

ตัวแบบพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟ Forecasting Model for Coffee Bean Prices

วารางคณา เรียนสุทธิ์¹
Warangkhan Riansut¹

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung Campus, Thailand

Corresponding author. E-mail: warang27@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ การสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาของราคาเมล็ดกาแฟ โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 164 ค่า ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 156 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 8 ค่า นำมาใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า จากวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษา วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก

คำสำคัญ: เมล็ดกาแฟ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ความถูกต้องของค่าพยากรณ์

ABSTRACT

The objective of this study was to construct the appropriate forecasting model for the coffee bean prices. The data gathered from the website of Office of agricultural economics during January, 2005 to August, 2018 of 164 values were used and divided into 2 sets. The first set had 156 values from January, 2005 to December, 2017 for constructing the forecasting models by Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, and damped trend exponential smoothing method. The second set had 8 values from January to August, 2018 for comparing the accuracy of the forecasts via the criteria of the lowest mean absolute percentage error and root mean squared error. Research findings indicated that for all

Received 25-10-2018
Revised 03-12-2018
Accepted 06-12-2018

forecasting methods that had been studied, the most accurated method was damped trend exponential smoothing method.

Keywords: Coffee bean, Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, Damped trend exponential smoothing method, Accuracy of forecast value

1. บทนำ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ทำจากเมล็ดกาแฟคั่ว ซึ่งต้นกาแฟเป็นพืชยืนต้นชนิดหนึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea sp.* กาแฟเป็นต้นไม้ขนาดเล็กมีลักษณะเป็นพุ่มเตี้ย มีหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์อาราบิก้า พันธุ์โรบัสต้า พันธุ์เอ็กเซลซ่า และพันธุ์ลิเบอริก้า ด้วยคุณสมบัติของกาแฟที่ประกอบด้วยสารคาเฟอีน มีสรรพคุณช่วยชูกำลัง สามารถเพิ่มความกระชุ่มกระชวย กระปรี้กระเปร่าให้แก่ร่างกาย ทำให้กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมในการบริโภคเป็นกิจวัตรประจำวัน ทั้งตอนเช้า ตอนบ่าย และการประชุมต่างๆ [1] นอกจากนี้ กาแฟยังเป็นผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยที่มีการส่งออกมากเป็นอันดับที่ 6 ของโลก เชื่อกันว่ากาแฟถูกค้นพบครั้งแรกตั้งแต่สมัยศตวรรษที่ 9 โดยเด็กเลี้ยงแพะชาวเอธิโอเปีย ชื่อคาลดี จากการสังเกตพบว่า แพะดูกระปรี้กระเปร่าขึ้นเมื่อกินเมล็ดกาแฟ หลังจากนั้นได้มีการแพร่หลายเข้าสู่ทวีปยุโรปและอเมริกา จนกลายเป็นที่นิยมกันไปทั่วโลก [2] จากการศึกษาราคาเมล็ดกาแฟเฉลี่ยต่อเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรย้อนหลังตั้งแต่ปี 2548 ถึงปัจจุบัน พบว่า ราคาเมล็ดกาแฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น [3] เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟอาจมีคำถามว่าแนวโน้มของราคาจะยังคงเพิ่มขึ้นเช่นนี้ตลอดไปหรือไม่ การพยากรณ์ทางสถิตินับเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยตอบคำถามนี้ได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเริ่มสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟโดย

ใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งพบว่า ยังไม่เคยมีนักวิจัยท่านใดได้ทำการพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟไว้เลย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม เนื่องจากได้พิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูลแล้วพบว่า วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากกว่าวิธีการพยากรณ์อื่น ๆ หลังจากที่ได้ตัวแบบพยากรณ์แล้ว ผู้วิจัยจะคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด 1 ตัวแบบ ด้วยเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error, MAPE) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean squared error, RMSE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการวางแผนการปลูก ซึ่งจะส่งผลต่อการตัดสินใจ การบริหารการจัดการด้านความเสี่ยงต่างๆ และยังช่วยในการประเมินการคาดการณ์ราคาเมล็ดกาแฟล่วงหน้าได้อีกด้วย

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยโปรแกรม SPSS โดยใช้อุณหภูมิเวลา ราคาเมล็ดกาแฟละ (บาท/กิโลกรัม) ซึ่งเป็นราคาสินค้าเกษตรกลุ่มไม่ยืนต้นที่เกษตรกรขายได้ ณ ไร่นา อนุกรมเวลาที่นำมาศึกษาได้มาจากเว็บไซต์ของ

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [3] ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 164 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 156 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 3 วิธี ได้แก่ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ข้อมูลชุดที่ 2 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 8 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์โดยใช้เกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด

2.1 การพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins method)

การพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีทั้งส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล มีตัวแบบในรูปทั่วไป คือ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงดังสมการที่ (1) [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 Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อน

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_p(B^s)$ 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))

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 เมื่อ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

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

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ แสดงรายละเอียดดังนี้

1. พิจารณาอนุกรมเวลาว่าคงที่หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา (Y_t, t) กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Auto correlation function, ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์

ในตัวอย่างส่วน (Partial autocorrelation function, PACF) หากพบว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ (Non-stationary) ต้องแปลงอนุกรมเวลาให้คงที่ก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป เช่น การแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างหรือผลต่างฤดูกาล (Difference or seasonal difference) การแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมสามัญหรือลอการิทึมธรรมชาติ (Common logarithm or natural logarithm) การแปลงข้อมูลด้วยเลขยกกำลัง เช่น ยกกำลัง 0.5 (Square root transformation) หรือยกกำลัง 2 (Square transformation) เป็นต้น [5]

2. กำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่คงที่ นั่นคือ กำหนดค่า p , q , P และ Q พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบพยากรณ์

3. ตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากตัวแบบพยากรณ์ครั้งละ 1 ตัว จากนั้นจึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์และประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่จนกว่าจะได้ตัวแบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด

4. คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าเกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (Bayesian information criterion, BIC) ที่ต่ำที่สุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ $\{e_t\}$ มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน

5. พยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดจากขั้นตอนที่ 4

2.2 การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ (Holt's exponential smoothing method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล มีค่าคงตัวการปรับเรียบ 2 ตัว คือ ค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าระดับ (Level: α) และค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าความชัน (Trend: γ) ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้ [6]

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m) \quad (2)$$

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

a_t และ b_t แทนค่าประมาณ ณ เวลา t แสดงระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้มตามลำดับ โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$,
 $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1}$

α และ γ แทนค่าคงตัวการปรับเรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$ และ $0 < \gamma < 1$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าเกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียนที่ต่ำที่สุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน

2.3 การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม (Damped trend exponential smoothing method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลเช่นเดียวกับการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มนั้นไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะช้ากว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงของการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ รวมถึงความชันจะมีค่าลดลงตามเวลา ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้ [7]

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i \quad (3)$$

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

a_t และ b_t แทนค่าประมาณ ณ เวลา t แสดงระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ตามลำดับ โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1})$,

$$b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1 - \gamma)\phi b_{t-1}$$

α , γ และ ϕ แทนค่าคงตัวการปรับเรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$, $0 < \gamma < 1$ และ $0 < \phi < 1$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าเกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียนที่ต่ำที่สุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการเคลื่อนไหว

เป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน

2.4 การเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคาเมล็ดกาแฟ โดยการเปรียบเทียบค่า MAPE และ RMSE จากวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม วิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด จัดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด เกณฑ์ MAPE และ RMSE แสดงดังนี้ [6]

$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad \text{และ} \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2} \quad (4)$$

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

Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

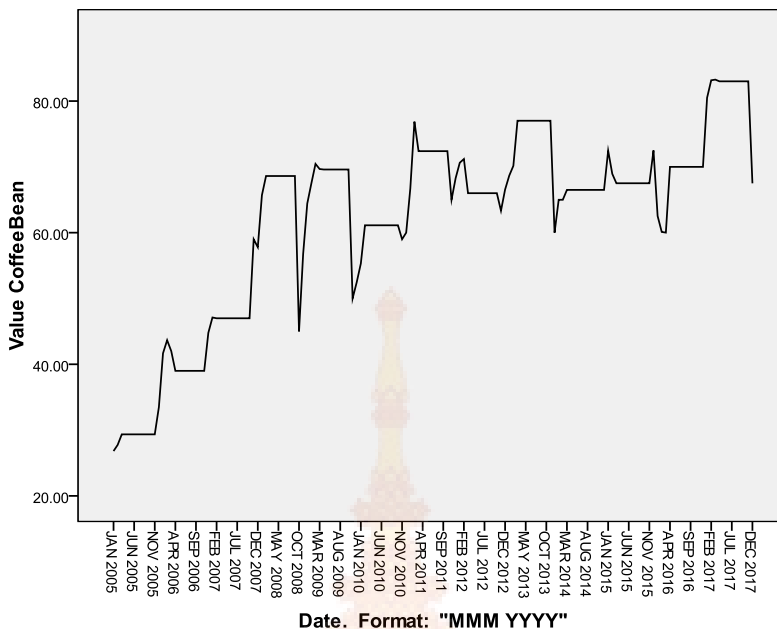
$\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่

n_2 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 2

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ซึ่งคือ ราคาเมล็ดกาแฟ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 156 ค่า ดังภาพที่ 1 พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และคาดว่าไม่น่าจะมีความผันแปรตามฤดูกาล



ภาพที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคาเมล็ดกาแฟ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2560

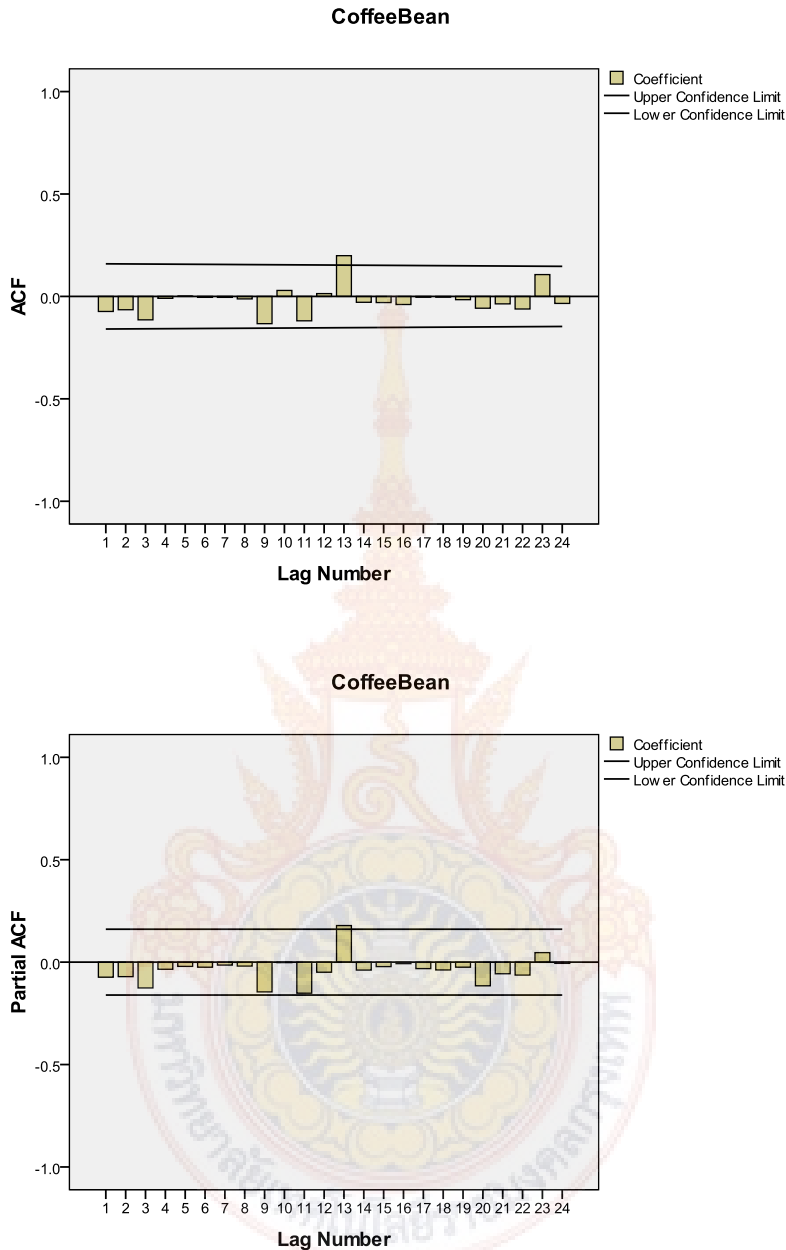
นอกเหนือจากการพิจารณารูปของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลาแล้ว ผู้วิจัยยังได้ตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มและไม่มี ความผันแปรตามฤดูกาลจริงหรือไม่ ดังนี้

ราคามะลัดกาแฟในแต่ละปีไม่มีการแจกแจงปกติ แต่มีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงตรวจสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละปี โดยใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric statistics) พบว่าราคาในแต่ละปี มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Kruskal-Wallis: = 126.330, p-value < 0.0001) หมายความว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มราคามะลัดกาแฟในแต่ละเดือน เมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการหาร (อนุกรมเวลาชุดที่ 1 มีความเหมาะสมกับตัว

แบบคูณ จึงปรับแนวโน้มออกด้วยการหาร) มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงตรวจสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน โดยใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric statistics) พบว่าราคาในแต่ละเดือน เมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการหารมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน (ANOVA: F = 0.335, p-value = 0.977) หมายความว่า อนุกรมเวลาชุดนี้ไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล

3.1 ผลการพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

เนื่องจากอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม และไม่มี ความผันแปรตามฤดูกาล ผู้วิจัยจึงกำจัดแนวโน้มออกโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1 (d = 1) พร้อมกับสร้างกราฟ ACF และ PACF ได้ผลแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลา ราคา เมล็ดกาแฟ เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1

จากภาพที่ 2 พบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้นคือ ตัวแบบ AR(13) I(1) MA(13) พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์

ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า BIC ต่ำที่สุด (BIC = 2.908) และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 9.102, p-value = 0.937) คือ ตัวแบบ AR(13) I(1) ไม่มีพจน์

ค่าคงตัว เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (แสดงรายละเอียดในภาพที่ 3 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเอง และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95) ดังนั้นตัวแบบ AR(13) I(1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว มีความเหมาะสม ซึ่งจากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นตัวแบบได้ดังนี้

$$\begin{aligned}(1 - \phi_{13}B^{13})(1 - B)Y_t &= \varepsilon_t \\ (1 - B - \phi_{13}B^{13} + \phi_{13}B^{14})Y_t &= \varepsilon_t \\ Y_t &= Y_{t-1} + \phi_{13}(Y_{t-13} - Y_{t-14}) + \varepsilon_t\end{aligned}$$

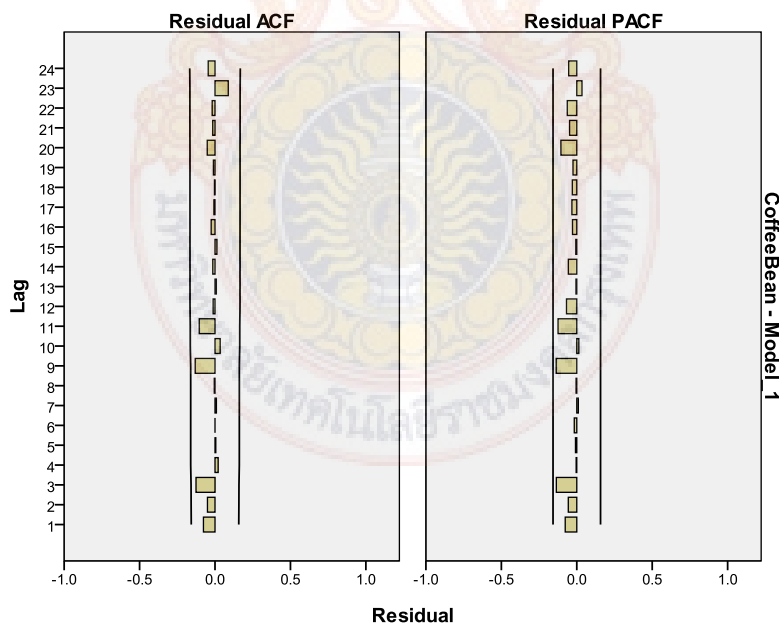
จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์ BJ แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_t = Y_{t-1} + 0.216658(Y_{t-13} - Y_{t-14}) \quad (5)$$

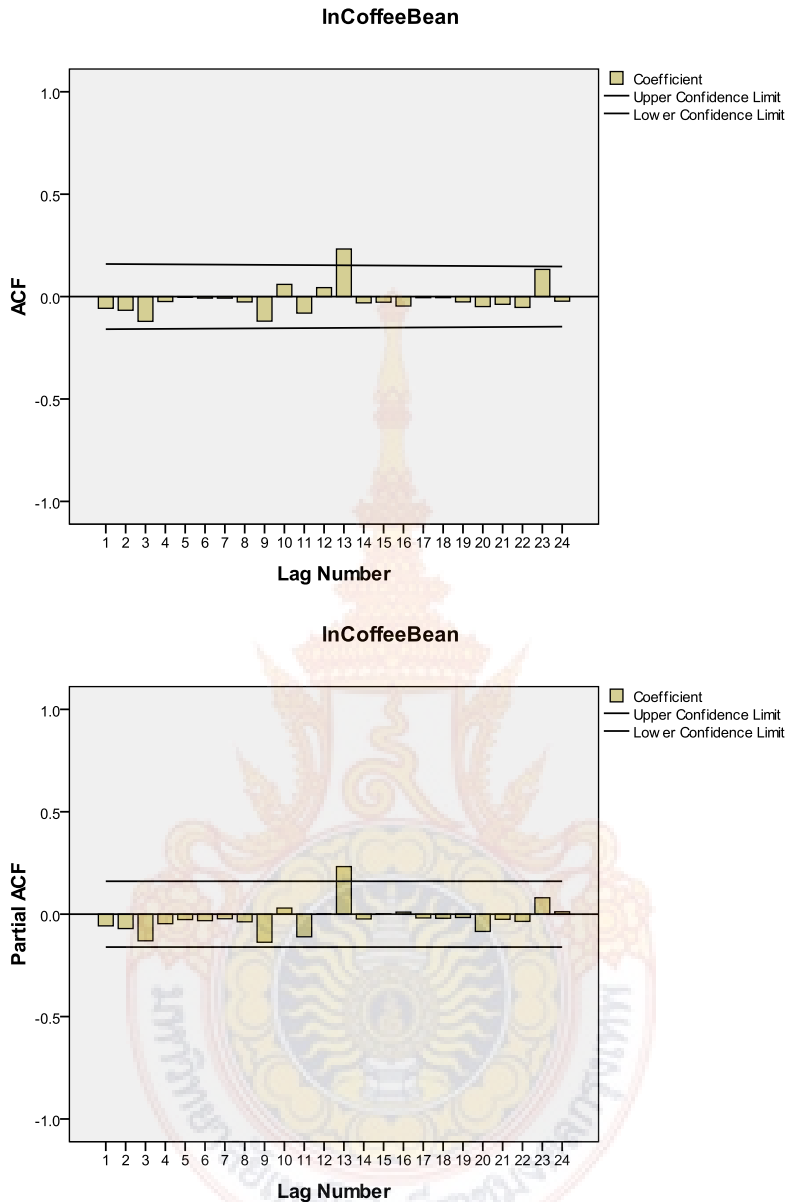
เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t - j$

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าราคาเมล็ดกาแฟจะไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล แต่ถ้าพิจารณาที่ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคาเมล็ดกาแฟ ดังภาพที่ 1 จะพบว่า ราคาจะมีความผันผวนมากในบางปี ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงทดลองแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithm, ln) และหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) พร้อมกับสร้างกราฟ ACF และ PACF ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ที่มีตัวแบบ AR(13) I(1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว



ภาพที่ 4 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาราคาเมล็ดกาแฟ เมื่อแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติ และการหาผลต่างลำดับที่ 1

จากภาพที่ 4 พบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ AR(13) I(1) MA(13) พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์

ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า BIC ต่ำที่สุด (BIC = -5.272) และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 8.416, p-value = 0.957) คือ ตัวแบบ AR(13)I(1) ไม่มีพจน์

ค่าคงตัว เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังภาพที่ 5 ซึ่งพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95) ดังนั้นตัวแบบ AR(13) I(1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว มีความเหมาะสม ซึ่งจากสมการที่ (1) และสมการที่ (5) สามารถเขียนเป็นแบบได้ดังนี้

$$Z_t = Z_{t-1} + \phi_{13}(Z_{t-13} - Z_{t-14}) + \varepsilon_t; Z_t = \ln(Y_t)$$

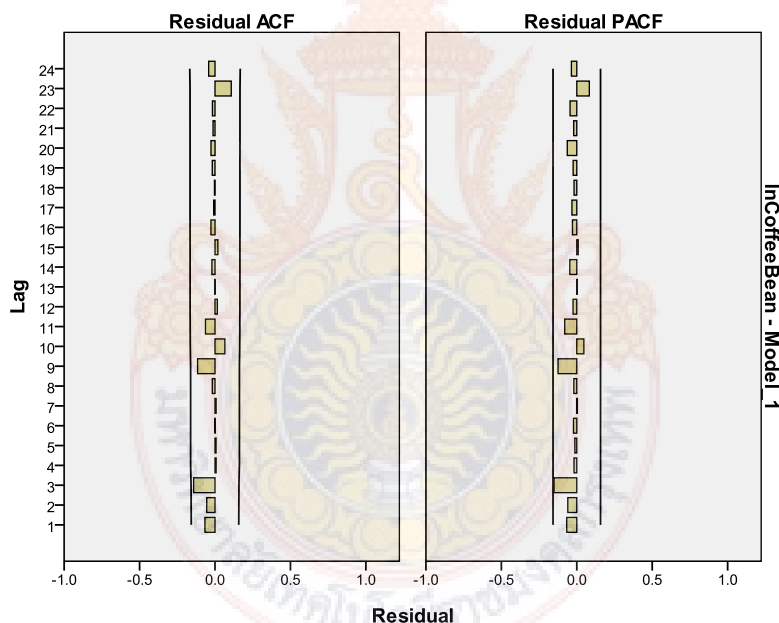
จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์ BJLN แสดงดังนี้

$$\hat{Z}_t = Z_{t-1} + 0.255742(Z_{t-13} - Z_{t-14}) \quad \text{หรือ}$$

$$\hat{Y}_t = \text{Exp}\{Z_{t-1} + 0.255742(Z_{t-13} - Z_{t-14})\} \quad (6)$$

เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

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



ภาพที่ 5 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน จากการพยากรณ์ โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ AR(13)I(1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เมื่อแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติ

3.2 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ พบว่า BIC มีค่า

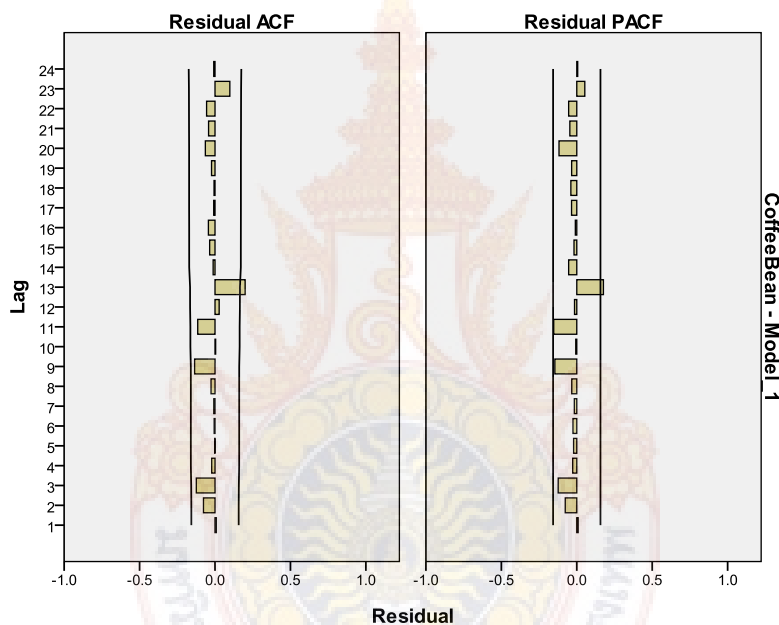
เท่ากับ 2.976 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 16.539, p-value = 0.416) เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังภาพที่ 6 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นช่วงเวลาที่ 13 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนเกินจากขอบเขตเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลเสียแต่อย่างใดเนื่องจากเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อน

ช่วงเวลาที่ t กับความคลาดเคลื่อนช่วงเวลาที่ $t - 13$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 69.071297 + 0.251499m \quad (7)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนเดือนมกราคม 2561



ภาพที่ 6 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

3.3 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกพบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 3.015 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q

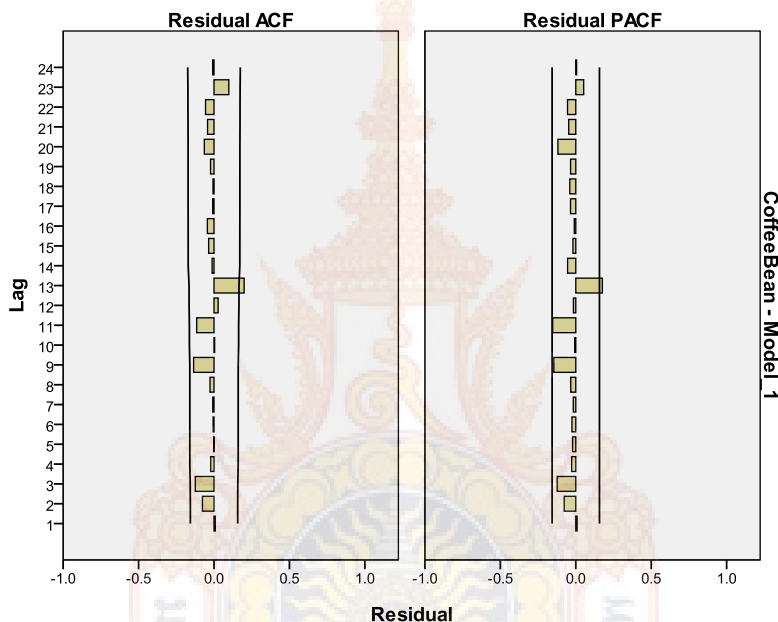
ที่ lag 18 = 16.558, p-value = 0.346) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังภาพที่ 7 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่

ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นช่วงเวลา
13 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวและสัมประสิทธิ์
สหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนเกินจากขอบเขตเพียง
เล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลเสียแต่อย่างใด เนื่องจากเป็น
ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อน ช่วงเวลาที่
 t กับความคลาดเคลื่อนช่วงเวลาที่ $t - 13$) ดังนั้น
ตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม

ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 69.062928 + 0.218322 \sum_{i=1}^m (0.999540)^i \quad (8)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + m$ โดย
ที่ $m = 1$ แทนเดือนมกราคม 2561



ภาพที่ 7 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้ง
เลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก

3.4 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่า พยากรณ์

จากการใช้ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอกซ์-
เจนกินส์ ในสมการที่ (5) และสมการที่ (6) วิธีการ
ปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ ในสมการ
ที่ (7) และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มี
แนวโน้มแบบแฉก ในสมการที่ (8) ได้ค่าพยากรณ์
สำหรับอนุกรมเวลาชุดที่ 2 ซึ่งคือ ราคาเมล็ดกาแฟ

ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 แสดงดัง
ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่าง
ค่าจริงและค่าพยากรณ์ พบว่า วิธีการปรับเรียบด้วย
เส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกเป็นวิธีที่มี
ประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากมีค่า MAPE และ RMSE
ต่ำที่สุด หรือให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับ
ข้อมูลจริงน้อยที่สุด โดยวิธีการพยากรณ์นี้มีความ
ผิดพลาดจากการพยากรณ์ร้อยละ 2.7775

(MAPE = 2.7775) หรือมีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ 1.9535 บาท/กิโลกรัม (RMSE = 1.9535) ซึ่งทั้ง 2 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ให้ผลเป็นไปในทิศทาง

เดียวกัน จึงทำให้หน้าเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้นว่าวิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

ตารางที่ 1 ค่าจริงและค่าพยากรณ์ของราคาเมล็ดกาแฟ (บาท/กิโลกรัม) ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 ค่า MAPE และ RMSE ของวิธีการพยากรณ์ที่ศึกษา

ช่วงเวลา	ราคา เมล็ดกาแฟ	ราคาเมล็ดกาแฟ จากการพยากรณ์โดยวิธี			
		BJ	BJLN	โพลต์	แฉก
ม.ค. 2561	70.95	67.50	67.50	69.32	69.28
ก.พ. 2561	70.79	69.77	69.96	69.57	69.50
มี.ค. 2561	68.21	70.35	70.54	69.83	69.72
เม.ย. 2561	68.21	70.37	70.56	70.08	69.94
พ.ค. 2561	68.21	70.32	70.51	70.33	70.15
มิ.ย. 2561	68.21	70.32	70.51	70.58	70.37
ก.ค. 2561	68.21	70.32	70.51	70.83	70.59
ส.ค. 2561	68.21	70.32	70.51	71.08	70.81
MAPE		3.1204	3.2957	2.9688	<u>2.7775</u>
RMSE		2.2345	2.3624	2.1043	<u>1.9535</u>

เมื่อใช้วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกในการพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟ ตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม 2561 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ราคาเมล็ดกาแฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ค่าพยากรณ์ของราคาเมล็ดกาแฟ (บาท/กิโลกรัม) ตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม 2561

ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์	ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์
ก.ย. 2561	71.02	พ.ย. 2561	71.46
ต.ค. 2561	71.24	ธ.ค. 2561	71.67

การศึกษานี้ได้พิจารณาวิธีการพยากรณ์ที่หลากหลายวิธีนอกเหนือจากวิธีบอกซ์-เจนกินส์

วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโพลต์ และวิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ได้แก่ วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม (ระหว่างโพลต์และแฉก) ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์พบว่า วิธีการเหล่านี้ไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากบางวิธีมีค่าสถิติ Ljung-Box Q มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 อีกทั้งยังมีค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2 สูงกว่าวิธีพยากรณ์ที่ศึกษา รายละเอียดผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 3

การเปลี่ยนแปลงของราคาเมล็ดกาแฟอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น สถานการณ์การผลิต สถานการณ์ตลาด ปริมาณความต้องการบริโภค ภายในและต่างประเทศ สภาวะเศรษฐกิจ การนำเข้า และส่งออกระหว่างประเทศ หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงควรพิจารณาตัวแปรเหล่านี้เพื่อใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการสร้างเป็นแบบจำลองถดถอย (Regression model) ซึ่งผู้อ่านสามารถศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบลักษณะนี้ได้จาก Montgomery et. al. [8] อีกทั้งเมื่อมีราคาเมล็ดกาแฟที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น

ผู้วิจัยควรนำมาปรับปรุงตัวแบบ เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ค่าในอนาคตต่อไป

การศึกษาครั้งต่อไปอาจนำอนุกรมเวลา ราคาเมล็ดกาแฟมาพิจารณาในลักษณะของฟังก์ชันอนุกรมเวลา โดยแบ่งราคาเมล็ดกาแฟออกเป็น 3 ระดับ คือ ราคาต่ำ ราคาปานกลาง และราคาสูง แล้วใช้ฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) เช่น Triangular membership function ในการวิเคราะห์แนวโน้มของอนุกรมเวลา

ตารางที่ 3 ค่าจริงและค่าพยากรณ์ของราคาเมล็ดกาแฟ (บาท/กิโลกรัม) ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 ค่า MAPE และ RMSE ของวิธีการพยากรณ์อื่นๆ

ช่วงเวลา	ราคา เมล็ด กาแฟ	ราคาเมล็ดกาแฟ จากการพยากรณ์โดยวิธี						
		บรวาน ¹	ฤดูกาล อย่างง่าย	วินเทอร์ บวก	วินเทอร์ คูณ	พยากรณ์ รวม ²	พยากรณ์ รวม ³	พยากรณ์ รวม ⁴
ม.ค. 2561	70.95	69.50	70.19	74.02	78.17	69.64	70.28	73.77
ก.พ. 2561	70.79	66.57	71.98	75.82	80.86	71.79	73.70	77.35
มี.ค. 2561	68.21	63.64	71.71	75.54	81.05	74.58	78.18	82.06
เม.ย. 2561	68.21	60.70	72.22	76.06	81.23	76.72	81.60	85.65
พ.ค. 2561	68.21	57.77	72.22	76.06	79.95	79.51	86.07	90.34
มิ.ย. 2561	68.21	54.84	72.22	76.06	79.16	81.65	89.49	93.93
ก.ค. 2561	68.21	51.91	72.22	76.06	78.60	83.80	92.90	97.51
ส.ค. 2561	68.21	48.97	72.22	76.06	78.14	85.94	96.32	101.10
MAPE		14.0925	4.6574	9.9628	15.6686	13.7727	21.7586	27.5515
RMSE		11.2977	3.4378	7.0390	10.9083	11.0760	17.5318	21.3244

¹ มีค่าสถิติ Ljung-Box Q มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 31.828, p-value = 0.016)

² พยากรณ์รวมภายใต้ตัวแบบ $\hat{Y}_t = b_0 + b_1 \text{Holt} + b_2 \text{Damped}$

³ พยากรณ์รวมภายใต้ตัวแบบ $\hat{Y}_t = b_1 \text{Holt} + b_2 \text{Damped}$

⁴ พยากรณ์รวมภายใต้ตัวแบบ $\hat{Y}_t = w_1 \text{Holt} + w_2 \text{Damped}$ โดยที่ $w_i = b_i / (b_1 + b_2)$

4. สรุปผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคาเมล็ดกาแฟ โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 164 ค่า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 156 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ชุดที่ 2 คือข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 8 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ด้วยเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่าวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

5. อ้างอิง

- [1] วราภรณ์ กิตติวิบูลย์. ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกาแฟคั่วและบด. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว 2557; 30(1): 55-73.
- [2] กาแฟ. [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ม.ป.ป. [เข้าถึงเมื่อ 4 ตุลาคม 2561]. เข้าถึงจาก: <http://www.anatomy.dent.chula.ac.th/coffee.html>
- [3] ราคาสินค้าเกษตรที่เกษตรกรขายได้ ณ โรงนา. [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. [เข้าถึงเมื่อ 2 ต.ค. 2561]. จาก: [http://www.oae.go.th /view /1/ดัชนีราคาและผลผลิต/TH-TH](http://www.oae.go.th/view /1/ดัชนีราคาและผลผลิต/TH-TH)
- [4] Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall; 1994.
- [5] Bowerman BL, O'Connell RT. Forecasting and Time Series: An Applied Approach. 3rd ed. California: Duxbury Press; 1993.
- [6] สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ; 2548.
- [7] มุกดา มั่นมินทร์. อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. กรุงเทพฯ: โพธิ์พินิจ; 2549.
- [8] Montgomery DC, Peck EA, Vining GG. Introduction to Linear Regression Analysis. 4th ed. New York: John Wiley and Sons; 2006.