

การเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์สำหรับปริมาณการปล่อยก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการผลิตไฟฟ้า
A Comparison of Forecasting Models for Carbon Dioxide Emission
Quantity from Power Generation Sector

ยุทธชัย มิ่งขวัญ^{1*}

Yutthachai Mingkwan¹

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

¹Department of Applied Mathematics, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

วันที่ส่งบทความ : 3 เมษายน 2566 วันที่แก้ไขบทความ : 14 กรกฎาคม 2566 วันที่ตอบรับบทความ : 22 ธันวาคม 2566

Received: 3 April 2023, Revised: 14 July 2023, Accepted: 22 December 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์สำหรับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการผลิตไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 264 เดือน ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 252 เดือน เพื่อใช้สำหรับสร้างตัวแบบพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีของบอช-เจนกินส์ วิธีของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการพยากรณ์รวม ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 ช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 12 เดือน ใช้สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ โดยพิจารณาจากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่ต่ำสุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีของบอช-เจนกินส์ เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ : ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บอช-เจนกินส์ วินเทอร์แบบบวก การพยากรณ์รวม

Abstract

The objective of this research is to compare forecasting models for carbon dioxide emission quantity from power generation sector using the data from Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy from January 2001 to December 2022 with a total of 264 months. The data was divided into 2 sets. The first set of data was collected from January

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: yutthachai.min@uru.ac.th

2001 to December 2021 with a total of 252 months for constructing 3 forecasting models: Box-Jenkins method, Winters' Additive method, and Combined forecasting method. The second set of data was gathered from January to December 2022 with a total of 12 months for comparing the suitability of the forecasting models by considering the lowest root mean square error and mean absolute percentage error. The results indicated that Box-Jenkins method was the most appropriate method.

Keywords: Carbon Dioxide, Box-Jenkins, Winters' Additive, Combined forecasting

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังมุ่งเน้นให้ความสำคัญต่อการที่จะพัฒนาประเทศในทุก ๆ ด้าน ทั้งด้านเศรษฐกิจ ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม ด้านสังคม รวมถึงด้านอื่น ๆ โดยปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้การพัฒนาประเทศจะประสบผลสำเร็จได้ คือ ไฟฟ้า ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างมากในการดำเนินชีวิตของคนในประเทศ และต่อการพัฒนาประเทศ ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ล้วนจำเป็นต้องอาศัยไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อให้กิจกรรมต่าง ๆ นั้นสำเร็จตามเป้าหมาย และเมื่อประเทศไทยมีความเติบโตทางเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม และสังคมมากขึ้นความต้องการใช้ไฟฟ้าก็ยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ได้ตามความต้องการที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งระบบการผลิตไฟฟ้าในไทยมีโรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ที่รองรับการผลิตจากแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน ซึ่งแบ่งได้ออกเป็น 5 ประเภท คือ โรงไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล พลังความร้อน พลังความร้อนร่วม พลังงานหมุนเวียน และประเภทอื่น ๆ จำนวนรวมทั้งหมด 45 แห่งตั้งอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของไทย [1] โดยในกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าบางประเภทนั้นจำเป็นต้องใช้ก๊าซจากธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมัน เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยการศึกษาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหล่านี้ ซึ่งในปี พ.ศ. 2565 พบว่าน้ำมันสำเร็จรูปมีการปล่อยก๊าซมากที่สุด ร้อยละ 42 ก๊าซจากธรรมชาติ ร้อยละ 30 และถ่านหิน/ลิกไนต์ ร้อยละ 28 ตามลำดับ [2] เมื่อแยกตามรายภาคเศรษฐกิจในปี พ.ศ. 2565 พบว่าภาคการผลิตไฟฟ้ามีการปล่อยก๊าซมากที่สุดถึงร้อยละ 36 แต่เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้าพบว่าลดลงร้อยละ 3.2 ภาคขนส่งจำนวนร้อยละ 32 ภาคอุตสาหกรรมร้อยละ 27 และภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ ร้อยละ 5 ตามลำดับ [2] ซึ่งในส่วนของการผลิตไฟฟ้าพบว่า มีการปล่อยก๊าซมากที่สุดจากการใช้ก๊าซจากธรรมชาติร้อยละ 59 การใช้ถ่านหิน/ลิกไนต์ ร้อยละ 40 และการใช้น้ำมันสำเร็จรูป ร้อยละ 1 [2] และจากข้อมูลสถิติด้านกำลังผลิตไฟฟ้าของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ในช่วงที่ผ่านมา พบว่ามีกำลังการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกปี เช่น ในปี พ.ศ. 2563 มีกำลังการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 46,480.37 เมกะวัตต์ ในปี พ.ศ. 2564 มีกำลังการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 46,682.37 เมกะวัตต์และในปี พ.ศ. 2565 มีกำลังการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 49,098.80 เมกะวัตต์ [3] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความต้องการใช้ไฟฟ้าในประเทศที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้องมีการผลิตไฟฟ้ามากขึ้นตามความต้องการของคนในประเทศ ย่อมส่งผลต่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อาจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนที่มีผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของคนและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บนโลก ทำให้สภาพอากาศเกิดความแปรปรวน ฤดูกาลผันแปร เกิดภัยทางธรรมชาติเพิ่มขึ้น และเกิดโรคภัยต่าง ๆ ซึ่ง

มีหลายประเทศทั่วโลกให้ความสำคัญถึงอันตรายที่เกิดจากภาวะโลกร้อนนั้นเอง จากสถานการณ์ปัญหาของการปล่อยก๊าซที่อาจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามข้อมูลที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อที่จะนำวิธีการพยากรณ์ไปใช้ประโยชน์ต่อไป และผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างตัวแบบพยากรณ์และวิธีการทางสถิติ จากเอกสาร และงานวิจัยอื่น ๆ เพื่อนำมาศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศพบว่า ยูพิน กาญจนะศักดิ์ดาและคณะ [4] ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปจากภาคการขนส่งด้วยวิธีการพยากรณ์ 2 วิธี คือ วิธีของวินเทอร์แบบคูณ (Winters' Multiplicative method) และวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins method) โดยใช้ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2543 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 ผลวิจัยพบว่า วิธีของวินเทอร์แบบคูณเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 3 เดือน และวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 5 เดือน วรางคณา กิรติวิบูลย์ [5] ได้ศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการจำหน่ายเบียร์ในประเทศไทยด้วยวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม (Combined forecasting method) โดยใช้ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2543 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 ผลวิจัยพบว่า วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับการพยากรณ์ปริมาณการจำหน่ายเบียร์ในประเทศไทย วรางคณา เรียนสุทธิ์ [6] ได้ศึกษาการนำเข้ายางธรรมชาติและทำการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ด้วยวิธีการพยากรณ์ 8 วิธี คือ วิธีของโฮลต์ วิธีของบราวน์ วิธีของแดม วิธีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีของวินเทอร์แบบบวก (Winters' Additive method) วิธีของวินเทอร์แบบคูณ วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์รวม โดยใช้ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ผลวิจัยพบว่า วิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้พยากรณ์ อุปริภุฏฐา อินทรสาด และนัสมล บุตรวิเศษ [7] ได้ศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์การส่งออกยางแผ่นรมควันของประเทศไทย ด้วยวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีของโฮลต์ วิธีของวินเทอร์แบบบวก และวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ผลวิจัยพบว่า วิธีของวินเทอร์แบบบวกเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้พยากรณ์ Alam และ AlArjani [8] ได้ศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกลุ่มประเทศแถบอ่าวอาหรับด้วยวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธี Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) และวิธีของโฮลต์-วินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing: HWES) โดยใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 1960 ถึง ค.ศ. 2014 ผลวิจัยพบว่า วิธี ANN เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการใช้พยากรณ์ Thabani และคณะ [9] ได้ศึกษาการสร้างตัวแบบการพยากรณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศจีน โดยใช้ตัวแบบ ARIMA ซึ่งใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 1960 ถึง ค.ศ. 2014 ผลวิจัยพบว่า ตัวแบบที่เหมาะสม คือ ARIMA (1, 2, 1) และผลการพยากรณ์พบว่า การปล่อยก๊าซมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น Thabani และ Wellington [10] ได้ศึกษาการพยากรณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศอินเดีย โดยใช้ตัวแบบ ARIMA ซึ่งใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 1960 ถึง ค.ศ. 2017 ผลวิจัยพบว่า ตัวแบบที่เหมาะสม คือ ARIMA (2, 2, 0) และผลการพยากรณ์พบว่า การปล่อยก๊าซมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น Rahman และ Hasan [11] ได้ศึกษาการสร้างตัวแบบการพยากรณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศบังคลาเทศ โดยใช้ตัวแบบ ARIMA ซึ่งใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 1972 ถึง ค.ศ.

2015 ผลวิจัยพบว่า ตัวแบบที่เหมาะสม คือ ARIMA (0, 2, 1) และเมื่อพยากรณ์ล่วงหน้า 3 ปีข้างหน้าพบว่า การปล่อยก๊าซมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น

จากการค้นคว้าข้อมูลที่ผ่านมายังไม่เคยมีการศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์สำหรับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการผลิตไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 3 วิธี วิธีที่ 1 คือ วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่ใช้กันมากในงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งวิธีที่ใช้ได้กับข้อมูลที่มีการเคลื่อนไหวได้ทุกประเภทและมีความแม่นยำในการพยากรณ์ วิธีที่ 2 คือ วิธีของวินเทอร์แบบบวก เป็นวิธีที่ใช้เทคนิคการทำให้เรียบอ่อนเนื่องมาจากข้อมูลในอนุกรมเวลามักจะมีความผันแปรจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติรวมอยู่ด้วยซึ่งทำให้ไม่สามารถเห็นองค์ประกอบอื่น ๆ การกำจัดอิทธิพลความผันแปรจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติทำให้สามารถเห็นองค์ประกอบอื่น ๆ ของอนุกรมเวลาได้ และเป็นวิธีที่ใช้ได้กับข้อมูลที่มีทั้งแนวโน้มและฤดูกาล [12] ซึ่งประกอบกับข้อมูลอนุกรมเวลาในครั้งนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มและฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง และวิธีที่ 3 คือ วิธีการพยากรณ์รวม เป็นการใช้ค่าพยากรณ์ของแต่ละวิธีมาสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยการถ่วงน้ำหนัก เพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด และพิจารณาเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ต่ำสุด เพื่อนำวิธีการพยากรณ์ที่ได้ไปใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลต่อไป และผลการพยากรณ์ที่ได้อาจจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานภาคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องนำข้อมูลพยากรณ์ที่ได้ไปช่วยในแก้ปัญหา วางแผน หรือกำหนดนโยบาย ในการปรับลดการใช้เชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอาจจะปรับเปลี่ยนการผลิตไฟฟ้าที่มุ่งเน้นการใช้พลังงานสะอาดให้มากยิ่งขึ้น ที่ไม่ทำให้เกิดมลพิษ ไม่เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อม และเพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้น

2. วิธีการทดลอง

ข้อมูลที่ใช้ศึกษาเป็นอนุกรมเวลาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (หน่วยต่อ 1,000 ตัน) ของภาคการผลิตไฟฟ้าช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวนทั้งหมด 264 เดือน จากเว็บไซต์ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน [13] ซึ่งงานวิจัยได้นำข้อมูลมาแบ่งเป็น 2 ชุด โดยข้อมูลชุดที่ 1 เป็นข้อมูลช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 252 เดือน เพื่อใช้สำหรับในการสร้างตัวแบบพยากรณ์จากทั้ง 3 วิธี ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 12 เดือน เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบและหาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยทำการพิจารณาจาก RMSE และ MAPE ที่ต่ำสุด และงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม SPSS version 29 และ MS-Excel ช่วยในการวิเคราะห์และสร้างตัวแบบพยากรณ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์

เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ค่อนข้างแม่นยำ และสามารถใช้งานได้กับข้อมูลที่มีความเคลื่อนไหวในลักษณะต่าง ๆ ได้ดี ในการกำหนดตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีนี้จะต้องเป็นอนุกรมเวลาแบบคงที่ (Stationary time series) นั่นคือ มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ ซึ่งจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่เปลี่ยนไป [14] การสร้างตัวแบบพยากรณ์มีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้ [12],[14]

1. พิจารณากราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลาว่ามีความคงที่หรือไม่ ถ้าอนุกรมเวลานั้นมีความไม่คงที่ในค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาลจะต้องทำการแปลงข้อมูลใหม่ให้มีความคงที่ โดยการหาผลต่าง (Regular differencing) และผลต่างฤดูกาล (Seasonal differencing) และเมื่อความแปรปรวนของอนุกรมเวลาไม่คงที่ที่จะต้องเปลี่ยนอนุกรมเวลาให้มีความคงที่โดยใช้ฟังก์ชันลอการิทึม (Logarithm function) หรือการแปลงข้อมูลด้วยการหาค่ารากที่สอง

2. กำหนดตัวแบบพยากรณ์ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation coefficient: r_k) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial autocorrelation coefficient: r_{kk}) จากกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation function: ACF) และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial autocorrelation function: PACF) ตามลำดับ

3. ประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

4. ตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ โดยการทดสอบค่าพารามิเตอร์และค่าความคลาดเคลื่อน ถ้าตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสมจะดำเนินการสร้างตัวแบบดังกล่าว แต่ถ้าตัวแบบพยากรณ์ไม่มีความเหมาะสมจะต้องไปกำหนดตัวแบบใหม่ให้กับอนุกรมเวลา

5. ทำการพยากรณ์อนุกรมเวลาจากตัวแบบที่ได้

ตัวแบบ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) เป็นตัวแบบที่ใช้ในการศึกษาลักษณะของตัวแบบ คือ SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s [12],[15] แสดงได้ดังสมการ (1)

$$\begin{aligned} & (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) (1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_P B^{Ps}) (1 - B)^d (1 - B^s)^D Y_t \\ & = \theta_0 + (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) (1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs}) \varepsilon_t \end{aligned} \quad (1)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าจริง ณ เวลา t

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

θ_0 คือ ค่าคงที่

ε_t คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t

$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ คือ พารามิเตอร์ของการถอยในตัวเองที่ไม่มีฤดูกาลในอันดับที่ 1, 2, ..., p

ตามลำดับ

$\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_P$ คือ พารามิเตอร์ของการถอยในตัวเองที่มีฤดูกาลในอันดับที่ 1, 2, ..., P

ตามลำดับ

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ คือ พารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ไม่มีฤดูกาลในอันดับที่ 1, 2, ..., q

ตามลำดับ

$\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_Q$ คือ พารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่มีฤดูกาลในอันดับที่ 1, 2, ..., Q

ตามลำดับ

- d คือ การหาผลต่างอันดับที่ d ที่ไม่มีฤดูกาล
D คือ การหาผลต่างอันดับที่ D ที่มีฤดูกาล
s คือ ความยาวของคาบฤดูกาล ซึ่งข้อมูลเป็นรายเดือน ในที่นี้ $s = 12$
t คือ ช่วงของเวลา มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 คือ จำนวนข้อมูลเวลาชุดที่ 1

($n_1 = 252$)

2.2 วิธีของวินเทอร์แบบบวก

เป็นวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง (Exponential smoothing) ซึ่งเป็นการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักที่ให้น้ำหนักกับข้อมูลปัจจุบันมากกว่าข้อมูลในอดีต โดยที่น้ำหนักลดลงแบบเลขชี้กำลัง [16] โดยมีค่าคงที่การทำให้เรียบ 3 ค่า คือ ค่าคงที่การทำให้เรียบสำหรับปรับระดับ (α) ค่าคงที่การทำให้เรียบสำหรับค่าประมาณแนวโน้ม (γ) และค่าคงที่การทำให้เรียบสำหรับค่าประมาณฤดูกาล (δ) อีกทั้งวิธีการนี้ยังเหมาะสมสำหรับอนุกรมเวลาที่มีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง [12] ซึ่งวิธีการของวินเทอร์มีตัวแบบพยากรณ์อยู่ 2 แบบ คือ ตัวแบบพยากรณ์แบบบวกและแบบคูณ ซึ่งตัวแบบพยากรณ์แบบบวกเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับอนุกรมเวลาที่มีความผันแปรตามฤดูกาลที่มีลักษณะเช่นเดิมหรือแตกต่างจากเดิมไม่มาก เมื่ออนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และตัวแบบพยากรณ์แบบคูณเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับอนุกรมเวลาที่มีความผันแปรตามฤดูกาลเป็นไปตามสัดส่วนกับระดับของอนุกรมเวลา กล่าวคือเมื่อระดับอนุกรมเวลาเพิ่มขึ้นความผันแปรตามฤดูกาลเพิ่มขึ้นด้วย หรือทำนองกลับกันความผันแปรตามฤดูกาลลดลงเมื่ออนุกรมเวลาเพิ่มขึ้น [16] ในงานวิจัยครั้งนี้จึงใช้ตัวแบบพยากรณ์แบบบวก เนื่องจากอนุกรมเวลาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีความผันแปรตามฤดูกาลที่มีลักษณะไม่แตกต่างไปจากเดิมเมื่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับตัวแบบพยากรณ์แบบบวกแสดงได้ดังสมการ (2) [12]

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

เมื่อ a_t , b_t และ $\hat{S}_t$ คือ ค่าประมาณ ณ เวลา t ของระดับอนุกรมเวลา แนวโน้ม และความผันแปรของฤดูกาล ตามลำดับ

$$\text{โดยที่ } a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$$

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

$$\hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$$

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

m คือ จำนวนเวลาที่ต้องการพยากรณ์

s คือ ความยาวของคาบฤดูกาล ซึ่งข้อมูลเป็นรายเดือน ในที่นี้ $s = 12$

α คือ ค่าคงที่การทำให้เรียบสำหรับปรับระดับอนุกรมเวลา เมื่อ $0 \leq \alpha \leq 1$

γ คือ ค่าคงที่การทำให้เรียบสำหรับค่าประมาณแนวโน้ม เมื่อ $0 \leq \gamma \leq 1$

δ คือ ค่าคงที่การทำให้เรียบสำหรับค่าประมาณฤดูกาล เมื่อ $0 \leq \delta \leq 1$

t คือ ช่วงของเวลา มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 เมื่อ n_1 คือ จำนวนข้อมูลเวลาชุดที่ 1 ($n_1 = 252$)

2.3 วิธีการพยากรณ์รวม

วิธีการสร้างตัวแบบนี้จะใช้ค่าพยากรณ์ของแต่ละวิธี ที่มีมากกว่า 1 วิธีมาสร้างตัวแบบพยากรณ์ [16] ซึ่งการสร้างตัวแบบในครั้งนี้ได้ใช้ค่าพยากรณ์ของทั้ง 2 วิธี มาทำการสร้างตัวแบบ โดยจะการใช้การวิเคราะห์การถดถอยในการหาค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ตัวแบบพยากรณ์แสดงได้ดังสมการ (3) [5]

$$\hat{Y}_t = w_1 \hat{Y}_{1t} + w_2 \hat{Y}_{2t} \quad (3)$$

โดยที่ $\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์รวม ณ เวลา t

$\hat{Y}_{1t}$ และ $\hat{Y}_{2t}$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t จากวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีของวินเทอร์แบบบวก ตามลำดับ

w_1 และ w_2 คือ ค่าประมาณถ่วงน้ำหนัก เมื่อ $w_1 = \frac{b_1}{b_1 + b_2}$ และ $w_2 = \frac{b_2}{b_1 + b_2}$

b_1 และ b_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการถดถอยจากวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีของวินเทอร์แบบบวก ตามลำดับ

2.4 การเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์

โดยทำการนำเอาข้อมูลจริงในชุดที่ 2 ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 12 เดือนกับค่าพยากรณ์ของตัวแบบทั้ง 3 วิธี มาหาค่าของ RMSE และ MAPE ที่ต่ำสุด จะเป็นตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด โดย RMSE และ MAPE แสดงได้ดังสมการ (4) และ (5) ตามลำดับ [12]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \quad (5)$$

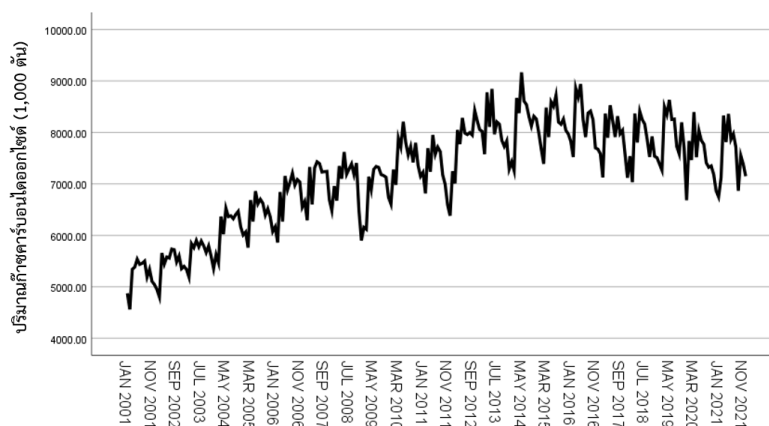
โดยที่ Y_t คือ ค่าจริง ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

n_2 คือ จำนวนข้อมูลเวลาชุดที่ 2 ($n_2 = 12$)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาในข้อมูลชุดที่ 1 ช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 252 เดือน แสดงดังรูปที่ 1 พบว่า ข้อมูลมีลักษณะที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีความผันแปรของฤดูกาลเนื่องจากในแต่ละปีของช่วงเวลาเดียวกันจะมีการเคลื่อนไหวที่ไม่แตกต่างกันมาก และได้ทำการทดสอบสมมติฐานของแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลด้วยการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มของครัสคาล-วอลลิส (Kruskal-Wallis Test) [6],[14] จากการทดสอบสมมติฐานของแนวโน้ม พบว่า อนุกรมเวลามีแนวโน้ม (Kruskal-Wallis Test = 196.75 และ $p\text{-value} < 0.001$) และทำการทดสอบสมมติฐานอิทธิพลของฤดูกาลเมื่อข้อมูลได้กำจัดแนวโน้มออกแล้ว พบว่า มีอิทธิพลของฤดูกาล (Kruskal-Wallis Test = 72.86 และ $p\text{-value} < 0.001$) แสดงได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง



รูปที่ 1. กราฟการเคลื่อนไหวของข้อมูลในชุดที่ 1

3.1 วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์

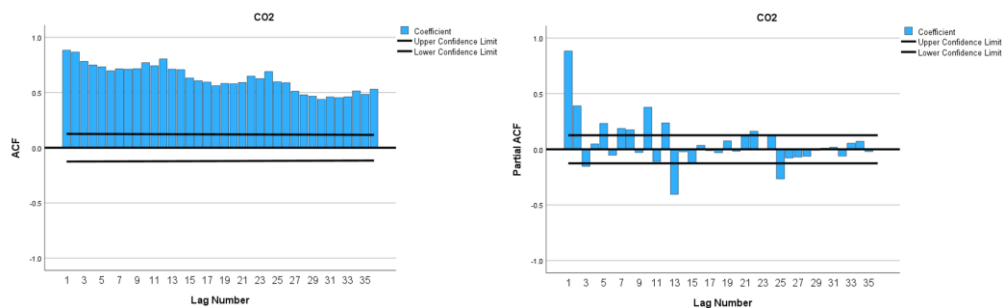
เมื่อทำการพิจารณากราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาซึ่งแสดงดังรูปที่ 2 พบว่า ค่า r_k มีค่ามากในช่วงแรกและเริ่มลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีความไม่คงที่เนื่องจากมีแนวโน้ม และค่า r_{kk} มีค่ามาก ณ lag 1, 12 และ 24 แสดงให้เห็นว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีความไม่คงที่เนื่องจากมีอิทธิพลของฤดูกาล ซึ่งตรงกับผลการทดสอบของครัสคาล-วอลลิส ในข้างต้น และเมื่อพบว่า อนุกรมเวลาที่มีความไม่คงที่เนื่องจากมีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลจึงต้องทำการแปลงอนุกรมเวลาใหม่โดยหาผลต่างอันดับที่ 1 ($d=1$) และผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1 ($D=1$) เพื่อทำให้อนุกรมเวลาใหม่ที่ได้มีความคงที่ แล้วทำการสร้างตัวแบบพยากรณ์ โดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาใหม่ที่มีความคงที่แล้ว แสดงดังรูปที่ 3 ทำการพิจารณาค่า r_k และ ค่า r_{kk} เพื่อกำหนดตัวแบบพยากรณ์ พบว่า ค่า r_k มีค่ามาก ที่ lag 1 กับ 12 และมีค่าลดลงเมื่อ lag มีค่ามากขึ้น และค่า r_{kk} มีค่ามาก ที่ lag 1 กับ 12 และมี

ค่าลดลงเข้าใกล้ศูนย์ ที่ lag 24, 36, ... ผู้วิจัยจึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสม คือ SARIMA (0, 1, 1)(0, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงที่ ซึ่งสามารถนำมาเขียนได้ดังสมการ (6)

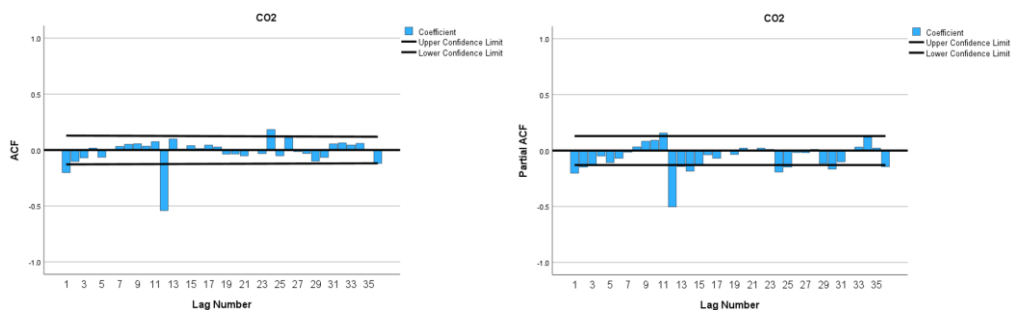
$$(1-B)(1-B^{12})Y_t = (1-\theta_1 B)(1-\Theta_1 B^{12})\varepsilon_t \quad (6)$$

เมื่อทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรม SPSS แสดงดังตารางที่ 1 และทดสอบค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวพบว่า ค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวไม่เท่ากับศูนย์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของตัวแบบ พบว่า มีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov = 0.042 และ p-value = 0.200) มีความเป็นอิสระกัน (Ljung-Box Q (18) = 25.04 และ p-value = 0.124) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (t = -0.567 และ p-value = 0.571) และมีความแปรปรวนคงที่ (Levene statistic = 1.245 และ p-value = 0.258) แสดงว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสม เมื่อแทนค่าประมาณพารามิเตอร์จะได้ดังสมการ (7)

$$(1-B)(1-B^{12})Y_t = (1-0.4B)(1-0.832B^{12})\varepsilon_t \quad (7)$$



รูปที่ 2. กราฟ ACF และ PACF ของข้อมูลในชุดที่ 1



รูปที่ 3. กราฟ ACF และ PACF ของข้อมูลในชุดที่ 1 เมื่อหาผลต่างอันดับที่ 1 และหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1

ตารางที่ 1. ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบ SARIMA(0, 1, 1)(0, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงที่

พารามิเตอร์	ค่าประมาณ	ความคลาดเคลื่อน	ค่าสถิติ t	p-value
θ_1	0.400	0.060	6.678	<0.001
Θ_1	0.832	0.053	15.665	<0.001

3.2 วิธีของวินเทอร์แบบบวก

ทำการประมาณค่าคงที่การทำให้เรียบจากการใช้ Solver ในโปรแกรม MS-Excel เพื่อให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด ทำให้ได้ค่าคงที่ $\alpha = 0.49644$, $\gamma = 0.00001$ และ $\delta = 0.40044$ เมื่อทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของตัวแบบ พบว่า มีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov = 0.054 และ p-value = 0.068) มีความเป็นอิสระกัน (Ljung-Box Q (18) = 26.662 และ p-value = 0.086) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ($t = -1.318$ และ p-value = 0.189) และมีความแปรปรวนคงที่ (Levene statistic = 0.819 และ p-value = 0.621) แสดงว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสม ซึ่งสามารถนำมาเขียนได้ดังสมการ (8)

$$\hat{Y}_{t+m} = (7,698.65 + 19.9157m) + \hat{S}_{t-s+m} \quad (8)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t+m$ โดยที่ $m = 1$ แทนเดือนมกราคม 2565 และ $\hat{S}_t$ คือ ค่าดัชนีฤดูกาล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาจากวิธีของวินเทอร์แบบบวก

เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล
มกราคม	-401.103	พฤษภาคม	492.072	กันยายน	-332.376
กุมภาพันธ์	-584.066	มิถุนายน	133.449	ตุลาคม	62.237
มีนาคม	590.166	กรกฎาคม	101.356	พฤศจิกายน	-245.128
เมษายน	-25.088	สิงหาคม	-86.722	ธันวาคม	-608.985

3.3 วิธีพยากรณ์รวม

นำค่าพยากรณ์ของทั้ง 2 วิธีมาทำการประมาณค่าถ่วงน้ำหนักทำให้ได้ค่า $w_1 = 0.4774$ และ $w_2 = 0.5226$ และเมื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของตัวแบบ พบว่า มีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov = 0.045 และ p-value = 0.200) มีความเป็นอิสระกัน (Ljung-Box Q (18) = 27.003 และ p-value = 0.079) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ($t = -0.978$ และ p-value = 0.329) และมีความแปรปรวนคงที่ (Levene statistic = 1.036 และ p-value = 0.415) แสดงว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสม ซึ่งสามารถนำมาเขียนได้ดังสมการ (9)

$$\hat{Y}_t = 0.4774\hat{Y}_{1t} + 0.5226\hat{Y}_{2t} \quad (9)$$

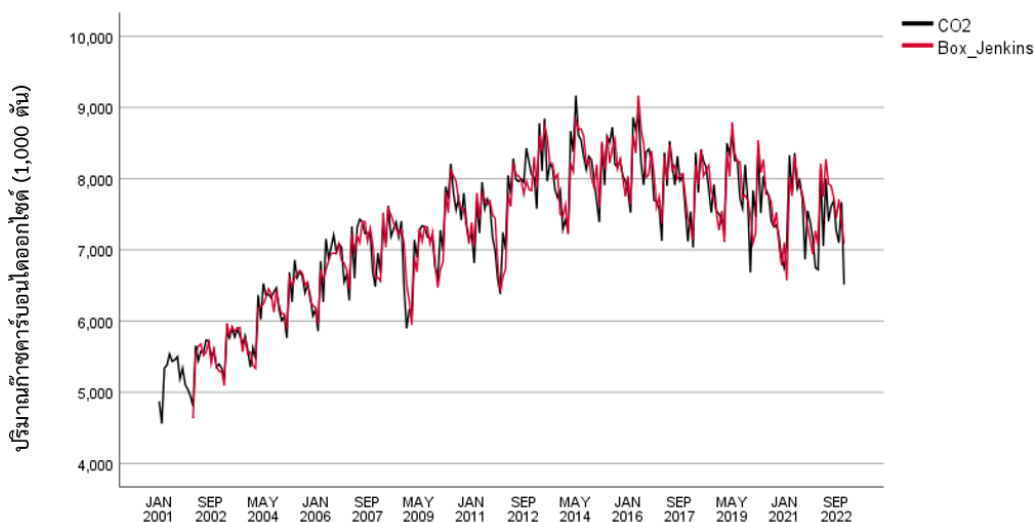
3.4 ผลการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์

เมื่อนำตัวแบบพยากรณ์จากทั้ง 3 วิธีไปพยากรณ์ข้อมูลแล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงของข้อมูลในชุดที่ 2 แล้วหาค่า RMSE และ MAPE แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. ค่า RMSE และ MAPE จากทั้ง 3 วิธี

วิธีการพยากรณ์	บอซซ์-เจนกินส์	วินเทอร์แบบบวก	การพยากรณ์รวม
RMSE	419.16	500.08	458.32
MAPE	5.13	5.93	5.55

ผลการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ พบว่า วิธีของบอซซ์-เจนกินส์ มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ ซึ่งมีค่า RMSE และ MAPE ต่ำสุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่า จึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ที่ต่ำกว่า ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 419.16 กิโลตัน (RMSE = 419.16) หรือคิดเป็นร้อยละ 5.13 (MAPE = 5.13) รองลงมา คือ วิธีการพยากรณ์รวม และวิธีของวินเทอร์แบบบวก ตามลำดับ เมื่อนำค่าพยากรณ์วิธีของบอซซ์-เจนกินส์ไปสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงของอนุกรมเวลา พบว่า ค่าพยากรณ์มีการเคลื่อนไหวใกล้เคียงกับข้อมูลจริง แสดงดังรูปที่ 4 ดังนั้น วิธีของบอซซ์-เจนกินส์จึงเป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้พยากรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Thabani และ คณะ [9] Thabani และ Wellington [10] Rahman และ Hasan [11] ที่ใช้วิธีของบอซซ์-เจนกินส์ในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในต่างประเทศ อีกทั้งผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ที่สอดคล้องกับการศึกษาของ ยูพิน กาญจนะศักดิ์ดาและคณะ [4] และ วรางคณา กิริติวิบูลย์ [5] ที่ได้ใช้วิธีของบอซซ์-เจนกินส์ไปเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์รูปแบบอื่น ๆ แล้วให้ผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าวิธีของบอซซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้พยากรณ์เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4. การเปรียบเทียบปริมาณข้อมูลจริงและค่าพยากรณ์จากวิธีของบอซซ์-เจนกินส์

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำวิธีของบอกซ์-เจนกินส์ไปพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการผลิตไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2567 โดยผลการพยากรณ์คาดการณ์ไว้ว่าจะมีปริมาณการปล่อยก๊าซประมาณ 87 และ 86.3 ล้านตัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่อาจจะลดลงจากเดิมแต่ก็ไม่มาก เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2565 ที่ผ่านมามีปริมาณการปล่อยก๊าซที่ 87.9 ล้านตัน [2] โดยตัวเลขของปริมาณการปล่อยก๊าซยังคงมีค่ามากอยู่ ดังนั้นหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องควรร่วมมือกันในการแก้ไขปัญหาให้มีปริมาณก๊าซที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง

4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์สำหรับอนุกรมเวลาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการผลิตไฟฟ้า จากวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีของบอกซ์-เจนกินส์ วิธีของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการพยากรณ์รวม พร้อมกับเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบ SARIMA(0, 1, 1)(0, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงที่จากวิธีของบอกซ์-เจนกินส์ ให้ค่า RMSE และ MAPE ที่ต่ำสุด มีค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด จึงเป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการผลิตไฟฟ้า

ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางการกำหนดนโยบาย หรือ การวางแผน โดยหน่วยงานทุกภาคส่วนทั้งภาคอุตสาหกรรม ภาคขนส่ง และภาคอื่น ๆ สามารถนำวิธีการพยากรณ์ที่ได้ไปใช้ในการวางแผนและแก้ปัญหการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ปริมาณที่ลดลง และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรกำหนดนโยบายเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซจากการผลิตไฟฟ้า เช่น 1) การลดกำลังการผลิตไฟฟ้าจากการใช้เชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2) การมุ่งเน้นกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน และ 3) การสร้างจิตสำนึกของประชาชน หน่วยงาน องค์กรต่าง ๆ ในการช่วยกันประหยัดพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ในส่วนข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยที่สนใจอาจศึกษาวิธีการพยากรณ์รูปแบบอื่นเพิ่มเติม โดยข้อมูลที่จะศึกษาในการพยากรณ์ควรมีการปรับปรุงข้อมูลให้มีความเป็นปัจจุบันมากที่สุด เพื่อให้การพยากรณ์มีผลที่แม่นยำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน สำหรับข้อมูลในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2564. รักโลก รักพลังงาน กับ กฟผ. แหล่งข้อมูล : <https://www.egat.co.th/home/wp-content/uploads/2021/07/egat-energy-conservation.pdf>. ค้นเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2566.

- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2565. การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงานในปี 2565. แหล่งข้อมูล : [https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1). ค้นเมื่อวันที่ 27 มีนาคม 2566.
- [3] กองสื่อสารภายนอก ฝ่ายสื่อสารและประชาสัมพันธ์องค์การ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2566. กำลังผลิตในระบบไฟฟ้า. แหล่งข้อมูล : <https://www.egat.co.th/home/statistics-all-annual/>. ค้นเมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2566.
- [4] ยุพิน กาญจนะศักดิ์ดา, บุญหญิง สมร่า, สุณี ทวีสกุลวัชร และลักขณา เสาธะนันท์. 2563. การพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปโดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการของวินเตอร์. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 12(24), 76-86. [Yupin Kanjanasakda, Boonying Somrang, Sunee Taweesakulvatchara and Luckhana Saothayanun. 2020. A forecasting method for co2 emission from using oil: Box-Jenkins method and Winter's method. *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, 12(24), 76-86. (in Thai)]
- [5] วรางคณา กীরติวิบูลย์. 2558. ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการจำหน่ายเบียร์ในประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 23(5), 731-742. [Warangkhan Keerativibool. 2015. Forecasting model for beer sale volume in Thailand. *Thai Science and Technology Journal*, 23(5), 731-742. (in Thai)]
- [6] วรางคณา เรียนสุทธิ. 2563. ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการนำเข้ายางธรรมชาติ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มช.*, 48(1), 156-165. [Warangkhan Riansut. 2020. Model for forecasting quantity of natural rubber imports. *KKU Science Journal*, 48(1), 156-165. (in Thai)]
- [7] อุปรีฐฐา อินทรสาด และนัสสมล บุตรวิเศษ. 2565. ตัวแบบการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแผ่นรมควันของประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 24(1), 76-86. [Uparittha Intarasat and Nassamon Bootwisas. 2022. Time series forecasting model for predicting export volumes of Thailand's ribbed smoked sheets. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 24(1), 76-86. (in Thai)]
- [8] Alam, T. and AlArjani, A. 2021. A comparative study of co2 emission forecasting in the gulf countries using autoregressive integrated moving average, artificial neural network and Holt-Winters exponential smoothing models. *Advances in Meteorology*, 2021, 1-9.
- [9] Thabani, N., Hapanyengwi, H.O. and Mutongi, C. 2019. Modeling and forecasting carbon dioxide emissions in China using autoregressive integrated moving average (ARIMA) models. *International Journal of Multidisciplinary Research*, 5(4), 215-224.

- [10] Thabani, N. and Wellington, G.B. 2019. Prediction of co2 emissions in India using ARIMA models. *Journal of Economics and Finance*, 4(2), 1-10.
- [11] Rahman, A. and Hasan, M.M. 2017. Modeling and forecasting of carbon dioxide emissions in Bangladesh using autoregressive integrated moving average (ARIMA) models. *Open Journal of Statistics*, 7(4), 560-566.
- [12] สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. 2548. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา. [Somkiat Ket-iam. 2005. Forecasting Technique. 2nd ed, Thaksin University, Songkhla. (in Thai)]
- [13] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2566. สถิติพลังงาน การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. แหล่งข้อมูล : [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/static-energy/static-co2?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/static-energy/static-co2?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1). ค้นเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2566.
- [14] ทรงศิริ แต่สมบัติ. 2549. การพยากรณ์เชิงปริมาณ. พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. [Songsiri Taesombat. 2006. Quantitative Forecasting. 1st ed, Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai)]
- [15] Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C. and Ljung, G.M. 2016. Time Series Analysis :Forecasting and Control. 5th ed, John Wiley and Sons, New Jersey.
- [16] มุกดา แมนมินทร์. 2549. อนุกรมเวลาและพยากรณ์. โพรพรินติ้ง, กรุงเทพฯ. [Mookda Manmin. 2006. Time Series and Forecasting. Foreprinting, Bangkok. (in Thai)]