

## การออกแบบ พัฒนาและทดสอบแบบจำลองกังหันลมชนิดแกนตั้ง Design, Develop and Test the Model of Vertical Axis Wind Turbine

วิทยา ยงเจริญ ปริญ ปุษย์ไพบูลย์ และ ลัญจกร บางข่า

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

โทร 02-218-6610 โทรสาร 02-252 2889 E-mail [fmewyc@eng.chula.ac.th](mailto:fmewyc@eng.chula.ac.th)<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

จุดประสงค์งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษา ออกแบบ สร้างและทดสอบสมรรถนะของกังหันลมชนิดแกนตั้ง ในช่วงความเร็วลม 3-7 เมตรต่อวินาที ที่เหมาะกับการใช้งานในประเทศไทย เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 25 W แบบจำลองกังหันลมแกนตั้งย่อส่วนลง 2.25 เท่า เพื่อให้สามารถทดสอบสมรรถนะในอุโมงค์ลมที่มีความเร็วลมไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที แบบจำลองกังหันลมแกนตั้งที่สร้างขึ้นใช้แผนอากาศรหัส NACA-0033 มีความยาวคอर्ड 8 เซนติเมตร ลำตัวใบยาว 40 เซนติเมตร รัศมีการหมุน 20 เซนติเมตร จำนวน 4 ใบพัด ในการทดสอบใช้เครื่องวัดรอบการหมุนชนิดใช้แสงวัดความเร็วรอบและใช้ Ponny Brake วัดกำลังงานกล ของกังหันลม การหาสมรรถนะของกังหันลมต้นแบบใช้หลักการของ Buckingham Pi Theorem และ Similitude คำนวณจากกลุ่มไร้มิติของค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน ค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบ และ เรโนลด์นัมเบอร์

จากผลการทดสอบสมรรถนะ พบว่าแบบจำลองกังหันลมแกนตั้งให้สัมประสิทธิ์กำลังงาน ( $C_p$ ) คือ 0.15 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 1.3 เรโนลด์นัมเบอร์ 388056 และ ประสิทธิภาพเชิงกล 80 % เมื่อคำนวณเป็นสมรรถนะของกังหันต้นแบบจะได้กำลังงานทางกล 24.4 วัตต์ อัตราการหมุน 188 รอบต่อวินาที ที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบของกำลังงานทางกล 8 % เนื่องจากแบบจำลองมีความผิดพลาดและมีความผิดในการวัด

### Abstract

The objective of this research is to study design build and test the performance of vertical wind turbine for wind velocity in the range of 3-7 m/s, which is suitable for Thailand, in order to produce electricity with 25 W capacity. The turbine model is scale down to a ratio of 2.25 to test the turbine performance in the exiting wind tunnel having the wind velocity of 30 m/s. This turbine model was built with the airfoil shape type NACA -0033. The cord length is 8 cm. and the height is 40 cm. The turbine has 4 blades with the radius of rotation is 20 cm. In the experiment, the speed is measured by the infrared rpm meter while the brake power is measured by the Ponny Brake. The prototype performance is analyzed by

using Buckingham Pi Theorem and similitude analysis .Three dimensionless groups, power coefficient, tip speed ratio and Reynold number, are considered.

From the experiment, the power coefficient  $C_p$  , the tips peed ratio and Reynold number are 0.15,1.3,388056 and mechanical efficiency 80 % respectively, then the mechanical power of a prototype is 24.4 W at the shaft rotation of 188 rpm when the wind speed is 7 m/s. The error of power between the design and the experiment is 8 % due to friction and measurement error.

**Keywords:** Wind Turbine, Performance, Model, Prototype

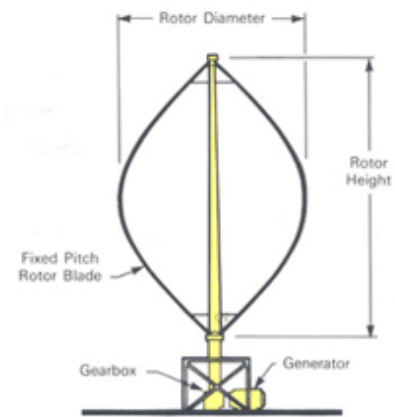
## 1. คำนำ

พลังงานฟอสซิลเริ่มจะหมดไปและมีราคาแพง อีกทั้งก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน พลังงานไบโอแมส พลังงานไบโอแก๊ส พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม จึงมีบทบาทสำคัญสำหรับเป็นพลังงานทดแทนให้เราได้ใช้ต่อไป กังหันลมจะเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกลที่เพลลาของกังหันซึ่งสามารถนำไปสูบน้ำหรือใช้ในโรงงานกลอื่นๆ เช่นนำไปต่อเข้ากับเจนเนอเรเตอร์เพื่อผลิตไฟฟ้า ในปัจจุบันกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้กำลัง 1 MW ที่ความเร็วลม 12 m/s

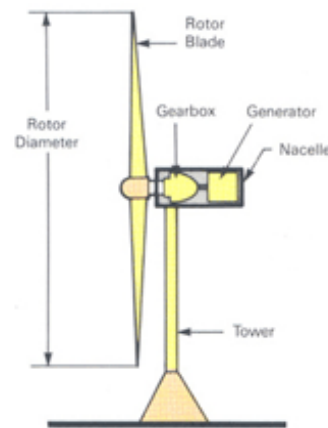
กังหันลม จำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหัน ได้ 2 ประเภท คือ กังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) และ กังหันลมที่มีแกนหมุนใน แนวแกนตั้ง (Vertical Axis Turbine)

1.กังหันลมแนวแกนตั้งแสดงในรูปที่ 1 เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง

2.กังหันลมแนวแกนนอน ดังรูปที่ 2 เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับลม มีหางเสือ เป็นอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหาย ขณะเกิดลมพัดเมื่อมีลมพายุ และตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบ



รูปที่ 1 กังหันลมแนวแกน



รูปที่ 2 กังหันลมแนวแกน

แกนนอน ได้แก่ กังหันวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบเสื่อลำแพน นิยมใช้กับเครื่องสูบน้ำ กังหันลมแบบกังล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบพรอบเพลลเลอร์ (Propeller) เป็นต้น

## 2. จุดประสงค์ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษา ออกแบบ สร้างและทดสอบสมรรถนะของกังหันลมชนิดแกนตั้งในช่วงความเร็วลม 2-7 เมตรต่อที่เหมาะกับการใช้งานในประเทศไทยที่ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 25 W

## 3. กังหันลมที่ใช้ในการทดสอบ

แบบจำลองกังหันลมแกนตั้งย่อส่วนลง 2.25 เท่าเพื่อให้สามารถทดสอบสมรรถนะในอุโมงค์ลมได้ แบบจำลองกังหันลมแกนตั้งที่สร้างขึ้นใช้แพนอากาศรหัส NACA-0033 มีความยาวคอร์ด 8 เซนติเมตร ลำตัวใบยาว 40 เซนติเมตร รัศมีการหมุน 20 เซนติเมตร มุมบิดของใบกังหัน 0 องศาและใบพัดจำนวน 4 ใบ ดังแสดงในรูปที่ 3 และคุณลักษณะแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 3 แบบจำลองกังหันลมแนวแกนตั้ง

## 4. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความเร็วรอบแบบใช้แสงอินฟราเรด รุ่น Digicon DT-250TP
2. เครื่องวัดกำลังงานกล ใช้ แบบ Ponny brake

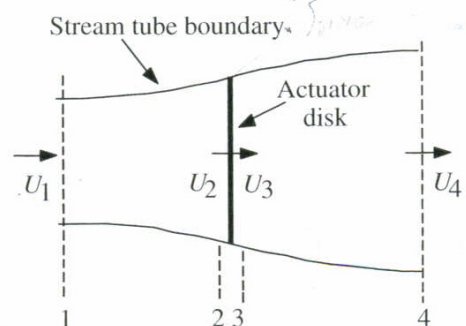
3. อุโมงค์ลมความเร็วต่ำ รุ่น 130 Essom Company Limited ขนาด  $-300 \times 300 \times 1000$  mm. ความเร็วลมสูงสุด 30 mps

ตารางที่ 1 คุณลักษณะแบบจำลองกังหันลมแนวตั้ง

รายการ	แบบจำลอง	ต้นแบบ
ความยาวของใบกังหัน(L),เมตร	0.4	0.9
ความยาวรัศมี(R),เมตร	0.2	0.45
ความยาวคอร์ด(C),เมตร	0.08	0.2
มุมบิดของใบกังหัน( $\beta$ ),องศา	0	0
จำนวนใบ(B), ใบ	4	4

## 5. ทฤษฎีกังหันลม [3]

ทฤษฎีของ Betz ใช้อธิบายพลังงานจากใบพัดกังหันลมอุดมคติ ในการวิเคราะห์นี้ได้กำหนด Control volume ขึ้นมา โดย Control volume นี้มีขอบเขตคือเป็นพื้นผิวของ Stream tube และหน้าตัดขวางทั้งสองของ Stream tube ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดง Control volume ในการคำนวณตามทฤษฎีของ Betz

การไหลของลมจะเกิดขึ้นภายในหน้าตัดขวางส่วนปลายของ Stream tube เท่านั้น กังหันลมจะแสดงเป็น Actuator disk หรือการสร้างความไม่ต่อเนื่องของแรงดันภายใน Stream tube ที่อากาศไหลผ่าน แรงบิดหาได้จากสมการที่ 1

$$T = U_1(\rho AU)_1 - U_4(\rho AU)_4 \quad (1)$$

เมื่อ  $\rho$  คือ ความหนาแน่นอากาศ

A คือ พื้นที่หน้าตัด

U คือ ความเร็วลม

กำลังงานกลหาได้จากสมการที่ 2

$$P = \frac{1}{2} \rho A U_1^3 4a(1-a)^2 \quad (2)$$

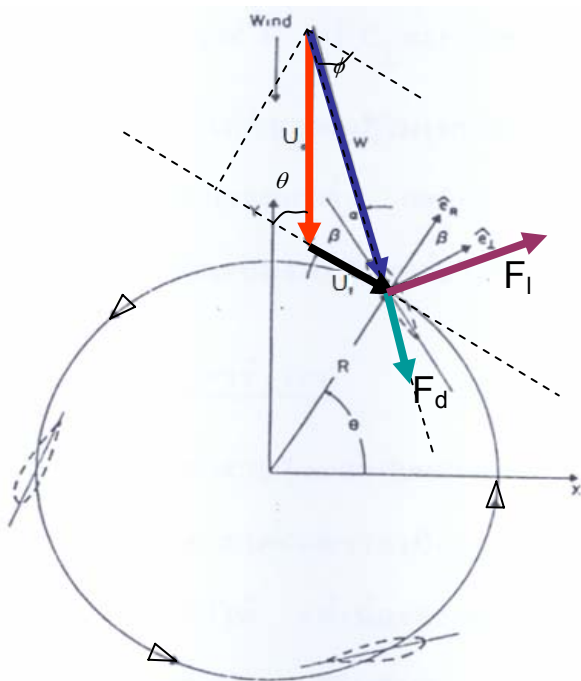
เมื่อ axial induction factor, a

$$a = \frac{U_1 - U_2}{U_1}$$

และสัมประสิทธิ์กำลังงาน  $C_p$

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho U_1^3 A}$$

$C_p$  มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.59 เมื่อ  $a = 1/3$



รูปที่ 5 เวกเตอร์ของความเร็วลมขณะผ่านกังหันลม  
แนวตั้ง

ค่าแรงบิด  $dQ$  ของกังหันลม หาได้จากสมการที่ 4 แรงยก  $F_l$  จากสมการที่ 5 แรงลาก  $F_d$  จากสมการที่ 6 กำลังงาน  $P$  ของกังหันลม หาได้จากสมการที่ 7 และกำลังงานกลที่เพลลาของกังหันลม หาได้จากสมการที่ 8

$$dQ = \frac{RL}{2} \rho BCW [C_l U_a \sin \theta - C_d \{R\Omega + U_a \cos \theta\}] d\theta \quad (4)$$

$$\text{แรงยก } F_l = C_l \rho W^2 LC/2 \quad (5)$$

$$\text{แรงลาก } F_d = C_d \rho W^2 LC/2 \quad (6)$$

$$\text{กำลังงาน } P = \Omega \int_0^{2\pi} dQ \quad (7)$$

$$\text{กำลังงานกลที่เพลลา } P_s = P \eta_m \quad (8)$$

เมื่อ

$U_a$  คือ ความเร็วลมที่กังหัน  $U_a = U_1(1-a)$

$U_t$  คือ ความเร็วของอากาศสัมผัสกับใบพัดที่

หมุนอยู่

W คือ เวกเตอร์ความเร็วลมรวม  $U_a + U_t$

$\alpha$  คือ มุมปะทะ

$\beta$  คือ มุมบิดของใบกังหัน

$\theta$  คือ มุมกวาดของใบกังหัน

B คือ จำนวนใบพัด

$\Omega$  คือ ความเร็วรอบของกังหัน

$C_d$  คือ สัมประสิทธิ์แรงลากขึ้นอยู่กับมุมปะทะ

$C_l$  คือ สัมประสิทธิ์แรงยกขึ้นอยู่กับมุมปะทะ

$\eta_m$  คือ ประสิทธิภาพเชิงกล

จากการออกแบบของต้นแบบกังหันลมที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที จะได้กำลังงานกล 26.5 W ที่ความเร็วรอบ 188 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพเชิงกล 80 %

## 6. Buckingham Pi และ Similitude

ให้กำลังงานกล P ขึ้นอยู่กับตัวแปร 7 ตัว

$$P = f(\rho, \mu, U, D, L, C, \Omega)$$

จาก Buckingham Pi theorem จะได้กลุ่มไร้มิติ 5 กลุ่มคือ

$L/R$  อัตราส่วนความสูงใบกังหัน

$C/R$  อัตราส่วนความยาวคอรัทของแอร์ฟอยล์

$C_p$  สัมประสิทธิ์กำลังงาน

$$\lambda = \Omega R/U \text{ อัตราส่วนความเร็วกังหัน}$$

$$Re = \rho DU/\mu \text{ เรโนลด์นัมเบอร์}$$

$\mu$  = ความหนืดของอากาศ

$$D = 2R \text{ เส้นผ่านศูนย์กลางของกังหัน}$$

จาก Similitude Analysis จะได้ว่า ต้นแบบกังหันลมมีความคล้ายกับแบบจำลองกังหันลม เมื่อกลุ่มไร้มิติทุกตัวมีค่าเท่ากัน

### 7. ผลการทดลอง

กำลังงานกลที่ได้จากการทดลองที่ความเร็วลมระหว่าง 6.75-15.75 m/s แสดงในตารางที่ 2 กลุ่มไร้มิติที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองกังหันลมแสดงในตารางที่ 3 และกำลังงานกลของต้นแบบกังหันลมที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 2 กำลังงานกลของแบบจำลองกังหันลม

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	กำลังทางกล (วัตต์)
6.75	400	7.4
9	550	17.7
11.25	650	34.5
13.5	800	59.6
15.75	900	94.6

ตารางที่ 3 กลุ่มไร้มิติที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองกังหันลม

Cp	Reynold No.	TSR, $\lambda$
$\frac{2P}{\rho U^3 L D \eta_m}$	$\rho DU/\mu$	$R\omega/U$
0.32	166310	1.2
0.14	221746	1.3
0.13	277183	1.2
0.15	332619	1.2
0.15	388056	1.3

ตารางที่ 4 กำลังงานกลของต้นแบบกังหันลมคำนวณจากผลการทดลอง

ความเร็วลม U, เมตรต่อนาที	ความเร็วรอบ N, รอบต่อนาที	กำลังทางกล P, วัตต์
3	79	4.0
4	109	4.1
5	128	7.4
6	158	14.8
7	188	24.4

### 8. สรุปผล

จากผลการทดสอบสมรรถนะ พบว่าแบบจำลองกังหันลมแกนดิ่งให้สัมประสิทธิ์กำลังงาน ( $C_p$ ) คือ 0.15 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 1.3 และ เรโนลด์นัมเบอร์ 388056 และ ประสิทธิภาพเชิงกล 80 % เมื่อคำนวณเป็นสมรรถนะของกังหันต้นแบบจะได้กำลังงานทางกล 24.4 วัตต์ อัตราการหมุน 188 รอบต่อนาที ที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที เมื่อเทียบกับการคำนวณตามสมการที่ 8 จะได้กำลังงานกล 26.5 W โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบของกำลังงานทางกล 8 % เนื่องจากแบบจำลองมีความผิดสูงและมีความผิดในการวัด เพราะค่าที่อ่านได้มีการแกว่ง

### 9. บรรณานุกรม

- [1] สมยศ ชิตมงคล. กังหันลมแกนดิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530
- [2] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. อากาศพลศาสตร์กังหันลมแนวดิ่ง. วารสารวิชาการวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2532
- [3] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. กลศาสตร์ของไหล. จำนวน 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

