



ตัวแบบพยากรณ์ความเร็วลมตามแนวชายฝั่ง อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

Forecasting Model of Wind Speed along the Coast of Tha Sala District, Nakhon Si Thammarat Province

วารangkha เกียรติวิบูลย์* และ เจ๊ะฮัฟฟาน มาหิเลาะ²

Warangkha Keerativibool^{1*} and Jehathfarn Mahileh²

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร., สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ และนักวิจัยประจำศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

²นิสิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

*Correspondent author: warang27@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดของความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตรตามแนวชายฝั่ง อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งอนุกรมเวลาดังกล่าวถูกเก็บรวบรวมโดยศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 รายชั่วโมงจำนวน 672 ค่า ถูกใช้สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 6 วิธี คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การเฉลี่ยอย่างง่าย วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของรากที่สองของผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และวิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของค่าจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 7 มีนาคม พ.ศ. 2554 จำนวน 168 ค่านำมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการพยากรณ์ ด้วยเกณฑ์ของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ตัวแบบ SARIMA (1, 1, 1)(0, 1, 1)₂₄ ที่ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ เป็นวิธีที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

Abstract

This research would like to create the appropriate forecasting model of wind speed at an altitude of 40 meters along the coast of Tha Sala district, Nakhon Si Thammarat province. This time series were collected by Research Center in Energy and Environment, Thaksin University. The first series during February 1 - 28, 2011 for an hour period of 672 observations were utilized to create the forecasting models by six statistical methods: Box-Jenkins method, decomposition method, combined forecasting method using the simple average, combined forecasting method using a weighted by the inverse of root sum squares error, combined forecasting method us-

ing a weighted by the inverse of sum absolute error, and combined forecasting method using a weighted by the proportion of the value in the eigenvector from the principal component analysis. The second series during March 1 - 7, 2011 of 168 observations were utilized to compare the performance of forecasting methods by the criterion of minimum mean squared error (MSE). The result showed that the Box-Jenkins method by using SARIMA(1, 1)(0, 1, 1)₂₄ with no constant term was the most suitable for this time series.

คำสำคัญ: ความเร็วลม วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการพยากรณ์รวม ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

Keywords: wind speed, Box-Jenkin method, decomposition method, combined forecasting method, mean squared error (MSE)

1. บทนำ

การขยายตัวของประชากร การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ทำให้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น โดยทั่วไปพลังงานไฟฟ้าสามารถผลิตได้จากกระบวนการทางความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ หรือถ่านหิน เป็นต้น เชื้อเพลิงดังกล่าวยังเป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจให้เจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากการประสบปัญหาเกี่ยวกับเชื้อเพลิงเหล่านี้ อาทิ ปัญหาวิกฤติน้ำมันมีราคาผันผวนสูงถึง 150 ดอลลาร์ต่อบาเรล ซึ่งแตกต่างจากในอดีตถึง 7 เท่าตัว อีกทั้งการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกระบวนการทางความร้อนยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ประกอบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดจึงอาจส่งผลให้เกิดความไม่เพียงพอต่อการใช้งานในอนาคต ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพรวมทั้งการแสวงหาพลังงานทดแทนที่ประหยัดและมีความยั่งยืนจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ (1-2)

พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้อม เป็นพลังงานที่สะอาด สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงโดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง (3-4) การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมให้มีศักยภาพเพียงพอจำเป็นต้องอาศัย

เครื่องจักรกลที่สามารถรับพลังงานจากการเคลื่อนที่ของลมเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ เรียกเครื่องจักรกลชนิดนี้ว่า “เทคโนโลยีกังหันลม” อย่างไรก็ตามการนำเทคโนโลยีกังหันลมมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องเข้าใจพฤติกรรมของลม ลักษณะการแจกแจงทางสถิติของลม ความหนาแน่นของกำลังลมตามระดับความสูงของเสาตัวลม และลักษณะพื้นที่ของบริเวณที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์รวมถึงความเร็วลมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องศึกษาเพราะมักมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและตามฤดูกาล ในบางช่วงเวลา บางฤดูกาล ความเร็วลมอาจมีค่าต่ำหรือสูง ไม่มีความแน่นอน โดยอาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความแตกต่างของพื้นที่ (5)

การพยากรณ์ความเร็วลมด้วยวิธีการทางสถิติเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญสามารถตอบโจทย์ปัญหาความไม่แน่นอนของความเร็วลมในอนาคตด้วยผลการทำนายที่น่าเชื่อถือ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้คือ การสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อพยากรณ์ความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร รายชั่วโมงตามแนวชายฝั่ง อำเภอบ้านฉาง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์จากวิธีการทางสถิติ 6 วิธี คือ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การเฉลี่ยอย่างง่าย วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของรากที่สองของผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของผลรวม

ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และวิธีการพยากรณ์รวม โดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของค่าจากเวกเตอร์ ลักษณะเฉพาะของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ผู้วิจัยมีความคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการพยากรณ์ความเร็วลมจากตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดจะเป็นสารสนเทศหนึ่งที่มีความสำคัญ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการพัฒนารูปแบบของเทคโนโลยีกังหันลมให้มีความเหมาะสมกับความเร็วลมในประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นที่ตามแนวชายฝั่ง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานลมที่ดี รวมถึงเป็นประโยชน์ในด้านการวางแผนการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในประเทศอย่างยั่งยืนต่อไป

2. วิธีการวิจัย

อนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร รายชั่วโมง ตามแนวชายฝั่ง อำเภอบ้านนา จังหวัดนครราชสีมา ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึงวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2554 จำนวน 840 ค่าที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นข้อมูลทุติยภูมิ ถูกเก็บรวบรวมโดยศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 จำนวน 672 ค่า ถูกใช้สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 6 วิธี คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การเฉลี่ยอย่างง่าย วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนัก ด้วยการผกผันของรากที่สองของผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และวิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของค่าจากเวกเตอร์ ลักษณะเฉพาะของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ชุดที่ 2 คือข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 7 มีนาคม พ.ศ. 2554 จำนวน 168 ค่า ถูกใช้สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ ด้วยเกณฑ์ของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

2.1 การศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

การศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาในเบื้องต้น จะพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลาว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร มีส่วนประกอบของอนุกรมเวลาส่วนใดบ้าง ซึ่งอาจประกอบด้วย แนวโน้ม ความผันแปรตามฤดูกาล ความผันแปรตามวัฏจักร หรือความผันแปรเนื่องจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติ (6) ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมของการเลือกใช้สถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

2.2 การสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

ตัวแบบทั่วไปของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ อันดับที่ (p, P, q, Q) คือ seasonal autoregressive integrated moving average: SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงเป็นสมการได้ดังนี้ (6-7)

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

เมื่อ Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

n แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ณ ที่นี้คือ 672 ค่า

s แทนจำนวนฤดูกาล

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (backward operator) เมื่อ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_P(B^s)$ แทนค่าคงที่เมื่อ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่เป็นสเตชันนารี (stationary time series)

$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ p (non-seasonal autoregressive operator of order p: AR(p))

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

แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบมีฤดูกาล
อันดับที่ P (seasonal autoregressive operator of order P:
SAR(P))

$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ แทนตัว
ดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ q (non-
seasonal moving average operator of order q: MA(q))

$\Theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs}$
แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาลอันดับที่ Q
(seasonal moving average operator of order Q: SMA(Q))

การสร้างตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอกช-
เจนกินส์ โดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่น 17 มีขั้นตอนดังนี้

1) พิจารณาอนุกรมเวลาว่าเป็นสเตชันนารี
หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาที่เทียบกับเวลา (Y_t, t) กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง
(autocorrelation function: ACF) และกราฟฟังก์ชัน
สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (partial autocorrelation
function: PACF) หากพบว่าอนุกรมเวลาไม่เป็นสเตชันนารี
จะทำการแปลงอนุกรมเวลาใหม่ให้เป็นสเตชันนารีด้วย
วิธีการต่างๆ ก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป เช่น การแปลง
ข้อมูลด้วยการหาผลต่างหรือผลต่างฤดูกาล (difference
or seasonal difference) การแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึม
สามัญหรือลอการิทึมธรรมชาติ (logarithm or natural
logarithm) การแปลงข้อมูลด้วยเลขยกกำลัง เช่น ยกกำลัง
0.5 (square root transformation) หรือยกกำลัง 2 (square
transformation) เป็นต้น (6)

2) กำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้จาก
กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่เป็นสเตชันนารี
พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

3) ตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกจาก
ตัวแบบพยากรณ์ครั้งละ 1 ตัว จากนั้นกำหนดตัวแบบ
พยากรณ์และประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่จนกว่าจะได้
ตัวแบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญ
ทั้งหมด

4) เลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าเกณฑ์สารสนเทศ
เบย์เซียน (Bayesian information criterion: BIC) ที่
ต่ำที่สุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และ
อนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์

$\{e_t\}$ มีการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระกัน โดยพิจารณาจาก
กราฟความคลาดเคลื่อนเทียบกับเวลา (e_t, t), ACF และ
PACF ของ $\{e_t\}$

5) พยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ตัวแบบ
พยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดจากขั้นตอนที่ 4

2.3 การสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการแยก

ส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

ตัวแบบทั่วไปของวิธีการแยกส่วนประกอบของ
อนุกรมเวลามี 2 รูปแบบ คือ รูปแบบบวกและรูปแบบคูณ
โดยตัวแบบที่ใช้สำหรับการพยากรณ์จะเป็นรูปแบบใดขึ้นอยู่กับ
ลักษณะการกระจายตัวของอนุกรมเวลา กล่าวคือ
ถ้าอนุกรมเวลาที่มีการกระจายตัวคงที่รูปแบบที่เหมาะสม
คือ รูปแบบบวก ในทางกลับกันถ้าอนุกรมเวลาที่มีการ
กระจายตัวไม่คงที่รูปแบบที่เหมาะสมคือ รูปแบบคูณ (8)

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าส่วนประกอบของอนุกรม
เวลาอาจประกอบด้วยแนวโน้ม ความผันแปรตามฤดูกาล
ความผันแปรตามวัฏจักร หรือความผันแปรเนื่องจาก
เหตุการณ์ที่ผิดปกติแต่ในกรณีของการพยากรณ์ช่วงเวลา
ที่สั้นกว่า 1 ปี จะมีส่วนประกอบที่สำคัญเพียง 2 ส่วน คือ
แนวโน้ม และความผันแปรตามฤดูกาล ดังนั้นตัวแบบ
ทั่วไปของวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา
สำหรับการพยากรณ์ช่วงเวลาที่ยาวกว่า 1 ปี แสดงเป็น
สมการได้ดังนี้ (8)

$$\text{รูปแบบบวก} : Y_t = T_t + S_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$\text{รูปแบบคูณ} : Y_t = T_t \times S_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

เมื่อ Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t
 T_t แทนค่าแนวโน้ม ณ เวลา t
 S_t แทนดัชนีฤดูกาล ณ เวลา t
 ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่
มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกัน ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ
ศูนย์ และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

n แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1
ณ ที่นี้คือ 672 ค่า

การสร้างตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการแยกส่วน
ประกอบของอนุกรมเวลา โดยใช้โปรแกรม MINITAB
รุ่น 15 มีขั้นตอนดังนี้

1) พิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา (Y_t, t) เพื่อกำหนดส่วนประกอบของอนุกรมเวลาในตัวแบบที่มีระยะเวลาของการพยากรณ์สั้นกว่า 1 ปี ซึ่งอาจประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ คือ แนวโน้ม และ/หรือ ความผันแปรตามฤดูกาล

2) ตรวจสอบการกระจายตัวของอนุกรมเวลาว่าคงที่หรือไม่โดยการแบ่งอนุกรมเวลาออกเป็นกลุ่มย่อยคำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอนุกรมเวลาในแต่ละกลุ่มย่อย เพื่อกำหนดรูปแบบที่เหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ ซึ่งอาจเป็นรูปแบบบวก หรือรูปแบบคูณ

3) ตรวจสอบอนุกรมเวลาว่ามีแนวโน้มหรือไม่ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression analysis) ระหว่างตัวแปรอิสระ คือ เวลา และตัวแปรตาม คือ ความเร็วลม สำหรับตัวแปรเวลาจะมีค่าเริ่มต้นเท่าใดก็ได้ แต่จะต้องเพิ่มขึ้นเท่าๆ กันในแต่ละช่วงเวลา (9)

4) ประมวลค่าส่วนประกอบของอนุกรมเวลาในตัวแบบพยากรณ์

5) พยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่กำหนดจากขั้นตอนที่ 2 และค่าประมาณส่วนประกอบของอนุกรมเวลาจากขั้นตอนที่ 4

2.4 การสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์รวม

วิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีการประยุกต์ โดยการรวมค่าพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์เดี่ยวตั้งแต่ 2 วิธีขึ้นไป เพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ใหม่ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด สามารถใช้ได้ดีในกรณีที่วิธีการพยากรณ์เดี่ยวที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลามากกว่า 1 วิธี (10) ณ ที่นี้ได้พิจารณาค่าพยากรณ์เดี่ยวจากวิธีการทางสถิติ 2 วิธี คือ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา โดยกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก (w_i) ภายใต้ง่อนไข คือ ผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 ($w_1 + w_2 = 1$)

ตัวแบบของวิธีการพยากรณ์รวมในการวิจัยครั้งนี้ แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_t = w_1 \hat{Y}_{1t} + w_2 \hat{Y}_{2t} \quad (4)$$

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

$\hat{Y}_{1t}$ และ $\hat{Y}_{2t}$ แทนค่าพยากรณ์เดี่ยว ณ เวลา t จากวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ตามลำดับ

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

n แทนจำนวนข้อมูลพยากรณ์ในอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ณ ที่นี้คือ 647 ค่า เนื่องจากการแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 เมื่อจำนวนฤดูกาล เท่ากับ 24 ของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ทำให้ไม่มีค่าพยากรณ์ จำนวน 25 ค่าแรก

w_1 และ w_2 แทนค่าถ่วงน้ำหนักของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาตามลำดับ การวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาการถ่วงน้ำหนัก 4 วิธี โดยใช้โปรแกรม SAS รุ่น 9 ดังนี้

1) การถ่วงน้ำหนักด้วยการเฉลี่ยอย่างง่าย ดังนี้

$$w_1 = w_2 = 0.5 \quad (5)$$

2) การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของรากที่สองของผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ดังนี้

$$w_i = \frac{1/\sqrt{SSE_i}}{1/\sqrt{SSE_1} + 1/\sqrt{SSE_2}} ; i = 1, 2 \quad (6)$$

เมื่อ SSE_i แทนผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสองจากวิธีการพยากรณ์เดี่ยวที่ i เมื่อ $i = 1, 2$ ($SSE_i = \sum_{t=1}^n e_{it}^2$)
 e_{it} แทนความคลาดเคลื่อนจากวิธีการพยากรณ์

เดี่ยวที่ i ณ เวลา t เมื่อ $i = 1, 2$

3) การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ดังนี้

$$w_i = \frac{1/SAE_i}{1/SAE_1 + 1/SAE_2} ; i = 1, 2 \quad (7)$$

เมื่อ SAE_i แทนผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์จากวิธีการพยากรณ์เดี่ยวที่ i เมื่อ $i = 1, 2$ ($SAE_i = \sum_{t=1}^n |e_{it}|$)
 e_{it} แทนความคลาดเคลื่อนจากวิธีการพยากรณ์

เดี่ยวที่ i ณ เวลา t เมื่อ $i = 1, 2$

4) การถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของค่าจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ดังนี้

$$w_i = \frac{c_{li}}{c_{11} + c_{12}} ; i = 1, 2 \quad (8)$$

เมื่อ c_{ii} แทนค่าจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของตัวประกอบหลักตัวแรกจากวิธีการพหุคูณที่ i เมื่อ $i = 1, 2$

2.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ทางสถิติ 6 วิธี ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้เกณฑ์ของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean squared error: MSE) ที่ต่ำที่สุด ดังนี้ (6)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \quad (9)$$

เมื่อ Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t
 $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t
 $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

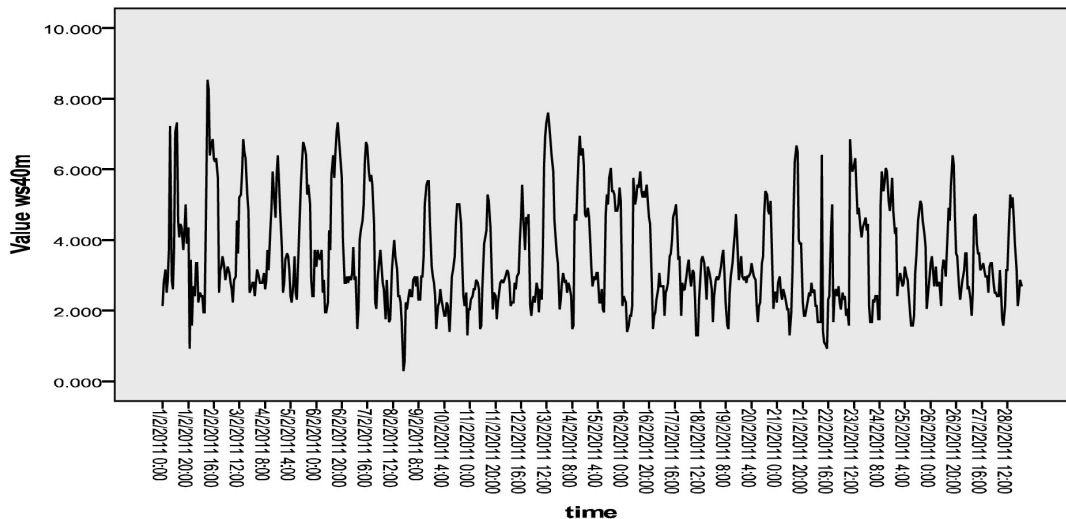
n แทนจำนวนข้อมูลพยากรณ์ในอนุกรมเวลาชุดที่ 2 ณ ที่นี้คือ 168 ค่า

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

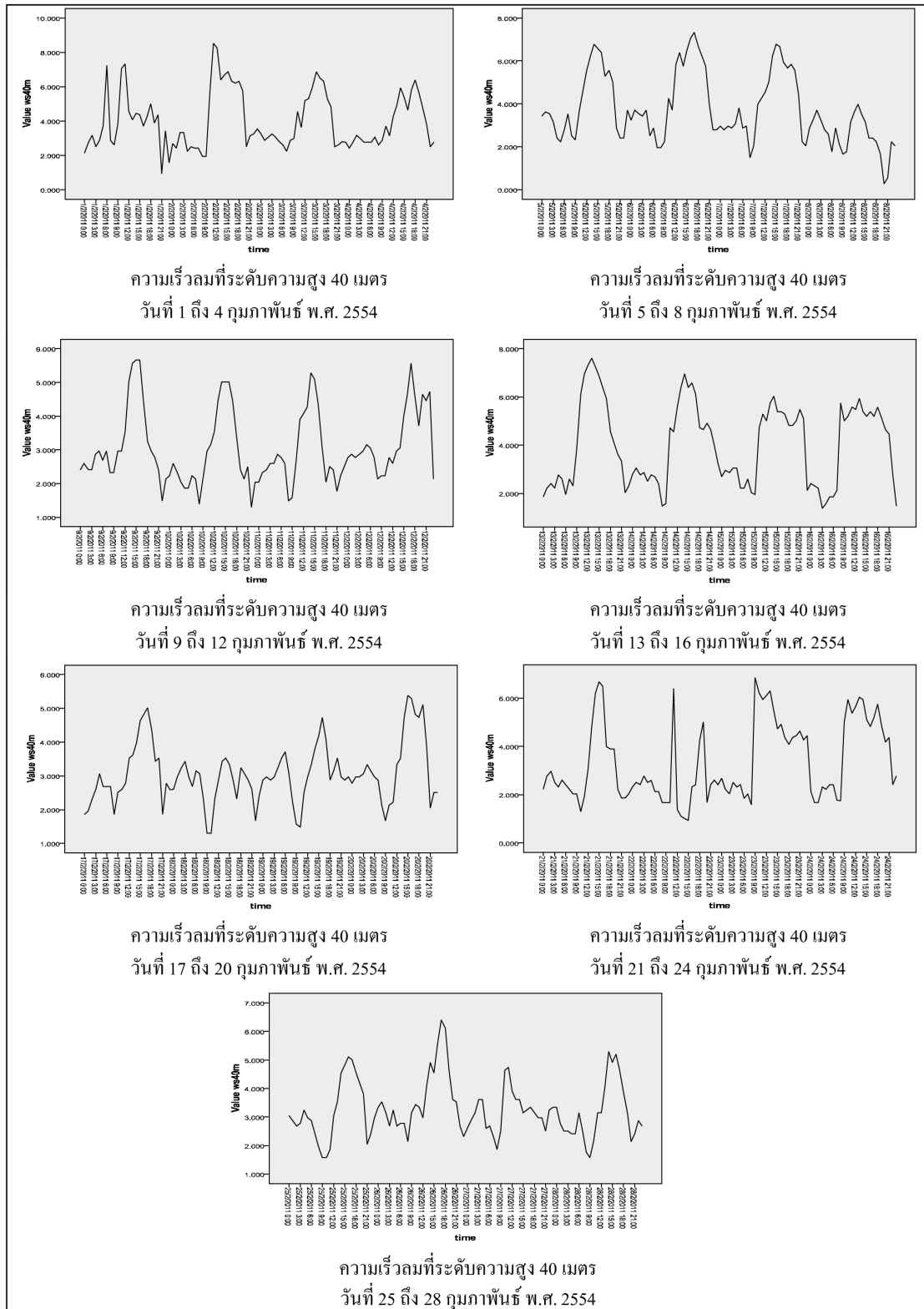
ผลการวิจัยและอภิปรายครั้งนี้แบ่งออกเป็น 5 ส่วน เพื่อความสอดคล้องกับวิธีการวิจัย ดังนี้

3.1 ผลการศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร รายชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 จำนวน 672 ค่า ดังรูปที่ 1 พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ความเร็วลมมีการเคลื่อนไหวอย่างคงที่ในลักษณะขนานกับแกนของเวลา และหากพิจารณาการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาความเร็วลมครั้งละ 4 วัน ดังรูปที่ 2 พบว่า มีการเกิดซ้ำของข้อมูลโดยประมาณในทุกๆ 24 ค่า ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอนุกรมเวลาชุดนี้ไม่มีแนวโน้ม มีเพียงความผันแปรตามฤดูกาลเท่านั้น



รูปที่ 1. ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร



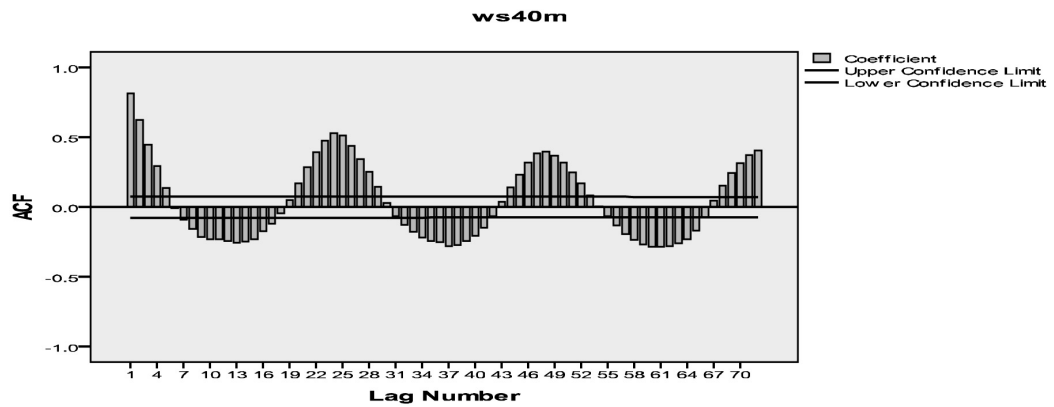
รูปที่ 2. ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร จำแนกครั้งละ 4 วัน

3.2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์

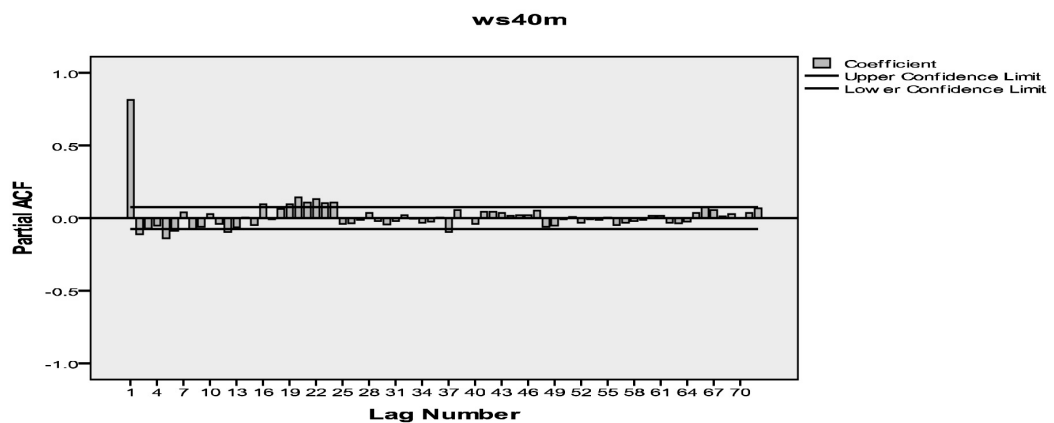
จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร กราฟ ACF และ PACF ดังรูปที่ 1 ถึง 4 พบว่า อนุกรมเวลายังไม่เป็นสเตชันนารี โดยกราฟ ACF ในรูปที่ 3 มีลักษณะการเคลื่อนไหวแบบคลื่นไซน์ (sine-wave fashion) ที่มีช่วงเวลาของการเกิดข้อมูลซ้ำรูปแบบเดิม คือ 24 จึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 เมื่อจำนวนฤดูกาล เท่ากับ 24 ($D = 1$ และ $s = 24$) กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่ได้แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดังรูปที่ 5 และ 6 พบว่า อนุกรมเวลายังไม่เป็นสเตชันนารี โดยกราฟ ACF ในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าสัมพันธ์สหสัมพันธ์ในตัวเองลดลงอย่างช้าๆ จึงแปลงข้อมูลอีกครั้ง ด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลใหม่ครั้งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 พบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะเป็นสเตชันนารี จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่า BIC ต่ำที่สุด คือ ตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(1, 1, 1)₂₄ ที่ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ ϕ_1 ของตัวแบบดังกล่าวในตารางที่ 1 พบว่า p-value มีค่าเท่ากับ 0.011 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.01 หมายความว่า

พารามิเตอร์ดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 จึงสามารถตัดออกจากตัวแบบพยากรณ์ได้ ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ใหม่ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด คือ ตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)₂₄ ที่ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ โดยมีค่า BIC สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ยังคงต่ำกว่าตัวแบบพยากรณ์อื่นๆ และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อพิจารณากราฟของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์เทียบกับเวลาในรูปที่ 9 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการกระจายแบบคงที่รอบค่าศูนย์ แสดงว่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่ พิจารณากราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ในรูปที่ 10 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ยกเว้นช่วงเวลาที่ 24 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เกินจากขอบเขตเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลเสียแต่อย่างใด เนื่องจากเป็นสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเอง และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนในอันดับที่ 24 (ความสัมพันธ์ระหว่าง e_t กับ e_{t-24}) ดังนั้นตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)₂₄ ที่ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์ความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร แสดงดังนี้

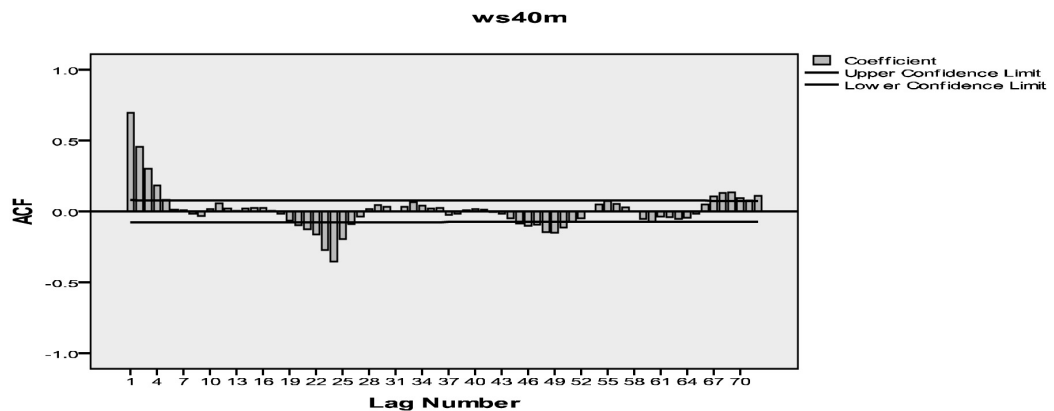
$$\hat{Y}_t = 1.699(Y_{t-1} - Y_{t-25}) - 0.699(Y_{t-2} - Y_{t-26}) + Y_{t-24} - 0.984e_{t-1} - 0.913e_{t-24} + 0.898392e_{t-25} \quad (10)$$



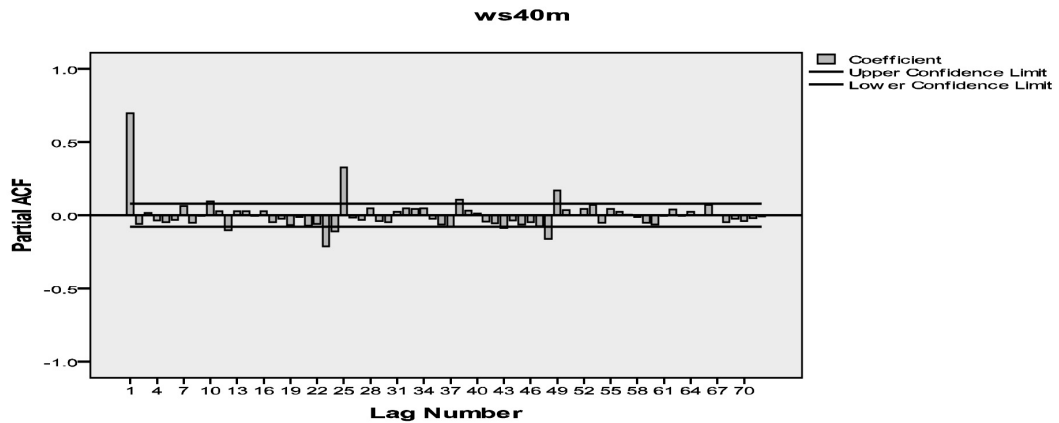
รูปที่ 3 กราฟ ACF ของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร



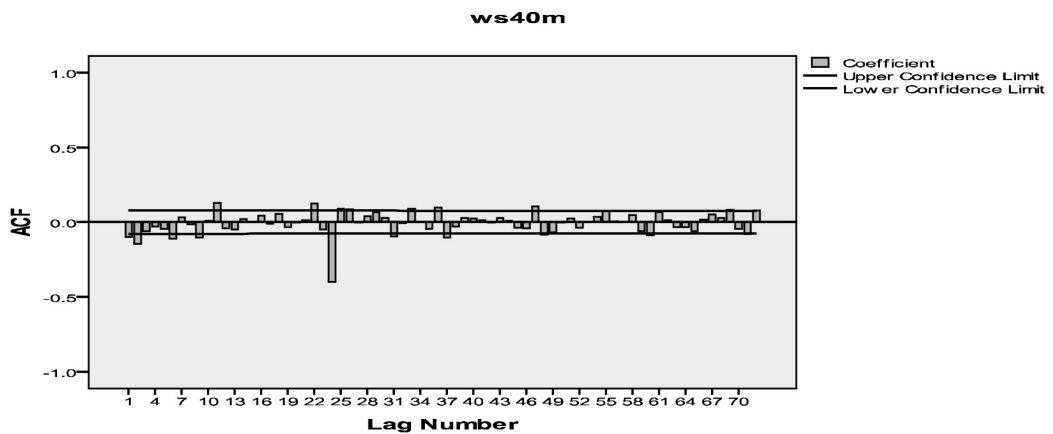
รูปที่ 4 กราฟ PACF ของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร



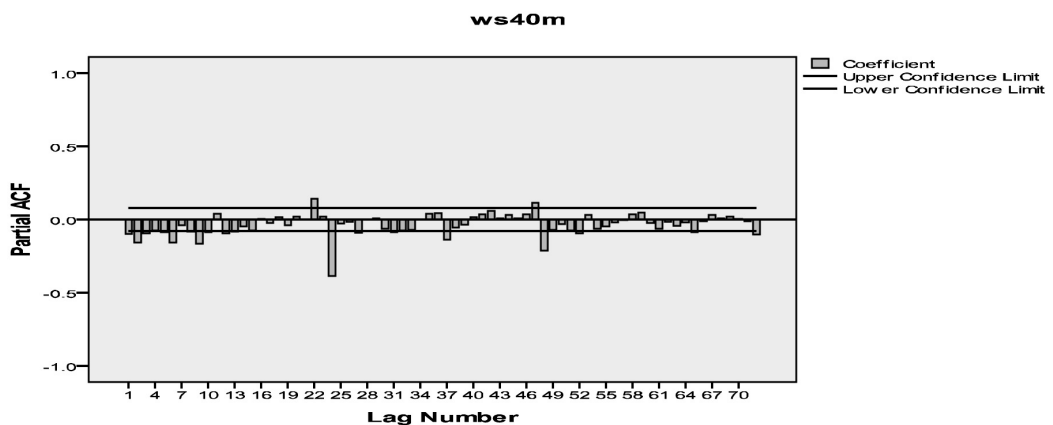
รูปที่ 5. กราฟ ACF ของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1



รูปที่ 6. กราฟ PACF ของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตรเมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1



รูปที่ 7. กราฟ ACF ของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1



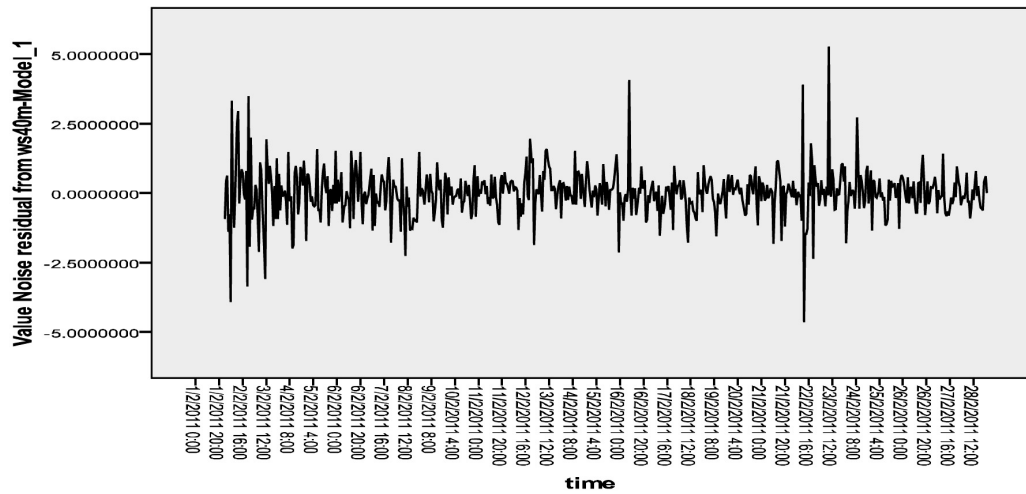
รูปที่ 8. กราฟ PACF ของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1

ตารางที่ 1. ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s

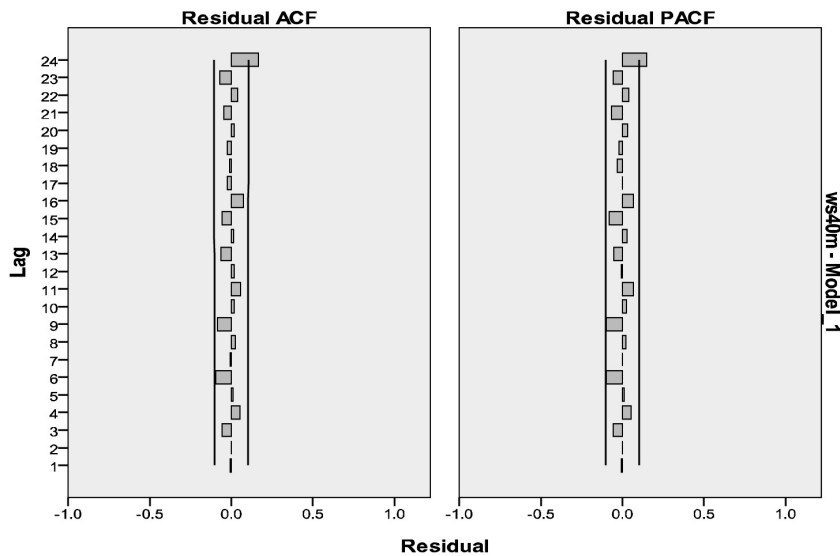
ค่าประมาณพารามิเตอร์		SARIMA(p, d, q)(P, D, Q) _s					
		(2, 1, 2) (2, 1, 1) ₂₄	(2, 1, 2) (2, 1, 1) ₂₄ ไม่มีพจน์ของ ค่าคงที่	(2, 1, 1) (2, 1, 1) ₂₄ ไม่มีพจน์ของ ค่าคงที่	(2, 1, 1) (1, 1, 1) ₂₄ ไม่มีพจน์ของ ค่าคงที่	(1, 1, 1) (1, 1, 1) ₂₄ ไม่มีพจน์ของ ค่าคงที่	(1, 1, 1) (0, 1, 1) ₂₄ ไม่มีพจน์ของ ค่าคงที่
ค่าคงที่	ค่าประมาณ	0.000	-	-	-	-	-
	p-value	0.337					
AR(1): ϕ_1	ค่าประมาณ	0.735	0.828	0.724	0.723	0.706	0.699
	p-value	0.563	0.306	0.000	0.000	0.000	0.000
AR(2): ϕ_2	ค่าประมาณ	-0.035	-0.113	-0.035	-0.035	-	-
	p-value	0.969	0.840	0.387	0.375		
MA(1): θ_1	ค่าประมาณ	1.005	1.091	0.989	0.987	0.995	0.984
	p-value	0.230	0.178	0.000	0.000	0.000	0.000
MA(2): θ_2	ค่าประมาณ	-0.005	-0.105	-	-	-	-
	p-value	0.997	0.895				
SAR(1): Φ_1	ค่าประมาณ	0.119	0.112	0.115	0.118	0.121	-
	p-value	0.014	0.021	0.017	0.013	0.011	
SAR(2): Φ_2	ค่าประมาณ	-0.018	-0.023	-0.021	-	-	-
	p-value	0.698	0.620	0.646			
SMA(1): Θ_1	ค่าประมาณ	0.952	0.949	0.950	0.960	0.961	0.913
	p-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 2. ค่า BIC และค่าสถิติ Ljung-Box Q ของตัวแบบ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s

SARIMA(p, d, q)(P, D, Q) _s	BIC	Ljung-Box Q (at lag 18)	
		ค่าสถิติ	p-value
SARIMA(2, 1, 2)(2, 1, 1) ₂₄	-0.263	25.545	0.008
SARIMA(2, 1, 2)(2, 1, 1) ₂₄ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่	-0.273	25.628	0.007
SARIMA(2, 1, 1)(2, 1, 1) ₂₄ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่	-0.285	25.430	0.013
SARIMA(2, 1, 1)(1, 1, 1) ₂₄ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่	-0.296	25.500	0.020
SARIMA(1, 1, 1)(1, 1, 1) ₂₄ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่	-0.308	24.695	0.038
SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1) ₂₄ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่	-0.303	26.226	0.036



รูปที่ 9. กราฟความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์เทียบกับเวลาของตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)₂₄ ที่ไม่มีพจน์ของค่าคงที่



รูปที่ 10. กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)₂₄ ที่ไม่มีพจน์ของค่าคงที่

3.3 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร ดังรูปที่ 1 พบว่าอนุกรมเวลาความเร็วลมมีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยรูปที่ 2 และ 3 แสดงว่า ช่วงเวลาของการเกิดข้อมูลซ้ำรูปแบบเดิมคือ 24 ชั่วโมง ดำเนินการตรวจสอบการกระจายตัวของอนุกรมเวลาความเร็วลมว่าคงที่หรือไม่ โดยการแบ่งอนุกรมเวลาออกเป็นกลุ่มย่อย คำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอนุกรมเวลาในแต่ละกลุ่มย่อย ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า อนุกรมเวลามีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันมากนัก หมายความว่าอนุกรมเวลาไม่มีแนวโน้มและมีการกระจายตัวคงที่ ดังนั้นรูปแบบที่เหมาะสม คือ รูปแบบบวก ดังสมการที่ (2) และเพื่อความมั่นใจว่าอนุกรมเวลาชุดนี้ไม่มีแนวโน้ม จึงทำการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ระหว่างตัวแปรอิสระ คือ

เวลา (time) และตัวแปรตาม คือ ความเร็วลม (ws40m) ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 11 พบว่า p-value ของตัวแปรเวลาเท่ากับ 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.01 และ $R^2 = 1.8\%$ หมายความว่า เวลามีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเร็วลมที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แต่ตัวแปรเวลาสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมได้เพียงร้อยละ 1.8 เท่านั้น ดังนั้น การสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าเฉลี่ยแทนค่าแนวโน้มในสมการที่ (2) ผลลัพธ์ของดัชนีฤดูกาลทั้ง 24 ฤดูกาล แสดงดังรูปที่ 12 สามารถอธิบายได้ว่า ความเร็วลม ณ ช่วงเวลาที่ 1 (00.00 น. ของทุกวัน) ถึงช่วงเวลาที่ 11 (10.00 น. ของทุกวัน) มีค่าน้อย ในขณะที่ความเร็วลม ณ ช่วงเวลาที่ 12 (11.00 น. ของทุกวัน) ถึงช่วงเวลาที่ 21 (20.00 น. ของทุกวัน) มีค่าสูงขึ้น และลดลงอีกครั้งหนึ่งเมื่อช่วงเวลาที่ 22 (21.00 น. ของทุกวัน) ถึงช่วงเวลาที่ 24 (23.00 น. ของทุกวัน) ตัวแบบพยากรณ์ความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร แสดงดังนี้

ช่วงเวลาที่ 1 เวลา 00.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.88348 = 2.617442619$

ช่วงเวลาที่ 2 เวลา 01.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.58640 = 2.914522619$

ช่วงเวลาที่ 3 เวลา 02.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.54150 = 2.959422619$

ช่วงเวลาที่ 4 เวลา 03.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.73994 = 2.760982619$

ช่วงเวลาที่ 5 เวลา 04.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.64806 = 2.852862619$

ช่วงเวลาที่ 6 เวลา 05.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.80473 = 2.696192619$

ช่วงเวลาที่ 7 เวลา 06.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.85494 = 2.645982619$

ช่วงเวลาที่ 8 เวลา 07.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.81890 = 2.682022619$

ช่วงเวลาที่ 9 เวลา 08.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 1.30348 = 2.197442619$

ช่วงเวลาที่ 10 เวลา 09.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 1.00286 = 2.498062619$

ช่วงเวลาที่ 11 เวลา 10.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.16504 = 3.335882619$

ช่วงเวลาที่ 12 เวลา 11.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 + 0.21579 = 3.716712619$

ช่วงเวลาที่ 13 เวลา 12.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 + 0.70100 = 4.201922619$

ช่วงเวลาที่ 14 เวลา 13.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 + 1.41579 = 4.916712619$

ช่วงเวลาที่ 15 เวลา 14.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 + 1.51308 = 5.014002619$

ช่วงเวลาที่ 16 เวลา 15.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 + 1.48860 = 4.989522619$

ช่วงเวลาที่ 17 เวลา 16.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 + 1.62516 = 5.126082619$

ช่วงเวลาที่ 18 เวลา 17.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 + 1.50298 = 5.003902619$

ช่วงเวลาที่ 19 เวลา 18.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 + 1.28079 = 4.781712619$

ช่วงเวลาที่ 20 เวลา 19.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 + 0.75319 = 4.254112619$

ช่วงเวลาที่ 21 เวลา 20.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 + 0.10235 = 3.603272619$

ช่วงเวลาที่ 22 เวลา 21.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.44306 = 3.057862619$

ช่วงเวลาที่ 23 เวลา 22.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.91359 = 2.587332619$

ช่วงเวลาที่ 24 เวลา 23.00 น. ของทุกวัน: $\hat{Y}_t = 3.500922619 - 0.89275 = 2.608172619$

ตารางที่ 3. ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร จำแนกตามกลุ่มย่อย

กลุ่มที่	ข้อมูลตัวที่	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
1	1 - 72	4.04	3.08
2	73 - 144	4.07	2.32
3	145 - 216	3.25	1.97
4	217 - 288	3.02	1.15
5	289 - 360	4.08	2.94
6	361 - 432	3.24	1.60
7	433 - 504	3.18	1.35
8	505 - 576	3.43	2.78
9	577 - 672	3.28	1.03
เฉลี่ย	1 - 672	3.50	2.12

Regression Analysis: ws40m versus time

The regression equation is
ws40m = 3.84 - 0.000999 time

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3.8371	0.1116	34.38	0.000
time	-0.0009990	0.0002874	-3.48	0.001

S = 1.44512 R-Sq = 1.8% R-Sq(adj) = 1.6%

รูปที่ 11. ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร

Time Series Decomposition for ws40m

Additive Model

Data ws40m
Length 672
NMissing 0

Seasonal Indices

Period	Index	Period	Index
1	-0.88348	13	0.70100
2	-0.58640	14	1.41579
3	-0.54150	15	1.51308
4	-0.73994	16	1.48860
5	-0.64806	17	1.62516
6	-0.80473	18	1.50298
7	-0.85494	19	1.28079
8	-0.81890	20	0.75319
9	-1.30348	21	0.10235
10	-1.00286	22	-0.44306
11	-0.16504	23	-0.91359
12	0.21579	24	-0.89275

รูปที่ 12. คำนวณฤดูกาลของอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร จากวิธีการแยกส่วนประกอบอนุกรมเวลาโดยใช้รูปแบบบวก

3.4 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์รวม

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์ของข้อมูลชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 จำนวน 672 ค่า โดยวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาให้ค่าพยากรณ์ครบตามจำนวนของข้อมูล ในขณะที่วิธีบอกซ์-เจนกินส์ ให้ค่าพยากรณ์เพียง 647 ค่า ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 เมื่อจำนวนฤดูกาล เท่ากับ 24 ทำให้ไม่มีค่าพยากรณ์ จำนวน 25 ค่าแรก ดังนั้นการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก ณ ที่นี้จะพิจารณาจากข้อมูลจำนวน 647 ค่าเท่านั้น คำนวณค่าผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์จากวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ดังแสดงในตารางที่ 4

ผลจากการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก พบว่าร้อยละความแปรปรวนของตัวประกอบหลักตัวแรก เท่ากับ 87.78 หมายความว่า ตัวประกอบหลักตัวแรกสามารถอธิบายความผันแปรของค่าพยากรณ์จากวิธีบอกซ์-เจนกินส์และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาได้สูงถึงร้อยละ 87.78 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5

จากตารางที่ 4 และ 5 คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของวิธีการพยากรณ์รวม 4 วิธี ตามสมการที่ (5) ถึง (8) ได้ตัวแบบพยากรณ์รวมโดยใช้การเฉลี่ยอย่างง่าย ใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของรากที่สองของผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของค่าจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก แสดงดังสมการที่ (12) ถึง (15) ตามลำดับ

$$\hat{Y}_t = 0.5 \hat{Y}_{1t} + 0.5 \hat{Y}_{2t} \quad (12)$$

$$\hat{Y}_t = 0.559606989 \hat{Y}_{1t} + 0.440393011 \hat{Y}_{2t} \quad (13)$$

$$\hat{Y}_t = 0.572356648 \hat{Y}_{1t} + 0.427643352 \hat{Y}_{2t} \quad (14)$$

$$\hat{Y}_t = 0.6020475619 \hat{Y}_{1t} + 0.3979524381 \hat{Y}_{2t} \quad (15)$$

ตารางที่ 4. ผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (SSE) และผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (SAE) จากวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

วิธีการพยากรณ์ทางสถิติ	SSE	SAE
วิธีบอกซ์-เจนกินส์	461.3964809	374.4566251
วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา	745.0058812	501.1716853

ตารางที่ 5. ค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue) หรือความแปรปรวน ค่าจากเวกเตอร์เฉพาะ ร้อยละความแปรปรวน และ ร้อยละความแปรปรวนสะสมของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก

ตัวประกอบหลัก	ค่าลักษณะเฉพาะหรือความแปรปรวน	ค่าจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ		ร้อยละความแปรปรวน	ร้อยละความแปรปรวนสะสม
		วิธีบอกซ์-เจนกินส์	วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา		
ตัวที่ 1	2.41121944	$c_{11} = 0.834226$	$c_{12} = 0.551422$	87.78	87.78
ตัวที่ 2	0.33568998	$c_{21} = -0.551422$	$c_{22} = 0.834226$	12.22	100

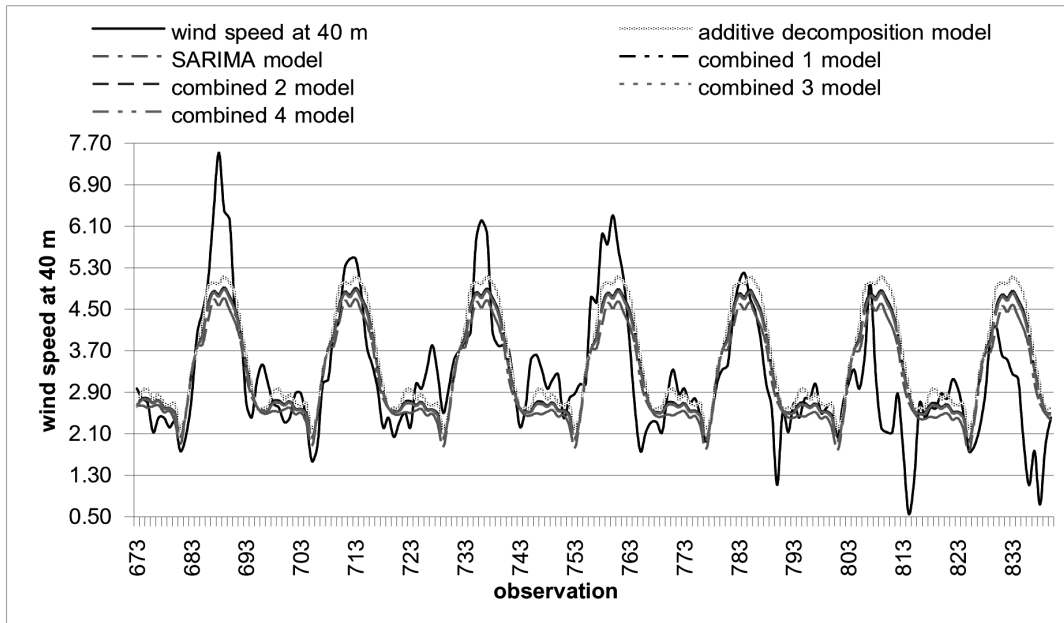
3.5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์

ผลการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์จากแต่ละตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (10) ถึง (15) กับอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร รายชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 7 มีนาคม พ.ศ. 2554 จำนวน 168 ค่า ด้วยเกณฑ์ของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด พบว่า วิธีบอกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)₂₄ ที่ไม่มีพจน์ของค่าคงที่มีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุด รองลงมา คือ วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของค่าจากเวกเตอร์ลักษณะ

เฉพาะของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของรากที่สองของผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การเฉลี่ยอย่างง่าย และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาโดยใช้รูปแบบบวก ตามลำดับ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร และค่าพยากรณ์จากวิธีการทางสถิติ 6 วิธี แสดงดังรูปที่ 13

ตารางที่ 6. ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) จากวิธีการพยากรณ์ทางสถิติ 6 วิธี

วิธีที่	วิธีการพยากรณ์ทางสถิติ	MSE
1	วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1) ₂₄ ที่ไม่มีพจน์ของค่าคงที่	0.694935923
2	วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาโดยใช้รูปแบบบวก	0.843012305
3	วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การเฉลี่ยอย่างง่าย	0.730893811
4	วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของรากที่สองของผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง	0.72260862
5	วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	0.720976976
6	วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของค่าจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก	0.717369205



รูปที่ 13. การเปรียบเทียบอนุกรมเวลาความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตรและค่าพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์ทางสถิติ 6 วิธี

4. สรุป

การพยากรณ์ความเร็วลมที่ระดับความสูง 40 เมตร รายชั่วโมง ตามแนวชายฝั่ง อำเภอบ้านฉาง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้วิธีการพยากรณ์ทางสถิติ 6 วิธี คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรม

เวลา วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การเฉลี่ยอย่างง่าย วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของรากที่สองของผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง วิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยการผกผันของผลรวมของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และวิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของ

ค่าจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของ 6 วิธีการพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด พบว่า วิธีบอซ-เจนกินส์ โดยใช้ตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)₂₄ ที่ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ มีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุด เป็นที่น่าสังเกตว่า วิธีการพยากรณ์รวมทุกวิธีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ให้ตัวแบบที่มีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงกว่าวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาโดยใช้รูปแบบบวก แต่ไม่มีวิธีการพยากรณ์รวมใดให้ตัวแบบที่มีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงกว่าวิธีบอซ-เจนกินส์ ในขณะที่ตัวแบบของวิธีการพยากรณ์รวมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของค่าจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักมีความแม่นยำในการพยากรณ์ใกล้เคียงกับตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอซ-เจนกินส์ มากที่สุด ซึ่งเหตุผลที่ไม่มีตัวแบบของวิธีการพยากรณ์รวมวิธีใดมีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุด อาจเนื่องมาจากการรวมค่าพยากรณ์ของวิธีการพยากรณ์เดี่ยว เพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ใหม่ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด สามารถใช้ได้ผลดีในกรณีที่วิธีการพยากรณ์เดี่ยวที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลา หรือมีวิธีที่น่าสนใจพิจารณามากกว่า 1 วิธี ณ ที่นี้ วิธีบอซ-เจนกินส์ มีความเหมาะสมเพราะการสร้างตัวแบบพยากรณ์ของวิธีนี้จะพิจารณาลักษณะของอนุกรมเวลาว่ามีสหสัมพันธ์กันอย่างไร เพื่อสร้างเป็นตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยวิธีนี้สามารถใช้ได้กับอนุกรมเวลาที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวทุกรูปแบบ แต่วิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาโดยใช้รูปแบบบวกยังไม่มี ความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้ เพราะเมื่อพิจารณารูปที่ 11 พบว่า อนุกรมเวลาความเร็วลมที่ใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามเวลา โดยตัวแปรเวลามีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 แต่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมได้เพียงร้อยละ 1.8 เท่านั้น ส่งผลให้การกำหนดส่วนประกอบของอนุกรมเวลาในตัวแบบพยากรณ์เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ยอมรับค่าเฉลี่ยแทนค่าแนวโน้มในสมการพยากรณ์

ในการศึกษาครั้งต่อไปควรประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์วิธีอื่นๆ เช่น วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural networks หรือ ANN) รวมทั้งควรเพิ่มเติมข้อมูลความเร็วลมให้เป็นปัจจุบันเพื่อปรับปรุงตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ให้มีความเหมาะสมและมีค่าพยากรณ์ที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลความเร็วลม สำหรับการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Arpornvichanop A. Fuel cells for power generation. Chang-Pood J. [Internet]. 2010 Jan - Feb (1) [cited 2011 July 2]. Available form: <http://www.eng.chula.ac.th/newsletter/index.php?q=node/133> Thai.
- (2) Electricity Generating Authority of Thailand. Renewable energy [Internet]. 2011 [cite on 2011 Jul 2]. Available form: http://www.egat.co.th/wwwthai/images/stories/interest/articles/renewable_energy.pdf Thai.
- (3) Electricity Generating Authority of Thailand. Wind energy [Internet]. 2011 [cite on 2011 Jul 2]. Available form: http://www2.egat.co.th/re/egat_wind/pdf_wind/wind_energy.pdf Thai.
- (4) Rajamangala University of Technology Thanyaburi. Research and development including making the prototype of low wind speed. Pathumthani: Ministry of Energy; 2011. Thai.
- (5) Waewsak J, Kongruang C, Tirawanichakul Y, Tirawanichakul S, Matan N, Promphat C, Noo-Thong A. Feasibility study of wind farm power plant along the coast of Southern

- Thailand. Bangkok: Office of the National Research Council of Thailand; 2008. Thai.
- (6) Bowerman BL, O'Connell RT. Forecasting and time series: an applied approach. 3rd ed. California: Duxbury Press; 1993.
- (7) Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. Time series analysis: forecasting and control. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall; 1994.
- (8) Makridakis S, Wheelwright SC, and McGee VE. Forecasting: methods and applications. 3rd ed. New York: Wiley; 1997.
- (9) Taesombut S. Quantitative forecasting techniques. Bangkok: Physic Center; 1996. Thai.
- (10) Manmin M. Time series and forecasting. Bangkok: Fore printing; 2006. Thai.