

ผลกระทบของรูปทรงส่วนปลายใบแบบครึ่งทรงกระบอกต่อสมรรถนะ ของกังหันลมแบบแกนแนวตั้ง

ธนาพล สุขชนะ^{1*}

thanaphol.s@rmutsb.ac.th, ton0019@hotmail.com

^{1*} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
สุวรรณภูมิ

Received: November 1, 2018
Revised: December 31, 2018
Accepted: February 25, 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงทดลองครั้งนี้เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปทรงส่วนปลายใบแบบครึ่งทรงกระบอกต่อสมรรถนะของกังหันลมและการทำนายประสิทธิภาพกังหันลมแบบแกนแนวตั้งที่มีรูปแบบการปิดส่วนของปลายใบแตกต่างกัน ใบกังหันลมทำด้วยเหล็กหนา 1.2 mm อัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง (h/b) เท่ากับ 2.0 ใบกังหันลมที่ใช้ในการทดลองมี 3 รูปแบบ คือ แบบปลายใบเปิด (Model 1) แบบปลายใบปิดตั้งฉาก (Model 2) และแบบปลายใบปิดเฉียง 45° (Model 3) โดยทำการทดลองหาสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) แล้วนำใบกังหันที่มีค่า C_d ต่ำสุด 2 รูปแบบมาประกอบเป็นกังหันลมชนิด 2 ใบ โดยมีระยะเกยของใบกังหันเท่ากับ 0.1d ทำการทดลองภายในอุโมงค์ลมด้วยความเร็วลมคงที่ระหว่าง 2.7 ถึง 9.2 m/s ผลการทดลองพบว่าลักษณะส่วนปลายของใบแบบปิดเฉียง 45° มีค่า C_d ต่ำสุดเท่ากับ 1.19 และมีค่าประสิทธิภาพพลังงานลม (P_m/P_w) เฉลี่ย 27% ด้วยอัตราส่วนของความเร็วเชิงมุมต่อความเร็วลม (V_ω/V_a) เท่ากับ 0.8 นอกจากนี้สามารถทำนายประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันลมด้วยความสัมพันธ์ของ ความเร็วลม ความเร็วเชิงมุม สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ อัตราเร็วรอบ และประสิทธิภาพของใบกังหัน

คำสำคัญ: กังหันลม แกนแนวตั้ง ความเร็วลม แรงต้านอากาศ สมรรถนะ

Effects of End Plates of Bucket on the Performance of Vertical Axis Wind Turbines

Thanaphol Sukchana^{1*}

thanaphol.s@rmutsb.ac.th, ton0019@hotmail.com

^{1*} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Received: November 1, 2018
Revised: December 31, 2018
Accepted: February 25, 2019

Abstract

This experimental research was conducted to study the effect of the bucket savonius rotors on the performance and predicting an efficiency of vertical axis wind turbines with different closing end of bucket. The bucket made from mild steel with 1.2 mm of thickness while the ratio of height to length (h/b) is 2.0. There are three types of bucket for used in the experimental. That the both ends open is Model 1, the both ends horizontal closed is Model 2 and the both ends 45° closed is Model 3. Drag coefficient (C_d) of bucket is the first tested. Then assembly to the savonius rotors with the smallest C_d value in two type of bucket, while the gap of bucket is 0.1d. Experiment within the wind tunnel with constant wind speed between 2.7 to 9.2 m/s. The results showed that the bucket both ends 45° closed had the smallest C_d value of 1.19. An average wind energy efficiency (P_m/P_w) was 27% in speed ratio (V_w/V_a) of 0.8. Moreover, it is also to predicting the maximum efficiency of a wind turbine by using the relationship of wind speed, angular speed, drag coefficient, shaft speed and the efficiency of turbine bucket.

Keywords: wind turbine, vertical axis, wind velocity, drag force, performance

1. บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานทดแทนทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ สำหรับลักษณะลมของประเทศไทยจะมีความเร็วลมและพลังงานลมเฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง เทคโนโลยีพลังงานลมจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาให้มีขีดความสามารถในการทำงานได้ด้วยความเร็วลมต่ำถึงปานกลาง กังหันลมที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบันมีสองลักษณะคือ กังหันลมแกนแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) และกังหันลมแบบแกนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine, VAWT) กังหันทั้งสองแบบมีข้อดีและข้อเสียในการใช้งานที่แตกต่างกัน สำหรับกังหันลมแบบแกนแนวตั้งเป็นกังหันลมที่มีแกนใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมที่มาในแนวราบทำให้กังหันลมสามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทางโดยไม่ต้องมีหางเสือควบคุมทิศทาง กังหันลมแบบแกนแนวตั้งได้มีการพัฒนาและสามารถใช้งานได้ดีมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบแดร์เรียส (Darrieus) และแบบซาโวเนียส (Savonius) สำหรับในประเทศไทยมีผู้วิจัยทางด้านพลังงานลมและกังหันลมอย่างต่อเนื่องดังเช่น วิรัชย์ โรยรินทร์ [1] ได้ศึกษาวิจัยพัฒนากังหันลมต้นแบบทั้งแบบแกนแนวตั้งและแกนแนวนอนขนาด 5 kW พบว่ากังหันให้กำลังสูงสุดที่ความเร็วลม 13 m/s พรเทพ สุรมาตย์ และปรีชา เกรียงกรกฎ [2] ได้ศึกษาออกแบบสร้างและทดสอบสมรรถนะของกังหันลมแบบแกนแนวตั้งในช่วงความเร็วลม 2.5–6 m/s พบว่าอัตราเร็วรอบของกังหันลมเท่ากับ 439 rpm ที่ความเร็วลมเท่ากับ 6 m/s เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์ และอริยวัฒน์ พระบำรุง [3] ได้รายงานภาพรวมของพลังงานลมในประเทศไทยที่ระดับความสูง 100 m เหนือพื้นดินว่าประเทศไทยมีแหล่งศักยภาพพลังงานลมสูงในบางพื้นที่ นอกจากนี้

มีการวิจัยและพัฒนากังหันลมแบบแกนแนวตั้งในต่างประเทศในลักษณะต่างๆ ดังเช่น Blackwell et al. [4] ได้ศึกษาทดลองสมรรถนะของกังหันลมแบบซาโวเนียสชนิด 2 ใบ และ 3 ใบ พบว่าประสิทธิภาพพลังงานลมของกังหันลมโดยเฉลี่ย 22% Ronold et al. [5] ได้ศึกษาค่าความปลอดภัยในการออกแบบกังหันลมโดยสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาความแข็งแรงสำหรับการออกแบบ พบว่าสมการที่สร้างขึ้นสามารถประเมินอายุการใช้งานของกังหันลมได้ไม่น้อยกว่า 20 ปี Altan and Atilgan [6] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมแบบแกนแนวตั้งด้วยโปรแกรมสร้างแบบจำลอง พบว่าหากมาบับังคับลมอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมจะช่วยให้ประสิทธิภาพของกังหันลมสูงขึ้น Pope et al. [7] ได้เสนอสมการสำหรับการทำนายผลกระทบของใบพัดสเตเตอร์ต่อสมรรถนะของกังหันลมแกนแนวตั้ง Sareni et al. [8] ได้นำเสนอแบบจำลองอย่างง่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในตัวกังหันลม เพื่อวัตถุประสงค์ในการจำลองกังหันลมได้หลายขนาดซึ่งสามารถทำให้ได้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับกังหันลมที่ต้องการใช้งาน

การพัฒนากังหันลมแกนแนวตั้งให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากขนาดและจำนวนใบพัดจะมีผลโดยตรงต่อแรงต้านการหมุนของกังหันลม ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกังหันลมต่ำลงด้วย รวมถึงการออกแบบสร้างกังหันลมให้มีขนาดใหญ่ทำได้ยากจากการศึกษาลักษณะการทำงานและผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบสร้างที่มีผลต่อสมรรถนะของกังหันลม พบว่าการลดแรงต้านอากาศด้านหลังใบนั้นเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้เพื่อเพิ่มสมรรถนะของกังหันลมให้สูงขึ้นได้ การวิจัยเชิงทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

ด้านหลังของใบกังหันลม เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของกังหันลมแบบแกนแนวตั้ง โดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบการปิดส่วนปลายของใบกังหันที่มีรูปครึ่งทรงกระบอก (Bucket) พร้อมทั้งประกอบเป็นกังหันลมแบบ 2 ใบ และทดสอบสมรรถนะ

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุโมงค์ลมสำหรับการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของอุโมงค์ลม (Wind tunnel) ที่ใช้ในการทดลองการทำงานของกังหันลมและหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของใบกังหันลม (Bucket) แบบต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของใบกังหันลม อุโมงค์ลมมีพื้นที่หน้าตัดของห้องทดสอบ (Test section) เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.2×1.2 m และยาว 1.5 m บริเวณทางเข้ามีรังผึ้ง (Honey-comb) ช่วยปรับเรียงกระแสลมให้กระจายทั่วทั้งห้องทดสอบ พัดลม (Fan) ทำหน้าที่ดูดอากาศให้ไหลเข้าอุโมงค์ลมด้วยความเร็วคงที่ โดยมีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า (M) ขนาด 7.5kW, 380V, 3P, 1450 RPM สามารถปรับความเร็วลมในห้องทดสอบด้วยการเปลี่ยนขนาดของมู่เลย์ขับที่มอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งจะทำให้มีค่าความผิดพลาดของความเร็วลมในการทดลองน้อยกว่าการปรับความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์

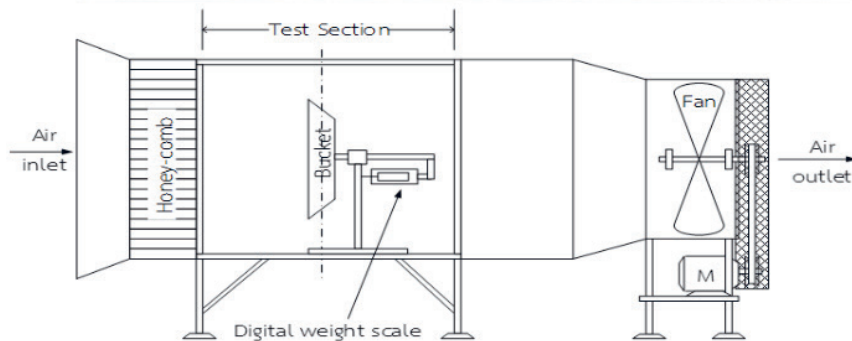
2.2 การทดลองและเงื่อนไขการทดลอง

ในการสร้างและทดสอบผลกระทบรูปร่างส่วนปลายใบแบบครึ่งทรงกระบอกของกังหันลมแบบแกนแนวตั้งแบบซาโวนีเยส กำหนดให้ใบมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกผ่าครึ่งโดยมีขนาดความกว้างของใบ (b) เท่ากับ 0.3 m และสูง (h) เท่ากับ 0.6 m ทำให้ได้อัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง (h/b) เท่ากับ 2.0 โดยที่ส่วนปลายของใบสำหรับการทดลองทั้ง 3 รูปแบบแสดง

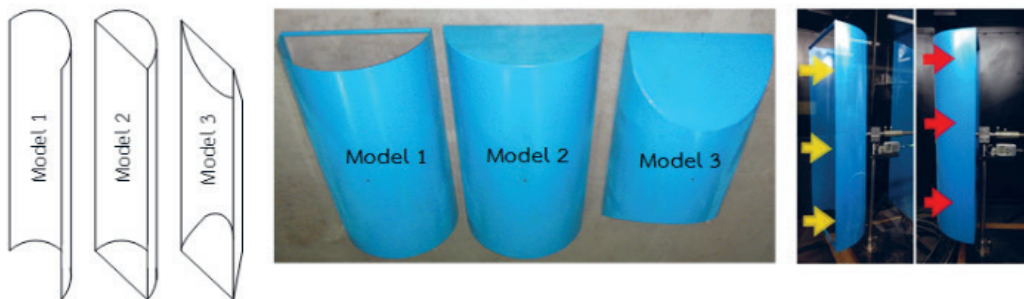
ดังรูปที่ 2 คือ ส่วนปลายทั้งสองด้านเปิด (Model 1) ส่วนปลายทั้งสองด้านปิดตั้งฉาก (Model 2) และส่วนปลายทั้งสองด้านปิดเฉียง 45° (Model 3) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะที่เกิดจากรูปทรงส่วนปลายของใบพัดโดยการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของใบในมุมปะทะแนวตรง (90°) ด้วยการวัดแรงกระทำจากลมทั้งสองด้านด้วยเครื่องชั่งแบบตัวเลข OEM WeiHeng รุ่น WH-A05 ค่าความละเอียด 0.01 kg และพิสัยการวัดสูงสุดเท่ากับ 45 kg ซึ่งประกอบเป็นแท่นสำหรับยึดติดกับใบกังหันลม แล้วนำค่าแรงดึงที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้วยสมการที่ (1) แล้วนำใบกังหันที่มีสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศต่ำที่สุด 2 แบบ ไปสร้างเป็นกังหันลมแบบแกนแนวตั้งแบบ 2 ใบ เพื่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของกังหันลม

$$Cd = \frac{2F_D}{\rho A V^2} \quad (1)$$

โดย Cd คือค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศ (Drag Coefficient) F_D คือแรงที่วัดได้จากเครื่องวัดแรง (N) ρ คือความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3) A คือ พื้นที่ภาคตัดตั้งฉากกับทิศทางลม (0.18 m^2) และ V คือความเร็วลม (m/s) ซึ่งความเร็วลมที่กระทำต่อใบกังหันลมสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบตัวเลข DAVIS รุ่น AVM-01 ค่าความละเอียด 0.1 m/s พิสัยการวัดสูงสุดเท่ากับ 30 m/s



รูปที่ 1 อุโมงค์ลมสำหรับทดลอง



รูปที่ 2 ลักษณะของใบกังหันที่ใช้ทดลองหาสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การทดสอบประสิทธิภาพใบกังหัน

การทดสอบประสิทธิภาพ (ε) ของใบกังหันลม ทำการทดสอบในอุโมงค์ลม ที่ความเร็วลมคงที่ เฉลี่ยเท่ากับ 2.7, 3.2, 3.7, 4.4, 5.4, 6.5, 7.8 และ 9.2 m/s ประสิทธิภาพของใบกังหันลมจะอธิบาย ด้วยอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ ดังสมการที่ (2) ซึ่ง $C_d F$ เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านรับลมของใบกังหัน และ C_{df} เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านหลังของใบกังหัน จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์

แรงต้านอากาศด้านรับลมของ Model 1, 2 และ 3 เท่ากับ 2.27, 2.39 และ 2.46 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของ ใบกังหันลม Model 3 สูงกว่า Model 1 และ 2 ทั้งนี้สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรูปทรงครึ่ง ทรงกระบอกมาตรฐานจะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านรับลมเฉลี่ยเท่ากับ 2.3 [9, 10] แสดงให้เห็นว่าการปิดเฉียงที่ปลายใบกังหัน ทั้งสองด้านมีผลทำให้เกิดแรงต้านอากาศสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากทิศทางของเวกเตอร์ความเร็ว ลมที่ปะทะกับส่วนปิดเฉียงของใบกังหันทำให้เกิด

แรงยกและแรงกดเสริมกับแรงที่เกิดขึ้นในแนวตั้งฉาก ซึ่งลักษณะของการเกิดแรงยกและแรงกดนี้จะไม่เกิดขึ้นกับใบกังหัน Model 1 และ 2 และพบว่าค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านหลังใบเท่ากับ 1.24, 1.23 และ 1.19 ตามลำดับ ในขณะที่สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านโค้งของรูปทรงครึ่งทรงกระบอกมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 [9, 10] แสดงให้เห็นว่าการปิดปลายใบแบบเฉียงมีผลให้แรงต้านอากาศด้านหลังใบลดลง เนื่องจากส่วนของปลายใบกังหันจะก่อให้เกิดการหมุนวนของอากาศและไหลข้ามปลายใบโดยไม่เกิดแรงต้านขึ้นกับใบกังหันส่วนที่ปิดเฉียง

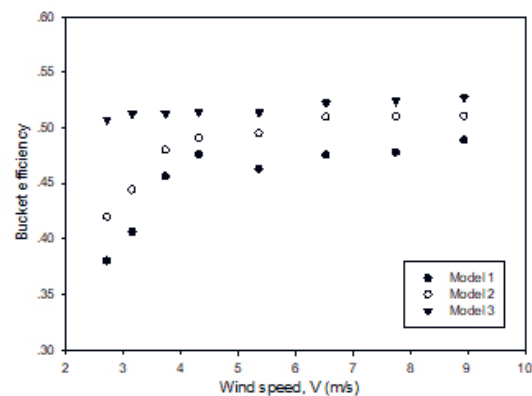
รูปที่ 3 แสดงประสิทธิภาพของใบกังหันลมแต่ละแบบที่ใช้ในการทดลอง โดยนำเสนอรูปแบบของอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศสามารถคำนวณด้วยสมการที่ (2) จะเห็นได้ว่าการปิดเฉียงที่ปลายใบกังหันทั้งสองด้าน (Model 3) มีผลทำให้สมรรถนะของใบกังหันสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลจากแรงต้านอากาศด้านรับลมของใบที่สูงขึ้นและแรงต้านอากาศด้านหลังใบที่ลดลง โดยประสิทธิภาพของใบทั้ง Model 1, 2 และ 3 เท่ากับ 0.45, 0.48 และ 0.52 ตามลำดับ ทั้งนี้ประสิทธิภาพสูงสุดในทางทฤษฎีของกังหันลมจะไม่เกิน 0.59 หรือ 59% [9, 10]

$$\varepsilon = \frac{Dd_F - Cd_f}{Cd_F} \quad (2)$$

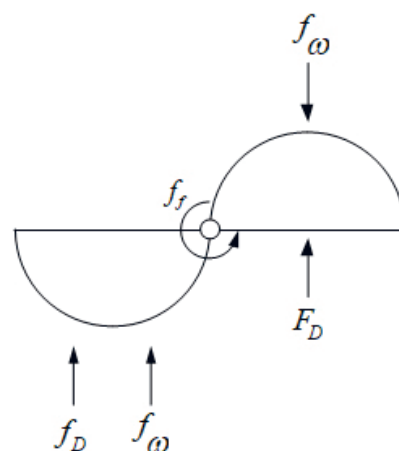
3.2 การทำนายประสิทธิภาพของกังหันลม

จากผลการทดลองประสิทธิภาพของใบกังหันลมแบบแกนแนวตั้งแบบครึ่งทรงกระบอกสามารถนำมาวิเคราะห์หาสมการในการประเมินประสิทธิภาพของกังหันลมที่มีใบกังหัน 2 ใบได้ โดยคำนึงถึงแรงต้านอื่นๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพ

ของกังหันลมดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เพื่อทำนายประสิทธิภาพของกังหันลมในขณะที่เกิดแรงกระทำและแรงต้านจากอากาศสูงสุด โดยกำหนดให้ F_D คือแรงต้านอากาศเนื่องจากความเร็วลมด้านรับลมของใบกังหัน f_D คือแรงต้านอากาศเนื่องจากความเร็วลมด้านหลังของใบกังหัน f_ω คือแรงต้านอากาศเนื่องจากความเร็วเชิงมุมของใบ และ f_f คือแรงต้านการหมุนเนื่องจากแรงเสียดทานของแบริ่งที่มีค่าคงที่ โดยจะมีผลทำให้แรงสูงสุดที่ได้จากแรงกระทำของลมดังสมการที่ 3



รูปที่ 3 ผลของปลายใบแต่ละแบบที่มีต่อประสิทธิภาพใบที่ความเร็วลมต่างกัน



รูปที่ 4 ไดอะแกรมของแรงกระทำและแรงต้านสำหรับใบกังหันแบบครึ่งทรงกระบอก

$$\sum F = F_D - f_D - f_f - 2f_\omega \quad (3)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ 3 จะได้

$$F_D - f_D = \varepsilon F_D = 0.5\varepsilon\rho ACd_F V^2 \quad (4)$$

แรงต้านอากาศเนื่องจากความเร็วเชิงมุม (f_ω)

$$f_\omega = \rho ACd_f (\pi r N)^2 \quad (5)$$

กำลังงานกลเพลลาของกังหันลม (P_m)

$$P_m = 2\pi r N \sum F \quad (6)$$

แทนค่า $\sum F$ ด้วยสมการที่ (3-5) ใน (6) และกำหนดให้ f_f มีค่าเข้าใกล้ 0 เนื่องจากเป็นแรงเสียดทานของแบร้งที่มีค่าน้อยและคงที่ จะได้

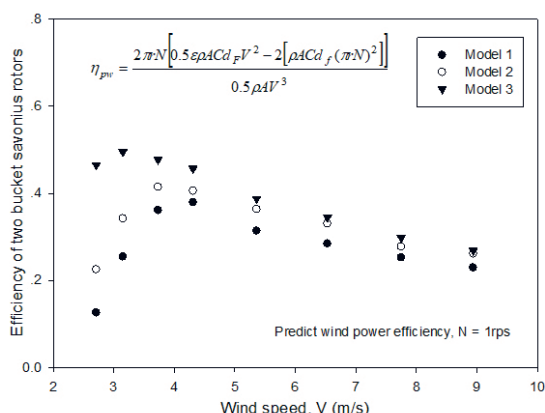
$$P_m = 2\pi r N \left[0.5\varepsilon\rho ACd_F V^2 - 2 \left(0.5\rho ACd_f (\pi r N)^2 \right) \right] \quad (7)$$

จากสมการพลังงานของกระแสลม

$$P_w = 0.5\rho A V^3 \quad (8)$$

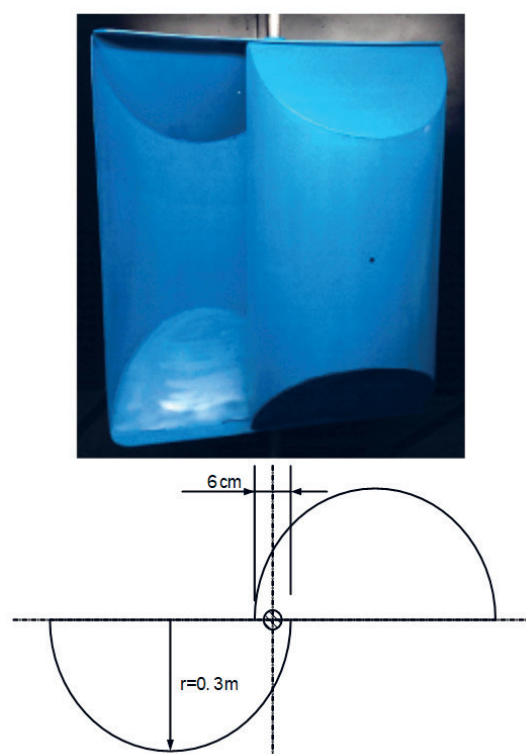
จะได้ประสิทธิภาพของกังหันลม (η_{pw})

$$\eta_{pw} = \frac{2\pi r \cdot N \left[0.5\varepsilon\rho ACd_F V^2 - 2 \left(0.5\rho ACd_f (\pi r N)^2 \right) \right]}{0.5\rho A V^3} \quad (9)$$



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพของกังหันลมจากการคำนวณด้วยสมการที่ (9)

รูปที่ 5 แสดงการทำนายประสิทธิภาพของกังหันลมหรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์กำลังงานของกังหันลมก็ได้เช่นกัน (Power Coefficient, Cp) กรณียกใช้ใบกังหันทั้ง 3 แบบ โดยการคำนวณด้วยสมการที่ (9) ซึ่งสมมติให้ความเร็วรอบใช้งานของกังหันลมคงที่ 1 rps โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ ความเร็วลม สมรรถนะของใบกังหันรัศมี และพื้นที่ของใบกังหันเป็นไปตามข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพพลังงานลมของกังหันลมจากการทำนายที่ใช้ใบกังหันทั้ง 3 แบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.25-0.4 (25-40%) โดยประสิทธิภาพพลังงานของกังหันลมลดลงเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นซึ่งเกิดจากผลของแรงต้านอากาศด้านหลังของใบกังหัน (f_D) และแรงต้านอากาศเนื่องจากความเร็วเชิงมุมของใบ (f_ω) ที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วลม

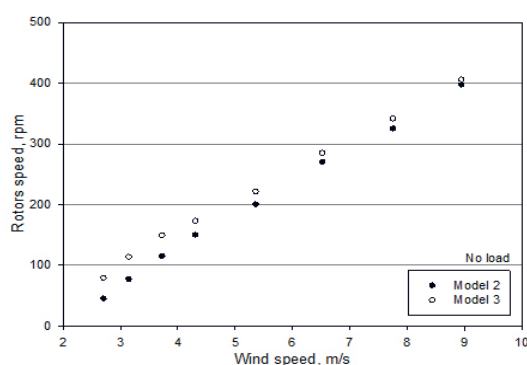


รูปที่ 6 ลักษณะการประกอบใบกังหันในการทดลอง

3.3 การทดลองสมรรถนะของกังหันลม

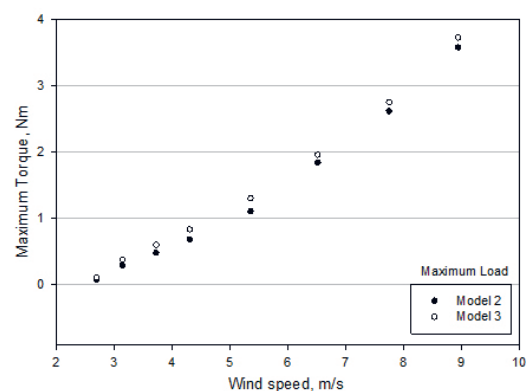
หลังจากทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของใบกังหันพบว่าใบกังหันแบบปิดเฉียง 45° มีประสิทธิภาพสูงถึง 52% รองลงมาเป็นใบแบบปิดตั้งฉากซึ่งมีประสิทธิภาพ 48% ในการทดลองสมรรถนะของกังหันลมแบบแกนแนวตั้งแบบครึ่งทรงกระบอก 2 ใบครั้งนี้เลือกใช้ใบกังหัน Model 2 และ 3 โดยประกอบให้มีระยะเกย (Gap) ดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็นลักษณะการประกอบที่ทำให้ลมที่หมุนวนออกจากด้านรับลมส่วนหนึ่งไหลเข้าเสริมกำลังให้กับใบที่หมุนมารับลมได้อย่างต่อเนื่อง [6] และช่วยลดแรงต้านอากาศด้านหลังใบลงได้ โดยมีอัตราส่วนของระยะเกยต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบที่เหมาะสมของใบกังหันแบบซาร์โวเนี่ยสอยู่ที่ประมาณ 0.1d [4, 6]

ผลการทดลองหาอัตราเร็วรอบสูงสุดของกังหันลมแบบไม่มีภาระดังแสดงในรูปที่ 7 อัตราเร็วรอบวัดด้วยเครื่องความเร็วรอบแบบตัวเลข DIGICON รุ่น DT-245P ค่าความละเอียด 0.1 rpm เมื่อพิสัยการวัดสูงสุดไม่เกิน 1000 rpm จะเห็นได้ว่าอัตราเร็วรอบของกังหันลมสูงขึ้นเมื่อความเร็วลมสูงขึ้น โดยกังหันลมที่มีใบแบบปิดเฉียง 45° มีอัตราเร็วรอบสูงกว่ากังหันลมที่มีใบแบบปิดตั้งฉาก เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านหลังใบต่ำกว่า

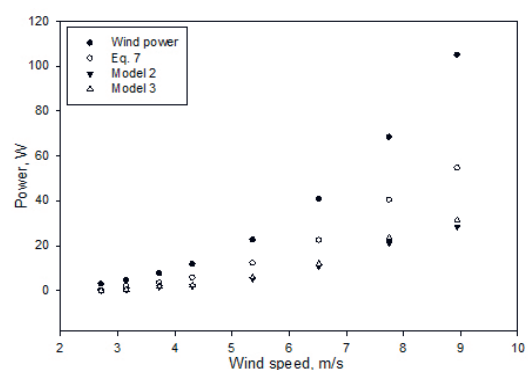


รูปที่ 7 อัตราเร็วรอบของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างกัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและแรงบิดสูงสุด (Maximum Torque, T_{max}) ของกังหันลมดังรูปที่ 8 โดยแรงบิดใช้วิธีการวัดแบบเบรกเชือกซึ่งเป็นการวัดค่าจำนวน 12 ครั้งต่อ 1 ความเร็วลม แล้วเฉลี่ยค่าแรงบิดโดยตัดค่าที่วัดได้สูงสุดและต่ำสุดออก จะเห็นได้ว่าแรงบิดเพลาสูงสุดของกังหันลมทั้งสองแบบมีความแตกต่างกัน โดยกังหันลมที่มีใบแบบปิดเฉียง 45° สามารถให้แรงบิดได้สูงกว่ากังหันลมที่มีใบกังหันแบบปิดตั้งฉากตรงมากขึ้นเมื่อความเร็วลมสูงกว่า 5 m/s เช่นเดียวกันกับอัตราเร็วรอบของกังหันลม ซึ่งกังหันลมที่มีใบกังหันแบบปลายปิดเฉียง 45° สามารถให้แรงบิดและอัตราเร็วรอบสูงกว่าเฉลี่ยประมาณ 10–15% เมื่อความเร็วลมสูงกว่า 5 m/s



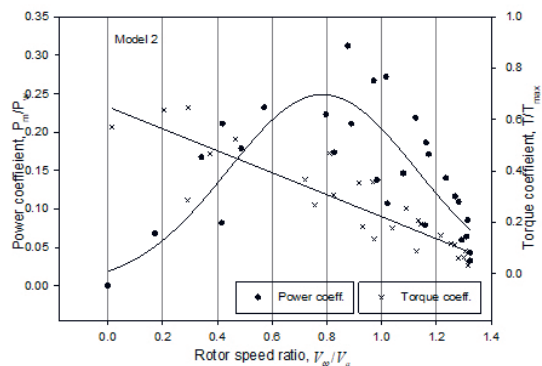
รูปที่ 8 แรงบิดสูงสุดของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างกัน



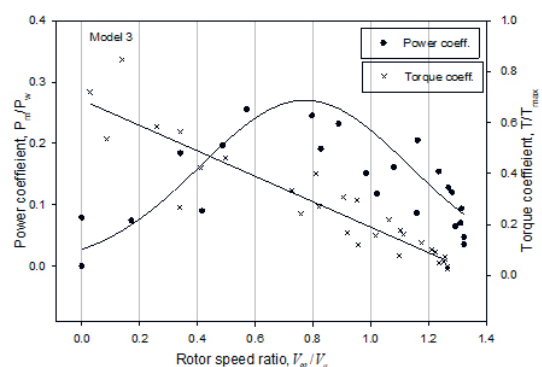
รูปที่ 9 กำลังลมจากการคำนวณและกำลังจากการทดลองของกังหันลมที่ความเร็วลมคงที่ต่างกัน

พลังงานลมสูงสุด (Maximum wind power) คำนวณด้วยสมการที่ (8) กำลังงานเพลาคำนวณด้วยสมการที่ (7) และกำลังเพลจากการทดลองคำนวณด้วยสมการที่ (10) โดยแรงบิด (T) และความเร็วรอบ (N) ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัด จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าพลังงานลมสูงขึ้นเมื่อความเร็วลมสูงขึ้น พบว่ากังหันลมแบบใบปิดเฉียง 45° ให้กำลังเพลสูงกว่าแบบใบปิดตั้งฉากตรงเฉลี่ย 10%

$$P_m = \frac{2\pi TN}{60} \quad (10)$$



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของ P_m/P_w , T/T_{max} และ V_w/V_a แบบปลายใบปิดตั้งฉาก



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ของ P_m/P_w , T/T_{max} และ แบบปลายใบปิดเฉียง 45°

จากรูปที่ 10 และ 11 แสดงความสัมพันธ์ของ P_m/P_w , T/T_{max} และ V_w/V_a ของกังหันลมทั้งสองแบบ ซึ่ง P_m คำนวณด้วยสมการที่ (10) P_w คำนวณด้วยสมการที่ (8) และ V_w คำนวณด้วยสมการที่ (11) รูปที่ 10 และ 11 จะเห็นได้ว่า V_w/V_a มีผลต่อ P_m/P_w และ T/T_{max} โดยตรง ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของ V_w/V_a ที่ทำให้กังหันลมมีประสิทธิภาพพลังงานสูงสุดเท่ากับ 0.8 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ [4, 10, 11] โดยพบว่าประสิทธิภาพพลังงานสูงสุดเท่ากับ 25% และ 27% สำหรับกังหันลมที่มีใบแบบปลายใบปิดตั้งฉากและปิดเฉียง 45° ตามลำดับ ในขณะที่ผลการทดสอบของ [4] พบว่าสมรรถนะของกังหันลมแบบซาโวเนียสชนิด 2 ใบ มีประสิทธิภาพพลังงานลมสูงสุดอยู่ในช่วงเฉลี่ย 22–26% ด้วย V_w/V_a เท่ากับ 0.8 โดยที่ปลายใบกังหันเป็นการปิดแบบตั้งฉากเหมือนกับ Model 2 ในการทดลอง

4. สรุปผลการทดลอง

กังหันลมแกนแนวตั้งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเปลี่ยนรูปพลังงานจากลมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ อีกทั้งยังมีส่วนในการช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อีกด้วย ทั้งนี้กังหันลมที่ดีนั้นจะต้องมีประสิทธิภาพสูงและสามารถทำงานได้เมื่อความเร็วลมต่ำ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการออกแบบส่วนปลายของใบกังหันที่มีการปิดเฉียง 45° มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของกังหันลมสูงขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศด้านหลังของใบเท่ากับ 1.19 และพบว่าประสิทธิภาพของกังหันสูงสุดเท่ากับ 27% ในขณะที่ยังอัตราส่วนของความเร็วเชิงมุมต่อความเร็วลม (V_w/V_a) เท่ากับ 0.8 ซึ่งจากการปิดปลายใบกังหันแบบเฉียง 45° เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของด้านหลังของใบกังหันลดลง ทั้งนี้สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศเป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนา

ประสิทธิภาพพลังงานลมของกังหันลมให้สูงขึ้น และเหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทยซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง นอกจากนี้การปรับปรุงพื้นผิวด้านหลังของใบให้เป็นหลุมหรือเป็นร่องเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ ในการสร้างการหมุนวนของอากาศเพื่อลดสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศสำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานของกังหันลมแบบแกนแนวตั้งได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wirachai R. Development and demonstration of prototype wind turbine technology for power generation with low wind speed. Research report, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 2008. (in Thai)
- [2] Pornthep S, Preecha K. Efficiency comparison of pan type model in the vertical axis wind turbines as lenz ii type in wind tunnel model using design of experimental, Proceedings of the 6th Ubon Ratchathani University Research Conference, 2012;326-335. (in Thai)
- [3] Kasemsan M, Ariyawat P. Overall wind resource potential of thailand at 100 meters above ground - first results derived from a developed dual highresolution info-database system of wind resource, Thesis report of Joint Graduate School of Energy and Environment – JGSEE, KMUTT. (in Thai)
- [4] Ben FB, Robert ES, Louis VF. Wind Tunnel Performance Data for Two- and Three-Bucket Savonius Rotors, National Technical Information Service. U. S. Department of Commerce. 1977.
- [5] Knut OR, Jakob WH, Carl. JC. Calibration of partial safety factors for design of wind- turbine rotor blades against fatigue failure in flap wise bending, Proceedings of the 1996 European Union wind energy conference, Goteborg Sweden, 20-24 May 1996; 926-933.
- [6] Burcin DA, Mehmet A. The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors. Renewable Energy. 2010; 35: 821–829.
- [7] Pope K, Rodrigues V, Doylea R, sopelas A, Gravelins R, Naterer GF, Tsang E. Effects of stator vanes on power coefficients of a zephyr vertical axis wind turbine. Renewable Energy. 2010; 35: 1043-1051.
- [8] Sareni B, Abdelli A, Roboam X, Tran DH. Model simplification and optimization of a passive wind turbine generator. Renewable Energy. 2009; 34: 2640–2650.
- [9] Gerald M, Mark FJ, Euan S. Vertical axis resistance type wind turbines for use in buildings. Renewable Energy. 2009; 34: 1407–1412.

[10] Qasim AY, Usubamatov R, Zain ZM. Investagation and design impeller type vertical axis wind turbine. Aust. J. Basic & Appl. Sci. 2011; 5 (12): 121-126.

[11] Ramadan A, Yousef K, Said M, Mohamed MH. Shape optimization and experimental validation of a drag vertical axis wind turbine. Energy. 2018; 151: 839—853.