

การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ในจังหวัดระนอง

วารางคณา เรียนสุทธิ^{1*} และ จอมภพ แววคักดี²

มหาวิทยาลัยทักษิณ ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210

* Corresponding Author: warang27@gmail.com

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 28 พฤษภาคม 2562

แก้ไข : 6 พฤศจิกายน 2562

ตอบรับ : 27 ธันวาคม 2562

คำสำคัญ :

อัตราเร็วลม / บ็อกซ์-เจนกินส์ /
โฮลต์ / บราวน์ / แดม

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ในจังหวัดระนอง โดยอาศัยวิธีการทางสถิติทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม อนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร ณ จังหวัดระนอง ได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 28 กันยายน 2558 เวลา 23.00 น. จำนวน 672 ค่า แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 27 กันยายน 2558 เวลา 23.00 น. จำนวน 648 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ชุดที่ 2 เป็นข้อมูลวันที่ 28 กันยายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 – 23.00 น. จำนวน 24 ค่า สำหรับเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษา พบว่าวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุดคือวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม (MAPE = 11.7318, RMSE = 0.9463)

A Comparison of Forecasting Methods for Wind Speed at an Altitude of 120 Meters in Ranong Province

Warangkhan Riansut^{1*} and Jompob Waewsak²

Thaksin University, Banpraw, Pa Phayom, Phatthalung 93210

* Corresponding Author: warang27@gmail.com

¹ Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science.

² Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science.

Article Info

Article History:

Received: May 28, 2019

Revised: November 6, 2019

Accepted: December 27, 2019

Keywords:

Wind Speed / Box-Jenkins /

Holt / Brown / Damped

Abstract

The objective of this study was to construct a wind speed forecasting model 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. Time series of hourly wind speed at an altitude of 120 meters in Ranong province, which were gathered from the Research Center in Energy and Environment, Thaksin University during September 1, 2015, at time 0.00 o'clock to September 28, 2015, at time 23.00 o'clock of 672 observations were divided into 2 datasets. The first dataset, which consisted of 648 observations from September 1, 2015, at time 0.00 o'clock to September 27, 2015, at time 23.00 o'clock was used for constructing the forecasting models. The second dataset, which consisted of 24 observations from September 28, 2015, at time 0.00 – 23.00 o'clock, was used for comparing the accuracy of the forecasts via the criteria of the lowest mean absolute percentage error (MAPE) and root mean squared error (RMSE). The results indicated that the most accurate method was damped trend exponential smoothing method (MAPE = 11.7318, RMSE = 0.9463).

1. บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้อม เป็นพลังงานที่สะอาด สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงโดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมให้มีความคุ้มค่าเพียงพอก็จำเป็นต้องอาศัยเครื่องจักรกลที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ เรียกเครื่องจักรกลชนิดนี้ว่า เทคโนโลยีกังหันลม อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยีกังหันลมมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องเข้าใจพฤติกรรมของลม ลักษณะการแจกแจงทางสถิติของลม ความหนาแน่นของกำลังลมตามระดับความสูงของเสาตัวลม และลักษณะพื้นที่ของบริเวณที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ รวมถึงอัตราเร็วลมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องศึกษา เพราะมักมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและตามฤดูกาล ในบางช่วงเวลา บางฤดูกาล อัตราเร็วลมอาจมีค่าต่ำหรือสูง ไม่มีความแน่นอน โดยอาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความแตกต่างของพื้นที่ [1]

จากการที่พลังงานลมมีคุณลักษณะที่มีความแปรปรวนสูง เพราะพฤติกรรมของลมที่ไม่ต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงสูง ทำให้การผลิตไฟฟ้าของกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีลักษณะแปรปรวนตามพฤติกรรมของลม ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่อาจจะส่งผลกระทบต่อระบบกริดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งการดำเนินงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาในลักษณะที่เรียกว่า Stochastic และ Intermittency ดังนั้นการคาดการณ์หน่วยผลิตหรือการพยากรณ์หน่วยผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะช่วยในการวางแผนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับความต้องการใช้ไฟฟ้าไม่สูงและไม่ต่ำจนเกินไป อย่างไรก็ตาม การพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะมีความถูกต้องแม่นยำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การพยากรณ์ลมในพื้นที่ของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงและมีความถี่เชิงเวลาที่ละเอียด เช่น รายนาที่หรือรายชั่วโมง ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของกังหันลมผลิต

ไฟฟ้า (Wind Turbine Generator) และเส้นโค้งกำลัง (Power Curve) ที่มีความถูกต้อง ข้อมูลเชิงพื้นที่ของโครงการ แบบจำลองการไหลของลม (Wind Flow Modeling) ข้อมูลเชิงพื้นที่ในพื้นที่ศึกษาของโครงการ ซึ่งปัจจุบันมักจะอาศัยแบบจำลองการไหลของลมแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคการพยากรณ์ต่างๆ เช่น เทคนิคการสร้างตัวแบบพยากรณ์ทางสถิติ (Statistical Modeling) เพื่อช่วยให้ผลการพยากรณ์มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น [1,2] สำหรับกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล นักวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นต้องเข้าใจความเหมาะสมของโครงสร้างของข้อมูล การสร้างรูปแบบพยากรณ์ การประเมินศักยภาพของรูปแบบ และการแปลผล [3]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่า Keerativibool และ Mahileh [4] ได้พยากรณ์อัตราเร็วลมราย 3 ชั่วโมงที่ระดับความสูง 20 เมตร ตามแนวชายฝั่งของอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา ด้วยวิธีการทางสถิติ 2 วิธี คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ผลการวิจัยพบว่าวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลารูปแบบบวกให้ความแม่นยำในการพยากรณ์สูงกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ Keerativibool และ Mahileh [5] ได้พยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 40 เมตร ตามแนวชายฝั่ง อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธีการทางสถิติ 6 วิธี คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การเฉลี่ยอย่างง่าย วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของรากที่สองของผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และวิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของค่าจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ผลการวิจัยพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ตัวแบบ SARIMA $(1, 1, 1)(0, 1, 1)_{24}$ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เป็นวิธีที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด และ Bielecki และคณะ [2] ได้ศึกษาคุณลักษณะทางสถิติของความผิดพลาดในการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ซึ่งการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นการผสมผสานกันระหว่างเทคนิคทางฟิสิกส์และทางสถิติ โดยเป็นอัลกอริธึมที่มีความสลับซับซ้อนในการพยากรณ์และลดความผิดพลาด ความผิดพลาดดังกล่าว

มักจะเกี่ยวข้องกับลมและเส้นโค้งกำลังของกังหันลมผลิตไฟฟ้า แต่เนื่องจากการศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาการพยากรณ์จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเพียงต้นเดียว ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการพยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากทุกกังหันลมต่อไป

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ยังไม่เคยมีการศึกษาพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ในจังหวัดระนอง อีกทั้งการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ เนื่องจากเป็นระดับความสูงของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ในปัจจุบันที่มีหอคอยสูงระดับ 120 เมตร ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง โดยใช้วิธีการทางสถิติทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตร จากนั้นจึงคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด 1 ตัวแบบ โดยใช้เกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์สำหรับใช้ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง ในอนาคตต่อไป

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลม (เมตร/วินาที) โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2524 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 28 กันยายน 2558 เวลา 23.00 น. จำนวน 304,536 ค่า ผู้วิจัยได้คัดเลือกข้อมูลอัตราเร็วลมมาศึกษาตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 28 กันยายน 2558 เวลา 23.00 น. จำนวน 672 ค่า เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มิได้มีลักษณะของอนุกรมเวลาเหมาะสมกับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ กล่าวคือ เมื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์แล้วได้ค่าพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม อีกทั้งช่วงเวลาของอัตราเร็วลมที่นำมาศึกษายังเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับข้อมูลปัจจุบันมากที่สุด

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจำนวน 672 ค่า มาแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 27 กันยายน 2558 เวลา 23.00 น. จำนวน 648 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และชุดที่ 2 เป็นข้อมูลวันที่ 28 กันยายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 – 23.00 น. จำนวน 24 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด ซึ่งข้อมูลชุดที่ 2 ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้มีจำนวนไม่ถึงร้อยละ 10 (จำนวน 67 ค่า) เนื่องจากผู้วิจัยต้องการเก็บข้อมูลในช่วงวันที่ 26 – 27 กันยายน 2558 ที่พบแนวโน้มที่ลดลง เป็นข้อมูลชุดที่ 1 เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เมื่อพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาชุดที่ 1 พบว่า อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนองมีส่วนประกอบของแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ค่าค่าไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล (แสดงรายละเอียดในผลการวิจัยรูปที่ 1) นอกเหนือจากการพิจารณากราฟของอนุกรมเวลา (Y_t) เทียบกับเวลา (t) แล้ว ผู้วิจัยยังได้ตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม แต่ไม่มีความผันแปรตามฤดูกาลจริงหรือไม่ โดยใช้การทดสอบสมมติฐานดังนี้ [6]

การตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง มีส่วนประกอบของแนวโน้มหรือไม่ ดำเนินการดังนี้

1. ตรวจสอบข้อสมมติ (Assumption) คือ อนุกรมเวลาในแต่ละวันมีการแจกแจงปกติโดยใช้การทดสอบชาฟิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk Test) พบว่า อัตราเร็วลมในแต่ละวันไม่มีการแจกแจงปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
2. ตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนโดยใช้การทดสอบของเลวีเนภายใต้การใช้มัธยฐาน (Levene's Test Based on Median) พบว่า อัตราเร็วลมในแต่ละวันมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
3. ทดสอบมัธยฐานของอนุกรมเวลาในแต่ละวัน โดยใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric Statistics) ซึ่งคือการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอลล-วอลล์ (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) เนื่องจากอัตราเร็วลมในแต่ละวันไม่มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ผลการทดสอบพบว่าอัตราเร็วลมในแต่ละวันมีมัธยฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ที่ระดับ 0.05 (Kruskal-Wallis: $\chi^2 = 531.118$, p-value < 0.0001) หมายความว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม ซึ่งอาจจะเป็นแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้

การตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลหรือไม่ ดำเนินการดังนี้

1. จากการตรวจสอบแนวโน้ม พบว่า อนุกรมเวลามีส่วนประกอบของแนวโน้ม จึงต้องกำจัดแนวโน้มออกก่อนที่จะทดสอบค่าเฉลี่ยหรือมัธยฐานของอนุกรมเวลาในแต่ละชั่วโมง ซึ่งวิธีการกำจัดแนวโน้มมี 2 วิธี คือ ถ้าพิจารณาที่กราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลาแล้วพบว่า อนุกรมเวลามีการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่ค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า อนุกรมเวลามีความเหมาะสมกับตัวแบบบวก ควรกำจัดแนวโน้มออกด้วยการลบ แต่ถ้าอนุกรมเวลามีการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า อนุกรมเวลามีความเหมาะสมกับตัวแบบคูณ ควรกำจัดแนวโน้มออกด้วยการหาร สำหรับการเคลื่อนไหวของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง ในผลการวิจัยรูปที่ 1 พบว่า อนุกรมเวลามีความเหมาะสมกับตัวแบบคูณ จึงกำจัดแนวโน้มออกด้วยการหาร

2. ตรวจสอบข้อสมมุติ คือ อนุกรมเวลาในแต่ละชั่วโมงหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้วมีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่เช่นเดียวกับข้อ 1 และ 2 ของการตรวจสอบแนวโน้ม ผลการตรวจสอบพบว่า อัตราเร็วลมในแต่ละชั่วโมงหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้วไม่มีการแจกแจงปกติ แต่มีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ทดสอบมัธยฐานของอนุกรมเวลาในแต่ละชั่วโมงหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้ว โดยใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ ซึ่งคือการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอลลิส เนื่องจากอัตราเร็วลมในแต่ละชั่วโมงหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้วไม่มีการแจกแจงปกติ ผลการทดสอบพบว่า อัตราเร็วลมในแต่ละชั่วโมงเมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการหารมีมัธยฐานไม่แตกต่างกัน (Kruskal-Wallis: $\chi^2 = 4.586$,

p-value = 0.999987) หมายความว่า อนุกรมเวลาชุดนี้ไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล

จากผลการทดสอบสมมุติฐานข้างต้น สรุปได้ว่า อนุกรมเวลาอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 27 กันยายน 2558 เวลา 23.00 น. จำนวน 648 ค่า มีส่วนประกอบของแนวโน้ม แต่ไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล สอดคล้องกับการพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลา (Y_t) เทียบกับเวลา (t) ดังนั้นวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีเพียงส่วนประกอบของแนวโน้ม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติทั้ง 4 วิธี ดังกล่าว แสดงรายละเอียดดังหัวข้อที่ 1 – 4 สำหรับหัวข้อที่ 5 จะเป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ในหัวข้อที่ 1 – 4 แสดงดังนี้

Y_t แทนอนุกรมเวลาอัตราเร็วลม ณ เวลา t

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

a_t และ b_t แทนค่าประมาณระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ณ เวลา t ตามลำดับ

α , γ และ ϕ แทนค่าคงตัวการปรับเรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$, $0 < \gamma < 1$ และ $0 < \phi < 1$ t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t เมื่อ n_t แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

1. การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีทั้งส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล มีตัวแบบในรูปแบบทั่วไป (General Model) คือ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงดังสมการที่ (1) [7,8]

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

เมื่อ ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อน

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

$\phi_p(B) = 1 - \phi_1B - \phi_2B^2 - \dots - \phi_pB^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ p กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p : AR(p))

$\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1B^s - \Phi_2B^{2s} - \dots - \Phi_pB^{ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P : SAR(P))

$\theta_q(B) = 1 - \theta_1B - \theta_2B^2 - \dots - \theta_qB^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q : MA(q))

$\Theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1B^s - \Theta_2B^{2s} - \dots - \Theta_QB^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Moving Average Operator of Order Q : SMA(Q))

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator)

โดยที่ $B^sY_t = Y_{t-s}$

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

2. การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงและไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล มีค่าคงตัวการปรับเรียบ 2 ตัว คือ ค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าระดับ (Level: α) และค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าความชัน (Trend: γ) ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้ [6]

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

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

3. การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์

วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลเช่นเดียวกับการปรับเรียบ

ด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ แต่มีการกำหนดให้ค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าระดับและค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าความชันเท่ากัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์เป็นกรณีพิเศษของการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้ [9]

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

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

4. การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก

วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงและไม่มีความผันแปรตามฤดูกาลเช่นเดียว

กับการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มนั้นไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะช้ากว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงของการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ รวมถึงความชันจะมีค่าลดลงตามเวลา ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้ [10]

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

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

5. การเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง โดยการเปรียบเทียบอัตราเร็วลมของข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลวันที่ 28 กันยายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 – 23.00 น. จำนวน 24 ค่า กับค่าพยากรณ์จากวิธีการ

ทางสถิติทั้ง 4 วิธี เพื่อคำนวณค่า MAPE และ RMSE โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด เกณฑ์ MAPE และ RMSE แสดงดังนี้ [6,10]

$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2} \quad (6)$$

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

Y_t และ $\hat{Y}_t$ แทนอนุกรมเวลา และค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา t

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่ n_2 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 2

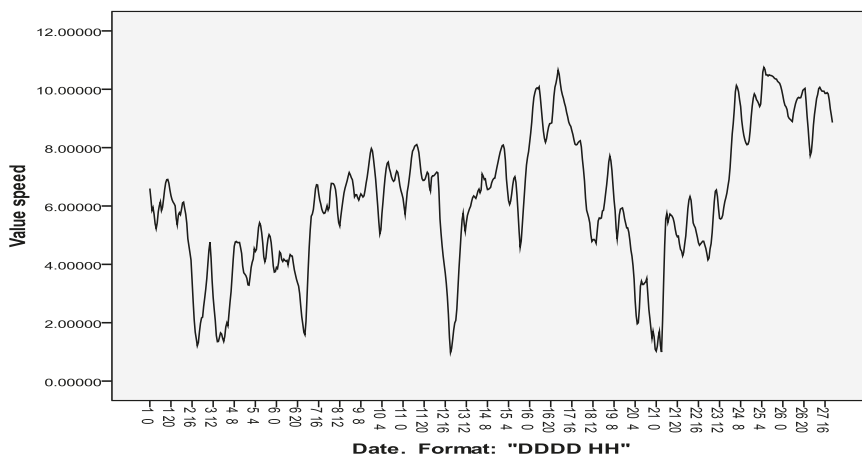
3. ผลการวิจัย

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 27 กันยายน 2558 เวลา 23.00 น. จำนวน 648 ค่า ดังรูปที่ 1 พบว่า อัตรา

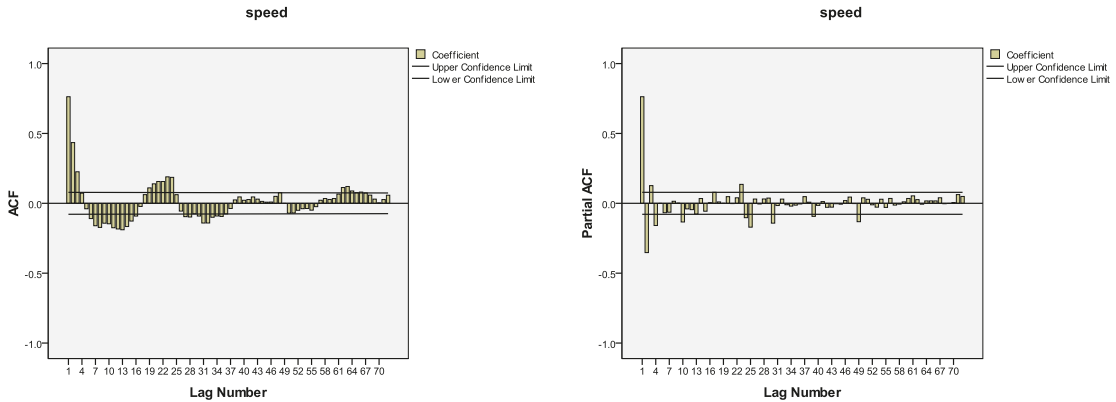
เร็วลมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล

1. ผลการพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

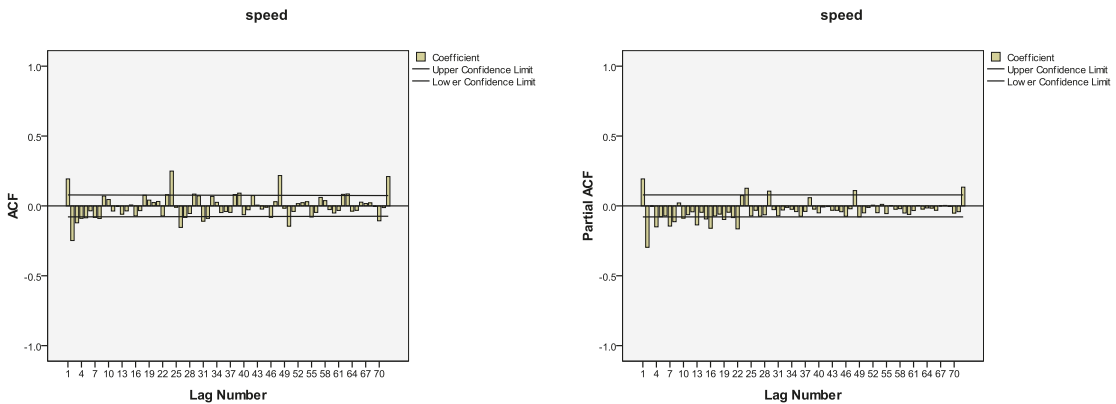
เนื่องจากอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม ผู้วิจัยจึงกำจัดแนวโน้มออกโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) ได้กราฟ ACF และ PACF หลังจากการแปลงข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลายังมีลักษณะไม่คงที่ (Non-Stationary) โดยกราฟ ACF แสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวลดลงอย่างช้าๆ จึงแปลงข้อมูลอีกครั้งโดยการหาผลต่างลำดับที่ 2 ได้กราฟ ACF และ PACF หลังจากการแปลงข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 27 กันยายน 2558 เวลา 23.00 น.



รูปที่ 2 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร
เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1



รูปที่ 3 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร
เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 2

จากรูปที่ 3 พบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ จึงกำหนด
ตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ SARIMA(3, 2,
3)(3, 0, 3)₂₄ พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะ
น่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Method) โดย

ตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05
คือ ตัวแบบ SARIMA(1, 2, 2)(1, 0, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว
ดังตารางที่ 1 จากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นตัวแบบได้
ดังนี้

$$\begin{aligned}
 (1 - \phi_1 B)(1 - \Phi_1 B^{24})(1 - B)^2 Y_t &= (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2)(1 - \Theta_1 B^{24}) \varepsilon_t \\
 (1 - \Phi_1 B^{24} - \phi_1 B + \phi_1 \Phi_1 B^{25})(1 - 2B + B^2) Y_t &= (1 - \Theta_1 B^{24} - \theta_1 B + \theta_1 \Theta_1 B^{25} - \theta_2 B^2 + \theta_2 \Theta_1 B^{26}) \varepsilon_t \\
 (1 - 2B + B^2 - \Phi_1 B^{24} + 2\Phi_1 B^{25} - \Phi_1 B^{26} - \phi_1 B + 2\phi_1 B^2 - \phi_1 B^3 + \phi_1 \Phi_1 B^{25} - 2\phi_1 \Phi_1 B^{26} + \phi_1 \Phi_1 B^{27}) Y_t \\
 &= \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \Theta_1 \varepsilon_{t-24} + \theta_1 \Theta_1 \varepsilon_{t-25} + \theta_2 \Theta_1 \varepsilon_{t-26} \\
 Y_t &= (2 + \phi_1) Y_{t-1} - (1 + 2\phi_1) Y_{t-2} + \phi_1 Y_{t-3} + \Phi_1 Y_{t-24} - (2 + \phi_1) \Phi_1 Y_{t-25} + (1 + 2\phi_1) \Phi_1 Y_{t-26} - \phi_1 \Phi_1 Y_{t-27} \\
 &\quad + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \Theta_1 \varepsilon_{t-24} + \theta_1 \Theta_1 \varepsilon_{t-25} + \theta_2 \Theta_1 \varepsilon_{t-26}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 1 ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบ SARIMA(1, 2, 2)(1, 0, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว

พารามิเตอร์	AR(1): ϕ_1	MA(1): θ_1	MA(2): θ_2	SAR(1): Φ_1	SMA(1): Θ_1
ค่าประมาณ	0.65043	0.47763	0.52228	0.93288	0.79669
t	17.749	2.110	4.376	33.849	15.417
p-value	< 0.0001	0.035	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

เมื่อแทนค่าประมาณพารามิเตอร์จากตารางที่ 1 จะได้ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

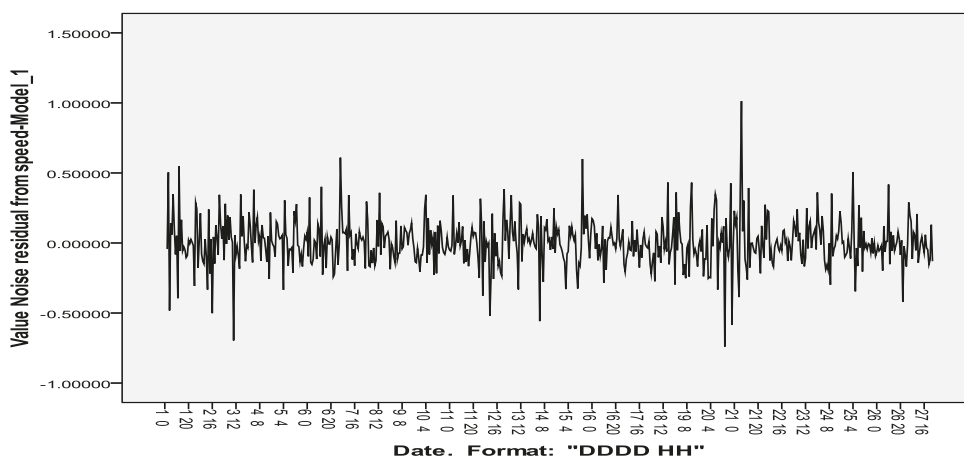
$$\hat{Y}_t = 2.65043Y_{t-1} - 2.30086Y_{t-2} + 0.65043Y_{t-3} + 0.93288Y_{t-24} - 2.47253Y_{t-25} + 2.14643Y_{t-26} - 0.60677Y_{t-27} - 0.47763e_{t-1} - 0.52228e_{t-2} - 0.79669e_{t-24} + 0.38052e_{t-25} + 0.41610e_{t-26} \quad (7)$$

เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา t

Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลาอัตราเร็วลม ณ เวลา t - j

e_{t-j} แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t - j

จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (7) โดยพิจารณาที่ค่าความคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 4 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวรอบค่าศูนย์ และมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสม



รูปที่ 4 กราฟความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับเวลาจากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

2. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

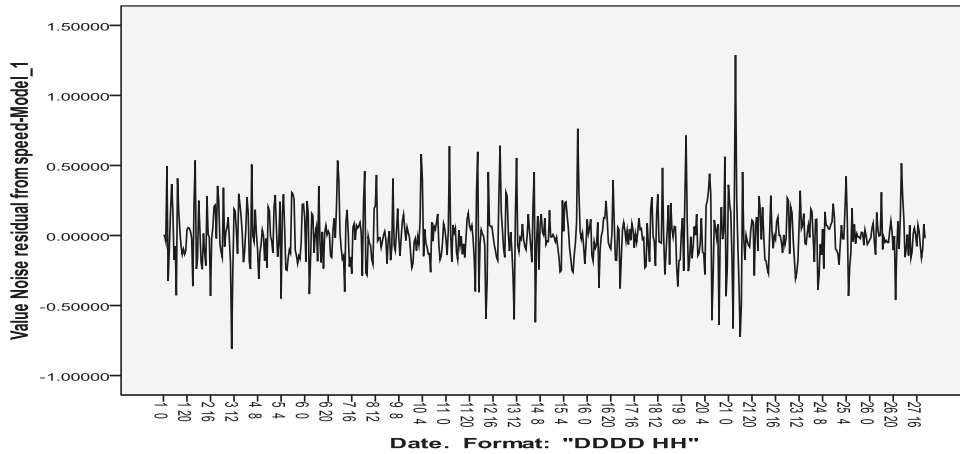
จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ ได้ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 8.86012 - 0.24427(m) \quad (8)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา t + m โดยที่ m = 1 แทนวันที่ 28 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น.

จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (8) โดยพิจารณาที่ค่าความคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 5

พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวรอบค่าศูนย์ และ ขึ้นมีความเหมาะสม มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่สร้าง



รูปที่ 5 กราฟความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับเวลาจากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

3. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์

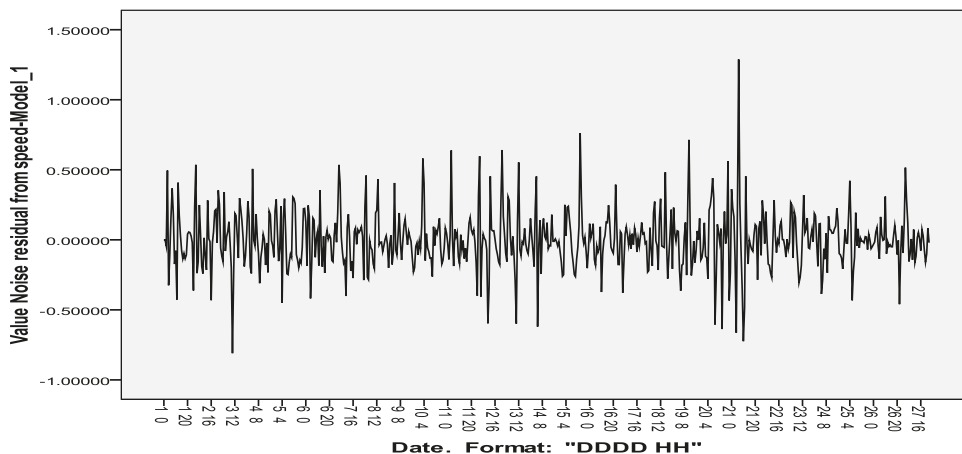
จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ ได้ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 8.86015 - 0.24429 \left[(m-1) + \frac{1}{0.99988} \right] \quad (9)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 28 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น.

จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (9) โดยพิจารณาที่ค่าความคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 6

พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวรอบค่าศูนย์ และ มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่สร้าง ขึ้นมีความเหมาะสม



รูปที่ 6 กราฟความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับเวลาจากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์

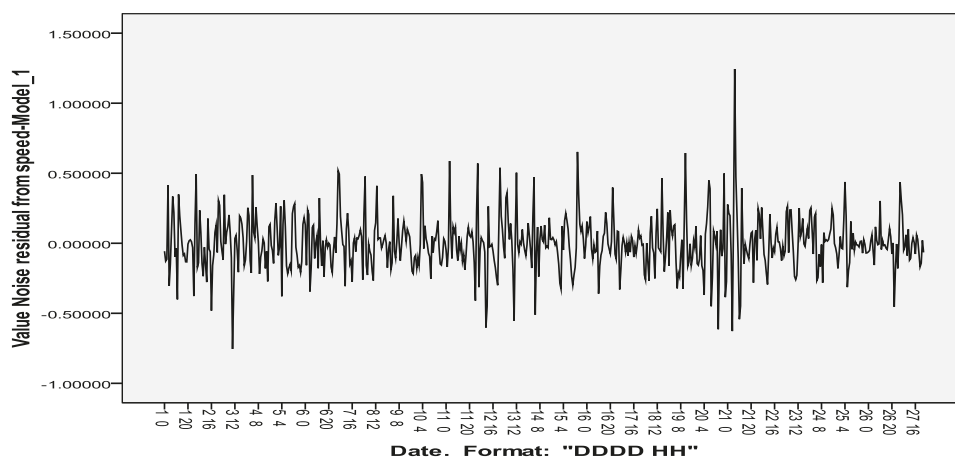
4. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตร

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตร ได้ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 8.86012 - 0.24429 \sum_{i=1}^m (0.79975)^i \quad (10)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา $t + m$ พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวรอบค่าศูนย์ และโดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 28 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น. มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสม

จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (10) โดยพิจารณาที่ค่าความคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับเวลา
จากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตร

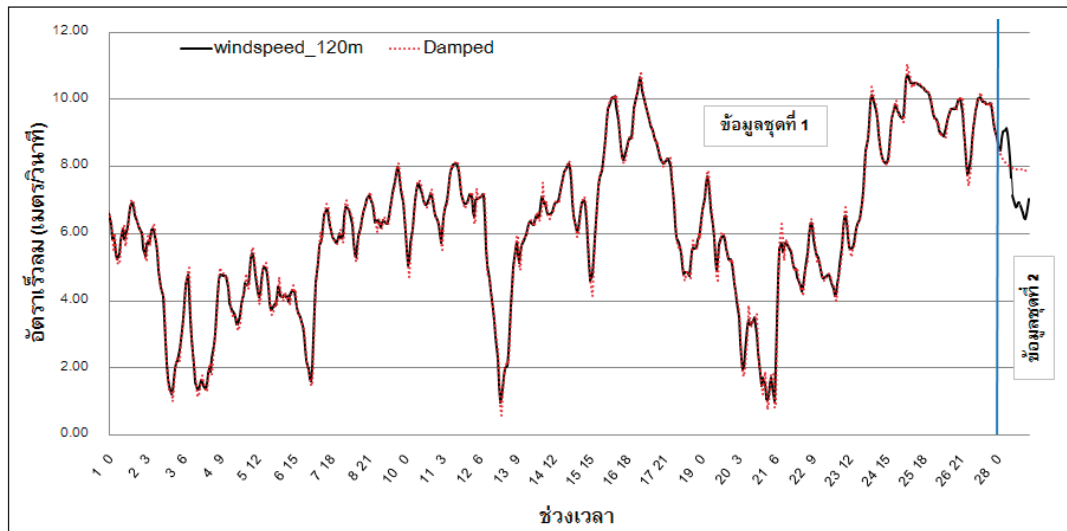
5. ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์

จากการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง ของข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลวันที่ 28 กันยายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 – 23.00 น. จำนวน 24 ค่า โดยการคำนวณค่า MAPE และ RMSE ในสมการที่ (5) และสมการที่ (6) ตามลำดับ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 8 ซึ่งพบว่า เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตร ในสมการที่ (10) ได้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด ดังนั้นวิธีการพยากรณ์นี้

จึงเป็นวิธีที่มีความถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุดกับอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง โดยวิธีการพยากรณ์นี้มีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ร้อยละ 11.7318 (MAPE = 11.7318) หรือมีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ 0.9463 เมตร/วินาที (RMSE = 0.9463) ซึ่งทั้ง 2 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงทำให้น่าเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้นว่าวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์

เวลา	อัตราเร็วลม (เมตรวินาที)	ค่าพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์			
		บ็อกซ์-เจนกินส์	โหนด	บราวน์	แตม
30/6/2015 0:00น.	8.64036	8.63114	8.61585	8.61583	8.66475
30/6/2015 1:00น.	8.48424	8.42427	8.37158	8.37155	8.50850
30/6/2015 2:00น.	8.49037	8.31445	8.12731	8.12726	8.38354
30/6/2015 3:00น.	8.83395	8.36939	7.88303	7.88298	8.28361
30/6/2015 4:00น.	9.02699	8.42823	7.63876	7.63869	8.20368
30/6/2015 5:00น.	9.06307	8.50733	7.39449	7.39441	8.13976
30/6/2015 6:00น.	9.15447	8.61256	7.15021	7.15012	8.08864
30/6/2015 7:00น.	8.97455	8.69408	6.90594	6.90584	8.04776
30/6/2015 8:00น.	8.65296	8.76386	6.66167	6.66155	8.01506
30/6/2015 9:00น.	8.22935	8.78379	6.41740	6.41727	7.98891
30/6/2015 10:00น.	7.67205	8.76484	6.17312	6.17298	7.96800
30/6/2015 11:00น.	7.12758	8.69489	5.92885	5.92870	7.95127
30/6/2015 12:00น.	6.87357	8.66949	5.68458	5.68441	7.93790
30/6/2015 13:00น.	6.77259	8.66563	5.44031	5.44013	7.92720
30/6/2015 14:00น.	6.83738	8.65415	5.19603	5.19584	7.91864
30/6/2015 15:00น.	6.91863	8.64711	4.95176	4.95156	7.91180
30/6/2015 16:00น.	6.91902	8.63393	4.70749	4.70727	7.90633
30/6/2015 17:00น.	6.81014	8.65167	4.46321	4.46299	7.90195
30/6/2015 18:00 น.	6.60158	8.69240	4.21894	4.21870	7.89845
30/6/2015 19:00น.	6.45182	8.71212	3.97467	3.97442	7.89565
30/6/2015 20:00น.	6.43422	8.70329	3.73040	3.73013	7.89342
30/6/2015 21:00น.	6.55956	8.69517	3.48612	3.48585	7.89162
30/6/2015 22:00น.	6.78234	8.61245	3.24185	3.24156	7.89019
30/6/2015 23:00น.	7.03289	8.51590	2.99758	2.99728	7.88905
MAPE		17.2610	25.2310	25.2332	<u>11.7318</u>
RMSE		1.4351	2.0669	2.0671	<u>0.9463</u>



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบอัตราเร็วลมและค่าพยากรณ์ที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง

4. วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษานี้มีความขัดแย้งกับการศึกษาของ Keerativibool และ Mahileh [4] ที่พบว่า วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาในรูปแบบบวกให้ความแม่นยำในการพยากรณ์สูงกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมราย 3 ชั่วโมงที่ระดับความสูง 20 เมตร ตามแนวชายฝั่งของอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา และขัดแย้งกับการศึกษาของ Keerativibool และ Mahileh [5] ที่พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดกับอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 40 เมตร ตามแนวชายฝั่ง อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของช่วงเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ระดับความสูงที่วัดอัตราเร็วลม พื้นที่ที่ศึกษา และวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบ อีกทั้งผลการศึกษาดังกล่าวทั้ง 2 เรื่องยังพบว่า อัตราเร็วลมราย 3 ชั่วโมงที่ระดับความสูง 20 เมตร และอัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 40 เมตร มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล แต่การศึกษานี้เป็นการศึกษาอัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลาไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล จึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลการศึกษามีความขัดแย้งกัน โดยผลการศึกษานี้พบว่า วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มี

แนวโน้มแบบแฉกมีความถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุดกับอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง รองลงมาคือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ อาจเนื่องมาจากการสร้างตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรง ไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล และมีอัตราค่าการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มที่ช้ากว่าของวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโพลต์ รวมถึงความชันจะมีค่าลดลงตามเวลา [10] จึงทำให้ได้ค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงในชุดที่ 2 ซึ่งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วลมเพียงเล็กน้อยดังตารางที่ 2 ขณะที่วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโพลต์และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์จะให้ค่าพยากรณ์ที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งขัดแย้งกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วลม

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาอัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดระนอง โดยใช้ข้อมูลจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ผลการศึกษา

พบว่า วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกเป็นวิธีที่มีความถูกต้องและเหมาะสมมากกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ ตามลำดับ ซึ่งตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 8.86012 - 0.24429 \sum_{i=1}^m (0.79975)^i$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 28 กันยายน 2558 เวลา 0.00 น.

การศึกษารังต่อไปควรประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์วิธีอื่นๆ เช่น วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks หรือ ANN) รวมทั้งควรเพิ่มเติมข้อมูลอัตราเร็วลมให้เป็นปัจจุบันเพื่อปรับปรุงตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ให้มีความเหมาะสมและมีค่าพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด อีกทั้งเพื่อประโยชน์ในด้านการวางแผนและการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมภายในประเทศ ควรสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูงของศูนย์กลางส่วนหมุนของกังหันลมที่ระดับความสูงอื่นๆ เช่นเดียวกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลอัตราเร็วลม สำหรับการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยทักษิณที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

7. เอกสารอ้างอิง

1. Waewsak, J., Kongruang, C., Tirawanichakul, Y., Tirawanichakul, S., Matan, N., Promphat, C. and Noo-Thong, A., 2008, The Feasibility Study of Wind Farm Power Plants along the Coastal Lines of Southern Thailand [Online], Available: <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/รายงานการวิจัย%20การศึกษา>

ความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม.pdf. (In Thai)

2. Bielecki, M.F., Kemper, J.J. and Acker, T.L., 2014, Statistical Characterization of Errors in Wind Power Forecasting [Online], Available: <https://in.nau.edu/wp-content/uploads/sites/156/2018/08/Statistical-Characterization-Of-Errors-In-Wind-Power-Forecasting-Poster-ek.pdf>.

3. Pitchayadejanant, K., 2018, "Emerging Business Analytics in Hospitality and Tourism Industry by using Data Mining Techniques," *KMUTT Research and Development Journal*, 41 (1), pp. 27-46.

4. Keerativibool, W. and Mahileh, J., 2011, "Forecasting Model of Wind Speed Along the Coast of Songkhla Province," *Journal of Energy Research*, 8 (3), pp. 63-72. (In Thai)

5. Keerativibool, W. and Mahileh, J., 2013, "Forecasting Model of Wind Speed Along the Coast of Tha Sala District, Nakhon Si Thammarat Province," *KKU Research Journal*, 18 (1), pp. 32-50. (In Thai)

6. Ket-iam, S., 2005, Forecasting Technique, 2nd ed., Thaksin University, Songkhla. (In Thai)

7. Bowerman, B.L. and O'Connell, R.T., 1993, Forecasting and Time Series: An Applied Approach, 3rd ed., Duxbury Press, California.

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

9. IBM Corporation, 2013, Brown's Exponential Smoothing (TSMODEL Algorithms) [Online], Available: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLVMB_22.0.0/com.ibm.spss.statistics.algorithms/alg_tsmodel_models_exsmooth_browns.htm.

10. Manmin, M., 2006, Time Series and Forecasting, Foreprinting, Bangkok. (In Thai)