

การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

A Comparison of Forecasting Methods for Wind Speed at an Altitude of 120 Meters, Pak Phanang District, Nakhon Si Thammarat Province

วารางคณา เรียนสุทธิ*

Warangkhan Riansut *

Received: 28 August 2019, Revised: 13 October 2019, Accepted: 15 January 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งสร้างโดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์ อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ใช้ศึกษาได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์จะใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณมีความเหมาะสมมากที่สุด จึงสามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: อัตราเร็วลม, ตัวแบบพยากรณ์, บ็อกซ์-เจนกินส์, การทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลัง

ABSTRACT

This research aimed to compare two methods of forecasting wind speed: Box-Jenkins method and Winters' exponential smoothing method at an altitude of 120 meters in Pak Phanang district, Nakhon Si Thammarat province. Hourly wind speed was gathered from Research Center in Energy and Environment, Thaksin University. The criteria of the lowest mean absolute percentage error and root mean squared error were

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210
Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung Campus, Ban Prao, Papayom, Phattalung 93210, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): warang27@gmail.com Tel: 08 8790 8476

used for comparing the suitability of the forecasting model. The study indicated that the Winters' multiplicative exponential smoothing method was the most appropriate. Therefore, this forecasting method can be used to predict wind speed at an altitude of 120 meters in Pak Phanang district, Nakhon Si Thammarat province and can be used to predict the amount of electricity that will be produced in the future.

Key words: wind speed, forecasting model, Box-Jenkins, exponential smoothing

บทนำ

ปัจจุบันมีทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าเชิงพาณิชย์จากหน่วยงานเอกชนเพื่อจำหน่ายให้แก่รัฐที่กำลังดำเนินการในประเทศไทยแล้ว 21 โครงการ มีกำลังการผลิตติดตั้ง 681.4 เมกะวัตต์ ในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสงขลา จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดภูเก็ต และจังหวัดราชบุรี นอกจากนี้ยังมีอีกหลายโครงการที่กำลังอยู่ในระหว่างก่อสร้างในรูปแบบผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (Very Small Power Producer: VSPP) มีกำลังการผลิตติดตั้ง 1 - 10 เมกะวัตต์ เช่น ทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 10 เมกะวัตต์ของโครงการลมลิกอร์ อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช และผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP) มีกำลังการผลิตติดตั้งมากกว่า 10 เมกะวัตต์ แต่ไม่เกิน 90 เมกะวัตต์ เช่น ทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 60 เมกะวัตต์ของบริษัทกันกุลเอ็นจิเนียริง จำกัด (มหาชน) รวมถึงยังมีอีกหลายโครงการที่กำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนา ซึ่งเป็นการพัฒนาเพื่อให้เป็นไปตามแผนการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของกระทรวงพลังงานและมีเป้าหมายการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าให้ได้ถึง 3,002 เมกะวัตต์

จากการที่พลังงานลมมีคุณลักษณะที่มีความแปรปรวนสูง เพราะพฤติกรรมของลมที่ไม่ต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงสูง ทำให้การผลิตไฟฟ้าของ

ทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีลักษณะแปรปรวนตามพฤติกรรมของลม ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตได้จากทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้า ดังนั้นการคาดการณ์หน่วยผลิตหรือการพยากรณ์หน่วยผลิตไฟฟ้าจากทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะช่วยให้การวางแผนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ ได้มีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับความต้องการใช้ไฟฟ้าไม่สูงและไม่ต่ำจนเกินไป อย่างไรก็ตาม การพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะมีความถูกต้องแม่นยำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การพยากรณ์ลมในพื้นที่ของทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงและมีความถี่เชิงเวลาที่ละเอียด เช่น รายนาทียหรือรายชั่วโมง ปัจจุบันมักจะอาศัยตัวแบบการไหลของลมแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการพยากรณ์อัตราเร็วลม นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคการพยากรณ์ต่างๆ เช่น เทคนิคการสร้างตัวแบบพยากรณ์ทางสถิติ เพื่อช่วยให้ผลการพยากรณ์มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่น่าสนใจที่ควรมีการศึกษาการพยากรณ์อัตราเร็วลม โดยการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยให้ความสนใจกับการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช จากการศึกษางานวิจัยอื่นๆ พบว่า Keerativibool and Mahileh (2011) ได้พยากรณ์อัตราเร็วลมราย 3 ชั่วโมง ที่ระดับความสูง 20 เมตรตามแนวชายฝั่ง อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา ผลการวิจัยพบว่า วิธีการแยกส่วนประกอบของ

อนุกรมเวลาในรูปแบบบวกลบให้ความแม่นยำในการพยากรณ์สูงกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ Keerativibool and Mahileh (2013) ได้พยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมง ที่ระดับความสูง 40 เมตร ตามแนวชายฝั่งอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ผลการวิจัยพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เป็นวิธีที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด Promdee (2016) ได้ศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่กังหันลม ผลการวิจัยพบว่ากังหันลมชาโวเนียสที่นำเสนอสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ในช่วง 6.3 - 9.5 โวลต์และผลิตได้เพิ่มขึ้น 5.65% เมื่อติดตั้งช่องลมคู่ที่มุม 30 องศา เทียบกับทิศทางกระแสลม ณ ความเร็วลม 4.68 - 6.41 เมตรต่อวินาที และที่ตำแหน่งห่างจากกระแสลมระยะ 20 - 60 เซนติเมตร สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงขึ้นเฉลี่ย 45 - 68% เมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสแบบเดิมที่ไม่มีช่องลมคู่กังหันลม Thongyai and Assawamartbunlue (2017) ได้ศึกษาการจำลองแผนที่ความเร็วลมจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดตราด เพื่อเสาะหาแหล่งพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลม โดยใช้ WindSim ซึ่งเป็นตัวแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาประยุกต์ใช้จำลองแผนที่ความเร็วลม ผลจากการจำลองแสดงแหล่งความเร็วลมที่มีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า พบพื้นที่ 3 แหล่งที่มีศักยภาพความเร็วลมเหมาะสมกับกังหันลมความเร็วต่ำเฉลี่ยรายปี 5 - 7 เมตร/วินาที คือ พื้นที่เขาสอยดาวจังหวัดจันทบุรี พื้นที่บริเวณเขาคิชฌกูฏจังหวัดจันทบุรี และพื้นที่เกาะช้างจังหวัดตราด ผลการสอบเทียบด้วยข้อมูลจากเสาตรวจวัดพบว่า ค่าการจำลองมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ Keerativibool *et al.* (2011) ได้พยากรณ์อัตราเร็วลมราย 3 ชั่วโมง ที่ระดับความสูง 30 เมตร ตามแนวชายฝั่ง อำเภอจะนะ

จังหวัดสงขลา ผลการวิจัยพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา Mauch (2012) ได้ศึกษาการจัดการความไม่แน่นอนของการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในระบบกริด เนื่องจากพฤติกรรมของลมที่ไม่แน่นอนและมีความแปรปรวนสูง ทำให้เป็นเรื่องที่ท้าทายต่อการเชื่อมต่อห่วงโซ่การผลิตไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าโดยบริหารจัดการให้ภาระไฟฟ้าและกำลังการผลิตมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ดังนั้นผู้ประกอบการระบบ (System Operator) จึงมักจะมีการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมล่วงหน้าหนึ่งวัน (Day-Ahead Forecast) ความผิดพลาดของการพยากรณ์ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนระหว่างการผลิตภาระไฟฟ้า ปัจจุบันความไม่แน่นอนของการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้ามีค่ามากกว่าความไม่แน่นอนของการพยากรณ์ลมมาก วิธีการหนึ่งที่จะลดความไม่แน่นอนดังกล่าวคือ การรวมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเข้ากับระบบเก็บสะสมพลังงาน Bielecki *et al.* (2014) ได้ศึกษาคุณลักษณะทางสถิติของความผิดพลาดในการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ซึ่งการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นการผสมผสานกันระหว่างเทคนิคทางฟิสิกส์และสถิติ โดยเป็นอัลกอริทึมที่มีความสลับซับซ้อนในการพยากรณ์และลดความผิดพลาดความผิดพลาดดังกล่าวมักจะเกี่ยวข้องกับลมและเส้นโค้งกำลังของกังหันลมผลิตไฟฟ้า และ Vasilji *et al.* (2015) ได้พัฒนาตัวแบบกำลังผลิตไฟฟ้า โดยอาศัยกระบวนการสโตแคสติก (Stochastic Process) ซึ่งตัวแบบที่พัฒนาขึ้นมาอาศัยข้อมูลลมตรวจวัด การแจกแจงไวบูล (Weibull Distribution) เส้นโค้งกำลังของกังหันลมผลิตไฟฟ้า และกำลังการผลิตไฟฟ้าของห่วงโซ่การผลิตไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบทางสถิติสามารถใช้ในการจำลองความผิดพลาดในการ

พยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้ารายปีของทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า มีการศึกษาการผลิตไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ของภาคใต้ โดยการศึกษาพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 20 และ 30 เมตร อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา และที่ระดับความสูง 40 เมตร อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช แต่ยังไม่เคยมีการศึกษาที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ เนื่องจากเป็นระดับความสูงของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ในปัจจุบันที่มีหอคอยสูงระดับ 120 เมตร อีกทั้งที่ระดับความสูงเพิ่มขึ้นอัตราเร็วลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม จึงทำให้สามารถผลิตหน่วยไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้วิธีการทางสถิติทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์ จากนั้นจึงคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด 1 ตัวแบบ โดยใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์สำหรับการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช แล้วนำผลการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลม (เมตร/วินาที) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17 ที่มีลิขสิทธิ์ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นอัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2524 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. จำนวน 302,377 ค่า เนื่องด้วยข้อจำกัดของงบประมาณการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ไม่สามารถนำอัตราเร็วลมที่เป็นปัจจุบันมาวิเคราะห์ข้อมูลได้ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วลมในอดีตพบว่า ไม่ได้มีความแตกต่างกับในปัจจุบันมากนัก ผู้วิจัยได้คัดเลือกข้อมูลอัตราเร็วลมล่าสุดมาศึกษา ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. จำนวน 1,465 ค่า เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ศูนย์ฯ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลมาได้ ซึ่งการใช้ข้อมูลล่าสุดที่ใกล้เคียงกับข้อมูลปัจจุบันในการพยากรณ์จะทำให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความถูกต้อง เหมาะสม และแม่นยำมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจำนวน 1,465 ค่า มาแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 23.00 น. จำนวน 1,440 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. จำนวน 25 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด

จากการสังเกตการเคลื่อนไหวของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 1 ดังภาพที่ 1 ในผลการวิจัย

และวิจารณ์ผล พบว่า อัตราเร็วลมมีแนวโน้มทั้งลดลงและเพิ่มขึ้น รวมถึงมีความแปรผันตามฤดูกาลจากการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบว่าอัตราเร็วลมมีแนวโน้มหรือไม่โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคาล-วอลลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) เนื่องจากอัตราเร็วลมในแต่ละวันไม่มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีแนวโน้ม ($\chi^2 = 387.570, p\text{-value} < 0.0001$) และจากการตรวจสอบว่าอัตราเร็วลมมีความแปรผันตามฤดูกาลหรือไม่โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) เนื่องจากอัตราเร็วลมในแต่ละชั่วโมงหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้วมีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีความแปรผันตามฤดูกาล ($F = 2.269, p\text{-value} = 0.001$) ดังนั้นวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่มีควรวัดกับอนุกรมเวลาที่มีทั้งแนวโน้มและความแปรผันตามฤดูกาล ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-

เจนกินส์ (เมื่อใช้ตัวแบบ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average, SARIMA) และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์ วิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติทั้ง 2 วิธีดังกล่าวแสดงรายละเอียดคั่งหัวข้อที่ 1 สำหรับหัวข้อที่ 2 จะเป็นการตรวจสอบข้อสมมุติและการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์

1. วิธีการพยากรณ์

1.1 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่มีความนิยมสูงจึงมีการนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ด้านต่างๆ เป็นจำนวนมาก ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของวิธีนี้ คือ การกำหนดตัวแบบ ซึ่งเราจำเป็นต้องทราบ Autocorrelation Function (ACF) และ Partial Autocorrelation Function (PACF) ของอนุกรมเวลาที่มีลักษณะคงที่ (Stationary) (Manmin, 2006) ตัวแบบของวิธี บ็อกซ์-เจนกินส์ หรือตัวแบบ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงดังนี้ (Box *et al.*, 1994)

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

เมื่อ Y_t แทนอัตราเร็วลม ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของค่าคลาดเคลื่อน

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

โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่

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

$\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{ps}$

แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ P กรณี

มีฤดูกาล (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 $B^s Y_t = Y_{t-s}$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t เมื่อ n_t แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

1.2 วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์

วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์เป็นวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังที่ดีที่สุดในการพยากรณ์อนุกรมเวลา (Manmin, 2006) ซึ่งอิทธิพลของฤดูกาลแสดงได้โดยรูปแบบเชิงบวกหรือรูปแบบเชิงคูณดังตัวแบบต่อไปนี้ (Ket-iam, 2005)

วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

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

วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) \hat{S}_t \quad (3)$$

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

a_t , b_t และ $\hat{S}_t$ แทนค่าประมาณระยะตัดแกน Y ความชันของแนวโน้ม และความแปรผันตามฤดูกาล ณ เวลา t ตามลำดับ

สำหรับตัวแบบบวก a_t , b_t และ $\hat{S}_t$ มีค่าเป็น $a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$,

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

$$\hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$$

สำหรับตัวแบบคูณ a_t , b_t และ $\hat{S}_t$ มีค่าเป็น

$$a_t = \alpha \frac{Y_t}{\hat{S}_{t-s}} + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}),$$

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

$$\hat{S}_t = \delta \frac{Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$$

α , γ และ δ แทนค่าคงตัวการทำให้เรียบโดยที่ $0 < \alpha < 1$, $0 < \gamma < 1$ และ $0 < \delta < 1$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t เมื่อ n_t แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

2. การตรวจสอบข้อสมมุติและการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์

ดำเนินการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบพยากรณ์ โดยพิจารณาที่ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิรโนฟ (Kolmogorov-Smirnov's Test) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบที (t-Test) และมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกันโดยมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยพิจารณาจากกราฟค่าคลาดเคลื่อนเทียบกับเวลา หากพบว่าอนุกรมเวลาของค่าคลาดเคลื่อนมีเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งไม่เป็นจริงจะสรุปว่าตัวแบบพยากรณ์ไม่เหมาะสม และไม่สมควรนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ จะเปรียบเทียบอัตราเร็วรวมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. จำนวน 25 ค่า กับค่าพยากรณ์จากวิธีการทางสถิติทั้ง 2 วิธี โดยการคำนวณค่า MAPE และ RMSE ซึ่งถ้าพบว่าตัว

แบบพยากรณ์ใดที่ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด จะจัดเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด เกณฑ์ MAPE และ RMSE แสดงดังนี้ (Ket-iam, 2005; Manmin, 2006)

$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad (4)$$

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

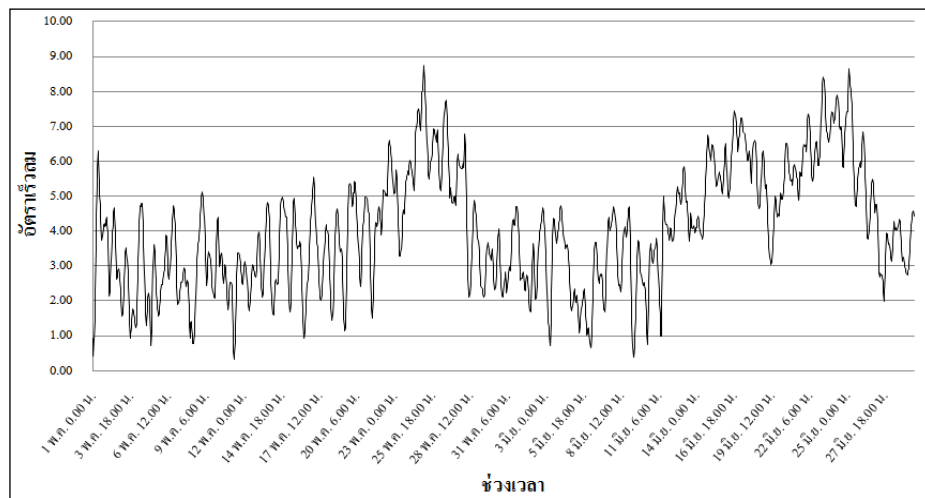
เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา t

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

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่ n_2 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 2

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

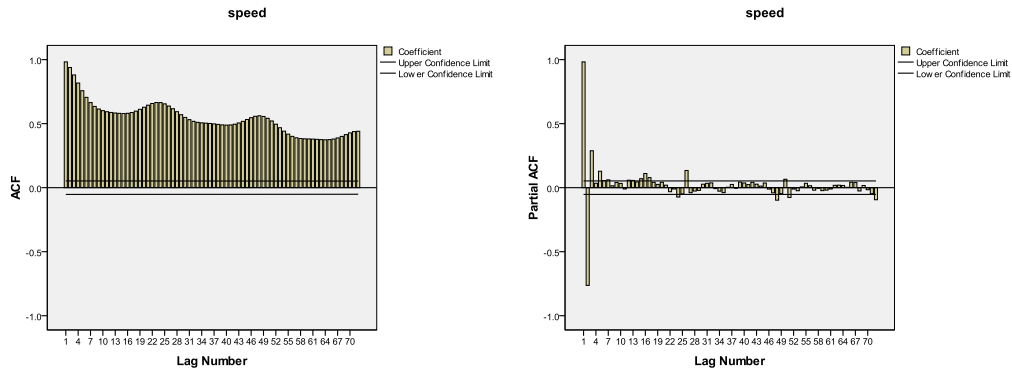
จากการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของ อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปาก พันธ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 23.00 น. จำนวน 1,440 ค่า ดังภาพที่ 1 พบว่า อัตราเร็วลมมีแนวโน้มทั้งเพิ่มขึ้น และลดลง อีกทั้งยังมีความแปรผันตามฤดูกาลรวม ด้วย



ภาพที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 23.00 น.

1. ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์

1.1 ผลของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์



ภาพที่ 2 ACF และ PACF ของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร

จากภาพที่ 1 และ 2 รวมถึงผลการทดสอบ แนวโน้มและความแปรผันตามฤดูกาล พบว่า อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตรมีแนวโน้มและความแปรผันตามฤดูกาล ผู้วิจัยจึงกำจัดแนวโน้มออกโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) และกำจัดความแปรผันตามฤดูกาลออกโดยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 ($D = 1, s = 24$) แต่พบว่าอนุกรมเวลายังมีลักษณะไม่คงที่ เนื่องจากกราฟ ACF ดังภาพที่ 3 (ซ้าย) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลงอย่างช้าๆ และกราฟ PACF ดังภาพที่ 3 (ขวา) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนสูงเกินจากขอบเขตที่กำหนดเป็นอย่างมากในช่วงเวลาที่ 1 และ 2 ซึ่งหมายความว่า อนุกรมเวลาที่กำจัดแนวโน้มออกโดย

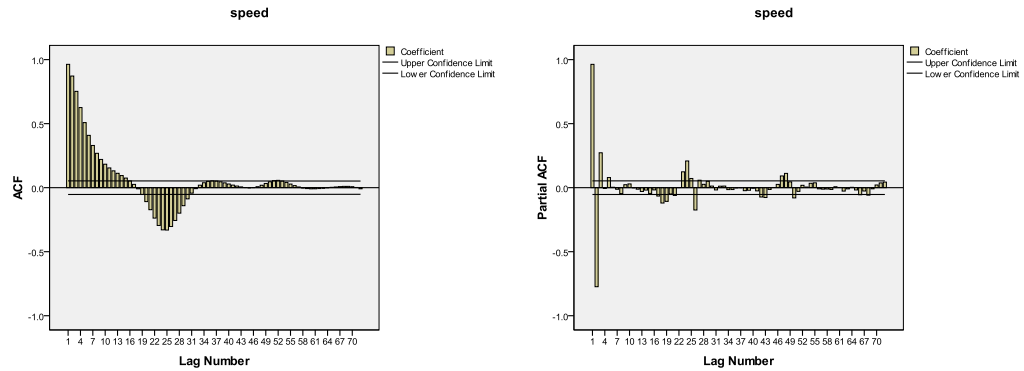
การหาผลต่างลำดับที่ 1 ยังคงมีส่วนประกอบของแนวโน้มอยู่ ดังนั้นจึงแปลงข้อมูลอีกครั้งโดยการหาผลต่างลำดับที่ 2 และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 ($d = 2, D = 1, s = 24$) ได้กราฟ ACF และ PACF หลังจากการแปลงข้อมูลแสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลา มีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ SARIMA(3, 2, 3)(3, 1, 1)₂₄ พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ ตัวแบบ SARIMA(1, 2, 2)(2, 1, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว และจากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นตัวแบบพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & 2.66169Y_{t-1} - 2.32338Y_{t-2} + 0.66169Y_{t-3} + 0.90791Y_{t-24} - 2.41657Y_{t-25} + 2.10942Y_{t-26} \\ & - 0.60075Y_{t-27} + 0.01181Y_{t-48} - 0.03143Y_{t-49} + 0.02744Y_{t-50} - 0.00781Y_{t-51} + 0.08028Y_{t-72} \\ & - 0.21368Y_{t-73} + 0.18652Y_{t-74} - 0.05312Y_{t-75} - 0.46244e_{t-1} - 0.53738e_{t-2} - 0.76683e_{t-24} \\ & + 0.35461e_{t-25} + 0.41208e_{t-26} \end{aligned} \quad (6)$$

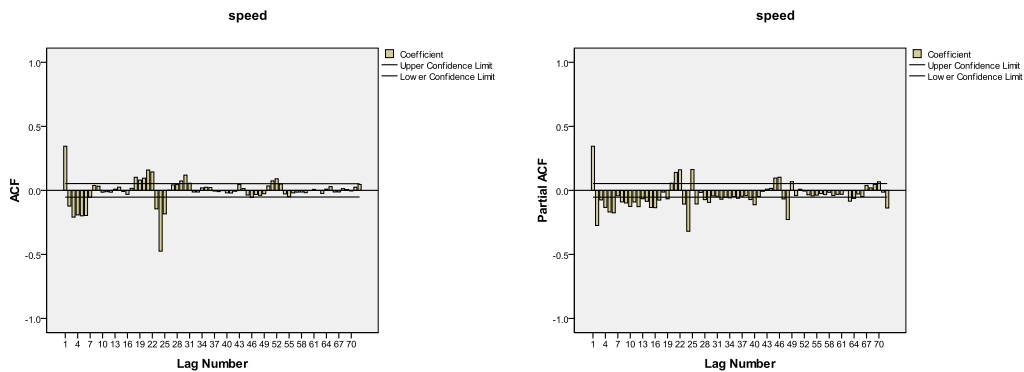
เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา t

Y_{t-j} แทนอัตราเร็วลม ณ เวลา $t-j$

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



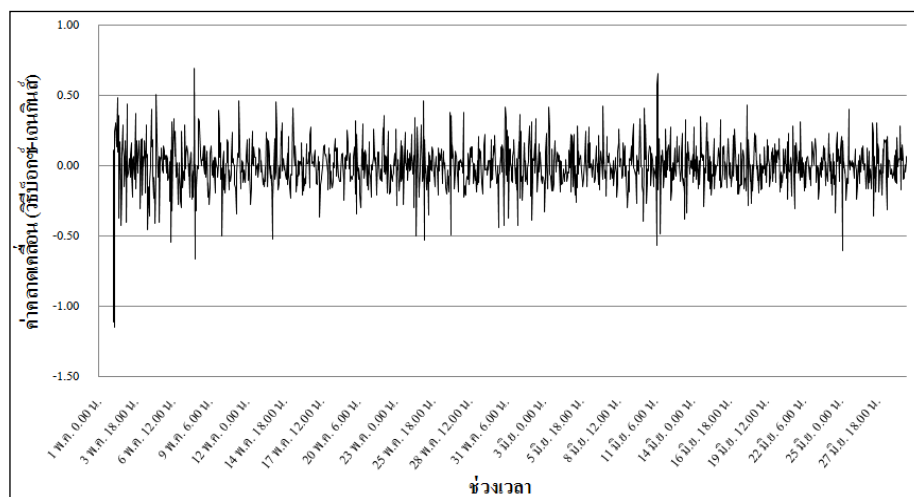
ภาพที่ 3 ACF และ PACF ของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1



ภาพที่ 4 ACF และ PACF ของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 2 และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1

จากการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (6) โดยพิจารณาที่ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.095$, $p\text{-value} = 0.181$)

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = -0.093$, $p\text{-value} = 0.926$) และมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกันโดยมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (ดังภาพที่ 5) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นมีข้อสมมุติเป็นจริง



ภาพที่ 5 ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับเวลาโดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

1.2 ผลของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลัง ของวินเทอร์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการ
ทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก
และแบบคูณ ได้ตัวแบบพยากรณ์ดังสมการที่ (7)
และ (8) ตามลำดับ

$$\hat{Y}_{t+m} = (4.19325 + 0.00159m) + \hat{S}_t \quad (7)$$

$$\hat{Y}_{t+m} = (4.00653 + 0.00176m)\hat{S}_t \quad (8)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น.

$\hat{S}_t$ แทนดัชนีฤดูกาล ณ เวลา t รายละเอียด
ของดัชนีฤดูกาลรูปแบบบวกแสดงดังตารางที่ 1 และ
ดัชนีฤดูกาลรูปแบบคูณแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ดัชนีฤดูกาลของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จากวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์
แบบบวก

ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล	ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล	ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล
0.00 น.	0.24744	8.00 น.	<u>-0.45292</u>	16.00 น.	0.21120
1.00 น.	0.12412	9.00 น.	<u>-0.52155</u>	17.00 น.	0.20933
2.00 น.	0.23701	10.00 น.	<u>-0.56201</u>	18.00 น.	0.25961
3.00 น.	0.30869	11.00 น.	<u>-0.57431</u>	19.00 น.	0.31185
4.00 น.	0.18563	12.00 น.	<u>-0.44457</u>	20.00 น.	0.32696
5.00 น.	<u>-0.02189</u>	13.00 น.	<u>-0.21362</u>	21.00 น.	0.29996
6.00 น.	<u>-0.23048</u>	14.00 น.	0.00682	22.00 น.	0.24652
7.00 น.	<u>-0.37407</u>	15.00 น.	0.17794	23.00 น.	0.24235

จากตารางที่ 1 พบว่าอัตราเร็วลมของ
ช่วงเวลา 5.00 น. ถึง 13.00 น. ของทุกวัน มีค่าต่ำกว่า
ช่วงเวลาอื่นๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลน้อยกว่า 0

ดังนั้นช่วงเวลาดังกล่าวจะสามารถผลิตหน่วยไฟฟ้า
ได้ต่ำกว่าช่วงเวลาอื่นๆ

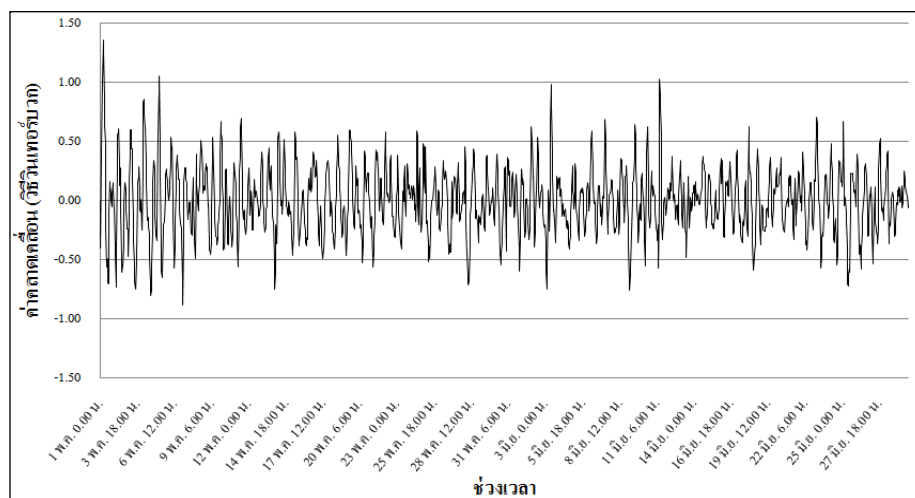
ตารางที่ 2 ดัชนีฤดูกาลของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จากวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์
แบบคูณ

ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล	ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล	ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล
0.00 น.	1.07736	8.00 น.	<u>0.77046</u>	16.00 น.	1.19789
1.00 น.	1.02616	9.00 น.	<u>0.82078</u>	17.00 น.	1.16942
2.00 น.	1.01305	10.00 น.	<u>0.86452</u>	18.00 น.	1.14413
3.00 น.	<u>0.97067</u>	11.00 น.	<u>0.90971</u>	19.00 น.	1.11848
4.00 น.	<u>0.87397</u>	12.00 น.	<u>0.98622</u>	20.00 น.	1.09993
5.00 น.	<u>0.78270</u>	13.00 น.	1.07385	21.00 น.	1.08377
6.00 น.	<u>0.72595</u>	14.00 น.	1.14362	22.00 น.	1.08631
7.00 น.	<u>0.72346</u>	15.00 น.	1.19617	23.00 น.	1.10709

จากตารางที่ 2 พบว่าอัตราเร็วลมของ
ช่วงเวลา 3.00 น. ถึง 12.00 น. ของทุกวัน มีค่าต่ำกว่า
ช่วงเวลาอื่นๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลน้อยกว่า 1
ดังนั้นช่วงเวลาดังกล่าวจะสามารถผลิตหน่วยไฟฟ้า
ได้ต่ำกว่าช่วงเวลาอื่นๆ

จากการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบ
พยากรณ์ในสมการที่ (7) โดยพิจารณาที่ค่า

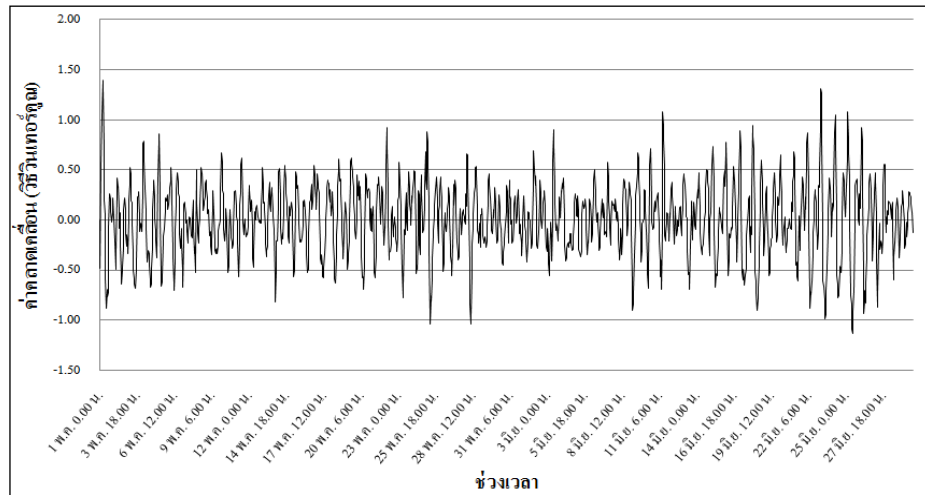
คลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
พบว่า ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ
(Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.611$, $p\text{-value} = 0.849$)
มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = -0.191$, $p\text{-value} = 0.849$)
และมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกันโดยมีความ
แปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (ดังภาพที่ 6) ดังนั้นตัว
แบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นมีข้อสมมุติเป็นจริง



ภาพที่ 6 ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับเวลา โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

จากการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (8) โดยพิจารณาที่ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.004$, $p\text{-value} = 0.266$)

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 0.801$, $p\text{-value} = 0.423$) และมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกันโดยมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (ดังภาพที่ 7) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นมีข้อสมมุติเป็นจริง



ภาพที่ 7 ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับเวลา โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

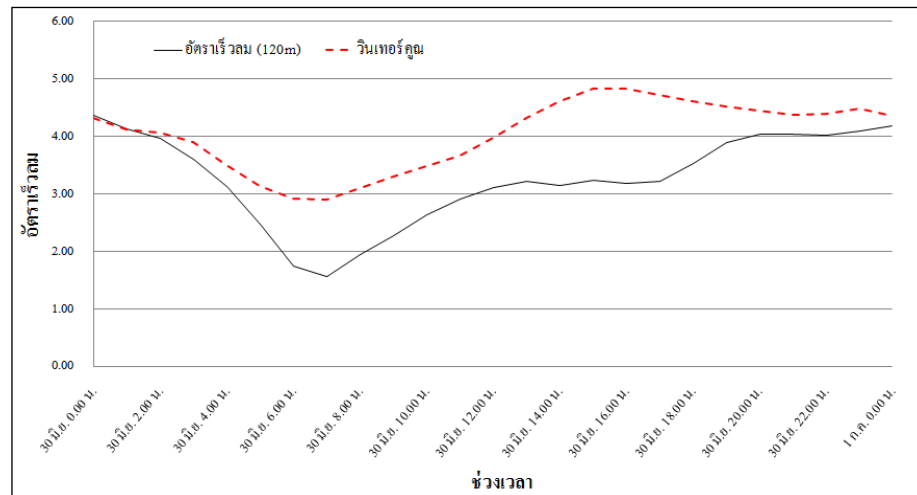
2. ผลการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์

ผลการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. จำนวน 25 ค่า โดยการคำนวณ

ค่า MAPE และ RMSE แสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 8 พบว่า เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ในสมการที่ (8) ได้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด ดังนั้นวิธีการพยากรณ์นี้จึงเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

ตารางที่ 3 MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2

เกณฑ์	วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	วิธีวินเทอร์แบบบวก	วิธีวินเทอร์แบบคูณ
MAPE	40.8109	37.3527	<u>28.5690</u>
RMSE	1.3149	1.1212	<u>0.9259</u>



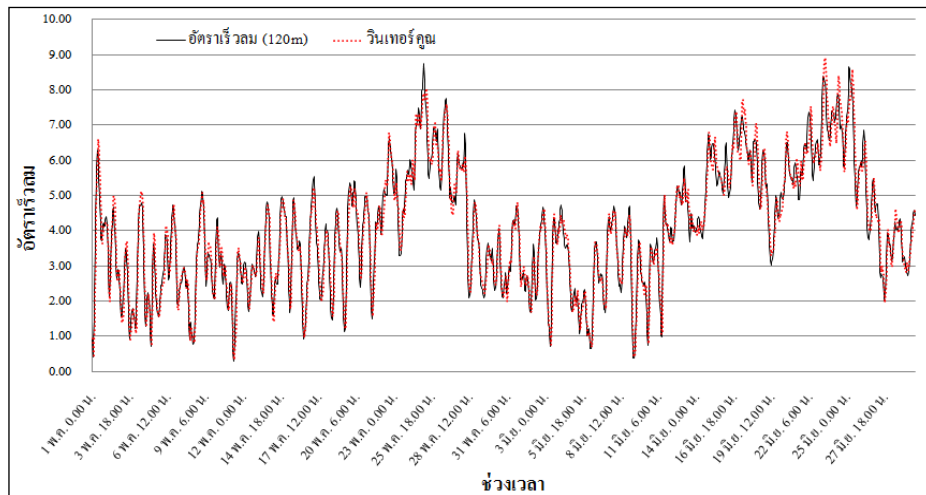
ภาพที่ 8 อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ชุดที่ 2 และค่าพยากรณ์ จากวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของ วินเทอร์แบบคูณ

จากภาพที่ 8 พบว่าเมื่อใช้วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณในการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 2 ได้ค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมสูงกว่าค่าจริงเกือบทุกช่วงเวลา อีกทั้งอัตราเร็วลมชุดที่ 2 มีความผันผวนสูง จึงอาจส่งผลให้ค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งจะทำให้ค่า MAPE และ RMSE มีค่าสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อใช้วิธีการพยากรณ์ดังกล่าวในการพยากรณ์

อัตราเร็วลมชุดที่ 1 แล้วคำนวณค่า MAPE และ RMSE ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 9 ซึ่งพบว่า ค่า MAPE และ RMSE มีค่าต่ำอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่นำมาศึกษาทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณมีความเหมาะสม

ตารางที่ 4 MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1

เกณฑ์	วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	วิธีวินเทอร์แบบบวก	วิธีวินเทอร์แบบคูณ
MAPE	3.8205	7.3408	8.6398
RMSE	0.1567	0.2855	0.3582



ภาพที่ 9 อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ชุดที่ 1 และค่าพยากรณ์ จากวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของ วินเทอร์แบบคูน

ผลการศึกษาครั้งนี้มีความขัดแย้งกับการศึกษาของ Keerativibool and Mahileh (2011), Keerativibool and Mahileh (2013) และ Keerativibool *et al.* (2011) ที่ไม่ได้พบว่าวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูนเป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของช่วงเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลระดับความสูงที่วัดอัตราเร็วลม พื้นที่ที่ศึกษา และวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบ อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมด้วยวิธีการพยากรณ์อื่นๆ เช่น วิธีการพยากรณ์ในลักษณะของตัวแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเข้ามาประยุกต์ใช้กับการจำลองแผนที่ลม WindSim ซึ่งสามารถแสดงผลการจำลองในพื้นที่ซับซ้อนได้ใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริง (Thongyai and Assawamartbunlue, 2017) หรือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) รวมทั้งควรเพิ่มเติมข้อมูลอัตราเร็วลมให้เป็นปัจจุบัน เพื่อปรับปรุงตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ให้มีความเหมาะสมและมีค่าพยากรณ์ที่มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด อีกทั้งเพื่อประโยชน์ในด้านการวางแผนและการพัฒนา

เทคโนโลยีกังหันลมภายในประเทศ ควรสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูงอื่นๆ เช่น 50 และ 100 เมตร เป็นต้น ถึงแม้ว่าที่ระดับความสูงต่างๆ จะทำให้ได้อัตราเร็วลมที่ต่ำ และผลิตหน่วยไฟฟ้าได้น้อย แต่อย่างไรก็ตาม การสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ระดับความสูงต่างๆ จะมีค่าใช้จ่ายน้อยตามไปด้วย

การศึกษานี้พบว่า วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูนเป็นวิธีที่ให้ตัวแบบพยากรณ์เหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช จึงสามารถนำผลการพยากรณ์อัตราเร็วลมจากตัวแบบดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคตต่อไป ซึ่งพลังงานลมเป็นรูปแบบพลังงานอย่างหนึ่งที่น่าสนใจและมีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า ข้อดีของพลังงานลมที่ดีกว่าพลังงานทดแทนชนิดอื่นๆ คือ พลังงานลมไม่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานจึงไม่ต้องการจัดหาเชื้อเพลิงหรือควบคุมกากเชื้อเพลิงที่อาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาวะแวดล้อมเหมือนกับพลังงานชีวมวล

นอกจากนั้นพลังงานลมยังมีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งกลางวันและกลางคืน เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงานได้เฉพาะกลางวัน อีกทั้งในการนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่มากเมื่อเทียบกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำ แต่อย่างไรก็ตามพลังงานลมอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณของลมซึ่งอาจขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิศาสตร์และสภาพอากาศที่ต้องเอื้อต่อการเกิดลม จากการสำรวจแล้วมีเพียงบางพื้นที่ในประเทศไทยเท่านั้นที่มีความเร็วลมเหมาะสมในการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า (Promdee, 2016)

สรุป

การวิจัยครั้งนี้ได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์ (ทั้งรูปแบบบวกและรูปแบบคูณ) ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้ข้อมูลจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ผลการวิจัยพบว่า วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณมีความเหมาะสมมากกว่าวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวกและวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ตามลำดับ ซึ่งตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณแสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = (4.00653 + 0.00176m)\hat{S}_t$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น.

$\hat{S}_t$ แทนดัชนีฤดูกาล ณ เวลา t

ตัวแบบพยากรณ์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งผลการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคตต่อไป อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้พบว่า ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. มีความผันผวนสูง ส่งผลให้ค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนสูง หรือตัวแบบพยากรณ์ที่ได้อาจมีความเหมาะสมลดลง ดังนั้นผู้ที่นำตัวแบบพยากรณ์ไปใช้ประโยชน์ควรระวังประเด็นนี้ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลอัตราเร็วลม สำหรับการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยทักษิณที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

เอกสารอ้างอิง

- Bielecki, M.F., Kemper, J.J. and Acker, T.L. 2014. **Statistical Characterization of Errors in Wind Power Forecasting.** Northern Arizona University, U.S.A.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. 1994. **Time Series Analysis: Forecasting and Control.** 3rd ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Keerativibool, W. and 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. 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): 32-50. (in Thai)
- Keerativibool, W., Waewsak, J. and Kanjinasamranwong, P. 2011. Short-Term Forecast of Wind Speed at Chana District, Songkhla Province Thailand, pp. 343-350. *In Proceedings of the 2011 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies*. Thaksin University, Songkhla. (in Thai)
- Ket-iam, S. 2005. **Forecasting Technique**. 2nd ed. Thaksin University, Songkhla. (in Thai)
- Manmin, M. 2006. **Time Series and Forecasting**. Foreprinting, Bangkok. (in Thai)
- Mauch, B.K. 2012. Managing Wind Power Forecast Uncertainty in Electric Grids. Ph.D. dissertation of Engineering and Public Policy, Carnegie Mellon University.
- Promdee, Ch. 2016. Electric Power Generation of Savonius Wind Turbine with Double Wind Tunnels. Master in Electrical and Computer Engineering Thesis, Mahasarakham University. (in Thai)
- Thongyai, N. and 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 Proceedings of the 31st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*. Phukhaongam Resort, Thailand. (in Thai)
- Vasilji, J., Sarajcev, P. and Jakus, D. 2015. Wind Power Forecast Error Simulation Model. **World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering** 9(2): 138-143.