

Research Article

ตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร

อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

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

วารางคณา เรียนสุทธิ^{1*}

Warangkha Riansut^{1*}

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

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

*E-mail: warang27@gmail.com

Received: 10/01/2020; Revised: 29/04/2020; Accepted: 10/05/2020

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือเพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยอาศัยวิธีการทางสถิติทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก อัตราเร็วลมเฉลี่ยต่อวันที่ใช้ศึกษาได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2558 จำนวน 1,277 วัน แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 1,248 วัน สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ชุดที่ 2 เป็นข้อมูลวันที่ 1 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2558 จำนวน 30 วัน สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ผลการศึกษา พบว่า วิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุดคือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (RMSE = 1.5556) โดยมีตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\hat{Y}_t = 0.82429Y_{t-1} + 0.69963Y_{t-2} - 0.80909Y_{t-3} + 0.28517Y_{t-4} + 0.22656e_{t-1} - 0.77254e_{t-2}$$

คำสำคัญ: อัตราเร็วลมเฉลี่ยต่อวัน, ตัวแบบพยากรณ์, บ็อกซ์-เจนกินส์, การทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลัง

Abstract

The objective of this study was to construct a daily wind speed forecasting model at an altitude of 120 meters, Pak Phanang District, Nakhon Si Thammarat Province via the use of 4 statistical methods, namely, Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, Brown's exponential smoothing method, and damped trend exponential smoothing method. The average daily wind speed, which was gathered from the Research Center in Energy and Environment, Thaksin University during January 1, 2015 to June 30, 2015 of 1,277 days was divided into two datasets. The first dataset, which consisted of 1,248 days from January 1, 2015 to May 31, 2015 was used for constructing the forecasting models. The second dataset, which consisted of 30 days from June 1 – 30, 2015 was used for comparing the accuracy of the forecasts via the criterion of the lowest root mean square error (RMSE). The results indicated that the most accurate method was Box-Jenkins method (RMSE = 1.5556) which the forecasting model was

$$\hat{Y}_t = 0.82429Y_{t-1} + 0.69963Y_{t-2} - 0.80909Y_{t-3} + 0.28517Y_{t-4} + 0.22656e_{t-1} - 0.77254e_{t-2}.$$

Keywords: Average Wind Speed per Day, Forecasting Model, Box-Jenkins, Exponential Smoothing

บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศ และแรงจากการหมุนของโลก ปัจจุบันมีการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้น เช่น การนำมาผลิตไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่ทั่วไป ไม่ต้องซื้อ และเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมให้มีศักยภาพเพียงพอจำเป็นต้องอาศัยเครื่องจักรกลที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ เรียกเครื่องจักรกลชนิดนี้ว่า เทคโนโลยีกังหันลม อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยีกังหันลมมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องเข้าใจพฤติกรรมของลม ลักษณะการแจกแจงทางสถิติของลม ความหนาแน่นของกำลังลมตามระดับความสูงของเสาตัวลม และลักษณะพื้นที่ของบริเวณที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ รวมถึงอัตราเร็วลมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องศึกษา ในบางช่วงเวลาอัตราเร็วลมอาจเกิดความไม่แน่นอน เป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความแตกต่างของพื้นที่ (Waewsak et al., 2008) จากการที่อัตราเร็วลมมีคุณลักษณะที่มีความแปรปรวนสูง เพราะพฤติกรรมของลมที่ไม่ต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงสูง ทำให้การผลิตไฟฟ้าของกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีลักษณะแปรปรวนตามพฤติกรรมของลม ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้า (Waewsak

et al., 2008; Bielecki, 2010) ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่น่าสนใจที่ควรมีการศึกษาการพยากรณ์ข้อมูลอัตราเร็วลม โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจะให้ความสนใจกับการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช เนื่องจากการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตรเหนือพื้นดิน เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ เพราะเป็นระดับความสูงของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ในปัจจุบันที่มีหอคอยสูงระดับ 120 เมตร อีกทั้งที่ระดับความสูงเพิ่มขึ้น อัตราเร็วลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม จึงทำให้สามารถผลิตหน่วยไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่า Keerativibool & Mahileh (2011) ได้พยากรณ์อัตราเร็วลม ราย 3 ชั่วโมง ที่ระดับความสูง 20 เมตร ตามแนวชายฝั่งของอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา ผลการวิจัยพบว่า วิธีการแยก ส่วนประกอบของอนุกรมเวลารูปแบบบวกให้ความแม่นยำในการพยากรณ์สูงกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ Keerativibool et al. (2011) ได้พยากรณ์อัตราเร็วลมราย 3 ชั่วโมง ที่ระดับความสูง 30 เมตร ตามแนวชายฝั่ง อำเภอจะนะ จังหวัด สงขลา ผลการวิจัยพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา Keerativibool and Mahileh (2013) ได้พยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมง ที่ระดับความสูง 40 เมตร ตามแนวชายฝั่ง อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ผลการวิจัยพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ ค่าคงตัว เป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้มากที่สุด

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า มีการศึกษาการผลิตไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ของภาคใต้ โดยการศึกษาพยากรณ์ อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 20 และ 30 เมตร อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา และที่ระดับความสูง 40 เมตร อำเภอท่า ศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นการศึกษาอัตราเร็วลมรายชั่วโมงหรือราย 3 ชั่วโมงเท่านั้น แต่ยังไม่เคยมี การศึกษาพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันและที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้วิธีการทางสถิติทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลด์ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบแบบ เลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแคม จากนั้นจึงคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด 1 ตัวแบบ โดยใช้ เกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ต่ำสุด เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ สำหรับใช้ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช แล้วนำผลการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคต ต่อไป

วิธีการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน (เมตร/วินาที) โดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่น 17 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นอัตราเร็ว

ลมรายชั่วโมง ที่ระดับความสูง 120 เมตรเหนือพื้นดิน อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2558 จำนวน 30,648 ค่า ซึ่งเป็นจำนวนข้อมูลที่มากเกินไป ทำให้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วลมในอดีตไม่คงที่ จึงยากแก่การสร้างตัวแบบพยากรณ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำอัตราเร็วลมรายชั่วโมงดังกล่าวมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อวัน จะได้อัตราเร็วลมรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2558 จำนวน 1,277 วัน จากนั้นแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คืออัตราเร็วลมรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 1,248 วัน ใช้สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และชุดที่ 2 คืออัตราเร็วลมรายวันของวันที่ 1 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2558 จำนวน 30 วัน ใช้สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ RMSE ต่ำสุด

จากอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ที่ต้องการศึกษา คือ อัตราเร็วลมรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 1,248 วัน ผู้วิจัยจะดำเนินการตรวจสอบแนวโน้มและความแปรผันตามฤดูกาลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคาล-วอลลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) ซึ่งวิธีการนี้จะตรวจสอบแนวโน้มโดยการพิจารณาว่ามัธยฐานของอัตราเร็วลมในแต่ละเดือนหรือมัธยฐานของอัตราเร็วลม 12 กลุ่ม (12 เดือน) มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ หากพบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะหมายความว่าอนุกรมเวลามีแนวโน้ม ดังนั้นควรกำจัดแนวโน้มออกก่อนที่จะตรวจสอบความแปรผันตามฤดูกาล ซึ่งวิธีการกำจัดแนวโน้มมี 2 วิธี คือ ถ้าพิจารณาที่กราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลาแล้วพบว่าอนุกรมเวลาเกิดการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่ค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า อนุกรมเวลา มีความเหมาะสมกับตัวแบบบวก ควรกำจัดแนวโน้มออกด้วยการลบ แต่ถ้าอนุกรมเวลาเกิดการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า อนุกรมเวลา มีความเหมาะสมกับตัวแบบคูณ ควรกำจัดแนวโน้มออกด้วยการหาร สำหรับอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายวันมีแนวโน้มและมีการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 1 ในผลและวิจารณ์ผลการทดลอง จึงมีความเหมาะสมกับตัวแบบคูณ ดังนั้นต้องกำจัดแนวโน้มออกด้วยการหาร เมื่อกำจัดแนวโน้มออกแล้วจึงตรวจสอบความแปรผันตามฤดูกาลโดยการพิจารณาว่ามัธยฐานของอัตราเร็วลมวันเดียวกันในแต่ละเดือนหรือมัธยฐานของอัตราเร็วลม 31 กลุ่ม (31 วัน) มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ หากพบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะหมายความว่าอนุกรมเวลา มีความแปรผันตามฤดูกาล (Riansut, 2018)

จากการสังเกตการเคลื่อนไหวของอัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 1 ดังรูปที่ 1 กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) และผลการทดสอบสมมุติฐานในผลและวิจารณ์ผลการทดลอง พบว่า อัตราเร็วลมมีแนวโน้มทั้งลดลงและเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแปรผันตามฤดูกาล ดังนั้นวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีเพียงแนวโน้ม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลด์ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลัง

ด้วยแนวโน้มแบบแฉก วิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติทั้ง 4 วิธีดังกล่าวแสดงรายละเอียดคั้งหัวข้อที่ 1 สำหรับหัวข้อที่ 2 จะเป็นการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ RMSE ต่ำสุด สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ในหัวข้อที่ 1 แสดงดังนี้

Y_t แทนอัตราเร็วลมรายวัน ณ เวลา t

\hat{Y}_{t+m} แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ณ เวลา $t + m$ โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

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 $0 < \phi < 1$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t เมื่อ n_t แทนจำนวนข้อมูลชุดที่ 1 ($n_t = 1,248$)

1. วิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์

1.1 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method)

วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่มีความนิยมสูง จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ด้านต่างๆ เป็นจำนวนมาก ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของวิธีนี้ คือ การกำหนดตัวแบบ ซึ่งเราจำเป็นต้องทราบกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary) เพื่อใช้ในการกำหนดตัวแบบพยากรณ์ (Manmin, 2006) ตัวแบบของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์หรือตัวแบบ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงดังสมการที่ (1) (Box et al., 1994) แต่ในกรณีที่มีข้อมูลมีเพียงแนวโน้มเท่านั้น ตัวแบบจะสามารถสรุปเหลือเพียง Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA(p, d, q)

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

เมื่อ ε_t แทนความคลาดเคลื่อนของอัตราเร็วลมรายวัน

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_p(B^s)$ แทนค่าคงตัว (Constant) โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่

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

$\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P: SAR(P))

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

$\Theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Moving Average Operator of Order Q: SMA(Q))

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

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

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ แสดงรายละเอียดดังนี้ (Riansut, 2019)

1) พิจารณาอนุกรมเวลาว่าคงที่หรือไม่ นั่นคือ พิจารณาว่าอนุกรมเวลาที่ค่าสังเกต Y_t มีคุณสมบัติทางสถิติคือ ค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และฟังก์ชันความน่าจะเป็นของค่าสังเกต ณ เวลาต่างๆ กัน มีค่าคงที่ กล่าวคือ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป (Ket-iam; 2005) โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาที่เทียบกับเวลา (Y_t , t) กราฟ ACF และ PACF หากพบว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ (Non-Stationary) ต้องแปลงอนุกรมเวลาให้คงที่ก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป เช่น การแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างหรือผลต่างฤดูกาล (Difference or Seasonal Difference) การแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมสามัญหรือลอการิทึมธรรมชาติ (Common Logarithm or Natural Logarithm) การแปลงข้อมูลด้วยเลขยกกำลัง เช่น ยกกำลัง 0.5 (Square Root Transformation) หรือยกกำลัง 2 (Square Transformation) เป็นต้น (Bowerman & O'Connell, 1993)

2) กำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่คงที่ นั่นคือ กำหนดค่า p, q, P และ Q พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

3) ตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากตัวแบบพยากรณ์ครั้งละ 1 ตัว จากนั้นจึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์และประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่จนกว่าจะได้ตัวแบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด

4) คัดเลือกตัวแบบที่มีความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ผ่านข้อสมมุติ (Assumption) ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ (ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิรโนฟ: Kolmogorov-Smirnov's Test) ความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน (ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบรันส์: Runs Test) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์ (ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบที: t-Test) และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนจากวันเดียวกันในแต่ละเดือนมีค่าเท่ากัน (ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบของเลวีนาภายใต้การใช้มัธยฐาน: Levene's Test based on Median)

5) พยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดจากขั้นตอนที่ 4

1.2 วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ (Holt's Exponential Smoothing Method)

วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มที่เป็นเส้นตรง โดยไม่มีความแปรผันตามฤดูกาล ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (2) (Ket-iam, 2005) เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบข้อสมมุติของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์เช่นเดียวกับวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

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

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

1.3 วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์ (Brown's Exponential Smoothing Method)

วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มี ความแปรผันตามฤดูกาลเช่นเดียวกับการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ แต่มีการกำหนดให้ค่าคงตัวการทำให้ เรียบของค่าระดับ (α) และค่าคงตัวการทำให้เรียบของค่าความชัน (γ) เท่ากัน ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (3) (Ket-iam, 2005; Manmin, 2006) เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบข้อสมมุติของความ คลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์เช่นเดียวกับวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t [(m-1) + 1/\alpha] \quad (3)$$

เมื่อ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1}$, $b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1-\alpha)b_{t-1}$

1.4 วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแดม (Damped Trend Exponential Smoothing Method)

วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแดมมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มเป็น เส้นตรงและไม่มี ความแปรผันตามฤดูกาลเช่นเดียวกับวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการทำให้ เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์ แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มจะช้ากว่าของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้ กำลังของโฮลต์ รวมถึงความชันจะมีค่าลดลงตามเวลา ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (4) (Manmin, 2006) เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบข้อสมมุติของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์เช่นเดียวกับ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i \quad (4)$$

เมื่อ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)\phi b_{t-1}$

2. การเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์

การเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอ ปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 2 หรืออัตราเร็วลมรายวันของวันที่ 1 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2558 จำนวน 30 วัน กับค่าพยากรณ์จากวิธีการทางสถิติทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแดม โดยการ กำหนดค่า RMSE ซึ่งถ้าพบว่าตัวแบบพยากรณ์ใดให้ค่า RMSE ต่ำสุด จะจัดเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมกับข้อมูล ชุดนี้มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด เกณฑ์ RMSE แสดงดังสมการที่ (5) (Ket-iam, 2005)

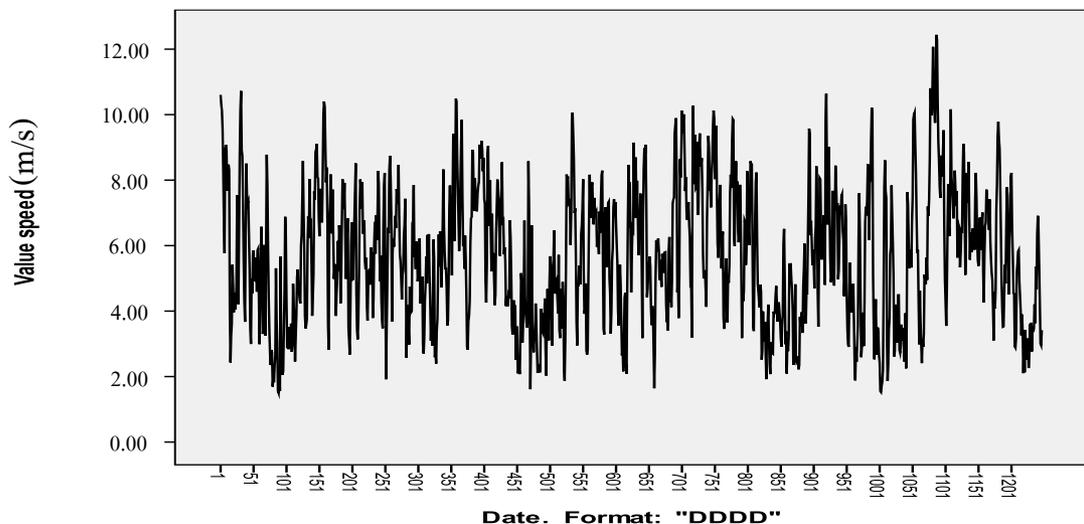
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2} \quad (5)$$

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

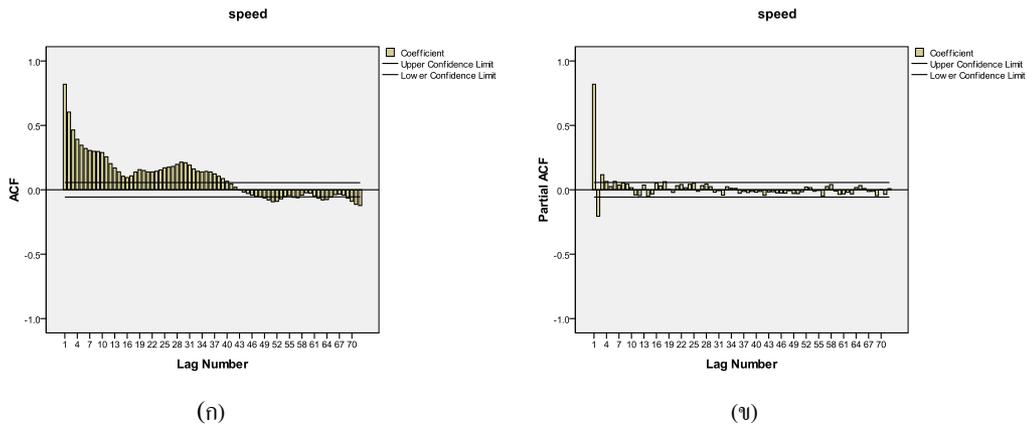
Y_t และ \hat{Y}_t แทนอัตราเร็วลมรายวัน และค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ณ เวลา t
 t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่ n_2 แทนจำนวนข้อมูลชุดที่ 2 ($n_2 = 30$)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของอัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 1,248 วัน ดังรูปที่ 1 พบว่า อัตราเร็วลมมีแนวโน้มทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง และจากกราฟ ACF ดังรูปที่ 2 (ก) พบว่า สหสัมพันธ์ในตัวมีค่าลดลงอย่างช้าๆ (Die Down Slowly) และกราฟ PACF ดังรูปที่ 2 (ข) พบว่า ช่วงเวลาที่ 1 (Lag 1) มีค่าสหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนสูงเกินจากขอบเขตที่กำหนดอย่างชัดเจน นั้นหมายความว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มี ส่วนประกอบของแนวโน้ม ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับที่สรุปไว้ในรูปที่ 1 และจากการทดสอบสมมติฐานเพื่อ ตรวจสอบว่าอัตราเร็วลมมีแนวโน้มและความแปรผันตามฤดูกาลหรือไม่ พบว่า ข้อมูลชุดนี้มีแนวโน้ม (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 281.212$, p-value < 0.0001) แต่ไม่มีความแปรผันตามฤดูกาล (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 10.839$, p-value = 0.999)



รูปที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร
ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 1,248 วัน



รูปที่ 2 ACF และ PACF ของอัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร

1. ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์

1.1 ผลของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

เนื่องจากข้อมูลชุดนี้มีแนวโน้มหรืออนุกรมเวลายังไม่คงที่ ผู้วิจัยจึงกำจัดแนวโน้มออกเพื่อให้อนุกรมเวลาคงที่ โดยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) ได้กราฟ ACF และ PACF หลังจากการแปลงข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ ARIMA(3, 1, 3) พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ ตัวแบบ ARIMA(3, 1, 2) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว ซึ่งจากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ได้ดังนี้

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \phi_3 B^3)(1 - B)Y_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2)\varepsilon_t$$

$$(1 - B - \phi_1 B + \phi_1 B^2 - \phi_2 B^2 + \phi_2 B^3 - \phi_3 B^3 + \phi_3 B^4)Y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2}$$

$$Y_t = (1 + \phi_1)Y_{t-1} - (\phi_1 - \phi_2)Y_{t-2} - (\phi_2 - \phi_3)Y_{t-3} - \phi_3 Y_{t-4} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2}$$

เมื่อแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

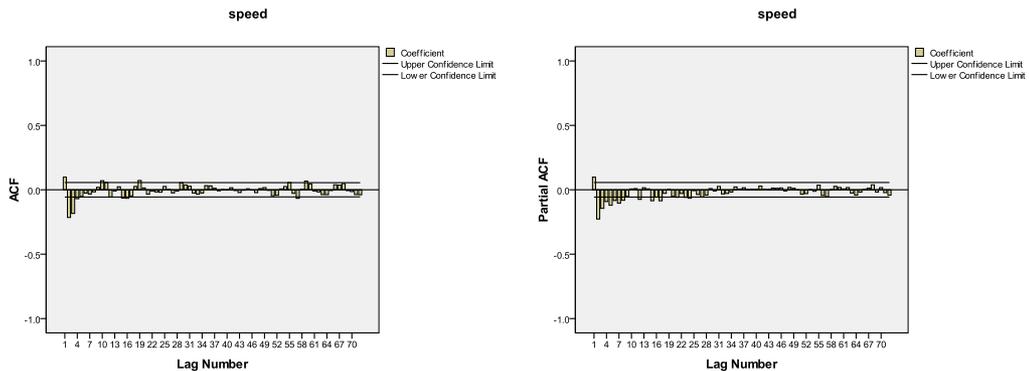
$$\hat{Y}_t = 0.82429Y_{t-1} + 0.69963Y_{t-2} - 0.80909Y_{t-3} + 0.28517Y_{t-4} + 0.22656\varepsilon_{t-1} - 0.77254\varepsilon_{t-2} \quad (6)$$

เมื่อ \hat{Y}_t แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ณ เวลา t

Y_{t-j} แทนอัตราเร็วลมรายวัน ณ เวลา $t-j$

ε_{t-j} แทนความคลาดเคลื่อนของอัตราเร็วลมรายวันที่ได้จากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$

ผลการตรวจสอบข้อสมมุติของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีการแจกแจงปรกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.988$, $p\text{-value} = 0.283$) เป็นอิสระกัน (Runs Test $Z = 0.624$, $p\text{-value} = 0.533$) ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับศูนย์ ($t = -0.313$, $p\text{-value} = 0.754$) และความแปรปรวนจากวันเดียวกันในแต่ละเดือนมีค่าเท่ากัน (Levene Statistic = 1.139, $p\text{-value} = 0.277$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (6) มีความเหมาะสม



รูปที่ 3 ACF และ PACF ของอัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร
เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1

1.2 ผลของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์

ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 3.41630 - 0.00472(m) \quad (7)$$

เมื่อ \hat{Y}_{t+m} แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2558

ผลการตรวจสอบข้อสมมุติของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีการแจกแจงปรกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.923$, $p\text{-value} = 0.362$) เป็นอิสระกัน (Runs Test $Z = -1.105$, $p\text{-value} = 0.269$) ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับศูนย์ ($t = -0.022$, $p\text{-value} = 0.983$) และความแปรปรวนจากวันเดียวกันในแต่ละเดือนมีค่าเท่ากัน (Levene Statistic = 1.453, $p\text{-value} = 0.055$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (7) มีความเหมาะสม

1.3 ผลของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์

ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 3.41055 - 0.30014[(m-1) + 1/0.54028] \quad (8)$$

เมื่อ \hat{Y}_{t+m} แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2558

ผลการตรวจสอบข้อสมมุติของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีการแจกแจงปรกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.026$, $p\text{-value} = 0.243$) และค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับศูนย์ ($t = 0.011$, $p\text{-value} = 0.991$) แต่ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นอิสระกัน (Runs Test $Z = -5.071$, $p\text{-value} < 0.0001$) และความแปรปรวนจากวันเดียวกันในแต่ละเดือนมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Levene Statistic = 1.5, $p\text{-value} = 0.041$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (8) ไม่มีความเหมาะสม

1.4 ผลของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแฉก

ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแฉกแสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 3.41633 + 0.45908 \sum_{i=1}^m (0.09982)^i \quad (9)$$

เมื่อ \hat{Y}_{t+m} แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2558

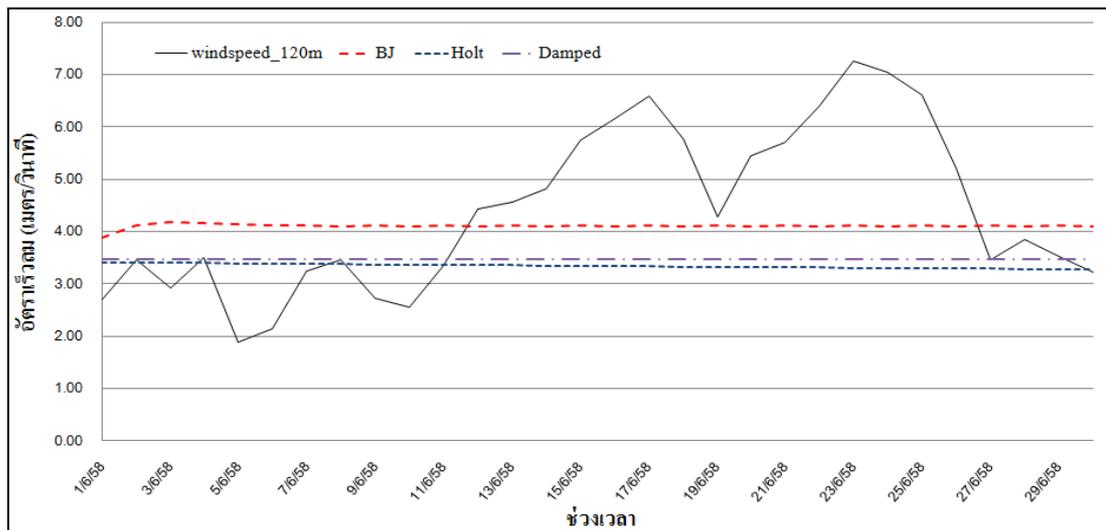
ผลการตรวจสอบข้อสมมุติของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.022$, $p\text{-value} = 0.247$) เป็นอิสระกัน (Runs Test $Z = 0.482$, $p\text{-value} = 0.630$) ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับศูนย์ ($t = -0.147$, $p\text{-value} = 0.883$) และความแปรปรวนจากวันเดียวกันในแต่ละเดือนมีค่าเท่ากัน (Levene Statistic = 1.355, $p\text{-value} = 0.097$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (9) มีความเหมาะสม

2. ผลการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์

จากการตรวจสอบข้อสมมุติของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ในสมการที่ (8) ไม่มีความเหมาะสม ดังนั้นจึงเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์จากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ในสมการที่ (6) วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ในสมการที่ (7) และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแฉกในสมการที่ (9) เท่านั้น โดยทำการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 หรืออัตราเร็วลมรายวันของวันที่ 1 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2558 จำนวน 30 วัน เพื่อคำนวณค่า RMSE ได้ผลแสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่า RMSE ต่ำสุด รองลงมาคือ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแฉก และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ ตามลำดับ ผลการศึกษาครั้งนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Keerativibool et al. (2011) ที่พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่ดีในการพยากรณ์อัตราเร็วลมราย 3 ชั่วโมง ที่ระดับความสูง 30 เมตร ตามแนวชายฝั่ง อำเภอนะนะ จังหวัดสงขลา และสอดคล้องกับการศึกษาของ Keerativibool & Mahileh (2013) ที่พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดกับอัตราเร็วลมรายชั่วโมง ที่ระดับความสูง 40 เมตร ตามแนวชายฝั่ง อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช แต่มีความขัดแย้งกับการศึกษาของ Keerativibool and Mahileh (2011) ที่พบว่า วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาในรูปแบบบวกให้ความแม่นยำในการพยากรณ์สูงกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมราย 3 ชั่วโมง ที่ระดับความสูง 20 เมตร ตามแนวชายฝั่งของอำเภอนะนะ จังหวัดสงขลา อาจเนื่องมาจากลักษณะข้อมูล ความแตกต่างของช่วงเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ระดับความสูงที่วัดอัตราเร็วลม พื้นที่ที่ศึกษา และวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบ อีกทั้งการศึกษานี้ยังพบว่า อนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายวันไม่มีความแปรผันตามฤดูกาลขัดแย้งกับการศึกษาของ Keerativibool & Mahileh (2011), Keerativibool et al. (2011) และ Keerativibool & Mahileh (2013) ที่ศึกษาอัตราเร็วลมรายชั่วโมงและราย 3 ชั่วโมง ซึ่งจะพบความแปรผันตามฤดูกาล โดยสาเหตุที่อัตราเร็วลมรายวันไม่มีความแปรผันตามฤดูกาล อาจเนื่องมาจากการปรับอัตราเร็วลมที่เก็บราย 10 นาทีมาเฉลี่ยให้เป็นรายวัน จากนั้นจึงตรวจสอบความแปรผันตามฤดูกาลโดยการพิจารณามัธยฐานของอัตราเร็วลมวันเดียวกันในแต่ละเดือน ซึ่งพบว่า มัธยฐานของอัตราเร็วลมวันเดียวกันในแต่ละเดือนไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1 RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2

วิธีการพยากรณ์	RMSE
บ็อกซ์-เจนกินส์	1.5556
โอสต์	1.8791
แควม	1.7929



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบอัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร และค่าพยากรณ์

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมมากที่สุดกับอัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช อาจเนื่องมาจากการสร้างตัวแบบพยากรณ์ของวิธีนี้จะพิจารณาลักษณะของข้อมูลว่ามีสหสัมพันธ์กันอย่างไร รวมถึงมีการพิจารณาข้อมูลและความคลาดเคลื่อนในอดีตเพื่อนำมาสร้างเป็นตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยวิธีการพยากรณ์นี้สามารถใช้ได้กับข้อมูลที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวทุกรูปแบบ อีกเหตุผลหนึ่งที่ผู้วิจัยคาดว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมมากกว่าวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโอสต์ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแควม อาจเนื่องมาจากตัวแบบพยากรณ์ที่ได้จากวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโอสต์ และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์มีค่าความชัน (b) เป็นลบ ซึ่งหมายถึงผลที่ได้จากการพยากรณ์อัตราเร็วลมจะเป็นไปในทิศทางลดลงเท่านั้น ขณะที่วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแควมมีค่าความชันเป็นบวก ทำให้ผลที่ได้จากการพยากรณ์อัตราเร็วลมจะเป็นไปในทิศทางเพิ่มขึ้น แต่อัตราเร็วลมชุดที่ 1 ที่นำมาศึกษามีแนวโน้มทั้งลดลงและเพิ่มขึ้น

สรุปผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้สร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช ผลการศึกษาพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยแนวโน้มแบบแค่ม และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลด์ ตามลำดับ ขณะที่วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของบราวน์ไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากความคลาดเคลื่อนไม่ผ่านข้อสมมุติ ซึ่งตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_t = 0.82429Y_{t-1} + 0.69963Y_{t-2} - 0.80909Y_{t-3} + 0.28517Y_{t-4} + 0.22656e_{t-1} - 0.77254e_{t-2}$$

เมื่อ \hat{Y}_t แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ณ เวลา t

Y_{t-j} แทนอัตราเร็วลมรายวัน ณ เวลา $t-j$

e_{t-j} แทนความคลาดเคลื่อนของอัตราเร็วลมรายวันที่ได้จากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$

การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันด้วยวิธีการพยากรณ์อื่นๆ เช่น วิธีการพยากรณ์ในลักษณะของตัวแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเข้ามาประยุกต์ใช้กับการจำลองแผนที่ลม ซึ่งสามารถแสดงผลการจำลองในพื้นที่ซับซ้อน ได้ใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริง (Thongyai & Assawamartbunlue, 2017) หรือวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) รวมทั้งควรเพิ่มเติมข้อมูลอัตราเร็วลมให้เป็นปัจจุบัน เพื่อปรับปรุงตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ให้มีความเหมาะสมและมีค่าพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด อีกทั้งเพื่อประโยชน์ในด้านการวางแผนและการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมภายในประเทศ ควรสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูงอื่นๆ เช่น 50 และ 100 เมตร เป็นต้น ถึงแม้ว่าที่ระดับความสูงต่ำๆ จะทำให้ได้อัตราเร็วลมที่ต่ำ และผลิตหน่วยไฟฟ้าได้น้อย แต่อย่างไรก็ตาม การสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ระดับความสูงต่ำๆ จะมีค่าใช้จ่ายน้อยตามไปด้วย

การศึกษาครั้งนี้พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่ให้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวัน ที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช จึงสามารถนำผลการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายวันจากตัวแบบดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคตต่อไป ซึ่งพลังงานลมเป็นรูปแบบพลังงานอย่างหนึ่งที่น่าสนใจและมีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า ข้อดีของพลังงานลมที่ดีกว่าพลังงานทดแทนชนิดอื่นๆ คือ พลังงานลมไม่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานจึงไม่ต้องมีการจัดหาเชื้อเพลิง หรือควบคุมกากเชื้อเพลิงที่อาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาวะแวดล้อมเหมือนกับพลังงานชีวมวล นอกจากนี้พลังงานลมยังมีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งกลางวันและกลางคืน เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สามารถผลิตพลังงานได้เฉพาะกลางวัน อีกทั้งในการนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่มากเมื่อเทียบกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม พลังงานลมอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณของลมซึ่งอาจขึ้นอยู่กับลักษณะ

ภูมิศาสตร์และสภาพอากาศที่ต้องเอื้อต่อการเกิดลม จากการสำรวจแล้วมีเพียงบางพื้นที่ในประเทศไทยเท่านั้นที่มีความเร็วลมเหมาะสมในการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า (Promdee, 2016)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลอัตราเร็วลม สำหรับการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Bielecki, M. F. (2010). *Statistical characterization of errors in wind power forecasting* (M.S. thesis) Department of Engineering, Faculty of Engineering, Northern Arizona University, U.S.A.
- Bowerman, B. L. & O'Connell, R. T. (1993). *Forecasting and Time Series: An Applied Approach* (3rd ed.). California: Duxbury Press.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M. & Reinsel, G. C. (1994). *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Keerativibool, W. & Mahileh, J. (2011). Forecasting model of wind speed along the coast of Songkhla province. *Journal of Energy Research*, 8(3), 63-72. (in Thai)
- Keerativibool, W. & Mahileh, J. (2013). Forecasting model of wind speed along the coast of Tha Sala district, Nakhon Si Thammarat province. *KKU Research Journal*, 18(1), 32-50. (in Thai)
- Keerativibool, W., Waewsak, J. & Kanjnasamranwong, P. (2011). *Short-term forecast of wind speed at Chana district, Songkhla province Thailand*. pp. 343-350. In The 2011 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies, 25-28 May 2011, Hat Yai, Thailand.
- Ket-iam, S. (2005). *Forecasting Technique* (2nd ed.). Songkhla, Thailand: Thaksin University. (in Thai)
- Manmin, M. (2006). *Time Series and Forecasting*. Bangkok, Thailand: Foreprinting. (in Thai)
- Promdee, Ch. (2016). *Electric power generation of savonius wind turbine with double wind tunnels* (M.S. thesis) Department of Electrical and Computer Engineer, Faculty of Engineer, Mahasarakham University, Bangkok. (in Thai)
- Riansut, W. (2018). Comparison of tangerine prices forecast model by exponential smoothing methods. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(Supplement Issue 5), 460-470. (in Thai)
- Riansut, W. (2019). A comparison of forecasting models of live swine price. *RMUTSV Research Journal*, 11(2), 349-365. (in Thai)

- Thongyai N. & Assawamartbunlue, K., (2017). *Wind atlas simulation to find wind potential area to generate electric power of the Chanthaburi and Trat provinces, Thailand.* pp. 737-745. In The 31st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, 4-7 July 2017, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Bangkok. (in Thai)
- Waewsak, J., Kongruang, C., Tirawanichakul, Y., Tirawanichakul, S., Matan, N., Promphat, C. & Noo-Thong, A. (2008). *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. (in Thai)