



การสร้างและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของกังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้าแนวแกนนอน ความเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กถาวรจากมอเตอร์เหลือทิ้ง

ชัยนุสนธิ์ เกษตรพงศ์ศาล*

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

มนตรี สุขเลี้ยง

สถาบันวิจัยระบบพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-7791-3366 อีเมล: chainuson.kas@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.03.004

รับเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2558 ตอรับเมื่อ 18 มีนาคม 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 20 กันยายน 2559

© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

มอเตอร์เหลือใช้จากอุตสาหกรรมกำลังกลายเป็นขยะเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทย การนำเอามอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสที่เหลือทิ้งมาสร้างเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำ สามารถลดปริมาณขยะจากอุตสาหกรรมได้เมื่อนำมอเตอร์เหลือทิ้งนี้มาสร้างเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้า พบว่าสมรรถนะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแนวแกนนอนความเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กถาวรจากมอเตอร์เหลือทิ้งเท่ากับร้อยละ 24.65 ศักยภาพของพลังงานอยู่ในระดับปานกลาง สามารถให้กำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 1.2–1.3 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.5–4.5 เมตรต่อวินาที การใช้มอเตอร์เหลือทิ้งเพื่อสร้างเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำ และการใช้โครงสร้างเสาไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรงเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ สามารถลดค่าใช้จ่ายของโครงการได้ถึง 18 เท่า แสดงให้เห็นว่าการนำมอเตอร์เหลือทิ้งและการใช้โครงสร้างเสาไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรงเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จสามารถสร้างเป็นระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าแนวแกนนอนความเร็วรอบต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: มอเตอร์เหลือทิ้ง, เสาไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรง, กังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้า

การอ้างอิงบทความ: ชัยนุสนธิ์ เกษตรพงศ์ศาล และ มนตรี สุขเลี้ยง, “การสร้างและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของกังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้าแนวแกนนอนความเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กถาวรจากมอเตอร์เหลือทิ้ง,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 27, ฉบับที่ 1, หน้า 57–67, ม.ค.-เม.ย. 2560



The Prototype and Economics Analysis of Horizontal Axis Wind Turbine Generator Low Speed Synchronous Generators Using Waste Motors

Chainuson Kasagepongsran*

Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Surat Thani, Thailand

Montri Suklueng

Energy System Research Institute, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0-7791-3366, E-mail: chainuson.kas@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.03.004

Received 24 November 2015; Accepted 18 March 2016; Published online: 20 September 2016

© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

In Thailand the number of left over motors has been increasing significantly. The reuse of discarded synchronous motor in a low speed wind turbine as a power generator can reduce the amount of industrial wastes. It was found that the capacity of the modified low speed horizontal axis wind turbine was 24.64% with energy potential at the medium range. The electrical power capacity was 1.2–1.3 KW at the wind speed of 3.5–4.5 meters/sec. The reuse of discarded motors in constructing low speed wind turbine as a wind power generator together with the pre-stressed concrete pile can lower the project cost up to 18 folds. This reveals that the discarded permanent magnet synchronous motor together with the pre-stressed concrete pile can effectively be reused and used with a low speed wind turbine as a wind power generator effectively.

Keywords: Waste Motor, Pre-stressed Concrete Piles Structure, Wind Turbine Generator

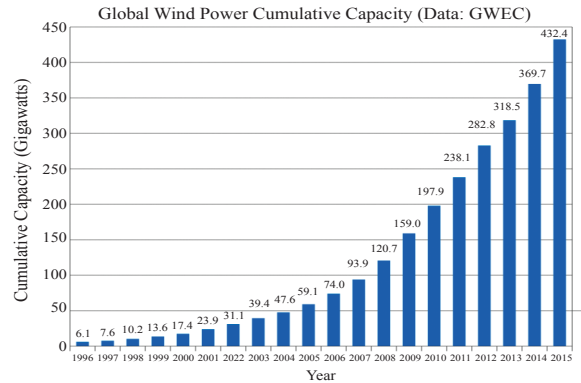
Please cite this article as: C. Kasagepongsran and M. Suklueng, "The prototype and economics analysis of horizontal axis wind turbine generator low speed synchronous generators using waste motors," *The Journal of KMUTNB.*, vol. 27, no. 1, pp. 57–67, Jan.–Apr. 2017 (in Thai).

1. บทนำ

ตลอดระยะเวลากว่า 10 ปีที่ผ่านมาพลังงานลมเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอัตราการเจริญเติบโตของการใช้สูงสุดประมาณร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆ แสดงดังรูปที่ 1 [1] ถึงแม้พลังงานลมมีอัตราการเจริญเติบโตของการใช้สูงสุดเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานอื่นๆ แต่ปัญหาในการนำกังหันลมมาใช้ผลิตกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นกังหันลมที่มีขนาดใหญ่ส่งผลต่อทัศนียภาพดบังส่วนต่างๆ ของพื้นที่ เสี่ยงที่เกิดจากการทำงานก็สร้างความรำคาญต่อประชาชนบริเวณใกล้เคียง ประกอบกับต้นทุนในกระบวนการผลิตที่มีราคาสูงมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นกังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้าที่นำเข้ามาจากต่างประเทศและการติดตั้งที่ซับซ้อนส่งผลให้มีราคาสูงตามไปด้วย

เนื่องจากโลกก้าวสู่สังคมแห่งอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีส่งผลให้มีซากขยะจากอุตสาหกรรมประกอบด้วยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ สายไฟฟ้า มอเตอร์ และพลาสติก เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยแต่ละปีมีมอเตอร์ที่ชำรุดแล้วเหลือทิ้งเป็นขยะมากมายจากภาคอุตสาหกรรมที่กำลังกลายเป็นขยะเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการใช้งานอย่างเป็นระยะเวลานาน ซึ่งไม่คุ้มค่าในการซ่อมแซมบำรุงรักษาโดยมีรายงานจาก UNEP ในปี 2009 มีขยะเพิ่มขึ้นประมาณ 40 ล้านตันต่อปี [2] ร้อยละ 60.20 เป็นโลหะเนื่องมาจากโลหะเป็นโครงสร้างหลักที่ให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถแปรสภาพเป็นมลพิษส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ [3]-[5]

การนำกลับมาใช้งานใหม่หรือปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างใหม่จึงเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อลดปัญหาขยะทางเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยการเปลี่ยนมอเตอร์เหลือทิ้งซึ่งขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)) [6] เพื่อนำเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้านี้มาสร้างเป็นกังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้า ทำให้สามารถลดปริมาณขยะจากเครื่องมือทางไฟฟ้าได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของ



รูปที่ 1 อัตราการเจริญเติบโตของการติดตั้งกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าทั่วโลก

งานวิจัยนี้คือการสร้างกังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้าแบบแนวแกนนอนจากมอเตอร์เหลือทิ้ง ที่ได้พัฒนาเป็นเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรและการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์

1.1 กังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้า

พลังงานลมถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลด้วยแกนหมุนกังหันลม มวลของอากาศที่ปะทะกับใบกังหันจะเคลื่อนที่ช้าลงในทางปฏิบัติพลังงานลมไม่สามารถถ่ายเทให้กับกังหันลมได้ทั้งหมด แสดงดังสมการที่ (1)

$$P_{\text{turbine}} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (1)$$

เมื่อ P_{turbine} คือพลังงานจลน์ที่กังหันลมสามารถดึงมาใช้ได้จากลมที่ผ่านพื้นที่ใบกวาดของใบพัด ซึ่ง C_p คือค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุดของใบกังหันลม หรือเรียกว่า Betz Coefficient มีค่าประมาณร้อยละ 59 [7]

การพิจารณาศักยภาพพลังงานลมจะต้องใช้การวิเคราะห์ความเร็วลมโดยใช้แบบจำลองทางสถิติโดยใช้ Weibull Distribution [8] ดังสมการที่ (2)

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (2)$$

เมื่อ C คือพารามิเตอร์ระดับ (Scale Parameter) และ k คือพารามิเตอร์รูปร่าง (Shape Parameter) ซึ่งสามารถหาค่าของ C และ k ได้จากสมการ (3)–(4) [9], [10]

$$C = \frac{\bar{V}}{\Gamma(1+1/k)} \quad (3)$$

$$k = \left(\frac{\sigma_V}{\bar{V}} \right)^{-1.086} \quad (4)$$

โดยที่ (\bar{V}) คือข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย ความแปรผันของความเร็วลม (σ_V) และค่า Gamma Function (Γ) ซึ่งสามารถประมาณค่า $\Gamma(x)$ [11] แสดงดังสมการที่ (5)

$$\Gamma(x) = (\sqrt{2\pi x}) (x^{x-1}) (e^{-x}) \left[1 + \frac{1}{12x} + \frac{1}{288x^2} - \frac{139}{51840x^3} + \dots \right] \quad (5)$$

กำลังงานรายปีของกำลังลมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

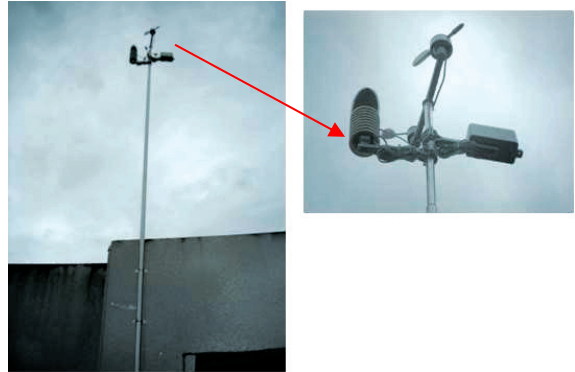
$$P_{\text{annual}} = 8760 \int_u f(V) P_{\text{turbine}} dV \quad (6)$$

สมรรถนะของกังหันลม (Capacity Factor; CF) สามารถพิจารณาได้จากอัตราส่วนของปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (Annual Energy Production; AEP) จากกังหันลมต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมในรอบปี และขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าของกังหันลม (Rated Capacity) ดังสมการที่ (7)

$$CF = \left(\frac{AEP}{\text{Rated Capacity} \times 8760} \right) \times 100\% \quad (7)$$

1.2 การเปลี่ยนมอเตอร์เหลือทิ้งเป็นเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กตามหลักการของไมเคิล ฟาราเดย์ (Faraday's Law) [12] ดังสมการที่ (8) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า มีส่วนประกอบหลักสองส่วนคือ สเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) ส่วนของสเตเตอร์คือส่วนหลัก



รูปที่ 2 เครื่องวัดอากาศแวดล้อม Weather Wise®

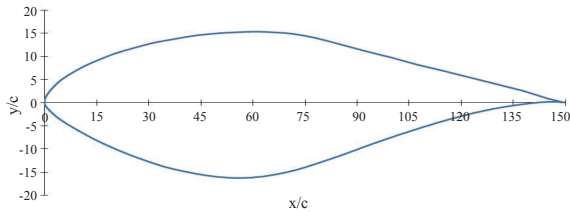
ที่ยึดกับระบบโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีชุดขดลวดเพื่อรับการเหนี่ยวนำจากเส้นแรงแม่เหล็กของโรเตอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้า ส่วนของโรเตอร์เป็นส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็ก และหมุนอยู่แกนกลางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยรับแรงบิดผ่านแกนเหล็กที่เชื่อมต่อกับใบกังหันลม ข้อมูลการสร้างมอเตอร์เหลือทิ้งเป็นเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรศึกษาได้จาก [13]

$$E = \frac{d\phi}{dt} \quad (8)$$

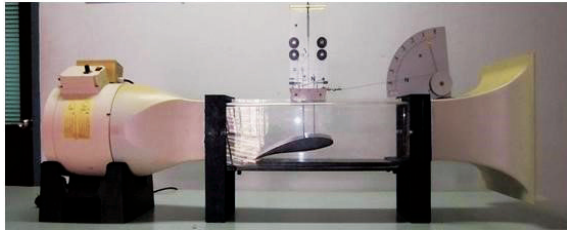
2. การดำเนินงานวิจัย

2.1 การสำรวจข้อมูลลม

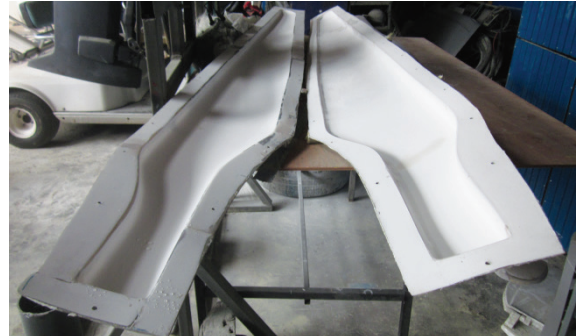
การสำรวจข้อมูลลมเพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งระบบด้วยเครื่อง Weather Wise® ณ ดาดฟ้าอาคารศูนย์วิทยาศาสตร์ที่ระดับความสูง 16 เมตร ดังรูปที่ 2 โดยการบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 นาที ประกอบด้วยข้อมูลความเร็วลมและทิศทางลม ซึ่งเป็นข้อมูลสถิติที่แสดงถึงศักยภาพของกำลังลมในพื้นที่ที่ทำการติดตั้งระบบ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ผังลมรายเดือนเพื่อสร้างแบบจำลองทางสถิติโดยใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นทางสถิติแบบไวบูลล์ (Weibull Distribution) และโปรแกรม WASP 9.0 เพื่อสร้างผังลมรายเดือนจากแผนภูมิทิศทางลม (Wind Rose) ขนาด 16 ส่วน



รูปที่ 3 หน้าตัดแพนอากาศรหัส S809



รูปที่ 4 อุโมงค์ลมทดสอบการไหลผ่านแพนอากาศ



รูปที่ 5 แม่พิมพ์ของใบกังหันลมแพนอากาศรหัส S809



รูปที่ 6 ใบกังหันลมที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

2.2 การทดสอบและการออกแบบแพนอากาศ

การทดสอบแพนอากาศรหัส S809 ความยาวคอर्ड 150 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3 ในอุโมงค์ลมแสดงดังรูปที่ 4 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงยก (C_l) และสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_d) โดยค่าแรงต้านคือ F_L ค่าแรงยกคือ F_D ดังสมการที่ (9)–(10) [14], [15]

$$C_l = \frac{2F_L}{\rho V^2 C} \quad (9)$$

$$C_d = \frac{2F_D}{\rho V^2 C} \quad (10)$$

การออกแบบใบกังหันลมใช้แพนอากาศรหัส S809 เป็นต้นแบบ จากนั้นนำข้อมูลซอร์สและเวกเตอร์พานเนลดังกล่าวมาสร้างกราฟแสดงการแบ่งพานเนลของแพนอากาศรหัส S809 [14] การขึ้นรูปใบพัดโดยการสร้างไฟล์งานจากโปรแกรม SolidWorks จากนั้นบันทึกไฟล์งานและเปลี่ยนนามสกุลเป็น .STL เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวเป็น Input ให้กับโปรแกรมจากเครื่องกลึง Computer Numerical Control (CNC) เพื่อกลึงชิ้นงานบนโฟมอัดขนาด 2 ปอนด์ จากนั้นนำชิ้นงานนี้ไปขึ้นรูปโดยวิธีการแวกคัม (Vacuum Fiber) แสดงดังรูปที่ 5–6

2.3 การติดตั้งระบบกังหันลม

การติดตั้งกังหันลมที่ติดตั้งอยู่บนเสาไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรงเสริมเหล็กของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีขนาดความสูง 16 เมตร โดยตัวกังหันลมตั้งอยู่บนหน้าแปลนเหล็กสำหรับสวมบนยอดเสาไฟฟ้า การติดตั้งเสาโดยเจาะพื้นดินให้มีความลึก 2 เมตร นำเสาไฟฟ้าปักลงไปในพื้นดิน ใ้ช้รดยกเพื่อนำกังหันลมที่ประกอบแล้วสวมบนยอดเสาไฟฟ้า จากนั้นขุดดินบริเวณรอบเสาไฟฟ้าห่างจากเสาไฟฟ้ารัศมี 2 เมตร ลึก 0.5 เมตร ใส่คอนกรีตลงไปรอบๆ เสาไฟฟ้าเพื่อป้องกันเสาไฟฟ้าล้มหรือเอียงเมื่อโดนลมพายุแสดงดังรูปที่ 7

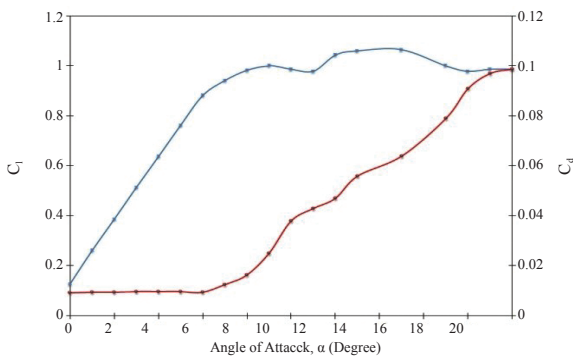
3. ผลการทดลอง

3.1 สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน

ผลการทดลองหาค่าแรงยกและค่าแรงต้าน ในอุโมงค์ลมที่มุมปะทะต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มมุมปะทะค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจะเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่มุม 15 องศา จากนั้นค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจะมีค่าน้อยลง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์



รูปที่ 7 กังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้า

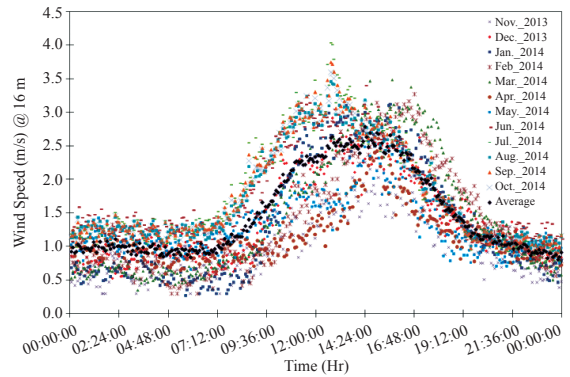


รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านเป็นฟังก์ชันของมุมปะทะ

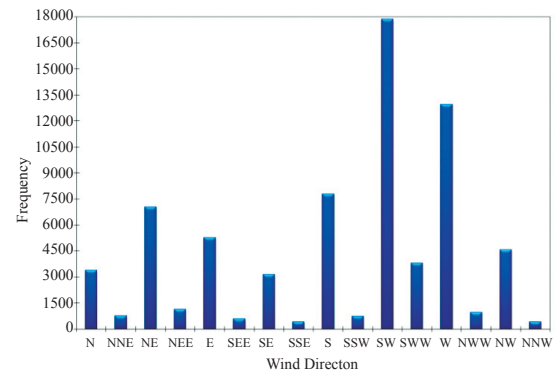
แรงต้านพบว่าเมื่อเพิ่มมุมปะทะมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่ามากที่สุดที่มุม 20 องศา ดังรูปที่ 8

3.2 ข้อมูลความเร็วลมและทิศทางลม

รูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมเฉลี่ยจากค่ารายวันของค่ารายเดือนที่เวลา 10.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ความเร็วลมเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องประมาณ 3 เมตรต่อวินาที จนถึงเวลา 19.00 น ความเร็วลมเฉลี่ยจะลดระดับ



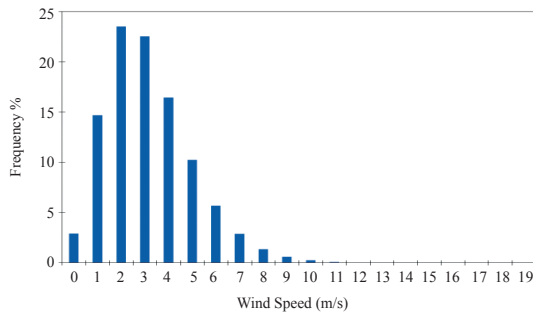
รูปที่ 9 ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยจากค่ารายวันของค่ารายเดือนที่ระดับความสูง 16 เมตร



รูปที่ 10 ข้อมูลความถี่ของทิศทางลม

ลงมาอยู่ที่ความเร็วลมประมาณ 1 เมตรต่อวินาที จากข้อมูลดังรูปที่ 10 คือข้อมูลความถี่ในการกระจายตัวของทิศทางลม จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าลมส่วนมากพัดมาจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้โดยมีความถี่ของทิศทางลมประมาณ 18,000 ครั้งต่อปี ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้เป็นตัวแปรที่สำคัญมากเพราะเป็นตัวบ่งบอกถึงความแปรปรวนของลมทิศทางลมที่มีผลต่อการทำงานของกังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้า

ตัวแปรที่สำคัญมากอีกตัวแปรหนึ่งคือความเร็วลม ซึ่งแสดงในรูปที่ 11 คือการจัดเรียงลำดับข้อมูลความเร็วลมรวมช่วงลมสงบตามช่วงความเร็วโดยระบุระยะเวลาเป็นร้อยละในขณะเกิดความเร็วลมในแต่ละช่วงเพื่อประเมินศักยภาพของพลังงานลม จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า



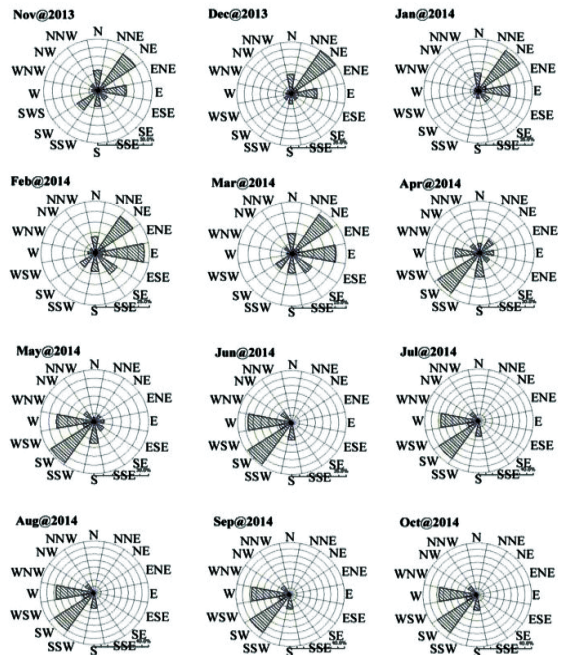
รูปที่ 11 ข้อมูลความถี่ในการกระจายตัวของความเร็วลม
ความถี่ในการเกิดลมมีค่าประมาณร้อยละ 17-24 มีค่า
ความเร็วลมประมาณ 2-4 เมตรต่อวินาที

3.3 การแจกแจงทางสถิติของความเร็วลม

จากข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยในรูปที่ 9 และทิศทางลม
ในรูปที่ 10 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลความเร็วลมและ
ทิศทางลมนี้ มาวิเคราะห์ผังลมรายเดือนด้วยโปรแกรม
WASP 9.0 จากข้อมูลความเร็วลมและทิศทางลมรวมช่วง
ลมสงบขนาด 16 ส่วน เพื่อสร้างแบบจำลองทิศทางลม
เคลื่อนที่ของลม แสดงดังรูปที่ 12 และเพื่อนำข้อมูลการ
แจกแจงทางสถิติของความเร็วลมมาวิเคราะห์ค่าไวบูลล์
พารามิเตอร์ระดับ (k) และพารามิเตอร์รูปร่าง (c) จาก
สมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับโดยแสดงค่าไวบูลล์
พารามิเตอร์ทั้ง 2 แบบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าไวบูลล์พารามิเตอร์รายเดือน

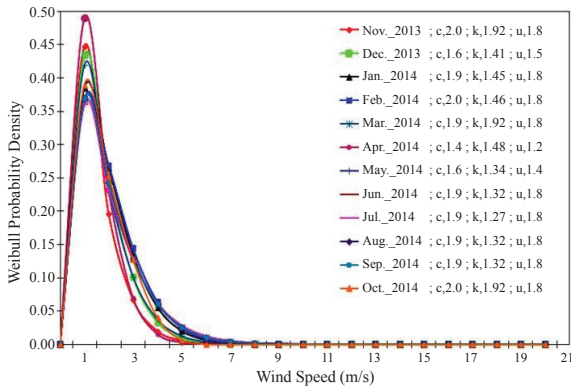
เดือน/ปี	พารามิเตอร์	
	รูปร่าง (k)	ระดับ (c)
พ.ย. 2013	2.00	1.92
ธ.ค. 2013	1.60	1.41
ม.ค. 2014	1.90	1.45
ก.พ. 2014	2.00	1.46
มี.ค. 2014	1.90	1.32
เม.ย. 2014	1.40	1.48
พ.ค. 2014	1.60	1.34
มิ.ย. 2014	1.90	1.32
ก.ค. 2014	1.90	1.27
ส.ค. 2014	1.90	1.32
ก.ย. 2014	1.90	1.32
ต.ค. 2014	2.00	1.92
ค่าเฉลี่ย	1.83	1.46



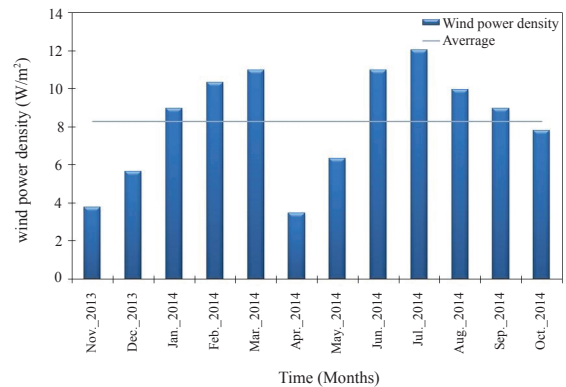
รูปที่ 12 ผังลมรายเดือนจากโปรแกรม WASP 9.0

จากรูปที่ 12 คือแผนที่ลมแสดงถึงทิศทางลมใน
แต่ละเดือนซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงและมีความแปรปรวนอยู่
ตลอดเวลา จากข้อมูลดังกล่าวอธิบายได้ว่าระบบหมุนเวียน
ของลม ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน-มกราคม (ฤดูหนาว)
ลมส่วนใหญ่จะพัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) มี
ความเร็วลมอยู่ในช่วง 1-1.7 เมตรต่อวินาที ตั้งแต่เดือน
กุมภาพันธ์-มีนาคม (ฤดูร้อน) ลมส่วนใหญ่จะพัดจากทิศ
ตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันออก (E) มีความเร็วลม
อยู่ในช่วง 1.7-2.0 เมตรต่อวินาที และตั้งแต่เดือนเมษายน-
ตุลาคม (ฤดูฝน) ลมส่วนใหญ่จะพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้
(SW) ความเร็วลมอยู่ในช่วง 2-3.5 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้
พบว่าความเร็วลมเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนที่อยู่
ระหว่างการเปลี่ยนฤดู

นำค่าพารามิเตอร์รูปร่าง (k) และพารามิเตอร์ระดับ
(c) ในตารางที่ 1 แทนค่าในสมการที่ (3) เพื่อพิจารณา
การแจกแจงความถี่ของความเร็วลมทำให้เห็นภาพรวม
ของตัวแปรสุ่มที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อสามารถคาดการณ์
เหตุการณ์ล่วงหน้าได้บางส่วน ข้อมูลดังกล่าวเป็นการ



รูปที่ 13 Weibull Probability Density



รูปที่ 14 ความหนาแน่นกำลังลมตลอดทั้งปี

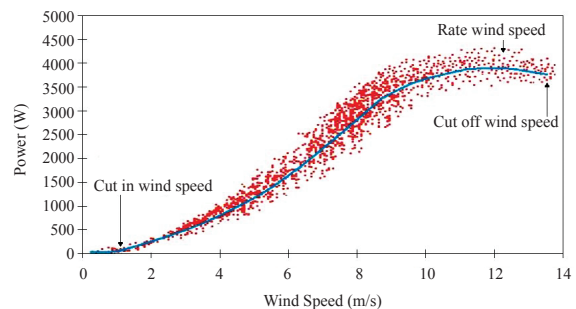
แจกแจงความถี่ของความเร็วลมจริงซึ่งคำนวณจากระบบเส้นตรงเฉียงเฉพาะจุดต่อการแจกแจงความถี่ของความเร็วลม [16] แสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ระดับ (c) คงที่ยอดของกราฟการแจกแจงความถี่จะสูงขึ้นเมื่อค่าพารามิเตอร์รูปร่าง (k) มีค่าสูงขึ้นโดยจุดยอดของกราฟจะอยู่ในตำแหน่งของค่าพารามิเตอร์ระดับ (c) และที่ค่าพารามิเตอร์รูปร่าง (k) คงที่ยอดของกราฟการแจกแจงความถี่จะมีค่าต่ำลงและเคลื่อนที่ไปที่ค่าความเร็วที่สูงขึ้นเมื่อค่าพารามิเตอร์ระดับ (c) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการกระจายตัวของข้อมูลลมแสดงดังรูปที่ 13

3.4 ความหนาแน่นกำลังลม

การพิจารณากำลังลมที่ได้จะพิจารณาที่ระดับความสูง 16 เมตรจากพื้นดินเนื่องจากเป็นระดับที่ได้ติดตั้งกังหันลม เมื่อพิจารณากำลังของลมจากการแจกแจงแบบไวบูลล์ พบว่ามีกำลังลมเฉลี่ยประมาณ 8.3 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยมีกำลังลมสูงสุดในเดือนกรกฎาคมประมาณ 12 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งจัดอยู่ในกำลังลมระดับ 1- (Class 1- Wind Power) [17] ดังรูปที่ 14

3.5 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลม

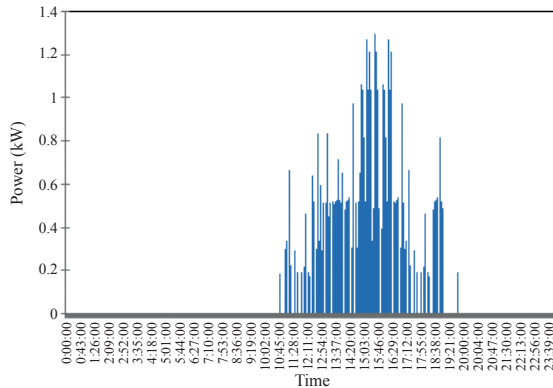
การพิจารณาสมรรถนะกังหันลมอาศัยเส้นโค้งกำลัง (Power Curve) เป็นตัวบ่งบอกปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อมีความเร็วลมเปลี่ยนแปลง ผลการทดลอง



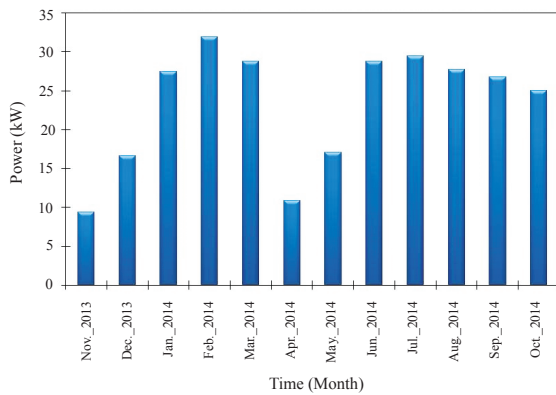
รูปที่ 15 เส้นโค้งกำลังของกังหันลมจากมอเตอร์เหลือทิ้ง

ภาคสนามโดยใช้โหลดทดสอบขนาด 6,000 วัตต์ พบว่าความเร็วลมที่กังหันลมเริ่มต้นทำงาน (Cut in Wind Speed) เท่ากับ 1.2 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมที่กังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Rate Wind Speed) เท่ากับ 12.0 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมที่กังหันลมหยุดทำงาน (Cut Off Wind Speed) เท่ากับ 14.0 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมสูงสุดที่กังหันลมสามารถรับได้ (Survival Wind Speed) 25.0 เมตรต่อวินาที แสดงดังรูปที่ 15 โดยมีอัตราต่อรองระหว่างใบพัดกับเพลากลมหุนเท่ากับ 3:1 รอบ

กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้จากข้อมูลค่าเฉลี่ยรายวันของค่ารายเดือนดังรูปที่ 16 แสดงให้เห็นชัดเจนว่ากังหันลมสามารถเริ่มต้นทำงานในช่วงเวลา 10.10–19.00 น. ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 0.2–1.3 กิโลวัตต์ ผลิตไฟฟ้าสูงสุดได้ 1.3 กิโลวัตต์ในช่วงเวลา 14.20–15.30 น. สอดคล้องกับข้อมูลความเร็วลมในรูปที่ 9



รูปที่ 16 ค่าเฉลี่ยรายวันของกำลังไฟฟ้า

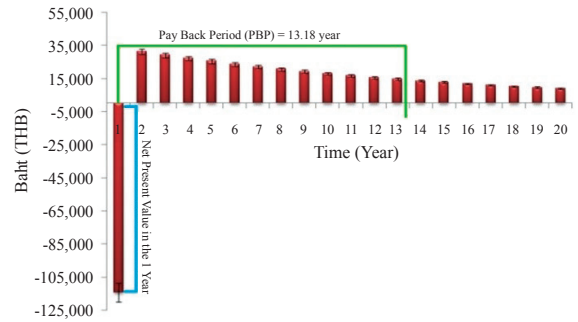


รูปที่ 17 ผลรวมของปริมาณกำลังไฟฟ้าในแต่ละเดือน

รูปที่ 17 แสดงให้เห็นว่ากังหันลมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดอยู่ในเดือนกรกฎาคมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 30 กิโลวัตต์ชั่วโมง

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์

การประมาณค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ 20 ปี ประกอบด้วยค่าต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรรวม 160,400 บาท ต้นทุนทางการเงินพิจารณาจากกำลังผลิตไฟฟ้า 9,091.68 กิโลวัตต์ต่อปี ค่าดูแลรักษาร้อยละ 3 ต่อปี ของราคากังหันและค่าก่อสร้าง อัตราคิดลดร้อยละ 7 มูลค่าซากร้อยละ 10 ของมูลค่าต้นทุนเริ่มต้นโดยคิดมูลค่าเงินในปีที่ 20 อัตราส่วนเพิ่มราคาซื้อขายเท่ากับ 4.50 บาทต่อหน่วย



รูปที่ 18 การประเมินมูลค่าตอบแทนโครงการ

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) อัตราผลตอบแทนการลงทุนทางการเงิน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PBP) เป็นตัวแปรหลักในการวิเคราะห์ที่แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การประเมินมูลค่าตอบแทนโครงการ

ตัวชี้วัด	กัณฑ์ผล
1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	224,295.18
2. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน	2.254
3. อัตราผลตอบแทนการลงทุน	20.26 %
4. ระยะเวลาคืนทุน	13.18 ปี

จากตารางที่ 2 ถึงแม้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 13.8 ปี เนื่องจากพื้นที่ติดตั้งมีศักยภาพลมระดับปานกลางทำให้กังหันลมทำงานได้ไม่เต็มพิกัด แต่มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าบวก และมีค่าราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 17.64 บาทต่อกิโลวัตต์ ดังรูปที่ 18

4. สรุป

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถสร้างเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กถาวรได้ สมรรถนะของระบบมีค่าร้อยละ 24.65 ศักยภาพของพลังงานอยู่ในระดับปานกลาง ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 1.2–1.3 กิโลวัตต์ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.5–4.5 เมตรต่อวินาที โดยมีอัตรา

ทดระหว่างใบพัดกับเพลากลางหมุนเท่ากับ 3:1 รอบ ผลการทดลองภาคสนาม พบว่าความเร็วลมที่กังหันลม เริ่มต้นทำงาน มีค่าเท่ากับ 1.2 เมตรต่อวินาที ความเร็วลม ที่กังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 12.0 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมที่กังหันลมหยุดทำงาน มีค่าเท่ากับ 14.0 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมสูงสุดที่กังหัน ลมสามารถรับได้ คือ 25.0 เมตรต่อวินาที ดังนั้นจากผล การทดลองต่างๆ แสดงให้เห็นว่าการใช้มอเตอร์เหลือทิ้ง สามารถสร้างเป็นกังหันลมขนาดเล็กได้ และการนำเสา ไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรงเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จมาเป็น ส่วนของโครงสร้างเสานั้น สามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของ โครงการได้ประมาณ 18 เท่า โดยมีระยะเวลาคืนทุน 13.18 ปี ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยมีค่า 17.64 บาทต่อ กิโลวัตต์ถึงแม้ระยะเวลาคืนทุนจะมีระยะเวลาเท่ากับ 13.8 ปี อันเนื่องมาจากพื้นที่ที่ติดตั้งระบบกังหันลมมีศักยภาพลม ระดับปานกลาง โดยมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นอาคารและต้นไม้ สูงทำให้เกิดความขรุขระของผิวลมค่อนข้างมากส่งผล ให้ระบบกังหันลมทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ แต่เมื่อ พิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิซึ่งมีค่าบวกดังนั้นจึงมีความ เป็นไปได้ที่จะดำเนินโครงการติดตั้งแบบฟาร์มกังหันลม ขนาดเล็กได้หากติดตั้งในพื้นที่ที่มีศักยภาพลมดีกว่านี้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบ ประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

เอกสารอ้างอิง

- [1] Global Wind Energy Council (GWEC), “Global Wind Report Annual Market Update 2014,” *Brussels Belgium*, Rep. 12, Mar. 2015.
- [2] X. Yang, L. Sun, J. Xiang, S. Hu, and S. Su, “Pyrolysis and dehalogenation of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE): A review,” *Waste Management*, vol. 33, no. 2,

pp. 462–473, February 2013.

- [3] Y. Y. Long, Y. J. Feng, S. S. Cai, L. F. Hu, and D. S. Shen, “Reduction of heavy metals in residues from the dismantling of waste electrical and electronic equipment before incineration,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 272, pp. 59–65, May 2014
- [4] S. Umair, A. Björklund, and E. E. Petersen, “Social impact assessment of informal recycling of electronic ICT waste in Pakistan using UNEP SETAC guidelines,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 95, pp. 46–57, February 2015.
- [5] R. Wang and Z. Xu, “Recycling of non-metallic fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE): A review,” *Waste Management*, vol. 34, no. 8, pp. 1455–1469, 2014.
- [6] M. E. Haque, M. Negnevitsky, and K. M. Muttaqi, “A novel control strategy for a variable speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 46, no. 1, pp. 331–339, 2010.
- [7] K. Abe *et al.*, “Experimental and numerical investigations of flow fields behind a small wind turbine with a flanged diffuser,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 93, no. 12, pp. 951–970, 2005.
- [8] W. Sridech and T. Chitsomboon, “The design of stall-regulated wind turbine blade for a maximum annual energy output and minimum cost of energy based on a specific wind statistic,” *Journal of Power and Energy Engineering*, vol. 2, pp. 10–21, 2014.
- [9] A. L. R. de Medeiros, A. M. Araújo, O. D. Q. de Oliveira Filho, J. Rohatgi, and M. J. dos Santos, “Analysis of design parameters of large-sized



- wind turbines by non-dimensional model,” *Energy*, vol. 93, pp. 1146–1154, 2015.
- [10] J. V. Seguro and T. W. Lambert, “Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for energy analysis,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 85, pp. 75–84, 2000.
- [11] Wind Power Program. (2015). *The Wind Power and UK Wind Speed Database Programs* [Online], Available: <http://www.wind-power-program.com/>
- [12] M. J. Crooks, D. B. Litvin, P. W. Matthew, R. Macaulay, and J. Shaw, “One-piece Faraday generator: A paradoxical experiment from 1851,” *American Journal of Physics*, vol.46, no. 7, pp.729–731, 1978.
- [13] C. Kasagepongsan and M. Suklueng, “Fabrication of permanent magnet for low speed synchronous generators using waste motors,” *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 25, no. 3, pp. 361–370, 2015.
- [14] D. M. Somers, “Design and experimental results for the S809 airfoil,” National Renewable Energy Laboratory, Golden., NREL/SR-440-6918, January 1997.
- [15] K. Gharali and D. A. Johnson, “Numerical modeling of an S809 airfoil under dynamic stall, erosion and high reduced frequencies,” *Applied Energy*, vol. 93, pp. 45–52, 2012.
- [16] W. Sridech and T. Chitsomboon, “Statistical errors in the assessment of annual energy yields of a wind turbine,” in *The 23 rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand*, Chiang Mai, ETM-031024, November 4–7, 2009 (in Thai).
- [17] C. Chancham, J. Waewsak, N. Matan, and Y. Tirawanichakul, “Wind energy potential along the coast of thai-gulf in central southern Thailand,” *Thaksin University Journal*, vol. 15, no.2, pp. 10–17, 2012 (in Thai).