

ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร
อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร
Model for Forecasting Wind Direction at an Altitude of 120 meters
in Nikhom Kham Soi District, Mukdahan Province

วารางคณา เรียนสุทธิ^{1*}

Warangkha Riansuti¹

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

¹Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung Campus

วันที่ส่งบทความ : 29 มีนาคม 2564 วันที่แก้ไขบทความ : 20 กรกฎาคม 2564 วันที่ตอบรับบทความ : 30 มีนาคม 2565

Received: 29 March 2021, Revised: 20 July 2021, Accepted: 30 March 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร ด้วยวิธีการทางสถิติ 7 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายแบบบวก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ อนุกรมเวลาทิศทางลมรายชั่วโมงได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 จำนวน 1,465 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์จะใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ มีความเหมาะสมมากที่สุด

คำสำคัญ : ทิศทางลม ตัวแบบพยากรณ์ บ็อกซ์-เจนกินส์ การทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง

Abstract

The aim of this research is to construct seven forecasting models of wind direction at an altitude of 120 meters in Nikhom Kham Soi District, Mukdahan Province, namely, Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, Brown's exponential smoothing method, damped trend exponential smoothing method, simple seasonal exponential smoothing method (additive), Winters' additive exponential smoothing method, and Winters' multiplicative exponential smoothing method. Hourly time series of wind direction

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: warang27@gmail.com

were gathered from the center for energy and environment research, Thaksin university during May 1 to July 1, 2015 of 1,465 observations. The criteria of the lowest mean absolute percentage error and root mean squared error were used for comparing the suitability of the forecasting model. The study indicated that Box-Jenkins method was the most appropriate.

Keywords: Wind direction, Forecasting model, Box-Jenkins, Exponential smoothing

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์กันมาก เช่น การนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานลมเป็นพลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศ และแรงจากการหมุนของโลก ซึ่งพลังงานลมมีอยู่ทั่วไป ไม่ต้องซื้อ และเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมให้มีศักยภาพเพียงพอต้องอาศัยเทคโนโลยีกังหันลม โดยจำเป็นต้องเข้าใจพฤติกรรมของลม ลักษณะการแจกแจงทางสถิติของลม ความหนาแน่นของกำลังลมตามระดับความสูงของเสาวัดลม และลักษณะพื้นที่ของบริเวณที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ รวมถึงทิศทางลมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องศึกษาเพราะมีผลโดยตรงต่อการวางตำแหน่งของกังหันลม ในบางช่วงเวลาที่ทิศทางลมอาจเกิดความไม่แน่นอนเนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความแตกต่างของพื้นที่ จากการที่ทิศทางลมมีคุณลักษณะที่มีความแปรปรวนสูง เพราะพฤติกรรมของลมที่ไม่ต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงสูง ทำให้การผลิตไฟฟ้าของกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีลักษณะแปรปรวนตามพฤติกรรมของลม ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้า [1] ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่น่าสนใจที่ควรมีการพยากรณ์ทิศทางลมโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า วรางคณา เรียนสุทธิ์ [2] ได้ศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วรางคณา เรียนสุทธิ์ [3] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทิศทางลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธีการทางสถิติ 5 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วรางคณา เรียนสุทธิ์ และจอมภพ แววศักดิ์ [4] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดมุกดาหาร ด้วยวิธีการทางสถิติ 3 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่เคยมีการศึกษาพยากรณ์ทิศทางลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมน้ำจืด จังหวัดมุกดาหาร ซึ่งการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ เนื่องจากเป็นระดับความสูงของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ในปัจจุบันที่มีหอคอยสูงระดับ 120 เมตร ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ทิศทางลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมน้ำจืด จังหวัดมุกดาหาร โดยใช้วิธีการทางสถิติทั้งหมด 7 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายแบบบวก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ การคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดจะใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ตัวแบบสำหรับใช้ในการพยากรณ์ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมน้ำจืด จังหวัดมุกดาหาร แล้วนำผลการพยากรณ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการสั่งการการทำงานของกังหันลม เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพในการหมุนของกังหันลมให้รองรับลมตามทิศทางที่พยากรณ์ได้

2. วิธีการทดลอง

สร้างตัวแบบพยากรณ์ทิศทางลม (องศา) ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมน้ำจืด จังหวัดมุกดาหาร โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17 สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทิศทางลมรายชั่วโมงจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2524 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 เวลา 0.00 น. จำนวน 302,377 ค่า เนื่องด้วยข้อจำกัดของงบประมาณการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้การศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถนำทิศทางลมที่เป็นปัจจุบันมาวิเคราะห์ข้อมูลได้ อย่างไรก็ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมในอดีตและในปัจจุบันไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก ผู้วิจัยได้คัดเลือกข้อมูลทิศทางลมมาศึกษาตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 เวลา 0.00 น. จำนวน 1,465 ค่า เนื่องจากการศึกษาข้อมูลทั้งหมด 302,377 ค่า เป็นจำนวนข้อมูลที่มากเกินไป ทำให้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมในอดีตไม่คงที่ จึงเป็นข้อจำกัดต่อการสร้างตัวแบบพยากรณ์ อีกทั้งข้อมูลช่วงที่คัดเลือกดังกล่าวเป็นช่วงเวลาใกล้เคียงกับข้อมูลปัจจุบันมากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลจำนวน 1,465 ค่า มาแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2558 เวลา 23.00 น. จำนวน 1,440 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 เวลา 0.00 น. จำนวน 25 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด

ตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลาทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมน้ำจืด จังหวัดมุกดาหาร ชุดที่ 1 ดังนี้ ถ้าอนุกรมเวลาที่มีการแจกแจงปกติ (ตรวจสอบการแจกแจงปกติด้วยการทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิร์นอฟ : Kolmogorov-Smirnov's Test) และมีความแปรปรวนเท่ากัน (ตรวจสอบความแปรปรวนเท่ากันด้วยการทดสอบของเลวีในภายใต้การใช้มัธยฐาน : Levene's Test Based on Median) จะใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric Statistics) คือ การวิเคราะห์

ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) แต่ถ้าอนุกรมเวลาไม่มีการแจกแจงปรกติหรือมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric Statistics) คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอลล-วอลลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) โดยถ้าผลการตรวจสอบพบว่า อนุกรมเวลามีแนวโน้ม จะต้องกำจัดแนวโน้มออกก่อนที่จะตรวจสอบอิทธิพลของฤดูกาล ซึ่งวิธีการกำจัดแนวโน้มมี 2 วิธี คือ ถ้าพิจารณาที่กราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลาแล้วพบว่า อนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่ค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า อนุกรมเวลามีความเหมาะสมกับตัวแบบบวก ควรกำจัดแนวโน้มออกด้วยการลบ แต่ถ้าอนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า อนุกรมเวลามีความเหมาะสมกับตัวแบบคูณ ควรกำจัดแนวโน้มออกด้วยการหาร สำหรับการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาชุดนี้จัดรูปที่ 1 ในผลการวิจัย พบว่า อนุกรมเวลามีความเหมาะสมกับตัวแบบคูณ จึงกำจัดแนวโน้มออกด้วยการหาร สำหรับอนุกรมเวลาที่มีเฉพาะแนวโน้ม วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA(p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก อนุกรมเวลาที่มีเฉพาะอิทธิพลของฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายแบบบวก และอนุกรมเวลามีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA(p, d, q)(P, D, Q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ [5]-[6] จากผลการตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลในผลการวิจัยแสดงว่า ทิศทางลมมีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสม คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการพยากรณ์ทางสถิติที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาทุกรูปแบบ ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายแบบบวก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ เพื่อให้ครอบคลุมตัวแบบพยากรณ์ที่ดีที่สุด ตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 7 วิธีดังกล่าว แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 โดยมีความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

\hat{Y}_t และ \hat{Y}_{t+m} แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t และเวลา $t + m$ ตามลำดับ โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

e_t แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

$\hat{\delta} = \hat{\mu} \hat{\phi}_p(B) \hat{\Phi}_p(B^s)$ แทนค่าคงตัว (Constant) โดยที่ $\hat{\mu}$ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary)

$\hat{\phi}_p(B) = 1 - \hat{\phi}_1 B - \hat{\phi}_2 B^2 - \dots - \hat{\phi}_p B^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ p กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p : AR(p))

$\hat{\phi}_p(B^s) = 1 - \hat{\phi}_1 B^s - \hat{\phi}_2 B^{2s} - \dots - \hat{\phi}_p B^{ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P: SAR(P))

$\hat{\theta}_q(B) = 1 - \hat{\theta}_1 B - \hat{\theta}_2 B^2 - \dots - \hat{\theta}_q B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q: MA(q))

$\hat{\theta}_Q(B^s) = 1 - \hat{\theta}_1 B^s - \hat{\theta}_2 B^{2s} - \dots - \hat{\theta}_Q B^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Moving Average Operator of Order Q: SMA(Q))

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ($n_1 = 1,440$)

s แทนจำนวนฤดูกาล ซึ่งอนุกรมเวลาที่ศึกษาลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร เป็นข้อมูลรายชั่วโมง ดังนั้น $s = 24$

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

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

a_t และ b_t แทนค่าประมาณระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ณ เวลา t ตามลำดับ

α , γ , ϕ และ δ แทนค่าคงตัวการทำให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$, $0 < \gamma < 1$, $0 < \phi < 1$ และ $0 < \delta < 1$

ตารางที่ 1. ตัวแบบพยากรณ์

วิธีที่	วิธีพยากรณ์	ตัวแบบพยากรณ์	ลักษณะอนุกรมเวลา
1	บ็อกซ์-เจนกินส์	SARIMA(p, d, q)(P, D, Q) _s $\hat{\phi}_p(B)\hat{\phi}_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D \hat{Y}_t = \hat{\delta} + \hat{\theta}_q(B)\hat{\theta}_q(B^s)e_t$ [7]	มีแนวโน้มและฤดูกาล
2	โฮลต์	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m)$ โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$ [6]	มีเพียงแนวโน้ม
3	บรวาน์	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \left[(m-1) + \frac{1}{\alpha} \right]$ โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1}$, $b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1-\alpha)b_{t-1}$ [5]	มีเพียงแนวโน้ม
4	ดั้ม	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i$ โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)\phi b_{t-1}$ [6]	มีเพียงแนวโน้ม
5	ฤดูกาลอย่างง่าย	$\hat{Y}_t = a_t + \hat{S}_t$ โดยที่ $a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)a_{t-1}$, $\hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$ [5]	มีเพียงฤดูกาล
6	วินเทอร์แบบบวก	$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) + \hat{S}_t$ โดยที่ $a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$, $\hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$ [5]	มีแนวโน้มและฤดูกาล

ตารางที่ 1. (ต่อ) ตัวแบบพยากรณ์

วิธีที่	วิธีพยากรณ์	ตัวแบบพยากรณ์	ลักษณะอนุกรมเวลา
7	วินเทอร์แบบคูณ	$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) \hat{S}_t$ โดยที่ $a_t = \alpha \frac{Y_t}{\hat{S}_{t-s}} + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$, $\hat{S}_t = \delta \frac{Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$ [5]	มีแนวโน้มและฤดูกาล

พิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ โดยการเปรียบเทียบทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอ尼คมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร ของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 เวลา 0.00 น. จำนวน 25 ค่า ($n_2 = 25$) กับค่าพยากรณ์ เพื่อคำนวณค่า MAPE และ RMSE โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด สูตร MAPE และ RMSE แสดงดังนี้ [5]

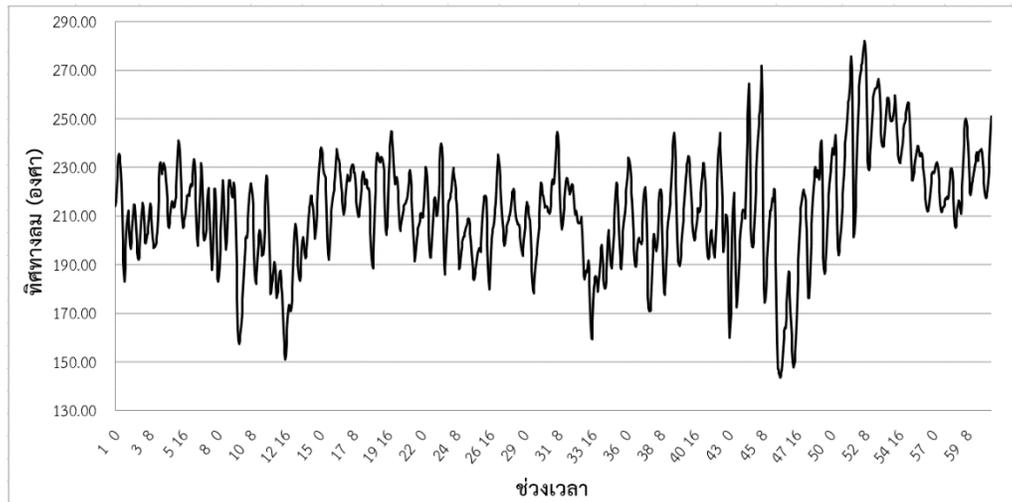
$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad \text{และ} \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2}$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_t และ \hat{Y}_t แทนอนุกรมเวลาและค่าพยากรณ์ ณ เวลา t ตามลำดับ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอ尼คมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2558 เวลา 23.00 น. จำนวน 1,440 ค่า ดังรูปที่ 1 พบว่า ทิศทางลมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($t = 0.01396$, $p < 0.0001$) และมีความผันผวนตามฤดูกาล เนื่องจากทิศทางลมช่วงเวลาเดียวกันของแต่ละวัน เป็นไปในลักษณะเดียวกัน



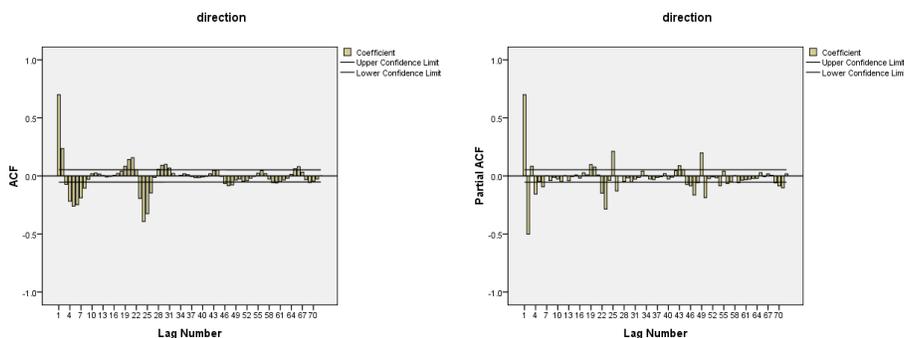
รูปที่ 1. ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอเนินกมลศรีร้อย จังหวัดมุกดาหาร ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2558 เวลา 23.00 น.

จากการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล พบว่า อนุกรมเวลาทิศทางลมในแต่ละวันไม่มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนไม่เท่ากันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอล-วอลลิสในการตรวจสอบแนวโน้ม พบว่า อนุกรมเวลามีค่ามัธยฐานในแต่ละวันแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\chi^2 = 792.159$, p-value < 0.0001) นั่นคือ อนุกรมเวลามีแนวโน้ม และอนุกรมเวลาทิศทางลมในแต่ละชั่วโมงไม่มีการแจกแจงปกติ แต่มีความแปรปรวนเท่ากันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอล-วอลลิสในการตรวจสอบอิทธิพลของฤดูกาล พบว่า อนุกรมเวลามีค่ามัธยฐานในแต่ละชั่วโมงแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\chi^2 = 345.074$, p-value < 0.0001) นั่นคือ อนุกรมเวลามีอิทธิพลของฤดูกาล เนื่องจากอนุกรมเวลาทิศทางลมมีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสม คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณา ค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1 ดังตารางที่ 2 พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s มีค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด แต่วิธีที่มีความเหมาะสมรองลงมา กลับเป็นวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ซึ่งมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีเพียงแนวโน้มเท่านั้น ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาทุกรูปแบบ เพื่อให้ครอบคลุมตัวแบบพยากรณ์ที่ดีที่สุด

ตารางที่ 2. ค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1

วิธีการพยากรณ์	MAPE	RMSE	วิธีการพยากรณ์	MAPE	RMSE
บ็อกซ์-เจนกินส์	0.694	2.365	ฤดูกาลอย่างง่าย	1.307	3.989
โฮลต์	0.997	3.254	วินเทอร์แบบบวก	1.306	3.987
บราวน์	0.996	3.253	วินเทอร์แบบคูณ	1.427	4.245
แคม	0.944	3.086			

จากการตรวจสอบที่พบว่า อนุกรมเวลาทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร มีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 ($D = 1$) เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ได้กราฟ Autocorrelation Function (ACF) และกราฟ Partial Autocorrelation Function (PACF) ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ SARIMA(2, 1, 2)(2, 1, 1)₂₄ จากการคัดเลือกตัวแบบให้เหลือเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังตารางที่ 3 พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม (Ljung-Box Q ณ lag 6 = 8.965, p-value = 0.706) คือ ตัวแบบ SARIMA(2, 1, 2)(2, 1, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เมื่อแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ดังตารางที่ 4 และค่าดัชนีฤดูกาลจากวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายแบบบวก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ แสดงดังตารางที่ 5



รูปที่ 2. กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร เมื่อแปลงข้อมูลด้วยผลต่างลำดับที่ 1 และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1

ตารางที่ 3. ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบ SARIMA(2, 1, 2)(2, 1, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว

พารามิเตอร์	ϕ_1	ϕ_2	θ_1	θ_2	Φ_1	Φ_2	Θ_1
ค่าประมาณ	1.47557	-0.61910	0.40208	0.41767	0.10503	-0.07906	0.94888
t	51.907	-24.988	12.184	13.098	3.643	-2.788	68.984
p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.005	< 0.0001

ตารางที่ 4. ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์

วิธีที่	วิธีพยากรณ์	ตัวแบบพยากรณ์
1	บ็อกซ์-เจนกินส์ ตัวแบบ SARIMA(2, 1, 2)(2, 1, 1) ₂₄ ไม่มี พจน์ค่าคงตัว	$\hat{Y}_t = 2.47557Y_{t-1} - 2.09467Y_{t-2} + 0.61910Y_{t-3} + 1.10503Y_{t-24}$ $- 2.73558Y_{t-25} + 2.31467Y_{t-26} - 0.68412Y_{t-27} - 0.18409Y_{t-48}$ $+ 0.45573Y_{t-49} - 0.38561Y_{t-50} + 0.11397Y_{t-51} + 0.07906Y_{t-72}$ $- 0.19572Y_{t-73} + 0.16560Y_{t-74} - 0.04895Y_{t-75} - 0.40208e_{t-1}$ $- 0.41767e_{t-2} - 0.94888e_{t-24} - 0.38153e_{t-25} + 0.39632e_{t-26}$ <p>โดยที่ Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$ และ e_{t-j} แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$</p>
2	โฮสต์	$\hat{Y}_{t+m} = 250.80969 + 4.11838(m)$ <p>โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 30 มิถุนายน 2558 เวลา 0.00 น.</p>
3	บราวน์	$\hat{Y}_{t+m} = 250.80895 + 4.11805 \left[(m-1) + \frac{1}{0.99999} \right]$ <p>โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 30 มิถุนายน 2558 เวลา 0.00 น.</p>
4	แคม	$\hat{Y}_{t+m} = 250.80904 + 4.11809 \sum_{i=1}^m (0.79305)^i$ <p>โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 30 มิถุนายน 2558 เวลา 0.00 น.</p>
5	ฤดูกาลอย่างง่าย	$\hat{Y}_t = 247.07785 + \hat{S}_t$ <p>โดยที่ \hat{S}_t แสดงดังตารางที่ 4</p>
6	วินเทอร์แบบบวก	$\hat{Y}_{t+m} = (247.24313 + 0.03545m) + \hat{S}_t$ <p>โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 30 มิถุนายน 2558 เวลา 0.00 น. และ \hat{S}_t แสดงดังตารางที่ 4</p>
7	วินเทอร์แบบคูณ	$\hat{Y}_{t+m} = (250.94727 + 0.01584m)\hat{S}_t$ <p>โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 30 มิถุนายน 2558 เวลา 0.00 น. และ \hat{S}_t แสดงดังตารางที่ 4</p>

ตารางที่ 5. ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาที่ศึกษาลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร จากวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายแบบบวก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

เวลา	\hat{S}_t ของวิธีฤดูกาลอย่างง่าย	\hat{S}_t ของวิธีวินเทอร์แบบบวก	\hat{S}_t ของวิธีวินเทอร์แบบคูณ
0.00 น.	2.503	2.665	0.996
1.00 น.	3.056	3.204	0.994
2.00 น.	5.567	5.701	1.004
3.00 น.	7.982	8.102	1.018
4.00 น.	10.235	10.341	1.032
5.00 น.	12.327	12.419	1.044
6.00 น.	13.488	13.565	1.053
7.00 น.	13.153	13.216	1.058
8.00 น.	10.648	10.697	1.057
9.00 น.	7.050	7.085	1.051
10.00 น.	0.499	0.520	1.033
11.00 น.	-6.964	-6.957	1.001

ตารางที่ 5. (ต่อ) ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร จากวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายแบบบวก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

เวลา	\hat{S}_t ของวิธีฤดูกาลอย่างง่าย	\hat{S}_t ของวิธีวินเทอร์แบบบวก	\hat{S}_t ของวิธีวินเทอร์แบบคูณ
12.00 น.	-12.745	-12.752	0.969
13.00 น.	-15.775	-15.796	0.945
14.00 น.	-16.846	-16.881	0.927
15.00 น.	-16.461	-16.511	0.918
16.00 น.	-13.317	-13.380	0.933
17.00 น.	-8.991	-9.069	0.957
18.00 น.	-4.921	-5.013	0.979
19.00 น.	-1.671	-1.777	0.996
20.00 น.	0.868	0.748	1.009
21.00 น.	2.826	2.691	1.016
22.00 น.	3.763	3.614	1.011
23.00 น.	3.728	3.566	0.999

จากตารางที่ 5 พบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายแบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก แสดงว่า ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร มีค่าต่ำในช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 19.00 น. เนื่องจากดัชนีฤดูกาลมีค่าน้อยกว่า 0 และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ แสดงว่า ทิศทางลมมีค่าต่ำในช่วงเวลา 0.00 น. ถึง 1.00 น. ช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 19.00 น. และช่วงเวลา 23.00 น. เนื่องจากดัชนีฤดูกาลมีค่าน้อยกว่า 1 ผลการตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 6 ซึ่งพบว่า ค่าคลาดเคลื่อนทุกวิธีการพยากรณ์มีความเป็นอิสระกัน หมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นทั้ง 7 วิธี มีความเหมาะสม

ตารางที่ 6. การตรวจสอบความเป็นอิสระกันของค่าคลาดเคลื่อน

วิธีพยากรณ์	Run Test Z	p-value	วิธีพยากรณ์	Run Test Z	p-value
บ็อกซ์-เจนกินส์	0.182	0.856	ฤดูกาลอย่างง่าย	-0.364	0.716
โฮลต์	-1.273	0.203	วินเทอร์แบบบวก	-0.364	0.716
บราวน์	-1.273	0.203	วินเทอร์แบบคูณ	-0.364	0.716
แดม	-0.182	0.856			

เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นในตารางที่ 4 สำหรับการพยากรณ์ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร ชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 เวลา 0.00 น. จำนวน 25 ค่า จากนั้นเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับค่าจริงโดยการคำนวณค่า MAPE และ RMSE ได้ผลแสดงดังตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์ เนื่องจากมีค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด โดยมีความ

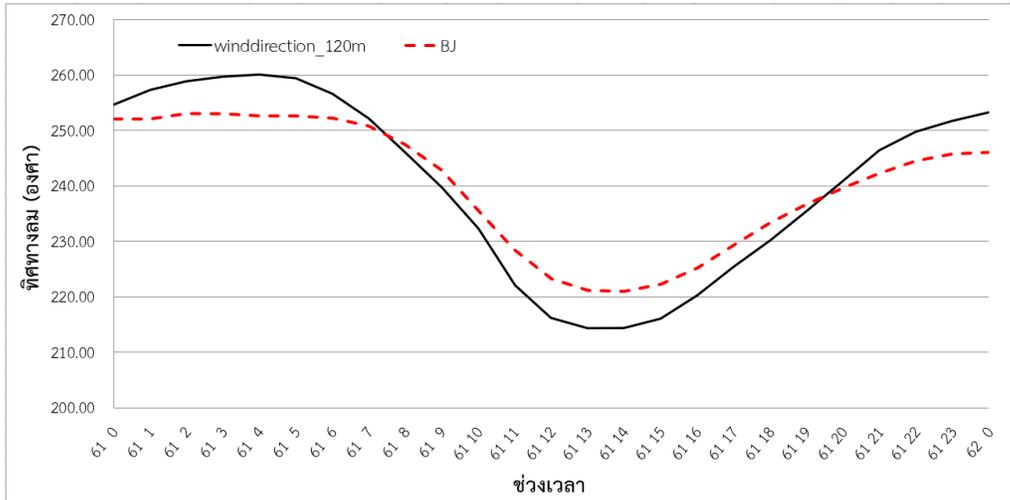
ผิดพลาดในการพยากรณ์ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร ร้อยละ 1.973 (MAPE = 1.973) หรือมีความผิดพลาดในการพยากรณ์ทิศทางลม 5.125 องศา (RMSE = 5.125) และตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมรองลงมา คือ ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายแบบบวก (MAPE = 3.934 และ RMSE = 10.713)

ตารางที่ 7. ค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2

วิธีพยากรณ์	MAPE	RMSE	วิธีพยากรณ์	MAPE	RMSE
บ็อกซ์-เจนกินส์	1.973	5.125	ฤดูกาลอย่างง่าย	3.934	10.713
โฮลต์	27.435	74.728	วินเทอร์แบบบวก	4.071	11.142
บราวน์	27.433	74.723	วินเทอร์แบบคูณ	5.533	15.394
แดม	10.438	29.862			

จากผลการตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลาทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร ชุดที่ 1 ที่พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมควรจะเป็นวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ [5-6] สอดคล้องกับผลการศึกษาคั้งนี้ที่พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA(2, 1, 2)(2, 1, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เป็นตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด อีกทั้งการศึกษาคั้งนี้ยังให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ วรางคณา เรียนสุทธิ์ [2] และการศึกษาของ วรางคณา เรียนสุทธิ์ และจอมภพ แววศักดิ์ [4] ที่พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมมากที่สุดกับการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช และอัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดมุกดาหาร แต่ขัดแย้งกับการศึกษาของ วรางคณา เรียนสุทธิ์ [3] ที่พบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์มีความเหมาะสมมากที่สุดกับการพยากรณ์ทิศทางลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดนครศรีธรรมราช อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของพื้นที่ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมที่สุดกับอนุกรมเวลาทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร อาจเนื่องมาจากการสร้างตัวแบบพยากรณ์ของวิธีนี้จะพิจารณาลักษณะของอนุกรมเวลาว่ามีสหสัมพันธ์กันอย่างไร รวมถึงมีการพิจารณาข้อมูลและค่าคลาดเคลื่อนในอดีตเพื่อนำมาสร้างเป็นตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยวิธีการพยากรณ์นี้สามารถใช้ได้กับอนุกรมเวลาที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวทุกรูปแบบ อย่างไรก็ตาม ค่าพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความแตกต่างจากข้อมูลจริงอยู่บ้างดังรูปที่ 3 อาจเนื่องมาจากการศึกษาคั้งนี้ได้พิจารณาเพียงปัจจัยเวลาเท่านั้นในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ซึ่งทิศทางลมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ และการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากปัจจัยเวลา ดังนั้นเมื่อมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมหรือมีข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น ผู้วิจัยควรนำมาปรับปรุงตัวแบบเพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น สำหรับใช้ในการพยากรณ์ทิศทางลมในอนาคตต่อไป



รูปที่ 3. การเปรียบเทียบทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร และค่าพยากรณ์จากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA(2, 1, 2)(2, 1, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลา ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร ด้วยวิธีการทางสถิติ 7 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายแบบบวก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ผลการศึกษาพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA(2, 1, 2)(2, 1, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว มีความเหมาะสมมากที่สุด (MAPE = 1.973 และ RMSE = 5.125) ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์ ดังนี้

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & 2.47557Y_{t-1} - 2.09467Y_{t-2} + 0.61910Y_{t-3} + 1.10503Y_{t-24} - 2.73558Y_{t-25} + 2.31467Y_{t-26} \\ & - 0.68412Y_{t-27} - 0.18409Y_{t-48} + 0.45573Y_{t-49} - 0.38561Y_{t-50} + 0.11397Y_{t-51} + 0.07906Y_{t-72} \\ & - 0.19572Y_{t-73} + 0.16560Y_{t-74} - 0.04895Y_{t-75} - 0.40208e_{t-1} - 0.41767e_{t-2} - 0.94888e_{t-24} \\ & - 0.38153e_{t-25} + 0.39632e_{t-26} \end{aligned}$$

โดยที่ Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t - j$ และ e_{t-j} แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t - j$

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลทิศทางลม สำหรับการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] จอมภพ แววศักดิ์, ชูสิทธิ์ คงเรือง, สุภวรรณ ภูระวณิชกุล, ยุทธนา ภูระวณิชกุล, นิรันดร มาแทน, เขาวรัตน์ พรหมแพทย์ และอภิชาติ หนูทอง. 2551. การศึกษาความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมตามแนวชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. [Waewsak, J., Kongruang, C., Tirawanichakul, S., Tirawanichakul, Y., Matan, N., Promphat, C. and Noo-Thong, A. 2008. The feasibility study of wind farm power plants along the coastal lines of southern Thailand. National Research Council of Thailand, Bangkok. (in Thai)]
- [2] วรารศนา เรียนสุทธิ. 2563. ตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพะนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์*, 19(1), 95-109. [Riansut, W. 2020. Daily wind speed forecast model at an altitude of 120 meters, Pak Phanang district, Nakhon Si Thammarat province. *The Journal of Applied Science*, 19(1), 95-109. (in Thai)]
- [3] วรารศนา เรียนสุทธิ. 2563. การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดนครศรีธรรมราช. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 11(1), 40-52. [Riansut, W. 2020. A comparison of forecasting methods for wind direction at an altitude of 120 meters in Nakhon Si Thammarat province. *Journal of Research Unit on Science Technology and Environment for Learning*, 11(1), 40-52. (in Thai)]
- [4] วรารศนา เรียนสุทธิ และจอมภพ แววศักดิ์. 2562. การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดมุกดาหาร. *วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพฯ*, 13(2), 115-130. [Riansut, W. and Waewsak, J. 2019. A comparison of forecasting methods for wind speed at an altitude of 120 meters in Mukdahan province. *UTK Research Journal*, 13(2), 115-130. (in Thai)]
- [5] สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. 2548. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา. [Somkiat Ket-iam. 2005. Forecasting Technique. 2nd ed, Thaksin University, Songkhla. (in Thai)]
- [6] มุกดา แมนมินทร์. 2549. อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. โฟร์พรี้นติ้ง, กรุงเทพฯ. [Mookda Manmin. 2006. Time Series and Forecasting. Foreprinting, Bangkok. (in Thai)]
- [7] Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. 1994. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 3rd ed, Prentice Hall, New Jersey.