การพยากรณ์และการวางแผนการผลิตสำหรับโรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น

Forecasting and Production Planning for Flexible Printed Circuit Board Manufacturing

สุพัฒน์ แก้วส่งศรี และ บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์

Supat Kaewsongsri and Busaba Phruksaphanrat

ISO-RU, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

จากปัญหาของการพยากรณ์และการวางแผนการผลิตสินค้าของโรงงานกรณีศึกษาที่มีความคลาดเคลื่อนจากความต้องการสินค้าจริงมากทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงตามไปด้วย ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการพยากรณ์ วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มโดยวิธีถดถอยเชิงเส้น และวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลซ้ำสองครั้งมาวิเคราะห์หาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงงาน ซึ่งพบว่าวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน มีค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่ำสุด หลังจากนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของแต่ละวิธีมาพยากรณ์ความต้องการสินค้าในอีก 6 เดือนต่อมา ซึ่งพบว่าวิธีการวิเคราะห์แนวโน้มโดยวิธีถดถอยเชิงเส้น มีค่าตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างจากการวิเคราะห์เบื้องต้น จึงนำค่าพยากรณ์ความต้องการในอนาคต ทั้งวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มโดยวิธีถดถอยเชิงเส้น และค่าจากของทั้ง 2 วิธีมากำหนดเป็นช่วงสูงสุด-ต่ำสุด ไปใช้ในการวางแผนการผลิตด้วยโปรแกรมเชิงเส้น จากผลการเปรียบเทียบแผนการผลิตพบว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน ให้ผลกำไรสูงที่สุด ซึ่งมีกำไรเพิ่มขึ้นจาก 872,122 บาท เป็น 4,755,068.25 บาท หรือ 445%

คำสำคัญ: การพยากรณ์ การวางแผนการผลิต โปรแกรมเชิงเส้น กรณีศึกษา

Abstract

According to the problem of high error in forecasting and production planning of the case study factory, in this research moving average method, simple linear regression, simple exponential smoothing method, and double exponential smoothing method were applied to find the best forecasting technique for the factory. The result showed that 4-months moving average method has the lowest value of mean absolute deviation, mean square error and mean absolute percent error. After that, the best parameters of each forecasting method were brought to predict the demand in the next 6 months. The result has shown that the simple linear regression method has the lowest error indicators, which is different from the preliminary analysis. Therefore, the forecasting demand of a 4-months moving average, a simple linear regression method and a range term of demand between those 2 methods have been applied for production planning. The objective of production planning is to maximize profit. When comparing with the previous production planning by linear programming, the 4-months moving average method showed the highest profit. The profit could be raised from 872,122 Baht to 4,755,068.25 Baht or increasing 445%.

Keywords: forecasting, production planning, linear programming, case study

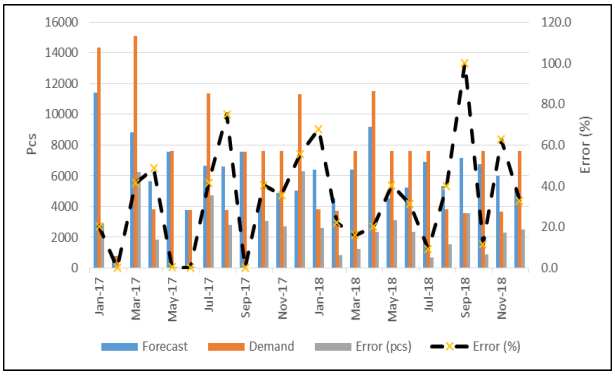
1. บทนำ

จากการแข่งขันของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ประเภทแผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น (Flexible Printed Circuit) ที่สูงขึ้นของไทย ทำให้บริษัทต่างๆ ต้องปรับตัวทั้งด้านการเพิ่มผลผลิต คุณภาพ และการบริหารห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) ด้วยความต้องการที่มีการผันผวน ไม่แน่นอน และมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วจึงทำให้การบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานยาก ซึ่งการพยากรณ์ความต้องการการซื้อสินค้าสำหรับการวางแผนการผลิตที่มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพนั้น จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

จากการศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาของแผนกการจัดการห่วงโซ่อุปทานพบว่า การวางแผนการผลิตใช้การคาดการณ์หรือพยากรณ์ โดยอาศัยความชำนาญส่วนบุคคลของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน ไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณการผลิตหรือการคำนวณการวางแผนการผลิตอย่างถูกต้องแม่นยำ ทำให้คลังสินค้ามีปริมาณสินค้าสำเร็จรูปเกินความต้องการ และเกิดความสูญเสียจากสินค้าสำเร็จรูปหมดอายุ ยิ่งไปว่านั้นบางช่วงเวลามีการพยากรณ์การผลิตไม่เพียงพอ ไม่สามารถทำตามปริมาณคำสั่งซื้อจากลูกค้าได้ในระยะเวลาที่กำหนด เกิดความเสียหายในการดำเนินธุรกิจจากทั้งการเพิ่มเวลาการทำงานพิเศษ การใช้บริการขนส่งด่วนพิเศษ การซื้อวัตถุดิบแบบเร่งด่วนจากผู้อื่นที่ไม่ใช่ผู้ผลิตวัตถุดิบโดยตรง อีกทั้งยังสูญเสียความน่าเชื่อถือและการประเมินความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตวัตถุดิบจากลูกค้า

ปัญหาการพยากรณ์และการวางแผนการผลิตได้มีงานวิจัยหลายงานที่ทำการปรับปรุงโดยใช้เทคนิคในการพยากรณ์ อันได้แก่ การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก วิธีการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล วิธีการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลโดยพิจารณาองค์ประกอบแนวโน้ม วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล วิธีโฮลต์-วินเทอร์ สำหรับผลกระทบตามฤดูกาลแบบวิธีโฮลต์-วินเทอร์สำหรับผลกระทบตามฤดูกาลแบบคูณ และวิธีกระบวนการแบบฤดูกาล เพื่อหาวิธีที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่ำสุด (1 - 7) ซึ่งทำให้ได้วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละโรงงาน และหลังจากได้ข้อมูลพยากรณ์ที่ถูกต้องแล้วข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตต่อไป ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานที่นำหลักการกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) มาสร้างตัวแบบการวางแผนการผลิตมากมาย โดยส่วนใหญ่แล้วจะกำหนดเป้าหมายเป็นกำไรสูงสุด (8 – 9) หรือลดต้นทุนให้ต่ำสุด (10 – 11) ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายของโรงงานได้เพิ่มจากเดิมเป็นอย่างมากภายหลังการประยุกต์ใช้ตัวแบบ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของทางโรงงานกรณีศึกษาพบว่า การพยากรณ์จำนวนการผลิตที่ได้รับ และคำสั่งซื้อจริงในแต่ละเดือนระหว่าง มกราคม 2560 – ธันวาคม 2561 มีความคลาดเคลื่อนจากจำนวนคำสั่งซื้อจริงอย่างมาก โดยการพยากรณ์ปกติจะพิจารณาจากความต้องการ 2 เดือนก่อนหน้า ซึ่งปริมาณความต้องการเดือน พฤศจิกายน – ธันวาคม 2559 ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์สำหรับเดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ 2560 ที่มีความต้องการต่ำผิดปกติ เนื่องจากลูกค้าไม่ต้องการแบกรับต้นทุนวัตถุดิบข้ามปี เพื่อหลีกเลี่ยงการถือครองต้นทุนคงคลังมากเกินในการตรวจเช็คนับสินค้าคงคลังประจำปี (PI Checking) และการจัดทำงบประมาณประจำปี (Fiscal Year) และเมื่อถึงเดือนมกราคม 2560 ลูกค้ามีความต้องการเรียกสินค้าสูง เนื่องจากปริมาณสินค้าคงคลังที่ลูกค้ามีปริมาณน้อย และปรับความต้องการสินค้าเป็นเรียกสำหรับการผลิตครั้งละ 2 เดือน เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นความต้องการสินค้าประจำเดือนมกราคม และมีนาคม 2560 จึงมีความต้องการมากผิดปกติ เดือนกุมภาพันธ์มีความต้องการน้อยผิดปกติ และเมื่อผ่านเดือนมีนาคม 2560 ไป ลูกค้าได้ปรับความต้องการสินค้าเรียกสินค้าเป็นเรียกประจำเดือนแทน ดังแสดงในภาพที่ 1 ดังนั้นทางโรงงานจึงมีความจำเป็นจะต้องพิจารณาหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น อีกทั้งการพยากรณ์ที่คลาดเคลื่อนนี้ยังส่งผลต่อแผนการผลิตทำให้เกิดปัญหาในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีการวิเคราะห์แผนการผลิตภายหลังจากที่ได้วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมอีกด้วยเพื่อให้ได้แผนการผลิตที่มีกำไรสูงสุด ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีต่างๆ กับโรงงานจริง



ภาพที่ 1 ข้อมูลผลรวมการเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์การผลิตและจำนวนคำสั่งซื้อจริง ในอดีต

2. การพยากรณ์ (forecasting)

จากปัญหาข้างต้น เทคนิคการพยากรณ์ประเภทอนุกรมเวลาได้ถูกนำมาใช้เนื่องจากข้อมูลความต้องการของสินค้ามีลักษณะแบบคงที่ วิธีที่นำมาใช้ได้แก่ วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average method) วิธีถดถอยเชิงเส้น (linear regression)วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (simple exponential method) และวิธีการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลซ้ำสองครั้ง (double exponential smoothing) โดยวิเคราะห์ข้อมูลยอดขายสินค้าผลิตภัณฑ์แผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น รุ่น NJ3196 กรณีศึกษา ระหว่างเดือน มกราคม 2560 – ธันวาคม 2561 รวมทั้งสิ้น 24 เดือน ซึ่งวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของค่าการพยากรณ์จาก 3 ตัวชี้วัด ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (mean absolute deviation; MAD) ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (mean squared error; MSE) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (mean absolute percentage error; MAPE) เพื่อหาค่าการพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการในอดีตเพื่อหารูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม

2.1.1 วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่

เป็นวิธีการที่ใช้หลักการหาค่าเฉลี่ยข้อมูล ในงานวิจัยนี้ทำการพยากรณ์แบบ 3, 4 และ 5 เดือน โดยคำนวณจากสมการ (1) โดยที่ d คือ ค่าความต้องการ T คือ ช่วงเวลา N เป็นจำนวนช่วงเวลาที่เราจะพิจารณาในวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ และ M_T เป็นค่าถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่

$$M_T = \frac{1}{N}(d_{T-N+1} + d_{T-N+2} + \cdots + d_T) \quad (1)$$

2.1.2 วิธีถดถอยเชิงเส้น

เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในรูปของสมการเชิงเส้น ดังสมการ (2) โดย a คือ ค่าจุดตัดบนแกน Y และ b คือความชันของเส้นกราฟ

$$y = a + bx \quad (2)$$

2.1.3 วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย

เป็นการหาค่าเฉลี่ยวิธีหนึ่ง ดังสมการที่ (3) โดยที่ F_{T+1} คือค่าพยากรณ์ในช่วงเวลาถัดไป α คือค่าถ่วงน้ำหนักปรับเรียบ มีค่าระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 d_T คือ ค่าความต้องการจริงในช่วงเวลาปัจจุบัน และ F_T คือ ค่าพยากรณ์ของช่วงเวลาปัจจุบัน

$$F_{T+1} = \alpha d_T + (1-\alpha)F_T \quad (3)$$

2.1.4 วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลซ้ำสองครั้ง

เป็นวิธีการที่เหมาะกับข้อมูลที่มีการเคลื่อนไหวแบบแนวโน้มเส้นตรง ผสมผสานระหว่างวิธีอนุกรมเวลาและวิธีเชิงเส้น ดังสมการ (4) และ (5) โดยที่ α และ γ คือค่าคงที่สำหรับการปรับเรียบ F_t คือ ค่าตัดแกนที่เวลา t, d_t คือความต้องการสินค้าในเวลา t และ T_t คือค่าความชันที่เวลา t โดยที่ในการพยากรณ์ m ช่วงเวลาไปข้างหน้า เริ่มจากช่วงเวลา t กำหนดให้เป็น $DF_{t,t+m}$ ดังสมการที่ (6)

$$F_T = \alpha d_T + (1-\alpha)(F_{T-1} + T_{T-1}) \quad (4)$$

$$T_T = \gamma(F_T - F_{T-1}) + (1-\gamma)(T_{T-1}) \quad (5)$$

$$DF_{t,\,t+m} = F_t + mT_t \quad (6)$$

2.2 ผลการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา

ผลการพยากรณ์ด้วยข้อมูลในอดีต จำนวน 24 เดือนพบว่าวิธีการถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังข้อมูลในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์เบื้องต้น

วิธีการพยากรณ์	MAD	MSE	MAPE
ถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 เดือน	2,921.14	12,522,849	0.55
ถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน	2,422.35	8,483,384	0.45
ถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 5 เดือน	2,629.98	9,963,898	0.51
การปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย	3,236.77	19,812,117	1.28
ถดถอยเชิงเส้น	2,804.58	12,162,487	0.81
การปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลซ้ำสองครั้ง	3,206.80	19,742,713	1.28

เมื่อนำผลของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคำสั่งซื้อในอดีต มาทำการพยากรณ์ยอดขายในอนาคตระหว่างเดือนมกราคม 2562 – มิถุนายน 2562 จำนวน 6 เดือน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องพบว่าวิธีถดถอยเชิงเส้นด้วยพารามิเตอร์ a = 8,436.348 และ b = -106.628 มีความแม่นยำของค่าการพยากรณ์มากที่สุด ซึ่งไม่สอดคล้องกับการวิเคราะห์เบื้องต้น โดยผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 2

จากผลที่ไม่สอดคล้องกับการวิเคราะห์เบื้องต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำค่าจากวิธีการถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน วิธีการถดถอยเชิงเส้นด้วยพารามิเตอร์ข้างต้น และค่าจากของทั้ง 2 วิธีมากำหนดเป็นช่วงสูงสุด-ต่ำสุดเพื่อเป็นค่าพยากรณ์แบบช่วงสำหรับการวางแผนการผลิตต่อไป

ตารางที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ 6 เดือน

วิธีการพยากรณ์	MAD	MSE	MAPE
ถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน	1,659.50	3,317,804	0.35
ถดถอยเชิงเส้น	1,506.83	2,574,487	0.32
การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย	1,740.07	3,455,521	0.38
การปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลซ้ำสองครั้ง	1,662.95	3,196,611	0.35

3. การวางแผนการผลิต (Production Planning)

ในการวางแผนการผลิตของผลิตภัณฑ์พิจารณาที่ระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักคือการเพิ่มกำไรสูงสุด ดัชนี ตัวแปรปัจจัย ค่าคงที่ และตัวแปรตัดสินใจ มีดังนี้

ดรรชนี

t = ช่วงเวลาในการวางแผนการผลิต t = 1, 2,…, 6

ตัวแปรปัจจัยและค่าคงที่

Du_t = ค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการของลูกค้าสูงสุดของการพยากรณ์แบบใหม่ ณ ช่วงเวลา t

DL_t = ค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการของลูกค้าต่ำสุดของการพยากรณ์แบบใหม่ ณ ช่วงเวลา t

PR = ราคาขายสินค้าสำเร็จรูปต่อหน่วย

CM = ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย

CMOH = ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงานต่อหน่วย

CI = ต้นทุนสินค้าคงคลังต่อหน่วย

CB = ต้นทุนสินค้าขาดส่งต่อหน่วย

CP_t = ต้นทุนการผลิตในช่วงเวลาการทำงานปกติ ณ ช่วงเวลา t

CO_t = ต้นทุนการผลิตในช่วงเวลาการทำงานล่วงเวลา ณ ช่วงเวลา t

L = จำนวนพนักงานที่ใช้ปฏิบัติงานต่อวัน

CLnS = ค่าจ้างพนักงานรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อคน ในช่วงเวลาทำงานปกติ

D_t = ค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการของลูกค้า ณ ช่วงเวลา t (สำหรับกรณีคำนวณแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบช่วง)

ตัวแปรตัดสินใจ

D_t = ค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการของลูกค้า ณ ช่วงเวลา t (สำหรับกรณีคำนวณแบบช่วง)

PT_t = ปริมาณการผลิตเวลาการทำงานปกติ (ชิ้น)

OT_t = ปริมาณการผลิตเวลาการทำงานล่วงเวลา (ชิ้น)

PQA_t = ปริมาณการผลิตที่ต้องการ ณ ช่วงเวลา t

Bo_t = ปริมาณสินค้าขาดส่ง ณ ช่วงเวลา t

I_t = ปริมาณสินค้าคงคลังคงเหลือ ณ ช่วงเวลา t

$WTnS_t$ = เวลาการทำงานในช่วงเวลาการทำงานปกติ ณ ช่วงเวลา t

$WToS_t$ = เวลาการทำงานในช่วงเวลาการทำงานล่วงเวลา ณ ช่วงเวลา t

CLoS = ค่าจ้างพนักงานรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อคน ในช่วงเวลาทำงานล่วงเวลา

PTT = อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่อคนต่อชั่วโมง

CPnS = กำลังการผลิตที่สามารถผลิตได้ของสายการผลิตในช่วงเวลาทำงานปกติ

CPoS = กำลังการผลิตที่สามารถผลิตได้ของสายการผลิตในช่วงเวลาทำงานล่วงเวลา

PQT_t = ปริมาณการผลิตรวม ณ ช่วงเวลา t หรือ ผลรวมระหว่างปริมาณการผลิตเวลาทำงานปกติกับปริมาณการผลิตเวลาทำงานล่วงเวลา

3.1 ตัวแบบการวางแผนการผลิต

ตัวแบบการวางแผนการผลิตสำหรับโรงงานกรณีศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างผลกำไรสูงสุด สามารถหาได้จากผลต่างระหว่าง รายได้ กับ ผลรวมของต้นทุนทั้งหมด สามารถแสดงสมการกำไร ได้ดังนี้

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{t=1}^{6} PR\,(D_t - BO_6) - [\sum_{t=1}^{6} PT_t\,(CM + CMOH) + \sum_{t=1}^{6} OT_t\,(CM + CMOH) + \sum_{t=1}^{6} CI_t \times I_t + \sum_{t=1}^{6}((WTnS_t \times CLnS \times L) + (WToS_t \times CLoS \times L)) + \sum_{t=1}^{6} CB \times BO_t] \quad (7)$$

$$DL_t \leq D_t \leq DU_t \quad (8)$$

$$PT_t \leq CPnS \quad (9)$$

$$OT_t \leq CPoS \quad (10)$$

$$PQT_t = PT_t + OT_t \quad (11)$$

$$I_t - I_{t-1} = PQT_t - D_t - BO_{t-1} + BO_t \quad (12)$$

$$WTnS_t = PT_t \times PTT \times L \quad (13)$$

$$WToS_t = OT_t \times PTT \times L \quad (14)$$

$$D_t, PT_t, OT_t, PQA_t, BO_t, I_t, WTnS, WToS_t \geq 0 \quad (15)$$

ข้อจำกัดประกอบไปด้วยข้อจำกัดของช่วงการพยากรณ์ความต้องการที่ได้จากการพยากรณ์แสดงในสมการที่ (8) โดยสมการนี้ใช้เฉพาะกรณีคำนวณความต้องการแบบช่วง ข้อจำกัดของการผลิตซึ่งประกอบด้วย ปริมาณการผลิตเวลาการทำงานปกติและล่วงเวลา ที่ต้องไม่มากกว่าหรือเท่ากับกำลังการผลิตที่สามารถผลิตได้ของสายการผลิต ในช่วงเวลาดังสมการที่ (9) และ (10) โดยปริมาณการผลิตรวม ณ ช่วงเวลา t ต้องเท่ากับผลรวมของปริมาณการผลิตเวลาการทำงานปกติและปริมาณการผลิตเวลาการทำงานล่วงเวลาดังสมการที่ (11) ข้อจำกัดของสินค้าคงคลัง ปริมาณสินค้าคงคลังคงเหลือ ณ ช่วงเวลา t ลบสินค้าคงคลังในช่วงเวลาก่อนหน้า เท่ากับผลต่างระหว่างปริมาณการผลิตรวม ณ ช่วงเวลา t ลบกับค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการของลูกค้า ณ ช่วงเวลา t และปริมาณสินค้าขาดส่ง ณ ช่วงเวลาก่อนหน้า บวกกับปริมาณสินค้าขาดส่ง ณ ช่วงเวลา t ดังสมการที่ (12) และข้อจำกัดของเวลาการทำงานแสดงดังสมการที่ (13) และ (14) โดยตัวแปรทุกตัวมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ดังสมการ (15)

3.2 การคำนวณการวางแผนการผลิต

ช่วงเวลาของการวางแผนการผลิต (t) คือ 6 เดือน การผลิตในช่วงเวลาปกติแบ่งออกเป็น 2 กะต่อวัน โดยทำการผลิตสินค้านี้ได้ไม่เกิน 3 วันต่อเดือน การผลิตล่วงเวลา แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาตามกะ ได้แก่ 15.30-18.00 และ 18.00-21.30 ต้นทุนแรงงาน (CLnS) คือ 43.3 บาท/ชั่วโมง การทำงานล่วงเวลา (CLoS) มีค่า 64.95 บาท/ชั่วโมง จำนวนพนักงานที่ปฏิบัติงาน (L) มีจำนวน 14 คนต่อวัน ราคาขายสินค้าสำเร็จรูป (PR) และต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย (CM) คือ 472.37 บาทและ 257.72 บาท ต้นทุนค่าโสหุ้ยต่อหน่วย (CMOH) 34.12 บาท ต้นทุนสินค้าคงคลังต่อหน่วย (CI) 0.22 บาท และต้นทุนสินค้าขาดส่งต่อหน่วย (CB) 7.857 บาท อัตราผลผลิตสินค้าสำเร็จต่อชั่วโมงต่อคน (PTT) 21.42 ชิ้น กำลังการผลิตที่ผลิตได้ของ

สายการผลิตเวลาปกติ (CPnS) และล่วงเวลา (CPoS) คือ 9,000 และ 3,000 ชิ้นต่อเดือน โดยกำหนดให้จำนวนสินค้าสำเร็จรูปคงคลังเริ่มต้น (I_0) และสินค้าขาดส่งเริ่มต้น (B_0) เท่ากับ 0 ชิ้น

หลังจากนั้นนำค่าพยากรณ์ความต้องการสินค้าในอนาคตทั้งวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มโดยวิธีถดถอยเชิงเส้น และค่าจากของทั้ง 2 วิธีมากำหนดในลักษณะช่วงสูงสุด-ต่ำสุด (สูงสุด (DU_t) – ต่ำสุด (DL_t)) ซึ่งตัวแบบการวางแผนการผลิตด้วยโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล โซลเวอร์ จะคำนวณเลือกค่าความต้องการที่อยู่ระหว่างช่วงนี้ เป็นตัวกำหนดจำนวนการวางแผนการผลิต ดังตารางที่ 3 เพื่อเป็นค่าพยากรณ์ไปใช้ในการวางแผนการผลิต ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับการวางแผนการผลิตแบบเดิมในช่วงเดือนมกราคม ถึง มิถุนายน 2562 พบว่าการวางแผนจากค่าพยากรณ์แบบวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน สามารถสร้างผลกำไรได้มากกว่าแบบเดิมถึงประมาณ 5 เท่า รองลงมา คือ วิธีถดถอยเชิงเส้น และวิธีพยากรณ์แบบช่วงจากทั้ง 2 วิธี ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบตัวแปรตัดสินใจจากการพยากรณ์ทั้งแบบปัจจุบันและการพยากรณ์แบบใหม่ทั้ง 3 วิธี ที่เป็นค่านำเข้าของการวางแผนการผลิตพบว่าการวางแผนการผลิตด้วยค่าพยากรณ์แบบใหม่ทั้ง 3 วิธี มีต้นทุนการผลิตเวลาปกติลดลงเฉลี่ย 1,910,968.32 บาท และไม่ปรากฏต้นทุนการผลิตล่วงเวลาเกิดขึ้น ซึ่งต่างจากการวางแผนการผลิตแบบเดิมที่มีต้นทุนการผลิตล่วงเวลา เท่ากับ 1,751,040 บาท อีกทั้งต้นทุนการจัดเก็บสินค้า ค่าจ้างพนักงาน ของการพยากรณ์แบบใหม่ทั้ง 3 วิธี มีค่าลดลง โดยเมื่อเทียบกับการวางแผนการผลิตด้วยวิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 กับการวางแผนการผลิตแบบเดิม พบว่าต้นทุนการจัดเก็บสินค้า ค่าจ้างพนักงานลดลง 84% และ 54% ตามลำดับ แต่การพยากรณ์ด้วยวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เป็นวิธีการพยากรณ์เดียวที่ทำให้การผลิตเกิดต้นทุนสินค้าขาดส่งมูลค่า 102.14 บาท เกิดขึ้น เป็นสินค้าสำเร็จรูปจำนวน 13 ชิ้น คิดเป็น 0.2% จากยอดขายจริง ณ เดือนนั้น โดยสินค้าขาดส่งในเดือนนี้ สามารถจัดส่งสินค้าในรอบเดือนถัดไป ตามแผนการผลิตจากค่าพยากรณ์ได้โดยไม่เกิดผลกระทบใดๆ

แผนที่ได้จากการวางแผนแบบเดิมและการพยากรณ์แบบใหม่ทั้ง 3 วิธี สามารถแสดงผลรวมปริมาณการผลิตทั้งเวลาปกติและล่วงเวลา ปริมาณการจัดเก็บสินค้า และปริมาณสินค้าขาดส่ง (ชิ้น) ระหว่างเดือนมกราคมถึงมิถุนายน 2562 ดังตารางที่ 5 พบว่าปริมาณการผลิตเวลาปกติ และ ปริมาณจัดเก็บสินค้าของพยากรณ์แบบใหม่ ทั้ง 3 วิธี มีปริมาณน้อยกว่าการวางแผนการผลิตแบบเดิม ซึ่งการพยากรณ์แบบใหม่ทั้ง 3 วิธีนั้นไม่พบปริมาณการผลิตล่วงเวลาทำงานเกิดขึ้น ซึ่งต่างจากการวางแผนการผลิตแบบเดิมที่มีจำนวนการผลิต 6,000 ชิ้น

4. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากปัญหาการพยากรณ์ที่คลาดเคลื่อน และการวางแผนการผลิตที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ของโรงงานกรณีศึกษา เมื่อนำเทคนิคการพยากรณ์ทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มโดยวิธีถดถอยเชิงเส้น และวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลซ้ำสองครั้งมาใช้แทนการพยากรณ์แบบเดิมที่อาศัยเพียงประสบการณ์ของผู้พยากรณ์ในเบื้องต้นพบว่า วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด โดยวัดจาก 3 ตัวชี้วัด ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ หลังจากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของแต่ละวิธีมาพยากรณ์ความต้องการสินค้าใน 6 เดือนต่อมา ซึ่งพบว่าวิธีการวิเคราะห์แนวโน้มโดยวิธีถดถอยเชิงเส้น มีค่าตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างจากการวิเคราะห์หาวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมก่อนหน้า ดังนั้นจึงนำค่าพยากรณ์ความต้องการสินค้าในอนาคตทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มโดยวิธีถดถอยเชิงเส้น และค่าจากของทั้ง 2 วิธีมากำหนดในลักษณะช่วงสูงสุด-ต่ำสุดไปใช้ในการวางแผนการผลิต โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นมาช่วยในการวางแผนกำหนดวัตถุประสงค์คือ กำไรสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับการวางแผนการผลิตแบบเดิม พบว่าวิธีการใหม่ทั้ง 3 วิธีมีผลกำไรที่สูงกว่าการจัดการในปัจจุบัน โดยวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน เป็นวิธีที่มีผลกำไรสูงสุด ซึ่งสามารถทำกำไรเพิ่มขึ้นจาก 872,122.03 บาท เป็น 4,755,068.25 บาท หรือเพิ่มขึ้น 445%

โดยเกิดจาก การลดต้นทุนการผลิตเวลาปกติลง 2,042,004.48 บาท และต้นทุนการผลิตล่วงเวลาลง 1,751,040 บาท คิดเป็น 52.59% และ 45.1% ของต้นทุนที่สามารถลดได้ทั้งหมด

ตารางที่ 3 ค่าพยากรณ์วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน วิธีถดถอยเชิงเส้น และวิธีแบบช่วงระหว่างมกราคมถึงมิถุนายน

วิธีการพยากรณ์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน	5,625	5,653	4,689	5,700	5,420	5,616
วิธีถดถอยเชิงเส้น	5,771	5,664	5,557	5,451	5,344	5,238
วิธีแบบช่วง สูงสุด (DU_t) – ต่ำสุด (DL_t))	5,771-5,625	5,664-5,653	5,557-4,689	5,700-5,451	5,420-5,344	5,616-5,238

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการวางแผนการผลิตแบบเดิมและการวางแผนการผลิตแบบใหม่ (บาท) จากวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน วิธีถดถอยเชิงเส้น และวิธีแบบช่วงจากทั้ง 2 วิธี

สมการเป้าหมาย	การวางแผนการผลิตแบบเดิม	การวางแผนการผลิตรูปแบบใหม่		
		วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน	วิธีถดถอยเชิงเส้น	ค่าพยากรณ์แบบช่วงจากทั้ง 2 วิธี
รายได้	14,367,605.92	14,367,503.77	14,367,605.92	14,367,605.92
ต้นทุนการผลิตเวลาปกติ	11,586,048.00	9,544,043.52	9,638,016.00	9,843,179.52
ต้นทุนการผลิตล่วงเวลา	1,751,040	0	0	0
ต้นทุนการจัดเก็บสินค้า	13,304.51	2,181.56	2,870.58	3,155.60
ค่าจ้างพนักงาน	145,091.39	66,108.31	66,759.22	68,180.32
ต้นทุนสินค้าขาดส่ง	0	102.14	0	0
กำไรสูงสุด (Max Z1)	872,122.03	4,755,068.25	4,659,960.12	4,453,090.48

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลรวมปริมาณการวางแผนการผลิตแบบเดิมและการวางแผนการผลิตแบบใหม่ (ชิ้น) ระหว่างเดือนมกราคมถึงมิถุนายน จากวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน วิธีถดถอยเชิงเส้น และวิธีแบบช่วงจากทั้ง 2 วิธี

สมการเป้าหมาย	การวางแผนการผลิตแบบเดิม	การพยากรณ์รูปแบบใหม่		
		วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือน	วิธีถดถอยเชิงเส้น	ค่าพยากรณ์แบบช่วงจากทั้ง 2 วิธี
ปริมาณการผลิตเวลาปกติ	39,700	32,703	33,025	33,728
ปริมาณการผลิตล่วงเวลา	6,000	-	-	-
ปริมาณการจัดเก็บสินค้า	59,608	9,774	12,861	14,138
ปริมาณสินค้าขาดส่ง	-	13	-	-

การศึกษาการพยากรณ์ การวางแผนการผลิต และการวางแผนความต้องการวัสดุ ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ควรมีการเพิ่ม ค่าผลิตดีของการผลิต (Production Yield) สำหรับการพยากรณ์ การวางแผนการผลิต และค่าผลิตภาพวัสดุ (Raw Material Yield) สำหรับการวางแผนความต้องการวัสดุ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณ และได้ปริมาณผลลัพธ์ (Output) ที่เหมาะสม

5. เอกสารอ้างอิง

(1) สุภาวดี ยอดยิ่ง. การประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์มาปรับปรุงการวางแผนการผลิต [การค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2557.

(2) รติกา โพธิ์ศรีทอง. การประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์สำหรับบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์นำสัญญาณไฟฟ้า [การค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2555.

(3) จิราพร ศรีนุเคราะห์. การศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์เพื่อวางแผนวัตถุดิบคงคลัง [การค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2556.

(4) Nakade K., Niyama Y. Bullwhip Effect of Weighted Moving Average Forecast under Stochastic Lead Time. In: Ivanov D., Dolgui A., Yalaoui F., Proceedings of the 9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2019; 2019 Aug 28-30; Berlin, German; 2019. p. 1277-82.

(5) Najafi M, Farahani R. New Forecasting Insights on the Bullwhip Effect in Supply Chain. IMA Journal of Management Mathematics, 2014; 25(3): 259-286.

(6) Michna Z, Disney S, Nielsen P. The Impact of Stochastic Lead Times on the Bullwhip Effect under Correlated Demand and Moving Average Forecasts. Omega, 2020; 93: xxx-xxx.

(7) Ryu K. The Evaluation of Forecasting Methods at an Institutional Foodservice Dining Facility. Journal of Hospitality Financial Management, 2003; 11(1): 27-45.

(8) พิศาล สีนวล. การใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาจัดสรรทรัพยากรเพื่อลดเวลาในการวางแผนการผลิต [การค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2559.

(9) จรูญรัตน์ จงรักษ์ลิขิต. การวางแผนการผลิตโดยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น กรณีศึกษา: โรงงานผลิตแก๊สอุตสาหกรรม [การค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2552.

(10) สิรินทร์ ตันตรวงศ์. การลดต้นทุนการผลิตโดยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น : กรณีศึกษาบริษัทผู้ผลิตกระดาษแห่งหนึ่ง [การค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2553.

(11) Filho O, Cezarino W, Ratto J. Aggregate Production Planning: Modeling and Solution via Excel Spreadsheet and Solver. Proceedings of the 5th IFAC Conference on Management and Control of Production Logistics; 2010 Sep 8-10; Coimbra, Portugal; 2010. p. 89-94.