

บทความวิจัย

ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาคใต้

ปรีดาภรณ์ กาญจนสำราญวงศ์^{1,2*} และ สุชาติร์ ทงรอง¹

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 ด้วยวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ทางสถิติของปริมาณการใช้ไฟฟ้า 3 วิธี คือ วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ และวิธีบอซ-เจนกินส์ โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 จำนวน 93 ค่า และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้ง 3 วิธี ด้วยเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) ที่ต่ำที่สุด พบว่าตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ เป็นตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ: ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ปริมาณการใช้ไฟฟ้า วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีของโฮลต์ วิธีบอซ-เจนกินส์

¹ สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

² หน่วยวิจัยพลังงานลม-แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน, email: ypreedaporn@hotmail.com

Forecasting Model in Electrical Power Consumption of the Provincial Electricity Authority in Southern Area 2

Preedaporn Kanjanasamranwong^{1,2*} and Sutarat Thongrong¹

ABSTRACT

The objective of this research is to construct the electrical power consumption forecasting model in period of October, 2011 to December, 2012. For the methods of constructing the statistical forecasting model are decomposition, Holt's exponential smoothing and Box-Jenkins. The set of 93 values time-series data of electrical power consumption in the Provincial Electricity Authority in Southern Area 2 during January, 2004-September, 2011 was used to form the models and then compare the accuracy of three forecasting methods with the criterion of minimum mean squared error (MSE). It found that the Holt's exponential smoothing method is the most suitable for this forecasting.

Keywords: mean squared error, electrical power consumption, decomposition method, Holt's Method, Box-Jenkins method

¹Department of Mathematic and Statistic, Thaksin University, Phattalung Campus

²Solar and Wind Energy Research Unit, Thaksin University, Phattalung Campus

บทนำ

ปัจจุบันไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่ง เพราะไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิตประจำวัน และเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสาร การคมนาคม การให้ความรู้ การศึกษา และการมีส่วนร่วมในกระบวนการประชาธิปไตย ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญต่อหลักการมนุษยชน จะเกิดขึ้นและมีประสิทธิภาพไม่ได้ถ้าขาด “ไฟฟ้า” แต่เนื่องจากไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ไม่สามารถกักเก็บได้ ดังนั้นการไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดเวลา และการก่อสร้างระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า ต้องใช้เวลาหลายปีนับตั้งแต่ขึ้นตอนการวางแผน การออกแบบ จนถึงการก่อสร้างซึ่งอาจใช้เวลาถึง 5-7 ปี ประกอบกับระบบไฟฟ้าของไทยมีการเชื่อมโยงกับประเทศเพื่อนบ้านเพียงเล็กน้อย หากเกิดการขาดแคลนไฟฟ้าในประเทศก็ไม่สามารถนำเข้าไฟฟ้าจากต่างประเทศได้อย่างเพียงพอ ดังนั้นการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้การไฟฟ้าสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนขยายกำลังผลิตไฟฟ้า ระบบสายส่ง และระบบสายจำหน่ายให้เพียงพอกับความต้องการไฟฟ้าที่คาดว่าจะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต [1]

ในปี พ.ศ. 2503 สภาเศรษฐกิจ สังคม และแนวทางการพัฒนาประเทศไทยในช่วงเวลานั้นเป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดบทบาทให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีภาระหน้าที่สำคัญ คือ เร่งดำเนินการก่อสร้างระบบไฟฟ้า เพื่อจำหน่ายกระแสไฟฟ้าออกไปให้ทั่วถึงทุกพื้นที่ ทั้งในระดับจังหวัด อำเภอ ไปจนถึงชุมชน ชนบททุกท้องที่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในยุคบุกเบิกจึงต้องเริ่มต้นดำเนินงานด้วยความมุ่งมั่นและทุ่มเท เอาชนะอุปสรรค ความยากลำบาก ด้วยเครื่องจักร เครื่องมือ และเทคโนโลยีขั้นพื้นฐานเท่าที่มีอยู่ในขณะนั้น โรงไฟฟ้าเครื่องจักรดีเซล หรือโรงไฟฟ้าหลายแห่งจึงถูกสร้างขึ้นเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับบริการในแต่ละพื้นที่ ในด้านระบบจำหน่ายและระบบสายส่งมีการพัฒนาเพื่อประสิทธิภาพ ความมั่นคงในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้สามารถรองรับการขยายตัวด้านการลงทุนภาคธุรกิจ อุตสาหกรรม ฯลฯ ซึ่งกระจายออกไปสู่ภูมิภาคมากขึ้นเป็นลำดับ นำไปสู่โครงการก่อสร้างเชื่อมโยง ยุบโรงจักรดีเซลในระบบเดิมที่ต้นทุนสูง ประสิทธิภาพต่ำ เปลี่ยนมารับกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [2]

สำหรับการศึกษาปริมาณการใช้ไฟฟ้า มีผู้ทำการศึกษาไว้ เช่น งานวิจัยของพรพรรณ ก้องโกวิท [3] ศึกษาความเคลื่อนไหวของปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอดีตด้วยวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time series analysis) 4 วิธี ได้แก่ วิธีแยกส่วนประกอบ (Decomposition) วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล 2 ครั้ง ตามแบบของบราวน์ (Brown's method) วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล 2 ครั้ง ตามแบบของโฮลต์ (Holt's method) และวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลของโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winters method) ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับปริมาณความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย ประเภทอุตสาหกรรม และประเภทเกษตรกรรม คือ วิธีการแยกส่วนประกอบ ส่วนประเภทธุรกิจวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม คือ วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลของโฮลต์-วินเทอร์ สำหรับงานวิจัยของพิพัฒน์ บารุงกาญจน์ และ สมชาติ จิรวิภากร [4] ศึกษาการพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าระยะปานกลางของผู้ใช้ไฟฟ้า 4 ประเภท คือ บ้านพักอาศัย กิจการขนาดเล็ก กิจการขนาดกลาง และกิจการขนาดใหญ่ โดยใช้วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing method) และวิธีบ็อก-เจนกินส์ (Box-Jenkins method) ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ประเภท คือ วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล ส่วนงาน

วิจัยอื่น เช่น งานวิจัยของยิ่งยง แสนเดช และคณะ [5] ศึกษาการวิเคราะห์อนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกุ้งสดแช่แข็งด้วยวิธีการ 5 วิธี คือ วิธีการทำให้เรียบเอกซ์โปเนนเชียลโฮสต์-วินเทอร์ วิธีแยกส่วนประกอบ วิธีบอก-เจนกินส์ รูปแบบทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน และการพยากรณ์ร่วม ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมเป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกุ้งสดแช่แข็ง

สำหรับการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ สามารถทำให้คาดการณ์ถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และนำค่าพยากรณ์ที่ได้นั้นมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจพยากรณ์ด้วยวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลด้วยวิธีของโฮสต์ และวิธีบอก-เจนกินส์ เนื่องจากเป็นวิธีการพยากรณ์ที่นิยมใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ เป็นวิธีการที่ศึกษาได้ง่ายและเหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้ม ผู้วิจัยมีความคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด จะเป็นสารสนเทศหนึ่งที่มีความสำคัญ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการวางแผน และการพัฒนาในการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอ กับความต้องการของปริมาณการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้

วิธีดำเนินการวิจัย

ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้มาจากการช่วยเหลือของหน่วยวิจัยพลังงานลม-แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 จำนวน 93 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ซึ่งประกอบด้วยชุดแรก คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 จำนวน 66 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 3 วิธี คือ วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลด้วยวิธีของโฮสต์ และวิธีบอก-เจนกินส์ และชุดที่สอง คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 จำนวน 27 ค่า สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี ด้วยเกณฑ์ของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ที่ต่ำที่สุด เมื่อได้วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมแล้ว จึงนำข้อมูลทั้งหมด 93 ค่า มาสร้างตัวแบบเพื่อนำไปพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ณ ที่นี้ ผู้วิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

การศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาเป็นการพิจารณาในเบื้องต้นว่าอนุกรมเวลา มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะใด มีส่วนประกอบของอนุกรมเวลาใดบ้าง (แนวโน้ม ฤดูกาล วัฏจักร หรือเหตุการณ์ที่ผิดปกติ) โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา [6, 7]

2. การพยากรณ์โดยวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วนเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่เน้นการแยกแต่ละส่วนประกอบของอนุกรมเวลาออกจากกัน แต่ละส่วนประกอบที่แยกออกมาได้จะพบลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาและนำไปสร้างสมการพยากรณ์ต่อไปได้ [6, 7] การพยากรณ์ระยะสั้นเป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่มีช่วงเวลาที่สั้นกว่า 1 ปี-2 ปี ส่วนประกอบของอนุกรมเวลาที่มีอิทธิพลต่อค่าพยากรณ์ระยะสั้น คือ

แนวโน้ม (Trend) และความผันแปรตามฤดูกาล (Seasonal) สำหรับความผันแปรตามวัฏจักร (Cyclical) และความผันแปรเนื่องจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติ (Irregular) จะไม่นิยมนำมาพิจารณา เนื่องจากไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาใด [7] ณ ที่นี้ เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา ปริมาณการใช้ไฟฟ้าประกอบด้วยแนวโน้มอย่างเดียว จึงไม่มีส่วนประกอบอื่น ดังนั้น ตัวแบบพยากรณ์ทั่วไปของวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\hat{Y} = T \quad (1)$$

เมื่อ \hat{Y} คือ ค่าพยากรณ์

T คือ แนวโน้ม

การหาความสัมพันธ์ระหว่างแนวโน้มกับเวลาที่เปลี่ยนไป ที่อยู่ในรูปเส้นตรง

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

เมื่อ \hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

m คือ จำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

a_t และ b_t คือ ค่าคงที่

$$a_t = \bar{Y} - b\bar{X} \quad b_t = \frac{\sum XY - n\bar{Y}\bar{X}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

3. การพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ (Holt)

วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นองค์ประกอบ โดยให้ความสำคัญแก่ข้อมูลแต่ละตัวไม่เท่ากัน จึงมีค่าคงที่สำหรับทำให้เรียบ 2 ค่า คือ α (Alpha) และ γ (Gamma) โดยที่ α คือ ค่าคงที่การทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์ และ $0 \leq \alpha \leq 1$ γ คือ ค่าคงที่การทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณของแนวโน้ม และ $0 \leq \gamma \leq 1$ ตัวแบบพยากรณ์ทั่วไปของการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

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

โดยที่ \hat{Y}_{t+m} คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t+m

a_t คือ ค่าประมาณของพารามิเตอร์ ซึ่ง $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(\alpha_{t-1} + b_{t-1})$

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

m คือ จำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ สรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าคงที่ที่ทำให้เรียบ 2 ค่า คือ α และ γ โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$ และ $0 \leq \gamma \leq 1$ โดยที่กำหนดค่า α และ γ ที่ทำให้ค่า (Sum Squared of Error: SSE) ต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าเริ่มต้น $a_0 = Y_1$ และ $b_0 = \frac{Y_n - Y_1}{n-1}$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า a_t และค่าความชัน b_t

$$\text{จาก } a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(\alpha_{t-1} + b_{t-1}) \text{ และ } b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$$

ขั้นตอนที่ 4 แทนค่า a_t และ b_t ในสมการที่ (3) เพื่อพยากรณ์ค่าของ m ช่วงเวลาข้างหน้า

4. การพยากรณ์โดยวิธีบอซ-เจนกินส์

สำหรับการพยากรณ์ระยะสั้น วิธีบอซ-เจนกินส์ เป็นวิธีการพยากรณ์ที่มีความถูกต้องสูงกว่าวิธีอื่นๆ [6] โดยมีตัวแบบพยากรณ์ทั่วไปของวิธีบอซ-เจนกินส์ คือ Autoregressive Integrated Moving Average of Order p , d and q แทนด้วยตัวย่อ คือ ARIMA (p , d , q) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้ [8, 9]

$$(1-B)^d \phi_p(B)Y_t = \delta + \theta_q(B)\varepsilon_t \quad (4)$$

เมื่อ Y_t คือ ข้อมูลอนุกรมเวลา

ε_t คือ อนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกัน ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา $t = 1, 2, \dots, n$

n คือ จำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลา

d คือ ลำดับที่ของการหาผลต่าง

B คือ ตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^d Y_t = Y_{t-d}$

$\delta = \mu \phi_p(B)$ คือ ค่าคงที่ โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่เสถียร

$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ คือ ตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ p (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p ; AR(p))

$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ คือ ตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ q (Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q ; MA(q))

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอซ-เจนกินส์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาอนุกรมเวลาเป็นเสถียรหรือไม่ (Stationary Time Series) หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา (Y_t, t) กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) หากพบว่าอนุกรมเวลาไม่เป็นเสถียร จะทำการแปลงอนุกรมเวลาใหม่ให้เป็นเสถียรก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดตัวแบบที่เป็นไปได้จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่เป็นเสถียร

ขั้นตอนที่ 3 ประมวลค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบและตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากตัวแบบครั้งละ 1 ตัว จากนั้นกำหนดตัวแบบใหม่และทำขั้นตอนนี้ซ้ำจนกว่าจะได้ตัวแบบที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 4 เลือกตัวแบบที่มีค่าเกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (Bayesian Information Criterion: BIC) ต่ำที่สุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของค่าประมาณความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ (e_t) มีการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระกัน โดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของ (e_t)

ขั้นตอนที่ 5 พยากรณ์ข้อมูลในอนาคต โดยใช้ตัวแบบที่ดีที่สุดจากขั้นตอนที่ 4

5. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี คือวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ และวิธีบอซ-เจนกินส์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย วิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MSE ต่ำที่สุด คือ วิธีที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับค่าพยากรณ์น้อยที่สุด ซึ่งสูตรของ MSE เป็นดังนี้

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \quad (5)$$

เมื่อ Y_t คือ ข้อมูลอนุกรมเวลา ณ เวลา t

\hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

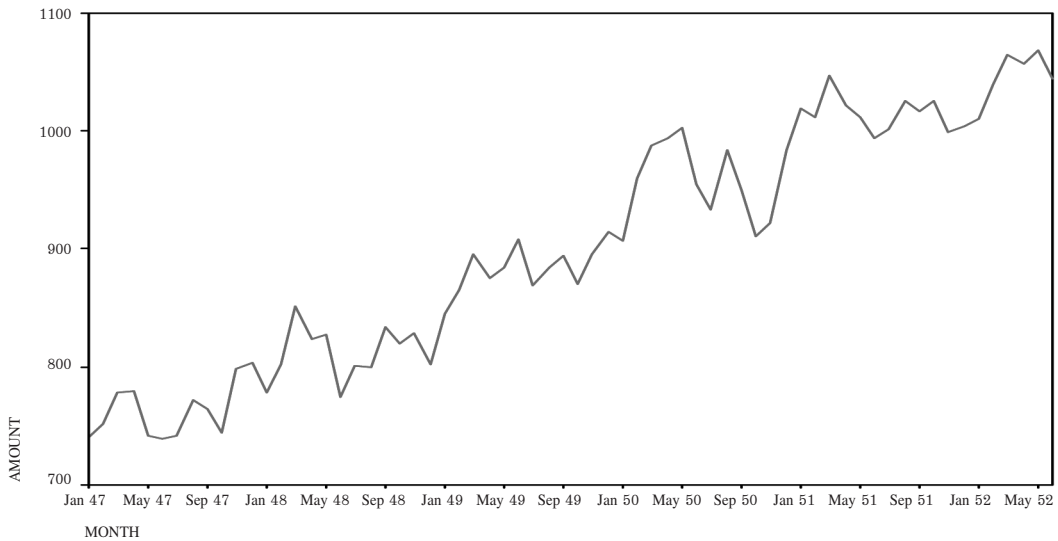
n คือ จำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลา

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ตามขั้นตอนของวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ผลการศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

ผลจากการพิจารณารูปลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ รายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 จำนวน 66 ค่า ดังรูปที่ 1 พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีเพียงแนวโน้มเท่านั้น



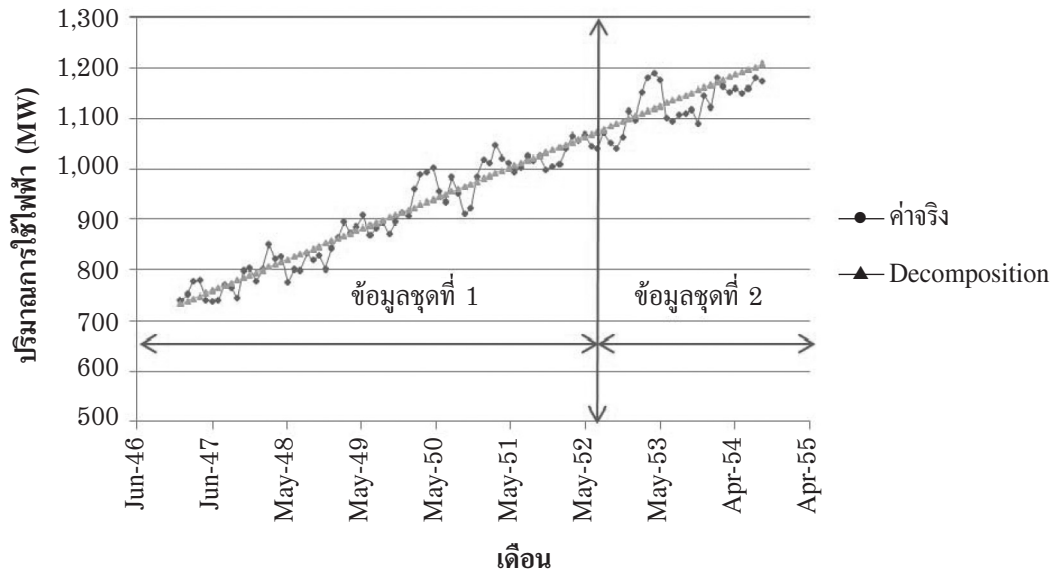
รูปที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้

2. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

ผลจากการพิจารณากราฟลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ รายเดือน พบว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นแนวโน้มเพียงอย่างเดียว ดังนั้นตัวแบบที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ $\hat{Y} = T$ และสร้างเส้นแนวโน้มด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จากการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ มีการแจกแจงปกติและความแปรปรวนคงที่ ได้ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ ดังสมการที่ 6 และกราฟการเปรียบเทียบค่าจริงกับการพยากรณ์ด้วยวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาดังรูปที่ 2

$$\hat{Y}_t = 728.101 + 5.153m \quad (6)$$

เมื่อ m คือ จำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปล่วงหน้า



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าระหว่างค่าจริงกับวิธี Decomposition

3. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์

พิจารณาเลือกค่า Alpha และ Gamma ตั้งแต่ 0-1 โดยการทดลองแปรค่า Alpha และ Gamma ให้เพิ่มขึ้นทีละ 0.10 แล้วเลือกค่า Alpha และ Gamma ที่ทำให้ SSE มีค่าต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าค่า Alpha = 0.8, Gamma = 0 ทำให้ค่า SSE ต่ำที่สุด คือ 44,867.32427

ตารางที่ 1 แสดงค่าของ Alpha Gamma และ SSE ของวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์

Alpha	Gamma	SSE
8000000	.0000000	44,867.32427
.7000000	.0000000	44,895.18456
.9000000	.0000000	45,308.99697
.6000000	.0000000	45,371.24781
.5000000	.0000000	46,258.52707
1.000000	.0000000	46,262.76977
.4000000	.0000000	47,437.28295
.3000000	.0000000	48,625.83429
.2000000	.0000000	49,462.95986
.1000000	.0000000	50,257.00387

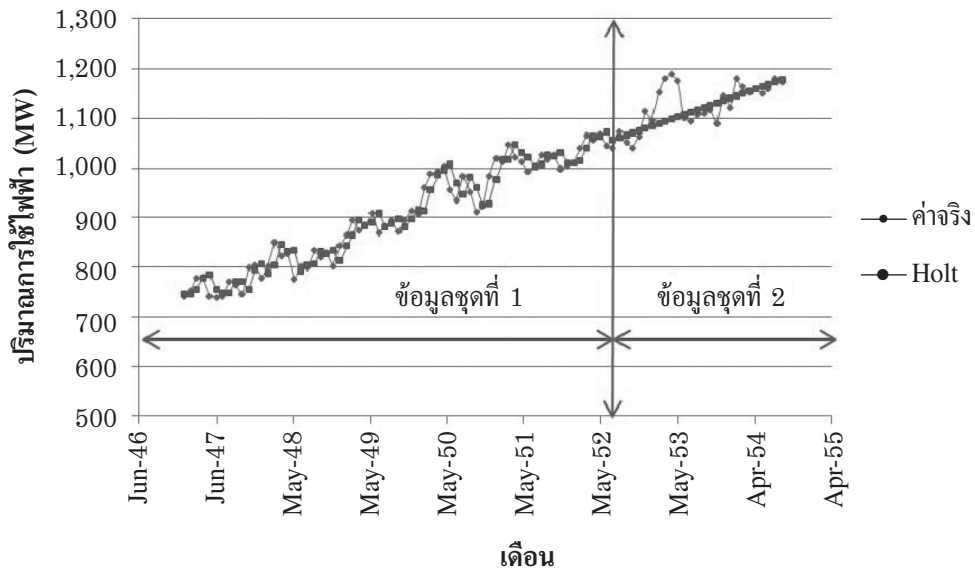
กำหนดค่าเริ่มต้น $a_0 = 740$ และ $b_0 = 4.69385$ ดังแสดงในรูปที่ 3

Results of EXSMOOTH procedure for Variable VAR00001			
MODEL= HOLT (Linear trend, no seasonality)			
Initial values:	Series	Trend	
	740.00000	4.69385	
DFE = 64.			
The SSE is:	Alpha	Gamma	SSE
	.8000000	.0000000	44,867.32427

รูปที่ 3 แสดงค่าเริ่มต้นของวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์

จากสมการที่ 3 ได้ตัวแบบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ ดังสมการที่ 7 และกราฟการเปรียบเทียบค่าจริงกับการพยากรณ์ด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ ดังรูปที่ 4

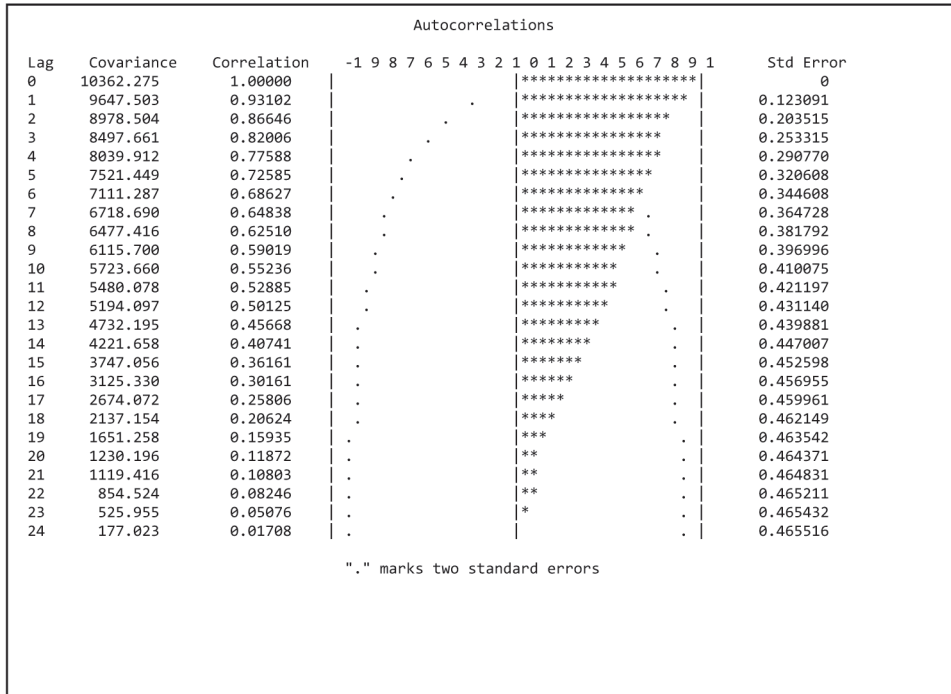
$$\hat{Y}_t = 1,050.52710 + 4.69385m \tag{7}$$



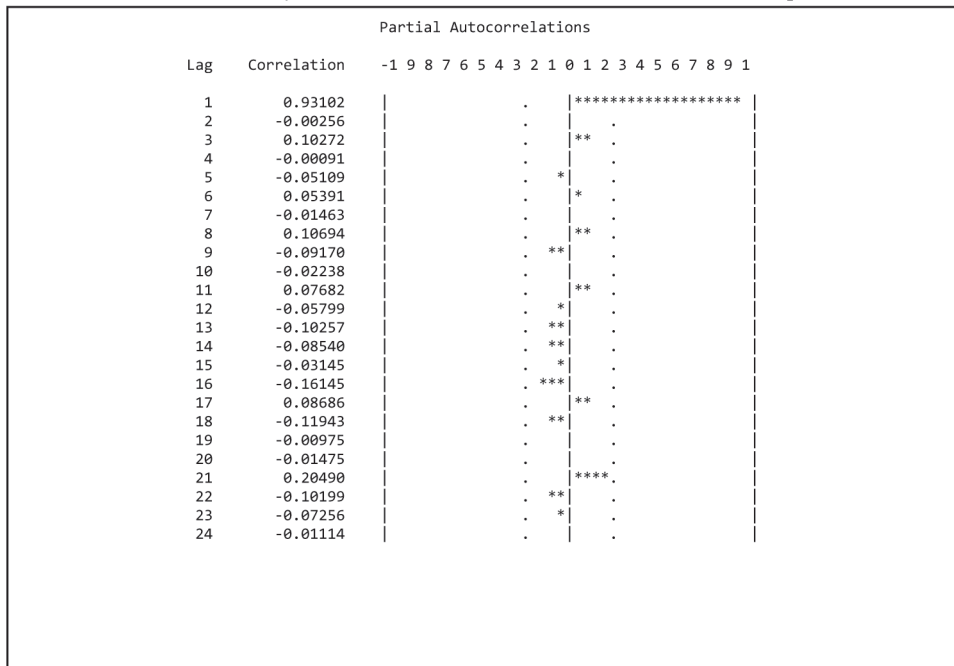
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าระหว่างค่าจริงกับวิธีของโฮลต์

4. ผลการพยากรณ์โดยวิธีบอซ-เจนกินส์

ผลจากการพิจารณากราฟลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ กราฟ ACF และ PACF ดังรูปที่ 1, 5-6 พบว่าอนุกรมเวลายังไม่เป็นสเตชันนารี โดยกราฟ ACF ในรูปที่ 5 มีลักษณะการเคลื่อนไหวที่ลดลงอย่างช้าๆ ขณะที่กราฟ PACF ในรูปที่ 6 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนสูงในช่วงเวลาแรก แล้วลดลง ดังนั้น ณ ที่นี้จึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดังรูปที่ 7-8



รูปที่ 5 กราฟ ACF ของอนุกรมเวลาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้



รูปที่ 6 กราฟ PACF ของอนุกรมเวลาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้

Lag	Covariance	Correlation	Autocorrelations																								Std Error
			-1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1				
0	711.396	1.00000	*****																								0
1	-94.462128	-.13278	.	***	.																			0.124035			
2	-119.693	-.16825	.	***	.																			0.126203			
3	-56.875003	-.07995	.	**	.																			0.129608			
4	-1.375893	-.00193	.	*	.																			0.130364			
5	-71.459118	-.10045	.	**	.																			0.130365			
6	-19.553793	-.02749	.	*	.																			0.131550			
7	-86.485630	-.12157	.	**	.																			0.131638			
8	24.880729	0.03497	.	*	.																			0.133354			
9	-22.858053	-.03213	.	*	.																			0.133496			
10	-56.446058	-.07935	.	**	.																			0.133614			
11	90.193797	0.12678	.	***	.																			0.134337			
12	113.857	0.16005	.	***	.																			0.136166			
13	48.944665	0.06880	.	*	.																			0.139030			
14	46.558737	0.06545	.	*	.																			0.139553			
15	2.206394	0.00310	.	.	.																			0.140024			
16	-100.987	-.14196	.	***	.																			0.140025			
17	-86.474907	-.12156	.	**	.																			0.142222			
18	75.383566	0.10597	.	**	.																			0.143811			
19	51.529553	0.07243	.	*	.																			0.145008			
20	-217.557	-.30582	.	****	.																			0.145563			
21	17.663926	0.02483	.	.	.																			0.155133			
22	-6.372394	-.00896	.	.	.																			0.155194			
23	47.184029	0.06633	.	*	.																			0.155202			
24	142.297	0.20002	.	****	.																			0.155638			

รูปที่ 7 กราฟ ACF ของอนุกรมเวลาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1

Lag	Correlation	Partial Autocorrelations																							
		-1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1			
1	-0.13278	.	***	.																					
2	-0.18922	.	****	.																					
3	-0.13898	.	***	.																					
4	-0.07605	.	**	.																					
5	-0.16765	.	***	.																					
6	-0.11659	.	**	.																					
7	-0.24138	.	****	.																					
8	-0.13328	.	***	.																					
9	-0.21210	.	****	.																					
10	-0.31404	.	*****	.																					
11	-0.16371	.	***	.																					
12	-0.09561	.	**	.																					
13	-0.03864	.	*	.																					
14	0.06307	.	.	*	.																				
15	0.10323	.	.	***	.																				
16	-0.00947																				
17	-0.07921	.	.	**	.																				
18	0.16355	.	.	***	.																				
19	0.26897	.	.	****	.																				
20	-0.12513	.	.	***	.																				
21	0.08315	.	.	**	.																				
22	-0.06388	.	.	*	.																				
23	-0.07672	.	.	**	.																				
24	0.16696	.	.	***	.																				

รูปที่ 8 กราฟ PACF ของอนุกรมเวลาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1

จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 แล้ว ดังรูปที่ 7-8 พบว่าอนุกรมเวลามีลักษณะเป็นสเตรชันนารี จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้ พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่า BIC ต่ำที่สุด และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ ตัวแบบ MA(20) ที่ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบพยากรณ์

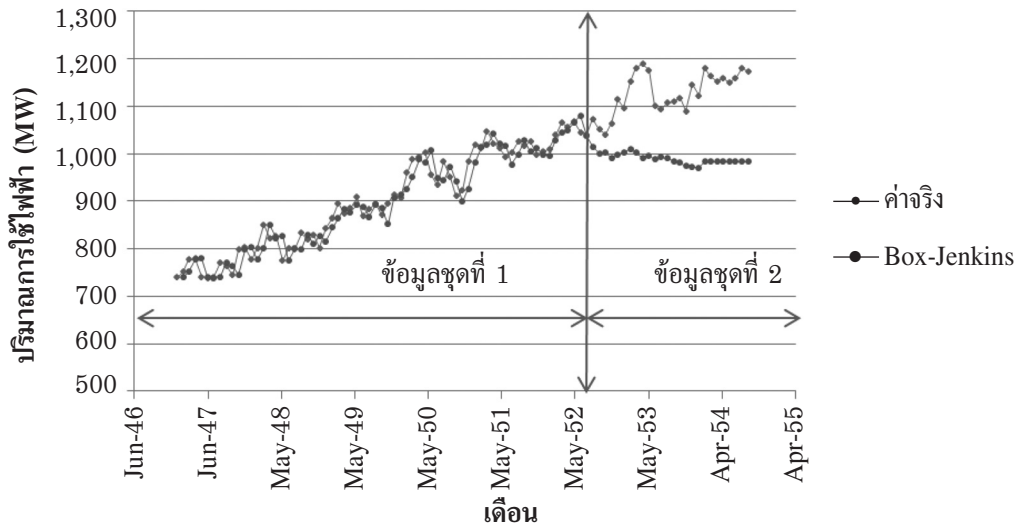
Estimated Parameters		ตัวแบบพยากรณ์					
		AR(2,7,10,19) MA(20)	AR(2,7,10) MA(20)	AR(2,7) MA(20)	AR(2) MA(20)	MA(20)	MA(20) no constant
Constant	Estimate	4.52471	4.53412	4.50262	4.44075	0.35375	-
	P-value	0.00450	0.00490	0.00820	0.02370	0.06220	
AR(2) ϕ_2	Estimate	-0.19676	-0.19439	-0.20726	0.18203	-	-
	P-value	0.00620	0.14250	0.11360	0.16100		
AR(7) ϕ_7	Estimate	-0.16782	-0.17364	-0.16518	-	-	-
	P-value	0.14170	0.18770	0.20670			
AR(10) ϕ_{10}	Estimate	-0.09931	-0.10094	-	-	-	-
	P-value	0.21800	0.44750				
AR(19) ϕ_{19}	Estimate	-0.03461	-	-	-	-	-
	P-value	0.82250					
MA(20) ϕ_{20}	Estimate	0.44631	0.43520	0.43090	0.42006	0.40765	0.36801
	P-value	0.00620	0.00560	0.00500	0.00490	0.00620	0.01390

ตารางที่ 3 ค่า BIC และค่าสถิติ Ljung-Box Q ของตัวแบบพยากรณ์

ตัวแบบพยากรณ์	BIC	Ljung-Box Q (at lag 24)	
		statistics	p-value
AR(2,7,10,19)MA(20)	623.4839	18.00	0.5225
AR(2,7,10)MA(20)	619.3622	18.54	0.5519
AR(2,7)MA(20)	615.8194	18.28	0.6309
AR(2)MA(20)	613.3520	24.07	0.3435
MA(20)	611.2488	21.72	0.5372
MA(20) no constant	610.6063	20.96	0.5838

จากสมการที่ 4 ได้ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ ดังสมการที่ 8 และกราฟการเปรียบเทียบค่าจริงกับการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ดังรูปที่ 9

$$\hat{Y}_t = Y_{t-1} + e_{t-1} - 0.3680111785e_{t-20} \tag{8}$$



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าระหว่างค่าจริงกับวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

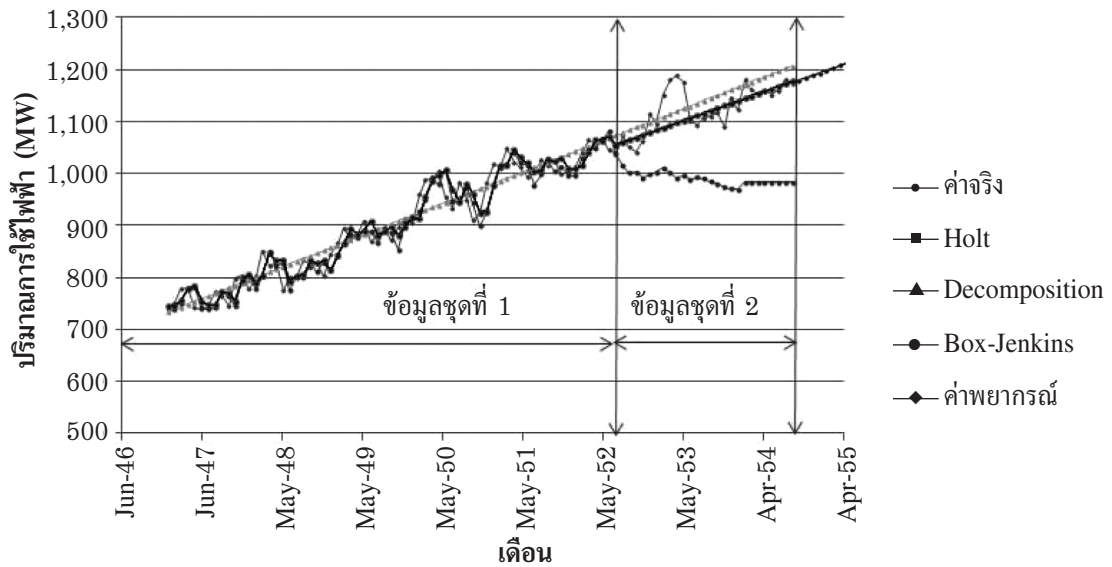
5. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพยากรณ์

จากการใช้ตัวแบบในสมการที่ 6, 7 และ 8 เพื่อพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 จำนวน 27 ค่า ได้ค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับค่าพยากรณ์ เพื่อดำเนินการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ในสมการที่ 5 แสดงดังตารางที่ 4 และกราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าพยากรณ์จาก 3 วิธี แสดงดังรูปที่ 10

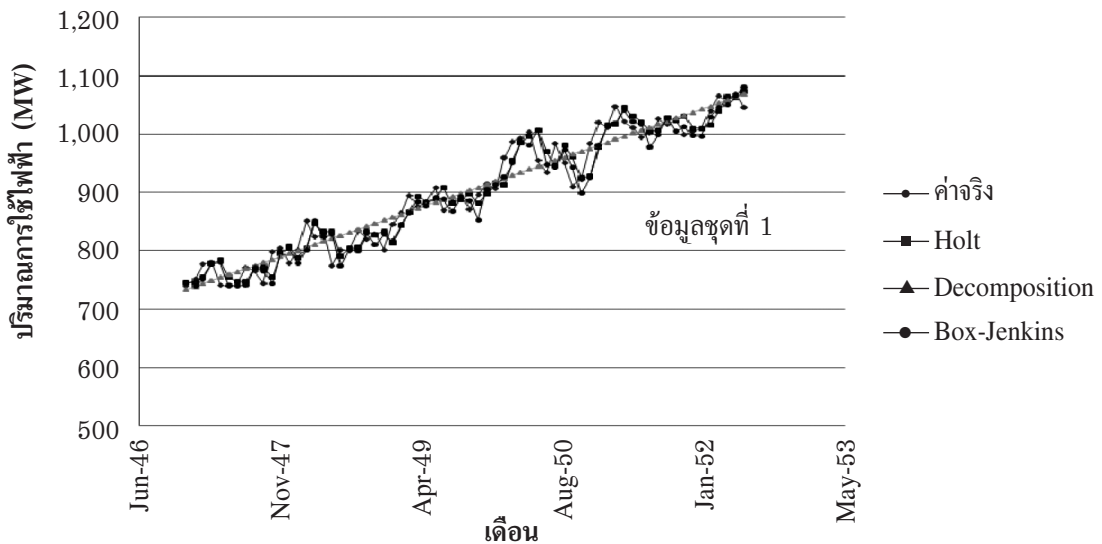
ตารางที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยจากตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้า 3 วิธี

	วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา	วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์	วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์
MSE	1,434.77	1,234.95	20,806.94

จากตารางที่ 4 พบว่า วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงกว่าวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับค่าพยากรณ์น้อยกว่า หรือมีค่า MSE ที่ต่ำกว่า

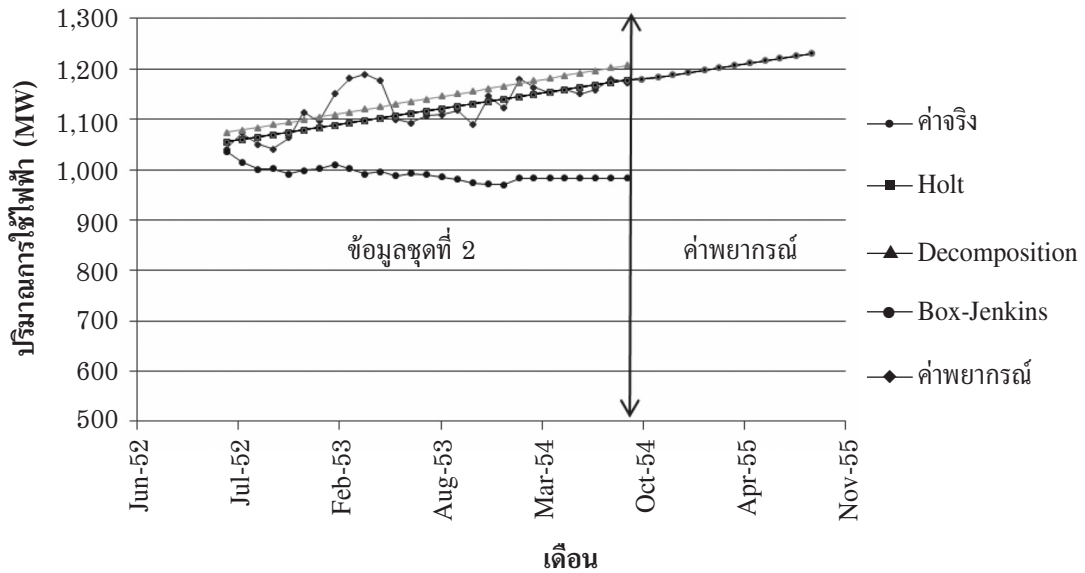


รูปที่ 10 การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าพยากรณ์จาก 3 วิธี



รูปที่ 10.1 การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าพยากรณ์จาก 3 วิธี ของข้อมูลชุดที่ 1

จากรูปที่ 10 เพื่อความชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้แบ่งกราฟออกเป็น 2 รูป คือ รูปที่ 10.1 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าพยากรณ์จาก 3 วิธี ของข้อมูลชุดที่ 1 ส่วนรูปที่ 10.2 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าพยากรณ์จาก 3 วิธี ของข้อมูลชุดที่ 2 และค่าพยากรณ์จากวิธีของโฮลต์ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้



รูปที่ 10.2 การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าพยากรณ์จาก 3 วิธี ของข้อมูลชุดที่ 2 และค่าพยากรณ์จากวิธีของโฮลต์

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ โดยการใช้การพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี ด้วยเกณฑ์ของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ที่ต่ำที่สุด พบว่าวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงกว่า วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ดังนั้น ตัวแบบจากวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ต่อไป โดยมีตัวแบบเพื่อพยากรณ์ คือ $\hat{Y} = 1,174.8512 + 4.70761 m$

ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากตัวแบบพยากรณ์ดังกล่าวจะเป็นสารสนเทศหนึ่งที่มีความสำคัญ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการวางแผนและการพัฒนาในการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอความต้องการของปริมาณการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ การวิจัยครั้งต่อไปควรสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในทุกเขตและทุกภาค รวมถึงควรประยุกต์ใช้วิธีการสร้างตัวแบบวิธีอื่นๆ เช่น โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks หรือ ANN) เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับวิธีที่นำเสนอในการวิจัยครั้งนี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยพลังงานลม-แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ช่วยประสานเรื่องข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาคใต้ สำหรับการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. คณะกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า. 2547. การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า. ได้จาก <http://www.eppo.go.th/load/load2004-jan04rev/index.html>. 3 พฤศจิกายน 2554.
2. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2554. การแบ่งพื้นที่รับผิดชอบแต่ละภาค. ได้จาก <http://www.pea.co.th>. 3 พฤศจิกายน 2554.
3. พรพรรณ ก้องโกวิท. 2551. พยากรณ์ปริมาณความต้องการไฟฟ้าในประเทศไทย. ได้จาก <http://dr.acc.chula.ac.th/handle/123456789/465>. 8 ธันวาคม 2554.
4. พิพัฒน์ บำรุงกาญจน์ และสมชาติ จิรวิภากร. 2549. การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าระยะปานกลางของ กฟน. โดยใช้วิธีเอกซ์โพเนนเชียลสมูทติ้ง และวิธีบ็อกเจนกินส์. *วิศวกรรมลาดกระบัง* 23 (4): 7-12.
5. ยิ่งยง แสนเดช นิดา ชาญบรรยง และ ประสิทธิ์ พยัคฆพงษ์. 2554. การศึกษาตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกุ้งสดแช่แข็ง. ได้จาก <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUjournal/rt/prINTERfriendly/2128/0>. 8 ธันวาคม 2554.
6. ทรงศิริ แต่สมบัติ. 2549. การพยากรณ์เชิงปริมาณ. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
7. สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. 2548. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา. มหาวิทยาลัยทักษิณ.
8. Bowerman, B. L., and O'Connell, R. T. 1993. *Forecasting and Time Series: An Applied Approach*. 3rd Edition. California. Duxbury Press.
9. Box, G. E. P., Jenkins G. M. and Reinsel, G. C. 1994. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 3rd Edition. New Jersey. Prentice Hall.

ได้รับบทความวันที่ 14 พฤษภาคม 2555
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 27 กรกฎาคม 2555

