

การศึกษาเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับสมรรถนะของกังหันลมแบบจโรมิลล์ที่ใช้
แพนอากาศชนิดสมมาตร
Theoretical Study of Performances of Gyro-mill Wind Turbine with
Symmetrical Airfoil

ชนะชาติ คำวาระ, ชัยทัต โพธิ์พล, ขจรศักดิ์ ศรีทอง, วิภาวี สุวรรณกนก, อิศระ วิภาตะวาณิช, ปฎิภาณ ยืนยง,
วีรภัทร์ มัลย์กฤษณะชาลี และวารเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

*ติดต่อ: worapiro@eng.buu.ac.th, โทรศัพท์: 038 102222 ต่อ 3385

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับสมรรถนะของกังหันลมแกนตั้งที่ใช้แพนอากาศสมมาตรชนิด NACA0015 ที่ความเร็วลมต่ำ โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะอาศัยข้อมูลสัมประสิทธิ์แรงต้านและแรงยกจากงานวิจัยที่ตีพิมพ์ไปแล้วในอดีต แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลที่เผยแพร่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น จึงต้องมีการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้านจากวิธีพานาลผสมซึ่งเป็นงานวิจัยอีกชั้นหนึ่งจากกลุ่มวิจัยที่ทำงานร่วมกันจากแบบจำลองที่ได้ จะทำให้สามารถทำนายแรงที่ใช้จุดกังหันให้หมุน แรงบิด และกำลังที่ได้รับจากกังหันได้ โดยในการศึกษานี้ ได้ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของกังหันให้เท่ากับ 350, 500, 800, 950 rpm ตามลำดับ นอกจากนี้ อิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่อสมรรถนะของกังหันก็ได้ถูกศึกษาในงานวิจัยนี้อีกด้วย

คำหลัก: กังหันลม, แพนอากาศ NACA0015, สมรรถนะของกังหันลม

Abstract

The present study investigates the performance of gyro-mill wind turbine with three symmetrical airfoils of NACA0015 at low wind speed. The simulation is done with obtaining the drag and lift coefficient from published literature. Nevertheless, the data depended on attack angle are limited. Then, the panel method developed by the other research team is used to predict the other range. The tangential force, torque and power at 350, 500, 650, 800, 950 rpm are investigated. The effect of wind velocity is also studied.

Keywords: airfoil of NACA0015, gyro-mill wind turbine, performance of wind turbine

1. บทนำ

ปัจจุบัน ความต้องการพลังงานที่ใช้ในการพัฒนา
มาตรฐานการครองชีพของมนุษย์เพิ่มขึ้นตลอดเวลา
พลังงานที่ใช้กว่า 80 เปอร์เซ็นต์เป็นพลังงานจาก
เชื้อเพลิงฟอสซิลที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะ

โลกร้อน และปริมาณสำรองที่มีอยู่ก็มีปริมาณน้อยลง
รวมทั้งการเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการและเทคโนโลยี
ที่สามารถค้นคว้าพัฒนาในการที่จะหาพลังงานที่
สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิล เช่น
พลังงานแสงอาทิตย์พลังงานลม พลังงานคลื่นทะเล

TSF-2039

พลังงานน้ำ พลังงานใต้พิภพ พลังงานชีวมวล พลังงานเซลล์เชื้อเพลิง พลังงานสาหร่าย เป็นต้น กังหันลมเป็นเครื่องจักรกลประเภทหนึ่งที่สามารถนำพลังงานลมมาเป็นพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ทดแทนพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีสนับสนุนให้ใช้พลังงานลมเป็นพลังงานทดแทนซึ่งมีศักยภาพ 1,600 เมกะวัตต์ โดยได้บรรจุอยู่ในแผนพลังงานทดแทน 15 ปี พ.ศ. 2551-2565 ของกระทรวงพลังงาน โดยกำหนดการใช้พลังงานลมเป็นพลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้าจากในปีเริ่มโครงการ 1 เมกะวัตต์ เป็น 800 เมกะวัตต์เมื่อสิ้นสุดอายุโครงการ พลังงานลมที่ใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับการผลิตไฟฟ้านี้ ถูกกำหนดให้มีปริมาณพลังงานมากกว่าที่ได้จากพลังงานน้ำ ที่เมื่อสิ้นสุดโครงการจะมีเพียง 324 เมกะวัตต์

ในการศึกษานี้ซึ่งเป็นโครงการวิศวกรรมสำหรับนิสิตในระดับปริญญาตรี 2 รุ่น ซึ่งในรุ่นที่ผ่านมาได้ทำการสร้างและพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณสมรรถนะของกังหันลมแกนดิ่งที่ใช้แพนอากาศเป็นตัวขับเคลื่อน และในปัจจุบัน จะเป็นการศึกษาเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับสมรรถนะของกังหันลมที่ใช้แพนอากาศชนิดต่างๆ โดยในงานวิจัยนี้ จะนำเสนอการศึกษาเชิงทฤษฎีสำหรับแพนอากาศชนิดสมมาตร

2. ทฤษฎีและข้อมูลที่จำเป็น

- แรงยกต่อความยาว

แรงยกของอากาศที่กระทำกับแพนอากาศต่อความยาวของแพนอากาศ สามารถคำนวณได้ดังนี้

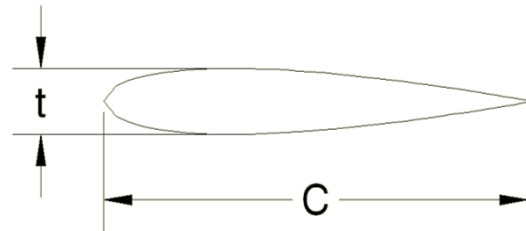
$$\frac{F_L}{l} = C_L \times 0.5 \times \rho \times v^2 \times c \quad \dots (2.1)$$

- แรงต้านต่อความยาว

แรงต้านของอากาศที่กระทำกับแพนอากาศต่อความยาวของแพนอากาศ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{F_D}{l} = C_d \times 0.5 \times \rho \times v^2 \times c \quad \dots (2.2)$$

ในการทดลองครั้งนี้ แพนอากาศที่ใช้ในการศึกษา คือ NACA0015 ซึ่งกำหนดเปอร์เซ็นต์ความยาว (Chord line) ต่อความหนาสูงสุดของปีกอากาศ (Thickness) ดังนี้



รูปที่ 2.1 แพนอากาศที่ใช้ในการศึกษา

เมื่อ t คือ ความหนา (Thickness) = 0.015 m

c คือ ความยาวคอร์ด (Chord Line) = 0.3 m

l คือ ความยาวของแพนอากาศ = 0.6 m

ซึ่งเป็นระยะที่ตั้งฉากกับรูปที่ 2.1

นอกจากนี้ จำเป็นจะต้องอาศัยข้อมูลสำหรับสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้าน ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์แรงยกสำหรับ NACA0015

Angle of attack	Lift Coefficient (C_L) ที่ Re ต่างๆ			
	25,000	50,000	75,000	100,000
0	0	0	0	0
1	0.081	0.122	0.122	0.122
2	0.191	0.244	0.244	0.244
3	0.301	0.366	0.366	0.366
4	0.399	0.487	0.487	0.487
5	0.493	0.562	0.608	0.608
6	0.575	0.653	0.684	0.727
7	0.54	0.731	0.763	0.778
8	0.536	0.799	0.838	0.855
9	0.639	0.836	0.866	0.913
10	0.724	0.714	0.695	0.854
11	0.798	0.796	0.794	0.775
12	0.867	0.866	0.864	0.863
13	0.933	0.932	0.932	0.93
14	0.996	0.995	0.994	0.993
15	1.054	1.054	1.053	1.052

อย่างไรก็ตาม เมื่อมุมปะทะของแพนอากาศมีค่าไม่เป็นไปตามตารางที่ 2.1 และ 2.2 ก็จำเป็นที่จะต้องอาศัยโปรแกรมสำหรับคำนวณหา C_L และ C_D โดยวิธีพานลสมซึ่งเป็นโครงการวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกัน

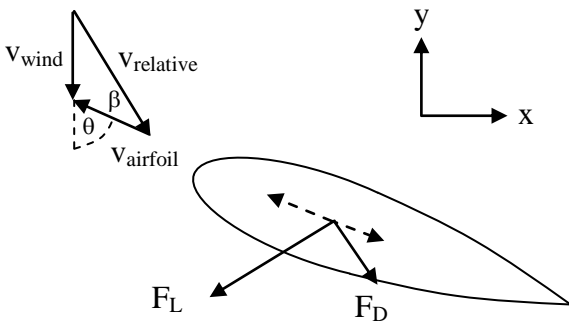
TSF-2039

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์แรงต้านสำหรับ NACA0015

Angle of attack	Drag Coefficient (C _d) ที่ Re ต่าง ๆ			
	25,000	50,000	75,000	100,000
0	0.0304	0.02006	0.01773	0.01619
1	0.03056	0.01995	0.01765	0.01612
2	0.03141	0.02079	0.01798	0.01647
3	0.03223	0.02334	0.02085	0.01889
4	0.03295	0.025	0.02176	0.01976
5	0.03501	0.02652	0.02262	0.02069
6	0.03846	0.02897	0.02554	0.02273
7	0.05051	0.03217	0.02815	0.02591
8	0.06749	0.03705	0.03172	0.02937
9	0.07314	0.06206	0.03782	0.03335
10	0.08074	0.07141	0.06894	0.04626
11	0.0914	0.07788	0.07298	0.07176
12	0.10169	0.08727	0.0807	0.07688
13	0.11986	0.09884	0.08963	0.08596
14	0.1334	0.11037	0.10036	0.09432
15	0.14637	0.12389	0.11058	0.10559

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์กำลังที่ได้จากกังหันลมนั้น จะเริ่มจากการพิจารณาแรงที่อากาศกระทำกับแพนอากาศสมมาตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แรงที่อากาศกระทำกับแพนอากาศ

จากรูปที่ 3.1 ความเร็วสัมพัทธ์ของลมที่กระทำกับกังหันลมจะอยู่ในแนวราบ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงยกและแรงต้านในทิศทางที่ตั้งฉากและขนานกับความเร็วมวล เมื่อแตกแรงยกและแรงต้านเข้าสู่แนวแกนของแพนอากาศก็จะพบว่า แรงย่อยที่ได้จากแรงยกจะมีค่ามากกว่า ทำให้เกิดเป็นแรงจุดไปข้างหน้า ซึ่งก็จะทำให้กังหันลมหมุนและก่อให้เกิดกำลังงาน

สำหรับสมการสมการที่สำคัญบางส่วน ที่ใช้ในการคำนวณนั้น จะแสดงดังต่อไปนี้

- ความเร็วในแนวแกน x และ y สามารถหาได้ดังนี้

$$v_x = -v_{\text{airfoil}} \sin \theta \quad \dots (3.1)$$

$$v_y = v_{\text{airfoil}} \cos \theta - v_{\text{wind}} \quad \dots (3.2)$$

- แรงในแนวแกน normal และ tangent สามารถหาได้ดังนี้

$$F_t = F_L \sin \beta - F_D \cos \beta \quad \dots (3.3)$$

$$F_n = -F_L \cos \beta - F_D \sin \beta \quad \dots (3.4)$$

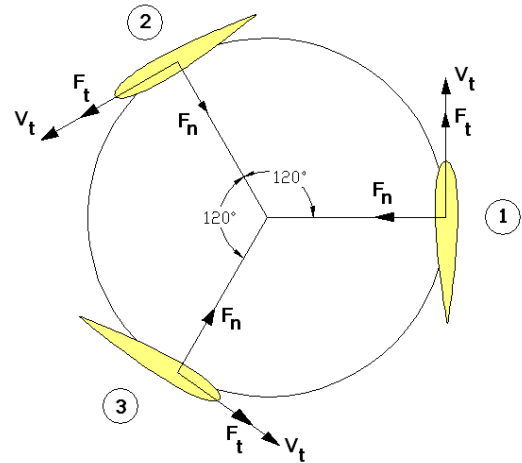
- กำลังที่ได้จะสามารถหาได้จากสมการที่ (3.6) ดังนี้

$$\text{Torque} = F_t v_{\text{airfoil}}$$

$$\dots (3.5)$$

$$\text{Power} = T \omega \quad \dots (3.6)$$

ในแบบจำลองนี้ จะใช้แพนอากาศทั้งหมด 3 อัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



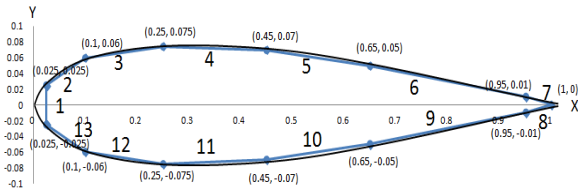
รูปที่ 3.2 กังหันลมที่ใช้แพนอากาศสมมาตร

เพราะฉะนั้นนั้น ในแบบจำลองนี้ จะคำนวณกำลังที่ได้จากแพนอากาศ 3 อัน แล้วนำมารวมกัน โดยให้มีมุมของการหมุนต่างกัน 120°

ประเด็นที่ซับซ้อนสำหรับการคำนวณตามแบบจำลองนี้ ก็คือ C_D และ C_L ที่ปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลวิจัย จะไม่ครอบคลุมมุมปะทะทั้งหมด เพราะฉะนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องหาแรงที่กระทำกับแพนอากาศสำหรับมุมปะทะอื่นๆ ซึ่งจะอาศัยวิธีของพหุคูณผลสม ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ได้จากโครงการวิศวกรรมของนิสิตในระดับปริญญาตรีที่ได้ดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องเช่นกัน

TSF-2039

จากรูปที่ 3.3 แสดงการแบ่งพานเนลสำหรับแพนอากาศ NACA 0015 โดยพานเนลแต่ละชนิดจะเป็นซอร์สและวอร์เท็กซ์พานเนล



รูปที่ 3.3 การแบ่งพานเนลสำหรับ NACA 0015

ซอร์สและวอร์เท็กซ์พานเนล จะเป็นการนำซอร์สและวอร์เท็กซ์มาต่อเป็นพานเนล ซึ่งจะได้สมการอินทิเกรตดังสมการที่ (3.7)

$$\phi_i(x_i, y_i) = V_\infty x + \sum_{j=1}^m \frac{\lambda_j}{2\pi} \int \ln r_{ij} ds_j + \sum_{j=1}^m \frac{\gamma_j}{2\pi} \int \theta_{ij} ds_j \quad \dots (3.7)$$

โดยอาศัยเงื่อนไขการไหลศักย์อัดตัวไม่ได้ผ่านวัตถุ 2 มิติ จะสามารถหาอนุพันธ์ของสมการที่ (3.8) ได้ดังนี้

$$0 = V_\infty \cos \beta_i + \sum_{j=1}^m \lambda_j \int \frac{\partial}{\partial n_i} \ln r_{ij} ds_j + \sum_{j=1}^m \gamma_j \int \frac{\partial}{\partial n_i} \theta_{ij} ds_j \quad \dots (3.8)$$

จากสมการที่ (3.8) ลักษณะของสมการจะอยู่ในรูปที่ซับซ้อน ซึ่งจะอาศัยการเขียนโปรแกรมในการแก้สมการเพื่อหาค่า λ และ γ แล้วจึงแทนค่ากลับไปในสมการที่ (3.7) จากนั้น จึงจะสามารถหาความเร็วและความดันไร้หน่วยได้จากสมการที่ (3.9), (3.10) และ (3.11) ดังนี้

$$\frac{v_x}{V_\infty} = 1 + \lambda'_j \sum_{j=1}^m \int \frac{(x_i - x_j)}{j(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} ds_j + \gamma'_j \sum_{j=1}^m \int \frac{-(y_i - y_j)}{j(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} ds_j \quad \dots (3.9)$$

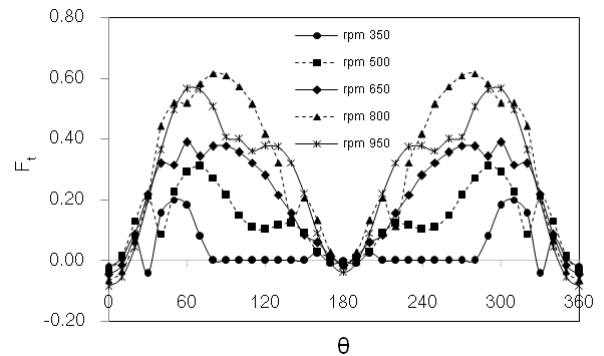
$$\frac{v_y}{V_\infty} = \lambda'_j \sum_{j=1}^m \int \frac{(y_i - y_j)}{j(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} ds_j + \gamma'_j \sum_{j=1}^m \int \frac{(x_i - x_j)}{j(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} ds_j \quad \dots (3.10)$$

$$c_p = 1 - \left(\frac{V_x^2}{V_\infty^2} + \frac{V_y^2}{V_\infty^2} \right) \quad \dots (3.11)$$

4. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์

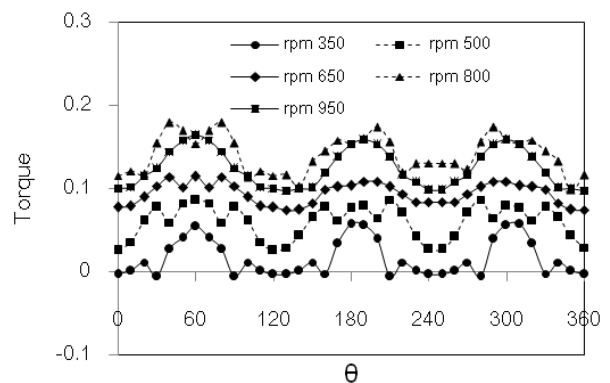
จากรูปที่ 4.1 แสดงแรงในแนวสัมผัสที่ได้จากกังหันที่มุมของการหมุนต่างๆ และที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยตำแหน่งที่เป็น 0 องศา จะเป็นตำแหน่งที่แสดงในรูป 3.2

จากรูป จะสังเกตว่า แรงที่เกิดขึ้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากตำแหน่งที่ 0 องศา ไปจนถึงประมาณ 90 องศา แล้วจะมีค่าลดลงจนกระทั่งต่ำสุดที่ 180 องศา



รูปที่ 4.1 แรงในแนวสัมผัสที่มุมและ rpm ต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 แสดงแรงบิดที่มุมต่างๆ โดยจะพบว่า แรงบิดจะเพิ่มขึ้นตามรอบการหมุนที่เพิ่มขึ้น และจะสังเกตเห็นว่า แรงบิดจะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วงๆ โดยแรงบิดจะมีค่ามากที่สุดอยู่ 3 ช่วง คือ 60, 160 และ 300 องศา

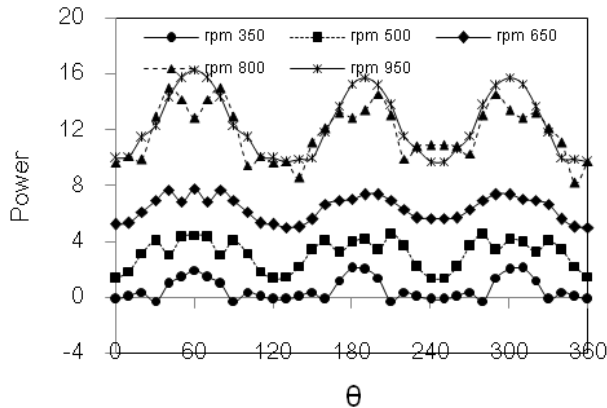


รูปที่ 4.2 แรงบิดที่มุมและ rpm ต่างๆ

TSF-2039

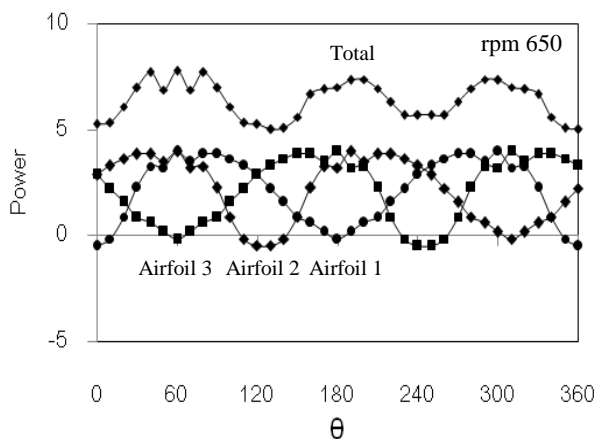
จากรูปที่ 4.3 แสดงกำลังที่ได้จากกังหันลมที่มุมต่าง ๆ โดยจะพบว่า กำลังจะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วง ๆ โดยกำลังจะมีค่ามากที่สุดอยู่ 3 ช่วง คือ 60, 160 และ 300 องศา เช่นเดียวกับแรงบิด

นอกจากนี้ กำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากความเร็วรอบ 350 ไปจนถึง 950 rpm และจะค่อนข้างคงที่เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 850 เป็น 900 rpm

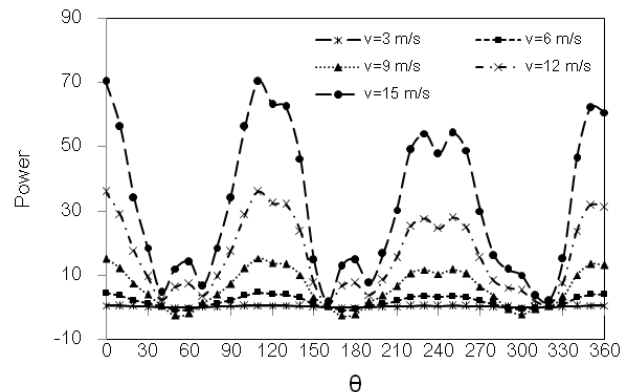


รูปที่ 4.3 กำลังที่มุมและ rpm ต่าง ๆ

ในรูปที่ 4.4 แสดงกำลังที่ความเร็วรอบ 650 rpm สำหรับแพนอากาศแต่ละใบ โดยจะพบว่า กำลังที่ได้จากแพนอากาศแต่ละใบจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วง ๆ โดยอาจลดลงจนต่ำกว่า 0 นั่นก็หมายถึงเกิดแรงต้านจากอากาศจนทำให้แพนอากาศหมุนย้อนกลับ แต่เมื่อนำแพนอากาศหลายใบมาใส่ไว้ในเพลลาเดียวกัน โดยในแบบจำลองนี้ ใช้แพนอากาศ 3 อัน ทำมุมกัน 120 องศา ก็จะช่วยให้กำลังที่ได้ไม่ขาดช่วง และกังหันไม่เกิดการหมุนย้อนกลับ



รูปที่ 4.4 กำลังของแพนอากาศแต่ละใบที่มุมต่าง ๆ



รูปที่ 4.5 กำลังที่มุมและความเร็วลมต่าง ๆ

รูปที่ 4.5 แสดงกำลังที่ได้จากกังหันลมที่ความเร็วลมต่าง ๆ โดยจะพบว่า ที่ความเร็วลมสูงขึ้น กำลังที่ได้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

จากผลลัพธ์ที่ได้ ทำให้ทราบแนวโน้มของกำลังสูงสุดที่ได้จากกังหัน แต่ในการสร้างและใช้งานจริง จะพบว่า กำลังที่ได้จะน้อยกว่าที่ได้จากแบบจำลองนี้ แต่มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน

5. สรุป

5.1 ในงานวิจัย ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาสมรรถนะของกังหันลม แกนตั้งที่ใช้แพนอากาศสมมาตรเป็นใบพัด โดยแบบจำลองที่ได้ สามารถใช้ทำนายสมรรถนะสูงสุดของกังหันลมได้

5.2 กำลังที่ได้จากกังหันลมในหนึ่งรอบ จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วง ๆ โดยจะมีค่าสูงสุดในช่วง 60, 180 และ 300 องศา โดยประมาณ

5.3 กำลังที่ได้จากกังหันลมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามความเร็วลมที่เพิ่ม แต่จะเพิ่มขึ้นน้อยลงเมื่อความเร็วรอบมีค่าเท่ากับ 800 และ 950 rpm

6. รายการสัญลักษณ์

- c ความยาวคอร์ด (m)
- C_L สัมประสิทธิ์แรงยก
- C_D สัมประสิทธิ์แรงต้าน
- C_p สัมประสิทธิ์ของควมดัน

TSF-2039

F_D	แรงต้าน (N)
F_L	แรงยก (N)
F_N	แรงในแนวตั้งฉากกับเส้นทางการหมุน (N)
F_T	แรงในแนวเส้นทางการหมุน (N)
l	ความยาวของแพนอากาศ (m)
r	ระยะในแนวรัศมี (m)
s	ความยาวของพาเนล (m)
t	ความหนา (m)
v	ความเร็ว ($m s^{-1}$)
$v_{airfoil}$	ความเร็วของแพนอากาศ ($m s^{-1}$)
v_{wind}	ความเร็วของลม ($m s^{-1}$)
θ	มุมที่วัดจากแกน x
β	มุมระหว่างแกน x กับแกน n
ρ	ความหนาแน่น ($kg m^{-3}$)
λ	ความแข็งแรงของซอร์ส
γ	ความแข็งแรงของวอร์เท็กซ์

- [4] A.M. Kuethe, C.Y. Chow, Foundations of Aerodynamics: Bases of Aerodynamic Design, 5th Edition, John Wiley & Sons Inc., New York (NY), USA.
- [5] K. W. McAlister and R. K. Takahashi, NACA 0015 Wing Pressure and Trailing Vortex Measurements, <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19920001763.pdf>, February, 2013

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ จนสามารถพัฒนาแบบจำลองต้นแบบขึ้นมาได้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] BP Statistical Review of World Energy 2011, <http://www.bp.com/bodycopyarticle.do?categoryId=1&contentId=7052055>, ตุลาคม 2554
- [2] แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี พ.ศ. 2551-2565, http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/.../REDP_15_yrs_3pages.pdf, ตุลาคม 2554
- [3] J.F. Manwell, J.G. McGowen, A.L. Rogers, USA wind energy explained theory: design and application, University of Massachusetts 2002