



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมน้ำดื่มบรรจุขวด

Time series forecasting for production planning in bottled water industry

สุวรรณา พลภักดิ์ *

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

Suwanna Ponpakdee *

Department of Industrial Management Technology, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Mueang, Suratthani 84100

* Corresponding author.

E-mail: suwanna.pon@sru.ac.th; Telephone: 09 8016 0069

วันที่รับบทความ 23 พฤษภาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 10 มิถุนายน 2565; วันที่ตอบรับบทความ 10 กรกฎาคม 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาของยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร 0.6 ลิตร และ 1.5 ลิตร เพื่อลดขนาดของความผิดพลาดในการวางแผนการผลิตของอุตสาหกรรมน้ำดื่มบรรจุขวด โดยเริ่มศึกษาการวิเคราะห์ความเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาและสร้างสมการพยากรณ์ จำนวน 120 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 เพื่อหาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมและนำมาพยากรณ์ยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาด จำนวน 36 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ ผลการวิจัยพบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อนุกรมเวลาของยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาด มีแนวโน้มแต่ไม่มีอิทธิพลฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่นำมาใช้เปรียบเทียบมี 3 วิธี คือ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง และวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ การเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ที่ได้จะใช้เกณฑ์ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และรากที่สองของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ต่ำที่สุด วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร คือ วิธีการพยากรณ์แบบบ็อกซ์และเจนกินส์ ARIMA(1,1,1) น้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร คือ วิธีการพยากรณ์แบบการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง และน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร คือ วิธีการพยากรณ์แบบวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง ซึ่งทำให้ขนาดของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ของการวางแผนการผลิตของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาด ในปี พ.ศ. 2561 ถึงปี พ.ศ. 2563 ลดลงเท่ากับ 1.35, 4.95 และ 1.13 ตามลำดับ (หน่วย: ล้านขวด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ

พยากรณ์อนุกรมเวลา น้ำดื่มบรรจุขวด วางแผนการผลิต

Abstract

This research aim to determine the appropriate forecasting method for sales of 0.33, 0.6 and 1.5 liter bottled water to reduce discrepancies amount in production planning of bottled water industry, we have studied analyzing undulation of time series and created the forecasting equation with amount of 120 months since January 2008 to December 2017 to find an appropriate forecasting model and apply the latter to forecast for the bottled water sales with amount three sizes within 36 months since January 2018 to December 2020. Those empirical data are compared with the forecasting model.

According to the research results, at the statistical level of 0.05, the time series of bottled water sales of three sizes have a tendency but have no seasonal influence. There are three methods to be compared in the study: double exponential smoothing method, linear trend line method, and Box-Jenkins method. Comparison of forecasting values employs the criteria of Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and the lowest Root Mean Square Error (RMSE). The suitable forecasting method of bottled water size 0.33 liter is Box-Jenkins method ARIMA (1,1,1) while, the appropriate forecasting method of the bottled water size 0.6 liter is double exponential smoothing method. Last, the suitable forecasting method of the bottled water size 1.5 liter is linear trend line method. All methods result in Mean Absolute Error of the production plan of three-size bottled water during 2018 to 2020 reducing to 1.35, 4.95, and 1.13 respectively (unit: a million bottles) significantly at the confidential level of 95 percent.

Keywords

time series forecasting; bottled water; production planning

1. บทนำ

อุตสาหกรรมน้ำดื่มบรรจุขวดเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญและมีบทบาทในประเทศไทย เพราะเป็นปัจจัยสำคัญในการบริโภคที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ โดยเฉพาะชีวิตสังคมเมืองใหญ่ทำให้พฤติกรรมผู้บริโภคเปลี่ยนไปจากเมื่อก่อนเพราะหันมาสนใจสุขภาพมากขึ้น และสุขภาพกันมากขึ้น อัตราการบริโภคน้ำดื่มบรรจุขวดจึงสูงขึ้นด้วย โดยจะเห็นได้จากข้อมูลแนวโน้มอุตสาหกรรมน้ำดื่มบรรจุขวด [1] คาดว่าความต้องการบริโภคในประเทศไทยปี พ.ศ. 2562-2564 จะเติบโตต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 5-8 ต่อปี อุตสาหกรรมกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด ซึ่งสามารถจำแนกผลิตภัณฑ์ออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ น้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร 0.6 ลิตร และ 1.5 ลิตร [2] โดยแต่ละขนาดมีสัดส่วนยอดขายประมาณร้อยละ 13, 57 และ 30 ตามลำดับ

สำหรับกระบวนการวางแผนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดของโรงงานนั้น ฝ่ายผลิตจะได้รับข้อมูลปริมาณความต้องการจากฝ่ายขายในแต่ละภูมิภาคที่รวบรวมมายังสำนักงานใหญ่ เป็นข้อมูลการประมาณหรือการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าเอาไว้อล่วงหน้าในแต่ละเดือนโดยไม่ได้เป็นความต้องการที่แท้จริง เมื่อพิจารณาค่าพยากรณ์ย้อนหลัง (ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563) พบว่าค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยหรือค่า MAE ของการพยากรณ์ยอดขายรายเดือน (หน่วย: ล้านขวด) ของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาด เท่ากับ 1.98, 6.21 และ 2.17 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าบางเดือนมีค่าพยากรณ์ต่ำและสูงกว่าคำสั่งซื้อจริงเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การวางแผนการผลิตมีความผิดพลาดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจริงที่เกิดขึ้นและยังก่อให้เกิดปัญหาตามมาอีก เช่น ปัญหาการจัดเก็บสินค้าคงคลังที่มากเกินไปหรือ

ปัญหาการขาดแคลนสินค้าคงคลัง โดยโรงงานต้องจัดเตรียมปัจจัยการผลิต เช่น หลอดพีเอฟอเอ็ม บรรจุภัณฑ์ แรงงาน เครื่องจักร เป็นต้น ที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริงของลูกค้า และปัญหาสินค้าค้างส่ง เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ทำให้โรงงานเสียโอกาสในการแข่งขันและทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

ดังนั้นหากโรงงานไม่ทราบความต้องการที่แท้จริงของลูกค้าและมีนโยบายในการผลิตสินค้าเพื่อเก็บหรือรอจำหน่าย (Make to stock) กระบวนการผลิตจึงจำเป็นต้องมีการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าที่แม่นยำมาประกอบการตัดสินใจเพื่อวางแผนการผลิตให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดภายใต้ต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้น โดยประเภทของตัวแบบพยากรณ์ที่นิยมใช้สามารถสร้างได้จาก 2 วิธี คือ ตัวแบบพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative forecast model) และตัวแบบพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative forecast model) [3] สำหรับงานวิจัยนี้จะนำเสนอตัวแบบพยากรณ์เชิงปริมาณด้วยวิธีอนุกรมเวลาแบบปรับตัว (Adaptive) [4] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาของยอดขายรายเดือนและลดค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยในการวางแผนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุกรมเวลาของยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดมีลักษณะการเคลื่อนไหวแบบแนวโน้มเชิงเส้น โดยไม่มีอิทธิพลของความเป็นฤดูกาล มีวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับข้อมูลลักษณะดังกล่าว คือ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง และวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จุฑามาศ ศุภนคร [5] และ

แนวคิดของ Jeffrey Jarrett [6] และ Stephen A. DeLurgio [7] โดยมีสมการของตัวแบบพยากรณ์ของทั้ง 3 วิธี ดังแสดงในสมการที่ (2) สมการที่ (7) และสมการที่ (10) ตามลำดับ ซึ่งอธิบายวิธีการพยากรณ์ได้ดังนี้

2.1 วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง (Double exponential smoothing method: DESM)

กรณีที่อนุกรมเวลามีค่าเฉลี่ยเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของเวลา อนุกรมเวลามีแนวโน้มเป็นส่วนประกอบ ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ คือ ตัวแบบแนวเชิงเส้นหรือแนวโน้มเชิงเส้นหรือตัวแบบถดถอยอย่างง่าย [8-9] แสดงในสมการที่ (1)

$$Z_{n+j} = \beta_0 + \beta_1 j + a_{n+j} \quad (1)$$

เมื่อ

Z_{n+j} แทนฟังก์ชันของค่าสังเกตในอดีตและตัวแปรสุ่มอิสระ

- β_0 แทนระดับของข้อมูล ณ เวลา n
- β_1 แทนความชันของข้อมูล ณ เวลา n
- a_{n+j} แทนตัวแปรสุ่มอิสระที่อาจแสดงความคลาดเคลื่อนหรือการรบกวนสุ่ม

ในกรณีที่แนวโน้มเชิงเส้นเปลี่ยนค่าไปหรือมีค่าคงที่เฉพาะแห่ง สามารถประมาณ β_0 และ β_1 โดยใช้วิธี Discounted least squares โดยที่เมื่อ n มาก จะสามารถเขียนสมการของตัวแบบพยากรณ์ได้ดังสมการที่ (2)

$$\hat{Z}_n(l) = \hat{\beta}_0(n) + \hat{\beta}_1(n)l \quad (2)$$

เมื่อ

$\hat{Z}_n(l)$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา n ไป l เวลาข้างหน้า
 $\hat{\beta}_0(n)$ แทนค่าประมาณระดับของข้อมูล ณ เวลา n

คำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\hat{\beta}_0(n) = 2S_n^{[1]} - S_n^{[2]} \quad (3)$$

$\hat{\beta}_1(n)$ แทนค่าประมาณความชันของข้อมูล ณ เวลา n คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\hat{\beta}_1(n) = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S_n^{[1]} - S_n^{[2]}), \quad 0 < \alpha < 1 \quad (4)$$

เมื่อ

α แทนค่าคงที่ของการปรับเรียบ
 $S_n^{[1]}$ แทนค่าปรับเรียบด้วยเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งที่ 1

ณ เวลา n คำนวณได้จากสมการที่ (5)

$S_n^{[2]}$ แทนค่าปรับเรียบด้วยเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งที่ 2

ณ เวลา n คำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$S_n^{[1]} = \alpha Z_n + (1 + \alpha) S_{n-1}^{[1]}, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (5)$$

$$S_n^{[2]} = \alpha S_n^{[1]} + (1 + \alpha) S_{n-1}^{[2]}, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (6)$$

2.2 วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง (Linear trend line method: LTLM)

เป็นการพิจารณาปัจจัยมูลเหตุก่อบยอดขยาย หากมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นก็สามารถใช้วิธีแนวโน้มเชิงเส้นมาใช้ได้ [10-11] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ยอดขยาย ซึ่งจากข้อมูลพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปยอดขยายของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาดจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวก ดังนั้น สามารถเขียนสมการของตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีแนวโน้มเส้นตรงได้ดังสมการที่ (7)

$$Y_t = a + bX_t \quad (7)$$

เมื่อ

Y_t แทนค่าพยากรณ์สำหรับช่วงเวลา t

a แทนค่าแนวโน้ม ณ จุดเริ่มต้นของอนุกรมเวลา คำนวณได้จากสมการที่ (8)

b แทนค่าความชันของเส้นแนวโน้ม คำนวณได้จากสมการที่ (9)

X_t แทนตัวแปรเวลา ณ เวลา t

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}_t \quad (8)$$

$$b = \frac{\sum (X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\sum (X_t - \bar{X})^2} \quad (9)$$

2.3 วิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ (Box-Jenkins) [5]

เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับคามนิยม เนื่องจากให้ผลการพยากรณ์ระยะสั้นและระยะกลางที่แม่นยำ เป็นการกำหนดตัวแบบพยากรณ์จากการตรวจสอบฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และการตรวจสอบฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) ของอนุกรมเวลาแบบคงที่ (Stationary time series) หรืออนุกรมเวลาที่ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ตลอดเวลา [12] หากพบว่าอนุกรมเวลาที่มีความเคลื่อนไหวแบบไม่คงที่ (Non-stationary time series) จะต้องแปลงอนุกรมเวลานั้นให้เป็นอนุกรมเวลาที่คงที่ก่อนการกำหนดตัวแบบ หากอนุกรมเวลามีค่าเฉลี่ยไม่คงที่ควรแปลงอนุกรมเวลาโดยการหาผลต่าง หากอนุกรมเวลาที่มีความแปรปรวนไม่คงที่ จะแปลงอนุกรมเวลาให้มีคุณสมบัติคงที่ได้ด้วยการใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ [13] เช่น ฟังก์ชันลอการิทึม (Logarithm) รากที่สอง (Square root) หรือรากที่สี่ (Quartic root) เป็นต้น

กำหนดให้ Z_t เป็นอนุกรมเวลาที่ไม่มีความเป็นฤดูกาล และ W_t เป็นอนุกรมเวลาที่เกิดจากการแปลงอนุกรมเวลา Z_t ให้มีคุณสมบัติคงที่

ดังนั้น ARIMA (p,d,q) เป็นตัวแบบของวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์สำหรับอนุกรมเวลา W_t โดยสามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังสมการที่ (10)

$$\phi(B)W_t = \theta_0 + \theta(B)a_t \quad (10)$$

เมื่อ

d แทนค่าจำนวนครั้งที่หาผลต่าง (Difference)

p แทนอันดับที่ของกระบวนการถดถอยตัวเอง

(Autoregressive)

q แทนอันดับที่ของกระบวนการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

(Moving average)

θ_0 แทนค่าคงที่

a_t แทนการรบกวนแบบสุ่ม

$\phi(B)$ แทนตัวแบบของกระบวนการถดถอยตัวเองมีรูปแบบตามสมการที่ (11) โดยที่ ϕ_p เป็นค่าพารามิเตอร์ของ

ตัวแบบอันดับที่ p (Non-seasonal autoregressive, AR(p))

$\theta(B)$ แทนตัวแบบของกระบวนการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มี

รูปแบบตามสมการที่ (12) โดยที่ θ_q เป็นค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบลำดับที่ q (Non-seasonal moving average, MA (q))

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p \quad (11)$$

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q \quad (12)$$

การกำหนดตัวแบบที่เป็นไปได้ อาจมีมากกว่าหนึ่งตัวแบบ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ เพื่อให้ได้ตัวแบบที่มีประสิทธิภาพสำหรับนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป

2.4 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ

สำหรับงานวิจัยนี้จะตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบโดยใช้สมมติฐาน [5] คือ

$$H_0 : p_1(e_t) = \dots = p_m(e_t) = 0$$

$H_1 : p_k(e_t)$ สำหรับ $k = 1, 2, \dots, m$ อย่างน้อย 1 ค่า ไม่เป็น 0

โดยใช้ค่าทดสอบสถิติ Box-Ljung Chi-Square โดยมีสูตรคำนวณดังสมการที่ (13) ที่ระดับนัยสำคัญ α ช่วงวิกฤต

$$Q_m \geq x_{\alpha, m-a}^2$$

$$Q_m = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2(e_t)}{(n-k)} \quad (13)$$

เมื่อ

$r_k^2(e_t)$ แทนกำลังสองของสหสัมพันธ์ในตัวเองของความผิดพลาดที่เวลา k

n แทนขนาดของอนุกรมเวลาของความผิดพลาด

a แทนจำนวนพารามิเตอร์ที่ประมาณในตัวแบบ

m แทนช่วงเวลาห่างกันสูงสุดระหว่างค่าที่สังเกต

ดังนั้นหากยอมรับ H_0 แสดงว่า ตัวแบบมีความเหมาะสม

ค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์มีการแจกแจงที่เป็นอิสระต่อกัน แต่ถ้าหากปฏิเสธ H_0 แสดงว่า ค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์มีการแจกแจงที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน หมายความว่า การกำหนดตัวแบบพยากรณ์ไม่ครอบคลุมส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ได้แก่ ระดับ แนวโน้ม วัฏจักร และฤดูกาล ซึ่งจะปรากฏอยู่ในอนุกรมเวลาของความผิดพลาด [14]

2.5 การเปรียบเทียบค่าพยากรณ์

การเปรียบเทียบใช้เกณฑ์ในการเลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบยอดขายจริงของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาดในข้อมูลส่วนที่ 2 จำนวน 36 ค่า ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 กับค่าจากการพยากรณ์ยอดขายทั้ง 3 วิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยตัวแบบ

พยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้จะให้ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) ค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และรากที่สองของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ต่ำที่สุด เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความแม่นยำของการพยากรณ์ และเนื่องจากอุตสาหกรรมกรณีศึกษาที่ใช้เป็นข้อมูลวิจัยเป็นหน่วยข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และเป็นการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์หลายวิธีกับอนุกรมเวลาเดียวกัน การใช้เกณฑ์ดังกล่าวจะมีความเหมาะสมกว่าเกณฑ์อื่น เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยสุด [15] โดยมีสูตรในการคำนวณค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์ แสดงดังสมการที่ (14) สมการที่ (15) และสมการที่ (16) ตามลำดับ

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n} \quad (14)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n}} \quad (16)$$

เมื่อ

e_t	แทนความผิดพลาด ณ เวลา t
Y_t	แทนค่ายอดขายจริง ณ เวลา t
n	แทนขนาดของค่าพยากรณ์

ตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAE MAPE และค่า RMSE ต่ำที่สุด จะถูกเลือกให้เป็นตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้ในการพยากรณ์ยอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วารางคณา เรียนสุทธิ [16] ได้ศึกษาตัวแบบพยากรณ์ราคามังคุดคละ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 128 ค่า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ข้อมูลส่วนที่ 1 จำนวน 120 ค่านำมาสร้างตัวแบบพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ วิธีแยกส่วนประกอบอนุกรมเวลา และวิธีปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ข้อมูลส่วนที่ 2 จำนวน 8 ค่าสำหรับการตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบโดยใช้เกณฑ์

RMSE ที่ต่ำที่สุด ผลพบว่า วิธีแยกส่วนประกอบอนุกรมเวลาเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาของข้อมูลนี้มากที่สุด

บุญฤทธิ์ ชูประดิษฐ์ และ เสาวภา ชัยพิทักษ์ [17] ได้ศึกษาตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกมะม่วงของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 จำนวนทั้งสิ้น 120 ค่า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน โดยสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วย 3 วิธี ได้แก่ วิธีแยกองค์ประกอบ วิธีโฮสต์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ โดยใช้ค่า MAPE และ RMSE เป็นเกณฑ์ในการเลือกตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด ผลพบว่าวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ เป็นวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุดโดยมีตัวแบบเป็น SARIMA(0,1,2)(0,1,1)₁₂

Thitima Booranawong และ Apidet Booranawong [18] ได้ศึกษาการพยากรณ์ราคามะนาว พริกไทย และตะไคร้ในประเทศไทย โดยใช้วิธีการพยากรณ์แบบปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปแนนเชียลสองครั้งและวิธีการโฮสต์-วินเทอร์ ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 ผลพบว่า วิธีการพยากรณ์แบบปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปแนนเชียลสองครั้ง เหมาะสำหรับการพยากรณ์ราคามะนาวพริกไทยและตะไคร้ เนื่องจากให้ค่า MAPE น้อยที่สุด และการพยากรณ์ราคามะนาวเหมาะสำหรับใช้วิธีการพยากรณ์แบบโฮสต์-วินเทอร์

Fatma D. M. Abdallah [19] ได้ศึกษาการพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับการผลิตไข่ไก่ โดยใช้วิธีการพยากรณ์แบบบ็อกซ์และเจนกินส์ (ARIMA) เก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาของข้อมูลนี้มากที่สุด ผลพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ ARIMA(1,2,2) เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่า R^2 , RMSE และ MAPE ต่ำสุด

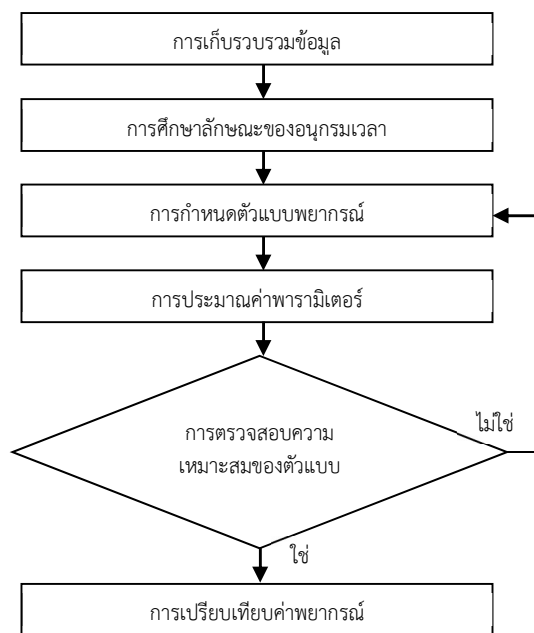
Essi Isaac Didi และคณะ [20] ได้ศึกษาการพยากรณ์รายวันของผู้ป่วยที่ยืนยันการติดเชื้อโควิด 19 และเสียชีวิตกรณีศึกษาประเทศไนจีเรีย โดยใช้ข้อมูลสำหรับสร้างตัวแบบพยากรณ์ทั้งหมดจำนวน 51 วัน ตั้งแต่วันที่ 21 เดือนมีนาคม ถึงวันที่ 5 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 ตัวแบบพยากรณ์ที่ใช้คือ ARIMA(2,2,1) และ AR(1) ผลพบว่า ค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีดังกล่าวในช่วงระยะเวลา 239 วัน ตั้งแต่วันที่ 6 เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวนผู้ป่วยและเสียชีวิตในแต่ละวันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการพยากรณ์ที่ต้นนั้นจะต้องพยากรณ์ในช่วงระยะเวลานั้น ๆ

จากสภาพปัญหาของอุตสาหกรรมน้ำดื่มบรรจุขวด ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับการวาง

แผนการผลิต เพื่อต้องการลดขนาดความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลยอดขายจำนวน 120 เดือน ในการศึกษาลักษณะอนุกรมเวลาเพื่อกำหนดตัวแบบพยากรณ์ และนำตัวแบบที่ได้ไปพยากรณ์เปรียบเทียบกับค่าจริง จำนวน 36 เดือน เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดของน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาด

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab มีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย [5]

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดรายเดือน (หน่วย: ล้านขวด) ของน้ำดื่มสามขนาด จำนวน 156 เดือน (ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563) แบ่งข้อมูลในการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

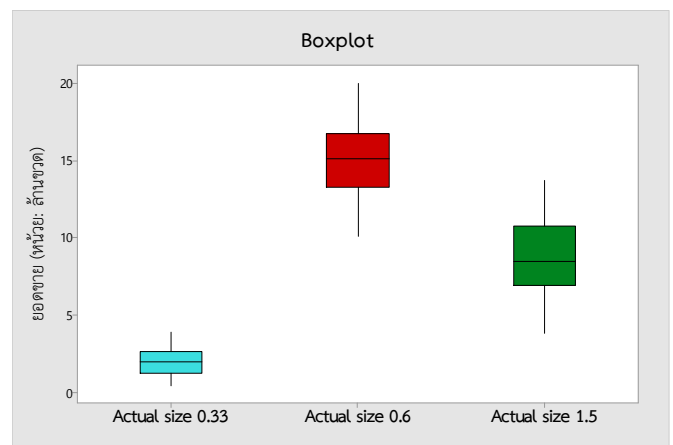
ส่วนที่ 1 ข้อมูล 120 เดือนแรก (ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560) ใช้ศึกษาลักษณะอนุกรมเวลา เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ และเป็นข้อมูลเพื่อพยากรณ์เปรียบเทียบกับข้อมูลยอดขายจริงของส่วนที่ 2

ส่วนที่ 2 ข้อมูล 36 เดือน (ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563) ยอดขายจริงที่ใช้เพื่อ

เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์โดยใช้เกณฑ์ค่า MAE MAPE และ RMSE ต่ำสุด ในการเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด

3.1.1 การหาค่าผิดปกติ (Outlier) ของข้อมูล

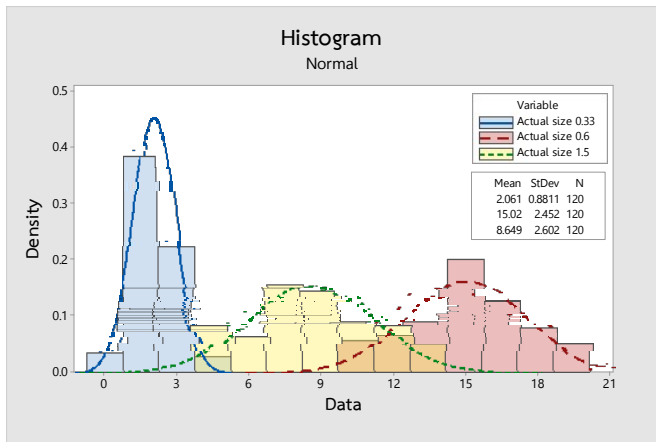
นำยอดขายซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิมาหาค่าความผิดปกติโดยใช้วิธีทางสถิติที่เรียกว่า Box and Whisker plots [21] ผลจากการตรวจสอบพบว่า ยอดขายย้อนหลังของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาดไม่มีความผิดปกติ แสดงดังรูปที่ 2 แต่หากข้อมูลมีความผิดปกติให้แก้ไข โดยนำค่าข้อมูลที่อยู่ก่อนหน้าค่าผิดปกติ และค่าข้อมูลที่อยู่ถัดจากค่าผิดปกติมาหาค่าเฉลี่ย และนำผลที่ได้มาปรับใช้แทนค่าผิดปกติของข้อมูลนั้น



รูปที่ 2 ตรวจสอบค่าผิดปกติของยอดขาย

3.1.2 การวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของข้อมูล

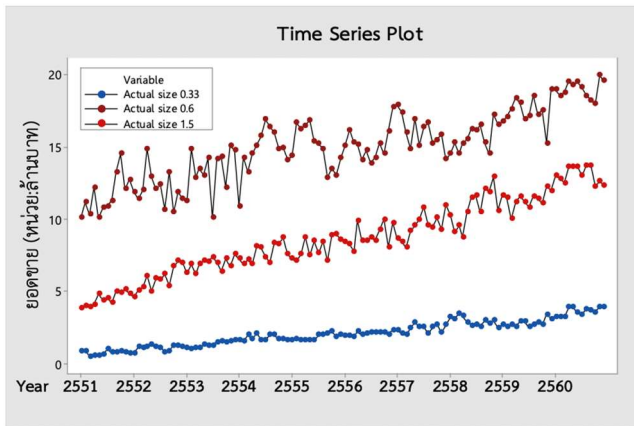
ภายใต้สมมติฐาน H_0 : การกระจายตัวแบบปกติ H_1 : การกระจายตัวแบบไม่ปกติ [22] พบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร (p-value=0.078) ขนาด 0.6 ลิตร (p-value=0.184) และขนาด 1.5 ลิตร (p-value=0.068) ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นยอดขายแต่ละเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาดมีการกระจายตัวเป็นการแจกแจงแบบปกติ แสดงรูปแบบการแจกแจงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปแบบการแจกแจงตัวของยอดขาย

3.2 การศึกษาลักษณะของอนุกรมเวลา (Time series plot)

ศึกษาความสัมพันธ์ของยอดขายกับเวลาว่าลักษณะของข้อมูลมีรูปแบบใดเป็นองค์ประกอบ เช่น แนวโน้ม ฤดูกาล หรือมีทั้ง 2 องค์ประกอบ ซึ่งจากรูปที่ 4 พบว่า ยอดขายของน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น ข้อมูลมีอิทธิพลจากแนวโน้ม แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากต้องการตรวจสอบลักษณะของอนุกรมเวลา สามารถใช้วิธีการในการตรวจสอบดังนี้



รูปที่ 4 อนุกรมเวลาของยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาด

3.2.1 การตรวจสอบอิทธิพลแนวโน้ม

สมมติฐาน คือ $H_0 : p_k = 0$, $H_1 : p_k \neq 0$ [5] ผลพบว่า ACF ของอนุกรมเวลายอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้ง 3 ขนาด มีค่า r_k สูงและลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อ k มีค่าเพิ่มขึ้นจึง

ปฏิเสธ H_0 แสดงว่า น้ำดื่มบรรจุขวดทั้ง 3 ขนาดมีอิทธิพลของแนวโน้ม

3.2.2 การตรวจสอบอิทธิพลฤดูกาล

สมมติฐาน คือ $H_0 : p_L = 0$, $H_1 : p_L > 0$ เมื่อ L เท่ากับ 12 และ 24 [5] ผลพบว่า ACF ของอนุกรมเวลาน้ำดื่มบรรจุขวดทั้ง 3 ขนาด ให้ค่า r_{12} และ r_{24} อยู่ภายในช่วงยอมรับ H_0 แสดงว่า อนุกรมเวลาของข้อมูลชุดนี้ไม่มีอิทธิพลฤดูกาล ดังนั้นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อนุกรมเวลาของยอดขายของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาด มีอิทธิพลจากแนวโน้มแต่ไม่มีอิทธิพลจากฤดูกาล แสดงผลการตรวจสอบอิทธิพลแนวโน้มและฤดูกาล ได้ดังรูปที่ 5 6 และ 7 ตามลำดับ

3.3 การกำหนดตัวแบบพยากรณ์

งานวิจัยนี้กำหนดตัวแบบพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง และวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ โดยสมการของตัวแบบพยากรณ์ดังแสดงในสมการ (2) (7) และ (10) ตามลำดับ

4. ผลการวิจัย

จากการตรวจสอบยอดขายของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาดพบว่า มีอิทธิพลแนวโน้มแต่ไม่มีอิทธิพลฤดูกาลและได้กำหนดตัวแบบพยากรณ์ 3 วิธี ดังนั้นสามารถแสดงผลการวิจัยได้ดังนี้

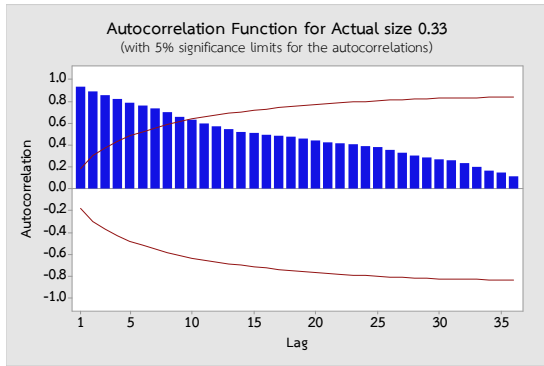
4.1 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์และการตรวจสอบ

ความเหมาะสมของตัวแบบ

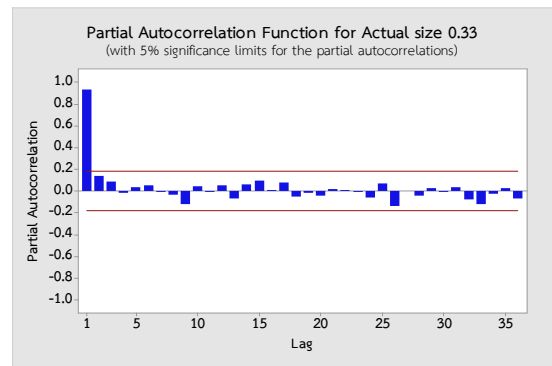
การประมาณค่าพารามิเตอร์ของวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี ได้ผลดังนี้

4.1.1 วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง

จากตารางที่ 1 ผลจากการปรับค่าคงที่ของการปรับเรียบความเป็นระดับ α (Level) และความเป็นแนวโน้ม β (Trend) เพื่อให้ได้ค่าความผิดพลาดต่ำที่สุด และเมื่อตรวจสอบความเหมาะสมของพารามิเตอร์พบว่า ให้ค่า p-value น้อยกว่า 0.001 นั่นคือ พารามิเตอร์ความเป็นระดับและความเป็นแนวโน้ม มีค่าแตกต่างไปจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการพยากรณ์

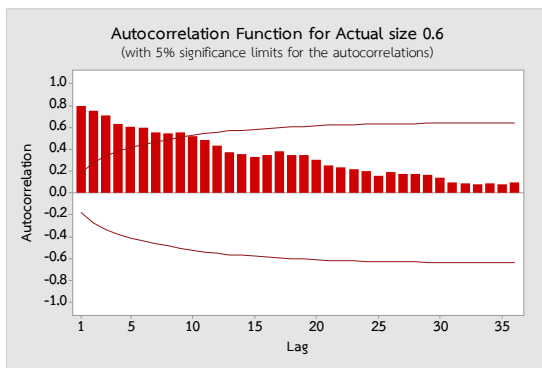


(ก) ตรวจสอบอิทธิพลแนวโน้ม

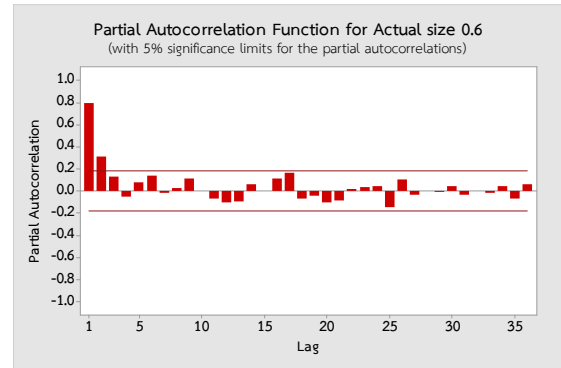


(ข) ตรวจสอบอิทธิพลฤดูกาล

รูปที่ 5 การตรวจสอบอิทธิพลแนวโน้มและฤดูกาลของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร

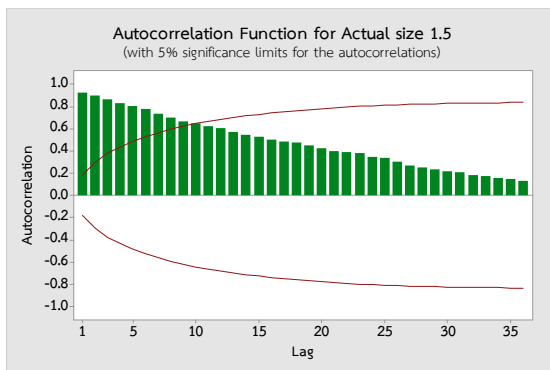


(ก) ตรวจสอบอิทธิพลแนวโน้ม

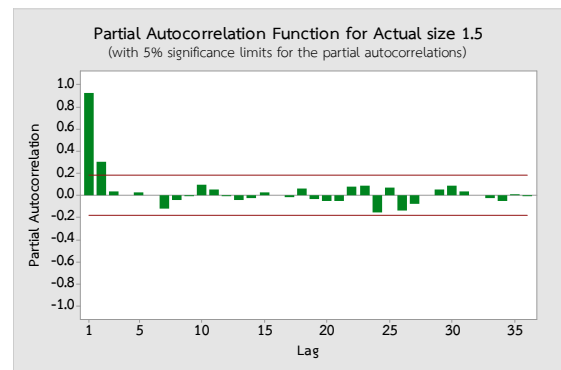


(ข) ตรวจสอบอิทธิพลฤดูกาล

รูปที่ 6 การตรวจสอบอิทธิพลแนวโน้มและฤดูกาลของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร



(ก) ตรวจสอบอิทธิพลแนวโน้ม



(ข) ตรวจสอบอิทธิพลฤดูกาล

รูปที่ 7 การตรวจสอบอิทธิพลแนวโน้มและฤดูกาลของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร

ตารางที่ 1 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง

พารามิเตอร์	ขนาดน้ำดื่มบรรจุขวด		
	0.33 ลิตร	0.6 ลิตร	1.5 ลิตร
MAE	0.1863	1.0168	0.6155
MAPE	9.9014	7.2055	7.3307
RMSE	0.2535	1.3585	0.7713
α (level)	1.0000	0.8602	0.8054
β (trend)	0.0165	0.0141	0.0279

ดังนั้นพบว่า น้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร มีค่าคงที่ของการปรับเรียบ ($\alpha = 1.0000$, $\beta = 0.0165$) โดยทำให้ค่า MAE เท่ากับ 0.1863 ค่า MAPE เท่ากับ 9.9014 และค่า RMSE เท่ากับ 0.2535 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุด น้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร ($\alpha = 0.8602$, $\beta = 0.0141$) ให้ค่า MAE เท่ากับ 1.0168 ค่า MAPE เท่ากับ 7.2055 และค่า RMSE เท่ากับ 1.3585 และน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร ($\alpha = 0.8054$, $\beta = 0.0279$) ให้ค่า MAE เท่ากับ 0.6155 ค่า MAPE เท่ากับ

7.3307 และค่า RMSE เท่ากับ 0.7713 และผลความผิดพลาดของการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้งที่ต่ำสุด สำหรับอนุกรมเวลาของยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาด สำหรับปี พ.ศ. 2561-2563 แสดงดังตารางที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ

จากสมการที่ (2) สมการของตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง ดังนั้นผลจากการประมาณค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 1 สามารถเขียนในรูปของสมการพยากรณ์ของน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาดได้ดังสมการที่ (17) (18) และ (19) ตามลำดับ

สมการพยากรณ์ยอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร แสดงดังสมการที่ (17)

$$\hat{z}_{120}(\ell) = 3.8999 + 0.0267\ell \quad (17)$$

สมการพยากรณ์ยอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร แสดงดังสมการที่ (18)

$$\hat{z}_{120}(\ell) = 19.6046 + 0.0681\ell \quad (18)$$

สมการพยากรณ์ยอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร แสดงดังสมการที่ (19)

$$\hat{z}_{120}(\ell) = 12.4273 + 0.0552\ell \quad (19)$$

การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง โดยการตรวจสอบคุณสมบัติของความผิดพลาดสุ่มของน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาด พบว่า มีค่า (p-value=0.092), (p-value=0.053) และ (p-value=0.955) ตามลำดับ แสดงว่าค่าความผิดพลาดสุ่มมีการแจกแจงปกติ ซึ่งสอดคล้องกันเมื่อตรวจสอบค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) ของความผิดพลาดสุ่มตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.1.2 วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง

ผลจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้น แสดงผลค่าความผิดพลาดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีแนวโน้มเส้นตรง

พารามิเตอร์	ขนาดน้ำดื่มบรรจุขวด		
	0.33 ลิตร	0.6 ลิตร	1.5 ลิตร
MAE	0.1951	1.0494	0.5735
MAPE	10.5332	7.2913	6.8867
RMSE	0.2528	1.2823	0.6983

จากสมการที่ (7) สมการตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง ดังนั้นผลจากการประมาณค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 2 สามารถเขียนในรูปของสมการพยากรณ์ของน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาดได้ดังสมการที่ (20) (21) และ (22) ตามลำดับ

สมการพยากรณ์ยอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร ให้ค่า MAE เท่ากับ 0.1951 ค่า MAPE เท่ากับ 10.5332 และค่า RMSE เท่ากับ 0.2528 แสดงดังสมการที่ (20)

$$Y_t = 0.59933 + 0.0243t \quad (20)$$

สมการพยากรณ์ยอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร โดยให้ค่า MAE MAPE และ RMSE เท่ากับ 1.0494, 7.2913 และ 1.2823 ตามลำดับ แสดงดังสมการที่ (21)

$$Y_t = 11.3970 + 0.05997t \quad (21)$$

สมการพยากรณ์ยอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร ให้ค่า MAE MAPE และ RMSE เท่ากับ 0.5735, 6.8867 และ 0.6983 ตามลำดับ แสดงดังสมการที่ (22)

$$Y_t = 4.292 + 0.0720t \quad (22)$$

การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบด้วยวิธีการพยากรณ์แบบแนวโน้มเส้นตรง โดยการตรวจสอบคุณสมบัติของความผิดพลาดสุ่มของน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาด พบว่ามีค่า (p-value=0.297), (p-value=0.957) และ (p-value=0.132) ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าความผิดพลาดสุ่มมีการแจกแจงปกติ และหากตรวจสอบค่า ACF ของความผิดพลาดสุ่มของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาดพบว่าตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลความผิดพลาดของการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรงที่ต่ำสุด

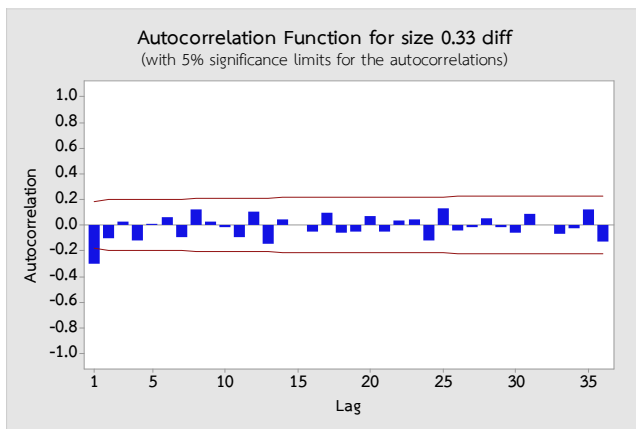
สำหรับอนุกรมเวลาของยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาด ปี พ.ศ. 2561-2563 แสดงดังตารางที่ 5, 6 และ 7

4.1.3 วิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์

แสดงผลได้ดังนี้

1) แปลงอนุกรมเวลา จากรูปที่ 5, 6 และ 7 จะพบว่า อนุกรมเวลายอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาดมีค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัว (ACF) ค่อยๆ ลดลง แสดงว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ (Stationary) เพื่อให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัตินี้ ทำได้โดยการแปลงอนุกรมเวลาโดยการหาผลต่าง 1 ครั้ง แสดงผลการแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างครั้งที่ 1 ของน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาดตามรูปที่ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าอนุกรมเวลามีความคงที่มากขึ้น

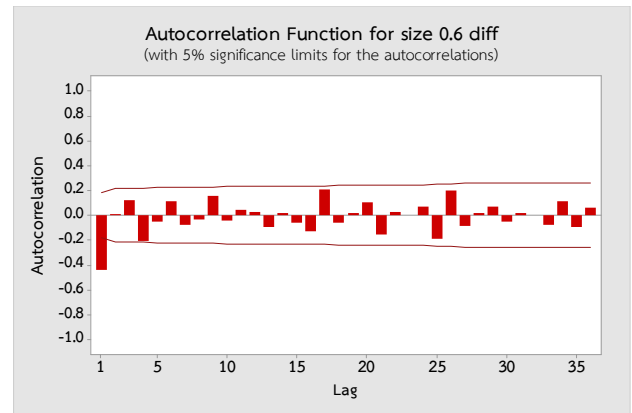
2) ค่าประมาณพารามิเตอร์วิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ เมื่อพิจารณา ACF ของยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาด จากรูปที่ 8, 9 และ 10 พบว่า ค่า ACF ณ lag 1 มีนัยสำคัญ เพราะตกอยู่นอกขอบเขตความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นตัวแบบที่เหมาะสมจึงควรเป็นตัวแบบที่มีส่วนประกอบของ Autoregressive และ Moving average ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดค่าพารามิเตอร์ p และ q ที่คาดว่าจะเป็นไปได้ให้กับตัวแบบ ARIMA(p,d,q)



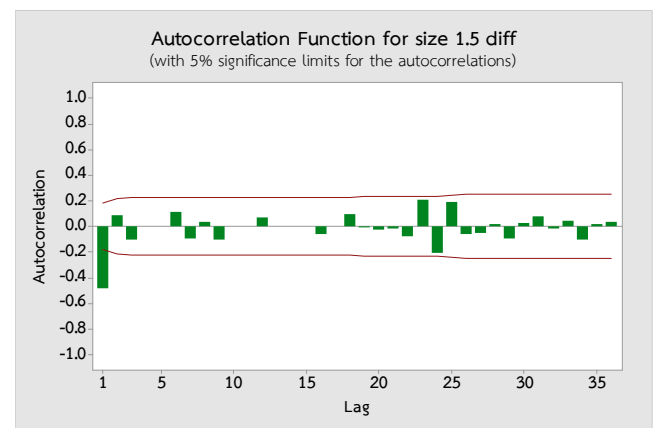
รูปที่ 8 แปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่างครั้งที่ 1 (0.33 ลิตร)

จากการตรวจสอบตัวแบบของน้ำบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร ในตารางที่ 3 พบว่า ตัวแบบ ARIMA(1,1,1) ไม่มีพจน์ค่าคงที่ ให้ค่าพารามิเตอร์ AR(1) มีค่าประมาณ 0.2440 เมื่อตรวจสอบความเหมาะสมของพารามิเตอร์ พบว่า ค่าสถิติทดสอบเท่ากับ 1.22 ให้ค่า p-value เท่ากับ 0.223 นั่นคือค่าพารามิเตอร์ AR(1) มีค่าไม่แตกต่างไปจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นตัวแบบ

ARIMA(1,1,1) ไม่มีพจน์ค่าคงที่ ไม่มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์



รูปที่ 9 แปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่างครั้งที่ 1 (0.6 ลิตร)



รูปที่ 10 แปลงอนุกรมเวลาด้วยการหาผลต่างครั้งที่ 1 (1.5 ลิตร)

แต่สำหรับตัวแบบ ARIMA(0,1,1) ไม่มีพจน์ค่าคงที่ ตัวแบบ ARIMA(0,1,1) มีพจน์คงที่ และตัวแบบ ARIMA(1,1,1) มีพจน์คงที่ ให้ค่าพารามิเตอร์ AR(1) MA(1) และค่าคงที่ โดยให้ค่า p-value น้อยกว่า 0.001 ทั้งหมด นั่นคือ ค่าพารามิเตอร์ AR(1) MA(1) และค่าคงที่ มีค่าแตกต่างไปจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่า ARIMA(0,1,1) ไม่มีพจน์ค่าคงที่ ตัวแบบ ARIMA(0,1,1) มีพจน์คงที่ และตัวแบบ ARIMA(1,1,1) มีพจน์คงที่ มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์

ตารางที่ 3 ผลการพยากรณ์วิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์สำหรับน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร

พารามิเตอร์		ARIMA	ARIMA	ARIMA	ARIMA
		(0,1,1)	(0,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
		ไม่มีพจน์ค่าคงที่	มีพจน์ค่าคงที่	ไม่มีพจน์ค่าคงที่	มีพจน์ค่าคงที่
AR (1)	Coef			0.2440	0.5116
	ϕ_1			0.1990	0.0811
	T-Value			1.22	6.31
	P-Value			0.223	0.000
MA (1)	Coef	0.4296	0.5441	0.627	0.9776
	θ_1	0.0834	0.0777	0.161	0.0195
	T-Value	5.15	7.00	3.90	50.14
	P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000
Constant	Coef		0.0261		0.0120
	θ_0		0.0097		0.0010
	T-Value		2.68		12.15
	P-Value		0.009		0.000
MAE		0.1742	0.1769	0.1736	0.1689
MAPE		9.2976	9.8567	9.1479	9.1788
RMSE		0.2370	0.2325	0.2362	0.2232

ดังนั้นตัวแบบที่สามารถใช้งานได้ของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร มี 3 แบบ ได้แก่ ARIMA(0,1,1) ไม่มีพจน์ค่าคงที่ ARIMA(0,1,1) มีพจน์ค่าคงที่ และ ARIMA(1,1,1) มีพจน์ค่าคงที่ แต่เนื่องจากตัวแบบ ARIMA(1,1,1) มีค่า MAE MAPE และค่า RMSE ต่ำที่สุด งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวแบบ ARIMA(1,1,1) สำหรับการพยากรณ์ด้วยวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ จากสมการที่ (10) สมการของตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ ดังนั้นผลจากการประมาณค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 3 สามารถเขียนในรูปของสมการพยากรณ์ของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร ได้ดังสมการที่ (23)

$$(1-0.5116B)W_t = 0.0120 + (1-0.9776B)a_t \quad (23)$$

เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร และ 1.5 ลิตร พบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมและให้ค่า MAE MAPE และค่า RMSE ต่ำที่สุด คือตัวแบบ ARIMA(1,1,1) และตัวแบบ ARIMA(1,1,2) ตามลำดับ โดยสามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังสมการที่ (24) และสมการที่ (25) ตามลำดับ ดังนี้

$$(1-0.3758B)W_t = 0.0384 + (1-0.9771B)a_t \quad (24)$$

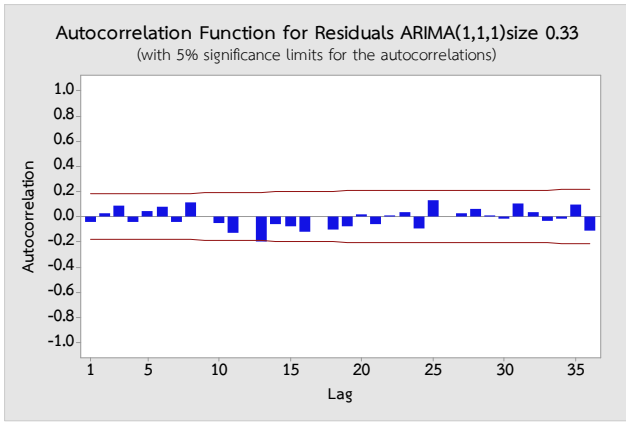
$$(1-0.6206B)W_t = 0.0272 + (1-1.3222B + 0.3350B^2)a_t \quad (25)$$

จากตารางที่ 4 พบว่าค่าสถิติทดสอบ Q ของ Ljung-Box ของตัวแบบ ARIMA(1,1,1) สำหรับใช้พยากรณ์น้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร เท่ากับ 20.29 มีค่า p-value เท่ากับ 0.503 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเท่ากับศูนย์หรือตัวแบบมีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ ตัวแบบ ARIMA(1,1,1) มีค่าสถิติทดสอบ Q ของ Ljung-Box เท่ากับ 30.46 มีค่า p-value เท่ากับ 0.083 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเท่ากับศูนย์หรือตัวแบบมีความเหมาะสม สำหรับใช้พยากรณ์ ยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร และตัวแบบ ARIMA(1,1,2) สำหรับใช้พยากรณ์น้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร พบว่า ค่าสถิติทดสอบ Q ของ Ljung-Box เท่ากับ 18.20 มีค่า p-value เท่ากับ 0.575 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเท่ากับศูนย์หรือตัวแบบมีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์

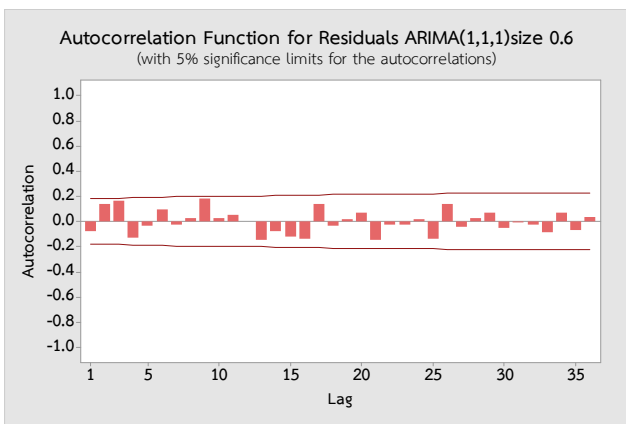
ตารางที่ 4 สถิติทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์

ขนาด (ลิตร)	ตัวแบบ ARIMA(p,d,q)	สถิติทดสอบ Q	องศาอิสระ	p-value
		Ljung-Box		
0.33	ARIMA(1,1,1)	20.29	21	0.503
0.6	ARIMA(1,1,1)	30.46	21	0.083
1.5	ARIMA(1,1,2)	18.20	20	0.575

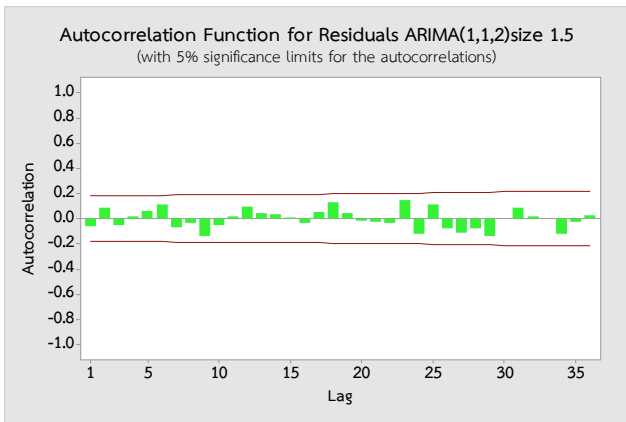
เมื่อพิจารณากราฟ ACF ของค่าคงเหลือของความผิดพลาดจากการพยากรณ์ของตัวแบบทั้ง 3 อยู่ในขอบเขตช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 11, 12 และ 13 ตามลำดับ แสดงว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ และผลความผิดพลาดของการพยากรณ์ด้วยวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ที่ต่ำสุด สำหรับอนุกรมเวลาของยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาด ปี พ.ศ. 2561-2563 แสดงดังตารางที่ 5, 6 และ 7



รูปที่ 11 ค่าคงเหลือของความผิดพลาด ARIMA(1,1,1) (0.33 ลิตร)



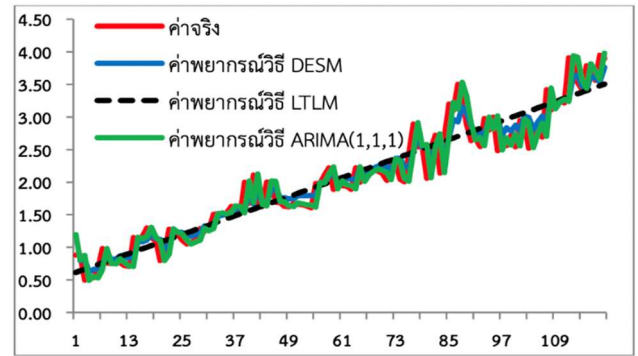
รูปที่ 12 ค่าคงเหลือของความผิดพลาด ARIMA(1,1,1) (0.6 ลิตร)



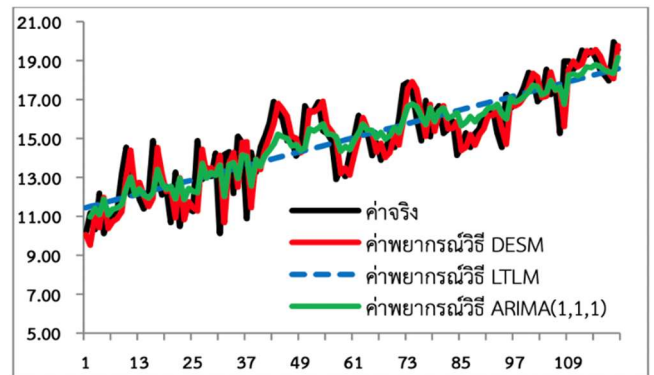
รูปที่ 13 ค่าคงเหลือของความผิดพลาด ARIMA(1,1,2) (1.5 ลิตร)

ดังนั้นจากการประมาณค่าพารามิเตอร์และการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบทั้ง 3 สามารถเปรียบเทียบกับค่าจริงและค่าที่ได้จากการพยากรณ์ย้อนหลัง ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 (จำนวน 120 เดือน) ของน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาด แสดงดังรูปที่ 14, 15 และ 16 ตามลำดับ จะพบว่า ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับ

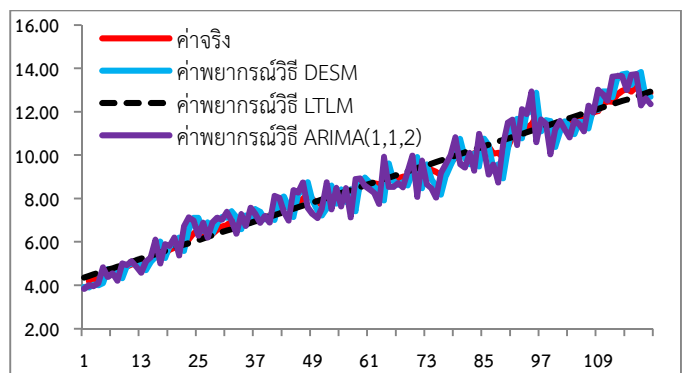
ค่าจริง โดยมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นตามที่ได้แสดงในตารางที่ 1, 2 และ 3 (น้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร)



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบอนุกรมเวลาของยอดขาย (ค่าจริง) และค่าพยากรณ์จากตัวแบบทั้ง 3 วิธีของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร (หน่วย: ล้านขวด)



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบอนุกรมเวลาของยอดขาย (ค่าจริง) และค่าพยากรณ์จากตัวแบบทั้ง 3 วิธีของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร (หน่วย: ล้านขวด)



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบอนุกรมเวลาของยอดขาย (ค่าจริง) และค่าพยากรณ์จากตัวแบบทั้ง 3 วิธีของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร (หน่วย: ล้านขวด)

4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์

จากการนำข้อมูลย้อนหลังจำนวน 120 เดือน มาศึกษาอนุกรมเวลาของยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวด และนำไปประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบพยากรณ์ 3 วิธี เพื่อหาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมแล้ว และได้นำมาพยากรณ์ข้อมูลส่วนที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าจริงของข้อมูลส่วนที่ 2 จำนวน 36 เดือน โดยเปรียบเทียบว่าวิธีการพยากรณ์ใดเหมาะสมสำหรับน้ำดื่มบรรจุขวดแต่ละขนาด ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์เทียบกับค่าจริง พ.ศ. 2561-2563 ของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร

ค่าความผิดพลาด	วิธีการเดิม	วิธีการ DESM	วิธีการ LTLM	ARIMA(1,1,1)
MAE	1.9757	0.8523	0.9015	0.6247
MAPE	40.6119	15.6741	16.7041	11.6821
RMSE	2.2125	1.0982	1.1373	0.8235

การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์เทียบกับค่าจริงของยอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า วิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่า MAE, MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด คือ วิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ ARIMA(1,1,1) รองลงมา คือ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง และวิธีการเดิม ตามลำดับ มีค่า MAE เท่ากับ 0.6247, 0.8523, 0.9015 และ 1.9757 ตามลำดับ ค่า MAPE เท่ากับ 11.6821, 15.6741, 16.7041 และ 40.6119 ตามลำดับ และมีค่า RMSE เท่ากับ 0.8235, 1.0982, 1.1373 และ 2.2125 ตามลำดับ

สำหรับการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์เทียบกับค่าจริงของยอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 6 ผลพบว่า วิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่า MAE MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด คือ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง วิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง และวิธีการเดิม ตามลำดับ โดยมีค่า MAE เท่ากับ 1.2646, 1.8187, 1.9247 และ 6.2127ตามลำดับ ค่า MAPE เท่ากับ 5.6463, 7.9797, 8.4589 และ 28.9295 ตามลำดับ และค่า RMSE เท่ากับ 1.5700, 2.2702, 2.3722 และ 6.5489 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์เทียบกับค่าจริง พ.ศ. 2561-2563 ของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร

ค่าความผิดพลาด	วิธีการเดิม	วิธีการ DESM	วิธีการ LTLM	ARIMA(1,1,1)
MAE	6.2127	1.2646	1.9247	1.8187
MAPE	28.9295	5.6463	8.4589	7.9797
RMSE	6.5489	1.5700	2.3722	2.2702

การเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ยอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่าวิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่า MAE MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด คือ วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง รองลงมาวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง และวิธีการเดิม ตามลำดับ โดยมีค่า MAE เท่ากับ 1.0479, 1.3379, 1.3478 และ 2.1729 ตามลำดับ ค่า MAPE เท่ากับ 8.4897, 11.0348, 11.1194 และ 17.2164 ตามลำดับ และค่า RMSE เท่ากับ 1.4044, 1.8443, 1.8586 และ 2.7143 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์เทียบกับค่าจริง พ.ศ. 2561-2563 ของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร

ค่าความผิดพลาด	ค่าพยากรณ์			
	วิธีการเดิม	วิธีการ DESM	วิธีการ LTLM	ARIMA(0,1,1)
MAE	2.1729	1.3478	1.0479	1.3379
MAPE	17.2164	11.1194	8.4897	11.0348
RMSE	2.7143	1.8586	1.4044	1.8443

5. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถวางแผนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด โดยการประยุกต์ใช้การพยากรณ์อนุกรมเวลาเพื่อหาวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร 0.6 ลิตร และ 1.5 ลิตร และเพื่อลดขนาดของความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยในการวางแผนการผลิต สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพยากรณ์อนุกรมของน้ำบรรจุขวดครั้งนี้ศึกษาเฉพาะยอดขายรายเดือนของน้ำบรรจุขวดขนาด 0.33, 0.6 และ 1.5 ลิตร ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษารวม 156 เดือน โดยใช้ข้อมูล 120 เดือนแรก เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา และสร้างสมการพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้ง วิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง และวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ ประเมินความแม่นยำของการพยากรณ์โดยใช้ค่า MAE, MAPE และ RMSE

ต่ำสุด และนำวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมไปใช้พยากรณ์และเปรียบเทียบกับค่าจริงจำนวน 36 เดือนหลัง

ผลการวิจัยพบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลายอดขายรายเดือนของน้ำบรรจุขวดทั้งสามขนาด มีอิทธิพลแนวโน้ม ไม่มีอิทธิพลฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลายอดขายรายเดือนของน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร คือ วิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ น้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร คือ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปแนนเชียลสองครั้ง และน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร คือ วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง และเมื่อเปรียบเทียบค่า MAE ของวิธีการเดิม กับค่า MAE ของวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมพบว่า ค่า MAE ของการพยากรณ์น้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาดลดลงเท่ากับ 1.35, 4.95 และ 1.13 ตามลำดับ (หน่วย: ล้านบาท)

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

น้ำดื่มแต่ละขนาดมีวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมต่างกัน เนื่องจากกลุ่มลูกค้าเป็นคนละลักษณะ คือ น้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร กลุ่มลูกค้าส่วนใหญ่จะเป็นร้านค้าปลีก น้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 0.6 ลิตร เป็นลูกค้ากลุ่มค้าส่งและค้าปลีก ส่วนน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 1.5 ลิตร จะเป็นลูกค้ากลุ่มค้าส่ง ทำให้ปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้าแตกต่างกัน และนอกจากนี้งานวิจัยได้นำตัวแบบการพยากรณ์ที่ได้ไปใช้สำหรับการพยากรณ์ยอดขายน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งสามขนาดล่วงหน้าในปี พ.ศ. 2564 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการวางแผนการผลิต เพื่อลดปัญหาสินค้าคงคลัง ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลงประมาณ 12.72 ล้านบาท

6. ข้อเสนอแนะการวิจัย

สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ควรมีการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบใหม่ทุกครั้งที่มีค่าสังเกตใหม่เพิ่มขึ้น ถ้าตัวแบบของวิธีการเดิมไม่เหมาะสมจะต้องกำหนดตัวแบบใหม่ที่เหมาะสมกับรูปแบบของอนุกรมเวลา และควรพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ต้นทุนการผลิต ต้นทุนบรรจุภัณฑ์ ต้นทุนสินค้าคงคลัง เป็นต้น โดยนำปัจจัยดังกล่าวมาสร้างเป็นตัวแบบถดถอย (Regression model) [22] เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้วางแผนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย พ.ศ. 2563 จากมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี และขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาอุตสาหกรรมน้ำดื่มบรรจุขวด ที่ได้ให้ข้อมูลวิจัยตลอดจนสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] River Plus. *แนวโน้มอุตสาหกรรมเครื่องดื่มของไทย ปี 2019-2021*. Available from: <https://riverplus.com/beverage-industry-2019-2021/> [Accessed 2020 Jun 15].
- [2] สุวรรณภา พลภักดี. การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด. *วิศวกรรมลาดกระบัง*. 2564; 38(3): 77-90.
- [3] ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์. การพยากรณ์. ใน: *ทฤษฎีการจัดการพัสดุคงคลังและการประยุกต์ใช้สำหรับตัวแบบพัสดุคงคลังดีเทอมินิสติกแบบต่อเนื่อง*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัย เชียงใหม่. 2559; 31-35.
- [4] วิทยา สุหฤตดำรง. การพยากรณ์อุปสงค์ไอโซอูปทาน. ใน: *การจัดการไอโซอูปทาน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า. 2546; 72.
- [5] จุฑามาศ ศุภนคร. การพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับการวางแผนการผลิตชิ้นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์แปรรูป. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 2554; 21(3): 595-606.
- [6] Jarrett J. *Business Forecasting Methods*, 2nd ed. Oxford: Basil Blackwell, 1991.
- [7] DeLurgio SA. *Forecasting Principles and Applications*. Boston, Massachusetts: McGraw-Hill, 1998.
- [8] มุกดา แม้นมินทร์. *อนุกรมเวลาและการพยากรณ์*. กรุงเทพฯ: ประกายพริก. 2549.
- [9] ศศิธร โภภูสีบ, กัลยา บุญหล้า. การสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์ราคาข้าวหอมมะลิ 105. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*. 2559; 8(8): 49-60.
- [10] เฉลิมชาติ ชีระวิริยะ. การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในจังหวัดนครพนมการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับความ

ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในจังหวัดนครพนม.
วารสารวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนครพนม. 2560; 25(4): 24-37.

- [11] Zhao L-T, Wang Y, Guo S-Q, Zeng G-R. A novel method based on numerical fitting for oil price trend forecasting. *Applied Energy*. 2018; 220:154-163.
- [12] Kitworawut P, Rungreunganun V. Corn price modeling and forecasting using Box- Jenkins model. *Applied Science and Engineering Progress*. 2019; 12(4): 277-285.
- [13] ชม ปานตา, ยุกาวดี สำราญฤทธิ์. การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*. 2560; 9(10): 127-142.
- [14] ศชินทร์ โภกนุกาภรณ์. การศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ใช้น้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาปทุมธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*. 2564; 29(1): 36-45.
- [15] วรางคณา เรียนสุทธิ. การเลือกตัวแบบพยากรณ์ราคาไก่รุ่นพันธุ์เนื้อที่เหมาะสม. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข. มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 2562; 47(3): 563-575.
- [16] วรางคณา เรียนสุทธิ. ตัวแบบพยากรณ์ราคามังคุดคละ. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*. 2560; 19(2): 31-42.
- [17] บุญฤทธิ์ ชูประดิษฐ์, เสาวภา ชัยพิทักษ์. ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกมะม่วงของประเทศไทย. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม*. 2561; 26(2): 74-85.
- [18] Booranawong T, Booranawong A. Double exponential smoothing and Holt-Winters methods with optimal initial values and weighting factors for forecasting lime, Thai chili and lemongrass prices in Thailand. *Engineering and Applied Science Research*. 2018; 45(1):32-38.
- [19] Abdallah FD. Role of time series analysis in forecasting egg production depending on ARIMA model. *Applied Mathematics*. 2019; 9(1): 1-5.
- [20] Didi EI, Kingdom N, Harrison EE. ARIMA modelling and forecasting of COVID- 19 daily confirmed/death cases: a case study of Nigeria. *Probability and Statistics*. 2021;12(3): 59-80.
- [21] Pakdil F. Box-and-Whisker-Plot. In: *Six Sigma for Students*. Cham, Switzerland: Springer; 2020. p. 321. Available from: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-40709-4> [Accessed 2021 Feb 12]
- [22] Weisburd D, Britt C. The normal distribution and its application to tests of statistical significance. In: *statistics in criminal justice*. Boston, MA: USA; 2014; 234-268.
- [23] Guerard JB, Schwartz E. Regression analysis and forecasting models. In: *Quantitative Corporate Finance*. Boston, MA: Springer; 2007. p. 277-278. Available from: https://doi.org/10.1007/978-0-387-34465-2_12 [Accessed 2020 Feb 25]