

การออกแบบกังหันลมแกนตั้ง แบบซาโวเนียส

DESIGN OF SAVONIUS VERTICAL AXIS WIND

นายชนพล อนันต์ไพศาลกุล

นายธนวัฒน์ วงศ์เครือ

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๐

การออกแบบกังหันลมแกนตั้ง แบบซาโวเนียส
DESIGN OF SAVONIUS VERTICAL AXIS WIND

นายธนพล อนันต์ไพศาลกุล
นายธนวัฒน์ วงศ์เครือ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

DESIGN OF SAVONIUS VERTICAL AXIS WIND TURBINE

MR. THANAPOL ANANPISANKUL

MR. THANAWAT WONGKRUE

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013**





หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบกังหันลมแกนตั้ง แบบซาโวเนียส
 DESIGN OF SAVONIUS VERTICAL AXIS WIND TURBINE

ชื่อนักศึกษา นาย ธนพล อนันต์ไพศาลกุล
 นาย ธนวัฒน์ วงศ์เครือ

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
 ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. ประธาน บุรณศิริ	
ดร. ณัฐพร พรหมรส	
ดร. ศ.ทิพวรรณ กล้ายบุญมี	
รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบกักกันลมแกนตั้ง แบบซาโวเนียส
ชื่อนักศึกษา	นายชนพล อนันต์ไพศาลกุล
	นายชนวัฒน์ วงศ์เครือ
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการออกแบบ และสร้างกักกันลมแนวแกนตั้งสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าได้นำหลักของการเปลี่ยนแปลงจลน์ของลมให้เป็นพลังงานกลในการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกำลัง 200 วัตต์ มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต เพื่อใช้ออกแบบในส่วนใบพัดกักกันลมแนวแกนตั้ง โดยได้นำโปรแกรมสำเร็จรูปมาเพื่อช่วยออกแบบและเขียนแบบให้มีขนาดพื้นที่รับลมเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีลักษณะโค้งงอ โดยมีพื้นที่รับลมประมาณ 1.4 ตารางเซนติเมตร ที่ความเร็วลมประมาณ 6.5 เมตรต่อวินาที ในส่วนของโครงสร้างฐานใช้เหล็กแป๊ปเหลี่ยมมาเชื่อมติดกันเพื่อให้มีความแข็งแรง และรับน้ำหนักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และใบพัดได้ โดยการทดสอบใบพัดกักกันลมที่ออกแบบนั้นได้แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ การหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เอาต์พุต และหาค่าสัมประสิทธิ์แรงจลน์ ผลการทดสอบพบว่าที่ความเร็วลมประมาณ 6.5 เมตรต่อวินาที มีค่ากำลังไฟฟ้าที่เอาต์พุตประมาณ 0.5 วัตต์ และมีค่ากระแสเอาต์พุตเท่ากับ 0.09 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 5.6 โวลต์ และมีค่าแรงปะทะประมาณ 40 นิวตัน และค่าสัมประสิทธิ์แรงจลน์ประมาณ 1.36

คำสำคัญ : กักกันลมผลิตไฟฟ้า, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, สัมประสิทธิ์แรงจลน์, กักกันลมแนวแกนตั้ง

Title	DESIGN OF SAVONIUS VERTICAL AXIS WIND TURBINE	
Student	Mr. THANAPOL	ANANPISANKUL
	Mr. THANAWAT	WONGKRUE
Degree	Bachelor of Science	
Program	Physics	
Academic year	2013	
Advisor	Asst.Prof. Sarrai	Lekchaum

ABSTRACT

The objectives of this research were to design and build the vertical axis wind turbine for generate electricity, that use the principle of converting kinetic energy of wind into mechanical energy to rotate armature of electric generator which will bring about electrical energy. The generator has a power 200 watt with voltage 220 volt at frequency 50 hertz. Moreover, the blades of the vertical axis wind turbine, which designed by computer-aided design software, have curved trapezoid shape and have surface area for wind to push approximately 1.4 square centimeters at wind speed approximately 6.5 m/s. And use rectangular steel tube for build base structure to increase strength that sufficient to bearing the weights of electric generator and blades. The experiment separate to 2 parts which are finding electrical power output and finding coefficient of drag. The result of this research were, when wind speed is 6.5 m/s, the vertical axis wind turbine have electrical power output about 0.5 W, current output value is 0.09 A, voltage output value 5.6 V, attack force approximately 40 N, and coefficient of drag about 1.36.

Keyword : wind turbine, electric generator, electric power, coefficient of drag, vertical axis wind turbine

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้จะสำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากผู้ศึกษาค้นคว้าได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ ตลอดจนข้อเสนอแนะข้อสงสัยต่างๆ และได้กรุณาให้ความช่วยเหลือแนะนำตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการจัดทำโครงการพิเศษครั้งนี้ตั้งแต่ต้นจนจบ เพื่อให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ความเข้าใจและแนวทางนำไปประยุกต์ใช้จัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้ศึกษาค้นคว้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาวิชาหลักสูตรฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำช่วยเหลือผู้ศึกษาค้นคว้าด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณเพื่อน นิสิตนักศึกษาสาขาวิชาหลักสูตรฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้ศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างดี

ประโยชน์และคุณค่าของการศึกษาค้นคว้าโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้ศึกษาค้นคว้าขอขอบเป็นเครื่องแสดงความกตัญญูตเวทิตา แต่บิดา มารดาและบูรพาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายชนพล อนันต์ไพศาลกุล

นายธนวัฒน์ วงศ์เครือ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
คำย่อและสัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความหมายและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 แนวทางดำเนินการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลังงานลม	4
2.2 ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย	5
2.3 หลักการทำงานของกังหันลม	5
2.4 การวัดลม	8
2.4.1 เครื่องวัดลม	9
2.5 อากาศพลศาสตร์ของกังหันลม	11
2.6 ประเภทของกังหันลม	12
2.7 ทฤษฎีการออกแบบกังหันลมแกนตั้ง	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 ทฤษฎีการออกแบบกังหันลมแกนตั้ง แบบ Savonius	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	
3.1 ระบบกังหันลมแนวแกนตั้ง	24
3.1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)	24
3.1.2 เพลาส่งกำลัง (Transmission shaft)	27
3.1.3 ใบพัด (Blade)	28
3.2 การออกแบบใบพัดและการสร้างใบพัด	29
3.2.1 การออกแบบใบพัด	29
3.2.2 ใบพัดกังหันลม	29
3.2.3 โครงสร้างฐานรองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	37
3.3 การทดสอบ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้ง	38
บทที่ 4 ผลการทดสอบและอภิปราย	
4.1 การวัดใบพัดกับแหล่งกำเนิดลม	42
4.2 การวิเคราะห์กังหันลมแกนตั้งในระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 60 cm.	47
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 วิเคราะห์ทางด้านโครงสร้าง	55
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ	6
2.2 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ	7
2.3 ทิศลมเรียกมุมจริงเป็นองศา	8
2.4 สรลม	9
2.5 เอนิโอมิเตอร์แบบรูปถ้วย	10
2.6 แอโรเวน	10
2.7 แสดงแรงดูดและแรงยกที่กระทำต่อวัตถุ	11
2.8 แสดงลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งและกังหันลมแกนหมุนแนวนอน	12
2.9 แสดงลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงดูด	13
2.10 แสดงลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงยก	13
2.11 แสดงลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรง	14
2.12 แสดงลักษณะของกังหันลมแกนตั้งแบบต่างๆ	14
2.13 แสดงจำนวนใบพัดกังหันลมแกนหมุนแนวนอน	15
2.14 แสดงลักษณะของกังหันลมแกนนอนแบบต่างๆ	16
2.15 แสดงเวกเตอร์ของกังหันลมแกนตั้ง	18
2.16 แสดงการปรับ โครงสร้าง โดยการเพิ่ม disk ที่ด้านบนและด้านล่าง	20
2.17 แสดงการแปลงพลังงานของกังหันลมแกนตั้ง	21
2.18 แสดงถึงประสิทธิภาพ กับอัตราส่วนความเร็วลม	22
2.19 แสดงถึงอัตราส่วนความเร็วลมที่เหมาะสม	22
3.1 แสดงส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนตั้ง	24
3.2 แสดงลักษณะของสเตเตอร์และส่วนประกอบ	25
3.3 แสดงภาพฉายฝาครอบ	25
3.4 แสดงภาพฉายของแม่เหล็กถาวร	26
3.5 แสดงลักษณะของ โรเตอร์	26
3.6 แสดงภาพฉายลักษณะของ โรเตอร์	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 แสดงส่วนประกอบของเพลาส่งกำลัง	27
3.8 แสดงลักษณะของใบพัดกังหันลม	28
3.9 แสดงลักษณะของโครงอลูมิเนียม	28
3.10 แสดงลักษณะของใบพัดกังหัน	30
3.11 แสดงภาพถ่ายลักษณะของใบพัดกังหัน	30
3.12 แสดงภาพถ่ายลักษณะด้านบนและด้านล่างของใบพัดกังหัน	31
3.13 แสดงลักษณะของโครงอลูมิเนียม	31
3.14 แสดงภาพถ่ายลักษณะของโครงอลูมิเนียม	31
3.15 แสดงลักษณะของใบพัดกังหันลมแนวแกนตั้ง	33
3.16 แสดงภาพถ่ายลักษณะของใบพัดกังหันลมแนวแกนตั้ง	33
3.17 แสดงลักษณะของเพลาส่งกำลัง	34
3.18 แสดงลักษณะของไม้ต้นแบบ	34
3.19 แสดงลักษณะของการตัดโครงอลูมิเนียม	35
3.20 แสดงลักษณะของการประกอบโครงอลูมิเนียมกับเพลากันหมุน	35
3.21 แสดงลักษณะของการประกอบใบพัดกับเพลาส่งกำลัง	36
3.22 แสดงลักษณะของฐาน	36
3.23 แสดงลักษณะของโครงสร้างฐานรองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	37
3.24 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างฐาน	38
3.25 Multimeter รุ่น Fluke 115 True rms	38
3.26 Anemometer	39
3.27 นาฬิกาจับเวลา	39
3.29 ตลับเมตร	39
3.30 พัดลมแหล่งกำเนิด	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.31 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทดสอบระบบ	41
4.1 แสดงการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆในการทดสอบ	42
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างแหล่งกำเนิดลม (cm) กับความเร็วแหล่งกำเนิดลม ระดับที่ 1, 2, 3	45

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินการ	3
4.1 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 1 ก่อนปะทะใบพัด	43
4.2 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 2 ก่อนปะทะใบพัด	44
4.3 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 3 ก่อนปะทะใบพัด	44
4.4 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 1 หลังปะทะใบพัด	46
4.5 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 2 หลังปะทะใบพัด	46
4.6 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 3 หลังปะทะใบพัด	47
4.7 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 1	49
4.8 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 2	51
4.9 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 3	53

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
VAWT	กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง
HAWT	กังหันลมแกนหมุนแนวนอน
v	ความเร็วลม
W	วัตต์
P_w	กำลังของลม
MW	เมกะวัตต์
m^2	ตารางเมตร
m/s	เมตรต่อวินาที
km/m^3	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
Hz	เฮิรตซ์
m^3/s	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
C_P	สัมประสิทธิ์กำลัง (Power Coefficient)
C_T	สัมประสิทธิ์แรงบิด (Torque Coefficient)
C_L	สัมประสิทธิ์แรงยก (Lift Coefficient)
C_D	สัมประสิทธิ์แรงฉุด (Drag Coefficient)
C_N	สัมประสิทธิ์แรงตั้งฉาก
F	แรง
\bar{w}	เวกเตอร์ลัพท์
λ	อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip Speed Ratio)
η	ประสิทธิภาพกังหันลม
cm	เซนติเมตร
A	พื้นที่รับลม
A	แอมแปร์
V	โวลต์

คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ	ความหมาย
s	วินาที
AC	กระแสสลับ
DC	กระแสตรง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความหมายและความสำคัญของงานวิจัย

พลังงานลม เป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า “ กังหันลม ” เป็นตัวสกัดกั้นพลังงานจลน์ของกระแสลม แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานกล จากนั้นจึงนำพลังงานกลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ เช่น สูบน้ำ หรือใช้ผลิตไฟฟ้า เป็นต้น กังหันลมที่ใช้กันมากในประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ได้แก่ กังหันลมแบบใบกังหันไม้ ใช้สำหรับวิดน้ำเข้านาข้าวบริเวณจังหวัดฉะเชิงเทรา กังหันใบเสื่อลำแพนใช้วิดน้ำเค็มเข้านาเกลือบริเวณจังหวัดสมุทรสงคราม และกังหันลมแบบใบกังหันหลายใบทำด้วยแผ่นเหล็กใช้สำหรับสูบน้ำลึก เช่น น้ำบาดาล น้ำบ่อ ขึ้นไปเก็บในถังกักเก็บ

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยได้ให้ความสำคัญและสนใจในการพัฒนาด้านพลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น เพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องซื้อจากต่างประเทศ ที่นับวันมีราคาแพงขึ้น การผลิตพลังงานทดแทนอื่นๆ และพลังงานลมเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งในการสนับสนุนพัฒนาให้เป็นไปตามยุทธศาสตร์ความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ เทคโนโลยีกังหันลมจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เพื่อการเลือกหาผลิตขึ้นมาใช้งานให้มีความเหมาะสมกับความเร็วลมที่มีอยู่ในพื้นที่ ด้วยประเทศไทยอยู่ใกล้เขตเส้นศูนย์สูตรทำให้ได้รับแรงลมเฉลี่ยทั้งปีต่ำถึงปานกลาง การที่จะพัฒนาพลังงานลมเพื่อใช้ประโยชน์จึงจำเป็นต้องศึกษารูปแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมกับความเร็วลมที่มีอยู่ จึงได้เริ่มดำเนินการวิจัยการใช้ประโยชน์จากกังหันลมความเร็วลมต่ำ เพื่อลดต้นทุนและสร้างความเชื่อมั่นในการใช้ประโยชน์จากกังหันลมผลิตไฟฟ้า ด้วยแต่ละพื้นที่ที่มีความเร็วลมแตกต่างกัน หากได้ต้นแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน ติดตั้งง่ายและสามารถขยายผลโดยการส่งเสริมให้มีการใช้ในครัวเรือน ชุมชนขนาดเล็ก ผู้ประกอบการ ครัวเรือน ที่ต้องการใช้พลังงานลมในการผลิตไฟฟ้าใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของตนเอง เพื่อสร้างความมั่นคงและยั่งยืน ในการจัดหาพลังงานให้กับตนเอง อีกทั้งจะทำให้กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ผลิตได้ในประเทศมีราคาถูกลง เป็นการสร้างแรงจูงใจในการสรรหาจุดติดตั้งใช้งานในพื้นที่ของผู้ประกอบการที่ห่างไกลหรือใน

พื้นที่บริเวณเกาะมากขึ้น อีกทั้งยังจะช่วยรักษาสภาพแวดล้อม ไม่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน เนื่องจากเป็นพลังงานจากธรรมชาติ ไม่ต้องซื้อหา และเป็นการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมในอนาคตได้อย่างยั่งยืนและมีความมั่นคงด้านพลังงานได้ในระยะยาว

โครงการพิเศษนี้ ได้ศึกษาลักษณะของกังหันลมขนาดเล็กแนวแกนตั้งเพื่อออกแบบใบพัดของกังหันลม รวมถึงส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนตั้งเพื่อใช้กับความเร็วมืดที่ต่ำ โดยได้นั้นศึกษาไปที่เรื่องการออกแบบลักษณะของใบพัดกังหันลมแกนแนวตั้ง การทดสอบค่าแรงดันและกระแสเอาต์พุต กำลังเอาต์พุตค่าสัมประสิทธิ์กำลัง ที่ได้จากตัวกังหันลมโดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้า (generator) ขนาดประมาณ 200 วัตต์ เพื่อใช้ต้นแบบของกังหันลมขนาดเล็กผลิตไฟฟ้าและสามารถพัฒนาประสิทธิภาพให้เพิ่มมากขึ้นในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบใบพัดและสร้างส่วนประกอบของกังหันลมขนาดเล็กแนวแกนตั้งผลิตไฟฟ้า โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดประมาณ 200 วัตต์
2. เพื่อทดสอบค่ากำลังเอาต์พุตและค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วมืดที่แตกต่างกัน
3. เพื่อวิเคราะห์รูปร่างลักษณะของใบพัดที่เหมาะสมแก่กังหันลมแกนตั้ง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาลักษณะของกังหันลมแนวแกนตั้งรูปแบบต่างๆ
2. ศึกษาความเร็วมืดเริ่มต้นที่ทำให้กังหันลมหมุนและผลของอัตราเร็วลมในค่าที่แตกต่างกัน
3. ศึกษาการออกแบบและโครงสร้างของกังหันลมแนวแกนตั้ง
4. ศึกษาเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วมืดและความเร็วรอบในการหมุนของใบพัดกังหันลม
5. ออกแบบใบพัดกังหันลมแนวแกนตั้งและส่วนประกอบของกังหันลม
6. ทดสอบค่ากำลังเอาต์พุตที่ได้จากกังหันลม
7. วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง, วิเคราะห์รูปร่างลักษณะใบพัดของกังหันลมที่มีขนาดแตกต่างกัน
8. สรุปผลการทดสอบจากการผลิตไฟฟ้าของกังหันลม

1.4 แนวทางการดำเนินการ

โครงการมีระยะเวลาในการทำงาน รวมทั้งสิ้น 9 เดือน โดยเริ่มดำเนินการตั้งแต่วันที่ ๑ มิถุนายน พ.ศ. 2556 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 จากแนวทางการดำเนินการข้างต้นแสดงระยะเวลาดำเนินงานได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินการ

แผนการดำเนินงาน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. เสนอ Project									
2. ศึกษาข้อมูล									
3. รวบรวมข้อมูล									
4. ออกแบบและจัดหาอุปกรณ์									
5. ดำเนินการสร้างระบบ									
6. ทดสอบระบบการทำงาน									
7. สรุปผลการทดสอบ									

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการ, การออกแบบไบพดกังหันลม
2. รู้จักวิธีการทดสอบกำลังค่าเอาต์พุตของกังหันลม
3. รู้จักหลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสม
4. เพื่อเผยแพร่ให้เกิดประโยชน์ต่อผู้สนใจและสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 พลังงานลม

พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้อม กล่าวคือพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในภาคตัดขวางของโลกประมาณ 178,000 ล้านล้านวัตต์มีเพียง 0.2% เท่านั้นที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศที่เรียกว่าพลังงานลมและส่วนนี้ก็ยังเป็นผลให้เกิดคลื่นในมหาสมุทรด้วยลมเป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่มีอยู่อย่างมหาศาลและสามารถใช้ได้อย่างไม่มีวันหมดสิ้นซึ่งได้มีการนำมาใช้ประโยชน์กันเป็นเวลานานแล้วด้วยการประกอบใช้กับเครื่องจักรต่างๆเช่นเครื่องสีข้าวระหัดวิดน้ำ ฯลฯ โดยในการนำพลังงานที่ได้จากลมออกมาใช้ประโยชน์นั้นเครื่องมือสำคัญคือกังหันลม (Wind Mill) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมมาเป็นพลังงานกลโดยตรงการใช้ประโยชน์จากกังหันลมในระยะแรกๆจะเป็นการประยุกต์ใช้กับงานกลเป็นส่วนใหญ่และในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาใช้ประโยชน์ในลักษณะกังหันลมผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine Generator) จึงเริ่มขยายตัวมากขึ้นเพื่อทดแทนการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานจากซากพืชซากสัตว์หรือพลังงานเชื้อเพลิงที่นับวันจะมีต้นทุนที่สูงขึ้นเรื่อยๆอีกทั้งยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

การพัฒนาการใช้ประโยชน์จากพลังงานลมนั้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในแถบทวีปยุโรปซึ่งได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ที่มีขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงอย่างไรก็ดีแม้จะมีการใช้และพัฒนาพลังงานลมมาช้านานแต่ก็ยังมีจุดเสียดุลในหลายๆด้านไม่ว่าจะเป็นการขาดการสนับสนุนด้านเงินทุนการหันไปใช้พลังงานรูปแบบอื่นที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและมีต้นทุนถูกกว่ากังหันลมรวมไปถึงการขาดการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาที่คืออย่างไรก็ดีเมื่อราคาพลังงานเชื้อเพลิงมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องประกอบกับการคำนึงถึงผลกระทบจากการใช้พลังงานที่มีต่อสภาวะแวดล้อม โดยเฉพาะผลกระทบจากภาวะก๊าซเรือนกระจกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโลกได้ทำให้ความสนใจในการใช้พลังงานลมจากประเทศต่างๆเพิ่มสูงขึ้นมาอีกครั้งเพราะพลังงานลมนั้นเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาดไม่มีวันหมดไม่สร้างมลพิษและไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อม

2.2 ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย

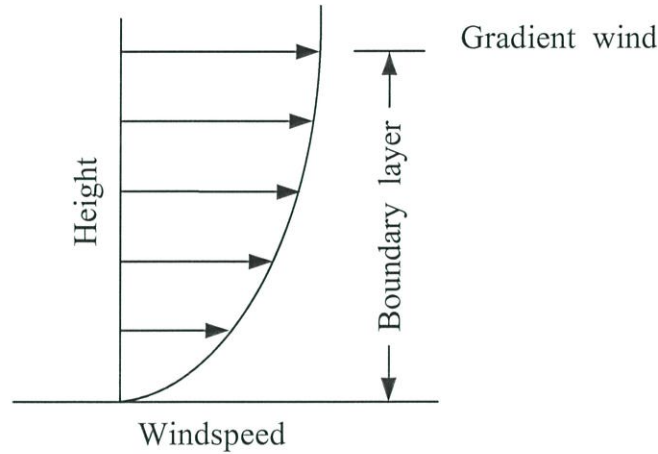
พื้นที่ที่มีศักยภาพในการพัฒนาใช้ประโยชน์จากพลังงานลมในประเทศไทยจากแผนที่ศักยภาพพลังงานลมการตรวจวัดจริงจากภาคสนามและการประโยชน์จากพลังงานลมดั้งเดิมของคนไทยในอดีตนำมาวิเคราะห์เบื้องต้นด้านพื้นที่และความเร็วลมแล้วพื้นที่ที่มีศักยภาพและความเหมาะสมในการศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง (Micrositing) เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์จากพลังงานลมส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่อยู่ติดชายฝั่งทะเลด้วยได้รับลมทั้งจากลมบกลมทะเลและลมประจำฤดู

พื้นที่บริเวณแนวชายฝั่งจ.นครศรีธรรมราชและจ.สงขลาตามแนวถนนทางหลวง4013 และ 408 นับตั้งแต่.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช ถึงอ.สิงหนคร จ.สงขลาระยะทางประมาณ 140 กิโลเมตรมีลักษณะพื้นที่กว้างประมาณ 2 กิโลเมตร(280 ตารางกิโลเมตร)มีลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบชายฝั่งและการทำบ่อเลี้ยงกุ้งถนลาดยางตลอดสายซึ่งได้รับลมเป็นระยะยาวนานในหนึ่งปีทั้งลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีความเร็วลมเฉลี่ยในช่วง 4.5-5.0 เมตรต่อวินาที (กำลังลม 100-150 วัตต์/ตารางเมตร) พื้นที่ในบริเวณ อ.หัวไทร จ.นครศรีธรรมราชจะดำเนินโครงการสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมขนาด1.5เมกะวัตต์และ 250 กิโลวัตต์ในปีพ.ศ.2549-2550และพื้นที่ในบริเวณ จ.สงขลาได้ดำเนินโครงการศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่งซึ่งผลการศึกษาพบว่าบริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสสินธุ์ มีศักยภาพในการพัฒนาติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าในรูปแบบทุ่งกังหันลมได้ประมาณ 5-10 เมกะวัตต์ซึ่งสามารถนำไปส่งเสริมการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากพลังงานลมได้ในอนาคต

2.3 หลักการทำงานของกังหันลม

ลมที่เกิดขึ้นถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้นซึ่งหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอากาศกับอนุภาคอื่นๆ และมีแรงเสียดทานในระดับต่ำ โดยเริ่มต้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงเสียดทานจะลดลง ทำให้ความเร็วลมเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.1 จนกระทั่งที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน (นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศธรานูวัฒน์ .2547: 65) ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูงรวมถึงสภาพทางภูมิประเทศเช่นเดียวกันกับทิศทางของลมจากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดี

หรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ที่ความเร็วลมเท่าๆกัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกันเมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมากผลคือแรงลัพธ์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยเบื้องต้นที่จะเป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลมคือความเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง



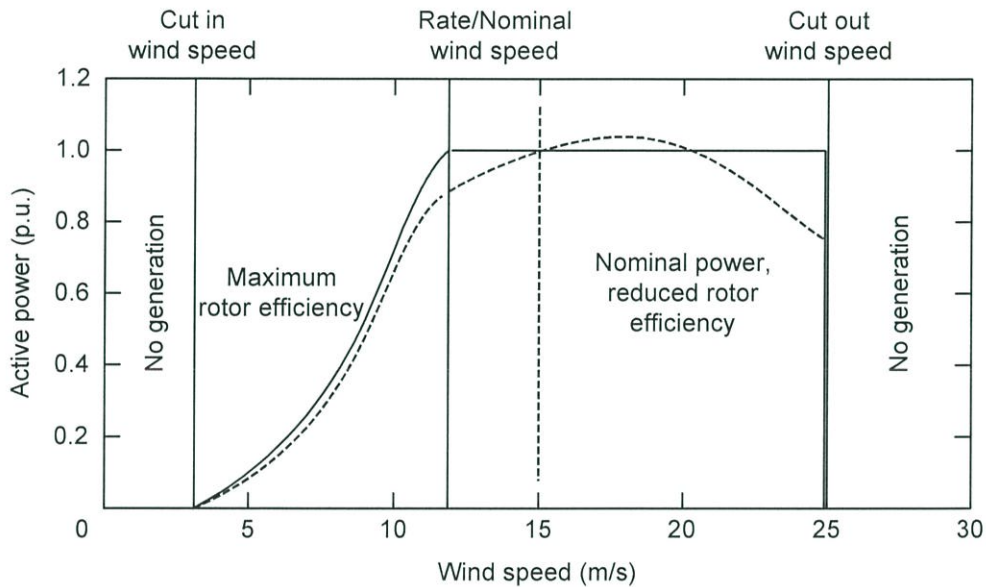
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลมแต่ความสัมพันธ์ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1–3 เมตรต่อวินาที เป็นผลให้กังหันลมยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5–5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่าช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12–15 เมตรต่อวินาทีเป็นช่วงที่เรียกว่าช่วงความเร็วลม (nominal หรือ rate wind speed) ซึ่งจะเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเองในช่วงที่ความเร็วลมมีการเริ่มได้ระดับไปสู่ช่วงความเร็วลมเป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency) ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นความเร็ว (tip speed ratio) (Siegfried, 1998 : 67) และในช่วงเลยความเร็วลม (cut out wind speed) เป็นช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้

การหาค่ากำลังของลมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ผ่านพื้นที่หน้าตัด A หาได้จาก

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \dots\dots\dots(2-1)$$

- เมื่อ P_w คือ กำลังของ./ลม (W)
 ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.225 kg/m^3
 A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)
 v คือ ความเร็วลม (m/s)



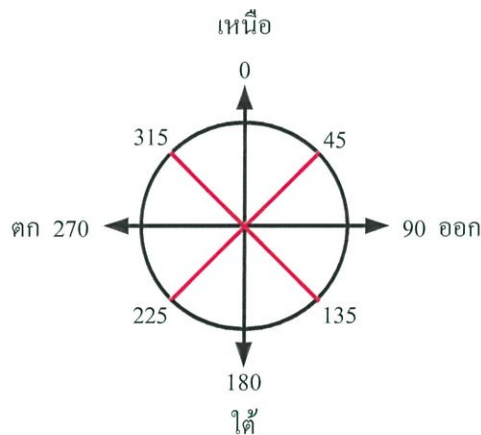
รูปที่ 2.2 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ

สำหรับหลักการทั่วไปในการนำพลังงานลมมาใช้คือ เมื่อมีลมพัดมาปะทะกับใบพัดของกังหันลม กังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมที่อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกล โดยการหมุนของใบพัด แรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่านแกนหมุนทำให้เฟืองเกียร์ที่ติดอยู่กับแกนหมุนเกิดการหมุนตามไปด้วย พลังงานกลที่ได้จากการหมุนของเฟืองเกียร์นี้เองที่จะถูกประยุกต์ใช้ประโยชน์ตามความต้องการ เช่น ในกรณีที่ต้องการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าจะต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไป ซึ่งเมื่อเฟืองเกียร์ของกังหันลมเกิดการหมุนจะไปขับเคลื่อนให้แกนหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตามไปด้วยด้วยหลักการนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ส่วนในกรณีของการใช้กังหันลมในการสูบน้ำหรือสีข้าวสามารถนำเอาพลังงานกลจากการหมุนของเฟืองเกียร์นี้ไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรง

2.4 การวัดลม

การวัดลมมีค่าที่ต้องการวัด 2 ค่าคือการวัดทิศลมและวัดความเร็วลม

1. **ทิศลม**อาจเรียกชื่อตามทิศต่างๆของเข็มทิศหรือเรียกเป็นองศาจากทิศเหนือปัจจุบันการวัดทิศลมนิยมวัดตามเข็มทิศและวัดเป็นองศาถ้าวัดทิศลมด้วยเข็มทิศเข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็นทิศใหญ่ๆ4 ทิศคือทิศเหนือทิศใต้ทิศตะวันออกทิศตะวันตกซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศเมื่อแบ่งย่อยอีกจะเป็น 8 ทิศ โดยจะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือทิศตะวันออกเฉียงใต้ทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศให้ย่อยเป็น 16 ทิศหรือ32 ทิศได้อีกแต่การรายงานทศนั้นมักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง8 หรือ 16 ทิศเท่านั้นส่วนการวัดทิศลมที่บอกมุมของลมเป็นองศาในลักษณะที่เวียนตามเข็มนาฬิกาใช้สเกลจาก0องศาไปจนถึง 360 องศาโดยลมทิศ 0 องศาหรือ 360 องศาเป็นทิศเหนือ, ลมทิศ 45 องศาเป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ลมทิศ 90 องศาเป็นทิศตะวันออก, ลมทิศ 135 องศาเป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้, ลมทิศ 180 องศาเป็นทิศใต้, ลมทิศ 225 องศาเป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้, ลมทิศ 270 องศาเป็นทิศตะวันตกและลมทิศ 315 องศาเป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ทิศลมเรียกมุมจริงเป็นองศา

2. **ความเร็วลม**คืออัตราการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีพลังงานจลน์ทำให้เกิดแรงกระทำต่อวัตถุใดๆที่ปะทะลมได้และแรงในรูปความดันเป็นสัดส่วนกับความเร็วลมยกกำลัง 2 ดังอธิบายในรูปสมการเป็น

$$P = 0.5\rho u^2 \quad \dots\dots(2-2)$$

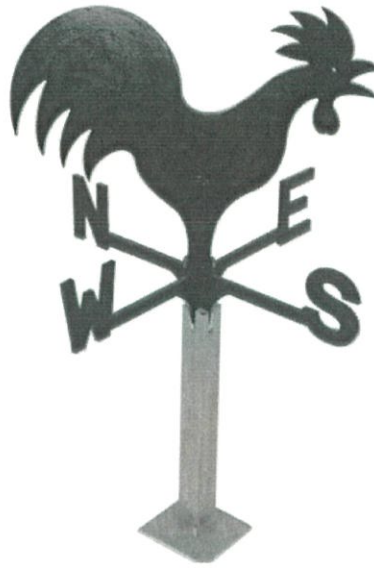
เมื่อ P = ความดันที่เกิดจากการกระทำของลม

u = ความเร็วลม

ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ

2.4.1 เครื่องวัดลม

1. เครื่องวัดทิศทางลมเรียกว่าศรลม (Wind Vane) ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นลูกศรยาวมีหางเป็นแผ่นแนวตั้งเป็นตัวบังคับให้หัวศรลมชี้ไปในทิศทางที่ลมพัดเข้ามาโดยแกนของศรลมหมุนได้โดยรอบและนำมาต่อเข้ากับระบบวงจรไฟฟ้าทำให้สามารถอ่านทิศทางลมตามที่ปลายศรลมชี้ได้ที่หน้าปัดของเครื่องวัด (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 ศรลม

2. เครื่องวัดความเร็วลมเรียกว่าแอนนิโมมิเตอร์ (Anemometer) แอนนิโมมิเตอร์แบบเก่าแก่ที่สุดคือแบบแผ่นกระดก (Pressure Plate Anemometer) ประดิษฐ์โดยโรเบิร์ตฮุก (Robert Hook) เมื่อปีพ.ศ. 2210 ประกอบด้วยแผ่นโลหะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแขวนติดอยู่กับแกนและแกนนี้ติดอยู่กับเสาในแนวตั้งแผ่นโลหะนี้หมุนรอบแกนได้อย่างอิสระและตั้งฉากกับทิศทางลมเสมอเมื่อมีลมพัดปะทะกับแผ่นโลหะปลายด้านหนึ่งของแผ่นโลหะจะกระดกขึ้นมุมที่แผ่นโลหะทำกับแนวตั้งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของลมถ้าลมนั้นแรงมากมุมที่ว่าจะใหญ่ขึ้นความเร็วลมอ่านได้จากสเกลที่ทำไว้บนโลหะโค้งที่ติดอยู่กับแกนของแผ่นโลหะปัจจุบันแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ แบบลูกถ้วย (Cup Anemometer) ประกอบด้วยลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกลม 3 หรือ 4 ใบติดอยู่กับเพลานแนวตั้ง



รูปที่ 2.5 แอนิโมมิเตอร์แบบรูปถ้วย

ความดันอากาศจากกระแสลมที่แตกต่างกันบนลูกถ้วยเป็นเหตุให้ลูกถ้วยหมุนไปรอบเพลา (รูปที่ 2.5) อัตราที่ลูกถ้วยหมุนจะเป็นสัดส่วนตรงกับความเร็วมสามารถอ่านความเร็วมได้จากหน้าปัดหรือส่งไปยังเครื่องบันทึก

เครื่องวัดที่วัดได้ทั้งความเร็วม และทิศทางลมเรียกว่าแอโรเวน (Aerovane) เป็นชุดรวมแอนิโมมิเตอร์ และครลมเข้าด้วยกันเครื่องวัดนี้ใช้ใบพัดจำนวน 3 ใบวัดความเร็วมใบพัดหมุนเป็นอัตราส่วนกับความเร็วมรูปร่างของเครื่องมีรูปทรงของอากาศยานดีและมีหางเสืออยู่ในแนวตั้งช่วยให้ใบพัดหันเข้าหาลม (รูปที่ 2.6) ครลมจะทำหน้าที่ 2 อย่างคือบอกทิศทางลมและช่วยให้แกนของใบพัดชี้เข้าหาทิศทางลมทั้งแอนิโมมิเตอร์และครลมเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล



รูปที่ 2.6 แอโรเวน

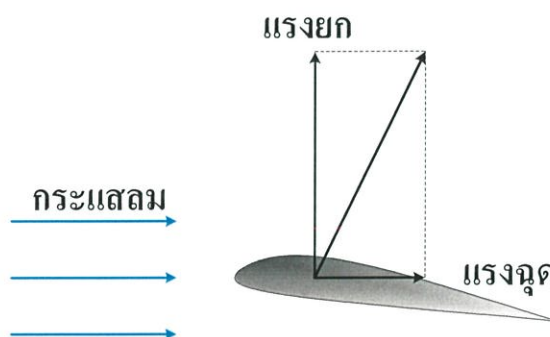
เครื่องวัดลมที่กล่าวมานี้ใช้วัดลมเหนือพื้นดินเพื่อบอกทิศทางและความเร็วลมของจุดที่ติดตั้ง แต่เนื่องจากสิ่งกีดขวางต่างๆมีอิทธิพลต่อความเร็วและทิศทางลมเช่นอาคารต้นไม้และอื่นๆ โดยที่ความเร็วลมจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นพ้นจากสิ่งกีดขวางดังนั้นเครื่องมือที่ใช้วัดลมควรตั้งอยู่ในที่โล่งที่ลมไหลได้สะดวกและควรอยู่สูงกว่าหลังคาอาคารแต่ในทางปฏิบัตินั้นเครื่องวัดลมจะถูกติดตั้งวางไว้ในระดับความสูงแตกต่างกันทำให้ข้อมูลการวัดลมที่ได้ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการวิเคราะห์หัดด้านพลังงานลม

2.5 อากาศพลศาสตร์ของกังหันลม

ในกังหันลมสมัยใหม่ใบพัดกังหันมีลักษณะคล้ายกับปีกของเครื่องบิน วิชาอากาศพลศาสตร์ จึงต้องนำมาศึกษาเกี่ยวกับใบพัดกังหัน เพื่อสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานผลิตพลังงานจากลมให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุด แรงพื้นฐานของอากาศพลศาสตร์จะมีอยู่สองแรงที่ทำให้กังหันลมเกิดการหมุนได้งาน ได้แก่ แรงยก (Lift) และแรงฉุด (Drag)

แรงฉุดคือแรงที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในของไหล และทิศทางของแรงอยู่ในแนวเดียวกันกับทิศทางของการเคลื่อนที่ ถ้าวัตถุวางอยู่ในแนวที่พื้นที่ด้านข้างตั้งฉากกับกระแสลมแรงฉุดที่กระทำต่อวัตถุจะมีค่ามากที่สุด แต่ถ้าพื้นที่ด้านข้างอยู่ในแนวเดียวกับทิศทางกระแสลมแรงฉุดจะมีค่าต่ำ ซึ่งกังหันลมแกนตั้งถูกออกแบบมาเพื่อรับแรงฉุด

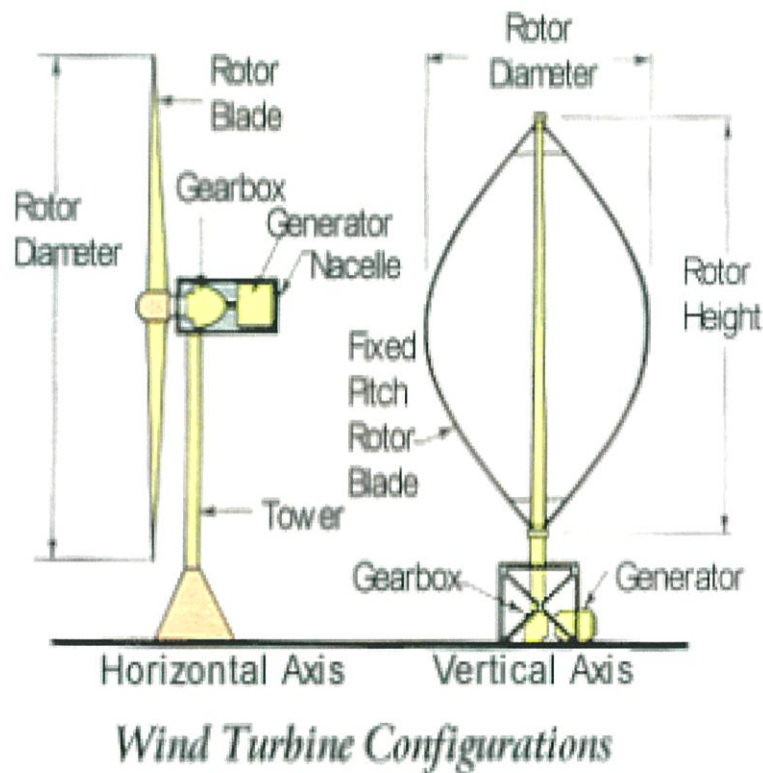
แรงยกคือแรงที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในของไหล โดยทิศทางของแรงอยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางของการเคลื่อนที่ ถ้าวางวัตถุอยู่ในแนวที่พื้นที่ด้านข้างขนานกับทิศทางของกระแสลมแรงยกที่กระทำต่อวัตถุจะมีค่ามากที่สุด แต่ถ้าพื้นที่ด้านข้างวางตัวในแนวตั้งฉากกับทิศทางของกระแสลมแรงยกจะมีค่าต่ำสุด ซึ่งกังหันลมแกนนอนถูกออกแบบมาเพื่อรับแรงยก



รูปที่ 2.7 แสดงแรงฉุดและแรงยกที่กระทำต่อวัตถุ

2.6 ประเภทของกังหันลม

กังหันลมคือชุดเครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลและนำพลังงานกลมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าได้โดยทั่วไปกังหันลมแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามแกนหมุนของกังหันลมได้แก่กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) ซึ่งทั้งสองชนิดจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ในการทำงานผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกันเช่นชุดใบพัดชุดห้องเกียร์ทดกำลังชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและชุดเสาะจะมีความแตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุนใบพัด



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งและกังหันลมแกนหมุนแนวนอน

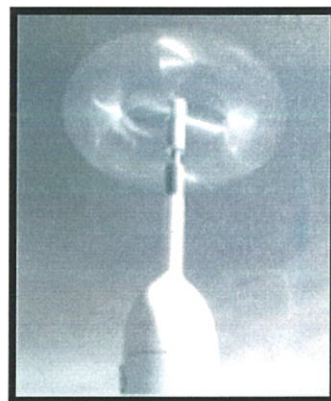
1. กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบหรือตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม นั่นเอง โดยมีใบพัดยึดติดขนานกับแกนหมุนทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัดกังหันลมชนิดนี้สามารถรับแรงลมในแนวนอนได้ทุกทิศทางสามารถแยกได้ตามลักษณะแรงขับเคลื่อนที่เกิดจากกระแสลมได้ดังนี้

1.1 ชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงฉุด (Primarily Drag-type) เช่นกังหันลมแบบใบโค้งตัวเอสหลายใบ (S Multi-bladed) แบบกระดานใบจักรเรือ (Screened Paddlewheel) แบบถ้วย (Cupped)



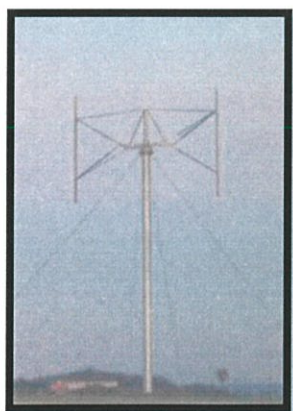
S Blades



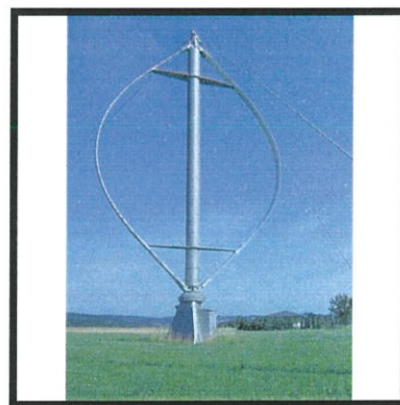
Cupped

รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงฉุด

1.2 ชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงยก (Primarily Lift-type) เช่นกังหันลมแบบแดร์เรีย (Darrieus) แบบแนวตั้งรูปเอช (H-VAWT) แบบแนวตั้งรูปวี (V-VAWT) แบบกังหันบังกี (Banki Turbine)



H-VAWT



Darrieus

รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงยก

1.3 ชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงผสม (Combination) เช่น กังหันลมแบบซาโวเนียส (Savonius) แบบซาโวเนียสแดร์เรียส (Savonius Darrieus)



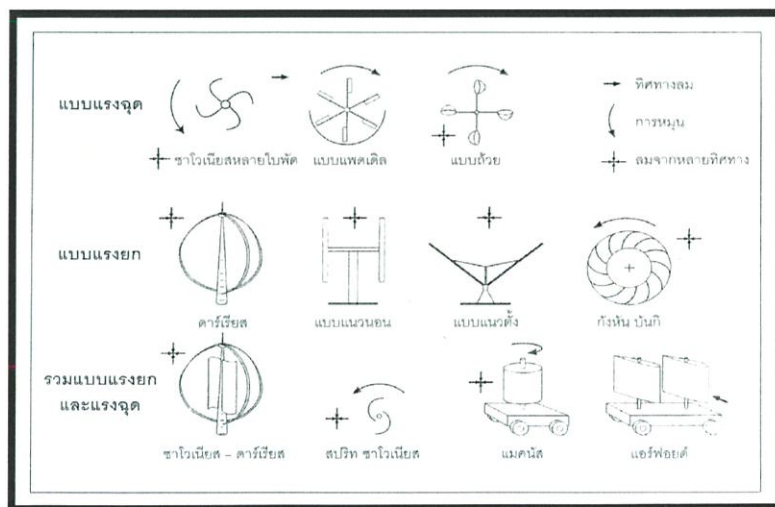
Savonius



DarrieusSavonius

รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรง

ปัจจุบันมีการพัฒนากังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้งที่มีขนาดเล็กสำหรับใช้งานขนาดใหญ่ ไม่ได้รับการพัฒนาให้มีการใช้งานแพร่หลายและมีใช้งานน้อยมากจึงไม่ค่อยได้รับความนิยมและแพร่หลายในเชิงพาณิชย์มีการใช้งานอยู่ประมาณร้อยละ 25 ของกังหันลมที่มีใช้งานในปัจจุบัน



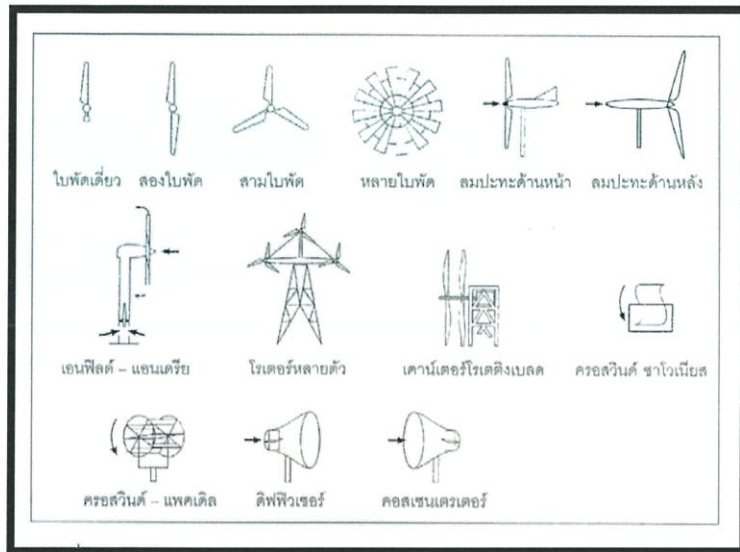
รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของกังหันลมแกนตั้งแบบต่างๆ

2. กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับพื้นราบหรือขนานไปกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม นั่นเอง โดยมีใบพัดยึดติดตั้งฉากกับแกนหมุนทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด เช่นกังหันลมแบบใบเดี่ยว (Single Blade) แบบใบคู่ (Double Blade) แบบสามใบ (Three Blade) แบบหลายใบ (Multi Blade) แบบใบพัดหลายชุด (Multi Rotor) แบบอัพวินด์ (Up-wind) แบบดาวน์วินด์ (Down-wind) เป็นต้นปัจจุบันนี้กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบสามใบพัด ชนิดแกนหมุนแนวนอนมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ได้รับความนิยมในการใช้งานและแพร่หลายในเชิงพาณิชย์และมีการใช้มากถึงร้อยละ 75 ของกังหันลมที่มีใช้งานในปัจจุบัน



รูปที่ 2.13 แสดงจำนวนใบพัดกังหันลมแกนหมุนแนวนอน



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของกังหันลมแกนนอนแบบต่างๆ

2.7 ทฤษฎีการออกแบบกังหันแกนตั้ง

กังหันลมแกนตั้งเป็นประเภทของกังหันลมที่เพลลาใบพัดหลักจะมีการตั้งแนวตั้งและส่วนประกอบหลักจะอยู่ที่ฐานของกังหัน ในข้อดีของการจัดการนี้คือกำเนิดไฟฟ้าและระบบเกียร์ที่สามารถวางใกล้กับพื้นดินซึ่งทำให้องค์ประกอบเหล่านี้ง่ายต่อการซ่อมแซมและ VAWTs ที่ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องวัดทิศทางลมข้อบกพร่องที่สำคัญสำหรับการออกแบบในช่วงต้น (Savonius, Darrieus และ giromill) คือ แรงบิดของใบพัด รวมถึงใบพัดขนาดใหญ่ ต่อมาในการออกแบบแก้ปัญหาแรงบิดโดยใช้ใบพัดที่บิดเกลียวจะคล้ายกับกังหันน้ำแบบ Gorlov turbine

VAWT ใบพัดเป็นแกนตั้งจากกับลมช่วยเพิ่มความคล่องตัวการทำงาน ชนิดของแรงดูดของกังหันลมแกนตั้ง เช่น ใบพัด Savonius จะทำงาน โดนมืดตราเร็วปลายต่ำกว่ากังหันลมที่อาศัยแรงยก เช่น ใบพัด Darrieus และ cycloturbines

อากาศพลศาสตร์ทั่วไป

แรงและความเร็วในการแสดงกังหัน Darrieus แสดงในรูปที่ 1 \vec{w} คือ เวกเตอร์ลัพธ์ ซึ่งเกิดจากผลรวมของเวกเตอร์ความเร็วของกระแสลม \vec{u} และความเร็วของใบพัด $-\vec{\omega} \times \vec{R}$

$$\vec{W} = \vec{u} + (-\vec{\omega} \times \vec{R}) \quad \dots\dots\dots(2-3)$$

ดังนั้นความเร็วของของไหลที่เข้ามาปะทะพบว่ามีค่ามากที่สุดที่ $\theta = 0^\circ$ และน้อยสุดที่ $\theta = 180^\circ$ เมื่อ θ มุมของการหมุนของใบพัด α คือ มุมปะทะ คือมุมที่เกิดจากความเร็วมมาปะทะเข้ากับ chord ของใบพัด

จากการพิจารณาเรขาคณิต การไหลของความเร็วมและมุมปะทะมีการคำนวณดังนี้

$$W = u\sqrt{1+2\lambda\cos\theta+\lambda^2} \quad \dots\dots\dots(2-4)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\sin\theta}{\cos\theta+\lambda}\right) \quad \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\text{เมื่อ } \lambda = \frac{\omega R}{u} \quad \text{คือค่า tip speed ratio}$$

แรงพลศาสตร์สามารถแบ่งออกได้เป็นส่วนๆ ได้แก่ แรงยก (L) แรงดูด (D) แรงตั้งฉาก (N) แรงเส้นสัมผัสสวาง (T) แรงมีการพิจารณาแสดงที่คอร์ด 1/4 จาก leading edge โดยจะมีมุม pitch เพื่อจะแก้ปัญหาแรงทางอากาศพลศาสตร์แรงเส้นสัมผัสสวางจะทำหน้าที่ไปตามความเร็วของใบพัด และแรงตั้งฉากจะทำกับแนวรัศมีดังนั้นจึงทำให้ใบพัดหมุนไปรอบๆ ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงดูดมีความสัมพันธ์กับความดันแบบไดนามิกของการไหลของอากาศ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงตั้งฉากและแรงเส้นสัมผัสมีความสัมพันธ์กับความดันแบบไดนามิกของความเร็วการไหลของอากาศ

$$C_L = \frac{F_L}{1/2\rho Av^2} \quad \dots\dots\dots(2-6)$$

$$C_D = \frac{D}{1/2\rho Av^2} \quad \dots\dots\dots(2-7)$$

$$C_T = \frac{T}{1/2\rho Au^2} \quad \dots\dots\dots(2-8)$$

$$C_N = \frac{N}{1/2\rho Au^2} \quad \dots\dots\dots(2-9)$$

ค่าพลังงานที่สกัดโดยกังหันลม

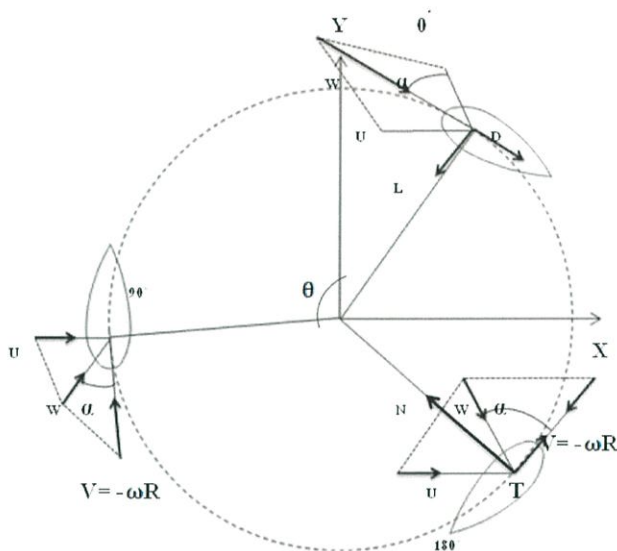
$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \dots\dots\dots(2-10)$$

C_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ

A คือ พื้นที่รับลมของกังหัน

v คือ ความเร็วลม



รูปที่ 2.15 แสดงเวกเตอร์ของกังหันลมแกนตั้ง

2.8 ทฤษฎีการออกแบบกังหันแกนตั้ง แบบ Savonius

การเปลี่ยนพลังงานลมจากกังหันลมแกนตั้ง เช่น กังหันลมชนิด siston ซึ่งจะได้รับลมจากใบพัดแต่ละใบการหมุนช้ากว่าลม ความแตกต่างของความเร็วจะทำให้เกิดแรงด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่าใบพัด จะมี $C_D = 1.2$ Power จากใบเดียวจะให้ค่า P_{max} 18%

การเปลี่ยนพลังงานจากกังหันแกนตั้ง เช่นกังหันลมชนิด windmill จะได้รับพลังงานลมจะผ่านใบพัด ซึ่งเคลื่อนที่ช้ากว่าความเร็วลม ความแตกต่างของความเร็วจะสร้างให้เกิดแรงด้วยใบพัด โดยมีค่า $C_d = 1.2$ ซึ่ง หลักการ Power ที่เกิดบน 1 ใบพัด คือ

$$P_a = \frac{\rho}{2} v_0^3 \quad \dots\dots\dots(2-11)$$

แรงที่กระทำต่อใบพัด หาได้จาก สูตร

$$F = C_D \frac{\rho}{2} A(v_0 - v_1)^2 \quad \dots\dots\dots(2-12)$$

กำลังเอาต์พุตที่ได้จากกังหันลมแกนตั้งหาได้จาก สูตร

$$P_{out} = C_D \frac{\rho}{2} A(v_0 - v_1)^2 v_1 \quad \dots\dots\dots(2-13)$$

พิจารณา ความเร็ว v_1 เพื่อหาลำกำลังเอาต์พุตสูงสุด จะได้หาจาก สูตร

$$\frac{dP}{dv_1} = C_D A \frac{\rho}{2} \left(v_0 - 4v_0 v_1 + \frac{3}{2} v_1^2 \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(2-14)$$

จะได้ v_1 เท่ากับ $v_1 = \frac{v_0}{3}$ และจะได้ กำลังสูงสุด เท่ากับ

$$P_{max} = C_D A \frac{\rho}{2} \frac{4}{27} v_0^3 \quad \dots\dots\dots(2-15)$$

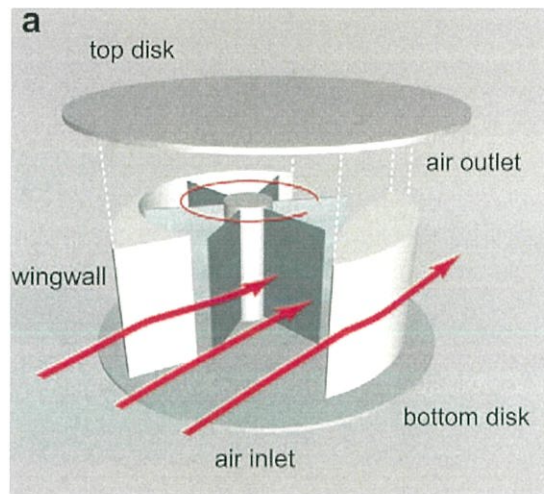
และประสิทธิภาพของกังหันลมแกนตั้ง จะหาได้จาก

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_a} = C_D \frac{4}{27} = 0.18 \quad \dots\dots\dots(2-16)$$

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของกังหันลมแกนตั้ง มีเพียง 18 % ซึ่งมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ จึงไม่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้

2.8.1 การปรับโครงสร้างของกังหันลมแกนตั้งเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

1. การปรับโครงสร้างโดยการเพิ่ม disk ที่ด้านบนและด้านล่างของโครงสร้าง ทำให้สัมประสิทธิ์แรงกดเพิ่มขึ้น 60 – 90 % ประสิทธิภาพของ disk โดย disk ซึ่งยื่นออกมามากกว่าด้านบนของโรเตอร์ถ้าสัมประสิทธิ์แรงกดเพิ่มจาก 1.2 เป็น 2.0 ประสิทธิภาพสูงสุดตามทฤษฎีจะเพิ่มเป็น 21.6%



รูปที่ 2.16 แสดงการปรับ โครงสร้าง โดยการเพิ่ม disk ที่ด้านบนและด้านล่าง

2. ผลกระทบของรูปทรงเลขาคณิตโดยรวม

สำหรับการแปลงพลังงานของกังหันลมแกนตั้ง จำเป็นต้องให้ประสิทธิภาพที่เอาต์พุตมีค่าสูง โดยจะมีข้อสังเกตว่า การกระจายความดันบนแผ่น plate หรือ Square body ของการไหลของอากาศจะประกอบด้วยความดันสูงที่กระทำบนด้านข้างของใบพัดทำให้หันไปทางทิศทางตามลม และความดันต่ำที่บริเวณด้านข้าง เนื่องจากโซนที่มีความดันสูงและต่ำคาดว่าสามารถจะพัฒนากังหันลมได้เมื่อลดความซับซ้อนของการแปลงพลังงานอาจจะมองเห็นเป็น Block โดยมีความกว้าง t และมีช่องลมกว้าง $t/2$ โดยใบพัดจะเคลื่อนที่ให้เป็น B จุดที่ 1 คือ ทางลมเข้า และทางออกคือจุดที่ 2 ถ้าใบพัดอยู่นิ่งจะให้เกิดความดันมากที่สุด เมื่อใบพัดเริ่มขยับ อากาศจะไหลผ่านโรเตอร์ ทำให้แรงลดลง และความดันลดลงแต่ความเร็วของใบพัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการวิเคราะห์และตั้งสมมติฐาน

1. ถ้าใบพัดหยุดนิ่งความดัน $P_1 = 0.8\rho v^2 / 2$ และ $P_2 = -1.2\rho v^2 / 2$
2. ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นของใบพัด ทำให้ค่า C_d ลดลง
3. ความต่างของความดันที่จุด 1 และ 2 สร้างความ v_2 ขึ้นเมื่อกระทำกับใบพัด ด้วยค่า C_D ที่เท่ากับ 2

ปัญหาของของไหลที่ไหล คือ ลักษณะของความดัน 2 จุด ดังนั้นความเร็วของอากาศลดลงด้วยการเพิ่มความเร็ว v_1 ของใบพัดได้ 2 กรณี

1. Conservative เมื่อ v_1 ถึง v_2 จะไม่มีความแตกต่างของความดันระหว่างจุด 1 และ 2
2. Optimistic คือ การตัดครึ่ง cross-section ของตัว body ทำให้ C_d ค่อยๆลดลง จาก 2 ($v_1=0$) ไป 1 ($v_1=v_2$)

ความแตกต่างความดันระหว่างจุด 1 และ 2 หาได้จาก สูตร

$$\Delta p = C_D \rho \frac{v_0^2}{2} \dots\dots\dots(2-17)$$

ความแตกต่างของความดันจะสร้างให้เกิดความเร็ว หาได้จาก สูตร

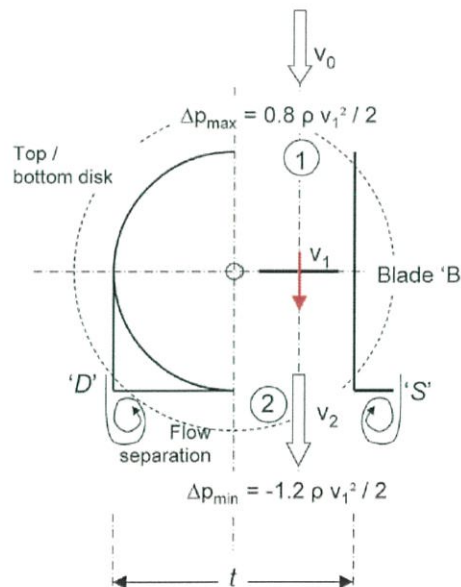
$$v_2 = \sqrt{C_{D1,2} v_0} \dots\dots\dots(2-18)$$

แรงที่เข้าปะทะกับใบพัด หาได้จาก สูตร

$$F = 2\rho A \frac{(v_2 - v_1)^2}{2} \dots\dots\dots(2-19)$$

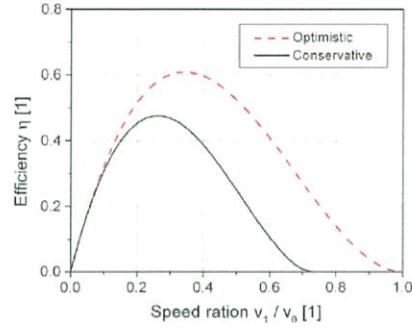
กำลังของกังหันลม หาได้จาก สูตร

$$P = Fv_1 \dots\dots\dots(2-20)$$



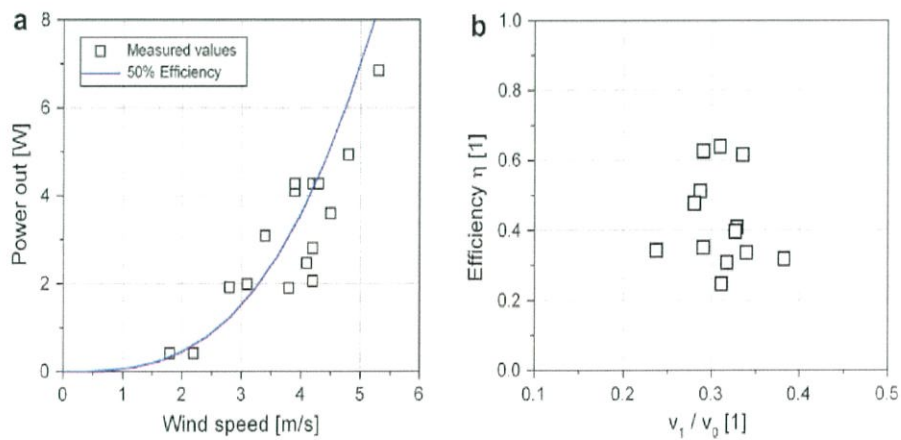
รูปที่ 2.17 แสดงการแปลงพลังงานของกังหันลมแกนตั้ง

ที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับ conservative และสำหรับ optimistic ทำให้ค่าทฤษฎีเพิ่มขึ้น 48% (conservative) และ 61%(Optimistic) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.18 แสดงถึงประสิทธิภาพ กับ อัตราส่วนของความเร็วลม



รูปที่ 2.18 แสดงถึงประสิทธิภาพ กับ อัตราส่วนของความเร็วลม

การปรับโครงสร้างทำให้ประสิทธิภาพได้ประมาณ 50% ของพลังงานจลน์ และประสิทธิภาพสูงสุดของกำลังสูงสุดวัดได้ 42% ถ้าตามทฤษฎีจะวัดประสิทธิภาพของกำลังสูงสุด 63%ควรมีอัตราส่วนความเร็ว 0.28-0.33 ที่จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.19

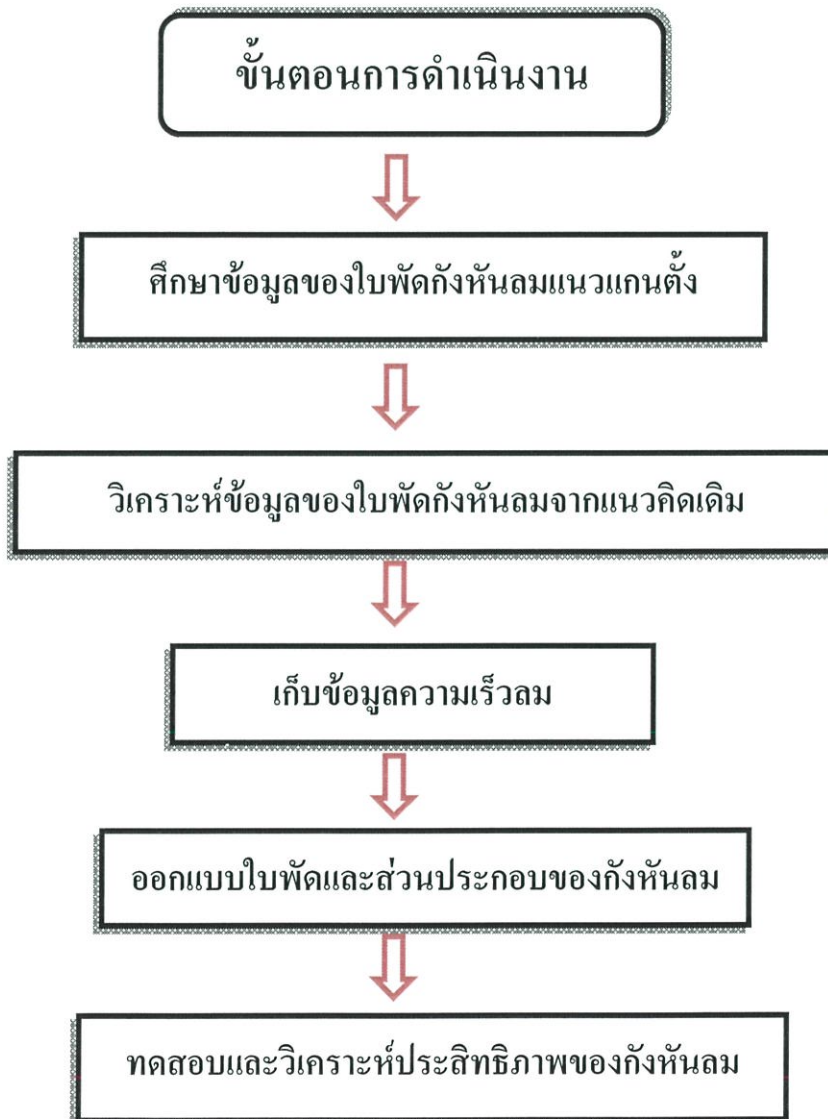


รูปที่ 2.19 แสดงถึงอัตราส่วนความเร็วลมที่เหมาะสม

บทที่ 3

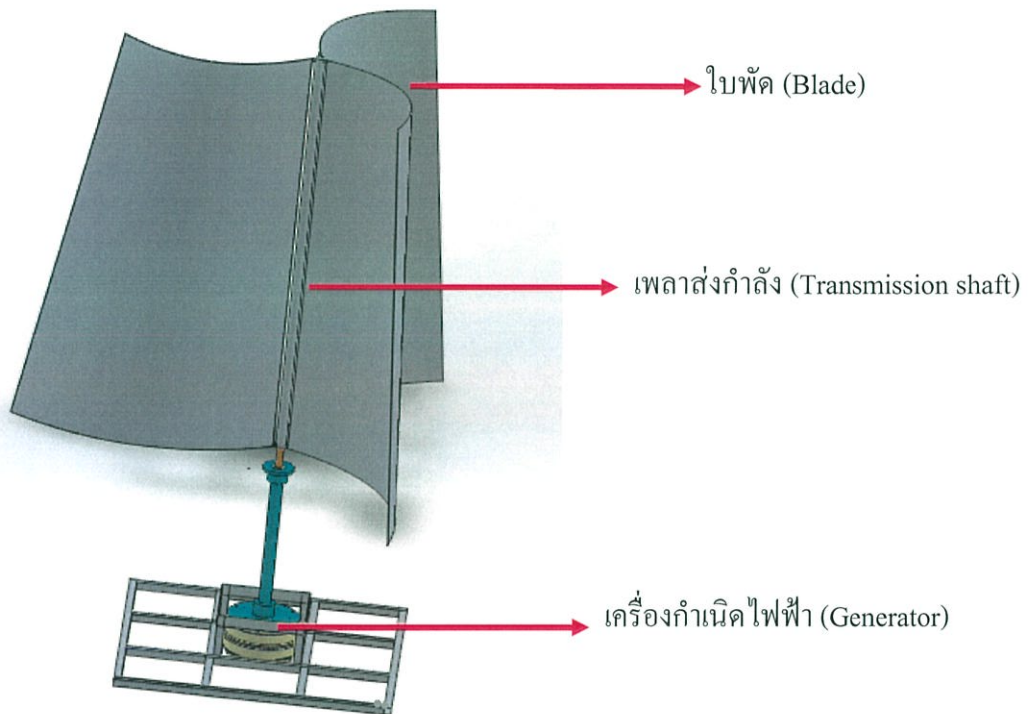
วิธีดำเนินงาน

การดำเนินงานศึกษาโครงการการออกแบบและการทดสอบใบพัดกังหันลมผลิตไฟฟ้ามี
ขั้นตอนการดำเนินงานศึกษาดังนี้



3.1 ระบบกังหันลมแนวแกนตั้ง (vertical axis wind turbine system)

จากแนวความคิดเดิมกังหันลมถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับช่วงความเร็วลมอยู่ที่ 3-9 m/s และมีส่วนประกอบหลักของกังหันลมแนวแกนตั้งมี 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนที่ 2 เพลาส่งกำลัง (Transmission shaft) ส่วนที่ 3 ใบพัด (Blade) ดังรูปที่ 3.1



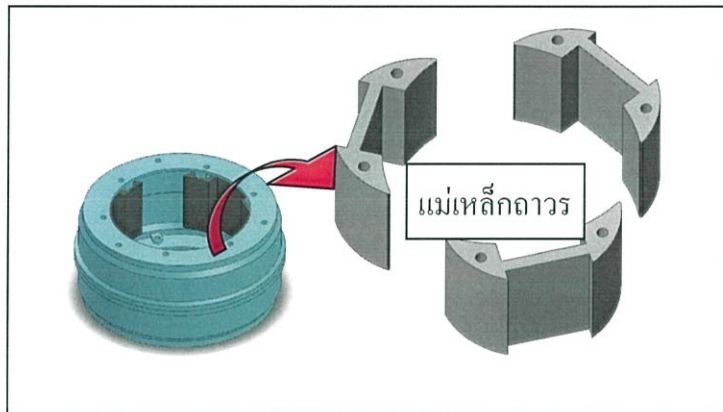
รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนตั้ง

3.1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

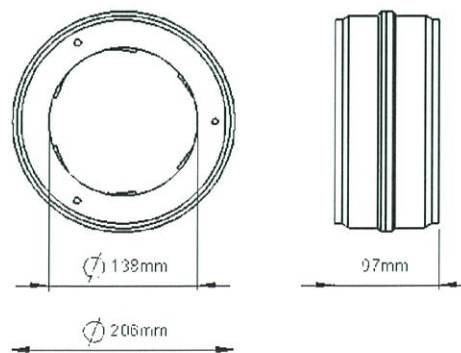
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลมจะผลิตไฟฟ้ากระแสสลับออกมา โดยใช้พลังงานที่ได้จากลมมาขับเคลื่อนให้แม่เหล็กถาวรหมุนตัดขดลวดเหนี่ยวนำให้เกิดไฟฟ้าออกมา ประกอบด้วย สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (stator) ซึ่งเป็นส่วนที่มีโครงหุ้มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) รวมถึงขดลวดทองแดง และ โรเตอร์หรือตัวหมุน (rotor) ซึ่งเป็นส่วนที่มีแม่เหล็กถาวร (permanent magnet)

ก. สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่

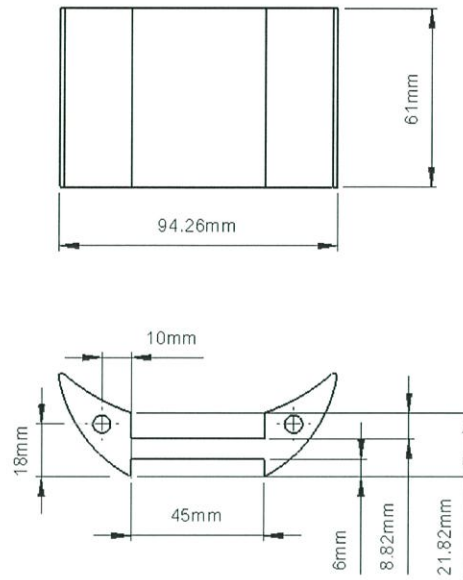
สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ เป็นส่วนที่ไม่มีการหมุนของชิ้นส่วนองค์ประกอบในตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยประกอบไปด้วยส่วนของโครงหุ้มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจะทำด้วยเหล็กหล่อหรืออะลูมิเนียมขึ้นรูปเป็นลักษณะทรงกระบอกกลวง ทำหน้าที่ยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ให้แน่นอยู่กับผิวด้านนอกของโครง ส่วนถัดมาคือแกนขดลวดทองแดง ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกันจนมีความหนาตามการออกแบบ และส่วนของขดลวดที่พันอยู่รอบของแกนเหล็กสเตเตอร์ ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของสเตเตอร์และส่วนประกอบ



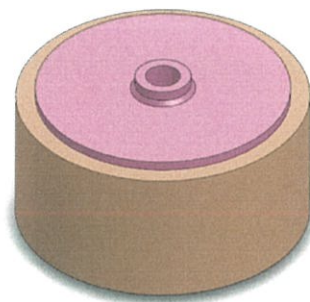
รูปที่ 3.3 แสดงภาพฉายฝาครอบ



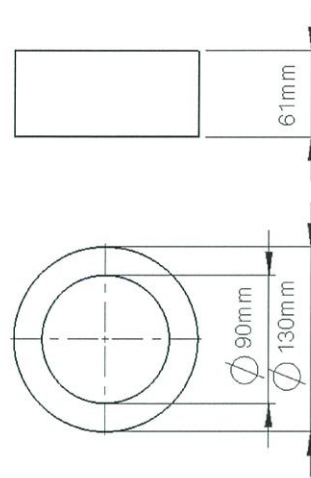
รูปที่ 3.4 แสดงภาพฉายของแม่เหล็กฐาวร

ข. โรเตอร์หรือตัวหมุน

โรเตอร์หรือตัวหมุน เป็นส่วนที่มีแม่เหล็กถาวรรูปทรงกระบอก ซึ่งมีขั้วแม่เหล็กอยู่ 6 ขั้ว โดยแม่เหล็กถาวรจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆตัวมันเอง โดยมีเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ เมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำทำให้แม่เหล็กถาวรเกิดการหมุน แล้วนำไปตัดกับขดลวด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force, emf) ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของ โรเตอร์



รูปที่ 3.6 แสดงภาพฉายลักษณะของโรเตอร์

3.1.2 เพลาส่งกำลัง (Transmission shaft)

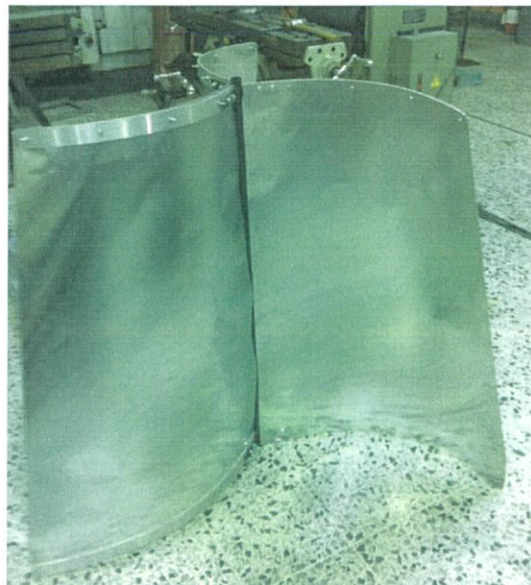
เพลาส่งกำลังเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับโครงกลุมนิยมของพัดใบ โดยหน้าที่หมุนตัวโรเตอร์ (แม่เหล็กถาวร) ให้ตัดกับขดลวดเกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กให้ได้ไฟฟ้าออกมา



รูปที่ 3.7 แสดงส่วนประกอบของเพลาส่งกำลัง

3.1.3 ใบพัด (Blade)

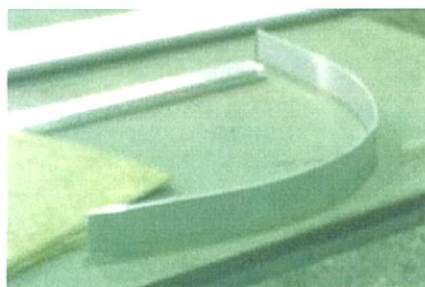
ใบพัดถูกออกแบบให้มีพื้นที่รับลมที่มาก ความเร็วรอบที่ต่ำ มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่โค้งงอเพื่อเพิ่มพื้นที่รับลมให้มากขึ้นและลดการปะทะทางด้านหลังของของใบพัด



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของใบพัดกังหันลม

ก. โครงค้ำคอกุมิเนียม

ออกแบบมาให้มีลักษณะเท่ากับส่วนบนและส่วนล่างของใบพัด เพื่อให้ยึดติดกับใบพัดและเพลาส่งกำลังเพื่อใบพัดมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของโครงอลูมิเนียม

3.2 การออกแบบใบพัดและการสร้างใบพัด

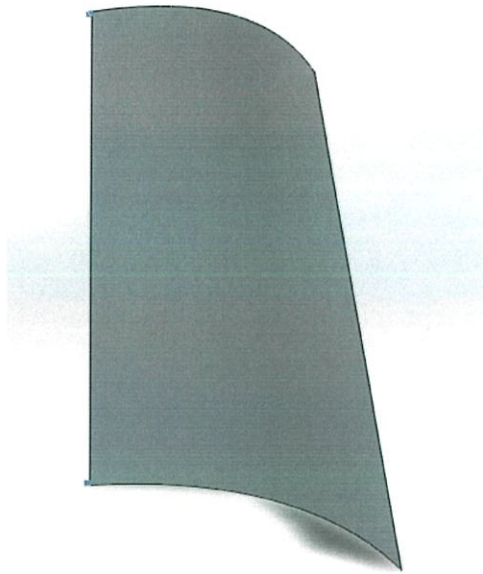
3.2.1 การออกแบบใบพัด

ในการออกแบบใบพัดกังหันลมนั้นต้องมีการคำนึงถึงส่วนต่างๆด้วย เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน เพราะต้องใช้กับความเร็วที่ต่ำและปานกลาง โดยวิเคราะห์การออกแบบที่คำนึงถึงปัจจัยต่างๆดังนี้

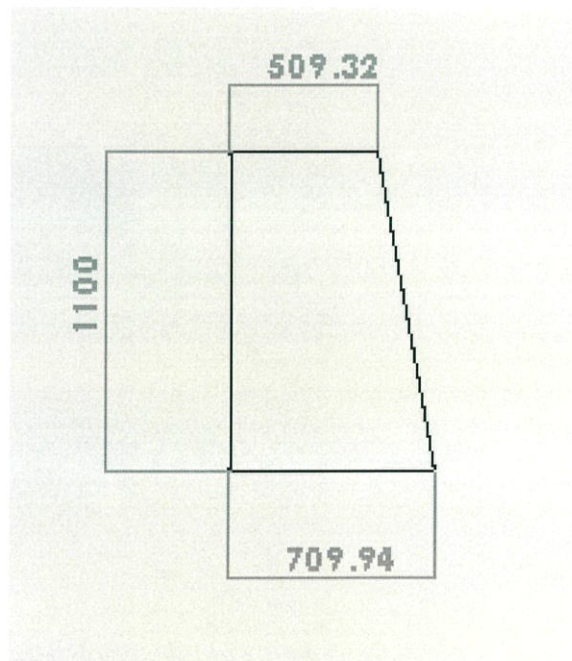
- 1) การประยุกต์กับการใช้งานด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากน้ำมาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากลมที่มีลักษณะคล้ายกัน
- 2) ใบพัดได้ออกแบบให้พื้นที่รับลมที่มาก และใช้งานกับลมที่มีความเร็วต่ำและปานกลาง
- 3) ควรเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงทนทาน ราคาไม่แพง
- 4) การออกแบบฐานเพื่อง่ายต่อการติดตั้งถอดประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสามารถเคลื่อนย้ายไปที่ไหนก็ได้ ซึ่งง่ายต่อการทำการทดสอบ

3.2.2 ใบพัดกังหันลม

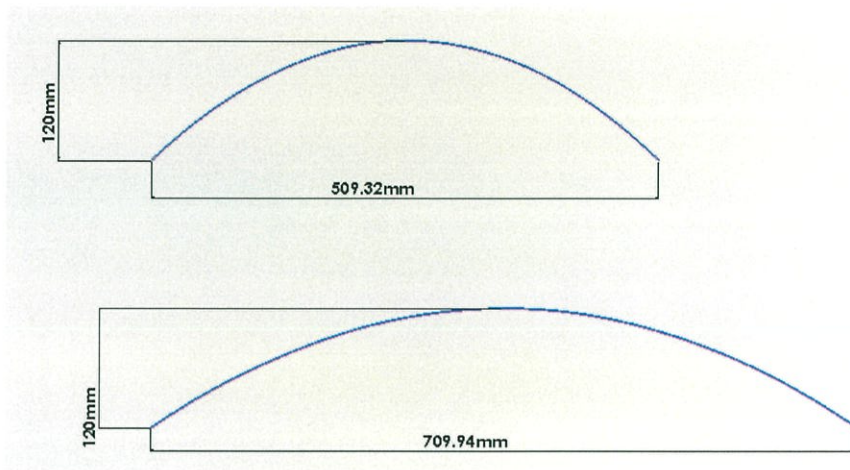
การออกแบบลักษณะของใบพัดกังหันลมได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อให้มีความสะดวกในการออกแบบและเหมาะสมกับความเร็วลมของประเทศไทย โดยการออกแบบให้มีพื้นที่รับลมที่มาก ใบพัดอยู่ติดกับเพลากลางหมุนเพื่อทำให้มีความเร็วรอบในการหมุนของใบพัดที่ต่ำจะทำให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น ใบพัดมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่โค้งงอ เพื่อให้ลดแรงปะทะทางด้านหลังของใบพัดมี เมื่อวาดภาพด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเสร็จสิ้นแล้ว เราจึงนำภาพไปขึ้นแม่แบบตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม



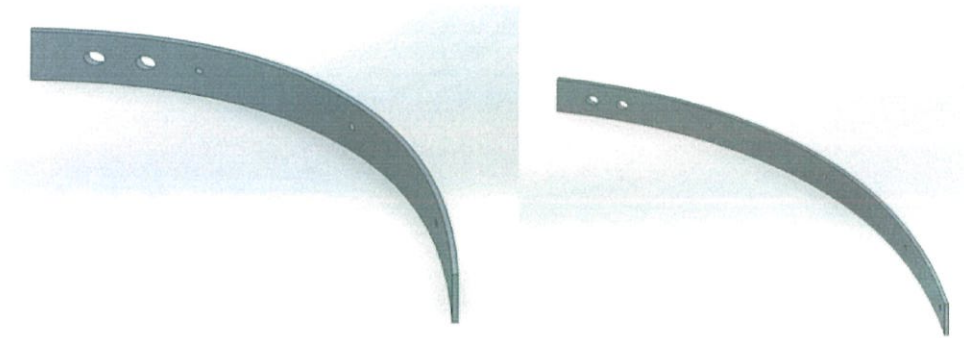
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของใบพัดกังหัน



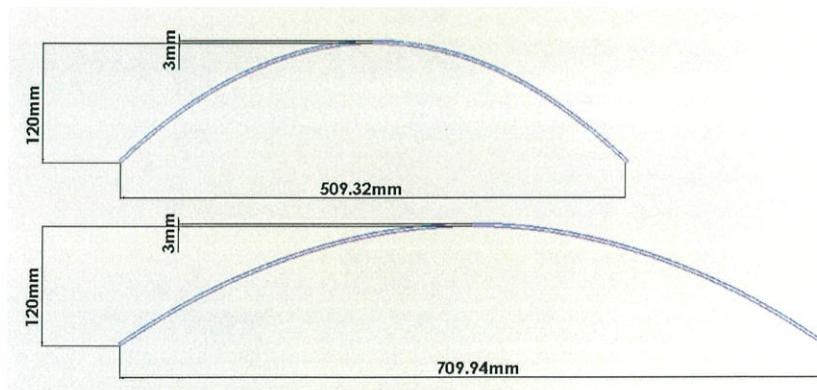
รูปที่ 3.11 แสดงภาพฉายลักษณะของใบพัดกังหัน



รูปที่ 3.12 แสดงภาพฉายลักษณะด้านบนและด้านล่างของใบพัดกึ่งหัน



รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของโครงอลูมิเนียม



รูปที่ 3.14 แสดงภาพฉายลักษณะของโครงอลูมิเนียม

ค่า Parameters ต่างๆที่คำนึงใช้หลักในการออกแบบต่อไปนี้

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 C_p$$

ค่า C_p (ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง) ยังไม่นำมาคิดพิจารณาในตอนี้ โดยเราจะพิจารณาเฉพาะกำลังที่ผลิต (P หน่วย วัตต์) , ความสูงของใบพัด \times เส้นผ่านศูนย์กลาง (A หน่วย ตารางเมตร) และความเร็วลม (V หน่วย เมตรต่อวินาที)

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3$$

ในตอนี้เรามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รู้แล้วแน่นอนว่าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 200 วัตต์ ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของอากาศมีค่า 1.1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\rho=1.1 \text{ kg/m}^3$) และสามารถออกแบบได้ว่าควรให้ใบพัดพื้นที่รับลมเท่าใด เพื่อให้มีความเหมาะสมกับความเร็วลมที่เราต้องการได้จาก

พื้นที่ของใบพัด (a)

$$a = \frac{1}{2} \times \text{Sum on the parallel} \times \text{high}$$

; Sum on the parallel คือ ผลบวกด้านคู่ขนาน, high คือ ความสูง

$$a = \frac{1}{2} \times (0.50932 + 0.70994) \times 1.1$$

$$a = 0.670593 \text{ ตารางเมตร}$$

ดังนั้น พื้นที่รับลมของกังหัน

$$A = 2a$$

$$A = 2(0.670593)$$

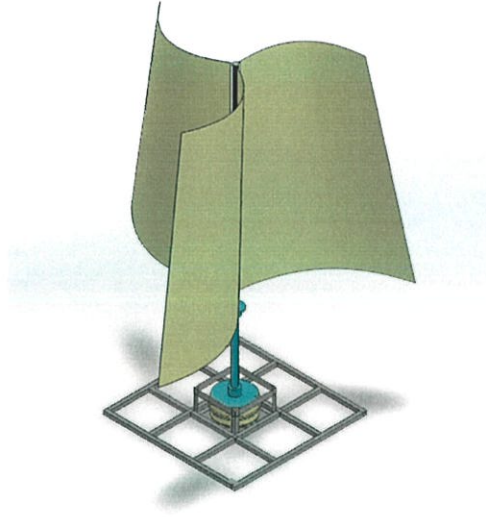
$$A = 1.341186 \text{ ตารางเมตร}$$

จาก

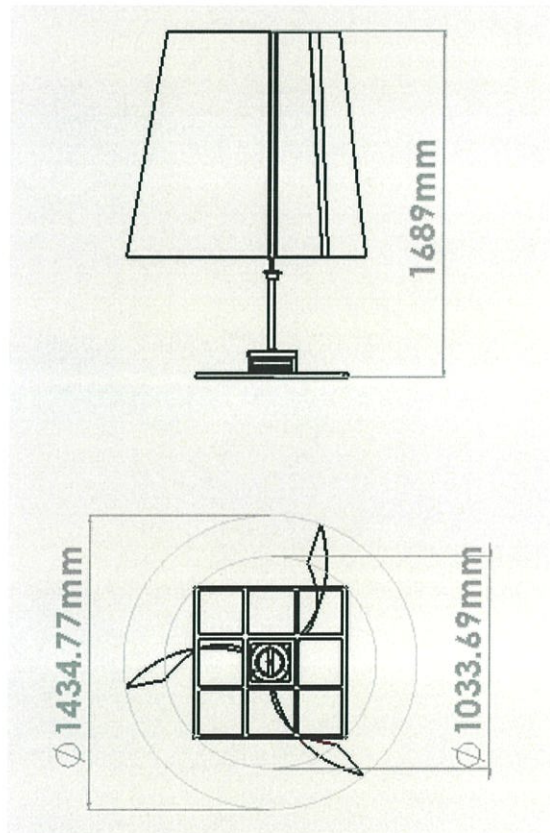
$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3$$

$$200 = \frac{1}{2} \times 1.1 \times 1.341186 \times v^3$$

$$v = 6.4723 \text{ m/s}$$



รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะของโคมพัดกังหันลมแนวแกนตั้ง



รูปที่ 3.16 แสดงภาพฉายลักษณะของโคมพัดกังหันลมแนวแกนตั้ง

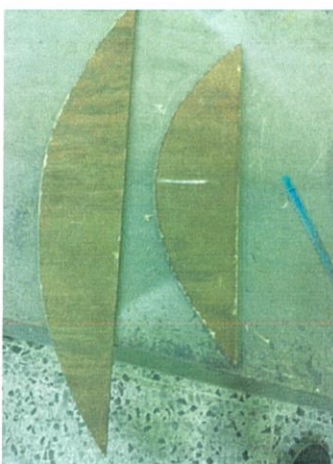
การสร้างใบพัด

1. ตัดเหล็กแป้นกลมให้มีขนาดความสูงตามที่ออกแบบ หลังจากนั้นตัดแผ่นเหล็ก แล้วเจาะรูเพื่อจะยึดระหว่างเพลาส่งกำลังกับใบพัด เมื่อได้แล้วทำการเชื่อมเหล็กทั้งสอง



รูปที่ 3.17 แสดงลักษณะของเพลาส่งกำลัง

2. ตัดไม้ให้มีขนาดเท่ากับความโค้งของใบพัดทั้งส่วนด้านบนและด้านล่าง



รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะของไม้ต้นแบบ

- ตัดอลูมิเนียมหลังจากนั้นนำมาตัดตามความโค้งโดยใช้ไม้ต้นแบบที่ตัดไว้ทั้งส่วนบนและส่วนล่าง และเจาะรู เพื่อทำเป็นโครงของใบพัด



รูปที่ 3.19 แสดงลักษณะของการตัดโครงอลูมิเนียม

- นำโครงอลูมิเนียมมายึดติดกับเพลาส่งกำลัง



รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะของการประกอบโครงอลูมิเนียมกับเพลากันหมุน

5. ตัดแผ่นอลูมิเนียมให้มีขนาดตามที่ออกแบบไว้ แล้วนำมาติดกับโครงอลูมิเนียม



รูปที่ 3.21 แสดงลักษณะของการประกอบใบพัดกับเพลาส่งกำลัง

6. ทำส่วนของฐานกั้นลมโดยมีขนาดตามที่ออกแบบไว้

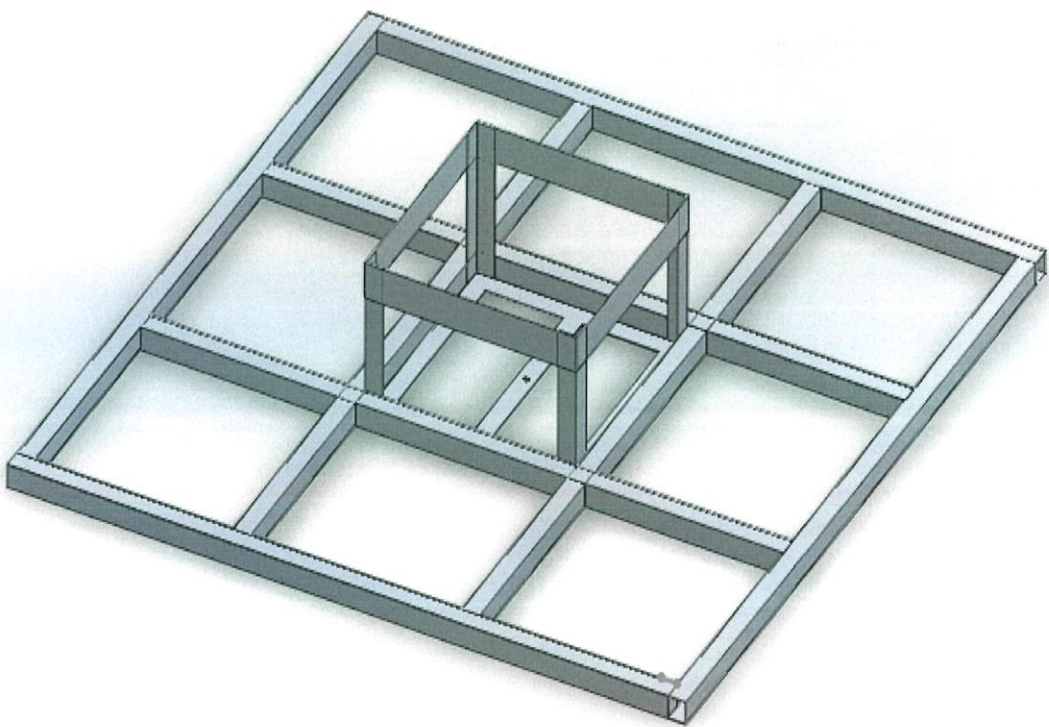


รูปที่ 3.22 แสดงลักษณะของฐาน

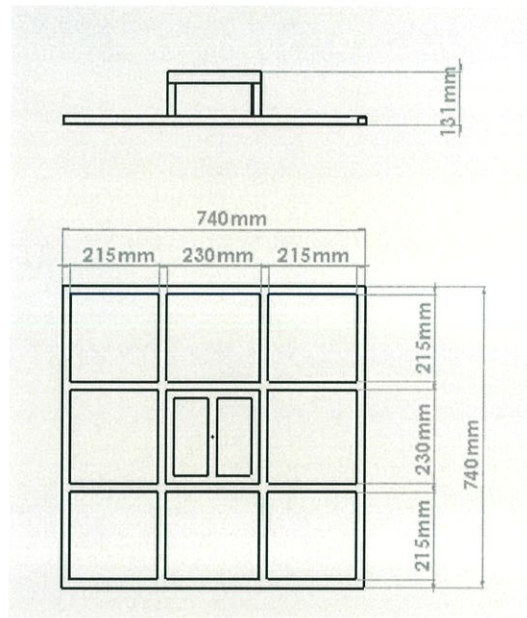
- นำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาประกอบกับฐาน หลังจากนั้นนำเพลาส่งกำลังต่อมีใบพัดมาประกอบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.2.3 โครงสร้างฐานรองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โครงสร้างฐานออกแบบโดยคำนึงถึงความสะดวกในการถอดประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกเพื่อนำไปทดสอบ และมีความแข็งแรงรองรับน้ำหนักได้ดี จึงได้นำเหล็กฉากมาเป็นส่วนประกอบหลักในการทำโครงสร้างฐานซึ่งใช้เหล็กฉากหนา 1 หุน ขนาดความกว้างแต่ละด้านยาว 1 นิ้ว นำมาเชื่อมประกอบกันเป็นโครงสร้างฐาน



รูปที่ 3.23 แสดงลักษณะของโครงสร้างฐานรองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.24 แสดงภาพฉายโครงสร้างฐาน

3.3 การทดสอบ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกักหน้ลมนแนวแกนตั้ง อุปกรณ์การทดสอบ

1. Multimeter ใช้สำหรับวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.25 Multimeter รุ่น Fluke 115 True rms

2. Anemometer ใช้วัดความเร็วลม



รูปที่ 3.26 Anemometer

3. เครื่องมือวัดความเร็วรอบในการหมุนของกังหันลม



รูปที่ 3.27 นาฬิกาจับเวลา

4. ตลับเมตรใช้วัดระยะของแหล่งกำเนิดลม



รูปที่ 3.29 ตลับเมตร

5. พัดลมใช้เป็นแหล่งกำเนิดลมเพื่อทดสอบ



รูปที่ 3.30 พัดลมแหล่งกำเนิด

ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมได้ออกแบบ โดยใช้พัดลมเป็นแหล่งกำเนิดลม ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การหาความเร็วลมของแหล่งกำเนิด

- 1.1 จัดวางตำแหน่งของ Anemometer ให้อยู่ในระดับตรงไปของพัดลม
- 1.2 ใช้ตลับเมตรวัดระยะการทดสอบในระยะคือ 60 , 80 , 100, 120 , 140 , 160 , 180 และ 200 cm ตามลำดับ
- 1.3 เริ่มวัดว่าความเร็วลม โดยเปิดพัดลมตั้งแต่เบอร์ 1-3 ที่ระยะตามที่กำหนด ให้ Anemometer หมุน
- 1.4 รอให้ความเร็วลมที่หน้าจอแสดงผลเริ่มคงที่แล้วบันทึกค่าความเร็วลมที่ได้ บันทึกค่าความเร็วลมจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย
- 1.5 บันทึกความเร็วลมลงตาราง

ขั้นตอนที่ 2 การหาความเร็วลมเริ่มต้นที่ทำให้ใบพัดหมุน

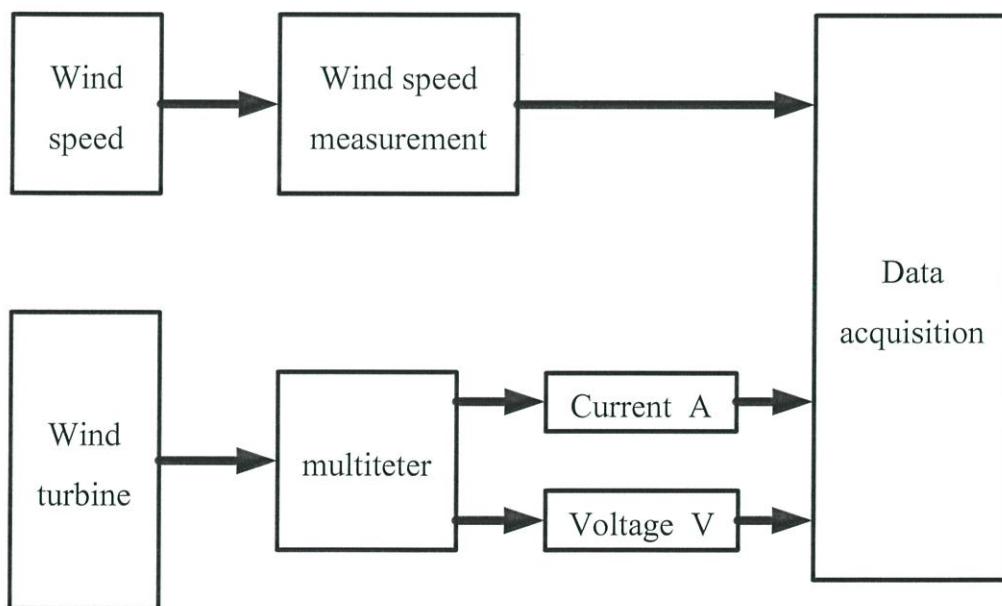
2.1 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับฐานรองรับตั้งระดับของเพลาหลักให้อยู่ในแนวตั้งโดยใช้วัดระดับน้ำทาบทับเพลาหลักแล้วสังเกตระดับน้ำให้อยู่กึ่งกลาง

2.2 จัดวางตำแหน่งเครื่องมือทดสอบคือ Anemometer ให้อยู่หน้าของกังหันลมโดยห่างออกมาเล็กน้อย และจัดตำแหน่งพัดลมแหล่งกำเนิดโดยใช้ตลับเมตรวัดระยะต่างๆคือ 60 , 80 , 100, 120 , 140 , 160 , 180 และ 200 cm ตามลำดับ

2.5 เปิดพัดลมตั้งแต่เบอร์ 1-3 ที่ระยะตามที่กำหนดแล้วค่อยๆขยับพัดลมเข้ามาในระยะจนใบพัดกังหันลมเริ่มหมุน บันทึกค่าระยะห่างและช่วงความเร็วลม

ขั้นตอนที่ 3 การวัดค่ากระแส แรงดัน ค่าช่วงความเร็วลม และความเร็วในการหมุนของใบพัด

1.1 จากขั้นตอนที่ 2 เมื่อเปิดพัดลมตามระยะที่กำหนดแล้วใบพัดเริ่มหมุน ให้ทำการวัดกระแส แรงดัน ค่าช่วงความเร็วลม และความเร็วในการหมุนของใบพัด



รูปที่ 3.31 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทดสอบระบบ

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

ผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมจากกังหันลมขนาดเล็กแบบแกนตั้ง (VAWT) โดยทำการทดสอบการวัดเชิงกลและการวัดทางไฟฟ้า แล้วนำผลทดลองที่ได้มาวิเคราะห์คำนวณหา กำลังงานที่เกิดจากการไหลของลม ค่าสัมประสิทธิ์แรงจูด (C_D) และการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดลม ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 การวัดใบพัดกับแหล่งกำเนิดลม

ในการหาแหล่งกำเนิดเพื่อมาเทียบกับแหล่งกำเนิดลมจริงนั้น ได้ใช้พัดลมขนาดใหญ่ ซึ่งทำการทดลองทั้ง 3 ระดับของพัดลม และนำมาข้อมูลมาเปรียบเทียบกัน ดังการทดลองดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ทดสอบ และกังหันลมดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆในการทดสอบ

2. วางแอนิเมเตอร์ในลักษณะที่อยู่กึ่งกลางด้านหน้าและหลังใบพัด
3. เริ่มเปิดพัดลมระดับที่ 1 ซึ่งวางแอนิเมเตอร์ไว้ด้านหน้าของใบพัดห่างจากพัดลมที่ระยะห่าง 60 , 80 , 100 , 120 , 140 , 160 , 180 และ 200 cm และบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 1 ก่อนปะทะใบพัด

ระยะห่าง แหล่งกำเนิดลม (cm)	ครั้งที่ 1 (m/s)	ครั้งที่ 2 (m/s)	ครั้งที่ 3 (m/s)	เฉลี่ย (m/s)
60	6.50	6.20	6.30	6.33
80	5.90	5.70	5.80	5.80
100	4.90	4.80	5.00	4.90
120	4.40	4.60	4.80	4.60
140	4.10	3.90	3.80	3.93
160	3.60	3.50	3.70	3.60
180	3.40	3.50	3.40	3.43
200	3.00	3.10	3.00	3.03

การหาความเร็วลมก่อนปะทะใบพัดเฉลี่ยในแต่ละระยะห่างจากแหล่งกำเนิด

ความเร็วลมเฉลี่ย บันทึกค่าความเร็วลม 3 ครั้ง ทุกๆ 1 ระยะห่างแล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย เช่น ที่ระยะห่างแหล่งกำเนิดลม 60 cm วัดได้ 6.5 , 6.2 , 6.3 m/s

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \bar{X} &= \frac{\sum X}{N} \\ \bar{X} &= \frac{6.5 + 6.2 + 6.3}{3} \\ \bar{X} &= 6.33 \text{ m/s} \end{aligned}$$

4. ทำการทดลองระดับที่ 2 และ 3 ตามลำดับและคำนวณเช่นเดียวกับข้อ 3 และบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

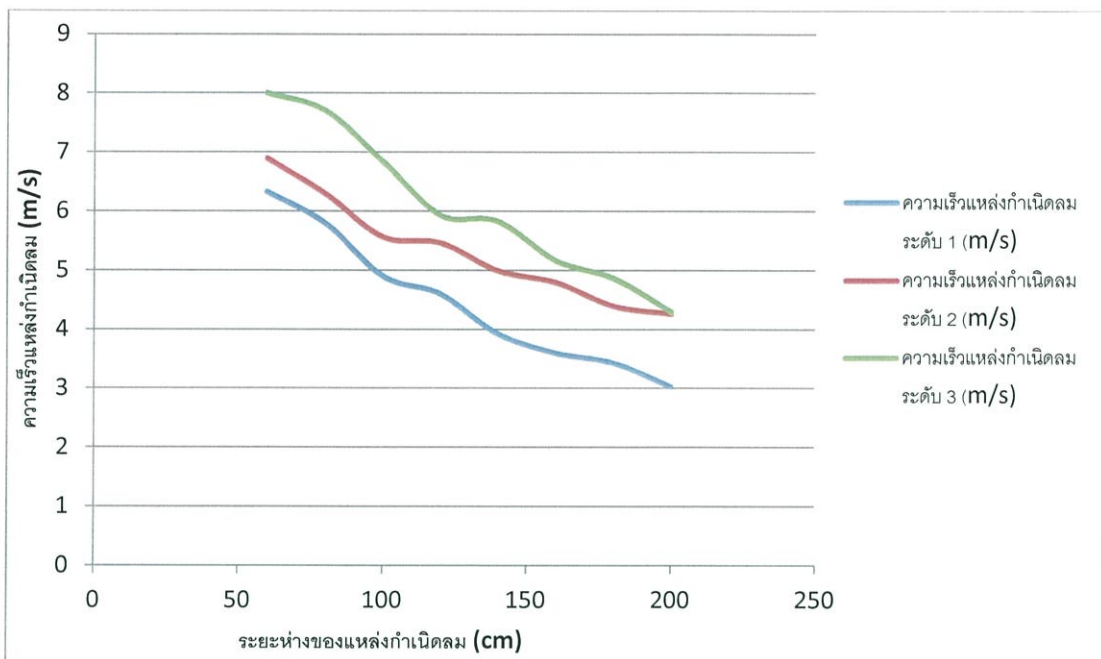
ตารางที่ 4.2 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 2 ก่อนปะทะใบพัด

ระยะห่าง แหล่งกำเนิดลม (cm)	ครั้งที่ 1 (m/s)	ครั้งที่ 2 (m/s)	ครั้งที่ 3 (m/s)	เฉลี่ย (m/s)
60	7.00	6.90	6.80	6.90
80	6.10	6.30	6.50	6.30
100	5.60	5.70	5.40	5.57
120	5.40	5.30	5.70	5.47
140	5.00	4.90	5.10	5.00
160	4.60	5.00	4.80	4.80
180	4.40	4.20	4.60	4.40
200	4.00	4.20	4.60	4.27

ตารางที่ 4.3 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 3 ก่อนปะทะใบพัด

ระยะห่าง แหล่งกำเนิดลม (cm)	ครั้งที่ 1 (m/s)	ครั้งที่ 2 (m/s)	ครั้งที่ 3 (m/s)	เฉลี่ย (m/s)
60	8.00	7.90	8.10	8.00
80	7.70	7.80	7.60	7.70
100	6.60	6.80	7.10	6.83
120	6.10	6.00	5.70	5.93
140	5.80	5.70	6.00	5.83
160	5.00	5.20	5.30	5.17
180	5.10	4.90	4.60	4.87
200	4.20	4.10	4.60	4.30

5. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างแหล่งกำเนิดลม (cm) กับความเร็วลมที่แหล่งกำเนิดลมระดับที่ 1, 2, 3 ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างแหล่งกำเนิดลม (cm) กับความเร็วแหล่งกำเนิดลม ระดับที่ 1, 2, 3

6. เริ่มเปิดพัดลมระดับที่ 1 ซึ่งวางแอนิโมมิเตอร์ไว้ด้านหลังของใบพัดห่างจากพัดลมที่ระยะห่าง 60 , 80 , 100 , 120 , 140 , 160 , 180 และ 200 cm และบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 1 หลังปะทะใบพัด

ระยะห่าง แหล่งกำเนิดลม (cm)	ครั้งที่ 1 (m/s)	ครั้งที่ 2 (m/s)	ครั้งที่ 3 (m/s)	เฉลี่ย (m/s)
60	0.90	1.10	1.20	1.07
80	1.20	0.90	0.70	0.93
100	1.50	1.20	0.90	1.20
120	0.90	1.10	0.70	0.90
140	1.00	1.10	0.80	0.97
160	0.80	0.90	1.00	0.90
180	1.10	1.80	1.70	1.53
200	1.00	1.10	0.90	1.00

7. ทำการทดลองระดับที่ 2 และ 3 ตามลำดับและคำนวณเช่นเดียวกับข้อ 3 และบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 2 หลังปะทะใบพัด

ระยะห่าง แหล่งกำเนิดลม (cm)	ครั้งที่ 1 (m/s)	ครั้งที่ 2 (m/s)	ครั้งที่ 3 (m/s)	เฉลี่ย (m/s)
60	0.80	1.00	1.20	1.00
80	1.10	1.20	1.00	1.10
100	1.20	0.90	1.10	1.07
120	1.30	1.40	1.20	1.30
140	0.70	0.90	1.30	0.97
160	1.30	1.10	0.90	1.10
180	1.40	1.60	1.00	1.33
200	1.50	0.90	1.10	1.17

ตารางที่ 4.6 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 3 หลังปะทะใบพัด

ระยะห่าง แหล่งกำเนิดลม (cm)	ครั้งที่ 1 (m/s)	ครั้งที่ 2 (m/s)	ครั้งที่ 3 (m/s)	เฉลี่ย (m/s)
60	1.50	1.20	1.30	1.33
80	0.90	0.90	1.00	0.93
100	1.10	1.20	0.90	1.07
120	1.30	1.00	1.10	1.13
140	1.10	0.90	1.00	1.00
160	0.80	1.20	1.00	1.00
180	1.20	1.10	1.00	1.10
200	1.00	0.90	1.00	0.97

เพื่อทำการวิเคราะห์ทั้ง 3 ระดับของพัดลมแล้วจึงเลือกใช้ระดับทั้ง 3 ระดับ เป็นตัวทดสอบกับกังหันลมเพราะว่าในช่วงความเร็วลมอยู่ในช่วงที่ต้องการกับการออกแบบ (ช่วง 4-8 m/s) และมีแรงผลักใบกังหันที่เพียงพอ และสามารถนำไปเทียบกับแหล่งกำเนิดลมตามธรรมชาติได้จริง

4.2 การวิเคราะห์กังหันลมแกนตั้งในระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 60 cm.

1. ในระยะแรกเราเริ่มนำแหล่งกำเนิดลมของเราห่างจากใบพัดกังหันลมเป็นระยะ 60 cm และทำการวัดความเร็วลม
2. ทำการจับเวลาที่ใบพัดหมุนครบ 1 รอบ ซึ่งทำการวัดด้วยกัน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย เช่น จับเวลาได้ 2.86 , 2.60 , 2.83 วินาที

$$\begin{aligned} \text{จาก } \bar{X} &= \frac{\sum X}{N} \\ \bar{X} &= \frac{2.86+2.6+2.83}{3} \\ \bar{X} &= 2.76 \text{ s} \end{aligned}$$

ดังนั้น เวลาเฉลี่ยที่ใบพัดหมุนครบ 1 รอบ เท่ากับ 2.76 วินาที

นำการแปลงหน่วยวินาที (S) ไปเป็น รอบต่อนาที

เช่น 1 รอบ หมุนใช้เวลา 2.76 วินาที

1 รอบ/นาที หมุนใช้เวลา $\frac{1}{2.76} \times 60 = 21.71$ รอบ/นาที

3. ทำการวัด แรงดันไฟฟ้า (V กระแสสลับ) , กระแสไฟฟ้า (A)

4. หาค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันลมที่ผลิตออกมาได้

เช่น ที่กระแสไฟฟ้า 0.084 แอมแปร์ (A) แรงดัน 4.8 โวลต์ (V) ที่แหล่งกำเนิดลมห่างจากกังหันลม 60 เซนติเมตร

จาก

$$P = IV$$

$$P = (0.084) \times (4.8)$$

$$P = 0.4032 \text{ W}$$

ดังนั้น กังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้า 0.4032 W

5. ทำการหาแรงที่เข้าปะทะใบพัด โดยหาจากสมการที่ (2-19)

$$F = 2\rho A \frac{(v_2 - v_1)^2}{2}$$

$$F = 2(1.1)(1.341186) \frac{(1.07 - 6.33)^2}{2}$$

$$F = 40.818 \text{ N}$$

จากนั้นนำแรงที่เข้าปะทะใบพัด (F) มาวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์แรงดูด (C_D)

จากสมการที่ (2-7)

$$C_D = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho A v^2} ; F = \text{แรงที่เข้าปะทะใบพัด} \quad \rho = 1.1 \text{ Kg/m}^3 \quad A = \text{พื้นที่รับลม (2a)}$$

v = ความเร็วลม

$$C_D = \frac{40.818}{\frac{1}{2} \times 1.1 \times 1.341186 \times 6.33^2}$$

$$C_D = 1.38$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงดูด (C_D) ขึ้นอยู่กับค่าแรงที่ปะทะใบพัด พื้นที่รับลม และ

ความเร็วลม

ตารางที่ 4.7 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 1

ระยะห่าง แหล่งกำเนิด ลม (cm)	อินพุต (input)					เอาต์พุต (output)			
	ความเร็ว ลมเฉลี่ย ก่อนปะทะ (m/s)	เวลาที่ใบพัดหมุนครบ 1 รอบ				ความเร็วปลาย ใบพัด (รอบต่อนาที)	ความเร็วลม เฉลี่ยหลัง ปะทะ (m/s)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
		วินาที (s)							
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย				
60	6.33	2.86	2.60	2.83	2.76	21.71	1.07	4.80	0.084
80	5.80	2.83	2.87	2.85	2.85	21.05	0.93	4.74	0.085
100	4.90	2.96	2.87	3.03	2.95	20.32	1.20	4.65	0.082
120	4.60	3.08	2.95	3.05	3.02	19.82	0.90	4.56	0.078
140	3.93	3.01	3.05	3.06	3.04	19.74	0.97	4.51	0.070
160	3.60	3.21	3.78	3.31	3.43	17.48	0.90	4.40	0.064
180	3.43	3.68	3.54	3.71	3.64	16.47	1.53	3.65	0.057
200	3.03	4.44	4.27	4.36	4.36	13.77	1.00	3.63	0.045

กังหันลมเริ่มหมุนด้วยตนเองไม่ได้ที่ระยะ 220cm

ระยะห่าง แหล่งกำเนิดลม (cm)	ความเร็วลม เฉลี่ยก่อน ปะทะ (m/s)	ความเร็วลม เฉลี่ยหลัง ปะทะ (m/s)	กำลังไฟฟ้า $P=IV$	แรงที่ปะทะ $F = 2\rho A \frac{(v_2-v_1)^2}{2}$	สัมประสิทธิ์แรงจุด $C_D = \frac{F}{\frac{1}{2}\rho Av^2}$
60	6.33	1.07	0.4032	40.82	1.38
80	5.80	0.93	0.4049	34.99	1.41
100	4.90	1.20	0.3813	21.20	1.19
120	4.60	0.90	0.3557	20.19	1.29
140	3.93	0.97	0.3157	12.96	1.14
160	3.60	0.90	0.2816	10.75	1.12
180	3.43	1.53	0.2081	5.32	0.61
200	3.03	1.00	0.1535	6.07	0.89

ตารางที่ 4.8 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 2

ระยะห่าง แหล่งกำเนิด ลม (cm)	อินพุต (input)					เอาต์พุต (output)			
	ความเร็ว ลมเฉลี่ย ก่อนปะทะ (m/s)	เวลาที่ใบพัดหมุนครบ 1 รอบ				ความเร็วปลาย ใบพัด (รอบต่อนาที)	ความเร็วลม เฉลี่ยหลัง ปะทะ (m/s)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
		วินาที (s)							
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย				
60	6.90	2.11	2.15	2.17	2.14	27.99	1.00	6.46	0.100
80	6.30	2.19	2.22	2.19	2.20	27.27	1.10	5.60	0.092
100	5.57	2.38	2.40	2.44	2.41	24.93	1.07	5.25	0.085
120	5.47	2.43	2.48	2.50	2.47	24.29	1.30	4.76	0.087
140	5.00	2.72	2.68	2.70	2.70	22.22	0.97	4.55	0.073
160	4.8	2.82	2.80	2.96	2.86	20.98	1.10	4.38	0.068
180	4.4	3.28	3.17	3.05	3.17	18.94	1.33	4.48	0.062
200	4.27	3.43	3.32	3.20	3.17	18.09	1.17	4.38	0.063

กังหันลมเริ่มหมุนด้วยตนเองไม่ได้ที่ระยะ 280 cm

ระยะห่าง แหล่งกำเนิดลม (cm)	ความเร็วลม เฉลี่ยก่อน ปะทะ (m/s)	ความเร็วลม เฉลี่ยหลัง ปะทะ (m/s)	กำลังไฟฟ้า $P=IV$	แรงที่ปะทะ $F = 2\rho A \frac{(v_2-v_1)^2}{2}$	สัมประสิทธิ์แรงจุด $C_D = \frac{F}{\frac{1}{2}\rho Av^2}$
60	6.90	1.00	0.6460	51.36	1.46
80	6.30	1.10	0.5152	39.89	1.36
100	5.57	1.07	0.4462	23.72	1.03
120	5.47	1.30	0.4141	25.65	1.16
140	5.00	0.97	0.3321	23.96	1.29
160	4.8	1.10	0.2978	20.19	1.18
180	4.4	1.33	0.2777	13.90	0.97
200	4.27	1.17	0.2759	14.17	1.05

ตารางที่ 4.9 ความเร็วแหล่งกำเนิดลมระดับที่ 3

ระยะห่าง แหล่งกำเนิด ลม (cm)	อินพุต (input)					เอาต์พุต (output)			
	ความเร็ว ลมเฉลี่ย ก่อนปะทะ (m/s)	เวลาที่ใบพัดหมุนครบ 1 รอบ				ความเร็วปลาย ใบพัด (รอบต่อนาที)	ความเร็วลม เฉลี่ยหลัง ปะทะ (m/s)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
		วินาที (s)							
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย				
60	8.00	1.98	1.90	2.10	1.99	30.10	1.33	6.81	0.103
80	7.70	2.15	2.17	2.12	2.15	27.95	0.93	5.85	0.095
100	6.83	2.37	2.17	2.12	2.22	27.02	1.07	5.60	0.092
120	5.93	2.48	2.28	2.32	2.36	25.42	1.13	5.35	0.085
140	5.83	2.55	2.47	2.56	2.52	23.74	1.00	5.28	0.081
160	5.17	2.74	2.61	2.59	2.65	22.67	1.00	4.76	0.078
180	4.87	2.76	2.65	2.60	2.67	22.47	1.10	4.65	0.070
200	4.30	2.86	2.79	2.90	2.85	21.05	0.97	4.60	0.067

กังหันลมเริ่มหมุนด้วยตนเองไม่ได้ที่ระยะ 300 cm

ระยะห่าง แหล่งกำเนิดลม (cm)	ความเร็วลม เฉลี่ยก่อน ปะทะ (m/s)	ความเร็วลม เฉลี่ยหลัง ปะทะ (m/s)	กำลังไฟฟ้า $P=IV$	แรงที่ปะทะ $F = 2\rho A \frac{(v_2-v_1)^2}{2}$	สัมประสิทธิ์แรงจุด $C_D = \frac{F}{\frac{1}{2}\rho Av^2}$
60	8.00	1.33	0.7014	65.63	1.39
80	7.70	0.93	0.5557	67.61	1.54
100	6.83	1.07	0.5152	48.94	1.42
120	5.93	1.13	0.4547	33.99	1.31
140	5.83	1.00	0.4276	34.41	1.37
160	5.17	1.00	0.3712	25.65	1.30
180	4.87	1.10	0.3255	20.96	1.19
200	4.30	0.97	0.3082	16.35	1.19

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงกล และทางไฟฟ้าของกังหันลมแนวแกนตั้ง พบว่ากังหันลมในแนวแกนตั้งขนาดเล็กนั้นสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จริง

5.1 วิเคราะห์ทางด้านโครงสร้าง

5.1.1 โครงใบพัด

ลักษณะของ โครงใบพัดนั้นเป็น โครงที่ทำด้วยอะลูมิเนียมรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีลักษณะโค้งงอเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับลม โดยใบพัดอะลูมิเนียมยึดติดกับอะลูมิเนียมเส้นแบนที่ตัดโค้งตามแผ่นอะลูมิเนียมทั้งด้านบนและด้านล่าง ก่อนจะนำมาประกอบกับแกนส่งกำลัง โดยภาพรวมแล้ว โครงมีลักษณะเบาเกิน จึงไม่ค่อยแข็งแรง

5.1.2 แกนส่งกำลังหลัก

แกนส่งกำลังหลักทำด้วยกันเหล็กแป๊บกลม จึงมีลักษณะแข็งแรงทนทาน

5.1.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เป็นส่วนที่ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา ซึ่งตัวเครื่องนี้ค่อนข้างฝืดจึงได้มีการแก้ไขเบื้องต้น โดย มีการฉีคน้ำมันหล่อลื่นที่บริเวณแบริ่ง (ลูกปืน) พบว่าหลังจากการแก้ปัญหาเบื้องต้นแล้ว ตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถหมุนได้ดีขึ้นกว่าเดิม

5.1.4 ฐานรองรับ

ฐานรองรับเป็นส่วนที่ทำการตัดเหล็กจากและเหล็กแป๊บสี่เหลี่ยมมาเชื่อมติดกัน ซึ่งเมื่อทำการเชื่อมแล้ว โครงสร้างฐานค่อนข้างมีความแข็งแรงมาก และได้ทำการพ่นสีฐานเนื่องจากในเรื่องการป้องกันสนิม และเรื่องความสวยงาม

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมในแนวแกนตั้งขนาดเล็กพบว่า ประสิทธิภาพมีค่าที่น้อยมาก โดยการออกแบบนั้น ต้องออกแบบใบพัดกังหันลมในส่วนของพื้นที่รับลม ซึ่งกำหนดจากการคำนวณด้วยกำลังสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และใช้พัดลมเป็นแหล่งกำเนิดลมที่ใช้ทดสอบ จากการทดลองโดยวัดความเร็วลมของพัดลมก่อนที่จะปะทะกับใบพัดกังหันและหลัง

ปะทะกับใบพัดกังหันทั้ง 3 ระดับเพื่อหาแรงดูดจากสมการ $F = 2\rho A \frac{(v_2 - v_1)^2}{2}$ หลังจากนั้นนำ

ค่าแรงมาคำนวณเพื่อหาสัมประสิทธิ์แรงดูดจากสมการ $C_D = \frac{F}{\frac{1}{2}\rho A v^2}$ จากการคำนวณพบ

ความสัมประสิทธิ์แรงดูดที่ดีที่สุดอยู่ในช่วงความเร็วลม 4.30 – 5.00 m/s จากทฤษฎีที่กล่าวว่า สัมประสิทธิ์แรงดูดของกังหันลมแนวแกนตั้งที่ดีที่สุดคือ 1.2 และหลังจากนั้นได้ทำการวัดค่ากระแสและแรงดันขณะที่ใบพัดหมุน และนำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าจากสมการ $P=IV$ โดยพบว่ายิ่งความเร็วลมมากยิ่งมีค่ากำลังไฟฟ้ามากขึ้น จากการทดลองที่ความเร็วลมสูงสุดของพัดลมอยู่ที่ 8 m/s มีค่ากำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 0.7014 W โดยค่ากำลังไฟฟ้านี้น้อยมากเนื่องจากการทำโครงการพิเศษนี้ เรามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามา 1 เครื่อง แล้วต้องนำมาทำอย่างไรให้เป็นกังหันลม โดยใช้ความรู้จากทฤษฎีที่เราศึกษามาประยุกต์ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้กับน้ำจึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้กับกังหันลม และถ้าเราต้องการที่จะให้ได้กระแสไฟฟ้าออกมาหลายๆเราควรมีการปรับแต่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่นการใส่เฟืองทดรอบ , การเปลี่ยนแบร์ริง (ลูกปืน) , การเพิ่มรอบของขดลวดทองแดง และการหาแม่เหล็กที่มีคุณภาพดี ๆ

เอกสารอ้างอิง

สัมพันธ์ ไชยเทพ, ธเนศ ไชยชนะและ สฤทธิพร วิทย์ผดุง. ผลของมุมปะทะต่อการเริ่มหมุนของระบบกังหันลมแกนตั้งแบบใบปรับโค้ง. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4 - 7 พฤศจิกายน 2552

สัมพันธ์ ไชยเทพ และ ตติกร ภูวดิน. สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ในสถานะออโตใจโร. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 18-20 ตุลาคม 2547

พินิจ สังข์ทอง และ วิรัช โรยรินทร์. การศึกษาใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 1.5 MW ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิปลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8 2-4 พฤษภาคม 2555

Vertical axis wind turbine. From Wikipedia, the free encyclopedia.

http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_axis_wind_turbine

นางประไพ จักขุจินดา. แบบจำลองกังหันลมผลิตไฟฟ้า. โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา จังหวัดสกลนคร

Jonny Hylander, Göran Sidén. Vertical Axis Wind Turbines : History, Technology and Applications. Master thesis in Energy Engineering – May 2010

สุรภัย จันทร์บาง และ สุทธิ ตั้งแสวงพรกุล. ผลิตไฟฟ้าจากลมระบายความร้อนของคอมเพรสเซอร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

โครงการศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. สิงหาคม 2551

วิกันดา ศรีเดช. การกำหนดลักษณะใบกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานให้ได้มากที่สุด ในสภาวะพื้นที่. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Gerald Mu Iler, Mark F. Jentsch, Euan Stoddart. Vertical axis resistance type wind turbines for use in buildings. Sustainable Energy Research Group, School of Civil Engineering and the Environment, University of Southampton, Highfield, Southampton SO17 1BJ, UK

ภาคผนวก

ผลของมุมปะทะต่อการเริ่มหมุนของระบบกังหันลมแกนตั้งแบบใบปรับโค้ง

Effect of Angle of Attack for Starting Rotation of the VAWT with Curved Blade

สัมพันธ์ ไชยเทพ¹, ธเนศ ไชยชนะ^{2*} และ สฤทธิพร วิทยผล³

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ 0-5394-2005 โทรสาร 0-5394-2062 อีเมล svmpvn@gmail.com

^{2*}นักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ 0-81-5406768 อีเมล Tanatecha@hotmail.com

³Food and Agricultural Machinery Laboratory (FAME lab) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบและศึกษาการทำงานของกังหันลมแกนตั้ง มีใบพัด 2 แบบคือแบบแผ่นเรียบ และแบบแผ่นเรียบตัดโค้ง พื้นที่ใบรับลม 0.015 m^2 รัศมีแขน 0.15 m จำนวน 4 ใบพัด โดยทำการทดสอบในอุโมงค์ลมที่มีความเร็วลม $2\text{--}10 \text{ m/s}$ ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ มุมปะทะเริ่มต้นของกังหันต่อการเริ่มทำงานของกังหัน ผลการศึกษาพบว่า กังหันแบบใบพัดแผ่นเรียบ ไม่สามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเอง ต้องเสริมระบบช่วยการหมุน ส่วนกังหันลมแบบแผ่นเรียบตัดโค้งจะสามารถเริ่มหมุนได้ ด้วยตัวเองที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.0 m/s ด้วยความเร็วรอบ 16 RPM และแรงบิด $0.00171 \text{ N}\cdot\text{m}$ ที่มุมปะทะ 0 องศา ทั้งนี้ความเร็วลมที่ทำให้กังหันลมเริ่มหมุนด้วยตัวเองจะมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อมุมปะทะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งมุมปะทะมากกว่า 45° ความเร็วลมที่ทำให้กังหันลมเริ่มหมุนด้วยตัวเองจะมีค่าเพิ่มขึ้น และที่มุมปะทะ 90° กังหันลมจะไม่หมุน

คำหลัก: กังหันลมแกนตั้ง, มุมปะทะ, อุโมงค์ลม

Abstract

The aim of this study was designed and tested the vertical axis wind turbine (VAWT) with four blades. The VAWT was tested in the laboratory at wind tunnel speed of $2\text{--}10 \text{ m/s}$. The cut in speed was studied at the main function of angle of attack ($0\text{--}90^\circ$). Two types of blades (flat and curve plates) were chosen for testing. It was found that the turbine with flat plate cannot be rotated by itself; it required an auxiliary system for starting. The average cut in speed of turbine with curved plate was 3.0 m/s at 0° of initial angle of attack with 16 RPM and $0.00171 \text{ N}\cdot\text{m}$ of torques. The cut in speed would be decreased when the initial angle of attack increased until the initial angle of attack greater than 45° then the cut in speed was increased and at 90° of initial angle of attack the wind turbine was non rotation.

Keywords: vertical axis wind turbine, angle attract, wind tunnel

1. บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพค่อนข้างสูงในประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย ทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามันและในพื้นที่สูง และหุบเขาของภาคเหนือของประเทศไทย โดยพบว่าศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่ตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 128.95 W/m^2 [1] และจากการรวบรวมข้อมูลพลังงานลมของภาคเหนือตอนบนพบว่าภาคเหนือตอนบนมีศักยภาพพลังงานลมที่สูง เหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป [2] สำหรับชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย พบว่า ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมอยู่ในช่วง 4.5 – 86 GWh/year มีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 1 – 11 บาท/kWh [3] และในพื้นที่ฝั่งอันดามันพบว่ามีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเท่ากับ 1.33 - 4.22 บาท/kWh [4]

การใช้ประโยชน์จากพลังงานลมในประเทศไทยถือได้ว่ามีมาเป็นระยะเวลานาน โดยการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านพลังงานลมพบว่า มีการใช้กังหันลมแบบใบที่สร้างด้วยไม้สำหรับนาข้าวประมาณ 2,000 ตัว และแบบเสื้อ ลำแพนที่ใช้ในนาเกลือประมาณ 3,000 ตัว ต่อมาพบว่าปริมาณของกังหันลมลดลงอย่างรวดเร็ว โดยในปี 2531 ในบริเวณรัศมี 20 ตารางกิโลเมตรของ จังหวัดสมุทรสาคร และสมุทรสงคราม มีกังหันลมเหลือเพียง 667 ตัว [5] สำหรับการพัฒนากังหันลมแบบสมัยใหม่ในประเทศ ที่เป็นการออกแบบ สร้าง และพัฒนาได้มีการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง โดยมีทั้งกังหันลมแบบแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) และแบบแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) ในปี 2520 [6] ได้มีการทดสอบกังหันแกนตั้งแบบ Savonius แบบ Hybrid และแบบ Savonius ดัดแปลง โดยพบว่าแบบ Savonius เป็นกังหันลมที่สร้างง่าย มีประสิทธิภาพสูง แต่ไม่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ ส่วนแบบ Savonius ดัดแปลงสามารถควบคุมความเร็วรอบได้

แต่มีความยุ่งยากในการสร้าง ในปี 2525 ได้มีการออกแบบ สร้าง พัฒนากังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ [7] ซึ่งมีทั้งกังหันแบบแกนตั้งและกังหันแบบแกนนอน โดยพบว่ากังหันสามารถทำงานได้ เหมาะสำหรับการ ใช้งานที่ความเร็วลมค่อนข้างสูง และสามารถใช้งานในการผลิตไฟฟ้าได้



รูปที่ 1 กังหันลมแบบเสื้อลำแพน [8]

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในการออกแบบกังหันลมและทำการศึกษาคูณสมบัติต่างๆ ของกังหันลมแกนตั้ง ยังไม่มีการศึกษาเรื่องของความเร็วลมที่กังหันเริ่มหมุนที่ลักษณะเริ่มต้นของกังหัน (ลักษณะตอนหยุดนิ่ง) เพราะหากมุมของใบขณะหยุดนิ่งทำมุมไม่เหมาะสมกับทิศทางลม จะทำให้กังหันลมเริ่มหมุนได้ยาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอผลการศึกษา ผลของมุมปะทะเริ่มต้นต่อความเร็วลมที่ทำให้กังหันลมเริ่มหมุน โดยเลือกกังหันลมแกนตั้งแบบ 4 ใบพัด

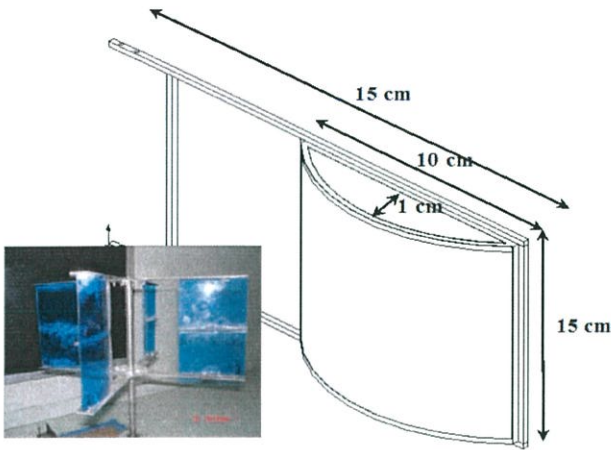
2. กังหันลม และวิธีการศึกษา

กังหันลมที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยกังหันที่มีใบพัด 2 แบบ คือ

1. ใบพัดแบบแผ่นเรียบขนาด ยาว 15 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร รัศมีกังหัน 15 เซนติเมตร

2. ใบพัดกังหันแบบ แผ่นเรียบโค้ง เป็นการพัฒนาจากกังหันลมแบบที่ 1 โดยนำมาตัดใบกังหันให้โค้ง ที่สัดส่วนความโค้งต่อความกว้างของใบเท่ากับ 1

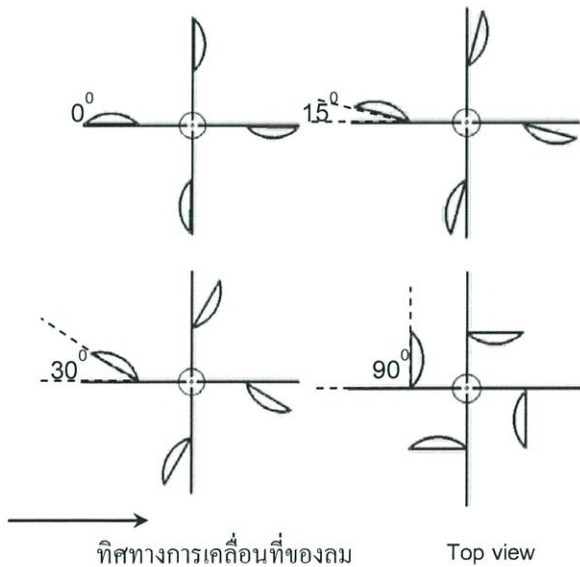
ท่อ 10 ใบบีความกว้าง 10 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร และมีส่วนโค้งสูงที่สุดเท่ากับ 1 เซนติเมตร รัศมีก้าน 15 เซนติเมตร



รูปที่ 2 ใบบีท่อแบบแบนเรียบโค้ง

ทำการทดสอบ พฤติกรรม การเริ่มหมุน ของ กังหันลมทั้ง 2 แบบที่ค่าการทดลองดังนี้

1. ความเร็วลมทดสอบ 2-10 เมตร/วินาที
2. มุมของใบบีรับลม 0, 15, 30, 45, 60 และ 90 องศา กับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม

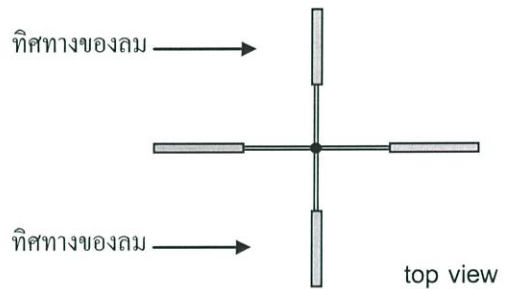


รูปที่ 3 ตัวอย่างมุมของใบบีรับลมที่ทำการศึกษา

3 ผลการศึกษา

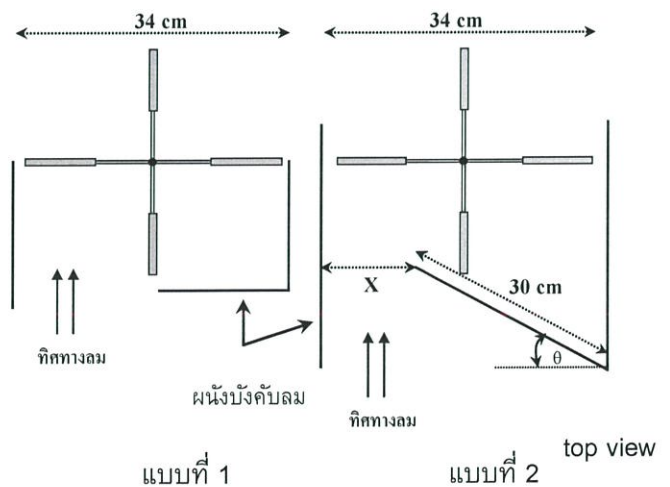
3.1 กังหันลมใบบีพัดแบบแบนเรียบ

การศึกษาพฤติกรรมการเริ่มหมุนของกังหันลมแกนตั้ง 4 ใบบีพัด ที่มีใบบีพัดแบบแบนเรียบ โดยทำการศึกษา ภายในอุโมงค์ลมที่มีความเร็วลม 0.90 - 5.85 m/s และที่มุมรับลม 0 - 90 องศา พบว่า กังหันลมเกิดการขยับเนื่องจากแรงปะทะของลม แต่ไม่เกิดการหมุน ทั้งนี้เนื่องจากแรงกระทำของลมต่อใบบีกังหันมีค่าเท่ากันทั้ง 2 ด้านของกังหัน กังหันจึงไม่เกิดการหมุน



รูปที่ 4 ลักษณะของลมที่กระทำต่อใบบีพัดแบนเรียบ

ทำการแก้ไขการหมุนของกังหันได้โดยการปิดทางเข้าของลมทางด้านที่ไม่ต้องการให้มีการรับลม จะทำให้กังหันหมุนในทิศทางที่รับลม และยังสามารถสร้างระบบกันทางลม เพื่อเพิ่มความเร็วลมให้กับกังหันได้ ลักษณะดังรูปที่ 5

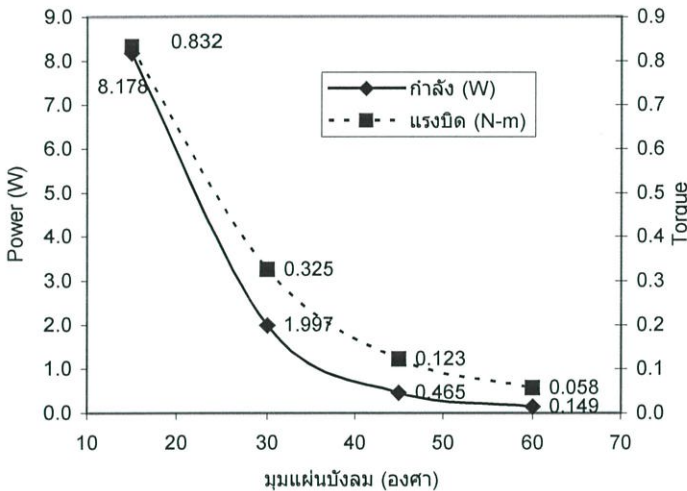


แบบที่ 1

แบบที่ 2

รูปที่ 5 การเพิ่มระบบกันทางลมสำหรับกังหันลมใบบีพัดแบบแบนเรียบ

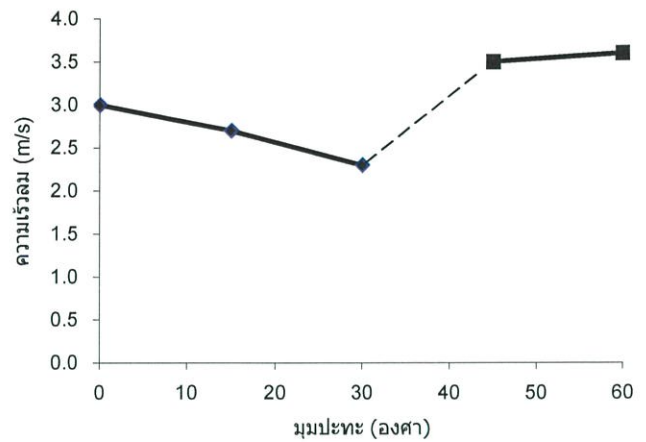
ผลการทดสอบ กังหันลมใบพัดแบบแผ่นเรียบ ที่มีการเพิ่มระบบกันทางลม พบว่าเมื่อเพิ่ม ระบบกันทางลม จะทำให้กังหันแบบแผ่นเรียบสามารถหมุนได้ (แบบที่ 1) และเมื่อทำการบีบบังคับให้ช่องส่งลม (แบบที่ 2) ก่อนเข้าสู่ใบกังหันมีขนาดเล็กลง (มุมแผ่นบังลม น้อย) จะสามารถเพิ่มกำลัง และแรงบิดที่ได้จากกังหัน ได้ ดังแสดงผลให้เห็นอย่างชัดเจนขึ้นในรูปที่ 6



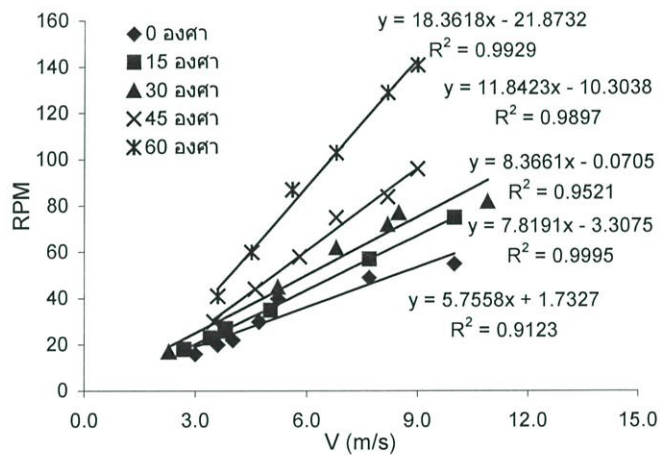
รูปที่ 6 ผลของมุมแผ่นบังลม ต่อแรงบิด และกำลังของ กังหันลมใบพัดแบบแผ่นเรียบ (ความเร็วลม 3.6 m/s)

3.2 กังหันลมใบพัดแบบแผ่นเรียบโค้ง

การทดสอบการเริ่มหมุนของกังหันลมแบบ ใบพัดแบบแผ่นเรียบโค้งพบว่า ที่มุมปะทะ จาก 0 ถึง 30 องศา ความเร็วลมเริ่มหมุนของกังหันมีค่าน้อยลง โดยมีค่าความเร็วเริ่มหมุนประมาณ 2-3 เมตร/วินาที แต่เมื่อมุมปะทะมีค่าสูงขึ้น (45 และ 60 องศา) ความเร็วเริ่มหมุนมีค่าสูงขึ้น (มากกว่า 3.5 เมตร/วินาที) และพบว่าถ้ามุมเริ่มต้นทำให้ใบพัดกังหันตั้งฉากกับทิศทางลม กังหันลมจะไม่หมุนไม่ว่าที่ความเร็วลมเท่าไร ทั้งนี้เนื่องจากแรงของลมที่กระทำต่อใบ กังหันทั้ง 2 ข้างมีค่าเท่ากัน และในกรณีมุมปะทะ 90 องศา กังหันลมไม่เกิดการหมุนไม่ว่าที่ความเร็วลมและมุมเริ่มหมุน ใดๆ แม้จะทำการช่วยหมุนกังหันลมก็ไม่เกิดการหมุน แต่เกิดการส่ายของกังหันไปมาในมุม ส่ายเท่ากับมุมของ เส้นลากจากขอบใบกังหันสู่เพลลา ของกังหัน



รูปที่ 7 ความเร็วลมที่ทำให้กังหันเริ่มหมุนที่มุมปะทะ ต่างๆ (--- ไม่มีข้อมูลการทดลอง)



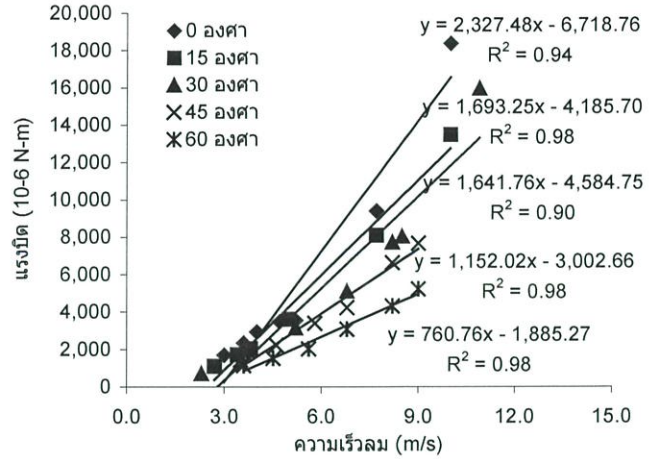
รูปที่ 8 ผลของความเร็วลม ต่อความเร็วรอบของกังหัน ที่มุมเริ่มปะทะต่างๆ (n=6 ทุกการทดลอง)

รูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วของลม สูงขึ้น ความเร็วรอบของกังหันก็จะมีค่าสูงขึ้นที่ทุกมุม ปะทะ โดยมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และแสดงผล ความสัมพันธ์ดังสมการในรูป ทั้งนี้เพื่อให้สมการ สามารถอธิบายตัวแปรต่างๆ ได้อย่างครบถ้วน คือ เป็นสมการแสดงผลของ ความเร็วลม ($v, m/s$) และ มุมปะทะ ($\alpha, degree$) ต่อความเร็วรอบ (RPM) ใน รูปสมการ $RPM = f[v, \alpha]$ โดยการใช้วิธีการ Lagrange Interpolation สำหรับสมการ 2 ตัวแปร [9] ได้สมการอธิบายความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความเร็วรอบของกังหันและแรงบิดของ
กังหันที่ได้จากการใช้สมการคำนวณ

มุมปะทะ (องศา)	V (m/s)	Experiment		Equation (1, 2)	
		RPM	N-m	RPM	N-m
0	3.0	16	0.0017	17.6612	0.0005
	3.6	20	0.0024	20.3780	0.0019
	4.0	22	0.0029	22.1892	0.0028
	4.7	30	0.0035	25.3588	0.0043
	5.2	40	0.0036	27.6228	0.0055
	7.7	49	0.0094	38.9428	0.0111
	10.0	55	0.0184	49.3572	0.0163
15	2.7	18	0.0011	18.7753	0.0001
	3.4	23	0.0017	23.9913	0.0012
	3.8	27	0.0021	26.9719	0.0020
	5.0	35	0.0036	35.9137	0.0043
	7.7	57	0.0081	56.0328	0.0093
	10.0	75	0.0135	73.1712	0.0137
30	2.3	17	0.0007	17.0977	0.0006
	3.7	26	0.0020	31.6227	0.0015
	5.2	45	0.0032	47.1852	0.0038
	6.8	62	0.0051	63.7852	0.0062
	8.2	72	0.0077	78.3102	0.0083
	8.5	77	0.0081	81.4227	0.0088
	10.9	82	0.0160	106.3227	0.0124
45	3.5	30	0.0014	34.3590	0.0010
	4.6	44	0.0022	48.9873	0.0023
	5.8	58	0.0034	64.9455	0.0037
	6.8	75	0.0042	78.2440	0.0048
	8.2	84	0.0066	96.8619	0.0064
	9.0	96	0.0077	107.5007	0.0073
60	3.6	41	0.0012	40.7924	0.0009
	4.5	60	0.0015	55.3922	0.0016
	5.6	87	0.0020	73.2364	0.0025
	6.8	103	0.0031	92.7028	0.0034
	8.2	129	0.0043	115.4136	0.0045
	9.0	141	0.0052	128.3912	0.0051

รูปที่ 9 แสดงผลของความเร็วลมต่อแรงบิด
ของกังหัน ทั้งนี้ เพื่อสร้างสมการอธิบาย แปรต่างๆ
อย่างครบถ้วน จึงสร้างสมการ ในรูปสมการ
 $T = f[v, \alpha]$ ได้สมการอธิบายความสัมพันธ์ดังแสดง
ในสมการที่ 2



รูปที่ 9 ผลของความเร็วลม ต่อแรงบิดของกังหัน ที่มีมุม
ปะทะต่างๆ (n=6 ทุกการทดลอง)

$$RPM = 4.077 - 0.361\alpha + (4.528 + 0.195\alpha)V \quad (1)$$

$$T = 2,550.00 - 24.50\alpha + (73.33 + 6,345.40\alpha)V \quad (2)$$

เมื่อ α คือ มุมปะทะระหว่างใบพัดกับทิศทาง
ของลม (องศา) V คือ ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
 RPM คือ ความเร็วรอบของกังหัน (รอบ/นาที) และ
 T คือ แรงบิด ($\times 10^{-6}$ N-m)

เปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการที่ 1 และ 2
กับค่าที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีความคลาดเคลื่อน
ประมาณ $\pm 10\%$ ซึ่งสมการ 1 และ 2 สามารถใช้
อธิบายความเร็วรอบ และแรงบิดของกังหันที่ความเร็ว
ลมและมุมปะทะต่างๆ ได้ โดยค่าการทดลองแสดงดัง
ตารางที่ 1

4 สรุปผล

จากการดำเนินการทดสอบกังหันลมแกนตั้ง
4 ใบพัดที่มีใบพัดแบบแผ่นเรียบ และแบบแผ่นเรียบ
โค้ง เพื่อทำการศึกษาความเร็วลมที่ทำให้กังหันลมเริ่ม
หมุนด้วยตัวเองที่มุมปะทะเริ่มต้นต่างๆ สามารถสรุป
ได้ว่า

1. กังหันลมแกนตั้ง 4 ใบพัด ที่มีใบพัดแบบ
แผ่นเรียบ ไม่สามารถหมุนได้แม้จะทำการช่วยหมุน
แต่สามารถสร้างระบบกันทางลม ซึ่งนอกจากจะทำให้

กังหันสามารถหมุนได้ ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกังหัน

2. กังหันลมแกนตั้ง 4 ใบพัด ที่มีใบพัดแบบแผ่นเรียบโค้ง ที่มีสัดส่วนความโค้งต่อความกว้างของใบเท่ากับ 1 ต่อ 10 สามารถหมุนได้ด้วยตัวเอง ที่ความเร็วลม 2 - 3.5 เมตร/วินาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมุมปะทะเริ่มต้นของกังหัน

3. ที่มุมปะทะ จาก 0 ถึง 30 องศา ความเร็วลมที่ทำให้กังหัน เริ่มหมุน ด้วยตัวเองจะมีค่าน้อยลง โดยมีค่าความเร็วเริ่มหมุนประมาณ 2-3 เมตร/วินาที แต่เมื่อมุมปะทะมีค่าสูงกว่า 45 องศา ความเร็วลมที่ทำให้กังหัน เริ่มหมุน ด้วยตัวเองจะมีค่าสูงขึ้น (มากกว่า 3.5 เมตร/วินาที) และพบว่าถ้ามุมเริ่มต้น ที่ทำให้ระนาบของ ใบพัด ของ กังหันตั้งฉากกับทิศทางลม กังหันลมจะไม่หมุนไม่ว่าที่ความเร็วลมเท่าไร (มุมปะทะ 90 องศา)

4. สมการที่ 1 และ 2 สามารถใช้ประมาณค่าความเร็วรอบและแรงบิดของกังหัน ที่มุมปะทะเริ่มต้นและความเร็วลมต่างๆ ได้

5 กิตติกรรมประกาศ

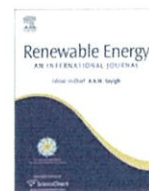
ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เครือข่ายภาคเหนือ ห้องวิจัยอากาศพลศาสตร์และการขับเคลื่อนประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

6 เอกสารอ้างอิง

[1] Tanate Chaichana and Sumpun Chaitep, (2008) "A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull Distributions Method; Case Study at Chiang Mai, THAILAND", International conference on sustainable urban environmental, Chiang Mai, THAILAND.

- [2] ณัฐวุฒิ ดุษฎี, กิตติกร สาสุจิตต์, ธเนศ ไชยชนะ, นิรันดร์ สุวรรณสิทธิ์ , อภิชาติ สวนคำกอง และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2551) "การประเมินศักยภาพพลังงานลมเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน", การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 ประจำปี 2551
- [3] ชนะ จันทร น้ำ จอมภพ แวศักดิ์, ยุทธนา ภูริระวณิชช กุล, สุภรรณ ภูริระวณิชช กุล, ชูสิทธิ์ ดงเรือง, นิรันดร์ มาแทน, เขาวรัตน์ พรหมแพทย , และ อภิชาติ หนูทอง, (2552) "การประเมินศักยภาพของแหล่ง พลังงานลมและความเป็นไปได้ ของฟาร์ม กังหันลมขนาดใหญ่ ตามแนวชายฝั่ง ทะเล ไทย" การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
- [4] จิรวัด มาละวรรณโณ, จอมภพ แวศักดิ์, ชูสิทธิ์ ดงเรือง, ชนะ จันทร น้ำ, และ นิรันดร์ มาแทน, (2552) การประเมินศักยภาพของแหล่ง พลังงานลมและความเป ็นไปได้ ของฟาร์ม กังหันลมขนาดกลางตามแนวชายฝั่ง ทะเลอันดามัน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
- [5] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2546ก). พลังงานลม . [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th>
- [6] เสถียร วงศ์สารเสริฐ, (2520) "การออกแบบและสร้างกังหันลมขนาดเล็กแบบประหยัด " วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [7] สมาน แสงงาม , (2525) "กังหันลมผลิตไฟฟ้าสำหรับรับชนบท " รายงานฉบับสมบูรณ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [8] รูปประกอบ "กังหันลมแบบเสือล่าแพน" 2552 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://blog.eduzones.com>

- [9] W.F.Stoecker (1989) "Design of thermal systems" 3rd edition. McGraw-Hill (New York)



Technical Note

Vertical axis resistance type wind turbines for use in buildings

Gerald Müller^{*}, Mark F. Jentsch, Euan Stoddart

Sustainable Energy Research Group, School of Civil Engineering and the Environment, University of Southampton, Highfield, Southampton SO17 1BJ, UK

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 May 2008

Accepted 4 October 2008

Available online 18 November 2008

Keywords:

Wind energy

Windmill

Vertical axis wind turbine

Buildings

Architecture

ABSTRACT

Renewable energy generation in the urban environment has been receiving an increased attention over recent years due to the proximity with the point of use. Building integrated wind turbines are an interesting option in this respect. However, due to technical as well as architectural barriers, the uptake of wind energy converters into buildings has been rather limited. This paper analyses the oldest known form of wind energy converter, the Sistan type windmill, and discusses modern adaptations of this drag force type energy converter for building integration. It is shown that design improvements can lead to an increase of the theoretical efficiency of a drag force type rotor to about 48% (conservative) or 61% (optimistic). Initial experiments with a scale model have shown that efficiencies higher than 40% can be achieved. The integration of the proposed design into buildings is related to current building integrated wind turbine types and demonstrated architecturally.

© 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Wind energy has firmly established itself as a major renewable energy source over the last decades. One potential area of application, however, the integration of wind energy into buildings, has – despite several efforts – not advanced at the same pace as conventional wind turbine technology.

Of all building types high-rise buildings have the largest potential for wind turbine integration. They offer an increased resource compared to low-rise structures, as well as proximity to electricity users. One of the main reasons for the lack of progress appears to be the difficulty to integrate wind energy converters architecturally into the building structure. Furthermore, turbulence and wind shadowing effects represent a risk for uptake of the technology in the built environment. Building integrated wind energy converters for high-rise buildings appear to be the best solution to overcome such risks. However, as Bahaj et al. [1] point out, care is required when estimating annual energy yields for wind turbines in the urban environment.

Ideally a wind energy device for buildings would have a compact shape, making it easy to add to or integrate into a block-type structure whilst also permitting a certain architectural freedom for the building designer. This is hard to achieve, in particular with horizontal axis turbines which need to be tracked to face towards the direction of the wind for best results. In terms of architectural integration, vertical axis turbines, however, appear to have been

underestimated in their potential for building application. Moreover, they are believed to be better suited to the urban environment due to their better function in the turbulent wind conditions found in built-up areas [2,3]. In particular, drag force based systems can be expected to be less sensitive to turbulence. This paper analyses the oldest known form of wind energy converter, the vertical axis resistance type windmill, and discusses modern translations of this design principle for integration into buildings.

2. The Sistan vertical axis windmill

It is not known when exactly the first windmills were built but it is most commonly agreed that the origin of windmills is likely to be in the area of Sistan and Khorasan in eastern Iran on the border to Afghanistan, where windmills were recorded already in the 9th Century AD [4–6]. These first windmills had a vertical axis and relied on drag forces in order to function. They can be expected to have been similar in their basic design to the mills which were used in the region of the Sistan Basin and Greater Khorasan well into the 20th century (Fig. 1).

The construction of simple mills relying on drag forces is possible in this region as it has steady winds from the north during three months in summer with wind speeds in the range of 10–30 m/s [7]. Such windmills, termed Sistan windmills in this paper, are typically. A typical Sistan wind wheel is about 6 m high and 6 m wide with bundles of reed on typically six wind catching surfaces [4]. The construction is rather simple with a direct transmission of the forces from the vertical axis onto the millstones which are housed in a chamber below the mill. The mill's side walls have a shielding and a certain wind guiding function. The north side facing the wind has

^{*} Corresponding author. Tel.: +44 (0)23 8059 2442; fax: +44 (0)23 8067 7519.

E-mail address: g.mueller@soton.ac.uk (G. Müller).

URL: <http://www.energy.soton.ac.uk>



Fig. 1. Vertical axis resistance type windmill of the Sistan Basin in the border region of Iran and Afghanistan (picture taken in 1971 near Herat, Afghanistan, copyright: Alan Cookson).

a wing wall leading the wind towards the wind wheel, whilst the side and back walls are curved in order to facilitate the airflow through the machine as well as its outflow on the south side.

Very little engineering information appears to be published concerning the Sistan windmills. In the wind energy literature, they are sometimes briefly mentioned either in the historical overview or in the chapter on vertical axis turbines.

3. Energy conversion in the Sistan windmill

3.1. The vertical axis resistance type converter

Vertical axis resistance type energy converters such as the Sistan windmill absorb the wind energy with their individual blades, which move slower than the wind. The differential speed generates a force which drives the blades. Such a machine is usually analysed by assuming the rotor blades to constitute flat plates with a height to width ratio a/b of less than 5 and a drag coefficient of $C_D = 1.2$ [e.g. Ref. [8]]. Fig. 2 shows the principle for the determination of the power generated by one blade. The available power P_a for an area A is given by Eq. (1):

$$P_a = \frac{\rho}{2} v_0^3 \quad (1)$$

The force F acting on one blade becomes:

$$F = C_D \frac{\rho}{2} A (v_0 - v_1)^2 \quad (2)$$

And the output power P_{out} can be calculated as:

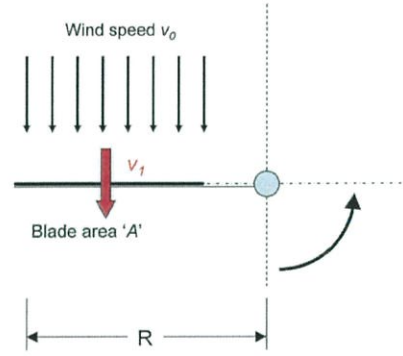


Fig. 2. Principle of operation of the Sistan windmill.

$$P_{out} = C_D \frac{\rho}{2} A (v_0 - v_1)^2 v_1 \quad (3)$$

The velocity v_1 for maximum power output can be determined from:

$$\frac{dp}{dv_1} = C_D A \frac{\rho}{2} \left(v_0 - 4v_0 v_1 + \frac{3}{2} v_1^2 \right) = 0 \quad (4)$$

$$v_1 = \frac{v_0}{3}$$

$$P_{max} = C_D A \frac{\rho}{2} \frac{4}{27} v_0^3 \quad (5)$$

With this, the efficiency η becomes:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_a} = C_D \frac{4}{27} = 0.18 \text{ (Flat plate, } C_D = 1.2) \quad (6)$$

The maximum efficiency for a flat plate rotor (excluding the potential effect of wind pressure acting on more than one rotor blade) therefore only reaches 18% for plate aspect ratios of less than 5:1. This rather low efficiency is usually the reason to dismiss the vertical axis resistance converter as an inefficient concept [8].

3.2. Improvement 1: the infinitely long plate

Tests with a cylindrical body (*Flettner rotor*) showed that the drag coefficient can be improved by adding disks at the top and bottom of the body; this increased the drag coefficient by 60–90% [9]. The disks effectively change the finite cylinder into an infinite one (minus viscous losses near the disks) by ensuring 2D flow patterns. In the context of the proposed wind energy converter, it can be expected that by closing the rotor off at the top and the bottom by a disk which protrudes over the outer rim of the rotor, the drag coefficient can be increased from 1.2 to 2.0 [10]. Taking the drag coefficient as 2, the theoretical maximum efficiency increases to 29.6%.

3.3. Improvement 2: effect of overall geometry

Although theoretical efficiencies of 29.6% bring the proposed energy converter into an area where it deserves further consideration, the active surface areas are small when compared with those from propeller type turbines. For the vertical axis resistance converter, therefore, higher efficiencies are required in order to generate an appreciable energy output. Here, it should be noted that the pressure distribution on a plate or a square body subjected to fluid flow consists of a high-pressure acting on the side of the obstacle facing the flow direction, and a low-pressure zone on the lee side as, for example, shown by Cowes et al. [11]. In the context of resistance type energy converters, this effect can be utilised by regarding the assembly itself – i.e. rotor, walls, top and bottom disks

– as an obstacle. Then, high- and low-pressure zones can be expected to develop (Fig. 3).

Simplifying, the energy converter could be regarded as a block of width t , with a channel of width $t/2$ which is blocked by a moving blade 'B', and an outlet at point '2' (Fig. 3). If the blade 'B' is standing still, maximum pressures will develop upstream (stagnation pressure) as well as downstream. Assuming an overall C_D factor of 2, the sharp corner 'D' and the flow separator 'S' generate a pressure drop downstream which obtains a maximum of $-1.2 \rho v^2/2$ when the blade stands still. Once the blade starts to move, air passes through the rotor and the upstream as well as the downstream force will reduce. This leads to a gradual reduction of pressure with increasing blade velocity at 'S'.

In order to analyse this situation, some simplifying assumptions have to be made:

1. If the blade stands still, a stagnation pressure of $p_1 = 0.8 \rho v^2/2$ and $p_2 = -1.2 \rho v^2/2$ develops at the wind and, respectively, the lee side of the converter [11].
2. With increasing blade velocity the C_D factor reduces linearly.
3. The pressure difference between points '1' and '2' generates a flow velocity v_2 which acts on the blade 'B' with a drag coefficient of $C_{D, B} = 2$ (infinitely long plate).

The fluid flow problem is characterised by the fact that the pressure difference between points '1' and '2' – and therefore the velocity of the airflow – reduces with increasing blade velocity v_1 . Two scenarios are considered:

- a. Conservative: once v_1 reaches v_2 , there is no pressure difference between points '1' and '2'.
- b. Optimistic: half the cross-section of the body is solid, so that C_D factor gradually reduces from 2 ($v_1 = 0$) to 1 ($v_1 = v_2$).

The pressure difference between points '1' and '2' is:

$$\Delta p = C_D \rho \frac{v_0^2}{2} \tag{7}$$

where C_D is a function of v_1 and v_0 :

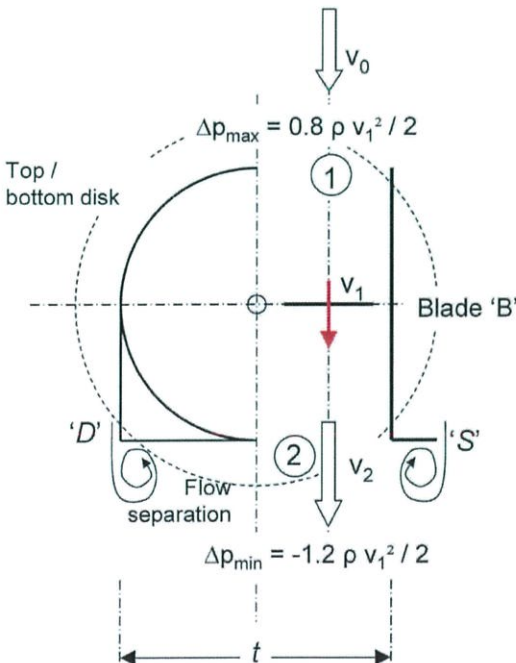


Fig. 3. Idealised vertical axis resistance type wind energy converter.

$$C_{D,1} = 2 \frac{v_0 - v_1}{v_0} \text{ (conservative)} \tag{8}$$

$$C_{D,2} = 1 + \frac{v_0 - v_1}{v_0} \text{ (optimistic)} \tag{9}$$

The pressure difference generates a flow velocity of:

$$v_2 = \sqrt{C_{D1,2}} v_0 \tag{10}$$

With a C_D factor of 2 for the blade of area A , the force F becomes

$$F = 2 \rho A \frac{(v_2 - v_1)^2}{2} \tag{11}$$

And the power P can be determined as:

$$P = F v_1 \tag{12}$$

The point of maximum efficiency lies at $v_1/v_0 = 0.25$ for the conservative, and at $v_1/v_0 = 0.35$ for the optimistic scenario. With these velocities, the theoretical efficiencies increase to 48% (conservative, min $C_D = 0$) and 61% (optimistic, min $C_D = 1$). In Fig. 4, the efficiencies for both scenarios are shown as a function of the ratio of average blade and wind speed.

Measurements of flow velocities on unobstructed air ducts (i.e. ducts without a turbine) indicated C_D values of +0.38 to +0.59 at the inflow and -0.8 at the outflow [12]. With a total minimum C_D factor of 1.18–1.39 it appears therefore that the optimistic scenario considered earlier on (min $C_D = 1$) is the more realistic one.

4. Initial experiments

4.1. Experimental set-up

In order to test the theory, it was decided to conduct a series of initial experiments [13]. For this purpose, a simple box shape model was built (Fig. 5). This 'box' had inner dimensions of 600 mm (height) \times 800/900 mm (width/length). The vertical axis was made of a 15 mm steel bar. Four 300/580 mm blades made of 6 mm plywood were fixed to the axis with a clear distance of 50 mm between blades and axis. At the top, a 200 mm diameter friction wheel was fixed to the axis. The power take-off was conducted via a Prony friction brake. A friction belt was run around the friction wheel and over a side wheel, where a weight was attached to the belt. At the other side of the friction wheel, a scale was fixed to the

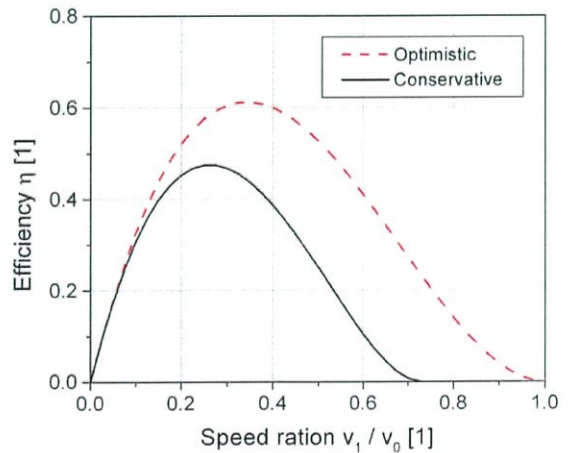


Fig. 4. Theoretical efficiencies of the vertical axis wind energy converter as function of wind speed ratio.

belt and a hook to the 'box' itself. The weight and scale were housed inside a wooden box to prevent interference of the wind with the weights, and the scale reading.

At standstill, the scale indicates the gravity force created by the attached weight. Once the wheel starts to turn under load, friction reduces the scale reading by a friction force ΔF . Due to the size of the model and the unavailability of an appropriate wind tunnel, it was decided to conduct the initial tests in open-air. This was thought a more realistic scenario since boundary effects typical of a wind tunnel can be excluded; the main disadvantage being of course that the wind speed cannot be controlled. The experiments were conducted at the beach in Milford-on-Sea, UK, where reasonably steady wind conditions were encountered (i.e. the wind did not change significantly during the measurement period). For the tests, the model was set on a wooden frame 1.5 m above the ground. Wind speed was measured with a hand held anemometer directly before the test. Ten revolutions of the wheel were timed with a stopwatch. The tangential speed of the friction wheel multiplied with the friction force then gave the power.

4.2. Experimental results

Unfortunately, this type of open-air experiment does not allow conducting regular test series, so a specific weight has to be chosen for the friction brake and the resulting power determined for any given moment. In the first experimental results it can be seen that the measurements follow approximately the 50% efficiency curve for a kinetic energy converter (Fig. 6a). The efficiency for the highest measured power output was 42% which is significantly higher than would be expected from the 2D blade theory (view Section 3.1). The highest measured efficiencies reached 63%; these, however, occurred for smaller power readings and the experimental error (estimated at ± 0.25 Nm/s) needs to be taken into account. It should be noted that the highest efficiencies are reached for speed ratios of 0.28–0.33; this ties in reasonably well with the theory (Fig. 6b).

5. Building integrated wind energy converters

5.1. Background for building integrated wind turbine concepts

The first modern concepts to integrate wind energy converters for electricity generation into buildings were put forward in the 1930s and 1940s in Germany by engineer *Hermann Honnef* who proposed gigantic multi-rotor wind power towers of a height of more than 400 m with rotors of a maximum diameter of 160 m [14]. In urban areas these towers were supposed to take the shape of gigantic skyscraper buildings. Based on his calculations *Honnef*

believed that a 160 m diameter rotor would have a rated power of 20 MW at a baseline wind speed v_0 of 15 m/s. However, these utopian designs never got built.

Since the mid 1990s, probably also as a result of the success of stand-alone wind turbines, building integrated wind energy generation has become increasingly debated and pursued in research projects [15,16]. In addition, in the European Union national regulations basing on the EU Directive on the Energy Performance of Buildings [17] deliver incentives to integrate renewable energy generation facilities into buildings since the positive influence of such systems shall be taken into account for calculation of their energy performance.

5.2. Types of building integrated wind turbines

There are several possibilities of wind energy converter integration into buildings which essentially can be classified into three different categories [2,3]:

- building integrated horizontal axis wind turbines,
- building integrated vertical axis wind turbines,
- building augmented wind turbines.

Whilst horizontal and vertical axis turbine integration are fairly established for small-scale turbines and easily possible as a retrofit solution, building augmented wind turbines require careful design and planning as they are integral part of the building. One method is to shape the building in an aerodynamic way as a concentrator in order to enhance airflow towards the turbine, thus increasing its efficiency [2,18,19]. A second method is to create a duct that utilises the pressure difference between the windward and the leeward side of the building [2]. This pressure difference can also be exploited by small-scale, stand-alone ducted turbines installed at the edge of a roof [12,16]. Without doubt, from an architectural perspective building augmented turbines are the most fascinating form of turbine integration.

To date the majority of building integrated wind turbine installations is in the form of add-on small-scale micro-wind turbines, which are now commercially available for building integration as horizontal axis as well as vertical axis Darrieus and H-rotor types [1,3].

Large-scale projects for high-rise buildings with a clear focus on providing a major part of the building's operational energy by building integrated wind power have mostly remained at the concept stage and, to date, were mainly focussed on building augmented wind turbine designs. First design ideas of such high-rise buildings have been developed within the framework of

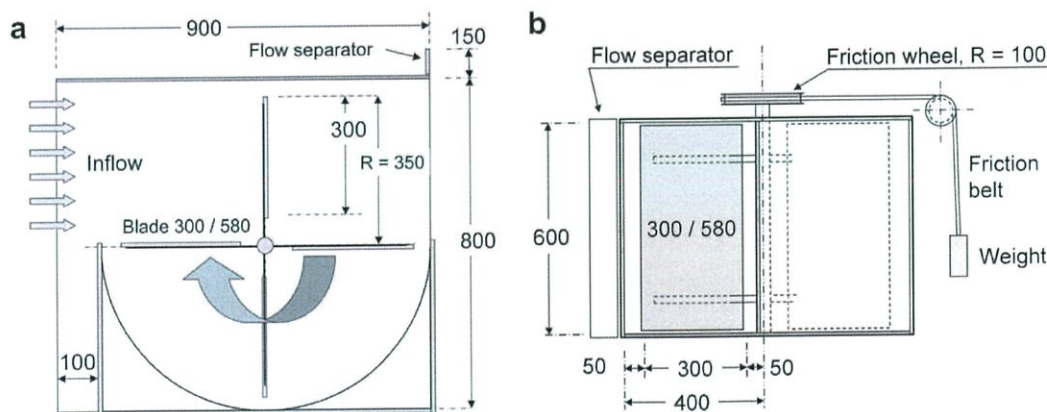


Fig. 5. Experimental model of the resistance type wind energy converter. (a) Plan view. (b) Front elevation.

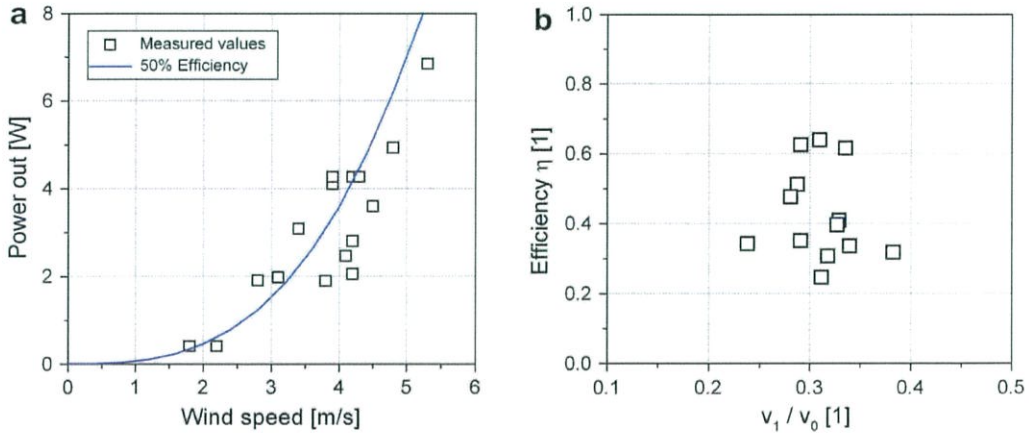


Fig. 6. Experimental results, resistance type wind energy converter. (a) Power out as function of wind speed. (b) Efficiency as function of speed ratio.

research projects [15,19]. The first high-rise building integrating a building augmented wind turbine design to be built was the World Trade Centre in Bahrain which was recently completed and incorporates three horizontal axis wind turbines of 29 m diameter [20]. This building consists of twin towers facing the prevailing wind direction in order to concentrate the airflow on the three turbines between the towers.

Building augmented wind turbines are certainly a fascinating option that will inspire further architects for premium developments. Realistically, however, it cannot be assumed that such projects will become the standard. On the other hand standard micro-wind devices for building integration may not always be visually appropriate and hence not be put forward by architects and designers. Therefore, a turbine design is required that can be integrated into buildings without altering the complete building design, yet avoiding a bolt-on wind wheel effect. Ideally this should be a simple box or module design that is not tied to a specific position in the building in order to allow for a maximum architectural freedom. Such a solution can potentially be provided by a modern adaptation of the Sistan wind wheel as detailed below.

5.3. Design and building integration of improved vertical axis resistance type wind turbines

Fig. 7a shows the initial concept for the basic appearance of a modern adaptation of the vertical axis resistance type wind

energy converter. The proposed design appearance is based on the theoretical considerations discussed in Section 3.

As with other vertical axis turbine concepts the main advantage of the proposed design is the simplicity of its components. In addition, its clear cylindrical form facilitates architectural integration (Fig. 7b). The more solid appearance of such turbines lets them appear as part of the built structure which is often difficult to achieve with other more filigree turbine designs. Furthermore, the simple drag force based energy conversion system permits realising turbines of different proportions and scales at relatively low technical cost which can be seen as a further architectural advantage as it allows a greater design freedom.

Whilst the original Sistan windmill is directionally static, the proposed modern turbine design will require a yaw system in most locations. The turbine is envisaged to turn into the wind by revolving the shielding/side wall on the bottom disk, with the central axis functioning as load bearing and stiffening structure.

The authors feel that the suggested design has further development potential due to its simplicity, its low sensitivity to turbulence, its architectural advantages and the promising results from the initial theoretical and experimental investigations. Due to their comparatively small exposed area, the actual power output of the vertical axis turbines is, however, limited. Taking the building in Fig. 7b as an example, the rotor would have a blade area of 5×8 m. With a design wind speed of 15 m/s, a converter efficiency of 50%

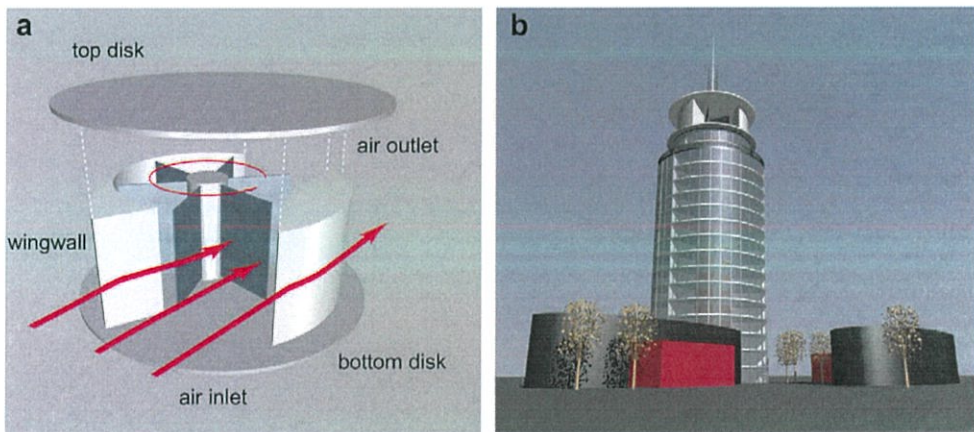


Fig. 7. Artist's impression of the integration of a large-scale resistance type vertical axis wind turbine. Image created with ArchiCAD educational version [21]. (a) Basic design concept. (b) Integration into a high-rise building.

and a mechanical conversion efficiency of 85% this would result in a maximum power output of 36 kW (el.).

6. Discussion

The theoretical and experimental works described in this article are exploratory rather than providing an accurate description of the technology. The agreement between theoretical and experimental values regarding optimum working point and expected efficiency ranges do, however, indicate the validity of the approach. The aerodynamics of the vertical axis resistance converter has not been investigated in detail. Currently, it is still unclear what actual magnitude of pressure drop exists between front and back of the windmill, and what effect, e.g. the flow separator or the actual geometry of the outer hull have. Details of in- and outflow (for example, funnel-type inflows) need to be investigated. The optimum number of blades is not known; simple geometrical considerations, for example, already suggest that an increase in blade number from four to six blades would give an additional 6–7% efficiency. Furthermore, the effect of blade shape is unclear. Despite the many unknowns, the authors feel that the initial results are promising, and that the vertical axis resistance turbine has significant development potential.

7. Conclusions

The integration of wind energy converters into buildings, and here in particular into high-rise buildings, is a challenging problem which is still largely unsolved. A modern adaptation of the vertical axis Sistan type windmill was investigated looking at its efficiency as an energy converter and its possibilities for architectural integration. Theoretical development, employing geometry changes to induce a 2D flow field as well as flow separation to induce a low-pressure zone at the leeward end, indicated that maximum converter efficiencies of 48–61% can be expected. Model tests were conducted to test the theory, and efficiencies of 42% for the highest measured power output were determined. The simplicity of the proposed design will allow for cost-effective construction and the optically solid view means that the machine can be integrated architecturally. This is felt to be a significant advantage compared to many current wind turbine designs which often appear out of place if installed on a building.

Acknowledgements

The image of the vertical axis wind energy converter in Herat, Afghanistan was kindly provided for use within this paper by Alan Cookson, Maam Valley, Co. Galway, Ireland. It was taken in summer 1971 on his 'Trans World Expedition'.

References

- [1] Bahaj AS, Myers L, James PAB. Urban energy generation: influence of micro-wind turbine output on electricity consumption in buildings. *Energy and Buildings* 2007;39(2):154–65.
- [2] Mertens S. Wind energy in urban areas. *Refocus* March/April 2002:22–4.
- [3] Dayan E. Wind energy in buildings. *Refocus* March/April 2006:33–8.
- [4] Petherbridge GT. Vernacular architecture: the house and society. In: Michell G, editor. *Architecture of the Islamic world: its history and social meaning*. London: Thames and Hudson; 1978. p. 176–208.
- [5] Al-Hassan AY, Hill DR. *Islamic technology: an illustrated history*. Cambridge: Cambridge University Press; 1986.
- [6] Hau E. *Wind turbines – fundamentals, technologies, application, economics*. 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2006.
- [7] ICCIM – Iran Chamber of Commerce, Industries & Mines. About Iran: Sistan & Baluchistan. Available from: <http://www.iccim.org/English/Iran/sistan>.
- [8] Gasch R, Twele J. *Windkraftanlagen*. 5th ed. Wiesbaden: Teubner Verlag; 2007.
- [9] Prandtl L. *Magnuseffekt und Windkraftschiff*. *Die Naturwissenschaften* 1925;13(6):93–108.
- [10] Bohl W, Elmendorf W. *Technische Strömungslehre*. 13th ed. Würzburg: Vogel Verlag und Druck; 2005.
- [11] Cowes CT, Roberson JA, Elger DF. *Engineering fluid mechanics*. 7th ed. New York: John Wiley & Sons; 2000.
- [12] Grant A, Johnstone C, Kelly N. Urban wind energy conversion: the potential of ducted turbines. *Renewable Energy* 2008;33(6):1157–63.
- [13] Stoddart E. Vertical axis wind turbines. Individual Project Report. University of Southampton, School of Civil Engineering and the Environment; unpublished.
- [14] Heymann M. Signs of hubris: the shaping of wind technology styles in Germany, Denmark, and the United States, 1940–1990. *Technology and Culture* 1998;39(4):641–70.
- [15] Campbell N, Stankovic S, Graham M, Parkin P, van Duijvendijk M, de Gruiter T, et al. Wind energy for the built environment (Project WEB). In: *Proceedings of the European wind energy conference & exhibition, Copenhagen, 2–6 July 2001*.
- [16] Dannecker RKW, Grant AD. Investigations of a building-integrated ducted wind turbine module. *Wind Energy* 2002;5(1):51–71.
- [17] EU. Directive 2002/91/EC of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. Brussels: European Parliament and Council; 2003.
- [18] Aguiló A, Taylor D, Quinn A, Wiltshire R. Computational fluid dynamic modelling of wind speed enhancement through a building-augmented wind concentration system. In: *Proceedings of the European wind energy conference & exhibition, London, 22–25 November 2004*.
- [19] Behling S, Hieber J. In den Wind gestellt: Nutzung von Windenergie in Hochhäusern. *Intelligente Architektur* 2002;37:52–5.
- [20] Bahrain World Trade Centre. Available from: <http://bahrainwtc.com>.
- [21] Graphisoft. ArchiCAD. Available from: <http://www.graphisoft.com>.

สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ในสภาวะออโตไจโร

Lift coefficient and Drag coefficient of a Rotor in Autogyro Mode

สัมพันธุ์ ไชยเทพ¹ และ ตินนกร ภูวดิน²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
โทร 0-5394-2004, โทรสาร 0-5394-2062, E-mail : sumpun@eng.cmu.ac.th

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000
โทร 0-4333-6370, โทรสาร 0-4323-7483, E-mail : tom_poowadin@hotmail.com

Sumpun Chaitep¹ and Tinnakorn Poowadin²

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand
Tel. 0-5394-2004, Fax. 0-5394-2062, Email : sumpun@eng.cmu.ac.th

² Department of Mechanical Engineering, Rajamangala Institute of Technology Khonkaen Campus, Khonkaen , 40000, Thailand
Tel. 0-4333-6370, Fax. 0-4323-7483, Email : tom_poowadin@hotmail.com²

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ในสภาวะออโตไจโร โดยโรเตอร์ประกอบด้วยปีกหมุน 2 ใบ แต่ละใบมีภาคตัดปีกแบบ Clark Y ที่มีขนาดคอร์ด 0.06 เมตรคงที่ ตลอดความยาวปีก 0.375 เมตร โดยทำการทดลองในอุโมงค์ลม และศึกษาถึงผลกระทบของมุมพิทช์ของโรเตอร์ที่อยู่ในช่วง 0 ถึง -15 องศา ผลการเอียงของเพลารอเตอร์ที่ 0 ถึง 45 องศา และผลของความเร็วมุมที่พัดเข้าหาโรเตอร์ในช่วงไม่เกิน 9 เมตรต่อวินาที

ผลจากการศึกษาพบว่า แนวโน้มของสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกเพิ่มขึ้น โดยที่ตำแหน่งมุมเอียงของโรเตอร์เท่ากับ 45 องศา สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ จะมีค่าเท่ากันคือมีค่าเท่ากับ 2.97 ที่อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกเท่ากับ 6.2 ส่วนที่ตำแหน่งมุมเอียงของโรเตอร์เท่ากับ 15 องศา จะมีค่าของสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านต่ำที่สุดคือเท่ากับ 0.38 และ 0.1 ที่อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกเท่ากับ 3.8 สรุปผลจากการศึกษาได้ตำแหน่งที่ดีที่สุด สำหรับโรเตอร์ในสภาวะออโตไจโรซึ่งมีภาคตัดปีกแบบ Clark Y ควรมีตำแหน่งมุมเอียงอยู่ในช่วงที่ไม่ต่ำกว่า 15 องศา และไม่เกินกว่า 30 องศา โดยตั้งตำแหน่งมุมพิทช์ของปีกที่ -2 องศา

Abstract

This research was aimed at studying Lift coefficient and Drag coefficient of a Rotor in Autogyro Mode. The rotor consisted of two blades Clark Y airfoil of the 0.06 m constant chord and the constant pitch angle throughout the whole length of 0.375 m. Test run in wind tunnel were conducted. Combination of following parameters were selected in this study, i.e., the pitch angles of blade between 0° to -15°, the tilt angles of rotor shaft between 0° to 45° and the air velocities within 9 m/s.

Experimental results showed that the Lift coefficient and Drag coefficient were increasing when the Tip speed ratio ascending correspondingly. Lift coefficient and Drag coefficient are equal to each other at 45° tilt angle, of which, both coefficients were measured at 2.97 at 6.2 tip speed ratio. However, at 15° tilt angle, the Lift coefficient and the Drag coefficient were at the lowest values, i.e. at 0.38 and 0.1 respectively, with the tip speed ratio at 3.8.

It can be concluded that, for the best position in Autogyro Mode, the tilt angle should be positioned between 15° to 30° while the pitch angle should be set at -2°

1. บทนำ

ในปัจจุบันอากาศยานแบบปีกหมุนที่ได้รับความนิยมยังคงเป็นเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งข้อได้เปรียบของเฮลิคอปเตอร์คือสามารถ ขึ้น-ลง ทางตั้งได้ แต่ก้ต้องการเครื่องยนต์ที่มีกำลังสูงเพื่อขับโรเตอร์ ใบพัดของโรเตอร์จึงถูกออกแบบเพื่อลดแรงต้านของใบพัดในขณะที่ใบพัดหมุนผ่านอากาศด้วยความเร็วสูง ถ้าพิจารณาถึงรูปแบบของใบพัดที่เป็นแบบแผ่นแบนกับรูปแบบของใบพัดแบบที่มีแคมเบอร์ จากข้อมูลของภาคตัดปีกจะพบว่า สำหรับการบินที่ความเร็วต่ำรูปแบบของภาคตัดปีกแบบที่มีแคมเบอร์จะให้แรงยกสูงกว่า ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทดสอบสมรรถนะของโรเตอร์ในสภาวะออโตไจโร โดยโรเตอร์จะสามารถสร้างแรงยกได้จากการหมุนอย่างอัตโนมัติเมื่อมีกระแสลมไหลผ่าน จากคุณสมบัติพิเศษนี้ทำให้โรเตอร์สร้างแรงยกได้ โดยไม่ต้องอาศัยแรงขับจากเครื่องยนต์ รูปแบบภาคตัดปีกแบบ Clark Y ซึ่งเป็นรูปแบบของภาคตัดปีกที่มีแคมเบอร์จึงถูกเลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาถึงสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ในสภาวะที่กำหนดโดยทำการทดลองในอุโมงค์ลมแล้วนำผลการทดลองที่ได้มาหาความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงยก และสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ที่เทียบกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก (λ)

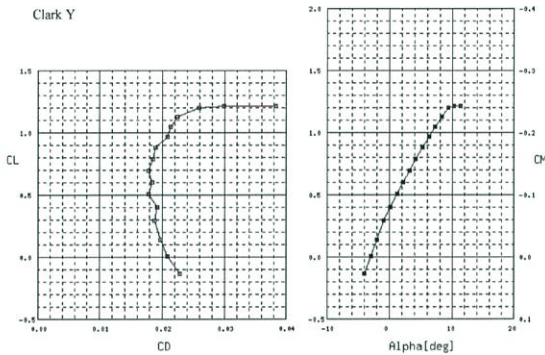
2. ทฤษฎี

2.1 คุณลักษณะของภาคตัดปีกแบบ Clark Y

กระแสลมเมื่อไหลผ่านวัตถุจะมีแรงกระทำเกิดขึ้น โดยแรงที่ตั้งฉากกับความเร็วมุมปะทะเรียกว่าแรงยก ส่วนแรงที่มีทิศเดียวกับความเร็วมุมปะทะเรียกว่าแรงต้าน โดยทั่วไปนิยมแสดงอยู่ในรูปไร้หน่วยคือสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน ในส่วนของของภาคตัดปีกแบบ Clark Y พิจารณาจากรูปที่ 1 จะได้ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน เทียบกับมุมปะทะเป็นไปตามสมการ

$$C_L = 0.09519\alpha + 0.337601 \quad (1)$$

$$C_D = 0.0183 - 0.000586\alpha + 0.0001513\alpha^2 \quad (2)$$



รูปที่ 1 สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน เทียบกับมุมปะทะของภาคตัดปีกแบบ Clark Y [8]

2.2 ทฤษฎีโมเมนตัมตามแนวแกน

ทฤษฎีโมเมนตัมตามแนวแกนเป็นทฤษฎีเบื้องต้น ที่ใช้คำนวณค่าแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมในแนวของการไหลของลำอากาศที่พัดผ่านตัวโรเตอร์ ทฤษฎีนี้ได้ถูกพัฒนาจากทฤษฎีแผ่นแอ็คชูเอเตอร์ (Actuator disk) ของเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งคิดค้นขึ้นโดย Rankine และ Froude ต่อมาได้ถูกพัฒนาเพิ่มเติมโดย Betz และ Glauert ในช่วง ค.ศ. 1920 โดยอยู่ภายใต้สมมติฐานคือ ใบพัดหมุนโดยไม่มีการสูญเสียจากแรงเสียดทาน ความดันในลำอากาศที่ตำแหน่งปลายทาง มีค่าเท่ากับความดันอากาศที่ตำแหน่งต้นทาง และไม่มีการหมุนของอากาศด้านหลังโรเตอร์ เราสามารถแสดงค่าแรงขับ(Thrust) จากสมการโมเมนตัม ได้ดังนี้คือ[5]

$$dT = 4a(1-a)\frac{1}{2}\rho v^2 2\pi r.dr \quad (3)$$

และสมการแรงบิด (Torque) มีรูปแบบสมการคือ

$$dQ = 4a'(1-a)\frac{1}{2}\rho v^2 \lambda r 2\pi r.dr \quad (4)$$

2.3 ทฤษฎีเบลคอลลีเมนต์

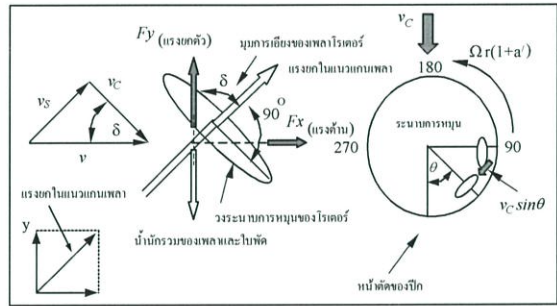
ทฤษฎีเบลคอลลีเมนต์ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ไม่มีการรบกวนเกิดขึ้นระหว่างเบลคอลลีเมนต์อื่นๆตลอดทั้งปีก และแรงที่กระทำบนเบลคอลลีเมนต์จะอยู่ในรูปของแรงยกและแรงต้านบนภาคตัดปีก ในกรณีนี้ที่โรเตอร์มีจำนวนปีกหมุน B ใบ สมการแรงขับและสมการแรงบิดมีรูปแบบสมการ คือ [5]

$$dT = B\frac{1}{2}\rho W^2 (C_L \cos\phi + C_D \sin\phi).c.dr \quad (5)$$

$$dQ = B\frac{1}{2}\rho W^2 (C_L \sin\phi - C_D \cos\phi).r.c.dr \quad (6)$$

2.4 การวิเคราะห์แรงยกบนโรเตอร์ในสภาวะออโตโร

การทำงานที่สภาวะออโตโรโรมีจุดหมายหลักคือต้องการหาค่าแรงยกที่เกิดขึ้น จากการทำงานของโรเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการทำงานของโรเตอร์ในสภาวะออโตโร

ค่าที่ได้จากสมการแรงขับและสมการแรงบิด ซึ่งคำนวณโดยทฤษฎีโมเมนตัมนั้นเป็นค่าทางอุดมคติและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของใบพัดของตัว โรเตอร์ที่ใช้ในทฤษฎีโมเมนตัมนั้นมีลักษณะเป็นแผ่นแอ็คชูเอเตอร์ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วใบพัดของโรเตอร์เวลาหมุนจะไม่เป็นแผ่นแอ็คชูเอเตอร์ตามที่สมมติ เนื่องจากจะมีช่องว่างในโรเตอร์ระหว่างใบพัดหนึ่งไปยังอีกใบพัดหนึ่ง ดังนั้นค่าอัตราโมเมนตัมเชิงเส้นและอัตราโมเมนตัมเชิงมุมที่คำนวณโดยทฤษฎีโมเมนตัมจึงสูงกว่าค่าที่เป็นจริงในทางปฏิบัติแล้วจะต้องมีการแก้ไขสมการ (3) และสมการ (4) เพื่อให้สอดคล้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้นเมื่อพิจารณาค่าปริมาณความเร็วที่ถูกชะลอของลำอากาศทั้งหมดตามแบบทฤษฎีโมเมนตัมจึงจำเป็นต้องใช้ค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยนี้สามารถคำนวณได้หลายวิธี แต่ในการวิจัยนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณความเร็วที่ถูกชะลอซึ่ง L.Prandtl เป็นผู้พัฒนาขึ้น โดยคำนวณค่าเฉลี่ยด้วยแฟคเตอร์ที่เขาพัฒนาขึ้น คุณกับค่าปริมาณความเร็วที่ถูกชะลอซึ่งเกิดขึ้นบนแผ่นออร์เทคัล แฟคเตอร์นี้เรียกว่า แฟคเตอร์การสูญเสียที่ปลายปีก (Tip loss factor) ซึ่งมีค่าเท่ากับ [6]

$$F = \frac{2}{\pi} \arccos \left(\exp \left\{ 0.5 \left[1 - \frac{r}{R} \right] B \sqrt{1 + X^2} \right\} \right) \quad (7)$$

Willson และ Lissaman [4] ได้เสนอให้ใช้ฟังก์ชัน F คูณเข้ากับแฟคเตอร์การไหลภายใน a และ a' เฉพาะในส่วนของทฤษฎีโมเมนตัมเท่านั้น ส่วนในทฤษฎีเบลตอลิเมนต์ยังคงรูปสมการเดิม ดังนั้นเมื่อนำค่าแรงขับจากสมการ (3) ซึ่งพิจารณาถึงค่าสูญเสียที่ปลายปีกเข้าไปด้วยแล้ว มาเท่ากับค่าแรงขับของใบพัดจากสมการ (5) ที่ได้มาจากทฤษฎีเบลตอลิเมนต์จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$4aF(1-aF) = (1-a)^2 \sigma \frac{C_L \cos \phi}{\sin^2 \phi} \left(1 + \frac{C_D}{C_L} \tan \phi \right) \quad (8)$$

และในทำนองเดียวกันจากสมการ (4) และสมการ (6) ได้ความสัมพันธ์ของสมการแรงบิด ดังนี้คือ

$$4a'F(1-aF)\lambda = (1-a)^2 \sigma \frac{C_L}{\sin \phi} \left(1 - \frac{C_D}{C_L \tan \phi} \right) \quad (9)$$

โดยที่สมการ (8) และ (9) ใช้สำหรับคำนวณหาค่าแฟคเตอร์การไหล a และ a' ซึ่งนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงยกของโรเตอร์ สำหรับค่าของแรงยกที่เกิดขึ้นจากการทำงานของโรเตอร์ในสภาวะอโตโรสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$dT = (1-a)^2 \sigma \frac{C_L \cos \phi}{\sin^2 \phi} \left[1 + \frac{C_D}{C_L} \tan \phi \right] \frac{1}{2} \rho v_s^2 2\pi r dr \quad (10)$$

ส่วนสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ คือ อัตราส่วนของแรงยกและแรงต้าน ต่อปริมาณโมเมนตัมของอากาศที่ผ่านหน้าตัดของโรเตอร์ มีรูปแบบสมการ คือ

$$C_{L_Rotor} = \frac{F_y}{\frac{1}{2} \rho A v_s^2} \quad (11)$$

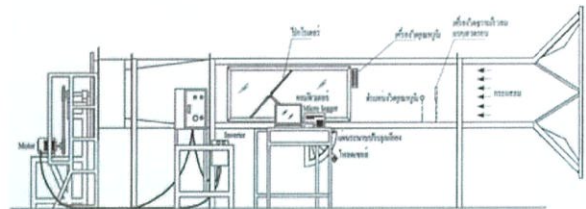
$$C_{D_Rotor} = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho A v_s^2} \quad (12)$$

3.วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบหาแรงยกและแรงต้านที่เกิดขึ้นของโรเตอร์ในสภาวะอโตโร ซึ่งทำการทดสอบในอุโมงค์ลม ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบคือ ค่าความเร็วลมในอุโมงค์ลม ซึ่งจะแปรเปลี่ยนทั้งหมด 5 ค่า มีค่าความเร็วลมอยู่ระหว่าง 4.5 - 8.5 เมตรต่อวินาที มุมเอียงของโรเตอร์ ซึ่งจะแปรเปลี่ยนทั้งหมด 4 ค่า คือ 0 15 30 และ 45 องศา ตามลำดับ และมุมพิทช์ปีกของโรเตอร์ ซึ่งจะแปรเปลี่ยนทั้งหมด 5 ค่า คือ -2 -4 -8 -12 และ -15 องศา ตามลำดับ

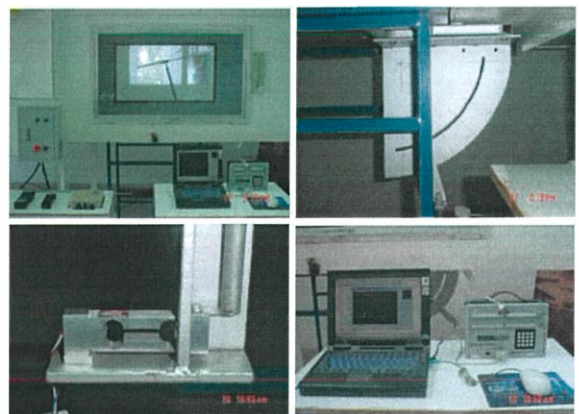


รูปที่ 3 การทดสอบโรเตอร์ในอุโมงค์ลม



รูปที่ 4 แสดงการติดตั้งชุดทดสอบโรเตอร์ในอุโมงค์ลม

สำหรับเครื่องมือวัดแรงยกของโรเตอร์ ที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบ ทำมาจากโพลีคาร์บอเนตมีช่วงการวัดแรงยก 0 ถึง 2000 กรัม มีความละเอียดในการวัด 0.1 กรัม โดยมีการทำงานร่วมกับ Micro Logger ยี่ห้อ CAMPBELL SCIENTIFIC, INC รุ่น CR 23 X ซึ่งแสดงผลการทำงานที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5



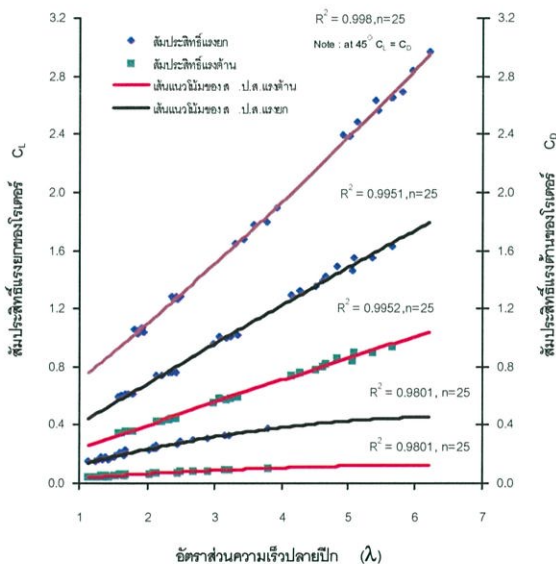
รูปที่ 5 ชุดเครื่องมือวัดแรงยกของโรเตอร์

ผลที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยทฤษฎีเบลตอลิเมนต์ และหาความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ กับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกต่อไป

4. ผลการศึกษาจากการดำเนินงานวิจัย

ผลที่ได้จากการทดสอบหาแรงยกของโรเตอร์ในสภาวะอโตไจโรพบว่าตำแหน่งมุมเอียงของเพลารอเตอร์ที่ศูนย์องศา และที่ตำแหน่งมุมพิทช์ของปีกที่ศูนย์องศาโรเตอร์จะไม่หมุน และไม่ก่อให้เกิดแรงยก ส่วนผลการทดสอบที่ตำแหน่งมุมเอียงของโรเตอร์ 15 30 และ 45 องศา โดยนำผลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 75 ค่า ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าที่ตำแหน่งมุมเอียงของโรเตอร์ 45 องศา สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากัน โดยมีความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน กับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก อยู่ในรูปสมการพหุนามอันดับสอง ดังสมการ

$$C_{L_Rotor / 45} = C_{D_Rotor / 45} = 0.0094\lambda^2 + 0.3623\lambda + 0.3332$$



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์กับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก

ส่วนที่ตำแหน่งมุมเอียงของโรเตอร์ 30 องศาพบว่าสัมประสิทธิ์แรงยกของโรเตอร์ที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าสูงกว่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$C_{L_Rotor / 30} = -0.0029\lambda^2 + 0.2878\lambda + 0.1195$$

$$C_{D_Rotor / 30} = -0.0017\lambda^2 + 0.1659\lambda + 0.0695$$

และที่ตำแหน่งมุมเอียงของโรเตอร์ 15 องศา พบว่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ที่ได้จากการทดสอบมีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ตำแหน่งมุมเอียง 30 องศา แต่จะมีค่าน้อยกว่าที่ตำแหน่งมุมเอียง 30 และ 45 องศา โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$C_{L_Rotor / 15} = -0.0101\lambda^2 + 0.1354\lambda + 0.0019$$

$$C_{D_Rotor / 15} = -0.0027\lambda^2 + 0.0363\lambda + 0.0005$$

การวิเคราะห์ผลจากการทดลองพบว่า แนวโน้มของสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกเพิ่มขึ้น และขึ้นอยู่กับตำแหน่งมุมเอียงของโรเตอร์ โดยที่ตำแหน่งมุมเอียงของโรเตอร์ 45 องศา จะมีค่าสูงที่สุดคือ $C_L = C_D = 2.97$ ที่ตำแหน่งมุมพิทช์ปีก (β) -2 องศา และอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก (λ) เท่ากับ 6.2 ตำแหน่งมุมเอียงของโรเตอร์ 30 องศา ได้ค่า $C_L = 1.63$ และ $C_D = 0.97$, $\beta = -2$ องศา , $\lambda = 5.7$ และที่ตำแหน่งมุมเอียงของโรเตอร์ 15 องศา ได้ค่า $C_L = 0.38$ และ $C_D = 0.1$, $\beta = -2$ องศา , $\lambda = 3.8$ แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งมุมเอียงที่เหมาะสม สำหรับโรเตอร์ในสภาวะอโตไจโรซึ่งมีภาคตัดปีกแบบ Clark Y ควรจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 30 องศา เพราะในกรณีแรงยกตัวที่เท่ากัน ที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 และ 30 องศา จะเกิดแรงต้านในการเคลื่อนที่ที่มีค่าไม่สูงเกินไปเมื่อเทียบกับที่มุมเอียง 45 องศา ซึ่งจะมีผลต่อขนาดและน้ำหนักของอากาศยาน และตำแหน่งของมุมเอียงยังคงควรอยู่ในช่วงไม่น้อยกว่า 15 องศา เพราะถ้าหากอยู่ในสภาวะที่กระแสลมมีความเร็วไม่สูงมากนัก แรงยกตัวที่เกิดขึ้นอาจมีขนาดไม่เพียงพอ ที่จะสามารถพยุงอากาศยานให้ลอยตัวอยู่ได้

5. สรุปผล

จากผลการศึกษาถึงสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ในสภาวะอโตไจโร สำหรับโรเตอร์ที่ประกอบด้วยปีกหมุน 2 ใบ โดยใช้ภาคตัดปีกแบบ Clark Y สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก (λ) จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมุมพิทช์ปีกมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ในงานวิจัยนี้ได้ตำแหน่งมุมพิทช์ปีกที่ดีที่สุดอยู่ที่ -2 องศา
2. สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกเพิ่มขึ้น
3. ตำแหน่งมุมเอียงที่เหมาะสมสำหรับโรเตอร์ในสภาวะอโตไจโร ควรจะอยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 30 องศา และไม่ต่ำกว่า 15 องศา โดยมีตำแหน่งมุมพิทช์ปีกเท่ากับ -2 องศา

6. รายการสัญลักษณ์และอักษรย่อ

A	พื้นที่จานท้ายแรง	m^2
a	แฟคเตอร์ของการไหลภายในแนวแกน	
a'	แฟคเตอร์ของการไหลภายในระนาบการหมุน	
B	จำนวนใบพัดหรือปีกหมุน	
C_D	สัมประสิทธิ์แรงต้านของภาคตัดปีก	
C_{D_Rotor}	สัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์	
C_L	สัมประสิทธิ์แรงยกของภาคตัดปีก	
C_{L_Rotor}	สัมประสิทธิ์แรงยกของโรเตอร์	
c	ความยาวคอร์ดของปีก	m
c.dr	พื้นที่ระนาบการหมุนที่ความหนาวงแหวน dr	m^2

dD	แรงต้านที่กระทำบนภาคตัดย่อยๆ ของปีก	N
dL	แรงยกที่กระทำบนภาคตัดย่อยๆ ของปีก	N
dQ	แรงบิดที่กระทำบนภาคตัดย่อยๆ ของปีก	N.m
dr	ภาคตัดย่อยๆ ของปีก	
dT	แรงขับที่กระทำบนภาคตัดย่อยๆ ของปีก	N
F	แฟคเตอร์การสูญเสียที่ปลายปีก	
Fx	แรงยกตัวของโรเตอร์	N
Fy	แรงต้านของโรเตอร์	N
P	ความดันบรรยากาศเฉลี่ย	mm.Hg
n	จำนวนข้อมูล	
R	รัศมีปีก	m
r	รัศมีย่อยๆ ของปีก	m
r ₁ , r ₂	รัศมีตุมโรเตอร์และรัศมีนอกสุดของโรเตอร์	m
T	แรงยกในแนวแกนเพลลาโรเตอร์	N
t	อุณหภูมิเฉลี่ย	°C
v	ความเร็วลมที่พัดเข้าหาโรเตอร์	m/s
W	ความเร็วสัมพัทธ์หรือความเร็วลัมพ์	m/s

[6] Walker, J. F. ; Jenkins, N. "Wind Energy Technology", West Sussex PO19 1UD, England : John Wiley & Sons, 1997.

[7] Rice, M. S. "Handbook of Airfoil Sections for Light Aircraft" Wisconsin : Hector, 1971.

[8] NASG Airfoil Database [Online]. Available <http://www.nasg.com/afdb/list-polar-e.phtml>. (29 June 2002).

Subscript

α	มุมปะทะของปีก	degree
α_s	มุมปะทะที่จุดร่ว่งหล่น	degree
β	มุมพิทช์ของปีกเทียบกับระนาบการหมุน	degree
δ	มุมเอียงของเพลลาโรเตอร์	degree
ϕ	มุมการไหล	degree
θ	ตำแหน่งเชิงมุมของปีกในระนาบการหมุน	degree
σ	อัตราส่วนโซลิติตี	
λ	อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก	
Ω	ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์	rpm

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ชาตรี คอยแก่น. "สมรรถนะแรงยกของโรเตอร์อโตโจโรโหมด โดยใช้ทฤษฎีเบลตอิลิเมนต์". วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต มหาวิทยลัยเชียงใหม่ 2544.

[2] ปรีชา บุษผาชาติ. "การออกแบบและทดสอบสมรรถนะกังหันลม แกนนอนชนิด 3 ใบ สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า". วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยลัย 2532.

[3] สัมพันธ์ ไชยเทพ. "อากาศพลศาสตร์เบื้องต้น." พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่ : อนุกรมวิศวกรรมยานยนต์และการบินอวกาศ เล่มที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยลัย เชียงใหม่, 2535.

[4] Hurt, H. H. Jr. "Aerodynamics for Naval Aviators". Washington : Aviation Supplies & Academic, pp. 405-412, 1965.

[5] Lysen, E. H. "Introduction to wind Energy", Amersfoort : SWD Steering Committee Wind Energy Developing Countries. 1982.



การศึกษาใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 1.5 MW ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล Studying of Blade Effect of 1.5 MW Wind Turbine Using CFD Technique

พินิจ สังข์ทอง¹, วิรัชย์ โยชนินทร์^{2*}

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3497 โทรสาร 0-2549-3432 E-mail: wirachairoynarin@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ นำเสนอการวิเคราะห์ผลจากความยาวใบกังหันลมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยมีความยาวใบ 3.9, 4.1 และ 6.8 เมตร ตัวแปรที่ใช้คือ ความเร็วลมเฉลี่ย 5 เมตร/วินาที มุมองศาการบิดของใบ 3 องศา และมีรูปร่างเป็นชนิดเดียวกันทั้งสามขนาด โดยการใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) CFD ช่วยในการวิเคราะห์ คือโปรแกรม CF-Design V.8 ศึกษาสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงผลักของใบ ผลที่ได้นำมาคำนวณค่ากำลังงานของใบแต่ละขนาด โดยนำมาประยุกต์เข้ากับการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 1.5 MW ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การยกตัวที่ดีที่สุดคือที่ความยาวใบ 6.8 เมตร มีค่า 1.907 สัมประสิทธิ์การผลักตัว 0.091 ทั้งนี้เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีขนาดเพิ่มขึ้น 5 เมตร กำลังงานที่ได้จากใบกังหันจะเพิ่มขึ้นประมาณ 20% และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล Power curve กับบริษัทผู้ผลิตแล้วพบว่ามีค่าแตกต่างกัน 9% ดังนั้นโปรแกรม CFD สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริงกับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพใบกังหันลม

คำหลัก: สัมประสิทธิ์แรงยก, สัมประสิทธิ์แรงผลัก, CFD

Abstract

This research presents the study of blade length of the wind machine which effect to the Power. The blade length of 3.9, 4.1 and 6.8 m. which incoming wind speed of 5 m/s, pitch angle 3 degree on the same blade profile phenomena were used for the study. The investigation uses commercial Computation Fluid Dynamics (CFD) named CF Design V.8. The lift and drag coefficient (Cl, Cd) also studied and investigated. The results were used to compute the power of wind machine at varies parameters above. Additionally, the results also applied to scaling up wind machine of 1.5 MW for the comparison purpose. Results from the study shown that extending blade diameter of 5 m. increasing 20 % of power which high lift and drag coefficient of 1.90 and 0.091, respectively. The power shown the reasonable results compare to power curve shown by company which errors of 9 %. The CFD technique was shown the promising results for the performance investigation of the wind machine.

Keywords: Lift coefficient, Drag coefficient, CFD, Turbine Design

1. บทนำ

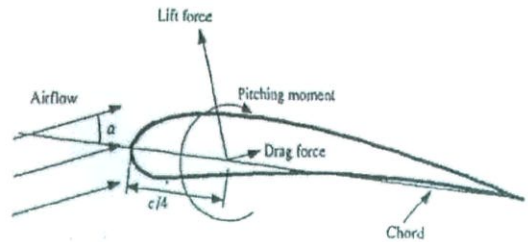
เนื่องจากความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่ที่มีศักยภาพของประเทศไทย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 5 m/s ดังนั้นการที่จะทำให้ประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นวิธีหนึ่งที่ยอมรับได้คือการขยายช่วงความยาวใบของกังหันลม ให้เหมาะสมกับพลังงานของลมที่เข้ามา การวิเคราะห์ข้อมูลของแรงยกตัวและแรงผลักรัดตัวจากความยาวใบ นั่นคือการหาประสิทธิภาพการยกตัวและประสิทธิภาพการผลักรัดตัวของใบกังหันลม ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และมีประโยชน์เป็นอย่างมากต่อการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรม ให้คำตอบที่ถูกต้องแม่นยำ โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของของไหล (Computation Fluid Dynamics) หรือ CFD ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ในด้านกลศาสตร์ของของไหล ที่ไหลผ่านรูปทรงที่มีความยุ่งยากซับซ้อนได้ ซึ่งการทดสอบในอุโมงค์ลมจริงๆ อาจต้องใช้ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายที่สูงมาก CFD จึงกลายเป็นเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับงานทางด้านวิศวกรรมและการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของของไหล งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมทางพลศาสตร์ของของไหลมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้จากใบกังหันลมที่มีขนาดความยาวใบที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นประโยชน์และแนวทางในการพิจารณาเลือกขนาดใบให้เหมาะสม สำหรับการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่ในประเทศไทยต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดของแรงยก และแรงผลักรัด (Lift force and Drag force)

แรงกระทำต่อแพนอากาศ (Airfoil) และแรงดังกล่าวที่อยู่ในทิศที่ตั้งฉากกับการไหลจะถูกเรียกว่า "แรงยก" (Lift force) แทนด้วยสัญลักษณ์ "L" แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนผิวทั้งสองด้านของแพนอากาศ ซึ่งเกิดจากความเค้นเฉือนที่ผิว และแรงจากค่าความดันแตกต่างกันที่อยู่ในทิศที่ขนานกับการไหลจะถูก

เรียกว่า "แรงผลักรัด" (Drag force) แทนด้วยสัญลักษณ์ "D" ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเกิดแรงยกและ แรงผลักรัดบน Air foil

ค่าแรงยกและแรงผลักรัด จะได้จากการทดสอบแพนอากาศดังกล่าวในอุโมงค์ลม ซึ่งมักจะแสดงค่าแรงยกและแรงหน่วงอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์แรงยก C_L และสัมประสิทธิ์แรงผลักรัด C_D โดยที่นิยามของค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองจะเขียนได้เป็น

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

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

เมื่อ C_L = สัมประสิทธิ์แรงยก

C_D = สัมประสิทธิ์แรงผลักรัด

L = แรงยก (Lift force, N)

D = แรงผลักรัด (Drag force, N)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

A = พื้นที่ระนาบของแพนอากาศ (m^2)

U_{rel} = ความเร็วลมสัมพัทธ์ (m/s)

2.2 อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip Speed Ratio)

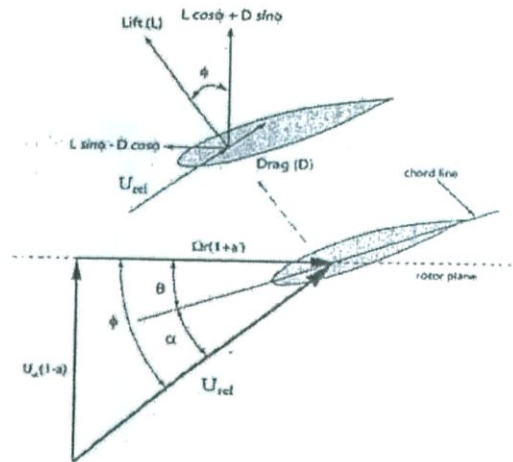
สมรรถนะของกังหันลมที่ต้องพิจารณา คือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง ซึ่งตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน C_p กับอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip Speed Ratio) จะแสดงตามรูปที่ 2 สำหรับเลือกอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip Speed Ratio) ให้ได้ค่า C_p สูงสุด ซึ่งเป็นการหาว่าใบกังหัน



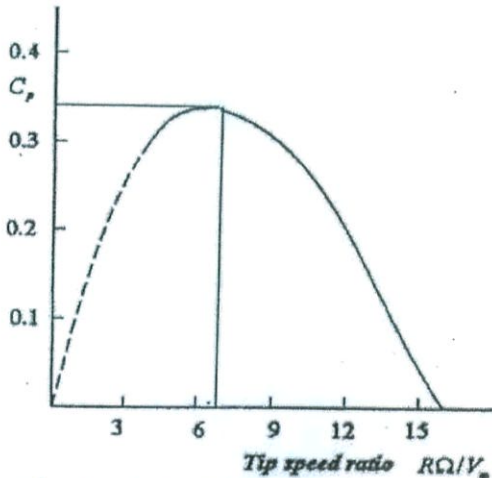
หมุนทำงานได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่ TSR เท่าใด อัตราส่วนความเร็วปลายใบเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบกั้งหันลมกับความเร็วลม โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\lambda = \frac{v}{U_0} = \frac{r\Omega}{U_0} \quad (3)$$

เมื่อ λ = อัตราส่วนความเร็วปลายใบ
 Ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/s)
 r = รัศมีใบกั้งหันลม (m)
 U_0 = ความเร็วลม (m/s)



รูปที่ 3 แรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดรูป airfoil ของใบกั้งหันลม [1]



รูปที่ 2 ตัวอย่างสมรรถนะกั้งหันลมแกนนอน [1]

2.3 ทฤษฎี Blade Element Theory

เป็นการพิจารณาแรงที่กระทำบนใบกั้งหันในลักษณะสองมิติ แล้วคำนวณค่าคุณลักษณะต่างๆที่มีผลกับใบกั้งหันลม เช่น แรงยก แรงผลั้ก ที่เป็นผลมาจากมุมปะทะ และความเร็วลม

เมื่อพิจารณาที่ใบกั้งหันลมในแต่ละส่วน (Blade Element) ความเร็วที่เกิดขึ้นจะแบ่งได้เป็นความเร็วในแนวแกน และความเร็วในแนวแกนหมุน

พิจารณาแรงจากเวกเตอร์ตามรูปที่ 3 จะได้ความสัมพันธ์

$$F_y = L \sin \phi - D \cos \phi \quad (4)$$

$$F_z = L \cos \phi + D \sin \phi \quad (5)$$

$$\tan \phi = \frac{(1-a)}{\lambda(1+a')} = \frac{U_0(1-a)}{r\Omega(1+a')} \quad (6)$$

เมื่อ a = แพลตเตอร์ความสูญเสียในแนวแกน

a' = แพลตเตอร์ความสูญเสียในแนวรัศมี

จากทฤษฎีของ Betz กั้งหันลมจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อ a มีค่าเท่ากับ $1/3$ สำหรับ a' จะมีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากไม่เกิดการเกิดการคองของอากาศ (Wake Rotation) ดังนั้นเมื่อพิจารณากั้งหันลมทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด จะได้สมการเป็น [1-3]

$$\phi = \tan^{-1} \frac{2U_0}{3r\Omega} \quad (7)$$

$$U_{rel} = \sqrt{\left(\frac{2U_0}{3}\right)^2 + (r\omega)^2} \quad (8)$$



กำลังงานที่ได้จากใบกังหันลมคำนวณจากสมการ

$$P = \frac{1}{2} \rho A U_0^3 (\cot \phi)(1 + \cot^2 \phi)(C_L \sin \phi - C_D \cos \phi) B \quad (9)$$

เมื่อ P = กำลังงานจากใบกังหันลม (Watts)

C_L = สัมประสิทธิ์แรงยก

C_D = สัมประสิทธิ์แรงผลัก

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

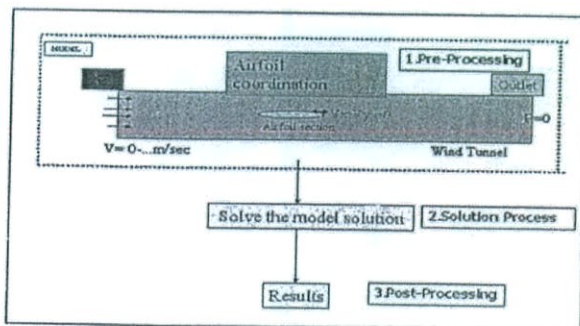
A = พื้นที่ระนาบของแพนอากาศ (m^2)

U_0 = ความเร็วลม (m/s)

B = จำนวนใบกังหันลม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยนี้ จะใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของไหล (Computation Fluid Dynamics) หรือ CFD มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งจะทำการศึกษาทดสอบกับใบของกังหันลม 3 ขนาด ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใบที่แตกต่างกัน คือ 72, 77 และ 82 เมตร โดยทำการย่อยส่วนใบกังหันลมผลิตไฟฟ้ากำลังผลิตขนาด 1.5 MW ลงมาด้วยมาตราส่วน 1 ต่อ 9.15 จากขนาดรัศมีใบเดิมที่ 37.5 เมตร มาเป็นขนาดรัศมีใบ 4.1 เมตร ย่อยส่วนใบลงมาด้วยมาตราส่วน 5.88 จากขนาดรัศมีใบที่เพิ่มขึ้น จากขนาด 40 เมตร มาเป็นขนาดรัศมี 6.8 เมตร และย่อยส่วนใบลงมาด้วยมาตราส่วน 8.97 จากขนาดรัศมีใบที่ลดลง จากขนาด 35 เมตร มาเป็นขนาดรัศมี 3.9 เมตร และทำการหา กำลังงานที่ได้จากใบกังหันลมแต่ละขนาด



รูปที่ 4 ขั้นตอนการคำนวณ [4]

3.1 การประมวลผลของโปรแกรม

ขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามส่วนของโปรแกรม ซึ่งมี 3 ขั้นตอนดังรูปที่ 4 คือ

- Pre-processing เป็นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลเพื่อการคำนวณ เช่น การกำหนดขอบเขตของปัญหา (Boundary Condition) การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties) แรงกระทำ (Load) การกำหนดค่าความดัน และอุณหภูมิ เป็นต้น
- Solution การคำนวณหาผลเฉลย หรือหาคำตอบจากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์โดยแก้ปัญหาว่าเป็นโมเดลคณิตศาสตร์แบบใด
- Post-processing การแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณในรูปแบบชิ้นงานหรือกราฟหรือหาค่าแรงและโมเมนต์ต่างๆ

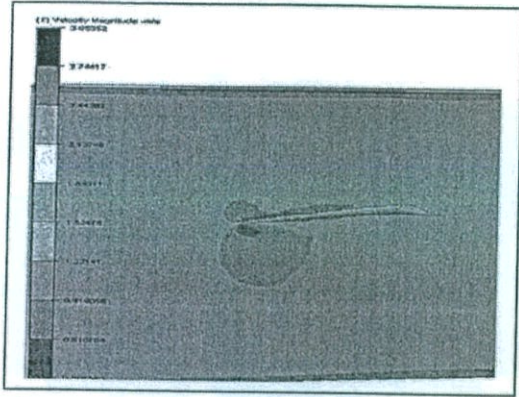
3.2 การสร้างรูปแบบการวิเคราะห์ผล

ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลจะแยกตามวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) ดังนี้

- Building the Mathematical Model (สร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์)
- Building the Computational Fluid Dynamics Model (สร้างรูปแบบชิ้นส่วนย่อย)
- Solving the Computational Fluid Dynamics Model (สร้างรูปแบบการแก้สมการ)
- Analysis the Results (การวิเคราะห์ผลเฉลย)

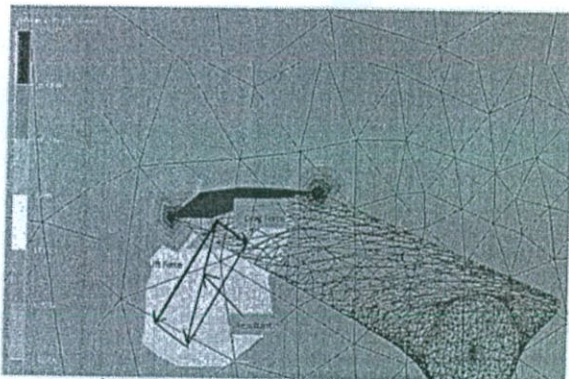
3.3 การกำหนดข้อมูลและตัวแปรต่างๆ

1. กำหนดความเร็วลมทางด้านขาเข้าเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที
2. กำหนดให้อูโมงค์ลมมีความยาว 30 เมตร
3. กำหนดความดันขาออกจากอูโมงค์ลมเท่ากับศูนย์ความดันเกจ
4. กำหนดผิวของใบกังหันมีความเร็วเริ่มต้นทุกทิศทาง X Y Z เท่ากับศูนย์
5. กำหนดให้อากาศเป็นชนิดของไหลอัดตัวไม่ได้ (Incompressible Fluid)



รูปที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ใบกังหันภายในอุโมงค์ลม

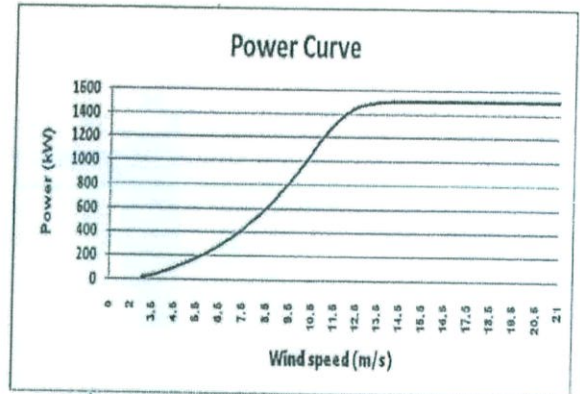
รูปที่ 5 เป็นการแสดงให้เห็นการวิเคราะห์ใบกังหันภายในอุโมงค์ลม ด้วยโปรแกรม CFD ตามค่าต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น สำหรับรูปที่ 6 จะเป็นตัวอย่างลักษณะของแรงลัพท์ที่เกิดขึ้นจากแรงยก และแรงผลักรที่เป็นผลมาจากมุมปะทะ และความเร็วลมที่เข้ามา



รูปที่ 6 ลักษณะแรงที่กระทำกับใบกังหันลม

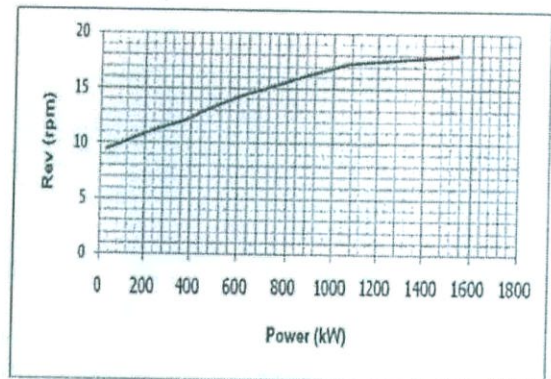
3.4 การคำนวณหากำลังที่ได้จากใบกังหันลม

การคำนวณหา กำลังที่เกิดขึ้นจากใบกังหันลม สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 9 ทั้งนี้ต้องทราบมุมความเร็วลมสัมพันธ์ เพื่อนำมาแทนค่าในสมการ ซึ่งสามารถหาได้จากการนำ Power Curve ของกังหันลมขนาด 1.5MW มาวิเคราะห์ร่วมกับกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของโรเตอร์กับกำลังผลิต (ได้จากการทดสอบของโรงงานผู้ผลิต)



รูปที่ 7 Power curve กังหันลมขนาด 1.5 MW

สำหรับความเร็วลมที่พิจารณาคือที่ 5 m/s จาก Power curve ของกังหันลม ตามรูปที่ 7 จะได้กำลังผลิต 140 kW และจากกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของโรเตอร์กับกำลังผลิต ตามรูปที่ 8 โรเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 10 rpm



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของโรเตอร์กับกำลังผลิต

เมื่อแทนค่ารอบการหมุนของโรเตอร์ ที่ความเร็วลม 5 m/s สามารถคำนวณหา มุมความเร็วลมสัมพันธ์ของใบกังหันได้ตามสมการที่ 7 โดยค่า CL และ CD ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งค่าแรงยก (L) และแรงผลักร (D) จะได้มาจากผลของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD ตามขนาดของใบกังหันลมแต่ละขนาด

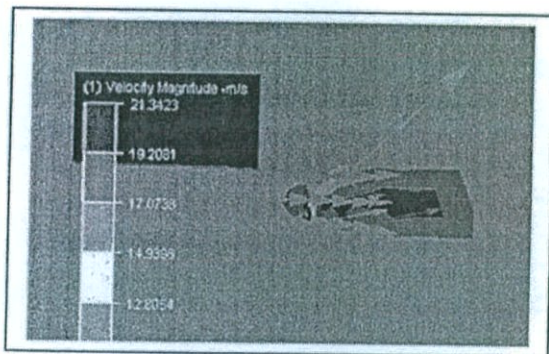


4. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์แรงที่กระทำกับใบกังหันลมแต่ละขนาดด้วยโปรแกรม CFD จะได้ผลของการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับรูปที่ 9 จะแสดงเวกเตอร์ของแรงที่กระทำกับใบกังหันลม

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก CFD

ขนาดใบ	3.9 m	4.1 m	6.8 m
Fy(N)	0.83	1.14	4.23
Fz (N)	22.16	28.58	88.06
Centroid (m)	1.55	1.64	2.67



รูปที่ 9 เวกเตอร์ของแรงที่กระทำกับใบกังหันลม

ตารางที่ 2 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากการวิเคราะห์

ขนาดใบ	3.9 (35m)	4.1 (37.5m)	6.8 (40m)
L (N)	22.18	28.60	88.16
D (N)	0.83	1.14	4.23
C _L	1.820	1.866	1.907
C _D	0.068	0.074	0.091
P(kW)	12.97	16.64	31.24
Scaling	8.97	9.15	5.88
P(kW)	116.34	152.26	183.69
%	-23.59%	-	+20.64%

5. สรุปผล

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD พบว่าขนาดของใบกังหันที่เปลี่ยนแปลงไป มีผลต่อกำลังงานที่ได้จากใบกังหันลม แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วลม 5 m/s แล้วเพิ่มขนาดใบกังหันลมให้มี

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบเพิ่มขึ้น 5 เมตร จากขนาด 77 เมตร เป็น ขนาด 82 เมตร กำลังงานทางกลที่ได้จากใบกังหันลมจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 20% หรือหากลดขนาดใบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบเล็กลง 5 เมตร กำลังงานที่ได้จากใบกังหันลมก็จะลดลงประมาณ 20% เช่นกัน ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความเร็วลมเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าให้กับกังหันลมได้มากขึ้น ในการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่จึงควรพิจารณาขนาดความยาวใบกังหัน เพื่อให้เหมาะสมกับความเร็วลมเฉลี่ยในประเทศไทย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบพระคุณ บุคลากรเจ้าหน้าที่ อากาศวิจัยประยุกต์ พลังงานลม น้ำ และแสงอาทิตย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในการดำเนินการวิจัย และจัดทำเอกสารเป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.F. Manwell, J.G. MCGowan and A.L. Rogers, (2009) Wind Energy Explained, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, UK.
- [2] S.N. Bhadra, D. Kastha and S.Banerjee (2005) Wind Electrical Systems, Oxford University Press
- [3] Francis M. Vanek, Louis D. Albright (2008) Energy Systems Engineering Evaluation and Implementation, Mc Graw Hill.
- [4] สว่างชาติทอง, วิรัช โรยรินทร์ (2553). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพประกอบการทำงานสูงสุดของใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 7 จังหวัดเพชรบุรี

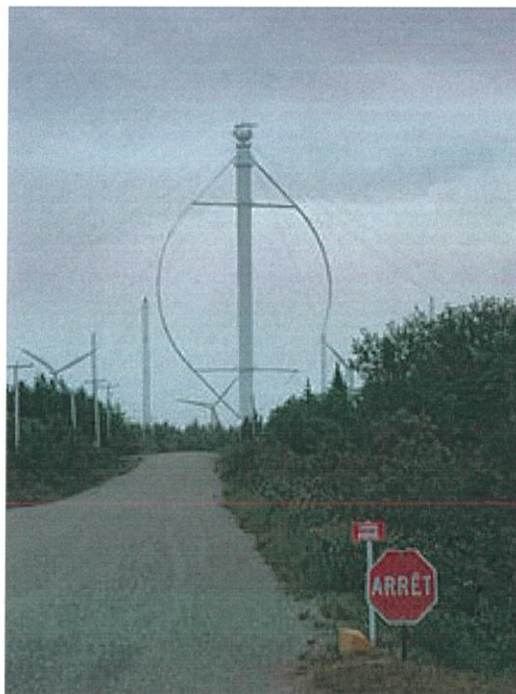
Vertical axis wind turbine

From Wikipedia, the free encyclopedia

Vertical-axis wind turbines (VAWTs) are a type of wind turbine where the main rotor shaft is set vertically and the main components are located at the base of the turbine. Among the advantages of this arrangement are that generators and gearboxes can be placed close to the ground, which makes these components easier to service and repair, and that VAWTs do not need to be pointed into the wind. Major drawbacks for the early designs (Savonius, Darrieus and giromill) included the pulsatory torque that can be produced during each revolution and the huge bending moments on the blades. Later designs solved the torque issue by using the helical twist of the blades almost similar to Gorlov's water turbines.

A VAWT tipped sideways, with the axis perpendicular to the wind streamlines, functions similarly. A more general term that includes this option is "transverse axis wind turbine". For example, the original Darrieus patent, includes both options.

Drag-type VAWTs, such as the Savonius rotor, typically operate at lower tip-speed ratios than lift-based VAWTs such as Darrieus rotors and cycloturbines.



General aerodynamics

The forces and the velocities acting in a Darrieus turbine are depicted in figure 1. The resultant velocity vector, \vec{W} , is the vectorial sum of the undisturbed upstream air velocity, \vec{U} , and the velocity vector of the advancing blade, $-\vec{\omega} \times \vec{R}$.

$$\vec{W} = \vec{U} + (-\vec{\omega} \times \vec{R})$$

Thus, the oncoming fluid velocity varies, the maximum is found for $\theta = 0^\circ$ and the minimum is found for $\theta = 180^\circ$, where θ is the azimuthal or orbital blade position. The angle of attack, α , is the angle between the oncoming air speed, W , and the blade's chord. The resultant airflow creates a varying, positive angle of attack to the blade in the upstream zone of the machine, switching sign in the downstream zone of the machine.

From geometrical considerations, the resultant airspeed flow and the angle of attack are calculated as follows:

$$W = U\sqrt{1 + 2\lambda \cos \theta + \lambda^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta + \lambda} \right)_{[3]}$$

Where $\lambda = \frac{\omega R}{U}$ is the tip speed ratio parameter.

The resultant aerodynamic force is decomposed either in lift (F_L) - drag (D) components or normal (N) - tangential (T) components. The forces are considered acting at 1/4 chord from the leading edge (by convention), the pitching moment is determined to resolve the aerodynamic forces. The aeronautical terms lift and drag are, strictly speaking, forces across and along the approaching net relative airflow respectively. The tangential force is acting along the blade's velocity and, thus, pulling the blade around, and the normal force is acting radially, and, thus, is acting against the bearings. The lift and the drag force are useful when dealing with the aerodynamic behaviour around each blade, i.e. dynamic stall, boundary layer, etc.; while when dealing with global performance, fatigue loads, etc., it is more convenient to have a normal-tangential frame. The lift and the drag coefficients are usually normalised by the dynamic pressure of the relative airflow, while the normal and the tangential coefficients are usually normalised by the dynamic pressure of undisturbed upstream fluid velocity.

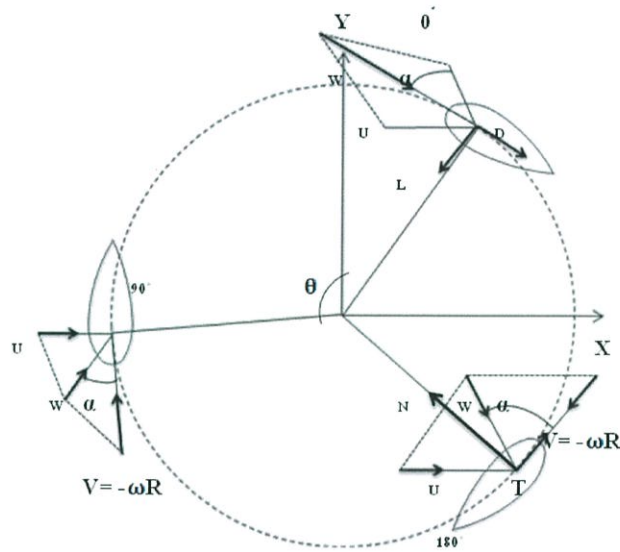
$$C_L = \frac{F_L}{1/2 \rho A W^2} ; C_D = \frac{D}{1/2 \rho A W^2} ; C_T = \frac{T}{1/2 \rho A U^2} ; C_N = \frac{N}{1/2 \rho A U^2}$$

A = Surface Area

The amount of power, P, that can be absorbed by a wind turbine.

$$P = \frac{1}{2} C_P \rho A v^3$$

Where C_P is the power coefficient, ρ is the density of the air, A is the swept area of the turbine, and v is the wind speed



Forces and velocities acting in a Darrieus turbine for various azimuthal positions