

การพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้เทคนิคของบ็อกซ์-เจนกินส์

Forecasting of Water Supply Consumption in Nakhon Sawan Municipality using Time Series Analysis (Box – Jenkins)

วรพรรณ เจริญขำ

Woraphan Jareankam

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology,
Nakhon Sawan Rajabhat University

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ โดยใช้ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2556 ถึงปีงบประมาณ 2566 จำนวน 132 ค่า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ใช้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์เป็นข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2556 ถึงปีงบประมาณ 2565 จำนวน 120 ค่า และข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ปีงบประมาณ 2566 จำนวน 12 ค่า ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับทดสอบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นโดยวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีบ็อกซ์เจนกินส์ (Box-Jenkins) หาประสิทธิภาพความแม่นยำของตัวแบบการพยากรณ์โดยพิจารณา รากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) พบว่า ตัวแบบที่วิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีบ็อกซ์เจนกินส์ที่เหมาะสมที่สุด คือ ตัวแบบ ARIMA(10,1,5) โดยให้ค่า RMSE = 58,551.27, MAPE = 5.36 และ MAE = 51,437.16 ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ปีงบประมาณ 2567 รวมเท่ากับ 10,632,157.04 ลูกบาศก์เมตร

คำสำคัญ: การพยากรณ์ การใช้น้ำประปา บ็อกซ์-เจนกินส์

Abstract

The objective of this research is to the propose forecast of water supply consumption in Nakhon Sawan Municipality by using 132 values of water supply consumption in Nakhon Sawan Municipality from the budget of 2013 to fiscal year to 2023 and divided into two

* Corresponding author : ajworaphan@gmail.com

dataset. The first dataset had 120 values which the data from the budget of 2013 to fiscal year to 2022 the modelling by the methods of Box-Jenkins. The second dataset had 12 values, which were the data from the budget of 2022 to fiscal year to 2023 for testing the performance of the forecasting models via the criteria of root mean squared error, mean absolute percentage error and mean absolute error. The results showed that ARIMA(10,1,5) model was the most appropriate method with RMSE = 58,551.27 , MAPE = 5.36 and MAE = 51,437.16 . The forecasting values of total water supply consumption in fiscal year 2024 were 10,632,157.04 cubic metre.

Keywords: Forecasting , Water Supply Consumption, Box-Jenkins

1. บทนำ

ทรัพยากรน้ำถือเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่จำเป็นและสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตและระบบเศรษฐกิจทั้งทางตรงในด้านของปัจจัยการผลิตและทางอ้อมที่ส่งผลต่อการอุปโภคบริโภคของประชาชน ปัจจุบันความต้องการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครสวรรค์ เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ประชาชนมีน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ เนื่องจากจำนวนประชากรที่ใช้น้ำกับปริมาณน้ำประปาที่ผลิตไม่เพียงพอ นอกจากนี้การขยายตัวทางเศรษฐกิจและการขยายตัวของชุมชนซึ่งมีความเป็นชุมชนเมืองมากขึ้น ทำให้ความต้องการใช้น้ำประปามากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการตระหนักถึงปัญหานี้จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเตรียมการวางแผนรองรับการใช้น้ำประปาของประชาชนในอนาคต การพยากรณ์ถือว่าเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถทำนายหรือคาดคะเนการเกิดเหตุการณ์หรือสภาพการณ์ในอนาคต โดยศึกษาจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมอย่างมีระบบ (Weiss & Gershon,1993) ได้แบ่งประเภทของการพยากรณ์ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การพยากรณ์เชิงคุณภาพและการพยากรณ์เชิงปริมาณ การพยากรณ์เชิงปริมาณอาศัยข้อมูลในอดีตมาพยากรณ์ในอนาคต หรือเรียกว่า การวิเคราะห์อนุกรมเวลาหรือการพยากรณ์อนุกรมเวลา การวิเคราะห์อนุกรมเวลาเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา นั่นคือข้อมูลอนุกรมเวลา ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมในระยะห่างเท่า ๆ กัน และต่อเนื่องกัน หรือเป็นข้อมูลที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งที่เปลี่ยนไปตามเวลา หรือเป็นการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เปลี่ยนไปตามเวลา แล้วนำรูปแบบนั้นมาพยากรณ์ค่าของตัวแปรในอนาคต

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์น้ำที่ผ่านมาพบว่า ณิชชา สุภาพิมพ์และ สุเมธ แก่นมณี (2555) ได้ศึกษาการพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในอนาคต โดยใช้ แบบจำลอง ARIMA และแบบจำลอง GARCH พบว่า จังหวัดเชียงใหม่เป็นจังหวัดที่มีความต้องการใช้น้ำสูงที่สุด รองลงมา คือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดเชียงราย จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดลำปาง จังหวัดหนองคาย จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดพิจิตร จังหวัดแพร่ และจังหวัดชัยนาท ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ พบว่า

แบบจำลอง ARIMA ให้ค่า MAPE ที่ต่ำกว่าแบบจำลอง GARCH แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง ARIMA มีความสามารถในการพยากรณ์ได้แม่นยำกว่าแบบจำลอง GARCH ต่อมา วรางคณา กิริติวิบูลย์ (2558) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดน่าน โดยศึกษาปริมาณน้ำฝนในอดีตโดยวิธีการทางสถิติเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคต โดยศึกษาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับปริมาณน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดน่าน ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน จากศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคเหนือตอนบน กรมชลประทาน สำหรับการศึกษาตัวแบบพยากรณ์ โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย ผลการวิจัยพบว่า จากวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษา วิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์เป็น $Y_t = 2.71022 - 0.14376\hat{Y}_{t-1} + 1.11493\hat{Y}_{t-2}$ เมื่อ $\hat{Y}_{t-1}$ และ $\hat{Y}_{t-2}$ แทนค่าพยากรณ์เดี่ยว ณ เวลา t จากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายตามลำดับ ณัฐภัทร ก้อนเครือ และ กัลยา บุญหล้า (2559) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณหน่วยจำหน่ายไฟฟ้าจังหวัดพิษณุโลก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณจำหน่ายไฟฟ้าของจังหวัดพิษณุโลก ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้อมูลปริมาณหน่วยจำหน่ายไฟฟ้ารายเดือนระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 โดยศึกษาตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์วินเตอร์เชิงผลคูณ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ และเปรียบเทียบตัวแบบสำหรับการพยากรณ์โดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) น้อยที่สุด ผลการศึกษาพบว่าวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ปริมาณหน่วยจำหน่ายไฟฟ้า มีตัวแบบ ARIMA (1,1,1) (0,1,1)₁₂ Ristow et al. (2021) ได้ศึกษาตัวแบบพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำโดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลากรณีศึกษาทางตอนใต้ของประเทศบราซิล พบว่า ตัวแบบ ARIMA ตามฤดูกาลสามารถพยากรณ์การใช้น้ำได้ถึง 4 ใน 5 ประเภทของการใช้น้ำ โดยมีค่า MAPE แตกต่างกันไปตั้งแต่ 1.19 ถึง 15.74 ต่อมา Bo et al. (2021) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประจำปีของเมืองเหอเฟย์ในประเทศจีนโดยใช้ตัวแบบ ARIMA จากการศึกษาพบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมคือที่สุดคือ ARIMA(1,2,1) ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ Rajballie et al. (2022) ได้ศึกษาตัวแบบการพยากรณ์การใช้น้ำ กรณีศึกษาเกาะตริเนดัดในประเทศเวเนซุเอลา โดยเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้ตัวแบบ SARIMA ตัวแบบ ETS และตัวแบบ ANN พบว่า ตัวแบบ SARIMA เหมาะสมกับการพยากรณ์การใช้น้ำในเกาะตริเนดัด โดยให้ค่า RMSE MAE และ MAPE ต่ำที่สุด

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาและการทบทวนวรรณกรรมจากงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ด้วยวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลา เพื่อให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสม ง่ายต่อการนำไปพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ในอนาคตและเป็นการวางแผนในการผลิตน้ำประปาให้เพียงพอต่อการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ด้วยวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้เทคนิคของบ็อกซ์-เจนกินส์

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์การใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์
2. เพื่อพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ในอนาคต

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ เป็นปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2556 ถึงปีงบประมาณ 2566 จำนวน 132 ค่า โดยทำการขอข้อมูลจากหน่วยงานสำนักงานการประปาเทศบาลนครนครสวรรค์ แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ใช้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ เป็นข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2556 ถึงปีงบประมาณ 2565 จำนวน 120 ค่า และข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ปีงบประมาณ 2566 จำนวน 12 ค่า ใช้เป็นข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพตัวแบบที่สร้างขึ้น

3.2 การศึกษาความเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

ทำการศึกษาความเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาเบื้องต้นว่าอนุกรมเวลาที่ศึกษามีการเคลื่อนไหวแบบใด โดยพิจารณาจากกราฟปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์กับช่วงเวลา

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows และ Microsoft Excel เพื่อสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาโดยใช้เทคนิคของบ็อกซ์-เจนกินส์ ในการพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์

การวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins)

วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ (วิชิต หล่อจิระสุนท์กุล และจิราวัลย์ จิตรถเวช, 2548) การพยากรณ์ด้วยวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นการพยากรณ์เชิงปริมาณวิธีหนึ่งที่มีแนวคิดว่าการพยากรณ์ในอดีตของสิ่งที่ต้องการพยากรณ์นั้นเพียงพอที่จะพยากรณ์พฤติกรรมในอนาคตของตัวเองได้โดยในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์นี้จะแตกต่างจากการพยากรณ์โดยวิธีอื่น ซึ่งผู้ที่สร้างตัวแบบพยากรณ์นั้นต้องกำหนดรูปแบบของความสัมพันธ์ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ต่อไปนี้ โดยเฉพาะเมื่ออนุกรมเวลาไม่มีแนวโน้มวัฏจักรหรือฤดูกาลที่ชัดเจน ทำให้ยากในการกำหนดรูปแบบหรือการวิเคราะห์การถดถอยที่เหมาะสมได้ ซึ่งจะต้องทำการกำหนดรูปแบบของความสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามก่อน แต่วิธีพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เพราะวิธีพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์นั้นไม่มีการกำหนดรูปแบบที่ตายตัวขึ้นก่อนทำการวิเคราะห์ โดยในระหว่างการวิเคราะห์รูปแบบจะถูกกำหนดขึ้นมาเอง

วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ (ทรงศิริ แต่สมบัติ, 2549) เป็นวิธีการพยากรณ์ที่มีความถูกต้องสูง เนื่องจากได้กำหนดตัวแบบโดยการตรวจสอบคุณสมบัติของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) ซึ่งพิจารณา

ภายใต้อนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary) หรืออนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ ตัวแบบทั่วไปของวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box et al., 1994) คือ Seasonal Autoregressive Intergrated Moving Average: SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงดังสมการที่ 1

$$\phi_p(B)\Phi_p(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D Y_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_q(B^S)\varepsilon_t \quad (1)$$

เมื่อ Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_p(B^S)$ แทนค่าคงที่ โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยอนุกรมเวลาที่คงที่

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

$\Phi_p(B^S) = 1 - \Phi_1 B^S - \Phi_2 B^{2S} - \dots - \Phi_p B^{pS}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบมีฤดูกาลอันดับที่ P (Seasonal Autoregressive Operator of Order p : SAR(p))

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

$\Theta_q(B^S) = 1 - \Theta_1 B^S - \Theta_2 B^{2S} - \dots - \Theta_q B^{qS}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาลอันดับที่ Q (Seasonal Moving Average Operator of Order q : SMA(q))

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n โดยที่ n แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

S แทนจำนวนฤดูกาล

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^S Y_t = Y_{t-S}$

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ แสดงรายละเอียดดังนี้

1. พิจารณาข้อมูลอนุกรมเวลาว่าคงที่หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับช่วงเวลา (Y_t, t) กราฟ ACF และ PACF หากพบว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ (Non-Stationary) ต้องแปลงอนุกรมเวลาให้คงที่ก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไปได้ เช่น (Bowerman & O'Connell, 1993) การแปลงข้อมูลโดยการหาผลต่างหรือผลต่างฤดูกาล (Difference or Seasonal Difference) การแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมสามัญหรือลอการิทึมธรรมชาติ (Common Logarithm or Natural Logarithm) การแปลงข้อมูลด้วยเลขยกกำลัง เช่น ยกกำลัง 0.5 (Square Root Transformation) หรือยกกำลัง 2 (Square Transformation)

2. กำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาคงที่ นั่นคือ กำหนดค่า p, q, P และ Q พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ โดยเลือกตัวแบบที่มีค่าเกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (Bayesian Information Criterion : BIC) ที่ต่ำที่สุด

3. ตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ออกจากตัวแบบพยากรณ์ครั้งละ 1 ตัว จากนั้นกำหนดตัวแบบพยากรณ์และประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่จนกว่าจะได้ตัวแบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด

4. คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าสถิติ Ljung - Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญและอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบโคลโมโกรอฟสเมียร์นอฟ (Kolmogorov - Smirnov's Test) มีการเคลื่อนไหวอย่างอิสระกัน ตรวจสอบโดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยการทดสอบที (t-Test) มีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบของเลวินภายใต้การใช้ค่ามัธยฐาน (Levene's Test based on Median)

5. พยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด

3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำของตัวแบบการพยากรณ์

การศึกษาค้างนี้เปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบการพยากรณ์โดยพิจารณาเปรียบเทียบค่า RMSE MAPE และ MAE ต่ำที่สุด ดังนี้

3.4.1 รากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE)

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

3.4.2 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE)

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n |(y_i - \hat{y}_i) / y_i|$$

3.4.3 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE)

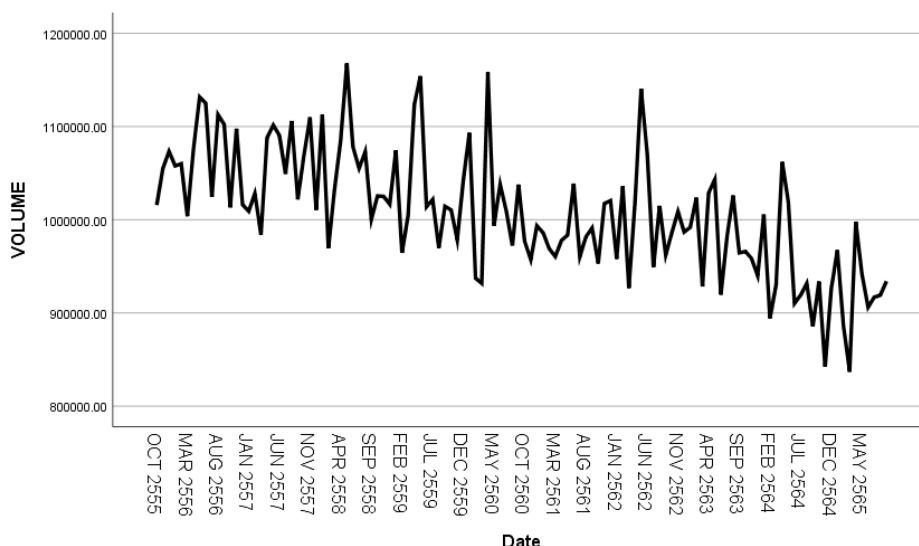
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(y_i - \hat{y}_i)|$$

4. ผลการวิจัย

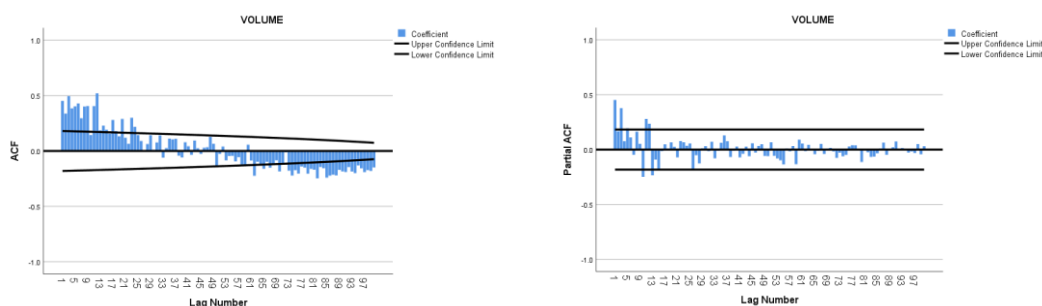
สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้เทคนิคของบ็อกซ์-เจนกินส์เพื่อสร้างตัวแบบและพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ โดยแบ่งผลการวิจัยออกเป็น 4 ส่วน คือ การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา ผลการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้เทคนิคของบ็อกซ์-เจนกินส์ การเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์โดยใช้เทคนิคของบ็อกซ์-เจนกินส์ และผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครสวรรค์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

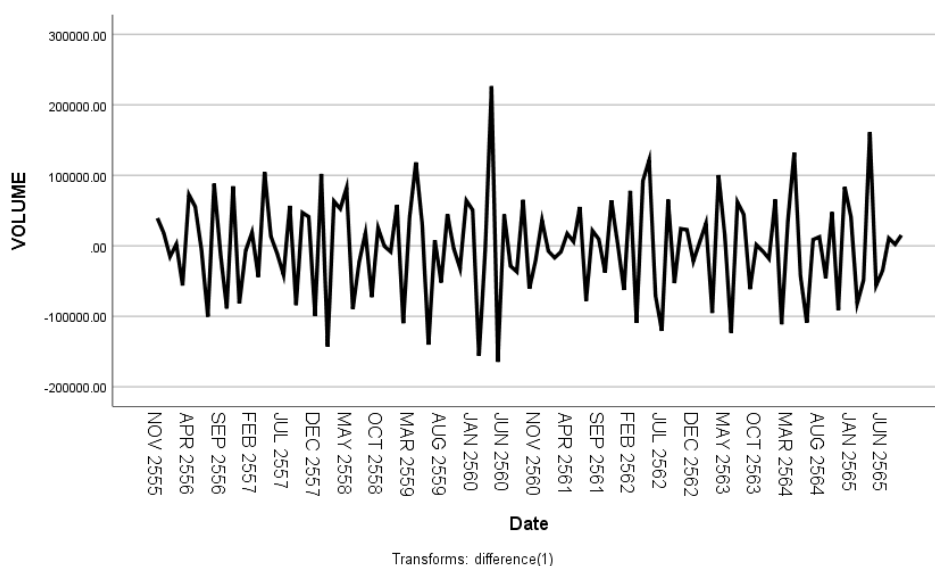
จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2556 ถึงปีงบประมาณ 2565 จำนวน 120 ค่า ดังภาพที่ 1 พบว่า อนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวของแนวโน้ม และเมื่อพิจารณาค่า ACF และ PACF ดังภาพที่ 2 จะเห็นว่าค่า ACF และ PACF ที่ Lag = 1 นั้นมีค่าสูง และค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อจำนวน Lag เพิ่มขึ้น จากลักษณะดังกล่าวจึงเป็นการยืนยันว่าข้อมูลมีลักษณะไม่คงที่ (Non - Stationary) ผู้วิจัยจึงทำการปรับข้อมูลโดยวิธีหาผลต่าง 1 ครั้ง ($d=1$) เพื่อกำจัดแนวโน้มและทำให้ข้อมูลมีลักษณะคงที่ (Stationary) ดังภาพที่ 3 และ ดังภาพที่ 4 พบว่า อนุกรมเวลาไม่มีการเคลื่อนไหวของแนวโน้มแล้ว



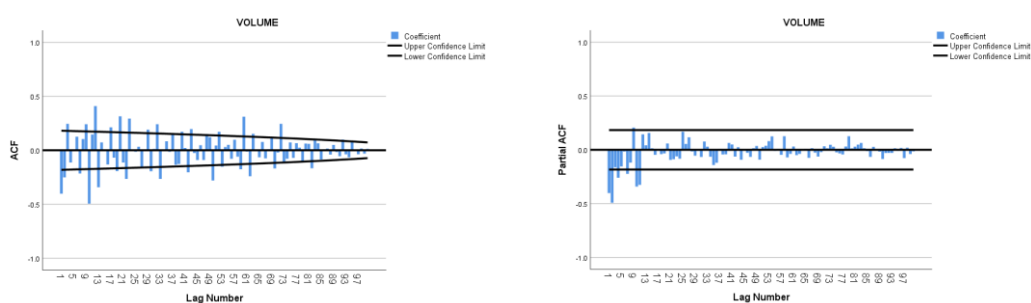
ภาพที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ (ลูกบาศก์เมตร) กับเวลา (เดือน)



ภาพที่ 2 กราฟ ACF และ PACF ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์กับเวลา โดยหาผลต่าง 1 ครั้ง ($d=1$)



ภาพที่ 4 กราฟ ACF และ PACF ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์โดยหาผลต่าง 1 ครั้ง ($d=1$)

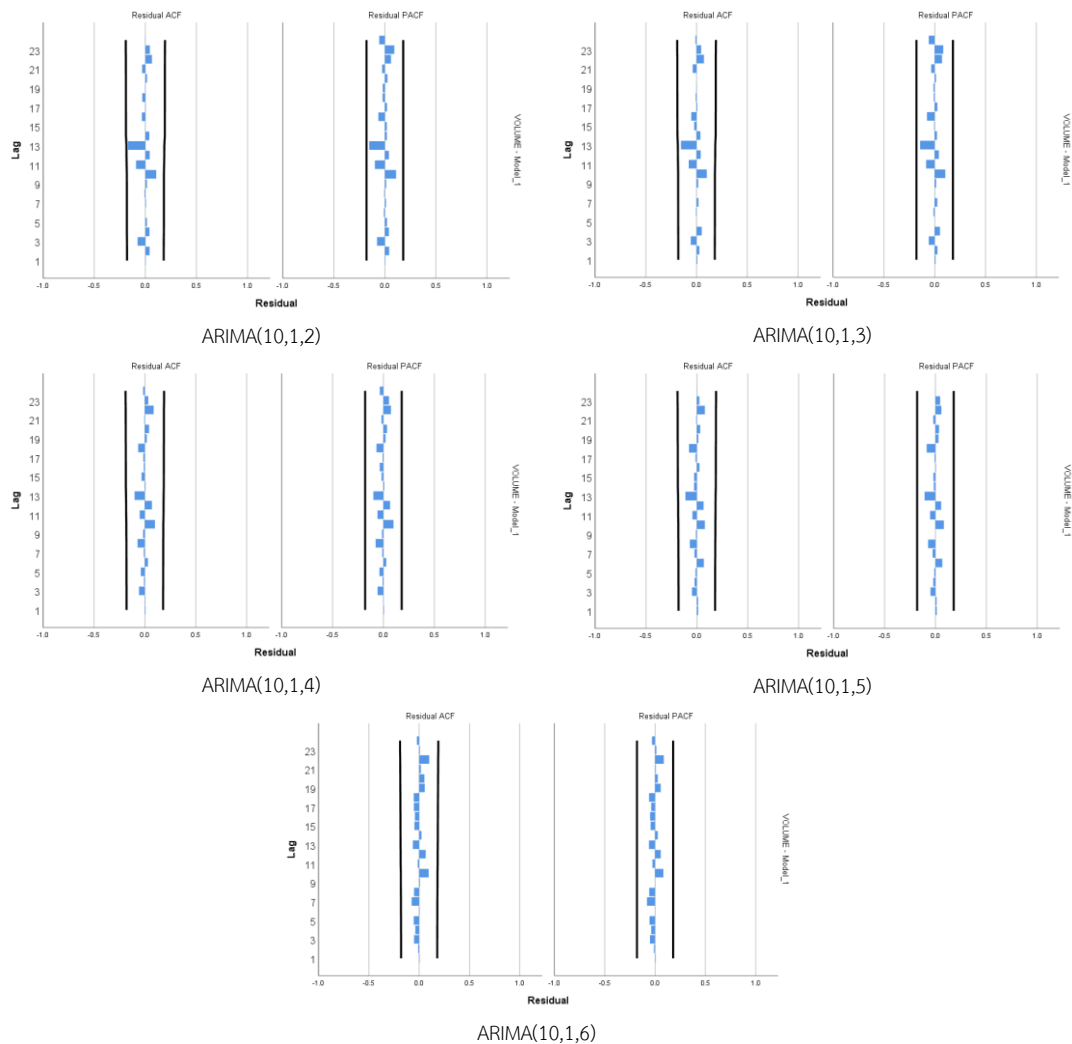
4.2 ผลการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้เทคนิคของบ็อกซ์-เจนกินส์

จากการปรับข้อมูลอนุกรมเวลาปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์โดยหาผลต่าง 1 ครั้ง ($d=1$) เพื่อทำให้ข้อมูลมีลักษณะคงที่ (Stationary) (Bowerman & O'Connell, 1993) ดังภาพที่ 3 แล้ว ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้เทคนิคของบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยกำหนดตัวแบบที่เป็นไปได้ พิจารณาค่า p และ q ที่ให้ค่า BIC ต่ำ พบว่า $p = 10$ ให้ค่า BIC ที่ต่ำกว่าค่าอื่น ๆ ($p = 6$ ค่า BIC = 22.035, $p = 7$ ค่า BIC = 21.950, $p = 8$ ค่า BIC = 21.988, $p = 9$ ค่า BIC = 21.923 และ $p = 10$ ค่า BIC = 21.903) $q = 2, 3, 4, 5, 6$ ให้ค่า BIC ที่ใกล้เคียงกัน ($q = 2$ ค่า BIC = 21.873, $q = 3$ ค่า BIC = 21.920, $q = 4$ ค่า BIC = 21.907, $q = 5$ ค่า BIC = 21.951, $q = 6$ ค่า BIC = 21.984, $q = 7$ ค่า BIC = 22.104 และ $q = 8$ ค่า BIC = 22.148) เพื่อให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด

พบว่า ค่า p-value ของการทดสอบ Ljung - Box Q มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวที่ lag ต่าง ๆ ของตัวแบบที่ศึกษามีค่าไม่แตกต่างจากศูนย์ เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติโดยใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov - Smirnov ได้ค่า p-value = 0.200 ทุกตัวแบบ แสดงว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ ค่า p-value จากการใช้สถิติทดสอบ t พบว่าค่า p-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั่นคือค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา เมื่อพิจารณาจากค่า p-value โดยใช้สถิติทดสอบ Levene พบว่าค่า p-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ดังตารางที่ 1 ค่า ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนทุก ๆ ค่า lag ตกอยู่ภายในขอบเขตช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกัน ดังภาพที่ 5 ตัวแบบ ARIMA(10,1,4), ARIMA(10,1,5) และ ARIMA(10,1,6) ให้ค่า RMSE, MAPE และ MAE ที่ต่ำและใกล้เคียงกัน ส่วนตัวแบบ ARIMA(10,1,2) และ ARIMA(10,1,3) ให้ค่า RMSE, MAPE และ MAE ที่สูงกว่า ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าสถิติ Ljung - Box Q, Kolmogorov - Smirnov's, t - Test และค่าสถิติ Levene's Test

ตัวแบบ	Ljung - Box Q -Statistics		Kolmogorov - Smirnov's Test		t - Test		Levene's Test based on Median	
	Q - Statistics	p-value	Z	p-value	t	p-value	Levene Statistic	p-value
ARIMA(10,1,2)	8.509	0.203	0.050	0.200	0.302	0.763	0.852	0.570
ARIMA(10,1,3)	7.127	0.211	0.055	0.200	0.316	0.752	0.763	0.650
ARIMA(10,1,4)	5.943	0.203	0.055	0.200	0.248	0.805	0.550	0.835
ARIMA(10,1,5)	6.274	0.099	0.051	0.200	0.262	0.794	0.485	0.882
ARIMA(10,1,6)	5.702	0.058	0.051	0.200	0.256	0.799	0.678	0.728



ภาพที่ 5 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ ARIMA(10,1,2), ARIMA(10,1,3), ARIMA(10,1,4), ARIMA(10,1,5) และ ARIMA(10,1,6)

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพความแม่นยำของตัวแบบการพยากรณ์

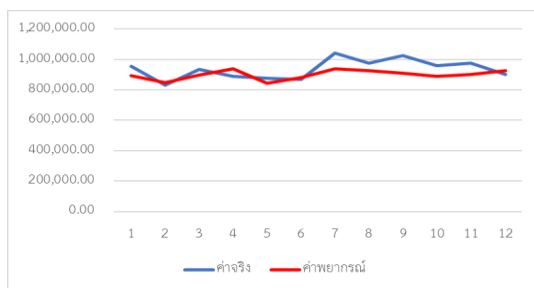
ตัวแบบ	ARIMA(10,1,2)	ARIMA(10,1,3)	ARIMA(10,1,4)	ARIMA(10,1,5)	ARIMA(10,1,6)
RMSE	42,423.75	42,556.45	41,446.99	41,530.86	41,376.90
MAPE	3.222	3.228	3.098	3.090	3.037
MAE	32,599.80	32,652.39	31,316.06	31,205.23	30,709.72

4.3 การเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์โดยใช้เทคนิคของบอซ-เจนกินส์

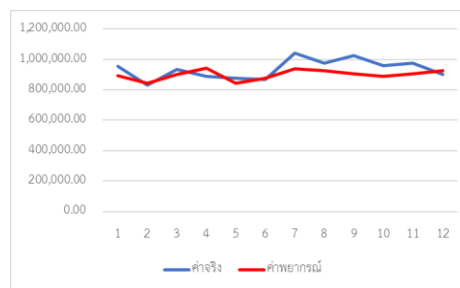
จากการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาโดยใช้เทคนิคของบอซ-เจนกินส์ โดยกำหนดตัวแบบต่าง ๆ เพื่อให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสม พบว่า ตัวแบบทั้งหมด 5 ตัวแบบคือ ตัวแบบ ARIMA(10,1,2), ARIMA(10,1,3), ARIMA(10,1,4), ARIMA(10,1,5) และ ARIMA(10,1,6) ผู้วิจัยทำการทดสอบผลการพยากรณ์ของตัวแบบที่สร้างขึ้นเทียบกับค่าจริงของข้อมูลชุดที่ 2 ปีงบประมาณ 2566 จำนวน 12 ค่า พบว่า ตัวแบบ ARIMA(10,1,4), ARIMA(10,1,5) และ ARIMA(10,1,6) ให้ค่า RMSE, MAPE และ MAE ที่ต่ำและใกล้เคียงกัน ส่วนตัวแบบ ARIMA(10,1,2) และ ARIMA(10,1,3) ให้ค่า RMSE, MAPE และ MAE ที่สูงกว่า ตัวแบบที่วิเคราะห์หอนุกรมเวลาด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์ที่เหมาะสมที่สุด คือ ตัวแบบ ARIMA(10,1,5) โดยให้ค่า RMSE, MAPE และ MAE ต่ำที่สุด คือ 58,551.27 , 5.36 และ 51,437.16 ตามลำดับ เมื่อพิจารณากราฟเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ พบว่า ตัวแบบ ARIMA(10,1,5) มีค่าพยากรณ์ใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุด โดยตัวแบบสามารถพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ได้แม่นยำคิดเป็นร้อยละ 96 ($R^2 = 0.96$) ดังภาพที่ 6

ตารางที่ 3 ค่าจริงและค่าพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ปีงบประมาณ 2566 จำนวน 12 ค่า

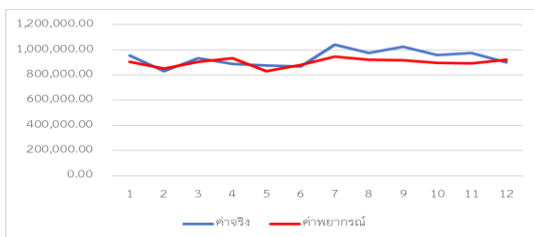
ปี	เดือน	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์				
			ARIMA (10,1,2)	ARIMA (10,1,3)	ARIMA (10,1,4)	ARIMA (10,1,5)	ARIMA (10,1,6)
2565	ตุลาคม	956,265.00	894,853.56	892,977.29	905,481.60	905,866.14	905,997.84
2565	พฤศจิกายน	831,388.00	849,466.52	845,899.98	850,225.64	856,223.24	841,837.00
2565	ธันวาคม	936,188.00	899,516.59	900,033.92	905,100.45	914,342.13	898,504.24
2566	มกราคม	887,394.00	940,101.06	941,327.22	936,228.11	931,264.50	923,386.88
2566	กุมภาพันธ์	878,293.00	844,134.40	842,908.80	832,921.83	828,717.75	832,430.67
2566	มีนาคม	867,790.00	879,898.65	878,219.24	881,348.22	884,322.21	887,788.12
2566	เมษายน	1,040,579.00	937,167.02	939,556.29	947,766.58	946,809.38	949,776.04
2566	พฤษภาคม	975,555.00	925,884.24	924,907.84	924,174.94	924,457.24	923,919.77
2566	มิถุนายน	1,024,519.00	909,999.01	906,739.46	917,627.18	926,742.78	914,469.70
2566	กรกฎาคม	960,568.00	888,740.62	887,990.39	897,834.46	899,501.46	882,766.43
2566	สิงหาคม	977,247.00	902,430.01	903,945.40	893,061.32	888,741.24	883,585.68
2566	กันยายน	902,988.00	926,047.62	927,444.23	922,211.05	920,960.12	927,075.16
ความคลาดเคลื่อนของ		RMSE	62,649.16	63,030.51	59,581.56	58,551.27	62,103.91
การพยากรณ์		MAPE	5.64	5.64	5.42	5.36	5.60
		MAE	54,370.20	54,457.11	52,141.56	51,437.16	54,024.23



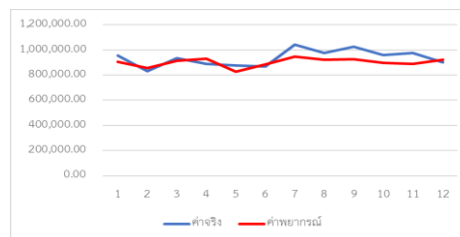
ARIMA(10,1,2)



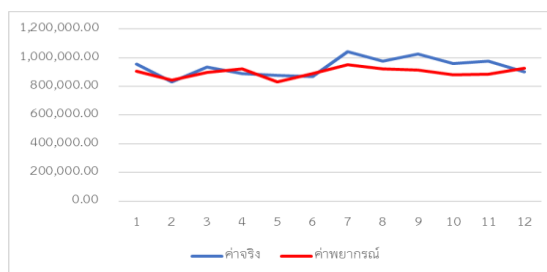
ARIMA(10,1,3)



ARIMA(10,1,4)



ARIMA(10,1,5)



ARIMA(10,1,6)

ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ของข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ปีงบประมาณ 2566 จำนวน 12 โดยใช้ตัวแบบ ARIMA(10,1,2), ARIMA(10,1,3), ARIMA(10,1,4), ARIMA(10,1,5) และ ARIMA(10,1,6)

4. 4 ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์

การพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2566 ถึงเดือนกันยายน 2567 โดยใช้ตัวแบบที่วิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีบอกซ์เจนกินส์ที่เหมาะสมที่สุดคือตัวแบบ ARIMA(10,1,5) ซึ่งเป็นตัวแบบที่ให้ค่า RMSE , MAPE และ MAE ต่ำที่สุด ผลการพยากรณ์แสดงได้ดังตารางที่ 4 โดยพบว่า ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ปีงบประมาณ 2567 รวม เท่ากับ 10,632,157.04 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4 ค่าพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์รายเดือนปีงบประมาณ 2567

ปี	เดือน	ค่าพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปารายเดือน (ลูกบาศก์เมตร)
2566	ตุลาคม	872,941.87
2566	พฤศจิกายน	853,381.46
2566	ธันวาคม	909,488.07
2567	มกราคม	878,897.26
2567	กุมภาพันธ์	839,755.03
2567	มีนาคม	888,643.25
2567	เมษายน	900,254.26
2567	พฤษภาคม	914,596.16
2567	มิถุนายน	920,259.87
2567	กรกฎาคม	871,617.73
2567	สิงหาคม	884,256.03
2567	กันยายน	898,066.05
รวม		10,632,157.04

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยต้องสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ โดยใช้การวิเคราะห์หอนุกรมเวลาด้วยวิธีบ็อกซ์เจนกินส์ (Box-Jenkins) หาประสิทธิภาพความแม่นยำของตัวแบบการพยากรณ์โดยพิจารณา RMSE MAPE และ MAE ผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ ตัวแบบ ARIMA(10,1,5) เนื่องจากให้ค่า RMSE, MAPE และ MAE ต่ำที่สุด ผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณิชชา สุภาพิมพ์และ สุเมธ แก่นมณี (2555), Viccione et al. (2020), Bo et al. (2021), Ristow et al. (2021) และ Rajballie et al. (2022) เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ให้การพยากรณ์เมื่อเวลาผ่านไปความต้องการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์อาจจะไม่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยเวลาเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการศึกษารังต่อไปผู้วิจัยควรพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วย รวมถึงการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบการพยากรณ์อย่างสม่ำเสมอเมื่อเวลาผ่านไป นอกจากการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาโดยใช้เทคนิคของบ็อกซ์-เจนกินส์นี้ เทคนิคในการพยากรณ์ข้อมูลยังมีอีกหลายเทคนิคซึ่งอาจนำมาประยุกต์ใช้หลายเทคนิคเข้าด้วยกันเพื่อจะได้ทราบถึงเทคนิคที่เหมาะสมกับข้อมูลนั้น ๆ มากที่สุด

6. เอกสารอ้างอิง

- ณิชา สุภาพิมพ์ และ สุเมธ แก่นมณี. (2555). การพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในอนาคต โดยใช้แบบจำลองอาร์มาและแบบจำลองการزش. *วารสารวิจัย มช. ฉบับสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 11(1), 45-55. https://rtt.kku.ac.th/ejournal/pa_upload_pdf/843236.pdf
- ณัฐภัทร ก้อนเครือ และ กัลยา บุญหล้า. (2559). การพยากรณ์ปริมาณหน่วยจำหน่ายไฟฟ้าจังหวัดพิษณุโลก. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 25(2), 54-64. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/science_kmitl/article/view/73756/59509
- ทรงศิริ แต่สมบัติ. (2549). *การพยากรณ์เชิงปริมาณ*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิจิต หล่อจ๊ะระชุมห์กุล และ จิราวัลย์ จิตรถเวช. (2548). *เทคนิคการพยากรณ์ (พิมพ์ครั้งที่3)*. กรุงเทพมหานคร: โครงการส่งเสริมเอกสารวิชาการสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- วรางคณา กীরติวิบูลย์. (2558). การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดน่าน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 38(3), 211-223. https://digital.lib.kmutt.ac.th/journal/loadfile.php?A_ID=773
- Box G.E.P., Jenkins G.M., & Reinsel, G.C. (1994). *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (3rd ed). New Jersey: Prentice Hall
- Bowerman, B.L., & O'Connell, R.T. (1993). *Forecasting and Time Series: An Applied Approach* (3rd ed). California: Duxbury Press.
- Bo, Z., Yezheng, L. & Feifei, Z. (2021). Annual Water Consumption Forecast of Hefei Based on ARIMA Model. *Academic Journal of Computing & Information Science*, 4(3), 88-93. <https://doi: 10.25236/AJCIS.2021.040314>
- Rajballie, A., Tripathib, V., & Chinchamee A. (2022). Water consumption forecasting models – a case study in Trinidad (Trinidad and Tobago). *Journal of the International Water Supply Association*, 22(5), 2534-5447. <https://doi: 10.2166/ws.2022.147>
- Ristow, D.C.M., Henning, E., Kalbusch, A. & Petersen, C.E. (2021). Models for forecasting water demand using time series analysis: a case study in Southern Brazil. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 11(2), 231-240. <http://doi: 10.2166/washdev.2021.208>
- Viccione, G., Guarnaccia, C., Mancini S. & Quartieri J. (2020) On the use of ARIMA models for short-term water tank levels forecasting. *Journal of the International Water Supply Association*, 20(3), 787-799. <https://doi: 10.2166/ws.2019.190>
- Weiss, H.J., & Gershon, M.E. (1993). *Production and operations management* (2nd ed). USA: Allyn and Bacon.