

การเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ในการพยากรณ์ยอดขาย: กรณีศึกษาบริษัทผลิต ขวดน้ำพลาสติกแห่งหนึ่งในประเทศไทย

COMPARISON OF FORECASTING TECHNIQUE FOR IMPROVING THE ACCURACY OF SALE FORECAST: A CASE STUDY OF PLASTIC BOTTLE MANUFACTURING IN THAILAND

Received: 22 February 2022

Revised: 25 May, 2022

Accepted: 30 May, 2022

วริศ ลิ้มลาวัลย์*

Varis Limlawan*

ศิริรัตน์ แจ็งรักษ์สกุล**

Sirat Jangruksakul**

คุณากร วิวัฒน์นารวงศ์***

Kunakorn Wiwattanakornwong***

*อาจารย์ การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยบริหารธุรกิจนวัตกรรมและการบัญชี (CIBA) มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

*Lecturer, Logistics and Supply Chain Management, College of Business Administration Innovation and Accounting (CIBA), Dhurakij Pundit University

*Email: varis.lim@dpu.ac.th

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยบริหารธุรกิจนวัตกรรมและการบัญชี (CIBA) มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

**Assistant Professor, Logistics and Supply Chain Management, College of Business Administration Innovation and Accounting (CIBA), Dhurakij Pundit University

**Email: sirat.jan@dpu.ac.th

***อาจารย์ การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยบริหารธุรกิจนวัตกรรมและการบัญชี (CIBA) มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

***Lecturer, Logistics and Supply Chain Management, College of Business Administration Innovation and Accounting (CIBA), Dhurakij Pundit University

***Email: Kunakorn.wiw@dpu.ac.th

บทคัดย่อ

การพยากรณ์ยอดขาย หรือ อุปสงค์ของลูกค้ามีความสำคัญในการวางแผนด้านต่าง ๆ ของบริษัท ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนการผลิตและวัสดุ การวางแผนทรัพยากรมนุษย์ บริษัทหลาย ๆ แห่งได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพยากรณ์ทำให้มีความต้องการที่จะปรับปรุงความแม่นยำของการพยากรณ์ สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงวิธีการพยากรณ์ยอดขายของบริษัทผลิตขวดน้ำพลาสติกแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยเน้นวิธีการพยากรณ์ที่ไม่ซับซ้อนและประยุกต์ใช้ได้ง่าย โดยงานวิจัยนี้ได้แสดงวิธีการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดสำหรับยอดขายขวดน้ำพลาสติกสามรุ่นที่ขายดี โดยนำข้อมูลในอดีตช่วงสิงหาคม พ.ศ. 2561 – กรกฎาคม พ.ศ. 2563 มาใช้ในการทดลอง โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ปี ปีแรกสำหรับหาค่าน้ำหนักของวิธีการพยากรณ์ ส่วนปีที่สองใช้สำหรับทดสอบความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error) ในการวัดความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ ผลลัพธ์ที่ได้คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter) เป็นวิธีที่ดีที่สุดโดยมีค่า MAPE ต่ำกว่า 10% โดยต่ำสุดอยู่ที่ 4.7% และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์ยอดขายเดิมของบริษัท วิธี Holt-Winter มีความแม่นยำมากกว่า 57% 57% และ 89% สำหรับการพยากรณ์ยอดขายทั้ง 3 รุ่น นอกจากนี้ บริษัทยังสามารถใช้แนวทางการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ในงานวิจัยนี้เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดสำหรับรุ่นอื่นๆต่อไป

คำสำคัญ: การพยากรณ์ยอดขาย วิธีปรับให้เรียบแบบโฮลต์และวินเทอร์ การผลิตขวดน้ำพลาสติก

Abstract

Sales forecasting or predicting customer demand is important for the entire business planning in a company, e.g., in production planning, material planning, human resources planning. Because of how essential sales forecasting is, many companies want to improve the its accuracy.

This research aims to improve the sales forecasting of the plastic bottle manufacturer in Thailand which emphasizes on using the simple forecasting technique which is practical and easy to apply. This research shows the comparison of different techniques in order to find the best forecasting for the sales of three bestseller plastic bottle models. The experiment uses the historical

data from August 2018 - July 2020 by dividing the data in to two parts. The data in the earlier year is used to find the appropriate parameters of the forecasting techniques. The data in the second year is used to test the accuracy of each sale forecasting techniques by using Mean Absolute Percentage Error in measuring the degree of accuracy. The result shows that Holt-Winter technique gives the best accuracy. MAPE is lower than 10% and the lowest is 4.7%. Moreover, Holt-Winter technique is better than the existing sales forecasting technique that the company used for all three plastic bottle models which are 57%, 57%, and 89% more accurate. Besides the result, the company can use the experiment model in this research as a guideline to find the best technique for predicting customer demand in other models or other products.

Keywords: Sales Forecasting, Holt-Winter Method, Plastic Bottle Manufacturing

บทนำ

สำหรับภาคอุตสาหกรรมการผลิต การพยากรณ์อุปสงค์หรือยอดขายของสินค้าถือเป็นกิจกรรมจุดเริ่มต้นของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ (Raw Material) ซึ่งถือว่าเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนของหลายส่วนงานในบริษัทไม่ว่าจะเป็น ฝ่ายวางแผนการขายและการปฏิบัติการ (Sale and Operation), ฝ่ายวางแผนการผลิต (Production Planning), ฝ่ายการจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Planning) และ ฝ่ายวางแผนทรัพยากร (Resource Planning) เป็นต้น (Jacobs, Berry, WhyBark, & Vollmann, 2011) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า หากการพยากรณ์มีประสิทธิภาพ บริษัทจะสามารถลดต้นทุนที่เกิดจากการผลิตสินค้าเกินความต้องการของลูกค้าได้ นอกจากนี้ยังทำให้บริษัทสามารถขายสินค้าได้ตรงตามอุปสงค์ของลูกค้าอีกด้วย เนื่องจากการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพนั้นเป็นกิจกรรมที่ช่วยสร้างความสมดุลระหว่างอุปสงค์ (Demand) และอุปทาน (Supply) ได้

จากประโยชน์ของการพยากรณ์ยอดขายที่แม่นยำ หลาย ๆ บริษัทและผลิตภัณฑ์จึงให้ความสำคัญกับการพยากรณ์ยอดขายโดยใช้วิธีต่าง ๆ มาเพื่อปรับปรุงการพยากรณ์ไม่ว่าจะเป็น วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) วิธีการปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) Holt-Winter, โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เป็นต้น

ในปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาผลิตขวดน้ำพลาสติกแห่งหนึ่งในประเทศไทย ประสบปัญหาต้นทุนจากการพยากรณ์สั่งซื้อวัตถุดิบบางรายการมากเกินไป ในขณะที่บางรายการพบปัญหาสินค้าขาดมือในบางช่วงทำให้เกิดการเสียโอกาสทางการขาย ส่งผลให้ยอดขายไม่เป็นไปตามเป้าที่คาดการณ์ไว้

จากปัญหาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ 5 แบบเพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุดเพื่อนำไปใช้พยากรณ์ยอดขายของบริษัทผลิตขวดน้ำพลาสติก โดยวิธีการพยากรณ์ทั้ง 5 แบบสามารถสร้างบนโปรแกรม Microsoft Excel ได้ เนื่องจากโปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมที่บริษัทใช้งานอยู่แล้ว และบริษัทไม่ได้มีการลงทุนทางด้านโปรแกรมที่สูงมากนัก แม้ว่าจะมีโปรแกรมฟรีหรือโปรแกรมโอเพนซอร์ส เช่น GRTL และ R เป็นต้น แต่โปรแกรมเหล่านั้นมีความซับซ้อนในการใช้งานและอาจต้องการพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมสำหรับผู้ใช้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ยอดขายของบริษัทผลิตขวดน้ำพลาสติกแห่งหนึ่งในประเทศไทย เพื่อหาวิธีที่มีความแม่นยำที่สุดในการนำไปใช้พยากรณ์ยอดขายของบริษัท โดยเน้นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

แนวคิดและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการบริหารธุรกิจต่าง ๆ การพยากรณ์เป็นสิ่งที่จำเป็นในการวางแผนธุรกิจ โดย Hyndman and Athanasopoulos (2021) ได้นิยามการพยากรณ์ว่าเป็นงานทางสถิติที่ทำโดยทั่วไปในธุรกิจ ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการจัดตารางการผลิต, การจัดตารางขนส่ง, การจัดตารางพนักงาน และการวางแผนระดับกลยุทธ์ นอกจากนี้ Chopra and Meindl (2013) ยังระบุว่าพยากรณ์ยอดขายหรืออุปสงค์ของลูกค้าจะช่วยในการวางแผนโซ่อุปทานได้อีกด้วย ซึ่งจากประโยชน์ของการพยากรณ์อุปสงค์หรือยอดขายทำให้มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการปรับปรุงวิธีการพยากรณ์อุปสงค์และยอดขายของบริษัทและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย โดยมีงานวิจัยที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

พรธนิภา คุ่มสิน และ สมศรี บัณฑิตวิไล (2561) เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter), วิธีการปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) และ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Intelligence) เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดสำหรับพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศของบริษัทแห่งหนึ่ง โดยใช้รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error) หรือ RMSE ในการเปรียบเทียบ Sugiarto, Sarno, and Sunaryono (2016) ได้พยายามปรับปรุงวิธีการพยากรณ์ในระบบการจัดการทรัพยากรวิสาหกิจ หรือ Enterprise Resource Planning โดยใช้วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter) ในปรับปรุง โดยมีการเปรียบเทียบระหว่าง วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ที่มีอิทธิพลของฤดูกาลแบบบวก (Additive Holt-Winter) และ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ที่มีอิทธิพลของฤดูกาลแบบคูณ (Multiplicative Holt-Winter) โดยใช้วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ที่มีอิทธิพลของฤดูกาลแบบบวก (Additive Holt-Winter)

จะเหมาะสำหรับข้อมูลที่มีฤดูกาลแบบคงที่ และวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ที่มีอิทธิพลของฤดูกาลแบบคูณ (Multiplicative Holt-Winter) จะเหมาะสำหรับข้อมูลฤดูกาลที่ไม่คงที่

C. Veiga, C. R. P. Veiga, Catapan, Tortato, and Silva (2014) พยายามความต้องการของผลิตภัณฑ์อาหารในร้านค้าปลีกโดยการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter) และวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาเป็นอัตราส่วนค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (ARIMA) ซึ่งมีการใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error) หรือ MAPE มาใช้ในการเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ ซึ่งผลที่ได้ Holt-Winter มีความแม่นยำกว่าวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter)

ในผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน พิเชษฐ พุ่มเกษร, อภิศักดิ์ วิทยาประภากร, และ จุฑา พิษิตลำเค็ญ (2562) ได้ใช้ตัวแบบห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) มาพยากรณ์ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 โดยใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) มาใช้ในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนและประสิทธิภาพของวิธีการพยากรณ์ ซึ่งผลที่ได้มีความแม่นยำอยู่ที่ 4% ในส่วนของผลิตภัณฑ์กาวดักแมลงวัน

ศิริวรรณ สัมพันธ์มิตร, วรรณดา สมบูรณ์, กนกวรรณ สังสรรค์ศิริ, และ เสาวนิตย์ เลขวัต (2564) ได้วิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weight Moving Average) วิธีการปรับให้เรียบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing) วิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลสองเท่า (Double Exponential Smoothing) วิธีแบบบล็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins) และ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter) โดยใช้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error) หรือ MSE เป็นตัววัดความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ โดยวิธีที่ให้ค่า MSE ดีที่สุดคือ Double Exponential Smoothing ทั้ง 3 ชนิด

นอกจากนี้ ไวรวิทย์ พานิชย์ศตร และ มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ (2561) ยังใช้วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์อุปสงค์ของแก๊ส LPG ของรถยนต์ โดยใช้รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error) หรือ RMSE ในการวัดความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ โดยค่า RMSE ของการพยากรณ์อยู่ที่ 683 ต่อวัน นอกจากการพยากรณ์อุปสงค์ หรือยอดขายของผลิตภัณฑ์ยังมีการพยากรณ์การระบาดของโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา ในกรุงเทพมหานครอีกด้วย (ดาว สงวนรังศิริกุล, ھرรรษา เชี่ยวอนันตวานิช, และ มณีนรัตน์ แสงเกษม, 2558) จากการศึกษาพบว่าวิธีการที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ไม่มีแนวโน้มและฤดูกาล คือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) และวิธีการที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มและฤดูกาล คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter).

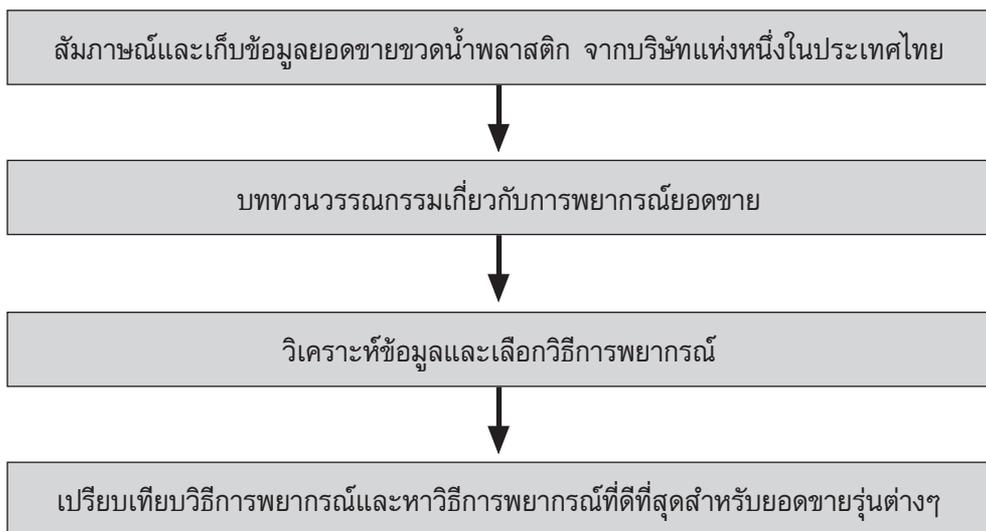
จากงานวิจัยข้างต้นจะพบว่า ในงานวิจัยมีทั้งวิธีการพยากรณ์ที่ไม่ซับซ้อนและวิธีการพยากรณ์ขั้นสูงอย่างเช่น ห่วงโซ่มาร์คอฟและโครงข่ายประสาทเทียม และมีการใช้ตัวชี้วัด

ความแม่นยำที่แตกต่างกันไปอีกด้วย นอกจากนี้ยังไม่อาจสรุปได้ว่าวิธีการพยากรณ์ใดดีที่สุดที่สุด เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกันไปตามข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในการทำการพยากรณ์ข้อมูล จะต้องหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับตัวข้อมูลที่เราต้องการพยากรณ์ โดยต้องนำวิธีการพยากรณ์หลายตัวแบบมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์เพื่อหาวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับข้อมูลยอดขายขวดน้ำพลาสติกของบริษัทแห่งหนึ่ง โดยเน้นวิธีการพยากรณ์ที่ไม่ซับซ้อน เนื่องจากบริษัทที่ศึกษาไม่ได้มีการลงทุนด้านโปรแกรมและการฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม

วิธีดำเนินการวิจัย

จากวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินวิจัยดังภาพที่ 1 ในงานวิจัยนี้ขั้นแรกคือการรวบรวมข้อมูลยอดขายขวดน้ำพลาสติกจากบริษัทแห่งหนึ่งในประเทศไทย ซึ่งต้องการปรับปรุงวิธีการพยากรณ์ยอดขายของบริษัท โดยวิธีการพยากรณ์ของบริษัทที่ใช้ในปัจจุบันคือใช้ค่าเฉลี่ยเท่ากับทุกเดือนจากยอดขายของปีก่อน โดยบริษัทไม่ได้มีการใช้โปรแกรมพิเศษใด ๆ ในการพยากรณ์ยอดขาย ใช้เพียง Microsoft Excel ในการเก็บข้อมูลและทำการพยากรณ์ บริษัทมีรุ่นขวดน้ำพลาสติกที่จะผลิตอยู่ 38 รุ่น โดยทางบริษัทได้ให้ข้อมูลของรุ่นที่ขายดี 3 รุ่น คือ รุ่น 160 B รุ่น 220 BH และ รุ่น 300 AH โดยข้อมูลเป็นดังตารางที่ 1 ซึ่งผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลปีแรกในการคำนวณค่าเริ่มเริ่มต้นต่างๆ และใช้ข้อมูลปีที่สอง คือ สิงหาคม 2562 ถึง กรกฎาคม 2563 ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการพยากรณ์



ภาพที่ 1 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนที่สองของการทำการวิจัยคือ การทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับวิธีการพยากรณ์ ยอดขายต่าง ๆ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในส่วนของการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จากข้อมูล ยอดขาย วิธีการพยากรณ์ในปัจจุบัน และการทบทวนวรรณกรรม วิธีการพยากรณ์ยอดขายที่ถูกเลือกมาใช้ในการเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์ยอดขายชุดพลาสติกในแต่ละรุ่น คือ 1) วิธีการเดิมของบริษัท (Original) 2) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) 3) วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing) 4) วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเท่า (Double Exponential Smoothing) และ 5) วิธีปรับเรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter Method) โดยรายละเอียดของแต่ละวิธีพยากรณ์มีดังต่อไปนี้

วิธีการเดิมของบริษัท คือการนำยอดขายรวมของทั้งปีมาเฉลี่ยเป็นรายเดือน กำหนดให้ f_i คือ พยากรณ์ยอดขายรายเดือนของเดือน i และ S_k คือ ยอดขายจริงรายเดือนของเดือน k ซึ่งเป็นปีก่อนหน้าก่อนเริ่มการพยากรณ์โดยที่ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการพยากรณ์เดือนสิงหาคม 2562 – กรกฎาคม 2563 ตัวแปร S_7 คือยอดขายของเดือนสิงหาคม 2561, ตัวแปร S_{12} คือ ยอดขายของเดือนกรกฎาคม 2563 และ ตัวแปร f_i จะเป็นยอดพยากรณ์ยอดขายของเดือนสิงหาคม 2562 ดังนั้นยอดขายรายเดือนของแต่ละเดือนคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$f_i = \frac{\sum_{k=1}^{12} S_k}{12}$$

วิธีการที่สอง ที่เราใช้ในการเปรียบเทียบ คือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) หรือ MA ซึ่งเป็นวิธีการพยากรณ์ที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการใช้งานเนื่องจากใช้เพียงข้อมูลในอดีตย้อนหลังเพียงไม่กี่ช่วงในการพยากรณ์เท่านั้น สำหรับการใช้งานต้องกำหนดช่วงของข้อมูลในอดีตที่เราต้องการใช้ในการพยากรณ์ สำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดให้ช่วงของข้อมูลในอดีตในการพยากรณ์เท่ากับ n เดือน, S_k คือ ยอดขายรายเดือนในอดีตของเดือน k , และ $MA(n)_t$ คือ ยอดพยากรณ์ของเดือน t ที่ได้จากการใช้วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง n เดือน สูตรในการคำนวณของวิธี วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ เป็นดังต่อไปนี้

$$MA(n)_t = \frac{\sum_{k=t-n}^{t-1} S_k}{n}$$

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลยอดขายรายชวดน้ำพลาสติก 3 รุ่นที่ขายดีในเดือนสิงหาคม 2561 ถึง กรกฎาคม 2563

เดือน	160 B	220 BH	300 AH	เดือน	160 B	220 BH	300 AH
ส.ค. 61	4586	3653	3363	ส.ค. 62	5879	5083	3860
ก.ย. 61	5649	5108	3795	ก.ย. 62	6583	6521	4021
ต.ค. 61	6556	5423	5324	ต.ค. 62	7128	6728	5528
พ.ย. 61	3701	2374	1244	พ.ย. 62	4283	3281	1238
ธ.ค. 61	4830	3067	3484	ธ.ค. 62	5271	3528	3582
ม.ค. 62	7418	4740	3808	ม.ค. 63	7832	5182	3938
ก.พ. 62	6933	5107	4413	ก.พ. 63	7312	5128	4682
มี.ค. 62	6177	5263	4599	มี.ค. 63	6521	5322	4839
เม.ย. 62	7067	5359	5721	เม.ย. 63	7211	5583	6012
พ.ค. 62	6550	5917	5839	พ.ค. 6	6832	6281	6172
มิ.ย. 62	6399	5057	4347	มิ.ย. 63	6495	6182	4582
ก.ค. 62	4686	4726	3528	ก.ค. 63	5372	5928	3383

วิธีการที่สาม คือ วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing) หรือ ES ซึ่งตีพิมพ์ครั้งแรกโดย Brown (1956) เป็นวิธีพยากรณ์ที่ใช้ข้อมูลยอดขายจริงในอดีตย้อนหลัง 1 ช่วง และข้อมูลยอดขายพยากรณ์ย้อนหลัง 1 ช่วง โดยให้ค่าน้ำหนักแก่ข้อมูลและค่าพยากรณ์ย้อนหลัง (Brown, Meyer, & D'Esopo, 1961) กำหนดให้ α คือ ค่าน้ำหนักในการคำนวณ ES_t คือยอดขายจริงในเดือน t และ ES_t คือ ยอดขายพยากรณ์ของเดือน t สมการในการคำนวณ ES_t เป็นดังต่อไปนี้

$$ES_t = \alpha s_{t-1} + (1 - \alpha)ES_{t-1}$$

วิธีการที่สี่ คือ วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเท่า หรือ Double Exponential Smoothing (DES) หรือ วิธีการพยากรณ์แบบโฮลต์ หรือ Holt's Method โดย Holt (1957) ได้ทำการปรับปรุงวิธีการพยากรณ์ Exponential Smoothing โดยเพิ่มเติมส่วนที่เป็นแนวโน้ม (Trend) เข้าไปในการพยากรณ์ ดังนั้นในวิธีนี้จะมีการเพิ่มค่าน้ำหนักอีกหนึ่งค่าสำหรับแนวโน้ม กำหนดให้ α คือ ค่าน้ำหนักสำหรับการปรับระดับ (Level) ของข้อมูล β คือ ค่าน้ำหนักสำหรับการปรับแนวโน้มของข้อมูล S_t คือยอดขายจริงของช่วง t a_t คือ ค่าระดับ (Level) ของการ

พยากรณ์ในช่วง t และ b_t คือ ค่าคำนวณแนวโน้ม (Trend) ของการพยากรณ์ในช่วง t สูตรคำนวณ a_t และ b_t สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} a_t &= \alpha s_t + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}) && \text{โดยที่ } 0 \leq \alpha \leq 1 \\ b_t &= \beta(a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} && \text{โดยที่ } 0 \leq \beta \leq 1 \end{aligned}$$

การหาค่าของข้อมูลแรกสำหรับ a_t และ b_t โดยกำหนดให้ $a_1 = s_1$ หรือข้อมูลชุดแรกสุด ส่วนการกำหนด b_t มีหลายวิธีแต่ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ $b_1 = s_2 - s_1$ เมื่อได้ค่าคำนวณระดับ (a_t) และ ค่าคำนวณแนวโน้มจากสมการข้างต้น (b_t) ต่อไปจะสามารถคำนวณค่าพยากรณ์ของเดือนถัดไป (DES_{t+1}) ได้ดังต่อไปนี้

$$DES_{t+1} = a_t + b_t$$

วิธีสุดท้าย คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter's Method) หรือ HW คือ วิธีที่ปรับปรุงต่อจากวิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเท่า (DES) โดยการเพิ่มส่วนที่เป็นฤดูกาลลงในสูตรคำนวณ (Holt, 1957; Winter, 1960) กำหนดให้ α คือ ค่าน้ำหนักสำหรับการปรับระดับ (Level) ของข้อมูล, β คือ ค่าน้ำหนักสำหรับการปรับแนวโน้มของข้อมูล คือ γ ค่าน้ำหนักในส่วนของฤดูกาล S_t คือ ยอดขายจริงของช่วง t a_t คือ ค่าระดับ (Level) ของการพยากรณ์ในช่วง t และ b_t คือ ค่าคำนวณแนวโน้ม (Trend) ของการพยากรณ์ในช่วง t I_t คือ ค่าดัชนีฤดูกาล (Seasonal Index) ของช่วง t โดยการคำนวณ และ L คือ จำนวนช่วงของฤดูกาล เช่น ข้อมูลรายเดือน L จะเท่ากับ 12, ข้อมูลไตรมาส L จะเท่ากับ 4 ค่าต่าง ๆ เป็นดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} a_t &= \alpha \left(\frac{s_t}{I_{t-L}} \right) + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}) \\ b_t &= \beta(a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \\ I_t &= \gamma \left(\frac{s_t}{a_t} \right) + (1 - \gamma)I_{t-L} \end{aligned}$$

โดยการหาค่าเริ่มต้นของ a_t , b_t และ I_t ทำได้ดังนี้ เนื่องจากข้อมูลในการวิจัยนี้เป็นข้อมูลรายเดือน เราจะทำการหา I_1 ถึง I_{12} ของปีแรก โดยการใช้สูตร

$$I_t = \frac{s_t}{\sum_{i=1}^{12} s_i} \quad \text{โดยที่ } i = 1, 2, 3, \dots, 12$$

เมื่อได้ค่าฤดูกาลของปีแรก จากนั้นการคำนวณ a_t และ b_t เริ่มต้นที่จะพยากรณ์ซึ่งคือ เดือนที่ 13 จาก $a_{13} = s_{13} / (I_{13-12})$ และ $b_{13} = a_{13} - (s_{12} / I_{12})$ หลังจากได้ค่าเริ่มต้นครบ จะใช้วิธีการแบบ วิธีการมีอิทธิพลของฤดูกาลแบบคูณ (Multiplicative method) โดยมีสูตรที่คำนวณค่าพยากรณ์ยอดขายจะเป็น

$$HW_{t+1} = (a_t + b_t)I_t$$

ขั้นตอนต่อไปสำหรับงานวิจัยนี้ คือ การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์แบบต่าง ๆ โดยตัวแปรหรือค่าน้ำหนักของวิธีการพยากรณ์ต่างๆเราจะใช้ Solver ใน Microsoft Excel ในการหาค่าที่ดีที่สุด โดยใช้ข้อมูลช่วงเวลา ส.ค.61 – ก.ค. 62 และเลือกวิธี GRG Nonlinear เนื่องจากฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ของไม่เป็นสมการเชิงเส้น (Non-linear Function) โดยฟังก์ชันเป้าหมายของเราคือ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ หรือ Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความแม่นยำในงานวิจัยนี้ โดยมีสูตรดังต่อไปนี้

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^m |s_i - f_i|}{m}$$

โดย s_i คือ ยอดขายจริงของเดือน i , f_i คือ ยอดขายพยากรณ์ของเดือน i และ m คือจำนวนข้อมูลยอดขาย ผลลัพธ์ของการหาค่าน้ำหนักในของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ เป็นดังตารางที่ 2 และเราจะใช้ค่าน้ำหนักไปใช้ในการพยากรณ์ในเดือน ส.ค. 62 – ก.ค. 63 โดยผลลัพธ์จะแสดงในส่วนถัดไป

ขั้นตอนต่อไปสำหรับงานวิจัย คือ การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดสำหรับพยากรณ์ยอดขายของบริษัทในเดือน ส.ค. 62 – ก.ค. 63 โดยเลือกใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error) หรือ MAPE เป็นตัวชี้วัดความแม่นยำในงานวิจัยนี้ เนื่องจากบริษัทต้องพยากรณ์ยอดขายรายรุ่นซึ่งอาจจะมีปริมาณยอดขายมากน้อยแตกต่างกันไป การใช้ MAPE จะทำให้เปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างยอดขายในแต่ละรุ่นได้ ซึ่งการใช้ตัวชี้วัดอื่น ๆ เช่น ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Mean Square Error) หรือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error) เป็นต้น อาจจะทำให้การเปรียบเทียบระหว่างรุ่นมีความคลาดเคลื่อนได้ โดยมีสูตร MAPE มีดังต่อไปนี้

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^m |s_i - f_i|}{m}$$

โดย S_i คือ ยอดขายจริงของเดือน i , f_i คือ ยอดขายพยากรณ์ของเดือน i และ m คือจำนวนข้อมูลยอดขาย

สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของวิธีการพยากรณ์มีดังต่อไปนี้ การปรับค่าพารามิเตอร์ของวิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing) วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเท่า (Double Exponential Smoothing) และวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลด์-วินเทอร์ (Holt-Winter's Method) เพื่อให้วิธีการพยากรณ์มีความแม่นยำที่สุด ผู้วิจัยใช้ข้อมูลเดือน ส.ค. 61 – ก.ค. 62 และใช้ Solvers ซึ่งเป็น Add-ons ที่อยู่ในโปรแกรม Microsoft Excel โดยมีการตั้งค่าดังต่อไปนี้ ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) คือ MAPE และวิธีในการค้นหาคำตอบคือ GRG Nonlinear เนื่องจากฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ของไม่เป็นสมการเชิงเส้น (Non-linear Function) ส่วนการพยากรณ์วิธีวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) เนื่องจากไม่ต้องมีการปรับค่าจากข้อมูลในอดีตทางผู้วิจัยได้เลือกค่าช่วงข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการพยากรณ์ (n) ไว้สามตัวเลือก คือ 3 4 และ 5 ส่วนวิธีการดั้งเดิมของบริษัทนั้นไม่มีค่าพารามิเตอร์ให้ปรับ รายละเอียดค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการปรับในแต่ละวิธีการพยากรณ์เป็นดังตารางที่ 2 และผลลัพธ์ของการหาค่าพารามิเตอร์ในของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ เป็นดังตารางที่ 3 ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์ในเดือน ส.ค. 62 – ก.ค. 63 โดยผลลัพธ์จะแสดงในส่วนถัดไป

ตารางที่ 2 สรุปรายละเอียดค่าพารามิเตอร์ของวิธีพยากรณ์ทั้ง 5 ตัวแบบ

วิธีการพยากรณ์	ค่าพารามิเตอร์
วิธีการเดิมของบริษัท (Original)	-
วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA)	ช่วงข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการพยากรณ์ (n)
วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล (ES)	ค่าถ่วงน้ำหนัก α
วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเท่า (DES)	ค่าถ่วงน้ำหนัก α และ β
วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลด์-วินเทอร์ (Holt-Winter)	ค่าถ่วงน้ำหนัก α β และ γ

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของวิธีการพยากรณ์ 5 ตัวแบบ

วิธีพยากรณ์สำหรับรุ่น 160B	n	α	β	γ
วิธีการเดิมของบริษัท (Original)				
วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA)	3,4,5			
วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล (ES)		0.54		
วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเท่า (DES)		0.67	0.43	
วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลด์-วินเทอร์ (Holt-Winter)		1	0	0.1
วิธีพยากรณ์สำหรับรุ่น 220BH	n	α	β	γ
วิธีการเดิมของบริษัท (Original)				
วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA)	3,4,5			
วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล (ES)		0.05		
วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเท่า (DES)		0.97	0.05	
วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลด์-วินเทอร์ (Holt-Winter)		1	0	0.2
วิธีพยากรณ์สำหรับรุ่น 300 AH	n	α	β	γ
วิธีการเดิมของบริษัท (Original)				
วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA)	3,4,5			
วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล (ES)		0.029		
วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเท่า (DES)		0.13	0.35	
วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลด์-วินเทอร์ (Holt-Winter)		1	0	0.2

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

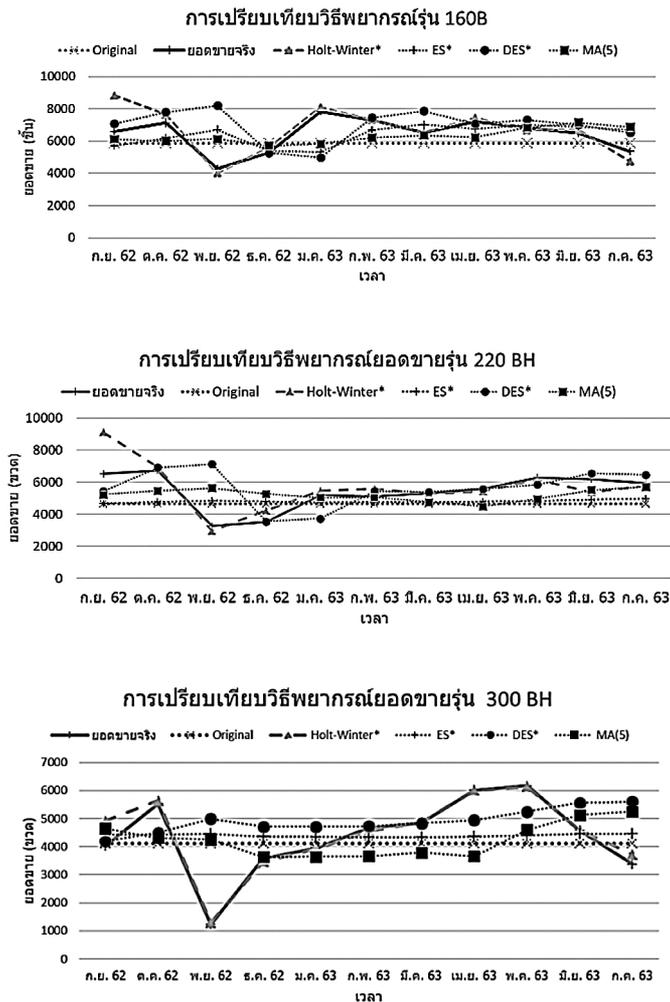
จากผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4 วิธีพยากรณ์แบบ Holt-Winter ดีที่สุดสำหรับการพยากรณ์ยอดขายขวดพลาสติกทั้ง 3 รุ่น โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) อยู่ที่ 7.0% 9.8% และ 4.2% สำหรับ รุ่น 160 B รุ่น 220 BH และ รุ่น 300 AH ตามลำดับ ส่วนวิธีการพยากรณ์เดิมของบริษัท (Original) นั้นพบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE)

ของวิธีการเดิมอยู่ที่ 16.6% 23.1% และ 36.7% สำหรับ รุ่น 160 B รุ่น 220 BH และ รุ่น 300 AH ตามลำดับ ส่วนวิธีการพยากรณ์อื่น ๆ เช่น MA ES และ DES นั้นมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) ใกล้เคียงกับวิธีการเดิม โดยมีค่า MAPE มากกว่า 15%

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) ของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ

ชุดข้อมูล	วิธีการพยากรณ์						
	Original	MA(3)	MA(4)	MA(5)	ES*	DES*	Holt-Winter*
160 B	16.6	17.6	15.8	15.0	15.7	18.7	7.0*
220 BH	23.1	23.5	19.1	18.5	22.0	17.7	9.8*
300 AH	36.7	30.7	29.1	28.9	39.2	45.4	4.2*

จากผลลัพธ์ที่กล่าวมาข้างต้น และเมื่อดูจากกราฟเปรียบเทียบยอดขายจริงและการพยากรณ์ในภาพที่ 2 พบว่า การพยากรณ์แบบวิธีปรับเรียบแบบโฮลด์-วินเทอร์ (Holt-Winter Method) เหมาะสำหรับการพยากรณ์ยอดขายขวดพลาสติกทั้งสามรุ่น โดยเมื่อเปรียบเทียบ MAPE ของวิธีการ Holt-Winter และวิธีการเดิมแล้วนั้น วิธีโฮลด์-วินเทอร์ Holt-Winter มีความแม่นยำมากกว่าวิธีการเดิม 57% 57% และ 89% สำหรับ รุ่น 160 B รุ่น 220 BH และ รุ่น 300 AH ตามลำดับ โดยความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นทำให้บริษัทสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การวางแผนการผลิต การวางแผนเรื่องทรัพยากรมนุษย์ การวางแผนการขนส่ง และช่วยลดความเสียหายจากการผลิตเกินความต้องการ หรือ การผลิตที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งจะมีผลต่อต้นทุนและผลกำไรของบริษัท



ภาพที่ 2 แสดงกราฟเปรียบเทียบยอดขายพยากรณ์และยอดขายจริงของวิธีการพยากรณ์ 5 ตัวแบบ

สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ วิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นวิธีการพยากรณ์ที่ไม่ซับซ้อนมากนักโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการคำนวณ และไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมขั้นสูงซึ่งจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อโปรแกรมและค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมต่าง ๆ ซึ่งบริษัทสามารถนำวิธีการพยากรณ์ต่างๆในงานวิจัยนี้ไปใช้ได้โดยไม่ต้องเสียต้นทุนมากนัก ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์การวิจัยและบริษัท โดยสามารถใช้วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter) กับขวดน้ำทั้ง 3 รุ่นที่ได้ทำการทดลองไปแล้ว สำหรับการพยากรณ์ของขวดพลาสติก รุ่นอื่น ๆ ทางบริษัทสามารถดูแนวทางการเปรียบเทียบจากงานวิจัยนี้และสามารถประยุกต์ใช้เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดกับขวดพลาสติกรุ่นอื่น ๆ ต่อไป

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ยอดขายที่ใช้ในการเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์ยอดขายขวดพลาสติกในแต่ละรุ่น คือ 1) วิธีการเดิมของบริษัท (Original) 2) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) 3) วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing) 4) วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเท่า (Double Exponential Smoothing) และ 5) วิธีการปรับเรียบแบบโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winter Method) เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ยอดขายที่มีความแม่นยำที่สุดสำหรับพยากรณ์ยอดขายของบริษัทผลิตขวดพลาสติกแห่งหนึ่งในประเทศไทย ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ในการเปรียบเทียบใช้ข้อมูลยอดขายขวดพลาสติก 3 รุ่น ของบริษัทตั้งแต่เดือน ส.ค 61 – ก.ค. 63 โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดหนึ่งคือ ข้อมูลเดือน ส.ค. 61 – ก.ค. 62 สำหรับปรับค่าพารามิเตอร์ของวิธีพยากรณ์แบบต่าง ๆ และอีกชุดที่สองคือ ข้อมูลเดือน ส.ค. 62 – ก.ย. 63 ใช้สำหรับเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีพยากรณ์ สำหรับการเปรียบเทียบการพยากรณ์ได้เลือกใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error) ผลปรากฏว่า วิธีการ Holt-Winter สามารถพยากรณ์ยอดขายขวดพลาสติกของทั้ง 3 รุ่นได้ดีที่สุด โดยมีค่า MAPE อยู่ที่ 7.0% 9.8% และ 4.2% สำหรับ ขวดรุ่น 160 B ขวดรุ่น 220 BH และ ขวดรุ่น 300 AH ตามลำดับ

สำหรับข้อเสนอแนะ จากผลการทดลองเห็นว่าวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลของโฮลต์-วินเทอร์จะเป็นวิธีที่มีความแม่นยำที่สุดสำหรับการพยากรณ์ยอดขายของขวดพลาสติก 3 รุ่น แต่เป็นวิธีการที่ยากที่สุดในวิธีการพยากรณ์ทั้ง 5 แบบ ดังนั้นก่อนนำไปใช้พยากรณ์อาจจะต้องมีการอบรมความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการพยากรณ์ก่อน สำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นหรือผลิตภัณฑ์จากบริษัทอื่นๆ วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลของโฮลต์-วินเทอร์อาจจะไม่ใช่วิธีการที่ดีที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่า ในการพยากรณ์ยอดขายของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ให้ประยุกต์วิธีการเปรียบเทียบการพยากรณ์ในงานวิจัยนี้ โดยอาจจะเพิ่มวิธีการพยากรณ์อื่น ๆ ที่มีความเหมาะสมในการเปรียบเทียบได้ หรือ อาจจะเพิ่มตัวชี้วัดความแม่นยำตัวอื่น เช่น ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error) หรือ MSE เป็นต้น

บรรณานุกรม

- ดาว สงวนรังศิริกุล, ھرรษา เชี่ยวอนันตวานิช, และ มณีนรัตน์ แสงเกษม (2558). การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, 38(1), 35-54.
- พรรณิภา คุ่มลิน, และ สมศรี บัณฑิตวิไล (2561). การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศโดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์, วิธีบีออกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 26(3), 363-376.
- พิเชฐ พุ่มเกษร, อภิศักดิ์ วิทยาประภากร, และ จุฑา พิษิตลำเค็ญ (2562). การพยากรณ์ราคาขายแผ่นรมควันชั้น 3 (RSS3) ด้วยตัวแบบห้วงโซ่มาร์คอฟ. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 29(1), 34-45.
- ไวยวิทย์ พานิชข้อศตร, และ มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ (2561). การพยากรณ์ยอดขายปลีกแก๊สรถยนต์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาและโครงข่ายประสาทเทียม. *Journal of Information Science and Technology (JIST)*, 7(1), 42-49.
- ศิริวรรณ สัมพันธมิตร, วรรณดา สมบูรณ์, กนกวรรณ สังสรรค์ศิริ, และ เสวานิตย์ เลขวัต (2564). การพยากรณ์ความต้องการใช้กาวดักแมลงวัน. *วารสารช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย*, 7(1), 55-67.
- Brown, R. G. (1956). *Exponential smoothing for predicting demand*. Cambridge, Massachusetts: Arthur. D. Little.
- Brown, R. G., Meyer, R. F., & D'Esopo, D. A. (1961). The fundamental theorem of exponential smoothing. *Operations Research*, 9(5), 673-687.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Supply chain management* (5th ed.). Essex, England: Pearson Education.
- Holt, C. E. (1957). *Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages*. (ONR Memorandum Vol 52). Pittsburgh: Carnegie Institute of Technology.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021) *Forecasting: Principles and practice* (3rd ed.). Melbourne, Australia: OTexts. Retrieved from <https://OTexts.com/fpp3>.
- Jacobs, R. F., Berry, W., WhyBark, D. C., & Vollmann, T. (2011). *Manufacturing planning and control systems for supply chain management* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.

- Sugiarto, V. C., Sarno, R., & Sunaryono, D. (2016). Sales forecasting using holt-winters in enterprise resource planning at sales and distribution module [Paper Presentation]. In 2016 *International Conference on Information & Communication Technology and Systems (ICTS) Proceedings*, 8-13.
- Veiga, C., Veiga, C. R. P., Catapan, A., Tortato, U., & Silva, W. (2014). Demand forecasting in food retail: A comparison between the Holt-Winters and ARIMA models. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, 11, 608-614.
- Winters, P. R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*, 6(3), 324–342.