



ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

Forecasting Model in Electricity Consumption in Thailand

กนกกาญจน์ ศรีสุรินทร์^{1*}, ศรันย์ ต้นวัฒนพงษ์¹, ธนาศักดิ์ ข่ายกระโทก² และอัจฉรา ชินนิมพานิชย์³

Kanokkarn Srisurin^{1*}, Sarun Tunwattanapong¹, Tanasak Kaykratok²

and Aschara Chinniyompanit³

¹ อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชธานี

¹ Lecturer, Faculty of Engineering, Ratchathani University.

² อาจารย์, คณะบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยราชธานี

² Lecturer, Faculty of Business Administration, Ratchathani University.

³ อาจารย์, คณะนิติศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชธานี

³ Lecturer, Faculty of Law, Ratchathani University.

*Corresponding author, E-mail: kanokkarn@rtu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีการแยกส่วนประกอบ วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ และวิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการพยากรณ์ด้วยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) โดยค่า MAPE ต่ำที่สุดจะบอกถึงรูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย รายเดือนเก็บจากรายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนตุลาคม 2564 ผลการวิจัย พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ของวินเทอร์ เป็นตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมต่อปี พ.ศ. 2565 เท่ากับ 194,887.04 กิกะวัตต์ชั่วโมง

คำสำคัญ: ปริมาณการใช้ไฟฟ้า, วิธีการแยกส่วนประกอบ, วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์, วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์, วิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์, ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

Abstract

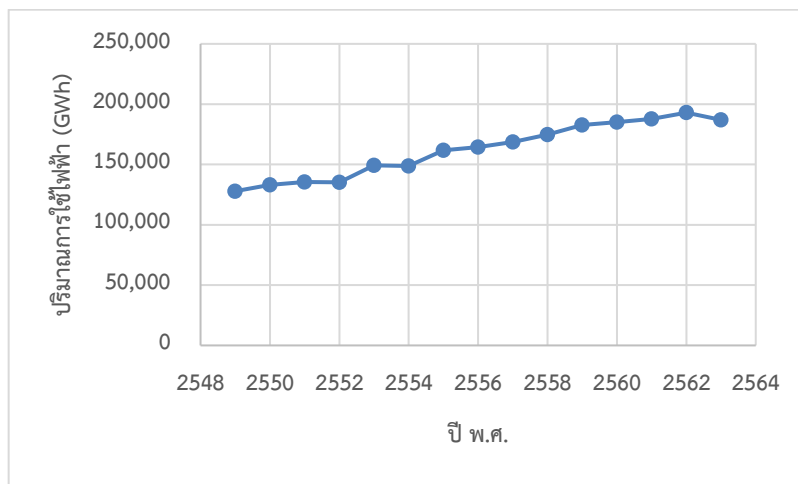
The purpose of this research was to construct the monthly Electricity Consumption forecasting model and to compare four methods of forecasting: Decomposition Method, Holt's forecast method, Winters' forecast method and Box-Jenkins' forecast method. The mean absolute percent error (MAPE) was used to determine the model accuracy while the smallest MAPE values indicate the optimal forecasting model. Data used to forecast the monthly Electricity Consumption are taken from Energy Statistics of Thailand, Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Thailand during December 2006 to October 2021. The result showed that Winters' forecast method was the most suitable method for this forecasting. The forecasting values of total Electricity Consumption in 2022 were 194,887.04 GWh.

Keywords: Electricity Consumption, Decomposition Method, Holt's forecast method, Winters' forecast method, Box-Jenkins' forecast method, mean absolute percent error

บทนำ

ไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิตประจำวันและเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ แต่เนื่องจากไฟฟ้าเป็นสิ่งไม่สามารถกักเก็บได้ ดังนั้นการไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในประเทศ ประกอบกับระบบไฟฟ้าของไทยมีการเชื่อมโยงกับประเทศเพื่อนบ้านเพียงเล็กน้อย หากเกิดการขาดแคลนไฟฟ้าในประเทศก็ไม่สามารถนำเข้าไฟฟ้าจากต่างประเทศได้อย่างเพียงพอ โดยในปี 2563 ประเทศไทยมีกำลังผลิตตามสัญญาในระบบไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 49,604 เมกะวัตต์ การผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ร้อยละ 55 ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบ 3 การไฟฟ้าอยู่ที่ 30,342 เมกะวัตต์ ลดลงจากปีก่อนร้อยละ 6.0 การใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 187,047 กิกะวัตต์ชั่วโมง ลดลงร้อยละ 3.1 เมื่อเทียบกับปีก่อนจากการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจในวงกว้าง (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2564)

การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนขยายกำลังการผลิตให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2563 แสดงดังภาพประกอบที่ 1 และตารางที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ.2563

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2564

ปี พ.ศ.	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย (GWh)
2549	127,879.29
2550	133,112.81
2551	135,520.29
2552	135,180.83
2553	149,301.13
2554	148,855.49
2555	161,778.98
2556	164,341.12
2557	168,685.39
2558	174,833.12
2559	182,847.43
2560	185,124.06
2561	187,831.91
2562	192,960.48
2563	187,046.57
2564	157,338
(ม.ค.-ต.ค.2564)	

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ได้แก่ นิชาวีร์ ภาโสกะ, ธัญชนิต แก้วแป้น, และวรกานต์ สีนุการ (2564) ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ ในการพยากรณ์การจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง สำหรับการใช้ไฟฟ้าของส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร ใช้วิธีการพยากรณ์เดียว 3 วิธี ได้แก่ วิธีการถดถอยแบบอนุกรมเวลา (TSR) วิธีการปรับให้เรียบแบบเลขชี้กำลัง (FS) และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ พร้อมทั้งวิธีการพยากรณ์ร่วมโดยหาตัวถ่วงน้ำหนักจาก 3 วิธี ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเท่ากัน (EWAM) วิธีส่วนกลับของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSEM) และวิธีส่วนกลับของค่าพยากรณ์ผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RPESM) ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์ร่วมโดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเท่ากัน (EWAM) จะให้ค่าพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด

พัชรพร งามเจริญสุขถาวร (2561) ศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย กิจการขนาดเล็ก กิจการขนาดกลาง และกิจการขนาดใหญ่ ด้วยวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลา 2 วิธี และวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ 5 วิธี ผลการศึกษาพบว่า ผลการพยากรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย และกิจการขนาดเล็ก วิธีการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง วิธีปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์แบบคูณ แตกต่างจากวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่ วิธีปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์แบบคูณ วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน วิธีระบบผสมของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน และวิธีระบบผสมของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและโครงข่ายประสาทเทียม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ศศิประภา ตาลยงค์ (2560) ศึกษาและเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยใช้ตัวแบบวินเทอร์ ตัวแบบอาร์มา และตัวแบบวินเทอร์ที่มีความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแบบอาร์มา เพื่อหาตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ผลการวิจัยพบว่าตัวแบบอาร์มาเป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด

เฉลิมชาติ ธีระวิริยะ (2560) ศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ สำหรับการพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในจังหวัดนครพนม โดยใช้ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจังหวัดนครพนม เปรียบเทียบหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เกณฑ์พิจารณาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) ที่ต่ำที่สุด ใช้วิธีการพยากรณ์ 6 วิธี คือ 1) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 2) วิธีแนวโน้มเชิงเส้น 3) วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย 4) วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์ 5) วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบวินเทอร์ 6) วิธีแยกส่วนประกอบ ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุดคือการพยากรณ์โดยวิธีแยกส่วนประกอบ

นิดา แก้วหาวงษ์ (2558) ศึกษาและเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลา 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบ SARIMA และตัวแบบการถดถอยที่มีความคลาดเคลื่อนแบบตัวแบบ ARMA เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

(MAPE) จากการศึกษาพบว่าตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย คือตัวแบบการถดถอยที่มีความคลาดเคลื่อนแบบตัวแบบ ARMA(2,(6,20))

ปริดาภรณ์ กาญจนสำราญวงศ์ และสุทธารัตน์ ทองรอง (2555) ศึกษาตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาคใต้ ด้วยวิธีการสร้างตัวแบบทางสถิติของปริมาณการใช้ไฟฟ้า 3 วิธี คือ วิธีการแยกตัวประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีการของโฮลต์ และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้ง 3 วิธี ด้วยเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) ที่ต่ำที่สุด พบว่าตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีการของโฮลต์ เป็นตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนรายเดือนของประเทศไทย ปี พ.ศ.2565 เก็บข้อมูลจาก รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ 4 วิธี คือ วิธีแยกส่วนประกอบ วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ และวิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ ตรวจสอบความแม่นยำด้วยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนขยายกำลังการผลิตให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ทางสถิติ 4 วิธี คือ วิธีแยกส่วนประกอบ (Decomposition method) วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ (Holt's forecast method) วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ (Winters' forecast method) และวิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins' forecast method)
2. เพื่อพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยล่วงหน้า ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึงธันวาคม 2565

วิธีดำเนินการวิจัย

การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือน มีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ เป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ.2549-2563 จากรายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ประเทศไทย ซึ่งสืบค้นทางอินเทอร์เน็ต แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ใช้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ เป็นข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนรายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2563 ระยะเวลา 15 ปี และข้อมูลชุดที่ 2 เป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเดือนมกราคม ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ใช้เป็นข้อมูลทดสอบผลการพยากรณ์ของตัวแบบพยากรณ์แต่ละตัวแบบที่สร้างขึ้นจากข้อมูลชุดที่ 1

2. การศึกษาความเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

เป็นการศึกษาความเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา เป็นการพิจารณาเบื้องต้นว่าอนุกรมเวลาที่ศึกษานั้นมีลักษณะเป็นแบบใด โดยพิจารณาจากกราฟ (t, Y_t)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel และ SPSS for Windows ใช้วิธีการพยากรณ์ทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีแยกส่วนประกอบ (Decomposition method) วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ (Holt's forecast method) วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ (Winter's forecast method) และวิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins' forecast method) และเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทั้ง 4 วิธี โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

3.1 วิธีแยกส่วนประกอบ (Decomposition method)

วิธีแยกส่วนประกอบ เป็นวิธีการพยากรณ์ที่สามารถแยกอนุกรมเวลาออกเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ คือ แนวโน้ม (Trend) ฤดูกาล (Season) วัฏจักร (Cycle) และเหตุการณ์ผิดปกติ (Irregular) ซึ่งตัวแบบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้อยู่ในรูปแบบเชิงคูณ (Abraham and Ledolter, 1983) คือ

$$Y_t(\tau) = (\mu_t + \beta_t t) S_t C_t \varepsilon_t \quad (1)$$

ค่าพยากรณ์ τ หน่วยเวลาล่วงหน้าที่พยากรณ์ ณ เวลา t คือ

$$\hat{Y}_t(\tau) = (\hat{\mu}_t + \tau \hat{\beta}_t) \hat{S}_t \hat{C}_t \quad (2)$$

โดยที่พารามิเตอร์ μ_t, β_t, S_t, C_t แทน ค่าคงที่ ความชัน ส่วนประกอบฤดูกาล และวัฏจักรตามลำดับ

ตัวแปรสุ่ม $\varepsilon_t, t = 1, 2, 3, \dots, t$ แทน ความคลาดเคลื่อนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ไม่มีสหสัมพันธ์ และความแปรปรวนคงที่

3.2 วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ (Holt's forecast method)

วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ เป็นวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล เหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นองค์ประกอบ โดยให้ความสำคัญแก่ข้อมูลแต่ละตัวไม่เท่ากัน จึงมีค่าคงที่สำหรับทำให้เรียบ 2 ค่า คือ α และ γ โดยที่ α คือค่าคงที่การทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์ และ $0 < \alpha < 1$ และ γ คือค่าคงที่การทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณของแนวโน้ม และ $0 < \gamma < 1$ ตัวแบบพยากรณ์ทั่วไปของการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลของโฮลต์ ดังนี้

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

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

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

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

m คือ จำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

3.3 วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ (Winters' forecast method)

วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ เป็นวิธีวิเคราะห์หอนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวทั้งจากแนวโน้มและส่วนประกอบฤดูกาล หลักการ คือ ต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าปรับน้ำหนักซึ่งจะมีค่าปรับน้ำหนัก 3 ค่า ได้แก่ α เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าแนวโน้ม γ เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับความชัน และ δ เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับฤดูกาล ตัวแบบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นตัวแบบเชิงบวก ซึ่งใช้ในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภายในฤดูกาลไม่ได้พึ่งพิงต่อแนวโน้มของข้อมูล (Bowerman and O'Connell, 1993) ดังนี้

$$Y_t(\tau) = \mu_t + \beta_t t + S_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

ค่าพยากรณ์ τ หน่วยเวลาล่วงหน้าที่พยากรณ์ ณ เวลา t คือ

$$\hat{Y}_t(\tau) = \hat{\mu}_t + \hat{\beta}_t + \hat{S}_{t-m+\tau} \quad (5)$$

ซึ่ง

$$\hat{\mu}_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-m}) + (1 - \alpha)(\hat{\mu}_{t-1} + \hat{\beta}_{t-1}) \quad (6)$$

$$\hat{\beta}_t = \gamma(\hat{\mu}_t - \hat{\mu}_{t-1}) + (1 - \gamma)\hat{\beta}_{t-1} \quad (7)$$

$$\hat{S}_t = \delta(Y - \hat{\mu}_t) + (1 - \delta)\hat{S}_{t-m} \quad (8)$$

โดยที่พารามิเตอร์ μ_t, β_t, S_t แทน ค่าคงที่ ความชัน และ ส่วนประกอบฤดูกาลตามลำดับ

ตัวแปรสุ่ม $\varepsilon_t, t = 1, 2, 3, \dots, t$ แทน ความคลาดเคลื่อนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ไม่มีสหสัมพันธ์ และความแปรปรวนคงที่

m แทนความยาวของคาบฤดูกาล เช่น $m = 12$ สำหรับอนุกรมเวลารายเดือน หรือ $m = 4$ สำหรับอนุกรมเวลารายไตรมาส

3.4 วิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins' forecast method)

วิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ จะหาตัวแบบอนุกรมเวลาโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง Y ที่ตำแหน่งเวลาหรือคาบเวลา (Y_t) และ Y_t ที่ตำแหน่งเวลาหรือคาบเวลาต่าง ๆ ที่ผ่านมา ($Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots$) เมื่อได้ตัวแบบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y_t กับ $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots$ จะใช้ตัวแบบนี้ในการพยากรณ์ $Y_{t+1}, Y_{t+2}, \dots$ ในอนาคต (Box, Jenkins and Reinsel, 1994)

วิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ มีขั้นตอนดังนี้

1) การตรวจสอบข้อมูล เพื่อพิจารณาว่าอนุกรมเวลาอยู่ภายใต้ภาวะคงที่หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลา หรือพิจารณาจากกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) ของอนุกรมเวลา $\{Y_t\}$

2) สร้างอนุกรมเวลาชุดใหม่ เมื่ออนุกรมเวลาอยู่ภายใต้ภาวะไม่คงที่ ต้องทำให้อนุกรมเวลาอยู่ในภาวะคงที่ ซึ่งข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนรายอยู่ในภาวะไม่คงที่เนื่องจากอนุกรมของฤดูกาล จึงต้องแปลงให้เป็นอนุกรมเวลาชุดใหม่ $\{W_t\}$ โดยการหาผลต่างของฤดูกาล

3) สร้างกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลา $\{W_t\}$ เพื่อพิจารณาว่าอนุกรมเวลาชุดใหม่อยู่ในภาวะคงที่หรือไม่

4) การกำหนดตัวแบบ เป็นการหาตัวแบบอนุกรมเวลาที่คาดว่าจะเหมาะสมกับอนุกรมเวลา โดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF

5) การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบไม่มีเงื่อนไข

6) การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบอนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ ที่ศึกษาในครั้งนี้เป็นอนุกรมเวลาตัวแบบเชิงคูณของอนุกรมเวลาที่มีฤดูกาล ARIMA (p,d,q) (P,D,Q)_s มีตัวแบบคือ

$$\phi_p(B)\phi_p(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D Y_t = K + \theta_q(B)\theta_q(B^S)\varepsilon_t \quad (9)$$

โดยที่

$$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_1 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad (10)$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_1 B^2 - \dots - \theta_p B^p \quad (11)$$

$$\phi_p(B^S) = 1 - \phi_S B^S - \phi_{2S} B^{2S} - \dots - \phi_{pS} B^{pS} \quad (12)$$

$$\theta_q(B^S) = 1 - \theta_S B^S - \theta_{2S} B^{2S} - \dots - \theta_{QS} B^{QS} \quad (13)$$

เมื่อ

$\phi_1 \dots \phi_p$ คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย

$\theta_1 \dots \theta_q$ คือ สัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

$\Phi_S \dots \Phi_{PS}$ คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยฤดูกาล

$\Theta_S \dots \Theta_{PS}$ คือ สัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ฤดูกาล

K คือ ค่าคงที่

B คือ ตัวดำเนินการถดถอยหลังเวลา นั่นคือ $B^m Y_t = Y_{t-m}$

d คือ จำนวนครั้งของการทำผลต่างเพื่อให้อนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ เป็นอนุกรมเวลาอยู่ในสถานะคงที่

D คือ จำนวนครั้งของการทำผลต่างฤดูกาล

p คือ อันดับของตัวแบบการถดถอย

q คือ อันดับของตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

P คือ อันดับของตัวแบบการถดถอยฤดูกาล

Q คือ อันดับของตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ฤดูกาล

S คือ ความยาวของคาบฤดูกาล

ε_t คือ ตัวแบบสุ่มอิสระและมีการแจกแจงแบบปกติซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่เท่ากับ σ_ε^2 เรียก ε_t ว่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม หรือกระตุกสุ่ม (Random Shocks)

3.5 การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ใช้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี โดยจะพิจารณาเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการพยากรณ์จากค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด (Bowerman and O'Connell, 1993)

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \quad (14)$$

โดยที่ Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

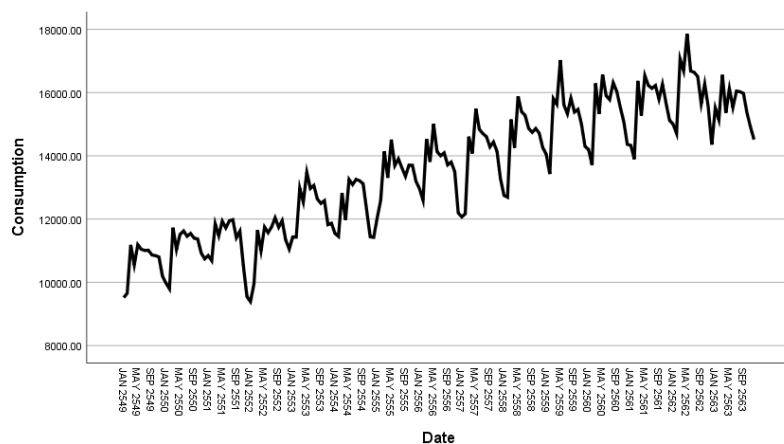
$\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทย ตามขั้นตอน ดังนี้

1. ผลการศึกษาความเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2563 ระยะเวลา 15 ปี จำนวน 180 ค่า โดยการพิจารณาจากกราฟ (t, Y_t) พบว่า การเคลื่อนไหวของปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป โดยมีลักษณะเป็นแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาล ดังภาพประกอบที่ 2



ภาพประกอบที่ 2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2563 (GWh)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทย ปี พ.ศ.2563 โดยวิธีการทางสถิติ ทั้ง 4 วิธี และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) แสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทย เดือนมกราคมถึงตุลาคม พ.ศ.2564

เดือน	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง	ค่าพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยวิธี (GWh)			
		แยกส่วนประกอบ	วิธีของไฮลด์	วินเทอร์ ตัวแบบเชิงบวก	บอกซ์-เจนกินส์
ม.ค.	13,591.00	15,350.74	14,738.86	14,566.29	14,746.51
ก.พ.	12,356.00	14,937.40	14,773.31	14,453.07	14,343.48
มี.ค.	16,893.00	17,291.76	14,807.75	16,373.92	16,390.83
เม.ย.	16,139.00	16,448.84	14,842.20	15,679.92	15,542.27
พ.ค.	17,254.00	17,832.63	14,876.64	16,733.02	16,628.75
มิ.ย.	16,975.00	16,880.13	14,911.09	16,192.25	15,890.70
ก.ค.	15,783.00	16,896.40	14,945.53	16,211.47	16,007.67
ส.ค.	15,958.00	16,959.34	14,979.97	16,225.66	16,045.58
ก.ย.	15,747.00	16,560.66	15,014.42	15,921.99	15,686.00
ต.ค.	16,282.00	16,586.32	15,048.86	15,949.17	15,654.97
MAPE		6.93	10.89	5.03	5.28

1) วิธีแยกส่วนประกอบ (Decomposition method)

การพยากรณ์การใช้ไฟฟ้ารายเดือนโดยวิธีการแยกส่วนประกอบ มีค่าพยากรณ์ตามสมการ คือ $Y_t = (\mu_t + \beta_t t) S_t C_t \varepsilon_t$ ผลการพยากรณ์ ดังตารางที่ 2

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) เท่ากับ 6.93

2) วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ (Holt's forecast method)

จากการศึกษาการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา พบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนแสดงให้เห็นถึงแนวโน้ม ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ มีค่าพยากรณ์ตามสมการ $\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t m$ มีค่า $\alpha = 0.700$ ค่า $\gamma = 0.000$ ผลการพยากรณ์ ดังตารางที่ 2

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) เท่ากับ 10.89

3) วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ (Winter's forecast method)

จากการศึกษาการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา พบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนแสดงให้เห็นถึงแนวโน้ม ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ ใช้ตัวแบบเชิงบวก มีค่าพยากรณ์ตามสมการ $\hat{Y}_t = \hat{\mu}_t + \hat{\beta}_t + \hat{S}_{t-m+\tau}$ มีค่า $\alpha = 0.706$ ค่า $\gamma = 0.000$ และ $\delta = 0.000$ ผลการพยากรณ์ ดังตารางที่ 2

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) เท่ากับ 5.03

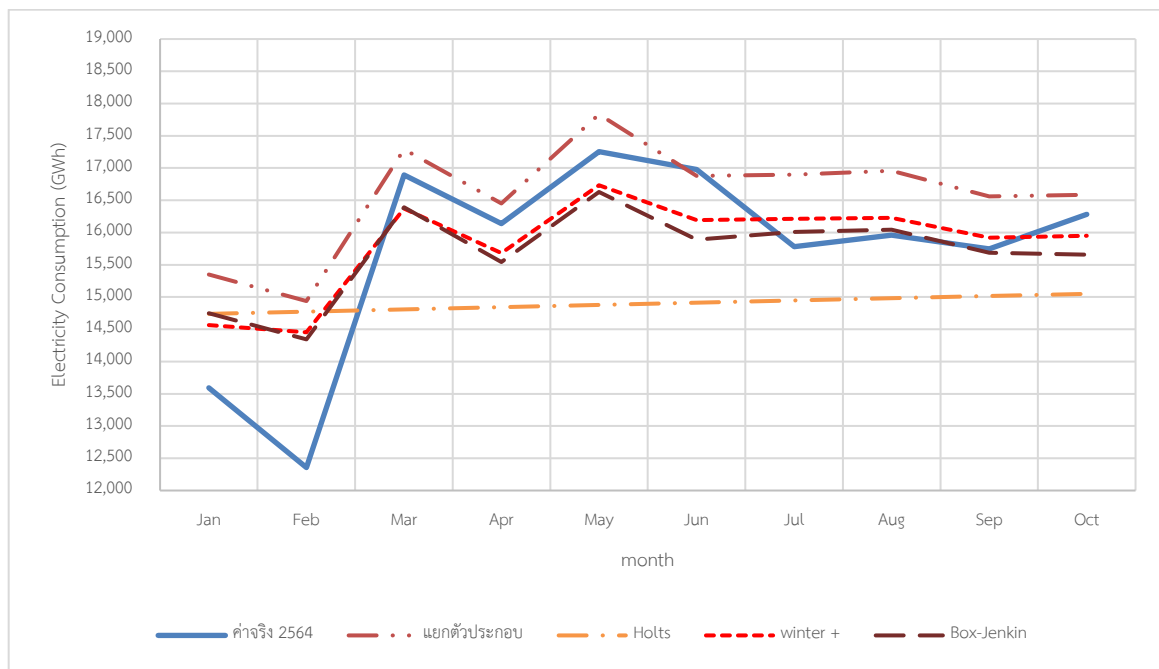
4) วิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins' forecast method)

การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยวิธีการของบ็อกซ์-เจนกินส์ ดำเนินการตามขั้นตอน โดยกำหนดตัวแบบจากกราฟ ACF และ PACF นำไปใช้หาตัวแบบ ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s ได้ตัวแบบที่เหมาะสม คือ ARIMA(0,1,2)(0,1,1)₁₂ ผลการพยากรณ์ ดังตารางที่ 2

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) เท่ากับ 5.28

จากการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 4 วิธี พบว่า ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีแยกส่วนประกอบ วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ ตัวแบบเชิงบวก และวิธีการของบ็อกซ์-เจนกินส์ ให้ค่า MAPE เป็นร้อยละ 6.93, 10.89, 5.03 และ 5.28 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยวิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ ตัวแบบเชิงบวก ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด ดังนั้นในการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทยล่วงหน้า พ.ศ.2565 จะเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ ตัวแบบเชิงบวก

จากตารางที่ 2 เมื่อเรียงลำดับวิธีการที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือน จากวิธีการที่เหมาะสมมากไปหาน้อย คือ วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ ตัวแบบเชิงบวก วิธีการของบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ และวิธีแยกส่วนประกอบ ตามลำดับ การแสดงค่าจริงและค่าพยากรณ์ จากวิธีการพยากรณ์ทั้ง 4 วิธี ดังภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 ค่าจริงและค่าพยากรณ์ ปริมาณใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทย เดือนมกราคมถึง ตุลาคม พ.ศ. 2564

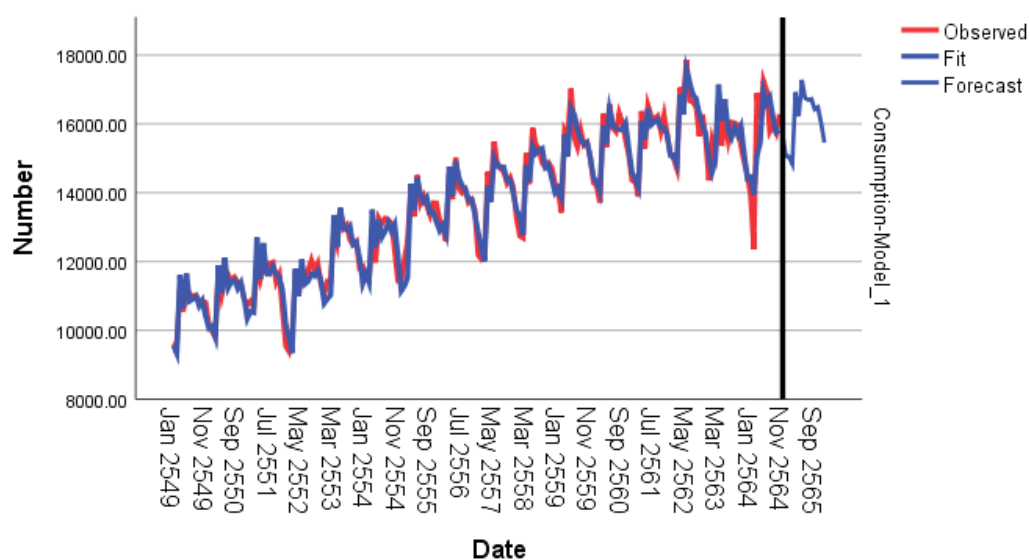
2. การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนล่วงหน้า ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง ธันวาคม 2565

การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึงธันวาคม 2565 จะเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ ตัวแบบเชิงบวก ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด โดยนำข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนตุลาคม 2564 มาใช้ในการพยากรณ์

ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทยล่วงหน้า พ.ศ.2565 โดยวิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ ตัวแบบเชิงบวก ได้ค่า $\alpha = 0.706$ ค่า $\gamma = 0.000$ และ $\delta = 0.000$ ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2565 มีผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมต่อปีเป็น 194,887.04 กิกะวัตต์ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 3 และกราฟแสดงผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทยล่วงหน้า ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึงธันวาคม 2565 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4

ตารางที่ 3 ค่าพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยล่วงหน้าเดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึงธันวาคม 2565

เดือน/ปี	ค่าพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือน (GWh)	
	พ.ศ.2564	พ.ศ.2565
ม.ค.		15,042.45
ก.พ.		14,836.54
มี.ค.		16,920.84
เม.ย.		16,223.03
พ.ค.		17,279.93
มิ.ย.		16,755.46
ก.ค.		16,698.91
ส.ค.		16,723.10
ก.ย.		16,425.15
ต.ค.		16,484.01
พ.ย.	15,648.62	16,039.52
ธ.ค.	15,067.20	15,458.10
รวม	-	194,887.04



ภาพประกอบที่ 4 การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทยล่วงหน้า ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึงธันวาคม 2565

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนรายเดือนของประเทศ ไทย โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนรายเดือน พ.ศ.2549 ถึง พ.ศ.2563 เปรียบเทียบ ผลพยากรณ์ของปี พ.ศ. 2564 ด้วยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) พบว่า วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ ตัวแบบเชิงบวก ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 5.03 ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ ตัวแบบเชิงบวก จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณการใช้ ไฟฟ้ารายเดือนรายเดือนมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการของบอช-เจนกินส์ วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ และ วิธีแยกส่วนประกอบ ตามลำดับ

ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง ธันวาคม 2565 โดยวิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ตัวแบบเชิงบวก พบว่า ในเดือนพฤศจิกายน และธันวาคม พ.ศ. 2564 มีผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็น 15,648.62 และ 15,067.20 กิกะวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ และปี พ.ศ. 2565 มีผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมต่อปีเป็น 194,887.04 กิกะวัตต์ ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพประกอบที่ 4 โดยปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยยังคงมี แนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และยังคงมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนสิงหาคม จะ ยังคงเป็นช่วงเวลาที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานสถิติพลังงาน ของประเทศไทย พ.ศ.2564 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2564) ซึ่งได้เก็บ สถิติความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้ไฟฟ้าในปี 2563 อยู่ที่ระดับ 187,047 กิกะวัตต์ชั่วโมง ลดลงร้อยละ 3.1 เมื่อเทียบกับ ปีก่อน จากการแพร่ระบาดของโรค COVID-19 ตั้งแต่ปลายปี 2562 และสอดคล้องกับรายงานสถานการณ์ การใช้น้ำมันและไฟฟ้าของไทย ปี 2564 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2564) การใช้ไฟฟ้าในระบบ 3 การไฟฟ้าของปี 2564 การใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 190,468 GWh เพิ่มขึ้น 1.8% เมื่อเทียบ จากปีก่อน ส่วนหนึ่งได้รับแรงสนับสนุนจากการใช้ในสาขาอุตสาหกรรมที่ปรับตัวสูงขึ้นจากสัญญาณฟื้นตัว ของเศรษฐกิจประเทศคู่ค้า และการส่งออกสินค้าที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ต้นปี ประกอบกับมาตรการ เปิดประเทศรับนักท่องเที่ยวของภาครัฐ อีกทั้งการใช้ในสาขาครัวเรือนสูงขึ้นจากสถานการณ์การแพร่ ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ที่ขยายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงไตรมาสที่ 2 และ 3 ของปี รวมถึงสัญญาณการ แพร่ระบาดของโควิด-19 สายพันธุ์โอมิครอนระลอกใหม่ช่วงปลายปีที่เริ่มกระจายการแพร่ระบาดอย่าง รวดเร็วในหลายจังหวัด

ข้อเสนอแนะ

1. การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือน ใช้เทคนิคการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา มีเทคนิคหลายเทคนิค ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ 4 เทคนิค คือ วิธีแยกส่วนประกอบ วิธีการพยากรณ์ของโฮลต์ วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ และวิธีการพยากรณ์ของบอซ-เจนกินส์ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากและง่ายต่อความเข้าใจ อย่างไรก็ตาม ควรใช้วิธีการพยากรณ์ที่ต่างจากงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบหารูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม มีค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ที่น้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น

2. การพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีการนำปัจจัยอื่น ๆ ที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์มาคิดร่วมด้วย จะทำให้มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าการใช้ตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์เพียงตัวเดียว ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป ควรพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ในการศึกษาตัวแบบพยากรณ์ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กรินทร์ กาญจนานนท์. (2561). *การพยากรณ์ทางสถิติ*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- กัลยา วณิชย์บัญชา และฐิตา วณิชย์บัญชา. (2563). *การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล*. (พิมพ์ครั้งที่ 32). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สามลดา.
- นิชา แก้วหาวงษ์. (2558). การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยโดยใช้ตัวแบบ SARIMA และตัวแบบการถดถอยที่มีความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแบบ ARMA. *Thai Journal of Science and Technology*, 4(1), 24-36.
- นิชาวีร์ ภาโสภะ, ธัญชนิต แก้วแป้น, และวรกานต์ สีนอุปการ. (2564). การพยากรณ์การจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4*. 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.
- ปรีดาภรณ์ กาญจนสำราญวงศ์ และสุพาร์ทน์ ทองรอง. (2555). ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาคใต้. *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว*, 28(2), 14-29.
- พัชรพร งามเจริญสุขถาวร. (2561). *การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยด้วยวิธีอนุกรมเวลาและวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ.
- ศศิประภา ตาลยงค์. (2560). *การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยโดยใช้ตัวแบบวินเทอร์ ตัวแบบอาร์มา และตัวแบบวินเทอร์ที่มีความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแบบอาร์มา*. สารนิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ.



- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.(2564). รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย, สืบค้นจาก <http://www.eppo.go.th/index.php/th/information/services/ct-menu-item-56>
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.(2564). สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้าของปี 2564, สืบค้นจาก [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-oil-electric?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-oil-electric?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)
- เฉลิมชาติ อีระวิริยะ. (2560). การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับความต้องการใช้ไฟฟ้าในจังหวัด นครพนม. *Naresuan University Journal: Science and Technology* 2017, 25(4), 124-137
- Abraham, B., and Ledolter, J. (1983). *Statistical Method for Forecasting.*, John Wiley & Sons, New York, 445p.
- Bowerman, B.L., and O'Connell R.T. (1993). *Forecasting and Time Series: An Applied Approach.*, Duxbury Press, Belmont, 726p.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., & Reinsel G.C. (1994). *Time Series Analysis: Forecasting and Control.*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 598p