การเลือกวัตถุดิบและการจัดสรรการผลิตสินค้าสำหรับกระดาษบรรจุภัณฑ์

นายจารุตม์ อักษร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

MATERIAL SELECTION AND PRODUCTION ALLOCATION FOR CARD BOARD

Mr. Jarut Agsonn

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเลือกวัตถุดิบและการจัดสรรการผลิตสินค้าสำหรับกระดาษบรรจุภัณฑ์
โดย	นายจารุตม์ อักษร
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

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

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดาริชา สุธีวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. นันทชัย กานตานันทะ)

จารุตม์ อักษร : การเลือกวัตถุดิบและการจัดสรรการผลิตสินค้าสำหรับกระดาษบรรจุภัณฑ์. (Material Selection and Production Allocation for Container Board) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ, 155 หน้า.

เนื่องจากการจัดสรรกำลังการผลิตบนเครื่องจักรและการเลือกวัตถุดิบของโรงงานกรณีศึกษาไม่เหมาะสม จึงทำให้เกิดปัญหาต้นทุนวัตถุดิบสูงและปัญหาสูญเสียกำลังการผลิต โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือการเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดสรรการผลิตบนเครื่องจักรสำหรับกระดาษบรรจุภัณฑ์และการเลือกวัตถุดิบสำหรับผลิตสินค้าแต่ละชนิด ซึ่งประกอบด้วยสินค้า 11 ประเภทโดยใช้วัตถุดิบ 14 ชนิดในช่วงระยะเวลา 3 เดือน เนื่องจากความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบที่ไม่แน่นอนจึงได้ทำการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 12-24 เดือน โดยการพยากรณ์ความต้องการสินค้าด้วยวิธีพยากรณ์ฤดูกาลแบบวินเตอร์และพยากรณ์ราคาวัตถุดิบด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพแนนเชียลและวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพแนนเชียลที่มีพฤติกรรมแบบแนวโน้มโดยใช้ค่า MAPE ในการทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์ ซึ่งพบว่าค่า MAPE ของการพยากรณ์ด้วยวิธีของวินเตอร์ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพแนนเชียลและวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพแนนเชียลที่มีพฤติกรรมแบบแนวโน้มมีค่า MAPE เท่ากับ 3.94% 2.35% และ 2.50% ตามลำดับ

ข้อมูลจากการพยากรณ์ที่ได้เมื่อนำเข้าในแบบทางจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีจำนวน 10 เงื่อนไขเพื่อใช้ในการเลือกวัตถุดิบและการจัดสรรการผลิตสินค้าแต่ละชนิดให้ได้ผลกำไรสูงสุด ผลลัพธ์พบว่ามีกำไรเพิ่มขึ้น 14.42 % จากการวางแผนการผลิตแบบเก่า ซึ่ง 12.18% ของกำไรมาจากวางแผนการผลิตที่ดีขึ้น และอีก 2.24% มาจากการเลือกใช้วัตถุดิบที่เหมาะสมมากขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2554 .....

5271409321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : PRODUCTION PLANNING / FORECASTING / ALLOCATION / MATHEMATICAL MODEL / CARD BOARD

JARUT AGSONN : MATERIAL SELECTION AND PRODUCTION ALLOCATION FOR CARD BOARD. ADVISOR : ASST. PROF. WIPAWEE THAMMAPHORNPHILAS, Ph.D., 155 pp.

Due to inappropriate machine allocation and improper material selection, the company faces capacity loss and high material cost problems. The objective of this research is to propose a mathematical model to allocate machines for card boards and select material for each type of product. The problem includes 11 product types, 14 raw material types and 3 month planning horizon. Since product demand and raw material prices are uncertain, these data are forecasted based on data of the last 12-24 months. Winter's season model is applied to forecast product demand while exponential smoothing and trend-adjusted exponential smoothing model are applied to forecast prices of raw materials. MAPE is used to evaluate the forecast accuracy. It is found that MAPEs of the Winter's season model, ES, and trend-adjusted ES are 3.94%, 2.35% and 2.50%, respectively.

Forecasted data are input into the mathematical model having 10 constraints to select material and allocate machine for each product to maximize profit. The result is found that profit increases 14.42% from the current production planning. 12.18% of the profit is from better production plan and 2.24% is from more proper material selection.

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

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

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนได้ชี้แนะแนวทางแก้ ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำในการตรวจสอบและแก้ไขจุดพร่อง รวมทั้งข้อเสนอแนะต่าง ๆ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสมบูรณ์มิได้ถ้าหากขาดร่วมมือจากวิศวกรและพนักงานในแผนกผลิตวิศวกรรม แผนกวางการผลิต แผนกคลังวัสดุ รวมถึงทุกแผนกทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้คำปรึกษาสำหรับคำแนะนำการใช้โปรแกรม What's best เพื่อใช้การสร้างแบบจำลองและขอขอบคุณที่อำนวยความสะดวกสำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินการวิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว รวมถึงเพื่อนทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้ความสนับสนุนตลอดมา ความดีและประโยชน์ในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ข้าพเจ้าขอยกให้กับผู้ที่ได้กล่าวนามและมิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ด้วย หากมีความผิดพลาดที่เกิดจากการศึกษาข้าพเจ้าขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน..... 1

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 6

1.3 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน..... 12

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 14

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย..... 14

1.6 วิธีการวิจัย..... 14

1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย..... 15

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 16

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 16

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 31

บทที่ 3 การพยากรณ์ความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบ..... 35

3.1 การวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูล..... 37

3.2 การพยากรณ์ข้อมูล..... 41

3.3 การเปรียบเทียบค่าจากการพยากรณ์กับค่าจริง..... 50

บทที่ 4 การออกแบบการเลือกใช้วัตถุดิบ..... 55

4.1 การสร้างแบบทางคณิตศาสตร์..... 56

4.2 การทดสอบผลประสิทธิภาพของตัวแบบที่สร้างขึ้น..... 61

4.3 การเปรียบเทียบผลจากแบบทางคณิตศาสตร์กับวิธีการปัจจุบัน..... 68

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน..... 81

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 81

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 83
รายการอ้างอิง..... 85
ภาคผนวก..... 87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 155

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	กระบวนการผลิตกระดาษ	2
1.2	การทดสอบคุณสมบัติกระดาษตามมาตรฐานของ Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)	4
1.3	การทดสอบทดสอบหาความต้านทานแรงกดวงแหวน	4
1.4	การทดสอบการต้านแรงกดลอนลูกฟูก	5
1.5	การทดสอบทดสอบหาความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ	6
1.6	แนวโน้มราคาวัตถุดิบเส้นใย	7
1.7	Thailand Container Board Market	8
1.8	ขั้นตอนการวางแผนและเลือกวัตถุดิบ	9
1.9	คุณภาพของสินค้า	13
2.1	กลยุทธ์การขยายกาลังการผลิต	18
2.2	ภาพรวมของกิจกรรมการวางแผนในการจัดการระบบ	19
2.3	ประเภทของการพยากรณ์	22
3.1	แนวคิดในการปรับปรุงการวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบ	35
3.2	ขั้นตอนในการพยากรณ์	37
3.3	แนวโน้มความต้องการสินค้า LineC ตั้งแต่เดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553	38
3.4	แนวโน้มราคาวัตถุดิบตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี 2553	40
3.5	ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า midT ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel	43
3.6	ตัวอย่างกราฟการพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า midA	44
3.7	ตัวอย่างการคำนวณค่าการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ AOCC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel	46
3.8	ตัวอย่างกราฟการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ AOCC	46

ภาพที่		หน้า
3.9	ตัวอย่างการคำนวณค่าการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ NBKP ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel	48
3.10	ตัวอย่างกราฟการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมแบบแนวโน้มของราคาวัตถุดิบ NBKP	49
3.11	กราฟเปรียบเทียบผลรวมปริมาณความต้องการสินค้าทั้งหมด ในระยะเวลา 3 เดือน	51
3.12	ตัวอย่างการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของความต้องการสินค้า LineC แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน	51
3.13	กราฟเปรียบเทียบผลรวมราคาวัตถุดิบเส้นใยทั้งหมดในระยะเวลา 3 เดือน	53
3.14	ตัวอย่างการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ AOCC ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน	53
3.15	ตัวอย่างการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ NBKP ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลมีพฤติกรรมแบบแนวโน้มกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน	54
4.1	แนวคิดในการปรับปรุงการวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบ	55
4.2	การเปรียบเทียบปริมาณสินค้าในช่วงระยะเวลา 3 เดือนระหว่างการวางแผนด้วยแบบทางคณิตศาสตร์กับความต้องการสินค้าจริง	75
4.3	การเปรียบเทียบปริมาณสินค้าในช่วงระยะเวลา 3 เดือนระหว่างการวางแผนด้วยวิธีปัจจุบันกับความต้องการสินค้าจริง	75
4.4	การเปรียบเทียบกำไรที่ได้จากการวางแผนการผลิตในช่วงระยะเวลา 3 เดือน	76
4.5	ต้นทุนการผลิตรวมจากการวางแผนการผลิตในช่วงระยะเวลา 3 เดือน	78
4.6	สัดส่วนกำไรที่เพิ่มขึ้นจากการวางแผนการผลิตในช่วงระยะเวลา 3 เดือน	80

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันสภาวะการแข่งขันอุตสาหกรรมกระดาษและบรรจุภัณฑ์ค่อนข้างสูง ประกอบกับความต้องการของลูกค้ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากลูกค้ามีอำนาจในการต่อรองมากขึ้นทำให้ผู้ประกอบการต้องผลิตสินค้าที่ดำรงไว้ซึ่งคุณภาพและมีราคาที่เหมาะสมแล้ว นอกจากนี้ยังจะต้องผลิตสินค้าให้มีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับกับความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงได้ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้เองจึงเป็นแรงผลักดันให้ผู้ประกอบการทั้งหลายจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ในการบริหารอยู่ตลอดเวลาให้มีความเหมาะสมและรวดเร็วรองรับกับสภาวะตลาดที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาได้ เช่น ต้องปรับเปลี่ยนให้สายการผลิตสามารถผลิตสินค้าได้หลายชนิดมากขึ้นลดขนาดชุดที่ผลิตและการจัดการด้านราคาขาย ทั้งนี้เพื่อสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว Yeh, C-H. [1],และเพื่อการอยู่รอดของผู้ประกอบการและเพิ่มผลกำไรสูงสุดให้กับองค์อย่างเช่น การเพิ่มผลผลิตโดยรวม (Total productivity management) การวางแผนการใช้วัตถุดิบ การจัดการกำลังการผลิต เป็นต้น

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

อุตสาหกรรมกระดาษและบรรจุภัณฑ์ เป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ โดยใช้เยื่อกระดาษและกระดาษบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาผลิตเป็นกระดาษชนิดต่าง ๆ เพื่อบรรจุสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้กับอุตสาหกรรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เป็นต้น

1.1.1 กระบวนการผลิตกระดาษ

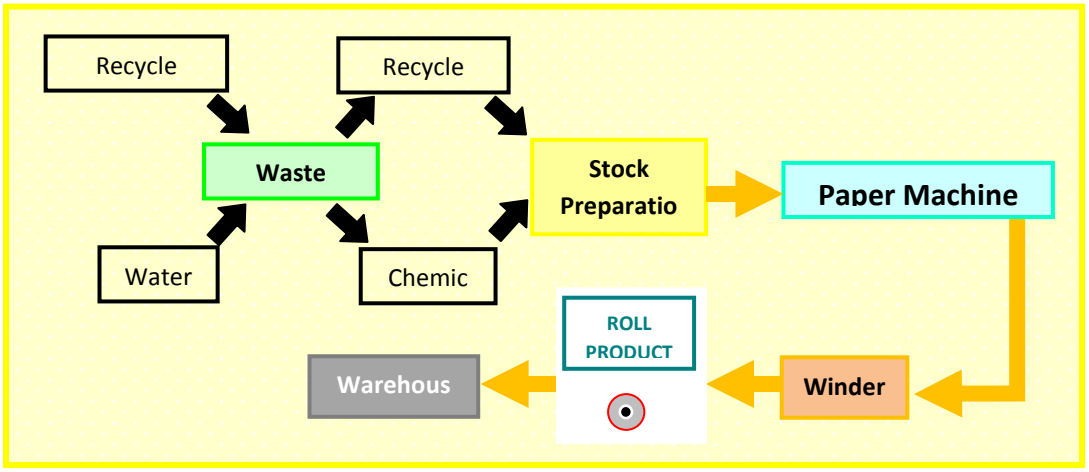
กระบวนการผลิตอุตสาหกรรมกระดาษ มีขั้นตอนหลักๆ อยู่ 3 ขั้นตอนคือ

1) ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ เป็นขั้นตอนที่ต้องนำเยื่อกระดาษมาผสมกับน้ำและสารเคมีและตีให้เข้ากัน โดยมีสัดส่วนของเยื่อ น้ำและสารเคมีที่เหมาะสมตามที่ต้องการเมื่อได้เยื่อกระดาษที่พร้อมนำไปผลิตกระดาษแล้ว จะเริ่มเข้าสู่กระบวนการผลิตกระดาษในลำดับต่อไป ในขั้นตอนแรกนี้ วัตถุดิบจะถูกนำมาตีผสมกับน้ำให้แตกตัว จากนั้นนำมาทำความสะอาด โดยผ่านเข้าเครื่องแยกสิ่งแปลกปลอมและในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการปรุงแต่งและผสมผสานระหว่างเส้นใยแต่ละชนิด ซึ่งส่วนผสมของเยื่อแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันไปตาม คุณภาพของกระดาษที่จะผลิต

2) ขั้นตอนการผลิตกระดาษ เป็นขั้นตอนถัดมาซึ่งเป็นการนำเอาเยื่อกระดาษที่สะอาดมาผ่านทาง Head box โดยมีตะแกรงเป็นรองรับเยื่อที่ผสมกันจากขั้นตอนการเตรียมเยื่อใน

อัตราส่วนที่ต้องการ แล้วให้เยื่อที่ผสมนั้นประสานตัวในรูปของแผ่นกระดาษ และนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้ง โดยเริ่มจากการนำน้ำออกที่อาศัยแรงดึงดูดผ่านทางกล่องสุญญากาศ หลังจากนั้นเยื่อจะเข้าสู่ขั้นตอนของการกด (Pressing) เพื่อรีดเอาน้ำออก ขั้นตอนนี้จะมีการใช้พลังงานมากกว่าการนำน้ำออกโดยอาศัยแรงดึงดูด ภายหลังจากรีดน้ำออกแล้วจะกลายเป็นกระดาษ ซึ่งจะถูกทำให้แห้ง โดยการอบแห้ง และขัดผิว และนำมาม้วนขึ้นรูป

3) ขั้นตอนการแปรรูปเมื่อได้กระดาษที่เข้าม้วนแล้ว โรงงานจะนำไปแปรรูปเป็นกระดาษม้วน และแผ่น โดยจะแปรรูปเป็นแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า



รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตกระดาษ

1.1.2 วัตถุดิบ (raw material)

วัตถุดิบในการผลิตนั้นแบ่งเป็นวัตถุดิบเส้นใยและวัตถุดิบเคมี แต่วัตถุดิบหลักคือวัตถุดิบเส้นใยซึ่งได้จากเศษกระดาษลังทั้งในประเทศ (เยื่อใยสั้น) และนำเข้าจากต่างประเทศ (เยื่อใยยาว) สามารถแบ่งได้ดังนี้

1.1.2.1 วัตถุดิบเส้นใย

วัตถุดิบเส้นใยที่ใช้ในกระบวนการผลิต จะใช้เยื่ออยู่ 2 ประเภท คือ เยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว โดยโรงงานจะใช้เยื่อใยสั้นประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นเยื่อที่ได้จากกระดาษที่ใช้แล้วหรือกระดาษรีไซเคิลนั่นเอง กระดาษที่ใช้จะเป็นพวกกระดาษกล่องที่ใช้บรรจุสิ่งของ เช่น พวกลังใส่เหล้า, ลังใส่พัสดุต่าง ๆ เป็นต้นแต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการใช้ปริมาณเยื่อเท่าไหร่นั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าเป็นกระดาษคราฟท์สำหรับทำถุงปูนซีเมนต์ ก็จะใช้เยื่อใยยาวในปริมาณสูง เนื่องจากเป็นเยื่อที่มีความเหนียวสูง ทนรับแรงกระแทกได้ดี

*เยื่อใยสั้น*ส่วนใหญ่มาจากเยื่อเศษกระดาษ (Recycled Pulp) จำพวกกระดาษลังสีน้ำตาลที่ใช้แล้วภายในประเทศเป็นเยื่อที่สกปรก ซึ่งอาจมีสิ่งเจือปนมากับกระดาษได้ เช่น โลหะหรือพลาสติกต่าง ๆ โดยอัดกันเป็นก้อนขนาดใหญ่มี

เยื่อใยยาว เป็นเยื่อที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากประเทศไทยไม่มีเยื่อประเภทนี้เนื่องจากเยื่อใยยาวนั้นได้จากพืชที่มาจากเมืองหนาว ใช้สำหรับอยู่ชั้นบนสุดของกระดาษคราฟท์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของกระดาษด้านความเหนียว

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้วัตถุดิบเส้นใยจำนวนทั้งสิ้น 14 ชนิดเมื่อแบ่งตามชนิดของเยื่อแล้วสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) OCC ย่อมาจาก old corrugated container หมายถึงเยื่อ กระดาษบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว

2) Virgin หมายถึงเยื่อที่ผลิตออกมายังไม่ผ่านการใช้งาน

3) Mixed waste หมายถึงเยื่อกระดาษผสม

4) NDLKย่อมาจาก New Double-Lined Kraft Corrugated Cuttings หมายถึงเยื่อเศษขอบกล่องจากโรงผลิตกล่อง

1.1.2.2 วัตถุดิบเคมี

1) แป้งมัน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านกายภาพ เช่น ทำให้เกิดความมันวาว

2) ชันสน เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความต้านทานการซึมน้ำ

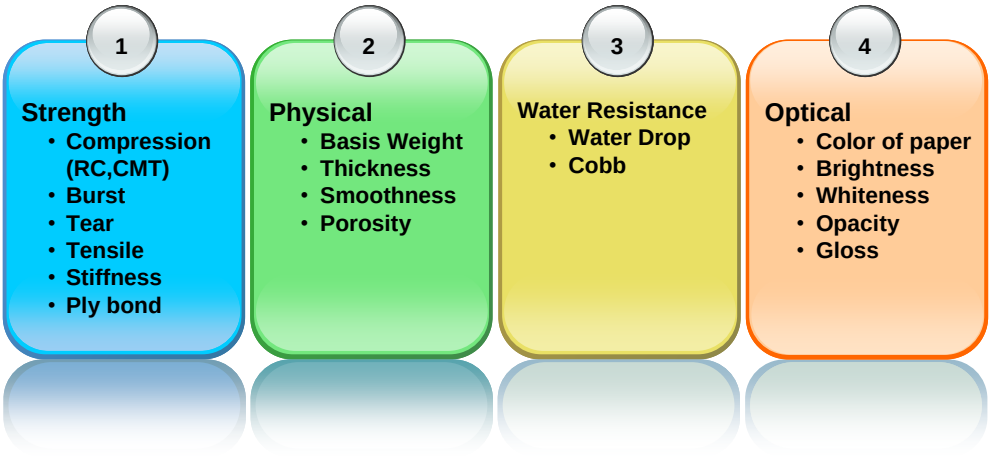
3) สารส้ม เพื่อเป็นตัวประสานระหว่างแป้งมันกับชันชน รวมถึงเป็นตัวกำหนดค่า pH ของกระดาษด้วย

1.1.3 ผลิตภัณฑ์

เมื่อเยื่อที่ได้จากการขั้นตอนกระบวนการผลิตแล้วจะได้เป็นกระดาษคราฟท์หรือกระดาษบรรจุภัณฑ์ ซึ่งกระดาษที่ได้จะนำไปใช้สำหรับบรรจุสินค้า เช่น กระดาษคราฟท์สำหรับทำผิวกล่อง(Liner Board) และกระดาษคราฟท์สำหรับทำลูกฟูก(Corrugating Medium) เป็นต้น

1.1.4 มาตรฐานคุณภาพและการทดสอบคุณภาพของกระดาษ

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งมิได้มีเนื้อเดียวกัน และมีความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษไม่เท่ากันตลอดทั้งแผ่น เพราะโครงสร้างของกระดาษประกอบขึ้นจากการสานตัวของเส้นใย ซึ่งการทดสอบคุณภาพของกระดาษจะใช้ทั้งการทดสอบทางกายภาพและการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

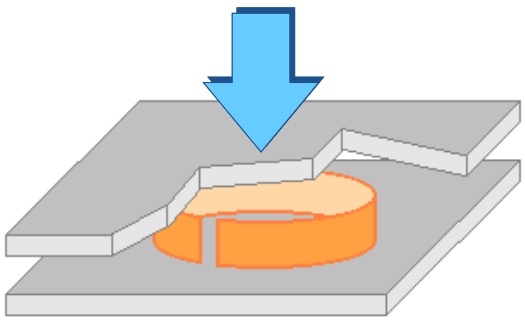


รูปที่ 1.2 การทดสอบคุณสมบัติกระดาษตามมาตรฐานของ Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)

การทดสอบที่ลูกค้าต้องการคือการทดสอบทางกายภาพด้านความแข็งแรง ซึ่งมีคุณสมบัติหลักๆ คือ Ring Crush Test (RCT) Concora Medium Test (CMT) และความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Strength)

1) ความต้านทานแรงกดวงแหวน (Ring Crush Test : RCT)

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของทั้งกระดาษทำผิวกล่องและกระดาษทำลอนลูกฟูกเป็นความสามารถของกระดาษความยาวคงที่ นำมาโค้งงอเป็นวงแหวน เพื่อที่จะต้านแรงกดในแนวระนาบเดียวกับกระดาษจนขอบกระดาษหักพับ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N) หรือกิโลกรัมแรง (kg_f) ค่าความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษในแนวขวางเครื่องจะมีความสัมพันธ์กับความต้านแรงกดหรือความแข็งแรงในการเรียงซ้อนของกล่องกระดาษหรือถังกระดาษซึ่งกระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยยาวมีมากกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยสั้น



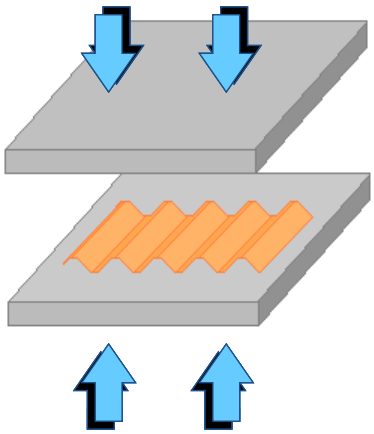
รูปที่ 1.3 การทดสอบหาความต้านทานแรงกดวงแหวน

นอกจากนี้แล้วค่าความต้านแรงกดวงแหวนยังสัมพันธ์กับแนวกดความต้านแรงกดแนวตั้งของแผ่นกระดาษลูกฟูกสามารถใช้ค่าความต้านแรงกดวงแหวนนี้ในการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตและตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในสายการผลิต

ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษทำผิวกล่องและกระดาษทำลูกฟูกสามารถนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูกได้ เครื่องมือที่ใช้คือเครื่องกด (Crush tester) และที่จับชิ้นทดสอบ (ring crush holder) มาตรฐานที่ใช้ได้แก่ TAPPI T 818, มอก. 321 ซึ่งค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการรองรับน้ำหนักของกล่องเป็นคุณภาพที่จำเป็นต่อการเรียงซ้อน กองเก็บ เคลื่อนย้ายและขนส่งสินค้าบรรจุกล่องลูกฟูก หากตัวสินค้าสามารถทนต่อแรงกดไม่ได้หรือทนต่อแรงกดได้น้อยก็จำเป็นต้องใช้กล่องที่ทนต่อแรงกดได้มากตามสภาพการใช้งานทั้งนี้กล่องที่ทนต่อแรงกดได้มาก ก็คือกล่องที่ประกอบด้วยกระดาษที่มีความสามารถในการรับแรงกดวงแหวนได้มากในระดับที่ต้องการเช่นเดียวกัน

2) การต้านแรงกดลอนลูกฟูก (Concora Medium Test : CMT)

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของทั้งกระดาษทำผิวกล่องและกระดาษทำลอนลูกฟูกหมายถึงความสามารถของกระดาษทำลูกฟูกที่จะต้านแรงกดบนลอนลูกฟูกในการทดสอบจะทำกระดาษให้เป็นลอนเพื่อที่จะต้านแรงกดในแนวระนาบเดียวกับกระดาษ จากนั้นเพิ่มแรงจนลอนลูกฟูกนั้นยุบตัวลงจนแบน มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg_f) หรือปอนด์ (lb) หรือนิวตัน(N)



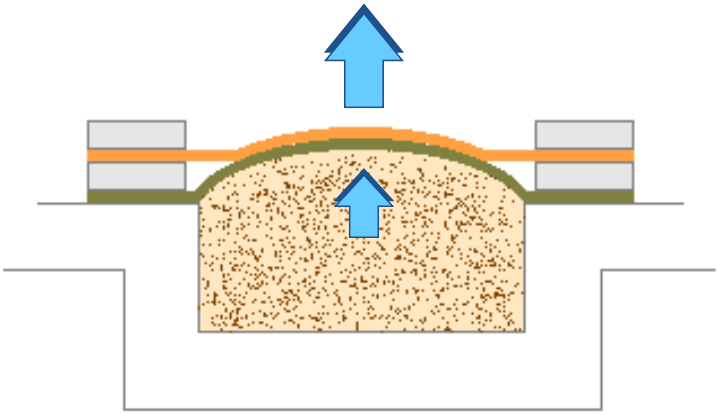
รูปที่ 1.4 การทดสอบการต้านแรงกดลอนลูกฟูก

การต้านแรงกดลอนลูกฟูก (Concora Medium Test : CMT) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของกระดาษทำลูกฟูก เป็นความสามารถของกระดาษที่จะรับแรงกดบนลอนลูกฟูกเกี่ยวข้องกับ

ความสามารถในการรับถ่ายทอดแรงกระแทกรวมทั้งความยืดหยุ่นในการยุบตัว และคืนตัวเมื่อแผ่นกระดาษลูกฟูกถูกกระแทกคุณสมบัติดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถของแผ่นลูกฟูก ถ้าต้องการกล่องลูกฟูกที่แข็งแรงไม่ยุบง่ายจะต้องเลือกกระดาษที่มีค่า CMT สูง มาใช้ผลิตแผ่นลูกฟูก

3) ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Strength)

หมายถึงความต้านทานต่อแรงที่กระทำกับพื้นที่หนึ่งตารางเมตรของกระดาษในแนวตั้งฉากก่อนที่กระดาษจะเกิดการขาดทะลุ มีหน่วยเป็นกิโลปาสคาล (KPa)หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความต้านแรงดันทะลุมีความสัมพันธ์กับชนิดของเยื่อกระดาษที่นำมาผลิต ในการทดสอบเมื่อเครื่องทดสอบทำงาน แผ่นไดอะแฟรมจะถูกดันให้โป่งขึ้นจนทำให้กระดาษทะลุ



รูปที่ 1.5 การทดสอบหาความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ

ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยยาวมีมากกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยสั้น ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษที่มีความสำคัญต่อการใช้งานโดยเฉพาะสิ่งที่นำไปทำเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ

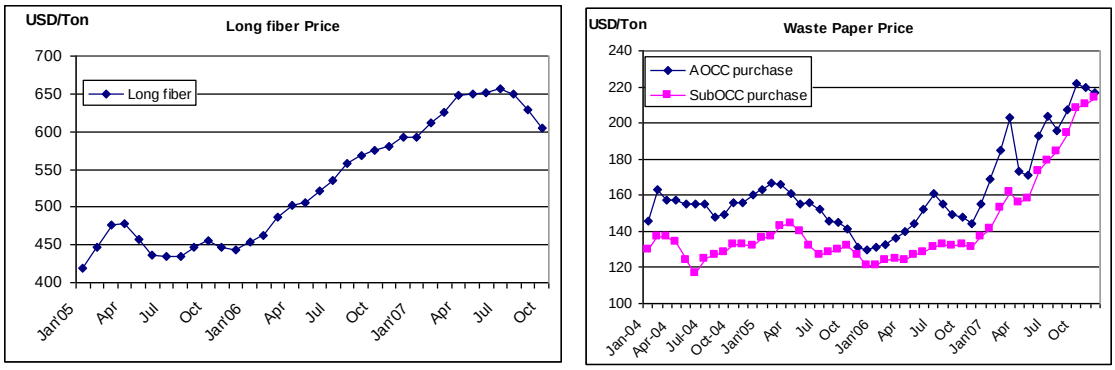
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการอ้างอิงข้อมูลจากศูนย์วิจัยกสิกรไทยธันวาคม 2552 ได้กล่าวว่า อัตราการบริโภคกระดาษของคนไทยโดยเฉลี่ยมีประมาณ 60 กิโลกรัม/คน/ปี ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2551 ประมาณร้อยละ 7 และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปีซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความเจริญก้าวหน้าทางสังคมและการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศได้เป็นอย่างดีดังนั้นอุตสาหกรรมกระดาษและบรรจุภัณฑ์จึงเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้สามารถทดแทนการนำเข้ากระดาษจากต่างประเทศได้อย่างมาก อีกทั้งยังช่วยเพิ่มอัตราการใช้กระดาษที่ใช้งานแล้ว ทำให้เกิดการหมุนเวียนของกระดาษภายในประเทศส่งผลให้การใช้ทรัพยากรที่มีจำกัดนี้เกิดประโยชน์ได้อย่างสูงสุดและยังสอดรับกับกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในปัจจุบันอีกด้วย ด้วยเหตุผลเหล่านี้เองจึงเป็นแรงผลักดันให้ผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมกระดาษบรรจุภัณฑ์มีอัตราการขยายตัวค่อนข้างสูง ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีกำลังการผลิตกระดาษและบรรจุภัณฑ์โดยรวมประมาณ 3,310,000 ตัน โดยร้อยละ 60 ของกำลังการผลิตทั้งหมดเป็นอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษคราฟท์ และส่วนใหญ่กระดาษคราฟท์ที่ผลิตในประเทศเหล่านี้จะผลิตออกมาเพื่อจำหน่ายให้กับโรงงานที่ผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกและถุงกระดาษต่าง ๆ ต่อไป

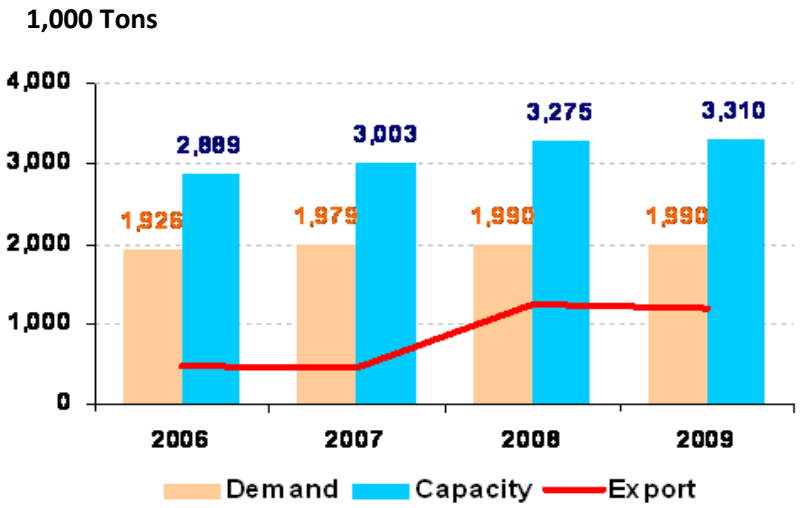
เนื่องจากการผลิตกระดาษคราฟท์เป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง การควบคุมการผลิตจะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการไหลของวัสดุและการจัดการกำลังการผลิต ซึ่งจะต้องมีการวางแผนทรัพยากรและมีการจัดตารางการผลิต เพื่อให้สายการผลิตเกิดการสูญเสียจากการหยุดของเครื่องจักรสำหรับเปลี่ยนสินค้าให้น้อยที่สุดซึ่งความสัมพันธ์ที่กล่าวมานี้เป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Fransoo, J.C. and Rutten, W.G.M.M.,1994)

วัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตกระดาษบรรจุภัณฑ์จะประกอบไปด้วยเยื่อกระดาษและกระดาษที่ใช้งานแล้วในสัดส่วนโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 29.6 และ 41.5 ตามลำดับ นอกนั้นเป็นจำพวกสารเคมีและวัตถุดิบอื่น ๆ อีกประมาณ ร้อยละ 28.9 แต่เนื่องจากสภาพการณ์ในปัจจุบันราคาวัตถุดิบกระดาษมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปีดังรูปที่ 1.6 ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้เป็นปัจจัยภายนอกที่บริษัทไม่สามารถควบคุมได้ ถ้าโรงงานสามารถผลิตสินค้าโดยมีต้นทุนที่น้อยที่สุดก็จะสามารถสร้างความได้เปรียบในการกำหนดราคาราคาขายและสร้างผลกำไรได้มากขึ้น



รูปที่ 1.6 แนวโน้มราคาวัตถุดิบเส้นใย

ในขณะที่กำลังการผลิตกระดาษบรรจุภัณฑ์ (capacity) ที่มีอยู่ในประเทศสูงกว่าความต้องการ (demand) ประกอบกับแนวโน้มความต้องการของตลาดในอนาคตภายในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไม่มากและต้องมีการนำเข้าวัตถุดิบประเภทกระดาษจากต่างประเทศ ดังรูปที่ 1.7 จึงส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องดำเนินกลยุทธ์ต่าง ๆ ในการสนองความต้องการของลูกค้าเพื่อความอยู่รอด



รูปที่ 1.7 Thailand Container Board Market

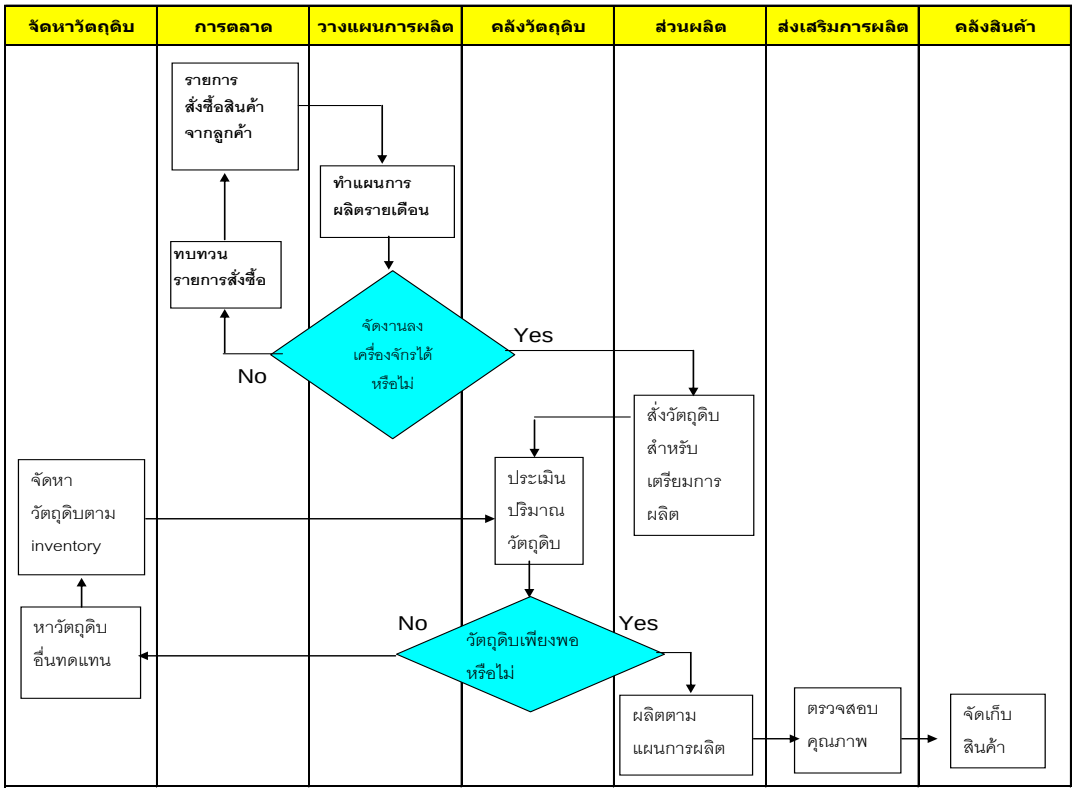
นอกจากราคาวัตถุดิบกระดาษมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ซึ่งเป็นปัจจัยภายนอกที่บริษัทไม่สามารถควบคุมได้ ยังมีปัจจัยในเรื่องของกำลังการผลิตของโรงงาน คือเครื่องผลิตบางเครื่องสามารถผลิตกระดาษบางประเภทในอัตราการผลิตที่สูง แต่ผลิตกระดาษบางประเภทได้ในอัตราการผลิตที่ต่ำ หากวางแผนการผลิตไม่เหมาะสมจะทำให้สูญเสียโอกาสในการผลิต ส่งผลให้ผลิตสินค้าออกมาน้อยกว่าลูกค้าต้องการและทำให้ต้นทุนการแปรรูปสินค้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากโรงงานสามารถเลือกวัตถุดิบและการจัดสรรการผลิตสินค้าให้มีกำลังการผลิตที่เหมาะสมตามความต้องการของลูกค้าและต้นทุนน้อยก็จะสามารถสร้างความได้เปรียบในการสร้างผลกำไรให้กับองค์กรได้

1.2.1 การศึกษาขั้นตอนการวางแผนและเลือกวัตถุดิบในปัจจุบัน

ขั้นตอนของการวางแผนการผลิตและเลือกวัตถุดิบในปัจจุบันเป็นกระบวนการหลักในการดำเนินการผลิตของบริษัทมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอยู่ 7 หน่วยงาน ดังรูป 1.8 ในการผลิตของโรงงานจะมีรอบการผลิต 1 เดือนเมื่อครบรอบการผลิต จะหยุดเครื่องจักรผลิตกระดาษเพื่อทำการซ่อมบำรุงโดยทำการบำรุงรักษาตามคาบเวลา (Time base Maintained) ประเภทของวางแผนการผลิตเป็นการผลิตระยะสั้นคือรอบการผลิต 1 เดือน ระหว่างผลิตจะไม่สามารถหยุดเครื่องจักรได้เนื่องจากการผลิตจะเป็นแบบกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง เมื่อหยุดจะทำให้สูญเสียวัตถุดิบและ

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการ หากผลิตได้ตามแผนที่ได้วางไว้และมีเวลาเหลือก่อนถึงเวลาที่ทำการหยุดเครื่องเพื่อซ่อมบำรุงโดยทำการบำรุงรักษาตามคาบเวลา ก็จะทำการผลิตสินค้าบางชนิดต่อเพื่อเก็บไว้เป็นสินค้าคงคลัง

การค้นหาปัญหาจะต้องศึกษาถึงรายละเอียดขั้นตอนของการทำงานเพื่อหาสาเหตุของปัญหาสำหรับการวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบ ขั้นตอนการวางแผนและการเลือกวัตถุดิบประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 1.8 ขั้นตอนการวางแผนและเลือกวัตถุดิบ

1.2.2 การศึกษาขั้นตอนการทำแผนการผลิต

การทำแผนการผลิตนั้นเริ่มจากฝ่ายการตลาดเตรียมข้อมูลแผนการขาย (Sale Plan) เป็นรายเดือนมา ส่งมาให้หน่วยงานวางแผนการผลิตเพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลเริ่มต้นในการวางแผนการผลิตให้กับหน่วยงานผลิต ขั้นตอนแรกหน่วยงานวางแผนการผลิตจะจัดปริมาณการผลิตลงให้แต่ละโรงงาน ต่อมากำหนดเวลาในการผลิตของแต่ละเครื่องจักรเป็นอันดับถัดไป โดยการใช้ข้อมูลจากความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เช่น อัตราการผลิตของแต่ละประเภทของกระดาษ เป็นต้น ถ้าพบว่าไม่สามารถจัดแผนการผลิตได้หน่วยวางแผนการผลิตจะให้ฝ่ายการตลาด

ทบทวนข้อมูลการสั่งซื้อสินค้า จนกว่าจะจัดแผนการผลิตใกล้เคียงกับความต้องการของลูกค้ามากที่สุด แล้วจึงส่งไปให้หน่วยงานผลิตเพื่อทำการผลิตสินค้าต่อไป

ตารางที่ 1.1 แผนการขาย

Product	Plant (Ton)				Total (Ton)	Sale Plan (Ton)	Prd–Sale (Ton)
	1	2	3	4			
LineA	12,277	7,211	-	480	19,968	17,507	2,461
LineB	1,957	-	588	6,600	9,145	1,660	7,485
LineC	-	-	1,513	-	1,513	1,671	-158
LineP	-	-	629	-	629	550	79
LineW	-	-	954	-	954	776	178
LineT	11,343	-	-	-	11,343	11,745	-402
LineE	-	-	-	-	-	150	-150
Total Domestic	**14,234**	**7,211**	**2,730**	**7,080**	**31,255**	**21,388**	**9,867**
Total Export	**11,343**	**-**	**954**	**-**	**12,297**	**12,671**	**-374**
Grand Total	**25,577**	**7,211**	**3,684**	**7,080**	**43,552**	**34,059**	**9,493**

จากตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณการผลิตของแต่ละโรงงาน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแผนการขายจะเกิดความผิดพลาดในการวางแผนการผลิต LineC LineT LineE ทำให้สูญเสีย กำลังการผลิตและเสียโอกาสในการขายให้กับลูกค้าเป็นจำนวน 158 ,402,150 ตัน ตามลำดับ ซึ่งจะให้ฝ่ายการตลาดทบทวนข้อมูลการสั่งซื้อจากลูกค้า เพื่อให้จัดแผนการผลิตใกล้เคียงกับความต้องการของลูกค้ามากที่สุด

1.2.3 การศึกษาขั้นตอนการผลิต

หลังจากได้ข้อมูลการผลิตแล้วทางหน่วยงานผลิตจะรับแผนการผลิตจากหน่วยงานวางแผนการผลิตแล้วสั่งวัตถุดิบจากหน่วยงานคลังวัตถุดิบ หากมีวัตถุดิบเพียงพอตามมาตรฐานการใช้วัตถุดิบ (unit use) ทางหน่วยผลิตก็จะดำเนินการสั่งวัตถุดิบเข้ากระบวนการผลิต และทำการผลิตสินค้าตามที่วางแผนไว้ แต่ถ้ามีวัตถุดิบไม่เพียงพอหน่วยผลิตจะแจ้งไปยังหน่วยงานคลังวัตถุดิบเพื่อให้หน่วยงานคลังวัตถุดิบประสานงานกับหน่วยงานจัดหาวัตถุดิบเพื่อหาวัตถุดิบประเภทอื่นมาทดแทน ซึ่งหน่วยงานจัดหาวัตถุดิบจะทำหน้าที่จัดหาวัตถุดิบให้เพียงพอกับการผลิต แต่ถ้าไม่มีวัตถุดิบ หน่วยงานจัดหาก็จะหาวัตถุดิบอื่นมาให้แทนซึ่งในกรณีนี้จะเป็นวัตถุดิบที่มีคุณภาพสูงและ

ราคาสูงกว่ามาตรฐานในการใช้วัตถุดิบที่ทางหน่วยผลิตต้องการ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีคุณภาพสูงเกินความจำเป็น

ตารางที่ 1.2 การวางแผนกำลังการผลิตปัจจุบัน

สินค้า	เครื่องจักร			สินค้า (ตัน)	ต้นทุน (ล้านบาท)
	M/C1	M/C 2	M/C 3		
LineC	546	-	159	705	2.098
LineP	-	4,761	54	4,815	17.64
LineD	301	-	-	301	0.92
midP	608	-	64	672	2.49
LineW	-	565	270	835	3.39
LineT	577	-	9,313	9,890	31.93
LineB	694	-	263	957	3.15
midA	413	-	123	536	1.61
LineA	5,433	567	-	6,000	23.03
LineE	-	432	-	432	1.61
midT	145	2,584	-	2,729	9.52
รวม (ตัน)	**8,717**	**8,909**	**10,246**		
เวลา (ชม.)	**576**	**477**	**507**		
รวมเวลา (ชม.)	**1,560**				

จากตารางที่ 1.2 ปัจจุบันหน่วยวางแผนการผลิตจะทำการวางแผนโดยเลือกผลิตสินค้าที่มีกำลังการผลิตสูงสุดของแต่ละเครื่องจักรมาผลิตก่อน เช่น เครื่องจักร M/C 1 เลือกผลิตสินค้า LineAที่ให้กำลังการผลิตสูงสุดคือ 5,433 ตันต่อเดือน เครื่องจักร M/C 2 เลือกผลิต LineP ก่อน เนื่องจากให้กำลังการผลิตสูงสุด 4,761ต่อเดือน เครื่องจักร M/C 3 เลือกผลิต LineT ที่ให้กำลังการผลิตสูงสุด 9,313 ตันต่อเดือน จากนั้นจะทำการกระจายสินค้าตามกำลังการผลิตที่เหลือลงบนเครื่องจักรแต่ละจนครบตามจำนวน โดยผลการวางแผนการผลิตใช้เวลาผลิตทั้งสิ้น 1,560 ชั่วโมง มีต้นทุนในการแปรรูป 97.38 ล้านบาท

1.2.4 การศึกษาขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ

หน่วยผลิตจะดำเนินการผลิตสินค้าตามแผนการผลิต เมื่อสินค้าที่ผลิตออกมาจะมีหน่วยงานส่งเสริมการผลิตตรวจสอบคุณภาพสินค้า ถ้าพบว่าสินค้าผ่านมาตรฐานที่กำหนดหน่วยงานส่งเสริมฯ จะออกใบรับรองคุณภาพสินค้า จากนั้นหน่วยงานผลิตจะทำการส่งสินค้าไปเก็บในคลังสินค้าเพื่อจัดส่งให้ลูกค้าตามเวลาที่กำหนดต่อไป แต่ถ้าสินค้าไม่ผ่านมาตรฐานก็จะออกใบสั่งดำเนินการให้นำกลับไปดำเนินการผลิตใหม่ (re-process)

1.3 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

จากการวิเคราะห์พบว่าในขั้นตอนการวางแผนและเลือกวัตถุดิบ พบปัญหา 2 หัวข้อหลักที่ทำให้มีปัญหาในการจัดกำลังการผลิตและการเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตดังนี้

1.3.1 ปัญหาการสูญเสียกำลังการผลิต

ปัญหาสูญเสียกำลังการผลิตนั้นอยู่ในขั้นตอนของการจัดทำแผนการผลิตคือผู้วางแผนผลิตตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลจากการประมาณการและประสบการณ์มากกว่าข้อมูลจริงทำให้เกิดความสูญเสียกำลังการผลิตสินค้า เนื่องจากเลือกผลิตสินค้าบนเครื่องจักรที่กำลังการผลิตสินค้าชนิดนั้นต่ำและมีต้นทุนในการแปรรูปสูงขึ้น ส่งผลให้กำลังการผลิตโดยรวมของบริษัทลดลงดังตารางที่ 1.2 ผลจากการวางแผนการผลิต จะใช้เวลาในการผลิต 1,560 ชั่วโมง และมีต้นทุนในการแปรรูป 97.38 ล้านบาท แต่ในการวางแผนมีการใช้ข้อมูลในการพิจารณาจากกำลังการผลิตและต้นทุนในการแปรรูปและมีการปรับสมดุล ดังตัวอย่างในตารางที่ 1.3 จะใช้เวลาในการผลิต 1,541 ชั่วโมง และมีต้นทุนในการแปรรูป 92.08 ล้านบาทถ้าผู้วางแผนผลิตตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลจริงและมีหลักการวางแผนที่ดีมากกว่าการประมาณการและประสบการณ์จะทำการวางแผนมีโอกาสในการผลิตสินค้าที่มีปริมาณและต้นทุนที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 1.3 การวางแผนกำลังการผลิตและต้นทุนในการแปรรูปและมีการปรับสมดุล

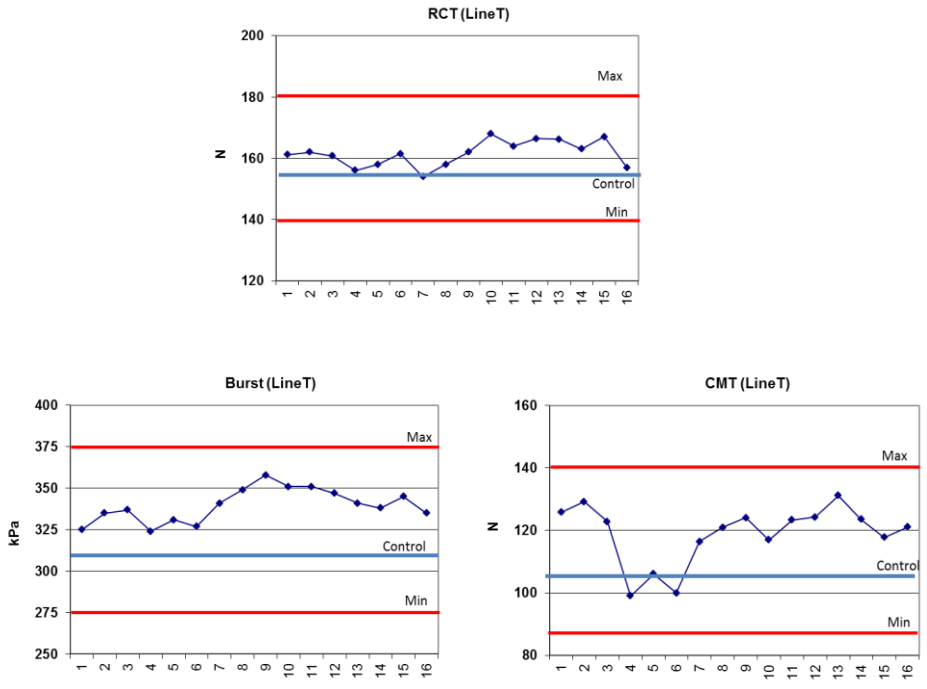
สินค้า	เครื่องจักร			สินค้า (ตัน)	ต้นทุน (ล้านบาท)
	M/C1	M/C 2	M/C 3		
LineC	0	0	35	705	2.07
LineP	0	0	251	4,815	16.59
LineD	20	0	0	301	0.92
midP	0	0	35	672	2.32
LineW	0	0	70	835	3.06
LineT	360	0	150	9,890	31.51

ตารางที่ 1.3 (ต่อ) การวางแผนกำลังการผลิตและต้นทุนในการแปรรูปและมีการปรับสมดุล

สินค้า	เครื่องจักร			สินค้า (ตัน)	ต้นทุน (ล้านบาท)
	M/C1	M/C 2	M/C 3		
LineB	69	0	0	957	3.09
midA	0	0	35	536	1.63
LineA	0	356	0	6,000	19.92
LineE	0	23	0	432	1.61
midT	127	10	0	2,729	9.36
รวม	10,477	6,651	10,744		
เวลา (ชม.)	**576**	**389**	**576**		
รวมเวลา (ชม.)	**1,541**				

1.3.2 ปัญหาต้นทุนวัตถุดิบเส้นใยสูง

ปัญหาต้นทุนวัตถุดิบเส้นใยมีมูลค่าสูงขึ้นเนื่องจากการไม่เลือกใช้ข้อมูลจริงของวัตถุดิบนั้นๆ และการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีราคาสูงเนื่องจากวัตถุดิบที่ต้องใช้ตามมาตรฐานมีไม่เพียงพอ ทำให้สินค้าที่ผลิตมีค่าคุณภาพเกินค่าควบคุม



รูปที่ 1.9 คุณภาพของสินค้า

จากรูปที่ 1.9 แสดงให้เห็นถึงค่าคุณภาพสินค้าของสินค้าทั้ง 3 ประเภทที่มีค่าสูงกว่าค่าขั้นต่ำ (minimum spec) ซึ่งค่าควบคุม (control) นั้นส่วนหนึ่งเกิดจากการเลือกวัตถุดิบที่นำมาผลิตที่มีคุณภาพสูงกว่ามาตรฐาน และถ้าวัตถุดิบเป็นประเภทที่ให้คุณภาพสูงแล้วจะทำให้ราคาวัตถุดิบก็จะสูงขึ้นส่งผลให้สินค้ามีต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.4.1 เพื่อกำหนดการจัดสินค้า (Allocation) มาผลิตบนเครื่องเพื่อให้มีการผลิตที่เหมาะสม โดยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีความสอดคล้องกับเงื่อนไขด้านราคาขายและต้นทุนในการแปรรูปเพื่อให้ผลกำไรสูงสุด

1.4.2 เพื่อสร้างขั้นตอนการเลือกวัตถุดิบเส้นใยอย่างเหมาะสมกับประเภทของสินค้าที่ผลิต

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1 งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากแผนกคลังวัตถุดิบของโรงงานกรณีศึกษา โดยกำหนดให้กระดาษแต่ละประเภทมีปริมาณและพื้นที่ในการกองเก็บแต่ละเดือนมีจำนวนจำกัด

1.5.2 ในการสั่งซื้อกระดาษจะไม่พิจารณาถึงอัตราดอกเบี้ยและค่าเงินที่เปลี่ยนแปลงไป

1.5.3 กำหนดให้ราคาขายสินค้าในแต่เดือนคงที่

1.5.4 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของสินค้าและวัตถุดิบประเภทเยื่อกระดาษและกระดาษบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่รับมาในแต่ละชุดมีความสม่ำเสมอเท่ากันทั้งหมด

1.5.5 ประสิทธิภาพการของการเตรียมเยื่อ (Yield)แต่ละประเภทจะไม่เท่ากันเนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมเยื่อก่อนเข้าสู่กระบวนการทำแผ่นเยื่อกระดาษจะมีสิ่งเจือปนที่มาจากกระดาษที่ใช้อยู่มากกว่าเยื่อบริสุทธิ์ทำให้ปริมาณเยื่อกระดาษไม่เท่ากัน

1.5.6 ในการวางแผนการผลิตจะวางแผนล่วงหน้า 3 เดือน โดยพิจารณาระยะเวลาในการผลิตเป็นรอบ ซึ่งในแต่ละรอบเท่ากับ 1 เดือน และใน 1 เดือนจะกำหนดให้ผลิต 26 วัน

1.5.7 ความต้องการของสินค้าและราคาวัตถุดิบประเภทเยื่อกระดาษแต่ละเดือนเปลี่ยนไปตามราคาตลาด จะใช้การพยากรณ์ล่วงหน้า 3 เดือน

1.6 วิธีการวิจัย

1.6.1 ศึกษากระบวนการวางแผนการแปรรูปปัจจุบัน วิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุ

1.6.2 ศึกษาผลงานวิจัย บทความ และทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการการจัดการการใช้ทรัพยากรในการผลิตและวางแผนการผลิต

1.6.3 ออกแบบการพยากรณ์ความต้องการของสินค้าและราคาวัตถุดิบประเภทเยื่อกระดาษ

1.6.4 ออกแบบแนวทางแก้ไขปัญหาในการเลือกวัตถุดิบ

1.6.5 ทดลองนำแนวทางแก้ไขปัญหาไปใช้งาน

1.6.6 สรุปผลการวิจัย

1.6.7 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.7.1 จัดการต้นทุนในส่วนของวัตถุดิบเส้นใยอย่างเหมาะสม

1.7.2 ผลิตสินค้าให้มีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ

1.7.3 จัดสรรการผลิตให้ผลิตสินค้าเพื่อให้ปริมาณที่เหมาะสม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ระบบการผลิต (Production System)

การผลิตเป็นกระบวนการสร้างสินค้าหรือการบริการโดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่มาแปรรูปหรือแปรสภาพ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการผลิตไม่ได้อยู่ที่การแปรรูปทรัพยากรเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับการควบคุมการแปรรูปให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพโดยการคำนึงถึงปริมาณ คุณภาพ ราคาและเวลาเพื่อที่จะส่งมอบสินค้าและบริการแก่ลูกค้า ดังนั้นในการดำเนินการผลิตให้บรรลุวัตถุประสงค์จะต้องมีการวางแผนเพื่อให้สำเร็จตามเป้าหมาย

การวางแผน (Planning) เป็นขั้นตอนหนึ่งโดยนำข้อมูลที่มีอยู่มาทำการวิเคราะห์สำหรับกำหนดการกระทำหรือการใช้ทรัพยากรเพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายและเพื่อให้สามารถดำเนินการตามแผนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องมีการควบคุมในการติดตามผลและการป้อนข้อมูลกลับเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าบรรลุตามเป้าหมาย โดยการวางแผนจะครอบคลุม 3 ระยะคือ

1. การวางแผนระยะยาว เป็นการวางแผนในภาพรวมที่มองไปข้างหน้าเพื่อให้องค์กรสามารถดำเนินหรือดำรงอยู่ ในรูปแบบการวางแผนเชิงนโยบาย

2. การวางแผนระยะปานกลาง (Intermediate Planning) เป็นการวางแผนระยะเวลาอยู่ในระหว่าง 1-5 ปี โดยเฉพาะด้านการเงินจำเป็นต้องมีแผนระยะนี้เนื่องจากจะมีการด้านการวิจัยและพัฒนารวมถึงการจัดหาเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ การสร้างโรงงานเพื่อการคิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เป็นต้น

3. การวางแผนระยะสั้น (Short Range Planning) จะอยู่ในช่วงเวลา 3 เดือนถึง 1 ปีเป็นการวางแผนเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อให้การผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ปัญหาหลักคือการแปรความต้องการของลูกค้าที่ต้องมีการตระหนักถึงทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดโดยเฉพาะเกี่ยวกับวัตถุดิบ สำหรับในการตัดสินใจกำหนดจำนวนเครื่องมือ เครื่องจักรที่นำมาใช้

การวางแผนการผลิต (Production Planning) หมายถึง การจัดการวางแผนในหน่วยงานต่าง ๆ เครื่องมือเครื่องจักรและวิธีการผลิต เพื่อดำเนินการผลิตหรือการบริการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยคำนึงถึงปริมาณ คุณภาพ ต้นทุน ระยะเวลา การวางแผนการผลิตจะต้องให้ความสนใจทางด้านการตอบสนองความต้องการลูกค้า นั่นคือ สินค้าหรือการปฏิบัติการบริการต้องพอดีกับความต้องการของผู้อุปโภคบริโภค หากผลิตน้อยไปจะเป็นผลให้สินค้าไม่พอขายทำให้เสียโอกาส

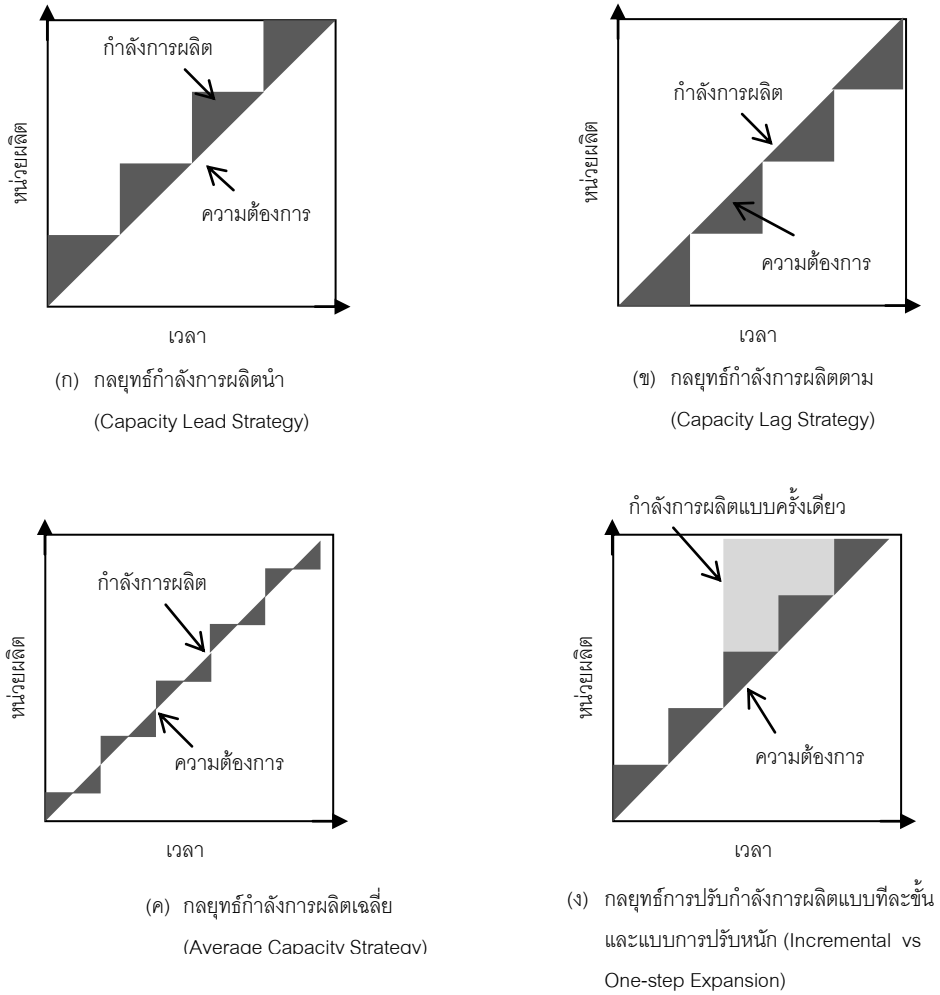
ในการทำกำไร ในทางตรงกันข้ามหากผลิตมากไปจะทำให้เกิดสินค้าสินค้าคงคลังเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดต้นทุนจมไม่คุ้มกับค่าดอกเบี้ยและหากสินค้ามีอายุการเก็บรักษาได้น้อยก็จะทำให้มีโอกาสสูญเสียสินค้า ฉะนั้นในการกำหนดปริมาณในการผลิตจะต้องศึกษาและพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าก่อนเสมอที่จะวางแผนการผลิต

การวางแผนกำลังการผลิต (Capacity Planning) คือการกำหนดกำลังการผลิตสินค้า (หน่วย) ภายในช่วงเวลาหนึ่งๆ กำลังการผลิตนี้อาจหมายถึงจำนวนลูกค้าที่สามารถให้บริการได้ภายในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เป็นขั้นตอนในการกำหนดความสามารถในการผลิตและจัดเตรียมทรัพยากรเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่มาจากการพยากรณ์ ดังนั้นในการกำหนดกำลังการผลิตต้องพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องให้รอบคอบ เช่น ความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้า ความเชื่อถือได้ของข้อมูลการพยากรณ์ เพราะหากผิดพลาดจะส่งผลต่อการปริมาณสินค้าที่จะต้องจัดส่งไม่ทันตามความต้องการของลูกค้าอาจทำให้สูญเสียลูกค้าในที่สุด โดย Russelll และ Taylor III (2003) ได้กล่าวถึงกลยุทธ์ของการวางแผนกำลังการผลิตดังต่อไปนี้

- กลยุทธ์กำลังการผลิตนำ (Capacity Lead Strategy) เป็นกลยุทธ์การเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของความต้องการจากการคาดการณ์ล่วงหน้า ดังรูปที่ 2.1 (ก) ถ้าการคาดการณ์ถูกต้อง จะทำให้องค์กรสามารถดึงดูดลูกค้าจากคู่แข่งที่มีกำลังการผลิตจำกัดได้ ซึ่งนับเป็นกลยุทธ์ที่มีความเสี่ยงค่อนข้างสูง ไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ประเภทที่มีความไม่แน่นอนในด้านความต้องการของตลาดสูง ๆ

- กลยุทธ์กำลังการผลิตตาม (Capacity Lag Strategy) เป็นกลยุทธ์ที่ตรงกันข้ามกับกลยุทธ์กำลังการผลิตนำ คือจะเพิ่มกำลังการผลิตก็ต่อเมื่อมีการยืนยันแน่ชัดแล้วว่าความต้องการมีการปรับตัวเพิ่มขึ้น ดังแสดงรูป 2.1 (ข) วิธีนี้จะให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่สูงกว่าวิธีแรกถ้าความต้องการไม่ลดลงแต่อาจทำให้เสียลูกค้าในระหว่างที่กำลังการผลิตไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงเหมาะกับอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันไม่มาก หรือองค์กรที่ได้รับความเชื่อถือจากลูกค้าอย่างสูง (Customer's Royalty) หรือมีชื่อเสียงดีมาก

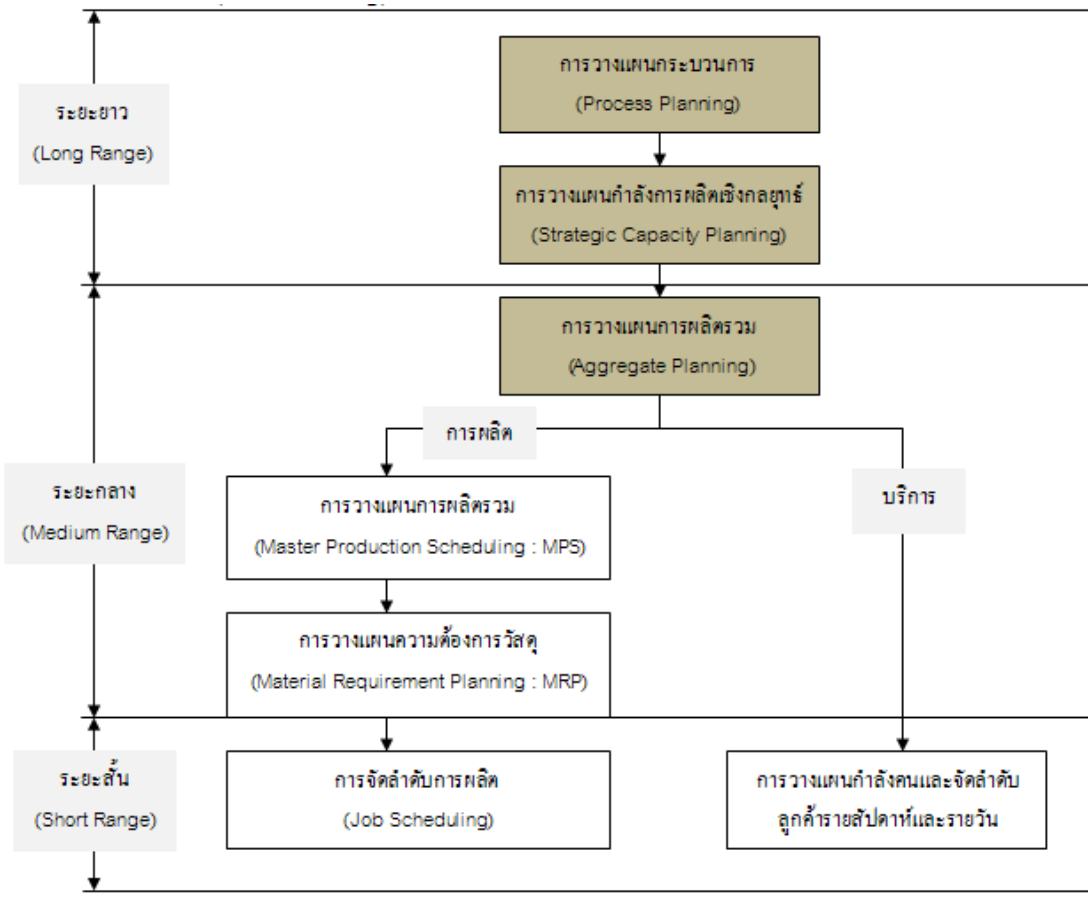
- กลยุทธ์กำลังการผลิตเฉลี่ย (Average Capacity Strategy) การเพิ่มกำลังการผลิตทำได้อย่างสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของความต้องการที่คาดการณ์ไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ค) ซึ่งเป็นกลยุทธ์กลางระหว่าง 2 กลยุทธ์แรก ไม่เสี่ยงจนเกินไป แต่ถ้าความต้องการเพิ่มมากจริงก็พอจัดการได้ถึงแม้ว่ามีการสูญเสียเกิดขึ้นบ้างก็ตาม



รูปที่ 2.1 กลยุทธ์การขยายกาลังการผลิต (ดัดแปลงจาก R. Ressell, 2003)

ในระยะยาวต้องมีการวางแผนกระบวนการ (Process Planning) เป็นการวางแผนด้านเทคโนโลยี เครื่องจักรอุปกรณ์ ตลอดจนขั้นตอนการดำเนินการทั้งหมด เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์หรือบริการชนิดหนึ่ง ๆ แล้วจึงดำเนินการวางแผนกำลังการผลิตเชิงกลยุทธ์ (Strategic Capacity Planning) เพื่อเตรียมกำลังการผลิตระยะยาวในการตอบสนองความต้องการที่พยากรณ์ไว้ เมื่อได้กำลังการผลิตที่ต้องการแล้วจะทำการวางแผนการผลิตรวม (Aggregate Planning) ซึ่งเป็นการวางแผนการผลิตในหน่วยรวม ผลที่ได้จากแผนการผลิตรวมจะนำไปวางแผนการผลิตหลักหรือกำหนดการผลิตหลัก (Master Production Scheduling : MPS) ซึ่งเป็นการวางแผนการผลิตที่เจาะจงปริมาณที่ต้องการของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด (Disaggregate Planning) ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ เมื่อตรวจสอบกับผลิตภัณฑ์ที่มีสำรองไว้แล้ว ในส่วนที่ไม่เพียงพอจะต้องผลิตเพิ่มจะต้องมีการเตรียมวัสดุให้พร้อม ดังนั้นการวางแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirement Planning : MRP) จึงเข้า

มามีบทบาทที่สำคัญ สุดท้ายในการผลิตจะต้องมีการจัดลำดับการผลิต (Job Scheduling) เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมาย



รูปที่ 2.2 ภาพรวมของกิจกรรมการวางแผนในการจัดการระบบ

เมื่อกล่าวถึงการวางแผนกำลังการผลิตรวม (Aggregate Planning) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดแผนการใช้ทรัพยากรในการตอบสนองต่อความต้องการของผลิตภัณฑ์ในรูปของหน่วยรวม (Aggregate Unit) ให้เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากอัตราการผลิต (Production Rate) ขนาดของแรงงาน (Workforce Level) และปริมาณคงคลังสำรอง (Inventory) ซึ่งควรมีในแต่ละช่วงเวลาในระยะเวลา 6 ถึง 12 เดือนข้างหน้า ซึ่งการเพิ่มกำลังการผลิตด้วยการสร้างหรือขยายสายการผลิตหรือซื้อเครื่องจักรอุปกรณ์ขนาดใหญ่มักเป็นไปได้ยากหรือเป็นไปไม่ได้ ทางเลือกที่นิยมจึงเป็นการจ้างแรงงานเพิ่ม การปลดแรงงานออก การเพิ่มเวลาการทางาน โดยทำงานล่วงเวลาและเพิ่มกะ (Shift) การผลิต การจ้างผู้รับเหมาภายนอก (Subcontracting) ตลอดจนถึงการผลิตจำนวนมากในความต้องการต่ำ เพื่อเตรียมไว้ใช้ในช่วงที่กำลังการผลิตไม่เพียงพอ

การวางแผนการผลิตรวมเป็นการวางแผนสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ (Product Family) แทนการวางแผนสำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ โดยผลิตภัณฑ์ที่จะจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายกันใช้ทรัพยากรการผลิตร่วมกันซึ่งได้แก่ วัตถุดิบ เครื่องจักร แรงงาน ฯลฯ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาก่อนการวางแผนใช้ของทรัพยากรให้เหมาะสมกับความต้องการที่ได้พยากรณ์ไว้

การใช้กลยุทธ์เดี่ยวอาจใช้แนวทางใดแนวทางหนึ่งที่ได้กล่าวมาแล้ว ในขณะที่การใช้กลยุทธ์ผสมก็มีทางเลือกในการผสมผสานแนวทางต่าง ๆ มากมาย ดังนั้นการเลือกแผนใดนั้นต้องขึ้นอยู่กับเป้าหมายขององค์กรว่าต้องการอะไร อย่างไรก็ตาม องค์กรทั่วไปมักต้องการสร้างผลกำไรบนสมมติฐานของการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า ดังนั้นการวางแผนการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างดีที่ค่าใช้จ่ายที่ต่ำจึงเป็นสิ่งที่ต้องการ ซึ่งเทคนิคในการเลือกแผนจะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายซึ่งบรรหาญ ลิลา (2553) ได้กล่าวไว้มี 3 เทคนิค คือ

1) การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างแผน (Cost Comparison)
2) การใช้สมการเชิงเส้น (Linear Programming Model)
3) การใช้หลักการของการขนส่งในการวางแผนให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด (Transportation Method)

สำหรับงานวิจัยนี้จะนำเสนอเฉพาะเทคนิคการใช้สมการเชิงเส้น (Linear Programming Model) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการเลือกแผนให้ได้กำไรสูงที่ใช้ในงานวิจัยนี้โดยจะกล่าวไว้หัวข้อ 2.1.4

2.1.2 การพยากรณ์ (Forecasting)

การพยากรณ์เป็นการคาดคะเนข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตในช่วงระยะสั้น ระยะปานกลางและระยะยาว เช่น ความต้องการของลูกค้า ราคาของสินค้า ซึ่งในฝ่ายการตลาดสามารถนำไปใช้ในการประมาณการจำนวนยอดขายเพื่อกำหนดกลยุทธ์ในการขาย แต่ถ้าฝ่ายการผลิตสามารถนำไปใช้ในการวางแผนบริหารสินค้าคงคลังการจัดหาวัตถุดิบเพื่อให้มีวัตถุดิบพอเพียงในการผลิต และการกำหนดกำลังการผลิตให้เหมาะสมกับปริมาณสินค้าที่พยากรณ์ จากประโยชน์ของการพยากรณ์ดังที่ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าหากพยากรณ์ข้อมูลได้ถูกต้องใกล้เคียงกับความจริงจะทำให้การวางแผนและการตัดสินใจในการดำเนินการผลิตเกิดประสิทธิผลมากขึ้น แต่ถ้าการพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนมากจะอาจทำให้เกิดปัญหาด้านการผลิตหลายประการ เช่นซื้อวัตถุดิบมากเกินไปทำให้เกิดต้นทุนสินค้าคงคลังที่สูง ดังนั้น การพยากรณ์ที่แม่นยำจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการวางแผนการบริหารการผลิตทั้งหมด

2.1.2.1 องค์ประกอบของการพยากรณ์

องค์ประกอบของการพยากรณ์มีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 2 องค์ประกอบคือ

1) ช่วงเวลาของการพยากรณ์ (Time Frame)

ช่วงเวลาในการพยากรณ์นั้นจะต้องสอดคล้องกับช่วงเวลาการวางแผน โดยการพยากรณ์ระยะสั้นถึงระยะกลาง โดยปกติจะเป็นรายวัน รายเดือนจนกระทั่งถึง 2 ปี ซึ่งข้อมูลจากการพยากรณ์นี้จะใช้ในการกำหนดแผนงานที่มีการปฏิบัติในระยะเวลาอันสั้น เช่นการกำหนดแผนการผลิตรายเดือน การจ่ายงานให้แต่พนักงานขายในแต่ละวันและกำหนดระดับของคงคลัง ในส่วนการพยากรณ์ระยะยาวจะมีระยะเวลามากกว่า 2 ปีขึ้นไปมักจะเป็นการพยากรณ์เพื่อการวางแผนเชิงกลยุทธ์ เช่นแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของตลาด การเตรียมตัวเพื่อขยายตลาด การขยายโรงงาน การพัฒนาเทคโนโลยี การแบ่งแยกประเภทของการพยากรณ์ในข้างต้นเป็นการแบ่งโดยทั่วไปทั่วไปเท่านั้น ซึ่งมีความแตกต่างกันตามความเหมาะสมตามอุตสาหกรรม สถานการณ์และตามการตัดสินใจของผู้บริหาร

2) พฤติกรรมของความต้องการ (Demand Behavior)

พฤติกรรมความต้องการ เป็นการนำข้อมูลความต้องการของสินค้าในอดีตมาวิเคราะห์ด้วยกราฟ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะการขึ้นลงหรือเป็นแนวโน้มสามารถบ่งชี้ระดับการเคลื่อนไหวของอุปสงค์ในระยะยาวว่ามากขึ้นหรือต่ำลง โดยปัจจุบันพฤติกรรมอุปสงค์เป็นค่าที่มีลักษณะแบบสุ่มไม่ใช่พฤติกรรมปกติ โดยพฤติกรรมความต้องการสามรถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ พฤติกรรมที่เป็นรูปแบบแนวโน้ม วัฏจักร ฤดูกาล และประเภทแนวโน้มผสมฤดูกาล

แนวโน้ม (Trend) เป็นการเปลี่ยนแปลงความต้องการที่มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปตามเวลาที่ผ่านไป เมื่อนำมาเขียนกราฟแล้วมีแนวโน้มเพิ่มอย่างต่อเนื่องหรือลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นรูปแบบที่พบง่ายที่สุด

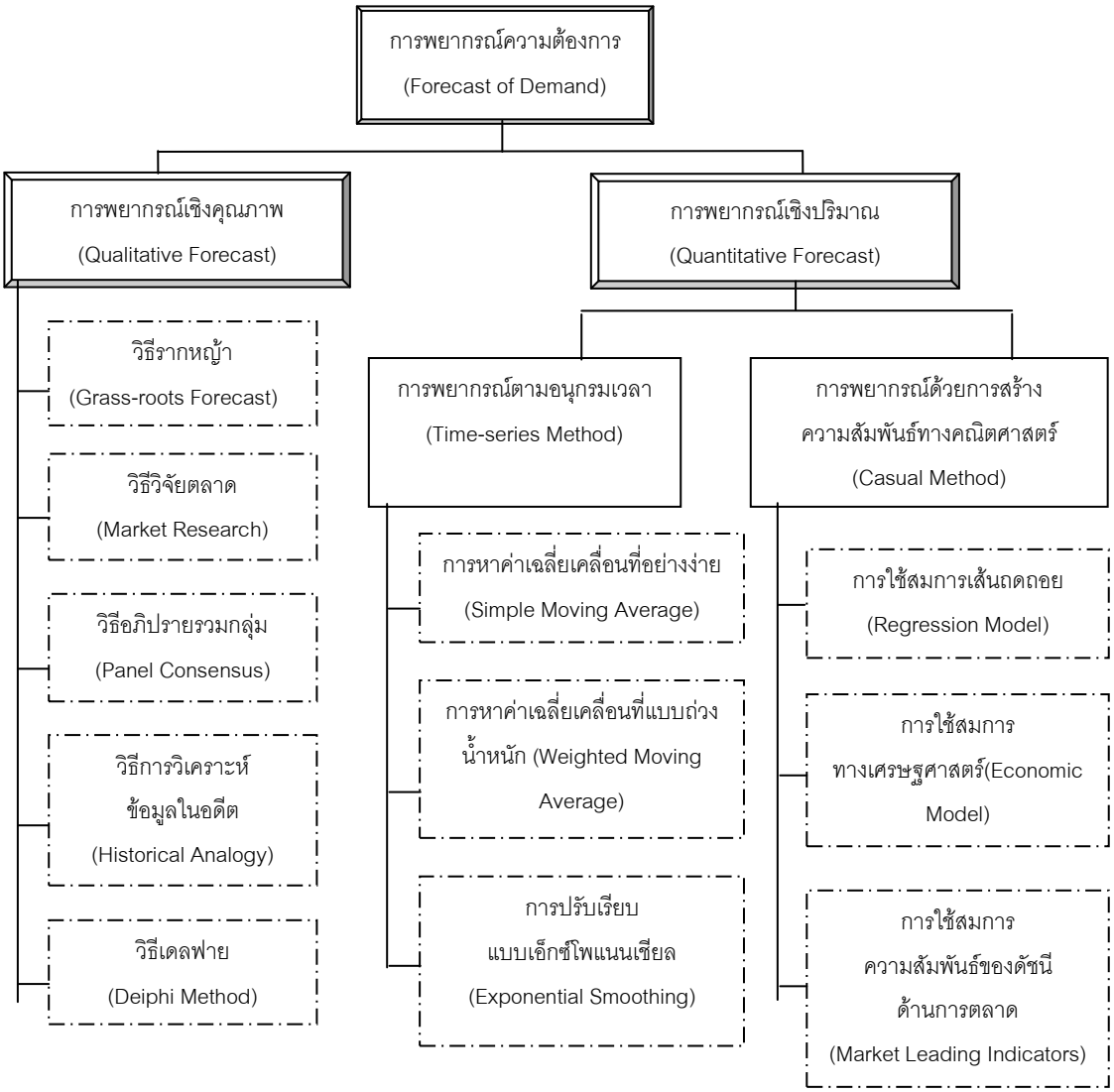
วัฏจักร (Cycle) เป็นพฤติกรรมของความต้องการที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเป็นรอบๆ เมื่อนำมาเขียนกราฟแล้วมีลักษณะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่า ๆ กัน เป็นวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี ตัวอย่างเช่น เครื่องทำน้ำร้อนที่มีความต้องการเพิ่มขึ้นในหน้าหนาวและสม่ำเสมอในช่วงอื่นเป็นวัฏจักรทุกปี

ฤดูกาล (Season) เป็นพฤติกรรมของความต้องการที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามฤดูกาล เป็นเส้นที่เมื่อนำมาเขียนกราฟแล้วมีลักษณะเพิ่มขึ้นเป็นช่วงสั้น ๆ และลดลงเป็นช่วงเวลาในแต่ละปีที่ผลิตภัณฑ์จะทำยอดขายในลักษณะรูปแบบหนึ่งและลักษณะนี้เกิดขึ้นประจำทุกปี เช่น พฤติกรรมการใช้โลชั่นในฤดูหนาว

แนวโน้มและฤดูกาล เป็นเส้นที่มีลักษณะผสมระหว่างแนวโน้มและฤดูกาล เช่นพฤติกรรมการบริการซ่อมบำรุงระบบปรับอากาศของโลกร้อนขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งคนจะใช้ระบบปรับอากาศในเมืองมากขึ้น ปริมาณอุปสงค์มากขึ้น แต่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคมในแต่ละปีคนจะเรียกใช้บริการมากที่สุด

2.1.2.2 วิธีการพยากรณ์ (Forecast Method)

หนังสือด้านการจัดการระบบดำเนินการและระบบการผลิตหลายเล่มได้จัดประเภทการพยากรณ์เป็น 2 กลุ่ม คือการพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative Forecasting) และการพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecast) รวมถึงบรรหาญ ลิลา (2553) ที่แบ่งเทคนิคการพยากรณ์ทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าวเช่นกันดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ประเภทของการพยากรณ์

เนื่องจากการพยากรณ์เชิงคุณภาพจะใช้ประสบการณ์ของผู้พยากรณ์ จึงไม่ต้องการการคำนวณที่ซับซ้อนในการประมาณซึ่งจะตรงกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ในขณะที่การพยากรณ์แบบที่เหลือมีการคำนวณเชิงปริมาณเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะวิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecast) ที่ทำการพยากรณ์บนพื้นฐานของข้อมูลในอดีต ตัวอย่างเช่น ความต้องการสินค้าในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา สามารถใช้ในการพยากรณ์ความต้องการของเดือนที่ 13 หรือราคาวัตถุดิบในแต่ละไตรมาส (Quarter) ของหลายปีที่ผ่านมาสามารถใช้พยากรณ์ราคาวัตถุดิบในแต่ละไตรมาสของปีถัดไป เป็นต้น

เทคนิคของวิธีพยากรณ์ตามอนุกรมเวลา (Time-series Method) ที่ใช้โดยทั่วไป คือการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average) การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) และการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) การวิเคราะห์อนุกรมเวลาที่จะกล่าวซึ่งเทคนิคที่นามาใช้สำหรับงานวิจัยคือ

1) การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average)

วิธีนี้เป็นการปรับให้ค่าเฉลี่ยสะท้อนผลการเปลี่ยนแปลงของความต้องการโดยให้น้ำหนักกับข้อมูลความต้องการที่เกิดขึ้นหลังสุดหรือปัจจุบันมากกว่าข้อมูลที่เกิดในอดีต เช่น ข้อมูลของ 3 เดือนที่ผ่านมา เป็นต้น ซึ่งค่าพยากรณ์สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (2.1)

$$F_t = \sum_{t=t-1}^{t-n} W_t A_t \qquad (2.1)$$

เมื่อกำหนดให้

W_t = น้ำหนักที่ให้กับข้อมูลในหน่วยเวลา t

$\sum W_t$ = 1.00

การกำหนดค่าน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับแต่ละหน่วยเวลาในการพยากรณ์นั้นปกติต้องทำการลองผิดลองถูก หากกำหนดจำนวนเวลา (n) ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการแบบสุ่มมีค่ามากหรือน้อยเกินไป ซึ่งแนวทางที่นิยมทั่วไปคือให้ความสาคัญกับข้อมูลที่เกิดขึ้นในปัจจุบันมากกว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนหน้า ยกเว้นกรณีที่มีความชัดเจนกว่าพฤติกรรมของความต้องการมีผลจากปัจจัยอื่น เช่น อิทธิพลฤดูกาลที่ต้องกำหนดน้ำหนักตามผลของอิทธิพล ในกรณีที่ต้องการพยากรณ์ไปในอนาคตมากกว่า 1 หน่วยเวลา น้ำหนักที่กำหนดสามารถนำไปใช้ได้โดยการกำหนดให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น

2) วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing)

การพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลนี้ คล้ายกับวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่โดยการหาค่าเฉลี่ย โดยมีการถ่วงน้ำหนักของข้อมูลในปัจจุบันมากกว่าข้อมูลในอดีตที่

ห่างไกล เพื่อให้ค่าพยากรณ์ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ แต่ในกรณีของการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลนี้ค่าพยากรณ์จะต้องไม่มีอิทธิพลจากแนวโน้ม (Trend) และ การผันแปรตามฤดูกาล (Seasonal variations) ซึ่งนับว่าเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากเพราะต้องการข้อมูลย้อนหลังเพียงหน่วยเวลาเดียว มีความเที่ยงตรงสูง การคำนวณทำได้ง่ายและสมการทางคณิตศาสตร์ไม่ซับซ้อน

การพยากรณ์ด้วยวิธีนี้ต้องการข้อมูลเพียง 3 ส่วน คือ พยากรณ์ในหน่วยเวลาที่ผ่านมา ความต้องการจริงของหน่วยเวลาที่ผ่านมาและค่าคงที่ของการปรับเรียบ (α) โดยที่ค่าคงที่เป็นตัวกำหนดความเรียบของค่าพยากรณ์และความสามารถในการตอบสนองต่อความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในหน่วยเวลาที่ผ่านมา ซึ่งการกำหนดค่าควรพิจารณาพฤติกรรมของความต้องการว่ามีอัตราการเพิ่มขึ้น (Growth Rate) หรือไม่ ถ้าไม่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความต้องการ ดังสมการที่ (2.2)

$$F_t = \alpha A_{t-1} + (1-\alpha) F_{t-1} \qquad (2.2)$$

F_t = ค่าพยากรณ์ของหน่วยเวลา t

A_{t-1} = ค่าความต้องการในหน่วยเวลา t-1

สมการที่ (2.2) สามารถอธิบายได้ว่าค่าพยากรณ์ความต้องการในหน่วยเวลา t สามารถคำนวณได้จากค่า α ของความต้องการจริงในหน่วยเวลาที่ t-1 รวมกับ $(1-\alpha)$ ของค่าพยากรณ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้าซึ่งจะอยู่ในรูปของค่าพยากรณ์ F_{t-1} เนื่องจากค่า F_{t-1} คำนวณมาจากค่าพยากรณ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้าหน่วยเวลา t-1 เช่น ที่ค่าคงที่ $\alpha = 0.2$ จะได้ $F_t = 0.2A_{t-1} + 0.8\ F_{t-1}$ แสดงว่าค่าพยากรณ์ในหน่วยเวลา t ขึ้นอยู่กับ 20 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการจริงในหน่วยเวลา t-1 และ 80 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการที่เกิดขึ้นก่อนหน้าหน่วยเวลา t-1

เมื่อกำหนดค่าคงที่ $\alpha = 0.0$ ทำให้ค่าพยากรณ์ของหน่วยเวลา t มีค่าเท่ากับความต้องการของหน่วยเวลา t-1 จะทำให้ค่าพยากรณ์ไม่สะท้อนความต้องการที่เกิดขึ้นจริงในหน่วยเวลาที่ผ่านมา

เมื่อกำหนดค่าคงที่ $\alpha = 1.0$ จะทำให้ค่าพยากรณ์สะท้อนความต้องการในหน่วยเวลาที่ผ่านมาโดยไม่สนใจสิ่งที่เกิดขึ้นก่อนหน้านั้น

จากความสัมพันธ์ที่กล่าวมาสามารถนิยามค่าคงที่ α ได้คือ ค่าคงที่ส่งผลโดยตรงต่อความไว (Sensitivity) ของค่าพยากรณ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ หากค่า α สูงจะทำให้ความไวเพิ่มแต่ความเรียบของค่าพยากรณ์จะน้อย ในขณะที่ค่า α ที่ต่ำจะทำให้ความไวลดลงแต่ความเรียบของค่าพยากรณ์จะเพิ่มขึ้น

สมการที่ (2.2) สามารถแสดงในรูปของสมการที่ (2.3) ได้ เพื่อให้เห็นภาพของการพิจารณาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในหน่วยเวลาที่ผ่านมาต่อพยากรณ์ที่คำนวณในหน่วยเวลาที่ต้องการมากขึ้น

$$F_t = F_{t-1} + \alpha (A_{t-1} - F_{t-1}) \qquad (2.3)$$

$A_{t-1} - F_{t-1}$ ในสมการที่ (2.3) เป็นการแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในหน่วยเวลาที่ t-1 เป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ว่าสูงหรือต่ำกว่าความต้องการจริงในหน่วยเวลา t-1 หมายความว่าค่าพยากรณ์ในหน่วยเวลา t จะเท่ากับค่าพยากรณ์ของหน่วยเวลาที่ t-1 ปรับเพิ่มหรือลดในสัดส่วนที่เหมาะ (α=100%) ด้วยความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในหน่วยเวลานั้น เช่น ถ้าขณะนี้เป็นวันสุดท้ายของเดือนที่ 4 และเราทราบว่าความต้องการของเดือนนี้ทั้งเดือนเป็น 1,000 หน่วย จากที่ทำการพยากรณ์ไว้เมื่อตอนต้นเดือนว่าจะเป็น 1,050 หน่วย และจากพฤติกรรมของความต้องการในช่วงหลายเดือนที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่าไม่มีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ผิดปกติแต่อย่างใด เมื่อกำหนดค่าคงที่ของการปรับเรียบ α = 0.05 ค่าพยากรณ์ของความต้องการในเดือนที่ 5 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) ดังนี้

$$F_5 = F_4 + \alpha (A_4 - F_4)$$

$$F_5 = 1{,}050 + 0.05(1{,}000 - 1{,}050)$$

$$F_5 = 1{,}047.5 \text{ หน่วย}$$

จากความต้องการจริงในเดือนที่ 4 มีค่าต่ำกว่าค่าพยากรณ์อยู่ 50 หน่วย (ความคลาดเคลื่อน = 50 หน่วย) ทำให้ค่าพยากรณ์ในเดือนที่ 5 ถูกปรับลดลง 2.5 หน่วย (หรือ 5% ของความคลาดเคลื่อน) จากค่าพยากรณ์ของเดือนที่ 4 และค่าพยากรณ์นี้มีค่าเท่ากับการคำนวณด้วยสมการที่ (2.2) ทุกประการ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการแปรความค่าพยากรณ์ได้มาอย่างไรนั้นจึงอธิบายได้ทั้งสองแนวทาง เพราะโดยแท้จริงแล้วเป็นแนวทางเดียวกัน

3) วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับความต้องการที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม (Adjusted Exponential Smoothing)

เป็นการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่รวมผลของแนวโน้มเข้ามา เพื่อเสริมจุดอ่อนที่ค่าพยากรณ์ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการช้า โดยการเพิ่มค่าคงที่ของแนวโน้ม (Smoothing Constant for Trend ; β) ข้อกำหนดคือ β มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 เป็นการให้น้ำหนักที่ให้แนวโน้มที่เกิดขึ้นล่าสุด การเลือกค่าคงที่ β ขึ้นอยู่กับวิจารณญาณของผู้พยากรณ์หรือพิจารณาจากข้อมูลในอดีต ถ้าค่า β สูงจะแสดงถึงการให้ความสำคัญของแนวโน้มมากกว่าค่าต่ำ ซึ่งค่าคงที่ β นี้สามารถกำหนดให้เท่ากับค่าคงที่ α ได้ โดยสมการที่ใช้สำหรับเทคนิคนี้แสดงในสมการที่ (2.4) ถึงสมการ (2.7)

$$FWT_t = F_t + T_t \quad (2.4)$$

$$F_t = FWT_{t-1} + \alpha (A_{t-1} - FWT_{t-1}) \quad (2.5)$$

$$T_t = T_{t-1} + \beta (F_t - FWT_{t-1}) \quad (2.6)$$

หรือ

$$T_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta) T_{t-1} \quad (2.7)$$

เมื่อกำหนดให้

FWT_t = ค่าพยากรณ์ที่รวมแนวโน้ม (Forecast with Trend) ของหน่วยเวลา t

T_t = แนวโน้มของความต้องการที่เพิ่มหรือลดในหน่วยเวลา t

F_t = ระดับของความต้องการที่เพิ่มหรือลดในหน่วยเวลา t

ถ้ากำหนดให้ค่าแนวโน้มเริ่มต้นเท่ากับ 0 เนื่องจาก ณ จุดเริ่มต้นยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ จากสมการที่ (2.5) และสมการที่ (2.6) จะเห็นว่าค่าแนวโน้มจะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของความต้องการหน่วยเวลาที่ t และเป็นความต้องการในหน่วยเวลาที่ 2 นั่นเอง ($F_t - F_{t-1}$) หลังจากนี้ ผลของแนวโน้มจะนำไปพิจารณาค่าพยากรณ์ตามสมการที่ (2.4) ต่อไป ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าแนวโน้มนี้จะมีผลมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าคงที่ β

4) วิธีการพยากรณ์แบบฤดูกาลของวินเตอร์ (Winter's Linear and Seasonal Exponential Smoothing)

การพยากรณ์โดยวิธีของวินเตอร์จะให้ค่าการพยากรณ์ที่ดีเหมือนวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับความต้องการที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม แต่จะมีจุดที่ดีกว่าคือสามารถพยากรณ์กับข้อมูลที่มีฤดูกาลหรือแบบที่มีแนวโน้ม ดังนั้นการพยากรณ์จะต้องมีข้อมูลอย่างน้อย 2 ฤดูกาล รูปแบบสมการจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนปรับเรียบ ส่วนแนวโน้มและ ส่วนฤดูกาล ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนี้

$$S_t = \alpha \frac{x_t}{I_{t-L}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.8)$$

$$b_t = \gamma (S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma) b_{t-1} \quad (2.9)$$

$$I_t = \beta \left(\frac{X_t}{S_t} \right) + (1 - \beta) I_{t-L} \quad (2.10)$$

เมื่อ X_t = ข้อมูลที่เวลา t

S_t = ค่าปรับเรียบที่เวลา t

b_t = ความชันของข้อมูลที่เวลา t

I_t = ดัชนีฤดูกาลที่เวลา t

L = ช่วงเวลาใน 1 รอบฤดูกาล (เป็นจำนวนเดือนหรือควอเตอร์ใน 1 ปี)

α, β, γ = ค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00

การหาค่าพยากรณ์โดยวิธีของวินเตอร์คำนวนได้จากสูตรดังนี้

$$F_{t+m} = \left(S_t - b_t m\right) I_{t-L+m} \tag{2.11}$$

2.1.2.3 การประเมินความถูกต้องของการพยากรณ์ (Assessment of Forecast Accuracy)

ในความเป็นจริงข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงจะมีความคลาดเคลื่อนไปจากข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์เสมอไม่ว่าจะได้มาด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบใดก็ตาม ทั้งนี้เพราะปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการจริงนั้นมีหลายอย่างและบางปัจจัย ซึ่งบางปัจจัยอาจจะควบคุมได้แต่บางปัจจัยอาจไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาวะทางเศรษฐกิจ ดินฟ้าอากาศ ภัยธรรมชาติ การแทรกแซงของผู้คู่แข่ง การปั่นราคา เป็นต้น ดังนั้นควรจะทำให้ค่าพยากรณ์ที่คำนวนมาได้มีความคลาดเคลื่อนต่างจากความต้องการที่เกิดขึ้นจริงให้น้อยที่สุด แต่เนื่องจากวิธีการพยากรณ์ประเภทหนึ่งก็จะเหมาะสมกับการความต้องการสินค้าประเภทนั้น ข้อมูลการพยากรณ์ที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงมากเป็นตัวบ่งชี้ว่าเทคนิคการพยากรณ์ที่ใช้อาจจะไม่เหมาะสมหรือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพยากรณ์ เช่น ค่าคงที่ของแนวโน้ม (β) ในกรณีที่ใช้เทคนิคการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับความต้องการที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม ไม่มีค่าถูกต้องและต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าระหว่าง 0 – 1.0

การประเมินความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์นี้ทำได้หลายวิธีในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีที่เป็นที่นิยม 3 วิธีคือ ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Squared Error : MSE) ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลัง สอง (Mean Squared Error : MSE) ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Squared Error : MSE) และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error : MAPE)

ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในหน่วยเวลา t (E_t) คือ ค่าความแตกต่างจากความต้องการจริงในหน่วยเวลา t (A_t) และค่าพยากรณ์ของหน่วยเวลาเดียวกันนั้น (F_t) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.12)

$$E_t = A_t - F_t \tag{2.12}$$

ดังนั้นความคลาดเคลื่อนรวมจะมีค่าเท่ากับ

$$\sum_{t=1}^{n} E_t = \sum_{t=1}^{n} \left(A_t - F_t \right) \tag{2.13}$$

เมื่อ n แทนจำนวนหน่วยเวลาที่ทำการพยากรณ์ถึงแม้ว่าทั้งสมการที่ (2.12) และสมการที่ (2.13) จะไม่ใช่สมการที่ประเมินประสิทธิผลของการพยากรณ์ แต่สามารถนาไปใช้ในการประเมินความคลาดเคลื่อนของเทคนิคการพยากรณ์แต่ละแบบได้ ดังแสดงในสมการที่ (2.14) ถึงสมการที่ (2.16) ดังต่อไปนี้

1) ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD)

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| A_t - F_t \right|}{n} \tag{2.14}$$

ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAD) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการประเมินความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าความต้องการจริง และค่าพยากรณ์ในรูปของค่าสมบูรณ์นั่นเอง

2) ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกาลังสอง (Mean Squared Error : MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left(A_t - F_t \right)^2}{n} \tag{2.15}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (MSE) คือ ค่าเฉลี่ยของความ แตกต่างระหว่างค่าความต้องการจริงและค่าพยากรณ์ในรูปกำลังสอง ทั้งนี้เพื่อกำจัดผลเครื่องหมาย +/- ที่อาจทำให้การแปลความหมายของผลการประเมินผิดไป

ค่าจากการประเมินทั้ง MAD และ MSE เป็นการค่าบ่งชี้ความคลาดเคลื่อนของความถูกต้องของเทคนิคการพยากรณ์ที่ใช้ แต่อย่างไรก็ตามทั้งสองวิธีนี้ มีจุดอ่อนคือไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าเทคนิคการพยากรณ์เหมาะมากน้อยเพียงใด และยากที่จะเปรียบเทียบได้ระหว่างการพยากรณ์ของข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน เพราะค่า MAD และ MSE มิได้สัมพันธ์กับขนาด (Magnitude) ของความต้องการและค่าจากการพยากรณ์ เช่น การพยากรณ์ที่ให้ค่า MAD = 10.0 อาจ

บ่งชี้ว่าเทคนิคการพยากรณ์ที่ใช้เหมาะสม ถ้าขนาดของความต้องการจริงและค่าพยากรณ์อยู่ที่ประมาณ 1,000 หน่วย แต่อาจบ่งชี้ว่าไม่เหมาะสมถ้าขนาดของความต้องการที่ กำลังพิจารณาอยู่นี้อยู่ที่ประมาณ 10 หน่วย ดังนั้นการเปรียบเทียบการพยากรณ์ด้วย MAD และ MSE จึงไม่เหมาะสมกับบางสถานการณ์ จุดเสียเปรียบนี้แก้ไขได้ด้วยการประเมินโดยใช้ค่า เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Deviation : MAPD)

3) เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error: MAPE)

$$\text{MAPE} = \frac{100}{n}\sum_{t=1}^{n}\frac{\left|A_t - F\right|}{A_t} \qquad (2.16)$$

วิธีนี้กำจัดปัญหาด้านการแปลความหมายผิดพลาดเพราะขนาดของความต้องการจริงได้อย่างดีเพราะค่าที่ได้จากสมการที่ (2.16) เป็นค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างความต้องการจริง และค่าพยากรณ์ที่สัมพันธ์กับขนาดของความต้องการจริงในรูปของเปอร์เซ็นต์ โดยค่าที่ต่ำกว่าบ่งชี้ความแม่นยำของการพยากรณ์ที่มากกว่า

2.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Paired t-test)

คือการทดสอบค่าเฉลี่ยที่ได้การสุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกันเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล เช่นการทดสอบคุณภาพ (อายุการใช้งานเฉลี่ย) ของรองเท้า 2 ยี่ห้อ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบก่อนเรียนกับหลังเรียน หน่วยตัวอย่างที่ใช้ควรมีลักษณะคล้ายกันหรือมีหน่วยเดียวกัน ซึ่งมักนิยมใช้กับการทดสอบความแตกต่างที่ต้องการตรวจสอบที่ต้องการใช้กับไม่ใช้ โดยแบ่งกลุ่มตังอย่างเป็น 2 กลุ่มที่มีลักษณะคล้ายกันแล้วทำการสุ่มสิ่งที่สนใจต้องการเปรียบเทียบให้แต่ละกลุ่ม แต่เนื่องจากการเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะคล้ายกันมักทำได้ยากดังนั้นขนาดตัวอย่างมักมีขนาดเล็ก และไม่ทราบความแปรปรวน เมื่อประชาการมีความแจกแจงเป็นแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้สถิติ t ทดสอบ โดยที่

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{S_d/\sqrt{n}} \qquad (2.17)$$

จากสมการที่จะใช้กับประชากรที่มีการแจกแจงเป็นแบบ t ที่องศาอิสระ n-1 ซึ่ง d_0 เป็นค่าคงที่ที่ได้จากสมมติฐานและใน $H_0 : \mu_1-\mu_2 = d_0$ โดยที่ $\mu_d = \mu_1-\mu_2$ หรือ $H_0 : \mu_d = d_0$

การทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรจึงเหมือนกับว่ามีตัวอย่าง 1 ชุด และมีขนาดตัวอย่าง n เมื่อสมมติฐานที่คือ $H_0 : \mu_d = d_0$ และ $H_1 : \mu_d \neq d_0$ โดยที่เขตปฏิเสธสำหรับการทดสอบแบบ 2 ข้าง คือ ปฏิเสธ H_0 ถ้า $t > t_{1-\alpha/2;}$ หรือ $t < t_{1-\alpha/2;n-1}$

2.1.4 โปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming)

การโปรแกรมเชิงเส้นตรง เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางการจัดสรรปัจจัยและทรัพยากรที่มีลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องเป็นเชิงเส้นตรงทั้งสิ้น โดยมีจุดหมายเพื่อแก้ปัญหาและตัดสินใจให้เกิดผลตามแนวทางการดำเนินงานที่ดีที่สุด เช่น กำไรสูงสุด ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดและแนวทางการดำเนินงานอื่น ๆ ที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุดต่อระบบนั้นๆ โดยมีเงื่อนไขที่กำหนดให้ เช่น สภาวะตลาด การขาดแคลนวัตถุดิบ กำลังคน เครื่องจักร เงินทุน สถานที่ ความรู้ ข้อกำหนดของกฎหมายและระเบียบต่าง ๆ ของสังคม นโยบายของฝ่ายบริหาร ขอบข่ายของธุรกิจที่ดำเนินอยู่ และอื่นๆ

ตัวอย่างเช่น การใช้เทคนิคทางการโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่ใช้กับการแก้ปัญหาทางด้านการผลิตของอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งจะต้องเกี่ยวข้องโดยตรงกับวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตชนิดของเครื่องจักรที่มีสมรรถภาพและกำลังการผลิตต่าง ๆ กัน กำลังคนที่มีความสามารถและจำนวนที่ต้องการของเงินทุนหมุนเวียนและทุนกิจการ สถานที่ที่เกี่ยวข้อง ความรู้ และวิธีการผลิต ราคาขายและการตลาดเป็นต้น โดยมีเงื่อนไขต่างๆ เช่น ขนาดขีดความสามารถใน การผลิตของเครื่องจักรและแรงงาน, ปริมาณความต้องการของตลาด, ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานอื่นๆ

ทางด้านอุตสาหกรรมก็ใช้เทคนิคนี้มาช่วยในการจัดการเกี่ยวกับ การผลิต อุตสาหกรรมที่ใช้เทคนิคดังกล่าวและประสบผลสำเร็จมาแล้ว คืออุตสาหกรรมถ่านหิน เหล็กกล้า กระดาษ น้ำมัน เป็นต้น และในวงการธุรกิจต่าง ๆ เช่น การเดินรถประจำทาง การขนส่งทางน้ำ และทางอากาศก็ได้นำเทคนิคดังกล่าวมาพัฒนาใช้ เพื่อใช้ในการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และช่วยในการดำเนินงานขนถ่ายบุคคล หรือสิ่งของเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ทางการก่อสร้างก็ยังนำเทคนิคนี้มาวิเคราะห์ส่วนประกอบของโครงงาน ในการตัดสินใจดำเนินโครงการให้ได้กำไรสูงสุด

2.1.4.1 รูปแบบของการโปรแกรมเชิงเส้นตรง

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นตรงมีโครงสร้างดังนี้

1) มีสมการกำหนดเป้าหมาย (Objective Function) คือสมการแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนกำไร เพื่อให้สามารถกำหนดเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุด (Maximize, Minimize)

2) มีสมการแสดงขอบข่าย (Constraints) ซึ่งแสดงความจำกัดของปัจจัยหรือทรัพยากรในรูปสมการหรืออสมการ

3) ความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการต่าง ๆ ต้องมีลักษณะเชิงเส้นตรง คือ ตัวแปรทุกตัวในสมการเป้าหมายและสมการหรืออสมการของขอบข่ายจะต้องมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเป็นกำลังเดียวกัน (โดยมากเป็นกำลังหนึ่ง)

4) ตัวแปรทุกตัวต้องมีค่ามากกว่าศูนย์หรือเท่ากับศูนย์

2.1.4.2 ขั้นตอนการดำเนินการของการโปรแกรมเชิงเส้นตรง

เพื่อช่วยให้เข้าใจลักษณะปัญหาและวิธีการใช้เทคนิคทางการโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการแก้ปัญหาต่าง ๆ สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

1) การจัดตั้งรูปแบบของปัญหา

ก่อนอื่นต้องศึกษาข้อมูลองค์ประกอบของปัญหาให้เข้าใจ โดยเลือกเฉพาะองค์ประกอบที่สำคัญและมีอิทธิพลมาก แล้วจัดตั้งตัวแปรแทนส่วนประกอบของปัญหานั้น ๆ ให้ถูกต้องจนสามารถจัดตั้งส่วนประกอบดังนี้

- สมการกำหนดเป้าหมาย
- สมการหรืออสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรภายใต้ขอบข่ายต่าง ๆ ที่มีอยู่
- ให้แน่ใจว่าสมการหรืออสมการต่าง ๆ ที่ตั้งขึ้นแล้วเป็นไปในลักษณะของสมการเชิงเส้นตรงและมีค่าของตัวแปรทุกตัวเป็นค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

2) การหาผลลัพธ์ของรูปแบบของปัญหา

เมื่อสามารถจัดปัญหาเข้ารูปแบบของการโปรแกรมเชิงเส้นตรงแล้ว จึงจะสามารถหาผลลัพธ์จากรูปแบบแทนระบบด้วยวิธีการดังกล่าวต่าง ๆ ดังนี้

- ในกรณีที่เป็นปัญหาที่มีตัวแปรเป็น 2 ตัว จะใช้วิธีทางกราฟ (Graphical Method) และวิธีการหาจุดตัด (Extreme Points and the Optimal Solution)
- ในกรณีที่เป็นปัญหามีตัวแปรมากกว่า 2 ตัว เราจะใช้วิธี (Simplex Method) และวิธีทางคอมพิวเตอร์ (Computer Solution)

จากทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัยที่เริ่มจากการวางแผนการแก้ไขปัญหา โดยอาศัยหลักการของกระบวนการตัดสินใจและกระบวนการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบเพื่อกำหนดความชัดเจนของปัญหา แล้วทำการออกแบบและพัฒนาทางเลือกในการแก้ไขปัญหาโดยอาศัยเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และประเมินทางเลือกในการแก้ไขปัญหา สุดท้ายนำทางเลือกที่ได้ไปปฏิบัติและตรวจสอบผลลัพธ์จากการปฏิบัติตามลำดับ

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับอุตสาหกรรมกระดาษจึงได้มีการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมกระดาษอย่างงานวิจัยของ K. Nilsson และ M. Soderstrom (1992) ที่ศึกษาการจัดการต้นทุนด้านพลังงานเกี่ยวกับระบบการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำของ

โรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ โดยพลังงานที่ใช้จะแปรผันตามปริมาณเยื่อกระดาษที่ผ่านการใช้งาน (Recycle paper) แล้วในสัดส่วน 25% 30% 35% และมีปริมาณความต้องการสินค้าอยู่ที่ 30,000 ตันต่อเดือน สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการหาว่าที่ปริมาณเยื่อกระดาษดังกล่าวควรผลิตสินค้าในปริมาณสัดส่วนเท่าไรและจะต้องเดินระบบพลังงานอย่างไรจึงจะมีต้นทุนในการใช้พลังงานที่ต่ำที่สุด โดยมีสมการวัตถุประสงค์คือต้นทุนต่ำที่สุด (Minimize cost) ที่ประกอบไปด้วยต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนไอน้ำ ต้นทุนเชื้อเพลิงและต้นทุนกระแสไฟฟ้าตามช่วงเวลาเนื่องจากประเทศของงานวิจัยนี้ช่วงเวลามีผลต่อราคาต้นทุนพลังงาน และมีการนำรูปแบบทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างฟังก์ชันข้อจำกัด (constraints function) ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยที่ดำเนินการ แต่ต่างกันตรงที่งานวิจัยที่การดำเนินงานนี้มีการกำหนดปริมาณวัตถุดิบ โดยพิจารณาจากคุณภาพของสินค้าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพื่อให้มีต้นทุนในการใช้วัตถุดิบน้อยที่สุด เช่นเดียวกับงานวิจัยของ S.S. Chauhan และคณะ (2008) เรื่อง Roll assortment optimization in a paper mill: An integer programming approach ที่มีสมการวัตถุประสงค์เป็นต้นทุนต่ำที่สุด (minimize cost) เช่นเดียวกันแต่เป็นการศึกษาในเรื่องการวางแผนการผลิตในขั้นตอนของการแปรรูปเพื่อลดของเสียที่เกิดจากความกว้างของกระดาษที่ไม่ตรงกับความต้องการของลูกค้า (Trim loss) และให้ต้นทุนในการเก็บสินค้าคงคลังมีความเหมาะสม โดยใช้วิธีการแก้ปัญหา 2 รูปแบบ คือ 1.Branch and price algorithm ที่ใช้หลักการของ primal และ Dual และแบบที่ 2 คือใช้ Marginal cost heuristic จุดที่น่าสนใจสำหรับงานวิจัยนี้คือมีการพิจารณาถึงสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนของความต้องการ (Demand) กับเวลานำ (Lead time) ซึ่งสมการวัตถุประสงค์จะประกอบด้วยต้นทุนสินค้าคงคลัง ต้นทุนระดับสินค้าคงคลังและต้นทุนการสูญเสียจากการแปรรูป ที่ต่างกับงานวิจัยของ R.K. Pati และคณะ (2006) เรื่อง Economic analysis of paper recycling vis-a` -vis wood as raw material ที่มีการวิเคราะห์ต้นทุนตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การขนส่ง สินค้าคงคลัง การผลิตจนถึงการทำลายของธุรกิจกระดาษเป็นห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) แต่จะมีสมการวัตถุสงค์เหมือนกันคือต้องการต้นทุนที่ต่ำที่สุด (minimize cost) โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือต้นทุนที่ต่ำที่สุดจากวัตถุดิบที่เป็นไม้และวัตถุดิบที่เป็นไม้และวัตถุดิบที่เป็นกระดาษ ซึ่งทั้ง 2 กรณีมี constraint 2 ตัวคือ Demand และ Storage capacity นอกจากงานวิจัยของ R.K. Pati และคณะ (2006) ดังกล่าวที่มีการศึกษาต้นทุนต่ำที่สุด (minimize cost) ที่เกี่ยวกับการใช้วัตถุดิบประเภทไม้และวัตถุประเภทกระดาษนั้น ยังมีงานวิจัยของ Ulrich Derigs, Stefan Friederichs, (2009) เรื่อง "Decision Support for Flow Management in a Recycling Network," ที่มีวัตถุประสงค์ในเรื่องของต้นทุนต่ำที่สุด (minimize cost) แต่เป็นการศึกษาในเรื่องของการจัดซื้อวัตถุดิบประเภทกระดาษหรือกระดาษที่ผ่านการใช้งานแล้วเพียงอย่างเดียว โดยสมการวัตถุประสงค์ก็คือราคาซื้อ

เท่ากับราคาขายในสัญญาลบด้วยค่าใช้จ่ายในการขนส่งลบด้วยกำไร ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือสามารถเพิ่มกำไรในการจัดซื้อมากขึ้น

จากที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นว่างานวิจัยที่ดำเนินการนี้มีการนำรูปแบบทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตจึงได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างงานวิจัยของ ทวัยพร ชาเจียมเจน (2550) ที่นำรูปแบบทางคณิตศาสตร์มาเพื่อหาปริมาณการผลิต ปริมาณการขายและปริมาณสินค้าคงคลังในแต่ละเดือนของอุตสาหกรรมกระดาษให้เกิดความเหมาะสม เช่นเดียวกับงานวิจัยของพีระพล เก้าเอี้ยน (2549) ที่ศึกษาเรื่อง ‘การปรับปรุงการวางแผนสั่งซื้อวัตถุดิบโดยการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา : การจัดซื้อวัตถุดิบจากต่างประเทศในอุตสาหกรรมกระดาษ’ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงการวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ จากสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขในการสั่งซื้อวัตถุดิบแต่ละเงื่อนไขโดยพิจารณาด้านปริมาณการสั่งซื้อ และวิธีการสั่งซื้อ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุดจากประเทศผู้จัดส่งแต่ละราย ใน 1 รอบของการวางแผน (1 เดือน/ครั้ง) โดยมีการพยากรณ์ราคาของวัตถุดิบล่วงหน้า นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มีการพยากรณ์และการวางแผนโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์แต่ไม่ใช้อุตสาหกรรมกระดาษของยศนันท์ ศุภพิบูลย์ (2551) ที่ศึกษาเรื่องการพยากรณ์และการวางแผนการผลิตรวมกรณีศึกษา : บริษัทผู้ผลิตน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้เทคนิคการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (Simple Moving Average Method) และเทคนิคการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing Method) และใช้ค่า MAPE วัดความแม่นยำของการพยากรณ์สำหรับเลือกเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อพยากรณ์ความต้องการน้ำมันถั่วเหลืองของลูกค้าต่างประเทศในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 และนำค่าที่ได้ไปศึกษาแนวทางการวางแผนการผลิตรวมต่อไป

2.3 สรุป

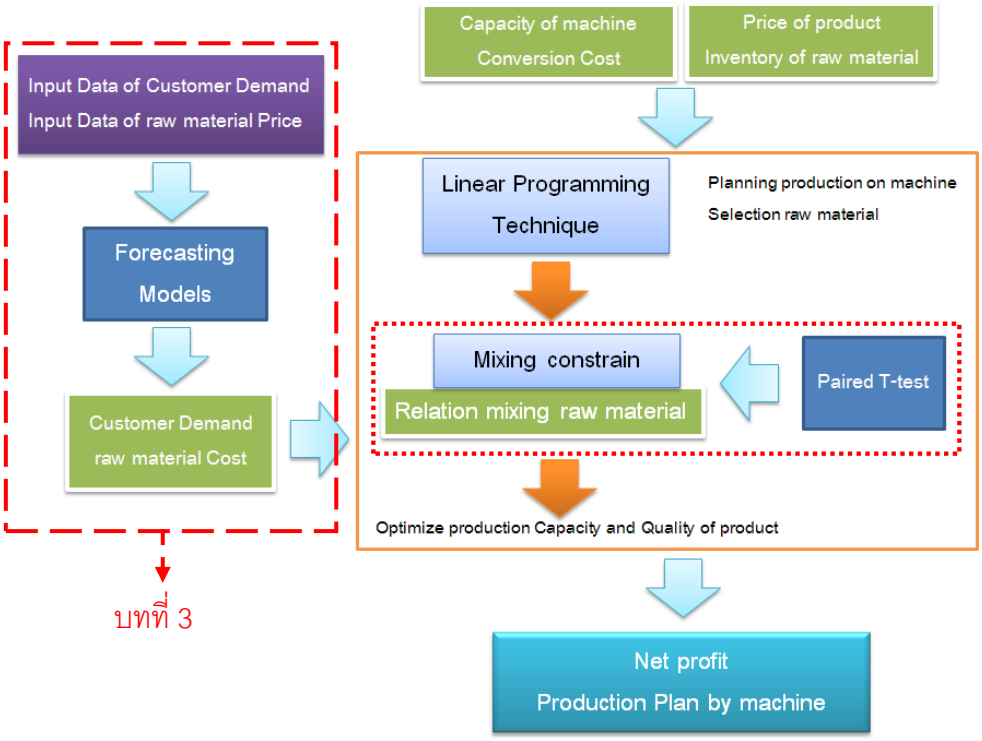
จากทฤษฎีที่ได้กล่าวถึงทั้งหมดนั้นจะเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัยที่เริ่มจากการวางแผนเพื่อแก้ไขปัญหาโดยอาศัยหลักการของกระบวนการตัดสินใจและแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ สำหรับกำหนดความชัดเจนของปัญหา การออกแบบและพัฒนาทางเลือกในการแก้ไขปัญหาจากเครื่องมือต่าง ๆ ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แล้วทำการประเมินทางเลือกในการแก้ไขปัญหาเพื่อนำไปปฏิบัติและตรวจสอบผลลัพธ์ตามลำดับ จากนั้นเมื่อได้โครงสร้างหลักของกระบวนวิธีที่จะแก้ปัญหาแล้วก็จะนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับลักษณะของปัญหามาใช้กับลักษณะของปัญหาซึ่งในที่นี้ก็คือการปรับปรุงการวางแผนการผลิตและการเลือกใช้วัตถุดิบที่เหมาะสมกับสินค้าที่ผลิตโดยเริ่มจากพยาการณ์ราคาวัตถุดิบและความต้องการสินค้าล่วงหน้าจากทฤษฎีของการพยากรณ์ (Forecasting Model) แล้วนำค่าที่ได้มาเป็นค่าพารามิเตอร์ในแบบคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดแผนใน

การผลิตสินค้าสำหรับเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ต่อมาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเยื่อกับปริมาณและประเภทเพื่อมากำหนดเป็นสมการขีดจำกัดในการเลือกประเภทวัตถุดิบและปริมาณในการผลิต และทฤษฎีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) สุดท้ายนำค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการวางแผนมาตรวจสอบเพื่อคำนวณประสิทธิภาพและผลที่ได้จากการวางแผน ซึ่งวิธีการในการดำเนินการโดยละเอียดจะแสดงไว้ในบทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 3

การพยากรณ์ความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบ

จากปัญหาที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 คือปัญหาการสูญเสียกำลังการผลิตจากการวางแผนการผลิตที่อาศัยประสบการณ์มากกว่าพิจารณาถึงการนำข้อมูล ณ ปัจจุบันมาใช้ และปัญหาต้นทุนวัตถุดิบเส้นใยสูงเนื่องจากในการเลือกวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตไม่พิจารณาถึงข้อมูลจริงวัตถุดิบที่มีอยู่ ณ ขณะนั้นทำให้การเลือกวัตถุดิบที่นำใช้ในการผลิตบางครั้งมีราคาสูงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูง ดังนั้นจึงได้มีการเสนอแนวคิดในการแก้ไขปัญหาโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1.การพยากรณ์ความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบเพื่อความแม่นยำของข้อมูลที่นำไปใช้ในแบบจำลองฯ และส่วนที่ 2. คือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนการผลิตและเลือกวัตถุดิบในการแก้ไขปัญหาการสูญเสียกำลังการผลิตที่เกิดจากการวางแผนการผลิต โดยในบทนี้ได้นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาในส่วนแรกนั่นคือการพยากรณ์ความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบเพื่อการวางแผนและการเลือกใช้วัตถุดิบให้มีเหมาะสมกับสถานการณ์ ซึ่งขั้นตอนแนวคิดในการปรับปรุงได้แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แนวคิดในการปรับปรุงการวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบ

ปัญหาจากการวางแผนและการเลือกใช้วัตถุดิบไม่เหมาะสมนั้นมีสาเหตุอันเนื่องมาจากความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอนและการวางแผนการผลิตไม่เหมาะสมกับกำลังการผลิตของเครื่องจักร ทำให้บางครั้งปริมาณสินค้าที่ผลิตออกมามีปริมาณน้อยกว่าความต้องการของลูกค้า ซึ่งโดยปกติการตัดสินใจเลือกวัตถุดิบที่นำมาผลิตจะเลือกตามมาตรฐานข้อกำหนดของโรงงาน โดยไม่มีการพิจารณาถึงข้อมูลวัตถุดิบที่มีอยู่จริง ทำให้การเตรียมวัตถุดิบไม่สอดคล้องกับวัตถุดิบจริงที่มีอยู่และไม่มีการพิจารณาถึงแนวโน้มราคาวัตถุดิบจากผู้ขาย ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการออกแบบการตัดสินใจเพื่อแก้ไขปัญหานี้จะใช้ข้อมูล 2 ส่วนคือ ความต้องการสินค้าและราคาของวัตถุดิบ

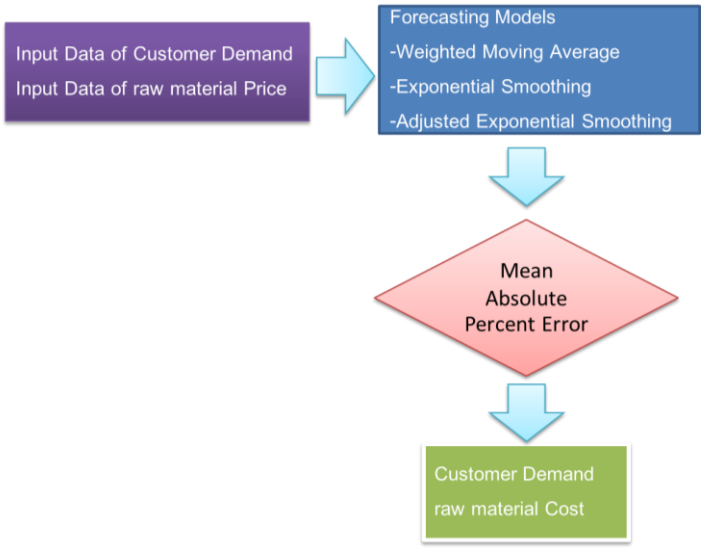
โดยขั้นแรกจะเริ่มจากพยากรณ์ราคาของวัตถุดิบและความต้องการสินค้าจากลูกค้า แล้วทำการเลือกเทคนิคการพยากรณ์โดยพิจารณาข้อมูลในอดีตว่ามีลักษณะข้อมูลเป็นไปในรูปแบบใด โดยเทคนิคที่ใช้ในการพยากรณ์มี 3 รูปแบบ คือ

1) วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) วิธีนี้ค่าพยากรณ์จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่เป็นแบบสุ่มได้ดี มีความเที่ยงตรงสูง ค่าคงที่ของการปรับเรียบ (α) เป็นตัวกำหนดความเรียบของค่าพยากรณ์ การกำหนดค่าควรพิจารณาธรรมชาติของผลิตภัณฑ์และพฤติกรรมของความต้องการ

2) วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับความต้องการที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม (Adjusted Exponential Smoothing) เป็นการพยากรณ์ที่ใช้วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่รวมผลของแนวโน้มเข้ามาเพื่อลดจุดอ่อนที่ค่าพยากรณ์ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงช้าโดยการปรับ exponential ด้วยวิธีเส้นตรง ประกอบด้วย 2 พารามิเตอร์ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน β และค่าแนวโน้ม α ที่ใช้ในการปรับให้เรียบทั้งค่าเฉลี่ยและแนวโน้ม

3) วิธีการพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ (Winter's Linear and Seasonal Exponential Smoothing) จะใช้กับอนุกรมเวลาที่มีการผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งมีลักษณะการเคลื่อนไหวคล้ายคลึงกันในช่วงเวลาที่คงที่หรือช่วงเวลาที่ยาวใกล้เคียงกันเป็นช่วง ๆ ในขณะที่ระดับของอนุกรมเวลาอาจคงที่หรือเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งประกอบด้วย 3 พารามิเตอร์ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน β ค่าแนวโน้ม α และค่าดัชนีฤดูกาล γ ที่ใช้ในการปรับให้เรียบทั้งค่าเฉลี่ยและแนวโน้มฤดูกาล

หลังจากที่ได้พยากรณ์โดยใช้ตัวแบบทั้ง 3 ชนิดแล้ว จะนำผลลัพธ์จากการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธีมาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ที่น้อยที่สุด มาเป็นตัวพิจารณาเพื่อเลือกวิธีการพยากรณ์ โดยขั้นตอนการพยากรณ์ที่ได้กล่าวมานั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนในการพยากรณ์

3.1 การวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูล

3.1.1 ความต้องการของสินค้า

โดยปกติในการวางแผนการผลิตจะมีการนำข้อมูลความต้องการสินค้าแต่ละชนิดจากลูกค้าเพื่อนำมากำหนดปริมาณการผลิต แล้วกระจายปริมาณการผลิตไปยังเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ดังนั้นในการวางแผนจะนำข้อมูลความต้องการของสินค้าทั้งสิ้น 11 ประเภท ในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2552 ถึงธันวาคม ปี 2553 (24 เดือน) เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มสำหรับนำมาใช้ในการพยากรณ์ โดยข้อมูลในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถแสดงไว้ได้ตารางที่ 3.1 ถึงตารางที่ 3.2

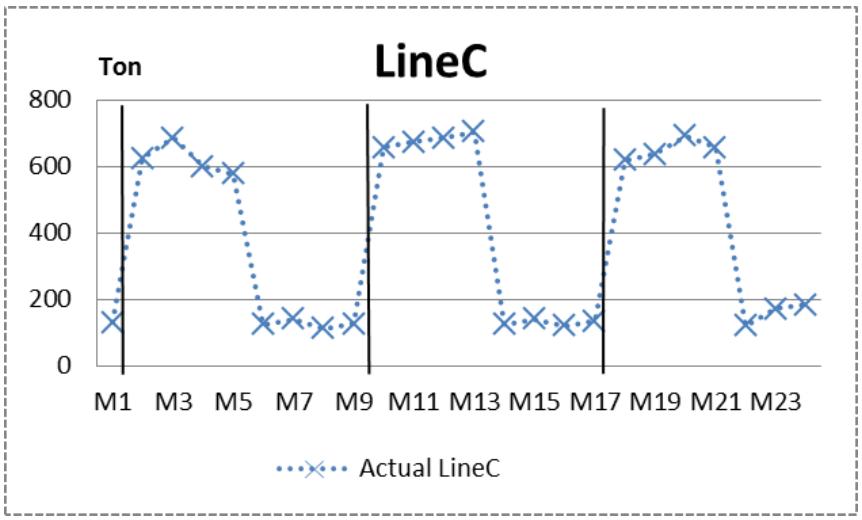
ตารางที่ 3.1 ความต้องการสินค้าในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม ปี 2552

สินค้า	ความต้องการสินค้าประจำปี 2552 (ตัน/เดือน)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
LineC	132	625	687	601	579	126	142	114	127	657	675	687
LineP	5,125	4,310	3,791	3,898	2,811	3,427	3,901	2,312	2,247	2,824	2,731	2,293
LineD	389	1,931	1,459	1,413	1,434	1,214	1,201	980	1,601	1,321	1,281	1,031
midP	661	845	1,005	623	791	883	887	899	910	900	870	865
LineW	810	710	793	741	756	782	699	642	621	592	574	540
LineT	10,001	10,800	9,990	7,800	7,770	8,795	8,570	9,990	9,950	9,100	9,900	9,500
LineB	895	610	490	550	672	1,170	1,272	1,360	1,326	892	1,342	1,400
midA	542	601	950	2,100	3,000	1,349	1,145	700	410	650	750	326
LineA	6,120	6,260	6,090	7,100	6,400	6,973	6,990	6,900	6,780	6,950	6,432	7,900
LineE	493	112	134	134	126	902	883	889	145	418	497	475
midT	2,694	2,652	3,405	3,810	4,950	2,710	2,610	2,700	3,029	3,293	3,007	3,061

ตารางที่ 3.2 ความต้องการสินค้าในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม ปี 2553

สินค้า	ความต้องการสินค้าประจำปี 2553 (ตัน/เดือน)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
LineC	705	126	142	121	135	618	638	692	657	122	173	184
LineP	4,815	3,269	4,116	3,738	2,959	3,640	3,711	2,101	2,327	2,589	3,363	2,041
LineD	301	1,623	1,307	1,497	1,366	1,129	1,188	821	1,446	1,235	1,093	993
midP	672	890	980	604	729	904	891	885	902	900	792	847
LineW	835	680	831	705	775	755	631	642	650	579	554	584
LineT	9,890	10,632	10,909	7,965	7,654	8,710	8,659	11,004	10,404	11,126	10,138	11,358
LineB	957	501	310	501	524	1,257	1,495	1,457	1,257	701	1,661	1,316
midA	536	620	983	2,287	3,088	1,676	1,111	686	376	621	775	216
LineA	6,000	6,205	6,397	7,010	6,177	6,887	7,065	6,979	6,808	7,202	7,026	8,223
LineE	432	243	211	301	231	984	964	966	233	698	621	615
midT	2,729	2,704	4,387	3,918	5,035	2,589	2,580	2,749	3,267	3,309	3,589	3,386

จากตารางที่ 3.1 และ 3.2 เมื่อนำข้อมูลความต้องการสินค้าแต่ละชนิดทั้ง 24 เดือน มาพิจารณาลักษณะแนวโน้มของความต้องการสินค้า 11 ประเภท โดยเขียนเป็นกราฟซึ่งแนวโน้มข้อมูลความต้องการสินค้าทั้งหมดไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ ก-1 ถึง ก-11



รูปที่ 3.3 แนวโน้มความต้องการสินค้า LineC ตั้งแต่เดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

จากรูปที่ 3.3 พบว่าเป็นตัวอย่างลักษณะแนวโน้มความต้องการของสินค้า LineC จากลักษณะข้อมูลความต้องการสามารถแบ่งได้เป็น 3 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบมี 8 ฤดูกาล โดยโรงงานกรณีศึกษานี้เป็นหนึ่งในผู้ผลิตกระดาษที่ผลิตสินค้าที่ขายให้ลูกค้าต่างประเทศ ซึ่งลูกค้าสามารถซื้อสินค้าชนิดนี้ได้ตามโรงงานที่อยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้นช่วงที่ความต้องการสินค้า

ชนิดนี้สูงจึงเป็นช่วงที่ลูกค้าต้องการสินค้าที่ผลิตในประเทศไทยและในช่วงที่มีการความต้องสินค้าต่ำจะเป็นช่วงที่ลูกค้าสั่งซื้อสินค้าชนิดนี้จากโรงงานในต่างประเทศ โดยช่วงระยะเวลาจะแบ่งเป็นอย่างละ 4 เดือน ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์

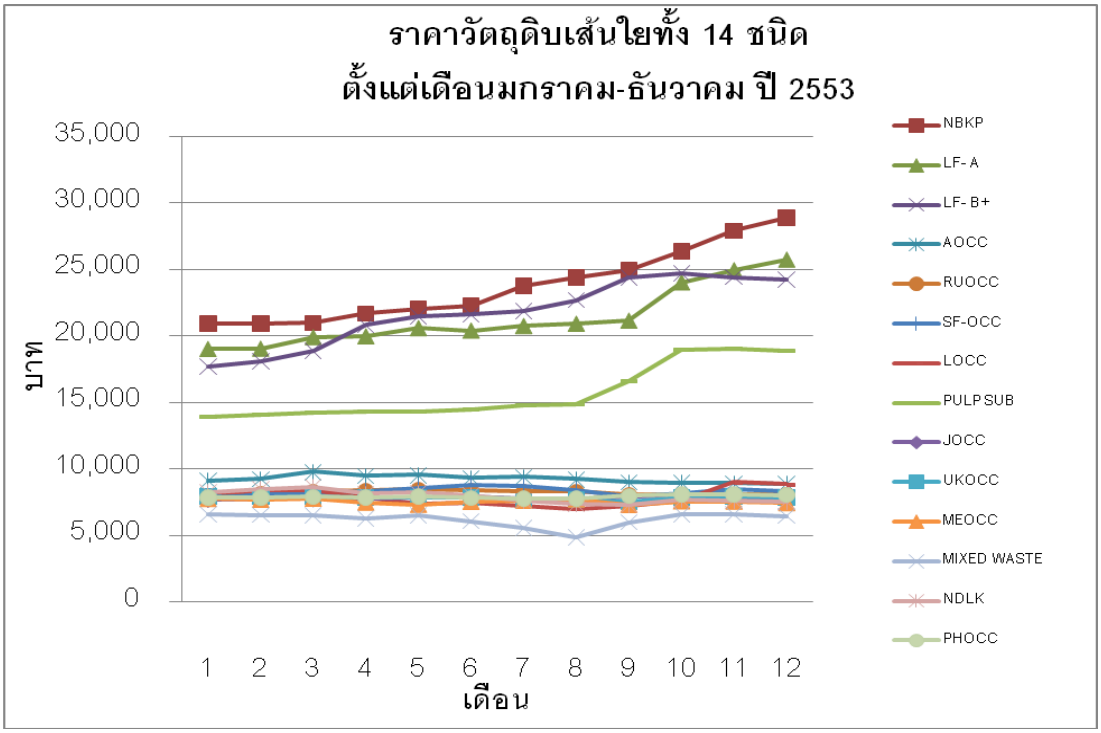
3.1.2 ราคาวัตถุดิบ

ต้นทุนวัตถุดิบเส้นใยเป็นต้นทุนประมาณ 60% ของต้นทุนในการผลิตกระดาษ หากเลือกข้อมูลราคาวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการวางแผนการผลิตมีความเหมาะสมก็จะสามารถควบคุมต้นทุนการผลิตได้ ดังนั้นในการวางแผนการผลิตเพื่อเลือกใช้วัตถุดิบทั้ง 14 ชนิด จะนำข้อมูลราคาวัตถุดิบในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี 2553 มาวิเคราะห์แนวโน้มก่อนนำมาใช้ในการพยากรณ์ต้นทุนราคาวัตถุดิบ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ราคาของวัตถุดิบตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม ปี 2553

วัตถุดิบ	ราคาวัตถุดิบประจำปี 2553 (บาท)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
NBKP	20,917	20,894	20,957	21,652	22,007	22,247	23,734	24,377	24,931	26,332	27,887	28,873
LF- A	19,036	19,067	19,921	19,989	20,601	20,412	20,761	20,936	21,162	24,036	24,939	25,731
LF- B+	17,696	18,109	18,882	20,824	21,480	21,605	21,859	22,702	24,373	24,713	24,435	24,208
AOCC	9,101	9,225	9,770	9,473	9,531	9,325	9,390	9,221	8,990	8,977	8,932	8,866
RUOCC	7,868	8,083	8,239	8,363	8,433	8,391	8,308	8,242	8,050	8,017	8,032	8,026
SF-OCC	7,789	8,002	8,074	8,279	8,526	8,763	8,652	8,371	7,889	8,074	8,412	8,245
LOCC	8,019	8,314	8,364	7,794	7,302	7,442	7,131	6,933	7,136	7,563	8,972	8,805
PULP SUB	13,900	14,050	14,220	14,313	14,300	14,450	14,795	14,837	16,574	18,922	18,995	18,815
JOCC	7,677	7,693	7,707	7,743	7,784	7,894	7,707	7,635	7,848	7,951	7,812	7,508
UKOCC	7,861	7,848	7,892	7,797	7,815	7,786	7,536	7,666	7,487	7,811	7,894	7,828
MEOCC	7,731	7,679	7,761	7,458	7,302	7,523	7,601	7,688	7,278	7,553	7,545	7,433
MIXED WASTE	6,543	6,492	6,471	6,244	6,471	6,019	5,511	4,797	5,941	6,524	6,523	6,411
NDLK	8,212	8,442	8,612	8,103	8,175	7,974	7,555	7,304	7,261	7,630	7,578	7,520
PHOCC	7,823	7,837	7,853	7,836	7,877	7,778	7,740	7,727	7,942	8,046	8,064	8,016

จากตารางที่ 3.3 นำข้อมูลราคาวัตถุดิบตั้งแต่มกราคมถึงเดือนธันวาคม ปี 2553 มาแสดงในรูปของกราฟเพื่อดูลักษณะแนวโน้มของข้อมูลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แนวโน้มราคาวัตถุดิบตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี 2553

รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าลักษณะของกราฟไม่มีรูปแบบเป็นลักษณะของฤดูกาล โดยจะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่มีรูปแบบเป็นลักษณะของแนวระดับ (horizontal pattern) และมีลักษณะที่ไม่เป็นแนวโน้ม (non stationary pattern) คือมีการขึ้นลงของข้อมูลในแนวทิศทางที่ไม่เป็นระบบ แต่จะเห็นได้ว่ามีกราฟเพียง 3 เส้นที่มีรูปแบบเป็นแนวโน้ม (Trend) นั่นคือราคาวัตถุดิบของเยื่อ NBKP, LF- A และ LF- B+ ที่มีราคาเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไป ส่วนราคาวัตถุดิบของเยื่อ PULP SUB จะมีลักษณะคงที่แต่จะมีการปรับฐานราคาในเดือนที่ 9 และ 10 ซึ่งมีลักษณะไม่เป็นแบบแนวโน้ม

จากลักษณะรูปแบบของข้อมูลราคาวัตถุดิบทั้ง 14 ชนิดมีจึงได้เลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์ 2 วิธีดังนี้

1. วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) สำหรับราคาเยื่อ AOCC, RUOCC, SF-OCC, LOCC, PULP SUB, JOCC, UKOCC, MEOCC, MIXED WASTE , NDLK, PHOCC

2. วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม (Adjusted Exponential Smoothing) สำหรับราคาของเยื่อ NBKP, LF- A และ LF- B+

3.2 การพยากรณ์ข้อมูล

3.2.1 ความต้องการของสินค้า

จากแนวโน้มความต้องการสินค้า 11 ประเภท ดังรูปที่ ก-1 ถึง ก-11 ที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก พบว่าความต้องการสินค้าแต่ละชนิดมีลักษณะเคลื่อนไหวในแนวนอน (Horizontal Movement) และมีลักษณะเป็นแบบฤดูกาล คือมีการขึ้นลงของข้อมูลในแนวทิศทางที่เป็นระบบและซ้ำกัน จากลักษณะรูปแบบของข้อมูลความต้องการสินค้าทั้งหมด ดังนั้นจึงได้ตัดสินใจเลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์

ในการคำนวณหาค่าพยากรณ์ความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงธันวาคม 2553 ดังกล่าว จะใช้สมการที่ 2.11 ด้วยวิธีของวินเตอร์ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ดังนี้

$$F_{t+m} = \left(S_t - b_t m\right) I_{t-L+m} \tag{2.11}$$

โดยค่า S_t, b_t และ I_t สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 ถึง 2.10 ในบทที่ 2 เช่นกัน

$$S_t = \alpha \frac{x_t}{I_{t-L}} + \left(1-\alpha\right)\left(S_{t-1} + b_{t-1}\right) \tag{2.8}$$

$$b_t = \gamma\left(S_t - S_{t-1}\right) + \left(1-\gamma\right) b_{t-1} \tag{2.9}$$

$$I_t = \beta\left(\frac{X_t}{S_t}\right) + \left(1-\beta\right) I_{t-L} \tag{2.10}$$

การกำหนดค่าคงที่ α, β, γ สำหรับนำมาใช้ในการคำนวณ สามารถอธิบายได้ดังนี้

– ค่าคงที่ α เป็นค่าคงที่ที่ส่งผลโดยตรงต่อความไว (Sensitivity) ของค่าในการพยากรณ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลตามข้อกำหนดของค่า α มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00

– ค่าคงที่ β เป็นค่าคงที่ของแนวโน้ม เป็นค่าคงที่ที่ส่งผลโดยตรงต่อความลาดชันของข้อมูล ตามข้อกำหนดของค่า β มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00

– ค่าคงที่ γ เป็นค่าคงที่ของฤดูกาล เป็นค่าคงที่ที่ส่งผลตามฤดูกาล ตามข้อกำหนดของค่า γ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00

การกำหนดค่า α β และ γ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่า S_t, b_t และ I_t ในสมการที่ 2.8 ถึง 2.11 เพื่อนำไปหาค่าการพยากรณ์ความต้องการสินค้า 11 ประเภทในสมการที่ 2.11 ซึ่งเป็น

การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ สามารถทำได้โดยนำสมการที่ 2.16 ซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) มาสร้างในโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel โดยกำหนดให้ค่า α β และ γ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.99 แล้วกำหนดเงื่อนไขวัตถุประสงค์ของโปรแกรมให้คำนวณหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่มีค่าน้อยที่สุด

ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel ในการหาค่า α, β, γ ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อหาค่าการพยากรณ์ความต้องสินค้าตั้งแต่เดือนมกราคมปี 2552 จนถึงเดือนธันวาคม ปี 2553 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สรุปค่าที่ใช้คำนวณการพยากรณ์และค่า MAPE ของความต้องการสินค้า

สินค้า	α	β	γ	ค่า MAPE (%)
LineC	0.78	0.01	0.99	5.87
LineP	0.07	0.04	0.01	4.38
LineD	0.43	0.01	0.01	2.71
midP	0.11	0.02	0.01	1.42
LineW	0.15	0.03	0.01	2.00
LineT	0.15	0.04	0.01	2.56
LineB	0.61	0.01	0.01	7.03
midA	0.13	0.02	0.01	4.11
LineA	0.71	0.01	0.99	1.71
LineE	0.01	0.01	0.01	8.26
midT	0.34	0.03	0.01	3.29
ค่าเฉลี่ย				**3.94**

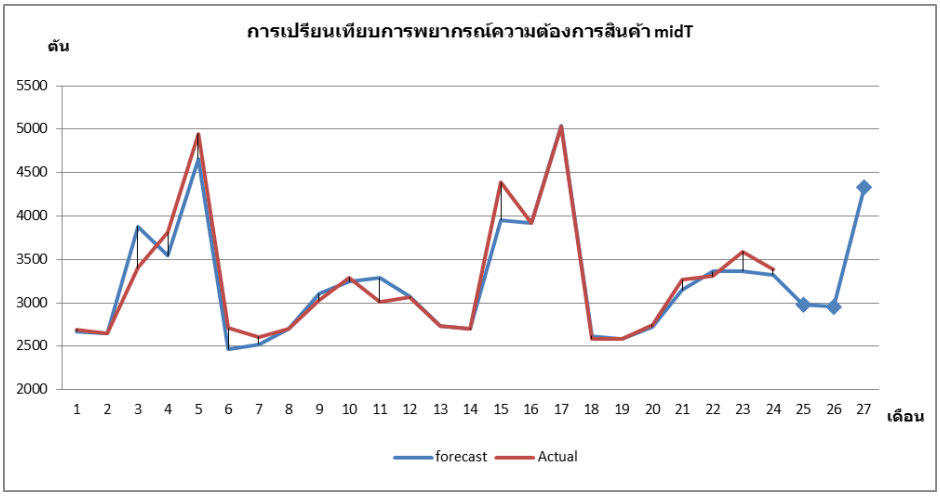
ตารางที่ 3.4 แสดงถึงค่า α β และ γ ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่น้อยที่สุด ซึ่งให้ค่า MAPE เฉลี่ยของสินค้าทั้ง 11 ประเภทเท่ากับ 3.94% จากนั้นนำมาพยากรณ์ความต้องการสินค้าแบบฤดูกาลชนิดวินเตอร์เป็นระยะเวลา 3 เดือน ซึ่งผลการคำนวณค่าการพยากรณ์ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel ของความต้องการสินค้าทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ ก-13 ถึง ก-23

Demand	midT
data range	24
Season range	12
a	0.336737
b	0.027872
g	0.01

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				0.71				
				0.70				
				1.03				
				0.98				
				1.26				
				0.65				
				0.65				
				0.68				
				0.79				
				0.83				
				0.83				
0		3,757.89	0.00	0.80				
1	2,694.00	3,766.96	0.26	0.71	2,674.82	19.18	19.18	0.01
2	2,652.00	3,767.05	0.25	0.70	2,652.37	- 0.37	0.37	0.00
3	3,405.00	3,611.59	- 4.09	1.03	3,881.41	- 476.41	476.41	0.12
4	3,810.00	3,698.49	- 1.55	0.98	3,544.51	265.49	265.49	0.07
5	4,950.00	3,773.95	0.59	1.26	4,661.63	288.37	288.37	0.06
6	2,710.00	3,896.89	4.00	0.66	2,472.04	237.96	237.96	0.10
7	2,610.00	3,945.73	5.25	0.65	2,523.87	86.13	86.13	0.03
8	2,700.00	3,950.71	5.25	0.68	2,700.54	- 0.54	0.54	0.00
9	3,029.00	3,922.76	4.32	0.79	3,106.43	- 77.43	77.43	0.02
10	3,293.00	3,946.03	4.85	0.83	3,246.47	46.53	46.53	0.01
11	3,007.00	3,838.36	1.71	0.83	3,284.82	- 277.82	277.82	0.08
12	3,061.00	3,834.00	1.54	0.80	3,075.44	- 14.44	14.44	0.00
13	2,729.00	3,834.97	1.53	0.71	2,730.23	- 1.23	1.23	0.00
14	2,704.00	3,837.86	1.57	0.70	2,701.14	2.86	2.86	0.00
15	4,387.00	3,981.61	5.53	1.03	3,952.37	434.63	434.63	0.11
16	3,918.00	3,986.65	5.52	0.98	3,919.41	- 1.41	1.41	0.00
17	5,035.00	3,991.92	5.51	1.26	5,035.92	- 0.92	0.92	0.00
18	2,589.00	3,981.69	5.07	0.66	2,619.63	- 30.63	30.63	0.01
19	2,580.00	3,986.76	5.07	0.65	2,580.00	- 0.00	0.00	0.00
20	2,749.00	4,001.95	5.35	0.68	2,728.46	20.54	20.54	0.01
21	3,267.00	4,059.10	6.80	0.79	3,146.22	120.78	120.78	0.04
22	3,309.00	4,044.50	6.20	0.83	3,361.55	- 52.55	52.55	0.02
23	3,589.00	4,141.12	8.72	0.83	3,365.87	223.13	223.13	0.07
24	3,386.00	4,176.15	9.45	0.80	3,323.42	62.58	62.58	0.02
1	2,979.40	4,185.61	9.45	0.71	2,979.40	-	-	-
2	2,953.61	4,195.06	9.45	0.70	2,953.61	-	-	-
3	4,331.23	4,204.51	9.45	1.03	4,331.23	-	-	-
							total	0.79
								100.00
							n	24.00
							n/100	4.17
							MAPE	3.29

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า midT ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

เมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการพยากรณ์กับความต้องการสินค้าจริงที่เกิดขึ้นตั้งแต่เดือนมกราคมปี 2552 จนถึงเดือนธันวาคม ปี2553 และผลการพยากรณ์ต่อเนื่องไปอีก 3 เดือน โดยได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ ก-24 ถึง ก-34



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างกราฟการพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า midT

3.2.2 ราคาของวัตถุดิบ

ข้อมูลราคาวัตถุดิบเส้นใยทั้ง 14 ชนิด จากรูปที่ 3.4 ในหัวข้อที่ 3.1.2 พบว่าส่วนใหญ่มีลักษณะที่ไม่เป็นแนวโน้ม (non stationary pattern) คือมีลักษณะในแนวระดับ (horizontal pattern) แต่มีเพียง 3 ชนิดที่มีรูปแบบเป็นแนวโน้ม เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณหาค่าพยากรณ์ราคาวัตถุดิบในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี 2553 ด้วยการพยากรณ์ 2 วิธี คือ

1) พยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing)

การพยากรณ์ด้วยวิธีนี้ค่าการพยากรณ์จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่มได้ดี เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากเพราะต้องการข้อมูลย้อนหลังเพียงหน่วยเวลาเดียว และยังให้ผลของการพยากรณ์มีความเที่ยงตรงสูง ค่าการพยากรณ์ด้วยวิธีนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F_t = F_{t-1} + \alpha (A_{t-1} - F_{t-1}) \qquad (2.3)$$

เมื่อกำหนดให้

F_t = ค่าพยากรณ์ในหน่วยเวลา t

A_{t-1} = ความต้องการที่เกิดขึ้นจริงในหน่วยเวลา t-1

α = ค่าคงที่ของค่าพยากรณ์

การกำหนดค่าคงที่ α จากการพยากรณ์ด้วยสมการดังกล่าว จะส่งผลโดยตรงต่อความไว (Sensitivity) ของค่าพยากรณ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ ซึ่งเมื่อกำหนดค่าคงที่ α แล้วจะนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการพยากรณ์ แล้วนำผลจากการพยากรณ์มาทดสอบโดยใช้วิธีค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error: MAPE) เพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยข้อมูลราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการพยากรณ์จะอยู่ในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคมปี 2553

ในการหาค่าการพยากรณ์ในที่นี้จะนำใช้สมการพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่ 2.3 และสมการเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยที่ 2.16 มาสร้างในโปรแกรม Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel โดยกำหนดค่า α ซึ่งใช้เป็นตัวแปรในการ Solver ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.99 และกำหนดเงื่อนไขวัตถุประสงค์ของโปรแกรมคือค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลลัพธ์จากการใช้ Solver ของค่า α ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่มีค่าน้อยที่สุดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่า α ของราคาวัตถุดิบที่ทำให้ค่า MAPE มีค่าน้อยที่สุด สำหรับการพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

วัตถุดิบ	**วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล**	
	α	**ค่า MAPE (%)**
AOCC	0.79	1.56
RUOCC	0.99	1.03
SF-OCC	0.99	2.56
LOCC	0.89	4.39
PULP SUB	0.99	2.60
JOCC	0.99	1.34
UKOCC	0.63	1.42
MEOCC	0.18	1.54
MIXED WASTE	0.99	5.84
NDLK	0.99	2.52
PHOCC	0.96	1.07
ค่าเฉลี่ย		**2.35**

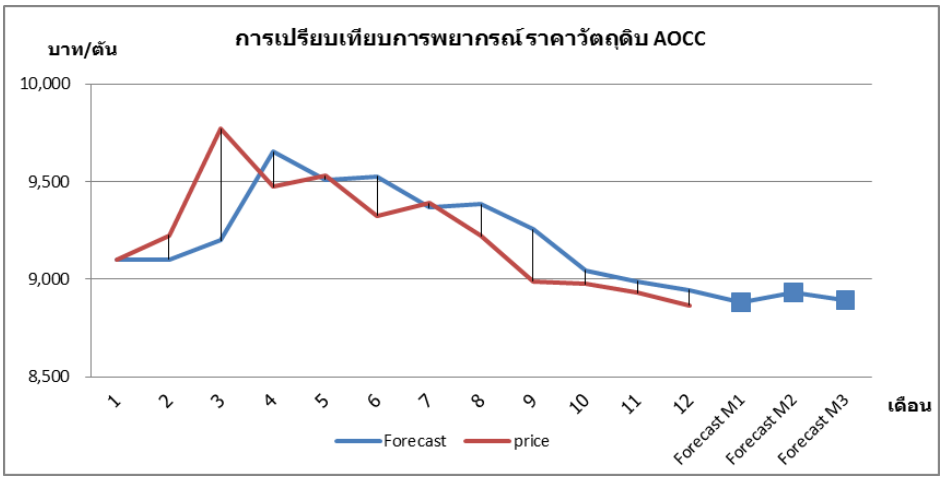
จากนั้นนำค่า α ในตารางที่ 3.5 มาพยากรณ์ราคาวัตถุดิบในแต่ละเดือนเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.7 เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองฯ โดยผลที่ได้จากการพยากรณ์แสดงได้ดังรูปที่ ก-46 ถึง ก-57 ในภาคผนวก ก

Month	price	Forecast	Error	absolute	
1	9,101	9,101	0.00	0.00	0.000
2	9,225	9,101	124.00	124.00	0.013
3	9,770	9,199	570.70	570.70	0.058
4	9,473	9,652	-178.70	178.70	0.019
5	9,531	9,510	20.96	20.96	0.002
6	9,325	9,527	-201.66	201.66	0.022
7	9,390	9,367	23.20	23.20	0.002
8	9,221	9,385	-164.19	164.19	0.018
9	8,990	9,255	-265.04	265.04	0.029
10	8,977	9,045	-67.94	67.94	0.008
11	8,932	8,991	-59.08	59.08	0.007
12	8,866	8,944	-78.25	78.25	0.009
Forecast M1	8,944	8,882	62.03		**0.187**
Forecast M2	8,882	8,931	-49.17		
Forecast M3	8,931	8,892	38.98		

Price	Aocc
data Range	12
a	0.792708
Forecast	8882.22
summary Statiatics	
	100
n	12
n/100	8.333333
MAPE	1.560918

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการคำนวณค่าการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ AOCC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ AOCC ด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel โดยนำค่า α เท่ากับ 0.79 ในตารางที่ 3.5 ซึ่งผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ ก-62 ถึง ก-72 (ค่า Price คือค่าราคาวัตถุดิบ และค่า Forecasts คือค่าพยากรณ์ตั้งแต่เดือนที่ 1-3)



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างกราฟการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ AOCC

2) พยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล สำหรับความต้องการที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม (Adjusted Exponential Smoothing)

การพยากรณ์ด้วยวิธีเป็นการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่รวมผลของแนวโน้มเข้ามาเพื่อลดจุดอ่อนที่ค่าการพยากรณ์จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ ซึ่งค่าการพยากรณ์วิธีนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4) ถึงสมการที่ (2.7) ในบทที่ 2 ดังนี้

$$FWT_t = F_t + T_t \quad (2.4)$$

$$F_t = FWT_{t-1} + \alpha (A_{t-1} - FWT_{t-1}) \quad (2.5)$$

$$T_t = T_{t-1} + \beta (F_t - FWT_{t-1}) \quad (2.6)$$

หรือ

$$T_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta) T_{t-1} \quad (2.7)$$

เมื่อกำหนดให้

FWT_t = ค่าพยากรณ์ที่รวมแนวโน้ม (Forecast with Trend) ของหน่วยเวลา t

T_t = แนวโน้มของความต้องการที่เพิ่มหรือลดในหน่วยเวลา t

F_t = ระดับของความต้องการที่เพิ่มหรือลดในหน่วยเวลา t

ในการกำหนดค่าคงที่ของแนวโน้ม (Smoothing Constant for Trend ; β) ตามข้อกำหนดคือ β มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 และค่า α อยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 เมื่อกำหนดค่าคงที่ α และ β แล้วจะนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการพยากรณ์ แล้วจึงนำผลจากการพยากรณ์มาทดสอบโดยใช้วิธีค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error: MAPE) เพื่อทดสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ข้อมูลราคาวัตถุดิบ จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์จะข้อมูลรายเดือนในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคมปี 2553

การหาค่าการพยากรณ์นำสมการที่ 2.4 ถึง 2.7 ของพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับความต้องการที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม และสมการเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยที่ 2.16 มาสร้างในโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel โดยค่า α และ β เป็นตัวแปรที่กำหนดใน Solver ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.99 แล้วกำหนดเงื่อนไขวัตถุประสงค์ของโปรแกรมคือคำนวณค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม Solver ของค่า α และ β ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่มีค่าน้อยที่สุดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่า α และ β ที่เหมาะสมกับราคาวัตถุดิบสำหรับการพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม

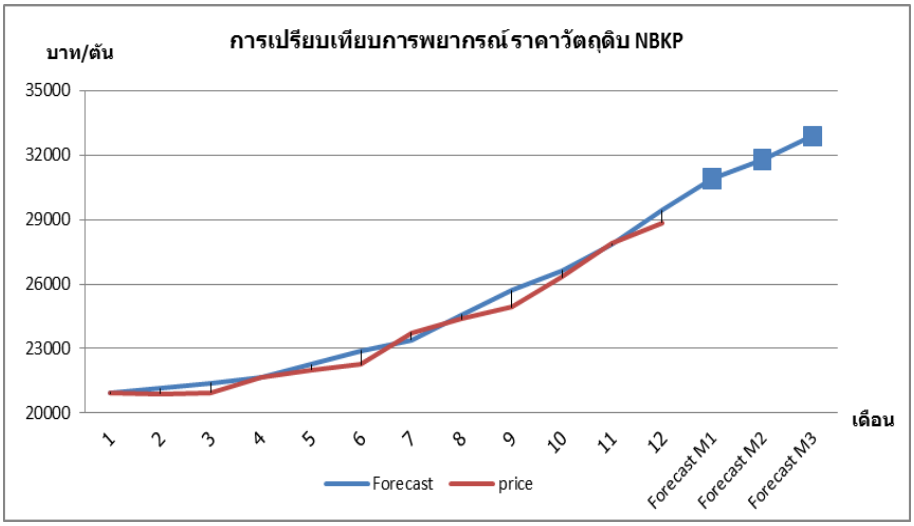
วัตถุดิบ	วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม		
	α	β	ค่า MAPE (%)
NBKP	0.35	0.99	1.35
LF- A	0.19	0.99	3.55
LF- B+	0.99	0.99	2.61
ค่าเฉลี่ย			**2.50**

จากนั้นนำค่า αและ β จากตารางที่ 3.6 นำมาพยากรณ์ราคาวัตถุดิบในแต่ละเดือนเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบที่มีการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ ก-59 ถึง ก-61

Month	price	Forecast	Trend Factor	adj Forecast	Error	absolute		Price	NBKP
0			23	20916.99999					
1	20917	20940	224	20932	23.000	23.000	0.0011	data Rang	12
2	20894	21156	340	21064	261.881	261.881	0.012534		
3	20957	21404	392	21247	447.057	447.057	0.021332		
4	21652	21639	605	21644	-12.792	12.792	0.000591	a	0.350872
5	22007	22249	731	22164	241.703	241.703	0.010983	b	0.99
6	22247	22895	721	22668	648.331	648.331	0.029142	Forecast	30896
7	23734	23388	1060	23510	-345.597	345.597	0.014561		
8	24377	24570	1218	24502	192.737	192.737	0.007907	**summary Statiatics**	
9	24931	25720	1176	25443	788.731	788.731	0.031637		100
10	26332	26619	1319	26519	287.476	287.476	0.010917	n	12
11	27887	27838	1588	27855	-49.096	49.096	0.001761	n/100	8.333333
12	28873	29443	1653	29243	570.473	570.473	0.019758	MAPE	1.351849
Forecast M1	29443	30896	1424	30386	1452.686		**0.162222**		
Forecast M2	30896	31811	1396	31490	914.438				
Forecast M3	31811	32886	1324	32509	1075.275				

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการคำนวณค่าการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ NBKP ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

รูปที่ 3.9 เป็นตัวอย่างที่ได้การคำนวณค่าการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ NBKP ด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมแบบแนวโน้ม โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยผลของการพยากรณ์แสดงไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ ก-73 ถึง ก-75 (ค่า price คือค่าราคาวัตถุดิบที่เกิดขึ้นจริง และค่า Forecasts คือค่าพยากรณ์เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 3)



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างกราฟการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมแบบแนวโน้มของราคาวัตถุดิบ NBKP

การทดสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบทั้ง 14 ชนิดโดยการคำนวณหาค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) สามารถรสรุปได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สรุปวิธีและค่าที่ใช้คำนวณการพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ

สินค้า	α	β	MAPE (%)	วิธีการพยากรณ์
NBKP	0.35	0.99	1.35	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับแนวโน้ม
LF- A	0.19	0.99	3.55	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับแนวโน้ม
LF- B+	0.99	0.99	2.61	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับแนวโน้ม
AOCC	0.79	-	1.56	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
RUOCC	0.99	-	1.03	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
SF-OCC	0.99	-	2.56	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
LOCC	0.89	-	4.39	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
PULP SUB	0.99	-	2.60	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
JOCC	0.99	-	1.34	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
UKOCC	0.63	-	1.42	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
MEOCC	0.18	-	1.54	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
MIXED WASTE	0.99	-	5.84	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
NDLK	0.99	-	2.52	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
PHOCC	0.96	-	1.07	ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

3.3 การเปรียบเทียบค่าจากการพยากรณ์กับค่าจริง

หลังจากการที่ใช้ค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) น้อยสุดมาพยากรณ์ความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบเพื่อทดสอบความถูกต้องในแต่ละเดือนด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel แล้ว ต่อมาจึงทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจริงของความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบเป็นระยะเวลา 3 เดือน ดังนี้

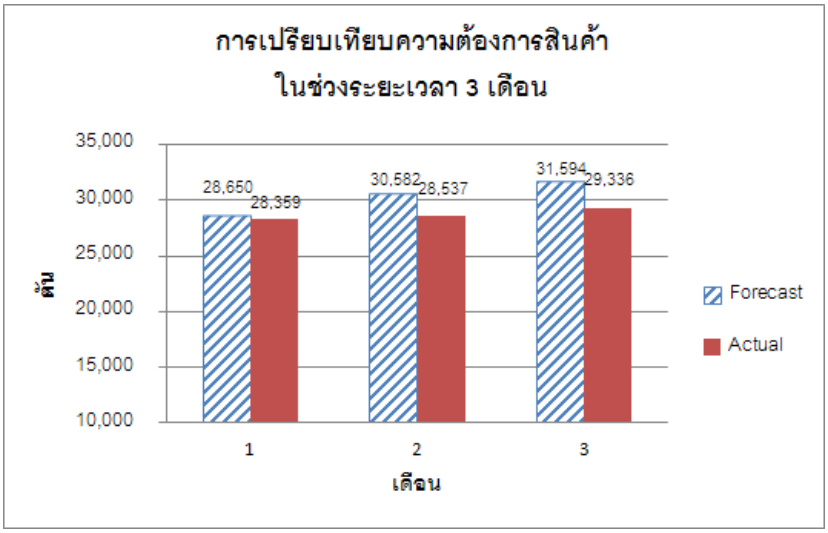
3.3.1 ความต้องการของสินค้า

การเปรียบเทียบความต้องการสินค้าที่ได้จากการพยากรณ์กับความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นจริงทั้ง 11 ประเภทของแต่ละเดือน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การเปรียบเทียบความต้องการของลูกค้าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าพยากรณ์

สินค้า	เดือนที่ 1 (ตัน)				เดือนที่ 2 (ตัน)				เดือนที่ 3 (ตัน)			
	Forecast	Actual	ส่วนต่าง	ร้อยละส่วนต่าง	Forecast	Actual	ส่วนต่าง	ร้อยละส่วนต่าง	Forecast	Actual	ส่วนต่าง	ร้อยละส่วนต่าง
LineC	194	154	40	26.0%	921	587	334	56.9%	979	631	348	55.2%
LineP	4,709	4,840	-131	-2.7%	4,176	3,894	282	7.2%	4,083	3,707	376	10.1%
LineD	276	421	-145	-34.4%	1,605	1,546	59	3.8%	1,226	1,393	-167	-12.0%
midP	659	760	-101	-13.3%	857	875	-18	-2.1%	980	865	115	13.3%
LineW	827	647	180	27.8%	673	485	188	38.8%	809	725	84	11.6%
LineT	10,634	10,457	177	1.7%	11,453	9,630	1823	18.9%	10,870	9,912	958	9.7%
LineB	938	841	97	11.5%	489	615	-126	-20.5%	392	589	-197	-33.4%
midA	520	514	6	1.2%	598	583	15	2.6%	950	751	199	26.5%
LineA	6,317	6,387	-70	-1.1%	6,523	6,990	-467	-6.7%	6,687	6,829	-142	-2.1%
LineE	597	480	117	24.4%	333	310	23	7.4%	287	340	-53	-15.6%
midT	2,979	2,858	121	4.2%	2,954	3,022	-68	-2.3%	4,331	3,594	737	20.5%
รวม	**28,650**	**28,359**	**291**		**30,582**	**28,537**	**2,045**		**31,594**	**29,336**	**2,258**	

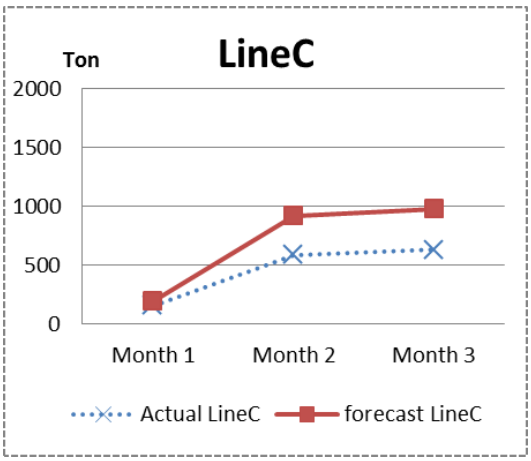
เมื่อนำผลรวมปริมาณสินค้าทั้ง 11 ประเภท มาเขียนเป็นกราฟเพื่อดูความแตกต่างของผลรวมที่ได้จากการพยากรณ์ (Forecast) กับค่าความต้องการจริง (Actual) ที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 3 เดือนที่ทำการพยากรณ์แสดงได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กราฟเปรียบเทียบผลรวมปริมาณความต้องการสินค้าทั้งหมด ในระยะเวลา 3 เดือน

จากกราฟในรูปที่ 3.11 พบว่าปริมาณความต้องการสินค้าจากลูกค้าที่พยากรณ์ทั้งหมดของเดือนที่ 1 มีปริมาณมากกว่าความต้องการสินค้าจริง 291 ตันหรือมากกว่าอยู่ 1.0% เดือนที่ 2 ผลการพยากรณ์รวมของความต้องการสินค้าทั้งหมดมากกว่าความต้องการจริง 2,045 หรือมากกว่าอยู่ 7.2% และเดือนที่ 3 ผลการพยากรณ์ความต้องการสินค้าทั้งหมดมากกว่าความต้องการจริง 2,258 หรือมากกว่าอยู่ 7.7%

ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่าการพยากรณ์ความต้องการสินค้าด้วยวิธีการพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับค่าความต้องการสินค้าแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจริงในช่วงระยะเวลา 3 เดือน ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ดังรูปที่ ก-35 ถึง ก-45



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของความต้องการสินค้า LineC แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน

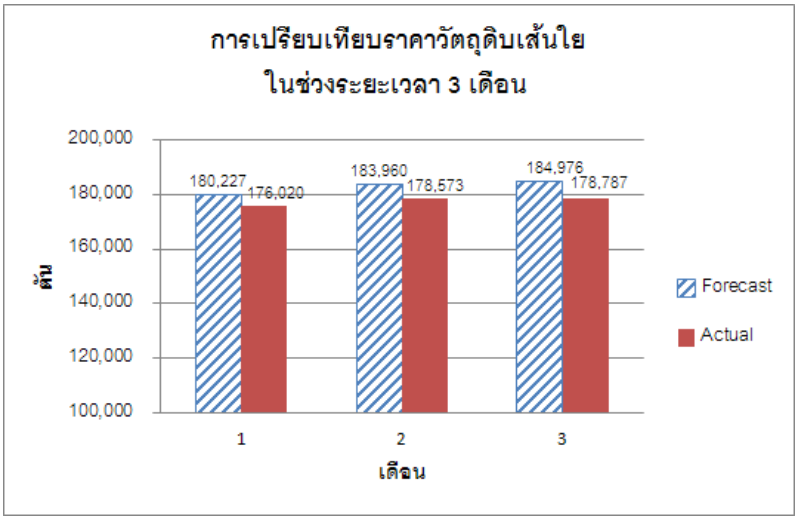
3.3.2 ราคาของวัตถุดิบ

การเปรียบเทียบราคาของวัตถุดิบที่ได้จากการพยากรณ์กับราคาของวัตถุดิบที่เกิดขึ้นจริงทั้ง 14 ประเภทชนิดของแต่ละเดือน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 การเปรียบเทียบราคาวัตถุดิบที่เกิดขึ้นจริงกับค่าพยากรณ์

วัตถุดิบ	เดือนที่ 1 (ตัน)				เดือนที่ 2 (ตัน)				เดือนที่ 3 (ตัน)			
	Forecast	Actual	ส่วนต่าง	ร้อยละส่วนต่าง	Forecast	Actual	ส่วนต่าง	ร้อยละส่วนต่าง	Forecast	Actual	ส่วนต่าง	ร้อยละส่วนต่าง
AOCC	8,882	9,069	-187	-2.1%	8,931	9,339	-408	-4.4%	8,892	9,442	-550	-5.8%
RUOCC	8,026	8,052	-26	-0.3%	8,032	8,100	-68	-0.8%	8,026	8,302	-276	-3.3%
SF-OCC	8,247	8,352	-105	-1.3%	8,407	8,277	130	1.6%	8,248	8,341	-93	-1.1%
LOCC	8,805	8,513	292	3.4%	8,805	8,431	374	4.4%	8,805	8,355	450	5.4%
PULP SUB	18,817	18,827	-10	-0.1%	18,992	18,844	148	0.8%	18,819	18,724	95	0.5%
JOCC	7,511	7,442	69	0.9%	7,810	7,595	215	2.8%	7,514	7,603	-89	-1.2%
UKOCC	7,828	7,771	57	0.7%	7,828	7,952	-124	-1.6%	7,828	7,810	18	0.2%
MEOCC	7,525	7,250	275	3.8%	7,528	7,663	-135	-1.8%	7,528	7,740	-212	-2.7%
MIXED WASTE	6,412	6,109	303	5.0%	6,522	6,452	70	1.1%	6,413	5,969	444	7.4%
NDLK	7,521	7,573	-52	-0.7%	7,578	7,931	-353	-4.5%	7,521	7,617	-96	-1.3%
PHOCC	8,018	8,071	-53	-0.7%	8,062	8,043	19	0.2%	8,019	8,019	0	0.0%
NBKP	30,896	28,535	2,361	8.3%	31,811	28,899	2,912	10.1%	32,886	29,375	3,511	12.0%
LF- A	27,516	25,835	1,681	6.5%	28,808	25,913	2,895	11.2%	30,181	26,009	4,172	16.0%
LF- B+	24,223	24,621	-398	-1.6%	24,846	25,134	-288	-1.1%	24,296	25,481	-1,185	-4.7%
รวม	**180,227**	**176,020**	**4,207**		**183,960**	**178,573**	**5,387**		**184,976**	**178,787**	**6,189**	

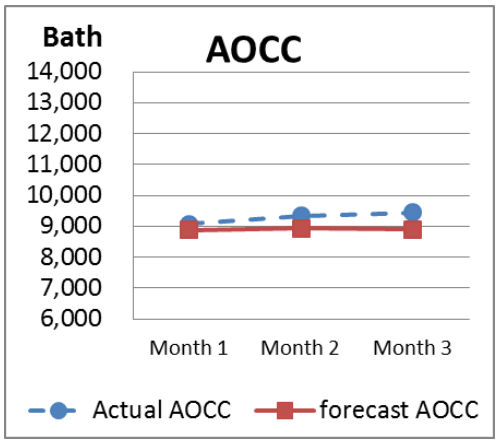
เมื่อนำผลรวมของราคาวัตถุดิบทั้ง 14 ชนิด มาเขียนเป็นกราฟเพื่อดูความแตกต่างของผลรวมที่ได้จากการพยากรณ์ (Forecast) กับค่าราคาวัตถุดิบจริง (Actual) ที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 3 เดือนที่ทำการพยากรณ์แสดงได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กราฟเปรียบเทียบผลรวมราคาวัตถุดิบเส้นใยทั้งหมดในระยะเวลา 3 เดือน

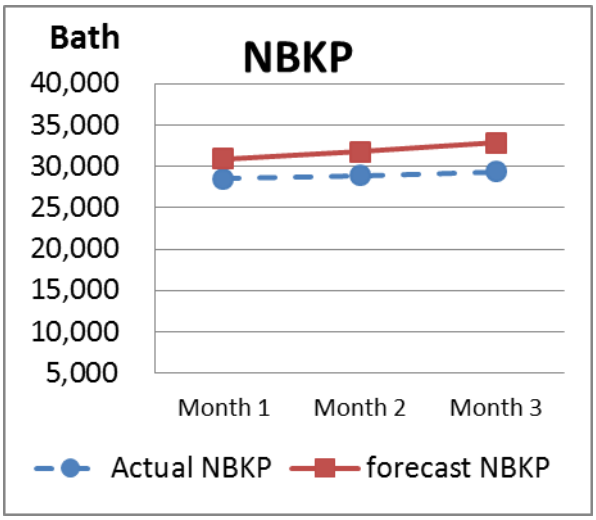
จากกราฟในรูปที่ 3.13 พบว่าผลรวมของราคาวัตถุดิบเส้นใยทั้งหมดที่ทำการพยากรณ์ในเดือนที่ 1 มีราคามากกว่าราคาวัตถุดิบที่เกิดขึ้นจริง 4,207 บาทหรือมากกว่าอยู่ 2.4% เดือนที่ 2 ผลรวมของราคาวัตถุดิบที่ได้จากการพยากรณ์ทั้งหมดมากกว่าราคาวัตถุดิบที่เกิดขึ้นจริง 5,387 หรือมากกว่าอยู่ 3.0% และเดือนที่ 3 ผลรวมของราคาวัตถุดิบที่ได้จากการพยากรณ์ทั้งหมดมากกว่าราคาวัตถุดิบที่เกิดขึ้นจริง 6,189 หรือมากกว่าอยู่ 3.5%

ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่าการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบด้วยวิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับค่าราคาวัตถุดิบ AOCC, RUOCC, SF-OCC, LOCC, PULP SUB, JOCC, UKOCC, MEOCC, MIXED WASTE , NDLK และ PHOCC ที่เกิดขึ้นจริงในช่วงระยะเวลา 3 เดือน ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ดังรูปที่ ก-76 ถึง ก-86



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ AOCC ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน

ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่าการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบด้วยวิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมแบบแนวโน้มกับค่าราคาวัตถุดิบ NBKP, LF- A และ LF- B+ ที่เกิดขึ้นจริงในช่วงระยะเวลา 3 เดือน ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ดังรูปที่ ก-87 ถึง ก-89

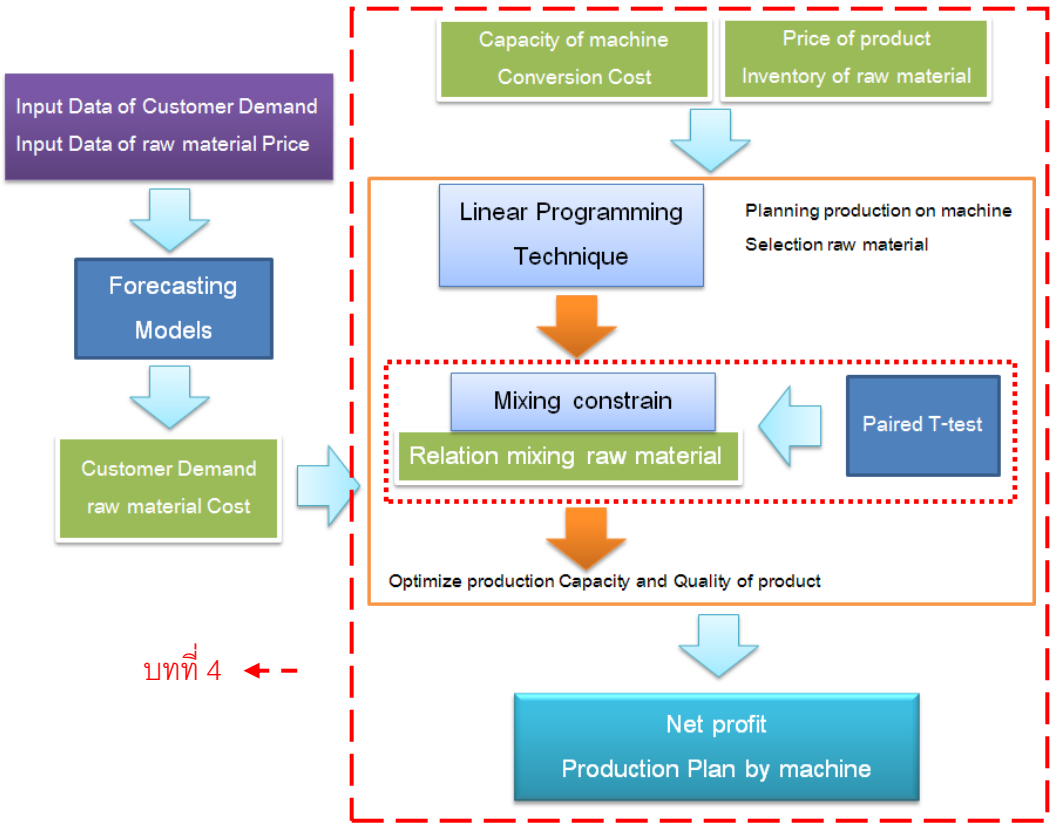


รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ NBKP ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลมีพฤติกรรมแบบแนวโน้มกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน

บทที่ 4

การออกแบบการเลือกใช้วัตถุดิบ

แนวคิดในการแก้ไขปัญหาในส่วนที่ 2 หลังจากที่ได้ทำการพยากรณ์ความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับวางแผนการผลิต ในบทที่จะกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้วางแผนการผลิต โดยมีข้อมูลที่ประกอบด้วยอัตราการผลิตสินค้าบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ราคาวัตถุดิบ ราคาขายสินค้า ต้นทุนการแปรรูปบนเครื่องจักรและคุณภาพทั้ง 3 ประเภทของวัตถุดิบที่นำมาใช้ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลคุณภาพทั้ง 3 ดังกล่าวได้มีการวิเคราะห์การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Paired t-test) ความแตกต่างระหว่างค่าคุณภาพที่ได้จากการคำนวณสมการข้อจำกัดกับค่าคุณภาพที่ได้จากห้องทดลอง เพื่อทดสอบความถูกต้องของเงื่อนไขในการเลือกใช้วัตถุดิบก่อนนำมาใช้ในแบบจำลองฯ สำหรับวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบเพื่อให้เกิดกำไรสูงสุด สุดท้ายทำการตรวจสอบผลจากตัวแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานของวิธีการที่ปรับปรุงขึ้นกับวิธีการดำเนินงานปัจจุบัน



รูปที่ 4.1 แนวคิดในการปรับปรุงการวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบ

4.1 การสร้างแบบทางคณิตศาสตร์

การผลิตกระดาษของโรงงานกรณีศึกษานี้จะใช้วัตถุดิบเส้นใยจำนวน 14 ชนิดเพื่อผลิตสินค้า 11 ประเภท โดยมีการสั่งซื้อวัตถุดิบแต่ละชนิดในปริมาณที่จำกัด มีค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้าแต่ชนิด 237,500 บาทต่อครั้งต่อเดือน งบประมาณในการสั่งซื้อวัตถุดิบเดือนละ 300 ล้านบาท ปริมาณการเก็บสินค้าเข้าคลังวัตถุดิบสามารถเก็บได้สูงสุด 42,000 ตันต่อเดือน กระบวนการผลิตกระดาษนั้นจะเริ่มจากการนำเยื่อหรือวัตถุดิบมาผสมกัน ซึ่งสัดส่วนในการผสมจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณและประเภทของวัตถุดิบ โดยคุณภาพที่ออกมาจะต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งวัตถุดิบจะถูกส่งไปแปรรูปเป็นเยื่อกระดาษก่อนส่งเข้าไปผลิตเป็นกระดาษตามแต่ละประเภท กระบวนการแปรรูปดังกล่าวนี้จะทำให้มีปริมาณเยื่อกระดาษมีปริมาณลดลง (yield loss) โดยกระดาษแต่ละประเภทจะมีค่า yield เป็นค่าคงที่ จากนั้นเยื่อกระดาษจะถูกส่งเข้าเครื่องผลิตกระดาษจำนวน 3 เครื่อง แต่ละเครื่องจะมีอัตราการผลิตและต้นทุนในการแปรรูปสินค้าแตกต่างกัน มีเวลาในการผลิต 576 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ปริมาณสินค้าตามที่วางแผนการผลิต

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ได้ออกแบบมาสำหรับเพื่อใช้ในการตัดสินใจการวางแผนผลิตในช่วงระยะเวลา 3 เดือนเพื่อเลือกซื้อวัตถุดิบประเภทเส้นใยเพื่อนำมาผลิตกระดาษ โดยมีพิจารณาถึงข้อกำหนดทางด้านคุณภาพและปริมาณความต้องการของลูกค้า งบประมาณในการสั่งซื้อต่อเดือน ซึ่งสมการวัตถุประสงค์ในที่นี้คือ Maximize Profit ที่ประกอบด้วยราคาขายหักออกด้วยต้นทุนเส้นใย ต้นทุนในการแปรรูป ต้นทุนในการสั่งซื้อวัตถุดิบ โดยรายละเอียดในการออกแบบมีดังต่อไปนี้

<u>การกำหนดดัชนี</u>

สำหรับแบบทางคณิตศาสตร์จะกำหนดดัชนีไว้ 5 ชนิดดังนี้

I = {1,2,3} เป็นเซตของเครื่องจักร

J = {1,2,…,11} เป็นเซตของชนิดสินค้า

K = {1,2,…,14} เป็นเซตของชนิดวัตถุดิบ

T = {1,2,3} เป็นเซตของช่วงเวลาในการวางแผน

Q = {1,2,3} เป็นเซตของประเภทของคุณภาพ

<u>การกำหนดพารามิเตอร์</u>

สำหรับแบบทางคณิตศาสตร์ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ที่ประกอบด้วยข้อมูลของการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าและราคาวัตถุดิบ ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรที่ประกอบด้วยอัตราการผลิตสินค้า ต้นทุนในการแปรรูปสินค้า และประสิทธิภาพในการ

เตรียมวัตถุดิบ เป็นต้น รวมถึงข้อมูลคุณภาพของวัตถุดิบที่ซื้อเข้ามาเก็บในโรงงาน ข้อมูลปริมาณวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิต ซึ่งในส่วนของดัชนี T ที่ใช้ในการกำหนดปริมาณการซื้อวัตถุดิบในสมการที่ 4.8 และการกำหนดปริมาณการเก็บวัตถุดิบในสมการที่ 4.10 ได้ออกแบบให้พารามิเตอร์มีความยืดหยุ่นเพื่อให้สมการที่ออกแบบสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถาการณ์ในอนาคตตามนโยบายของโรงงานในการใช้งบประมาณที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงหรืออาจมีการเพิ่มลดพื้นที่เก็บ วัตถุดิบ เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่แปรผันตามเดือน

$D_{j,t}$ = ปริมาณสินค้า j ที่ลูกค้าต้องการ (ตัน) ในเดือน t

S_j = ราคาขายสินค้าของสินค้า j (บาทต่อตัน)

$RP_{k,t}$ = ราคาวัตถุดิบ k ในเดือน t

$C_{i,j,t}$ = อัตราผลิตสินค้า j บนเครื่องจักร i ในเดือน t (ตันต่อชม.)

$FC_{i,j,t}$ = ต้นทุนการแปรรูปสินค้า j บนเครื่องจักร i ในเดือน t (บาทต่อตัน)

$R_{q,k}$ = คุณภาพประเภท q ของวัตถุดิบ k

$F_{q,j}$ = คุณภาพประเภท q ของสินค้า j

E_k = ประสิทธิ์ภาพการเตรียมวัตถุดิบ k

$PSmax_{k,t}$ = ปริมาณวัตถุดิบ k มากสุดที่ผู้ขายนำมาขายในเดือน t

IC_t = งบประมาณในการซื้อรายเดือนไนเดือน t (บาท)

$Imax_t$ = จำนวนวัตถุดิบสูงสุดที่เก็บได้ในคลังวัตถุดิบในเดือน t (ตัน)

M = ค่าคงที่กำหนดให้เท่ากับ 1,000,000

OC = ค่าสั่งซื้อเยื่อเท่ากับ 237,000 บาท

<u>ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)</u>

ตัวแปรที่สำหรับใส่เข้าไปในแบบทางคณิตศาสตร์และเป็นตัวแปรที่เราสามารถจะควบคุมได้ในการวางแผนการผลิตซึ่งได้แก่ ปริมาณสินค้าที่ผลิตบนเครื่องจักร การตัดสินใจซื้อวัตถุดิบ ปริมาณวัตถุดิบที่นำมาผลิตและปริมาณวัตถุดิบที่ซื้อมาเก็บในโรงงาน ดังนี้

$X_{i,j,t}$ = เวลาในการผลิตสินค้า j บนเครื่องจักร i ในเดือน t (ชั่วโมง)

$Y_{k,t}$ = ปริมาณวัตถุดิบ k ที่ซื้อมาในเดือน t (ตัน)

$P_{j,k,t}$ = ปริมาณวัตถุดิบ k ที่ผ่านการเตรียมเยื่อเพื่อนำมาผลิตสินค้า j ที่ในเดือน t (ตัน)

$I_{k,t}$ = ปริมาณวัตถุดิบ k ในคลังในเดือน t (ตัน)

$ST_{k,t}$ = ปริมาณวัตถุดิบ k ก่อนเตรียมวัตถุดิบเดือน t (ตัน)

$$B_{k,t} = \begin{cases} 1 & \text{มีการสั่งซื้อวัตถุดิบ k ใน เดือน t} \\ 0 & \text{ไม่มีการสั่งซื้อวัตถุดิบ k เดือน t} \end{cases}$$

เงื่อนไขวัตถุประสงค์ (Objective Function)

วัตถุประสงค์ของแบบทางคณิตศาสตร์ ในการวางแผนการผลิตเพื่อให้เหมาะสมกับช่วงเวลาในการเลือกผลิตสินค้าและเลือกวัตถุดิบเส้นใยมาใช้ในการผลิตกระดาษให้มีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการและโดยให้มีต้นทุนเส้นใยที่น้อยที่สุด และเลือกเครื่องจักรให้มีอัตราการผลิตสูงและมีต้นทุนในการแปรรูปน้อยเพื่อให้ได้ผลตอบแทนสูงสุด ซึ่งสามารถหาได้จากผลรวมการผลิตสินค้าในช่วงระยะเวลา 3 เดือน โดยนำรายได้ที่ได้จากการขายสินค้าลบต้นทุนในการแปรรูปของกระดาษแต่ละชนิด ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบแต่ละประเภท และ ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & \sum_{t=1}^{3}\sum_{j=1}^{11}\sum_{i=1}^{3}\left(S_j \times C_{i,j,t} \times X_{i,j,t}\right) \\ & - \sum_{t=1}^{3}\sum_{j=1}^{11}\sum_{i=1}^{3}\left(C_{i,j,t} \times FC_{i,j,t} \times X_{i,j,t}\right) \\ & - \sum_{t=1}^{3}\sum_{k=1}^{14} ST_{k,t} \times RP_{k,t} - \sum_{t=1}^{3}\sum_{k=1}^{14} OC \times B_{k,t} \end{aligned} \tag{4.1}$$

เงื่อนไขแสดงขอบข่าย (Constraints)

การกำหนดเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ ในการวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบ ประกอบด้วยเรื่องของปัจจัยในการเลือกวัตถุดิบเส้นใย ปัจจัยในการผลิตและการใช้ทรัพยากร ซึ่งสามารถกำหนดในรูปสมการหรืออสมการที่ประกอบด้วยเงื่อนไขดังนี้

1) เงื่อนไขชั่วโมงการผลิตของแต่ละเครื่องจักร

เงื่อนไขในสมการที่ (4.2) เป็นเงื่อนไขขีดจำกัดทางด้านเวลาที่จะผลิตสินค้าแต่ละชนิดบนเครื่องจักร ซึ่งเวลาที่ใช้ในการผลิต 1 รอบของเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 576 ชั่วโมง ดังสมการ

$$\sum_{j=1}^{11} X_{i,j,t} \leq 576 \qquad \text{for } \forall_i \in I,\ \forall_t \in T \tag{4.2}$$

2) เงื่อนไขกำหนดปริมาณสินค้าให้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า

เงื่อนไขสมการที่ (4.3) เป็นเงื่อนไขขีดจำกัดทางด้านการกำหนดปริมาณสินค้าที่จะผลิตสินค้าบนเครื่องจักร เพื่อให้สินค้าให้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า

$$\sum_{i=1}^{3}\left(X_{i,j,t} \times C_{i,j,t}\right) \geq D_{j,t} \qquad \text{for } \forall_j \in J,\ \forall_t \in T \tag{4.3}$$

3) เงื่อนไขการใช้เยื่อให้เหมาะสมกับการผลิต

เงื่อนไข (4.4) ใช้กำหนดปริมาณเยื่อที่สะอาดเพื่อนำไปผลิตกระดาษให้มีความเหมาะสมกับปริมาณสินค้าที่ผลิต

$$\sum_{i=1}^{3}\left(X_{i,j,t}\times C_{i,j,t}\right)=\sum_{k=1}^{14}P_{j,k,t} \qquad \text{for } \forall_j\in J,\ \forall_t\in T \tag{4.4}$$

4) เงื่อนไขการเลือกใช้วัตถุดิบ

ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีการใช้สมการในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงเยื่อกับค่าคุณภาพ โดยจะใช้ผลรวมของปริมาณของวัตถุดิบคูณกับค่าคุณภาพของวัตถุดิบซึ่งจะต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่าคุณภาพของสินค้าประเภทนั้น ๆ ที่จะนำมาผลิตคูณกับปริมาณผลิต เมื่อนำสมการดังกล่าวมาใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังเงื่อนไขที่ (4.5)

$$\left(X_{i,j,t}\times C_{i,j,t}\times F_{q,j}\right)\le\sum_{k=1}^{14}\left(P_{j,k,t}\times F_{q,k}\right) \quad \text{for } \forall_i\in I,\forall_j\in J,\forall_t\in T \text{ และ} \forall_q\in Q \tag{4.5}$$

เพื่อต้องการพิสูจน์เงื่อนไขในการเลือกใช้วัตถุดิบในสมการ 4.5 ว่ามีความแม่นยำก่อนนำไปใช้ในแบบจำลองฯ จึงได้มีการทดสอบค่าคุณภาพของเยื่อในห้องทดลองเพื่อหาค่าคุณสมบัติทั้ง 3 ประเภท มาเปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติที่ได้จากสมการเงื่อนไขดังกล่าว ด้วยวิธีการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแบบจับคู่ (Paired t-test) ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่าคุณภาพเยื่อระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัดทั้ง 3 ลักษณะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นสมการเงื่อนไขที่ 4.5 มีความถูกต้องแม่นยำ โดยผลการทดสอบได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข

5) ประสิทธิภาพกระบวนเตรียมวัตถุดิบ

เงื่อนไขที่ (4.6) เนื่องจากเส้นใยแต่ละชนิดมีสิ่งเจือปนมาไม่เท่ากันซึ่งในกระบวนการนำสิ่งเจือปนออกทำให้ปริมาณเยื่อที่นำไปผลิตกระดาษมีปริมาณลดลง (Yield Loss)

$$\frac{1}{E_k}\left(\sum_{j=1}^{11}P_{j,k,t}\right)=ST_{k,t} \qquad \text{for } \forall_k\in K,\ \forall_t\in T \tag{4.6}$$

6) การเลือกซื้อวัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตรายเดือน

เงื่อนไขที่ (4.7) ปริมาณวัตถุดิบที่ซื้อและวัตถุดิบที่ค้างในเดือนก่อนหน้าจะต้องเท่ากับวัตถุดิบที่นำไปใช้ก่อนผ่านการเตรียมวัตถุดิบรวมกับวัตถุดิบที่เก็บเข้าคลังสำหรับใช้ในเดือนถัดไป

$$I_{k,t-1}+Y_{k,t}=ST_{k,t}+I_{k,t} \qquad \text{for } \forall_k\in K,\ \forall_t\in T \tag{4.7}$$

7) การกำหนดปริมาณการซื้อวัตถุดิบให้อยู่ภายใต้

เงื่อนไขที่ (4.8) หน่วยงานจัดซื้อมีงบประมาณในการซื้อวัตถุดิบ 300 ล้านบาทต่อเดือน จึงกำหนดให้เป็นขีดจำกัดสำหรับกำหนดปริมาณการซื้อวัตถุดิบเพื่อไม่ให้เกินงบประมาณดังกล่าว

$$\sum_{k=1}^{14}\left(Y_{k,t} \times PR_{k,t}\right) \leq IC_t \qquad \text{for } \forall_t \in T \qquad (4.8)$$

8) การกำหนดปริมาณการซื้อวัตถุดิบภายใต้จำนวนที่จำกัด

เงื่อนไขที่ (4.9) ปริมาณเส้นใยที่บริษัทสามารถซื้อได้จากผู้ขายเศษกระดาษ

$$Y_{k,t} \leq PSmax_{k,t} \qquad \text{for } \forall_k \in K, \forall_t \in T \qquad (4.9)$$

9) การกำหนดปริมาณการเก็บวัตถุดิบภายใต้การเก็บในที่จำกัด

เงื่อนไขที่ (4.10) ปริมาณในการเก็บเศษกระดาษเข้าคลังวัตถุดิบ

$$\sum_{k=1}^{14} I_{k,t} \leq Imax_t \qquad \text{for } \forall_t \in T \qquad (4.10)$$

10) การกำหนดปริมาณการซื้อวัตถุดิบให้อยู่ภายใต้งบประมาณรายเดือน

การตัดสินใจซื้อวัตถุดิบ ในการซื้อขายสินค้าในธุรกิจทั่วไปจะมีค่าใช้จ่ายในการทำธุรกรรมโดยคิดค่า ใช้จ่ายในการซื้อ (Import Letter of Credit) และค่าประกันภัยในการส่งสินค้า เงื่อนไขที่ (4.11) เป็นการกำหนดเมื่อการเลือกซื้อวัตถุดิบแต่ละชนิดจะต้องจ่ายค่าใช้จ่ายในการทำธุรกรรมและค่าประกันภัย (B=1) และเมื่อไม่มีการซื้อวัตถุดิบชนิดนั้นจะไม่ต้องจ่ายค่าทำธุรกรรมและค่าประกันภัย (B=0)

$$Y_{k,t} \leq M\left(B_{k,t}\right) \qquad \text{for } \forall_k \in K, \forall_t \in T \qquad (4.11)$$

11) การตัดสินใจซื้อวัตถุดิบ

เงื่อนไขที่ (4.12) - (4.17) กำหนดขอบเขตตัวแปรตัดสินใจทั้งหมด

$$X_{i,j,t} \geq 0 \qquad \text{for } \forall i, \forall k, \forall t \qquad (4.12)$$

$$Y_{k,t} \geq 0 \qquad \text{for } \forall k, \forall t \qquad (4.13)$$

$$P_{j,k,t} \geq 0 \qquad \text{for } \forall j, \forall k, \forall t \qquad (4.14)$$

$$I_{k,t} \geq 0 \qquad \text{for } \forall k, \forall t \qquad (4.15)$$

$$ST_{k,t} \geq 0 \qquad \text{for } \forall k, \forall t \qquad (4.16)$$

$$B_{k,t} \in (0,1) \qquad \text{for } \forall k, \forall t \qquad (4.17)$$

4.2 การทดสอบผลประสิทธิภาพของตัวแบบที่สร้างขึ้น

หลังจากสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์แล้วนำตัวแบบไปทดลองใช้และทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจริงกับตัวแบบที่สร้างขึ้นโดยการใช้หลักการพยากรณ์ของเดือนที่จะทำการวางแผนการผลิตเพื่อกำหนดการวางแผนการผลิตของความต้องการสินค้า และการพยากรณ์ราคาของวัตถุดิบในการซื้อวัตถุดิบเส้นใยเข้ามาเก็บในคลังสินค้าเพื่อรอการผลิตในเดือนถัดไป โดยการนำข้อมูลจริงมากำหนดข้อมูลเป็นปัจจัยนำเข้าดังนี้

4.2.1 ข้อมูลนำเข้า

ในที่นี้ข้อมูลนำเข้าที่นำมาใช้กับตัวแบบทางคณิตศาสตร์จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1) ข้อมูลนำเข้าของสินค้า

ข้อมูลนำเข้าของสินค้าจะประกอบไปด้วยราคาสินค้าต่อเดือนและปริมาณความต้องการของสินค้า โดยปริมาณความต้องการเกิดจากการพยากรณ์ในบทที่ 3 ดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ราคาขายของสินค้าต่อเดือน

สินค้า	ราคาขายของสินค้า (บาท/เดือน)
LineC	19,000
LineP	18,500
LineD	15,000
midP	16,000
LineW	15,700
LineT	16,500
LineB	17,100
midA	14,600
LineA	20,000
LineE	17,600
midT	19,000

ตารางที่ 4.2 ความต้องการสินค้าต่อเดือนที่ได้จากการพยากรณ์

สินค้า	ความต้องการสินค้า (ตัน)		
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3
LineC	194	921	979
LineP	4,709	4,176	4,083
LineD	276	1,605	1,226
midP	659	857	980
LineW	827	673	809
LineT	10,634	11,453	10,870
LineB	938	489	392
midA	520	598	950
LineA	6,317	6,523	6,687
LineE	597	333	287
midT	2,979	2,954	4,331

2) ข้อมูลนำเข้าของวัตถุดิบ

ข้อมูลนำเข้าของวัตถุดิบจะประกอบด้วยราคาวัตถุดิบต่อเดือนและปริมาณวัตถุดิบที่นำมาผลิตในเดือนที่ 1 ถึง 3 โดยนำโควต้าในการสั่งซื้อต่อเดือนจาก Supplier และราคาวัตถุดิบที่ได้จากการพยากรณ์ในบทที่ 3 ซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 โควต้าในการสั่งซื้อวัตถุดิบต่อเดือนจาก Supplier

วัตถุดิบจากผู้ขาย	โควต้าในการสั่งซื้อวัตถุดิบสูงสุดต่อเดือน (ตัน)
UBKP	1,000
LF-B+	1,000
LF-B	1,000
AOCC	2,500
RUOCC	2,000
SF-OCC	2,000
LOCC	7,000

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) โควต้าในการสั่งซื้อวัตถุดิบต่อเดือนจาก Supplier

วัตถุดิบจากผู้ขาย	โควต้าในการสั่งซื้อวัตถุดิบสูงสุดต่อเดือน (ตัน)
PULP SUB	1,000
JOCC	4,000
UKOCC	5,000
MEOCC	3,000
MIXED WASTE	2,000
NDLK	3,000
PHOCC	3,000

ตารางที่ 4.4 ราคาวัตถุดิบต่อเดือนและปริมาณวัตถุดิบที่นำมาผลิตในเดือนที่ 1 ถึง 3

วัตถุดิบ	ราคาวัตถุดิบ (บาท/ตัน)		
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่3
UBKP	30,896	31,811	32,886
LF-B+	27,516	28,808	30,181
LF-B	24,223	24,846	24,296
AOCC	8,882	8,931	8,892
RUOCC	8,026	8,032	8,026
SF-OCC	8,247	8,407	8,248
LOCC	8,805	8,805	8,805
PULP SUB	18,817	18,992	18,819
JOCC	7,511	7,810	7,514
UKOCC	7,828	7,828	7,828
MEOCC	7,525	7,528	7,528
MIXED WASTE	6,412	6,522	6,413
NDLK	7,521	7,578	7,521
PHOCC	8,018	8,062	8,019

ตารางที่ 4.5 ค่าคุณภาพทั้ง 3 ของสินค้าโดยการกำหนดจากลูกค้า

สินค้า	ค่าการทดสอบด้านคุณภาพ		
	RCT	**CMT**	**Burst**
LineC	247.5	100	3.0
LineP	247.5	100	3.0
LineD	242	100	2.7
midP	231	100	3.1
LineW	253	100	3.7
LineT	231	100	1.6
LineB	242	100	3.0
midA	187.8	250	1.5
LineA	253	100	3.5
LineE	247.5	100	3.0
midT	247.5	100	2.7

ตารางที่ 4.6 คุณภาพทั้ง 3 ของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	ค่าการทดสอบด้านคุณภาพ		
	RCT	**CMT**	**Burst**
NBKP	395	395	7.7
LF- A	375	375	7.0
LF- B+	375	375	7.3
AOCC	279	256	3.4
RUOCC	285	306	3.3
SF-OCC	275	285	3.2
LOCC	260	260	2.5
PULP SUB	360	345	6.4
JOCC	267	257	3.2
UKOCC	284	266	3.1
MEOCC	246	269	2.7
MIXED WASTE	206	191	1.8
NDLK	254	248	2.5
PHOCC	268	262	3.1

4.2.2 ผลลัพธ์

ภายหลังจากการนำข้อมูลราคาสินค้าต่อเดือนและความต้องการความต้องการสินค้าที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.2.1 มานำเข้าในแบบจำลองฯ เพื่อใช้ในการเลือกวัตถุดิบและการจัดสรรการผลิตในช่วงระยะเวลา 3 เดือน โดยผลลัพธ์จากการวางแผนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เพื่อผลิตสินค้าในแต่ละเดือนทำให้ได้ทราบถึงปริมาณสินค้า ปริมาณการเลือกวัตถุดิบและปริมาณการซื้อวัตถุดิบในแต่ละเดือน ซึ่งได้แสดงผลลัพธ์ไว้ดังตารางที่ 4.7 ถึง 4.11

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์ทางด้านปริมาณขายจากการวางแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สินค้า	ปริมาณสินค้าจากการวางแผนการผลิต (ตัน)		
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3
LineC	194	921	979
LineP	4,709	4,176	4,083
LineD	276	1,605	1,226
midP	659	857	980
LineW	827	673	809
LineT	10,634	11,453	10,870
LineB	938	489	392
midA	520	598	950
LineA	7,006	6,523	6,687
LineE	597	333	287
midT	2,979	2,954	4,331
รวม	**29,339**	**30,582**	**31,594**
รวมทั้งหมด	**91,515**		

ตารางที่ 4.7 แสดงถึงปริมาณการขายหรือปริมาณสินค้าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งส่วนใหญ่จะให้ผลลัพธ์เท่ากับปริมาณความต้องการสินค้าที่ได้จากการพยากรณ์ แต่พบว่าในเดือนที่ 1 มีสินค้า LineA ที่ให้ปริมาณมากกว่าปริมาณที่ได้จากการพยากรณ์ ซึ่งสมการในแบบจำลองฯ คำนวณออกมาได้เท่ากับ 7,006 ตัน แต่ปริมาณที่ได้จากการพยากรณ์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.8 ได้เท่ากับ 6,317 ตัน

ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์การเลือกชนิดและปริมาณวัตถุดิบของเดือนที่ 1 จากการวางแผนการผลิตด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สินค้า / วัตถุดิบ	LineC	LineP	LineD	midP	LineW	LineT	LineB	midA	LineA	LineE	midT
UBKP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LF-B+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LF-B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AOCC	0	0	0	0	0	0	0	0	1,817	0	0
RUOCC	0	0	0	0	720	0	0	0	1,080	0	0
SF-OCC	0	670	0	336	0	0	0	0	0	0	0
LOCC	32	0	0	0	0	5,748	0	520	0	0	0
PULP SUB	0	0	0	0	107	0	0	0	510	0	0
JOCC	0	0	0	0	0	0	0	0	3,600	0	0
UKOCC	162	0	195	242	0	1,158	704	0	0	551	1,488
MEOCC	0	1,339	0	81	0	0	235	0	0	0	896
MIXED WASTE	0	0	81	0	0	878	0	0	0	46	595
NDLK	0	0	0	0	0	2,850	0	0	0	0	0
PHOCC	0	2,700	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.9 ผลลัพธ์การเลือกชนิดและปริมาณวัตถุดิบของเดือนที่ 2 จากการวางแผนการผลิตด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สินค้า / วัตถุดิบ	LineC	LineP	LineD	midP	LineW	LineT	LineB	midA	LineA	LineE	midT
UBKP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LF-B+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LF-B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AOCC	0	0	0	0	0	0	0	0	2,683	0	0
RUOCC	0	0	0	0	0	0	0	0	1,800	0	0
SF-OCC	0	1,882	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOCC	0	0	1,101	0	0	5,104	0	0	0	95	0
PULP SUB	0	0	0	0	105	0	0	0	388	0	0
JOCC	0	637	504	0	568	0	0	0	1,653	238	0
UKOCC	0	0	0	0	0	121	451	598	0	0	2,954
MEOCC	0	1,657	0	0	0	893	0	0	0	0	0
MIXED WASTE	0	0	0	0	0	1,562	38	0	0	0	0
NDLK	0	0	0	0	0	2,850	0	0	0	0	0
PHOCC	921	0	0	857	0	922	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์การเลือกชนิดและปริมาณวัตถุดิบของเดือนที่ 3 จากการวางแผนการผลิตด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สินค้า / วัตถุดิบ	LineC	LineP	LineD	midP	LineW	LineT	LineB	midA	LineA	LineE	midT
UBKP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LF-B+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LF-B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AOCC	0	0	0	0	0	0	0	0	2,250	0	0
RUOCC	0	0	0	0	705	0	0	0	1,095	0	0
SF-OCC	0	2,512	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOCC	0	1,154	0	0	0	4,988	0	158	0	0	0
PULP SUB	0	0	0	0	104	0	0	0	452	0	0
JOCC	0	417	0	0	0	0	293	0	2,890	0	0
UKOCC	0	0	868	0	0	0	0	0	0	239	3,769
MEOCC	0	0	0	0	0	2,451	99	0	0	0	0
MIXED WASTE	0	0	358	0	0	1,242	0	0	0	0	0
NDLK	163	0	0	0	0	1,847	0	792	0	48	0
PHOCC	816	0	0	980	0	342	0	0	0	0	562

ตารางที่ 4.11 ผลลัพธ์ทางด้านปริมาณการซื้อวัตถุดิบเดือนที่ 1 ถึง 3

วัตถุดิบ	ปริมาณการซื้อ (ตัน)		
	เดือนที่1	เดือนที่ 2	เดือนที่3
UBKP	0	0	0
LF-B+	0	0	0
LF-B	0	0	0
AOCC	2,500	2,500	2,500
RUOCC	2,000	2,000	2,000
SF-OCC	2,000	2,000	2,000
LOCC	7,000	7,000	7,000
PULP SUB	1,000	167	586
JOCC	4,000	4,000	4,000
UKOCC	5,000	5,000	5,000
MEOCC	3,000	3,000	3,000
MIXED WASTE	2,000	2,000	2,000
NDLK	3,000	3,000	3,000
PHOCC	3,000	3,000	3,000

ตารางที่ 4.7 ถึง 4.11 แสดงถึงผลลัพธ์ของวัตถุดิบและปริมาณที่นำมาเลือกใช้ในการผลิตสินค้าแต่ละประเภท รวมถึงปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึง 3 ที่ได้การนำข้อมูลเข้าแบบจำลองฯ

เมื่อได้ข้อมูลจากวางแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.8 ถึง 4.11 นั้น สุดท้ายนำผลที่ได้มาสรุปข้อมูลการการผลิตและผลกำไรที่วางแผนในช่วงระยะ 3 เดือน ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการวางแผนการผลิตด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในช่วงระยะเวลา 3 เดือน

การวางแผนการผลิตด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	**ผลลัพธ์ (บาท)**
รายได้ที่ได้จากการขายสินค้า	1,628,338,66
ต้นทุนในการแปรรูปของกระดาษ	301,826,244
ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ	838,014,327
ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบ	7,837,500
กำไร	480,660,595

4.3 การเปรียบเทียบผลจากแบบทางคณิตศาสตร์กับวิธีการปัจจุบัน

การดำเนินการวางแผนการผลิตสินค้ามาผลิตลงบนเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่อง ด้วยแบบทางจำลองทางคณิตศาสตร์โดยนำข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบเส้นใยในหัวข้อที่ 4.2 นั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบโดยแบ่ง 2 ส่วน คือ ส่วนแรกทำการเปรียบเทียบความต้องการจริงที่เกิดขึ้นในช่วงนระยะเวลา 3 เดือน กับปริมาณสินค้าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการนำเอาข้อมูลการพยากรณ์ในบทที่ 3 มานำเข้าในแบบจำลองฯ และส่วนที่ 2 คือทำการเปรียบเทียบความต้องการจริงที่เกิดขึ้นในช่วงนระยะเวลา 3 เดือนกับปริมาณสินค้าที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน (แบบเก่า) เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้ออกแบบสำหรับใช้วางแผนการผลิต ดังตารางที่ 4.13 ถึง 4.18

4.3.1 การเปรียบเทียบปริมาณสินค้าจากการวางแผนกับความต้องการสินค้าจริง

จากบทที่ 3 ที่ได้นำเสนอการเปรียบเทียบข้อมูลความต้องการสินค้าระหว่างผลลัพธ์ที่จากการพยากรณ์กับความต้องการจริงในช่วงระยะเวลา 3 เดือน เพื่อวัดประสิทธิผลการพยากรณ์กับข้อมูลจริง แต่ส่วนนี้จะนำเสนอการเปรียบเทียบความต้องการจริงที่เกิดขึ้นในช่วงนระยะเวลา 3 เดือนกับปริมาณสินค้าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการนำเอาข้อมูลการพยากรณ์ในบทที่ 3 มานำเข้าในแบบจำลองฯ ดังตารางที่ 4.13 ถึง 4.15

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบความต้องการสินค้าจริงกับปริมาณสินค้าจากวางแผนการผลิตด้วยแบบทางคณิตศาสตร์ของเดือนที่ 1

สินค้า	ความต้องการจริง (ตัน)	แบบทางคณิตศาสตร์(ตัน)	ส่วนต่างระหว่าง แบบทางคณิตศาสตร์กับความต้องการจริง (ตัน)	ค่าเสียโอกาสกำไรในการขายสินค้า (บาท)
LineC	154	194	40	
LineP	4,840	4,709	-131	-791,130
LineD	421	276	-145	-486,789
midP	760	659	-101	-354,943
LineW	647	827	180	
LineT	10,457	10,634	177	
LineB	841	938	97	
midA	514	520	6	
LineA	6,387	7,006	619	
LineE	480	597	117	
midT	2,858	2,979	121	
รวม	**28,359**	**29,339**	**980**	**-1,632,862**

ตารางที่ 4.13 แสดงถึงความแตกต่างของปริมาณสินค้าที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยวิธีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการนำข้อมูลการพยากรณ์ในบทที่ 3 มานำเข้าในสมการแบบจำลองฯ ของเดือนที่ 1 พบว่า ปริมาณสินค้าที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยแบบทางคณิตศาสตร์ของสินค้ารวมมีปริมาณมากกว่าความต้องการจริง 980 ตัน ซึ่งในส่วนที่มีปริมาณเกินกว่าความต้องการสินค้าจริงของลูกค้าทางโรงงานก็จะนำไปเก็บไว้ขายในเดือนถัดไป แต่ถ้ามีสินค้าบางประเภทที่วางแผนการผลิตได้ปริมาณน้อยกว่าความต้องการของลูกค้าก็ถือว่าเป็นค่าเสียโอกาสในการทำกำไรของเดือนนั้น ๆ อย่างเดือนที่ 1 พบว่า มีสินค้า LineP LineD และ midP ที่ทำให้เกิดค่าเสียโอกาสในการทำกำไรเป็นมูลค่า -791,130 -486,789 และ -354,943 บาทตามลำดับ รวมเป็นค่าเสียโอกาสในเดือนที่ 1 ทั้งสิ้น -1,632,862 บาท

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบความต้องการสินค้าจริงกับปริมาณสินค้าจากวางแผนการผลิตด้วยแบบทางคณิตศาสตร์ของเดือนที่ 2

สินค้า	ความ ต้องการจริง (ตัน)	แบบทางคณิตศาสตร์(ตัน)	ส่วนต่างระหว่าง แบบทางคณิตศาสตร์กับความต้องการจริง (ตัน)	ค่าเสียโอกาสกำไรในการขายสินค้า (บาท)
LineC	587	921	334	
LineP	3,894	4,176	282	
LineD	1,546	1,605	59	
midP	875	857	-18	-63,190
LineW	485	673	188	
LineT	9,630	11,453	1823	
LineB	615	489	-126	-646,320
midA	583	598	15	
LineA	6,990	6,523	-467	-3,117,216
LineE	310	333	23	
midT	3,022	2,954	-68	-457,739
รวม	**28,537**	**30,582**	**2,045**	**-4,284,465**

จากตารางที่ 4.14 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างความต้องการจริงและการวางแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในเดือนที่ 2 ปริมาณสินค้าที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยแบบทางคณิตศาสตร์ของสินค้ารวมเท่ากับ 30,582 ตัน ซึ่งการวางแผนโดยใช้แบบจำลอง ฯ นี้ มีปริมาณมากกว่าความต้องการจริง 2,045 ตัน ในส่วนที่มีปริมาณเกินกว่าความต้องการสินค้าจริงของลูกค้าทางโรงงานก็จะนำไปเก็บไว้ขายในเดือนถัดไป แต่ถ้ามีสินค้าบางประเภทที่วางแผนการผลิตได้ปริมาณน้อยกว่าความต้องการของลูกค้าก็ถือว่าเป็นค่าเสียโอกาสในการทำกำไรของเดือนนั้น ๆ ซึ่งในเดือนที่ 2 พบว่า มีสินค้า midP LineB LineA และ midT ที่ทำให้เกิดค่าเสียโอกาสในการทำกำไรเป็นมูลค่าเท่ากับ -63,190 -646,320 -3,117,216 และ -457,739 บาทตามลำดับ รวมเป็นค่าเสียโอกาสในเดือนที่ 2 ทั้งสิ้น -4,284,465 บาท

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบความต้องการสินค้าจริงกับปริมาณสินค้าจากวางแผนการผลิตด้วยแบบทางคณิตศาสตร์ของเดือนที่ 3

สินค้า	ความ ต้องการจริง (ตัน)	แบบทางคณิตศาสตร์(ตัน)	ส่วนต่างระหว่าง แบบทางคณิตศาสตร์กับความต้องการจริง (ตัน)	ค่าเสียโอกาสกำไรในการขายสินค้า (บาท)
LineC	631	979	348	
LineP	3,707	4,083	376	
LineD	1,393	1,226	-167	-560,572
midP	865	980	115	
LineW	725	809	84	
LineT	9,912	10,870	958	
LineB	589	392	-197	-1,045,851
midA	751	950	199	
LineA	6,829	6,687	-142	-974,430
LineE	340	287	-53	-277,016
midT	3,594	4,331	737	
รวม	**31,594**	**29,336**	**-2,258**	**-2,857,86**

จากตารางที่ 4.15 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างความต้องการจริงและการวางแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในเดือนที่ 3 ปริมาณสินค้าที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยแบบทางคณิตศาสตร์ของสินค้ารวมเท่ากับ 29,336 ตัน ซึ่งการวางแผนโดยใช้แบบจำลอง ฯ นี้ มีปริมาณน้อยกว่าความต้องการจริง 2,258 ตัน ซึ่งในส่วนให้ปริมาณน้อยกว่าความต้องการสินค้าจริงของลูกค้าทางโรงงานก็จะขายจนหมดทำให้เกิดค่าเสียโอกาสของสินค้าประเภทนั้น ส่วนสินค้าที่วางแผนเกินก็จะนำไปเก็บไว้ขายในเดือนถัดไป ซึ่งสินค้าที่ทำให้เกิดค่าเสียโอกาสในการทำกำไรของเดือนที่ 3 นี้ พบว่า มีสินค้า LineD LineB LineA และ LineE เป็นมูลค่า -560,572 -1,045,851 -974,430 และ -277,016 บาทตามลำดับ รวมเป็นค่าเสียโอกาสในเดือนที่ 3 ทั้งสิ้น -2,857,869 บาท

ส่วนการเปรียบเทียบปริมาณความต้องการสินค้าที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยวิธีการปัจจุบัน (แบบเก่า) กับความต้องการสินค้าจริงที่เกิดในช่วงระยะเวลา 3 เดือนเช่นเดียวกับวิธีทางแบบคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.16 ถึง 4.18

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบความต้องการสินค้าจริงกับปริมาณสินค้าจากวางแผนการผลิตด้วยวิธีปัจจุบันของเดือนที่ 1

สินค้า	ความต้องการจริง (ตัน)	การวางแผนแบบเก่า (ตัน)	ส่วนต่างระหว่างการวางแผนแบบเก่าและความต้องการจริง (ตัน)	ค่าเสียโอกาสกำไรในการขายสินค้า (บาท)
LineC	154	350	196	
LineP	4,840	2,940	-1,900	-9,517,243
LineD	421	921	500	
midP	760	860	100	
LineW	647	607	-40	-237,162
LineT	10,457	10,257	-200	-858,292
LineB	841	741	-100	-576,957
midA	514	714	200	
LineA	6,387	7,387	1,000	
LineE	480	461	-19	-58,324
midT	2,858	2,558	-300	-1,588,086
รวม	**28,359**	**27,796**	**-563**	**-12,836,064**

ตารางที่ 4.16 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างความต้องการจริงและการวางแผนการผลิตด้วยวิธีการปัจจุบันในเดือนที่ 1 พบว่าปริมาณสินค้ารวมที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยวิธีการปัจจุบันเท่ากับ 27,796 ตัน ซึ่งให้ปริมาณน้อยกว่าความต้องการจริง 563 ตัน สินค้าในส่วนนี้จะถูกขายหมด แต่โรงงานเกิดค่าเสียโอกาสในการทำกำไรของสินค้าประเภทนั้น ๆ ส่วนสินค้าที่วางแผนเกินก็จะนำไปเก็บไว้ขายในเดือนถัดไป ทำให้สินค้าประเภทนั้นเกิดค่าเสียโอกาสในการทำกำไรของเดือนที่ 1 โดยพบว่าสินค้า LineP LineW LineT LineB LineE และ midT เกิดค่าเสีย

โอกาสเป็นมูลค่า -9,517,243 -237,162 -858,292 -576,957 -58,324 และ -1,588,086 บาท ตามลำดับรวมเงินทั้งสิ้น -12,836,064 บาท

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบความต้องการสินค้าจริงกับปริมาณสินค้าจากวางแผนการผลิตด้วยวิธีปัจจุบันของเดือนที่ 2

สินค้า	ความต้องการจริง (ตัน)	การวางแผนแบบเก่า (ตัน)	ส่วนต่างระหว่างการวางแผนแบบเก่าและความต้องการจริง (ตัน)	ค่าเสียโอกาสกำไรในการขายสินค้า (บาท)
LineC	587	347	-240	-1,457,682
LineP	3,894	2,000	-1,894	-10,068,385
LineD	1,546	1,446	-100	-375,382
midP	875	751	-124	-752,146
LineW	485	385	-100	-540,494
LineT	9,630	10,730	1,100	
LineB	615	815	200	
midA	583	531	-52	-175,422
LineA	6,990	6,890	-100	-615,980
LineE	310	292	-18	-51,455
midT	3,022	3,122	100	
รวม	**28,537**	**27,309**	**-1,228**	**-14,036,946**

จากตารางที่ 4.17 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างความต้องการจริงและการวางแผนการผลิตด้วยวิธีการปัจจุบันในเดือนที่ 2 ปริมาณสินค้ารวมที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยวิธีการปัจจุบันเท่ากับ 27,309 ตัน ซึ่งให้ปริมาณน้อยกว่าความต้องการจริง 1,228 ตัน สินค้าในส่วนนี้จะถูกขายหมด แต่โรงงานเกิดค่าเสียโอกาสในการทำกำไรของสินค้าประเภทนั้น ๆ ส่วนสินค้าที่วางแผนเกินก็จะนำไปเก็บไว้ขายในเดือนถัดไป สินค้าที่ทำให้เกิดค่าเสียโอกาสในการทำกำไรของเดือนที่ 2 พบว่า มีสินค้า LineC LineP LineD midP LineW midA LineA และ LineE

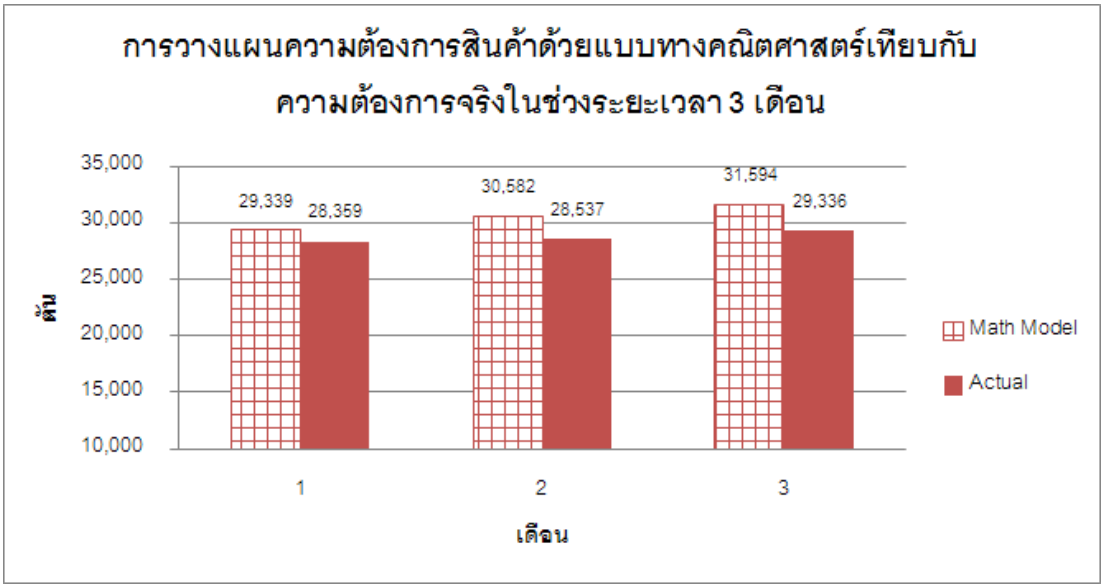
เป็น -1,457,682 -10,068,385 -375,382 -752,146 -540,494 -175,422 -615,980 และ -51,455 บาทตามลำดับ รวมเป็นค่าเสียโอกาสในเดือนที่ 2 ทั้งสิ้น -14,036,946 บาท

ตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบความต้องการสินค้าจริงกับปริมาณสินค้าจากวางแผนการผลิตด้วยวิธีปัจจุบันของเดือนที่ 3

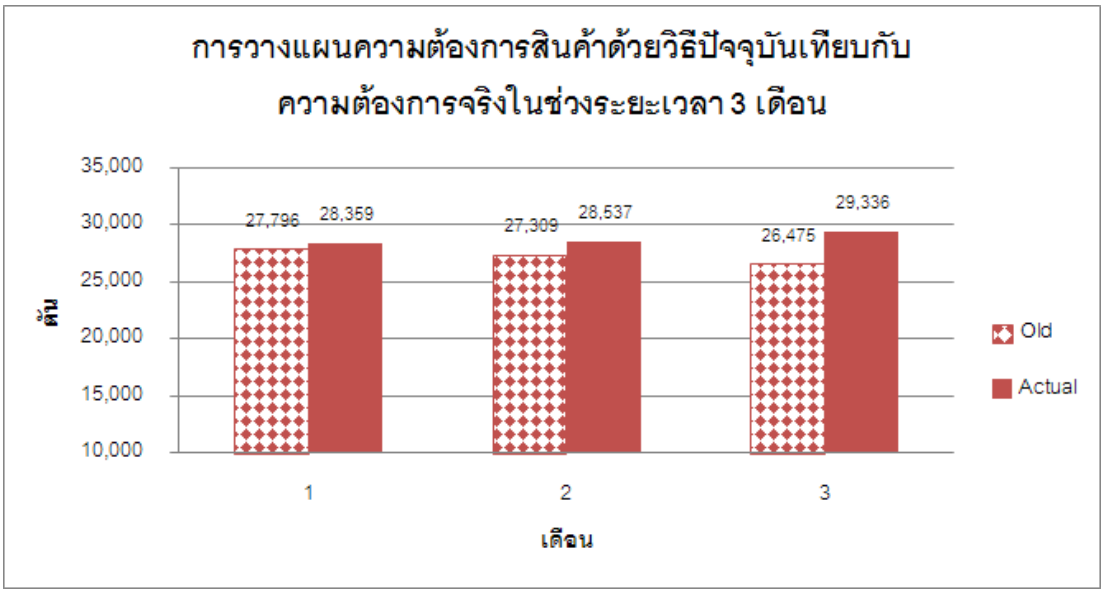
สินค้า	ความต้องการจริง (ตัน)	การวางแผนแบบเก่า (ตัน)	ส่วนต่างระหว่างการวางแผนแบบเก่าและความต้องการจริง (ตัน)	ค่าเสียโอกาสกำไรในการขายสินค้า (บาท)
LineC	631	331	-300	-1,794,303
LineP	3,707	2,400	-1,307	-6,607,464
LineD	1,393	1,193	-200	-727,950
midP	865	835	-30	-116,854
LineW	725	675	-50	-247,191
LineT	9,912	9,812	-100	-539,508
LineB	589	849	260	
midA	751	551	-200	-701,053
LineA	6,829	6,416	-413	-2,502,741
LineE	340	319	-21	-56,644
midT	3,594	3,094	-500	-2,720,539
รวม	**29,336**	**26,476**	-2,861	-16,014,247

จากตารางที่ 4.18 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างความต้องการจริงและการวางแผนการผลิตด้วยวิธีการปัจจุบันในเดือนที่ 3 ปริมาณสินค้ารวมที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยวิธีการปัจจุบันเท่ากับ 26,475 ตัน ซึ่งให้ปริมาณน้อยกว่าความต้องการจริง 2,861 ตัน ทำให้เกิดค่าเสียโอกาสในการทำกำไรรวมเป็นมูลค่าทั้งสิ้น -16,014,247 สินค้าดังกล่าวนี้จะถูกขายหมด มีเพียงสินค้า LineB ที่วางแผนการผลิตได้มีมากกว่าที่ลูกค้าต้องการ 260 ตัน ซึ่งสินค้าในส่วนนี้ทางโรงงานจะนำไปเก็บไว้ขายในเดือนถัดไป

เมื่อนำปริมาณสินค้าในช่วงระยะเวลา 3 เดือนที่ได้จากการวางแผนทั้ง 2 วิธีกับความต้องการจริงที่เกิดขึ้นมาเขียนเป็นกราฟ ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบปริมาณสินค้าในช่วงระยะเวลา 3 เดือนระหว่างการวางแผนด้วยแบบทางคณิตศาสตร์กับความต้องการสินค้าจริง



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบปริมาณสินค้าในช่วงระยะเวลา 3 เดือนระหว่างการวางแผนด้วยวิธีปัจจุบันกับความต้องการสินค้าจริง

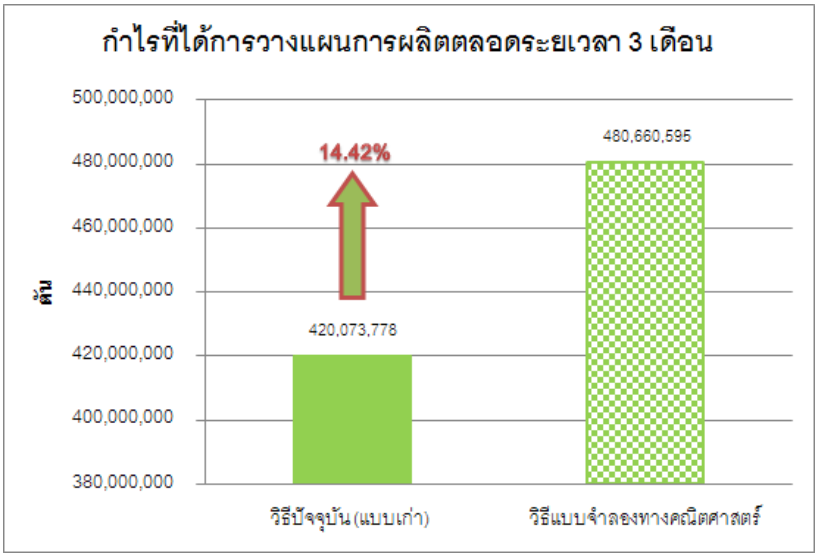
4.3.2 การเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดจากการวางแผนการผลิต

การดำเนินการทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการเลือกวัตถุดิบและการจัดสรรการผลิตสินค้าจะใช้เวลาทั้งสิ้น 3 เดือน โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ คือผลกำไรต่อตันดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.19 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวางแผนการผลิต

รายการ	การวางแผนการผลิต (บาท)		ส่วนต่าง	
	วิธีปัจจุบัน (แบบเก่า)	วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	บาท	%
จำนวนที่ผลิต	81,580	91,515	9,935	12.18
ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ	749,764,161	838,014,327	88,250,166	11.77
ต้นทุนในการแปรรูปของกระดาษ	269,180,761	301,826,244	32,645,483	12.13
ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบ	9,975,000	7,837,500	-2,137,500	-21.43
รายได้จากการขาย	1,448,993,700	1,628,338,666	179,344,966	12.38
กำไร	420,073,778	480,660,595	60,586,817	14.42

ตารางที่ 4.19 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากวางแผนการผลิตทั้งวิธีปัจจุบันและวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตลอดระยะเวลา 3 เดือน โดยพบว่า ผลกำไรที่ได้จากแบบจำลองฯ เท่ากับ 480,660,595 บาท ซึ่งมากกว่ากำไรที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยวิธีการปัจจุบัน 60,586,817 บาท หรือคิดเป็น 14.42% ของการวางแผนแบบเก่า ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบกำไรที่ได้จากการวางแผนการผลิตในช่วงระยะเวลา 3 เดือน

จาก 14.42% ของกำไรที่เพิ่มขึ้นจากการวางแผนการผลิตแบบเก่า เป็นผลมาจากการวางแผนการผลิตด้วยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีการพยากรณ์ข้อมูลความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบที่ในการแก้ไขปัญหาดังนี้

1) มีการปรับสมดุลกำลังการผลิตทำให้ปริมาณสินค้าเพิ่มขึ้นเป็น 91,515 ตัน ซึ่งมีปริมาณมากกว่าการวางแผนแบบเก่า 9,935 ตัน กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกำไรคือ 12.18% ของกำไรที่เพิ่มขึ้น14.42% ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลลัพธ์จากการวางแผนการผลิตกรณีที่กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น

รายการ	การวางแผนการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน		ส่วนที่เพิ่มขึ้นจากกำลังการผลิตเดิม	
	บาท	บาทต่อตัน	บาท	%
ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ	749,764,161	9,191	91,308,004	21.74
ต้นทุนในการแปรรูปของกระดาษ	269,180,761	3,300	32,781,452	7.80
ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบ	9,975,000	122	1,214,778	0.29
รายได้จากการขาย	1,448,993,700	17,762	176,461,785	42.01
กำไร	420,073,778	5,149	51,157,551	12.18

ตารางที่ 4.20 แสดงถึงการคำนวณสัดส่วนของกำไรที่เพิ่มเมื่อกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นกี่เปอร์เซ็นต์ของกำไร 14.42% เมื่อเทียบกับการวางแผนการผลิตแบบเก่า ซึ่งการคำนวณเริ่มจากการนำข้อมูลการวางแผนการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน (แบบเก่า) แปลงเป็นหน่วยบาทต่อตันแล้วนำไปคูณด้วยกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นนั่นคือ 9,935 ตันจะทำให้ทราบจำนวนที่เพิ่มขึ้นเมื่อกำลังการผลิตเพิ่ม

ตัวอย่างเช่นนำ 749,764,161 บาท หารด้วยปริมาณการผลิต 81,580 ตัน จะได้ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ 9,191 บาท/ตัน จากนั้นนำ 9,191 บาท/ตัน ไปคูณกับปริมาณการผลิตที่เกินนั่นคือ 9,935 ตัน จะได้ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบจากกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น 9,935 ตัน นั่นคือ 92,082,934 บาท นำรายการได้จากกำลังที่เพิ่มขึ้นมาคำนวณหากำไรที่กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจากสมการ

กำไร = รายได้จากการขาย – ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ – ต้นทุนในการแปรรูปของกระดาษ – ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบ

= 176,461,785 - 91,308,004 - 32,781,452 - 1,214,778

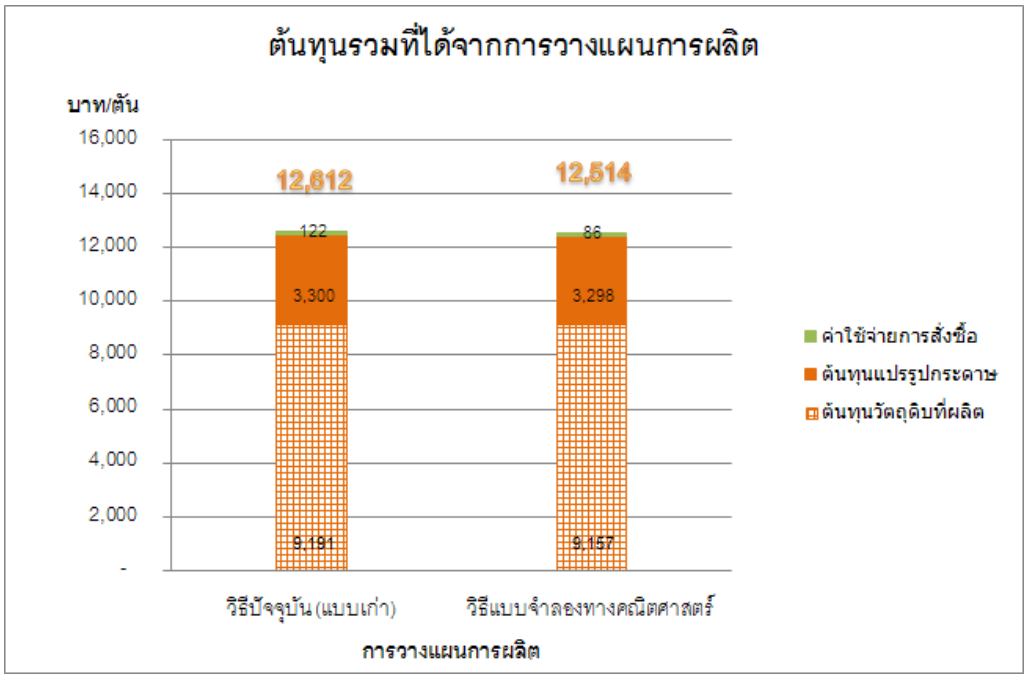
= 51,157,551

%กำไร = (51,157,551/420,073,778) x 100

= 12.18%

ผลการคำนวณกำไรจากกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น 9,935 ตัน คิดเป็น 12.18% ของกำไรที่เพิ่มขึ้น 14.42%

2) การเลือกใช้วัตถุดิบที่นำมาวางแผนการผลิตด้วยวิธีทางแบบคณิตศาสตร์ใช้ต้นทุนรวมในการผลิตน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการวางแผนแบบเก่าแต่ยังคงไว้ซึ่งคุณภาพของสินค้าภายใต้เกณฑ์มาตรฐานที่ลูกค้ากำหนดทำให้ต้นทุนรวมในการผลิตจาก 12,612 บาท/ตัน เป็น 12,514 บาท/ตัน ลดลง 72 บาท/ตัน คิดเป็น 2.24% ของกำไรที่เพิ่มขึ้น 14.42% ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ต้นทุนการผลิตรวมจากการวางแผนการผลิตในช่วงระยะเวลา 3 เดือน

ต้นทุนรวมที่ลดลงเกิดจากต้นทุนวัตถุดิบเส้นใยที่ซื้อลดลง 3,057,838 บาทหรือลดลง 0.73% ต้นทุนในการแปรรูปของกระดาษลดลง -135,969 บาทหรือลดลง 0.03% ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบลดลง -3,352,278 บาทหรือลดลง 0.80% ของการวางแผนการผลิตแบบเก่า ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวางแผนการผลิตกรณีที่ต้นทุนการผลิตลดลง

รายการ	การวางแผนการผลิต (บาท/ตัน)		ส่วนต่าง		
	วิธีปัจจุบัน (แบบเก่า)	วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	บาท/ตัน	บาท	%
ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ	9,191	9,157	-33	-3,057,838	-0.73
ต้นทุนในการแปรรูปของกระดาษ	3,300	3,298	-1	-135,969	-0.03
ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบ	122	86	-37	-3,352,278	-0.80
รายได้จากการขาย	17,762	17,793	32	2,883,181	0.69
กำไร	5,149	5,252	103	9,429,266	2.24

ตารางที่ 4.21 แสดงถึงการคำนวณสัดส่วนของกำไรที่เพิ่มเนื่องจากต้นทุนการผลิตลดลงว่าคิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของกำไร 14.42% เมื่อเทียบกับการวางแผนการผลิตแบบเก่า ซึ่งการคำนวณเริ่มจากการนำรายการจากการวางแผนการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน (แบบเก่า) และรายการที่ได้จากการวางแผนการผลิตด้วยวิธีแบบจำลอง ฯ มาแปลงเป็นหน่วยบาทต่อตันแล้วนำมาลบกันโดยให้การวางแผนการผลิตแบบเก่าเป็นตัวตั้ง จากนั้นนำมาคูณจำนวนการผลิตที่ได้จากแบบจำลองนั่นคือ 91,515 จากตารางที่ 4.19 จะทำให้ทราบจำนวนรายการที่ได้จากการวางแผนการผลิตกำลังการผลิตด้วยวิธีทางแบบจำลองฯ

ตัวอย่างเช่นนำ 749,764,161 บาท หารด้วย 81,580 ตันจะได้ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ 9,191 บาท/ตัน ด้วยวิธีการวางแผนปัจจุบัน และ 838,014,327 บาทหารด้วย 91,515 ตัน จะได้ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ 9,157 บาท/ตัน จากการวางแผนด้วยวิธีทางแบบจำลองฯ แล้วนำมาลบกับจะได้ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบที่ลดลง -33 บาท/ตัน แล้วไปคูณกับปริมาณการผลิตที่ได้จากแบบจำลองนั่น คือ 91,515 ตัน ทำเช่นนี้จนครบทุกรายการจะได้จากกำลังที่เพิ่มขึ้นมาคำนวณหากำไรที่กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจากสมการ

กำไร = รายได้จากการขาย – ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ – ต้นทุนในการแปรรูปของกระดาษ – ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบ

กำไร = 2,883,181 – (-3,057,838) – (-135,969) – (-3,352,278)

= 9,429,266

%กำไร = (9,429,266/420,073,778) x 100

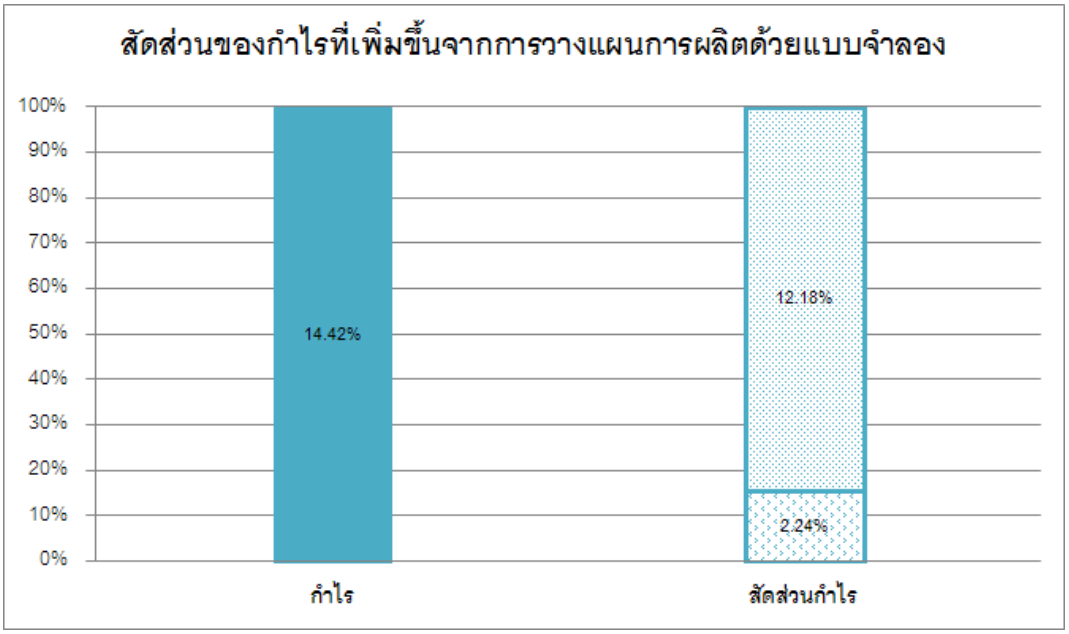
= 2.24%

หากต้องการทราบว่าต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบลดลงเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของ 2.24% ของต้นทุนรวมสามารถหาได้จาก

%ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ = (-3,057,838/420,073,778) x 2.24%

= -0.73%

ผลการคำนวณต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบที่ลดลง -3,057,838 บาทคิดเป็น 0.73% ของต้นทุนรวมที่ลดลด 2.24% หรือกำไรที่เพิ่มขึ้น 14.42% และจากการแสดงรายละเอียดการคำนวณของสัดส่วนของกำไร 14.42% ที่เพิ่มขึ้นพบว่า 12.18% มาจากกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น 9,935 ตัน ตามที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4.19 และ 2.24% มาจากต้นทุนรวมที่ลดลงเมื่อคิดเป็นจำนวนต่อตันดังตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.21 ซึ่งสามารถแสดงที่มาของกำไรได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 สัดส่วนกำไรที่เพิ่มขึ้นจากการวางแผนการผลิตในช่วงระยะเวลา 3 เดือน

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อนี้ได้ทำให้เกิดประโยชน์แก่โรงงานกรณีศึกษาเพื่อให้เกิดผลกำไรสูงสุด โดยการปรับปรุงการวางแผนการผลิตด้วยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์มาคำนวณหาปริมาณการผลิตและการเลือกวัตถุดิบเส้นใย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถสอดคล้องกับเงื่อนไขของนโยบายทางด้านการวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบในการผลิตกระดาษบรรจุภัณฑ์ทั้งเป็นผลทำให้เพิ่มกำไรจากการขายสินค้า

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปัญหาของโรงงานกรณีศึกษานี้พบปัญหาหลัก ๆ 2 ส่วนคือ ปัญหาการสูญเสียกำลังการผลิตอันเนื่องการขั้นตอนการวางแผนและปัญหาต้นทุนวัตถุดิบเส้นใยสูงจึงทำให้ต้นทุนในการผลิตกระดาษสูง

แนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการการวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบให้เหมาะสม โดยการสร้างแบบทางจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบสำหรับกระดาษบรรจุภัณฑ์ เพื่อวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบให้เหมาะสมกับสินค้าเพื่อให้ต้นทุนเส้นใยและต้นทุนในการแปรรูปลดลง และเพื่อให้การใช้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด จึงมีการนำข้อมูลความต้องการสินค้าจากลูกค้าซึ่งมีทั้งหมด 11 ประเภท และราคาวัตถุดิบเส้นใยที่ใช้สำหรับผลิตกระดาษทั้งหมด 14 ชนิด มาทำการพยากรณ์ และเพื่อต้องการพิสูจน์ว่าสมการข้อจำกัดมีความแม่นยำที่จะสามารถนำไปเป็นเงื่อนไขการการเลือกใช้เยื่อหรือวัตถุดิบในแบบจำลองฯ จึงได้ทำการตั้งสมมุติฐานว่าค่าคุณภาพของเยื่อที่ทำการผสมในห้องทดลองไม่มีความแตกต่างกับค่าคุณภาพของเยื่อที่ได้จากการคำนวณแล้วดำเนินการทดสอบสมมุติฐานด้วยวิธีการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Paired t-test) เพื่อหาค่าคุณสมบัติทั้ง 3 ประเภท แล้วนำข้อมูลมาใช้ในตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผลกำไรสูงสุดตามเงื่อนไขที่กำหนด

ผลที่ได้จากวิธีการวางแผนการผลิตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นคำตอบที่ให้เพียงค่าที่เหมาะสมเท่านั้นเนื่องจากบางครั้งสถานการณ์ก็ยากต่อการคาดการณ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินงานในขั้นตอนต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

5.1.1 การพยากรณ์ข้อมูล

ในการวางแผนการผลิตและการเลือกใช้วัตถุดิบนั้นได้นำข้อมูล 2 ส่วนมาทำการพยากรณ์นั่นคือ ข้อมูลความต้องการสินค้าตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2552 ถึงเดือนธันวามคมปี 2553 รวมทั้งสิ้น 24 เดือน และข้อมูลราคาวัตถุดิบเส้นใยตลอดปี 2553 แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์แนวโน้มเพื่อหาเทคนิคนำมาใช้ในการพยากรณ์ก่อนนำข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์มานำเข้าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากกการพยากรณ์สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1.1 การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า

จากการวิเคราะห์แนวโน้มความต้องการสินค้าทั้ง 11 ประเภท ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2552 ถึงเดือนธันวามคมปี 2553 พบว่าข้อมูลความต้องการสินค้าของลูกค้ามีลักษณะเป็นแบบฤดูกาล เมื่อนำมาคำนวณหาค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) พบว่าผลของค่า MAPE สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1) น้อยกว่า 5% มีจำนวน 8 ชนิดคือสินค้า LineP LineD midP LineW LineT midA LineA และ midT
2) มากกว่า 5 % แต่น้อยกว่า 10% มีจำนวน 3 ชนิด คือสินค้า LineC LineB และ LineE

ผลของค่า MAPE ของสินค้าทั้ง 11 ประเภทให้ค่า MAPE เฉลี่ยเท่ากับ 3.94% ซึ่งผลจากค่า MAPE สามารถสรุปได้ว่าการพยากรณ์ความต้องการสินค้าทั้ง 11 ชนิดที่พยากรณ์ด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบฤดูกาลมีความเที่ยงตรง

5.1.1.2 การพยากรณ์ราคาของวัตถุดิบในแต่ละเดือน

จากการวิเคราะห์แนวโน้มราคาวัตถุดิบของปี 2553 ในแต่ละเดือนนั้นพบว่า แนวโน้มของข้อมูลแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือลักษณะแรกมีลักษณะเคลื่อนที่อยู่ในแนวระดับและอีกลักษณะคือมีลักษณะเป็นแบบแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณหาค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) สามารถสรุปเทคนิควิธีที่ใช้การพยากรณ์ราคาวัตถุดิบได้ 2 วิธี ดังนี้

1) วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ใช้พยากรณ์ราคาวัตถุดิบ AOCC, RUOCC, SF-OCC, LOCC, PULP SUB, JOCC, UKOCC, MEOCC, MIXED WASTE , NDLK, PHOCC โดยให้ค่า MAPE เฉลี่ยอยู่ที่ 2.35%

2) วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับแนวโน้มใช้พยากรณ์ราคาวัตถุดิบ NBKP, LF- A, LF- B+ โดยให้ค่า MAPE เฉลี่ยอยู่ที่ 2.50%

จากผลของค่า MAPE ที่ได้จากการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 5% แต่มีราคาวัตถุดิบ 1 ชนิดที่ให้ค่า MAPE มากกว่า 5% (MAPE = 5.84) นั่นคือ MIXED WASTE ผลของค่า MAPE ดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบทั้ง 14 ประเภทด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบฤดูกาลมีความเที่ยงตรง

5.1.2 การนำข้อมูลมาใช้ในแบบทางคณิตศาสตร์

การกำหนดเงื่อนไขเพื่อนำมาใช้ในแบบจำลองฯ สำหรับการวางแผนและการเลือกวัตถุดิบ ได้นำสมการข้อจำกัดที่ทางโรงงานใช้ในปัจจุบันมาใช้เพื่อเลือกวัตถุดิบสำหรับนำมาใช้ในแบบจำลอง ฯ ซึ่งมีผลต่อการกำหนดพารามิเตอร์ของค่าคุณภาพทั้ง 3 ประเภทโดยได้มีการวิเคราะห์การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Paired t-test) เพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าคุณภาพที่ได้จากการคำนวณสมการข้อจำกัดกับค่าคุณภาพที่ได้จากห้องทดลอง เพื่อทดสอบความถูกต้องของเงื่อนไขดังกล่าว ซึ่งพบว่าค่าคุณภาพ RCT CMT และ Burst ที่ได้จากการคำนวณสมการข้อจำกัดไม่มีความแตกต่างกับค่าคุณภาพที่ได้จากห้องทดลอง จากนั้นนำข้อมูลจากการพยากรณ์ความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบเส้นใย และผลที่ทดสอบค่าคุณภาพด้วยวิธี Paired t-test มาเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนการผลิตกระดาษบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดลงบนเครื่องจำนวน 3 เครื่อง และเลือกวัตถุดิบเส้นใยสำหรับผลิตสินค้าเพื่อที่จะตอบสนองคุณภาพของลูกค้าด้านคุณภาพได้อย่างเหมาะสม และเกิดผลกำไรที่ดีให้แก่องค์กร

ผลลัพธ์จากการแบบจำลองฯ พบว่าผลกำไรเพิ่มขึ้น 103 บาทต่อตันสินค้า หรือมากกว่า 60,586,817 บาท คิดเป็น 14.42 % ของการวางแผนการผลิตแบบเก่า ซึ่งเป็นผลมาจากมีการปรับสมดุลกำลังการผลิตทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 51,157,551 บาท หรือคิดเป็น 12.18% ส่วนอีก 2.24% หรือเป็นจำนวนเงิน 9,429,266 บาท มาจากต้นทุนรวมที่ลดลงเนื่องจากการเลือกใช้วัตถุดิบที่นำมาวางแผนการผลิตด้วยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบเส้นใยที่ซื้อลดลง 3,057,838 บาท หรือคิดเป็น 0.73% ต้นทุนในการแปรรูปของกระดาษลดลง 135,969 บาท หรือคิดเป็น 0.03% และค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบลดลง 3,352,278 บาท หรือคิดเป็น 0.80%

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่สร้างขึ้นอาจจะเกิดคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) เมื่อความต้องการมากกว่ากำลังการผลิตและงบประมาณในการซื้อวัตถุดิบน้อยกว่าการซื้อวัตถุดิบมาผลิตให้เท่ากับความต้องการ ในอนาคตสามารถพัฒนาแบบจำลอง ฯ โดยใช้แบบจำลองการโปรแกรมเป้าหมาย (Goal Programming Model) โดยกำหนดงบประมาณสำหรับซื้อ

วัตถุดิบเป็นเป้าหมายที่ 2 เพื่อกำหนดให้แบบจำลองฯ กำหนดงบประมาณให้สอดคล้องความต้องการสินค้าแทนการกำหนดเป็นเงื่อนไข

5.2.2 ความต้องการจริงคือความต้องการที่เกิดขึ้นจริงในเดือนนั้น ๆ ผลการวางแผนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อาจจะมีการผลิตที่มากกว่าความต้องการจริง ซึ่งผลผลิตในส่วนที่มากกว่าความต้องการจริงจะเป็นสินค้าที่ฝ่ายขายสามารถนำไปขายเพื่อเพิ่มผลกำไรได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยา วานิชย์บัญชา. หลักสถิติ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540

ทวัยพร ชาเจียมเจน. การหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมโดยการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์: กรณีศึกษาการวางแผนการผลิตบริษัทในอุตสาหกรรมกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.

บรรหาญ ลิลา. การวางแผนและควบคุมการผลิต. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท้อป, 2553.

พีระพล เก้าเอี้ยน.การปรับปรุงการวางแผนสั่งซื้อวัตถุดิบโดยการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา : การจัดซื้อวัตถุดิบจากต่างประเทศในอุตสาหกรรมกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.

ยศนันท์ศุภพิบูลย์. การพยากรณ์และการวางแผนการผลิตรวมกรณีศึกษา : บริษัทผู้ผลิตน้ำมันถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.

วิจิตร ตัณฑสุทธิ์. การวิจัยดำเนินงาน ภาค DETERMINISTIC. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2531.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และ จันทนา จันทโร. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม.กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ภาษาอังกฤษ

Chung-HsingYeh. A customer-focused planning approach to make-to-order production. Industrial Management &. Data Systems 100 (2000) : 180-187.

Fransoo, J.C., and Rutten, W.G.M.M., A Typology of ProductionControl Situations in Process Industries. International Journal of Operations & Production Management 14 (1994) : 47-57.

K. Nilsson, andM. Soderstrom. OPTIMIZING THE OPERATING STRATEGY OF A PULP AND PAPER MILL USING THE MIND METHOD. Energy 17 (1992) : 945-953.

R.K. Pati et al. Economic analysis of paper recycling vis-a` -vis woodas raw material. Int. J. Production Economics103 (June 2006): 489–508.

S.S. I Chauhan et al. Roll assortment optimization in a paper mill: An integer programming approach. Computers & Operations Research 35 (2008): 614 – 627.

Ulrich Derigs, and Stefan Friederichs. Decision Support for Flow Management in a Recycling Network, 42nd Hawaii International Conference on System Sciences, pp.1-9, 2009.

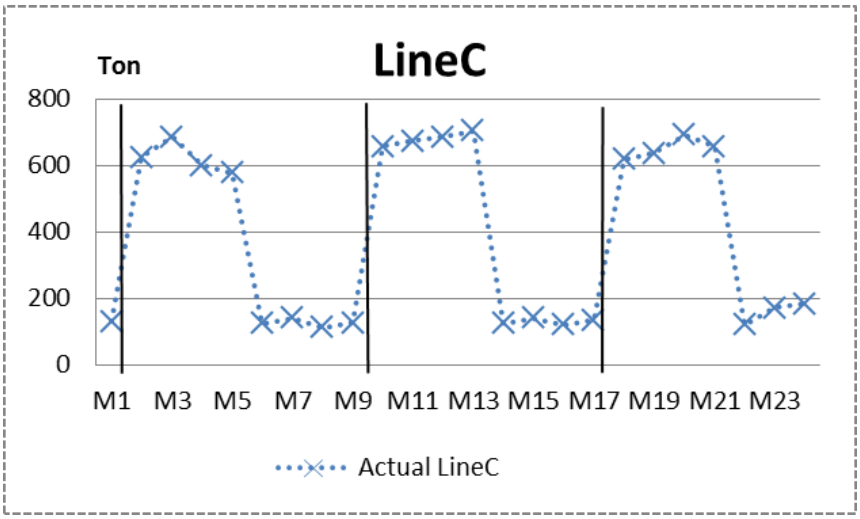
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

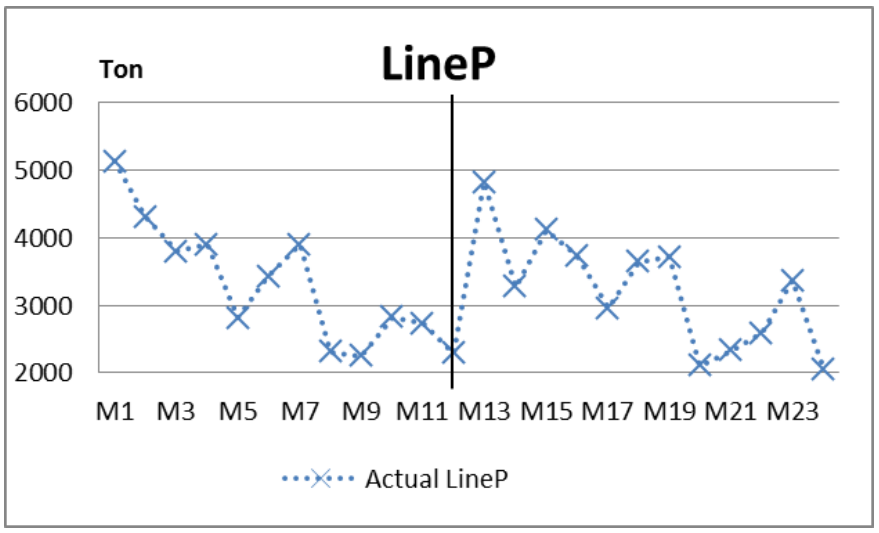
กราฟที่ได้จากการพยากรณ์ความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบ

1. ความต้องการสินค้า

1.1 แนวโน้มข้อมูลความต้องการสินค้า

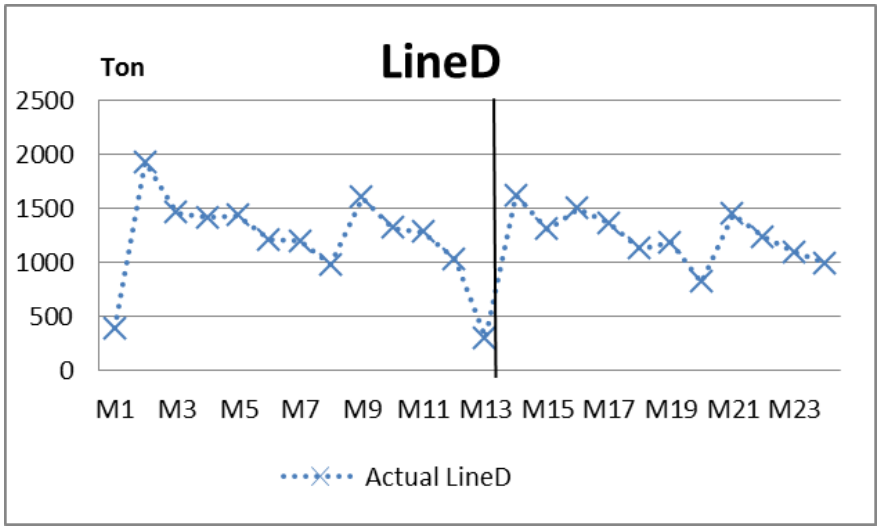


รูปที่ ก-1 แนวโน้มความต้องการสินค้า LineC ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553



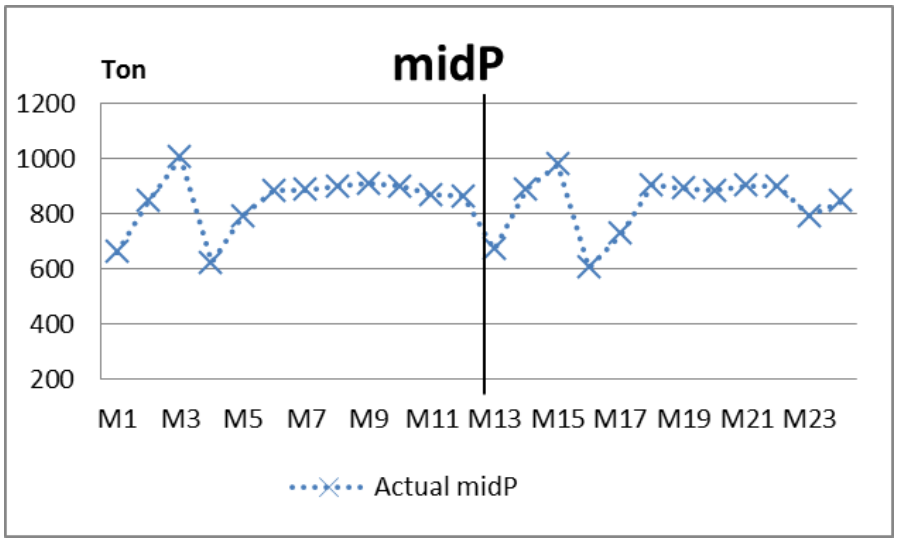
รูปที่ ก-2 แนวโน้มความต้องการสินค้า LineP ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

รูปที่ ก-2 แสดงให้เห็นว่าความต้องการของ LineP แบ่งได้เป็น 2 รอบ ซึ่งแต่ละรอบมีระยะเวลา 12 ฤดูกาล ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์



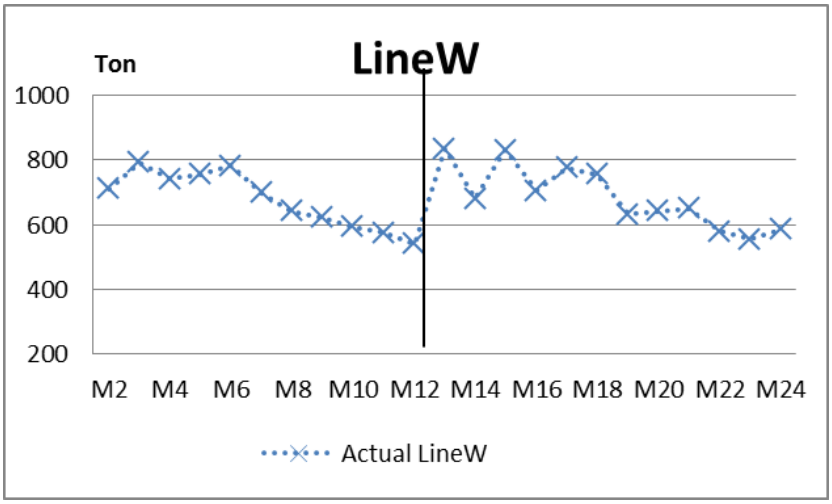
รูปที่ ก-3 แนวโน้มความต้องการสินค้า LineD ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

รูปที่ ก-3 พบว่าความต้องการของ LineD สามารถแบ่งออกเป็น 2 รอบ ซึ่งแต่ละรอบมีระยะเวลา 12 ฤดูกาล ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์



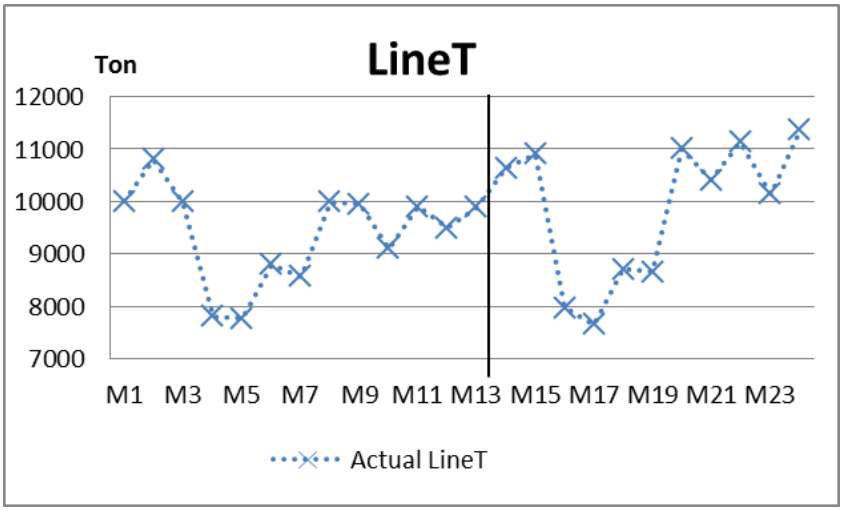
รูปที่ ก-4 แนวโน้มความต้องการสินค้า midP ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

รูปที่ ก-4 พบว่าความต้องการของ midP สามารถแบ่งออกเป็น 2 รอบ แต่ละรอบมีระยะเวลา 12 ฤดูกาล ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์



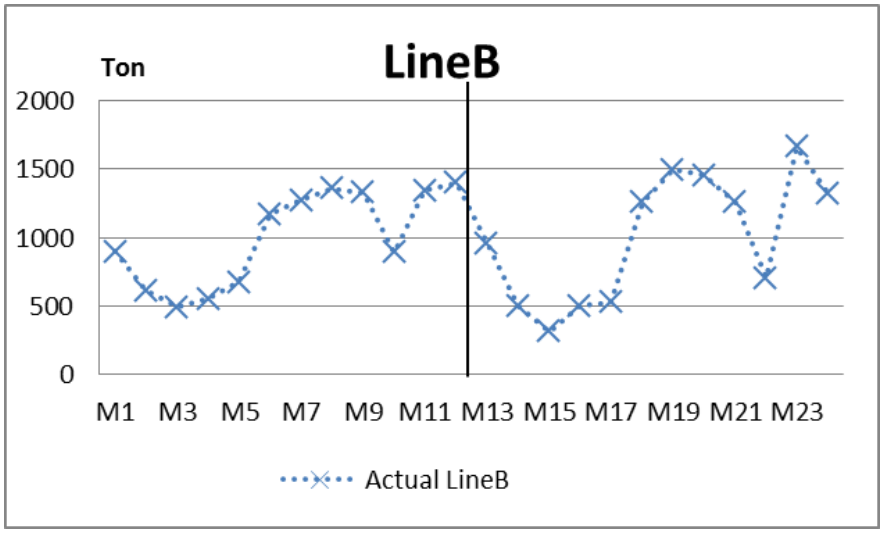
รูปที่ ก-5 แนวโน้มความต้องการสินค้า LineW ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

รูปที่ **ก-5** พบว่าความต้องการของ LineW สามารถแบ่งออกเป็น 2 รอบ แต่ละรอบมีระยะเวลา 12 ฤดูกาล ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์



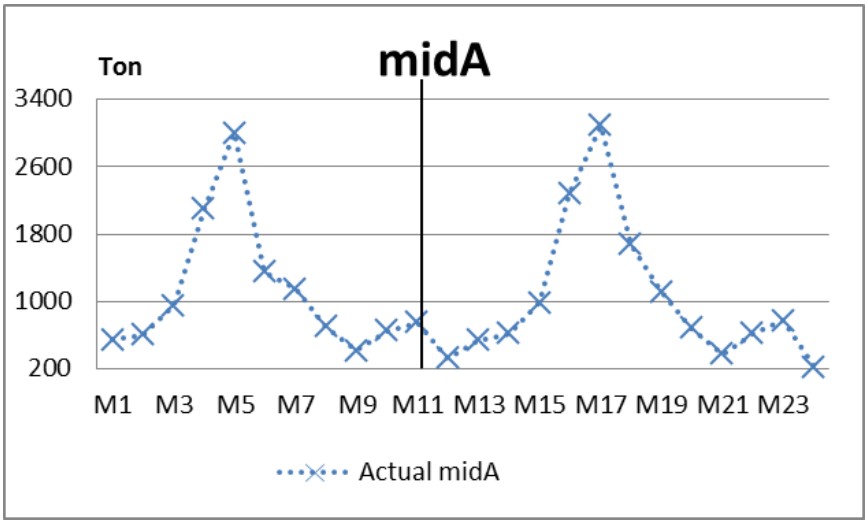
รูปที่ ก-6 แนวโน้มความต้องการสินค้า LineT ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

รูปที่ ก-6 พบว่าความต้องการของ LineT สามารถแบ่งออกเป็น 2 รอบ แต่ละรอบมีระยะเวลา 12 ฤดูกาล ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์



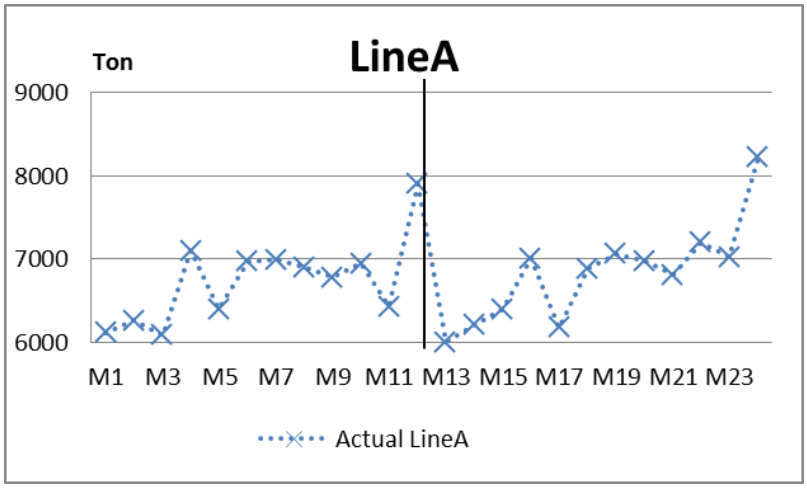
รูปที่ ก-7 แนวโน้มความต้องการสินค้า LineB ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

รูปที่ ก-7 พบว่าความต้องการของ LineB สามารถแบ่งออกเป็น 2 รอบ แต่ละรอบมีระยะเวลา 12 ฤดูกาล ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์



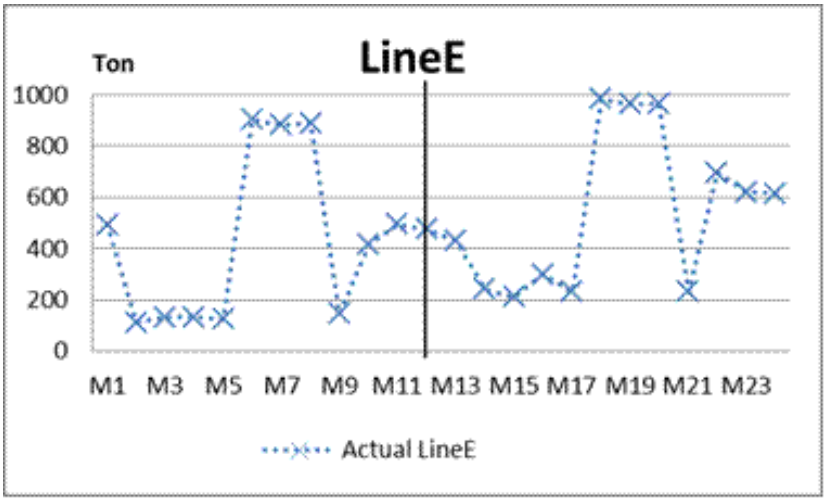
รูปที่ ก-8 แนวโน้มความต้องการสินค้า midA ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

รูปที่ ก-8 พบว่าความต้องการของ midA สามารถแบ่งออกเป็น 2 รอบ แต่ละรอบมีระยะเวลา 12 ฤดูกาล ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์



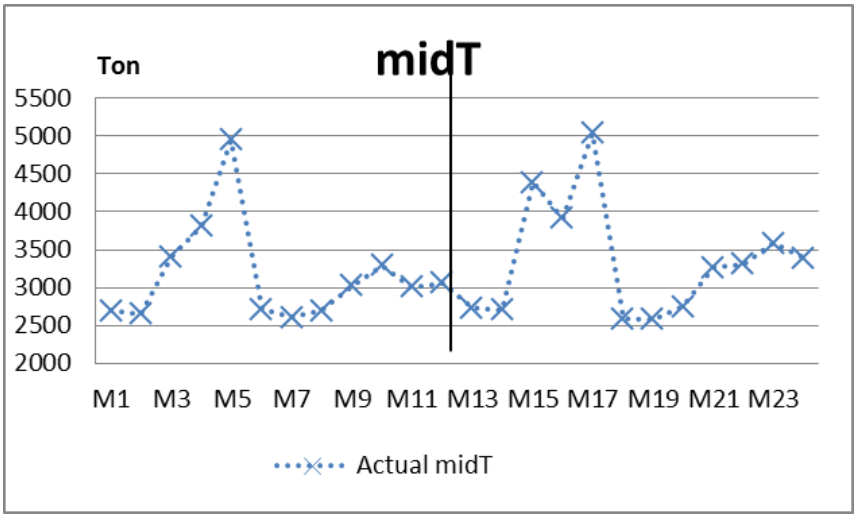
รูปที่ ก-9 แนวโน้มความต้องการสินค้า LineA ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

รูปที่ ก-9 พบว่าความต้องการของ LineA สามารถแบ่งออกเป็น 2 รอบ แต่ละรอบมีระยะเวลา 12 ฤดูกาล ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์



รูปที่ ก-10 แนวโน้มความต้องการสินค้า LineE ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

รูปที่ ก-10 พบว่าความต้องการของ LineE สามารถแบ่งออกเป็น 2 รอบ แต่ละรอบมีระยะเวลา 12 ฤดูกาล ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์

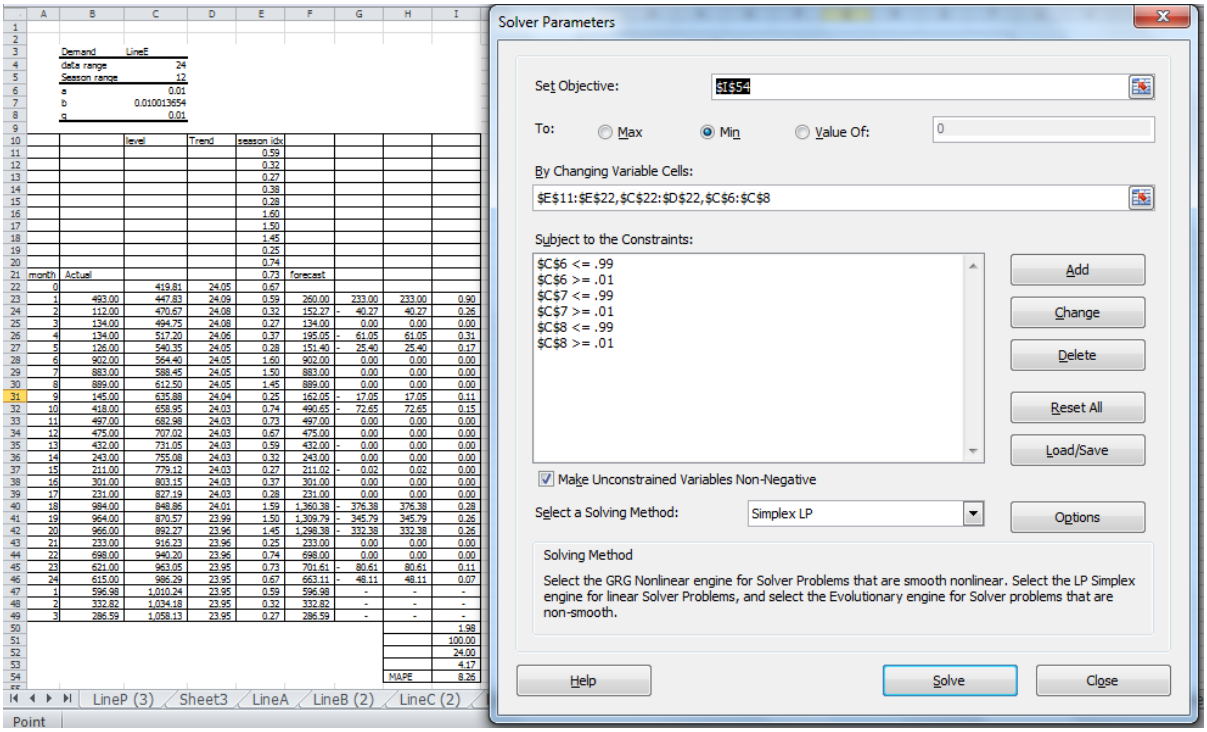


รูปที่ ก-11 แนวโน้มความต้องการสินค้า midT ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553

รูปที่ ก-11 พบว่าความต้องการของ midT สามารถแบ่งออกเป็น 2 รอบ แต่ละรอบมีระยะเวลา 12 ฤดูกาล ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์

1.2 ผลการคำนวณการพยากรณ์ความต้องการสินค้าด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

การคำนวณหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ที่ใช้ในการพยากรณ์ความต้องการสินค้าแบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ (Winter's Linear and Seasonal Exponential Smoothing) โดยใช้โปรแกรม solver ที่กำหนดค่าคงที่ α, β, γ เท่ากับ 0.10 ถึง 0.99 มาใช้ในการคำนวณค่า MPAE ที่มีค่าน้อยที่สุด ดังนี้



รูปที่ ก-12 การคำนวณค่าการพยากรณ์ความต้องการสินค้าแบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ในช่วงระยะเวลา 3 เดือนด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	LineC
data range	24
Season range	8
a	0.779332
b	0.010345
g	0.99

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				0.39				1.00
				1.50				6.00
				1.62				7.00
				1.67				8.00
				1.51				9.00
				0.32				10.00
				0.36				11.00
0		644.21	11.03	0.30				12.00
1	132.00	410.17	8.50	0.32	253.81	- 121.81	121.81	0.48
2	625.00	416.63	8.48	1.50	628.91	- 3.91	3.91	0.01
3	687.00	425.10	8.48	1.62	687.03	- 0.03	0.03	0.00
4	601.00	375.33	7.87	1.60	726.15	- 125.15	125.15	0.17
5	579.00	383.52	7.88	1.51	578.40	0.60	0.60	0.00
6	126.00	392.49	7.89	0.32	125.55	0.45	0.45	0.00
7	142.00	399.36	7.88	0.36	142.47	- 0.47	0.47	0.00
8	114.00	386.76	7.67	0.29	121.86	- 7.86	7.86	0.06
9	127.00	393.96	7.66	0.32	127.19	- 0.19	0.19	0.00
10	657.00	429.94	7.95	1.53	602.49	54.51	54.51	0.09
11	675.00	422.13	7.79	1.60	707.68	- 32.68	32.68	0.05
12	687.00	429.08	7.78	1.60	688.73	- 1.73	1.73	0.00
13	705.00	460.33	8.02	1.53	659.54	45.46	45.46	0.07
14	126.00	409.24	7.41	0.31	150.35	- 24.35	24.35	0.16
15	142.00	403.17	7.27	0.35	148.15	- 6.15	6.15	0.04
16	121.00	410.44	7.27	0.29	121.00	0.00	0.00	0.00
17	135.00	418.54	7.28	0.32	134.66	0.34	0.34	0.00
18	618.00	409.20	7.11	1.51	650.59	- 32.59	32.59	0.05
19	638.00	402.78	6.97	1.58	665.76	- 27.76	27.76	0.04
20	692.00	427.25	7.15	1.62	656.05	35.95	35.95	0.05
21	657.00	430.23	7.11	1.53	665.19	- 8.19	8.19	0.01
22	122.00	405.18	6.78	0.30	134.71	- 12.71	12.71	0.09
23	173.00	473.67	7.41	0.37	145.11	27.89	27.89	0.19
24	184.00	592.58	8.57	0.31	141.82	42.18	42.18	0.30
1	193.90	601.14	8.57	0.32	193.90	-	-	-
2	920.93	609.71	8.57	1.51	920.93	-	-	-
3	979.44	618.28	8.57	1.58	979.44	-	-	-
								1.41
								100.00
								24.00
								4.17
							MAPE	5.87

รูปที่ ก-13 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า LineC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	LineP
data range	24
Season range	12
a	0.067982395
b	0.037707014
g	0.01

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				1.34				
				1.19				
				1.16				
				1.08				
				0.83				
				1.02				
				1.04				
				0.64				
				0.66				
				0.78				
				0.95				
0		3,593.21	10.01	0.64				
1	5,125.00	3,619.13	10.61	1.34	4,812.49	312.51	312.51	0.06
2	4,310.00	3,629.74	10.61	1.19	4,310.00	0.00	0.00	0.00
3	3,791.00	3,615.23	9.66	1.16	4,219.14	- 428.14	428.14	0.10
4	3,898.00	3,624.89	9.66	1.08	3,897.94	0.06	0.06	0.00
5	2,811.00	3,617.02	9.00	0.83	3,025.72	- 214.72	214.72	0.07
6	3,427.00	3,607.24	8.29	1.02	3,709.67	- 282.67	282.67	0.08
7	3,901.00	3,624.30	8.62	1.04	3,766.64	134.36	134.36	0.04
8	2,312.00	3,632.92	8.62	0.64	2,312.00	0.00	0.00	0.00
9	2,247.00	3,627.06	8.08	0.66	2,386.64	- 139.64	139.64	0.06
10	2,824.00	3,635.14	8.08	0.78	2,823.92	0.08	0.08	0.00
11	2,731.00	3,590.73	6.10	0.95	3,465.28	- 734.28	734.28	0.21
12	2,293.00	3,596.83	6.10	0.64	2,293.00	0.00	0.00	0.00
13	4,815.00	3,602.93	6.10	1.34	4,815.00	0.00	0.00	0.00
14	3,269.00	3,550.84	3.90	1.18	4,285.41	-1,016.41	1,016.41	0.24
15	4,116.00	3,554.74	3.90	1.16	4,116.00	0.00	0.00	0.00
16	3,738.00	3,553.03	3.69	1.08	3,826.70	- 88.70	88.70	0.02
17	2,959.00	3,556.73	3.69	0.83	2,958.96	0.04	0.04	0.00
18	3,640.00	3,560.42	3.69	1.02	3,639.96	0.04	0.04	0.00
19	3,711.00	3,563.90	3.68	1.04	3,714.31	- 3.31	3.31	0.00
20	2,101.00	3,549.49	3.00	0.64	2,270.42	- 169.42	169.42	0.07
21	2,327.00	3,552.49	3.00	0.66	2,327.00	0.00	0.00	0.00
22	2,589.00	3,540.34	2.43	0.78	2,762.05	- 173.05	173.05	0.06
23	3,363.00	3,542.78	2.43	0.95	3,362.99	0.01	0.01	0.00
24	2,041.00	3,521.84	1.55	0.64	2,260.08	- 219.08	219.08	0.10
1	4,708.70	3,523.39	1.55	1.34	4,708.70	-	-	-
2	4,176.16	3,524.94	1.55	1.18	4,176.16	-	-	-
3	4,083.29	3,526.49	1.55	1.16	4,083.29	-	-	-
								1.05
								100.00
								24.00
								4.17
							MAPE	4.38

รูปที่ ก-14 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า LineP ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	LineD
data range	24
Season range	12
a	0.42794259
b	0.01
g	0.01

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				0.19				
				1.08				
				0.83				
				0.95				
				0.87				
				0.72				
				0.72				
				0.59				
				0.96				
				0.80				
				0.77				
0		1,539.64	0.23	0.67				
1	389.00	1,774.99	2.58	0.19	286.71	102.29	102.29	0.36
2	1,931.00	1,779.33	2.60	1.08	1,926.55	4.45	4.45	0.00
3	1,459.00	1,773.85	2.52	0.83	1,474.63	- 15.63	15.63	0.01
4	1,413.00	1,650.26	1.26	0.95	1,694.02	- 281.02	281.02	0.17
5	1,434.00	1,651.52	1.26	0.87	1,434.00	- 0.00	0.00	0.00
6	1,214.00	1,669.07	1.42	0.72	1,186.68	27.32	27.32	0.02
7	1,201.00	1,668.62	1.40	0.72	1,204.16	- 3.16	3.16	0.00
8	980.00	1,670.02	1.40	0.59	980.00	0.00	0.00	0.00
9	1,601.00	1,673.56	1.43	0.96	1,596.24	4.76	4.76	0.00
10	1,321.00	1,661.76	1.29	0.80	1,345.83	- 24.83	24.83	0.02
11	1,281.00	1,664.25	1.30	0.77	1,278.84	2.16	2.16	0.00
12	1,031.00	1,613.00	0.78	0.67	1,113.08	- 82.08	82.08	0.07
13	301.00	1,613.78	0.78	0.19	301.00	0.00	0.00	0.00
14	1,623.00	1,564.45	0.28	1.08	1,749.90	- 126.90	126.90	0.07
15	1,307.00	1,571.04	0.34	0.83	1,294.81	12.19	12.19	0.01
16	1,497.00	1,571.38	0.34	0.95	1,497.00	0.00	0.00	0.00
17	1,366.00	1,572.35	0.35	0.87	1,364.71	1.29	1.29	0.00
18	1,129.00	1,572.51	0.35	0.72	1,129.33	- 0.33	0.33	0.00
19	1,188.00	1,605.05	0.67	0.72	1,133.76	54.24	54.24	0.05
20	821.00	1,517.29	- 0.22	0.59	942.27	- 121.27	121.27	0.13
21	1,446.00	1,515.79	- 0.23	0.96	1,448.85	- 2.85	2.85	0.00
22	1,235.00	1,524.83	- 0.14	0.80	1,217.61	17.39	17.39	0.01
23	1,093.00	1,480.47	- 0.58	0.77	1,172.46	- 79.46	79.46	0.07
24	993.00	1,482.73	- 0.55	0.67	988.57	4.43	4.43	0.00
1	276.45	1,482.18	- 0.55	0.19	276.45	-	-	-
2	1,605.14	1,481.63	- 0.55	1.08	1,605.14	-	-	-
3	1,225.66	1,481.08	- 0.55	0.83	1,225.66	-	-	-
								0.65
								100.00
								24.00
								4.17
							MAPE	2.71

รูปที่ ก-15 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า LineD ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	midP
data range	24
Season range	12
a	0.114322878
b	0.023802064
g	0.01

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				0.54				
				0.70				
				0.80				
				0.49				
				0.62				
				0.73				
				0.71				
				0.72				
				0.73				
				0.73				
				0.68				
0		1,264.61	0.00	0.69				
1	661.00	1,260.71	- 0.09	0.54	679.35	- 18.35	18.35	0.03
2	845.00	1,254.59	- 0.23	0.70	881.89	- 36.89	36.89	0.04
3	1,005.00	1,254.48	- 0.23	0.80	1,004.12	0.88	0.88	0.00
4	623.00	1,255.03	- 0.21	0.49	619.65	3.35	3.35	0.01
5	791.00	1,257.13	- 0.16	0.62	778.46	12.54	12.54	0.02
6	883.00	1,251.40	- 0.29	0.73	918.59	- 35.59	35.59	0.04
7	887.00	1,250.67	- 0.30	0.71	889.79	- 2.79	2.79	0.00
8	899.00	1,250.73	- 0.29	0.72	896.69	2.31	2.31	0.00
9	910.00	1,250.32	- 0.29	0.73	910.77	- 0.77	0.77	0.00
10	900.00	1,248.56	- 0.33	0.73	909.36	- 9.36	9.36	0.01
11	870.00	1,251.51	- 0.25	0.68	850.44	19.56	19.56	0.02
12	865.00	1,251.27	- 0.25	0.69	864.94	0.06	0.06	0.00
13	672.00	1,251.05	- 0.25	0.54	671.89	0.11	0.11	0.00
14	890.00	1,253.30	- 0.19	0.70	874.70	15.30	15.30	0.02
15	980.00	1,249.81	- 0.27	0.80	1,003.13	- 23.13	23.13	0.02
16	604.00	1,246.45	- 0.34	0.49	617.35	- 13.35	13.35	0.02
17	729.00	1,237.97	- 0.54	0.62	773.17	- 44.17	44.17	0.06
18	904.00	1,237.43	- 0.54	0.73	904.00	0.00	0.00	0.00
19	891.00	1,238.72	- 0.49	0.71	879.66	11.34	11.34	0.01
20	885.00	1,237.75	- 0.50	0.72	888.01	- 3.01	3.01	0.00
21	902.00	1,237.38	- 0.50	0.73	901.15	0.85	0.85	0.00
22	900.00	1,236.92	- 0.50	0.73	899.71	0.29	0.29	0.00
23	792.00	1,227.94	- 0.70	0.68	842.57	- 50.57	50.57	0.06
24	847.00	1,227.02	- 0.71	0.69	848.33	- 1.33	1.33	0.00
1	658.62	1,226.31	- 0.71	0.54	658.62	-	-	-
2	857.21	1,225.61	- 0.71	0.70	857.21	-	-	-
3	980.35	1,224.90	- 0.71	0.80	980.35	-	-	-
								0.34
								100.00
								24.00
								4.17
							MAPE	1.42

รูปที่ ก-16 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า midP ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	LineW
data range	24
Season range	12
a	0.150575415
b	0.02606066
g	0.01

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				1.21				
				0.99				
				1.19				
				1.04				
				1.10				
				1.10				
				0.99				
				0.91				
				0.91				
				0.84				
				0.81				
0		728.97	0.00	0.85				
1	810.00	719.93	- 0.23	1.21	882.69	- 72.69	72.69	0.08
2	710.00	719.71	- 0.23	0.99	709.98	0.02	0.02	0.00
3	793.00	711.76	- 0.43	1.19	853.77	- 60.77	60.77	0.07
4	741.00	711.58	- 0.43	1.04	739.27	1.73	1.73	0.00
5	756.00	707.24	- 0.53	1.10	784.73	- 28.73	28.73	0.04
6	782.00	707.11	- 0.52	1.10	779.04	2.96	2.96	0.00
7	699.00	706.78	- 0.51	0.99	697.80	1.20	1.20	0.00
8	642.00	706.26	- 0.51	0.91	642.02	- 0.02	0.02	0.00
9	621.00	701.75	- 0.62	0.91	645.27	- 24.27	24.27	0.04
10	592.00	701.13	- 0.62	0.84	592.01	- 0.01	0.01	0.00
11	574.00	701.90	- 0.58	0.81	566.60	7.40	7.40	0.01
12	540.00	690.93	- 0.85	0.85	598.90	- 58.90	58.90	0.10
13	835.00	690.08	- 0.85	1.21	835.00	0.00	0.00	0.00
14	680.00	689.24	- 0.85	0.99	679.92	0.08	0.08	0.00
15	831.00	690.24	- 0.80	1.19	816.38	14.62	14.62	0.02
16	705.00	687.77	- 0.85	1.04	716.53	- 11.53	11.53	0.02
17	775.00	689.28	- 0.79	1.10	757.75	17.25	17.25	0.02
18	755.00	687.95	- 0.80	1.10	758.98	- 3.98	3.98	0.01
19	631.00	679.89	- 0.99	0.99	678.61	- 47.61	47.61	0.07
20	642.00	683.02	- 0.88	0.91	617.15	24.85	24.85	0.04
21	650.00	686.51	- 0.77	0.91	623.48	26.52	26.52	0.04
22	579.00	685.74	- 0.77	0.84	579.01	- 0.01	0.01	0.00
23	554.00	684.95	- 0.77	0.81	554.08	- 0.08	0.08	0.00
24	584.00	684.23	- 0.77	0.85	583.78	0.22	0.22	0.00
1	826.99	683.46	- 0.77	1.21	826.99	-	-	-
2	673.47	682.69	- 0.77	0.99	673.47	-	-	-
3	808.84	681.93	- 0.77	1.19	808.84	-	-	-
								0.48
								100.00
								24.00
								4.17
							MAPE	2.00

รูปที่ ก-17 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า LineW ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	LineT
data range	24
Season range	12
a	0.154079238
b	0.040368663
g	0.01

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				1.07				
				1.15				
				1.09				
				0.85				
				0.82				
				0.93				
				0.92				
				1.07				
				1.06				
				1.11				
				1.04				
0		9,040.47	13.15	1.08				
1	10,001.00	9,094.52	14.81	1.07	9,716.18	284.82	284.82	0.03
2	10,800.00	9,149.77	16.44	1.15	10,497.46	302.54	302.54	0.03
3	9,990.00	9,166.16	16.44	1.09	9,990.39	- 0.39	0.39	0.00
4	7,800.00	9,182.59	16.44	0.85	7,800.01	- 0.01	0.01	0.00
5	7,770.00	9,250.59	18.52	0.82	7,497.28	272.72	272.72	0.04
6	8,795.00	9,304.47	19.95	0.93	8,582.47	212.53	212.53	0.02
7	8,570.00	9,324.41	19.95	0.92	8,570.00	0.00	0.00	0.00
8	9,990.00	9,343.63	19.92	1.07	9,995.09	- 5.09	5.09	0.00
9	9,950.00	9,363.54	19.92	1.06	9,950.03	- 0.03	0.03	0.00
10	9,100.00	9,204.13	12.68	1.11	10,388.53	-1,288.53	1,288.53	0.12
11	9,900.00	9,261.60	14.48	1.04	9,597.28	302.72	302.72	0.03
12	9,500.00	9,201.83	11.49	1.08	10,020.56	- 520.56	520.56	0.05
13	9,890.00	9,213.32	11.49	1.07	9,890.00	0.00	0.00	0.00
14	10,632.00	9,224.66	11.48	1.15	10,633.13	- 1.13	1.13	0.00
15	10,909.00	9,355.23	16.29	1.09	10,066.60	842.40	842.40	0.08
16	7,965.00	9,372.33	16.32	0.85	7,960.49	4.51	4.51	0.00
17	7,654.00	9,388.62	16.32	0.82	7,654.17	- 0.17	0.17	0.00
18	8,710.00	9,404.93	16.32	0.93	8,710.07	- 0.07	0.07	0.00
19	8,659.00	9,421.25	16.32	0.92	8,659.00	- 0.00	0.00	0.00
20	11,004.00	9,568.55	21.61	1.07	10,094.75	909.25	909.25	0.09
21	10,404.00	9,621.06	22.86	1.06	10,190.83	213.17	213.17	0.02
22	11,126.00	9,708.08	25.45	1.11	10,665.48	460.52	460.52	0.04
23	10,138.00	9,733.52	25.44	1.04	10,138.03	- 0.03	0.03	0.00
24	11,358.00	9,876.04	30.17	1.08	10,537.53	820.47	820.47	0.08
1	10,633.78	9,906.21	30.17	1.07	10,633.78	-	-	-
2	11,453.33	9,936.39	30.17	1.15	11,453.33	-	-	-
3	10,870.28	9,966.56	30.17	1.09	10,870.28	-	-	-
								0.61
								100.00
								24.00
								4.17
							MAPE	2.56

รูปที่ ก-18 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า LineT ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	LineB
data range	24
Season range	12
a	0.612315331
b	0.010000023
g	0.01

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				0.98				
				0.49				
				0.38				
				0.53				
				0.56				
				1.28				
				1.46				
				1.37				
				1.29				
				0.83				
				1.74				
0		1,586.02	49.23	1.49				
1	895.00	1,193.36	44.81	0.98	1,602.02	- 707.02	707.02	0.44
2	610.00	1,238.16	44.81	0.49	610.00	- 0.00	0.00	0.00
3	490.00	1,283.03	44.81	0.38	489.97	0.03	0.03	0.00
4	550.00	1,147.46	43.01	0.53	706.81	- 156.81	156.81	0.22
5	672.00	1,191.33	43.02	0.56	671.21	0.79	0.79	0.00
6	1,170.00	1,038.87	41.06	1.28	1,578.15	- 408.15	408.15	0.26
7	1,272.00	950.39	39.77	1.46	1,581.92	- 309.92	309.92	0.20
8	1,360.00	989.69	39.76	1.37	1,361.05	- 1.05	1.05	0.00
9	1,326.00	1,029.59	39.77	1.29	1,325.71	0.29	0.29	0.00
10	892.00	1,069.41	39.77	0.83	891.94	0.06	0.06	0.00
11	1,342.00	903.49	37.71	1.73	1,924.99	- 582.99	582.99	0.30
12	1,400.00	941.44	37.71	1.49	1,399.41	0.59	0.59	0.00
13	957.00	979.15	37.71	0.98	957.00	0.00	0.00	0.00
14	501.00	1,016.90	37.71	0.49	500.97	0.03	0.03	0.00
15	310.00	905.89	36.23	0.38	402.76	- 92.76	92.76	0.23
16	501.00	942.12	36.23	0.53	500.99	0.01	0.01	0.00
17	524.00	948.36	35.93	0.56	551.61	- 27.61	27.61	0.05
18	1,257.00	984.31	35.93	1.28	1,256.94	0.06	0.06	0.00
19	1,495.00	1,021.00	35.93	1.46	1,493.18	1.82	1.82	0.00
20	1,457.00	1,058.79	35.95	1.37	1,452.83	4.17	4.17	0.00
21	1,257.00	1,022.10	35.23	1.29	1,409.78	- 152.78	152.78	0.11
22	701.00	924.52	33.90	0.83	881.90	- 180.90	180.90	0.21
23	1,661.00	958.43	33.90	1.73	1,660.96	0.04	0.04	0.00
24	1,316.00	926.67	33.24	1.49	1,475.44	- 159.44	159.44	0.11
1	938.20	959.91	33.24	0.98	938.20	-	-	-
2	489.29	993.15	33.24	0.49	489.29	-	-	-
3	391.57	1,026.39	33.24	0.38	391.57	-	-	-
								1.69
								100.00
								24.00
								4.17
							MAPE	7.03

รูปที่ ก-19 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า LineB ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	midA
data range	24
Season range	12
a	0.131678026
b	0.024419821
g	0.01

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				0.53				
				0.61				
				0.97				
				2.14				
				3.05				
				1.62				
				1.09				
				0.67				
				0.38				
				0.61				
				0.75				
0		975.03	0.00	0.32				
1	542.00	980.77	0.14	0.53	518.84	23.16	23.16	0.04
2	601.00	980.89	0.14	0.61	601.10	- 0.10	0.10	0.00
3	950.00	980.37	0.13	0.97	954.89	- 4.89	4.89	0.01
4	2,100.00	980.37	0.12	2.14	2,102.14	- 2.14	2.14	0.00
5	3,000.00	980.75	0.13	3.05	2,994.12	5.88	5.88	0.00
6	1,349.00	961.37	- 0.35	1.62	1,588.99	- 239.99	239.99	0.15
7	1,145.00	973.19	- 0.05	1.09	1,044.58	100.42	100.42	0.10
8	700.00	982.48	0.18	0.67	652.44	47.56	47.56	0.07
9	410.00	995.35	0.49	0.38	373.40	36.60	36.60	0.10
10	650.00	1,005.28	0.72	0.61	606.31	43.69	43.69	0.07
11	750.00	1,005.50	0.71	0.75	752.87	- 2.87	2.87	0.00
12	326.00	1,006.22	0.71	0.32	325.96	0.04	0.04	0.00
13	536.00	1,006.93	0.71	0.53	536.02	- 0.02	0.02	0.00
14	620.00	1,008.18	0.72	0.61	617.47	2.53	2.53	0.00
15	983.00	1,009.04	0.72	0.97	981.97	1.03	1.03	0.00
16	2,287.00	1,017.26	0.91	2.14	2,164.86	122.14	122.14	0.06
17	3,088.00	1,017.26	0.89	3.05	3,109.23	- 21.23	21.23	0.01
18	1,676.00	1,020.49	0.94	1.62	1,647.15	28.85	28.85	0.02
19	1,111.00	1,021.41	0.94	1.09	1,111.15	- 0.15	0.15	0.00
20	686.00	1,022.38	0.94	0.67	685.86	0.14	0.14	0.00
21	376.00	1,018.76	0.83	0.38	389.18	- 13.18	13.18	0.03
22	621.00	1,019.56	0.83	0.61	621.16	- 0.16	0.16	0.00
23	775.00	1,022.39	0.88	0.75	763.61	11.39	11.39	0.01
24	216.00	976.33	- 0.27	0.32	331.49	- 115.49	115.49	0.35
1	519.58	976.06	- 0.27	0.53	519.58	-	-	-
2	597.98	975.80	- 0.27	0.61	597.98	-	-	-
3	949.50	975.53	- 0.27	0.97	949.50	-	-	-
								0.99
								100.00
								24.00
								4.17
							MAPE	4.11

รูปที่ ก-20 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า midA ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	LineA
data range	24
Season range	12
a	0.713925348
b	0.01
g	0.988411704

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				0.87				
				0.90				
				0.93				
				1.04				
				0.93				
				1.01				
				1.03				
				1.00				
				0.97				
				1.02				
				0.99				
0		6,633.32	98.76	1.17				
1	6,120.00	6,963.29	101.07	0.88	5,839.10	280.90	280.90	0.05
2	6,260.00	6,978.02	100.21	0.90	6,369.02	- 109.02	109.02	0.02
3	6,090.00	6,708.65	96.51	0.91	6,570.55	- 480.55	480.55	0.07
4	7,100.00	6,805.17	96.51	1.04	7,099.99	0.01	0.01	0.00
5	6,400.00	6,901.68	96.51	0.93	6,400.00	0.00	0.00	0.00
6	6,973.00	6,907.31	95.60	1.01	7,102.19	- 129.19	129.19	0.02
7	6,990.00	6,832.66	93.90	1.02	7,236.43	- 246.43	246.43	0.03
8	6,900.00	6,926.40	93.90	1.00	6,900.22	- 0.22	0.22	0.00
9	6,780.00	7,020.29	93.90	0.97	6,780.00	0.00	0.00	0.00
10	6,950.00	6,894.39	91.70	1.01	7,264.38	- 314.38	314.38	0.04
11	6,432.00	6,651.13	88.35	0.97	6,895.06	- 463.06	463.06	0.07
12	7,900.00	6,739.48	88.35	1.17	7,900.00	0.00	0.00	0.00
13	6,000.00	6,827.80	88.35	0.88	6,000.04	- 0.04	0.04	0.00
14	6,205.00	6,916.27	88.35	0.90	6,204.85	0.15	0.15	0.00
15	6,397.00	7,033.44	88.64	0.91	6,360.34	36.66	36.66	0.01
16	7,010.00	6,834.24	85.76	1.03	7,430.65	- 420.65	420.65	0.06
17	6,177.00	6,735.24	83.91	0.92	6,416.99	- 239.99	239.99	0.04
18	6,887.00	6,820.97	83.93	1.01	6,884.43	2.57	2.57	0.00
19	7,065.00	6,905.09	83.93	1.02	7,064.74	0.26	0.26	0.00
20	6,979.00	7,000.93	84.05	1.00	6,962.39	16.61	16.61	0.00
21	6,808.00	7,059.50	83.80	0.96	6,842.47	- 34.47	34.47	0.01
22	7,202.00	7,143.30	83.80	1.01	7,202.00	0.00	0.00	0.00
23	7,026.00	7,253.18	84.06	0.97	6,990.66	35.34	35.34	0.01
24	8,223.00	7,107.21	81.76	1.16	8,600.69	- 377.69	377.69	0.04
1	6,317.38	7,188.97	81.76	0.88	6,317.38	-	-	-
2	6,523.00	7,270.73	81.76	0.90	6,523.00	-	-	-
3	6,687.05	7,352.49	81.76	0.91	6,687.05	-	-	-
								0.41
								100.00
								24.00
								4.17
							MAPE	1.71

รูปที่ ก-21 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า LineA ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	LineE
data range	24
Season range	12
a	0.01
b	0.010013654
g	0.01

month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				0.59				
				0.32				
				0.27				
				0.38				
				0.28				
				1.60				
				1.50				
				1.45				
				0.25				
				0.74				
				0.73				
0		419.81	24.05	0.67				
1	493.00	447.83	24.09	0.59	260.00	233.00	233.00	0.90
2	112.00	470.67	24.08	0.32	152.27	- 40.27	40.27	0.26
3	134.00	494.75	24.08	0.27	134.00	0.00	0.00	0.00
4	134.00	517.20	24.06	0.37	195.05	- 61.05	61.05	0.31
5	126.00	540.35	24.05	0.28	151.40	- 25.40	25.40	0.17
6	902.00	564.40	24.05	1.60	902.00	0.00	0.00	0.00
7	883.00	588.45	24.05	1.50	883.00	0.00	0.00	0.00
8	889.00	612.50	24.05	1.45	889.00	0.00	0.00	0.00
9	145.00	635.88	24.04	0.25	162.05	- 17.05	17.05	0.11
10	418.00	658.95	24.03	0.74	490.65	- 72.65	72.65	0.15
11	497.00	682.98	24.03	0.73	497.00	0.00	0.00	0.00
12	475.00	707.02	24.03	0.67	475.00	0.00	0.00	0.00
13	432.00	731.05	24.03	0.59	432.00	- 0.00	0.00	0.00
14	243.00	755.08	24.03	0.32	243.00	0.00	0.00	0.00
15	211.00	779.12	24.03	0.27	211.02	- 0.02	0.02	0.00
16	301.00	803.15	24.03	0.37	301.00	0.00	0.00	0.00
17	231.00	827.19	24.03	0.28	231.00	0.00	0.00	0.00
18	984.00	848.86	24.01	1.59	1,360.38	- 376.38	376.38	0.28
19	964.00	870.57	23.99	1.50	1,309.79	- 345.79	345.79	0.26
20	966.00	892.27	23.96	1.45	1,298.38	- 332.38	332.38	0.26
21	233.00	916.23	23.96	0.25	233.00	0.00	0.00	0.00
22	698.00	940.20	23.96	0.74	698.00	0.00	0.00	0.00
23	621.00	963.05	23.95	0.73	701.61	- 80.61	80.61	0.11
24	615.00	986.29	23.95	0.67	663.11	- 48.11	48.11	0.07
1	596.98	1,010.24	23.95	0.59	596.98	-	-	-
2	332.82	1,034.18	23.95	0.32	332.82	-	-	-
3	286.59	1,058.13	23.95	0.27	286.59	-	-	-
								1.98
								100.00
								24.00
								4.17
							MAPE	8.26

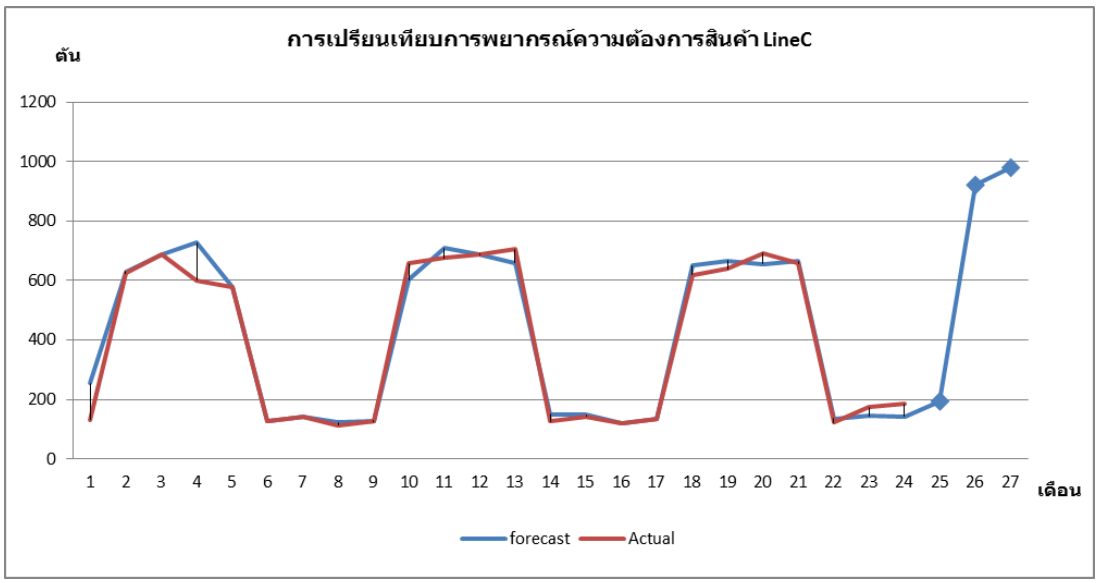
รูปที่ ก-22 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า LineE ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Demand	midT
data range	24
Season range	12
a	0.336736939
b	0.027871836
g	0.01

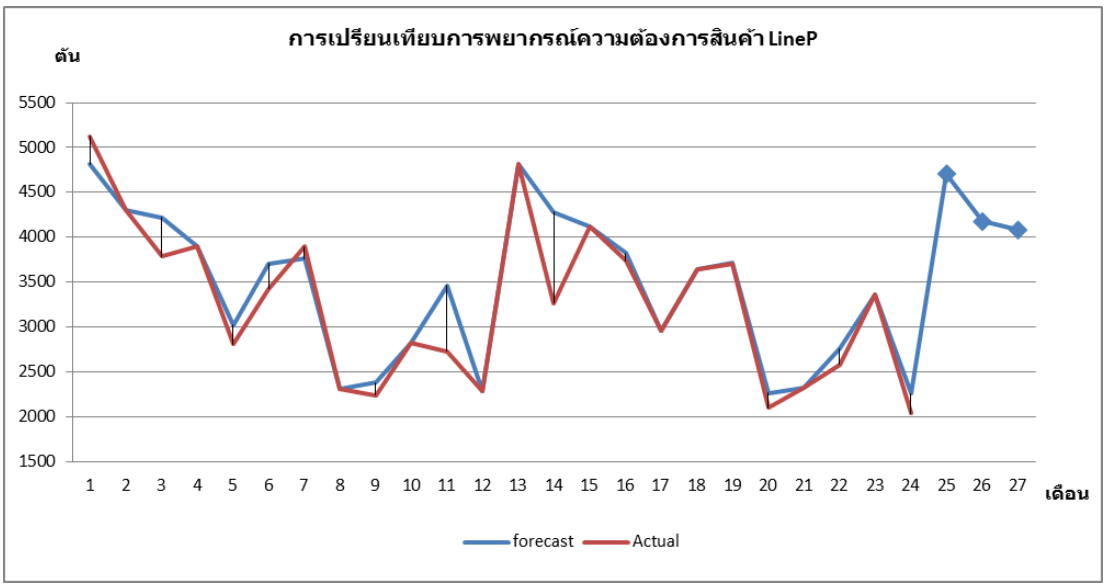
month	Actual	level	Trend	season idx	forecast	difference	absolute difference	
				0.71				
				0.70				
				1.03				
				0.98				
				1.26				
				0.65				
				0.65				
				0.68				
				0.79				
				0.83				
				0.83				
0		3,757.89	0.00	0.80				
1	2,694.00	3,766.96	0.26	0.71	2,674.82	19.18	19.18	0.01
2	2,652.00	3,767.05	0.25	0.70	2,652.37	- 0.37	0.37	0.00
3	3,405.00	3,611.59	- 4.09	1.03	3,881.41	- 476.41	476.41	0.12
4	3,810.00	3,698.49	- 1.55	0.98	3,544.51	265.49	265.49	0.07
5	4,950.00	3,773.95	0.59	1.26	4,661.63	288.37	288.37	0.06
6	2,710.00	3,896.89	4.00	0.66	2,472.04	237.96	237.96	0.10
7	2,610.00	3,945.73	5.25	0.65	2,523.87	86.13	86.13	0.03
8	2,700.00	3,950.71	5.25	0.68	2,700.54	- 0.54	0.54	0.00
9	3,029.00	3,922.76	4.32	0.79	3,106.43	- 77.43	77.43	0.02
10	3,293.00	3,946.03	4.85	0.83	3,246.47	46.53	46.53	0.01
11	3,007.00	3,838.36	1.71	0.83	3,284.82	- 277.82	277.82	0.08
12	3,061.00	3,834.00	1.54	0.80	3,075.44	- 14.44	14.44	0.00
13	2,729.00	3,834.97	1.53	0.71	2,730.23	- 1.23	1.23	0.00
14	2,704.00	3,837.86	1.57	0.70	2,701.14	2.86	2.86	0.00
15	4,387.00	3,981.61	5.53	1.03	3,952.37	434.63	434.63	0.11
16	3,918.00	3,986.65	5.52	0.98	3,919.41	- 1.41	1.41	0.00
17	5,035.00	3,991.92	5.51	1.26	5,035.92	- 0.92	0.92	0.00
18	2,589.00	3,981.69	5.07	0.66	2,619.63	- 30.63	30.63	0.01
19	2,580.00	3,986.76	5.07	0.65	2,580.00	- 0.00	0.00	0.00
20	2,749.00	4,001.95	5.35	0.68	2,728.46	20.54	20.54	0.01
21	3,267.00	4,059.10	6.80	0.79	3,146.22	120.78	120.78	0.04
22	3,309.00	4,044.50	6.20	0.83	3,361.55	- 52.55	52.55	0.02
23	3,589.00	4,141.12	8.72	0.83	3,365.87	223.13	223.13	0.07
24	3,386.00	4,176.15	9.45	0.80	3,323.42	62.58	62.58	0.02
1	2,979.40	4,185.61	9.45	0.71	2,979.40	-	-	-
2	2,953.61	4,195.06	9.45	0.70	2,953.61	-	-	-
3	4,331.23	4,204.51	9.45	1.03	4,331.23	-	-	-
							total	0.79
								100.00
							n	24.00
							n/100	4.17
							MAPE	3.29

รูปที่ ก-23 ผลการพยากรณ์ความต้องการของสินค้า midT ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

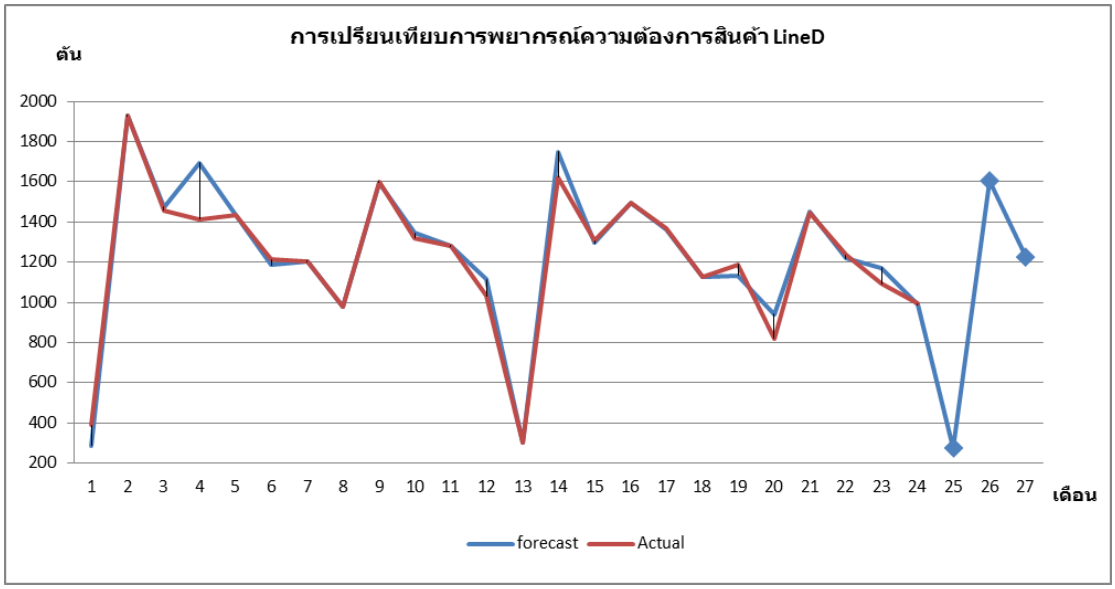
1.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ข้อมูลความต้องการสินค้า



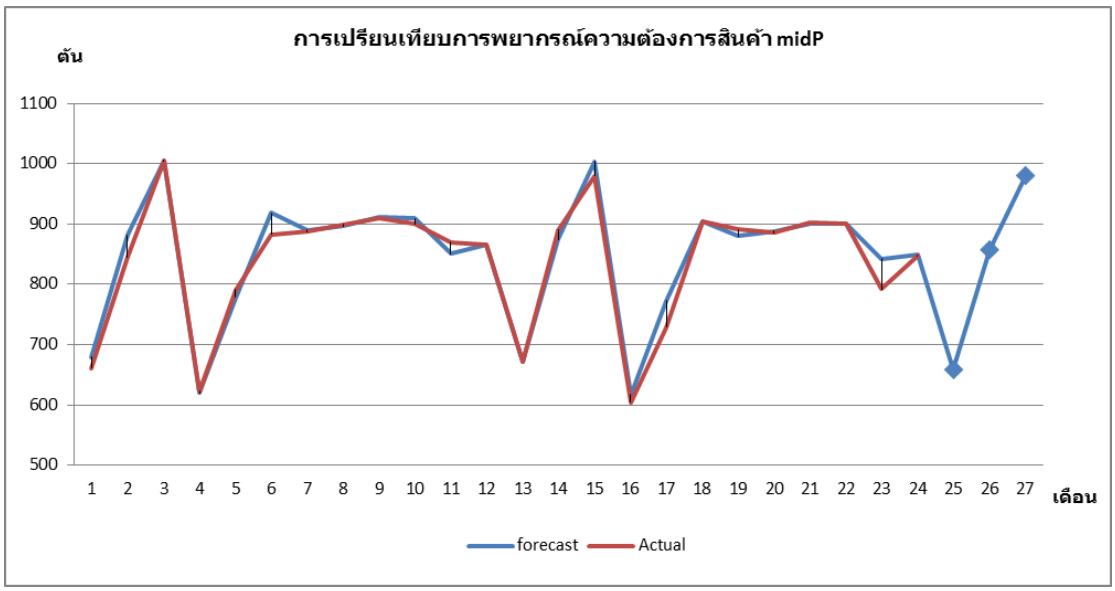
รูปที่ ก-24 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า LineC ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel



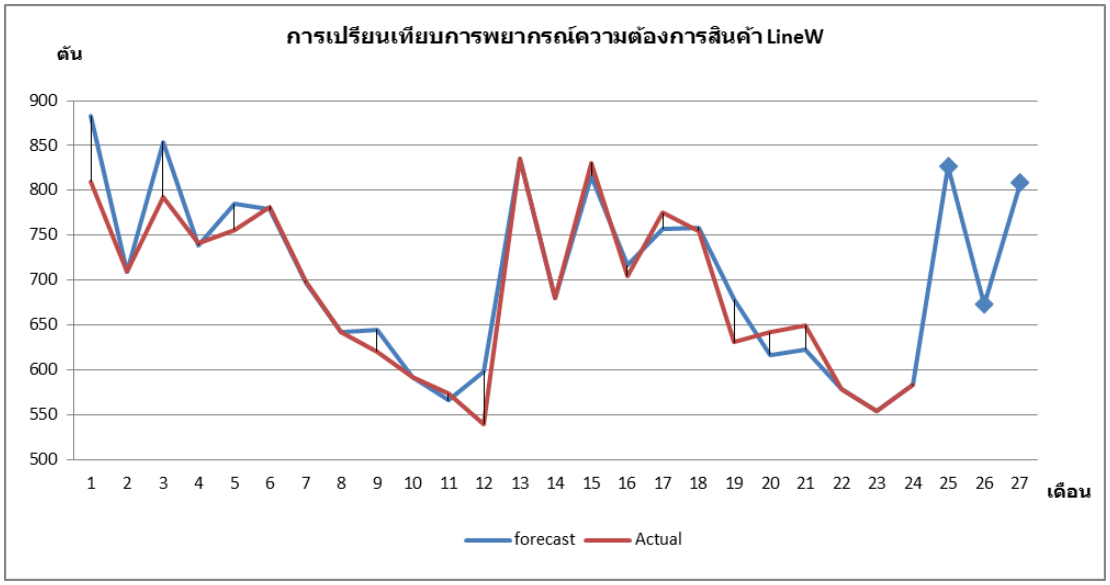
รูปที่ ก-25 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า LineP ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel



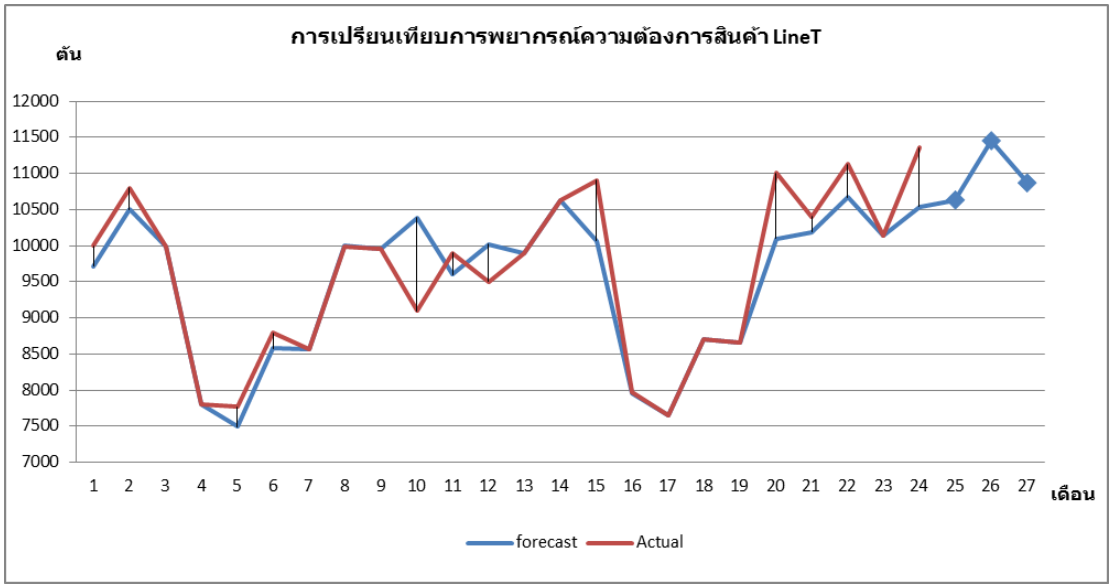
รูปที่ ก-26 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า LineD ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel



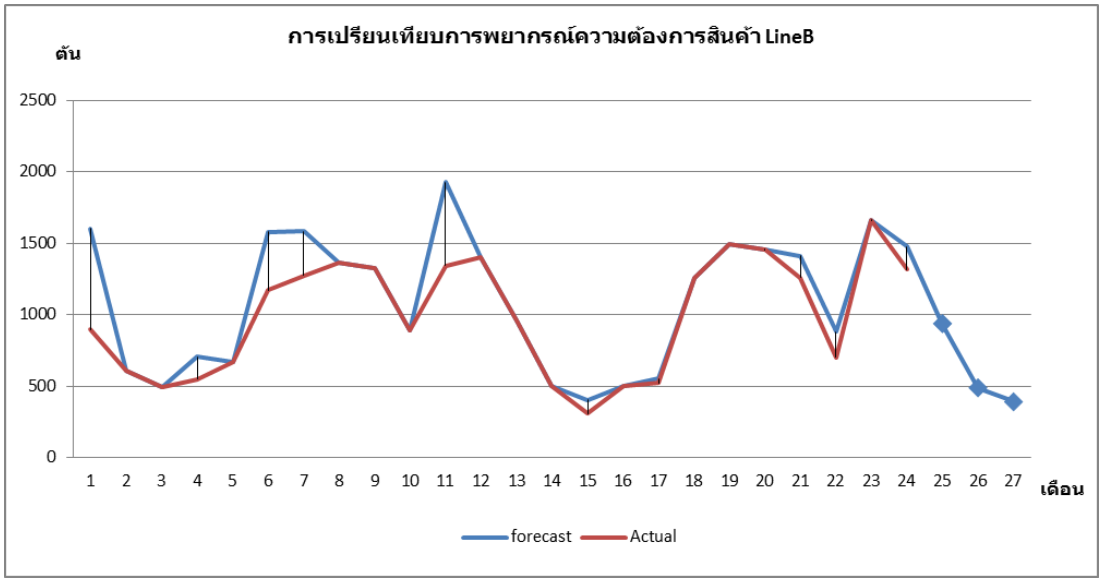
รูปที่ ก-27 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า midP ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel



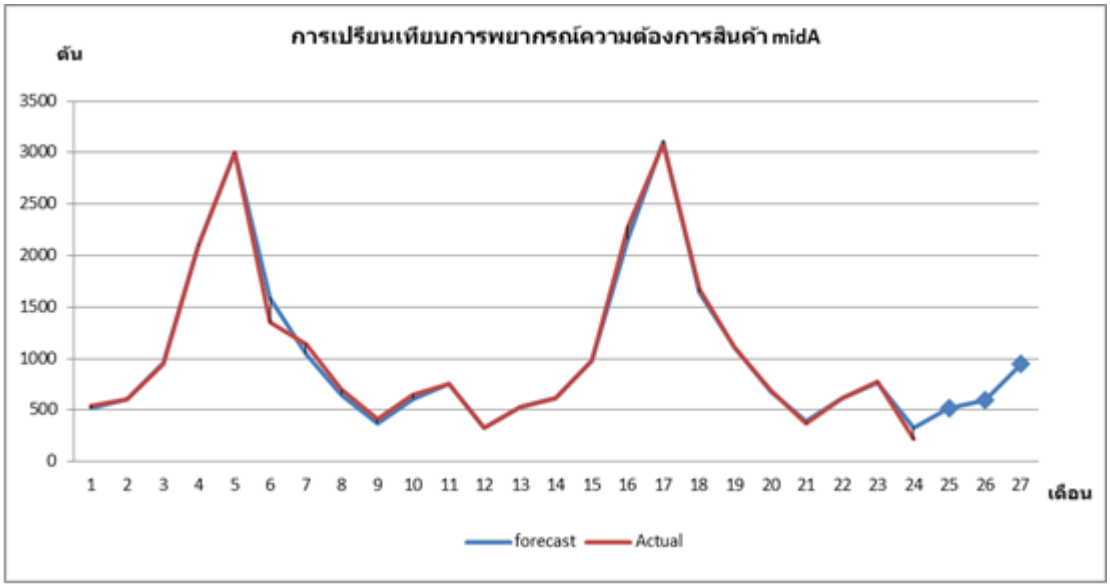
รูปที่ ก-28 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า LineW ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel



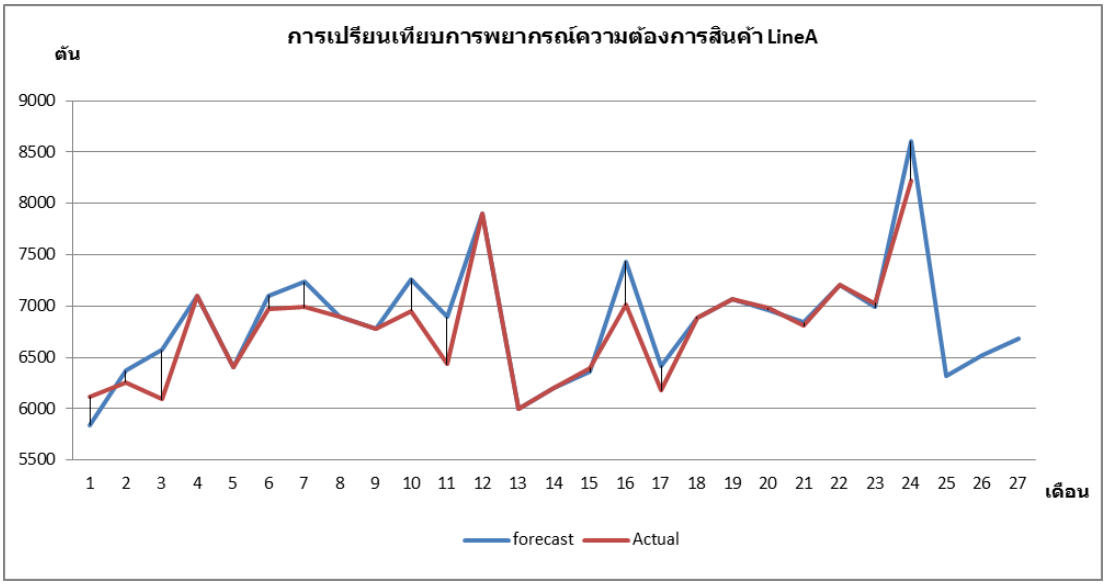
รูปที่ ก-29 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า LineT ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel



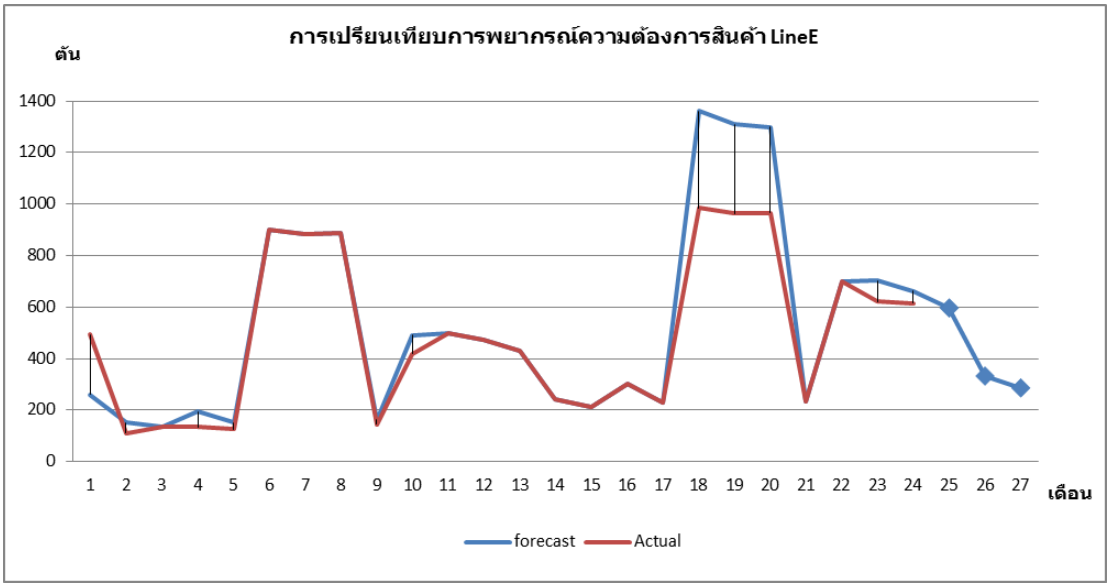
รูปที่ ก-30 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า LineB ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel



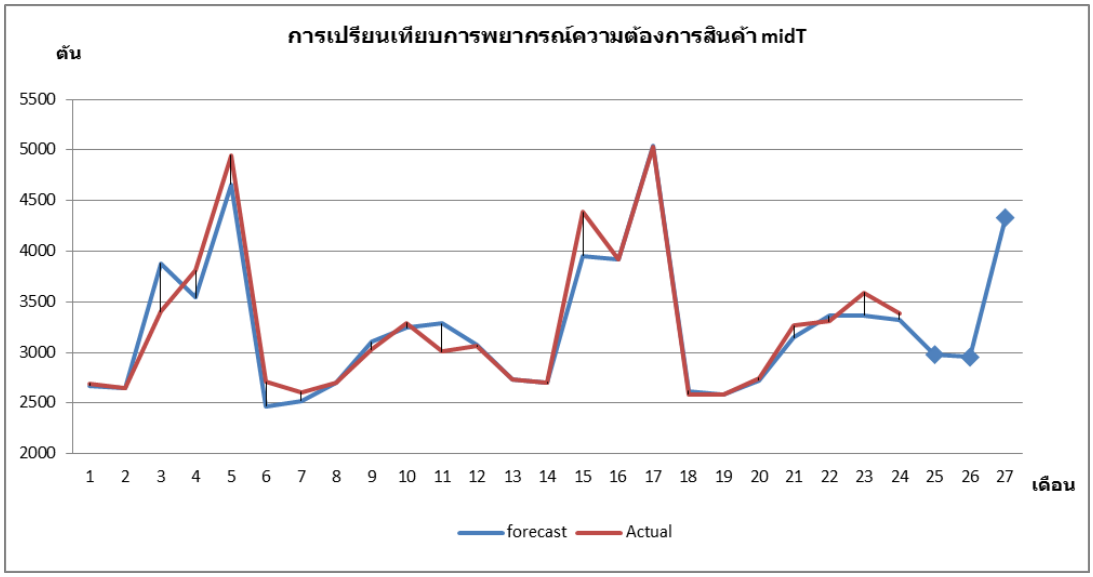
รูปที่ ก-31 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า midA ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel



รูปที่ ก-32 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า LineA ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

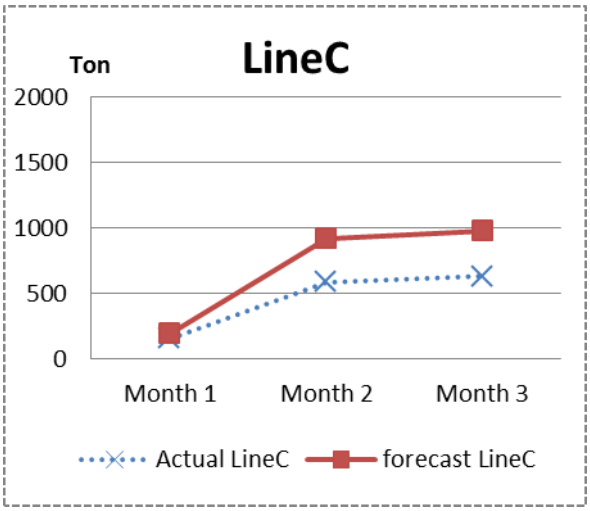


รูปที่ ก-33 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า LineE ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

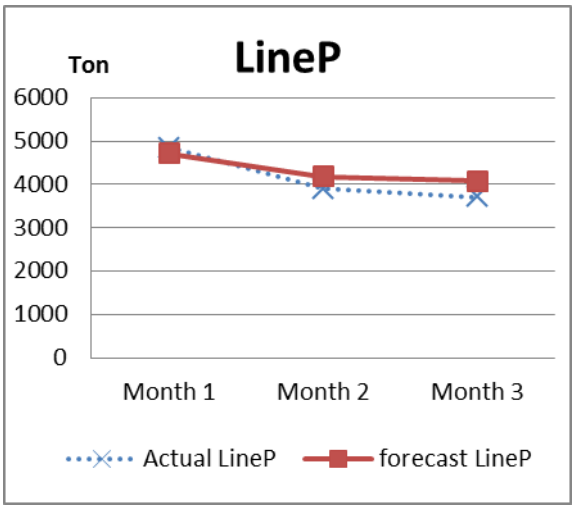


รูปที่ ก-34 การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ของความต้องการสินค้า midT ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

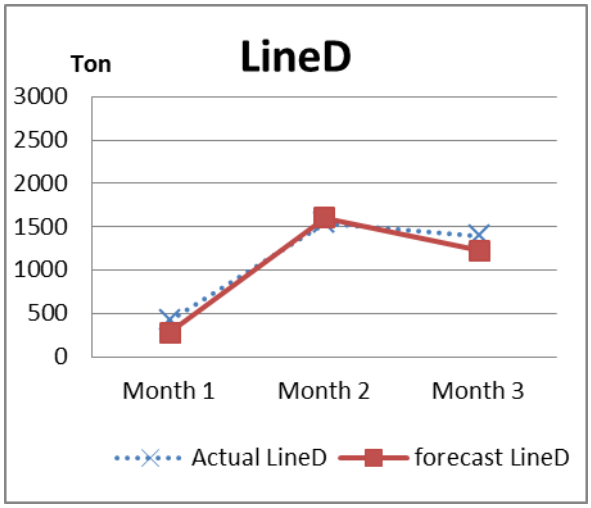
1.4 การเปรียบเทียบค่าจากการพยากรณ์กับค่าความต้องการสินค้าจริง



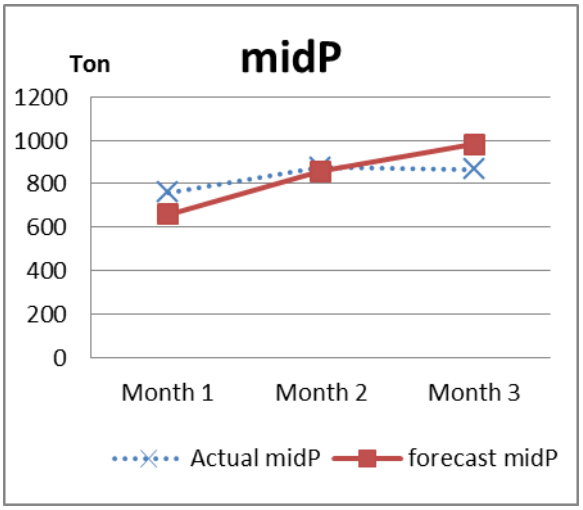
รูปที่ ก-35 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า LineC แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



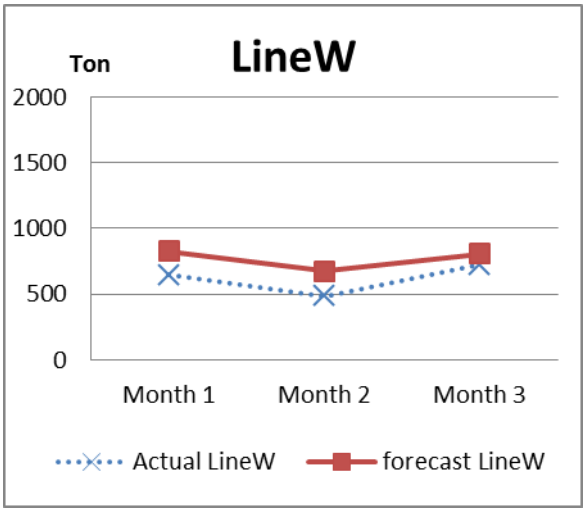
รูปที่ ก-36 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า LineP แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



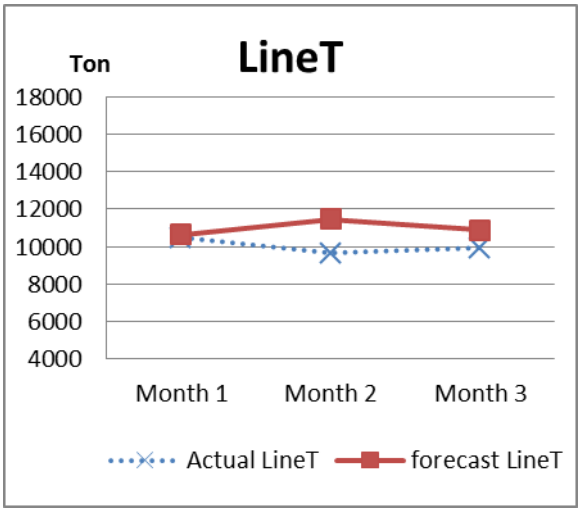
รูปที่ ก-37 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า LineD แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



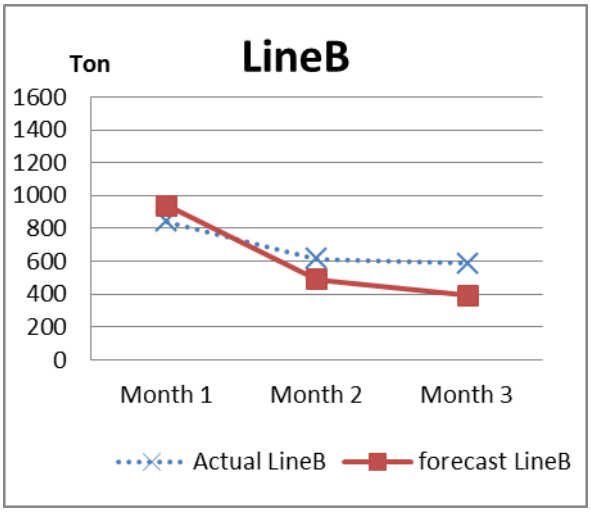
รูปที่ ก-38 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า midP แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



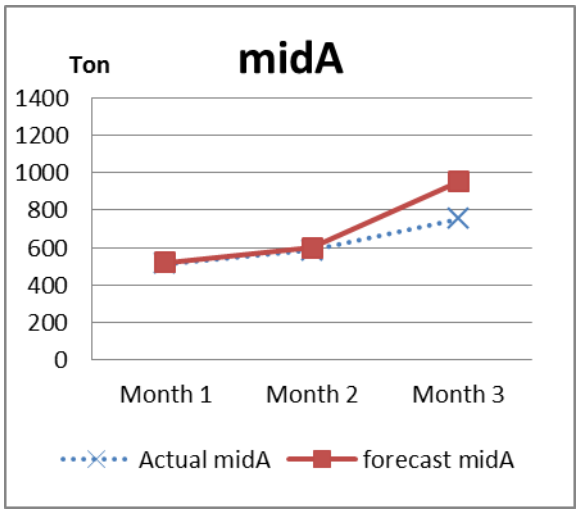
รูปที่ ก-39 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า LineW แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



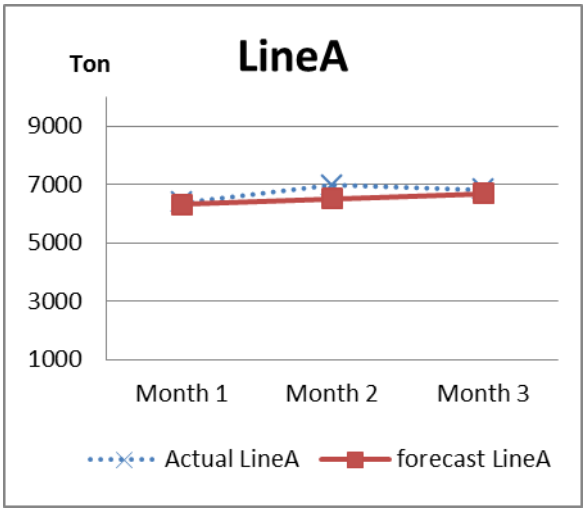
รูปที่ ก-40 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า LineT แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



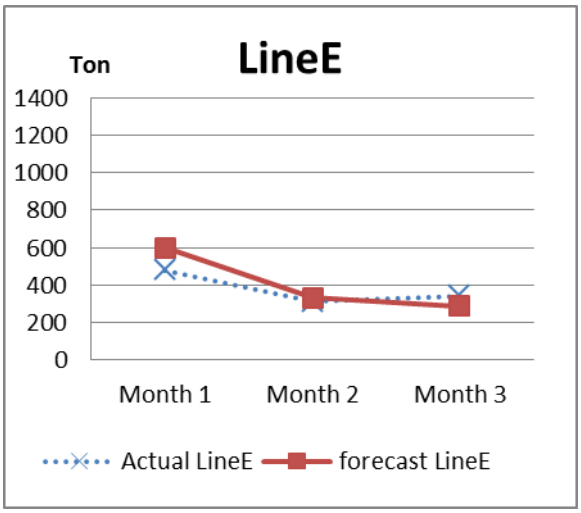
รูปที่ ก-41 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า LineB แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



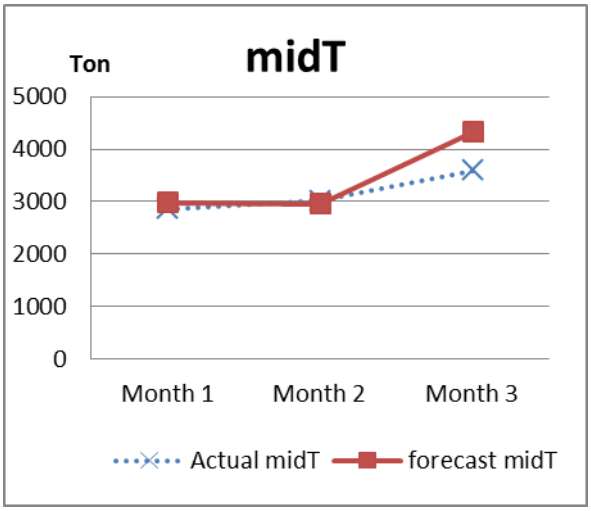
รูปที่ ก-42 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า midA แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



รูปที่ ก-43 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า LineA แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



รูปที่ ก-44 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า LineE แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน

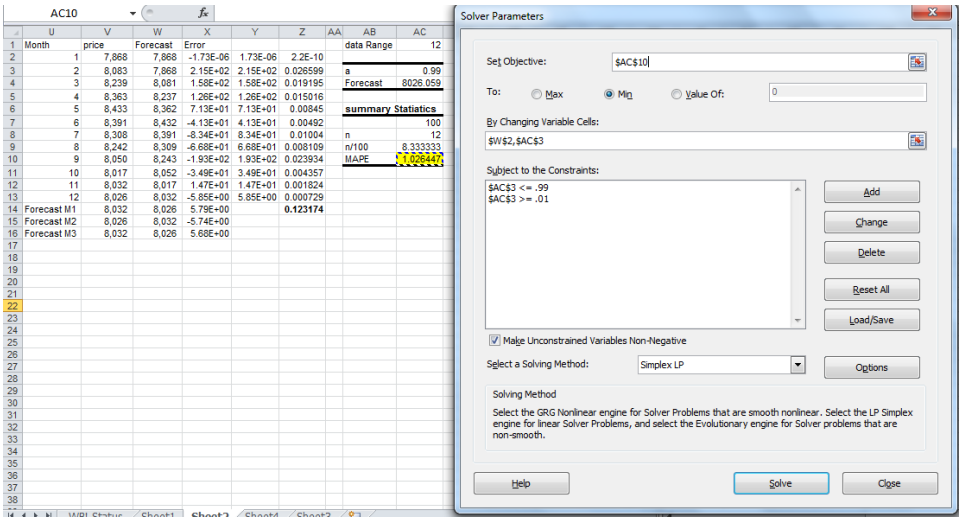


รูปที่ ก-45 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการสินค้า midT แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์กับความต้องการสินค้าจริง ในระยะเวลา 3 เดือน

2. ราคาวัตถุดิบเส้นใย

2.1 ผลการคำนวณการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใยด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

การคำนวณค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ที่ใช้ในการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใยด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลโดยใช้โปรแกรม solver ใน Excel ที่กำหนดค่าคงที่ α เท่ากับ 0.10 ถึง 0.99 มาใช้ในการคำนวณค่า MPAE ที่มีค่าน้อยที่สุด ดังนี้



รูปที่ ก-46 การคำนวณค่าการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใยด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลในช่วงระยะเวลา 3 เดือนด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Aocc	Month	price	Forecast	Error	absolute	
	1	9,101	9,101	0.00	0.00	0.000
	2	9,225	9,101	124.00	124.00	0.013
	3	9,770	9,199	570.70	570.70	0.058
	4	9,473	9,652	-178.70	178.70	0.019
	5	9,531	9,510	20.96	20.96	0.002
	6	9,325	9,527	-201.66	201.66	0.022
	7	9,390	9,367	23.20	23.20	0.002
	8	9,221	9,385	-164.19	164.19	0.018
	9	8,990	9,255	-265.04	265.04	0.029
	10	8,977	9,045	-67.94	67.94	0.008
	11	8,932	8,991	-59.08	59.08	0.007
	12	8,866	8,944	-78.25	78.25	0.009
	Forecast M1	8,944	8,882	62.03		**0.187**
	Forecast M2	8,882	8,931	-49.17		
	Forecast M3	8,931	8,892	38.98		

Price	Aocc
data Range	12
a	0.792708
Forecast	8882.22
summary Statiatics	
	100
n	12
n/100	8.333333
MAPE	1.560918

รูปที่ ก-47 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย AOCC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Ruocc	Month	price	Forecast	Error		
	1	7,868	7,868	0.00	0.00	0.000
	2	8,083	7,868	215.00	215.00	0.027
	3	8,239	8,081	158.15	158.15	0.019
	4	8,363	8,237	125.58	125.58	0.015
	5	8,433	8,362	71.26	71.26	0.008
	6	8,391	8,432	-41.29	41.29	0.005
	7	8,308	8,391	-83.41	83.41	0.010
	8	8,242	8,309	-66.83	66.83	0.008
	9	8,050	8,243	-192.67	192.67	0.024
	10	8,017	8,052	-34.93	34.93	0.004
	11	8,032	8,017	14.65	14.65	0.002
	12	8,026	8,032	-5.85	5.85	0.001
	Forecast M1	8,032	8,026	5.79		**0.123**
	Forecast M2	8,026	8,032	-5.74		
	Forecast M3	8,032	8,026	5.68		

data Range	12
a	0.99
Forecast	8026.059
summary Statiatics	
	100
n	12
n/100	8.333333
MAPE	1.026447

รูปที่ ก-48 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย ROCC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

SF-OCC	Month	price	Forecast	Error		
	1	7,789	7,789	0.00	0.00	0.000
	2	8,002	7,789	212.85	212.85	0.027
	3	8,074	8,000	74.18	74.18	0.009
	4	8,279	8,073	205.89	205.89	0.025
	5	8,526	8,277	248.45	248.45	0.029
	6	8,763	8,523	239.72	239.72	0.027
	7	8,652	8,761	-108.60	108.60	0.013
	8	8,371	8,653	-282.09	282.09	0.034
	9	7,889	8,374	-484.82	484.82	0.061
	10	8,074	7,894	180.15	180.15	0.022
	11	8,412	8,072	339.80	339.80	0.040
	12	8,245	8,409	-163.60	163.60	0.020
	Forecast M1	8,409	8,247	161.97		**0.307**
	Forecast M2	8,247	8,407	-160.35		
	Forecast M3	8,407	8,248	158.74		

data Range	12
a	0.99
Forecast	8246.636
summary Statiatics	
	100
n	12
n/100	8.333333
MAPE	2.561727

รูปที่ ก-49 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย SF-OCC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

LOCC	Month	price	Forecast	Error			data Range	12
	1	8,019	8,019	0.00	0.00	0.000		
	2	8,314	8,019	295.00	295.00	0.035	a	0.885628
	3	8,364	8,280	83.74	83.74	0.010	Forecast	8805
	4	7,794	8,354	-560.42	560.42	0.072		
	5	7,302	7,858	-556.10	556.10	0.076	**summary Statiatics**	
	6	7,442	7,366	76.40	76.40	0.010		100
	7	7,131	7,433	-302.26	302.26	0.042	n	12
	8	6,933	7,166	-232.57	232.57	0.034	n/100	8.333333
	9	7,136	6,960	176.40	176.40	0.025	MAPE	4.386206
	10	7,563	7,116	447.18	447.18	0.059		
	11	8,972	7,512	1,460.14	1,460.14	0.163		
	12	8,805	8,805	0.00	0.00	0.000		
	Forecast M1	8,805	8,805	0.00		**0.526**		
	Forecast M2	8,805	8,805	0.00				
	Forecast M3	8,805	8,805	0.00				

รูปที่ ก-50 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย LOCC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

PULP SUB	Month	price	Forecast	Error			data Range	12
	1	13,900	13,901	-1.00	1.00	0.000		
	2	14,050	13,900	149.99	149.99	0.011	a	0.99
	3	14,220	14,049	171.50	171.50	0.012	Forecast	18816.79
	4	14,313	14,218	94.71	94.71	0.007		
	5	14,300	14,312	-12.05	12.05	0.001	**summary Statiatics**	
	6	14,450	14,300	149.88	149.88	0.010		100
	7	14,795	14,449	346.50	346.50	0.023	n	12
	8	14,837	14,792	45.46	45.46	0.003	n/100	8.333333
	9	16,574	14,837	1,737.45	1,737.45	0.105	MAPE	2.596377
	10	18,922	16,557	2,365.37	2,365.37	0.125		
	11	18,995	18,898	96.65	96.65	0.005		
	12	18,815	18,994	-179.03	179.03	0.010		
	Forecast M1	18,994	18,817	177.24		**0.312**		
	Forecast M2	18,817	18,992	-175.47				
	Forecast M3	18,992	18,819	173.72				

รูปที่ ก-51 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย PULP SUB ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

JOCC	Month	price	Forecast	Error			data Range	12
	1	7,677	7,677	0.00	0.00	0.000		
	2	7,693	7,677	16.00	16.00	0.002	a	0.99
	3	7,707	7,693	14.16	14.16	0.002	Forecast	7511.054
	4	7,743	7,707	36.14	36.14	0.005		
	5	7,784	7,743	41.36	41.36	0.005	**summary Statiatics**	
	6	7,894	7,784	110.41	110.41	0.014		100
	7	7,707	7,893	-185.90	185.90	0.024	n	12
	8	7,635	7,709	-73.86	73.86	0.010	n/100	8.333333
	9	7,848	7,636	212.26	212.26	0.027	MAPE	1.335666
	10	7,951	7,846	105.12	105.12	0.013		
	11	7,812	7,950	-137.95	137.95	0.018		
	12	7,508	7,813	-305.38	305.38	0.041		
	Forecast M1	7,813	7,511	302.33		**0.160**		
	Forecast M2	7,511	7,810	-299.30				
	Forecast M3	7,810	7,514	296.31				

รูปที่ ก-52 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย JOCC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

UKOCC	Month	price	Forecast	Error		
	1	7,861	7,677	184.25	184.25	0.023
	2	7,848	7,794	54.46	54.46	0.007
	3	7,892	7,828	63.98	63.98	0.008
	4	7,797	7,868	-71.26	71.26	0.009
	5	7,815	7,823	-8.25	8.25	0.001
	6	7,786	7,818	-32.17	32.17	0.004
	7	7,536	7,798	-261.82	261.82	0.035
	8	7,666	7,632	33.33	33.33	0.004
	9	7,487	7,653	-166.29	166.29	0.022
	10	7,811	7,548	262.89	262.89	0.034
	11	7,894	7,714	179.60	179.60	0.023
	12	7,828	7,828	0.00	0.00	0.000
	Forecast M1	7,828	7,828	0.00		**0.171**
	Forecast M2	7,828	7,828	0.00		
	Forecast M3	7,828	7,828	0.00		

data Range	12
a	0.632531
Forecast	7828
summary Statiatics	
	100
n	12
n/100	8.333333
MAPE	1.420998

รูปที่ ก-53 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย UKOCC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

MEOCC	Month	price	Forecast	Error		
	1	7,731	7,668	63.05	63.05	0.008
	2	7,679	7,679	0.00	0.00	0.000
	3	7,761	7,679	81.95	81.95	0.011
	4	7,458	7,694	-235.70	235.70	0.032
	5	7,302	7,651	-349.42	349.42	0.048
	6	7,523	7,589	-65.75	65.75	0.009
	7	7,601	7,577	24.04	24.04	0.003
	8	7,688	7,581	107.18	107.18	0.014
	9	7,278	7,600	-322.50	322.50	0.044
	10	7,553	7,543	10.79	10.79	0.001
	11	7,545	7,545	0.41	0.41	0.000
	12	7,433	7,545	-111.74	111.74	0.015
	Forecast M1	7,545	7,525	20.04		**0.185**
	Forecast M2	7,525	7,528	-3.59		
	Forecast M3	7,528	7,528	0.64		

data Range	12
a	0.179352
Forecast	7524.623
summary Statiatics	
	100
n	12
n/100	8.333333
MAPE	1.540354

รูปที่ ก-54 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย MEOCC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

MIXED WASTE	Month	price	Forecast	Error		
	1	6,543	6,543	0.00	0.00	0.000
	2	6,492	6,543	-51.00	51.00	0.008
	3	6,471	6,493	-21.51	21.51	0.003
	4	6,244	6,471	-227.22	227.22	0.036
	5	6,471	6,246	224.73	224.73	0.035
	6	6,019	6,469	-449.75	449.75	0.075
	7	5,511	6,023	-512.50	512.50	0.093
	8	4,797	5,516	-719.12	719.12	0.150
	9	5,941	4,804	1,136.81	1,136.81	0.191
	10	6,524	5,930	594.37	594.37	0.091
	11	6,523	6,518	4.94	4.94	0.001
	12	6,411	6,523	-111.95	111.95	0.017
	Forecast M1	6,523	6,412	110.83		**0.701**
	Forecast M2	6,412	6,522	-109.72		
	Forecast M3	6,522	6,413	108.63		

data Range	12
a	0.99
Forecast	6412.12
summary Statiatics	
	100
n	12
n/100	8.333333
MAPE	5.838345

รูปที่ ก-55 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย MIXED WASTE ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

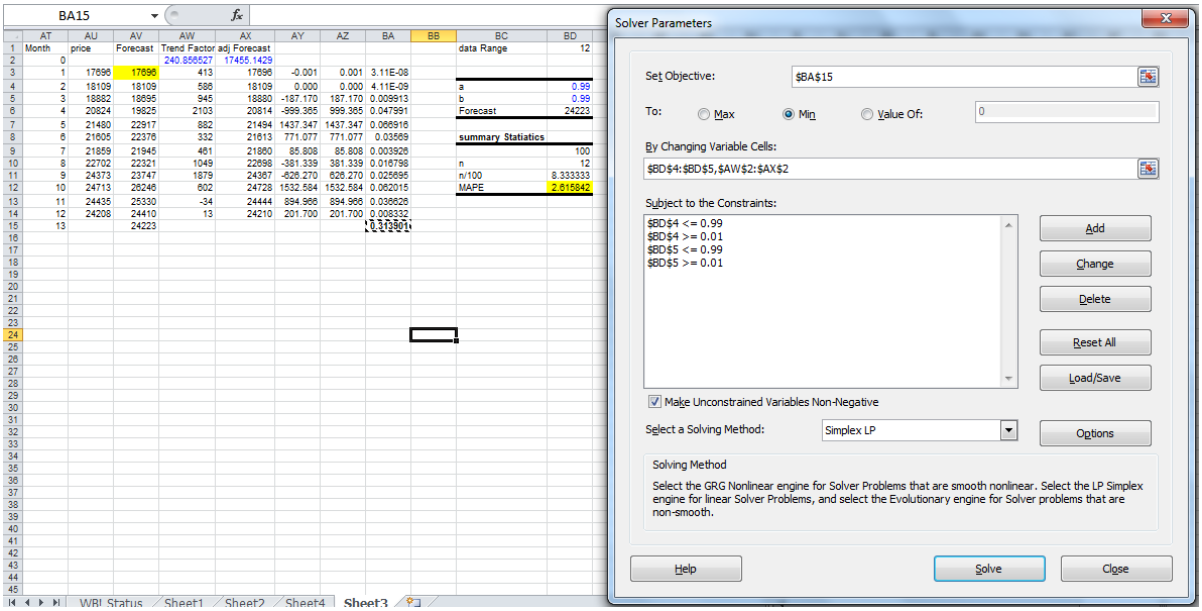
NDLK	Month	price	Forecast	Error			data Range	12
	1	8,212	8,212	0.00	0.00	0.000		
	2	8,442	8,212	230.00	230.00	0.027	a	0.99
	3	8,612	8,440	172.30	172.30	0.020	Forecast	7520.585
	4	8,103	8,610	-507.28	507.28	0.063		
	5	8,175	8,108	66.93	66.93	0.008	**summary Statiatics**	
	6	7,974	8,174	-200.33	200.33	0.025		100
	7	7,555	7,976	-421.00	421.00	0.056	n	12
	8	7,304	7,559	-255.21	255.21	0.035	n/100	8.333333
	9	7,261	7,307	-45.55	45.55	0.006	MAPE	2.52133
	10	7,630	7,261	368.54	368.54	0.048		
	11	7,578	7,626	-48.31	48.31	0.006		
	12	7,520	7,578	-58.48	58.48	0.008		
	Forecast M1	7,578	7,521	57.90		**0.303**		
	Forecast M2	7,521	7,578	-57.32				
	Forecast M3	7,578	7,521	56.75				

รูปที่ ก-56 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย NDLK ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

PHOCC	Month	price	Forecast	Error			data Range	12
	1	7,823	8,212	-389.14	389.14	0.050		
	2	7,837	7,837	0.00	0.00	0.000	a	0.963663
	3	7,853	7,837	16.43	16.43	0.002	Forecast	8017.716
	4	7,836	7,853	-16.91	16.91	0.002		
	5	7,877	7,837	40.88	40.88	0.005	**summary Statiatics**	
	6	7,778	7,876	-97.92	97.92	0.013		100
	7	7,740	7,782	-41.56	41.56	0.005	n	12
	8	7,727	7,742	-14.89	14.89	0.002	n/100	8.333333
	9	7,942	7,727	215.02	215.02	0.027	MAPE	1.072028
	10	8,046	7,934	112.04	112.04	0.014		
	11	8,064	8,042	21.66	21.66	0.003		
	12	8,016	8,063	-47.21	47.21	0.006		
	Forecast M1	8,063	8,018	45.50		**0.129**		
	Forecast M2	8,018	8,062	-43.84				
	Forecast M3	8,062	8,019	42.25				

รูปที่ ก-57 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย PHOCC ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

การคำนวณค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ที่ใช้ในการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับแนวโน้ม โดยใช้ โปรแกรม solver ที่กำหนดค่า α และ β เท่ากับ 0.1 ถึง 0.99 มาใช้ในการคำนวณค่า MPAE ที่มีค่าน้อยที่สุด ดังนี้



รูปที่ ก-58 การคำนวณค่าการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับแนวโน้มในช่วงระยะเวลา 3 เดือนด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Month	price	Forecast	Trend Factor	adj Forecast	Error	abs olute		Price	NBKP
0			23	20916.99999					
1	20917	20940	224	20932	23.000	23.000	0.0011	data Range	12
2	20894	21156	340	21064	261.881	261.881	0.012534		
3	20957	21404	392	21247	447.057	447.057	0.021332		
4	21652	21639	605	21644	-12.792	12.792	0.000591	a	0.350872
5	22007	22249	731	22164	241.703	241.703	0.010983	b	0.99
6	22247	22895	721	22668	648.331	648.331	0.029142	Forecast	30896
7	23734	23388	1060	23510	-345.597	345.597	0.014561		
8	24377	24570	1218	24502	192.737	192.737	0.007907	summary Statiatics	
9	24931	25720	1176	25443	788.731	788.731	0.031637		100
10	26332	26619	1319	26519	287.476	287.476	0.010917	n	12
11	27887	27838	1588	27855	-49.096	49.096	0.001761	n/100	8.333333
12	28873	29443	1653	29243	570.473	570.473	0.019758	MAPE	1.351849
Forecast M1	29443	30896	1424	30386	1452.686		0.162222		
Forecast M2	30896	31811	1396	31490	914.438				
Forecast M3	31811	32886	1324	32509	1075.275				

รูปที่ ก-59 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย NBKP ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Month	price	Forecast	Trend Factor	adj Forecast			
0			22.99998993	20916.99996			
1	19036	20940	-129	20575	1904.000	1904.000	0.100021
2	19067	20446	-184	20182	1379.207	1379.207	0.072335
3	19921	19998	5	19984	77.447	77.447	0.003888
4	19989	19989	205	19989	-0.005	0.005	2.72E-07
5	20601	20194	480	20272	-406.839	406.839	0.019749
6	20412	20752	614	20687	340.236	340.236	0.016668
7	20761	21301	712	21197	539.620	539.620	0.025992
8	20936	21909	732	21723	973.225	973.225	0.046486
9	21162	22455	697	22207	1293.084	1293.084	0.061104
10	24036	22904	1127	23121	-1131.615	1131.615	0.04708
11	24939	24248	1478	24380	-691.206	691.206	0.027716
12	25731	25858	1683	25834	126.862	126.862	0.00493
Forecast M1	25858	27516	1610	27199	1658.345		0.425969
Forecast M2	27516	28808	1621	28561	1292.055		
Forecast M3	28808	30181	1630	29918	1373.099		

Price	LF- A
data Range	12
a	0.191539
b	0.99
Forecast	27516
summary Statiatics	
	100
n	12
n/100	8.333333
MAPE	3.549739

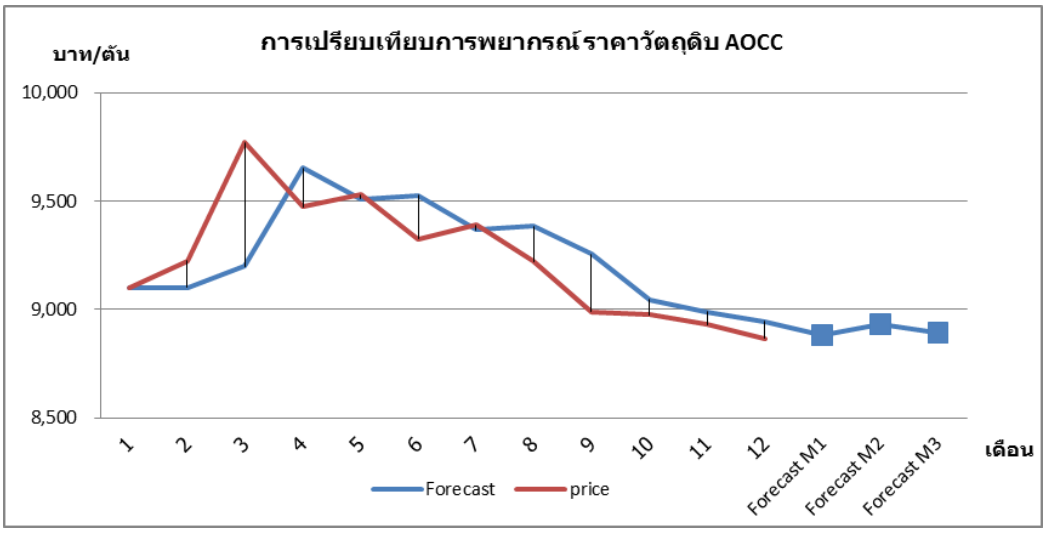
รูปที่ ก-60 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย LF -A ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

Month	price	Forecast	Trend Factor	adj Forecast			
0			240.8565268	17455.14292			
1	17696	17696	413	17696	-0.001	0.001	3.11E-08
2	18109	18109	586	18109	0.000	0.000	4.11E-09
3	18882	18695	945	18880	-187.170	187.170	0.009913
4	20824	19825	2103	20814	-999.365	999.365	0.047991
5	21480	22917	882	21494	1437.347	1437.347	0.066916
6	21605	22376	332	21613	771.077	771.077	0.03569
7	21859	21945	461	21860	85.808	85.808	0.003926
8	22702	22321	1049	22698	-381.339	381.339	0.016798
9	24373	23747	1879	24367	-626.270	626.270	0.025695
10	24713	26246	602	24728	1532.584	1532.584	0.062015
11	24435	25330	-34	24444	894.966	894.966	0.036626
12	24208	24410	13	24210	201.700	201.700	0.008332
Forecast M1	24410	24223	438	24408	-186.837		0.313901
Forecast M2	24223	24846	67	24229	622.906		
Forecast M3	24846	24296	847	24840	-549.551		

Price	LF- B+
data Range	12
a	0.99
b	0.99
Forecast	24223
summary Statiatics	
	100
n	12
n/100	8.333333
MAPE	2.615842

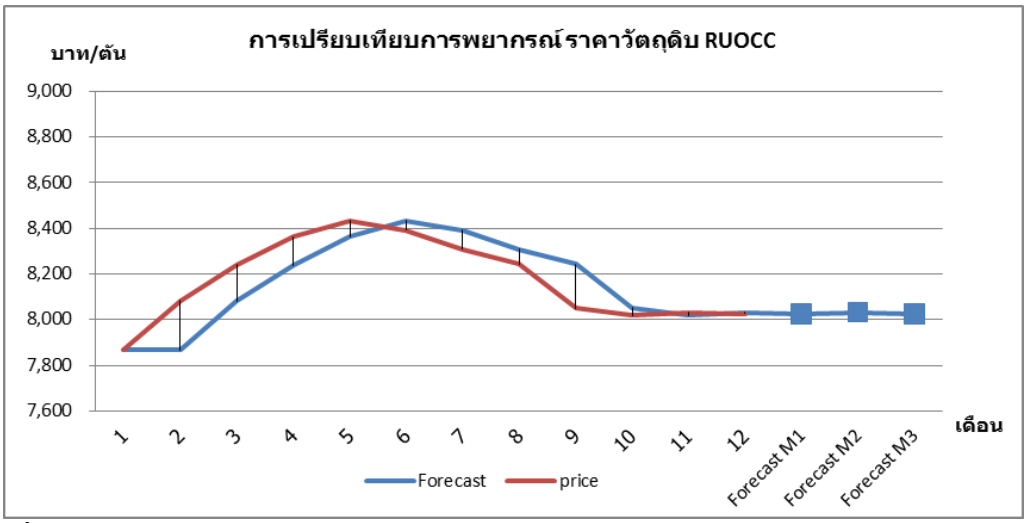
รูปที่ ก-61 ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบเส้นใย LF –B+ ด้วยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

2.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ข้อมูลราคาวัตถุดิบเส้นใย



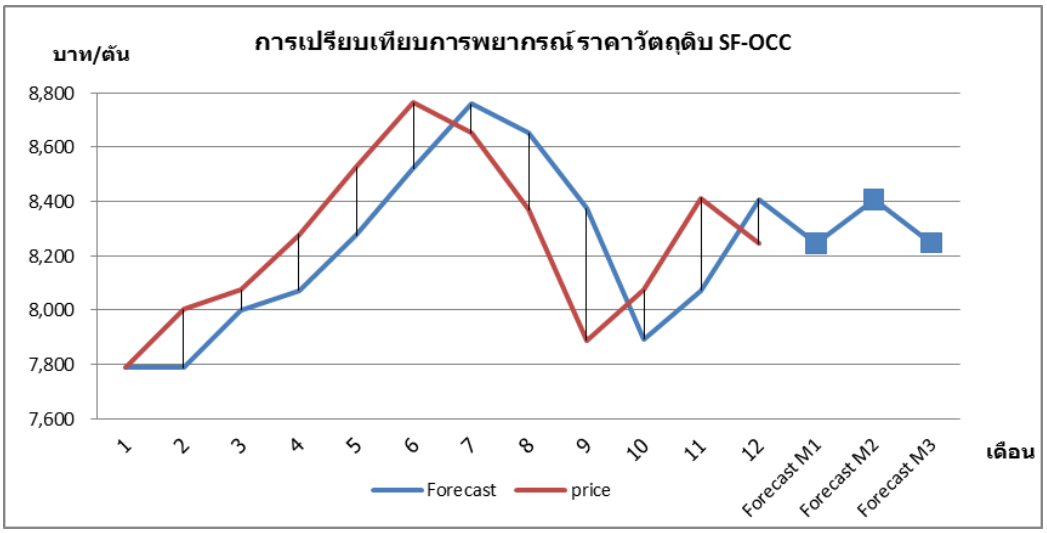
รูปที่ ก-62 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ AOCC ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ RUOCC โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อกำหนดค่า α เท่ากับ 0.99 เป็นระยะเวลา 3 เดือน แสดงได้ดังรูปที่ ก-63



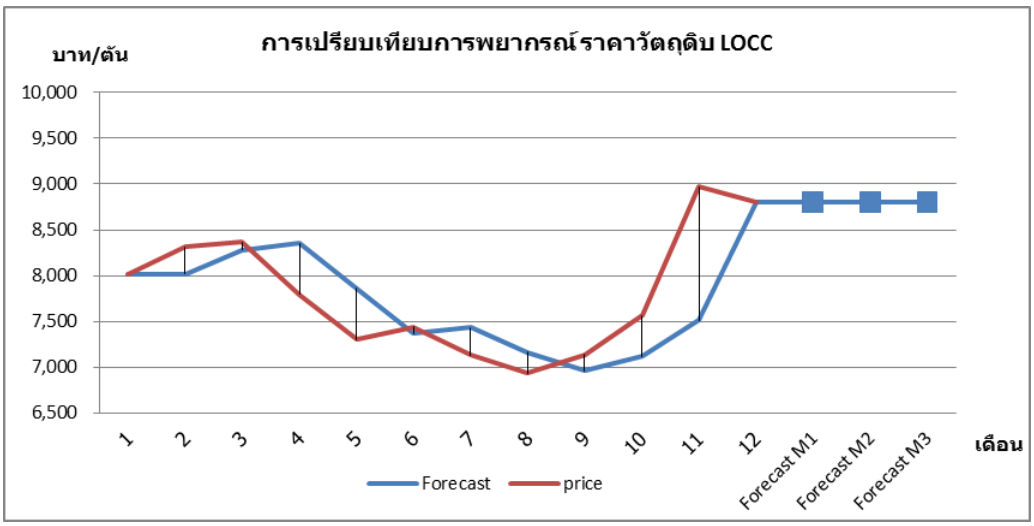
รูปที่ ก-63 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ ROCC ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ SF-OCC โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อกำหนดค่า α เท่ากับ 0.99 ในเป็นระยะเวลา 3 เดือน แสดงได้ดังรูปที่ ก-64



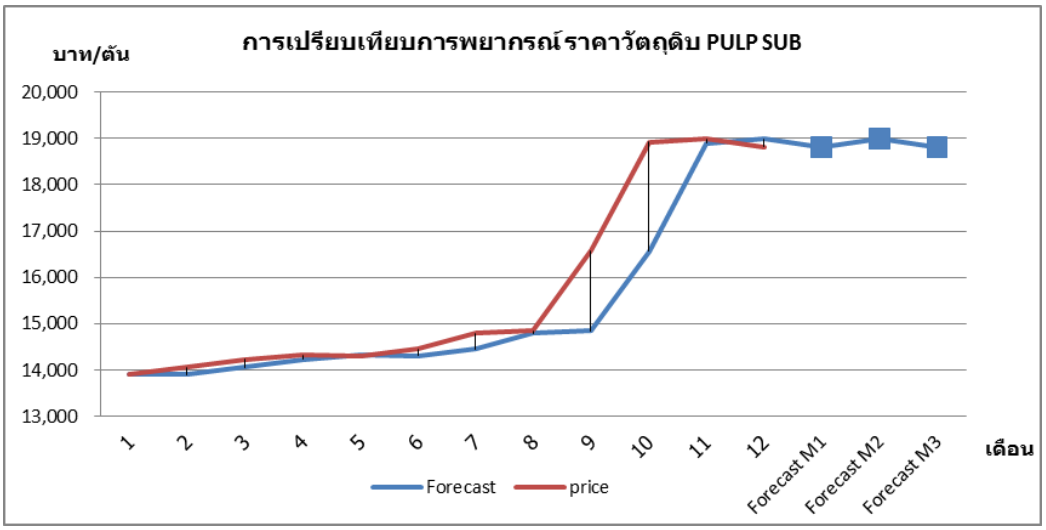
รูปที่ ก-64 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ SF-OCC ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ LOCC โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อกำหนดค่า α เท่ากับ 0.89 เป็นระยะเวลา 3 เดือน แสดงได้ดังรูปที่ ก-65



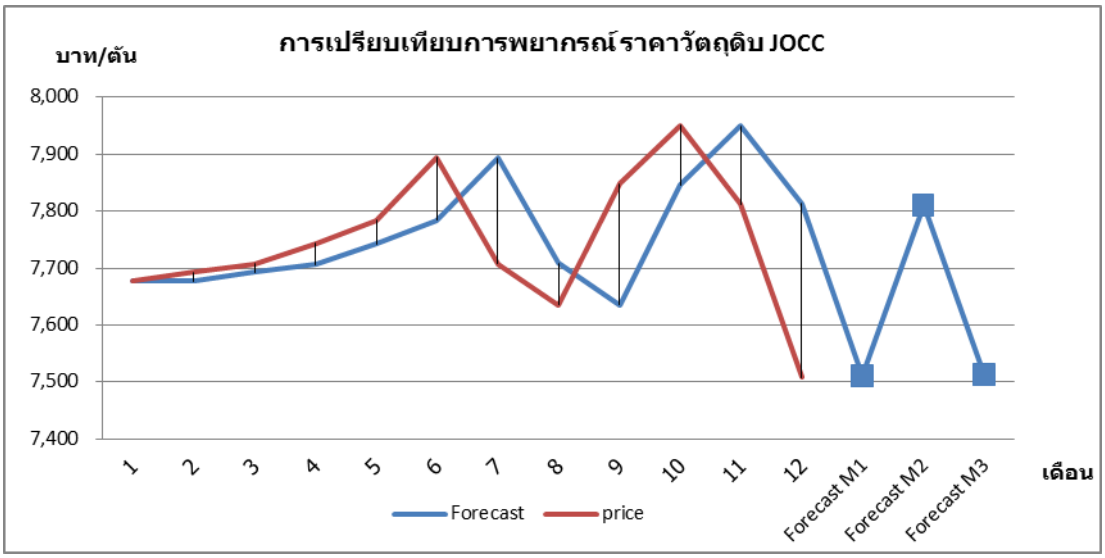
รูปที่ ก-65 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ LOCC ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ PULP SUB ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อกำหนดค่า α เท่ากับ 0.99 แสดงได้ดังรูปที่ ก-66



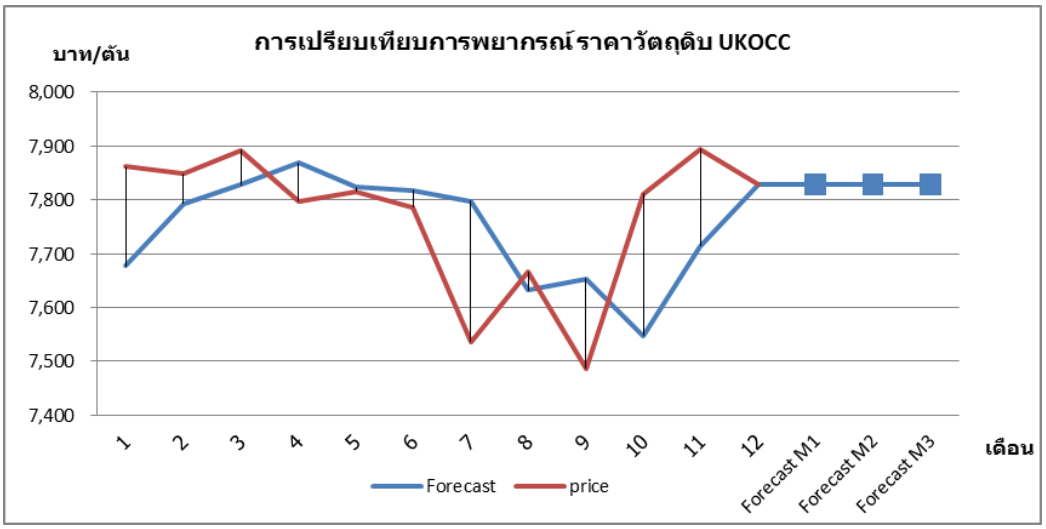
รูปที่ ก-66 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ PULP SUB ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ JOCC เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อกำหนดค่า α เท่ากับ 0.99 แสดงได้ดังรูปที่ ก-67



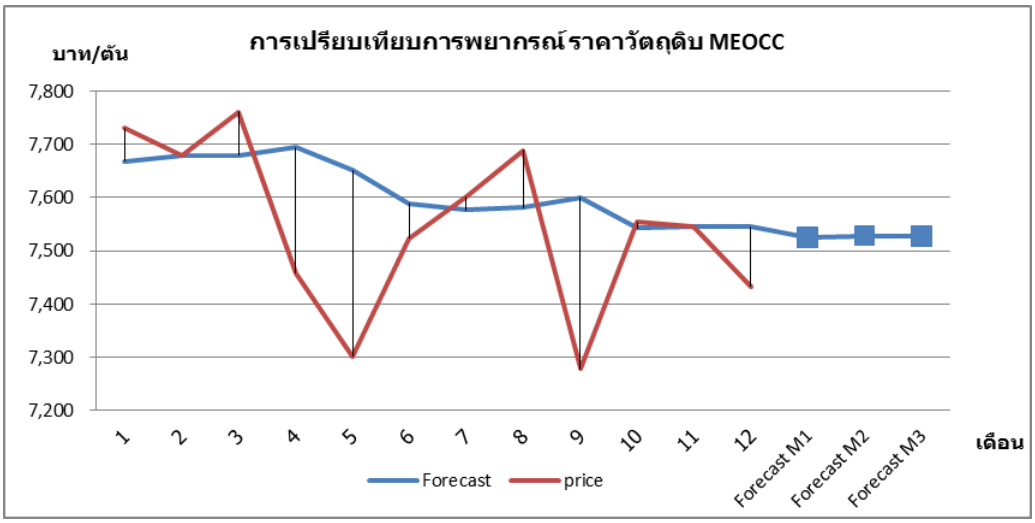
รูปที่ ก-67 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ JOCC ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ UKOCC เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อกำหนดค่า α เท่ากับ 0.63 แสดงได้ดังรูปที่ ก-68



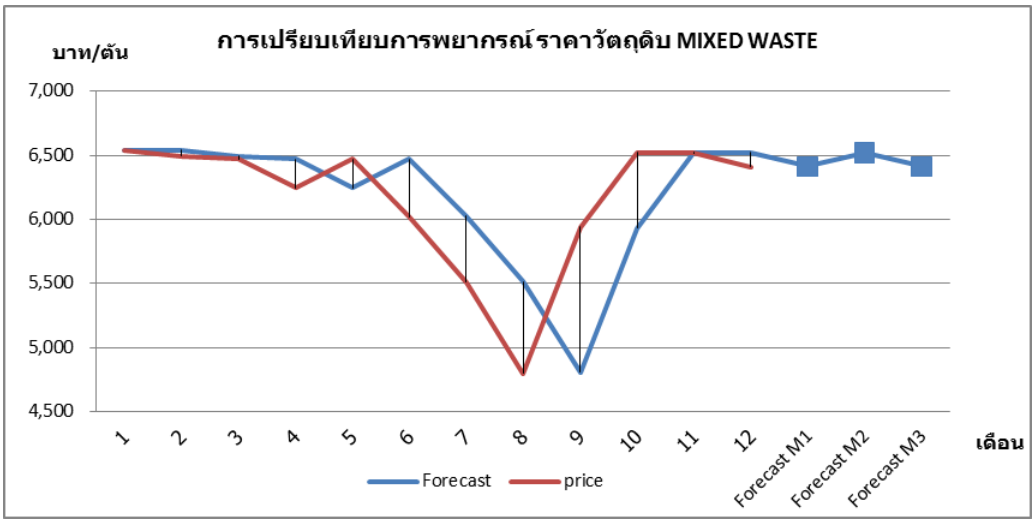
รูปที่ ก-68 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ UKOCC ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ค่าที่พยากรณ์มีลักษณะเป็นเส้นตรงค่าอยู่ระหว่างราคาวัตถุดิบ ผลการพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ MEOCC ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อกำหนดค่า α เท่ากับ 0.18 แสดงได้ดังรูปที่ ก-69



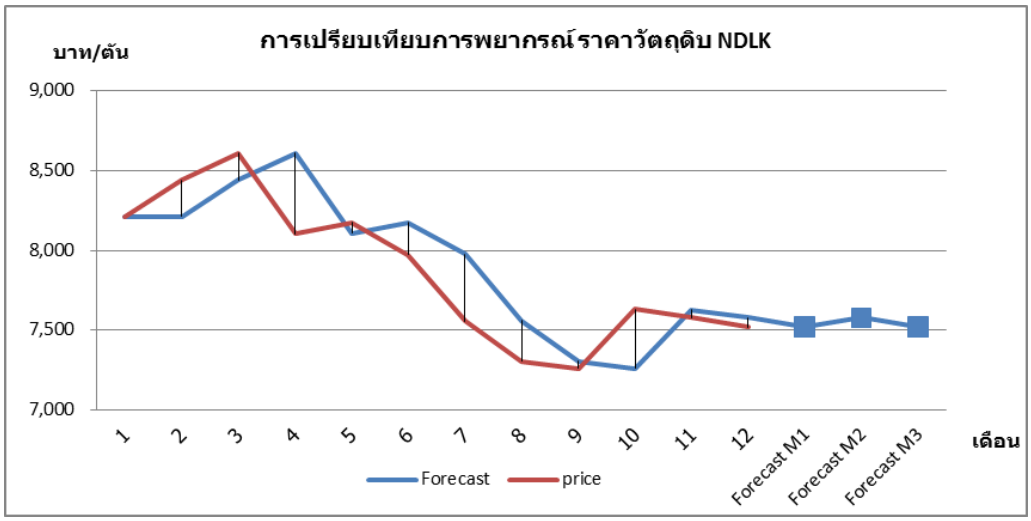
รูปที่ ก-69 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ MEOCC ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ MIXED WASTE เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อกำหนดค่า α เท่ากับ 0.99 แสดงได้ดังรูปที่ ก-70



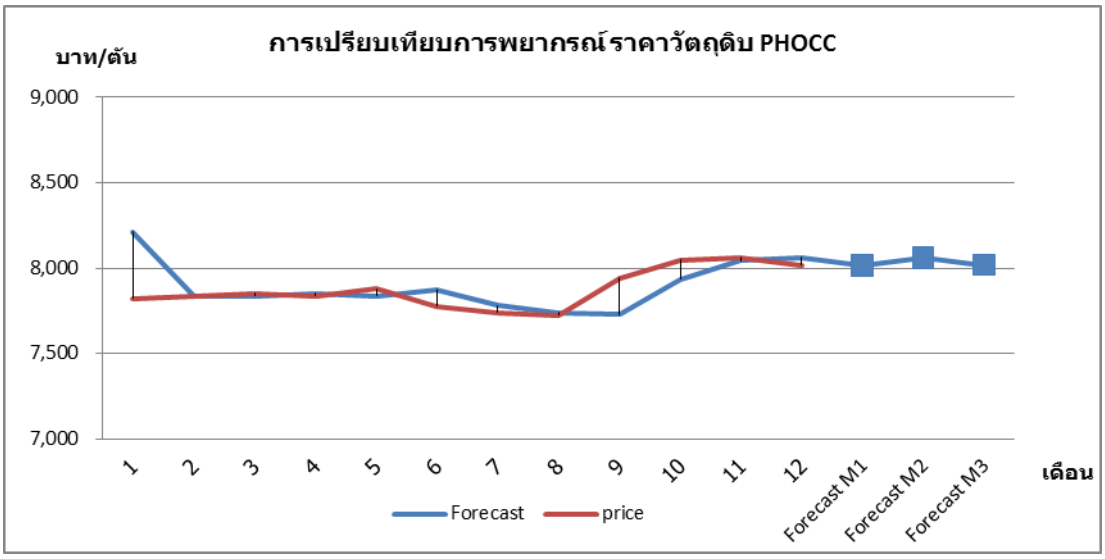
รูปที่ ก-70 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ MIXED WASTE ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ NDLK เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อกำหนดค่า α เท่ากับ 0.99 แสดงได้ดังรูปที่ ก-71

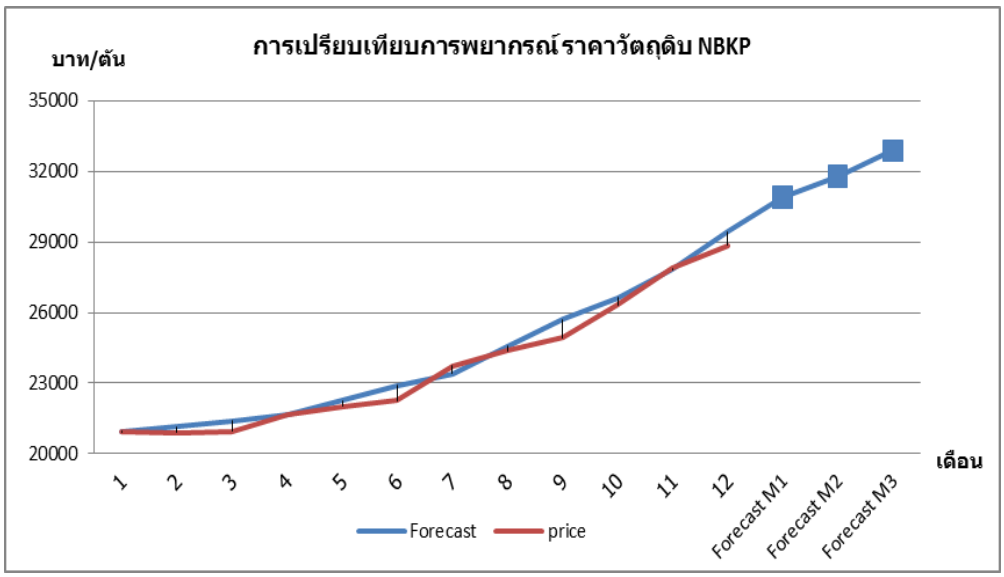


รูปที่ ก-71 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ NDLK ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ PHOCC เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อกำหนดค่า α เท่ากับ 0.96 แสดงได้ดังรูปที่ ก-72

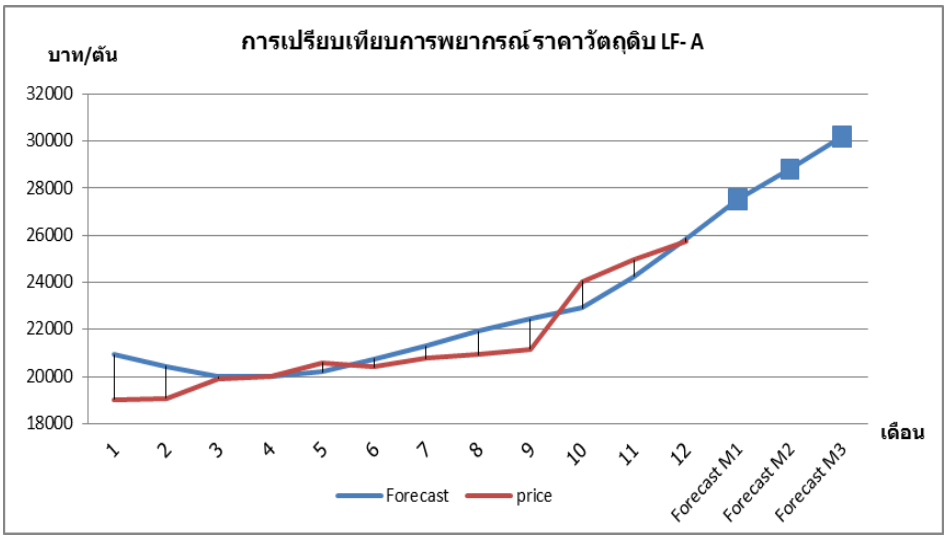


รูปที่ ก-72 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของราคาวัตถุดิบ PHOCC ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel



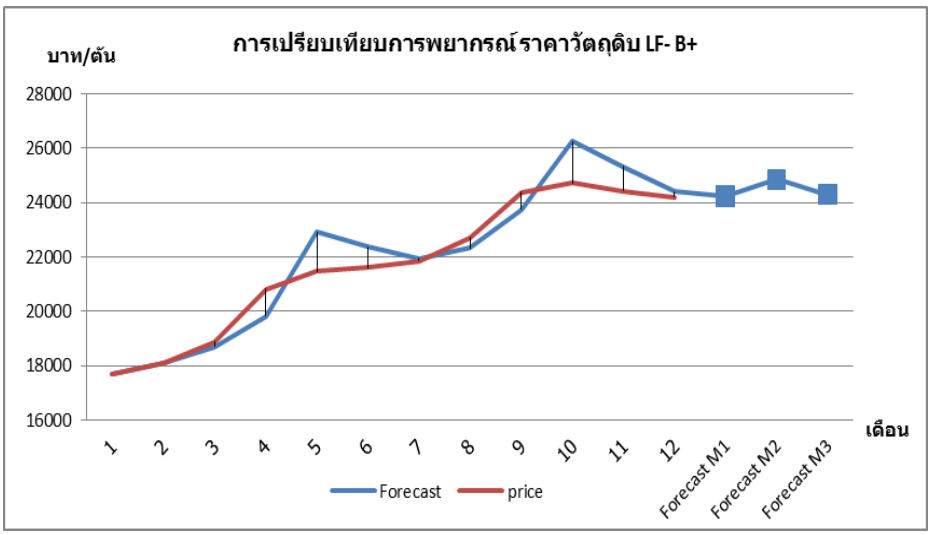
รูปที่ ก-73 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมแบบแนวโน้มของราคาวัตถุดิบ NBKP ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ LF- A ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อค่า α = 0.19 และค่า β = 0.99 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ ก-74



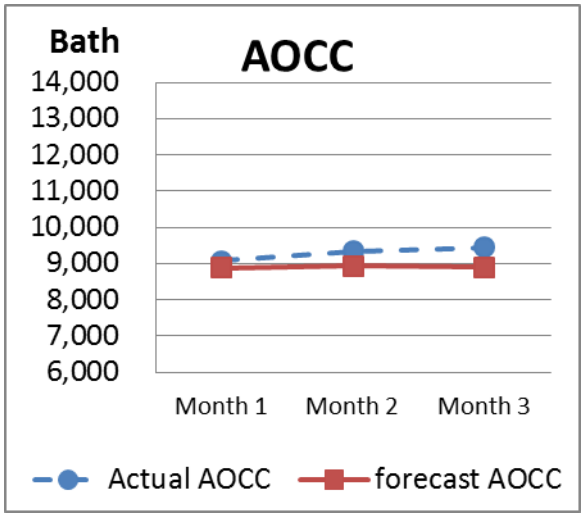
รูปที่ ก-74 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมแบบแนวโน้มของราคาวัตถุดิบ LF-A ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

ผลการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ LF- B+ เป็นระยะเวลา 3 โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel เมื่อค่า α = 0.99 และค่า β = 0.99 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ ก-75

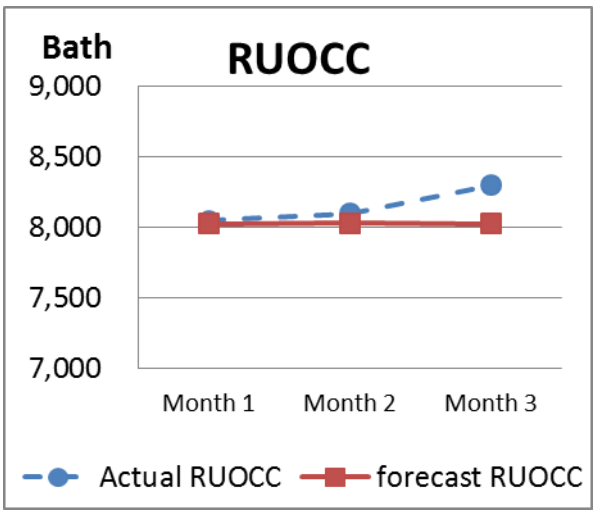


รูปที่ ก-75 การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมแบบแนวโน้มของราคาวัตถุดิบ LF- B+ ในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

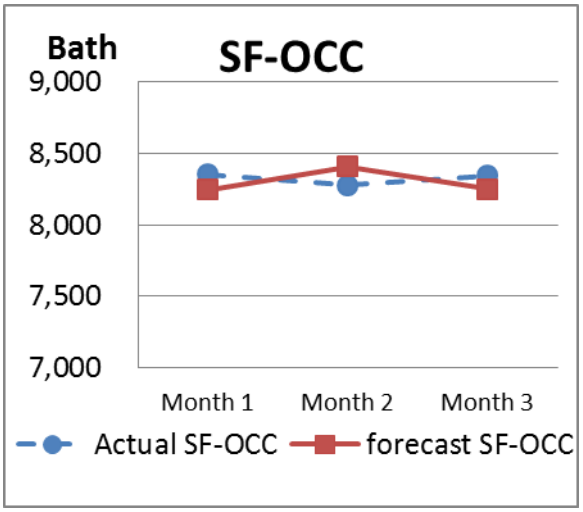
2.3 การเปรียบเทียบค่าจากการพยากรณ์กับค่าราคาวัตถุดิบจริง



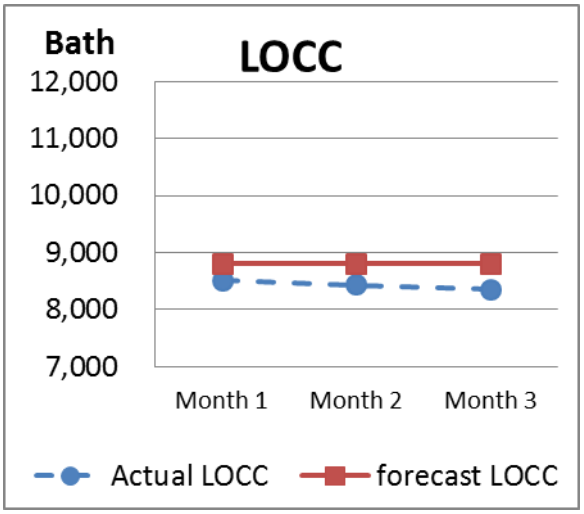
รูปที่ ก-76 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ AOCC ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



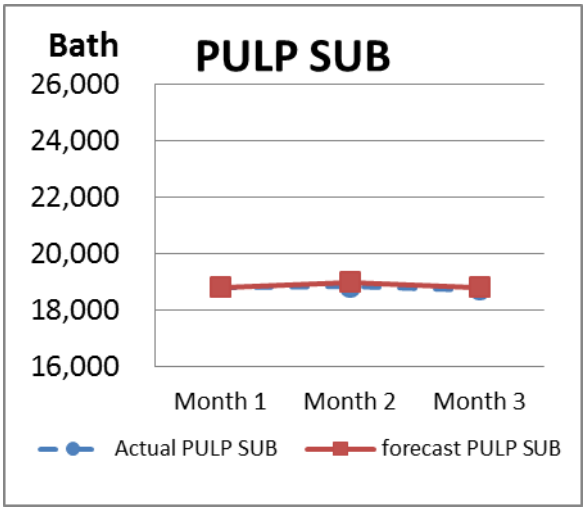
รูปที่ ก-77 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ RUOCC ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



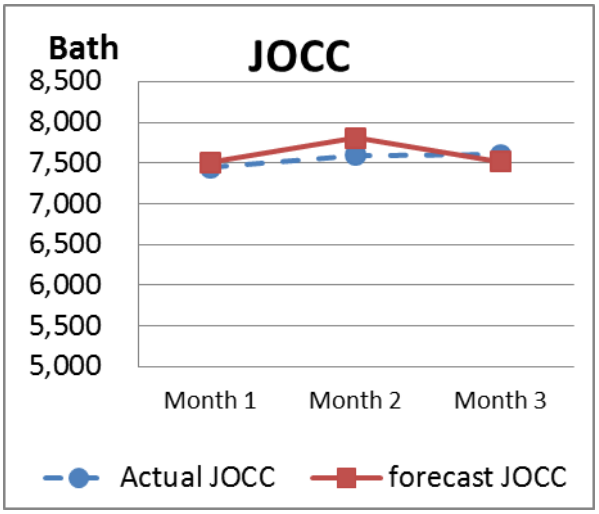
รูปที่ ก-78 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ SF-OCC ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



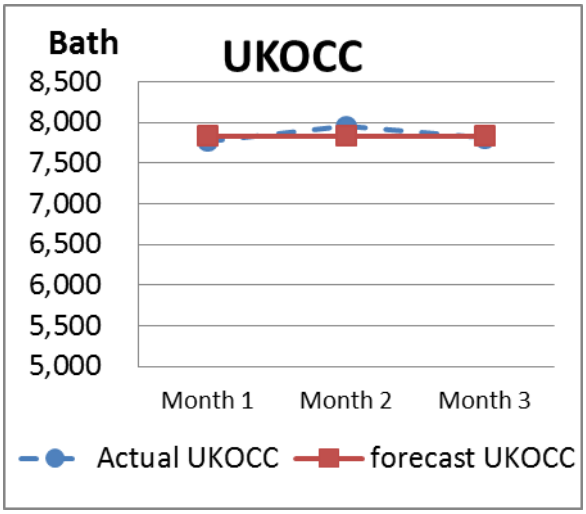
รูปที่ ก-79 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ LOCC ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



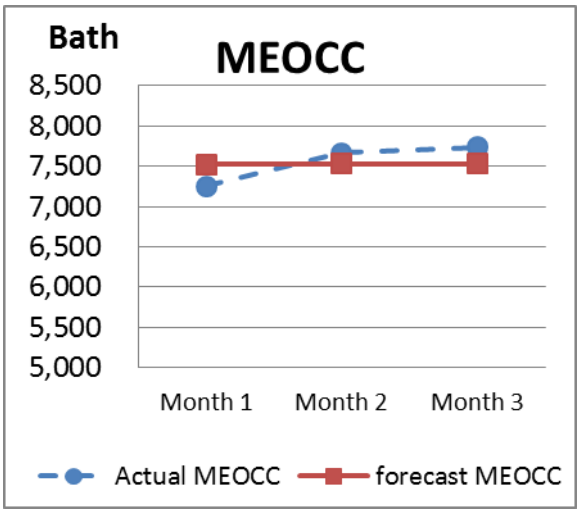
รูปที่ ก-80 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ PULP SUB ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



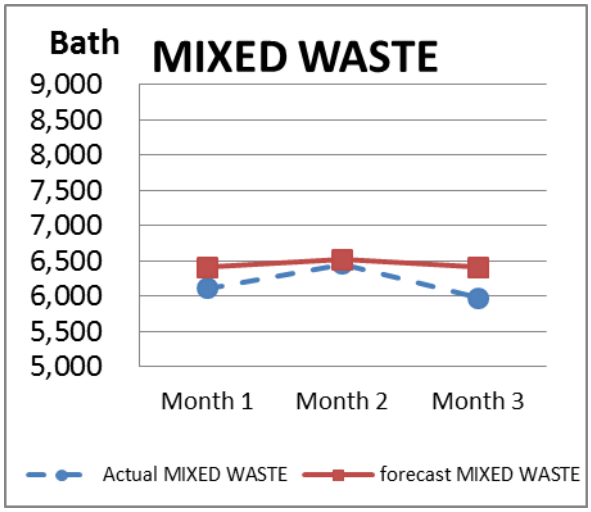
รูปที่ ก-81 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ JOCC ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



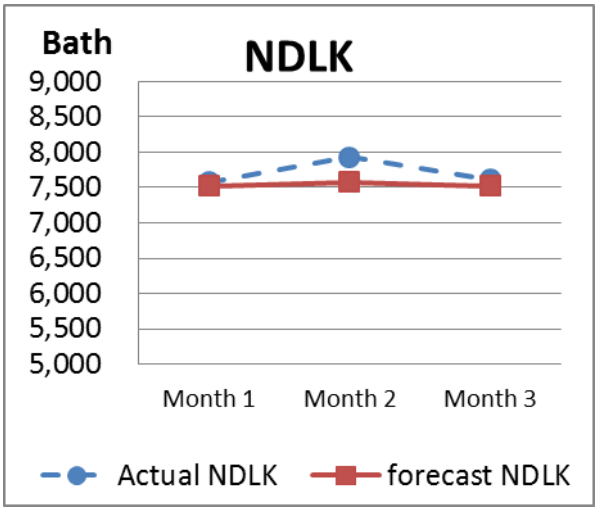
รูปที่ ก-82 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ UKOCC ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



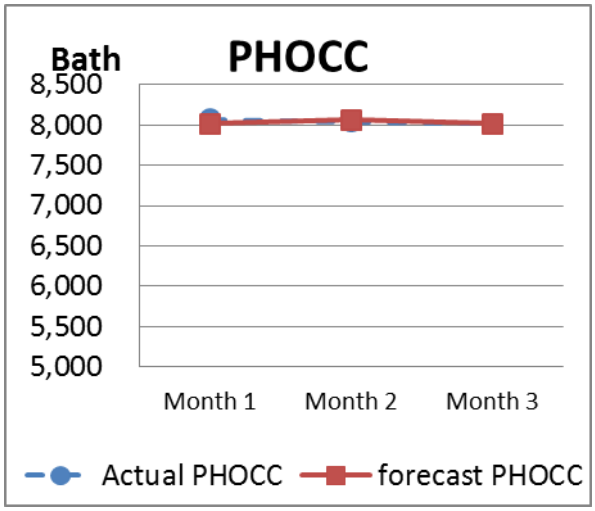
รูปที่ ก-83 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ MEOCC ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



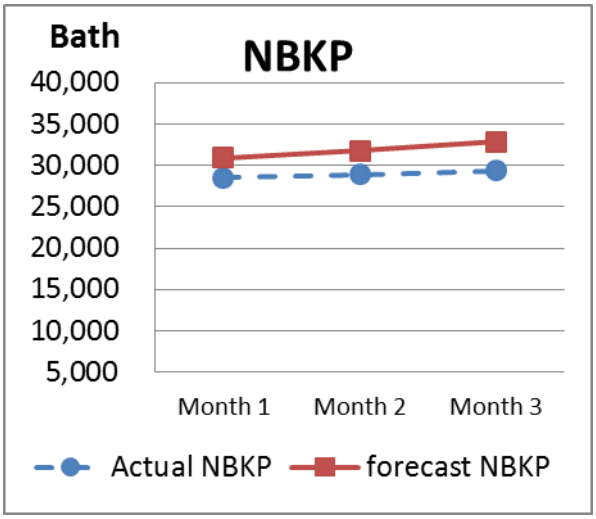
รูปที่ ก-84 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ MIXED WASTE ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



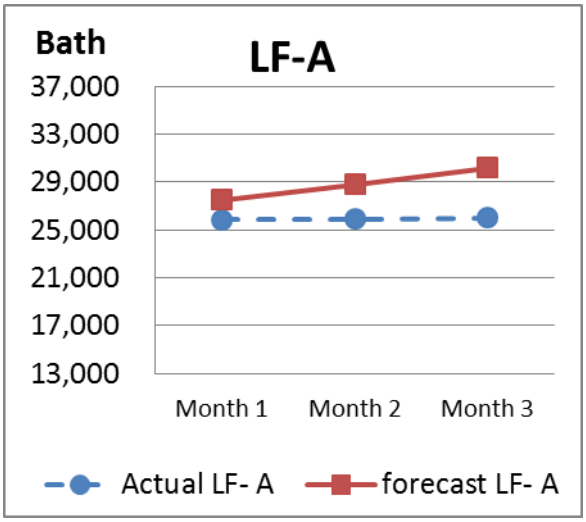
รูปที่ ก-85 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ NDLK ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



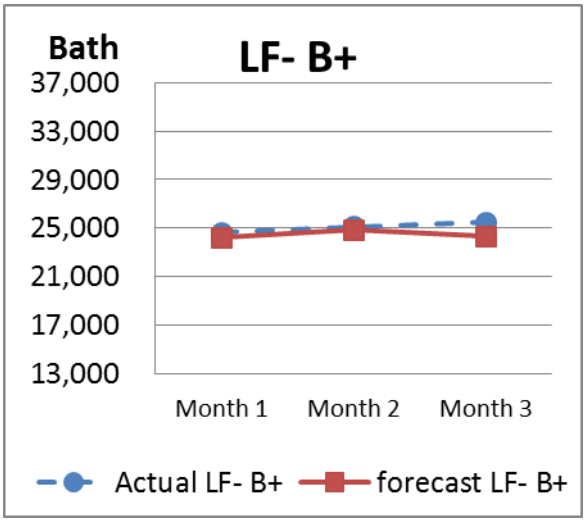
รูปที่ ก-86 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ PHOCC ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



รูปที่ ก-87 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ NBKP ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลมีพฤติกรรมของแนวโน้มกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



รูปที่ ก-88 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ LF – A ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลมีพฤติกรรมของแนวโน้มกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน



รูปที่ ก-89 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ LF- B+ ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลมีพฤติกรรมของแนวโน้มกับราคาวัตถุดิบจริง ในระยะเวลา 3 เดือน

ภาคผนวก ข.

การทดสอบสมการเงื่อนไขการเลือกใช้วัตถุดิบด้วย Paired T-test

การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Paired t-test)

การเลือกวัตถุดิบที่นำมาผลิตก่อนนำมาใช้สร้างแบบทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นนั้นจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงคุณภาพของวัตถุดิบเส้นใย เนื่องจากกระดาษเป็นสินค้าที่เกิดจากการยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใย ความแข็งแรงของการยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยนั้นเป็นคุณลักษณะที่สำคัญสำหรับการผลิตกระดาษแต่ละชนิดและวัตถุดิบเส้นใยแต่ละประเภทก็มีคุณสมบัติเฉพาะที่ต่างกัน ดังนั้นอัตราส่วนในการผสมวัตถุดิบเส้นใยแต่ละประเภทจะส่งผลถึงความแข็งแรงของสินค้าด้วย ซึ่งความแข็งแรงของกระดาษจะขึ้นอยู่กับค่าคุณภาพทั้ง 3 ประเภท คือค่า RCT CMT และ Burst

ตารางที่ ข-1 ตัวอย่างมาตรฐานค่าคุณภาพเยื่อทั้ง 14 ชนิดกับค่าคุณภาพทั้ง 3 ประเภท

วัตถุดิบ (เยื่อ)	ค่าคุณภาพ (Index)			วัตถุดิบ (เยื่อ)	ค่าคุณภาพ (Index)		
	RCT	CMT	Burst		RCT	CMT	Burst
NBKP	395	395	7.7	PULP SUB	360	345	6.4
LF-B+	375	375	7.0	JOCC	267	257	3.2
LF-B	375	375	7.3	UKOCC	284	266	3.1
AOCC	279	256	3.4	MEOCC	246	269	2.7
RUOCC	285	306	3.3	MIXED WASTE	206	191	1.8
SF-OCC	275	285	3.2	NDLK	254	248	2.5
LOCC	260	260	2.5	PHOCC	268	262	3.1

เพื่อต้องการพิสูจน์ว่าสมการข้อจำกัดที่ 4.5 ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 มีความแม่นยำสามารถนำไปเป็นเงื่อนไขการการเลือกใช้เยื่อในแบบจำลองฯ จึงได้ทำการตั้งสมมุติฐานว่าค่าคุณภาพของเยื่อที่ทำการผสมในห้องทดลองไม่มีความแตกต่างกับค่าคุณภาพของเยื่อที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้อัตราส่วนผสมเยื่อชนิดเดียวกันเพื่อกำจัดอิทธิพลของลักษณะอื่น แล้วดำเนินการทดสอบสมมุติฐานด้วยวิธีการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Paired t-test) เพื่อหาค่าคุณสมบัติทั้ง 3 ประเภท ดังนั้นจึงทำการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองโดยการผสมเยื่อแบบสุ่ม เนื่องจากเยื่อที่ใช้ในแต่ละวันจะเปลี่ยนแปลงไปตามแผนการผลิตและไม่สามารถนำเยื่อจากคลังวัตถุมาใช้งานได้ จากนั้นจึงได้นำเยื่อจากการใช้งานจริงในกระบวนการผลิตมาผสมกันแล้วเพิ่มชนิดเยื่อที่ต้องการผสมจนครบ 14 ชนิด โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) สุ่มเยื่อจากถังเยื่อที่ต้องการทดสอบมาผสมน้ำที่ความเข้มข้น 2% แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบด Wiley mill จนเยื่อมีค่า Freeness ที่ 300 ค่านี้เป็นค่าที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิต

ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อซึ่งจะบอกให้ทราบถึงการระบายน้ำของเส้นใยที่อยู่ในน้ำและการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยระหว่างการบดเยื่อที่ทำให้พันธะของเส้นใยเพิ่มขึ้น

(2) นำเยื่อแต่ละชนิดที่ได้จากการสุ่มมาผสมกัน แล้วทำเป็นแผ่นกระดาษบนตะแกรง (Sieve) ขนาด 40 mesh

(3) นำแผ่นกระดาษที่ได้ไปทดสอบคุณภาพทั้ง 3 ค่า คือ RCT CMT และ Burst จำนวนทั้งหมดละ 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

จากขั้นตอนที่ 1) ถึง 3) ทำเช่นนี้ทั้งหมด 12 ครั้ง จนครบเยื่อทั้ง 14 ชนิด ซึ่งอัตราส่วนในการผสมเยื่อแต่ละชนิดจำนวน 12 ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ ข-2

ตารางที่ ข-2 สัดส่วนการทดลองผสมเยื่อแบบสุ่มแต่ละชนิดเพื่อทดสอบหาค่าคุณภาพ RCT CMT และ Burst Strength

เยื่อ / ครั้งที่	สัดส่วนเยื่อ (กรัม)													
	NBKP	LF-A	LF-B+	PULP SUB	AOCC	RUOCC	SF-OCC	LOCC	JOCC	UKOCC	MEOCC	PHOCC	MIXED WASTE	NDLK
1	0	100	0	0	300	0	0	200	0	100	0	0	100	200
2	0	100	0	0	300	200	0	200	200	100	0	0	100	200
3	0	100	100	0	300	200	0	200	200	100	300	200	100	200
4	100	100	100	100	300	200	400	200	200	100	300	200	100	200
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	200	200	200
6	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	200	200	200	200
7	100	100	100	100	300	300	300	0	0	0	200	200	200	200
8	100	100	100	100	300	300	300	400	400	400	200	200	200	200
9	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10	300	300	0	0	100	100	100	0	0	0	0	0	100	100
11	300	300	400	400	100	100	100	200	200	200	0	0	100	100
12	300	300	400	400	100	100	100	200	200	200	100	100	100	100

ตารางที่ ข-2 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนเยื่อต่างๆ ที่ผสมกันจากการสุ่มเลือกเยื่อ โดยทำการผสมทั้งหมด 12 ครั้ง ตัวอย่างเช่น ครั้งที่ 1 ทำการสุ่มเยื่อ LF-A AOCC LOCC UKOCC MIXED WASTE และ NDLK จากถังเยื่อในสัดส่วน 100 300 200 100 100 และ 200 ตามลำดับ

1. การทดสอบค่าคุณภาพ RCT

เมื่อได้ผสมเยื่อในการทดลองผสมเยื่อทั้งหมด 12 ครั้งแล้วนำเยื่อมาทำเป็นแผ่นเพื่อหาค่าความต้านทานแรงกดวงแหวน (RCT) โดยทดสอบค่า RCT จำนวน 5 ครั้ง/การผสมเยื่อ 1 ครั้ง ผลลัพธ์จากการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-3 ค่าคุณภาพ RCT ที่ได้จากการทดลองผสมเยื่อทั้ง 14 ชนิด

การผสมเยื่อ ครั้งที่	การทดสอบค่าคุณภาพ RCT					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	304.84	305.86	300.90	305.90	305.40	304.6
2	290.51	291.50	288.40	292.08	287.88	290.1
3	280.02	276.89	281.04	280.08	277.18	279.0
4	294.63	289.13	281.86	290.74	282.77	287.8
5	241.37	240.51	240.53	238.88	242.44	240.7
6	270.15	288.69	278.21	287.90	282.21	281.4
7	266.99	279.95	275.45	280.24	282.01	276.9
8	286.77	280.00	285.42	284.46	282.51	283.8
9	368.90	359.16	369.32	361.61	360.10	363.8
10	331.83	339.33	325.79	352.18	332.42	336.3
11	319.55	322.25	321.95	319.07	320.29	320.6
12	312.91	313.35	310.58	311.00	311.68	311.9

จากนั้นนำค่าเฉลี่ยในตารางที่ ข-3 มาทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพ RCT จากการสุ่มเลือกใช้เยื่อระหว่างการผสมในห้องทดลองกับการคำนวณของสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน โดยการทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร (Paired t-test) ด้วยโปรแกรม Minitab

ตารางที่ ข-4 ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวน (RCT) จากการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองและจากการคำนวณจากสมการข้อจำกัด

ครั้งที่	ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวน (RCT)	
	การทดลองผสมเยื่อในห้องทดลอง	การคำนวณจากสมการข้อจำกัด
1	304.6	302.4
2	290.1	293.4
3	279.0	281.7
4	287.8	282.6
5	240.7	243.5
6	281.4	281.0
7	276.9	277.7
8	283.8	287.2
9	363.8	368.3
10	336.3	332.0
11	320.6	323.6
12	311.9	316.4

1.1 การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน (Variance) ของค่า RCT

ก่อนที่จะทำการทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่า RCT ด้วยวิธี Paired t-test นั้น จำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบค่าความแตกต่างของความแปรปรวนของค่าคุณภาพ RCT ที่ได้จากห้องทดลอง(σ^2_1) และสมการข้อจำกัด (σ^2_2) เนื่องจากไม่ทราบค่าความแปรปรวน (Variance) ดังนั้นจึงต้องทดสอบก่อนว่า $\sigma^2_1 = \sigma^2_2$ หรือไม่ ดังนี้

กำหนดให้

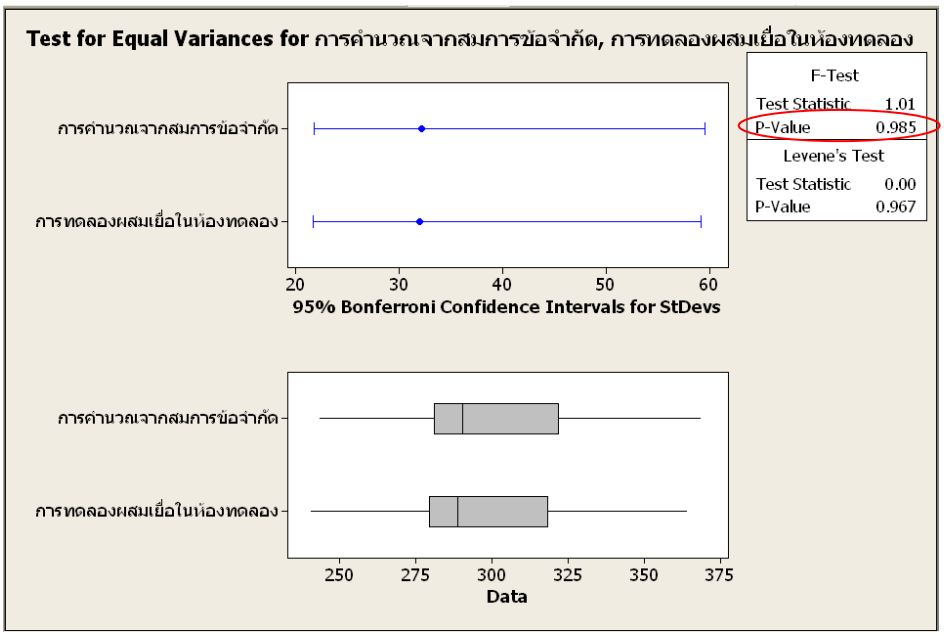
S_1 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้านทานแรงกดวงแหวน (RCT) ที่ได้จากห้องทดลอง

S_2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้านทานแรงกดวงแหวน (RCT) ที่ได้จากสมการข้อจำกัด

จากข้อมูลในตารางที่ ข-4 จะได้ค่า $S_1 = 32.02$ $S_2 = 32.20$ $n_1 = 12$ และ $n_1 = 12$ กำหนดให้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยสมมติฐานที่ทำการทดสอบ คือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$ และ $H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

เมื่อกำหนดให้ F เป็นสถิติทดสอบเพื่อใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 และ H_1 โดยการเปรียบเทียบค่า P-value กับระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ด้วยโปรแกรม Minitab ดังนี้



รูปที่ ข-1 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของค่า RCT ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัด โดยใช้โปรแกรม Minitab

จากผลลัพธ์ของโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ ข-1 ได้ค่าสถิติ F = 1.01 และค่า P-value = 0.985 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 นั่นคือค่าความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงกดวงแหวน (RCT) ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.2 การทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่า RCT ด้วยวิธี Paired t-test

ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพ RCT จากการสุ่มเลือกใช้เยื่อระหว่างการผสมในห้องทดลองกับการคำนวณของสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน มีรายละเอียดดังนี้

กำหนดให้

μ_1 คือ ค่าคุณภาพ RCT เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลอง

μ_2 คือ ค่าคุณภาพ RCT เฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากสมการข้อจำกัด

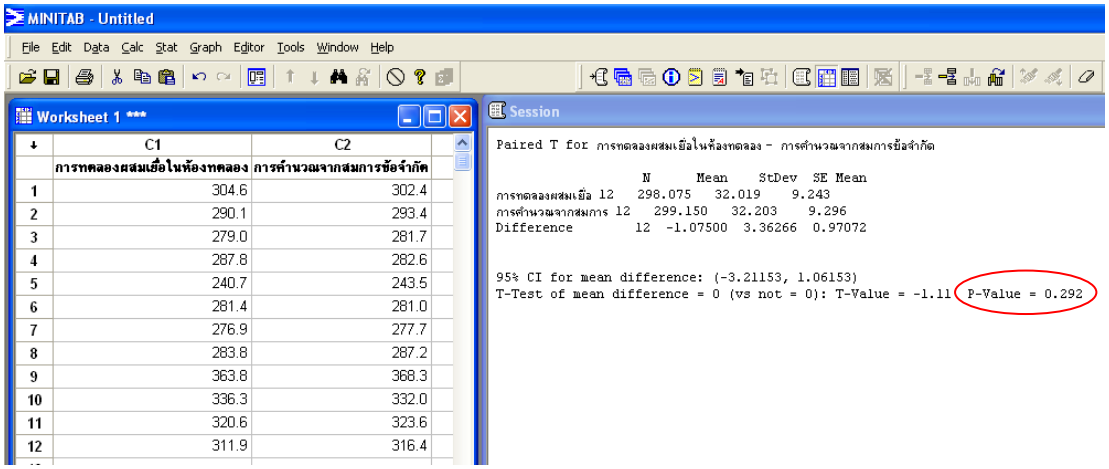
n = 12

เมื่อนำค่าสถิติทดสอบ T มาทดสอบสมมติฐาน H_0 และ H_1 และใช้ค่า P-value มาเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ด้วยโปรแกรม Minitab โดยสมมติฐานที่ทำการทดสอบคือ

$H_0 : \mu_1-\mu_2 = 0$ หรือ $H_0 : \mu_d = 0$ โดยที่ $\mu_d = \mu_1-\mu_2$

$H_1 : \mu_1-\mu_2 \neq 0$ $H_0 : \mu_d \neq 0$

และจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า $t>t_{1-\alpha/2;n-1}$ หรือ $t<t_{1-\alpha/2;n-1}$



	C1	C2
	การทดลองผสมเยื่อในห้องทดลอง	การคำนวณจากสมการข้อจำกัด
1	304.6	302.4
2	290.1	293.4
3	279.0	281.7
4	287.8	282.6
5	240.7	243.5
6	281.4	281.0
7	276.9	277.7
8	283.8	287.2
9	363.8	368.3
10	336.3	332.0
11	320.6	323.6
12	311.9	316.4

รูปที่ ข-2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า RCT ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัด

จากผลลัพธ์ของโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ ข-2 ได้ค่าสถิติ T = -1.11 และค่า P-value = 0.292 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 นั่นคือค่าความต้านทานแรงกดวงแหวน (RCT) ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. การทดสอบค่าคุณภาพ CMT

ส่วนการทดสอบค่าการต้านแรงกดลอนลูกฟูก CMT ทำได้เช่นเดียวกันคือทดสอบค่า RCT โดยทดสอบจำนวน 5 ครั้ง/การผสมเยื่อ 1 ครั้ง ในสัดส่วนการผสมดังตารางที่ ข-2 ซึ่งผลลัพธ์จากการทดสอบได้แสดงไว้ดังตารางที่ ข-5

ตารางที่ ข-5 ค่าคุณภาพ CMT ที่ได้จากการทดลองผสมเยื่อทั้ง 14 ชนิด

การผสมเยื่อครั้งที่	**การทดสอบค่าคุณภาพ CMT**					**ค่าเฉลี่ย**
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	
1	301.15	302.09	298.87	326.72	294.25	304.6
2	292.85	287.38	287.44	286.29	292.30	289.3
3	277.86	282.13	280.84	281.02	282.10	280.8
4	303.51	271.22	277.46	282.80	284.10	283.8
5	234.26	240.74	239.29	235.78	242.02	238.4
6	283.52	275.72	276.59	273.83	279.17	277.8
7	300.74	278.49	277.76	277.37	282.73	283.4
8	281.89	282.75	275.03	278.45	279.09	279.4
9	364.85	381.58	364.97	358.53	374.11	368.8
10	349.43	326.89	329.50	332.59	339.89	335.7
11	310.60	313.22	311.30	312.19	316.86	312.8
12	304.01	307.92	306.49	308.56	308.58	307.1

จากนั้นนำค่าเฉลี่ยในตารางที่ ข-5 มาทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพ CMT จากการสุ่มเลือกใช้เยื่อระหว่างการผสมในห้องทดลองกับการคำนวณของสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน โดยทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร (Paired t-test) ด้วยโปรแกรม Minitab

ตารางที่ ข-6 ค่าการต้านแรงกดลอนลูกฟูก (CMT) จากการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองและจากการคำนวณจากสมการข้อจำกัด

ครั้งที่	ค่าการต้านแรงกดลอนลูกฟูก (CMT)	
	การทดลองผสมเยื่อในห้องทดลอง	การคำนวณจากสมการข้อจำกัด
1	304.6	302.1
2	289.3	293.2
3	280.8	283.5
4	283.8	283.1
5	238.4	242.5
6	277.8	278.4
7	283.4	280.7
8	279.4	283.8
9	368.8	367.4
10	335.7	333.7
11	312.8	317.2
12	307.1	310.8

2.1 การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน (Variance) ของค่า CMT

ก่อนที่จะทำการทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่า CMT ด้วยวิธี Paired t-test นั้น จำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบค่าความแตกต่างของความแปรปรวนของค่าคุณภาพ CMT ที่ได้จากห้องทดลอง(σ^2_1) และสมการข้อจำกัด (σ^2_2) เนื่องจากไม่ทราบค่าความแปรปรวน (Variance) ดังนั้นจึงต้องทดสอบก่อนว่า $\sigma^2_1 = \sigma^2_2$ หรือไม่ เช่นเดียวกับค่า RCT ดังนี้

กำหนดให้

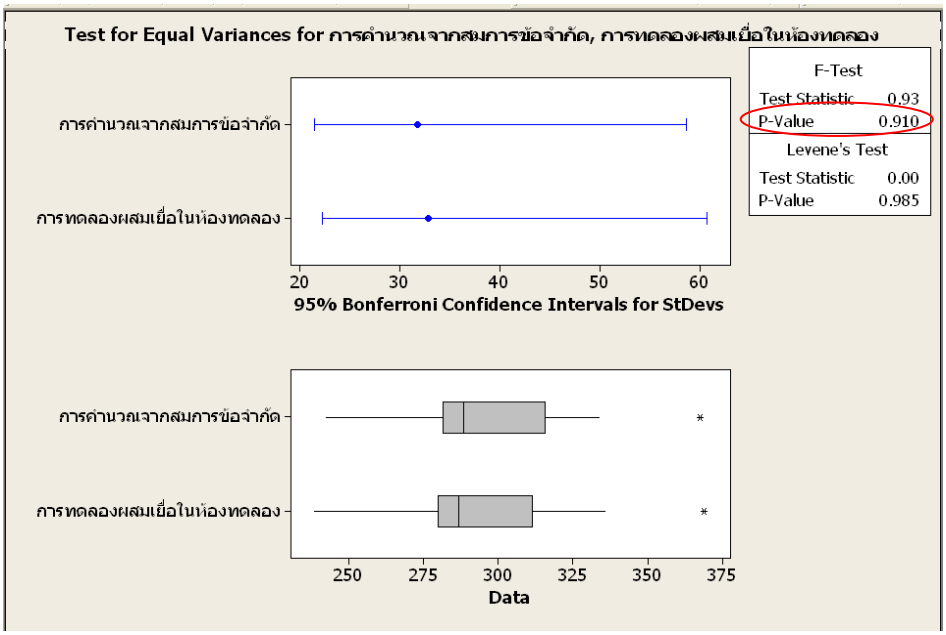
S_1 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการต้านแรงกดลอนลูกฟูก (CMT) ที่ได้จากห้องทดลอง

S_2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการต้านแรงกดลอนลูกฟูก (CMT) ที่ได้จากสมการข้อจำกัด

จากข้อมูลในตารางที่ ข-6 มี $S_1 = 32.83$ $S_2 = 32.71$ $n_1 = 12$ และ $n_1 = 12$ กำหนดให้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยสมมติฐานที่ทำการทดสอบ คือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$ และ $H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

เมื่อกำหนดให้ F เป็นสถิติทดสอบเพื่อใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 และ H_1 โดยเปรียบเทียบค่า P-value กับระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab ดังนี้



รูปที่ ข-3 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของค่า CMT ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัด โดยใช้โปรแกรม Minitab

จากผลลัพธ์ของโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ ข-3 ได้ค่าสถิติ F = 0.93 และค่า P-value = 0.910 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 นั่นคือค่าความแปรปรวนของค่าการต้านแรงกดลอนลูกฟูก (CMT) ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.2 การทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่า CMT ด้วยวิธี Paired t-test

ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพ CMT จากการสุ่มเลือกใช้เยื่อระหว่างการผสมในห้องทดลองกับการคำนวณของสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน มีรายละเอียดดังนี้

กำหนดให้

μ_1 คือ ค่าคุณภาพ CMT เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลอง

μ_2 คือ ค่าคุณภาพ CMT เฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากสมการข้อจำกัด

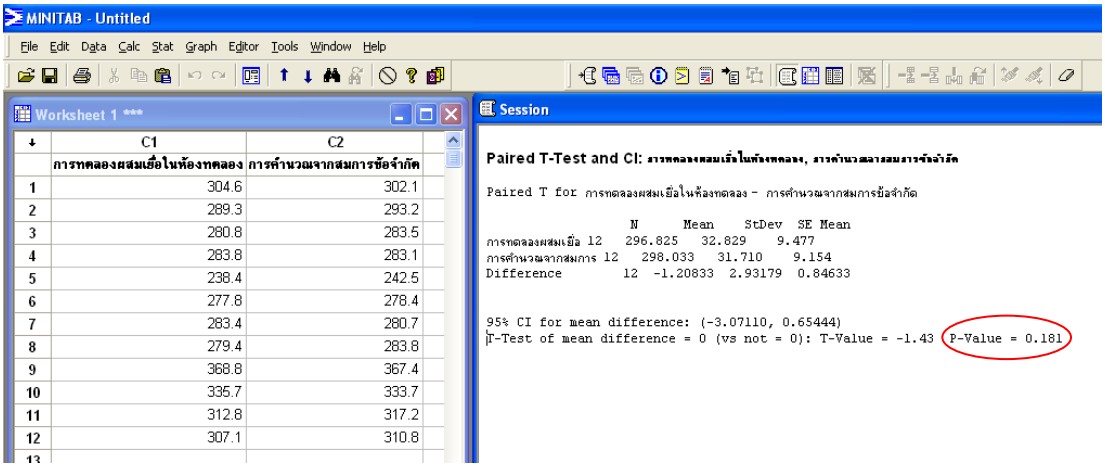
n = 12

เมื่อนำค่าสถิติทดสอบ T มาทดสอบสมมติฐาน H_0 และ H_1 และใช้ค่า P-value โดยนำมาเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญ $\alpha =$ 0.05 ด้วยโปรแกรม Minitab โดยสมมติฐานที่ทำการทดสอบคือ

$H_0 : \mu_1-\mu_2 = 0$ หรือ $H_0 : \mu_d = 0$ โดยที่ $\mu_d = \mu_1-\mu_2$

$H_1 : \mu_1-\mu_2 \neq 0$ $H_0 : \mu_d \neq 0$

และจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า $t>t_{1-\alpha/2;n-1}$ หรือ $t<t_{1-\alpha/2;n-1}$



รูปที่ ข-4 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า CMT ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัด

จากผลลัพธ์ของโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ ข-4 ได้ค่าสถิติ T = -1.43 และค่า P-value = 0.181 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 นั่นคือค่าการต้านแรงกดลอนลูกฟูก (CMT) ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. การทดสอบค่าคุณภาพ Burst Strength

การทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Strength) ทำได้เช่นเดียวกันกับการทดสอบค่า RCT และ CMT คือทดสอบหาค่า Burst Strength จำนวน 5 ครั้ง/การผสมเยื่อ 1 ครั้ง ในสัดส่วนการผสมดังตารางที่ ข-2 ซึ่งผลลัพธ์จากการทดสอบได้แสดงไว้ดังตารางที่ ข-7

ตารางที่ ข-7 ค่าคุณภาพ Burst Strength ที่ได้จากการทดลองผสมเยื่อทั้ง 14 ชนิด

การผสมเยื่อครั้งที่	**การทดสอบค่าคุณภาพ Burst Strength**					**ค่าเฉลี่ย**
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	
1	4.11	4.13	4.15	4.13	4.15	4.1
2	3.83	3.81	3.85	3.85	3.87	3.8
3	3.65	3.63	3.65	3.62	3.64	3.6
4	3.67	3.70	3.59	3.71	3.61	3.7
5	2.49	2.45	2.49	2.46	2.48	2.5
6	3.86	3.89	3.61	3.90	3.73	3.8
7	3.47	3.52	3.44	3.57	3.40	3.5
8	3.69	3.72	3.68	3.65	3.72	3.7
9	6.78	6.67	6.71	6.82	6.72	6.7
10	5.42	5.38	5.09	5.53	5.30	5.3
11	5.01	5.01	5.06	5.00	5.05	5.0
12	4.86	4.84	4.85	4.83	4.85	4.8

จากนั้นนำค่าเฉลี่ยในตารางที่ ข-7 มาทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพ Burst Strength เฉลี่ยที่ได้จากการสุ่มเลือกใช้เยื่อระหว่างการผสมในห้องทดลองกับการคำนวณของสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน โดยทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร (Paired t-test) ด้วยโปรแกรม Minitab ดังนี้

ตารางที่ ข-8 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Strength) จากการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองและจากการคำนวณจากสมการข้อจำกัด

ครั้งที่	ค่าการต้านแรงกดลอนลูกฟูก (Burst Strength)	
	การทดลองผสมเยื่อในห้องทดลอง	การคำนวณจากสมการข้อจำกัด
1	4.1	4.2
2	3.8	3.9
3	3.6	3.7
4	3.7	3.6
5	2.5	2.5
6	3.8	3.8
7	3.5	3.5
8	3.7	3.7
9	6.7	6.7
10	5.3	5.3
11	5.0	5.1
12	4.8	4.9

3.1 การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน (Variance) ของค่า Burst Strength

ก่อนที่จะทำการทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่า Burst Strength ด้วยวิธี Paired t-test นั้น จำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบค่าความแตกต่างของความแปรปรวนของค่าคุณภาพ Burst Strength ที่ได้จากห้องทดลอง(σ^2_1) และสมการข้อจำกัด (σ^2_2) เนื่องจากไม่ทราบค่าความแปรปรวน (Variance) ดังนั้นจึงต้องทดสอบก่อนว่า $\sigma^2_1 = \sigma^2_2$ หรือไม่ เช่นเดียวกับค่า RCT และ CMT ดังนี้

กำหนดให้

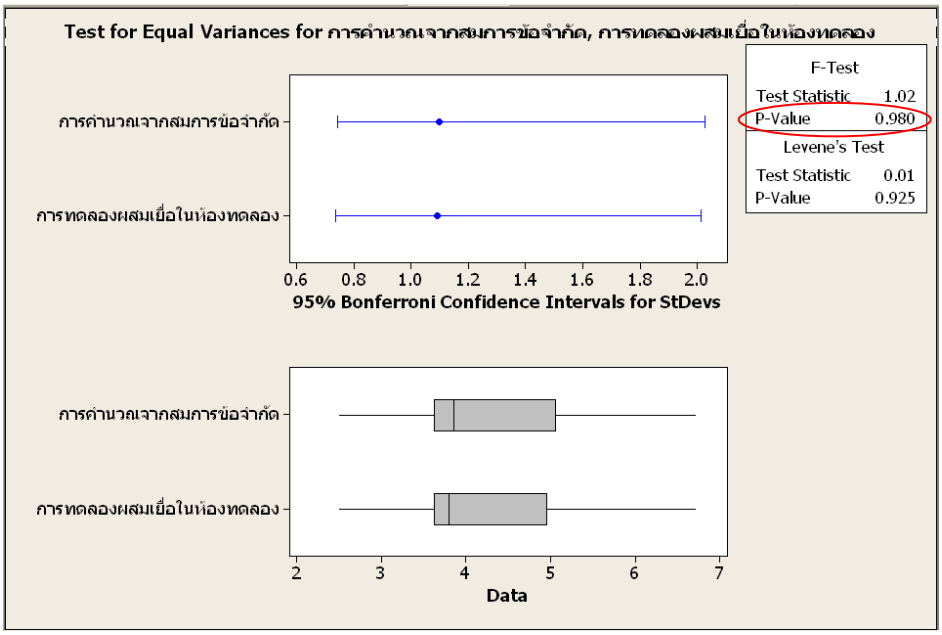
S_1 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Strength) ที่ได้จากห้องทดลอง

S_2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Strength) ที่ได้จากสมการข้อจำกัด

จากข้อมูลในตารางที่ ข- มี $S_1 = 1.18$ $S_2 = 1.20$ $n_1 = 12$ และ $n_1 = 12$ กำหนดให้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยสมมติฐานที่ทำการทดสอบ คือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$ และ $H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

กำหนดให้ F เป็นสถิติทดสอบเพื่อใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 และ H_1 โดยการเปรียบเทียบค่า P-value กับระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab ดังนี้



รูปที่ ข-5 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของค่า Burst Strength ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัด โดยใช้โปรแกรม Minitab

จากผลลัพธ์ของโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ ข-5 ได้ค่าสถิติ F = 1.02 และค่า P-value = 0.980 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 นั่นคือค่าความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Strength) ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.2 การทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่า Burst Strength ด้วยวิธี Paired t-test

ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพ Burst Strength จากการสุ่มเลือกใช้เยื่อระหว่างการผสมในห้องทดลองกับการคำนวณของสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน มีรายละเอียดดังนี้

กำหนดให้

μ_1 คือ ค่าคุณภาพ Burst Strength เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลอง

μ_2 คือ ค่าคุณภาพ Burst Strength เฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากสมการข้อจำกัด

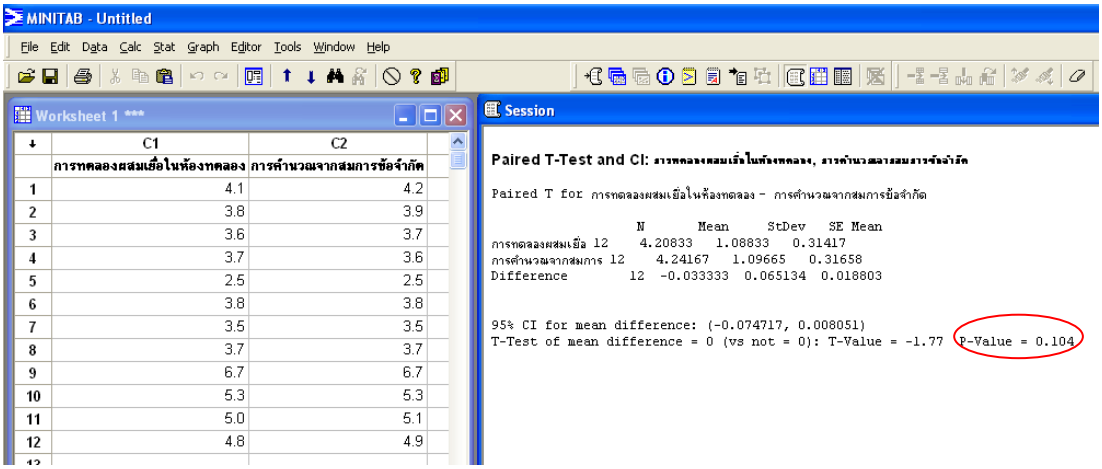
n = 12

เมื่อนำค่าสถิติทดสอบ T มาทดสอบสมมติฐาน H_0 และ H_1 และใช้ค่า P-value มาเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ด้วยโปรแกรม Minitab โดยสมมติฐานที่ทำการทดสอบคือ

$H_0 : \mu_1-\mu_2 = 0$ หรือ $H_0 : \mu_d = 0$ โดยที่ $\mu_d = \mu_1-\mu_2$

$H_1 : \mu_1-\mu_2 \neq 0$ $H_0 : \mu_d \neq 0$

และจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า $t>t_{1-\alpha/2;n-1}$ หรือ $t<t_{1-\alpha/2;n-1}$



รูปที่ ข-6 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า Burst Strength ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัด

ผลลัพธ์จากโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ ข-6 ได้ค่าสถิติ T = -1.77 และค่า P-value = 0.104 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 นั่นคือค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Strength) ระหว่างการทดลองผสมเยื่อในห้องทดลองกับการคำนวณจากสมการข้อจำกัดไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การทดสอบสมมติฐานของค่าคุณภาพทั้ง 3 สามารถสรุปได้ว่าการคำนวณตามเงื่อนไขมีความแม่นยำเทียบเท่าการทดสอบคุณภาพเยื่อในห้องทดลอง ดังนั้นจึงสามารถนำค่าคุณภาพที่ได้จากสมการข้อกัดมาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจารุตม์ อักษร เกิดวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2524 จังหวัดกรุงเทพมหานครฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ เมื่อปี 2545 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี 2552