variables**

$P_{Ti}$ = Total Production in Month i ; i = 1, 2, …, 12

$I_i$ = Total of Inventory in Month i ; i = 1, 2, …, 12

**Objective**

Minimize Costs

Minimize(Operating Cost (Variable) + Inventory holding cost)

$$Minimize\ Z = Minimize\ \sum_{i=1}^{12} (Operating\ Cost_i(Variable) + Inventory\ Holding\ Cost_i\ )$$

โดยที่

$Operating\ Cost_i(Variable) = Electric\ Cost_i + Catalyst\ Cost_i + Corrective\ Maintenance\ Cost_i$

$Electric\ Cost_i = 2.65\ n_i\ (47.353 P_{line\ Ii} + 7207.5\ ) = 2.65\ n_i\ (47.353(P_{Ti}/n_i) + 7207.5)$

$= 2.65\ (47.353 P_{Ti} + 7207.5\ n_i)$ สำหรับสายการผลิตที่ 1 ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$Electric\ Cost_i = 2.65\ n_i\ (28.394 P_{line\ IIi} + 8257.5\ ) = 2.65\ n_i\ (28.394(P_{Ti}/n_i) + 8257.5)$

$= 2.65\ (28.394 P_{Ti} + 8257.5\ n_i)$ สำหรับสายการผลิตที่ 2 ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$Catalyst\ Cost_i = 162.8\ P_{Ti}$ ; i = 1, 2, …, 12

$Corrective\ Maintenance\ Cost_i = -127.48\ P_{Ti} + 443749$ ; i = 1, 2, …, 12

$Inventory\ holding\ cost_i = 124.58 I_i + 77373$ ; i = 1, 2, …, 12

$n_i$ = จำนวนวันในการเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง ในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …, 12

**Subject to**

1. **Inventory Balance**

$\mathbf{I_{i-1} + P_{Ti} = D_i + I_i \quad ; i = 1, 2, \ldots, 12}$

$I_0$=895 ..... (Initial Inventory)

$I_0 + P_{T1} = D_1 + I_1$ .....(Month 1)

$I_1 + P_{T2} = D_2 + I_2$ .....(Month 2)

$I_2 + P_{T3} = D_3 + I_3$ .....(Month 3)

.

.

.

$I_{11} + P_{T12} = D_{12} + I_{12}$ .....(Month 12)

2. **Storage Capacity**

$\mathbf{I_{safety} \leq I_i \leq I_{max}}$

$501.8 \leq I_i \leq 1258.2$ ; i = 1, 2, 3, …, 12

3. **Production Constraint**

$P_{line\ Ii} = P_{Ti}/(n_i)$ ------> $P_{line\ Ii}\, n_i - P_{Ti} = 0$ ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$P_{line\ IIi} = P_{Ti}/(n_i)$ ------> $P_{line\ IIi}\, n_i - P_{Ti} = 0$ ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$60 \leq P_{LineIi} \leq 108$ .....(Production Capacity Line I) ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$58 \leq P_{LineIIi} \leq 96$ .....(Production Capacity Line II) ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$P_{Ti} \geq 0$ ; i = 1, 2, …, 12

จาก Objective Function และ Constraint ทำการหาค่าโดยใช้ Solver เพื่อหาค่าตัวแปรตัดสินใจและค่าที่ได้จากสมการวัตถุประสงค์ ซึ่งค่าที่ได้นำไปวิเคราะห์เป็น 2 กรณี คือนำไปหาต้นทุนรวม และต้นทุนกับรายได้จาก Steam ที่นำไปใช้ ซึ่งแสดงค่าตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 5.10 และค่าของตัวแปรตัดสินใจกับคำตอบของสมการวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 5.11 ซึ่งค่าที่ได้จากสมการวัตถุประสงค์เป็นต้นทุนของการผลิตและการจัดเก็บที่มีความผันแปรตามกำลังการผลิตนำมาวิเคราะห์ต้นทุนรวมดังตาราง ที่ 5.12 กับการวิเคราะห์ต้นทุนกับรายได้จาก Steam ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.10 ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Demand (Ton), $D_i$ | | 2163.2 | 2569.7 | 2360.3 | 1982.5 | 2532.7 | 2214.4 | 2636.4 | 2279.7 | 1994.8 | 2229 | 2113.9 | 2048.6 |
| Number of Production Run, $N_i$ | | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Production Run (day), $n_i$ | | 28 | 29 | 31 | 29 | 31 | 30 | 30 | 31 | 30 | 30 | 30 | 28 |
| Minimum capacity (Ton/day) | | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 |
| Maximum capacity (Ton/day) | | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 |
| Inventory Safety Stock , $I_{safety}$ | | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 |
| Maximum Inventory, $I_{Max}$ | | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 |

ตารางที่ 5.11 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน

**Decision Variable**

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Production (Ton), $P_{Ti}$ | | **1770.0** | **2569.7** | **2360.3** | **1982.5** | **2532.7** | **2214.4** | **2636.4** | **2279.7** | **1994.8** | **2229.0** | **2113.9** | **2048.6** |
| Ending Inventory (Ton), $I_i$ | **895** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** |

**Other Variable**

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Production Capacity (Ton/day), $P_{lineIi/\ lineIIi}$ | | **63** | **89** | **76** | **68** | **82** | **74** | **88** | **74** | **66** | **74** | **70** | **73** |
| Production Capacity (%) | | 58.5 | 82.0 | 70.5 | 71.2 | 85.1 | 76.9 | 81.4 | 68.1 | 61.6 | 77.4 | 73.4 | 76.2 |
| Steam Generate (Ton), $H_{Steam\ Line\ Ii/LineIIi}$ | | 1770.0 | 2569.7 | 2360.3 | 1982.5 | 2532.7 | 2214.4 | 2636.4 | 2279.7 | 1994.8 | 2229.0 | 2113.9 | 2048.6 |
| Steam Use (Ton), $H_{Steam\ Use\ i}$ | | 1008.0 | 1044.0 | 1116.0 | 1044.0 | 1116.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1116.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1008.0 |

**Objective Value**

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Operating cost (Variable cost)** | | | | | | | | | | | | | |
| - Electric Cost (Baht) | | 756,905.7 | 876,356.3 | 888,279.4 | 783,760.3 | 868,924.4 | 823,091.8 | 903,826.1 | 878,165.3 | 823,314.6 | 824,190.3 | 815,529.8 | 766,851.6 |
| - Catalyst Cost (Baht) | | 288,156.0 | 418,347.2 | 384,256.8 | 322,751.0 | 412,323.6 | 360,504.3 | 429,205.9 | 371,135.2 | 324,753.4 | 362,881.2 | 344,142.9 | 333,512.1 |
| - Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 218,109.4 | 116,163.6 | 142,858.0 | 191,019.9 | 120,880.4 | 161,457.3 | 107,660.7 | 153,132.8 | 189,451.9 | 159,596.1 | 174,269.0 | 182,593.5 |
| **Inventory holding cost (Baht)** | | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 |
| **Total cost (Baht)** | | 1,403,058 | 1,550,754 | 1,555,281 | 1,437,418 | 1,542,016 | 1,484,941 | 1,580,580 | 1,542,321 | 1,477,407 | 1,486,555 | 1,473,829 | 1,422,844 |

**Total (Baht)** **17,957,005**

(All Year)

ตารางที่ 5.12 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrical cost (Baht) | | 756,905.7 | 876,356.3 | 888,279.4 | 783,760.3 | 868,924.4 | 823,091.8 | 903,826.1 | 878,165.3 | 823,314.6 | 824,190.3 | 815,529.8 | 766,851.6 |
| Catalyst Cost (Baht) | | 288,156.0 | 418,347.2 | 384,256.8 | 322,751.0 | 412,323.6 | 360,504.3 | 429,205.9 | 371,135.2 | 324,753.4 | 362,881.2 | 344,142.9 | 333,512.1 |
| Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 218,109.4 | 116,163.6 | 142,858.0 | 191,019.9 | 120,880.4 | 161,457.3 | 107,660.7 | 153,132.8 | 189,451.9 | 159,596.1 | 174,269.0 | 182,593.5 |
| Labor Cost (Baht) | | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 |
| Preventive Maintenance Cost (Baht) | | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - |
| Machine Depreciation Cost (Baht) | | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 |
| Inventory holding cost (Baht) | | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 |
| Stat up cost (Baht) | | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - |
| Catalyst decay value (Baht) | | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - |
| **Total (Baht)** | | 2,896,945 | 2,890,253 | 2,894,780 | 2,931,305 | 2,881,515 | 2,824,440 | 3,074,466 | 2,881,820 | 2,816,906 | 2,980,441 | 2,813,328 | 2,762,343 |

**Total Cost (Baht)** **34,648,542**

(All Year)

ตารางที่ 5.13 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกับรายได้จาก Steam กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrical cost (Baht) | | -756,905.7 | -876,356.3 | -888,279.4 | -783,760.3 | -868,924.4 | -823,091.8 | -903,826.1 | -878,165.3 | -823,314.6 | -824,190.3 | -815,529.8 | - 766,851.6 |
| Catalyst Cost (Baht) | | -288,156.0 | -418,347.2 | -384,256.8 | -322,751.0 | -412,323.6 | -360,504.3 | -429,205.9 | -371,135.2 | -324,753.4 | -362,881.2 | -344,142.9 | - 333,512.1 |
| Corrective Maintenance Cost (Baht) | | -218,109.4 | -116,163.6 | -142,858.0 | -191,019.9 | -120,880.4 | -161,457.3 | -107,660.7 | -153,132.8 | -189,451.9 | -159,596.1 | -174,269.0 | - 182,593.5 |
| Labor Cost (Baht) | | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | - 129,000.0 |
| Preventive Maintenance Cost (Baht) | | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - |
| Machine Depreciation Cost (Baht) | | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | - 1,210,499 |
| Inventory holding cost (Baht) | | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | - 139,887.2 |
| Stat up cost (Baht) | | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - |
| Catalyst decay value (Baht) | | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - |
| Revenue (Baht) | | 1,083,600 | 1,122,300 | 1,199,700 | 1,122,300 | 1,199,700 | 1,161,000 | 1,161,000 | 1,199,700 | 1,161,000 | 1,161,000 | 1,161,000 | 1,083,600 |
| **Total (Baht)** | | -1,813,345 | -1,767,953 | -1,695,080 | -1,809,005 | -1,681,815 | -1,663,440 | -1,913,466 | -1,682,120 | -1,655,906 | -1,819,441 | -1,652,328 | - 1,678,743 |

** รายได้คิดเฉพาะรายได้จากความร้อนที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต โดยไม่รวมรายได้จากสินค้าขาย

**Total Profit (Baht)** **-20,832,642**

(All Year)

**5.1.2.2 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 เท่ากับระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้**

แนวทางนี้กำหนดให้กำลังการผลิตในการเดินเครื่องแต่ละเดือนเป็นอิสระต่อกัน และระดับสินค้าคงคลังในแต่ละเดือนให้มีค่ามากกว่าระดับสำรองคลังและไม่เกินระดับที่สามารถรองรับได้ และกำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 ก่อนการหยุดเครื่องอยู่ที่ระดับสูงสุด แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

**โปรแกรมเชิงเส้นในการหากำลังการผลิต**

**Decision Variables**

$P_{Ti}$ = Total Production in Month i ; i = 1, 2, …, 12

$I_i$ = Total of Inventory in Month i ; i = 1, 2, …, 12

**Objective**

Minimize Costs

Minimize(Operating Cost (Variable) + Inventory holding cost)

$$Minimize\ Z = Minimize\ \sum_{i=1}^{12} (Operating\ Cost_i\ (Variable) + Inventory\ Holding\ Cost_i\ )$$

โดยที่

Operating $Cost_i$ (Variable) = Electric $Cost_i$ + Catalyst $Cost_i$ + Corrective Maintenance $Cost_i$

Electric $Cost_i = 2.65\ n_i\ (47.353P_{line\ Ii} + 7207.5) = 2.65\ n_i\ (47.353(P_{Ti}/n_i) + 7207.5)$

$= 2.65\ (47.353P_{Ti} + 7207.5\ n_i)$ สำหรับสายการผลิตที่ 1 ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

Electric $Cost_i = 2.65\ n_i\ (28.394P_{line\ IIi} + 8257.5) = 2.65\ n_i\ (28.394(P_{Ti}/n_i) + 8257.5)$

$= 2.65\ (28.394P_{Ti} + 8257.5\ n_i)$ สำหรับสายการผลิตที่ 2 ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

Catalyst $Cost_i = 162.8\ P_{Ti}$ ; i = 1, 2, …, 12

Corrective Maintenance $Cost_i = -127.48\ P_{Ti} + 443749$ ; i = 1, 2, …, 12

Inventory holding $cost_i = 124.58I_i + 77373$ ; i = 1, 2, …, 12

$n_i$ = จำนวนวันในการเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง ในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …, 12

**Subject to**

**1. Inventory Balance**

$\mathbf{I_{i-1} + P_{Ti} = D_i + I_i \quad ; i = 1, 2, \ldots, 12}$

$I_0$=895 ..... (Initial Inventory)

$I_0 + P_{T1} = D_1 + I_1$ .....(Month 1)

$I_1 + P_{T2} = D_2 + I_2$ .....(Month 2)

$I_2 + P_{T3} = D_3 + I_3$ .....(Month 3)

.

.

.

$I_{11} + P_{T12} = D_{12} + I_{12}$ .....(Month 12)

**2. Storage Capacity**

$\mathbf{I_{safety} \leq I_i \leq I_{max} \quad ; i = 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11}$

$501.8 \leq I_i \leq 1258.2$ ; i = 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10,11

$\mathbf{I_i = I_{max} \quad ; i = 3, 6, 9, 12}$

$I_i = 1258.2$ ; i = 3, 6, 9, 12

**3. Production Constraint**

$P_{line\ Ii} = P_{Ti} / (n_i)$ ------> $P_{line\ Ii} n_i - P_{Ti} = 0$ ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$P_{line\ IIi} = P_{Ti} / (n_i)$ ------> $P_{line\ IIi} n_i - P_{Ti} = 0$ ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$60 \leq P_{LineIi} \leq 108$ .....(Production Capacity Line I) ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$58 \leq P_{LineIIi} \leq 96$ .....(Production Capacity Line II) ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$P_{Ti} \geq 0$ ; i = 1, 2, …, 12

จาก Objective Function และ Constraint ทำการหาค่าโดยใช้ Solver เพื่อหาค่าตัวแปรตัดสินใจและค่าที่ได้จากสมการวัตถุประสงค์ ซึ่งค่าที่ได้นำไปวิเคราะห์เป็น 2 กรณี คือนำไปหาต้นทุนรวม และต้นทุนกับรายได้จาก Steam ที่นำไปใช้ ซึ่งแสดงค่าตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 5.14 และค่าของตัวแปรตัดสินใจกับคำตอบของสมการวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 5.15 ซึ่งค่าที่ได้จากสมการวัตถุประสงค์เป็นต้นทุนของการผลิตและการจัดเก็บที่มีความผันแปรตามกำลังการผลิตนำมาวิเคราะห์ต้นทุนรวมดังตารางที่ 5.16 กับการวิเคราะห์ต้นทุนกับรายได้จาก Steam ดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.14 ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 สูงสุด

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Demand (Ton), $D_i$ | | 2163.2 | 2569.7 | 2360.3 | 1982.5 | 2532.7 | 2214.4 | 2636.4 | 2279.7 | 1994.8 | 2229 | 2113.9 | 2048.6 |
| Number of Production Run, $N_i$ | | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Production Run (day), $n_i$ | | 28 | 29 | 31 | 24 | 31 | 30 | 25 | 31 | 30 | 25 | 30 | 28 |
| Minimum capacity (Ton/day) | | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 |
| Maximum capacity (Ton/day) | | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 |
| Inventory Safety Stock , $I_{safety}$ | | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 |
| Maximum Inventory, $I_{Max}$ | | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 |

ตารางที่ 5.15 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด

**Decision Variable**

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Production (Ton), $P_{Ti}$ | | **1770.0** | **2569.7** | **3116.7** | **1392.0** | **2457.6** | **2880.0** | **1880.0** | **2279.7** | **2751.2** | **1472.6** | **2230.9** | **2688.0** |
| Ending Inventory (Ton), $I_i$ | **895** | **501.8** | **501.8** | **1258.2** | **667.7** | **592.6** | **1258.2** | **501.8** | **501.8** | **1258.2** | **501.8** | **618.8** | **1258.2** |

**Other Variable**

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Production Capacity (Ton/day), $P_{lineIi/\ lineIIi}$ | | **63** | **89** | **101** | **58** | **79** | **96** | **75** | **74** | **92** | **59** | **74** | **96** |
| Production Capacity (%) | | 58.5 | 82.0 | 93.1 | 60.4 | 82.6 | 100.0 | 69.6 | 68.1 | 84.9 | 61.4 | 77.5 | 100.0 |
| Steam Generate (Ton), $H_{Steam\ Line\ Ii/LineIIi}$ | | 1770.0 | 2569.7 | 3116.7 | 1392.0 | 2457.6 | 2880.0 | 1880.0 | 2279.7 | 2751.2 | 1472.6 | 2230.9 | 2688.0 |
| Steam Use (Ton), $H_{Steam\ Use\ i}$ | | 1008.0 | 1044.0 | 1116.0 | 864.0 | 1116.0 | 1080.0 | 900.0 | 1116.0 | 1080.0 | 900.0 | 1080.0 | 1008.0 |

**Objective Value**

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Operating cost (Variable cost)** | | | | | | | | | | | | | |
| - Electric Cost (Baht) | | 756,905.7 | 876,356.3 | 983,196.6 | 629,916.8 | 863,273.5 | 873,174.3 | 713,409.5 | 878,165.3 | 918,231.8 | 657,863.8 | 824,333.3 | 814,962.6 |
| - Catalyst Cost (Baht) | | 288,156.0 | 418,347.2 | 507,398.8 | 226,617.6 | 400,097.3 | 468,864.0 | 306,064.0 | 371,135.2 | 447,895.4 | 239,739.3 | 363,190.5 | 437,606.4 |
| - Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 218,109.4 | 116,163.6 | 46,432.1 | 266,296.8 | 130,454.2 | 76,606.6 | 204,086.6 | 153,132.8 | 93,026.0 | 256,022.0 | 159,353.9 | 101,082.8 |
| **Inventory holding cost (Baht)** | | 139,887 | 139,887 | 234,120 | 160,555 | 151,199 | 234,120 | 139,887 | 139,887 | 234,120 | 139,887 | 154,463 | 234,120 |
| **Total cost (Baht)** | | 1,403,058 | 1,550,754 | 1,771,147 | 1,283,386 | 1,545,024 | 1,652,764 | 1,363,447 | 1,542,321 | 1,693,273 | 1,293,512 | 1,501,341 | 1,587,771 |

**Total (Baht)** **18,187,800**

(All Year)

ตารางที่ 5.16 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrical cost (Baht) | | 756,905.7 | 876,356.3 | 983,196.6 | 629,916.8 | 863,273.5 | 873,174.3 | 713,409.5 | 878,165.3 | 918,231.8 | 657,863.8 | 824,333.3 | 814,962.6 |
| Catalyst Cost (Baht) | | 288,156.0 | 418,347.2 | 507,398.8 | 226,617.6 | 400,097.3 | 468,864.0 | 306,064.0 | 371,135.2 | 447,895.4 | 239,739.3 | 363,190.5 | 437,606.4 |
| Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 218,109.4 | 116,163.6 | 46,432.1 | 266,296.8 | 130,454.2 | 76,606.6 | 204,086.6 | 153,132.8 | 93,026.0 | 256,022.0 | 159,353.9 | 101,082.8 |
| Labor Cost (Baht) | | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 |
| Preventive Maintenance Cost (Baht) | | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - | 129,630.0 | - | - |
| Machine Depreciation Cost (Baht) | | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 |
| Inventory holding cost (Baht) | | 139,887.2 | 139,887.2 | 234,119.6 | 160,555.1 | 151,199.1 | 234,119.6 | 139,887.2 | 139,887.2 | 234,119.6 | 139,887.2 | 154,463.1 | 234,119.6 |
| Stat up cost (Baht) | | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - | 16,414.6 | - | - |
| Catalyst decay value (Baht) | | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - | 8,342.8 | - | - |
| **Total (Baht)** | | 2,896,945 | 2,890,253 | 3,110,646 | 2,777,273 | 2,884,523 | 2,992,263 | 2,857,334 | 2,881,820 | 3,032,772 | 2,787,399 | 2,840,840 | 2,927,270 |

**Total Cost (Baht)** **34,879,337**

(All Year)

ตารางที่ 5.17 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกับรายได้จาก Steam กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและให้ระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือน ที่ 3 สูงสุด

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrical cost (Baht) | | -756,905.7 | -876,356.3 | -983,196.6 | -629,916.8 | -863,273.5 | -873,174.3 | -713,409.5 | -878,165.3 | -918,231.8 | -657,863.8 | -824,333.3 | - 814,962.6 |
| Catalyst Cost (Baht) | | -288,156.0 | -418,347.2 | -507,398.8 | -226,617.6 | -400,097.3 | -468,864.0 | -306,064.0 | -371,135.2 | -447,895.4 | -239,739.3 | -363,190.5 | - 437,606.4 |
| Corrective Maintenance Cost (Baht) | | -218,109.4 | -116,163.6 | - 46,432.1 | -266,296.8 | -130,454.2 | - 76,606.6 | -204,086.6 | -153,132.8 | - 93,026.0 | -256,022.0 | -159,353.9 | - 101,082.8 |
| Labor Cost (Baht) | | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | - 129,000.0 |
| Preventive Maintenance Cost (Baht) | | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - | -129,630.0 | - | - |
| Machine Depreciation Cost (Baht) | | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | - 1,210,499 |
| Inventory holding cost (Baht) | | -139,887.2 | -139,887.2 | -234,119.6 | -160,555.1 | -151,199.1 | -234,119.6 | -139,887.2 | -139,887.2 | -234,119.6 | -139,887.2 | -154,463.1 | - 234,119.6 |
| Stat up cost (Baht) | | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - | - 16,414.6 | - | - |
| Catalyst decay value (Baht) | | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - | - 8,342.8 | - | - |
| Revenue (Baht) | | 1,083,600 | 1,122,300 | 1,199,700 | 928,800 | 1,199,700 | 1,161,000 | 967,500 | 1,199,700 | 1,161,000 | 967,500 | 1,161,000 | 1,083,600 |
| **Total (Baht)** | | -1,813,345 | -1,767,953 | -1,910,946 | -1,848,473 | -1,684,823 | -1,831,263 | -1,889,834 | -1,682,120 | -1,871,772 | -1,819,899 | -1,679,840 | - 1,843,670 |

** รายได้คิดเฉพาะรายได้จากความร้อนที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต โดยไม่รวมรายได้จากสินค้าขาย

**Total Profit (Baht)** **-21,643,937**

(All Year)

**5.1.3 วิเคราะห์ผลการวางแผนกำลังการผลิต**

จากแนวทางในการวางแผนการผลิตที่ได้นำมาพิจารณาและทำการหากำลังการผลิตที่เหมาะสมในแต่ละวิธีด้วยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงนั้น เมื่อได้ตัวแปรตัดสินใจ (ปริมาณการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์และปริมาณสินค้าคงคลังในแต่ละเดือน) โดยคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ทำให้สมการวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่ต้องการคือต้นทุนต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยในสมการวัตถุประสงค์พิจารณา 2 ส่วนคือ Operating Cost (Variable Cost) และ Inventory Holding Cost จากค่าที่ได้นำมารวมกับต้นทุนในส่วนของ Operating Cost (Fixed Cost), Start up cost และ Catalyst decay cost รวมเป็นต้นทุนในการผลิตและการจัดเก็บ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลทั้งกรณีที่พิจารณาเฉพาะต้นทุน และกรณีพิจารณาในส่วนของรายได้ ตามแนวทางที่กำหนดพร้อมหาค่าต้นทุนต่อหน่วยและกำไรต่อหน่วย แสดงได้ดังตารางที่ 5.18 และตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.18 เปรียบเทียบผลจากการวางแผนกำลังการผลิตกรณีพิจารณาเฉพาะต้นทุน

| Alternative | Total | | |
|---|---|---|---|
| | Product (Tons.) | Cost (Baht) | Cost/Unit (Baht/Ton) |
| **5.1.1 กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากัน** | | | |
| 5.1.1.1 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 มากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ | 26,732 | 34,856,494.35 | 1,304 |
| 5.1.1.2 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 เท่ากับระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ | 27,488 | 35,322,749.77 | 1,285 |
| | | | |
| **5.1.2 กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน** | | | |
| 5.1.2.1 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 มากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ | 26,732 | 34,648,542.33 | 1,296 |
| 5.1.2.2 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 เท่ากับระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ | 27,488 | **34,879,337.25** | **1,269** |
| | | | |

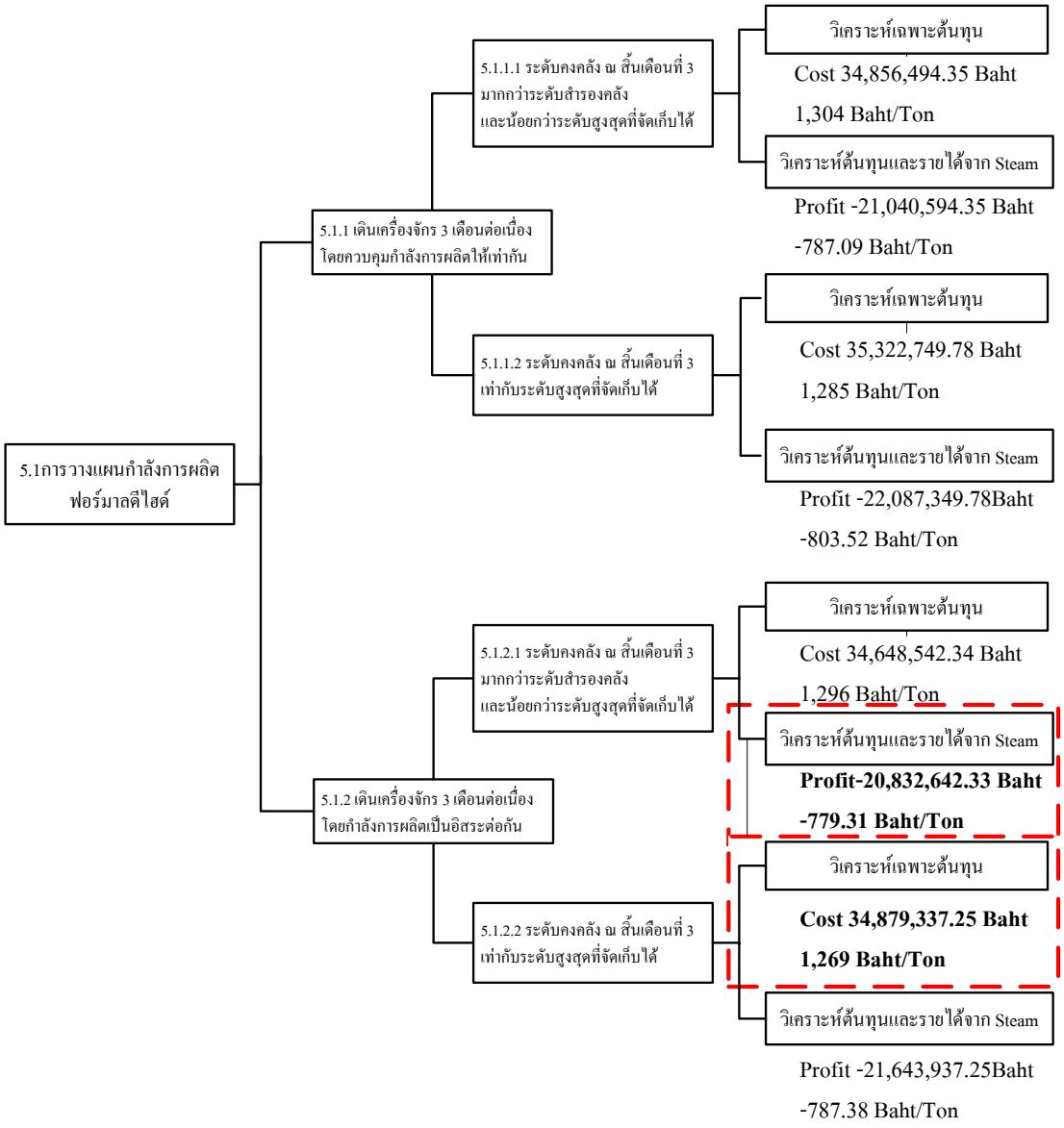
จากตารางที่ 5.18 พบว่าการวางแผนกำลังการผลิตกรณี 5.1.2.2 การเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง 3 เดือนโดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน พร้อมกำหนดระดับคงคลังมากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ ให้ค่าต้นทุนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.19 เปรียบเทียบผลจากการวางแผนกำลังการผลิตกรณีพิจารณาต้นทุนและรายได้

| Alternative | Total | | |
|---|---|---|---|
| | Product (Tons.) | Profit (Baht) | Profit/Unit (Baht/Ton) |
| **5.1.1 กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตให้เท่ากัน** | | | |
| 5.1.1.1 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 มากกว่าระดับสำรองคลัง และน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ | 26,732 | - 21,040,594.35 | -787.09 |
| 5.1.1.2 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 เท่ากับระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ | 27,488 | - 22,087,349.77 | -803.52 |
| | | | |
| **5.1.2 กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน** | | | |
| 5.1.2.1 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 มากกว่าระดับสำรองคลัง และน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ | 26,732 | **- 20,832,642.33** | **-779.31** |
| 5.1.2.2 กำหนดระดับคงคลัง ณ สิ้นเดือนที่ 3 เท่ากับระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ | 27,488 | - 21,643,937.25 | -787.38 |
| | | | |

จากตารางที่ 5.19 พบว่าการวางแผนกำลังการผลิตกรณี 5.1.2.1 การเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง 3 เดือน โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน พร้อมกำหนดระดับคงคลังมากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ ให้กำไรต่อหน่วยมากที่สุด

จากการวางแผนกำลังการผลิตทั้งในส่วนของการพิจารณาเฉพาะต้นทุนและการพิจารณาต้นทุนรวมกับรายได้ ผลที่ได้พบว่าเมื่อพิจารณาเฉพาะต้นทุนกรณี 5.1.2.2 การเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง 3 เดือน โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกันและให้สินค้าคงคลัง ณ วันสิ้นเดือนที่ 3 อยู่ในระดับสูงสุดก่อนการหยุดเครื่องให้ค่าต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่าแนวทางอื่น ซึ่งมีผลมาจากต้นทุนในส่วนที่เป็นต้นทุนคงที่ ทั้งในส่วนของ Operating Cost และ Inventory Holding Cost ยิ่งผลิตมากและเก็บสินค้าคงคลังมากส่งผลต่อต้นทุนต่อหน่วยต่ำลง แต่เมื่อพิจารณารายได้จากความร้อนมาหักลบกับต้นทุนพบว่ากรณี 5.1.2.1 ให้ค่ากำไรสูงกว่าแนวทางอื่น ซึ่งแนวทางนี้นับเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการวางแผนกำลังการผลิต เพราะนำทั้งต้นทุนและรายได้มาพิจารณาโดยรายละเอียดในตารางที่ 5.18 และตารางที่ 5.19 นำผลมาเปรียบเทียบเพื่อได้ดังรูปที่ 5.8




รูปที่ 5.8 แผนภาพรายละเอียดผลจากการคำนวณในแต่ละแนวทาง

ดังนั้นการเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง 3 เดือน โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน พร้อมกำหนดระดับคงคลังมากกว่าระดับสำรองคลังและน้อยกว่าระดับสูงสุดที่จัดเก็บได้ เป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งนำแนวทางนี้มาใช้ในการวางแผนการผลิตสรุปได้ดังตารางที่ 5.20

ตารางที่ 5.20 แผนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008

| **Period 1** | | | |
|---|---|---|---|
| **Item** | **Month 1 (January 2008)** | **Month 2 (February 2008)** | **Month 3 (March 2008)** |
| Plant | **Formaldehyde Line I** | | |
| Capacity (Ton/day) | **63** | **89** | **76** |
| Total Production (Ton/Month) | 1770 | 2569 | 2360 |
| Heat up date | January '3 2008 | | |
| Production run (day) | 28 | 29 | 31 |
| Shut down | March ' 31 2008 (24.00 ) | | |
| **Period 2** | | | |
| **Item** | **Month 4 (April 2008)** | **Month 5 (May 2008)** | **Month 6 (June 2008)** |
| Plant | **Formaldehyde Line II** | | |
| Capacity (Ton/day) | **68** | **82** | **74** |
| Total Production (Ton/Month) | 1983 | 2533 | 2214 |
| Heat up date | April '1 2008 | | |
| Production run (day) | 29 | 31 | 30 |
| Shut down | June ' 30 2008 (24.00 ) | | |
| **Period 3** | | | |
| **Item** | **Month 7 (July 2008)** | **Month 8 (August 2008)** | **Month 9 (September2008)** |
| Plant | **Formaldehyde Line I** | | |
| Capacity (Ton/day) | **88** | **74** | **66** |
| Total Production (Ton/Month) | 2636 | 2280 | 1995 |
| Heat up date | July '1 2008 | | |
| Production run (day) | 30 | 31 | 30 |
| Shut down | September ' 30 2008 (24.00 ) | | |
| **Period 4** | | | |
| **Item** | **Month 10 (October2008)** | **Month 11 (November 2008)** | **Month 12 (December 2008)** |
| Plant | **Formaldehyde Line II** | | |
| Capacity (Ton/day) | **74** | **70** | **73** |
| Total Production (Ton/Month) | 2229 | 2114 | 2049 |
| Heat up date | October '1 2008 | | |
| Production run (day) | 30 | 30 | 28 |
| Shut down | December ' 28 2008 (24.00 ) | | |

**5.2 เปรียบเทียบผลการวางแผนกำลังการผลิตกับการผลิตจริงปี 2008**

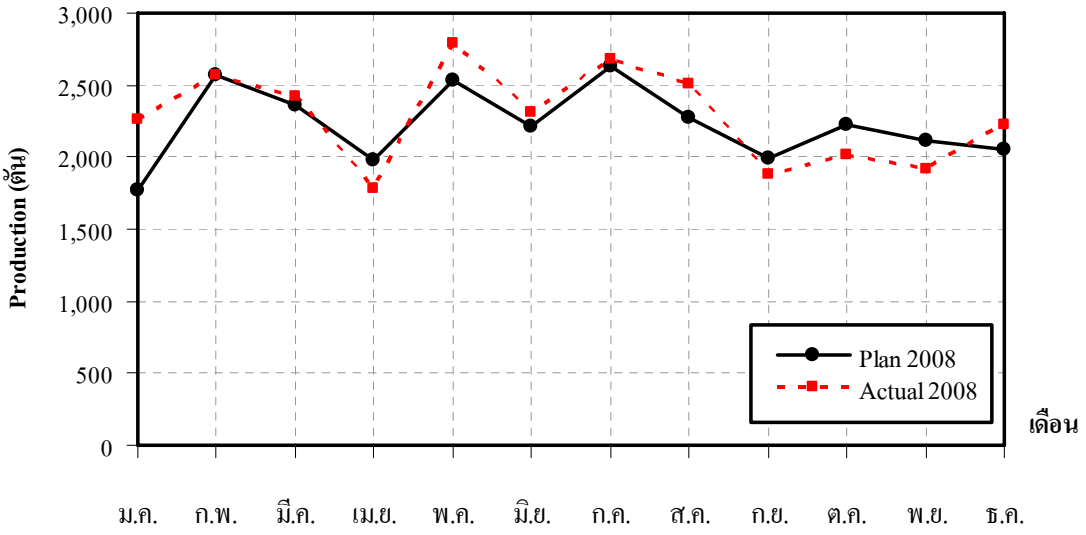
จากแผนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้จากงานวิจัย ซึ่งจะใช้การเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง 3 เดือน ตามนโยบายของบริษัท ซึ่งวิธีการวางแผนกำลังการผลิตที่เลือกจะใช้การควบคุมกำลังการผลิตให้เป็นอิสระต่อกัน โดยจะทำการปรับกำลังการผลิตเดือนละ 1 ครั้งทุกต้นเดือน ได้แสดงรายละเอียดแผนไปแล้วตามตารางที่ 5.20 วิธีการนี้ให้ค่ากำไรสูงสุด เมื่อนำค่าดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการดำเนินงานจริงในปี 2008 ที่อาศัยข้อมูลจริงจากภาคผนวก ก ตาราง ก.6 ถึง ก.13 ทำการหาค่าและสรุปไว้ดังตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวางแผนกำลังการผลิตจากงานวิจัยกับการผลิตจริงปี 2008

| Alternative | Total | | |
|---|---|---|---|
| | Product (Tons.) | Cost / Profit (Baht) | (Cost,Profit)/Unit (Baht/Ton) |
| **ค่าดำเนินงานจริงปี 2008** | | | |
| พิจารณาเฉพาะต้นทุน (Cost) | 27,504 | 36,397,321.23 | 1323.34 |
| พิจารณาต้นทุนและรายได้ (Profit) | 27,504 | - 23,974,621.23 | -871.67 |
| | | | |
| **แผนการผลิตจากงานวิจัย** | | | |
| **5.1.2 กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน** | | | |
| พิจารณาเฉพาะต้นทุน (Cost) | 26,732 | 34,648,542.33 | 1,296 |
| พิจารณาต้นทุนและรายได้ (Profit) | 26,732 | - 20,832,642.33 | -779 |
| | | | |

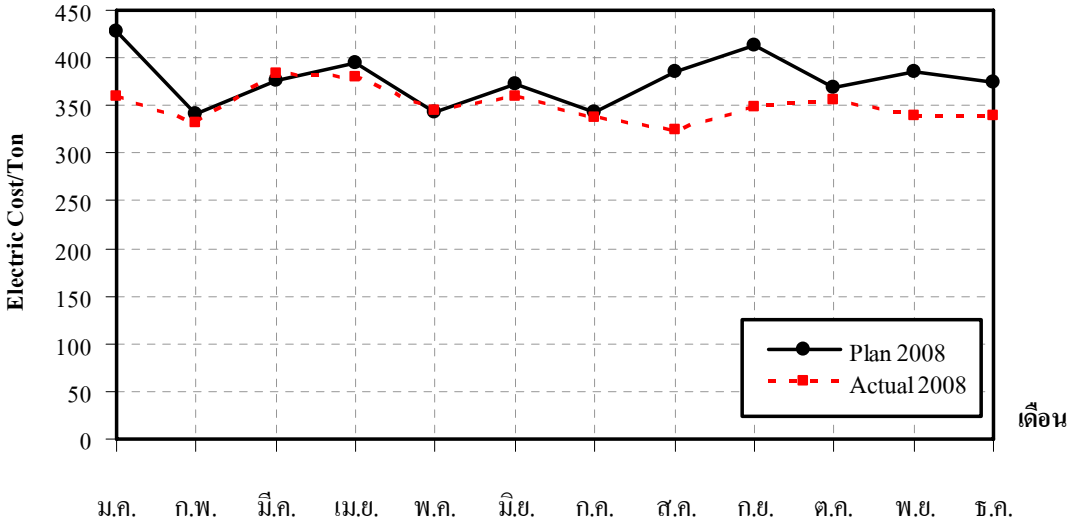
จากตารางที่ 5.21 เป็นการเปรียบเทียบค่าต้นทุนและกำไรที่ได้จากการผลิตจริงกับแผนกำลังการผลิตที่เลือกจากงานวิจัย โดยในการผลิตจริงยังไม่มีแบบแผนหรือวิธีการที่เป็นมาตรฐานในการวางแผนกำลังการผลิต โดยส่วนมากจะเดินเครื่องในกำลังการผลิตที่สูงและมีการปรับกำลังการผลิตรายวัน ทำให้ไม่สามารถควบคุมสินค้าคงคลังได้ในระดับที่เหมาะสม อีกทั้งไม่มีการคำนึงถึงระดับคงคลังของผลิตภัณฑ์ ทำให้ระดับคงคลังอยู่ในระดับสูง โดยจากตารางพบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าจริงอยู่ที่ 1,323.34 บาท/ตัน ส่วนค่า

จากงานวิจัยอยู่ที่ 1,296 บาท/ตัน ซึ่งผลต่างอยู่ที่ 27.34 บาท/ตัน และเมื่อทำการพิจารณาโดยนำรายได้ของการใช้ Steam จากกระบวนการผลิตไปใช้งาน ทำให้เห็นว่าผลต่างของกำไรอยู่ที่ 92.67 บาท/ตัน ดังนั้นแผนการผลิตที่ได้จากงานวิจัยจะช่วยในการบริหารจัดการในส่วนของงานวางแผนได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดต้นทุนของกระบวนการผลิตได้ ในส่วนของปริมาณการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ในแต่ละเดือนได้เปรียบเทียบปริมาณการผลิตจริงกับแผนการผลิตได้ดังรูปที่ 5.9

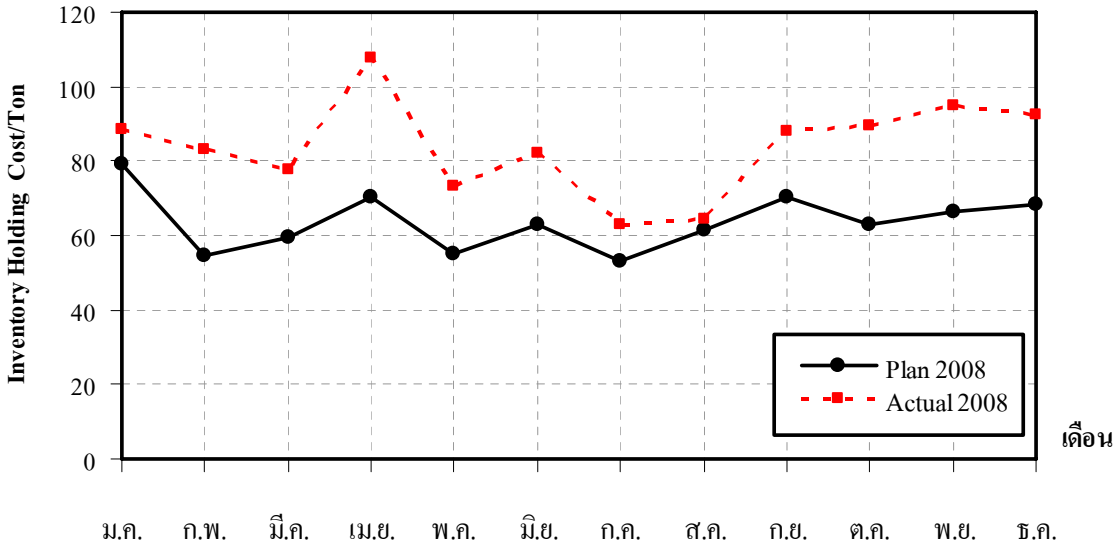



รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์จริงกับแผนการผลิตที่ได้จากงานวิจัยของปี 2008

จากรูปที่ 5.9 พบว่าปริมาณการผลิตจริงกับแผนการผลิตจากงานวิจัยมีความสอดคล้องและมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถยืนยันได้ถึงวิธีการในการพยากรณ์ความต้องการที่มีความแม่นยำส่งผลให้สามารถวางแผนกำลังการผลิตได้ถูกต้อง นอกจากนี้ในส่วนของต้นทุนที่ทำการพิจารณาเป็นหลักทั้งค่าไฟฟ้าและต้นทุนที่เกิดจากการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ เมื่อแยกส่วนเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ทั้งสองส่วนกับค่าจริงที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 และ 5.11




รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยในการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์จริงกับแผนการผลิตที่ได้จากงานวิจัย ของปี 2008




รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนในการเก็บรักษาฟอร์มาลดีไฮด์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ในการผลิตจริงกับแผนการผลิตที่ได้จากงานวิจัยของปี 2008

จากกราฟในรูปที่ 5.10 และ 5.11 จะพบว่าต้นทุนในส่วนของค่าไฟฟ้าในการผลิตทั้งในส่วนของการผลิตจริงและแผนการผลิตจากงานวิจัยมีค่าเฉลี่ยต่อหน่วยต่างกัน 24.57 บาท แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของต้นทุนที่เกิดจากการจัดเก็บรักษาพบว่าการดำเนินงานจริงมีค่าสูงกว่าแผนจากงานวิจัยค่อนข้างเห็นได้ชัดเจนมีค่าเฉลี่ยต่อหน่วยต่างกัน 25.8 บาท อันเนื่องมาจากการดำเนินการปัจจุบันดำเนินการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในจำนวนมาก และไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนในส่วนนี้

ดังนั้นการวางแผนการผลิตจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องนอกจากคำนึงถึงต้นทุนโดยตรงเพื่อให้ได้ต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องต่ำที่สุด ดังนั้นแผนการผลิตจากงานวิจัยสามารถช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในการวางแผนและควบคุมต้นทุนการผลิตให้เหมาะสมได้มากขึ้น

## 5.3 แผนกำลังการผลิตปี 2009

จากผลการวิจัยในการวางแผนกำลังการผลิต สรุปได้เป็น 2 ส่วนคือการพยากรณ์ความต้องการและนำค่าพยากรณ์ใช้ในการวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งสามารถแสดงการวางแผนกำลังการผลิตในปี 2009 ได้ดังนี้

### 5.3.1 การพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2009

ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2009 ได้จากการพยากรณ์โดยการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ แสดงการคำนวณดังภาคผนวก ค ดังตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 ค่าพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2009

| เดือน | ความต้องการ (ตัน) |
|---|---|
| มกราคม | **2027.7** |
| กุมภาพันธ์ | **2491.7** |
| มีนาคม | **2351.5** |
| เมษายน | **1809.7** |
| พฤษภาคม | **2717.9** |
| มิถุนายน | **2255.2** |
| กรกฎาคม | **2625.5** |
| สิงหาคม | **2470.5** |
| กันยายน | **1879.8** |
| ตุลาคม | **2105.2** |
| พฤศจิกายน | **1982.5** |
| ธันวาคม | **2241.8** |
| **รวม** | **26959.0** |

**5.3.2 แผนกำลังการผลิต 2009**

จากค่าความต้องการปี 2009 นำมาใช้ในการวางแผนกำลังการผลิตซึ่งใช้โปรแกรมเชิงเส้นตามแนวทางและเงื่อนไขที่ให้ค่าต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งแนวทางนั้นคือการเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่องและควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน โดยระดับสินค้าคงคลังอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดคือมากกว่าระดับสำรองคลังและไม่มากเกินระดับคงคลังที่รองรับได้ โดยโปรแกรมเชิงเส้นตรงของวิธีการนี้แสดงได้ดังนี้

**โปรแกรมเชิงเส้นในการหากำลังการผลิต**

**Decision Variables**

$P_{Ti}$ = Total Production in Month i ; i = 1, 2, …, 12

$I_i$ = Total of Inventory in Month i ; i = 1, 2, …, 12

**Objective**

Minimize Costs

Minimize(Operating Cost (Variable) + Inventory holding cost)

$$Minimize\ Z = Minimize\ \sum_{i=1}^{12}(Operating\ Cost_i(Variable) + Inventory\ Holding\ Cost_i\ )$$

โดยที่

Operating $Cost_i$ (Variable) = Electric $Cost_i$ + Catalyst $Cost_i$ + Corrective Maintenance $Cost_i$

Electric $Cost_i = 2.65\ n_i\ (47.353P_{line\ Ii} + 7207.5\ ) = 2.65\ n_i\ (47.353(P_{Ti}/n_i) + 7207.5)$

$= 2.65\ (47.353P_{Ti} + 7207.5\ n_i)$ สำหรับสายการผลิตที่ 1 ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

Electric $Cost_i = 2.65\ n_i\ (28.394P_{line\ IIi} + 8257.5\ ) = 2.65\ n_i\ (28.394(P_{Ti}/n_i) + 8257.5)$

$= 2.65\ (28.394P_{Ti} + 8257.5\ n_i)$ สำหรับสายการผลิตที่ 2 ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

Catalyst $Cost_i = 162.8\ P_{Ti}$ ; i = 1, 2, …, 12

Corrective Maintenance $Cost_i = -127.48\ P_{Ti} + 443749$ ; i = 1, 2, …, 12

Inventory holding $cost_i = 124.58I_i + 77373$ ; i = 1, 2, …, 12

$n_i$ = จำนวนวันในการเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง ในเดือนที่ i ; i = 1, 2, …, 12

**Subject to**

1. **Inventory Balance**

$\mathbf{I_{i-1} + P_{Ti} = D_i + I_i \quad ; i = 1, 2, \ldots, 12}$

$I_0$=895 ..... (Initial Inventory)

$I_0 + P_{T1} = D_1 + I_1$ .....(Month 1)

$I_1 + P_{T2} = D_2 + I_2$ .....(Month 2)

$I_2 + P_{T3} = D_3 + I_3$ .....(Month 3)

.

.

.

$I_{11} + P_{T12} = D_{12} + I_{12}$ .....(Month 12)

2. **Storage Capacity**

$\mathbf{I_{safety} \leq I_i \leq I_{max}}$

$501.8 \leq I_i \leq 1258.2$ ; i = 1, 2, 3, …, 12

3. **Production Constraint**

$P_{line\ Ii} = P_{Ti}/(n_i)$ ------> $P_{line\ Ii} n_i - P_{Ti} = 0$ ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$P_{line\ IIi} = P_{Ti}/(n_i)$ ------> $P_{line\ IIi} n_i - P_{Ti} = 0$ ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$60 \leq P_{LineIi} \leq 108$ .....(Production Capacity Line I) ; i = 1, 2, 3, 7, 8, 9

$58 \leq P_{LineIIi} \leq 96$ .....(Production Capacity Line II) ; i = 4, 5, 6, 10, 11, 12

$P_{Ti} \geq 0$ ; i = 1, 2, …, 12

จาก Objective Function และ Constraint ทำการหาค่าโดยใช้ Solver เพื่อหาค่าตัวแปรตัดสินใจและค่าที่ได้จากสมการวัตถุประสงค์ ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณแสดงได้ดังภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 2-ค. 3 โดยค่ากำลังการผลิตที่ได้สามารถเขียนแผนการผลิตปี 2009 ได้ดังตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.23 แผนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2009

| **Period 1** | | | |
|---|---|---|---|
| **Item** | **Month 1 (January 2009)** | **Month 2 (February 2009)** | **Month 3 (March 2009)** |
| Plant | **Formaldehyde Line I** | | |
| Capacity (Ton/day) | **63** | **89** | **76** |
| Total Production (Ton/Month) | 1635 | 2492 | 2352 |
| Heat up date | January '4 2009 | | |
| Production run (day) | 26 | 28 | 31 |
| Shut down | March ' 31 2009 (24.00 ) | | |
| **Period 2** | | | |
| **Item** | **Month 4 (April 2009)** | **Month 5 (May 2009)** | **Month 6 (June 2009)** |
| Plant | **Formaldehyde Line II** | | |
| Capacity (Ton/day) | **62** | **88** | **75** |
| Total Production (Ton/Month) | 1810 | 2718 | 2255 |
| Heat up date | April '1 2009 | | |
| Production run (day) | 29 | 31 | 30 |
| Shut down | June ' 30 2009 (24.00 ) | | |
| **Period 3** | | | |
| **Item** | **Month 7 (July 2009)** | **Month 8 (August 2009)** | **Month 9 (September2009)** |
| Plant | **Formaldehyde Line I** | | |
| Capacity (Ton/day) | **88** | **80** | **63** |
| Total Production (Ton/Month) | 2626 | 2471 | 1880 |
| Heat up date | July '1 2009 | | |
| Production run (day) | 30 | 31 | 30 |
| Shut down | September ' 30 2009 (24.00 ) | | |
| **Period 4** | | | |
| **Item** | **Month 10 (October2009)** | **Month 11 (November 2009)** | **Month 12 (December 2009)** |
| Plant | **Formaldehyde Line II** | | |
| Capacity (Ton/day) | **70** | **66** | **86** |
| Total Production (Ton/Month) | 2105 | 1982 | 2242 |
| Heat up date | October '1 2009 | | |
| Production run (day) | 30 | 30 | 26 |
| Shut down | December ' 26 2009 (24.00 ) | | |

จากตารางที่ 5.23 เป็นแผนกำลังการผลิตปี 2009 สำหรับใช้ในการเดินเครื่องจักรและควบคุมการผลิต โดยการประยุกต์ใช้ผลจากการวิจัยในการวางแผนกำลังการผลิตสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ในหัวข้อที่ 5.4

**5.4 สรุปขั้นตอนในการวางแผนกำลังการผลิต**

จากการศึกษากระบวนการในการวางแผนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ในงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งได้เริ่มจากการวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการในอดีตเพื่อทำการพยากรณ์ความต้องการในอนาคต เพื่อนำวิธีการพยากรณ์ที่ได้มาใช้ในการพยากรณ์ให้เกิดความแม่นยำ ก่อนนำค่าที่ได้มาทำการวางแผนกำลังการผลิต ให้สามารถทำการวางแผนการผลิตรวมถึงการจัดเก็บให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้นำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนกำลังการผลิตโดยได้พัฒนาและปรับปรุงกระบวนการวางแผนการผลิตเดิมดังขั้นตอนต่อไปนี้

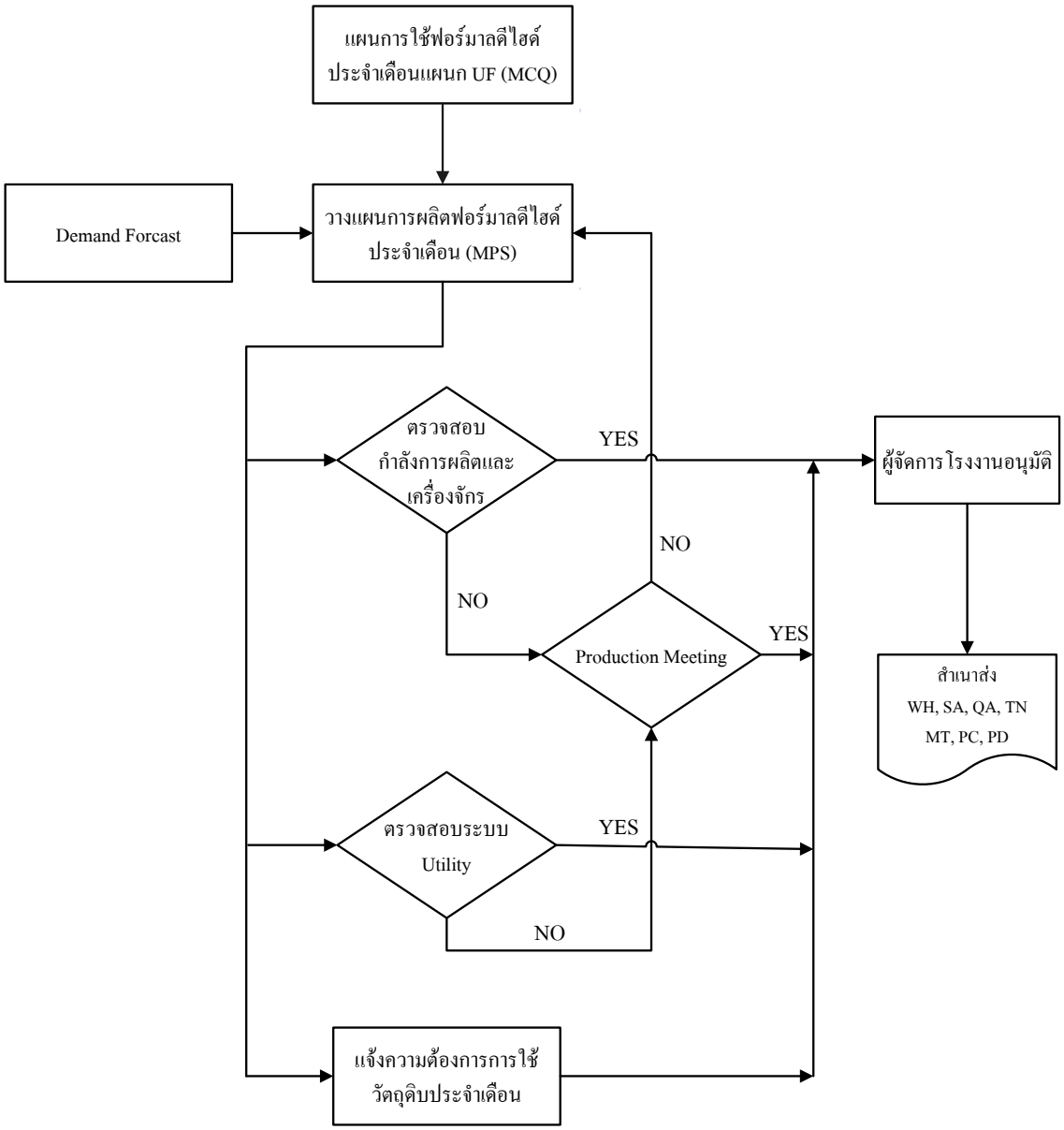
1. การพยากรณ์การขายหรือความต้องการ ซึ่งดำเนินการโดยฝ่ายขายที่จะทำการคาดการณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์ให้มีความแม่นยำเพื่อให้ฝ่ายผลิตสามารถนำค่าพยากรณ์มาวางแผนกำลังการผลิตให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. การวางแผนการผลิต นั้นตอนนี้ดำเนินการโดยฝ่ายผลิตด้วยการนำข้อมูลความต้องการมาทำการวางแผนการผลิตด้วยการสร้าง Master Production Scheduling (MPS) ภายใต้เงื่อนไขในด้านการผลิต ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ทำการคำนวณกำลังการผลิตที่จะดำเนินการเดินเครื่องจักร และจัดทำเอกสารแผนการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ประจำเดือน เพื่อเป็นเอกสารในการผลิตและแผนกที่เกี่ยวข้อง

3. การประชุมทบทวนแผนการผลิต เมื่อจัดทำแผนการผลิตและเกิดปัญหาด้านเครื่องจักรหรือกำลังการผลิต รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต จำเป็นต้องดำเนินการประชุมทบทวนแผนการผลิตเพื่อยืนยันหรือปรับปรุงแผนให้เหมาะสมก่อนดำเนินการอนุมัติแผนงาน โดยวัตถุประสงค์หลักในการประชุม เพื่อให้มั่นใจว่าการผลิตสามารถดำเนินการตามแผนงาน

4. การสรุปผลการดำเนินงาน ในแต่ละเดือนจะจัดทำรายงานผลการดำเนินงานการผลิตประจำเดือน โดยทำการสรุปการผลิตว่าเป็นไปตามแผนงานมากน้อยเพียงใด เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงกระบวนการวางแผนกำลังการผลิตต่อไป

ซึ่งขั้นตอนการวางแผนกำลังการผลิตที่กล่าวข้างต้นสรุปเป็นแผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังรูปที่ 5.12




รูปที่ 5.12 แผนภาพกระบวนการวางแผนกำลังการผลิต

จากกระบวนการวางแผนกำลังการผลิตได้ทำการปรับปรุงเอกสารแผนงานการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ประจำเดือน เพื่อให้เป็นเอกสารในการดำเนินการปรับกำลังการผลิตและการดำเนินงานได้ดังรูปที่ 5.13 และ 5.14

RV 09-11-12-08

| Company Logo<br><br>PD-F-x-xxx | แผนงานการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ประจำเดือน<br>MONTHLY PRODUCTION PLAN FOR FORMALDEHYDE PLANT<br>หน้าที่ 1 / 2 |
|---|---|

**To:** ……

**MONTH, YEAR PLAN :** …….. **Preparation Date:** …….. **Revision :** …….

| PLANT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LINE-I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LINE-II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacity | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| NO. | ITEM | UNIT | MONTHLY MATERIAL CONSUME PLAN | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | THIS MONTH | FIRST NEXT MONTH | SECOND NEXT MONTH |
| 1 | FM beginning month stock | Mt. | | | |
| 2 | UF sales forecast | Mt. | | | |
| 3 | FM consumption for UF | Mt. | | | |
| 4 | FM sales | Mt. | | | |
| | FM Agricalture | Mt. | | | |
| | FM Industrial | Mt. | | | |
| | FM Industrial (Med) | Mt. | | | |
| 5 | FM Safety stock | Mt. | | | |
| 6 | FM production | Mt. | | | |
| | Line-I (50% FM) | Mt. | | | |
| | Line-II (50% FM) | Mt. | | | |
| 7 | FM +shortage / -excess | Mt. | | | |
| 8 | MeOH production consumption | Mt. | | | |
| 9 | CX-111 | Kg. | | | |
| 10 | NaOH | Mt. | | | |
| | | | | | |

**Remark:**

| | | |
|---|---|---|
| ..... | ..... | ..... |
| หัวหน้าส่วนผลิตฟอร์มาลิน | ผู้จัดการแผนกผลิต-2 | ผู้จัดการโรงงาน |
| ผู้จัดทำแผน | ผู้ตรวจสอบ | ผู้อนุมัติ |

รูปที่ 5.13 แบบฟอร์มแผนงานการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ประจำเดือนหน้า 1

RV 09-11-12-08

| Company Logo<br><br>PD-F-x-xxx | แผนงานการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ประจำเดือน<br>MONTHLY PRODUCTION PLAN FOR FORMALDEHYDE PLANT<br>หน้าที่ 2 / 2 |
|---|---|

**MONTH-1 : MONTH IN :.....**

| PLANT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LINE-I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LINE-II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacity | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**MONTH-2 : MONTH IN :.....**

| PLANT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LINE-I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LINE-II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacity | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**MONTH-3 : MONTH IN :.....**

| PLANT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LINE-I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LINE-II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacity | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**Remark:**

| | | |
|---|---|---|
| หัวหน้าส่วนผลิตฟอร์มาลดีไฮด์<br>ผู้จัดทำแผน | ผู้จัดการแผนกผลิต-2<br>ผู้ตรวจสอบ | ผู้จัดการโรงงาน<br>ผู้อนุมัติ |

รูปที่ 5.14 แบบฟอร์มแผนงานการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ประจำเดือนหน้า 2

จากการนำแนวทางที่ได้จากงานวิจัยมาประยุกต์ใช้งานในการวางแผนกำลังการผลิต ทำให้มีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่เป็นระบบและสามารถปรับปรุงกระบวนการวางแผน กระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

# บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่ได้นำเสนอทั้งในส่วนของการพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์และส่วนของการวางแผนกำลังการผลิตสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ได้นำข้อมูลความต้องการในอดีตปี 2002-2007 มาวิเคราะห์ด้วยการใช้วิธีการพยากรณ์วิธีต่างๆ พบว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ให้ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ต่ำที่สุดโดยมีค่า MAD = 77.29, RMSE=126.07 และ MAPE= 2.71 ซึ่งวิธีการพยากรณ์นี้นำไปใช้ในการพยากรณ์ความต้องการในอนาคต

2. การวางแผนกำลังการผลิตโดยใช้ข้อมูลจากการพยากรณ์ความต้องการ ด้วยการสร้างแนวทางการวางแผนกำลังการผลิตภายใต้นโยบายและข้อจำกัดในการผลิตของบริษัท ซึ่งได้ประยุกต์ใช้การหาคำตอบด้วยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงหากำลังการผลิตที่เหมาะสม พบว่าการเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่องโดยการควบคุมกำลังการผลิตให้เป็นอิสระต่อกัน และให้ระดับคงคลัง ณ เวลาสิ้นเดือนที่ 3 อยู่ในระดับสูงสุดก่อนการเดินเครื่อง ให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่าแนวทางอื่น อันเนื่องมาจากการเก็บผลิตภัณฑ์ในระดับสูงสงผลต่อต้นทุนต่อหน่วยของการจัดเก็บถูกลง แต่เมื่อพิจารณารวมกับรายได้ของความร้อนที่ได้จากกระบวนการพบว่า พบว่าการเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่องโดยการควบคุมกำลังการผลิตให้เป็นอิสระต่อกัน และให้ระดับคงคลังอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเป็นแนวทางที่ให้กำไรสูงกว่าวิธีการอื่น จึงเลือกแนวทางนี้มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนกำลังการผลิต

3. การเปรียบเทียบแผนการผลิตจากงานวิจัยและค่าการผลิตจริงพบว่าเมื่อดำเนินการผลิตตามแผนงานสามารถลดต้นทุนการผลิตและการจัดเก็บได้ 27.34 บาท/ตัน และเมื่อพิจารณากำไรกรณีคิดรายได้จากความร้อนที่เกิดจากกระบวนการพบว่าส่วนต่างกำไรอยู่ที่ 92.67 บาท/ตัน

4. ในการวางแผนกำลังการผลิตนอกจากพิจารณาต้นทุนโดยตรงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแล้วจำเป็นต้องพิจารณาต้นทุนที่เกิดจากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถดำเนินการผลิตและการบริหารทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพและรักษาต้นทุนอยู่ในระดับที่เหมาะสม

5. จากต้นทุนที่เกิดจากการจัดเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ทำการวิเคราะห์ความไวของตัวแบบในการหาคำตอบของกำลังการผลิต กรณีที่เปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ จากงานวิจัยกำหนดสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเปลี่ยนเป็นให้ค่าเก็บรักษา 10% ของราคาขาย ซึ่งแสดงคำตอบของกำลังการผลิตได้ดังตารางในภาคผนวก ตารางที่ ค. 4 พบว่าการลดลงของค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บต่อหน่วยไม่ส่งผลต่อคำตอบที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้น

**6.2 ข้อเสนอแนะ**

1. การพยากรณ์ความต้องการต้องมีการทบทวนและปรับปรุงตามระยะเวลาเนื่องจากข้อมูลอาจมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้มั่นใจได้ว่าวิธีการพยากรณ์ที่ใช้เหมาะสมและแม่นยำที่สุด นอกจากนี้ในการพยากรณ์ควรพิจารณาวิธีการอื่นๆ นอกจากการใช้อนุกรมเวลา เช่น เทคนิคการพยากรณ์แบบเป็นเหตุเป็นผล เป็นต้น

2. ในการพยากรณ์ความต้องการ บริษัทควรมีการจัดทำโปรแกรมช่วยในการเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อมูลที่เกิดขึ้นในปัจจุบันบันทึกและสามารถเห็นแนวโน้มที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งสามารถคำนวณหาค่าที่ได้จากการพยากรณ์ ณ เวลาปัจจุบันได้

3. บริษัทควรศึกษาเรื่องการจัดการพัสดุคงคลังที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิต เพราะปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาและพิจารณาเรื่องนี้อย่างจริงจัง โดยการวางแผนการผลิตยังอิงข้อมูลต้นทุนการผลิตเป็นหลัก โดยมองข้ามต้นทุนที่เกิดจากการเก็บรักษา

4. จากนโยบายการเดินเครื่องจักรที่กำหนดไว้ 3 เดือนก่อนหยุดเครื่องบำรุงรักษา ควรมีการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการให้สามารถเดินเครื่องจักรระยะยาวมากกว่า 3 เดือน เพื่อลดต้นทุนในส่วนของการเริ่มเดินเครื่อง ลดต้นทุนการบำรุงรักษา ซึ่งได้แสดงผลกรณีการเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง 4 เดือน ดังตารางในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.5 –ค.8 พบว่ามีผลต่างของต้นทุนรวมของการเดินเครื่องจักร 3 เดือนและ 4 เดือนต่อเนื่องอยู่ที่ 132,505 บาท/ปี อันเนื่องจากการลดงานด้านการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

5. ทำการศึกษาแนวทางการนำความร้อนที่มากเกินพอที่เกิดจากกระบวนการผลิตและถูกปล่อยทิ้งมาใช้งาน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

6. จากการดำเนินงานของบริษัทปัจจุบันที่ทำการผลิตแล้วเก็บผลิตภัณฑ์ไว้จำนวนมาก (ระดับคงคลังสูง) เมื่อพิจารณาผลจากงานวิจัยแล้วพบว่าไม่เป็นผลดีเพราะจะทำให้ต้นทุนในการเก็บรักษาเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาวัตถุดิบและการเสื่อมสภาพ ดังนั้นในการวางแผนต้องคำนึงปัจจัยของสินค้าคงคลังประกอบด้วย

# รายการอ้างอิง


ภาษาไทย

กิตติพงศ์ วิเวกานนท์, กฤชชัย อนรรฆมณี, กำพล กิจชระภูมิ และคณะ. 2547. การจัดการกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.

โชคชัย ธนเมธี. 2543. การวางแผนการผลิตสำหรับโรงแยกก๊าซธรรมชาติโดยใช้การโปรแกรมเป้าหมาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทรงศิริ แต้สมบัติ. 2549. การพยากรณ์เชิงปริมาณ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นพรัตน์ ศิริโชติ. 2549. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพัฒนารูปแบบการพยากรณ์ความต้องการพลังงานของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยเชษฐ โอภาสชวลิต, นิภา เจริญใจ และคมกฤต เล็กสกุล. 2548. การพยากรณ์ความต้องการสินค้าโดยวิธีโครงข่ายประสาท. ในการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2548. 3-5 ตุลาคม 2548 ณ. ห้องโลตัส ศูนย์ประชุมแห่งชาติศิริกิติ์ กรุงเทพฯ.

ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. 2548. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น.

มุกดา แม้นมินทร์. 2549. อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ประกายพรึก.

วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล. 2549 . การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ราคาทองคำรูปพรรณรายวันระหว่างวิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ วิธีการพยากรณ์ของบ๊อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์รวม. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร 14(2). 9-16.

วรินทร์ เกียรตินุกูล. 2548. การประยุกต์การวางแผนการสั่งซื้อล่วงหน้าโดยใช้เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นกรณีศึกษา: การจัดซื้อวัตถุดิบจากอเมริกาในอุตสาหกรรมกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วิจิตร ตัณฑสุทธิ์, วันชัย ริจิรวนิช และศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2527. การวิจัยดำเนินงานภาค Deterministic. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน. 2548. การบริหารการผลิตและการดำเนินงาน. กรุงเทพมหานคร :โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. 2548. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา : ภารกิจเอกสารและตำรา มหาวิทยาลัยทักษิณ.

เสาวลักษณ์ อนันตะ และณฐา คุปตัษเฐียร. 2551. การพยากรณ์ยอดขายเพื่อวางแผนการสั่งซื้อ: กรณีศึกษาบริษัทค้าส่งของเด็กเล่นตัวอย่าง. ในการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2551. หน้า 151-156. 20-22 ตุลาคม 2551 ณ.ห้องสมิหลา A โรงแรมบีพี สมิหลา บีช แอนด์ รีสอร์ท สงขลา.

อารักข์ หาญสันเทียะ. 2549. การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ารายเดือนด้วยวิธีออโต้รีเกรซซีฟ มูฟวิ่งเอฟเวอร์เรจ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัจราวรรณ ทองไสย. 2544. การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาทางการศึกษาที่มีและไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลระหว่างการพยากรณ์ด้วยวิธีของเบย์ วิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นและวิธีการพยากรณ์รวม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาสถิติการศึกษา ภาควิชาวิจัยการศึกษา คณะครุศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Benita M. Beamon. 1998. Supply chain design and analysis: Models and methods. International Journal of Production Economics 55 : 281-294.

C.L. Chen, T.Y. Yuan, C.Y. Chang, W.C. Lee and Y.C. Ciou. 2006. A Multi-criteria optimization model for planning of a supply chain network under demand uncertainty. the16th European Symposium on Computer Aided Process Engineering : 2075-2080.

E.P. Schulz, M.S. Diaz and J.A. Bandoni. 2005. Supply chain optimization of large-scale continuous processes. Computers and Chemical Engineering 29 : 1305–1316.

F. Gubitoso and J.M. Pinto. 2007. A planning model for the optimal production of real-world ethylene plant. Chemical Engineering and Processing 46 : 1141-1150.

Feng Yu, Tay Jin Chua, William Liu, Wenjing Yan and TianXiang Cai. 2005. An Integrated Modeling Framework for Capacity Planning and Production Scheduling. International Conference on Control and Automation, June 27-29, Budapest, Hungary.

H.M.S. Lababidi, M.A. El-Wakeel, I.M. Alatiqi1 and A.F. Al-Enzi. 2003. Optimizing the supply chain of petrochemical products under uncertain operational and economical conditions. Proceedings Foundations of Computer-Aided Process Operations : 231-235.

J.Holton Wilson and Barry Keating. 2007. Business Forcasting With Accompanying Excel-Based ForecastX Software. fifth Edition. Singapore : Mc Graw Hill.

K. Emre and S.Kazuhiro. 2006. Multi-Period Production Capacity Planning for Integrated Product and Production System Design. Proceeding of the 2006 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering Shanghai, China, October 7-10, 2006.

Marianthi G. Ierapetritou and Zhenya Jin. 2007. Short-term scheduling of chemical process including uncertainty. Control Engineering Practice 15 : 1207-1221.

Salman Al-shobaki and Mousa Mohsen. 2008. Modeling and forecasting of electrical power demands for capacity planning. Energy Conversion and Management.

Sérgio M.S. Neiro and José M. Pinto**.** 2004. A general modeling framework for the operational planning of petroleum supply chains. Computers and Chemical Engineering 28 : 871–896.

Vassileios D. Kosmidis, John D. Perkins and Efstratios N. Pistikopoulos. 2005. A mixed integer optimization formulation for the well scheduling problem on petroleum fields. Computers and Chemical Engineering 29 : 1523–1541.

Wafa B.E. Al-Othman , Haitham M.S. Lababidi , Imad M. Alatiqi and Khawla Al-Shayji. 2007. Supply chain optimization of petroleum organization under uncertainty in market demands and prices. European Journal of Operational Research 189 : 822-840.

X. Liu and Yl. Tu. 2008. Production planning with limited inventory capacity and allowed stockout. Production Economics 111 : 180-191.

Y.J. June, Gary Blau, Joseph F. Pekny, Gintaras V. Reklaitis and David Eversdyk. 2004. A simulation based optimization approach to supply chain management under demand uncertainty. Computers and Chemical Engineering 28 : 2087–2106.

Zukui Li and Marianthi Ierapetritou. 2008. Process scheduling under uncertainty: Review and challenges. Computer and Chemical Engineering 32 : 715-727.

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

## ข้อมูลดิบที่ใช้ในงานวิจัย

**1. ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้ากรณีกำลังการผลิตต่างกัน**

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ากรณีกำลังการผลิตต่างกันใช้ในการเขียนกราฟแสดงให้เห็นความแตกต่างกันของพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลเก็บรวบรวมจากมิเตอร์บันทึกพลังงานไฟฟ้าของสายการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์

ตารางที่ ก.1 การผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่การเดินเครื่อง 75%

| วัน / เดือน / ปี | ปริมาณการผลิต ( Tons ) | ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ ( KW-Hr ) | KW-Hr / Tons |
|---|---|---|---|
| 20/7/2007 | 72 | 10021 | 139.18 |
| 21/7/2007 | 72 | 10064 | 139.78 |
| 22/7/2007 | 72 | 10544 | 146.44 |
| 23/7/2007 | 72 | 10088 | 140.11 |
| 24/7/2007 | 72 | 10125 | 140.63 |
| 25/7/2007 | 72 | 10439 | 144.99 |
| 26/7/2007 | 72 | 10211 | 141.82 |
| 27/7/2007 | 72 | 10203 | 141.71 |
| 28/7/2007 | 72 | 10127 | 140.65 |
| 29/7/2007 | 72 | 10206 | 141.75 |
| 30/7/2007 | 72 | 10439 | 144.99 |

ตารางที่ ก.2 การผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่การเดินเครื่อง 88.5 %

| วัน / เดือน / ปี | ปริมาณการผลิต ( Tons ) | ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ ( KW-Hr ) | KW-Hr / Tons |
|---|---|---|---|
| 23/6/2007 | 85 | 10479 | 123.28 |
| 24/6/2007 | 85 | 10281 | 120.95 |
| 25/6/2007 | 85 | 10112 | 118.96 |
| 26/6/2007 | 85 | 10304 | 121.22 |
| 27/6/2007 | 85 | 10254 | 120.64 |
| 28/6/2007 | 85 | 10396 | 122.31 |
| 29/6/2007 | 85 | 10425 | 122.65 |
| 30/6/2007 | 85 | 10242 | 120.49 |

ตารางที่ ก.3 การผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่การเดินเครื่อง 100 %

| วัน / เดือน / ปี | ปริมาณการผลิต ( Tons ) | ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ ( KW-Hr ) | KW-Hr / Tons |
|---|---|---|---|
| 8/6/2007 | 96 | 10324 | 107.54 |
| 9/6/2007 | 96 | 10357 | 107.89 |
| 10/6/2007 | 96 | 10426 | 108.60 |
| 11/6/2007 | 96 | 10378 | 108.10 |
| 12/6/2007 | 96 | 10331 | 107.61 |
| 13/6/2007 | 96 | 10405 | 108.39 |
| 14/6/2007 | 96 | 10317 | 107.47 |
| 15/6/2007 | 96 | 10342 | 107.73 |
| 16/6/2007 | 96 | 10478 | 109.15 |
| 17/6/2007 | 96 | 10263 | 106.91 |

**2. ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่กำลังการผลิตต่างกันสำหรับคำนวณหาสมการไฟฟ้า**

ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่กำลังการผลิตต่าง ๆ ซึ่งใช้ในการคำนวณสมการค่าไฟฟ้า ที่กำลังการผลิตต่างกัน เพื่อใช้อ้างอิงในการวางแผนกำลังการผลิต

**ข้อมูลสายการผลิต 1**

ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับสายการผลิต 1 เก็บรวบรวมที่กำลังการผลิตต่างกันที่มีการเดินการผลิตต่อเนื่อง โดยดึงข้อมูลการบันทึกจากมิเตอร์ไฟฟ้าของสายการผลิต ซึ่งช่วงเวลาแสดงดังตาราง

ตาราง ที่ ก.4 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่กำลังการผลิตต่างกันของสายการผลิตที่ 1

| วัน | ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่กำลังการผลิตต่าง ๆ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 100%(108 T) ( 8-18 ม.ค.51) | 90%(97.2T) ( 4-9,28-31 พ.ค.51) | 85%(91.8 T) ( 4-7 ม.ค.51) | 80%(86.4T) ( 4-10 เม.ย.51) | 75%(81 T) ( 2-5 ก.พ. 51) |
| 1 | 11804 | 11590 | 11128 | 11489 | 11147 |
| 2 | 11833 | 11582 | 11402 | 11317 | 11019 |
| 3 | 11889 | 11666 | 11458 | 11752 | 11282 |
| 4 | 11006 | 11682 | 11995 | 11238 | 11225 |
| 5 | 11901 | 11463 | | 11295 | |
| 6 | 11053 | 11457 | | 11443 | |
| 7 | 11903 | 11961 | | 11322 | |
| 8 | 11779 | 11781 | | | |
| 9 | 11727 | 11629 | | | |
| 10 | 11548 | 11481 | | | |
| TOTAL | 116443 | 116292 | 45983 | 79856 | 44673 |
| TOTAL PRODUCT | 1080 | 972 | 367.2 | 604.8 | 324 |
| Electric/Unit | 107.8 | 119.6 | 125.2 | 132.0 | 137.9 |

**ข้อมูลสายการผลิต 2**

ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับสายการผลิต 2 เก็บรวบรวมที่กำลังการผลิตต่างกันที่มีการเดินการผลิตต่อเนื่อง โดยดึงข้อมูลการบันทึกจากมิเตอร์ไฟฟ้าของสายการผลิต ซึ่งช่วงเวลาแสดงดังตาราง

ตาราง ที่ ก.5 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่กำลังการผลิตต่างกันของสายการผลิตที่ 2

| วัน | ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่กำลังการผลิตต่าง ๆ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100% (96 T) ( 1-10 ก.ย.50) | 90%(86.4 T) ( 12-16 ก.ย.50) | 85%.(81.6 T) ( 19-24 ก.ย.50) | 80%(76.8 T) ( 1-5 ต.ค.50) | 75%(72T) ( 8-15 ต.ค. 50) | 70%(67.2 T) ( 12-17 พ.ย. 50) |
| 1 | 10283 | 10557 | 10322 | 10814 | 10973 | 10175 |
| 2 | 10184 | 10553 | 10546 | 10171 | 10109 | 10300 |
| 3 | 10373 | 11567 | 10543 | 10525 | 10214 | 10156 |
| 4 | 10492 | 10464 | 11059 | 10235 | 10144 | 10039 |
| 5 | 10886 | 10434 | | 10867 | 10086 | 9961 |
| 6 | 11910 | | | | 10063 | 10245 |
| 7 | 10727 | | | | 10938 | |
| 8 | 10807 | | | | 10081 | |
| 9 | 10374 | | | | | |
| 10 | 10647 | | | | | |
| TOTAL | 106683 | 53575 | 42470 | 52612 | 82608 | 60876 |
| TOTAL PRODUCT | 960 | 432 | 326.4 | 384 | 576 | 403.2 |
| ELECTRIC/UNIT | 111.13 | 124.02 | 130.12 | 137.01 | 143.42 | 150.98 |

**3. ข้อมูลค่าใช้จ่ายจริงในการผลิตและการจัดเก็บปี 2008**

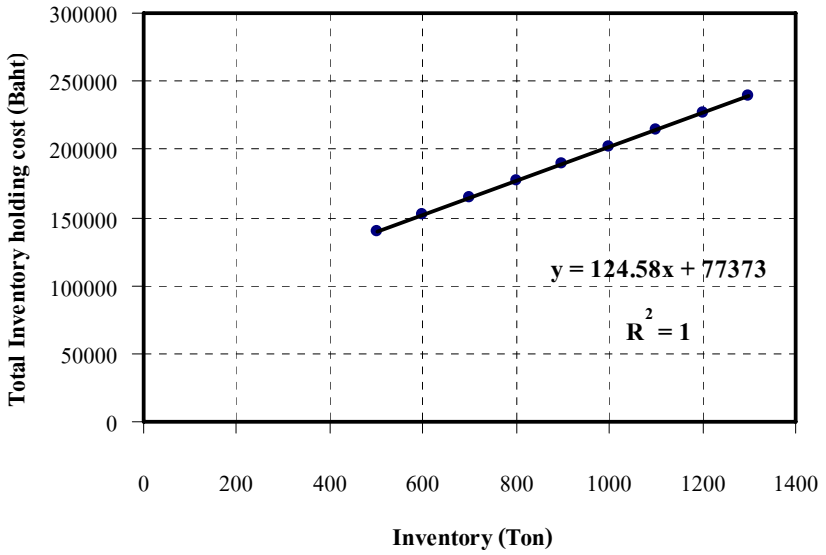
ตาราง ที่ ก.6 ค่าใช้จ่ายของการซ่อมบำรุงปี 2008

| Month | Production (Ton) | Maintenance Cost (Baht) | MT Cost/Unit (Bath/Ton) |
|---|---|---|---|
| Jan | 2552 | 118365 | **46** |
| Feb | 2258 | 153452 | **68** |
| Mar | 2434 | 126777 | **52** |
| Apr | 1949 | 196756 | **101** |
| May | 2692 | 108246 | **40** |
| Jun | 2118 | 173066 | **82** |
| Jul | 2600 | 112380 | **43** |
| Aug | 2464 | 126912 | **52** |
| Sep | 2068 | 184402 | **89** |
| Oct | 1955 | 195010 | **100** |
| Nov | 2162 | 171233 | **79** |
| Dec | 2253 | 152192 | **68** |
| | **TOTAL** | **1818791** | |

ตาราง ที่ ก.7 ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สำหรับการสร้างสมการปี 2008

| Inventory (Ton) | Fix Cost (Baht) | Cost of capital @11.5%(i) | Total Inventory holding cost (Baht) |
|---|---|---|---|
| 500 | 77373 | 62291.7 | **139665** |
| 600 | 77373 | 74750.0 | **152123** |
| 700 | 77373 | 87208.3 | **164581** |
| 800 | 77373 | 99666.7 | **177040** |
| 900 | 77373 | 112125.0 | **189498** |
| 1000 | 77373 | 124583.3 | **201956** |
| 1100 | 77373 | 137041.7 | **214415** |
| 1200 | 77373 | 149500.0 | **226873** |
| 1300 | 77373 | 161958.3 | **239331** |

จากตารางที่ ก.7 เป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นเพื่อทำการหาความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ โดยนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ดังรูปที่ ก.1 และใช้สมการที่ได้ใช้ในการวางแผนกำลังการผลิต




รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาที่ปริมาณการผลิตต่างกัน

**4. ข้อมูลความการผลิต สินค้าคงคลังของฟอร์มาลดีไฮด์**

ตาราง ที่ ก.8 ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ สินค้าคงคลัง และคำนวณความต้องการของฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007

| ปี | เดือน | Beginning (Ton.) | Production (Ton.) | Ending (Ton.) | Demand (Ton.) |
|---|---|---|---|---|---|
| **2002** | ม.ค. | 878 | 3620 | 724 | **3775** |
| | ก.พ. | 724 | 4288 | 795 | **4217** |
| | มี.ค. | 795 | 3856 | 841 | **3810** |
| | เม.ย. | 841 | 3579 | 982 | **3438** |
| | พ.ค. | 982 | 4104 | 1017 | **4069** |
| | มิ.ย. | 1017 | 3623 | 756 | **3884** |
| | ก.ค. | 756 | 4040 | 676 | **4121** |
| | ส.ค. | 676 | 3336 | 750 | **3262** |
| | ก.ย. | 750 | 3307 | 858 | **3199** |
| | ต.ค. | 858 | 3600 | 744 | **3714** |
| | พ.ย. | 744 | 3087 | 737 | **3094** |
| | ธ.ค. | 737 | 2764 | 808 | **2693** |
| **2003** | ม.ค. | 808 | 2577 | 839 | **2546** |
| | ก.พ. | 839 | 3987 | 783 | **4043** |
| | มี.ค. | 783 | 3358 | 967 | **3174** |
| | เม.ย. | 967 | 2842 | 946 | **2863** |
| | พ.ค. | 946 | 3443 | 887 | **3502** |
| | มิ.ย. | 887 | 3333 | 960 | **3260** |
| | ก.ค. | 960 | 3714 | 965 | **3709** |
| | ส.ค. | 965 | 3216 | 1036 | **3145** |
| | ก.ย. | 1036 | 2941 | 905 | **3072** |
| | ต.ค. | 905 | 3155 | 836 | **3224** |
| | พ.ย. | 836 | 2986 | 927 | **2895** |
| | ธ.ค. | 927 | 2941 | 1072 | **2796** |
| **2004** | ม.ค. | 1072 | 2562 | 1008 | **2626** |
| | ก.พ. | 1008 | 3197 | 993 | **3212** |
| | มี.ค. | 993 | 2557 | 1060 | **2490** |
| | เม.ย. | 1060 | 2590 | 1052 | **2598** |
| | พ.ค. | 1052 | 2795 | 952 | **2895** |
| | มิ.ย. | 952 | 2198 | 983 | **2167** |
| | ก.ค. | 983 | 2613 | 964 | **2632** |
| | ส.ค. | 964 | 2344 | 1083 | **2225** |
| | ก.ย. | 1083 | 1927 | 807 | **2203** |
| | ต.ค. | 807 | 2569 | 747 | **2629** |
| | พ.ย. | 747 | 2481 | 790 | **2438** |
| | ธ.ค. | 790 | 2208 | 841 | **2157** |

ตาราง ที่ ก.8 ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ สินค้าคงคลัง และคำนวณความต้องการของฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 (ต่อ)

| ปี | เดือน | Beginning (Ton.) | Production (Ton.) | Ending (Ton.) | Demand (Ton.) |
|---|---|---|---|---|---|
| **2005** | ม.ค. | 841 | 2336 | 872 | **2305** |
| | ก.พ. | 872 | 2484 | 981 | **2375** |
| | มี.ค. | 981 | 2081 | 917 | **2145** |
| | เม.ย. | 917 | 1912 | 956 | **1873** |
| | พ.ค. | 956 | 2847 | 930 | **2873** |
| | มิ.ย. | 930 | 2349 | 983 | **2296** |
| | ก.ค. | 983 | 2376 | 949 | **2410** |
| | ส.ค. | 949 | 2117 | 895 | **2171** |
| | ก.ย. | 895 | 2244 | 793 | **2346** |
| | ต.ค. | 793 | 2608 | 840 | **2561** |
| | พ.ย. | 840 | 2426 | 916 | **2350** |
| | ธ.ค. | 916 | 2263 | 774 | **2405** |
| **2006** | ม.ค. | 774 | 1810 | 763 | **1821** |
| | ก.พ. | 763 | 2653 | 845 | **2571** |
| | มี.ค. | 1045 | 2467 | 1078 | **2434** |
| | เม.ย. | 1078 | 2216 | 957 | **2337** |
| | พ.ค. | 957 | 2392 | 848 | **2501** |
| | มิ.ย. | 848 | 2351 | 995 | **2204** |
| | ก.ค. | 995 | 2771 | 1065 | **2701** |
| | ส.ค. | 1065 | 2624 | 1021 | **2668** |
| | ก.ย. | 1021 | 2133 | 1077 | **2077** |
| | ต.ค. | 1077 | 2663 | 1036 | **2704** |
| | พ.ย. | 1036 | 1983 | 900 | **2119** |
| | ธ.ค. | 900 | 1930 | 838 | **1992** |
| **2007** | ม.ค. | 838 | 2387 | 896 | **2329** |
| | ก.พ. | 896 | 2929 | 1084 | **2741** |
| | มี.ค. | 1084 | 2371 | 932 | **2523** |
| | เม.ย. | 932 | 2107 | 967 | **2072** |
| | พ.ค. | 967 | 2825 | 1091 | **2701** |
| | มิ.ย. | 1091 | 2206 | 924 | **2373** |
| | ก.ค. | 924 | 2843 | 927 | **2840** |
| | ส.ค. | 927 | 2418 | 935 | **2410** |
| | ก.ย. | 935 | 2183 | 988 | **2130** |
| | ต.ค. | 988 | 2287 | 965 | **2310** |
| | พ.ย. | 965 | 2213 | 937 | **2241** |
| | ธ.ค. | 937 | 2142 | 895 | **2184** |

ตาราง ที่ ก.9 ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ สินค้าคงคลัง และคำนวณความต้องการของฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008

| ปี | เดือน | Beginning (Ton.) | Production (Ton.) | Ending (Ton.) | Demand (Ton.) |
|---|---|---|---|---|---|
| **2008** | ม.ค. | 895 | 2552 | 1190 | **2257** |
| | ก.พ. | 1190 | 2258 | 882 | **2566** |
| | มี.ค. | 882 | 2434 | 893 | **2423** |
| | เม.ย. | 893 | 1949 | 1064 | **1778** |
| | พ.ค. | 1064 | 2692 | 967 | **2789** |
| | มิ.ย. | 967 | 2118 | 776 | **2309** |
| | ก.ค. | 776 | 2600 | 696 | **2680** |
| | ส.ค. | 696 | 2464 | 650 | **2510** |
| | ก.ย. | 650 | 2068 | 841 | **1877** |
| | ต.ค. | 841 | 1955 | 780 | **2016** |
| | พ.ย. | 780 | 2162 | 1026 | **1916** |
| | ธ.ค. | 1026 | 2253 | 1054 | **2225** |

## 5. ข้อมูลความการผลิตและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในปี 2008

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตปี 2008

| DATE | Production FM 50% (Tons.) | | | | | Electric (kw-Hr.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Line I | | Line II | | TOTAL | |
| | Capacity | %Operate | Capacity | %Operate | | |
| 31-Dec-07 | | | | | | |
| 1-Jan-08 | | | | | | 3275 |
| 2-Jan-08 | 22 | 20.4 | | | 22 | 9528 |
| 3-Jan-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11077 |
| 4-Jan-08 | 91.8 | 85.0 | | | 91.8 | 11128 |
| 5-Jan-08 | 91.8 | 85.0 | | | 91.8 | 11402 |
| 6-Jan-08 | 91.8 | 85.0 | | | 91.8 | 11458 |
| 7-Jan-08 | 91.8 | 85.0 | | | 91.8 | 11995 |
| 8-Jan-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11804 |
| 9-Jan-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11833 |
| 10-Jan-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11889 |
| 11-Jan-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11006 |
| 12-Jan-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11901 |
| 13-Jan-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11053 |
| 14-Jan-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11903 |
| 15-Jan-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11779 |
| 16-Jan-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11727 |
| 17-Jan-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11548 |
| 18-Jan-08 | 86.4 | 80.0 | | | 86.4 | 10548 |
| 19-Jan-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11832 |
| 20-Jan-08 | 62 | 57.4 | | | 62 | 11861 |
| 21-Jan-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11075 |
| 22-Jan-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11100 |
| 23-Jan-08 | 72.9 | 67.5 | | | 72.9 | 11043 |
| 24-Jan-08 | 69 | 63.9 | | | 69 | 11771 |
| 25-Jan-08 | 72.9 | 67.5 | | | 72.9 | 11895 |
| 26-Jan-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11977 |
| 27-Jan-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11002 |
| 28-Jan-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11286 |
| 29-Jan-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11742 |
| 30-Jan-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11895 |
| 31-Jan-08 | 60 | 55.6 | | | 60 | 11815 |
| 1-Feb-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 12113 |
| 2-Feb-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11147 |
| 3-Feb-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11019 |
| 4-Feb-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11282 |
| 5-Feb-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11225 |
| 6-Feb-08 | | | | | 0 | 731 |
| 7-Feb-08 | | | | | 0 | 652 |
| 8-Feb-08 | | | | | 0 | 874 |
| 9-Feb-08 | | | | | 0 | 395 |
| 10-Feb-08 | | | | | 0 | 6342 |
| 11-Feb-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11381 |
| 12-Feb-08 | 92 | 85.2 | | | 92 | 11631 |
| 13-Feb-08 | 96 | 88.9 | | | 96 | 11117 |
| 14-Feb-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11370 |
| 15-Feb-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11104 |
| 16-Feb-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11261 |
| 17-Feb-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11251 |
| 18-Feb-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11464 |
| 19-Feb-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11362 |
| 20-Feb-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11873 |
| 21-Feb-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11828 |
| 22-Feb-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11585 |
| 23-Feb-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11890 |
| 24-Feb-08 | 96 | 88.9 | | | 96 | 11136 |
| 25-Feb-08 | 96 | 88.9 | | | 96 | 11393 |
| 26-Feb-08 | 84 | 77.8 | | | 84 | 11000 |
| 27-Feb-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11567 |
| 28-Feb-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11690 |
| 29-Feb-08 | 82 | 75.9 | | | 82 | 11472 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปี 2008 (ต่อ)

| DATE | Production FM 50% (Tons.) | | | | | Electric |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Line I | | Line II | | TOTAL | |
| | Capacity | %Operate | Capacity | %Operate | | (kw-Hr.) |
| 1-Mar-08 | 75.5 | 69.9 | | | 75.5 | 11782 |
| 2-Mar-08 | 75.4 | 69.8 | | | 75.4 | 11599 |
| 3-Mar-08 | 76 | 70.4 | | | 76 | 11738 |
| 4-Mar-08 | 75.2 | 69.6 | | | 75.2 | 11590 |
| 5-Mar-08 | 74.1 | 68.6 | | | 74.1 | 11582 |
| 6-Mar-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11666 |
| 7-Mar-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11682 |
| 8-Mar-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11463 |
| 9-Mar-08 | 64.3 | 59.5 | | | 64.3 | 11457 |
| 10-Mar-08 | 65.2 | 60.4 | | | 65.2 | 11667 |
| 11-Mar-08 | 64.1 | 59.4 | | | 64.1 | 11698 |
| 12-Mar-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11688 |
| 13-Mar-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11730 |
| 14-Mar-08 | 72 | 66.7 | | | 72 | 11778 |
| 15-Mar-08 | 59.4 | 55.0 | | | 59.4 | 11884 |
| 16-Mar-08 | 68 | 63.0 | | | 68 | 11484 |
| 17-Mar-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11574 |
| 18-Mar-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11578 |
| 19-Mar-08 | 64.3 | 59.5 | | | 64.3 | 11148 |
| 20-Mar-08 | 15 | 13.9 | 16 | 16.7 | 31 | 9552 |
| 21-Mar-08 | | | 80 | 83.3 | 80 | 10613 |
| 22-Mar-08 | | | 84 | 87.5 | 84 | 10929 |
| 23-Mar-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10833 |
| 24-Mar-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10958 |
| 25-Mar-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10573 |
| 26-Mar-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10103 |
| 27-Mar-08 | 65 | 60.2 | | | 65 | 10822 |
| 28-Mar-08 | 84 | 77.8 | | | 84 | 11961 |
| 29-Mar-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11781 |
| 30-Mar-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11629 |
| 31-Mar-08 | 84 | 77.8 | | | 84 | 11681 |
| 1-Apr-08 | 84 | 77.8 | | | 84 | 11705 |
| 2-Apr-08 | 82 | 75.9 | | | 82 | 11622 |
| 3-Apr-08 | 80 | 74.1 | | | 80 | 11654 |
| 4-Apr-08 | 76 | 70.4 | | | 76 | 11489 |
| 5-Apr-08 | 72 | 66.7 | | | 72 | 11317 |
| 6-Apr-08 | 71.8 | 66.5 | | | 71.8 | 11752 |
| 7-Apr-08 | 67 | 62.0 | | | 67 | 11238 |
| 8-Apr-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11295 |
| 9-Apr-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11443 |
| 10-Apr-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11322 |
| 11-Apr-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 9651 |
| 12-Apr-08 | | | | | 0 | 689 |
| 13-Apr-08 | | | | | 0 | 326 |
| 14-Apr-08 | | | | | 0 | 254 |
| 15-Apr-08 | | | | | 0 | 378 |
| 16-Apr-08 | | | | | 0 | 5972 |
| 17-Apr-08 | | | 76 | 79.2 | 76 | 10838 |
| 18-Apr-08 | | | 84 | 87.5 | 84 | 10581 |
| 19-Apr-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10260 |
| 20-Apr-08 | | | 95.5 | 99.5 | 95.5 | 10913 |
| 21-Apr-08 | | | 94.6 | 98.5 | 94.6 | 10144 |
| 22-Apr-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10093 |
| 23-Apr-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10810 |
| 24-Apr-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10772 |
| 25-Apr-08 | | | 84 | 87.5 | 84 | 10320 |
| 26-Apr-08 | | | 72 | 75.0 | 72 | 10487 |
| 27-Apr-08 | | | 72 | 75.0 | 72 | 10545 |
| 28-Apr-08 | | | 66.7 | 69.5 | 66.7 | 10517 |
| 29-Apr-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10661 |
| 30-Apr-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10695 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปี 2008 (ต่อ)

| DATE | Production FM 50% (Tons.) | | | | | Electric (kw-Hr.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Line I | | Line II | | TOTAL | |
| | Capacity | %Operate | Capacity | %Operate | | |
| 1-May-08 | | | | | 0 | 6951 |
| 2-May-08 | 16 | 14.8 | | | 16 | 11744 |
| 3-May-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11769 |
| 4-May-08 | 97.2 | 90.0 | | | 97.2 | 11590 |
| 5-May-08 | 97.2 | 90.0 | | | 97.2 | 11582 |
| 6-May-08 | 97.2 | 90.0 | | | 97.2 | 11666 |
| 7-May-08 | 97.2 | 90.0 | | | 97.2 | 11682 |
| 8-May-08 | 97.2 | 90.0 | | | 97.2 | 11463 |
| 9-May-08 | 97.2 | 90.0 | | | 97.2 | 11457 |
| 10-May-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11090 |
| 11-May-08 | 107.6 | 99.6 | | | 107.6 | 11827 |
| 12-May-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11806 |
| 13-May-08 | 107 | 99.1 | | | 107 | 11491 |
| 14-May-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11402 |
| 15-May-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11418 |
| 16-May-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11366 |
| 17-May-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11295 |
| 18-May-08 | 96 | 88.9 | | | 96 | 11203 |
| 19-May-08 | 87 | 80.6 | | | 87 | 11154 |
| 20-May-08 | 84 | 77.8 | | | 84 | 11219 |
| 21-May-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11361 |
| 22-May-08 | 72 | 66.7 | | | 72 | 11285 |
| 23-May-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11155 |
| 24-May-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11479 |
| 25-May-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 10968 |
| 26-May-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11012 |
| 27-May-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11123 |
| 28-May-08 | 97.2 | 90.0 | | | 97.2 | 11961 |
| 29-May-08 | 97.2 | 90.0 | | | 97.2 | 11781 |
| 30-May-08 | 97.2 | 90.0 | | | 97.2 | 11629 |
| 31-May-08 | 97.2 | 90.0 | | | 97.2 | 11481 |
| 1-Jun-08 | 84.3 | 78.1 | | | 84.3 | 11946 |
| 2-Jun-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 10327 |
| 3-Jun-08 | 75 | 69.4 | | | 75 | 11906 |
| 4-Jun-08 | 72 | 66.7 | | | 72 | 10605 |
| 5-Jun-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11029 |
| 6-Jun-08 | | | | | 0 | 691 |
| 7-Jun-08 | | | | | 0 | 673 |
| 8-Jun-08 | | | | | 0 | 210 |
| 9-Jun-08 | | | | | 0 | 567 |
| 10-Jun-08 | 35 | 32.4 | | | 35 | 9062 |
| 11-Jun-08 | 70 | 64.8 | | | 70 | 11322 |
| 12-Jun-08 | 96 | 88.9 | | | 96 | 11432 |
| 13-Jun-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11068 |
| 14-Jun-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11014 |
| 15-Jun-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11884 |
| 16-Jun-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11947 |
| 17-Jun-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11007 |
| 18-Jun-08 | 84 | 77.8 | | | 84 | 11951 |
| 19-Jun-08 | 64 | 59.3 | | | 64 | 11100 |
| 20-Jun-08 | 68 | 63.0 | | | 68 | 11796 |
| 21-Jun-08 | 68 | 63.0 | | | 68 | 11637 |
| 22-Jun-08 | 38 | 35.2 | | | 38 | 11753 |
| 23-Jun-08 | | | 18 | 18.8 | 18 | 8694 |
| 24-Jun-08 | | | 90 | 93.8 | 90 | 10831 |
| 25-Jun-08 | | | 90 | 93.8 | 90 | 10318 |
| 26-Jun-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10864 |
| 27-Jun-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10508 |
| 28-Jun-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10498 |
| 29-Jun-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10442 |
| 30-Jun-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10441 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปี 2008 (ต่อ)

| DATE | Production FM 50% (Tons.) | | | | TOTAL | Electric (kw-Hr.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Line I | | Line II | | | |
| | Capacity | %Operate | Capacity | %Operate | | |
| 1-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10900 |
| 2-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10716 |
| 3-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10886 |
| 4-Jul-08 | | | 84 | 87.5 | 84 | 10830 |
| 5-Jul-08 | | | 84 | 87.5 | 84 | 10963 |
| 6-Jul-08 | | | 81 | 84.4 | 81 | 10835 |
| 7-Jul-08 | | | 80 | 83.3 | 80 | 10015 |
| 8-Jul-08 | | | 84 | 87.5 | 84 | 10990 |
| 9-Jul-08 | | | 84 | 87.5 | 84 | 10726 |
| 10-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10620 |
| 11-Jul-08 | | | 95 | 99.0 | 95 | 10274 |
| 12-Jul-08 | | | 92 | 95.8 | 92 | 10803 |
| 13-Jul-08 | | | 92 | 95.8 | 92 | 10801 |
| 14-Jul-08 | | | 94 | 97.9 | 94 | 10280 |
| 15-Jul-08 | | | 90 | 93.8 | 90 | 10077 |
| 16-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10525 |
| 17-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10026 |
| 18-Jul-08 | | | 72 | 75.0 | 72 | 10929 |
| 19-Jul-08 | | | 72 | 75.0 | 72 | 10867 |
| 20-Jul-08 | | | 72 | 75.0 | 72 | 10696 |
| 21-Jul-08 | | | 72 | 75.0 | 72 | 10957 |
| 22-Jul-08 | | | 72 | 75.0 | 72 | 10780 |
| 23-Jul-08 | | | 72 | 75.0 | 72 | 10773 |
| 24-Jul-08 | | | 87 | 90.6 | 87 | 10600 |
| 25-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10674 |
| 26-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10616 |
| 27-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10560 |
| 28-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10772 |
| 29-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10807 |
| 30-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10721 |
| 31-Jul-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10508 |
| 1-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10768 |
| 2-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10798 |
| 3-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10636 |
| 4-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10827 |
| 5-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10824 |
| 6-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10999 |
| 7-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10094 |
| 8-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10054 |
| 9-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10073 |
| 10-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10997 |
| 11-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10089 |
| 12-Aug-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10057 |
| 13-Aug-08 | | | 60 | 62.5 | 60 | 10087 |
| 14-Aug-08 | | | 61 | 63.5 | 61 | 10119 |
| 15-Aug-08 | | | 58 | 60.4 | 58 | 10158 |
| 16-Aug-08 | | | 60 | 62.5 | 60 | 10239 |
| 17-Aug-08 | | | 28 | 29.2 | 28 | 5631 |
| 18-Aug-08 | | | | | 0 | 678 |
| 19-Aug-08 | | | | | 0 | 654 |
| 20-Aug-08 | | | | | 0 | 4224 |
| 21-Aug-08 | 27 | 25.0 | | | 27 | 8722 |
| 22-Aug-08 | 57 | 52.8 | | | 57 | 11586 |
| 23-Aug-08 | 97 | 89.8 | | | 97 | 11224 |
| 24-Aug-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11579 |
| 25-Aug-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11482 |
| 26-Aug-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11409 |
| 27-Aug-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11513 |
| 28-Aug-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11448 |
| 29-Aug-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11579 |
| 30-Aug-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11516 |
| 31-Aug-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11520 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปี 2008 (ต่อ)

| DATE | Production FM 50% (Tons.) | | | | | Electric |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Line I | | Line II | | TOTAL | |
| | Capacity | %Operate | Capacity | %Operate | | (kw-Hr.) |
| 1-Sep-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11663 |
| 2-Sep-08 | 94 | 87.0 | | | 94 | 11685 |
| 3-Sep-08 | 92 | 85.2 | | | 92 | 11091 |
| 4-Sep-08 | 84 | 77.8 | | | 84 | 11752 |
| 5-Sep-08 | 81 | 75.0 | | | 81 | 11804 |
| 6-Sep-08 | 72 | 66.7 | | | 72 | 11620 |
| 7-Sep-08 | 72 | 66.7 | | | 72 | 11647 |
| 8-Sep-08 | 64 | 59.3 | | | 64 | 11569 |
| 9-Sep-08 | 64.8 | 60.0 | | | 64.8 | 11591 |
| 10-Sep-08 | | | | | 0 | 493 |
| 11-Sep-08 | | | | | 0 | 588 |
| 12-Sep-08 | | | | | 0 | 613 |
| 13-Sep-08 | | | | | 0 | 527 |
| 14-Sep-08 | | | | | 0 | 362 |
| 15-Sep-08 | | | | | 0 | 698 |
| 16-Sep-08 | | | | | 0 | 3962 |
| 17-Sep-08 | 48 | 44.4 | | | 48 | 8595 |
| 18-Sep-08 | 72 | 66.7 | | | 72 | 11734 |
| 19-Sep-08 | 96 | 88.9 | | | 96 | 11623 |
| 20-Sep-08 | 96 | 88.9 | | | 96 | 11685 |
| 21-Sep-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11058 |
| 22-Sep-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11728 |
| 23-Sep-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11803 |
| 24-Sep-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11921 |
| 25-Sep-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11893 |
| 26-Sep-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11937 |
| 27-Sep-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11895 |
| 28-Sep-08 | 108 | 100.0 | | | 108 | 11741 |
| 29-Sep-08 | 84 | 77.8 | | | 84 | 11237 |
| 30-Sep-08 | 76 | 70.4 | | | 76 | 11700 |
| 1-Oct-08 | 60 | 55.6 | | | 60 | 11846 |
| 2-Oct-08 | | | | | 0 | 784 |
| 3-Oct-08 | | | | | 0 | 693 |
| 4-Oct-08 | | | | | 0 | 472 |
| 5-Oct-08 | | | | | 0 | 7254 |
| 6-Oct-08 | | | 60 | 62.5 | 60 | 9082 |
| 7-Oct-08 | | | 79 | 82.3 | 79 | 10015 |
| 8-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10859 |
| 9-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10677 |
| 10-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10709 |
| 11-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10251 |
| 12-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10856 |
| 13-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10977 |
| 14-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10028 |
| 15-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10172 |
| 16-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10871 |
| 17-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10841 |
| 18-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10697 |
| 19-Oct-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10736 |
| 20-Oct-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10691 |
| 21-Oct-08 | | | 16 | 16.7 | 16 | 6711 |
| 22-Oct-08 | | | | | 0 | 899 |
| 23-Oct-08 | | | | | 0 | 275 |
| 24-Oct-08 | | | | | 0 | 4217 |
| 25-Oct-08 | | | 21 | 21.9 | 21 | 9519 |
| 26-Oct-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 9098 |
| 27-Oct-08 | | | 87 | 90.6 | 87 | 10536 |
| 28-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10751 |
| 29-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10217 |
| 30-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10819 |
| 31-Oct-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10694 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปี 2008 (ต่อ)

| DATE | Production FM 50% (Tons.) | | | | TOTAL | Electric (kw-Hr.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Line I | | Line II | | | |
| | Capacity | %Operate | Capacity | %Operate | | |
| 1-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10825 |
| 2-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10912 |
| 3-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10906 |
| 4-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10776 |
| 5-Nov-08 | | | 81 | 84.4 | 81 | 10846 |
| 6-Nov-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10752 |
| 7-Nov-08 | | | 58 | 60.4 | 58 | 10191 |
| 8-Nov-08 | | | | | 0 | 1001 |
| 9-Nov-08 | | | | | 0 | 1131 |
| 10-Nov-08 | | | | | 0 | 945 |
| 11-Nov-08 | | | | | 0 | 693 |
| 12-Nov-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 7724 |
| 13-Nov-08 | | | 87 | 90.6 | 87 | 10336 |
| 14-Nov-08 | | | 92 | 95.8 | 92 | 10340 |
| 15-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10724 |
| 16-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10895 |
| 17-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10970 |
| 18-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10933 |
| 19-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10063 |
| 20-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10012 |
| 21-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10045 |
| 22-Nov-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10008 |
| 23-Nov-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10492 |
| 24-Nov-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10896 |
| 25-Nov-08 | | | 72 | 75.0 | 72 | 10548 |
| 26-Nov-08 | | | 74 | 77.1 | 74 | 10717 |
| 27-Nov-08 | | | 70 | 72.9 | 70 | 10570 |
| 28-Nov-08 | | | 70 | 72.9 | 70 | 10517 |
| 29-Nov-08 | | | 68 | 70.8 | 68 | 10856 |
| 30-Nov-08 | | | 82 | 85.4 | 82 | 10962 |
| 1-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10075 |
| 2-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10064 |
| 3-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10263 |
| 4-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10996 |
| 5-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10122 |
| 6-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10100 |
| 7-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10036 |
| 8-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10986 |
| 9-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10888 |
| 10-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10130 |
| 11-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10177 |
| 12-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10904 |
| 13-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10960 |
| 14-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10108 |
| 15-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10079 |
| 16-Dec-08 | | | 96 | 100.0 | 96 | 10323 |
| 17-Dec-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10264 |
| 18-Dec-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10550 |
| 19-Dec-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10253 |
| 20-Dec-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10968 |
| 21-Dec-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10320 |
| 22-Dec-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10521 |
| 23-Dec-08 | | | 64 | 66.7 | 64 | 10697 |
| 24-Dec-08 | | | 62 | 64.6 | 62 | 10279 |
| 25-Dec-08 | | | 62 | 64.6 | 62 | 10292 |
| 26-Dec-08 | | | 62 | 64.6 | 62 | 10275 |
| 27-Dec-08 | | | 62 | 64.6 | 62 | 10259 |
| 28-Dec-08 | | | 21 | 21.9 | 21 | 6872 |
| 29-Dec-08 | | | | | 0 | 527 |
| 30-Dec-08 | | | | | 0 | 383 |
| 31-Dec-08 | | | | | 0 | 374 |

**6. สรุปข้อมูลในการผลิตปี 2008**

ตารางที่ ก.11 สรุปข้อมูลการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008 กรณีพิจารณาความร้อนที่ใช้จริง อัตรา 1.5 ตันต่อชั่วโมง

| เดือน | Production (Tons.) | Start Up (time) | Electric (KW-Hr.) | Inventory (Tons.) | Steam (Tons.) |
|---|---|---|---|---|---|
| ม.ค. | 2552 | 1 | 347148 | 1190 | 1044 |
| ก.พ. | 2258 | 1 | 283155 | 882 | 864 |
| มี.ค. | 2434 | 2 | 352223 | 893 | 1080 |
| เม.ย. | 1949 | 1 | 279743 | 1064 | 900 |
| พ.ค. | 2692 | 0 | 350410 | 967 | 1044 |
| มิ.ย. | 2118 | 2 | 287523 | 776 | 1044 |
| ก.ค. | 2600 | 0 | 330527 | 696 | 1116 |
| ส.ค. | 2464 | 1 | 301584 | 650 | 936 |
| ก.ย. | 2068 | 1 | 272215 | 841 | 828 |
| ต.ค. | 1955 | 2 | 262247 | 780 | 792 |
| พ.ย. | 2162 | 1 | 276586 | 1026 | 936 |
| ธ.ค. | 2253 | 0 | 287761 | 1054 | 972 |

ตารางที่ ก.12 สรุปต้นทุนจริงในการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008 (กรณีพิจารณาความร้อนที่ใช้งานจริงอัตรา 1.5 ตันต่อชั่วโมง)

| เดือน | Production (Ton.) | Ending Inventory (Ton.) | Cost (Baht) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Catalyst Decay | Electric | Catalyst | MT Cost | PM Cost |
| ม.ค. | 2552 | 1190 | 8343 | 919942 | 415143 | 118365 | |
| ก.พ. | 2258 | 882 | 8343 | 750361 | 367299 | 153452 | |
| มี.ค. | 2434 | 893 | 16686 | 933391 | 395947 | 126777 | 129630 |
| เม.ย. | 1949 | 1064 | 8343 | 741319 | 317031 | 196756 | |
| พ.ค. | 2692 | 967 | 0 | 928587 | 437902 | 108246 | |
| มิ.ย. | 2118 | 776 | 16686 | 761936 | 344573 | 173066 | 129630 |
| ก.ค. | 2600 | 696 | 0 | 875897 | 422968 | 112380 | |
| ส.ค. | 2464 | 650 | 8343 | 799198 | 400844 | 126912 | |
| ก.ย. | 2068 | 841 | 8343 | 721370 | 336390 | 184402 | 129630 |
| ต.ค. | 1955 | 780 | 16686 | 694955 | 318039 | 195010 | |
| พ.ย. | 2162 | 1026 | 8343 | 732953 | 351714 | 171233 | |
| ธ.ค. | 2253 | 1054 | 0 | 762567 | 366518 | 152192 | 129630 |

ตารางที่ ก.12 สรุปต้นทุนจริงในการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008
(กรณีพิจารณาความร้อนที่ใช้งานจริงอัตรา 1.5 ตันต่อชั่วโมง) (ต่อ)

| เดือน | Production (Ton.) | Ending Inventory (Ton.) | Cost (Baht) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Labor | Depre | Inventory (Fixed) | Inventory (Vary) |
| ม.ค. | 2552 | 1190 | 129000 | 1210499 | 77373 | 148254 |
| ก.พ. | 2258 | 882 | 129000 | 1210499 | 77373 | 109883 |
| มี.ค. | 2434 | 893 | 129000 | 1210499 | 77373 | 111253 |
| เม.ย. | 1949 | 1064 | 129000 | 1210499 | 77373 | 132557 |
| พ.ค. | 2692 | 967 | 129000 | 1210499 | 77373 | 120472 |
| มิ.ย. | 2118 | 776 | 129000 | 1210499 | 77373 | 96677 |
| ก.ค. | 2600 | 696 | 129000 | 1210499 | 77373 | 86710 |
| ส.ค. | 2464 | 650 | 129000 | 1210499 | 77373 | 80979 |
| ก.ย. | 2068 | 841 | 129000 | 1210499 | 77373 | 104775 |
| ต.ค. | 1955 | 780 | 129000 | 1210499 | 77373 | 97175 |
| พ.ย. | 2162 | 1026 | 129000 | 1210499 | 77373 | 127823 |
| ธ.ค. | 2253 | 1054 | 129000 | 1210499 | 77373 | 131311 |

ตารางที่ ก.13 สรุปต้นทุนและรายได้จริงในการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2008
(กรณีพิจารณาความร้อนที่ใช้งานจริงอัตรา 1.5 ตันต่อชั่วโมง)

| เดือน | Production (Ton.) | Ending Inventory (Ton.) | Total Cost (Baht) | Revenue (Steam) (Baht) | Profit (Baht) (Baht) |
|---|---|---|---|---|---|
| ม.ค. | 2552 | 1190 | **3041006** | **1122300** | **-1918706** |
| ก.พ. | 2258 | 882 | **2818672** | **928800** | **-1889872** |
| มี.ค. | 2434 | 893 | **3143990** | **1161000** | **-1982990** |
| เม.ย. | 1949 | 1064 | **2823635** | **967500** | **-1856135** |
| พ.ค. | 2692 | 967 | **3026937** | **1122300** | **-1904637** |
| มิ.ย. | 2118 | 776 | **2951131** | **1122300** | **-1828831** |
| ก.ค. | 2600 | 696 | **2929179** | **1199700** | **-1729479** |
| ส.ค. | 2464 | 650 | **2846748** | **1006200** | **-1840548** |
| ก.ย. | 2068 | 841 | **2913195** | **890100** | **-2023095** |
| ต.ค. | 1955 | 780 | **2749528** | **851400** | **-1898128** |
| พ.ย. | 2162 | 1026 | **2820872** | **1006200** | **-1814672** |
| ธ.ค. | 2253 | 1054 | **2971526** | **1044900** | **-1926626** |
| | | **TOTAL** | **36397321** | **12422700** | **-23974621** |

# ภาคผนวก ข

## การพิจารณาส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

ข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 แสดงเป็นรายเดือนรวมทั้งสิ้น 72 เดือน ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมมาแล้วนั้นต้องทำการพิจารณาว่าอนุกรมเวลาของความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์มีส่วนประกอบใดบ้าง โดยจะทำการพิจารณาส่วนประกอบที่เป็นแนวโน้มและฤดูกาล เพื่อดูลักษณะของข้อมูลและการพิจารณาในการเลือกวิธีการพยากรณ์

**การวิเคราะห์แนวโน้ม** สมเกียรติ เกตุเอี่ยม (2548)

แนวโน้มเป็นส่วนประกอบหนึ่งของอนุกรมเวลาที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในระยะยาวว่าข้อมูลควรจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร ดังนั้นข้อมูลที่นำมาหาแนวโน้มควรจะมีจำนวนตั้งแต่ 10 ค่าขึ้นไป สำหรับวิธีการหาแนวโน้มมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งการจะนำไปใช้ขึ้นอยู่กับแนวโน้มมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง

**การทดสอบแนวโน้ม**

เมื่อมีการเก็บข้อมูลแล้วต้องทราบก่อนว่าอนุกรมเวลาชุดนั้นมีส่วนประกอบใดบ้าง ขั้นแรกคือการนำข้อมูลมาเขียนแผนภาพการกระจายแล้วพิจารณาว่าข้อมูลชุดนั้นมีแนวโน้มหรือไม่ และแนวโน้มมีลักษณะเป็นอย่างไร ในกรณีที่พิจารณาจากแผนภาพการกระจายแล้วยังมีความคลุมเครือว่าข้อมูลชุดนั้นจะมีส่วนประกอบที่เป็นแนวโน้มจริงหรือไม่ จึงมีความจำเป็นต้องทำการทดสอบสมมุติฐานว่าข้อมูลมีแนวโน้มหรือไม่ การทดสอบสมมุติฐานมีทั้งการทดสอบแบบใช้พารามิเตอร์และแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ แต่ในที่นี้จะใช้การทดสอบแบบใช้พารามิเตอร์ คือการทดสอบเครื่องหมาย การทดสอบแบบเครื่องหมายเป็นการทดสอบแนวโน้มที่พิจารณาค่าสังเกตที่อยู่ติดกันมีค่าต่างกันทางบวกหรือลบ นั่นคือพิจารณาค่าสังเกตุ $Y_i$ มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่า $Y_{i-1}$ (เมื่อ $Y_i$ ,$Y_{i-1}$ คือค่าข้อมูลอนุกรมเวลาตัวที่ i และ i-1 ซึ่งพิจารณาได้จากเครื่องหมายของผลต่างครั้งที่ 1 ของ $Y_i - Y_{i-1}$ ว่าเป็นบวกหรือลบ กรณีที่ผลต่างเป็นบวกมากกว่าลบ เป็นผลจากอนุกรมมีแนวโน้มขึ้นหรือแนวโน้มลง การทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดสมมุติฐานหลักและสมมุติฐานทางเลือก

   $H_0$ : อนุกรมเวลาไม่มีแนวโน้ม

   $H_1$ : อนุกรมเวลามีแนวโน้มอาจจะเป็นทางขึ้นหรือลง

2. สถิติที่ใช้ทดสอบ

V = จำนวนผลต่างครั้งที่หนึ่งของ $Y_i - Y_{i-1}$ ของอนุกรมที่เป็นบวก

3. เกณฑ์การตัดสินใจเมื่ออนุกรมเวลามีขนาด n มากกว่าหรือเท่ากับ 20 ใช้

$$Z = \frac{V - \mu_V}{\sigma_V}$$

เมื่อ $\mu_V = \frac{n}{2}$ , $\sigma_V = \sqrt{\frac{n}{4}}$ ; n = จำนวนข้อมูลทั้งหมดของอนุกรมเวลา

ส่วนการยอมรับหรือปฏิเสธ $H_0$ จะใช้ค่าวิกฤติ $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ และ $-Z_{\frac{\alpha}{2}}$ โดยที่ยอมรับ $H_0$ เมื่อ $-Z_{\frac{\alpha}{2}} \le Z \le Z_{\frac{\alpha}{2}}$ และปฏิเสธ $H_0$ เมื่อ $Z \le -Z_{\frac{\alpha}{2}}$ หรือ $Z \le Z_{\frac{\alpha}{2}}$

**การวิเคราะห์ความผันแปรตามฤดูกาล**

ความผันแปรตามฤดูกาล เป็นส่วนประกอบหนึ่งของนุกรมเวลาที่แสดงการเคลื่อนไหว ของข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีผลมาจากอิทธิพลของฤดูกาล โดยทั่วไปความผันแปรตามฤดูกาลนั้นจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอยู่ 2 ประเภท คือการเปลี่ยนแปลงที่คงที่ในช่วงเวลานั้นๆ เรียกว่าฤดูกาลคงที่ และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบตลอดเวลาในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เรียกว่าฤดูกาลเปลี่ยนแปลง การตรวจสอบความผันแปรตามฤดูกาลจะคำนวณจากปริมาณสัมพัทธ์หรือร้อยละ เรียกได้ว่าเป็นดัชนีฤดูกาล

**การทดสอบความผันแปรตามฤดูกาล**

การจะดูว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีความผันแปรตามฤดูกาลหรือไม่นั้นจะนำข้อมูลมาเขียนกราฟการกระจายแล้ว ยังสามารถนำข้อมูลอนุกรมเวลาทำการกำจัดค่าแนวโน้มไปทดสอบว่ามีความแปรผันตามฤดูกาลหรือไม่ โดยการทดสอบของ Kruskal-Wallis ปกติเป็นวิธีที่ใช้ทดสอบความแตกต่างของประชากร K กลุ่ม เรานำมาประยุกต์ใช้กับการทดสอบว่าอนุกรมเวลาที่กำจัดค่าแนวโน้มแล้วมีความผันแปรตามฤดูกาลหรือไม่ การทดสอบนี้จะใช้ลำดับของข้อมูลอนุกรมเวลาที่กำจัดค่าแนวโน้มแล้วมีขั้นตอนดังนี้

1. หาข้อมูลอนุกรมเวลาที่กำจัดค่าแนวโน้มหมด แล้วเรียงลำดับข้อมูลจากน้อยเรียงลำดับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนครบทุกตัว ซึ่งเท่ากับ n ตัว เมื่อ n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด

2. กำหนดสมมุติฐานหลักและสมมุติฐานทางเลือก

$H_0$ : อนุกรมเวลาไม่มีส่วนประกอบความผันแปรตามฤดูกาล

$H_1$ : อนุกรมเวลามีส่วนประกอบความผันแปรตามฤดูกาล

3. ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ

$$H = \frac{12}{n(n+1)}\left[\sum_{i=1}^{k}\frac{R_i^2}{n_i}\right] - 3(n+1)$$

เมื่อ k แทนจำนวนฤดูกาล

$R_i$ แทนผลรวมของอันดับข้อมูลในฤดูกาลที่ i

$n_i$ แทนจำนวนข้อมูลในฤดูกาลที่ i

$$n = \sum_{i=1}^{k} n_i$$

4. การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมุติฐานหลัก $H_0$ ถ้า $n_i \le k, k \le 5, n \le 15$ จะใช้ตาราง Kruskal-Wallis แต่ถ้า $n_i > 5$ จะใช้ตารางแจกแจงความน่าจะเป็นไคสแควร์โดยปฏิเสธ $H_0$ เมื่อ $H > \chi^2_{\alpha,k-1}$

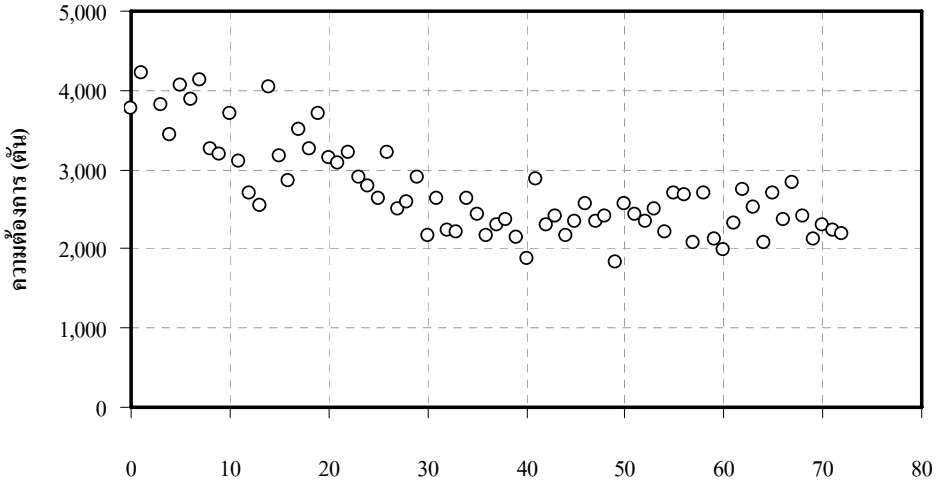
**การทดสอบแนวโน้มและฤดูกาลของข้อมูลความต้องการปี 2002-2007 (72 ข้อมูล)**

**การทดสอบแนวโน้ม**

การทดสอบว่าอนุกรมเวลามีส่วนประกอบของแนวโน้มหรือไม่จะทำการพิจารณาใน 2 วิธี คือนำข้อมูลมาเขียนแผนภาพการกระจายพร้อมสร้างเส้นแนวโน้ม และการทดสอบสมมุติฐาน ซึ่งจะแสดงให้เห็นทั้งสองวิธีการ

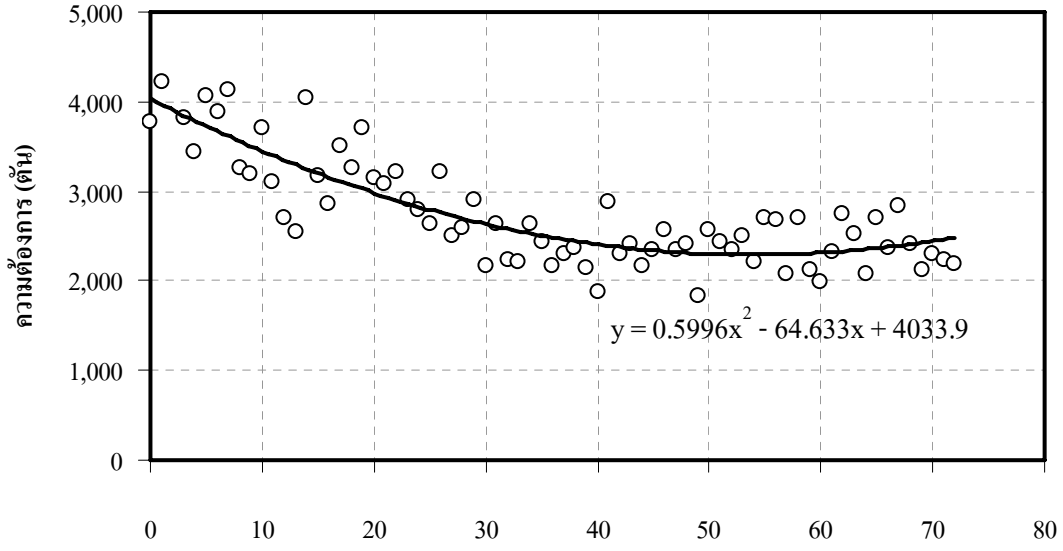
**1. แผนภาพการกระจาย**

การพิจารณาแผนภาพการกระจายของอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ โดยนำข้อมูลทั้ง 72 ข้อมูลมาเขียนแผนภาพดังรูปที่ ข.1




รูปที่ ข.1 แผนภาพการกระจายของความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% รายเดือน ปี 2002-2007

จากรูป ข.1 เมื่อพิจารณาด้วยสายตาพบว่าการกระจายของข้อมูลมีแนวโน้มในทางลดลง ดังนั้นทำการหาสมการเส้นแนวโน้มแสดงได้ดังรูปที่ ข.2




รูปที่ ข.2 แผนภาพการกระจายพร้อมเส้นแนวโน้มของความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50% รายเดือน ปี 2002-2007 (X=0 ที่เดือนมกราคม 2002)

**2. การทดสอบสมมุติฐาน**

1. กำหนดสมมุติฐานหลักและสมมุติฐานทางเลือก

$H_0$ : อนุกรมเวลาไม่มีแนวโน้ม

$H_1$ : อนุกรมเวลามีแนวโน้มอาจจะเป็นทางขึ้นหรือลง

2. สถิติที่ใช้ทดสอบ โดยใช้การทดสอบเครื่องหมายของผลต่างครั้งที่หนึ่ง แสดงข้อมูลได้ดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 การหาค่า V (จำนวนผลต่างครั้งที่หนึ่งของ $Y_i - Y_{i-1}$ ของอนุกรมที่เป็นบวก )

| เดือน ปี | $Y_i$ (Demand) | $Y_i$-$Y_{i-1}$ | เครื่องหมาย |
|---|---|---|---|
| Jan-02 | 3775 | - | |
| Feb-02 | 4217 | 442.56 | + |
| Mar-02 | 3810 | -407.7 | - |
| Apr-02 | 3438 | -371.54 | - |
| May-02 | 4069 | 631.04 | + |
| Jun-02 | 3884 | -185 | - |
| Jul-02 | 4121 | 236.46 | + |
| Aug-02 | 3262 | -858.5 | - |
| Sep-02 | 3199 | -63 | - |
| Oct-02 | 3714 | 515.052 | + |
| Nov-02 | 3094 | -619.61 | - |
| Dec-02 | 2693 | -401.46 | - |
| Jan-03 | 2546 | -146.6 | - |
| Feb-03 | 4043 | 1496.46 | + |
| Mar-03 | 3174 | -868.99 | - |
| Apr-03 | 2863 | -310.75 | - |
| May-03 | 3502 | 639.152 | + |
| Jun-03 | 3260 | -241.95 | - |
| Jul-03 | 3709 | 449.04 | + |
| Aug-03 | 3145 | -564 | - |
| Sep-03 | 3072 | -73.34 | - |
| Oct-03 | 3224 | 152 | + |
| Nov-03 | 2895 | -329.26 | - |
| Dec-03 | 2796 | -98.7 | - |
| Jan-04 | 2626 | -170 | - |
| Feb-04 | 3212 | 586.04 | + |
| Mar-04 | 2490 | -722 | - |
| Apr-04 | 2598 | 107.76 | + |
| May-04 | 2895 | 297.028 | + |
| Jun-04 | 2167 | -727.63 | - |
| Jul-04 | 2632 | 464.4 | + |
| Aug-04 | 2225 | -406.8 | - |
| Sep-04 | 2203 | -21.4 | - |
| Oct-04 | 2629 | 426 | + |
| Nov-04 | 2438 | -191.4 | - |
| Dec-04 | 2157 | -280.8 | - |

| เดือน ปี | $Y_i$ (Demand) | $Y_i$-$Y_{i-1}$ | เครื่องหมาย |
|---|---|---|---|
| Jan-05 | 2305 | 148 | + |
| Feb-05 | 2375 | 69 | + |
| Mar-05 | 2145 | -230 | - |
| Apr-05 | 1873 | -272 | - |
| May-05 | 2873 | 1000 | + |
| Jun-05 | 2296 | -577 | - |
| Jul-05 | 2410 | 114 | + |
| Aug-05 | 2171 | -239 | - |
| Sep-05 | 2346 | 174 | + |
| Oct-05 | 2561 | 216 | + |
| Nov-05 | 2350 | -211 | - |
| Dec-05 | 2405 | 55 | + |
| Jan-06 | 1821 | -584 | - |
| Feb-06 | 2571 | 750 | + |
| Mar-06 | 2434 | -137 | - |
| Apr-06 | 2337 | -97 | - |
| May-06 | 2501 | 164 | + |
| Jun-06 | 2204 | -297 | - |
| Jul-06 | 2701 | 497 | + |
| Aug-06 | 2668 | -33 | - |
| Sep-06 | 2077 | -591 | - |
| Oct-06 | 2704 | 627 | + |
| Nov-06 | 2119 | -585 | - |
| Dec-06 | 1992 | -127 | - |
| Jan-07 | 2329 | 337 | + |
| Feb-07 | 2741 | 413 | + |
| Mar-07 | 2523 | -218 | - |
| Apr-07 | 2072 | -452 | - |
| May-07 | 2701 | 629 | + |
| Jun-07 | 2373 | -327 | - |
| Jul-07 | 2840 | 467 | + |
| Aug-07 | 2410 | -430 | - |
| Sep-07 | 2130 | -280 | - |
| Oct-07 | 2310 | 180 | + |
| Nov-07 | 2241 | -69 | - |
| Dec-07 | 2184 | -57 | - |

จากตารางที่ ข.1 จำนวนผลต่างครั้งที่หนึ่งของ $Y_i - Y_{i-1}$ ของอนุกรมที่เป็นบวก (V) = 27

3. เกณฑ์การตัดสินใจ

จากข้อมูล n = 72 , V = 27 ; n = จำนวนข้อมูลทั้งหมดของอนุกรมเวลา

หาค่า $\mu_V = \frac{n}{2} = \frac{72}{2} = 36$

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{n}{4}} = \sqrt{\frac{72}{4}} = 4.24$$

แทนค่าในสมการ

$$Z = \frac{V - \mu_V}{\sigma_V}$$

$$Z = \frac{27 - 36}{4.24} = -2.12$$

เปิดตารางการแจกแจงปกติพิจารณาค่าวิกฤติ $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ และ $-Z_{\frac{\alpha}{2}}$ โดยพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จะได้ค่าดังนี้ $Z_{0.025} = 1.96$ และ $-Z_{0.025} = -1.96$

เมื่อนำมาพิจารณาจากค่า Z = -2.12 มีค่า $Z \leq -Z_{\frac{\alpha}{2}}$ จึงปฏิเสธ $H_0$

สรุปได้ว่าอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์มีส่วนประกอบของแนวโน้ม

**การทดสอบฤดูกาล**

การทดสอบส่วนประกอบของอนุกรมเวลาว่ามีอิทธิพลของฤดูกาลหรือไม่นั้นนำเสนอในส่วนของการทดสอบสมมุติฐาน

**การทดสอบสมมุติฐาน**

1. กำหนดสมมุติฐานหลักและสมมุติฐานทางเลือก

$H_0$ : อนุกรมเวลาไม่มีส่วนประกอบความผันแปรตามฤดูกาล

$H_1$ : อนุกรมเวลามีส่วนประกอบความผันแปรตามฤดูกาล

2. หาข้อมูลอนุกรมเวลาที่กำจัดค่าแนวโน้มหมด แล้วเรียงลำดับข้อมูลจากน้อยเรียงลำดับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนครบทุกตัว ซึ่งเท่ากับ n ตัว เมื่อ n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด โดยกำหนดให้ Y' คือ ค่าของความต้องการที่ได้จากสมการแนวโน้ม $Y' = 0.5996X^2 - 64.633X + 4033.9$ โดยนำมาหาค่าอนุกรมเวลาที่กำจัดแนวโน้ม Y/Y' แล้วให้ลำดับที่ของข้อมูลแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ ข.2 ค่าต่างๆ ที่ใช้ทดสอบความผันแปรตามฤดูกาล

| Year | Month | Time | Y (Demand) | Y' | Y/Y' | ลำดับที่ของข้อมูล |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2002 | 1 | 0 | 3775 | 4033.9 | **0.936** | **26** |
| | 2 | 1 | 4217 | 3969.9 | **1.062** | **53** |
| | 3 | 2 | 3810 | 3907.0 | **0.975** | **33** |
| | 4 | 3 | 3438 | 3845.4 | **0.894** | **14** |
| | 5 | 4 | 4069 | 3785.0 | **1.075** | **55** |
| | 6 | 5 | 3884 | 3725.7 | **1.042** | **49** |
| | 7 | 6 | 4121 | 3667.7 | **1.123** | **62** |
| | 8 | 7 | 3262 | 3610.8 | **0.903** | **19** |
| | 9 | 8 | 3199 | 3555.2 | **0.900** | **17** |
| | 10 | 9 | 3714 | 3500.8 | **1.061** | **52** |
| | 11 | 10 | 3094 | 3447.5 | **0.898** | **16** |
| | 12 | 11 | 2693 | 3395.5 | **0.793** | **4** |
| 2003 | 1 | 12 | 2546 | 3344.6 | **0.761** | **1** |
| | 2 | 13 | 4043 | 3295.0 | **1.227** | **72** |
| | 3 | 14 | 3174 | 3246.6 | **0.978** | **35** |
| | 4 | 15 | 2863 | 3199.3 | **0.895** | **15** |
| | 5 | 16 | 3502 | 3153.3 | **1.111** | **60** |
| | 6 | 17 | 3260 | 3108.4 | **1.049** | **50** |
| | 7 | 18 | 3709 | 3064.8 | **1.210** | **71** |
| | 8 | 19 | 3145 | 3022.3 | **1.041** | **48** |
| | 9 | 20 | 3072 | 2981.1 | **1.030** | **46** |
| | 10 | 21 | 3224 | 2941.0 | **1.096** | **59** |
| | 11 | 22 | 2895 | 2902.2 | **0.997** | **36** |
| | 12 | 23 | 2796 | 2864.5 | **0.976** | **34** |
| 2004 | 1 | 24 | 2626 | 2828.1 | **0.929** | **25** |
| | 2 | 25 | 3212 | 2792.8 | **1.150** | **64** |
| | 3 | 26 | 2490 | 2758.8 | **0.903** | **18** |
| | 4 | 27 | 2598 | 2725.9 | **0.953** | **28** |
| | 5 | 28 | 2895 | 2694.3 | **1.074** | **54** |
| | 6 | 29 | 2167 | 2663.8 | **0.814** | **5** |
| | 7 | 30 | 2632 | 2634.6 | **0.999** | **38** |
| | 8 | 31 | 2225 | 2606.5 | **0.854** | **6** |
| | 9 | 32 | 2203 | 2579.6 | **0.854** | **7** |
| | 10 | 33 | 2629 | 2554.0 | **1.030** | **45** |
| | 11 | 34 | 2438 | 2529.5 | **0.964** | **31** |
| | 12 | 35 | 2157 | 2506.3 | **0.861** | **8** |

ตารางที่ ข.2 ค่าต่างๆ ที่ใช้ทดสอบความผันแปรตามฤดูกาล (ต่อ)

| Year | Month | Time | Y (Demand) | Y' | Y/Y' | ลำดับที่ของข้อมูล |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2005 | 1 | 36 | 2305 | 2484.2 | **0.928** | **24** |
| | 2 | 37 | 2375 | 2463.3 | **0.964** | **32** |
| | 3 | 38 | 2145 | 2443.7 | **0.878** | **10** |
| | 4 | 39 | 1873 | 2425.2 | **0.772** | **2** |
| | 5 | 40 | 2873 | 2407.9 | **1.193** | **69** |
| | 6 | 41 | 2296 | 2391.9 | **0.960** | **29** |
| | 7 | 42 | 2410 | 2377.0 | **1.014** | **43** |
| | 8 | 43 | 2171 | 2363.3 | **0.919** | **22** |
| | 9 | 44 | 2346 | 2350.9 | **0.998** | **37** |
| | 10 | 45 | 2561 | 2339.6 | **1.095** | **58** |
| | 11 | 46 | 2350 | 2329.5 | **1.009** | **42** |
| | 12 | 47 | 2405 | 2320.7 | **1.037** | **47** |
| 2006 | 1 | 48 | 1821 | 2313.0 | **0.787** | **3** |
| | 2 | 49 | 2571 | 2306.5 | **1.115** | **61** |
| | 3 | 50 | 2434 | 2301.3 | **1.058** | **51** |
| | 4 | 51 | 2337 | 2297.2 | **1.017** | **44** |
| | 5 | 52 | 2501 | 2294.3 | **1.090** | **57** |
| | 6 | 53 | 2204 | 2292.6 | **0.961** | **30** |
| | 7 | 54 | 2701 | 2292.2 | **1.179** | **67** |
| | 8 | 55 | 2668 | 2292.9 | **1.164** | **65** |
| | 9 | 56 | 2077 | 2294.8 | **0.905** | **20** |
| | 10 | 57 | 2704 | 2297.9 | **1.177** | **66** |
| | 11 | 58 | 2119 | 2302.2 | **0.920** | **23** |
| | 12 | 59 | 1992 | 2307.8 | **0.863** | **9** |
| 2007 | 1 | 60 | 2329 | 2314.5 | **1.006** | **40** |
| | 2 | 61 | 2741 | 2322.4 | **1.180** | **68** |
| | 3 | 62 | 2523 | 2331.5 | **1.082** | **56** |
| | 4 | 63 | 2072 | 2341.8 | **0.885** | **12** |
| | 5 | 64 | 2701 | 2353.3 | **1.148** | **63** |
| | 6 | 65 | 2373 | 2366.1 | **1.003** | **39** |
| | 7 | 66 | 2840 | 2380.0 | **1.193** | **70** |
| | 8 | 67 | 2410 | 2395.1 | **1.006** | **41** |
| | 9 | 68 | 2130 | 2411.4 | **0.883** | **11** |
| | 10 | 69 | 2310 | 2428.9 | **0.951** | **27** |
| | 11 | 70 | 2241 | 2447.6 | **0.916** | **21** |
| | 12 | 71 | 2184 | 2467.5 | **0.885** | **13** |

จากตารางที่ ข.2 ทำการหาค่า $R_i$ (ผลรวมของอันดับข้อมูลในฤดูกาลที่ i) ซึ่งในที่นี้จะแบ่งฤดูกาลเป็นเดือนดังนั้น $R_i$ ประกอบด้วยเดือน 1- 12 โดยเมื่อหาผลรวมของอันดับข้อมูลที่ได้ทำการเรียงไว้แสดงค่าดังตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 ค่าผลรวมของอันดับข้อมูลในฤดูกาลที่ i

| ฤดูกาล | ผลรวมของอันดับข้อมูล | $R_i^2$ |
|---|---|---|
| $R_1$ | 119 | 14161 |
| $R_2$ | 350 | 122500 |
| $R_3$ | 203 | 41209 |
| $R_4$ | 115 | 13225 |
| $R_5$ | 358 | 128164 |
| $R_6$ | 202 | 40804 |
| $R_7$ | 351 | 123201 |
| $R_8$ | 201 | 40401 |
| $R_9$ | 138 | 19044 |
| $R_{10}$ | 307 | 94249 |
| $R_{11}$ | 169 | 28561 |
| $R_{12}$ | 115 | 13225 |
| $\sum_{i=1}^{12}$ | **2628** | **678744** |

3. ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ

$$H = \frac{12}{n(n+1)}\left[\sum_{i=1}^{k}\frac{R_i^2}{n_i}\right] - 3(n+1)$$

เมื่อ k แทนจำนวนฤดูกาล

$R_i$ แทนผลรวมของอันดับข้อมูลในฤดูกาลที่ i

$n_i$ แทนจำนวนข้อมูลในฤดูกาลที่ i

$$n = \sum_{i=1}^{k} n_i$$

แทนค่าในสมการ

$$H = \frac{12}{72(72+1)}\left[\frac{678744}{6}\right] - 3(73)$$

$$H = 39.27$$

4. การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมุติฐานหลัก $H_0$ เมื่อ $n_i > 5$ จะใช้ตารางแจกแจงความน่าจะเป็นไคสแควร์โดยปฏิเสธ $H_0$ เมื่อ $H > \chi^2_{\alpha,k-1}$

เมื่อทำการเปิดตารางแจกแจงความน่าจะเป็นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้ค่าดังนี้ $\chi^2_{0.05,11} = 19.67$ นำค่า H ที่ได้จากการคำนวณมาทำการเปรียบเทียบจะได้ว่า $39.27 > \chi^2_{\alpha,k-1}$ ดังนั้นปฏิเสธสมมุติฐานหลัก $H_0$

สรุปได้ว่าข้อมูลอนุกรมเวลาความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ที่กำจัดแนวโน้มชุดนี้มีส่วนประกอบความผันแปรตามฤดูกาล

ดังนั้นข้อมูลความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2002-2007 ซึ่งเป็นอนุกรมเวลาจำนวน 72 ข้อมูลมีส่วนประกอบที่มีแนวโน้มลดลง และมีความแปรผันที่เกิดจากฤดูกาลรายเดือน

# ภาคผนวก ค

## รายละเอียดการคำนวณ

**1. การคำนวณค่าดัชนีฤดูกาลจากการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน**

วิธีการหาค่าดัชนีฤดูกาลดำเนินการดังนี้

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลในแต่ละปี

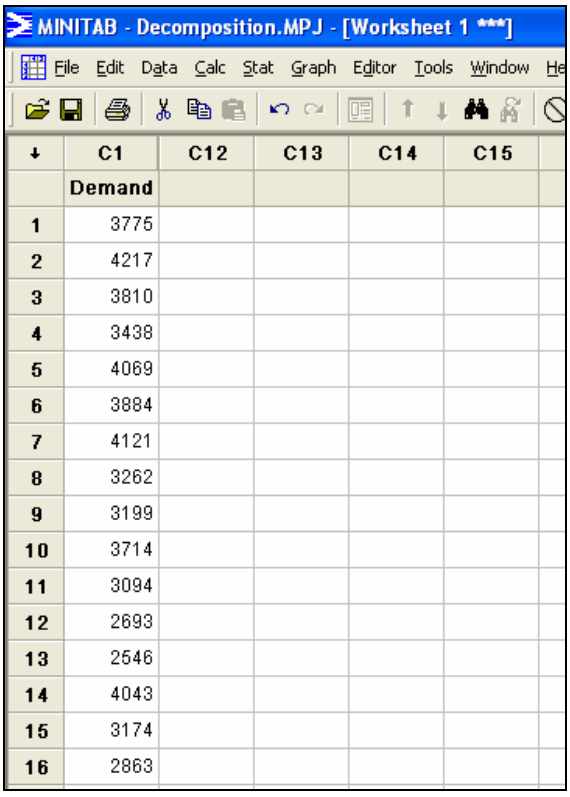
2. นำค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่คำนวณได้ในแต่ละปีไปหารข้อมูลแต่ละฤดูกาลในปีนั้นๆ ค่าที่ได้เรียกว่าค่าฤดูกาลเฉพาะ

3. คำนวณค่าเฉลี่ยของฤดูกาลเฉพาะ ค่าที่ได้เป็นดัชนีฤดูกาลโดยประมาณ

4. ปรับดัชนีฤดูกาลโดยประมาณให้เป็นค่าดัชนีฤดูกาลที่แท้จริง โดยผลรวมจะเท่ากับฤดูกาลของข้อมูลในที่นี้เท่ากับ 12

ซึ่งในการหาค่าเริ่มต้นของ $\hat{S}_t$ ในการพยากรณ์โดยการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ ใช้หลักการนี้ และสามารถใช้โปรแกรม Minitab หาค่า $\hat{S}_t$ ได้ดังนี้

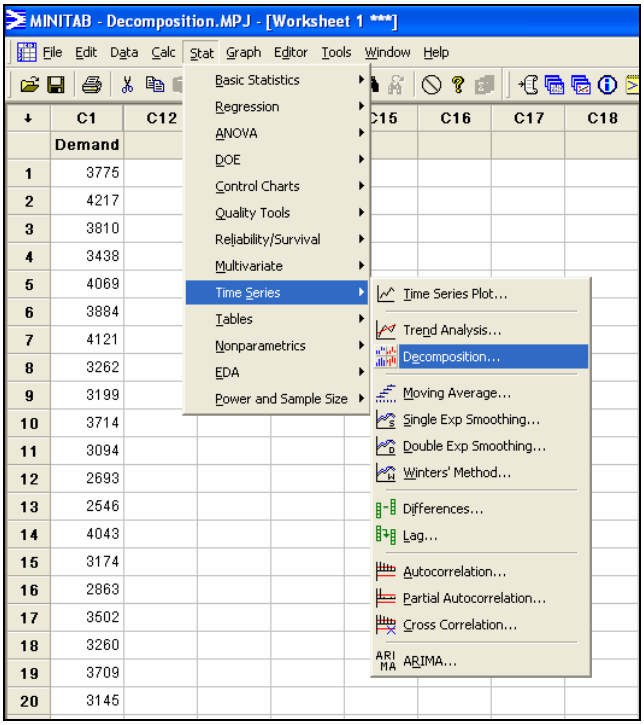
1. ทำการป้อนข้อมูล




| ↓ | C1 | C12 | C13 | C14 | C15 |
|---|---|---|---|---|---|
| | Demand | | | | |
| 1 | 3775 | | | | |
| 2 | 4217 | | | | |
| 3 | 3810 | | | | |
| 4 | 3438 | | | | |
| 5 | 4069 | | | | |
| 6 | 3884 | | | | |
| 7 | 4121 | | | | |
| 8 | 3262 | | | | |
| 9 | 3199 | | | | |
| 10 | 3714 | | | | |
| 11 | 3094 | | | | |
| 12 | 2693 | | | | |
| 13 | 2546 | | | | |
| 14 | 4043 | | | | |
| 15 | 3174 | | | | |
| 16 | 2863 | | | | |

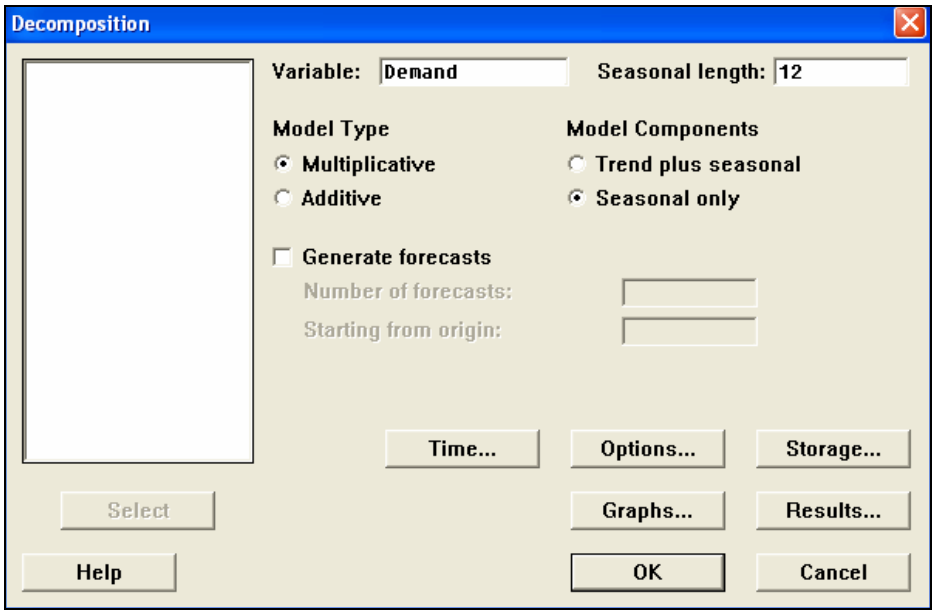
รูปที่ ค.1 การป้อนข้อมูลใน Minitab เพื่อทำการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน

2. เลือกการวิเคราะห์โดยเลือก Decomposition




รูปที่ ค.2 การเลือกคำสั่งใน Minitab เพื่อทำการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน

3. ทำการกำหนดตัวแปรที่ต้องการวิเคราะห์และเลือกจำนวนฤดูกาล




รูปที่ ค.3 การกำหนดตัวแปรใน Minitab เพื่อทำการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน

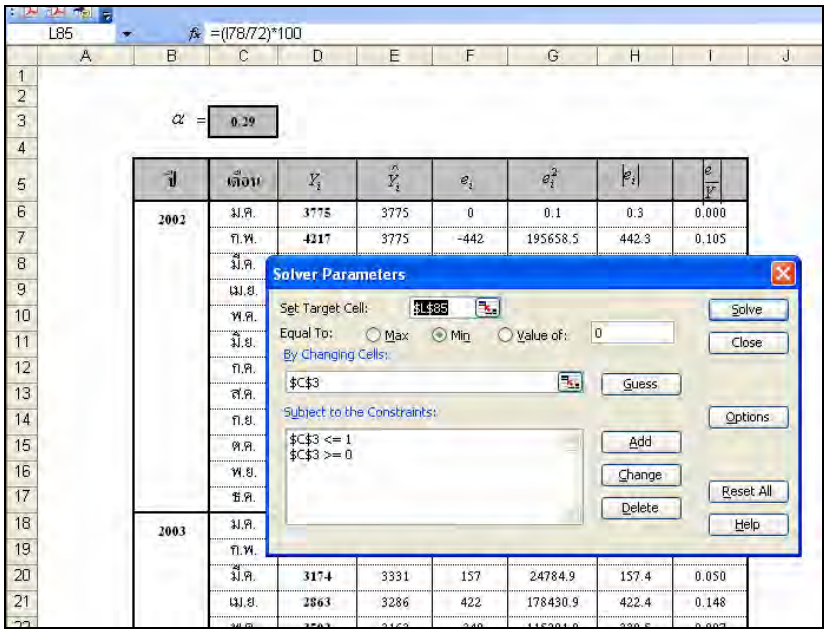
4. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์

```
Data      Demand
Length    72
NMissing  0


Seasonal Indices

Period    Index
     1  0.91915
     2  1.13403
     3  0.97986
     4  0.89092
     5  1.11584
     6  0.98468
     7  1.14217
     8  0.93987
     9  0.92397
    10  1.08857
    11  0.95918
    12  0.92176
```

รูปที่ ค.4 ผลการคำนวณของการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วน

**2. การหาค่า $\alpha$ ในการพยากรณ์ด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย**

ในการหาค่า Optimum $\alpha$ ที่ใช้ในสมการ $\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha)\hat{Y}_t$ โดยการใช้ Solver ที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ต่ำสุด




รูปที่ ค.5 การกำหนดค่าต่างๆ ใน Solver เพื่อคำนวณหาค่า Optimal $\alpha$

ซึ่งในการป้อนข้อมูลทำการเขียนสมการการพยากรณ์ สมการในการหาค่าคลาดเคลื่อน พร้อมกับป้อนข้อมูลความต้องการ จากนั้นเข้า Tool -----> Solver และกำหนดค่า Target Cell , Changing Cell และกำหนดเงื่อนไข เมื่อข้อมูลครบทำการกด Solve จะได้ค่า $\alpha$

**3. การหาค่า $\alpha, \gamma, \delta$ ในการพยากรณ์ด้วยการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์**

ในการหาค่า Optimum $\alpha, \gamma, \delta$ ที่ใช้ในสมการ

$$a_t = \begin{cases} \dfrac{\alpha Y_t}{\hat{S}_t} + (1-\alpha)[a_{t-1} + b_{t-1}]; t \le p \\ \dfrac{\alpha Y_t}{\hat{S}_{t-p}} + (1-\alpha)[a_{t-1} + b_{t-1}]; t > p \end{cases}$$

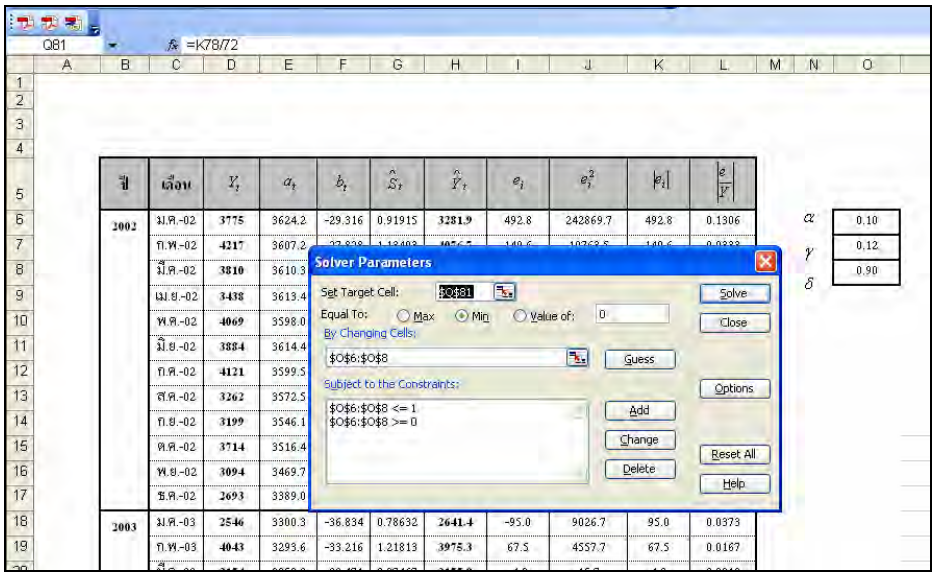
$$b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$$

$$\hat{S}_t = \frac{\delta Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-p}$$

ซึ่งค่าเหล่านี้ใช้ในสมการพยากรณ์

$$\hat{Y}_{t+m} = \begin{cases} (a_t + b_t(m))\hat{S}_t; t \le p \\ (a_t + b_t(m))\hat{S}_{t-p+m}; t > p \end{cases}$$

โดยการใช้ Solver ที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ต่ำสุด ซึ่งในการป้อนข้อมูลทำการเขียนสมการการพยากรณ์ สมการในการหาค่าคลาดเคลื่อน พร้อมกับป้อนข้อมูลความต้องการ จากนั้นเข้า Tool -----> Solver และกำหนดค่า Target Cell , Changing Cell และกำหนดเงื่อนไข เมื่อข้อมูลครบทำการกด Solve จะได้ค่า $\alpha$ , $\gamma, \delta$




รูปที่ ค.6 การกำหนดค่าต่างๆ ใน Solver เพื่อคำนวณหาค่า Optimal $\alpha$ , $\gamma, \delta$

**4. การพยากรณ์ความต้องการฟอร์มาลดีไฮด์ปี 2009**

การพยากรณ์ความต้องการปี 2009 ใช้การพยากรณ์โดยการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ ซึ่งปรับเพิ่มข้อมูลในการพยากรณ์ปี 2008 แสดงได้ดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ค่าต่างๆ ที่ได้จากวิธีการพยากรณ์โดยใช้การทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของวินเตอร์ (Winter) เพิ่มเติมปี 2008

| ปี | เดือน | $Y_t$ | $a_t$ | $b_t$ | $\hat{S}_t$ | $\hat{Y}_t$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2008** | ม.ค.-02 | **2257** | 2240.3 | -2.067 | 0.99139 | **2174.4** |
| | ก.พ.-02 | **2566** | 2235.9 | -2.353 | 1.14867 | **2571.0** |
| | มี.ค.-02 | **2423** | 2234.3 | -2.256 | 1.08405 | **2421.2** |
| | เม.ย.-02 | **1778** | 2183.9 | -8.042 | 0.83425 | **1862.1** |
| | พ.ค.-02 | **2789** | 2203.3 | -4.740 | 1.25293 | **2726.2** |
| | มิ.ย.-02 | **2309** | 2210.6 | -3.294 | 1.03965 | **2285.8** |
| | ก.ค.-02 | **2680** | 2211.0 | -2.858 | 1.21036 | **2671.7** |
| | ส.ค.-02 | **2510** | 2205.9 | -3.125 | 1.13890 | **2514.8** |
| | ก.ย.-02 | **1877** | 2184.0 | -5.384 | 0.86659 | **1908.9** |
| | ต.ค.-02 | **2016** | 2130.4 | -11.167 | 0.97051 | **2114.3** |
| | พ.ย.-02 | **1916** | 2107.5 | -12.570 | 0.91391 | **1936.8** |
| | ธ.ค.-02 | **2225** | 2127.1 | -8.707 | 1.03347 | **2165.1** |

จากค่า $\hat{S}_i$ ที่คำนวณได้ในปี 2008 มีค่า $\sum_{i=1}^{12}\hat{S}_i = 12.48$ จึงต้องทำการปรับแก้ค่า $\hat{S}_i$ โดยที่ $\hat{S}_i^* = \frac{12\hat{S}_i}{12.48}$ เพื่อทำให้ $\sum_{i=1}^{12}\hat{S}_i = 12$ ซึ่งจะได้ค่าที่ปรับค่าแล้วดังนี้

$\hat{S}_1^* = 0.9533$ $\hat{S}_2^* = 1.1045$ $\hat{S}_3^* = 1.0424$ $\hat{S}_4^* = 0.8022$

$\hat{S}_5^* = 1.2047$ $\hat{S}_6^* = 0.9997$ $\hat{S}_7^* = 1.1638$ $\hat{S}_8^* = 1.0951$

$\hat{S}_9^* = 0.8333$ $\hat{S}_{10}^* = 0.9332$ $\hat{S}_{11}^* = 0.8788$ $\hat{S}_{12}^* = 0.9937$

โดยในการพยากรณ์ใช้สมการ คือ $\hat{Y}_{84+m} = (a_{84} + b_{84}(m))\hat{S}_{84-p+m}$

ค่าของ $\hat{S}_{84-p+m}$ จะเท่ากับ $\hat{S}_i^*((i = 1,2,3,...,12)$ เมื่อช่วงเวลาที่พยากรณ์ 84-p+m ตกอยู่ในช่วงฤดูกาลที่ i

**5. ผลจากโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการหาค่ากำลังการผลิตปี 2009**

ตารางที่ ค.2 ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน(ปี 2009)

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Demand (Ton), $D_i$ | | 2027.7 | 2491.7 | 2351.5 | 1809.7 | 2717.9 | 2255.2 | 2625.5 | 2470.5 | 1879.8 | 2105.2 | 1982.5 | 2241.8 |
| Number of Production Run, $N_i$ | | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Production Run (day), $n_i$ | | 26 | 28 | 31 | 29 | 31 | 30 | 30 | 31 | 30 | 30 | 30 | 26 |
| Minimum capacity (Ton/day) | | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 |
| Maximum capacity (Ton/day) | | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 |
| Inventory Safety Stock , $I_{safety}$ | | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 |
| Maximum Inventory, $I_{Max}$ | | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 |

ตารางที่ ค.3 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน (ปี 2009)

**Decision Variable**

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Production (Ton), $P_{Ti}$ | | **1634.5** | **2491.7** | **2351.5** | **1809.7** | **2717.9** | **2255.2** | **2625.5** | **2470.5** | **1879.8** | **2105.2** | **1982.5** | **2241.8** |
| Ending Inventory (Ton), $I_i$ | **895** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** |

**Other Variable**

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Production Capacity (Ton/day), $P_{lineIi/\ lineIIi}$ | | **63** | **89** | **76** | **62** | **88** | **75** | **88** | **80** | **63** | **70** | **66** | **86** |
| Production Capacity (%) | | 58.2 | 82.4 | 70.2 | 65.0 | 91.3 | 78.3 | 81.0 | 73.8 | 58.0 | 73.1 | 68.8 | 89.8 |
| Steam Generate (Ton), $H_{Steam\ Line\ Ii/LineIIi}$ | | 1634.5 | 2491.7 | 2351.5 | 1809.7 | 2717.9 | 2255.2 | 2625.5 | 2470.5 | 1879.8 | 2105.2 | 1982.5 | 2241.8 |
| Steam Use (Ton), $H_{Steam\ Use\ i}$ | | 936.0 | 1008.0 | 1116.0 | 1044.0 | 1116.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1116.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1080.0 | 936.0 |

**Objective Value**

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Operating cost (Variable cost)** | | | | | | | | | | | | | |
| - Electric Cost (Baht) | | 701,705.3 | 847,467.9 | 887,177.3 | 770,755.2 | 882,857.1 | 826,162.5 | 902,461.5 | 902,109.2 | 808,884.3 | 814,877.1 | 805,639.0 | 737,624.1 |
| - Catalyst Cost (Baht) | | 266,100.0 | 405,647.8 | 382,827.0 | 294,612.8 | 442,468.9 | 367,148.1 | 427,435.5 | 402,199.0 | 306,032.0 | 342,730.9 | 322,743.1 | 364,965.3 |
| - Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 235,380.3 | 126,107.8 | 143,977.6 | 213,053.5 | 97,275.2 | 156,254.9 | 109,047.0 | 128,808.4 | 204,111.6 | 175,374.7 | 191,026.1 | 157,964.1 |
| **Inventory holding cost (Baht)** | | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 |
| **Total cost (Baht)** | | 1,343,073 | 1,519,111 | 1,553,869 | 1,418,309 | 1,562,488 | 1,489,453 | 1,578,831 | 1,573,004 | 1,458,915 | 1,472,870 | 1,459,295 | 1,400,441 |

**Total (Baht)** **17,829,659**

(All Year)

**6. ผลจากโปรแกรมเชิงเส้นตรงในกรณีเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษาต่อหน่วย**

ตารางที่ ค.4 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 3 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน โดยให้ค่าดอกเบี้ยในการเก็บรักษาเท่ากับ 10%

**Decision Variable**

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Production (Ton), $P_{Ti}$ | | **1770.0** | **2569.7** | **2360.3** | **1982.5** | **2532.7** | **2214.4** | **2636.4** | **2279.7** | **1994.8** | **2229.0** | **2113.9** | **2048.6** |
| Ending Inventory (Ton), $I_i$ | **895** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** |

**Other Variable**

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Production Capacity (Ton/day), $P_{lineIi/lineIIi}$ | | **63** | **89** | **76** | **68** | **82** | **74** | **88** | **74** | **66** | **74** | **70** | **73** |
| Production Capacity (%) | | 58.5 | 82.0 | 70.5 | 71.2 | 85.1 | 76.9 | 81.4 | 68.1 | 61.6 | 77.4 | 73.4 | 76.2 |
| Steam Generate (Ton), $H_{Steam\ Line\ Ii/LineIIi}$ | | 1770.0 | 2569.7 | 2360.3 | 1982.5 | 2532.7 | 2214.4 | 2636.4 | 2279.7 | 1994.8 | 2229.0 | 2113.9 | 2048.6 |
| Steam Use (Ton), $H_{Steam\ Use\ i}$ | | 1008.0 | 1044.0 | 1116.0 | 1044.0 | 1116.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1116.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1008.0 |

**Objective Value**

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Operating cost (Variable cost)** | | | | | | | | | | | | | |
| - Electric Cost (Baht) | | 756,905.7 | 876,356.3 | 888,279.4 | 783,760.3 | 868,924.4 | 823,091.8 | 903,826.1 | 878,165.3 | 823,314.6 | 824,190.3 | 815,529.8 | 766,851.6 |
| - Catalyst Cost (Baht) | | 288,156.0 | 418,347.2 | 384,256.8 | 322,751.0 | 412,323.6 | 360,504.3 | 429,205.9 | 371,135.2 | 324,753.4 | 362,881.2 | 344,142.9 | 333,512.1 |
| - Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 218,109.4 | 116,163.6 | 142,858.0 | 191,019.9 | 120,880.4 | 161,457.3 | 107,660.7 | 153,132.8 | 189,451.9 | 159,596.1 | 174,269.0 | 182,593.5 |
| **Inventory holding cost (Baht)** | | 54,362 | 54,362 | 54,362 | 54,362 | 54,362 | 54,362 | 54,362 | 54,362 | 54,362 | 54,362 | 54,362 | 54,362 |
| **Total cost (Baht)** | | 1,317,533 | 1,465,229 | 1,469,756 | 1,351,893 | 1,456,490 | 1,399,415 | 1,495,054 | 1,456,795 | 1,391,882 | 1,401,029 | 1,388,303 | 1,337,319 |

**Total (Baht)** **16,930,698**

(All Year)

**7. ผลจากโปรแกรมเชิงเส้นตรงในกรณีเปลี่ยนแปลงเวลาในการเดินเครื่องจักรต่อเนื่องจาก 3 เดือน เป็น 4 เดือน**

ตารางที่ ค.5 ตัวแปรต่างๆ ในการหากำลังการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีเดินเครื่องจักร 4 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Demand (Ton), $D_i$ | | 2163.2 | 2569.7 | 2360.3 | 1982.5 | 2532.7 | 2214.4 | 2636.4 | 2279.7 | 1994.8 | 2229 | 2113.9 | 2048.6 |
| Number of Production Run, $N_i$ | | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Production Run (day), $n_i$ | | 28 | 29 | 31 | 30 | 30 | 30 | 31 | 31 | 29 | 31 | 30 | 28 |
| Minimum capacity (Ton/day) | | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 | 60 | 60 | 60 | 58 | 58 | 58 |
| Maximum capacity (Ton/day) | | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 | 108 | 108 | 108 | 96 | 96 | 96 |
| Inventory Safety Stock , $I_{safety}$ | | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 | 501.8 |
| Maximum Inventory, $I_{Max}$ | | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 | 1258.2 |

ตารางที่ ค.6 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจและสมการวัตถุประสงค์กรณีเดินเครื่องจักร 4 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน

**Decision Variable**

| Month (i) | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Production (Ton), $P_{Ti}$ | | **1770.0** | **2569.7** | **2360.3** | **1982.5** | **2532.7** | **2214.4** | **2636.4** | **2279.7** | **1994.8** | **2229.0** | **2113.9** | **2048.6** |
| Ending Inventory (Ton), $I_i$ | **895** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** | **501.8** |

**Other Variable**

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Production Capacity (Ton/day), $P_{lineIi/\ lineIIi}$ | | **63** | **89** | **76** | **66** | **84** | **74** | **85** | **74** | **69** | **72** | **70** | **73** |
| Production Capacity (%) | | 58.5 | 82.0 | 70.5 | 68.8 | 87.9 | 76.9 | 78.7 | 68.1 | 63.7 | 74.9 | 73.4 | 76.2 |
| Steam Generate (Ton), $H_{Steam\ Line\ Ii/LineIIi}$ | | 1770.0 | 2569.7 | 2360.3 | 1982.5 | 2532.7 | 2214.4 | 2636.4 | 2279.7 | 1994.8 | 2229.0 | 2113.9 | 2048.6 |
| Steam Use (Ton), $H_{Steam\ Use\ i}$ | | 1008.0 | 1044.0 | 1116.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1080.0 | 1116.0 | 1116.0 | 1044.0 | 1116.0 | 1080.0 | 1008.0 |

**Objective Value**

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Operating cost (Variable cost)** | | | | | | | | | | | | | |
| - Electric Cost (Baht) | | 756,905.7 | 876,356.3 | 888,279.4 | 805,642.7 | 847,042.0 | 823,091.8 | 922,926.0 | 878,165.3 | 804,214.8 | 846,072.7 | 815,529.8 | 766,851.6 |
| - Catalyst Cost (Baht) | | 288,156.0 | 418,347.2 | 384,256.8 | 322,751.0 | 412,323.6 | 360,504.3 | 429,205.9 | 371,135.2 | 324,753.4 | 362,881.2 | 344,142.9 | 333,512.1 |
| - Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 218,109.4 | 116,163.6 | 142,858.0 | 191,019.9 | 120,880.4 | 161,457.3 | 107,660.7 | 153,132.8 | 189,451.9 | 159,596.1 | 174,269.0 | 182,593.5 |
| **Inventory holding cost (Baht)** | | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 | 139,887 |
| **Total cost (Baht)** | | 1,403,058 | 1,550,754 | 1,555,281 | 1,459,301 | 1,520,133 | 1,484,941 | 1,599,680 | 1,542,321 | 1,458,307 | 1,508,437 | 1,473,829 | 1,422,844 |

**Total (Baht)** **17,978,887**

(All Year)

ตารางที่ ค.7 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกรณีเดินเครื่องจักร 4 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrical cost (Baht) | | 756,905.7 | 876,356.3 | 888,279.4 | 805,642.7 | 847,042.0 | 823,091.8 | 922,926.0 | 878,165.3 | 804,214.8 | 846,072.7 | 815,529.8 | 766,851.6 |
| Catalyst Cost (Baht) | | 288,156.0 | 418,347.2 | 384,256.8 | 322,751.0 | 412,323.6 | 360,504.3 | 429,205.9 | 371,135.2 | 324,753.4 | 362,881.2 | 344,142.9 | 333,512.1 |
| Corrective Maintenance Cost (Baht) | | 218,109.4 | 116,163.6 | 142,858.0 | 191,019.9 | 120,880.4 | 161,457.3 | 107,660.7 | 153,132.8 | 189,451.9 | 159,596.1 | 174,269.0 | 182,593.5 |
| Labor Cost (Baht) | | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 | 129,000.0 |
| Preventive Maintenance Cost (Baht) | | 129,630.0 | - | - | - | 129,630.0 | - | - | - | 129,630.0 | - | - | - |
| Machine Depreciation Cost (Baht) | | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 | 1,210,499 |
| Inventory holding cost (Baht) | | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 | 139,887.2 |
| Stat up cost (Baht) | | 16,414.6 | - | - | - | 16,414.6 | - | - | - | 16,414.6 | - | - | - |
| Catalyst decay value (Baht) | | 8,342.8 | - | - | - | 8,342.8 | - | - | - | 8,342.8 | - | - | - |
| **Total (Baht)** | | 2,896,945 | 2,890,253 | 2,894,780 | 2,798,800 | 3,014,020 | 2,824,440 | 2,939,179 | 2,881,820 | 2,952,194 | 2,847,936 | 2,813,328 | 2,762,343 |

**Total Cost (Baht)** **34,516,037**

(All Year)

ตารางที่ ค.8 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตรวมกับรายได้จาก Steam กรณีเดินเครื่องจักร 4 เดือนต่อเนื่อง โดยควบคุมกำลังการผลิตเป็นอิสระต่อกัน

| Month | i=0 | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrical cost (Baht) | | -756,905.7 | -876,356.3 | -888,279.4 | -805,642.7 | -847,042.0 | -823,091.8 | -922,926.0 | -878,165.3 | -804,214.8 | -846,072.7 | -815,529.8 | - 766,851.6 |
| Catalyst Cost (Baht) | | -288,156.0 | -418,347.2 | -384,256.8 | -322,751.0 | -412,323.6 | -360,504.3 | -429,205.9 | -371,135.2 | -324,753.4 | -362,881.2 | -344,142.9 | - 333,512.1 |
| Corrective Maintenance Cost (Baht) | | -218,109.4 | -116,163.6 | -142,858.0 | -191,019.9 | -120,880.4 | -161,457.3 | -107,660.7 | -153,132.8 | -189,451.9 | -159,596.1 | -174,269.0 | - 182,593.5 |
| Labor Cost (Baht) | | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | -129,000.0 | - 129,000.0 |
| Preventive Maintenance Cost (Baht) | | -129,630.0 | - | - | - | -129,630.0 | - | - | - | -129,630.0 | - | - | - |
| Machine Depreciation Cost (Baht) | | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | -1,210,499 | - 1,210,499 |
| Inventory holding cost (Baht) | | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | -139,887.2 | - 139,887.2 |
| Stat up cost (Baht) | | - 16,414.6 | - | - | - | - 16,414.6 | - | - | - | - 16,414.6 | - | - | - |
| Catalyst decay value (Baht) | | - 8,342.8 | - | - | - | - 8,342.8 | - | - | - | - 8,342.8 | - | - | - |
| Revenue (Baht) | | 1,083,600 | 1,122,300 | 1,199,700 | 1,161,000 | 1,161,000 | 1,161,000 | 1,199,700 | 1,199,700 | 1,122,300 | 1,199,700 | 1,161,000 | 1,083,600 |
| **Total (Baht)** | | -1,813,345 | -1,767,953 | -1,695,080 | -1,637,800 | -1,853,020 | -1,663,440 | -1,739,479 | -1,682,120 | -1,829,894 | -1,648,236 | -1,652,328 | - 1,678,743 |

** รายได้คิดเฉพาะรายได้จากความร้อนที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต โดยไม่รวมรายได้จากสินค้าขาย

**Total Profit (Baht)** **-20,661,437**

(All Year)

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสมโภช ศรีเกื้อ เกิดวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2525 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2547 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกร บริษัทแห่งหนึ่งจนถึงปัจจุบัน ในปี 2550 ได้เข้าศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย