

การคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ราคามะม่วงเขียวเสวย

SELECTION OF FORECASTING MODELS FOR THE MANGO PRICES

วารางคณา เรียนสุทธิ*

*Warangkha Riansut**

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University,

Phatthalung Campus.

**Corresponding author, e-mail: warang27@gmail.com*

Received: December 3, 2018; **Revised:** February 14, 2019; **Accepted:** March 20, 2019

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ การคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวย โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 159 ค่า ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 147 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวมซึ่งจะรวม 2 วิธีการพยากรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ต่ำ ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 12 ค่า นำมาใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์โดยใช้เกณฑ์ MAPE ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า จากวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษา วิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุด คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

คำสำคัญ: มะม่วงเขียวเสวย วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง วิธีการพยากรณ์รวม

Abstract

The objective of this study was to select the appropriate forecasting model for the mango prices. The data gathered from the website of the Office of Agricultural Economics during January 2005 to March 2018 of 159 values were used and divided into 2 sets. The first set had 147 values from January 2005 to March 2017 for constructing the forecasting models by Box-Jenkins method, simple seasonal exponential smoothing method, Winters' additive exponential smoothing method, Winters' multiplicative exponential smoothing method, and combined forecasting method that included two forecasting methods with a low mean absolute percentage error (MAPE). The second set had 12 values from April 2017 to March 2018 for comparing the accuracy of the forecasts via the criterion of the lowest MAPE. Research findings

indicated that for all forecasting methods that had been studied, the most accurate method was Box-Jenkins method.

Keywords: Mango, Box-Jenkins Method, Exponential Smoothing Method, Combined Forecasting Method

บทนำ

มะม่วงจัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยมีมากมายหลายพันธุ์ แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ เช่น มะม่วงสำหรับรับประทานผลดิบ ได้แก่ เขียวเสวย ฟ้านั้น พิมเสนมัน แรด มันหนองแขง และเขียวมรกต เป็นต้น มะม่วงสำหรับรับประทานผลสุก ได้แก่ น้ำดอกไม้ อกห้อง ทองดำ และมหาชนก เป็นต้น หรือมะม่วงที่ปลูกเพื่อการอุตสาหกรรมแปรรูป ได้แก่ มะม่วงแก้ว มะม่วงสามปี และมะม่วงโชคอนันต์ เป็นต้น มะม่วง เป็นผลไม้ที่มีการปลูกกันอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศเขตร้อนและกึ่งร้อน จึงจัดได้ว่ามีความสำคัญมากในตลาดโลก แหล่งที่ปลูกมะม่วงมากที่สุดอยู่ในทวีปเอเชีย และประเทศที่ส่งออกมะม่วงมากที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศไทย และฟิลิปปินส์ [1] ซึ่งมะม่วงเขียวเสวยจัดว่าเป็นมะม่วงยอดนิยมทั้งในและต่างประเทศ และจากการพิจารณาราคามะม่วงเขียวเสวย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 [2] พบว่า ราคามีความผันผวนสูง เกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงเขียวเสวยอาจมีคำถามว่าทิศทางของราคาจะยังคงผันผวนเช่นนี้ตลอดไปหรือไม่ การพยากรณ์ทางสถิตินับเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยตอบคำถามนี้ได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเริ่มสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ราคามะม่วงเขียวเสวยโดยใช้วิธีการทางสถิติ แต่พบว่า ยังไม่เคยมีนักวิจัยท่านใดได้ทำการพยากรณ์ราคามะม่วงเขียวเสวยไว้เลย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ทางสถิติ โดยเริ่มต้นที่การพิจารณาลักษณะของข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวยมีส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล ดังนั้นข้อมูลชุดนี้จึงควรพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ อย่างไรก็ตาม แนวโน้มของราคามะม่วงเขียวเสวยมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ผู้วิจัยจึงได้รวมวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายไว้ในการศึกษาครั้งนี้ด้วย อีกทั้งเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง ผู้วิจัยจึงทดลองสร้างตัวแบบโดยวิธีการพยากรณ์รวมซึ่งจะรวม 2 วิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MAPE ต่ำ หลังจากที่ได้ตัวแบบพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์ทางสถิติทั้ง 5 วิธีแล้ว ผู้วิจัยจะคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่ถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด 1 ตัวแบบ ด้วยเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการวางแผนการปลูก ซึ่งจะส่งผลดีต่อการตัดสินใจ การบริหารจัดการจัดการด้านความเสี่ยงต่าง ๆ และยังช่วยในการประเมินการคาดการณ์ราคามะม่วงเขียวเสวยในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ การคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวย ซึ่งสร้างด้วยวิธีการพยากรณ์ทางสถิติทั้งหมด 5 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 เพื่อนำตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมมาใช้พยากรณ์ราคามะม่วงเขียวเสวยในอนาคต ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนการปลูกได้อย่างเหมาะสม

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยใช้อนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวยที่เกษตรกรขายได้ ณ ไร่นา (บาท/กิโลกรัม) จากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [2] ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 159 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 147 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวมซึ่งจะรวม 2 วิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MAPE ต่ำ ชุดที่ 2 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 12 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์ MAPE ที่ต่ำที่สุด รายละเอียดของวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ แสดงดังหัวข้อที่ 1-6 สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ แสดงรายละเอียดดังนี้

Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

\hat{Y}_t แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

\hat{Y}_{t+m} แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + m$ โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

a_t , b_t และ \hat{S}_t แทนค่าประมาณ ณ เวลา t แสดงระยะตัดแกน Y , ความชันของแนวโน้ม และความผันแปรตามฤดูกาล ตามลำดับ

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t เมื่อ n_t แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

1. การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method)

การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีทั้งส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล มีตัวแบบในรูปทั่วไป คือ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงดังสมการที่ (1) [3-4] แต่ในกรณีที่อนุกรมเวลามีเพียงส่วนประกอบของแนวโน้มเท่านั้น ตัวแบบจะสามารถถูกลดรูปเหลือเพียง ARIMA(p, d, q)

$$\phi_p(B)\Phi_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (1)$$

เมื่อ ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_p(B^s)$ แทนค่าคงตัว (Constant) โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary)

$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ p กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p : AR(p))

$\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P : SAR(P))

$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q : MA(q))

$\Theta_q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_q B^{qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Moving Average Operator of Order Q : SMA(Q))

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

2. การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย (Simple Seasonal Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่ไม่มีส่วนประกอบของแนวโน้ม หรือถ้ามีแนวโน้มก็ต้องเป็นแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงโดยไม่มีนัยสำคัญเท่านั้น และข้อมูลต้องมีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งเป็นความผันแปรตามฤดูกาลที่มีค่าเท่ากันทุกช่วงเวลา ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้ [5]

$$\hat{Y}_t = a_t + \hat{S}_t \quad (2)$$

$$\text{เมื่อ } a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)a_{t-1}, \quad \hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$$

3. การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก (Winters' Additive Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงและมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยที่อัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มมีค่าคงที่ กล่าวคืออัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มมีค่าไม่เพิ่มขึ้นและไม่ลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้ [5]

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) + \hat{S}_t \quad (3)$$

$$\text{เมื่อ } a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}), \quad b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}, \quad \hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$$

4. การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ (Winters' Multiplicative Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงและมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยที่อัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้ [5]

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m)\hat{S}_t \quad (4)$$

$$\text{เมื่อ } a_t = \alpha \frac{Y_t}{\hat{S}_{t-s}} + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}), \quad b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}, \quad \hat{S}_t = \delta \frac{Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$$

5. การพยากรณ์โดยวิธีการพยากรณ์รวม (Combined Forecasting Method)

การพยากรณ์รวมเป็นวิธีการประยุกต์ที่มีการรวมค่าพยากรณ์จากตัวแบบพยากรณ์เดี่ยวตั้งแต่ 2 ตัวแบบขึ้นไป เพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ใหม่ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด สามารถใช้ได้ดีในกรณีที่ตัวแบบพยากรณ์เดี่ยวมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลามากกว่า 1 ตัวแบบ [6] ณ ที่นี้ได้พิจารณาตัวแบบพยากรณ์เดี่ยว 2 ตัวแบบ ที่ได้มาจากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายและวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก เนื่องจากทั้ง 2 ตัวแบบพยากรณ์นี้ให้ค่า MAPE ของข้อมูลชุดที่ 1 ต่ำกว่าตัวแบบที่ได้จากวิธีการพยากรณ์อื่น ๆ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า MAPE ของข้อมูลชุดที่ 1

วิธีการพยากรณ์	บ็อกซ์-เจนกินส์	ฤดูกาลอย่างง่าย	วินเทอร์แบบบวก	วินเทอร์แบบคูณ
MAPE	16.7290	15.0227	14.9768	16.9247

ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยกำหนดให้ค่าพยากรณ์ของวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายและวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวกเป็นตัวแปรอิสระตัวที่ 1

และ 2 ตามลำดับ และใช้ข้อมูลราคามะม่วงเขียวเสวยชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 147 ค่า เป็นตัวแปรตาม ตัวแบบของวิธีการพยากรณ์รวมที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 3 รูปแบบ ดังนี้

ตัวแบบพยากรณ์รวมรูปแบบที่ 1 คือ

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 \hat{Y}_{1t} + b_2 \hat{Y}_{2t} \quad (5)$$

ตัวแบบพยากรณ์รวมรูปแบบที่ 2 คือ

$$\hat{Y}_t = b_1 \hat{Y}_{1t} + b_2 \hat{Y}_{2t} \quad (6)$$

ตัวแบบพยากรณ์รวมรูปแบบที่ 3 คือ

$$\hat{Y}_t = w_1 \hat{Y}_{1t} + w_2 \hat{Y}_{2t} \quad (7)$$

เมื่อ \hat{Y}_t แทนค่าพยากรณ์รวม ณ เวลา t

\hat{Y}_{1t} และ \hat{Y}_{2t} แทนค่าพยากรณ์เดี่ยว ณ เวลา t จากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายและวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก ตามลำดับ

b_0 , b_1 และ b_2 แทนค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) [7]

w_1 และ w_2 แทนค่าถ่วงน้ำหนัก โดยที่ $w_1 + w_2 = 1$ มีสูตรการคำนวณค่า w_1 และ w_2 ดังนี้ [8]

$$w_1 = \frac{b_1}{b_1 + b_2} \quad \text{และ} \quad w_2 = \frac{b_2}{b_1 + b_2} \quad (8)$$

6. การเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่ถูกต้องและเหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวย โดยการเปรียบเทียบราคามะม่วงเขียวเสวยของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 กับค่าพยากรณ์ เพื่อคำนวณค่า MAPE โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด เกณฑ์ MAPE แสดงดังนี้ [5]

$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad (9)$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_t และ \hat{Y}_t แทนอนุกรมเวลาและค่าพยากรณ์ ณ เวลา t ตามลำดับ

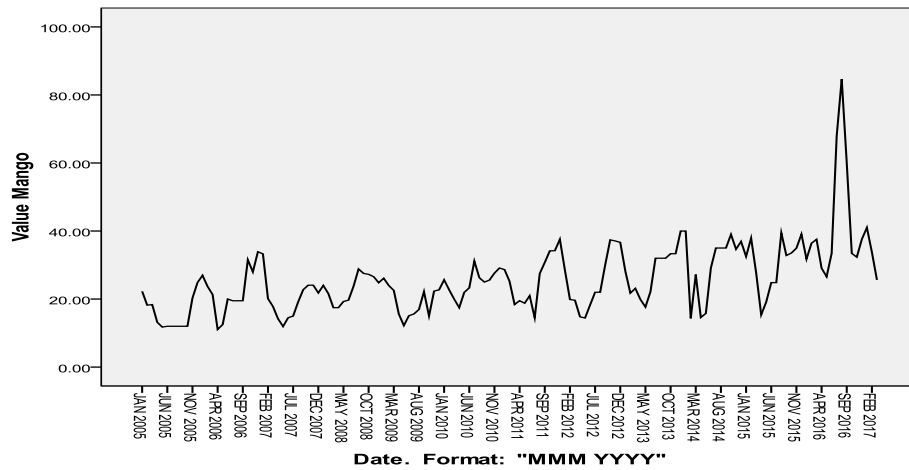
t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่ n_2 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 2

ผลการวิจัย

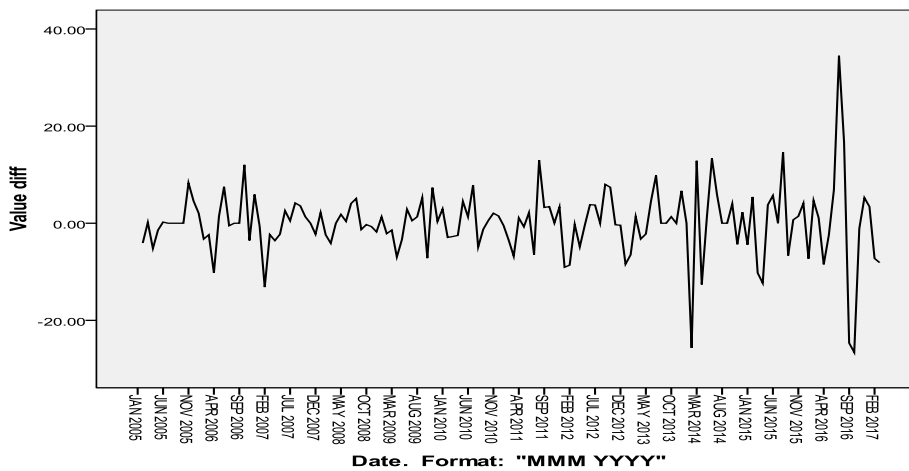
จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวยชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 147 ค่า ดังภาพที่ 1 พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล ดังนั้นจึงควรกำจัดแนวโน้มออกโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) และกำจัดความผันแปรตามฤดูกาลโดยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 ($D = 1$) อีกทั้งเมื่อพิจารณาผลต่างลำดับที่ 1 ของราคามะม่วงเขียวเสวยดังภาพที่ 2 พบว่า ผลต่างลำดับที่ 1 มีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นอนุกรมเวลาชุดนี้จึงควรแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติ (ln)

1. ผลการพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

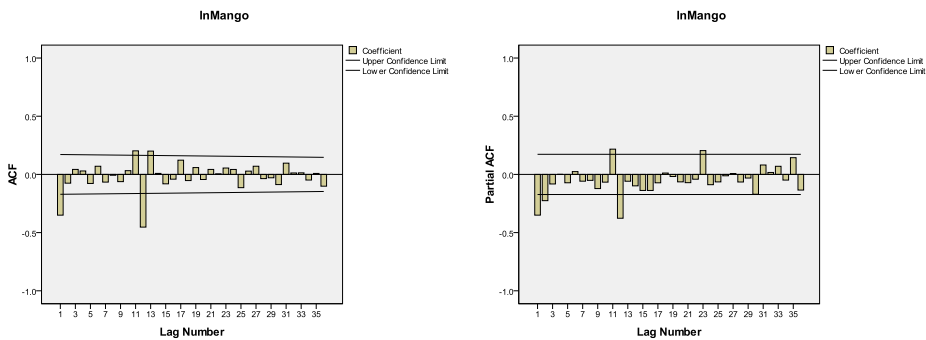
เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 การหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 และลอการิทึมธรรมชาติ ได้กราฟ ACF และ PACF แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560



ภาพที่ 2 ลักษณะการเคลื่อนไหวของผลต่างลำดับที่ 1 ของอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวย



ภาพที่ 3 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวย เมื่อแปลงข้อมูลด้วยผลต่างลำดับที่ 1 ผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 และลอการิทึมธรรมชาติ

จากภาพที่ 3 พบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้นคือ ตัวแบบ SARIMA(2, 1, 1)(2, 1, 1)₁₂ พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า BIC ต่ำที่สุด (BIC = -2.811) และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 17.171, p-value = 0.375) คือ SARIMA(1, 1, 0)(0, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.748, p-value = 0.630) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = -0.347, p-value = 0.729) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t = -0.212, p-value = 0.833) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 0.815, p-value = 0.625) ดังนั้นตัวแบบ SARIMA(1, 1, 0)(0, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว มีความเหมาะสม ซึ่งจากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นตัวแบบได้ดังนี้

$$\begin{aligned}(1-\phi_1B)(1-B)(1-B^{12})Z_t &= (1-\Theta_1B^{12})\varepsilon_t; Z_t = \ln(Y_t) \\ (1-B-\phi_1B+\phi_1B^2)(1-B^{12})Z_t &= \varepsilon_t - \Theta_1\varepsilon_{t-12} \\ (1-B^{12}-B+B^{13}-\phi_1B+\phi_1B^{13}+\phi_1B^2-\phi_1B^{14})Z_t &= \varepsilon_t - \Theta_1\varepsilon_{t-12} \\ Z_t &= (1+\phi_1)Z_{t-1} - \phi_1Z_{t-2} + Z_{t-12} - (1+\phi_1)Z_{t-13} + \phi_1Z_{t-14} + \varepsilon_t - \Theta_1\varepsilon_{t-12} \\ Z_t &= (1+\phi_1)(Z_{t-1} - Z_{t-13}) - \phi_1(Z_{t-2} - Z_{t-14}) + Z_{t-12} + \varepsilon_t - \Theta_1\varepsilon_{t-12}\end{aligned}$$

จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Z}_t = 0.771322(Z_{t-1} - Z_{t-13}) + 0.228678(Z_{t-2} - Z_{t-14}) + Z_{t-12} - 0.878456\varepsilon_{t-12}$$

หรือ

$$\hat{Y}_t = \text{Exp}\{0.771322(Z_{t-1} - Z_{t-13}) + 0.228678(Z_{t-2} - Z_{t-14}) + Z_{t-12} - 0.878456\varepsilon_{t-12}\} \quad (10)$$

เมื่อ \hat{Y}_t แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

Z_{t-j} แทนลอการิทึมธรรมชาติของอนุกรมเวลา ณ เวลา t - j

ε_{t-j} แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t - j; $\varepsilon_{t-j} = Z_{t-j} - \hat{Z}_{t-j}$

2. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย พบว่า BIC = -3.145 มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 17.198, p-value = 0.373) และเมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.675, p-value = 0.753) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = -0.082, p-value = 0.934) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t = 0.276, p-value = 0.783) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.055, p-value = 0.403) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Z}_t = 3.374827 + \hat{S}_t; Z_t = \ln(Y_t)$$

หรือ

$$\hat{Y}_t = \text{Exp}\{3.374827 + \hat{S}_t\} \quad (11)$$

เมื่อ \hat{Y}_t แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

\hat{S}_t แทนค่าดัชนีฤดูกาล รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ราคามะม่วงเขียวเสวยของเดือนมกราคม และเดือนสิงหาคมถึงเดือนธันวาคมของทุกปีมีค่ามากกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลมากกว่า 0

ตารางที่ 2 ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวย จากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย

เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล
มกราคม	0.206279	พฤษภาคม	-0.385829	กันยายน	0.127538
กุมภาพันธ์	-0.011112	มิถุนายน	-0.165143	ตุลาคม	0.133233
มีนาคม	-0.073064	กรกฎาคม	-0.031820	พฤศจิกายน	0.194859
เมษายน	-0.381361	สิงหาคม	0.107544	ธันวาคม	0.268703

3. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก พบว่า BIC = -3.105 มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 17.760, p-value = 0.275) และเมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.793, p-value = 0.556) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = -0.082, p-value = 0.934) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t = -0.151, p-value = 0.880) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.055, p-value = 0.403) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Z}_{t+m} = (3.379798 + 0.005027m) + \hat{S}_t ; Z_t = \ln(Y_t)$$

หรือ

$$\hat{Y}_{t+m} = \text{Exp}\{(3.379798 + 0.005027m) + \hat{S}_t\} \quad (12)$$

เมื่อ \hat{Y}_{t+m} แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t + m โดยที่ m = 1 แทนเดือนเมษายน 2560

\hat{S}_t แทนค่าดัชนีฤดูกาล รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ราคามะม่วงเขียวเสวยของเดือนมกราคม และเดือนสิงหาคมถึงเดือนธันวาคมของทุกปีมีค่ามากกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลมากกว่า 0

4. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ พบว่า ค่าสถิติ Ljung-Box Q มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 26.073, p-value = 0.037) นั้นหมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีนี้ไม่มีความเหมาะสม จึงไม่นำเสนอตัวแบบไว้ ณ ที่นี้ รวมถึงจะไม่มีการนำตัวแบบไปพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบกับค่า MAPE

ตารางที่ 3 ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวย จากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล
มกราคม	0.212175	พฤษภาคม	-0.369781	กันยายน	0.123314
กุมภาพันธ์	-0.010246	มิถุนายน	-0.154155	ตุลาคม	0.123940
มีนาคม	-0.077198	กรกฎาคม	-0.025900	พฤศจิกายน	0.180502
เมษายน	-0.360278	สิงหาคม	0.108392	ธันวาคม	0.249298

5. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการพยากรณ์รวม

จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ตามสมการที่ (5) แล้วตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.362$, $p\text{-value} = 0.049$) นั้นหมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีนี้ไม่มีความเหมาะสม จึงไม่นำเสนอตัวแบบไว้ ณ ที่นี้ รวมถึงจะไม่มีการนำตัวแบบไปพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบค่า MAPE

จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ตามสมการที่ (6) แล้วตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.424$, $p\text{-value} = 0.035$) นั้นหมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีนี้ไม่มีความเหมาะสม จึงไม่นำเสนอตัวแบบไว้ ณ ที่นี้ รวมถึงจะไม่มีการนำตัวแบบไปพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบค่า MAPE

จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ตามสมการที่ (7) และ (8) แล้วตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.475$, $p\text{-value} = 0.026$) นั้นหมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีนี้ไม่มีความเหมาะสม จึงไม่นำเสนอตัวแบบไว้ ณ ที่นี้ รวมถึงจะไม่มีการนำตัวแบบไปพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบค่า MAPE

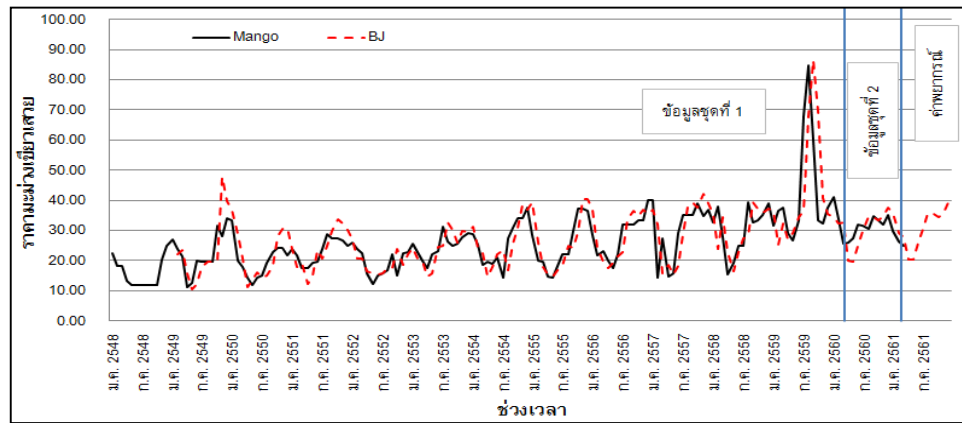
6. ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์

จากการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ราคามะม่วงเขียวเสวยของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 โดยการคำนวณค่า MAPE ในสมการที่ (9) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า MAPE ของข้อมูลชุดที่ 2

วิธีการพยากรณ์	บ็อกซ์-เจนกินส์ Eq(10)	ฤดูกาลอย่างง่าย Eq(11)	วินเทอร์แบบบวก Eq(12)
MAPE	12.6207	12.6886	14.4657

จากตารางที่ 4 พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ดังแสดงในสมการที่ (10) เป็นวิธีที่มีความถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด หรือให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด โดยวิธีการพยากรณ์นี้มีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ร้อยละ 12.6207 (MAPE = 12.6207) เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์นี้ในการพยากรณ์ราคามะม่วงเขียวเสวย ตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 พบว่า ราคามะม่วงเขียวเสวยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2560 เล็กน้อย และยังคงมีความผันแปรตามฤดูกาล ดังภาพที่ 4 และตารางที่ 5



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวยกับค่าพยากรณ์จากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

ตารางที่ 5 ค่าพยากรณ์ราคามะม่วงเขียวเสวยจากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (บาท/กิโลกรัม)

ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์	ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์	ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์
เมษายน 2561	20.29	กรกฎาคม 2561	30.57	ตุลาคม 2561	34.47
พฤษภาคม 2561	20.29	สิงหาคม 2561	35.87	พฤศจิกายน 2561	35.87
มิถุนายน 2561	25.79	กันยายน 2561	35.52	ธันวาคม 2561	39.25

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวย ผลการศึกษาพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่มีความถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\hat{Y}_t = \text{Exp}\{0.771322(Z_{t-1} - Z_{t-13}) + 0.228678(Z_{t-2} - Z_{t-14}) + Z_{t-12} - 0.878456e_{t-12}\}$$

เป็นที่น่าสังเกตว่าวิธีการพยากรณ์รวมทั้ง 3 รูปแบบ ซึ่งรวมค่าพยากรณ์ของวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายและวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก ไม่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคามะม่วงเขียวเสวยชุดนี้ เนื่องจากอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ไม่ผ่านข้อสมมติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่นำเสนอตัวแบบไว้ แต่ผู้วิจัยได้ทดลองนำตัวแบบที่ได้จากวิธีการพยากรณ์รวมไปพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 และคำนวณค่า MAPE พบว่า ตัวแบบพยากรณ์รวมรูปแบบที่ 1 มีค่า MAPE ต่ำกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (MAPE = 10.5299) นั่นหมายความว่า วิธีการพยากรณ์รวมสามารถสร้างตัวแบบที่มีความคลาดเคลื่อนลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของมุกดา มั่นมินทร์ [6] และวรางคณา เรียนสุทธิ และเกศรินทร์ ทองฤทธิ์ [8] อย่างไรก็ตาม ตัวแบบพยากรณ์รวมรูปแบบที่ 1 ไม่สมควรนำไปใช้ในการพยากรณ์ราคามะม่วงเขียวเสวยในอนาคตเนื่องจากข้อสมมติไม่เป็นจริง ซึ่งผลการทบของตัวแบบพยากรณ์ที่มีข้อสมมติไม่เป็นจริงจะทำให้ค่าพยากรณ์ในอนาคตขาดความน่าเชื่อถือ

ราคามะม่วงเขียวเสวยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ อาจเพราะสถานการณ์การผลิต สถานการณ์ตลาด ปริมาณความต้องการบริโภคภายในและต่างประเทศ สภาวะเศรษฐกิจ นโยบายการค้า-การส่งออกระหว่างประเทศ หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงควรพิจารณาตัวแปรเหล่านี้เพื่อใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ให้มีความถูกต้องเหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดยการสร้างเป็นตัวแบบถดถอย (Regression Model) ซึ่งผู้อ่านสามารถศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบลักษณะนี้ได้จาก Montgomery DC., et al. [7] อีกทั้งเมื่อมีราคามะม่วงเขียวเสวยที่เป็น

ปัจจุบันมากขึ้น ผู้วิจัยควรนำมาปรับปรุงตัวแบบ เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ค่าในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิฉา แก้วหาวงษ์. (2556). การเปรียบเทียบตัวแบบ Pegels, ARIMA และตัวแบบผสม Pegels-ARIMA ในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกมะม่วงของประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 21(6: ฉบับพิเศษ), 578-593.
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2561). ตารางที่ 3 ราคาสินค้าเกษตรที่เกษตรกรขายได้ ณ ไร่นา. สืบค้นจาก <http://www.oae.go.th/view/1/ดัชนีราคาและผลผลิต/TH-TH>
- [3] Box, G.E.P., Jenkins, G.M., and Reinsel, G.C. (1994). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall.
- [4] Bowerman, B.L., and O'Connell, R.T. (1993). *Forecasting and Time Series: An Applied Approach*. 3rd ed. California: Duxbury Press.
- [5] สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. (2548). *เทคนิคการพยากรณ์*. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [6] มุกดา แม้นมินทร์. (2549). *อนุกรมเวลาและการพยากรณ์*. กรุงเทพฯ: โฟร์พรีนติ้ง.
- [7] Montgomery DC, Peck EA, and Vining GG. (2006). *Introduction to Linear Regression Analysis*. 4th ed. New York: John Wiley Sons.
- [8] วรางคณา เรียนสุทธิ, และเกศรินทร์ ทองฤทธิ์. (2560). การพยากรณ์ราคาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*. 11(1), 1-14.