

## ตัวแบบพยากรณ์อนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพยาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

### Daily Wind Speed Time Series Forecast Model at an Altitude of 120 Meters in Koh Phayam, Mueang Ranong, Ranong

ดร.วารางคณา เรียนสุทธิ (Dr.Warangkhana Riansut)<sup>1\*</sup>

(Received: December 16, 2021; Revised: April 21, 2022; Accepted: May 6, 2022)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพยาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ด้วยวิธีการทางสถิติ 5 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรม และวิธีการพยากรณ์รวม อนุกรมเวลาทิศทางลมได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558 จำนวน 1,369 วัน สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์จะใช้เกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือวิธีการพยากรณ์รวม (RMSE = 2.0306) โดยมีตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\hat{Y}_t = -0.12074\hat{Y}(\text{โฮลต์}) + 1.10210\hat{Y}(\text{แตรม})$$

$$\text{โดยที่ } \hat{Y}(\text{โฮลต์}) = 6.27428 - 0.00014(m) \text{ และ } \hat{Y}(\text{แตรม}) = 6.27423 + 0.98754 \sum_{i=1}^m (0.09991)^i$$

#### ABSTRACT

The aim of this research is to construct five methods of forecasting daily wind speed at an altitude of 120 meters in Koh Phayam, Mueang Ranong, Ranong Province, namely, Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, Brown's exponential smoothing method, damped trend exponential smoothing method, and combining forecasts method. Time series of wind speed were gathered from research center in energy and environment, Thaksin university during 1 January 2012 to 30 September 2015 of 1,369 days. The criterion of the lowest root mean squared error was used for comparing the suitability of the forecasting model. The results indicated that the most accurate method was the combining forecasts method (RMSE = 2.0306) which the forecasting model was

$$\hat{Y}_t = -0.12074\hat{Y}(\text{Holt}) + 1.10210\hat{Y}(\text{Damped})$$

$$\text{where } \hat{Y}(\text{Holt}) = 6.27428 - 0.00014(m) \text{ and } \hat{Y}(\text{Damped}) = 6.27423 + 0.98754 \sum_{i=1}^m (0.09991)^i .$$

**คำสำคัญ:** บ็อกซ์-เจนกินส์ การทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง การพยากรณ์รวม รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

**Keywords:** Box-Jenkins, Exponential smoothing, Combining forecasts, Root mean squared error

<sup>1</sup>Corresponding author: warang27@gmail.com

\*รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

Associate Professor, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University

## บทนำ

ปัจจุบันมีการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์กันมาก เช่น การนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยประเทศไทยมีทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ที่กำลังดำเนินการ 21 โครงการ มีกำลังการผลิตติดตั้ง 681.4 เมกะวัตต์ ในพื้นที่ต่าง ๆ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดสงขลา จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดภูเก็ต และจังหวัดราชบุรี นอกจากนี้ยังมีอีกหลายโครงการที่กำลังอยู่ระหว่างการก่อสร้าง เช่น ทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 60 เมกะวัตต์ บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในรูปแบบผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กของบริษัทกลุ่ม รวมถึงยังมีอีกหลายโครงการที่กำลังอยู่ระหว่างการพัฒนา ซึ่งเป็นการพัฒนาเพื่อให้เป็นไปตามแผนการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของกระทรวงพลังงานและมีเป้าหมายการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าให้ได้ถึง 3,002 เมกะวัตต์ [1] ซึ่งสาเหตุที่นิยมนำพลังงานลมมาผลิตกระแสไฟฟ้า อาจเนื่องมาจากพลังงานลมเป็นพลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศ และแรงจากการหมุนของโลก ซึ่งพลังงานลมมีอยู่ทั่วไปไม่ต้องซื้อ และเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมให้มีศักยภาพเพียงพอต่ออาศัยเทคโนโลยีกังหันลม โดยจำเป็นต้องเข้าใจพฤติกรรมของลม ลักษณะการแจกแจงทางสถิติของลม ความหนาแน่นของกำลังลม อัตราเร็วลมตามระดับความสูงของเสาตัวลม ช่วงเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล (รายนาที รายชั่วโมง รายวัน) และลักษณะพื้นที่ของบริเวณที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ เพราะมีผลโดยตรงต่อการวางตำแหน่งของกังหันลม ในบางช่วงเวลาอัตราเร็วลมอาจเกิดความไม่แน่นอนเนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความแตกต่างของพื้นที่จากการที่อัตราเร็วลมมีคุณลักษณะที่มีความแปรปรวนสูง เพราะพฤติกรรมของลมที่ไม่ต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงสูง ทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าของทุ่งกังหันลมมีลักษณะแปรปรวนตามพฤติกรรมของลม ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตได้จากทุ่งกังหันลม [2] ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่น่าสนใจที่ควรมีการพยากรณ์อัตราเร็วลมโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า Waewsak and Riansut [1] ได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 เวลา 0.00 น. จำนวน 721 ค่า ด้วยวิธีการทางสถิติ 3 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ Waewsak and Riansut [3] ได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพยาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 28 กันยายน 2558 เวลา 23.00 น. จำนวน 672 ค่า ด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก Riansut [4] ได้สร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2558 จำนวน 1,277 วัน ด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ Riansut [5] ได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 เวลา 0.00 น. จำนวน 1,465 ค่า ด้วยวิธีการทางสถิติ 3 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่เคยมีการศึกษาพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพะงาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง อีกทั้งการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เป็นสิ่งที่มีประโยชน์เนื่องจากเป็นระดับความสูงของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ในปัจจุบันที่มีหอคอยสูงระดับ 120 เมตร ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพะงาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง โดยใช้วิธีการทางสถิติ จากนั้นจึงคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด 1 ตัวแบบ โดยใช้เกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุดเพื่อให้ได้ตัวแบบสำหรับใช้ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพะงาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

## วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพะงาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ด้วยวิธีการทางสถิติ 5 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโพลด์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก และวิธีการพยากรณ์รวม

## วิธีการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลอัตราเร็วลมรายชั่วโมง (เมตร/วินาที) ที่ระดับความสูง 120 เมตรเหนือพื้นดิน ตำบลเกาะพะงาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558 เวลา 23.00 น. เนื่องจากการพิจารณาอัตราเร็วลมรายชั่วโมงจะมีจำนวนข้อมูลมากถึง 32,856 ค่า ซึ่งการมีจำนวนข้อมูลที่มากเกินไปทำให้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในอดีตไม่คงที่จึงยากแก่การสร้างตัวแบบพยากรณ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำอัตราเร็วลมรายชั่วโมงมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อวัน อัตราเร็วลมรายวันที่ศึกษา คือ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558 จำนวน 1,369 วัน (เนื่องด้วยข้อจำกัดของงบประมาณการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้การศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถนำอัตราเร็วลมที่เป็นปัจจุบันมาวิเคราะห์ข้อมูลได้ อย่างไรก็ตาม ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วลมในอดีตไม่ได้มีความแตกต่างกับในปัจจุบันมากนัก)

2. แบ่งข้อมูลอัตราเร็วลมรายวันออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คืออัตราเร็วลมรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2558 จำนวน 1,339 วัน ใช้สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และชุดที่ 2 คืออัตราเร็วลมรายวันของวันที่ 1 – 30 กันยายน 2558 จำนวน 30 วัน ใช้สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ RMSE ที่ต่ำที่สุด

3. ตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายวันชุดที่ 1 โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคัล-วอลลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) ซึ่งการตรวจสอบแนวโน้มจะพิจารณาว่า มัชฐานของอัตราเร็วลมในแต่ละเดือนหรือมัชฐานของอัตราเร็วลม 12 กลุ่ม (12 เดือน) มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ หากพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า อนุกรมเวลามีแนวโน้ม ตรวจสอบอิทธิพลของฤดูกาลโดยพิจารณาว่ามัชฐานของอัตราเร็วลมวันเดียวกันในแต่ละเดือนหรือมัชฐานของอัตราเร็วลม 31 กลุ่ม (31 วัน) มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ หากพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า อนุกรมเวลามีอิทธิพลของฤดูกาล

4. จากผลตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลในข้อ 3 ถ้าพบว่า อนุกรมเวลามีเฉพาะแนวโน้ม วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบอาร์มีมา (ตัวแบบรวมการถดถอยในตัวกับการเฉลี่ยเคลื่อนที่) หรือ

Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA(p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลด์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรัม และวิธีการพยากรณ์รวม อนุกรมเวลามีเฉพาะอิทธิพลของฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และอนุกรมเวลามีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบซารีมา (ตัวแบบรวมการถดถอยในตัวกับการเคลื่อนที่เชิงฤดูกาล) หรือ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)<sub>s</sub> วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม [6-7] ซึ่งจากผลการตรวจสอบพบว่า อัตราเร็วลมนมีแนวโน้ม แต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงใช้วิธีการพยากรณ์ 5 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ ARIMA(p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลด์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรัม และวิธีการพยากรณ์รวม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ตัวแบบพยากรณ์

วิธีที่	วิธีพยากรณ์	ตัวแบบพยากรณ์
1	บ็อกซ์-เจนกินส์	ARIMA(p, d, q): $\hat{\phi}_p(B)(1-B)^d \hat{Y}_t = \hat{\delta} + \hat{\theta}_q(B)e_t$ [8]
2	โฮลด์	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m)$ 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]
3	บราวน์	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \left[ (m-1) + \frac{1}{\alpha} \right]$ โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1}$ , $b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1-\alpha)b_{t-1}$ [7]
4	แตรัม	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i$ 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]
5	พยากรณ์รวม*	$\hat{Y}_t = b_1 \hat{Y}(\text{โฮลด์}) + b_2 \hat{Y}(\text{แตรัม})$ [6] โดยที่ $\hat{Y}(\text{โฮลด์})$ แทนค่าพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลด์, $\hat{Y}(\text{แตรัม})$ แทนค่าพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรัม และ $b_i$ แทนค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) [9]

\* ใช้การรวมค่าพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลด์และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรัม เนื่องจากมีค่า RMSE ต่ำกว่าวิธีพยากรณ์อื่น ๆ

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

$e_t$  แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

$\hat{\delta} = \hat{\mu} \hat{\phi}_p(B)$  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))

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

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง  $n_1$  โดยที่  $n_1$  แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ( $n_1 = 1,339$ )

d แทนลำดับที่ของการหาผลต่าง

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

$a_t$  และ  $b_t$  แทนค่าประมาณระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ณ เวลา t ตามลำดับ

$\alpha$ ,  $\gamma$  และ  $\phi$  แทนค่าคงตัวการทำให้เรียบ โดยที่  $0 < \alpha < 1$ ,  $0 < \gamma < 1$  และ  $0 < \phi < 1$

5. ตรวจสอบข้อสมมุติ (Assumptions) ของตัวแบบพหุการณ คือ อนุกรมเวลาของค่าตลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิรโนฟ (Kolmogorov-Smirnov's Test: KS Test) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบรันส์ (Runs Test) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบที (t-Test) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบของเลวินภายใต้การใช้มัธยฐาน (Levene's Test Based on Median) หากพบว่าข้อสมมุติข้อใดข้อหนึ่งไม่เป็นจริงจะสรุปว่าตัวแบบพหุการณไม่เหมาะสมและไม่สมควรนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป

6. เปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพหุการณ โดยการเปรียบเทียบอัตราเร็วลมรายวันชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 1 - 30 กันยายน 2558 จำนวน 30 วัน ( $n_2 = 30$ ) กับค่าพยากรณ์ เพื่อคำนวณค่า RMSE โดยตัวแบบพหุการณที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความแม่นยำมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด สูตร RMSE แสดงดังนี้ [7]

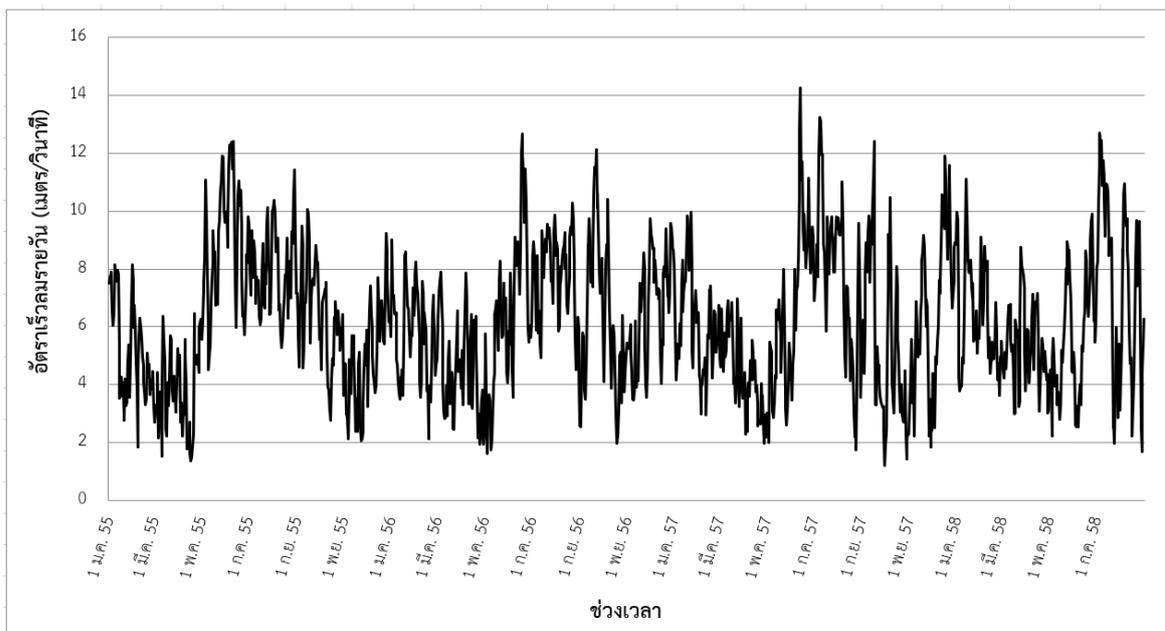
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2}$$

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

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

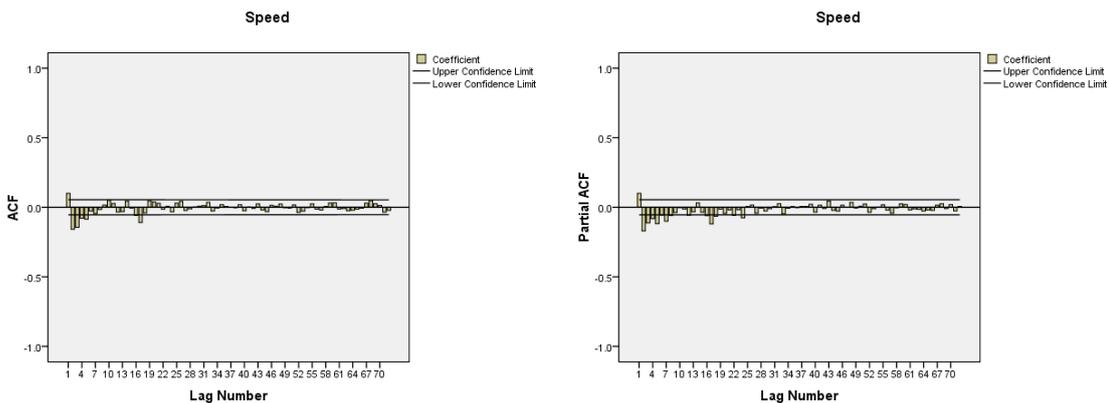
## ผลการวิจัย

ผลการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพยาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2558 จำนวน 1,339 วัน พบว่า อัตราเร็วลมมีแนวโน้มทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2558

ผลการทดสอบสมมุติฐานเพื่อตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล พบว่า อนุกรมเวลามีค่ามัธยฐานในแต่ละเดือนแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $\chi^2 = 391.160$ , p-value < 0.0001) นั่นคือ อนุกรมเวลามีแนวโน้ม และอนุกรมเวลามีค่ามัธยฐานในแต่ละวันไม่แตกต่างกัน ( $\chi^2 = 10.053$ , p-value = 0.9998) นั่นคือ อนุกรมเวลาไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ( $d = 1$ ) แล้วสร้างกราฟ Autocorrelation Function (ACF) และกราฟ Partial Autocorrelation Function (PACF) เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ พบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ (ภาพที่ 2) จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ ARIMA(3, 1, 3) ผลการคัดเลือกตัวแบบให้เหลือเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม คือ ตัวแบบ ARIMA(1, 1, 2) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เมื่อแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ (ตารางที่ 2) สำหรับผลการตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อน พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้น 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก และวิธีการพยากรณ์รวม มีข้อสมมุติเป็นจริงทุกข้อที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ อนุกรมเวลาของค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ เคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ขณะที่วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ มีข้อสมมุติไม่เป็นจริง 1 ข้อ คือ มีการเคลื่อนไหวไม่เป็นอิสระกัน ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้จากวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์จึงไม่เหมาะสม ไม่สมควรนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 2 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายวันเมื่อแปลงข้อมูลด้วยผลต่างลำดับที่ 1

ตารางที่ 2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์

วิธีที่	วิธีพยากรณ์	ตัวแบบพยากรณ์
1	บ็อกซ์-เจนกินส์	$\hat{Y}_t = 1.71473Y_{t-1} - 0.71473Y_{t-2} - 0.68124e_{t-1} - 0.25115e_{t-2}$ โดยที่ $Y_{t-j}$ แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$ และ $e_{t-j}$ แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$
2	โฮลต์	$\hat{Y}_{t+m} = 6.27428 - 0.00014(m)$
3	บราวน์	$\hat{Y}_{t+m} = 5.58044 + 0.68841 \left[ (m-1) + \frac{1}{0.57225} \right]$
4	แฉก	$\hat{Y}_{t+m} = 6.27423 + 0.98754 \sum_{i=1}^m (0.09991)^i$
5	พยากรณ์รวม	$\hat{Y}_t = -0.12074\hat{Y}$ (โฮลต์) + 1.10210 $\hat{Y}$ (แฉก)

หมายเหตุ  $m = 1$  แทนวันที่ 1 กันยายน 2558

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบพยากรณ์

วิธีที่	วิธีพยากรณ์	KS test	p-value	Runs test	p-value	t-test	p-value	Levene statistic	p-value
1	บ็อกซ์-เจนกินส์	0.900	0.393	0.711	0.477	-0.071	0.943	1.354	0.097
2	โฮลต์	0.718	0.681	-1.066	0.286	-0.023	0.982	1.162	0.251
3	บราวน์	0.608	0.854	-3.199	<b>0.001*</b>	0.043	0.966	0.922	0.589
4	แตม	0.749	0.629	1.012	0.312	-0.022	0.982	1.227	0.186
5	พยากรณ์รวม	0.765	0.602	1.121	0.262	3.511	0.000	1.271	0.150

\* ไม่ผ่านข้อสมมุติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพยาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 1 – 30 กันยายน 2558 จำนวน 30 วัน จากนั้นเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับค่าจริงโดยการคำนวณค่า RMSE พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการพยากรณ์รวม มีความแม่นยำมากที่สุดในการพยากรณ์ เนื่องจากมีค่า RMSE ต่ำที่สุด โดยมีความผิดพลาดในการพยากรณ์อัตราเร็วลม 2.0306 เมตร/วินาที รองลงมา คือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ มีความผิดพลาดในการพยากรณ์อัตราเร็วลม 2.0310 เมตร/วินาที (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่า RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2

วิธีพยากรณ์	บ็อกซ์-เจนกินส์	โฮลต์	แตม	พยากรณ์รวม
RMSE	2.0491	2.0310	2.0383	<b>2.0306</b>

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพยาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ด้วยวิธีการทางสถิติ 5 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตม และวิธีการพยากรณ์รวม ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์รวมซึ่งรวมค่าพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตมมีความแม่นยำมากที่สุด โดยมีตัวแบบพยากรณ์ ดังนี้

$$\hat{Y}_t = -0.12074\hat{Y}(\text{โฮลต์}) + 1.10210\hat{Y}(\text{แตม})$$

โดยที่  $\hat{Y}(\text{โฮลต์}) = 6.27428 - 0.00014(m)$  และ  $\hat{Y}(\text{แตม}) = 6.27423 + 0.98754 \sum_{i=1}^m (0.09991)^i$

จากผลการตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพยาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ชุดที่ 1 ที่พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีเฉพาะแนวโน้ม โดยไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมควรจะเป็นวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ ARIMA(p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตม และวิธีการพยากรณ์รวม [6-7] สอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่า วิธีการพยากรณ์รวมให้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำกับอนุกรมเวลาชุดนี้ที่มีเฉพาะแนวโน้ม โดยไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล แต่ขัดแย้งกับการศึกษาของ Waewsak and Riansut [3] ที่พบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดในการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพยาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง คือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตม อาจเนื่องมาจากเป็นการ

พยากรณ์อัตราเร็วลมคนละช่วงเวลาและคนละลักษณะของเวลา กล่าวคือ อัตราเร็วลมรายวันและรายชั่วโมง รวมถึง Waewsak and Riansut [3] ไม่ได้ศึกษาวิธีการพยากรณ์รวม

ผลการศึกษาค้นพบว่า ตัวแบบจากวิธีการพยากรณ์รวมมีความแม่นยำมากที่สุดในการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร ตำบลเกาะพยาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง จึงสามารถนำผลการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันจากตัวแบบดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคตต่อไป ซึ่งพลังงานลมเป็นรูปแบบพลังงานอย่างหนึ่งที่น่าสนใจและมีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม พลังงานลมอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณของลมซึ่งอาจขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิศาสตร์และสภาพอากาศที่ต้องเฝ้าต่อการเกิดลม ในประเทศไทยมีเพียงบางพื้นที่เท่านั้นที่มีความเร็วลมเหมาะสมในการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า เช่น ตำบลเกาะพยาม อำเภอเมือง จังหวัดระนอง, อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร และอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นต้น

ผลการคำนวณค่า RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2 (ตารางที่ 4) พบว่า ทุกวิธีการพยากรณ์มีค่า RMSE สูงพอสมควร โดยสูงกว่าของข้อมูลชุดที่ 1 เกือบสองเท่า (ตารางที่ 5) อาจเนื่องมาจากการศึกษาค้นคว้าได้พิจารณาเพียงปัจจัยเวลาเท่านั้น ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ซึ่งอัตราเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ และการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากปัจจัยเวลา ดังนั้นเมื่อมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วลมหรือมีข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น ผู้วิจัยควรนำมาปรับปรุงตัวแบบเพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น สำหรับการศึกษาค้นคว้าต่อไป ควรประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์วิธีอื่น ๆ เช่น วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) รวมถึงควรสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูงอื่น ๆ เช่น 50 และ 100 เมตร เป็นต้น เพื่อประโยชน์ในด้านการวางแผนและพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมภายในประเทศต่อไป

ตารางที่ 5 ค่า RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1

วิธีการพยากรณ์	บ็อกซ์-เจนกินส์	โพลต์	บราวน์	แดม	พยากรณ์รวม
RMSE	1.1550	1.2170	1.4145	1.2108	1.2044

## เอกสารอ้างอิง

1. Waewsak J, Riansut W. A comparison of forecasting methods for wind speed at an altitude of 120 meters in Mukdahan province. UTK Research Journal. 2019; 13(2): 115-130. Thai.
2. Waewsak J, Kongruang C, Tirawanichakul Y, Tirawanichakul S, Matan N, Promphat C, et.al., The feasibility study of wind farm power plants along the coastal lines of southern Thailand. Bangkok, Thailand: Office of the National Research Council of Thailand; 2008. Thai.
3. Waewsak J, Riansut W. A comparison of forecasting methods for wind speed at an altitude of 120 meters in Ranong province. KMUTT Research and Development Journal. 2020; 43(3): 229-242. Thai.
4. Riansut W. Daily wind speed forecast model at an altitude of 120 meters, Pak Phanang district, Nakhon Si Thammarat province. The Journal of Applied Science. 2020; 19(1): 95-109. Thai.
5. Riansut W. A comparison of forecasting methods for wind speed at an altitude of 120 meters, Pak Phanang district, Nakhon Si Thammarat province. RMUTSV Research Journal. 2021; 13(1): 24-39. Thai.
6. Manmin M. Time series and forecasting. Bangkok: Foreprinting; 2006. Thai.
7. Ket-iam S. Forecasting technique. 2nd ed. Songkhla: Thaksin University Book Center; 2005. Thai.



8. Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. Time series analysis: forecasting and control. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall; 1994.
9. Montgomery DC, Peck EA, Vining GG. Introduction to linear regression analysis. 4th ed. New York: Wiley; 2006.