

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างกังหันลมแนวตั้งแบบซาโวเนียสองชั้น

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VERTICAL AXIS DOUBLE
SAVONIUS WIND TURBINE**



นายกิตติชัย สืบญาติ
นายจตุรภัทร ชื่นบาน
นายจักรกฤษณ์ ศรีปาน

2/ค.
ก673ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 82193
วันเดือนปี..... -9 ก.ค. 2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

b. 119 44730
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างกังหันลมแนวตั้งแบบซาโวเนียสสองชั้น

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VERTICAL AXIS DOUBLE

SAVONIUS WIND TURBINE

จัดทำโดย

กิตติชัย สืบญาติ

จตุรภัทร ชื่นบาน

จักรกฤษณ์ ศรีปาน

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สยาม สงวนรัมย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างกังหันลมแนวตั้งแบบซาโวเนียสสองชั้น

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VERTICAL AXIS DOUBLE SAVONIUS
WIND TURBINE

คณะผู้จัดทำ

1. กิตติชัย สืบญาติ

รหัสประจำตัว 48015718

2. จตุรภัทร ชื่นบาน

รหัสประจำตัว 48015720

3. จักรกฤษณ์ ศรีปาน

รหัสประจำตัว 48015721




อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.สยาม สงวนรัมย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างกังหันลมแนวตั้งแบบซาโวเนียสสองชั้น

กิตติชัย สืบญาติ	48015718
จตุรภัทร ชื่นบาน	48015720
จักรกฤษณ์ ศรีปาน	48015721
อาจารย์สยาม สงวนรัมย์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550	

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นการศึกษาข้อมูลของกังหันลมแนวตั้ง โดยดัดแปลงจากกังหันลมซาโวเนียสแบบชั้นเดียวให้มีสองชั้น เนื่องจากประเทศไทยมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำอยู่ที่ 3-5 m/s เราจึงทำการออกแบบกังหันลมซาโวเนียสแบบสองชั้นมาทำการทดลองในอุโมงค์ลมที่มีความเร็วลม 3-6 m/s แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว สัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้พลังงานกับซาโวเนียสแบบชั้นเดียว ผลการทดลองที่ความเร็วลมต่ำซาโวเนียสแบบสองชั้นจะเริ่มหมุนได้ดีกว่าซาโวเนียสแบบชั้นเดียว

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VERTICAL AXIS DOUBLE
SAVONIUS WIND TURBINE**

KITTICHAJ SURBYART

JATURAPAT CHUENBAN

JAKKIT SRIPAN

SAYAM SAGUANRUM Adviser

Abstract

This paper presents a study of two savoniuses. One is a single savonius. Another is a double savonius. Because most area in Thailand has low wind velocity, 3-5 m/s, savoniuses are a proper choice for this wind condition. The savonius is tested in small wind tunnel to determine velocity, power and torque coefficients. These parameters are compared to the single savonius having the same blade area. The results show that the double savonius start rotating at 3 m/s, while the single one does at 3.5 m/s. However, the single savonius has better performance than the double one.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีโดยมีอาจารย์สยาม สวงนรัมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และได้ให้คำแนะนำ สั่งสอน เสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหาลดเวลาในการทำโครงการ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตา กรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง เป็นผู้ให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังคงคอยให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ประโยชน์ทั้งหลายอันพึงมี พึงได้แก่บุคคลหนึ่งบุคคลใดที่ได้จากการอ่านปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณความคิดทั้งหลายทั้งปวงให้กับคณะบุคคลที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้น

กิตติชัย สืบญาติ
จตุรภัทร ชื่นบาน
จักรกฤษณ์ ศรีปาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV-VI
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII-IX
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขต และข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 ลม	3
2.1 ทฤษฎีการเกิดลม	3
2.1.1 การเกิดลมในลักษณะทั่วทั้งโลก	3
2.1.2 การเกิดลมในลักษณะเฉพาะที่	4
บทที่ 3 กังหันลม และอุโมงค์ลม	6
3.1 ลักษณะทั่วไปของกังหันลม	6
3.2 ประสิทธิภาพของกังหันลม	7
3.3 การจำแนกกังหันลม	7
3.3.1 ตามลักษณะการวางตัวของแกนการหมุน	7
3.3.1.1 กังหันลมแนวนอน	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 กังหันลม (ต่อ)	
3.3.1.2 กังหันลมแนวตั้ง	7
3.3.2 ตามลักษณะแรงขับเคลื่อนที่กระแสลมกระทำต่อใบพัด	8
3.3.2.1 ขับด้วยแรงยกตัว	8
3.3.2.2 ขับด้วยแรงดูด	8
3.4 กังหันลมแบบซาโวนีเยส	9
3.5 ส่วนประกอบของซาโวนีเยส	9
3.5.1 ใบกังหันลม	9
3.5.2 เสา	9
3.6 รายละเอียดของอุโมงค์ลม	10
3.6.1 ลักษณะทั่วไปของพัดลมที่ใช้ทดสอบ	10
3.6.2 ประเภทของใบพัดลม	10
3.6.2.1 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง	10
3.6.2.2 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน	10
3.7 ทฤษฎีของพัดลม	10
3.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	11
สมรรถนะของอุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบ	12
บทที่ 4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	13
4.1 ทฤษฎีพลังงานจลน์	13
4.2 ทฤษฎีกำลังลม	13
4.3 ทฤษฎีกำลังใบพัด	14
บทที่ 5 วัสดุและอุปกรณ์	18
5.1 แบบจำลองกังหันลม	18
5.2 เครื่องวัดความเร็วลม	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ชุดเครื่องมือวัดแรงบิด	20
5.4 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ	21
5.5 อุโมงค์ลม	22
5.6 แหล่งกำเนิดลม	22
บทที่ 6 การทดลอง	24
6.1 ขั้นตอนการทดลอง	24
6.2 ผลการทดลอง	24
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง	38
7.1 สรุปผลการทดลอง	38
บรรณานุกรม	39



สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	สมรรถนะของอุโมงค์ลมที่ใช้ทดลอง	12
6.1	ผลการทดลองและผลการคำนวณหาไวนีเยสชั้นเดียวครั้งที่ 1	25
6.2	ผลการทดลองและผลการคำนวณหาไวนีเยสสองชั้นครั้งที่ 1	25
6.3	ผลการทดลองและผลการคำนวณหาไวนีเยสชั้นเดียวครั้งที่ 2	25
6.4	ผลการทดลองและผลการคำนวณหาไวนีเยสสองชั้นครั้งที่ 2	25
6.5	ผลการทดลองและผลการคำนวณหาไวนีเยสชั้นเดียวครั้งที่ 3	26
6.6	ผลการทดลองและผลการคำนวณหาไวนีเยสสองชั้นครั้งที่ 3	26
6.7	ผลการทดลองและผลการคำนวณหาไวนีเยสชั้นเดียวโดยเฉลี่ย	26
6.8	ผลการทดลองและผลการคำนวณหาไวนีเยสสองชั้นโดยเฉลี่ย	26



สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	ลักษณะการเกิดลมทั่วโลก	3
2.2	แผนที่แสดงศักยภาพพลังงานลมรวมช่วงลมสงบ เฉลี่ยรายปี ที่ได้รับการสนับสนุนจากสหรัฐอเมริกา ทะเลสาบสงขลาเป็นบริเวณสีชมพูที่มีศักยภาพพลังงานลมสูง	5
3.1	ประสิทธิภาพของกังหันลมชนิดต่าง ๆ	6
3.2	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกังหันลม	9
3.3	ลักษณะโดยทั่วไปของอุโมงค์ลม	11
4.1	แสดงความยาวของพื้นที่หน้าตัดใบพัด	14
4.2	แสดงความลมเคลื่อนที่ผ่านใบพัดทั้งแบบชั้นเดียว และแบบสองชั้น	15
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังและอัตราส่วนความเร็ว	16
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์ความเร็วเมื่อมีระยะคร่อม 0.19	17
5.1	ขนาดใบพัดของแบบจำลองกังหันลม	18
5.2	ลักษณะของกังหันลมแบบสองชั้น และแบบชั้นเดียว	18
5.3	แสดงภาพด้านบนของกังหันลมแบบสองชั้น และแบบชั้นเดียว	19
5.4	เครื่องวัดความเร็วลม	20
5.5	วิธีการทดลองวัดแรงบิด	21
5.6	เครื่องวัดความเร็วรอบ	21
5.7	ลักษณะของอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดลอง	22
5.8	ขนาดของอุโมงค์ลม	22
5.9	ใบพัดภายในอุโมงค์ลม	23
5.10	ปีกผีเสื้อของอุโมงค์ลม	23
6.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบพัดกับความเร็วลมของซาโวเนียสชั้นเดียว	28
6.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดกับความเร็วลมของซาโวเนียสชั้นเดียว	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่ได้จากการทดลองกับความเร็วลมของ ซาโวนีเยสชั้นเดียว	29
6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของใบพัดกับความเร็วลมของ ซาโวนีเยสชั้นเดียว	29
6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลมของซาโวนีเยส ชั้นเดียว	30
6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมกับความเร็วลมของซาโวนีเยสชั้นเดียว	30
6.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการส่งแรงบิดกับความเร็วใบพัดของซาโ วนีเยสชั้นเดียว	31
6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำลังกับความเร็วใบพัดของซาโวนีเยสชั้น เดียว	31
6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบพัดกับความเร็วลมของซาโวนีเยส สองชั้น	32
6.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดกับความเร็วลมของซาโวนีเยส สองชั้น	33
6.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่ได้จากการทดลองกับความเร็วลมของซาโวนีเยส สองชั้น	33
6.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของใบพัดกับความเร็วลมของซาโวนีเยสสองชั้น	33
6.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลมของซาโวนีเยสสองชั้น	34
6.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมกับความเร็วลมของซาโวนีเยสสองชั้น	34
6.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแรงบิดกับความเร็วใบพัดของซาโวนีเยส สองชั้น	35
6.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำลังกับความเร็วใบพัดของซาโวนีเยส สองชั้น	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด (Cross section area)	m^2
C_p	สัมประสิทธิ์กำลัง (Power coefficient)	-
C_m	สัมประสิทธิ์แรงบิด (Torque coefficient)	-
d	เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Blade diameter)	m
D	เส้นผ่านศูนย์กลางการหมุน (Rotation diameter)	m
f	ความถี่ (Frequency)	rev/s
g	แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity)	m/s^2
h	ความสูงของใบพัด (Blade height)	m
KE_{wind}	พลังงานจลน์จากลม (Kinetic energy of wind)	J
m	มวล (Mass)	kg
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate)	kg/s
P_{blade}	กำลังใบพัด (Blade power)	W
P_{wind}	กำลังลม (Wind power)	W
R	ค่าคงที่ของแก๊สของอากาศ (Gas constant of air)	$J/kg.K$
r	รัศมีที่วัดจากแกนการหมุน (Radius of rotation)	m
S	ระยะคร่อมของใบพัด (Blade overlap)	m
T_{blade}	แรงบิดของใบพัด (Blade torque)	$N.m$
U	ความเร็วปลายใบพัด (Blade velocity)	m/s
V_i	ความเร็วลมเข้าสู่ใบพัด (Incoming wind velocity)	m/s
V_e	ความเร็วลมออกจากใบพัด (Exiting wind velocity)	m/s
W	น้ำหนัก (weight)	kg
λ	อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด (Tip-speed ratio)	-
ω	ความเร็วเชิงมุม (Angular velocity)	Rad/s
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ (Air density)	kg/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานประเภทเชื้อเพลิงสูงมากในปีค.ศ.2006 มีการนำเข้าน้ำมันเครื่องบิน 729 ล้านบาท น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว 6,654 ล้านบาท น้ำมันเตา 16,131 ล้านบาท [1] และความต้องการใช้พลังงานยังคงสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยคาดว่าในช่วงปี ค.ศ.2006 – ค.ศ.2010 มีความต้องการใช้พลังงานสูงถึง 5.2 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อวัน [2] นอกจากนี้พลังงานจากฟอสซิลเหล่านี้ยังเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นหากเราสามารถลดการนำเข้าพลังงานจะประหยัดงบประมาณของประเทศได้อย่างมาก ในการลดการนำเข้าพลังงานสามารถทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งคือการหาพลังงานจากแหล่งอื่นมาทดแทนการนำเข้าโดยแหล่งพลังงานใหม่ี่ต้องเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่มากและไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เรียกว่าเป็นพลังงานสะอาด พลังงานสะอาดที่สามารถนำมาใช้ในประเทศไทยได้มีหลายชนิดเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ

สำหรับประเทศไทยหากพูดถึงการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานสะอาดอย่างพลังงานลมอาจเป็นเรื่องยากที่จะเกิดขึ้น แต่เทคโนโลยีกังหันสมัยใหม่ช่วยให้ประเทศที่มีกำลังลมต่ำสามารถสร้างฟาร์มกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในท้องถิ่นได้ ปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้จัดตั้งสถานีทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ตมีกำลังการผลิต 150 กิโลวัตต์ [3] โดยการทดลองใช้งานและเก็บข้อมูลเพื่อระบบในอนาคตได้มีการศึกษาข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดกระแสลม เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิต กองทัพอากาศ และกรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ เป็นต้น จนรู้สภาพของลมและความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีจากการวิเคราะห์แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยทำให้เห็นได้ชัดว่าประเทศไทยสามารถใช้พลังงานลมได้แต่ความเร็วจะต่ำมาก เมื่อเทียบกับบริเวณยุโรปและอเมริกาเหนือ

ช่วงสิบปีที่ผ่านมาการพัฒนากังหันลมมีการเติบโตอย่างก้าวกระโดด ประเทศที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมมากที่สุดในปัจจุบัน คือ ประเทศเยอรมนีในปี ค.ศ. 2006 เยอรมนีผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมถึง 20,622 เมกะวัตต์คิดเป็นร้อยละ 28 ของโลก [4] รองลงมาคือประเทศสเปนมีกำลังการผลิต 11,615 เมกะวัตต์ ประเทศสหรัฐอเมริกา มีกำลังการผลิต 11,602 เมกะวัตต์ ประเทศอินเดียมีกำลังการผลิต 6,270 เมกะวัตต์ ประเทศแคนาดา มีกำลังการผลิต 3,140 เมกะวัตต์ หรือเป็นอันดับห้าของโลก และเป็นประเทศที่ส่งออกกังหันลมเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้ามากที่สุดในโลกจากปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานจากลมจะเห็นว่ายุโรปเป็นกลุ่มประเทศที่มีการใช้พลังงานหมุนเวียนจากลมมาผลิตกระแสไฟฟ้า ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และการคำนึงถึงความสะอาดของสิ่งแวดล้อมคาดว่าภายในปี ค.ศ.2010 ทั้งยุโรปจะผลิต

กระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมได้ 60,000 เมกะวัตต์ในปี ค.ศ.1980 กังหันลมหนึ่งต้นผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่ำกว่า 100 กิโลวัตต์ ในขณะที่เทคโนโลยีล่าสุดในปัจจุบันกังหันลมหนึ่งต้นผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 5 เมกะวัตต์ ถ้าอยู่ในแหล่งที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมจะมีราคาถูกกว่ากระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 8-10 เท่า ประเทศอินเดียจัดว่าเป็นประเทศที่มีศักยภาพและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านพลังงานลมมากที่สุดในเอเชีย เนื่องจากรัฐบาลอินเดียมีนโยบายส่งเสริมการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมในงานอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง นอกจากนี้ประเทศจีนก็เป็นอีกประเทศหนึ่งที่กำลังพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมซึ่งผลิตได้ถึง 2,604 เมกะวัตต์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองชาวเวเนซุเอลา
2. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันลม

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของโครงการ

1. ออกแบบกังหันลม โดยใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรม
2. สร้างแบบจำลองชาวเวเนซุเอลา
3. ทดสอบกังหันลมที่สภาวะต่าง ๆ
4. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันลม

1.4 แผนการดำเนินงาน

1. รวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่ใช้ในการทำโครงการ
2. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
3. ออกแบบกังหันลมโดยใช้ความรู้จากทฤษฎี
4. สร้างกังหันลมแบบจำลองจากการออกแบบ
5. นำแบบจำลองมาทดลองและบันทึกผล
6. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. วิเคราะห์การเปลี่ยนพลังงานจลน์ของลมเป็นพลังงานกลที่ใบพัดชาวเวเนซุเอลา
2. เป็นข้อมูลในการออกแบบกังหันลมที่จะนำไปเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี และพัฒนาต่อไป
3. สร้างทางเลือกในการใช้กังหันลมที่มีลักษณะใบพัดที่แตกต่างกันเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

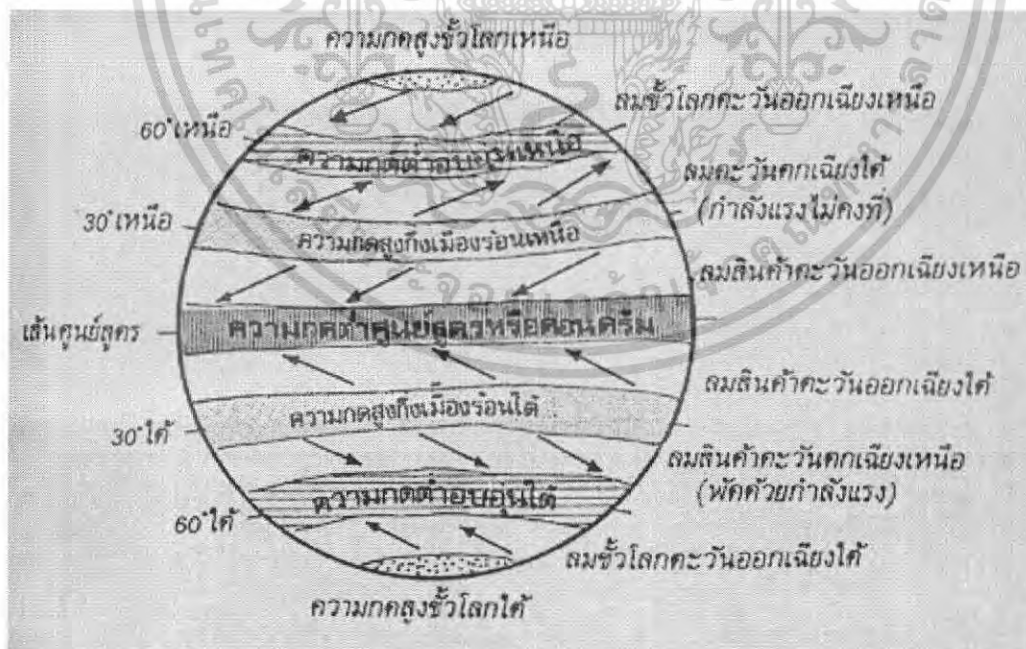
ลม

2.1 ทฤษฎีการเกิดลม

เนื่องจากบรรยากาศบริเวณพื้นผิวโลกมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ [5] ทำให้ความหนาแน่นของอากาศ หรือความกดอากาศแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ อากาศบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงบริเวณความกดอากาศต่ำจะลอยตัวขึ้นสูง เพราะมีน้ำหนักเบากว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ บริเวณความกดอากาศสูงที่เคลื่อนที่มาแทน และการเคลื่อนตัวของอากาศจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งนี้เราเรียกว่า “ลม” หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่ง ลมคือการเคลื่อนตัวของอากาศที่แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

2.1.1 การเกิดลมในลักษณะทั่วทั้งโลก

เกิดขึ้นเนื่องจากการที่อุณหภูมิของพื้นผิวโลกที่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรนั้นสูงกว่าอุณหภูมิบริเวณขั้วโลกเหนือ และขั้วโลกใต้ เป็นเหตุให้ความกดอากาศสูงเคลื่อนตัวไปสู่ความกดอากาศต่ำ เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง จึงส่งผลกระทบต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศโดยตรง กล่าวคืออากาศร้อนในบรรยากาศชั้นบนจะถูกพัดสู่ทิศตะวันออก และอากาศเย็นที่อยู่ใกล้พื้นผิวโลกจะหมุนตัวไปทางทิศตะวันตก



รูป 2.1 ลักษณะการเกิดลมทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การเกิดลมในลักษณะเฉพาะที่

การเกิดลมในลักษณะนี้เกิดได้ 2 แบบ คือ

2.1.2.1 เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำ

เวลากลางวันเมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านผิวโลก ส่งผ่งให้พื้นดินนั้นดูดซับความร้อนได้มากกว่าพื้นน้ำ ดังนั้นอากาศบนพื้นดินจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นน้ำ อากาศบนพื้นดินจึงลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่อากาศบนพื้นน้ำจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ เรียกว่า “ ลมทะเล ”

ขณะที่ในเวลากลางคืนการเคลื่อนที่จะตรงกันข้ามกับในเวลากลางวัน โดยอากาศบนพื้นน้ำจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบนพื้นดินเพราะพื้นดินจะคลายความร้อนออกมาอย่างรวดเร็วจนอากาศบนพื้นน้ำมีอุณหภูมิสูงกว่า และลอยตัวสูงขึ้น อากาศบนพื้นดินจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ เรียกว่า “ ลมบก ”

2.1.2.2 เกิดจากความลาดชันของภูเขาหรือเชิงเขา

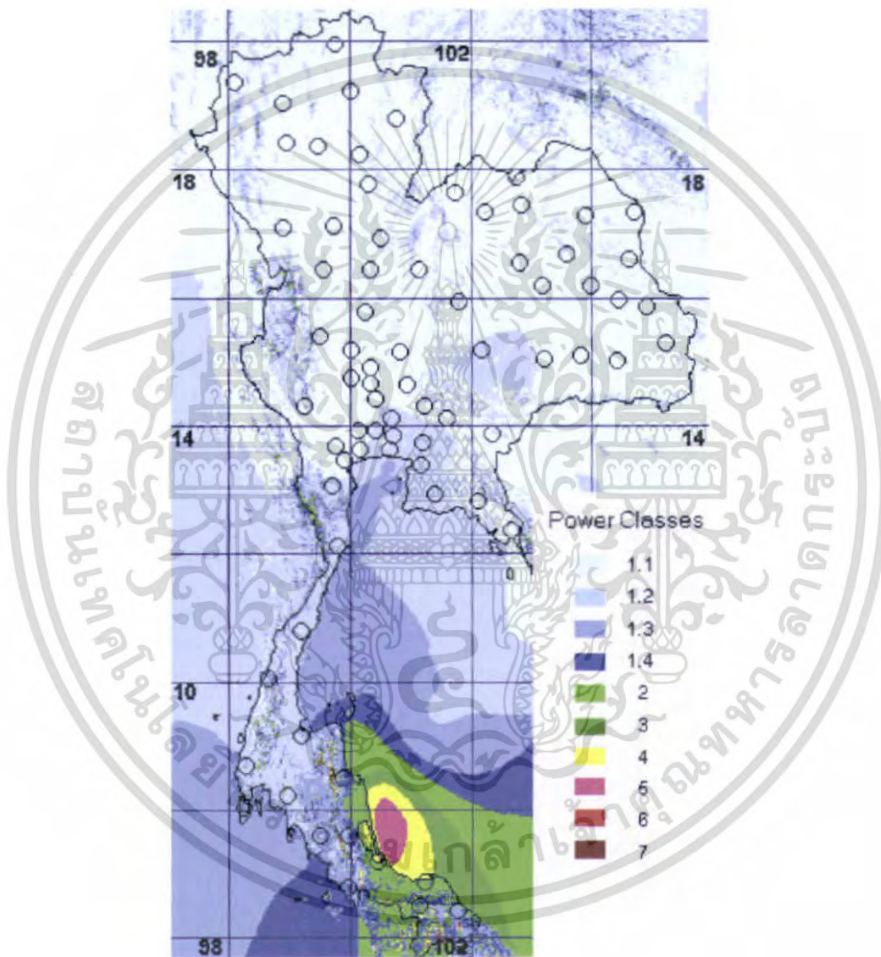
ลมภูเขาเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสันเขาและหุบเขา โดยลมภูเขาจะพัดจากสันเขาลงไปสู่หุบเขาในตอนกลางคืน เนื่องจากบริเวณสันเขาอยู่ที่สูงกว่าจึงเย็นเร็วกว่าหุบเขา ดังนั้นจึงมีลมพัดลงจากยอดเขาสู่หุบเขา ส่วนลมหุบเขาจะพัดจากหุบเขาขึ้นไปสู่สันเขาโดยเกิดขึ้นในตอนกลางวัน เนื่องจากบริเวณหุบเขาเบื้องล่างจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ายอดเขาจึงมีลมพัดขึ้นไปตามความสูงของสันเขา

2.2 ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย

ศักยภาพของพลังงานลมในแผ่นดินทั่วโลกมีค่ามากกว่า 20 ล้านล้านหน่วยต่อปี ซึ่งมากกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของประชากรทั้งโลก เฉพาะในปีค.ศ. 2005 เพียงปีเดียวทั่วโลกได้สร้างโรงไฟฟ้าพลังงานลมถึง 6,614 เมกะวัตต์ ซึ่งเพิ่มในอัตราเติบโตที่สูงถึงร้อยละ 20 จนถึงปีค.ศ. 2006 กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมของทั้งโลกมีอยู่ประมาณ 46,048 เมกะวัตต์ ห้าอันดับแรกของประเทศที่มีกำลังการผลิตสูงสุดคือ เยอรมันนี (16,500 เมกะวัตต์) สเปน (8,000 เมกะวัตต์) สหรัฐอเมริกา (6,800 เมกะวัตต์) เดนมาร์ก (3121 เมกะวัตต์) และอินเดีย (2,800 เมกะวัตต์) ทั้งห้าประเทศสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานลมได้เกือบร้อยละ 80 ของทั้งโลก ในเอเชียมีส่วนการผลิตร้อยละ 7.7 ของทั้งโลก คิดเป็นปริมาณการผลิต 3,527 เมกะวัตต์ อัตราการเติบโตของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมในสาธารณรัฐประชาชนจีนเฉพาะปี 2004 สูงถึงร้อยละ 124 [6]

การใช้ประโยชน์จากพลังงานลมด้วยการนำเอากังหันลมมาใช้งานนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ หลายประการ อาทิ การออกแบบกังหันลม และการเลือกสถานที่ติดตั้งให้มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้พลังงานและความต่อเนื่องของพลังงานที่ได้รับมีค่าสูงเพียงพอ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจวัดข้อมูลของลมและนำข้อมูลมาศึกษาวิจัยสำหรับการเลือกสถานที่ ตำแหน่งติดตั้งตลอดจนการออกแบบกังหันลมด้วย

การวิเคราะห์พลังงานลมในประเทศไทย [7] ในระยะเวลาที่ผ่านมา มีบุคคลและหน่วยงานต่าง ๆ ได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ โดยสามารถสรุปได้ว่า ศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทยมีค่าต่ำ เนื่องจากจำนวนสถานีตรวจอากาศประมาณร้อยละ 80 มีความเร็วลมเฉลี่ยต่ำกว่า 3 เมตรต่อวินาที แต่อย่างไรก็ตามที่บริเวณชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทยรวมทั้งบริเวณที่ราบใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยา บางแห่ง ยังพอมีสักยภาพที่จะใช้พลังงานจากกระแสลมได้



รูป 2.2 แผนที่แสดงศักยภาพพลังงานลมรวมช่วงลมสงบ เฉลี่ยรายปี ที่ได้รับการสนับสนุนจากสหรัฐอเมริกา ทะเลสาบสงขลาเป็นบริเวณสีชมพูที่มีศักยภาพพลังงานลมสูง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

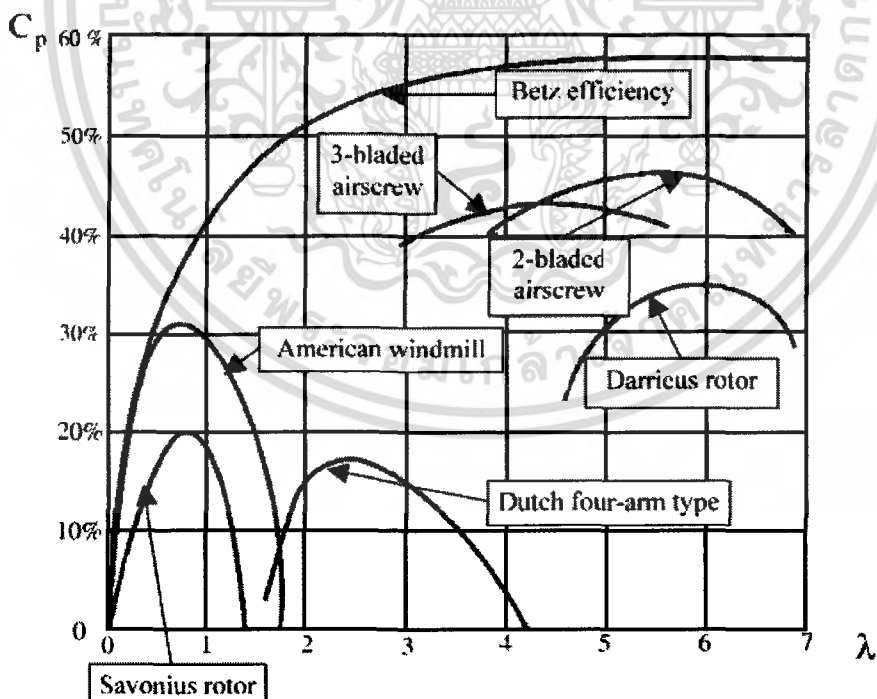
บทที่ 3

กังหันลมและอุโมงค์ลม

3.1 ลักษณะทั่วไปของกังหันลม

การพัฒนากังหันลมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เริ่มมีมาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณจนถึงยุคปัจจุบัน การออกแบบกังหันลมนั้นต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลม และหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงานและประสิทธิภาพที่ดี และเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่ผันแปรตามธรรมชาติ และความต้องการพลังงานลมที่สม่ำเสมอให้เหมาะสมกับการใช้งาน จึงต้องมีอุปกรณ์เก็บพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้มากกว่าเป็นแหล่งสำรอง

กังหันลม คือ เครื่องต้นกำลังชนิดหนึ่งที่ใช้เปลี่ยนพลังงานจลน์ของลมเป็นพลังงานกล หลังจากนั้นพลังงานกลจะถูกนำไปใช้ทั้งทางตรง เช่น การสูบน้ำ และทางอ้อม การเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ถึงแม้ว่าตามทฤษฎีของเบตซ์ (Betz theory) กังหันลมจะมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 59.3 [9] แต่กังหันลมที่มีประสิทธิภาพปานกลางก็นำไปใช้ประโยชน์ได้ถ้าอยู่ในบริเวณที่มีลมแรง เพราะกำลังที่ได้จากกังหันลมแปรผันเป็นสัดส่วนกำลังสามของความเร็วลมนั่นเอง



รูป 3.1 ประสิทธิภาพของกังหันลมชนิดต่างๆ

3.2 ประสิทธิภาพของกังหันลม

เมื่อลมพัดผ่านกังหัน พลังงานส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายเทให้กับกังหัน อีกส่วนหนึ่งสูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทาน และพลังงานในส่วนที่เหลือจะทำให้ลมสามารถพัดต่อไปได้ ถ้าไม่มีแรงเสียดทานและไม่มีลมพัดออกจากหลังใบพัด นั่นหมายความว่ากังหันลมตัวนี้มีประสิทธิภาพร้อยละ 100 อย่างไรก็ตามแม้ไม่มีแรงเสียดทาน ก็ไม่มีกังหันลมใดมีประสิทธิภาพมากกว่าขนาดนั้น ในทางทฤษฎีของเบตซ์ กังหันลมมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 59.3

3.3 การจำแนกกังหันลม

กังหันลมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งตามลักษณะของใบพัดได้ 2 ลักษณะ

3.3.1 ลักษณะการวางตัวของแกนการหมุน

3.3.1.1 กังหันลมแกนนอน

กังหันลมประเภทนี้จะมีแกนหมุนขนานกับพื้นระนาบ หรือขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสลม มีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม กังหันลมประเภทนี้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และเป็นที่ยอมรับใช้กันในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานสูง กังหันประเภทนี้จะถูกติดตั้งไว้บนเสาสูง และมีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับลมทุกทิศทางในแนวระนาบอยู่ตลอดเวลา กังหันลมลักษณะนี้ได้แก่ กังหันลม 2, 3, 4 ใบ แบบสี่อรัญ เป็นต้น

ข้อได้เปรียบของกังหันลมแนวนอน

- เนื่องจากใบพัดอยู่บนหอคอย ทำให้ใบพัดรับลมจากด้านบนซึ่งมีความเร็วลมสูง
- กังหันลมแนวนอนทุกชนิดสามารถเดินเครื่องด้วยตัวเอง
- กังหันลมแนวนอนนั้นมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานค่อนข้างสูง
- กังหันลมแนวนอนจะใช้พื้นที่ด้านล่างน้อย

3.3.1.2 กังหันลมแนวตั้ง

กังหันลมแนวตั้งแบ่งได้ 3 แบบ คือ ซาโวเนียส (Savonius) แดเรียส (Darrieus) และแบบเฮโรเตอร์ (H-rotor) [10] กังหันลมประเภทนี้จะมีแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง หรือตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสลมสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง โดยไม่จำเป็นต้องมีชุดควบคุมหรือชุดแพนหาง แต่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานทั้งสูงและต่ำ กังหันลมแนวตั้งมีหลายชนิด ได้แก่ กังหันลมแบบซาโวเนียส แบบแดเรียส แบบไฮโรมิลล์ และกังหันลมแบบสกู เป็นต้น แบบซาโวเนียสไม่เพียงเป็นกังหันลมที่มีสัมประสิทธิ์กำลังสูงในความเร็วลมต่ำที่กว่าระดับที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ยังเป็นกังหันลมสร้างง่ายที่มีแรงบิดสูง จึงเหมาะต่อการประยุกต์ใช้ในครัวเรือน [14]

กัณฑ์ลมนแนวตั้งมีข้อได้เปรียบหลายประการดังจะกล่าวต่อไปนี้

ข้อได้เปรียบของกัณฑ์ลมนแนวตั้ง

- กัณฑ์ลมนแนวตั้งบางชนิดไม่จำเป็นต้องมีหอคอยเหมือนกับกัณฑ์ลมนแนวอน ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชุดเฟือง และอุปกรณ์เสริมอื่นๆจะถูกติดตั้งอยู่ระดับพื้นดิน จึงง่ายในก่อสร้าง และซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่างๆ

- เนื่องจากกัณฑ์ลมนแนวตั้งสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง จึงไม่จำเป็นต้องมีหางเสือเพื่อบังคับให้ใบพัดหันไปรับลม

- ใบพัดของกัณฑ์ลมจะไม่รับน้ำหนักของตัวเอง จึงไม่ต้องคำนึงถึงความเสียหายอันเนื่องมาจากความล้า (Fatigue) และยังสามารถหลีกเลี่ยงโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการโค้งงอ (Bending moment) ได้อีกด้วย สำหรับกัณฑ์ลมแบบแนวอนนั้น อุปกรณ์ต่างๆ จะยื่นออกมาจากตัวหอคอยทำให้ต้องรับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งทำให้เกิดความเค้นเนื่องจากความล้า และการโค้งงอ

- มีความทนทานมากกว่ากัณฑ์ลมนแนวอน

- เกิดมลภาวะทางเสียงน้อยกว่ากัณฑ์ลมนแนวอน

3.3.2 ตามลักษณะแรงขับเคลื่อนที่กระแสลมกระทำต่อใบพัด

ใบพัดของกัณฑ์ลมจะรับพลังงานจากลม โดยที่แรงจากลมจะไปขับเคลื่อนใบพัดให้หมุนได้ใน 2

ลักษณะคือ

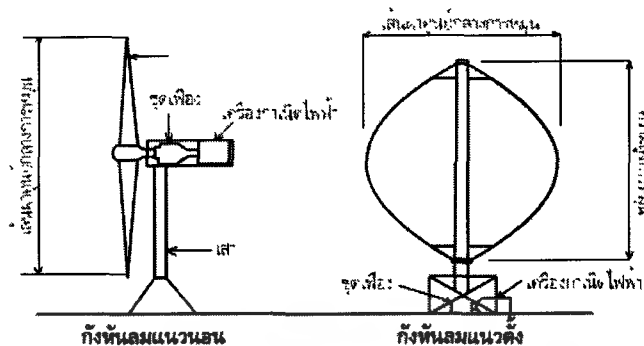
3.3.2.1 ขับด้วยแรงยกตัว (Lift force)

แรงที่กระทำกับใบพัดจะเป็นแรงกระทำที่มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของทิศทางลม เช่น กัณฑ์ลมแบบโจโรมิลล์ และแบบแคเรียส

3.3.2.2 ขับด้วยแรงฉุด (Drag force)

แรงที่กระทำกับใบพัดจะเป็นแรงกระทำที่มีทิศทางขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของทิศทางลม เช่น กัณฑ์ลมแบบซาโวเนียส

ในประเทศไทยได้มีการใช้กัณฑ์ลมที่มีเพลลาอยู่ในแกนอนกันอย่างแพร่หลาย และส่วนมากจะออกแบบให้ใบกัณฑ์ลมหมุนด้วยแรงยกตัว เช่น กัณฑ์ลมแบบหลายใบ กัณฑ์ลมแบบเสี้อราแพนที่ใช้กันในนาเกลือ เป็นต้น ส่วนกัณฑ์ลมที่มีแกนอยู่ในแกนตั้งได้มีการศึกษา และพัฒนากันมากขึ้น เนื่องจากกัณฑ์ลมแบบนี้มีข้อได้เปรียบกว่ากัณฑ์ลมแบบแกนอนที่เด่นชัดคือ ไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมทิศทางของกัณฑ์ให้หันหน้าไปทางที่สามารถรับลม ระบบส่งกำลังกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถติดตั้งอยู่บนพื้นดินได้



รูป 3.2 ส่วนประกอบต่างๆของกังหันลม

3.4 กังหันลมแบบซาโวเนียส (Savonius wind turbine)

ซาโวเนียสเป็นกังหันลมที่มีความเร็วรอบต่ำแต่ให้ค่าแรงบิดเริ่มต้นสูง เหมาะที่จะนำมาใช้งานด้านเชิงกล เช่น การสูบน้ำ กังหันลมชนิดนี้มีใบพัดคล้ายตัวเอส หรือเรียกว่า ใบพัดตัวเอส เพราะว่ามีเมื่อมองจากด้านบนของใบพัดจะมีลักษณะ โครงสร้างของใบพัดคล้ายตัวเอส

ใบพัดจะมีโครงสร้างง่าย ๆ อาจทำจากกระป๋องหรือถัง ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้ที่มีอยู่ทั่วไป และนอกจากนี้ กังหันลมแนวตั้งจะหมุนในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของลม ใบพัดจึงหมุนได้ด้วยลมจากทุกทิศทาง และสามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเองที่กระแสลมที่มีความเร็วต่ำ ขณะหมุนกระแสลมจะเข้าแทรกกับด้านเว้าของใบพัด ทำให้เกิดความดันที่ต่างกันระหว่างด้านเว้า และด้านนูนของใบพัดจนทำให้เกิดแรงบิดส่งกำลังขึ้น

3.5 ส่วนประกอบของซาโวเนียส

3.5.1 ใบกังหันลม (Blade)

ใบกังหันลมเป็นส่วนที่จะก่อให้เกิดพลังงานกล โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากการหมุนมาเป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนเพลลา วัสดุที่ใช้ในการสร้างใบกังหันต้องมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีความเบา และแข็งแรง วัสดุที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ แผ่นเหล็กบาง แผ่นไม้ แผ่นอลูมิเนียมอัลลอยด์ และแผ่นไฟเบอร์กลาส

3.5.2 เสา (Tower)

หอคอยจะทำหน้าที่ในการยึดชุดกังหันลมให้อยู่ในระดับความสูงที่ต้องการ เพื่อที่จะให้ได้รับกระแสลมที่อยู่ในระยะความสูงซึ่งมีกระแสลมพัดผ่านอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาได้ดี หอคอยอาจทำด้วยโครงสร้างไม้หรือโลหะก็ได้แต่ต้องรับภาระต่าง ๆ ที่กระทำต่อชุดกังหันลมได้อย่างเพียงพอโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในขณะที่มีลมแรงจัด

3.6 รายละเอียดของอุโมงค์ลม

3.6.1 ลักษณะทั่วไปของพัดลมที่ใช้ทดสอบ

พัดลม คือ เครื่องสูบลมซึ่งใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน (Working fluid) โดยจะทำการขับเคลื่อนอากาศหรือแก๊สต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิศวกรรมส่วนใหญ่จะใช้เกี่ยวกับ การอบแห้งวัสดุทางการเกษตร การระบายอากาศ การทำความเย็น การลำเลียง และการให้ความร้อน เป็นต้น

3.6.2 ประเภทของพัดลม

เราจำแนกพัดลมออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

- พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal flow หรือ Radial fans)
- พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial flow fans)

3.6.2.1 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal flow หรือ Radial fans)

พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง หรือพัดลมซึ่งมีการไหลของอากาศในแนวรัศมี จะประกอบไปด้วยชุดใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในตัวเรือนของพัดลม (Fan housing) ชุดใบพัดจะประกอบไปด้วยแผ่นใบขนาดเล็กหลายใบประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะกบด้อ ค่าความกดดันของอากาศจะถูกทำให้มีค่าสูงขึ้นภายในตัวเรือนของพัดลม เราสามารถเพิ่มค่าความกดดันให้มีค่าสูงขึ้นได้ด้วยการเพิ่มขนาดความยาวใบพัด ซึ่งจะทำให้แรงเหวี่ยงภายในระบบมากยิ่งขึ้นนั่นเอง อากาศจะไหลผ่านเข้าไปในท่อทางเข้าโดยมีทิศทางการขนานกับแกนของใบพัด และไหลออกในทิศทางตั้งฉากกับแกนของของใบพัดในทางออก

3.6.2.2 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial flow fans)

พัดลมแบบนี้อากาศจะไหลขนานกับแนวแกนของใบพัดและตั้งฉากกับระนาบการหมุนของใบพัด ชุดใบพัดจะถูกติดตั้งอยู่บนแกนเพลลาขับของมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งอยู่ในตัวเรือนพัดลม ทำให้มอเตอร์สามารถระบายความร้อนออกไปพร้อม ๆ กับอากาศที่ถูกขับเคลื่อน พัดลมชนิดนี้มีราคาถูก ไม่มีลักษณะที่มอเตอร์ต้นกำลังจะทำงานเกินกำลัง แต่การทำงานของพัดลมจะเสียดังเมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงและมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียรภาพ พัดลมชนิดนี้จึงเหมาะกับการใช้งานเพื่อระบายอากาศ การอบแห้งวัสดุทางการเกษตร โดยให้ค่าความกดดันในการใช้งานถึง 1000 Pa

3.7 ทฤษฎีของพัดลม

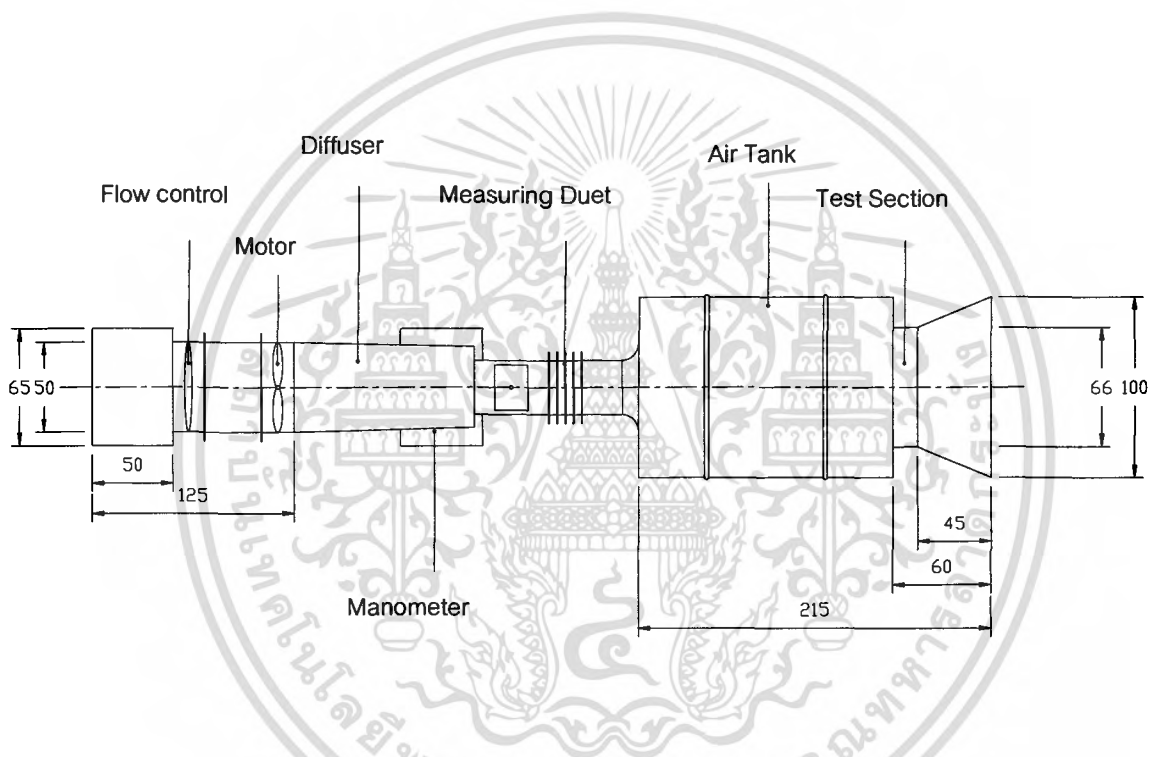
ความกดดันลมที่เกิดขึ้นมาจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ปริมาตรของลมหรืออากาศจะถูกจับเหวี่ยงออกไปด้วยใบพัด และเกิดจากการที่ปลายใบพัดขับลมมาด้วยความเร็ว ทำให้พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเปลี่ยนไปเป็นค่าความกดดัน

ความกดดันที่เกิดจากแรงเหวี่ยงดังกล่าว เรียกว่า ความดันสถิต (Static pressure) ความกดดันสถิตนี้จะ เป็นฟังก์ชันกับอัตราส่วนระหว่างความเร็วลมที่เคลื่อนที่ขณะออกจากเส้นขอบใบพัดกับความเร็วลมขณะ ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ใบพัด ดังนั้นหากใบพัดยิ่งยาวความกดดันสถิตจะยิ่งมาก

ค่าประสิทธิภาพของพัดลมนั้นจะมีค่าประมาณ 40-70 % ค่าความกดดันจริงของลมได้จากผลรวมของ ความกดดันสถิตกับค่าเสดความเร็วของลมขณะเคลื่อนที่ออกจากใบพัด

ประสิทธิภาพทางกล = (อัตราการไหลของอากาศ) x (ความดันลม) / kW

เมื่อ kW = กำลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อน



รูป 3.3 ลักษณะโดยทั่วไปของอุโมงค์ลม

3.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.8.1 กังหันลม

กังหันลมที่ใช้ในการทดสอบนี้ เป็นซาโวเนียสแบบ 2 ชั้น โดยมีใบพัดของกังหันวางทำมุมกัน 90 องศา เพื่อ สามารถรับลมได้จากทุกทิศทาง แล้วนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างกับซาโวเนียสแบบชั้นเดียว

3.8.2 อุโมงค์ลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาการไหลของอากาศผ่านกังหันลม โดยอากาศจะถูกเป่า หรือสูบลมผ่านท่อนำลมที่มีวัดอุณหภูมิตั้งอยู่ และมีการทดสอบอยู่ และมีช่องสำหรับสังเกตการณ์หรือมีอุปกรณ์การวัดติดตั้งอยู่

ส่วนประกอบของอุโมงค์ลม

3.8.2.1 พัดลม

พัดลมแบบนี้จะไหลขนานกับแนวแกนของใบพัดและตั้งฉากกับระนาบการหมุนของใบพัด ชุดใบพัดถูกติดตั้งอยู่บนแกนขับของมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งอยู่ในตัวเรือนพัดลม ทำให้มอเตอร์สามารถระบายความร้อนออกไปพร้อม ๆ กับอากาศที่ถูกขับเคลื่อน

3.8.2.2 ถังอากาศ (Air Tank)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บังคับการไหลของอากาศให้อยู่เฉพาะในท่อเพื่อวัดค่าการไหลของกระแสอากาศ และความดันของอากาศหน้าใบพัด รายละเอียดของท่อที่ใช้ทดสอบนั้นเราจะใช้ท่อทรงกระบอกเป็นท่อสังกะสี เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 1 เมตร เนื่องจากเราใช้ใบพัดขนาด 0.54 เมตร

3.8.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วรอบของใบพัดของกังหันลม มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (rpm / s)

ตาราง 3.1 สมรรถนะของอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดลอง

แรงดันไฟฟ้า	380 V.
กำลังของมอเตอร์	6.2 kW.
กระแสไฟ	11 A.
ความเร็วรอบของมอเตอร์	1,480 rpm.
เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด	0.50 m.

บทที่ 4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.1 ทฤษฎีพลังงานจลน์

ลม คือ อากาศที่เคลื่อนที่โดยมีค่าความหนาแน่นค่าหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วทำให้เกิดเป็นพลังงานลม พลังงานลมเป็นพลังงานจลน์ชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ เมื่อพิจารณาในรูปแบบของสมการ โดยพิจารณาว่ามวลถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะก่อให้เกิดพลังงานดังนี้

$$KE_{wind} = \frac{1}{2} mV_i^2 \quad (4.1)$$

4.2 ทฤษฎีกำลังลม

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศจะมีหน่วยเป็น มวลต่อหน่วยเวลา ดังนั้นจากสมการ (4.1) เขียนให้อยู่ในรูปของกำลังได้เป็น

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \dot{m}V_i^2 \quad (4.2)$$

จากสมการความต่อเนื่องของการไหล

$$\dot{m} = \rho AV_i \quad (4.3)$$

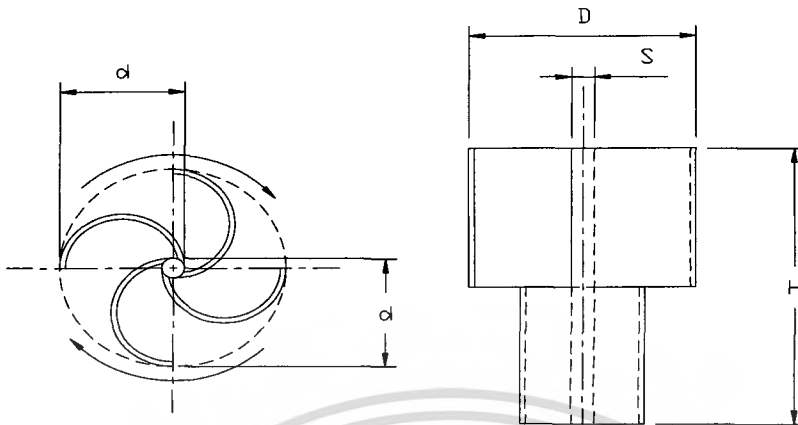
พื้นที่หน้าตัดแสดงดังรูป 4.1 จะสามารถหาได้จาก

$$A = h - (2d - s) \quad (4.4)$$

อัตราส่วนระบะคร่อมของใบพัด (Overlap ratio) ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า “ระบะคร่อม” ที่ใช้ในโครงการนี้ คือ 0.19 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด เนื่องจากค่านี้ให้กำลังสูงสุด[9]

$$S = 0.19d \quad (4.5)$$

$$D = 2d - S = 1.81d \quad (4.6)$$



รูป 4.1 แสดงความยาวของพื้นที่หน้าตัดใบพัด

โดยค่าความหนาแน่นของอากาศ [10] สามารถคำนวณได้จาก

$$\rho = \frac{p}{(RT)} \quad (4.7)$$

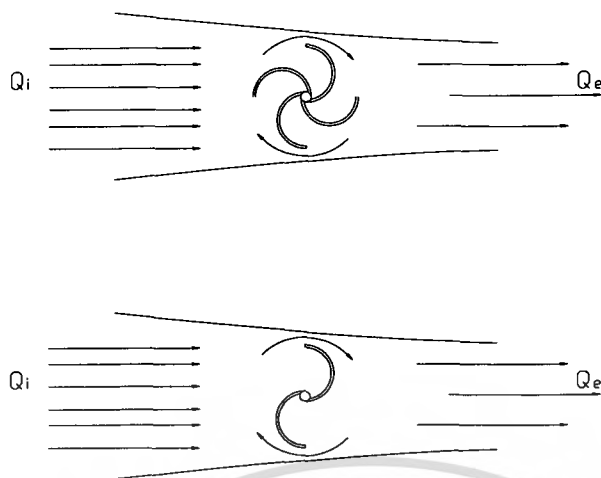
จากสมการ (4.2) และ (4.3) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A V_i^3 \quad (4.8)$$

4.3 ทฤษฎีกำลังใบพัด

กำลังใบพัดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของมวลอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ใบพัด ดังนั้นความเร็วลมที่เข้า และออกจากใบพัดจึงมีค่าแตกต่างกัน โดยที่ความเร็วลมที่ออกจากใบพัดจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วลมที่เข้าสู่ใบพัด เมื่อสมมุติว่าการไหลเข้าและออกจากใบพัดเป็นแบบสม่ำเสมอ (Laminar flow) สามารถสรุปดังสมการ

$$P_{blade} = \frac{1}{2} \dot{m}_{av} V_i^2 - \dot{m}_{av} V_e^2 \quad (4.9)$$



รูป 4.2 แสดงความลมเคลื่อนที่ผ่านใบพัดทั้งแบบชั้นเดียว และแบบสองชั้น

ค่าอัตราไหลเชิงมวลเฉลี่ยที่ผ่านใบพัดสามารถหาได้จาก

$$\dot{m}_{av} = \rho A \frac{(V_i - V_e)}{2} \quad (4.10)$$

แทนค่าสมการ (4.10) ลงในสมการ (4.9) จะได้

$$P_{blade} = \frac{1}{4} \rho A (V_i + V_e) \quad (4.11)$$

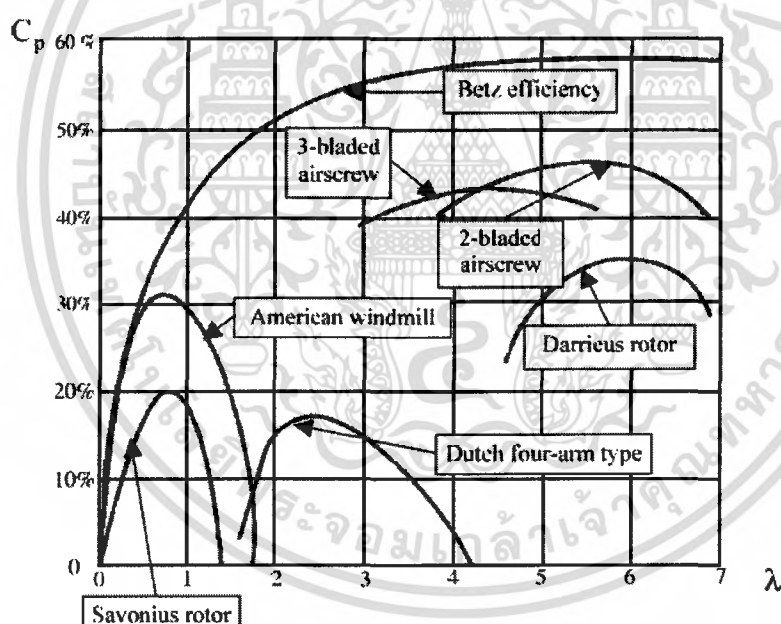
พลังงานลมถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากแรงเสียดทาน และลักษณะการไหลของอากาศภายในใบพัดเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ (Turbulence flow) ดังนั้นจึงต้องมีการทดลอง และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์กำลังขึ้น ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงสัดส่วนของกำลังที่ได้จากใบพัด โดยสามารถคำนวณหาได้จากสมการ (4.8) และ (4.11)

$$C_p = \frac{P_{blade}}{P_{wind}} \quad (4.12)$$

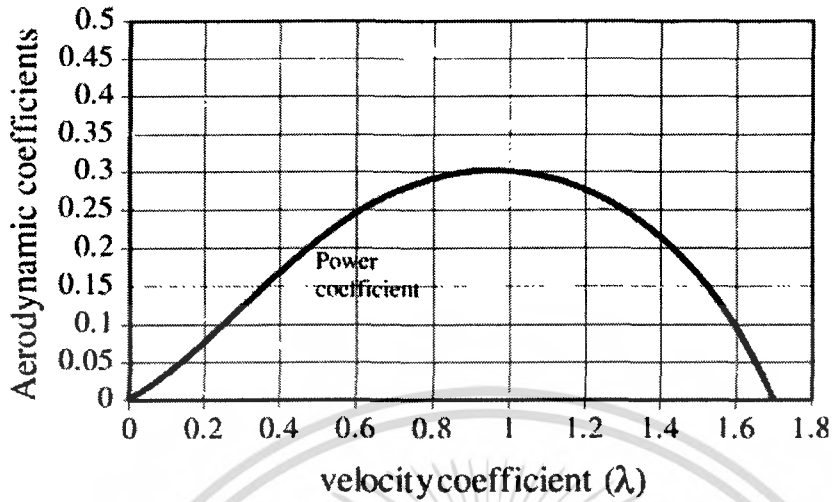
จากสมการ (4.12) จะสามารถคำนวณหากำลังที่เกิดขึ้นจากใบพัดได้ดังนี้

$$P_{blade} = \frac{1}{2} \rho C_p A V_i^3 \quad (4.13)$$

นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสามารถหาได้จากการทดลองกังหันด้วยความเร็วลมค่าต่าง ๆ หรือกราฟการทดลองของใบพัดชาวเนี่ยส จะมีค่าสอดคล้องกับความเร็วมในรูปของตัวแปรไร้มิติอัตราส่วนของความเร็วปลาย ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งชาวเนี่ยสที่ใช้ในโครงการนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังเพียง 0.2 แต่ได้มีการค้นคว้าจากเอกสารพบว่าค่าสัมประสิทธิ์กำลังนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะคร่อมของใบพัดที่ดีที่สุด โดยมีค่า 0.19 เท่าของระยะเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด [11] จะสามารถทำให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงถึง 0.3 เมื่ออัตราส่วนความเร็วปลายประมาณ 1 ได้ ดังรูป 5.4



รูป 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังและอัตราส่วนความเร็ว



รูป 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังและสัมประสิทธิ์ความเร็วเมื่อมีระยะคร่อม 0.19

อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดหาได้จาก

$$\lambda = \frac{U}{V_i} = \frac{\omega(D/2)}{V_i} \quad (4.14)$$

สามารถคำนวณแรงบิดจากใบพัดได้จาก

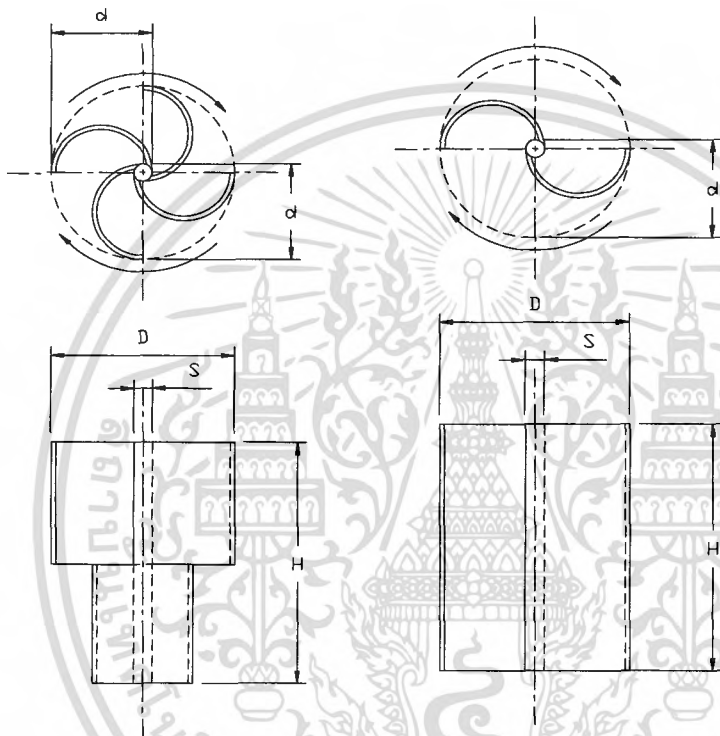
$$T_{blade} = \frac{P_{blade}}{\omega} \quad (4.15)$$

82193

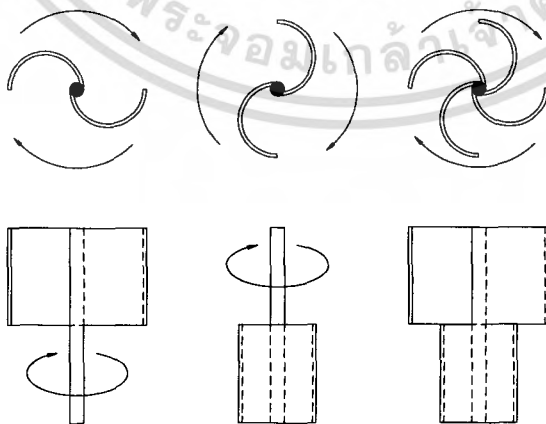
บทที่ 5 วัสดุและอุปกรณ์

5.1 แบบจำลองกังหันลม

แบบจำลองกังหันลมแนวตั้งแบบซาโวเนียส แบบชั้นเดียว และสองชั้น ที่มีขนาดใบพัดดังรูป 5.1



รูป 5.1 ขนาดใบพัดของแบบจำลองกังหันลม



รูป 5.2 ลักษณะของกังหันลมแบบสองชั้น และแบบชั้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ใช้ทำใบพัดทำจากสังกะสีนำมาตัดเป็นลักษณะดังรูปที่ 5.2 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.365 เมตร และสูง 0.3 เมตร ส่วนที่เป็นฐานทำจากเหล็ก

เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด = 0.365 เมตร

ระยะคร่อมของใบพัด = 0.19 เมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางการหมุน = 0.0075 เมตร

ความสูงใบพัด = 0.3 เมตร

พื้นที่หน้าตัด = 0.365×0.3 เมตร

= 0.1095 ตารางเมตร

เนื่องจากแบบจำลองกังหันลมนี้มีขนาดเล็กและความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองมีค่าน้อยมากดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงโครงสร้างของเพลาแกนหมุน



รูป 5.3 แสดงภาพด้านบนของกังหันลมแบบสองชั้น และแบบชั้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดความเร็วลม (Wind speed mete) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วลมในขณะที่ลมไหลผ่าน โดยเครื่องวัดนี้มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ซึ่งอ่านได้เฉพาะความเร็วลมที่ไหลผ่านใบพัดของเครื่องวัดเท่านั้น

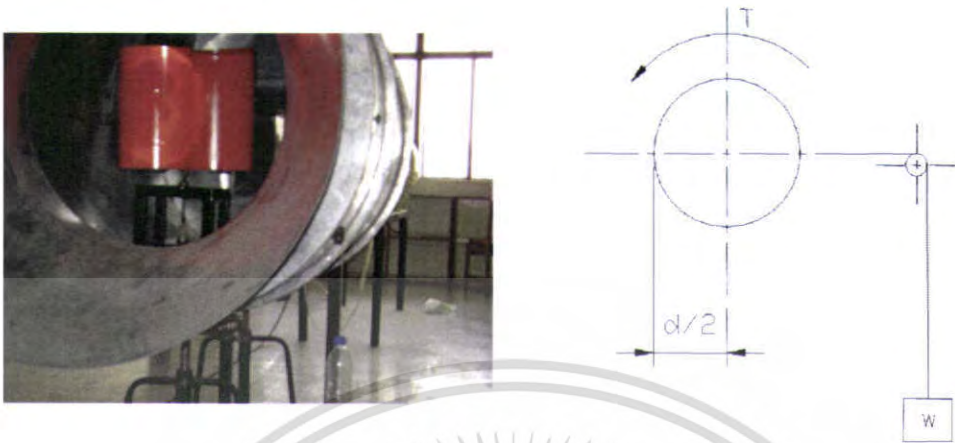


รูป 5.4 เครื่องวัดความเร็วลม

5.3 ชุดเครื่องมือวัดแรงบิด

สร้างโดยการแขวนมวลยึดติดกับเชือกที่ถูกร้อยผ่านออกมาที่ยังภายนอกอุโมงค์ลม มวลที่ใช้ในการทดลองซึ่งโดยตราซึ่งที่มีความแม่นยำ ซึ่งในการทดลองเรานำมาประยุกต์ใช้เพื่อวัดแรงบิดจากเพลากังหันลมซึ่งส่งต่อแรงบิดมายังใบพัด โดยยึดติดกับเพลากังหันของกังหันลมด้วยเชือก แล้วคำนวณหาแรงบิดได้ดังรูป 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.5 วิธีการทดลองวัดแรงบิด

5.4 เครื่องวัดความเร็วรอบ

เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) เป็นอุปกรณ์ในการหาความเร็วของรอบใบพัดโดยอ่านค่าออกมาได้เป็นจำนวนรอบต่อนาที



รูป 5.6 เครื่องวัดความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 อุโมงค์ลม

อุโมงค์ลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้ลมอยู่ในสถานะที่ไม่มีลมภายนอกเข้ามาผสม และสามารถกำหนดให้ลมมีความเร็วคงที่ค่าใดค่าหนึ่งได้ขณะทำการทดลอง ซึ่งลมจะถูกเป่าผ่านภายในอุโมงค์ด้วยความเร็วไม่คงรูป

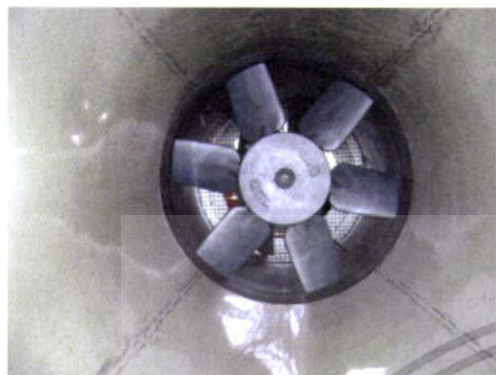


รูป 5.8 ขนาดของอุโมงค์ลม

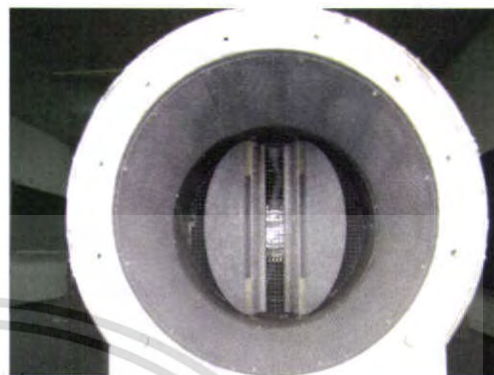
5.6 แหล่งกำเนิดลม

ในโครงการนี้ใช้มอเตอร์ในการผลิตกระแสลม โดยมีปีกผีเสื้อคอยเปิดหรือปิดเพื่อบังคับกระแสลมให้มีความเร็วลมคงที่ค่าใดค่าหนึ่งตามที่เรากำลังต้องการเพื่อใช้ในการทดลองกับกังหันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.9 ใบพัดภายในอุโมงค์ลม



รูป 5.10 ปีกที่สี่ของอุโมงค์ลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลอง

6.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. วัดความเร็วลมที่ไหลผ่านอุโมงค์ลมโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมเพื่อให้ได้ความเร็วลมที่แน่นอนก่อนทำการทดลอง
2. วางกังหันลมไว้บริเวณปลายทางออกของอุโมงค์ลมเพื่อเตรียมติดตั้งชุดการทดลอง
3. ต่อเชือกไว้ที่บริเวณแกนหมุนของกังหันลม จากนั้นร้อยเชือกผ่านรอกออกมายังภายนอกอุโมงค์ลมโดยบริเวณปลายเชือกนั้นมีมวลแขวนอยู่
4. ขณะที่กังหันลมหมุนให้คอยสังเกตเวลากังหันลมดึงมวลที่แขวนไว้ด้วยความเร็วคงที่
5. ทำการวัดค่าความเร็วรอบของใบพัดขณะที่ลมไหลผ่านอุโมงค์ลมในระดับความเร็วต่าง ๆ
6. ทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 โดยทำการเพิ่มความเร็วลมขึ้น และทดลอง 3 ครั้งต่อความเร็วลมเฉลี่ยหนึ่งค่า
7. เมื่อทำการทดลองกังหันลมแบบชั้นเดียวเสร็จแล้ว ทำการทดลองกับกังหันลมแบบสองชั้นอีกครั้ง โดยทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 6 อีกครั้ง
8. นำค่าที่วัดได้มาคำนวณกำลังที่ได้จากใบพัด และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับสัมประสิทธิ์ความเร็ว

6.2 ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดสอบในอุโมงค์ลมที่ปรับความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0 ถึง 6 เมตรต่อวินาที โดยทำการทดสอบ 3 ครั้ง ซึ่งความเร็วรอบต่อวินาที และน้ำหนักของน้ำที่วัดค่าได้ของการทดลองครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ถูกแสดงในตาราง 6.1, 6.2, 6.3 ตามลำดับและค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 3 ครั้งถูกแสดงไว้ในตาราง 6.4

ตาราง 6.1 ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 1 ของกังหันลมแบบชั้นเดียว

v (m/s)	f (rps)	ω (rad/s)	λ	w (kg)	$T_{blade}(N.m)$	$P_{blade}(w)$	$P_{wind}(w)$	C_p	C_m
3.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.50	0.69	4.31	0.22	0.030	0.0011	0.005	2.73	0.0017	0.38
4.00	0.91	5.72	0.26	0.040	0.0015	0.008	4.08	0.0021	0.38
4.50	1.06	6.66	0.27	0.050	0.0018	0.012	5.81	0.0021	0.38
5.00	1.44	9.02	0.33	0.060	0.0022	0.020	7.97	0.0025	0.37
5.50	1.93	12.12	0.40	0.080	0.0029	0.036	10.61	0.0034	0.41
6.00	2.16	13.58	0.41	0.100	0.0037	0.050	13.78	0.0036	0.43

ตาราง 6.2 ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 1 ของกังหันลมแบบชั้น 2 ชั้น

v (m/s)	f (rps)	ω (rad/s)	λ	w (kg)	$T_{blade}(N.m)$	$P_{blade}(w)$	$P_{wind}(w)$	C_p	C_m
3.00	0.64	4.02	0.24	0.020	0.0007	0.003	1.72	0.0017	0.34
3.50	0.82	5.16	0.27	0.030	0.0011	0.006	2.73	0.0021	0.38
4.00	0.93	5.85	0.27	0.040	0.0015	0.009	4.08	0.0021	0.38
4.50	1.10	6.92	0.28	0.050	0.0018	0.013	5.81	0.0022	0.38
5.00	1.25	7.84	0.29	0.060	0.0022	0.017	7.97	0.0022	0.37
5.50	1.46	9.17	0.30	0.080	0.0029	0.027	10.61	0.0025	0.41
6.00	1.49	9.36	0.28	0.100	0.0037	0.034	13.78	0.0025	0.43

ตาราง 6.3 ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 2 ของกังหันลมแบบชั้นเดียว

v (m/s)	f (rps)	ω (rad/s)	λ	w (kg)	$T_{blade}(N.m)$	$P_{blade}(w)$	$P_{wind}(w)$	C_p	C_m
3.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.50	0.67	4.23	0.22	0.030	0.0011	0.005	2.73	0.0017	0.38
4.00	0.92	5.77	0.26	0.040	0.0015	0.008	4.08	0.0021	0.38
4.50	1.05	6.61	0.27	0.050	0.0018	0.012	5.81	0.0021	0.38
5.00	1.44	9.04	0.33	0.060	0.0022	0.020	7.97	0.0025	0.37
5.50	1.94	12.20	0.40	0.080	0.0029	0.036	10.61	0.0034	0.41
6.00	2.18	13.67	0.42	0.100	0.0037	0.050	13.78	0.0036	0.43

ตาราง 6.4 ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 2 ของกังหันลมแบบชั้น 2 ชั้น

v (m/s)	f (rps)	ω (rad/s)	λ	w (kg)	$T_{blade}(N.m)$	$P_{blade}(w)$	$P_{wind}(w)$	C_p	C_m
3.00	0.65	4.09	0.25	0.020	0.0007	0.003	1.72	0.0017	0.34
3.50	0.82	5.12	0.27	0.030	0.0011	0.006	2.73	0.0021	0.38
4.00	0.93	5.84	0.27	0.040	0.0015	0.009	4.08	0.0021	0.38
4.50	1.08	6.78	0.28	0.050	0.0018	0.012	5.81	0.0021	0.38
5.00	1.26	7.88	0.29	0.060	0.0022	0.017	7.97	0.0022	0.37
5.50	1.46	9.17	0.30	0.080	0.0029	0.027	10.61	0.0025	0.41
6.00	1.49	9.33	0.28	0.100	0.0037	0.034	13.78	0.0025	0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 6.5 ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 3 ของกังหันลมแบบชั้นเดียว

v (m/s)	f (rps)	ω (rad/s)	λ	w (kg)	$T_{blade}(N.m)$	$P_{blade}(W)$	$P_{wind}(W)$	C_p	C_m
3.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.50	0.66	4.16	0.22	0.030	0.0011	0.005	2.73	0.0017	0.38
4.00	0.91	5.72	0.26	0.040	0.0015	0.008	4.08	0.0021	0.38
4.50	1.05	6.57	0.27	0.050	0.0018	0.012	5.81	0.0021	0.38
5.00	1.44	9.05	0.33	0.060	0.0022	0.020	7.97	0.0025	0.37
5.50	1.94	12.16	0.40	0.080	0.0029	0.036	10.61	0.0034	0.41
6.00	2.19	13.72	0.42	0.100	0.0037	0.050	13.78	0.0037	0.43

ตาราง 6.6 ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 3 ของกังหันลมแบบชั้น 2 ชั้น

v (m/s)	f (rps)	ω (rad/s)	λ	w (kg)	$T_{blade}(N.m)$	$P_{blade}(W)$	$P_{wind}(W)$	C_p	C_m
3.00	0.65	4.07	0.25	0.020	0.0007	0.003	1.72	0.0017	0.34
3.50	0.81	5.10	0.27	0.030	0.0011	0.006	2.73	0.0021	0.38
4.00	0.93	5.83	0.27	0.040	0.0015	0.009	4.08	0.0021	0.38
4.50	1.08	6.78	0.27	0.050	0.0018	0.012	5.81	0.0021	0.38
5.00	1.26	7.89	0.29	0.060	0.0022	0.017	7.97	0.0022	0.37
5.50	1.43	8.99	0.30	0.080	0.0029	0.026	10.61	0.0025	0.41
6.00	1.48	9.28	0.28	0.100	0.0037	0.034	13.78	0.0025	0.43

ตาราง 6.7 ผลการทดลองและผลการคำนวณโดยเฉลี่ยของกังหันลมแบบชั้นเดียว

v (m/s)	f (rps)	ω (rad/s)	λ	w (kg)	$T_{blade}(N.m)$	$P_{blade}(W)$	$P_{wind}(W)$	C_p	C_m
3.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.50	0.67	4.23	0.22	0.030	0.0011	0.005	2.73	0.0017	0.38
4.00	0.91	5.74	0.26	0.040	0.0015	0.008	4.08	0.0021	0.38
4.50	1.05	6.61	0.27	0.050	0.0018	0.012	5.81	0.0021	0.38
5.00	1.44	9.04	0.33	0.060	0.0022	0.020	7.97	0.0025	0.37
5.50	1.94	12.16	0.40	0.080	0.0029	0.036	10.61	0.0034	0.41
6.00	2.18	13.66	0.42	0.100	0.0037	0.050	13.78	0.0036	0.43

ตาราง 6.8 ผลการทดลองและผลการคำนวณโดยเฉลี่ยของกังหันลมแบบ 2 ชั้น

v (m/s)	f (rps)	ω (rad/s)	λ	w (kg)	$T_{blade}(N.m)$	$P_{blade}(W)$	$P_{wind}(W)$	C_p	C_m
3.00	0.65	4.06	0.25	0.020	0.0007	0.003	1.72	0.0017	0.34
3.50	0.81	5.11	0.27	0.030	0.0011	0.006	2.73	0.0021	0.38
4.00	0.94	5.91	0.27	0.040	0.0015	0.009	4.08	0.0021	0.38
4.50	1.08	6.81	0.28	0.050	0.0018	0.013	5.81	0.0022	0.38
5.00	1.25	7.87	0.29	0.060	0.0022	0.017	7.97	0.0022	0.37
5.50	1.45	9.11	0.30	0.080	0.0029	0.027	10.61	0.0025	0.41
6.00	1.49	9.33	0.28	0.100	0.0037	0.034	13.78	0.0025	0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้หาอัตราเร็วเชิงมุม อัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลม แรงบิดใบพัด กำลังใบพัด กำลังลม และสัมประสิทธิ์กำลัง ได้ดังนี้

การคำนวณอัตราเร็วเชิงมุม $\omega = 2\pi f$ (6.1)

การคำนวณ $\lambda = \omega(d/2)/V_i$ (6.2)

โดยที่ $d = 0.38 \text{ m}$

การคำนวณแรงบิดใบพัด $T_{blade} = (wg)r$ (6.3)

โดยที่ $r = 0.00355$

การคำนวณกำลังใบพัด $P_{blade} = T_{blade}\omega$ (6.4)

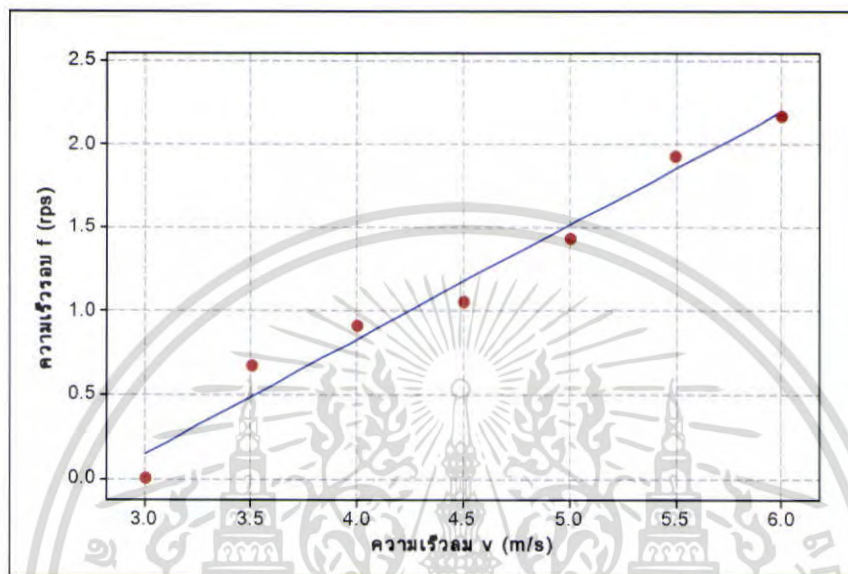
การคำนวณกำลังลม $P_{wind} = \frac{1}{2}\rho AV_i^3$ (6.5)

โดยที่ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ และ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}$

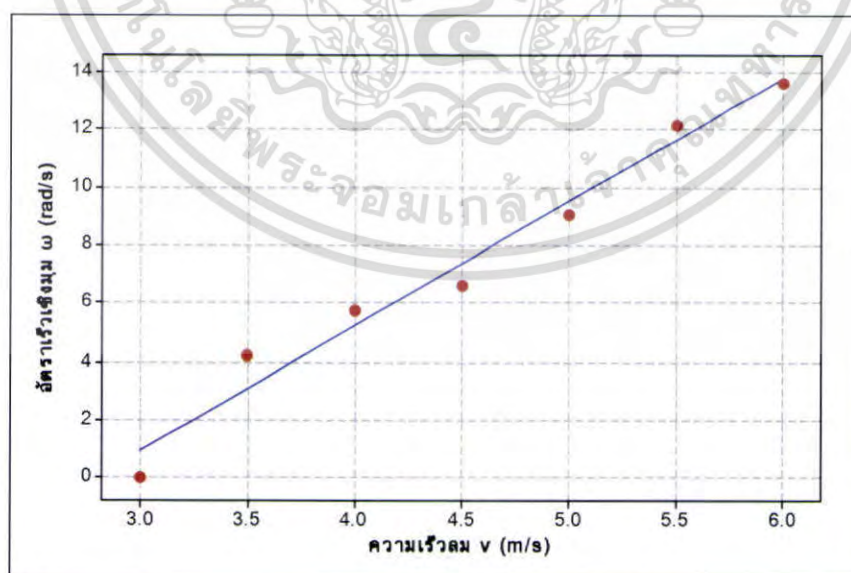
การคำนวณสัมประสิทธิ์กำลัง $C_p = \frac{P_{blade}}{P_{wind}}$ (6.6)

นำผลที่ได้จากการทดลอง และการคำนวณทั้ง 2 ครั้ง ที่ความเร็วลมเฉลี่ยต่าง ๆ มาหาความสัมพันธ์
เทียบกับความเร็วลม จะได้กราฟดังต่อไปนี้

กราฟชุดที่ 1 เป็นผลเฉลี่ยจากการทดลองกึ่งहनลมชาโวเนียสแบบชั้นเดียว

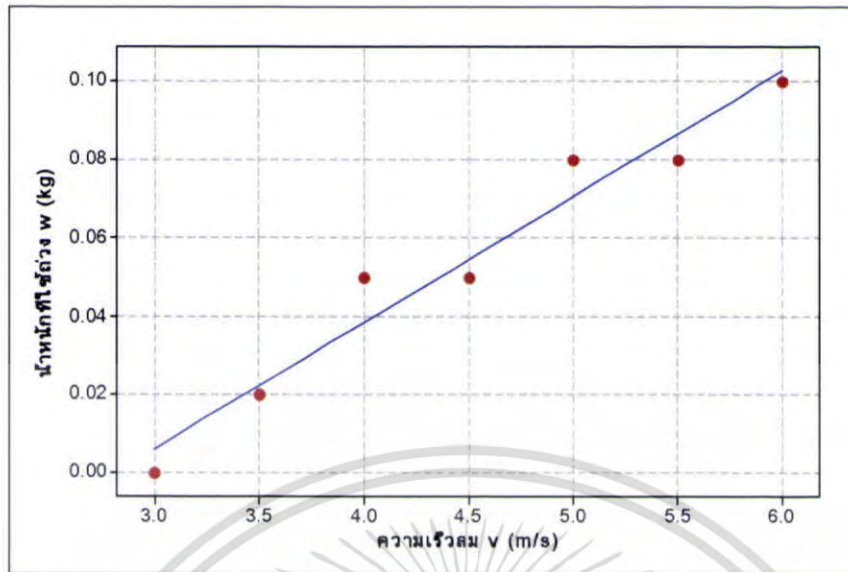


รูป 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบพัดกับความเร็วม

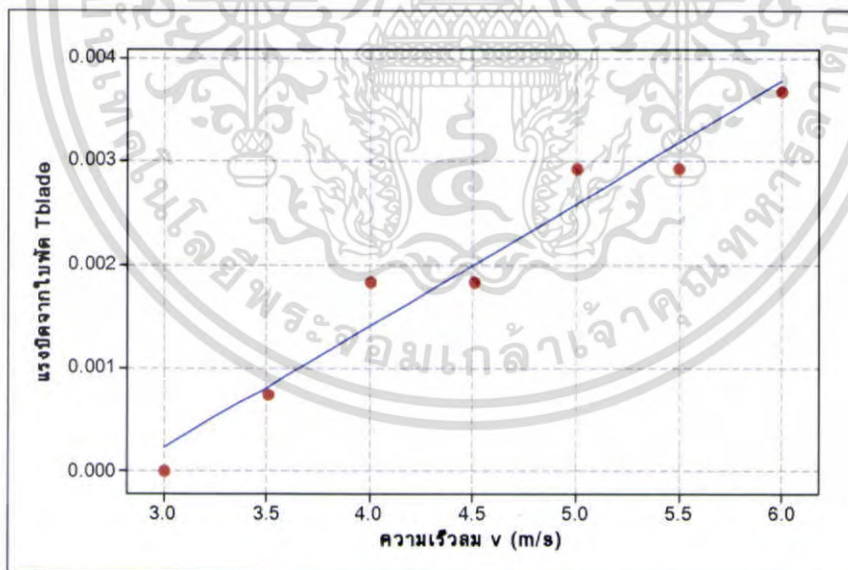


รูป 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดกับความเร็วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

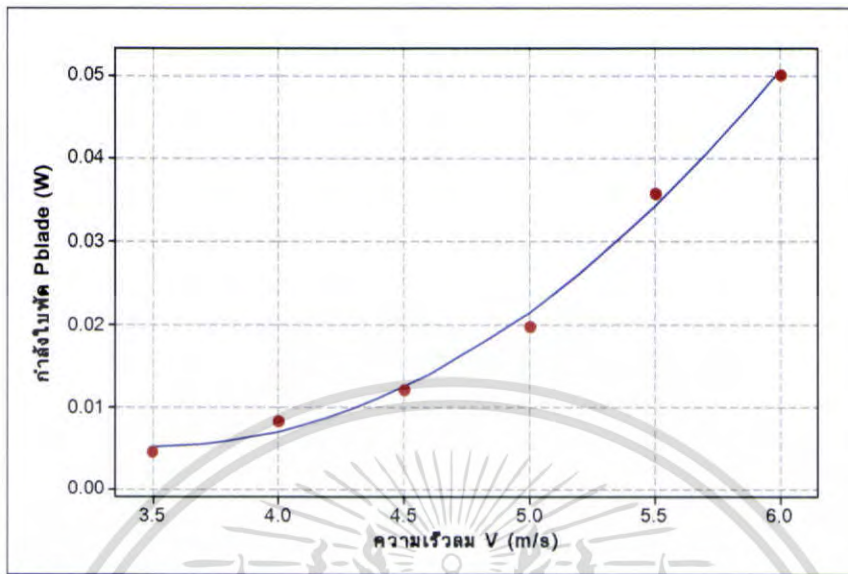


รูป 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่ได้จากการทดลองกับความเร็วลม

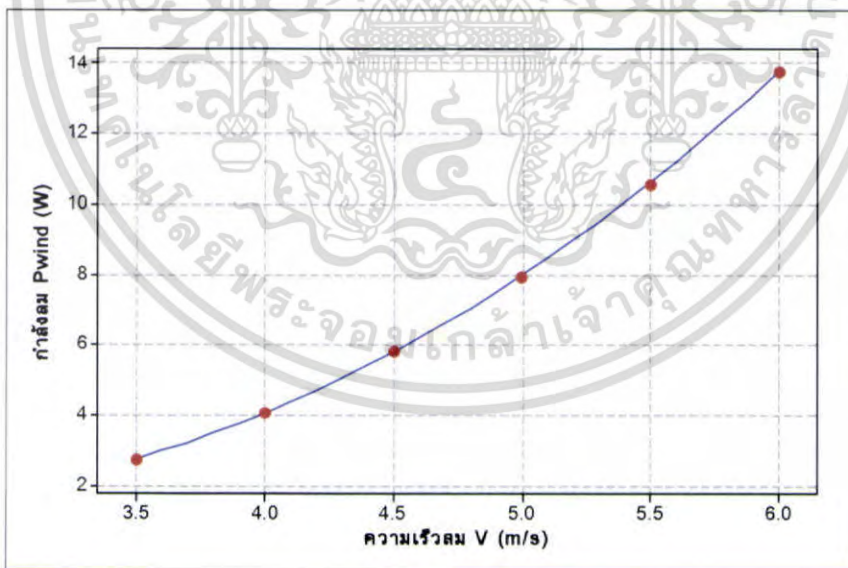


รูป 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของใบพัดกับความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

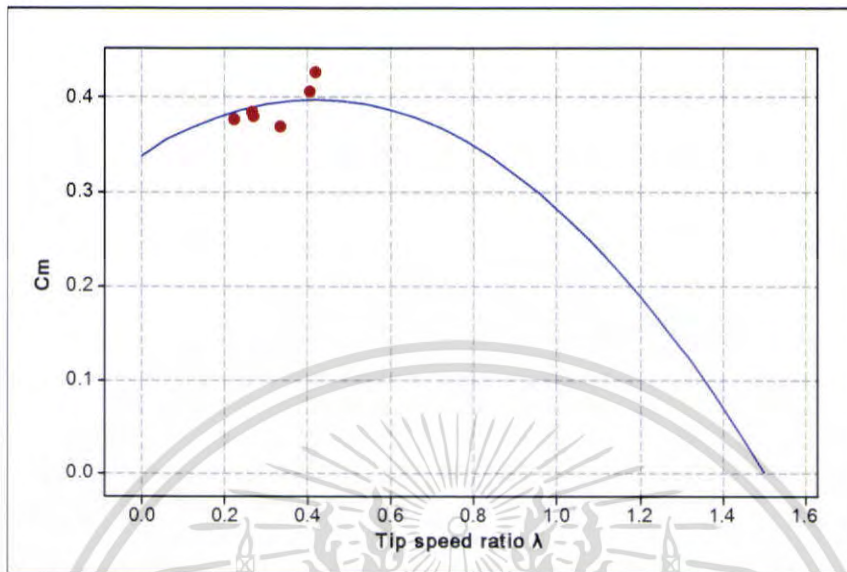


รูป 6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลม

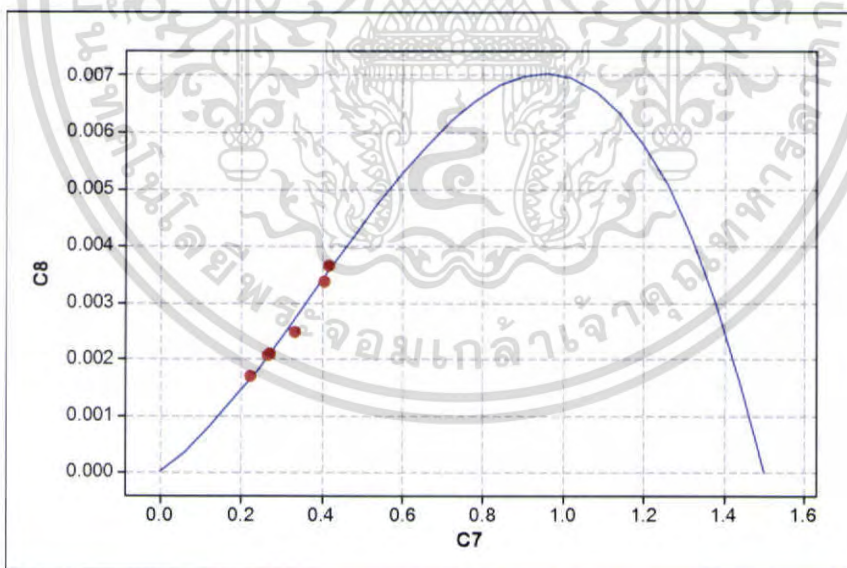


รูป 6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมกับความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



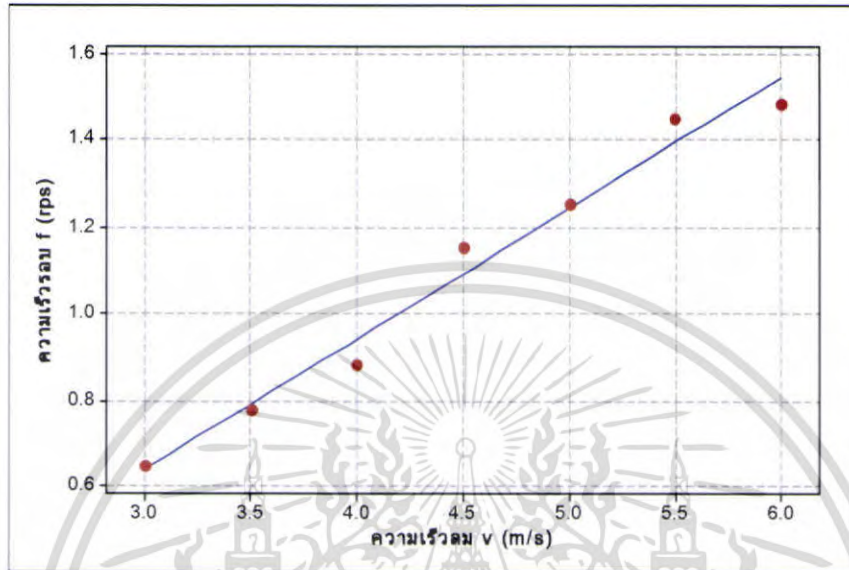
รูป 6.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการส่งแรงบิดกับความเร็วใบพัด



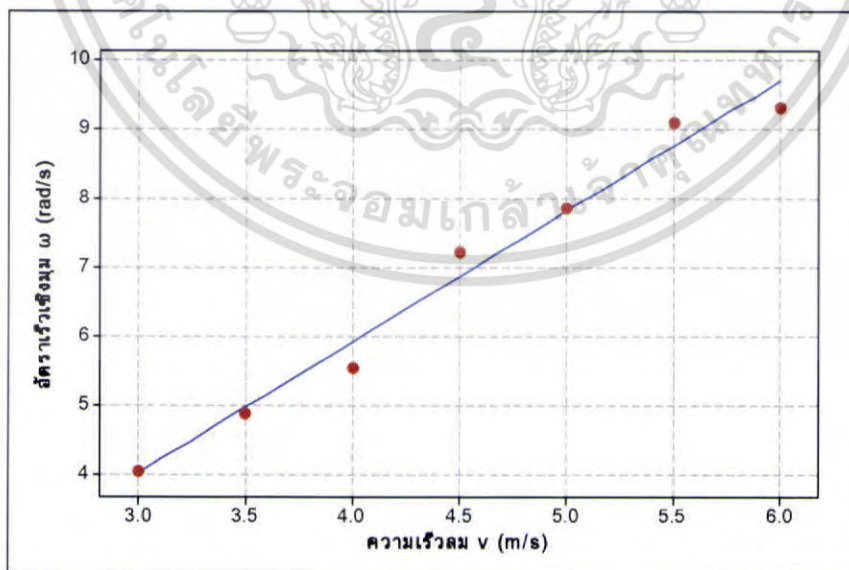
รูป 6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำลังกับความเร็วใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟชุดที่ 2 เป็นผลผลิตจากการทดลองกึ่งहनลมาวอนีสแบบ 2 ชั้น

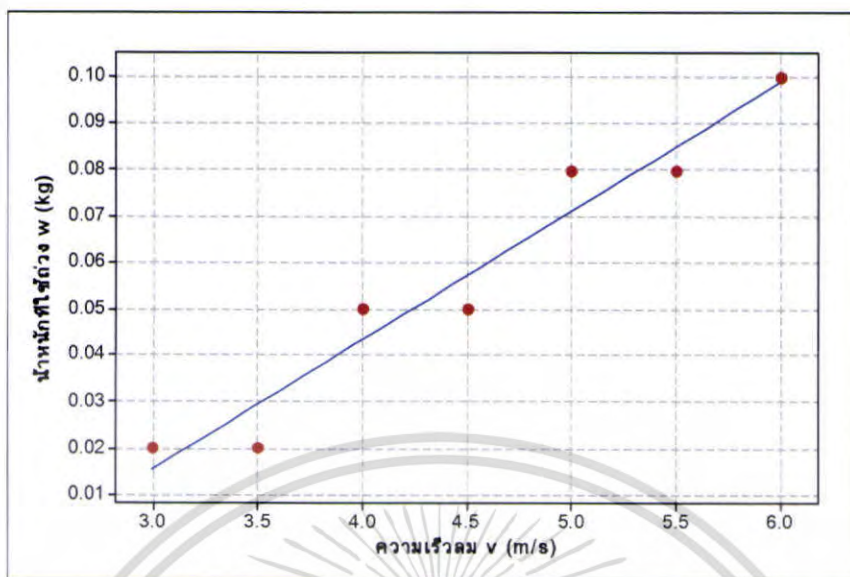


รูป 6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบพัดกับความเร็วลม

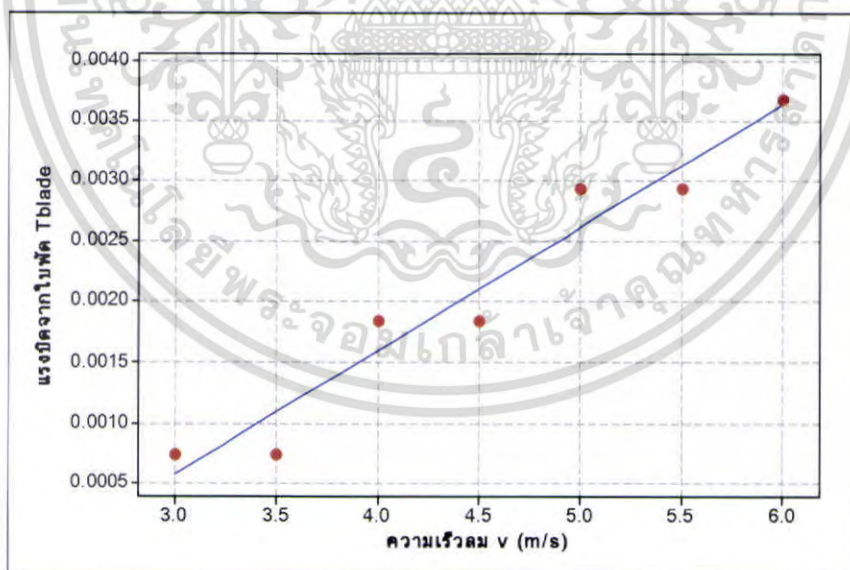


รูป 6.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดกับความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

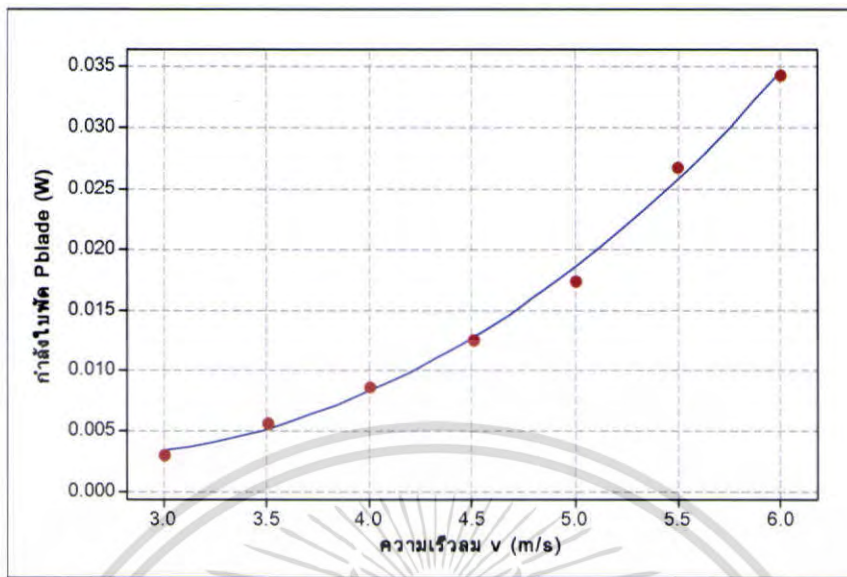


รูป 6.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่ได้จากการทดลองกับความเร็วลม

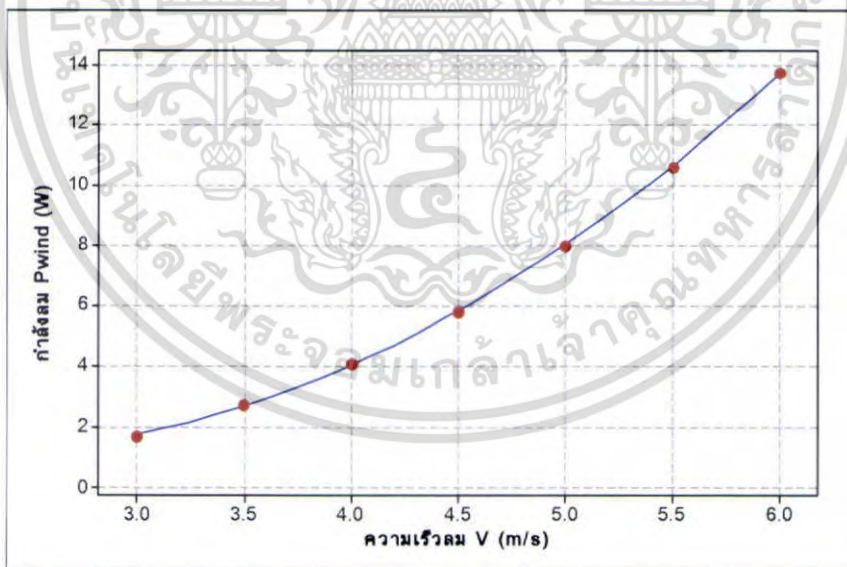


รูป 6.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของใบพัดกับความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

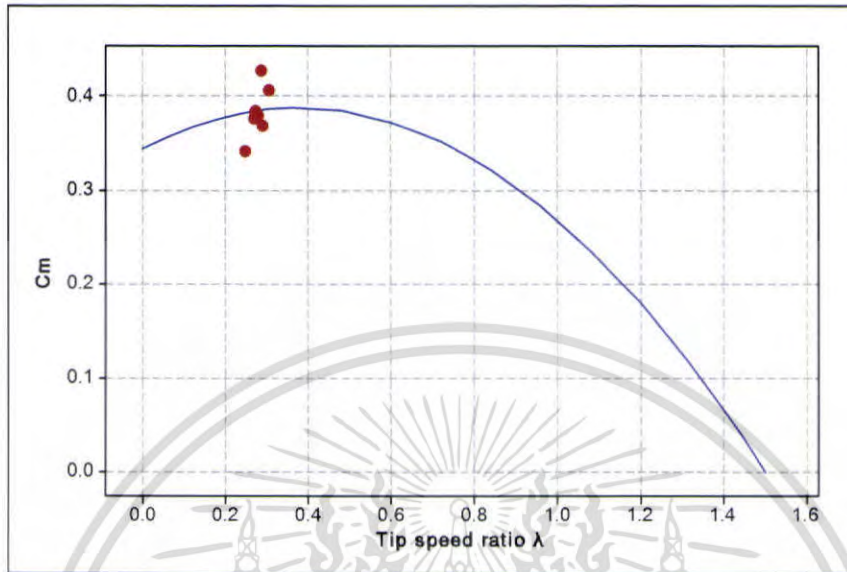


รูป 6.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลมของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

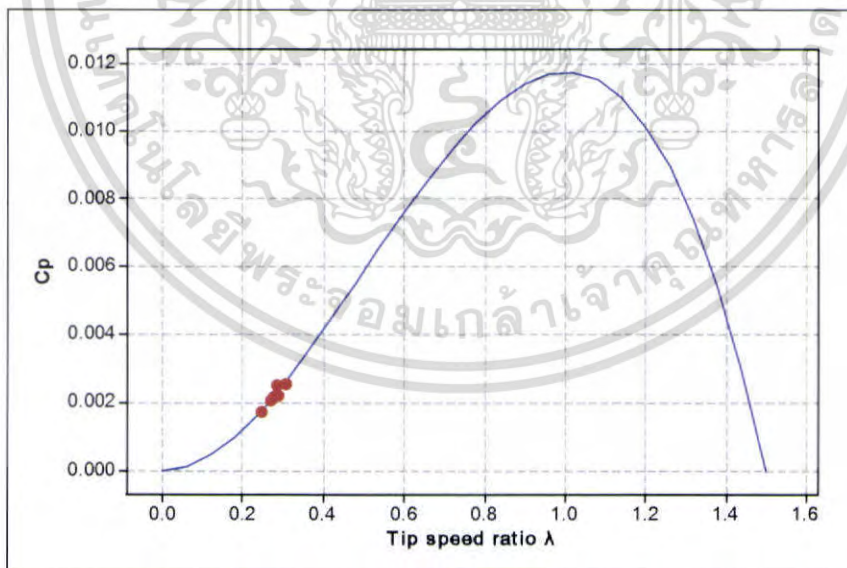


รูป 6.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมกับความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

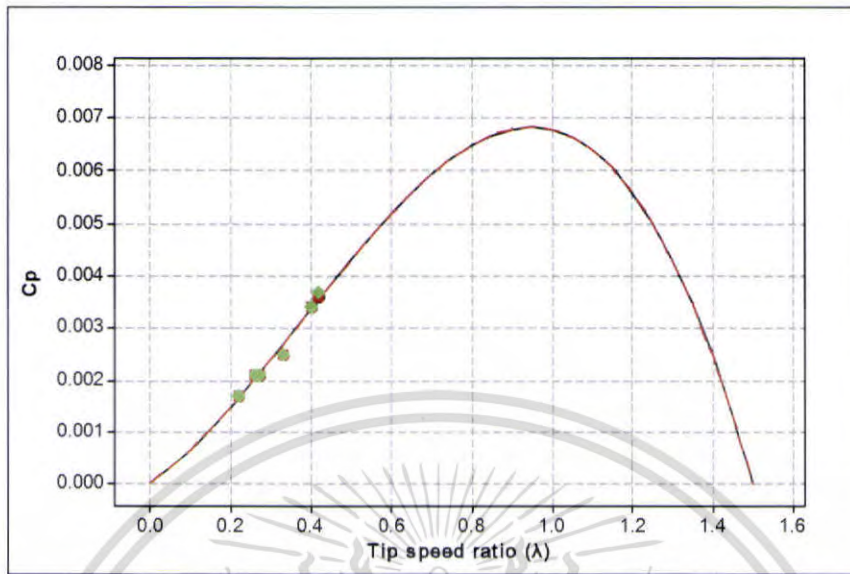


รูป 6.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแรงบิดกับความเร็วยับพัด

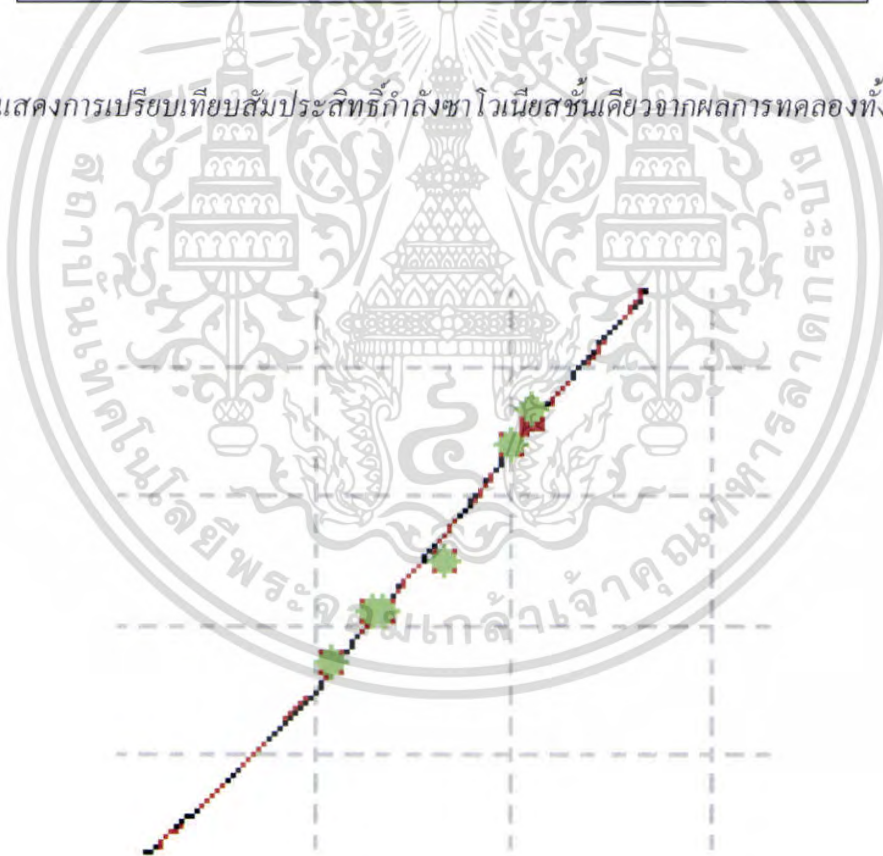


รูป 6.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำลังกับความเร็วยับพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

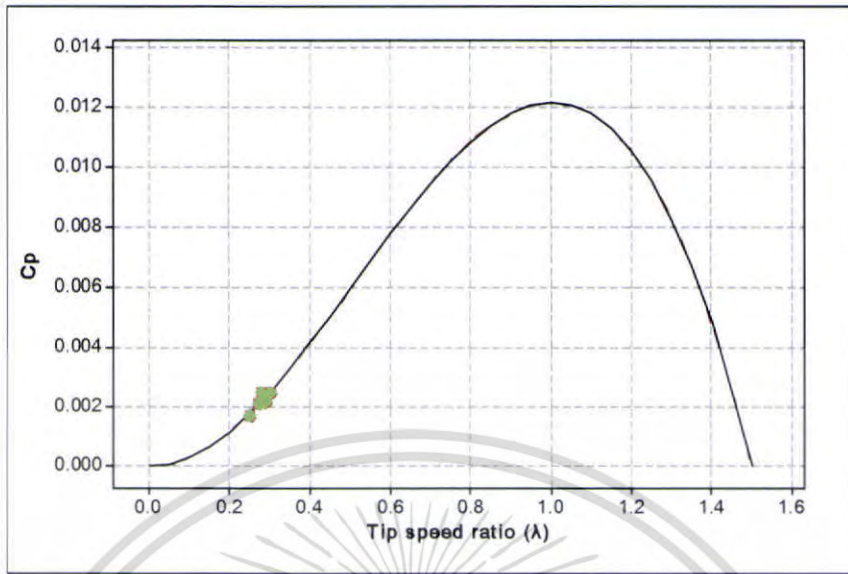


รูป 6.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์กำลังชาโวเนี่ยสชั้นเดียวจากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

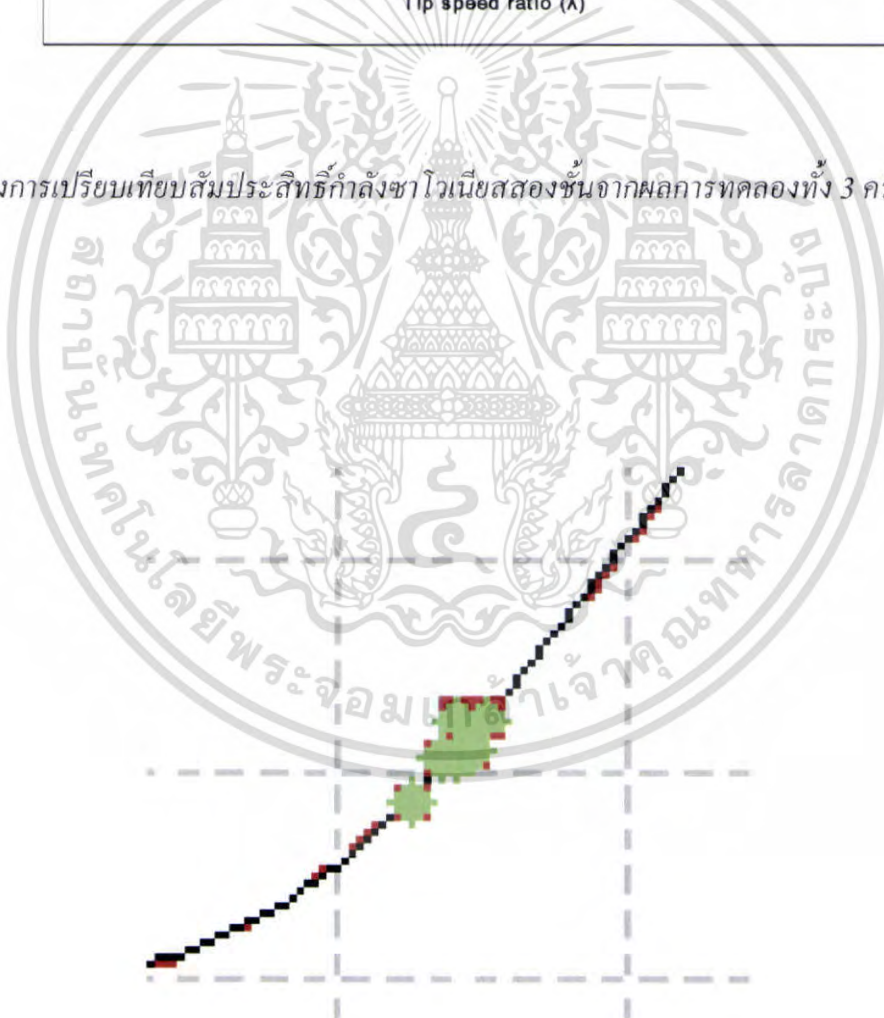


รูป 6.18 ภาพขยายการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์กำลังชาโวเนี่ยสชั้นเดียวจากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

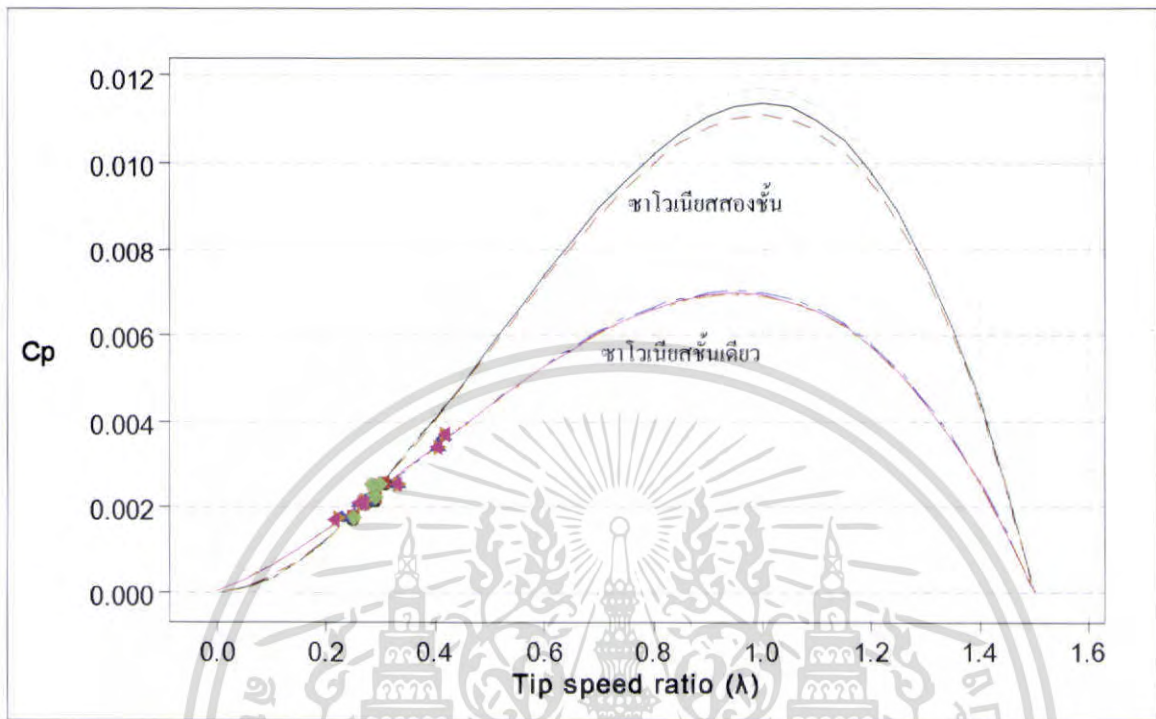


รูป 6.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์กำลังชาโวเนี่ยสสองชั้นจากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

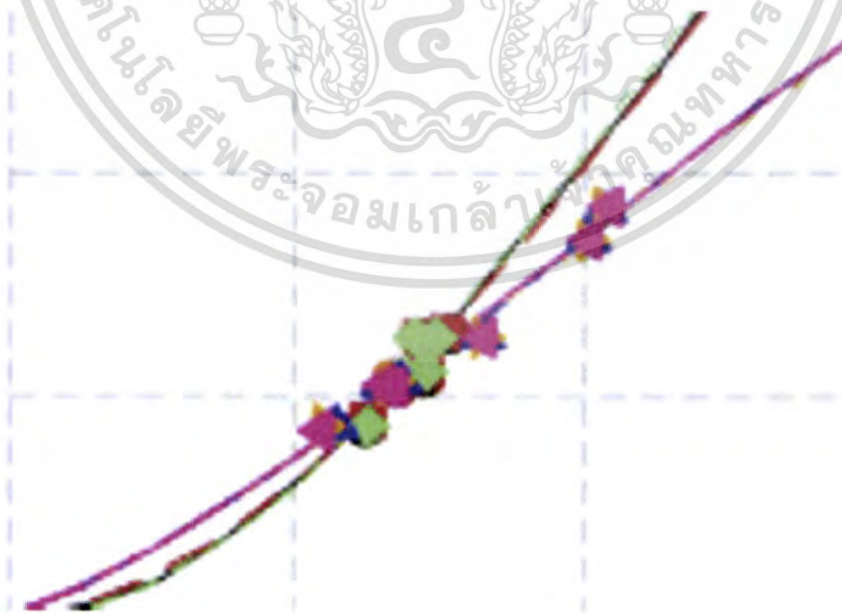


รูป 6.20 ภาพขยายการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์กำลังชาโวเนี่ยสสองชั้นจากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำลังกับความเร็วใบพัดของชาโวเนี่ยสชั้นเดียวและชาโวเนี่ยสสองชั้นจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง



รูป 6.21 ภาพขยายบริเวณที่เกิดจุดจากรูป 6.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป (6.20) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับสัมประสิทธิ์ความเร็วของซาโวเนียสแบบชั้นเดียว และสองชั้น พบว่าสัมประสิทธิ์กำลังและสัมประสิทธิ์ความเร็วเพิ่มขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วตกลงมาโดยมีแนวโน้มคล้ายกราฟพาลาโบลา ดังนั้นสมการของกราฟการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังและสัมประสิทธิ์ความเร็วแบ่งเป็น

สัมประสิทธิ์กำลังของซาโวเนียสชั้นเดียว

$$C_p = 0.00001 + 0.005399\lambda + 0.01153\lambda^2 - 0.01009\lambda^3 \quad (6.7)$$

โดยจุดที่ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดหาได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการ (6.7) โดยให้ $\frac{dC_p}{d\lambda} = 0$ ซึ่งจะได้ดังนี้

$$\frac{dC_p}{d\lambda} = 0 = 0.005399 + 0.02306\lambda - 0.03027\lambda^2$$

$$\lambda_{max} = -0.1878, 0.9496$$

เนื่องจาก $\lambda_{max} = -0.1878$ เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นแทน $\lambda_{max} = 0.9496$ ลงในสมการ (6.7) ได้

$$C_p = 0.00001 + 0.005399(0.9496) + 0.01153(0.9496)^2 - 0.01009(0.9496)^3$$

$$C_p = 0.00689$$

สัมประสิทธิ์กำลังของซาโวเนียสสองชั้น

$$C_p = -0.000001 - 0.000084\lambda + 0.03546\lambda^2 - 0.0236\lambda^3 \quad (6.8)$$

โดยจุดที่ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดหาได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการ (6.8) โดยให้ $\frac{dC_p}{d\lambda} = 0$ ซึ่งจะได้ดังนี้

$$\frac{dC_p}{d\lambda} = 0 = -0.000084 + 0.07092\lambda - 0.0708\lambda^2$$

$$\lambda_{max} = 0.0012, 1.0005$$

เนื่องจาก $\lambda_{max} = 0.0012$ เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นแทน $\lambda_{max} = 1.0005$ ลงในสมการ (6.7) ได้

$$C_p = -0.000001 - 0.000084(1.0005) + 0.03546(1.0005)^2 - 0.0236(1.0005)^3$$

$$C_p = 0.01178$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลอง

7. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่ากังหันลมแนวแกนตั้งแบบชั้นเดียว และแบบสองชั้นมีความแตกต่างกันคือ

1. กังหันลมแบบชั้นเดียวเริ่มหมุนได้ที่ความเร็ว 3.5 m/s ซึ่งกังหันลมแบบสองชั้นสามารถเริ่มต้นการหมุนได้ที่ความเร็วลม 3 m/s
2. เมื่อเพิ่มความเร็วลมที่ 5 m/s ขึ้นไป พบว่ากังหันลมแบบชั้นเดียว สามารถทำค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วต่อความเร็วลมได้มากกว่ากังหันลมแบบสองชั้น
3. ที่ความเร็วลมมากกว่า 5 m/s กังหันลมแบบชั้นเดียวให้ค่าประสิทธิภาพกำลังได้มากกว่ากังหันลมแบบสองชั้น

สรุปได้ว่ากังหันลมแบบสองชั้นจะเริ่มหมุนได้ดีกว่ากังหันลมแบบชั้นเดียว แต่ค่าประสิทธิภาพกำลังของกังหันลมแบบสองชั้นน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมแบบชั้นเดียว เห็นได้ว่ากังหันลมแบบสองชั้นอาจจะติดตั้งในประเทศไทยได้ในบางพื้นที่ เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานลมต่ำ ที่ประมาณ 3 m/s ที่ความสูง 30 m . [5]

บรรณานุกรม

- [1] กรมธุรกิจพลังงาน, “รายงานน้ำมันเชื้อเพลิงของประเทศไทย 2007,” www.dede.go.th
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.), “รายงานประเมินความต้องการพลังงานในอนาคต”
- [3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, “สถานีพลังงานทดแทนแหลมพรหมเทพ จ. ภูเก็ต,” www.navy.mi.th.
- [4] Business Thai, “ปั่นลมให้เป็นไฟ”, www.businessthai.co.th
- [5] M.M.El-Wakil. Powerplant Technology. 1984
- [6] Joselin Herbert, G.M., Iniyar, S., et al, “A Review of Wind Energy Technology,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 11, pp 1117-45, 2007
- [7] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน แผนที่ศึกษาภาพพลังงานลมของประเทศไทย บริษัท เฟลโลว์ เอ็นจิเนียร์ส คอนซัลแตนต์ส์ จำกัด.
- [8] Suwantragul, B., Watabutr, W., et al, USAID Project, No. 493-0304, 1994
- [9] Wilson Re, Lissaman PBS., “*Applied Aerodynamics of wind power machines*,” Oregon State University, 1974.
- [10] Mejia, E.R., Filipek, J.W., Salazar, J.T., “A Cheap, Reliable and Efficient Regulator for Small Horizontal-Axis Wind-Turbines,” Applied Energy, Vol. 74, pp 229-237, 2003
- [11] Le Gourieres D. Energie eolienne, “*Wind Power Plant, Theory and Design*,” Paris: Eyrolles; 1980.
- [12] R.C. Hibbeler. “*Mechanics of Materials*,” Prentice-Hall, 2004.
- [13] วรวิทย์ อิงภากรณ์ และ ชาญุ ฤกษ์งาน. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. หน่วย SI: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2003.
- [14] วรวิทย์ อิงภากรณ์ และ ชาญุ ฤกษ์งาน. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. หน่วย SI: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2003.
- [15] Blackwell BB and Sheldahl R and Feltz LV. Wind Tunnel Performance Data for Two and Three Bucket Savonius Rotor. *Journal of Energy* 1978.
- [16] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2006) พลังงานลม.
- [17] Valdes, L.C., Ramanonjisoa, B., “Optimised Design and Dimensioning of Low-Technology Wind Pumps,” Renewable Energy, Vol. 31, pp 1391-1429, 2006
- [18] Gipe, Paul. Wind Energy Basics: A Guide to Small and Micro Wind Systems. Vermont: Chelsea Green Publishing Co., 1999.

บรรณานุกรม(ต่อ)

- [19] แบบแปลนอาคารเรียนและปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์. สำนักงานสถาปนิกแอนเคอร์สัน, 1989.
- [20] A.E. Fitzgerald and Charles Kingsley Jr. and Stephen D. Umans. *Electric Machinery*. 6th ed. : McGraw-Hill, 2003.
- [21] William D. Callister. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 7th ed.: John Wiley and Sons, 2007.
- [22] ปริญญาธิพนธ์. การออกแบบกังหันลมแบบซาโวเนียสสำหรับลมความเร็วต่ำ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2007





การออกแบบและสร้างกังหันลมแนวตั้งแบบซาโวเนียสสองชั้น (Design and construction of a vertical axis double savonius wind turbine)

กิตติชัย สืบญาติ¹, จตุรภัทร ชื่นบาน¹, จักรกฤษณ์ ศรีปาน¹

.....
สยาม สงวนรัมย์²

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นการศึกษาข้อมูลของกังหันลมแนวตั้งโดยดัดแปลงจากกังหันลมซาโวเนียสแบบชั้นเดียวให้มีสองชั้น เนื่องจากประเทศไทยมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำอยู่ที่ 3-5 m/s เราจึงทำการออกแบบกังหันลมซาโวเนียสแบบสองชั้นมาทำการทดลองในอุโมงค์ลมที่มีความเร็วลม 3-6 m/s แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์กำลัง สัมประสิทธิ์แรงบิด และสัมประสิทธิ์ความเร็ว เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้พลังงานกับซาโวเนียสแบบชั้นเดียว ซึ่งที่สภาวะความเร็วต่ำซาโวเนียสแบบสองชั้นจะเริ่มหมุนได้ดีกว่าซาโวเนียสแบบชั้นเดียว

Abstract

This paper presents a study of vertical wind turbine which was modified from Savonius wind turbine into double Savonius wind turbine. Because Thailand have pretty low wind velocity $v = 3-5$ m/s, so we designed double Savonius wind turbine in order to tested in the tunnel which has wind velocity $v = 3$ m/s up. And then, calculated the power coefficient, the torque coefficient and the velocity coefficient to compared performance to generate energy with Savonius wind turbine. At the low wind velocity, double Savonius wind turbine can perform better than Savonius wind turbine.

Keywords: Vertical axis wind turbine (VAWT), Savonius

1. บทนำ

ลมเป็นแหล่งพลังงานสะอาดชนิดหนึ่ง [1] ในปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากพลังงานลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบประเทศยุโรปได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ ซึ่งกังหันลมขนาดใหญ่แต่ละตัวสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 4 - 5 เมกะวัตต์ และนับวันจะยิ่งได้รับการพัฒนาให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สำหรับประเทศไทยการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงานลมยังมีค่อนข้างน้อยมาก อาจเป็นเพราะศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทยไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ

ที่สถานีไฟฟ้าแหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต ได้ทดลองใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์และต่อเข้ากับระบบสายส่ง ดังนั้น การศึกษาเรียนรู้ วิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานลมก็เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานจากถ่านหินถ่านหินจะเป็นการช่วยประเทศไทยลดการนำเข้าแหล่งพลังงานจากต่างประเทศอีกทางหนึ่ง

¹ นักศึกษาคณะวิศวกรรมเครื่องกล สจล.ห้อง 3Q/1 รหัส 48015718 48015720 และ 48015721 ตามลำดับ

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล.โทร 0 2326 4197, อีเมล kssayam@kmitl.ac.th อีเมลถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

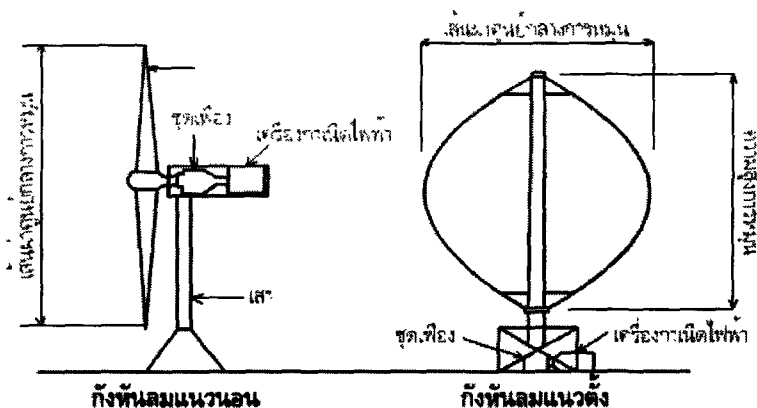
สัญลักษณ์

A	พื้นที่หน้าตัด (m^2) Cross section area	P_{wind}	กำลังลม (W) Wind power
C_p	สัมประสิทธิ์กำลัง Power coefficient	r	รัศมีแกนเพลาทวน (m) Shaft radius
d	เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (m) Blade diameter	R	ค่าคงที่ของแก๊สของอากาศ ($J/kg \cdot K$) Gas constant of air
D	เส้นผ่านศูนย์กลางการหมุน (m) Rotation diameter	S	ระยะคร่อมของใบพัด (m) Blade overlap
f	ความถี่ (rev/s) Frequency	T	อุณหภูมิของอากาศ (K) Air temperature
g	แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) Gravity	T_{blade}	แรงบิดของใบพัด ($N \cdot m$) Blade torque
h	ความสูงของใบพัด (m) Blade height	U	ความเร็วปลายใบพัด (m/s) Blade velocity
KE_{wind}	พลังงานจลน์จากลม (J) Kinetic energy of wind	V_i	ความเร็วลมออกจากใบพัด (m/s) Incoming wind velocity
m	มวล (kg) Mass	V_e	ความเร็วลมออกจากใบพัด (m/s) Exiting wind velocity
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s) Mass flow rate	w	ภาระที่วัดได้ (kg) Weight
\dot{m}_{av}	อัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ย (kg/s) Average mass flow rate	λ	อัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลม Tip-speed ratio
P_{blade}	กำลังใบพัด (W) Blade power	ω	ความเร็วเชิงมุม (rad/s) Angular velocity
		ρ	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3) Wind density

ศักยภาพของพลังงานลมในแผ่นดินทั่วโลกมีค่ามากกว่า 20 ล้านหน่วยต่อปี ซึ่งมากกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของประชากรทั่วโลกซึ่งปัจจุบันใช้ 15 ล้านล้านหน่วยต่อปี เฉพาะในปี 2004 เพียงปีเดียวทั่วโลกสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานลมถึง 6,614 เมกะวัตต์ ซึ่งเพิ่มในอัตราเติบโตที่สูงร้อยละ 20 จนถึงปี 2005 กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมทั้งโลกอยู่ประมาณ 46,048 เมกะวัตต์ ทำอันดับแรกของประเทศที่มีกำลังการผลิตสูงสุดคือเยอรมนี (16,500 เมกะวัตต์) สเปน (8,000 เมกะวัตต์) สหรัฐอเมริกา (6,800 เมกะวัตต์) เดนมาร์ก (3121 เมกะวัตต์) และอินเดีย (2,800 เมกะวัตต์) ทั้งห้าประเทศสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานไปได้เกือบร้อยละ 80 ของทั้งโลก ในเอเชียมีสัดส่วนการผลิตร้อยละ 7.7 ของทั้งโลก คิดเป็นปริมาณการผลิต 3,527 เมกะวัตต์ อัตราการเติบโตของผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมในสาธารณรัฐประชาชนจีนเฉพาะปี 2004 สูงถึงร้อยละ 12.4 [2]

2. กังหันลม

กังหันลม คือ เครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับและแปลงพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ [3] และนำพลังงานกลมาใช้โดยตรงหรือทางอ้อมโดยการเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนากังหันลมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เริ่มมีมาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณจนถึงยุคปัจจุบัน โดยการออกแบบกังหันลมต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด และเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่ผันแปรตามธรรมชาติ และความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่เหมาะสมกับการใช้งาน จะต้องมีการใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้เป็นแหล่งสำรองหรือใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น กังหันลมแบ่งประเภทของการจำแนกชนิดออกเป็น 2 วิธี คือ



รูป 1 กังหันลมแนวนอน (ซ้าย) และกังหันลมแนวตั้ง (ขวา)

- จำแนกตามลักษณะการวางตัวของแกนหมุนคือแนวตั้งหรือแนวนอน
- จำแนกตามลักษณะของแรงขับที่กระแสลมกระทำต่อกังหัน กล่าวคือการขับด้วยแรงยกและการขับด้วยแรงทวนหรือแรงดูด

ที่นี้ใช้หลัก จำแนกตามลักษณะการวางตัวของแกนหมุน

1 กังหันลมแบบแนวนอน

กังหันลมแบบแนวนอน (Horizontal axis wind turbine: HAWT) านหมุนขนานกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้ง การรับแรงลม ได้แก่ กังหัน ลมใบเสาสู่แกน กังหันลมชนิดหลายใบพัด เหน็บสูบน้ำ กังหันลมชนิด 1, 2, 3, 4 หรือ 6 ใบพัดสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิด 3 ใบพัดได้รับการพัฒนาอย่าง

วได้เปรียบของกังหันลมแนวนอน

เนื่องจากใบพัดอยู่บนยอดสูง ซึ่งทำให้ใบพัดรับลมจากที่สูงซึ่งมีความเร็วลมสูงกว่ากังหันลมแบบแนวตั้งซึ่งใบพัดจะอยู่ใกล้พื้นดิน ทำให้ความเร็วลมจะต่ำกว่า

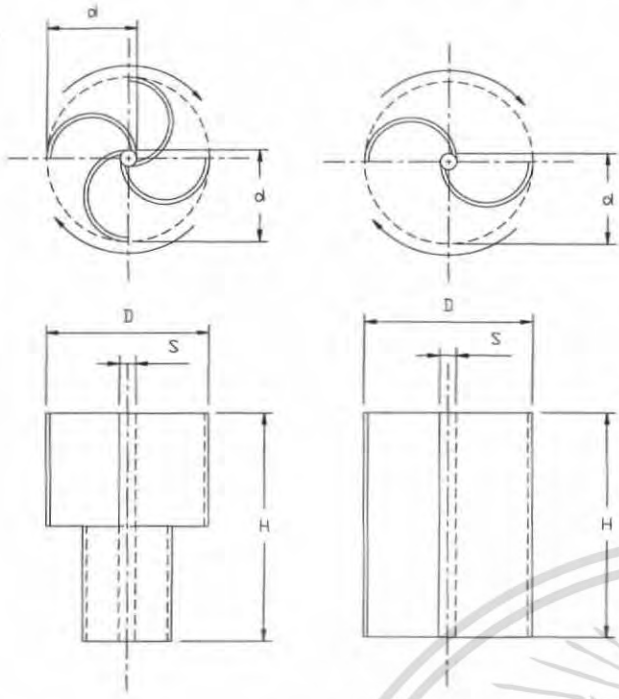
เครื่องของกังหันลมแนวนอนสามารถเดินเครื่องได้ด้วยตัวเอง เนื่องจาก แรงยก และแรงต้าน ส่วนกังหันลมแนวตั้งบางชนิดไม่สามารถเริ่มเดินเครื่องได้ด้วยตัวเองได้

2.2 กังหันลมแบบแนวตั้ง

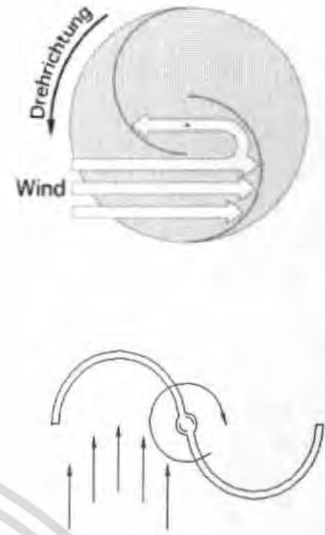
กังหันลมแบบแนวตั้ง (Vertical axis wind turbine: VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทางมีหลายแบบ แบบ เช่นกังหันลมแดร์เรียส (Darrieus) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส กังหันลมซาโวเนียส (Savonius) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฟินแลนด์ กังหันลมไจโรมิลล์ (Giromills) ซึ่งเป็นกังหันลมแดร์เรียส แบบใบพัดตรง นอกจากนี้แล้วยังมีอีกหลายชนิดที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่

ข้อได้เปรียบของกังหันลมแนวตั้ง

- กังหันลมแบบแนวตั้งบางชนิดไม่จำเป็นที่จะต้องมียอคอย เหมือนกับกังหันลมแนวนอน ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชุดเพลา และอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ จะถูกติดตั้งอยู่ระดับพื้นดิน จึงง่ายในการสร้างและซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ
- เนื่องจากกังหันลมแนวตั้ง สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง จึงไม่จำเป็นต้องมีทางเลี้ยวเพื่อบังคับให้ใบพัดพัดหันไปรับลม
- ใบพัดของกังหันลมจะไม่รับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก การออกแบบจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการรับความเค้นเนื่องจากความล้า (Fatigue stress) และยังสามารถหลีกเลี่ยงการโก่งงอ (Bending moment) ได้อีกด้วย สำหรับกังหันลมแบบแนวนอนนั้น อุปกรณ์ต่างๆจะยื่นออกมาจากตัวคอคอยทำให้ต้องรับแรงเนื่องแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะทำให้เกิดทั้งความเค้นเนื่องจากความล้าและการโก่งงอ
- มีความทนทานมากกว่ากังหันลมแบบแนวนอน



รูปที่ 2 ภาพแสดงความยาวของพื้นที่หน้าตัดใบพัด



รูปที่ 3 ทิศทางลมขณะเข้าใบพัด

สมการวิเคราะห์

ทฤษฎีพลังงานจลน์

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศจะมีหน่วยเป็น มวลต่อหน่วยเวลา นั้น อาจเขียนในรูปของกำลังได้เป็น

$$KE_{wind} = P_{wind} = \frac{1}{2} \dot{m} V_i^2 \quad \text{-----(1)}$$

ทฤษฎีกำลังลม

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศจะมีหน่วยเป็น มวลต่อหน่วยเวลา นั้นในสมการ (1) อาจเขียนในรูปของกำลังได้เป็น

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \dot{m} V_i^2 \quad \text{-----(2)}$$

อ $\dot{m} = \rho A V_i$

พื้นที่หน้าตัดแสดงดังรูป 5 จะสามารถหาได้จากสมการ (4)

$$A = h(2d - S) \quad \text{-----(3)}$$

จากรูป 5 ระยะคร่อม (Overlap) ของใบพัดในโครงงานนี้เป็น 0.19 มงเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด โดยระยะคร่อมนี้ทำให้สัมประสิทธิ์กำลังมีค่าขึ้น [4]

$$S = 0.15d \quad \text{-----(4)}$$

$$D = 2d - S = 1.85d \quad \text{-----(5)}$$

ความหนาแน่นของอากาศ

ความหนาแน่นของอากาศสามารถหาได้จาก [4]

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad \text{-----(6)}$$

กำหนดให้กังหันมีการทำงานที่สภาวะความดันบรรยากาศ ($1.01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30°C (303.15 K) ค่าคงที่ของแก๊สสำหรับอากาศคือ $286.9 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ความหนาแน่นของอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\rho = 1.01325 \times 10^5 / (286.9 \times 303.15)$$

$$\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$$

แทนค่าสมการ (2) ลงในสมการ (1) จะได้

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A V_i^3 \quad \text{-----(7)}$$

ทฤษฎีกำลังใบพัด

กำลังที่ใบพัดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของมวลอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่รับลมของใบพัด ดังนั้นความเร็วลมที่เข้าและออกจากใบพัดจึงมีค่าแตกต่างกัน โดยความเร็วลมที่ออกจากใบพัดจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วลมที่เข้าสู่ใบพัด สามารถสรุปได้ดังสมการ

$$P_{blade} = \frac{1}{2} m_{av} V_i^2 - \frac{1}{2} m_{av} V_e^2 \quad \text{-----(8)}$$

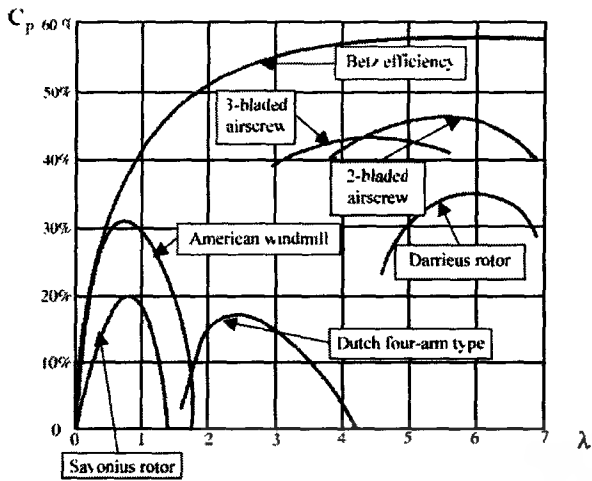
เมื่ออัตราการไหลเชิงมวลที่ผ่านใบพัด คืออัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ยที่ผ่านใบพัด $m_{av} = \rho A \frac{(V_i + V_e)}{2}$ จะได้สมการ

$$P_{blade} = \frac{1}{4} \rho A (V_i + V_e) (V_i^2 - V_e^2) \quad \text{-----(9)}$$

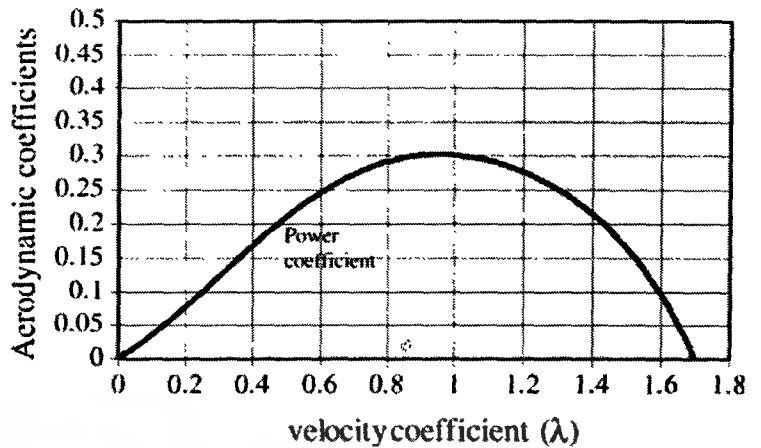
พลังงานลมถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากแรงเสียดทานและลักษณะการไหลของอากาศภายในใบพัดเป็นแบบ

ปั่นป่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์ความเร็ว



รูป 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์เมื่อใบพัดมีระยะคร่อม 0.19 ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์ความเร็ว

ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองและกำหนดค่าสัมประสิทธิ์กำลังขึ้น ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับส่วนกำลังที่ได้จากใบพัด โดยสามารถคำนวณจากสมการ (7) และ (9)

$$C_p = \frac{P_{blade}}{P_{wind}} \quad (10)$$

สมการ (8) สามารถคำนวณหา กำลังที่เกิดขึ้นจากใบพัดได้ดังนี้

$$P_{blade} = \frac{1}{2} \rho C_p A V_i^3 \quad (11)$$

ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง สามารถหาได้จากการทดลองกังหันด้วยความเร็วต่าง ๆ หรือกราฟการทดลองของใบพัดแบบซาโวเนียส ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังสอดคล้องกับความเร็วลมในรูปของตัวแปรไร้มิติอัตราส่วนความเร็ว และค่าสัมประสิทธิ์กำลังนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ค่าอัตราส่วนระยะคร่อมของใบพัดที่ดีที่สุดที่ได้กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นการศึกษาในรายงานนี้จะใช้กราฟดังรูป 5 มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพหาได้จากสมการ (12)

$$\lambda = \frac{U}{V_i} = \frac{\omega(D/2)}{V_i} \quad (12)$$

จากรูป 5 แสดงให้เห็นว่ากังหันลมชนิดนี้ใช้ได้กับความเร็วลมต่ำซึ่งเหมาะสมกับสภาพลมในประเทศไทย โดยให้สัมประสิทธิ์กำลังสูงสุด เท่ากับ 1 ที่สัมประสิทธิ์ความเร็วเท่ากับ 1

$$\lambda = 1 = \frac{\omega(D/2)}{V_i} = \frac{\omega(0.925d)}{V_i} \quad (13)$$

$$\omega = \frac{1.0811V_i}{d} \quad (14)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม และความเร็วรอบต่อนาทีของใบพัดที่สัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดในรูปเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดจากสมการ (14)

สามารถคำนวณแรงบิดได้จากสมการ (15)

$$T_{blade} = \frac{P_{blade}}{\omega} \quad (15)$$

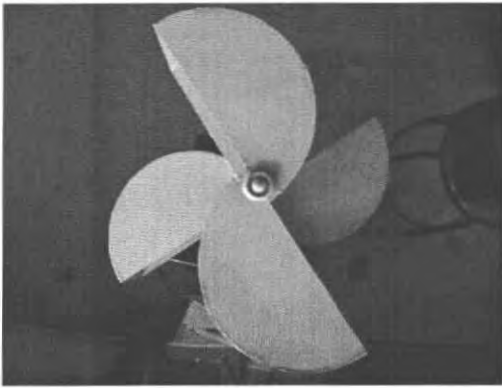
4. แบบจำลองกังหันลม

แบบจำลองกังหันลมที่สร้างขึ้น มีวิธีการสร้างดังนี้

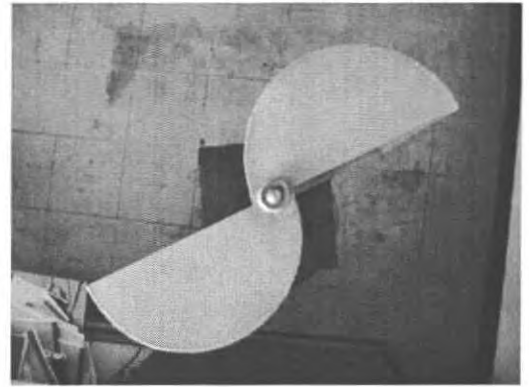
- กำหนดสัดส่วนของใบพัดโดยวัสดุที่ใช้ทำใบกังหันลมคือสังกะสี โดยออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 เมตร และมีความสูง 0.30 เมตร ลักษณะของใบพัดที่ออกแบบเป็นแบบซาโวเนียสชนิดใบพัดคู่ และจัดทำใบพัดของกังหันอีกใบหนึ่งเป็นแบบสองชั้น วางเยื้องจากชั้นแรกเป็นมุม 90 องศา มีความสูงชั้นละ 0.15 เมตร ดังนั้นจะได้มิติของใบพัดดังรูป ซึ่งมีขนาดและพื้นที่ที่หน้าตัดดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด	=	0.20	เมตร
ระยะคร่อมของใบพัด	=	0.038	เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางการหมุน	=	0.36	เมตร
ความสูงใบพัด	=	0.3	เมตร
พื้นที่หน้าตัด	=	0.108	เมตร
	=	0.108	ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



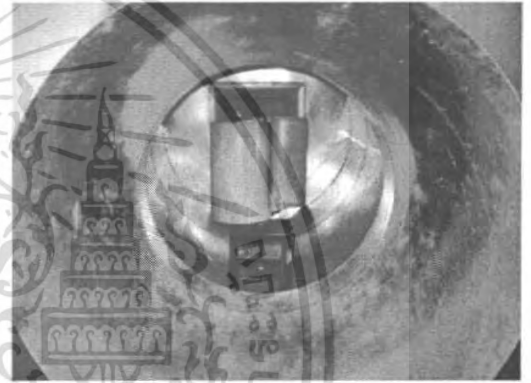
รูป 6 แสดงภาพด้านบนของกังหันลมแบบสองชั้น



รูป 7 แสดงภาพด้านบนของกังหันลมแบบชั้นเดียว



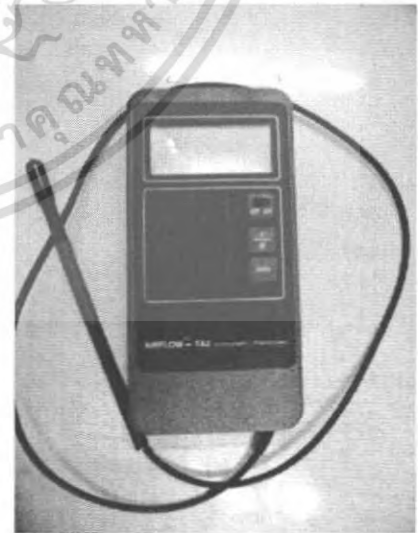
รูป 8 มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง



รูป 9 ตำแหน่งการติดตั้งกังหันลมในการทำการทดลอง



รูป 10 เครื่องวัดความเร็วรอบ



รูป 11 เครื่องวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัดแผ่นเหล็กครึ่งวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 เมตร
- อุปกรณ์ด้านบนล่างของกังหันแบบชั้นเดียว และสองชั้น
- นำใบพัดทั้ง 2 ใบมาเชื่อมติดกัน โดยมีระยะคร่อมเป็น 0.19
- งเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด รวมมีขนาด 0.04 เมตร
- นำชิ้นส่วนทั้งหมดมาพ่นสีเพื่อความสวยงาม
- นำชิ้นส่วนทั้งหมดมาประกอบกันได้แบบจำลองดังรูป 6 และ 7

การทดลอง

กรณีที่ใช้ในการทดลอง

กังหันลม

เครื่องวัดความเร็วลม

ชุดเครื่องมือวัดแรงบิด

เครื่องวัดความเร็วรอบ

อุโมงค์ลม

การทดลอง

วัดความเร็วลมที่ไหลผ่านอุโมงค์ลมให้ได้ความเร็วลมตามที่ต้องการ

ทดลอง (3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 และ 6 m/s)

นำกังหันลมแบบชั้นเดียวมาวางไว้บริเวณทางเข้าของอุโมงค์ลมดังรูป 8

เตรียมติดตั้งชุดการทดลอง

ต่อเชือกไว้ที่บริเวณแกนหมุนของกังหันลม จากนั้นร้อยเชือกผ่านรอก

ถ่วงน้ำหนักโดยบริเวณปลายเชือกมีมวลแขวนอยู่

เปิดเครื่องกำเนิดลม คอยสังเกตกังหันลมตั้งมวลที่แขวนไว้ขึ้นด้วย

ทำการทดลองที่ความเร็วลมเดิม กับกังหันแนวตั้งแบบสองชั้นอีกครั้ง

ทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 โดยทำการเพิ่มความเร็วลมขึ้น และ

ทดลอง 3 ครั้งต่อความเร็วลมเฉลี่ยหนึ่งค่า

นำค่าที่วัดได้มาคำนวณสัมประสิทธิ์ความเร็ว สัมประสิทธิ์กำลัง และ

สัมประสิทธิ์แรงบิด

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลม สัมประสิทธิ์

กำลังกับสัมประสิทธิ์ความเร็ว และ สัมประสิทธิ์แรงบิดกับสัมประสิทธิ์

ความเร็วของชาวโณเนิสแบบชั้นเดียวและสองชั้น

6. ผลการทดลอง

นำกังหันลมทดสอบใบอุโมงค์ลมที่สามารถปรับความเร็วลม

ได้โดยปรับความเร็วลมไว้ที่ 3 ถึง 6 เมตรต่อวินาที โดยใช้ระยะคร่อม

0.19 สามารถวัดความเร็วรอบต่อวินาที และน้ำหนักของมวลที่แขวนอยู่

(โดยนำน้ำหนักไปชั่งกับตาชั่งสปริง)

ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปหา อัตราเร็วเชิงมุม

ประสิทธิภาพความเร็ว แรงบิดใบพัด กำลังใบพัด กำลังลม และ

สัมประสิทธิ์กำลังดังนี้

การคำนวณอัตราเร็วเชิงมุม $\omega = 2\pi f$

การคำนวณ $\lambda = \omega(d/2)/V_t$

โดยที่ $d = 0.38 \text{ m}$

การคำนวณแรงบิดใบพัด $T_{blade} = (wg)r$

โดยที่ $r = 0.00355$

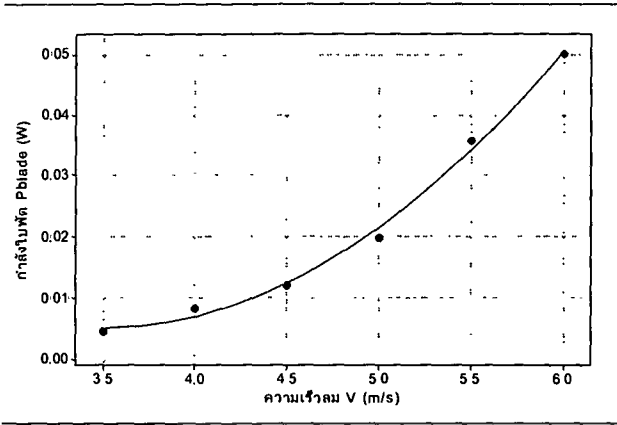
การคำนวณกำลังใบพัด $P_{blade} = T_{blade}\omega$

การคำนวณกำลังลม $P_{wind} = \frac{1}{2}\rho AV_t^3$

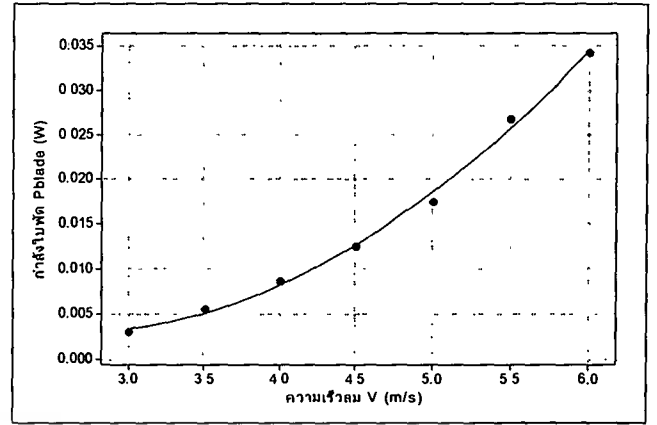
โดยที่ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ และ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}$

การคำนวณสัมประสิทธิ์กำลัง $C_p = \frac{P_{blade}}{P_{wind}}$

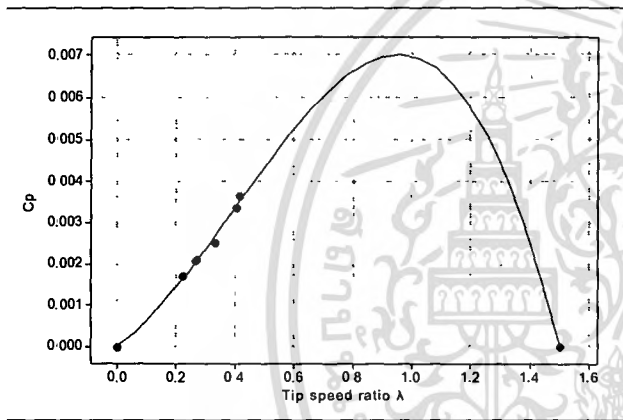
การคำนวณสัมประสิทธิ์แรงบิด $C_m = \frac{T_{blade}}{\frac{1}{2}\rho dAV_t^2}$



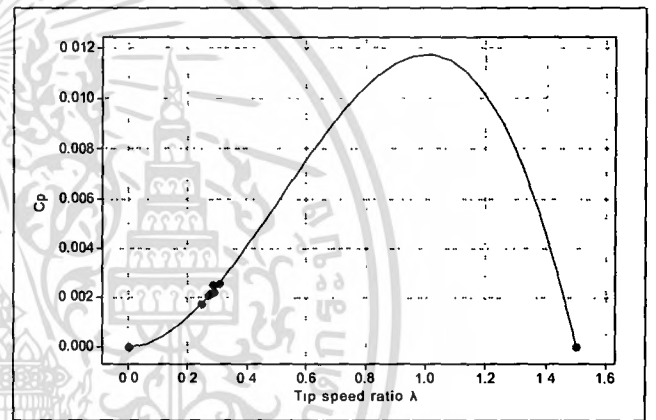
รูป 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลมของชาโวยีสแบบชั้นเดียว



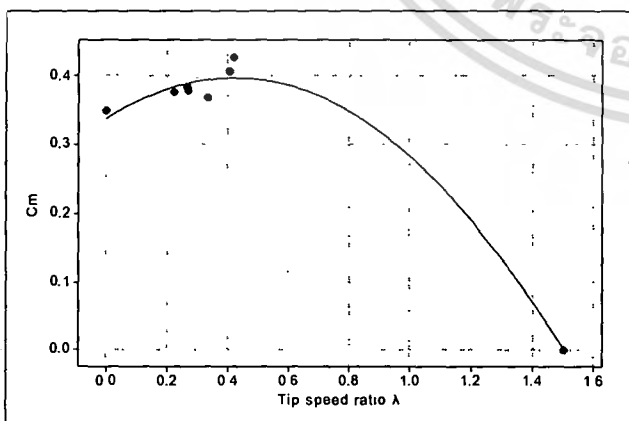
รูป 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลมของชาโวยีสแบบสองชั้น



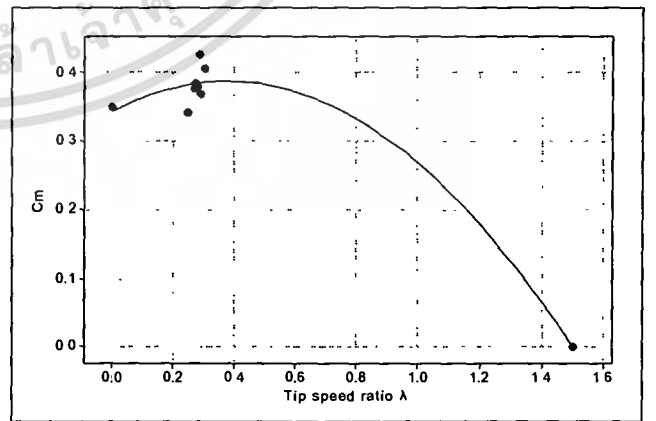
รูป 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับสัมประสิทธิ์ความเร็วของชาโวยีสแบบชั้นเดียว



รูป 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับสัมประสิทธิ์ความเร็วของชาโวยีสแบบสองชั้น



รูป 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงบิดกับสัมประสิทธิ์ความเร็วของชาโวยีสแบบชั้นเดียว



รูป 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงบิดกับสัมประสิทธิ์ความเร็วของชาโวยีสแบบสองชั้น

การทดลองและผลการคำนวณโดยเฉลี่ยของชาโวนีเยสแบบชั้นเดียว

v (m/s)	f (rps)	ω (rad/s)	λ	w (kg)	$T_{blade}(N.m)$	$P_{blade}(W)$	$P_{wind}(W)$	C_p	C_m
3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.5	0.6742	4.2340	0.2208	0.03	0.00110	0.0047	2.7347	0.00171	0.37666
4.0	0.9138	5.7387	0.2618	0.04	0.00147	0.0084	4.0822	0.00207	0.38450
4.5	1.0530	6.6128	0.2682	0.05	0.00184	0.0122	5.8123	0.00209	0.37976
5.0	1.4392	9.0382	0.3299	0.06	0.00221	0.0199	7.9730	0.00250	0.36912
5.5	1.9363	12.1600	0.4035	0.08	0.00294	0.0358	10.6120	0.00337	0.40675
6.0	2.1750	13.6590	0.4155	0.10	0.00368	0.0502	13.7773	0.00365	0.42722

การทดลองและผลการคำนวณโดยเฉลี่ยของชาโวนีเยสแบบสองชั้น

v (m/s)	f (rps)	ω (rad/s)	λ	w (kg)	$T_{blade}(N.m)$	$P_{blade}(W)$	$P_{wind}(W)$	C_p	C_m
3.0	0.6466	4.0606	0.2470	0.02	0.00074	0.0030	1.7222	0.00173	0.34178
3.5	0.8134	5.1082	0.2664	0.03	0.00110	0.0056	2.7347	0.00206	0.37666
4.0	0.9417	5.9139	0.2698	0.04	0.00147	0.0087	4.0822	0.00213	0.38450
4.5	1.0841	6.8081	0.2761	0.05	0.00184	0.0125	5.8123	0.00215	0.37976
5.0	1.2533	7.8707	0.2873	0.06	0.00221	0.0174	7.9730	0.00218	0.36912
5.5	1.4505	9.1091	0.3023	0.08	0.00294	0.0268	10.6120	0.00253	0.40675
6.0	1.4851	9.3264	0.2837	0.10	0.00368	0.0343	13.7773	0.00249	0.42722

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่ากังหันลมแนวแกนตั้งแบบชั้นเดียว และแบบสองชั้นมีความแตกต่างกันคือ

1. กังหันลมแบบชั้นเดียวเริ่มหมุนได้ที่ความเร็ว 3.5 m/s ซึ่งกังหันลมแบบสองชั้นสามารถเริ่มต้นการหมุนได้ที่ความเร็วลม 3 m/s
2. เมื่อเพิ่มความเร็วลมที่ 5 m/s ขึ้นไป พบว่ากังหันลมแบบชั้นเดียว สามารถทำค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วต่อความเร็วลมได้มากกว่ากังหันแบบสองชั้น
3. ที่ความเร็วลมมากกว่า 5 m/s กังหันลมแบบชั้นเดียวให้ค่าประสิทธิภาพกำลังได้มากกว่ากังหันลมแบบสองชั้น

จากการเปรียบเทียบกังหันลมชาโวนีเยสแบบชั้นเดียวและแบบสองชั้น สรุปได้ว่ากังหันลมแบบสองชั้นจะเริ่มหมุนได้ดีกว่ากังหันลมแบบชั้นเดียว แต่ค่าประสิทธิภาพกำลังของกังหันลมแบบสองชั้นน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมแบบชั้นเดียว เห็นได้ว่ากังหันลมแบบสองชั้นอาจจะตั้งในประเทศไทยได้ในบางพื้นที่ เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานลมต่ำ ที่ประมาณ 3 m/s ที่ความสูง 30 m. [5]

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2546) พลังงานลม.
- [2] Joselin Herbert, G.M., Iniyan, S., et al, "A Review of Wind Energy Technology," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 11, pp 1117-45, 2007
- [3] M.M.El-Wakil. Powerplant Technology. 1984
- [4] Blackwell BB and Sheldahl R and Feltz LV. Wind Tunnel Performance Data for Two and Three Bucket Savonius Rotor. Journal of Energy 1978.
- [5] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย บริษัท เฟลโลว์ เอ็นจิเนียร์ส คอนซัลแตนต์ จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้