

การเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบอนุกรมเวลาระหว่างวิธีปรับให้เรียบด้วย เส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์และวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์: กรณีศึกษาการพยากรณ์ ราคามะพร้าวหน้าสวน

The accuracy comparison of time series model between Winters' exponential
smoothing and Box - Jenkins methods: A case study of forecasting garden
coconut price

เมธาสิทธิ์ ธัญรัตนศรีสกุล^{1*}
Mathasit Tanyarattanasrisakul^{1*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบอนุกรมเวลาระหว่างวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์และวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ สำหรับการพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวนในประเทศไทย ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยคือ ราคามะพร้าวผลแห้งทั้งป้อนขนาดใหญ่ที่เกษตรกรขายหน้าสวนเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 จำนวน 108 ค่า โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลราคามะพร้าวตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 96 ค่า ใช้สำหรับสร้างตัวแบบอนุกรมเวลา และชุดที่ 2 คือ ข้อมูลราคามะพร้าวตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 จำนวน 12 ค่า ใช้สำหรับเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบอนุกรมเวลาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) ผลการวิจัยพบว่า

1) ตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์ คือ $Y_t = (1327.57 + 102.89k)S_{k+84}$ เมื่อ Y_t และ S_k แทน ค่าพยากรณ์และส่วนของฤดูกาล ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.96

2) ตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ คือ ตัวแบบ SARIMA (1, 1, 0), (0, 0, 0)₁₂ (ไม่มีค่าคงที่) มีสมการพยากรณ์ คือ $Y_t = 1.51Y_{t-1} - 0.51Y_{t-2} + e_t$ เมื่อ Y_t และ e_t แทน ค่าพยากรณ์และความคลาดเคลื่อน ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.95

3) ตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์ มีค่า MAPE เท่ากับ 40.83 และตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ มีค่า MAPE เท่ากับ 41.93 แสดงว่าตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์มีความแม่นยำมากกว่าตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์

คำสำคัญ: ราคามะพร้าว ตัวแบบอนุกรมเวลา วิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์ วิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์

¹ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนราชินีบูรณะ นครปฐม

¹ Department of Mathematics, Rachineeburana School, Nakhon Pathom, Thailand

* Corresponding author. E-mail: mathasit24@gmail.com

Abstract

The objective of this research was to compare the accuracy of time series model using Winters' exponential smoothing method and Box - Jenkins method for forecasting garden coconut price in Thailand. The set of data used in this research was taken from monthly garden coconut price during January, 2008 to December, 2016 (108 values). The first set of 96 values collected from coconut price during January, 2008 to December, 2015, was used to model time series model by Winters' exponential smoothing method and Box - Jenkins method. The second set of 12 values collected from coconut price during January to December, 2016, was used to check the accuracy of the time series model via the criterion of the lowest mean absolute percentage error (MAPE). The results showed that;

1) The Winters' exponential smoothing model was $Y_t = (1327.57 + 102.89k)S_{k+84}$, when Y_t and S_k were forecasting value, and seasonal indices, respectively and the correlation coefficient of this model was 0.96.

2) The Box - Jenkins model was SARIMA (1, 1, 0), (0, 0, 0)₁₂ (no constant), $Y_t = 1.51Y_{t-1} - 0.51Y_{t-2} + e_t$ when Y_t and e_t were forecasting and error value respectively, and the correlation coefficient of this model was 0.95.

3) The Winters' exponential smoothing model had MAPE = 40.83 and the Box - Jenkins model had MAPE = 41.93. The results showed that the Winters' exponential smoothing model was a suitable for this data than Box - Jenkins model.

Keywords: coconut price, time series model, Winters' exponential smoothing method, Box - Jenkins method

บทนำ

มะพร้าว (coconut) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากคนไทยรู้จักใช้เนื้อมะพร้าวในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาวและหวานในชีวิตประจำวัน โดยมีฐานการผลิตมากที่สุดอยู่ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (414,778 ไร่) รองลงมาได้แก่ จังหวัดชุมพร (193,375 ไร่) และจังหวัดสุราษฎร์ธานี (186,175 ไร่) ตามลำดับ (ศูนย์วิจัยมะพร้าวเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2559) สำนักงานสถิติแห่งชาติได้เคยทำการสำรวจแล้วพบว่า ประชากรไทย 1 คน จะบริโภคเนื้อมะพร้าวประมาณปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผลต่อคนต่อปี ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีพลเมืองประมาณ 55 ล้านคน จะใช้ผลมะพร้าวประมาณ 990 ล้านผล หรือประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือประมาณ

35 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตทั้งหมด หรือ 489 ล้านผล จะถูกใช้ในรูปอุตสาหกรรมหรือการส่งออก ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ 1) ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภค เช่น อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น อุตสาหกรรมมะพร้าวขูดแห้ง อุตสาหกรรมน้ำตาลมะพร้าว และ 2) ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมและอุปโภค เช่น อุตสาหกรรมเส้นใยมะพร้าว อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ อุตสาหกรรมแผ่นถ่านจากกะลามะพร้าว อุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว เป็นต้น ทั้งนี้ผลผลิตมะพร้าวแต่ละปีจะมีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 2,700 ล้านบาท ซึ่งเป็นมูลค่ามหาศาล (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) จากการศึกษาสถานการณ์การผลิตมะพร้าวในประเทศไทย พบว่าพื้นที่การผลิตมะพร้าวและผลผลิตมะพร้าวลดลงในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากปัญหา

ภัยแล้ง แผลงศัตรูพืชระบาด รวมถึงผลตอบแทนที่เกษตรกรได้รับน้อยลงจึงไม่จูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่การปลูกมะพร้าว ซึ่งขัดแย้งกับความต้องการของผู้บริโภคที่พบว่าแนวโน้มการบริโภคทั้งมะพร้าวผลและมะพร้าวแห้งสูงขึ้น ความขัดแย้งระหว่างฐานการผลิตและความต้องการบริโภคดังที่กล่าวมานั้น ทำให้ราคามะพร้าวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และคาดการณ์ได้ยาก

การพยากรณ์ (forecasting) หมายถึง การทำนายการคาดการณ์ การประมาณค่าในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลในอดีตที่มีพื้นฐานองค์ประกอบสถานการณ์เดียวกัน และเป็นส่วนสำคัญของการวางแผนงานที่จะทำ ไม่ว่าจะเป็นงานภาครัฐหรือเอกชน การวางแผนเหล่านี้จะต้องใช้กระบวนการทางสถิติเพื่อพยากรณ์ เทคนิคหนึ่งที่น่านิยมใช้ ได้แก่ การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series analysis) (ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์, 2556) เช่นเดียวกับการวางแผนการผลิตมะพร้าวในภาคการเกษตร อุตสาหกรรมแปรรูป การส่งออก ซึ่งจะต้องอาศัยการคาดการณ์ราคาที่มีความเชื่อถือได้และถูกต้องตามหลักวิชาการ จากการศึกษาข้อมูลราคามะพร้าวแห้งหน้าสวนรายเดือนในช่วงปี พ.ศ. 2551 ถึง 2558 พบว่าเป็นข้อมูลที่มีทั้งแนวโน้ม (trend) และฤดูกาล (seasonal) การสร้างตัวแบบเพื่อพยากรณ์จึงต้องเลือกใช้ตัวแบบที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งเทคนิคที่น่านิยมใช้ได้แก่ เทคนิคการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (ดาว สงวนรังศิริกุล, หรรษา เชี่ยวอนันตวานิช, และมนัรัตน์ แสงเกษม, 2558) ซึ่งต่างเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มและฤดูกาล โดยปราศจากวัฏจักรและความแปรผันเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอ และทั้งสองวิธีนี้จะให้ผลการพยากรณ์ที่ต่างกัน ด้วยเหตุนี้

ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาที่มีความเหมาะสมสำหรับพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวน หรือราคามะพร้าวที่เกษตรกรขายได้ที่สวน ซึ่งมีหน่วยเป็นบาทต่อหนึ่งร้อยผลที่มีความแม่นยำ จากวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการผลิตสำหรับเกษตรกรและอุตสาหกรรมภาคต่างๆ ได้ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบอนุกรมเวลาระหว่างวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ สำหรับการพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวนในประเทศไทย

วิธีการศึกษา

จากการศึกษาในเบื้องต้น พบว่าข้อมูลราคามะพร้าวแห้งหน้าสวนรายเดือนในช่วงปี พ.ศ. 2551 ถึง 2558 เป็นข้อมูลที่มีทั้งแนวโน้ม (trend) และฤดูกาล (seasonal) แต่ปราศจากวัฏจักรและความแปรผัน เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอ แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาของราคามะพร้าวแห้งหน้าสวนดัง (Figure 1)

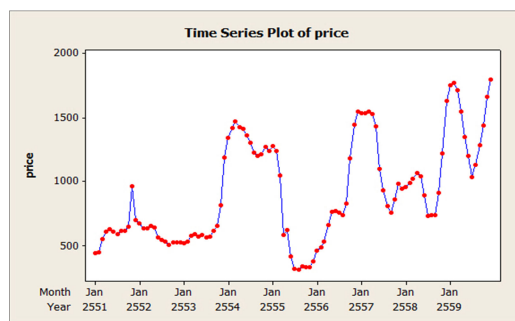


Figure 1 Time series plot of garden coconut price.

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการตัวแบบพยากรณ์ ด้วยปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบ วินเทอร์และวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ ขึ้นตอนการสร้างตัวแบบมีดังนี้

1. ทำการสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์ เมื่อตัวแบบมีส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล โดยมีขั้นตอนดังนี้ (Wei, 2006)

1.1 เลือกตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์ ซึ่งมี 2 แบบ คือ การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์แบบบวก (Winters' additive exponential smoothing) และแบบคูณ (Winters' multiplicative exponential smoothing) ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์แบบคูณ เนื่องจากเป็นตัวแบบที่พบมากในทาง

เศรษฐศาสตร์และธุรกิจ การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล จะมีผลกระทบกับส่วนประกอบอื่นๆ ของตัวแบบ (ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์, 2556) เช่นเดียวกับราคามะพร้าวหน้าสวนที่ความผันแปรตามฤดูกาลเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (Winter, 1960)

1.2 สร้างตัวแบบโดยการกำหนดค่าปรับน้ำหนักของค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์ (α) ค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณแนวโน้ม (γ) และค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างค่าความผันแปรตามฤดูกาลจริงกับค่าประมาณฤดูกาล (δ) โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$, $0 \leq \gamma \leq 1$ และ $0 \leq \delta \leq 1$ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557)

1.3 ประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เป็นค่าคงที่แนวโน้ม และความแปรผันตามฤดูกาล จากตัวแบบและสร้างสมการพยากรณ์ดังนี้ (ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์, 2556)

$$Y_t = (E_n + kT_n)S_{n+k-p} \quad \text{โดยที่ } t = n+k \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

$$\text{เมื่อ} \quad E_t = \begin{cases} Y_2 & , \quad t=2 \\ \alpha Y_t + (1-\alpha)(E_{t-1} + T_{t-1}) & , \quad t=3,4,\dots,P+2 \\ \frac{\alpha Y_t}{S_{t-p}} + (1-\alpha)(E_{t-1} + T_{t-1}) & , \quad t > P+2 \end{cases}$$

$$T_t = \begin{cases} Y_2 - Y_1 & , \quad t=2 \\ \gamma(E_t - E_{t-1}) + (1-\gamma)T_{t-1} & , \quad t > 2 \end{cases}$$

$$S_t = \begin{cases} \frac{Y_t}{E_t} & , \quad t=3,4,\dots,P+2 \\ \frac{\delta Y_t}{E_t} + (1-\delta)S_{t-p} & , \quad t > P+2 \end{cases}$$

โดยที่ E_t , T_t และ S_t แทน ระดับของข้อมูล ส่วนของแนวโน้ม และส่วนของฤดูกาล ตามลำดับ, t แทน ช่วงเวลา มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n เมื่อ n แทนจำนวน ข้อมูลในอนุกรมเวลา, P แทน จำนวนฤดูกาล และ Y_t แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

1.4 เลือกตัวแบบอนุกรมเวลาที่ค่าประมาณ ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ $\{e_t\}$ มีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) และเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา

2. ทำการสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธี บ็อกซ์ - เจนกินส์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 พิจารณาตัวแบบอนุกรมเวลาว่ามีความคงที่ (stationary) หรือไม่ โดยพิจารณากราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา (Y_t, t) กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (autocorrelation function: ACF) และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (partial autocorrelation function: PACF)

2.2 กำหนดตัวแบบที่เป็นไปได้จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่มีความคงที่

2.3 ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบโดยพารามิเตอร์ทุกตัวจะต้องมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) หากพบว่าพารามิเตอร์ตัวใดไม่มีนัยสำคัญทางสถิติจะตัดพารามิเตอร์นั้นออกและเลือกตัวแบบใหม่จนกว่าจะได้ตัวแบบที่ค่าพารามิเตอร์มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งหมด (วรจกณา กิริติวิบูลย์, 2557)

2.4 เลือกตัวแบบที่ค่าสถิติ Ljung - Box Q

ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) ณ Q_{12} , Q_{24} , Q_{36} และ Q_{48} ซึ่งเป็นการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่อยู่ห่างกันแต่ละช่วงเวลากว่าเป็นอิสระกันหรือไม่ ซึ่งในที่นี้ Q_{12} , Q_{24} , Q_{36} และ Q_{48} หมายถึงการทดสอบ ณ ช่วง เวลา 12, 24, 36 และ 48 เดือน ตามลำดับ (Farnum, and Stanton, 1989) และอนุกรมเวลาของค่าประมาณความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ $\{e_t\}$ มีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) และเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา

2.5 สร้างสมการพยากรณ์โดยพิจารณาจากรูปแบบทั่วไปของตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ ซึ่งคือ seasonal autoregressive integrated moving average: SARIMA (p, d, q) $\times$ (P, D, Q)_s แสดงสมการได้ดังนี้ (Box, Jenkins, and Reinsel, 1994)

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D Y_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_Q(B^S)\varepsilon_t \quad (2)$$

เมื่อ Y_t	แทน	อนุกรมเวลา ณ เวลา t
ε_t	แทน	อนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา
$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_P(B^S)$	แทน	ค่าคงที่ โดย μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่
$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$	แทน	ตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ p (non-seasonal autoregressive operator of order p : AR (p))

$\Phi_p(B^S) = 1 - \Phi_1 B^S - \Phi_2 B^{2S} - \dots - \Phi_p B^{pS}$ แทน ตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบมีฤดูกาล
อันดับที่ P (seasonal autoregressive operator
of order P: SAR (P))

$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ แทน ตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่
q (non-seasonal moving average operator of
order q: MA (q))

$\theta_q(B^S) = 1 - \theta_1 B^S - \theta_2 B^{2S} - \dots - \theta_q B^{qS}$ แทน ตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาลอันดับที่
Q (seasonal moving average operator of order
Q: SMA (Q))

t แทน ช่วงเวลา มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n เมื่อ n แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลา
S แทน จำนวนฤดูกาล
d และ D แทน ลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ
B แทน ตัวดำเนินการถอยหลัง (backward operator)

โดยที่ $B^S Y_t = Y_{t-S}$, $B^S \varepsilon_t = \varepsilon_{t-S}$

3. ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำตัวแบบ
อนุกรมเวลา

สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัว
แบบอนุกรมเวลาในการวิจัยครั้งนี้ จะพิจารณาจากค่า
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation)
ระหว่างข้อมูลจริง (Y) กับค่าพยากรณ์ (Y) และ
ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
(mean absolute percent error: MAPE) ดังนี้

3.1 พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
ระหว่าง Y กับ Y เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
เป็นตัวเลขที่บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่นำมา
ศึกษา โดยจะมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ถ้า r เข้าใกล้ 1 แสดงว่า
Y กับ Y มีความสัมพันธ์กันมาก นั่นหมายความว่า Y
พยากรณ์ Y ได้ดี แต่ถ้า r เข้าใกล้ 0 แสดงว่า Y และ Y
ไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งหมายความว่า Y แตกต่างจาก

Y มาก และถ้า r มีค่าเป็นลบ แสดงว่า Y กับ Y มี
ความสัมพันธ์กันทางลบ กล่าวคือ ถ้า Y มีค่าเพิ่มขึ้น Y
จะมีค่าลดลง และถ้า Y มีค่าลดลง Y จะมีค่าเพิ่มขึ้น นั่น
หมายความว่า ค่าพยากรณ์ไม่สอดคล้องกับค่าข้อมูล
ที่แท้จริง สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มี
ดังนี้ (ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์, 2556; George, 1989)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

เมื่อ Y_i แทน ค่าข้อมูลที่แท้จริงตัวที่ i
 Y_i แทน ค่าพยากรณ์ตัวที่ i
 $\bar{Y}$ แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ Y_i
 $\bar{Y}$ แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ Y

n แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมดในอนุกรม
เวลาที่ศึกษา

3.2 พิจารณา ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) เป็นการวัด
ความแม่นยำที่ไม่มีหน่วย และแสดงในรูปร้อยละ
(percent) ที่ง่ายต่อความเข้าใจ ซึ่งเหมาะจะใช้เป็น
ค่าเปรียบเทียบความแม่นยำที่เกิดจากการพยากรณ์
อนุกรมเวลาหลายชุดที่มีหน่วยข้อมูลต่างกัน โดยวิธีที่
ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุดจะเป็นวิธีการพยากรณ์ที่มีความ
แม่นยำมากที่สุด หรือนั่นคือ วิธีการที่ให้ค่า MAPE ต่ำ
กว่าจะเป็นวิธีการพยากรณ์ที่แม่นยำกว่าวิธีการที่ให้
ค่า MAPE สูงกว่านั่นเอง (ดาว สงวนรังศิริกุล, หรรษา
เชียวอนันตวานิช, และมณีนรัตน์ แสงเกษม, 2558)
สูตรการคำนวณมีดังนี้ (ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์, 2556)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| / Y_i}{n}$$

เมื่อ Y_i แทน ค่าข้อมูลที่แท้จริงตัวที่ i

$\hat{Y}_i$ แทน ค่าพยากรณ์ตัวที่ i

n แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมดในอนุกรม
เวลาที่ศึกษา

ผลการศึกษา

1. ผลการสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธีปรับ
ให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์แบบคูณ
สำหรับการสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธีการนี้
ผู้วิจัยกำหนดค่าปรับน้ำหนักของค่าคงที่ที่ทำให้เรียบ
ระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์ ค่าคงที่ที่ทำให้เรียบ
ระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณแนวโน้ม และ
ค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างค่าความผันแปรตาม

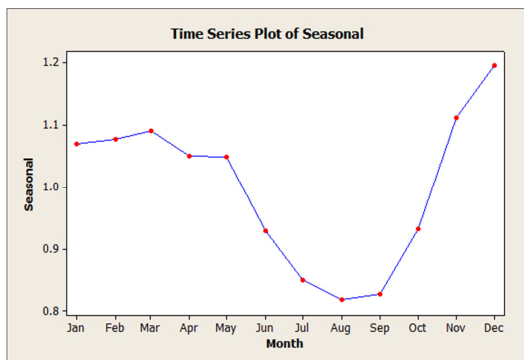
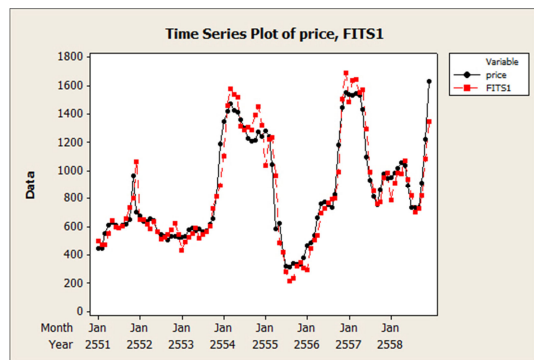
ฤดูกาลจริงกับค่าประมาณฤดูกาล ซึ่งคือ α, γ และ δ
ให้เท่ากับ 0.84, 0.29 และ 0.01 ตามลำดับ ซึ่งจาก
การทดสอบค่าประมาณความคลาดเคลื่อนจากการ
พยากรณ์พบว่า 1) มีการแจกแจงแบบปกติเนื่องจากการ
ทดสอบ Kolmogorov-Smirnov test ได้ค่าสถิติ
ทดสอบเท่ากับ 0.09 (p-value = 0.08) 2) มีค่าเฉลี่ย
เท่ากับศูนย์ เนื่องจากการทดสอบ t-test ได้ค่าสถิติ
ทดสอบเท่ากับ 0.34 (p-value = 0.74) 3) มีความแปรปรวน
คงที่ทุกช่วงเวลา เนื่องจากการทดสอบ Levene's test
ได้ค่าสถิติทดสอบเท่ากับ 0.86 (p-value = 0.54) และ
4) เป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากการทดสอบ Durbin -
Watson test ได้ค่าสถิติทดสอบเท่ากับ 1.51 ซึ่งอยู่
ในช่วง 1.50 ถึง 2.50 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2555)
ตัวแบบอนุกรมเวลาที่สร้างขึ้นด้วยวิธีปรับให้เรียบ
ด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์แบบคูณมี
ค่าประมาณความผันแปรตามฤดูกาล (seasonal
indices) แสดงใน (Table 1) และ (Figure 2) และ
สามารถสร้างสมการพยากรณ์ได้ดังสมการ (3)

$$Y_t = (1327.57 + 102.89K) S_{k+84} \quad (3)$$

จาก (Table 1) ค่าดัชนีความผันแปรตาม
ฤดูกาล พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.82 ถึง 1.20 ซึ่งมีค่า
ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย (1.00) ในเดือนกรกฎาคม สิงหาคม
กันยายน และเดือนตุลาคม และสูงกว่าค่าเฉลี่ย
ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน
พฤษภาคม พฤศจิกายน และเดือนธันวาคม
นั่นหมายถึงเดือนที่มีค่าความผันแปรตามฤดูกาล
ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ราคาจะพรวดในเดือนนั้นจะลดลง
และมีราคาเพิ่มขึ้นในเดือนที่มีค่าความผันแปร
ตามฤดูกาลสูงกว่าค่าเฉลี่ย

Table 1 Seasonal indices of Winters' multiplicative exponential smoothing time series model.

t	month	seasonal indices	t	month	seasonal indices
85	January	1.07	91	July	0.85
86	February	1.08	92	August	0.82
87	March	1.09	93	September	0.83
88	April	1.05	94	October	0.93
89	May	1.05	95	November	1.10
90	June	0.93	96	December	1.20

**Figure 2** Seasonal indices of Winters' multiplicative model.**Figure 3** Observations and backcast from Winters' multiplicative model.

เมื่อนำค่าพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวนในประเทศไทยในเดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 จากตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์แบบคูณ มาเปรียบเทียบกับราคาจริง สามารถแสดงได้ดัง (Figure 3) ซึ่งพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.96 ($p\text{-value}=0.00$) แสดงว่าค่าพยากรณ์สอดคล้องกับค่าข้อมูลที่แท้จริง

2. ผลการสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบ

ความคงที่ของข้อมูลอนุกรมเวลา โดยพิจารณากราฟ ACF และ PACF (Figure 4) และ (Figure 5) ซึ่งพบว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ ผู้วิจัยจึงเริ่มต้นการสร้างตัวแบบโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d=1$) และปรับหาตัวแบบที่มีความเหมาะสม คือ ค่าสถิติ Ljung - Box Q ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) ณ Q_{12} , Q_{24} , Q_{36} และ Q_{48} และอนุกรมเวลาของค่าประมาณความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ $\{e_t\}$ มีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) และเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวน

คงที่ทุกช่วงเวลา ผลจากการปรับตัวแบบทำให้ได้ว่า
ตัวแบบที่มีความเหมาะสมและมีความสอดคล้องตาม
เงื่อนไขดังกล่าวคือ SARIMA (1, 1, 0), (0, 0, 0)₁₂
(ไม่มีค่าคงที่) ซึ่งค่าสถิติ Ljung – Box Q ณ Q₁₂
เท่ากับ 5.7 (p-value = .89) Q₂₄ เท่ากับ 20.50 (p-
value= 0.61) Q₃₆ เท่ากับ 33.30 (p-value=0.55) และ
Q₄₈ เท่ากับ 55.00 (p-value=0.20) ผลการทดสอบ
ค่าประมาณความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์พบว่า
1) มีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากการทดสอบ
Kolmogorov-Smirnov test ได้ค่าสถิติทดสอบเท่ากับ
0.10 (p-value=0.05) 2) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์เนื่องจาก

การทดสอบ t-test ได้ค่าสถิติทดสอบเท่ากับ 0.73
(p-value=0.47) 3) มีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา
เนื่องจากการทดสอบ Levene's test ได้ค่าสถิติทดสอบ
เท่ากับ 1.14 (p-value=0.35) และ 4) เป็นอิสระต่อกัน
เนื่องจากการทดสอบ Durbin – Watson test ได้
ค่าสถิติทดสอบเท่ากับ 1.92 ซึ่งอยู่ในช่วง 1.50 ถึง
2.50 (กัลยา วาณิชย์บัญชา, 2555) แสดงกราฟ ACF
และ PACF ของค่าประมาณความคลาดเคลื่อนจาก
การพยากรณ์ใน (Figure 6) และ (Figure 7) ตามลำดับ
ซึ่งพบว่าค่าประมาณความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง
ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

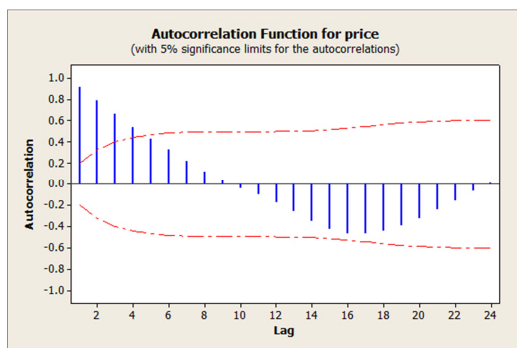


Figure 4 ACF of price.

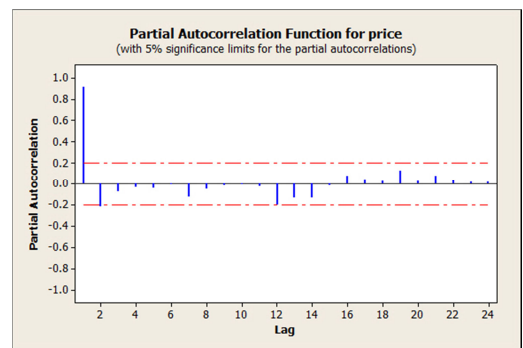


Figure 5 PACF of price.

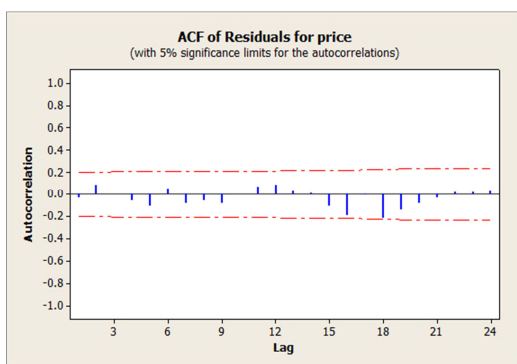


Figure 6 ACF of residuals.

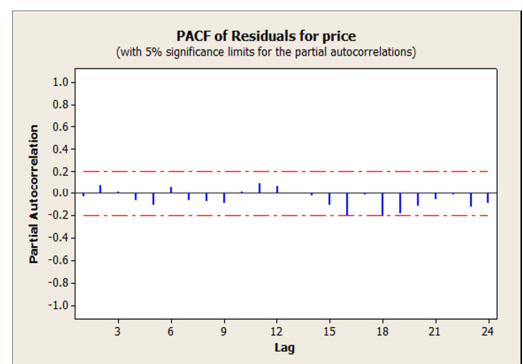


Figure 7 PACF of price.

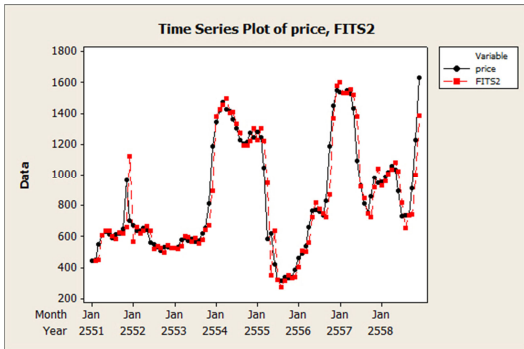


Figure 8 Observations and backcast from SARIMA (1, 1, 0), (0, 0, 0)₁₂ model.

หลังจากได้ตัวแบบที่เหมาะสม ผู้วิจัยทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ ได้แก่ พารามิเตอร์ AR(1) หรือ ϕ_1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.51 (t-test=6.34, p-value=0.00) นั่นคือ พารามิเตอร์จากตัวแบบมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ดังนั้น จึงสามารถสร้างตัวแบบพยากรณ์ได้ดังสมการ (4) และสร้างสมการพยากรณ์ได้ดังสมการ (5)

$$(1 - \phi_1 B)(1 - B)^d(1 - B^s)^D Y_t = \delta + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$Y_t = 1.51Y_{t-1} - 0.51Y_{t-2} + e_t \quad (5)$$

เมื่อนำค่าพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวนในประเทศไทยในเดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 จากตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ หรือ SARIMA (1, 1, 0), (0, 0, 0)₁₂ มาเปรียบเทียบกับราคาจริง สามารถแสดงได้ดัง (Figure 8) ซึ่งพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.95 (p-value = 0.00) แสดงว่าค่าพยากรณ์สอดคล้องกับค่าข้อมูลที่แท้จริง

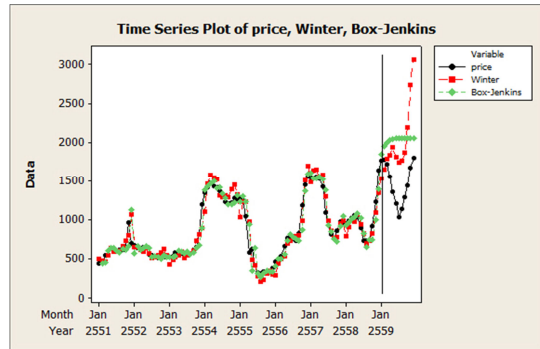


Figure 9 Observations and Backcast from Winters' multiplicative exponential smoothing and Box-Jenkins model.

3. ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบอนุกรมเวลา

สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบอนุกรมเวลาที่ใช้สร้างขึ้นเพื่อพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวนในประเทศไทย ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจริงในเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 จำนวน 12 ค่า มาเป็นตัวเปรียบเทียบกับค่าจากการพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบอนุกรมเวลาทั้งสองวิธี โดยผลจากการหาค่า MAPE ใน (Table 2) พบว่าตัวแบบอนุกรมเวลาที่ใช้สร้างจากวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์แบบคูณ และวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ มีค่า MAPE เท่ากับ 40.83 และ 41.93 ตามลำดับ ทำให้สรุปได้ว่าตัวแบบอนุกรมเวลาที่ใช้สร้างจากวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์แบบคูณมีความแม่นยำมากกว่าวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ ทั้งนี้แสดงการเปรียบเทียบได้ดัง (Figure 9)

Table 2 Observation and forecast by 2 methods (baht: 100 units).

month (2016)	t	observation	forecast	
			Winters' multiplicative	SARIMA (1, 1, 0), (0, 0, 0) ₁₂
January	97	1757	1529.79	1840.42
February	98	1772	1651.83	1946.13
March	99	1718	1785.05	2000.01
April	100	1552	1826.57	2027.46
May	101	1352	1931.59	2041.46
June	102	1202	1808.02	2048.59
July	103	1034	1738.24	2052.22
August	104	1133	1760.15	2054.07
September	105	1285	1863.45	2055.02
October	106	1442	2195.43	2055.50
November	107	1664	2735.52	2055.74
December	108	1799	3063.37	2055.87
MAPE			40.83	41.93

เมื่อนำตัวแบบอนุกรมเวลาสร้างจากวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์แบบคูณมาใช้กับข้อมูลราคามะพร้าวหน้าสวนในประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม

พ.ศ. 2559 เพื่อพยากรณ์ราคามะพร้าวในปี พ.ศ. 2560 ได้ผลการพยากรณ์ดัง (Table 3) ซึ่งมีราคาอยู่ระหว่าง 1306.51 ถึง 1993.98 บาทต่อร้อยผล

Table 3 Forecast by Winters' multiplicative exponential smoothing for year 2017 (baht: 100 units).

month	forecast	month	forecast
January	1660.71	July	1318.30
February	1687.06	August	1306.51
March	1709.09	September	1356.57
April	1640.49	October	1538.59
May	1615.39	November	1840.14
June	1444.64	December	1993.98

อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยเพื่อเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวนจากตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์และวิธีวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ ผลการวิจัยพบว่าตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์มีความแม่นยำมากกว่าตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการพยากรณ์ทั้งสองวิธีก็ให้ค่า MAPE ที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือ ทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการผู้นำผลการวิจัยครั้งนี้ไปใช้อาจเลือกใช้วิธีการพยากรณ์วิธีใดก็ได้ที่เห็นว่าสะดวกต่อการใช้งานและสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายในขั้นตอนของการวิเคราะห์ และสำหรับผลการวิจัยครั้งนี้พบว่ามีความสอดคล้องกับผลการวิจัยของวรางคณา กิริติวิบูลย์ (2558) ที่พบว่า สำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกถุงมือยาง วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์มีความแม่นยำมากกว่าวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ ผลจากการใช้ตัวแบบอนุกรมเวลาที่สร้างขึ้นด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์แบบคูณในการพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวน ในปี พ.ศ. 2560 พบว่ามีราคาเท่ากับ 1306.51 ถึง 1993.98 บาท (100 ผล) หรือเฉลี่ยราคาผลละ 13.07 ถึง 19.94 บาท โดยมีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคมและต่ำสุดในเดือนสิงหาคม อาจแสดงให้เห็นว่าในช่วงเดือนธันวาคมผลผลิตมะพร้าวผลแห้งอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดทำให้มีราคาสูงขึ้นแม้เป็นราคาที่หน้าสวน ดังนั้น รัฐบาลควรมีมาตรการในการนำเข้าหรือส่งเสริมเกษตรกรให้สามารถสร้างผลผลิตมะพร้าวผลแห้งให้เพียงพอต่อความต้องการ ทางกลับกันช่วงเดือน

สิงหาคม พบว่าราคามะพร้าวต่ำที่สุดในรอบปี อาจหมายความว่าผลผลิตมะพร้าวผลแห้งมีมากกว่าความต้องการของตลาดทำให้ราคาลดต่ำลง กรณีนี้ภาคอุตสาหกรรมการแปรรูปควรเร่งดำเนินการเพื่อแปรรูปผลผลิตมะพร้าวผลแห้งเพื่อใช้ในภาคส่วนต่างๆ และจัดสรรให้เพียงพอไปถึงเดือนธันวาคม ซึ่งอาจทำให้เกิดความสมดุลกันระหว่างฐานการผลิตและความต้องการในการบริโภค อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า MAPE ที่ได้ พบว่ายังมีค่าสูง อาจเนื่องมาจากข้อมูลอาจไม่มากพอสำหรับการสร้างตัวแบบอนุกรมเวลา ประกอบกับผู้วิจัยไม่ได้นำปัจจัยอื่นที่อาจมีส่วนเกี่ยวข้องหรือส่งผลกระทบต่อราคามะพร้าวผลแห้งหน้าสวน เช่น ความผิดปกติจากภัยธรรมชาติ วิกฤติการณ์การเมือง ปัญหาด้านการเพาะปลูก ฯลฯ มาพิจารณาร่วมด้วย ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการพยากรณ์ โดยใช้เทคนิคอนุกรมเวลาที่มุ่งศึกษาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของเวลาเท่านั้น

สรุป

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์มีความแม่นยำมากกว่าวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ในการพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวน เนื่องจากวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์มีค่า MAPE ต่ำกว่าวิธีบ็อกซ์ - เจนกินส์ อย่างไรก็ตามการพยากรณ์จากทั้งสองวิธีก็ยังมีค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้น ควรมีการศึกษาวิธีการพยากรณ์แบบอื่นๆ และนำมาเปรียบเทียบกับตัวแบบที่ได้จากการวิจัยนี้ เพื่อให้ได้ตัวแบบอนุกรมเวลาสำหรับการพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวนในประเทศไทยที่

มีความแม่นยำมากที่สุด ผลจากการนำตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์ไปใช้สำหรับพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวนในปี พ.ศ. 2560 พบว่ามีราคาเฉลี่ยราคาผลละ 13.07 ถึง 19.94 บาท โดยมีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคมและต่ำสุดในเดือนสิงหาคม อาจแสดงให้เห็นว่าในช่วงเดือนธันวาคมผลผลิตมะพร้าวผลแห้งอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดทำให้มีราคาสูงขึ้น ในทางกลับกันที่พบว่าเดือนสิงหาคมเป็นเดือนที่ราคามะพร้าวต่ำที่สุดในรอบปี ดังนั้น ภาคอุตสาหกรรมการเกษตรอุตสาหกรรมการแปรรูป ตลอดจนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเร่งดำเนินการเพื่อแปรรูปผลผลิตมะพร้าวเพื่อใช้ในภาคส่วนต่างๆ และจัดสรรให้เพียงพอต่อความต้องการบริโภค ซึ่งจะก่อให้เกิดความสมดุลกันระหว่างฐานการผลิตและความต้องการในการบริโภคในอนาคต และเนื่องจากราคามะพร้าวในปีที่ผ่านมาจนถึงปี พ.ศ. 2560 มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับมะพร้าวผลแห้งและมีทุนในการประกอบการไม่มากนัก อาจหาพืชชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาใช้ทดแทนเพื่อเป็นการลดต้นทุนที่อาจเกิดจากราคามะพร้าวที่สูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2555). *การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2557). *การวิเคราะห์สถิติ: สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดาว สงวนรังศิริกุล, หรรษา เชี่ยวอนันตวานิช, และมนิรัตน์ แสงเกษม. (2558). การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคไข้ระวังทางระบาดในกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, 38(1), 35-55.
- วรางคณา กীরติวิบูลย์. (2557). ตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิ. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 19(1), 78-90.
- วรางคณา กীরติวิบูลย์. (2558). การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ระหว่างวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบคูณของวินเทอร์สำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกถั่วเขียว. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 20(1), 186-198.
- ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์. (2556). *เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ: การวิเคราะห์อนุกรมเวลา*. นครปฐม: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. (2559). *อุตสาหกรรมมะพร้าว*. สืบค้น 23 มิถุนายน 2560, จาก <http://fic.nfi.or.th/foodsectordatabankdetail.php?id=22>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2560). *มะพร้าว: ราคามะพร้าวผลแห้งทั้งเปลือกขนาดใหญ่รายเดือนที่เกษตรกรขายได้ที่สวน ปี 2540-2560*. สืบค้น 22 เมษายน 2560, จาก <http://www.oae.go.th/monthlyprice.html>
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (1994). *Time series analysis: Forecasting and control*. New Jersey: Prentice Hall.
- Farnum, N. R., & Stanton, L. W. (1989). *Quantitative forecasting methods*. Boston: PWS-KENT.
- George, A. F. (1989). *Statistical analysis in psychology and education*. New York: McGraw-Hill.
- Wei, W. W. S. (2006). *Time series analysis univariate and multivariate method*. Boston: Pearson Education.
- Winter, P. (1960). Forecasting sale by exponentially weighted moving average. *Management Science*, 6(3), 324-342.