



ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร
อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

Daily Wind Direction Forecast Model at an Altitude of 120 Meters,
Pak Phanang District, Nakhon Si Thammarat Province

วารางคณา เรียนสุทธิ์¹

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง จ.พัทลุง 93210

Warangkha Riansut¹

¹Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210 Thailand

E-mail: warang27@gmail.com

Received: 29 March 2021 | Revised: 12 November 2021 | Accepted: 30 November 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธีการทางสถิติ 5 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบดัม และวิธีการพยากรณ์รวม อนุกรมเวลาทิศทางลม ได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2558 จำนวน 1,277 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์จะใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์มีความเหมาะสมมากที่สุด ตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ไปสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพการหมุนของกังหันลมให้รองรับลมตามทิศทางที่พยากรณ์ได้

ABSTRACT

The aim of this research is to construct five methods of forecasting daily wind direction at an altitude of 120 meters in Pak Phanang District, Nakhon Si Thammarat Province, namely, Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, Brown's exponential smoothing method, damped trend exponential smoothing method, and combined forecasting method. Time series of wind direction were gathered from research center in energy and environment, Thaksin university during 1 January 2012 to 30 June 2015 of 1,277 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 Brown's exponential smoothing method was the most appropriate. The forecasting model could be utilized to increase the flexibility and efficiency of wind turbines in the direction of the forecast.

คำสำคัญ: ทิศทางลมรายวัน ตัวแบบพยากรณ์ บ็อกซ์-เจนกินส์ การทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง

Keywords: Daily Wind Direction, Forecasting Model, Box-Jenkins, Exponential Smoothing

บทนำ

ปัจจุบันมีการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์กันมาก เช่น การนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานลมเป็นพลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศ และแรงจากการหมุนของโลก ซึ่งพลังงานลมมีอยู่ทั่วไป ไม่ต้องซื้อ และเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมให้มีความคุ้มค่าเพียงพอสอดคล้องเทคโนโลยีกังหันลม โดยจำเป็นต้องเข้าใจพฤติกรรมของลม ลักษณะการแจกแจงทางสถิติของลม ความหนาแน่นของกำลังลมตามระดับความสูงของเสาวัดลม และลักษณะพื้นที่ของบริเวณที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ รวมถึงทิศทางลมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องศึกษา เพราะมีผลโดยตรงต่อการวางตำแหน่งของกังหันลม ในบางช่วงเวลาทิศทางลมอาจเกิดความไม่แน่นอนเนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความแตกต่างของพื้นที่ จากการที่ทิศทางลมมีคุณลักษณะที่มีความแปรปรวนสูง เพราะพฤติกรรมของลมที่ไม่ต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงสูง ทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าของกังหันลมมีลักษณะแปรปรวนตามพฤติกรรมของลม ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลม (จอมภพและคณะ, 2551) ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่น่าสนใจที่ควรมีการพยากรณ์ทิศทางลมโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า วราจคณา (2563ก) ได้ศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันที่ระดับความสูง 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 วิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วราจคณา (2563ข) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทิศทางลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 เวลา 0.00 น. จำนวน 1,465 ค่า ด้วยวิธีการทางสถิติ 5 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก และวิธีการพยากรณ์รวม ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วราจคณาและจอมภพ (2562) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร 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 วิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วราจคณาและจอมภพ (2563) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร 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 วิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่เคยมีการศึกษาพยากรณ์ทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช อีกทั้งการพยากรณ์ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ เนื่องจากเป็นระดับความสูงของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ในปัจจุบันที่มีหอคอยสูงระดับ 120 เมตร ดังนั้นการศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้วิธีการทางสถิติ จากนั้นจึงคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด 1 ตัวแบบ โดยใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช แล้วนำผลการพยากรณ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการสั่งการการทำงานของกังหันลม เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพในการหมุนของกังหันลมให้รองรับลมตามทิศทางที่พยากรณ์ได้

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์ทิศทางลมรายวัน (องศา) ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ มีขั้นตอนวิจัยดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตรเหนือพื้นดิน อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2558 จำนวน 1,277 วัน จากนั้นแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือทิศทางลมรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2558 จำนวน 1,247 วัน ใช้สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และชุดที่ 2 คือทิศทางลมรายวันของวันที่ 1 – 30 มิถุนายน 2558 จำนวน 30 วัน ใช้สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด

2. ตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลาทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 1 โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอลล-วอลลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) ซึ่งการตรวจสอบแนวโน้มจะพิจารณาว่ามัธยฐานของทิศทางลมในแต่ละเดือนหรือมัธยฐานของทิศทางลม 12 กลุ่ม (12 เดือน) มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ หากพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าอนุกรมเวลามีแนวโน้ม ตรวจสอบอิทธิพลของฤดูกาลโดยพิจารณาว่ามัธยฐานของทิศทางลมวันเดียวกันในแต่ละเดือนหรือมัธยฐานของทิศทางลม 31 กลุ่ม (31 วัน) มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ หากพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าอนุกรมเวลามีอิทธิพลของฤดูกาล (วารงคณา, 2563ข)

จากผลตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลในข้อ 2 ถ้าพบว่า อนุกรมเวลามีเฉพาะแนวโน้ม วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA(p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม และวิธีการพยากรณ์รวมอนุกรมเวลามีเฉพาะอิทธิพลของฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และอนุกรมเวลามีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม (สมเกียรติ, 2548; มุกดา, 2549) ซึ่งจากผลการตรวจสอบพบว่า ทิศทางลมมีแนวโน้ม แต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงใช้วิธีการพยากรณ์ 5 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ ARIMA(p, d, q) (BJ) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ (Holt) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ (Brown) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม (Damped) และวิธีการพยากรณ์รวม (Combined) ตัวแบบพยากรณ์แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 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

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

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

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

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ($n_1 = 1,247$)

d แทนลำดับที่ของการหาผลต่าง

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

ตารางที่ 1 ตัวแบบพยากรณ์

วิธีที่	วิธีพยากรณ์	ตัวแบบพยากรณ์
1	BJ	ARIMA(p, d, q): $\hat{\phi}_p(B)(1-B)^d \hat{Y}_t = \hat{\delta} + \hat{\theta}_q(B)e_t$ (Box et al., 1994)
2	Holt	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m)$ โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$ (มุกดา, 2549)
3	Brown	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \left[(m-1) + \frac{1}{\alpha} \right]$ โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1}$, $b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1-\alpha)b_{t-1}$ (สมเกียรติ, 2548)
4	Damped	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i$ โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)\phi b_{t-1}$ (มุกดา, 2549)
5	Combined	$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 \hat{Y}_{BJ} + b_2 \hat{Y}_{Brown}$ (มุกดา, 2549) โดยที่ \hat{Y}_{BJ} แทนค่าพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์, \hat{Y}_{Brown} แทนค่าพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และ b_i แทนค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) (Montgomery et al., 2006)

พิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ โดยการเปรียบเทียบทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 1 - 30 มิถุนายน 2558 จำนวน 30 ค่า ($n_2 = 30$) กับค่าพยากรณ์ เพื่อคำนวณค่า MAPE และ RMSE โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด สูตร MAPE และ RMSE แสดงดังนี้ (สมเกียรติ, 2548)

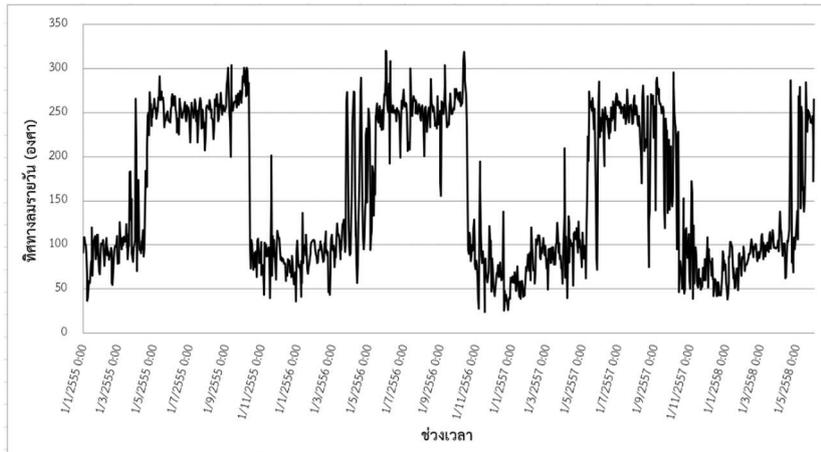
$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \text{ และ } RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2}$$

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

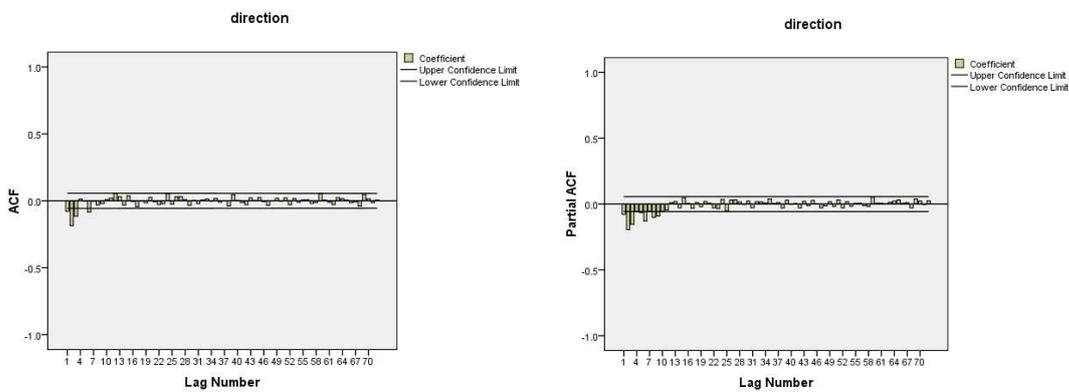
ผลการวิจัย

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่ทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2558 จำนวน 1,247 ค่า ดังรูปที่ 1 พบว่า ทิศทางลมมีแนวโน้มทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง

จากการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล พบว่า อนุกรมเวลามีค่ามัธยฐานในแต่ละเดือนแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\chi^2 = 827.131$, p-value < 0.0001) นั่นคือ อนุกรมเวลามีแนวโน้ม และอนุกรมเวลามีค่ามัธยฐานในแต่ละวันไม่แตกต่างกัน ($\chi^2 = 7.135$, p-value = 0.99995) นั่นคือ อนุกรมเวลาไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ได้กราฟ Autocorrelation Function (ACF) และกราฟ Partial Autocorrelation Function (PACF) ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ ARIMA(3, 1, 3) จากการคัดเลือกตัวแบบให้เหลือเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม คือ ตัวแบบ ARIMA(2, 1, 1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เมื่อแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ดังตารางที่ 2 สำหรับผลการตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3 ถึง 7 ซึ่งพบว่า ค่าคลาดเคลื่อนทุกวิธีการพยากรณ์มีการกระจายตัวรอบค่าศูนย์ หมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นทั้ง 5 วิธีมีความเหมาะสม



รูปที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาทิศทางลมรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2558

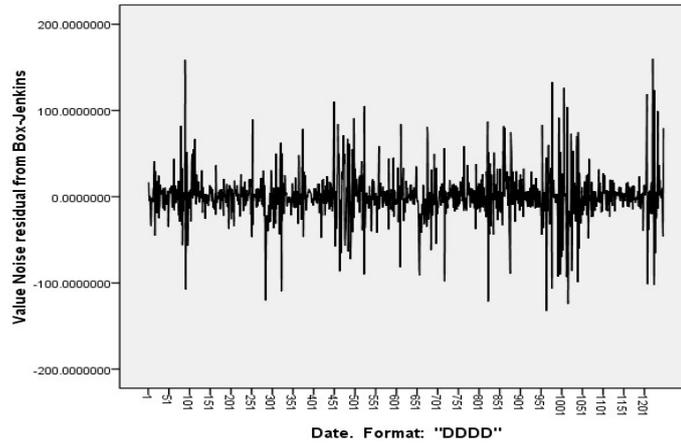


รูปที่ 2 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาทิศทางลมรายวันเมื่อแปลงข้อมูลด้วยผลต่างลำดับที่ 1

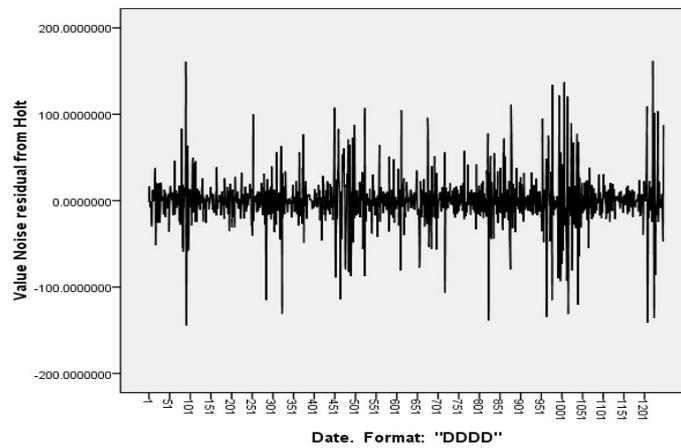
ตารางที่ 2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์

วิธีที่	วิธีพยากรณ์	ตัวแบบพยากรณ์
1	BJ	$\hat{Y}_t = 1.66405Y_{t-1} - 0.78953Y_{t-2} - 0.12548Y_{t-3} - 0.83418e_{t-1}$ โดยที่ Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$ และ e_{t-j} แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$
2	Holt	$\hat{Y}_{t+m} = 255.99603 - 0.03606(m)$
3	Brown	$\hat{Y}_{t+m} = 230.56640 + 0.41349 \left[(m-1) + \frac{1}{0.35027} \right]$
4	Damped	$\hat{Y}_{t+m} = 256.04017 + 0.02024 \sum_{i=1}^m (0.00025)^i$
5	Combined	$\hat{Y}_t = 3.70510 + 0.96286\hat{Y}_{BJ} + 0.01550\hat{Y}_{Brown}$

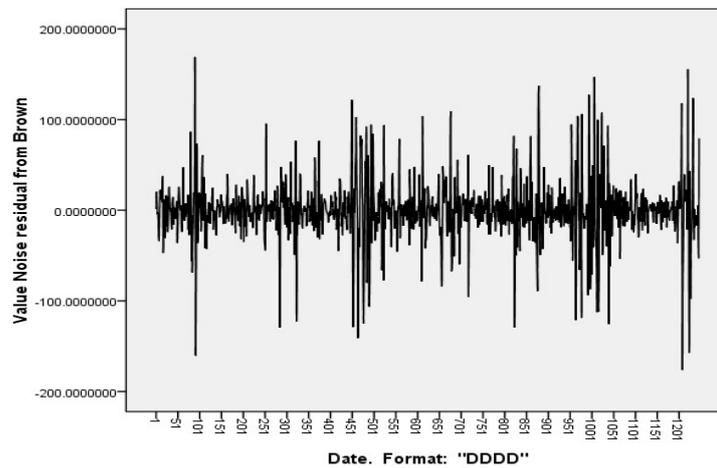
หมายเหตุ $m = 1$ แทนวันที่ 1 มิถุนายน 2558



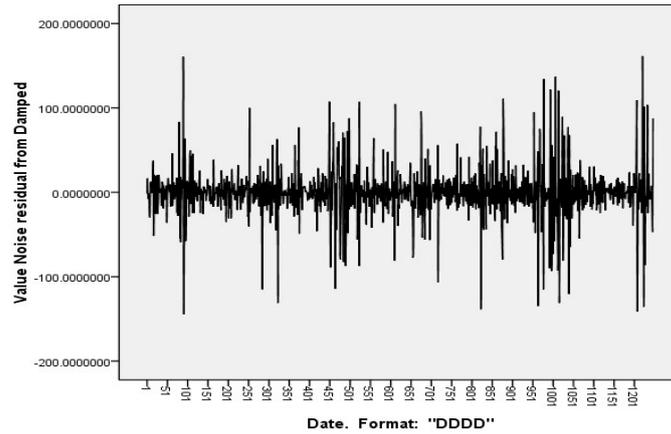
รูปที่ 3 ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โดย BJ เทียบกับเวลา



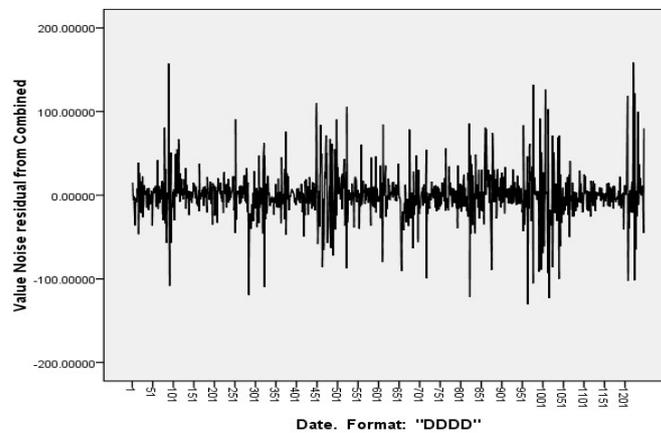
รูปที่ 4 ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โดย Holt เทียบกับเวลา



รูปที่ 5 ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โดย Brown เทียบกับเวลา



รูปที่ 6 ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โดย Damped เทียบกับเวลา



รูปที่ 7 ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โดย Combined เทียบกับเวลา

เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นในตารางที่ 2 สำหรับการพยากรณ์ทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 1 – 30 มิถุนายน 2558 จำนวน 30 ค่า จากนั้นเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับค่าจริงโดยการคำนวณค่า MAPE และ RMSE ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์มีความเหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์ เนื่องจากมีค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด โดยมีความผิดพลาดในการพยากรณ์ทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช ร้อยละ 12.3378 (MAPE = 12.3378) หรือมีความผิดพลาดในการพยากรณ์ทิศทางลม 34.4161 องศา (RMSE = 34.4161)

ตารางที่ 3 ค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2

วิธีพยากรณ์	BJ	Holt	Brown	Damped	Combined
MAPE	13.2001	16.8723	<u>12.3378</u>	17.0664	12.9522
RMSE	37.4071	43.9130	<u>34.4161</u>	44.1818	36.7964

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลาทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 1 ที่พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีเฉพาะแนวโน้ม โดยไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมควรจะเป็นวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ ARIMA(p, d, q) วิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก และวิธีการพยากรณ์รวม (สมเกียรติ, 2548; มุกดา, 2549) สอดคล้องกับผลการศึกษาค้นคว้าที่พบว่า วิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์เป็นตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลา

ชุดนี้ที่มีเฉพาะแนวโน้ม โดยไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล แต่ขัดแย้งกับการศึกษาของวรวงคณา (2563ข) ที่พบว่า วิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์ทิศทางลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดนครศรีธรรมราช คือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ อาจเนื่องมาจากเป็นการพยากรณ์ทิศทางลมคนละช่วงเวลาและคนละลักษณะของเวลา กล่าวคือ ทิศทางลมรายวันและรายชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ตัวแบบพยากรณ์ทิศทางลมรายวันที่ได้จากวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ของการศึกษานี้ให้ค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2 (MAPE = 12.3378, RMSE = 34.4161) ต่ำกว่าตัวแบบพยากรณ์ทิศทางลมรายชั่วโมงที่ได้จากวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ของวรวงคณา (2563ข) (MAPE = 16.7859, RMSE = 67.7132) นั่นคือ ตัวแบบพยากรณ์ทิศทางลมรายวันที่ได้มีความแม่นยำสูงกว่าตัวแบบพยากรณ์ทิศทางลมรายชั่วโมง

ผลการศึกษานี้พบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์มีความเหมาะสมมากที่สุดกับอนุกรมเวลาทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช อย่างไรก็ตาม ค่าพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์มีความแตกต่างจากข้อมูลจริงอยู่บ้างเนื่องจากค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2 มีค่าสูงพอสมควร อาจเนื่องมาจากการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาเพียงปัจจัยเวลาเท่านั้นในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ซึ่งทิศทางลมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ และการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากปัจจัยเวลา ดังนั้นเมื่อมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมหรือมีข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น ผู้วิจัยควรนำมาปรับปรุงตัวแบบเพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น สำหรับใช้ในการพยากรณ์ทิศทางลมในอนาคตต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาทิศทางลมรายวันที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธีการทางสถิติ 5 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก และวิธีการพยากรณ์รวม ผลการศึกษาพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์มีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์ ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 230.56640 + 0.41349 \left[(m-1) + \frac{1}{0.35027} \right]$$

โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 1 มิถุนายน 2558

ตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ไปสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสั่งการการทำงานของกังหันลม เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพในการหมุนของกังหันลมให้รองรับลมตามทิศทางที่พยากรณ์ได้

เอกสารอ้างอิง

จอมภพ แวควักดี, ชูสิทธิ์น คงเรือง, สุภวรรณ ภูริวณิชย์กุล, ยุทธนา ภูริวณิชย์กุล, นิรันดร มาแทน, เซวรัตน์ พรหมแพทย์ และอภิชาติ หนูทอง. (2551).

การศึกษาความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมตามแนวชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.

มุกดา แม้นมินทร์. (2549). อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. กรุงเทพฯ: โพรพรินดิง.

วรวงคณา เรียนสุทธิ. (2563ก). ตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์. 19(1): 95-109.

วรวงคณา เรียนสุทธิ. (2563ข). การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้. 11(1): 40-52.

วรวงคณา เรียนสุทธิ และจอมภพ แวควักดี. (2562). การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดมุกดาหาร. วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพฯ. 13(2): 115-130.

วรวงคณา เรียนสุทธิ และจอมภพ แวควักดี. (2563). การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ในจังหวัดระนอง. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 43(3): 229-242.

สมเกียรติ เกตุเยี่ยม. (2548). เทคนิคการพยากรณ์. (พิมพ์ครั้งที่ 2). สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.

Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. (1994). Time Series Analysis: Forecasting and Control. (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall.

Montgomery, D.C., Peck, E.A. and Vining, G.G. (2006). Introduction to Linear Regression Analysis. (4th ed.). New York: Wiley.

