BEN38

Go Back

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพรอบการทำงานสูงสุดของใบกังหันลม ผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์

Analysis on Maximum Rotational Speed of 20 kW Wind Turbine Blade Performance

สว่าง ชาติทอง[1], วิรชัย โรยนรินทร์[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3497 โทรสาร 0-2549-3432 E-mail: wirachairoynarin@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพรอบการทำงานสูงสุดของ ใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ขนาด 20 กิโลวัตต์ ในการทดสอบได้ใช้ใบกังหันลมต้นแบบที่มีมุมบิดโคนใบ 8 องศา ปลายใบบิด 2 องศา กับใบกังหันลมต้นแบบที่มีมุมบิดโคนใบ 8 องศาตลอดทั้งใบ โดยการย่อส่วนกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ ลงมาด้วยมาตรส่วน 1 ต่อ 15 จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.30 เมตร มาเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.82 เมตร ทำการทดสอบในช่วงความเร็วลมเฉลี่ยระหว่าง 2.5 - 6.5 เมตรต่อวินาที ด้วยชุดทดสอบประสิทธิภาพกังหันลม จำนวน 3 ใบต่อโรเตอร์ ผลจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทดสอบพบว่าใบกังหันลมต้นแบบที่มีมุมบิดโคนใบ 8 องศา ปลายใบบิด 2 องศา ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาทีให้รอบการทำงานสูงสุด 560 รอบต่อนาที คิดเป็นอัตราส่วนความเร็วปลายใบประมาณ 7 และมีประสิทธิภาพรอบการทำงานที่สูงกว่า ใบกังหันลมต้นแบบที่มีมุมบิดโคนใบ 8 องศาตลอดทั้งใบ โดยเฉลี่ยประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ทุกช่วงความเร็วลม

คำสำคัญ: พลังงานลม, กังหันลมผลิตไฟฟ้า, การออกแบบใบกังหันลม

Abstract

The objective of this research is to analyze the performance of the blade shape affected to the tip speed ratio of the 20 kW wind turbine rotor. Two rotor characteristics were analyzed; firstly the root and tip of the blade fixed angle of 8 degree and others blade tip reduces to 2 degree of pitch angle. The model is reducing in the ratio of 1:15 which is the blade length from 12.30 to 0.82 meter for this study. The results from the test rig shows that at wind speed of 4 m/s perform 560 rpm which is approximately tip speed ratio of 7 for the second blade configuration. The results of this study shows that the blade configuration of 8 degree pitch angle at root to 2 degree at the tip is higher about 9 % in the rotation performance on every incoming wind speed, suitable to be used in low wind speed zones.

Keywords: Wind energy, Wind machine, Wind Turbine Design

1. คำนำ

ความเร็วรอบของใบกังหันลมมีความสำคัญ ต่อการออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า กับขนาดของเพลาส่งกำลัง มุมบิดใบของกังหันแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ วัสดุที่ใช้สร้างใบกังหันลม ที่สำคัญที่สุด กังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ หมุนได้เป็นกี่เท่าของความเร็วลมที่มาปะทะ เรียกอัตราส่วนนี้ว่า อัตราส่วนความเร็วปลายใบกังหันลม(Tip Speed Ratio) ซึ่งมีผลต่อการควบคุมการทำงาน และใช้ในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าหมุนได้ โดยการได้เปรียบเชิงกลของแรงยกตัว หรือประสิทธิภาพของแรงยกตัวของใบกังหัน หากลักษณะของใบกังหันลมสามารถได้เปรียบเชิงกล ในเรื่องของการไหลของอากาศที่ผ่านใบกังหันลมมากเท่าใด ก็จะทำให้รอบการทำงานของใบกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ สูงตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพพื้นที่ที่มีความเร็วลมต่ำอย่างประเทศไทย หรือในโซนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3-4 เมตรต่อวินาที จึงจำเป็นต้องหารูปร่างใบกังหันลมที่สามารถหมุนได้เร็วกว่าความเร็วลมที่มาปะทะใบกังหันให้สูง เพื่อลดจำนวนรอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใบกังหันลมจำเป็นทราบคุณสมบัติความแข็งเกร็ง ความแข็งแรง และโมเมนต์ความเฉื่อย ซึ่งการนำไปสร้างให้มีขนาดเท่าของจริงขึ้นมาทดสอบ มีความยุ่งยาก และค่าใช้จ่ายสูงมาก อีกทั้งจำเป็นต้องควบคุมให้ได้ตามความเร็วลมต่างๆ และมีอันตรายเป็นอย่างสูง หากใบกังหันหมุนอยู่ในสภาพ ฟรีโหลด ซึ่งอาจทำให้ใบกังหันลมหมุนเกินกว่าความเร็วรอบที่กำหนด เนื่องจากมุมปะทะของลม ทำให้เกิดแรงผลักตัว(Thrust Force) มากกว่าแรงยกตัว (Lift Force) หรือเกิดมุมเชิดวิกฤต (Stall Angle) ซึ่งทำให้ใบกังหัน และโครงสร้างกังหันฉีกขาดได้ ดังนั้นในบทความนี้จึงได้ทำการจำลอง หรือย่อส่วนกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ ลงมา 15 เท่า เพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการออกแบบต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีโมเมนตัม (Momentum Theory)

พลังงานจากลมนั้นเป็นพลังงานจลน์ ในการวิเคราะห์ให้ใช้หลักการที่เรียกว่า ทฤษฎีโมเมนตัม ตามสมการที่ 1

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A V_0^3 C_P \qquad (1)$$

เมื่อ P_W = พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม (Watt)

ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ @25°C (1.225 kg/m^3)

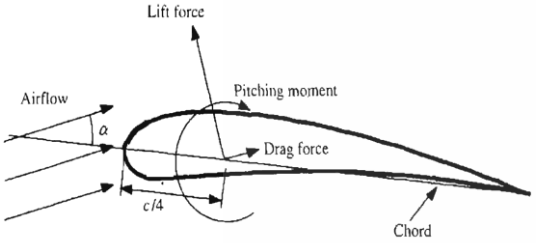
A = พื้นที่กวาดของใบพัด (m^2)

V_0 = ความเร็วลมทางด้านเข้าและทางด้านออก (m/s)

C_P= ประสิทธิภาพของกังหันลม

2.2 การเกิดของแรงยก และแรงผลัก(Lift force and Drag force)

แรงกระทำต่อแพนอากาศ(Airfoil) และแรงดังกล่าวที่อยู่ในทิศที่ตั้งฉากกับการไหลจะถูกเรียกว่า “แรงยก” (Lift force) แทนด้วยสัญลักษณ์ “L“ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนผิวทั้งสองด้านของแพนอากาศซึ่งเกิดจากความเค้นเฉือนที่ผิว และแรงจากค่าความดันแตกต่างที่อยู่ในทิศที่ขนานกับการไหลจะถูกเรียกว่า “แรงผลัก” (Drag force) แทนด้วยสัญลักษณ์ “D” ดังแสดงที่รูปที่ 1



รูปที่ 1 การเกิดแรงยกและ แรงผลัก บนแพนอากาศ (Air foil) [3]

ค่าแรงยกและแรงผลัก จะได้จากการทดสอบแพนอากาศดังกล่าวในอุโมงค์ลม ซึ่งมักจะแสดงค่าแรงยกและแรงหน่วงอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์แรงยก C_L และสัมประสิทธิ์แรงผลัก C_D โดยที่นิยามของค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองจะเขียนได้เป็น

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho A v^2} \quad (2)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho A v^2} \quad (3)$$

เมื่อ C_L = สัมประสิทธิ์แรงยก

C_D = สัมประสิทธิ์แรงผลัก

L = แรงยก (Lift force, N)

D = แรงผลัก (Drag force, N)

ρ_{Air} = ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

A = พื้นที่ระนาบของแพนอากาศ (m^2)

V = ความเร็วลม (m/s)

2.3 อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip Speed Ratio)

ค่าสมรรถนะของกังหันลมที่เป็นที่สนใจก็ คือ กำลังงาน ซึ่งนำมาเสนอในรูปของเทอมไร้มิติเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงาน C_P กับค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip Speed Ratio, $R\Omega$ / V_∞) ตัวอย่างของค่าสมรรถนะดังกล่าวถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2 เลือกลักษณะของใบกังหันลมเพื่อหา อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip Speed Ratio) คือ การถือว่าใบกังหันหมุนทำงานประสิทธิภาพดีสุดที่ (TSR) เท่าใด กำหนดได้จากการวิเคราะห์ด้วย CFD หรือ สร้างทดสอบจริงขนาดเล็กได้ X = 7 เมื่อ

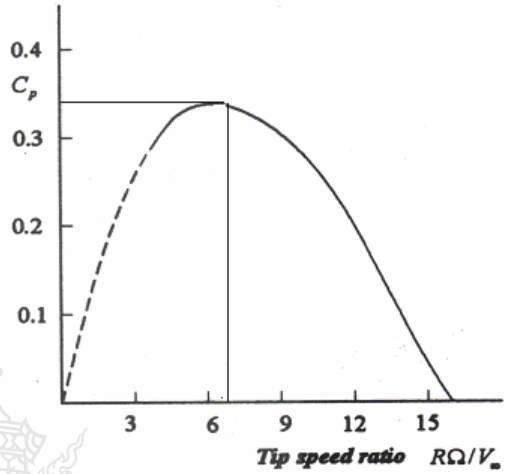
$$X = \frac{U}{V} = \frac{R\Omega}{V} \quad (4)$$

เมื่อ X = อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip Speed Ratio)

Ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

R = รัศมีใบกังหันลม (m)

V = ความเร็วลม (m/s)



รูปที่ 2 สมรรถนะของกังหันลมแนวนอน [4]

2.4 การวิเคราะห์การออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 kW

ให้เลือกจุดพลังงานสูงสุดว่าต้องผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาให้ได้ 20 kW ที่ความเร็วลมทำได้นั้น ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของใบกังหันและประสิทธิภาพรวมของระบบทั้งหมด (C_P) ดังนั้นในระบบหากกำหนดให้ระบบทั้งหมดสามารถแปลงพลังงานลมที่พัดเข้ามาเป็นพลังงานไฟฟ้า 20 kW นั้นคือ C_P ต้องรวมการสูญเสียจากใน C_P ใบกังหัน(Blade), C_P จากระบบส่งกำลัง(Drive) และ C_P ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ซึ่งจากการทั้งหมดโดยประมาณ $C_{P,Total}$= $C_{P,B}$+$C_{P,D}$+$C_{P,G}$ ได้ประมาณ 0.35 นั้นคือ $C_{P,Total}$ ของระบบทั้งหมด ดังนั้นหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของกังหันลม

$$20 \times 10^3 \text{ W} = 0.5 \times 1.225 \text{ kg/m}^3 \times A(\pi r^2) \times V^3 \times C_P$$
$$= 0.5 \times 1.225 \times (\pi r^2) \times 9^3 \times 0.35$$
$$20 \times 10^3 \text{ W} = 490.717 \times r^2$$

ดังนั้น r คือรัศมีใบกังหันมีค่า r = 6.38 , ~ 6.40 เมตร ให้ V = 9 m/s เมื่อได้ขนาดของรัศมีใบกังหัน คือ 6.40 เมตร แล้วก็คำนวณรอบการหมุนตอนเริ่มต้น (Cut in) เมื่อ X = 7 , V = 2 m/s, R=6.40 เมตร

$$X = \frac{U}{V} = \frac{R\Omega}{V}$$
$$7 = ((6.40 \times 2 \times \pi \times N) / 60) / 2$$
$$N = 20.89 \text{ rpm} \cong 21 \text{ rpm}$$

ดังนั้นรอบที่ประมาณ 21 รอบต่อนาทีนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีแรงดันไฟฟ้าเพียงพอที่จะทำให้เครื่องเชื่อมต่อระบบฟ้าสามารถจะเชื่อมต่อกับระบบสายส่ง 50 Hz, 3 phases ได้ นั้นคือที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาทีรอบการทำงานของใบกังหันจะอยู่ที่

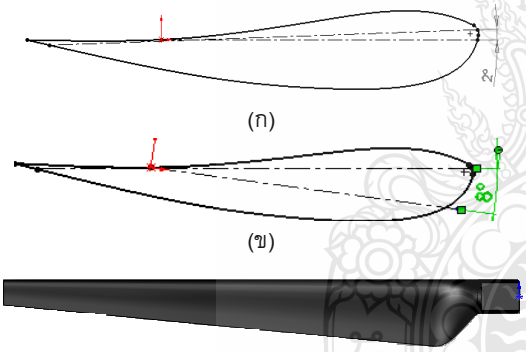
$$7 = ((6.40 \times 2 \times \pi \times N) / 60) / 9$$

$$N = 94.04 \text{ rpm} \cong 95 \text{ rpm}$$

นั้นคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีพลังงานออกมา 20 kW ที่ 95 rpm ระบบการทำงานของกังหันลมต้องคอยควบคุมรอบการทำงานโดยให้ระบบ Furling ของหางกังหันลม เริ่มพับหางที่ความเร็วลมประมาณ 9.5 เมตร/วินาที และต้องส่งถ่ายพลังงานเพื่อหยุดกังหันลมให้ได้ที่ความเร็วลม 12 เมตรต่อวินาที เนื่องจากใบกังหันและโครงสร้างที่ออกแบบมาที่ความเร็วลมต่ำนั้นเอง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยได้ทำการทดสอบใบกังหันลม 2 แบบ เพื่อเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพความเร็วรอบการทำงานสูงสุด ในการทดสอบได้ใช้ใบกังหันลมต้นแบบที่มีมุมบิดโคนใบ 8 องศา ปลายใบบิด 2 องศา(Blade Type 8/2) กับใบกังหันลมต้นแบบที่มีมุมบิดโคนใบ 8 องศาตลอดทั้งใบ (Blade Type 8/8) ตามรูปที่ 3

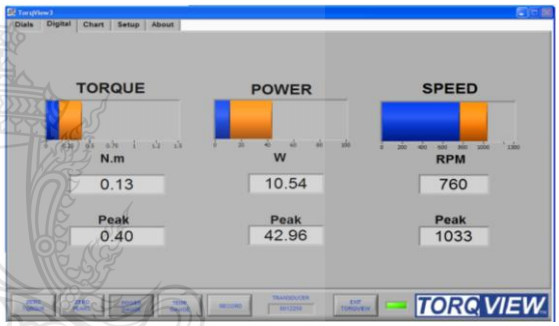


รูปที่ 3 (ก) ลักษณะปลายใบบิด 2 องศา (ข) ปลายใบบิด 8 องศา (ค) ลักษณะรูปทรงใบที่ใช้ในการทดสอบ [6]

รูปที่ 4 ลักษณะโรเตอร์ที่ใช้กับชุดทดสอบประสิทธิภาพกังหันลม

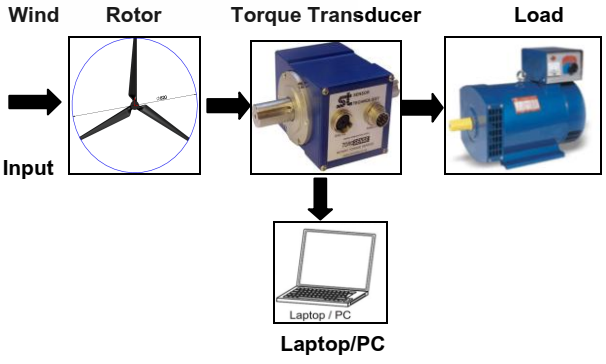
โดยทำการย่อส่วนกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ ลงมาด้วยมาตรส่วน 1 ต่อ 15 จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.30 เมตร มาเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.82 เมตร ทำการทดสอบในช่วงความเร็วลมเฉลี่ยระหว่าง 2.5 - 6.5 เมตรต่อวินาที ด้วยชุดทดสอบประสิทธิภาพกังหันลม จำนวน 3 ใบต่อโรเตอร์ ตามรูปที่ 4

วิธีในการทดสอบจะแบ่งช่วงความเร็วลมทดสอบออกเป็น 9 ช่วง เริ่มต้นจากช่วงความเร็วลมเฉลี่ย 2.5 เมตรต่อวินาที โดยการปรับอินเวอร์เตอร์(Inverter Motor) ควบคุมรอบของมอเตอร์ ให้สามารถสร้างความเร็วลมให้อยู่ในช่วง 2–3 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะได้ความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.5 เมตรต่อวินาที จากนั้นบันทึกผลการทดสอบโดยดูจากโปรแกรม Torque View ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ตามรูปที่ 5 ซึ่งจะรับข้อมูลมาจาก Torque Transducer ทำการบันทึกค่าความเร็วรอบสูงสุด (Peak Speed) และค่าความเร็วรอบต่ำสุดของช่วงความเร็วลมดังกล่าวทำการบันทึกประมาณ 5 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยความเร็วรอบของแต่ละช่วงความเร็วลม จากนั้นทำการทดสอบที่ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที ปรับชุดควบคุมรอบของมอเตอร์ สร้างความเร็วลมให้อยู่ในช่วง 2.5-3.5 เมตรต่อวินาที ทำการทดลองเรื่อยๆ ไปจนถึงความเร็วลมเฉลี่ย 6.5 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5 หน้าจอประมวลผลของโปรแกรม Torque View

หลักการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพใบกังหันลม เมื่อเดินรอบมอเตอร์ต้นกำลังผลิตลม โดยการปรับอินเวอร์เตอร์(Inverter Motor) สร้างความเร็วลมให้อยู่ในช่วงทดสอบต่างๆแล้ว เมื่อลมมาปะทะชุดโรเตอร์ ก็จะหมุนส่งกำลังไปที่เพลาของเครื่องมือวัดทอร์ค (Torque Transducer) ตัวเครื่องมือวัดทอร์ค ก็จะส่งข้อมูลผ่านสายไปยัง Laptop/PC เพื่อประมวลผลด้วยโปรแกรม Torque View ตามลำดับดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในการทดสอบใบกังหันลม

Go Back

4. ผลการวิจัย

จากการทดสอบใบกังหันลมต้นแบบที่โคนใบบิด 8 องศาและปลายใบบิด 2 องศา (Blade Type 8/2) กับใบกังหันลมต้นแบบที่โคนใบบิด 8 องศา ตลอดทั้งใบ (Blade Type 8/8) ด้วยชุดทดสอบประสิทธิภาพกังหัน ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

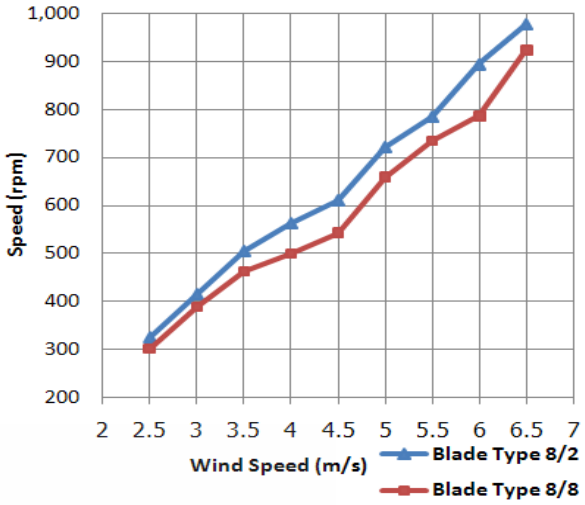
Wind Speed (m/s)	Blade Type 8/2 Speed (rpm)	Blade Type 8/8 Speed (rpm)
2.5	325	302
3.0	415	389
3.5	505	463
4.0	563	500
4.5	611	543
5.0	722	659
5.5	785	735
6.0	894	786
6.5	978	923

การบันทึกผลการทดสอบนั้นทุกค่าความเร็วลม (Wind Speed) ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยในช่วงความเร็วนั้น เช่น ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที คือความเร็วลมทดสอบอยู่ในช่วง 2.5-3.5 เมตรต่อวินาที เป็นต้น ส่วนความเร็วรอบของ Blade Type 8/2 และ Blade Type 8/8 ได้จากการที่เอาค่าความเร็วรอบสูงสุด (Peak Speed) และค่าความเร็วรอบต่ำสุดของช่วงความเร็วลมดังกล่าวทำการบันทึกประมาณ 5 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยความเร็วรอบของแต่ละช่วงความเร็วลม เช่น ที่ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบอยู่ที่ 415 rpm ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยความเร็วรอบ 5 ครั้ง ตามรูปที่ 7

		Blade Type : ...8-2.....					
Wind Speed (m/s)	Test No.	1 Speed (Rpm)	2 Speed (Rpm)	3 Speed (Rpm)	4 Speed (Rpm)	5 Speed (Rpm)	Average Speed (Rpm)
	max	416	442	416	440	464	436
2.5	min	269	170	207	210	213	214
	Aver.	343	306	312	325	339	325
	max	577	586	552	566	535	563
3	min	209	316	250	305	258	268
	Aver.	393	451	401	436	397	415
	max	669	654	631	654	636	649
3.5	min	361	347	277	403	415	361
	Aver.	515	501	454	529	526	505

รูปที่ 7 การหาค่าเฉลี่ย 5 ครั้งในหนึ่งช่วงความเร็วลม

ในส่วนของใบกังหันลมต้นแบบที่โคนใบบิด 8 องศาและปลายใบบิด 8 องศา (Blade Type 8/8) ก็ทำการทดสอบลักษณะเดียวกัน เมื่อได้ความเร็วรอบเฉลี่ยทั้ง 2 ใบแล้วนำมาวาดกราฟเส้นเปรียบเทียบผลระหว่างใบกังหันลมต้นแบบทั้ง 2 แบบ ก็จะได้ตามรูปที่ 8



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบผลระหว่างความเร็วลม กับความเร็วรอบของใบกังหันลมชนิด Blade Type 8/2 และ Blade Type 8/8

5. สรุปผล

ผลจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทดสอบพบว่าใบกังหันลมต้นแบบที่มีมุมบิดโคนใบ 8 องศา ปลายใบบิด 2 องศา ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที ให้รอบการทำงานสูงสุดที่ 560 รอบต่อนาที คิดเป็นอัตราส่วนความเร็วปลายใบต่อความเร็วลมที่เข้ามาปะทะประมาณ 7 มีประสิทธิภาพรอบการทำงานที่สูงกว่า ใบกังหันลมต้นแบบที่มีมุมบิดโคนใบ 8 องศาตลอดทั้งใบ โดยมีค่ามากกว่าเฉลี่ยประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วรอบการหมุนทุกช่วงความเร็วลม

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบพระคุณ บุคลากร เจ้าหน้าที่ อาคารวิจัยประยุกต์ พลังงานลม น้ำ และแสงอาทิตย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานในครั้งนี้ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในเรื่องการดำเนินการวิจัย และจัดทำเอกสารเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] F.S. David, M.Eggleston, “Wind Turbine Engineering Design”, New York, Van Nostrand, Reinhold, 1985.

[2] Martin O. L. Hansen “Aerodynamics of Wind Turbines”, 2nd ed., Earthscan in the UK and USA, 2008

[3] Manwell J.F., McGowan J.G. and Rogers A.L., (2002) Wind Energy Explained, John Wiley & Son,

[4] วิรชัย โรยนรินทร์, (2551). รายงานการศึกษาวิจัยพัฒนาสาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วลมต่ำ, มทร. ธัญบุรี

[5] วิรชัย โรยนรินทร์, (2552). รายงานโครงการวิจัยเพื่อพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาด 50 กิโลวัตต์, มทร. ธัญบุรี

[6] วิรชัย โรยนรินทร์, สว่าง ชาติทอง, (2553). การออกแบบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, มศว. องครักษ์, จังหวัดเพชรบุรี

Go Back