

การออกแบบและสร้างกังหันลมความเร็วรอบต่ำ



นายสุหจัน วัฒนวิเชียร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


พ.ศ. 2529

ISBN 974-566-750-1

013605

1 180046๕๕

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LOW SPEED WINDMILL



SUPOTH WATTANAVICHEAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1986

Thesis Title . The Design and Construction of A Low Speed Windmill

By Mr. Supoth Wattanavichean

Department Mechanical Engineering

Thesis Advisor Professor Variddhi Ungbhakorn, Ph.D



Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

.....*S. Rhie IL*.....

Associate Professor Sorachai Bhisalbutra, Ph.D

Acting Associate Dean for Academic Affairs

for

Acting Dean of the Graduate School

Thesis Committee

.....*Tavee Lertpanyavit*.....Chairman

(Assistant Prof. Tavee Lertpanyavit, Ph.D)

.....*Variddhi Ungbhakorn*.....Member

(Prof. Variddhi Ungbhakorn, Ph.D)

.....*Damrongsak Malila*.....Member

(Associate Prof. Damrongsak Malila)

.....*Bundit Fungtammasan*.....Member

(Bundit Fungtammasan, Ph.D)

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างกังหันลมความเร็วรอบต่ำ
 ชื่อนักศึกษา นาย สุพจน์ วัฒนวิเชียร
 อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.วรัทธี อึ้งภากรณ์
 ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา 2528



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาถึงสมรรถนะของกังหันลมแบบแกนแนวระดับความเร็วรอบต่ำ ขนาดเล็กเพื่อประยุกต์ไปใช้ในงานสูบน้ำเพื่อการเกษตรในท้องถิ่นชนบท ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ งานที่ความเร็วลมต่ำ โดยในขั้นตอนแรกได้ทำการเลือกลักษณะใบกังหันเป็นแบบ และ airfoil แบบต่างๆรวม 7 ชนิด เพื่อที่จะหาค่าของ C_l , C_d ของแต่ละชนิด โดยเปรียบเทียบกับ airfoil NACA 4418 ซึ่งมีผู้ใช้สร้างตัวใบของกังหัน การทดลองนี้ได้กระทำใน low speed windmill tunnel มีค่า Reynolds Number มีค่าระหว่าง 60,000 - 80,000 และนอกจากนี้เพื่อศึกษาถึงลักษณะการไหลของอากาศเมื่อผ่าน airfoil แต่ละชนิดได้มีการกระทำ flow visualization โดยใช้ smoke wind tunnel และ water channel

จากผลการทดลองที่ได้รับกับการพิจารณาถึงความยากง่ายในการสร้างตัวใบของ กังหันลมแล้วได้เลือก airfoil แบบ arched plate ชนิดที่มีแกนอยู่ที่กึ่งกลาง ของ chord และมีช่องว่างระหว่างตัวใบและแกน เพราะสามารถให้อัตราส่วนของ L/D สูงกว่า airfoil แบบอื่นๆ เพื่อใช้สร้างใบของกังหันลมแบบจำลองของตัว กังหันลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25 ม. มีจำนวนใบเท่ากับ 8 ใบ ได้ถูกสร้างขึ้น โดยที่มุมบิดของใบได้รับการคำนวณทางทฤษฎี โดยอาศัยผลการทดลองในอุโมงค์ลมเป็นข้อมูล ที่นำไปใช้ในสมการทางทฤษฎี

จากผลการทดลองกังหันลมที่สร้างขึ้นพอสรุปได้ว่า

สำหรับการออกแบบกังหันลมชนิดความเร็วรอบต่ำแล้ว การสร้างใบกังหันลมโดยใช้ simple airfoil เช่นพวก arched plate airfoil ก็ยังสามารถที่จะ ให้ประสิทธิภาพที่ดีได้

ค่าสูงสุดของ C_p มีค่าประมาณ 16% ที่ความเร็วปลายใบ 2.0 ~ 2.2 ที่ ความเร็วลม 2.4 ม./วินาที ถ้าแนวราคาที่ได้รับจากทางทฤษฎี จะแตกต่างกับค่าทางปฏิบัติ

บ้างก็ตาม แต่สามารถที่จะเห็นความสอดคล้องทางทฤษฎีกับทางปฏิบัติได้เป็นอย่างดี
จากจำนวนใบที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมแบบ multiblade แล้วย่อม
จะสามารถลด cost ในการสร้างตัวกังหันลมและ tower ของกังหันลมลงได้.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title The Design and Construction of A Low Speed Windmill
Name Mr. Supoth Wattanavichean
Thesis Advisor Professor Variddhi Ungbhakorn, Ph.D
Department Mechanical Engineering
Academic Year 1985



Abstract

The performance of a horizontal-axis, low speed and small size windmill for pumping water in rural areas with low wind velocities was studied. 7 types of a simple airfoil section were chosen. The aerodynamic characteristic experiment was performed in a low speed wind tunnel to obtain the values of C_l and C_d of each type of airfoil at low Reynolds numbers about 60,000-80,000 and the results were compared with the airfoil NACA 4418. In order to see the flow patterns around the airfoil, flow visualization experiments were carried out in a smoke wind tunnel and a water channel. Considering the simplification of construction and the results of aerodynamic characteristic experiments, an arched plate airfoil with the axis at the center of the chord length and space between the plate and the axis was selected to make windmill blades. A windmill model of 1.25 m in diameter with 8 blades was constructed from the calculating results which employed data from the wind tunnel experiment.

The results of a performance test is as follows.

For a low speed windmill, the simple airfoil like an arched plate airfoil, gives reasonably good efficiency.

The maximum power coefficient was about 16 % at tip speed ratios of 2.0-2.2 when the wind velocity is 2.4 m/s. There occurred some differences between experimental and calculating results. However, they agreed qualitatively well to each other.

Since less number of blades are constructed when compared with the multiblade type windmill, the cost of construction, also both the windmill and the tower, is less.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Acknowledgements



The author would like to express his sincere thanks to Associate Professor Masahiko Miyata and Instructor Masayuki Ogata of Meisei University for their help and comments in wind tunnel experimental works, Professor Variddhi Ungbhakorn of Chulalongkorn University for his helpful advices and encouragement. The author would like to express his hearty thanks to Doctor Yoji Ishida of National Aerospace Laboratory for his valuable advices.

The author extends his sincere thanks to Thai-Asahi Glass company for their support.

The author is deeply indebted to Professor Tsuneyo Ando of Keio University for his variable advices and valuable comments, Professor Takahiko Tanahashi of Keio University for his kind discussions. The author would like to thanks to Assistant Professor Hirofumi Miyamoto of Keio University for his valuable guidances and encouragement in the windmill model experiment, Doctor Tatsuo Sawada of Keio University for his continuing advices and encouragement in many ways, and also greatly indebted to members of technical assistant of Keio University, Jiro Igarashi, Akira Komatsu, Kesao Tamura, Shuji Goto and Masayuki Ebihara for their help and advice in construction of the windmill model.

Finally, the author would like to thank the students of Ando-Tanahashi laboratory, especially doctoral course and master course students for those wonderful

days at Keio University, Mr. Noboru Kitahara for their
kind help and friendship.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Contents



Abstract

Acknowledgements

Nomenclature

Chapter 1.

Introduction.....	1
1.1 Objective	5

Chapter 2.

Fundamental Theory.....	6
2.1 Rankine-Froude Theory	6
2.2 Blade Element Theory	8
2.3 Effect of Drag	11
2.4 Effect of a Finite Number of Blade	11

Chapter 3.

Fundamental of Windmill Characteristics.....	15
3.1 Type of Windmills.....	15
3.2 Power Coefficient.....	16
3.3 Solidity.....	16
3.4 Torque Coefficient.....	18

Chapter 4.

Wind Tunnel Experiment	19
4.1 Aerodynamic Characteristic Experiment..	19
4.2 Type of Models.....	27
4.3 Flow Visualization	38

4.3.1 At high Reynolds Number.....	38
4.3.2 At low Reynolds Number.....	47
4.4 Discussion of Experiment.....	50
Chapter 5.	
Design of Blade	52
5.1 Design Conditions.....	56
5.2 Model Constructions.....	58
Chapter 6.	
Performance Testing of Windmill Model.....	63
6.1 Testing of Windmill Model.....	63
6.2 Experimental Results	66
Chapter 7.	
Discussion and Conclusion.....	81
Appendix A Program List.....	84
Appendix B The Use of Windmills in Thailand	94
Appendix C Wind Tunnel Experimental data and Flow Visualization results.....	97
References	144

Nomenclature

a	: axial interference factor	
A	: area	(L ²)
b	: tangential interference factor	
B	: number of blades	
c	: chord	(L)
CD	: section drag coefficient	
CL	: section lift coefficient	
Cp	: power coefficient	
CQ	: torque coefficient	
Cx	: section force coefficient in x-direction	
Cy	: section force coefficient in y-direction	
d	: diameter	(L)
D	: drag force	(LMT ⁻²)
Fx	: force in x-direction	(LMT ⁻²)
Fy	: force in y-direction	(LMT ⁻²)
L	: lift force	(LMT ⁻²)
m	: mass	(M)
n	: number of revolutions	(T ⁻¹)
p	: pressure	(L ⁻¹ MT ⁻²)
Po	: atmospheric pressure	(L ⁻¹ MT ⁻²)
p'	: pressure immediately behind the rotor	(L ⁻¹ MT ⁻²)
P	: power	(L ² MT ⁻²)
Q	: torque	(L ² MT ⁻²)
r	: radius	(L)

Re :	Reynolds number	
T :	thrust force	($LM T^{-2}$)
u :	axial flow velocity through rotor	(LT^{-1})
u _l :	axial flow velocity in fully developed wake	(LT^{-1})
U :	undisturbed flow velocity	(LT^{-1})
V :	velocity	(LT^{-1})
α :	angle of incidence	
α_0 :	blade angle	
η :	efficiency	
λ :	tip speed ratio	
λ_r :	speed ratio of element at radius r	
ν :	kinematic viscosity	($L^2 T^{-1}$)
ρ :	fluid density	($L^{-3} M$)
σ :	solidity	
Ω :	rotor angle velocity	(T^{-1})
ω :	wake angular velocity	(T^{-1})
ϕ :	angle between undisturbed flow velocity and relative flow velocity to blade element	
ϕ_1 :	angle between plane of rotation and relative flow velocity in the fully develoed wake	
ϕ_2 :	angle between plane of rotation and relative flow velocity in the plane of rotation	