การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้กังหันลมชนิด 2 - 4 ใบ สำหรับใช้ในชนบทที่ห่างไกล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายมานพ ศรีตุลยโชติ

004112

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2524

1700550A

A FEASIBILITY STUDY ON 2 - 4 BLADE WINDMILL TO PRODUCE ELECTRIC POWER FOR REMOTE AREA

Mr. Manop Sritulyachot

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Industrial Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้กังหันลมชนิด 2 – 4 ใบ สำหรับใช้ในชนบทที่ห่างไกล
โดย	นาย มานพ ศรีตุลยโชติ
แผนกวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จรูญ มหิทธาฟองกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ เสถียร วงศ์สารเสริฐ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิตร ตัณฑสุทธิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ เสถียร วงศ์สารเสริฐ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จรูญ มหิทธาฟองกุล)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้กังหันลมชนิด 2 - 4 ใบ สำหรับใช้ในชนบทที่ห่างไกล

ชื่อนิสิต นาย มานพ ศรีตุลยโชติ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จรูญ มหิทธาฟองกุล

แผนกวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2524

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

กังหันลมเป็นเครื่องมือกลอย่างหนึ่ง ซึ่งเปลี่ยนพลังงานจากลมมาใช้เป็นประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ รูปแบบหนึ่งของพลังงานจากกังหันลมก็คือ สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เมื่อมีพลังลมที่เพียงพอ ประเทศไทยเป็นแหล่งที่มีความเร็วลมเฉลี่ยปานกลาง ประมาณ 7 - 14 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ก็มีบริเวณบางจุดที่มีความเร็วลมเพียงพอในการขับกังหันลมสามารถนำพลังงานไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้

การวิจัยนี้เป็นการหาความเป็นไปได้ของกังหันลมที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นพลังงาน สำหรับครอบครัวในชนบทที่ห่างไกล หรือใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานจากแหล่งอื่น ๆ จากการวิจัยนี้พบว่า การใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า มีโอกาสที่จะเป็นไปได้ เมื่อกำหนดขีดจำกัดของการใช้พลังงานให้เหมาะสม และหาจุดคุ้มทุนของกังหันลม เมื่อเทียบกับการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตอื่น ๆ เช่น จากเครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์เบนซิน และไฟฟ้าจากการไฟฟ้าภูมิภาค แสดงผลลัพธ์ออกมาในรูปของกราฟจุดคุ้มทุน พร้อมทั้งวิเคราะห์ความไว หรือการแปรเปลี่ยนของการกำหนดสภาพการใช้งาน เป็นต้นว่า เงินลงทุน, อัตราดอกเบี้ย, ระยะเวลาการใช้งาน ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม และ-

บำรุงรักษา เพื่อให้บุคคลทั่วไปสามารถรับเอาเทคโนโลยีไปใช้งานได้ งานวิจัยนี้จึงได้สร้างต้นแบบหุ่นจำลอง และได้กำหนด แนะนำข้อมูลต่าง ๆ เพื่อสามารถนำไปสร้าง หรือประกอบเองได้ ความเป็นไปได้ของกังหันลมจะมีมากขึ้น ถ้าหากลดต้นทุนของการสร้าง หรือประกอบกังหันลม ด้านค่าใช้จ่ายทางด้านแรงงานลง ตลอดทั้งความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในด้านพลังงานนี้สูงขึ้น ก็จะเป็นผลทำให้การใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นไปได้มากขึ้น

Thesis Title A Feasibility Study on 2 - 4 Blade Windmill to Produce Electric Power For Remote Area

Name Mr. Manop Sritulyachot

Thesis Advisor Assistant Professor Charoon Mahittafongkul

Department Industrial Engineering

Acadamic 1981

ABSTRACT

Windmills function as mechanical devices converting wind power into various forms of energy. Electrification which number among the diversified forms of energy highlights the present academic research effort. The enquiry places emphasis on economic feasibility of power - generating facilifies incorporating two - to - four - blade windmills as alternative to conventional thermal generating appliances. Wind velocities ranging between 7 and 14 kilometres per hour, being meteorologically appropriate to Thailand, have been imposed on the study by which rural areas of the country are expected to benefit.

The methodology draws on comparison of the windmills and their appurtenances to diesel engines, petrol engines, and direct transmission accommodations integrated into the Provincial Electricity Authority's system. The economic analysis is based on the discounted cash - flow approach which takes into account the capital investment costs, discount rates, serviceable spans, overhaul and maintenance costs, and

sensitivity tests. It is inferred from the results of the study that the Windmill alternatives offer fair economic eligibility within a humble range of load.

A power - generating windmill model has been constructed within the compound of the Institute of Technology and Vocational Education at Thewet, Bangkok, pioneering applicability of equipment of such form. It is known that windmills have presently undergone first - rate universal research in the face of the threatening energy crisis. Any technological advancement in this sphere implies a higher degree of economic feasibility perused in the present investigation.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จรูญ มหิทธาฟองกุล ผู้ควบคุมการวิจัย ซึ่งได้ให้คำปรึกษา แนะนำ แก้ไขข้อบกพร่อง และให้กำลังใจ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาที่ได้รับ และขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์เสถียร วงศ์สารเสริฐ และอาจารย์บันเทิง สุวรรณ์ตระกูล ที่ให้ความรู้ เอื้อเฟื้อข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม และขอขอบคุณคณาจารย์ในแผนกเครื่องกล วิทยาลัย-เทคโนโลยี และอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทเวศร์ ที่ให้ยืมเครื่องมือ และคำแนะนำในการทดลองหุ่นจำลองกังหันลม

ผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษา และคณาจารย์ในแผนกช่างเชื่อม และโลหะแผ่น วิทยาลัยเทคโนโลยี และอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทเวศร์ ที่ช่วยสร้างหุ่นจำลองกังหันลม และขอขอบคุณอาจารย์โกเมนทร์ โสภณศิริ ที่ช่วยให้คำแนะนำข้อมูล ตลอดจนร่วมทดลอง ซึ่งทำให้การวิจัยนี้สำเร็จได้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อน ๆ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยเฉพาะอาจารย์สุณิสา วิลัยรักษ์ ที่ช่วยพิมพ์ และตรวจทานวิทยานิพนธ์ จึงขอขอบคุณอีกครั้งหนึ่ง

มานพ ศรีตุลยโชติ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

รายการตารางประกอบ ..... ฌ

รายการรูป และแผนภูมิประกอบ ..... ฒ

รายการสัญญลักษณ์ ..... ด

บทที่ 1. บทนำ 1

ความมุ่งหมายของการศึกษา 4

วัตถุประสงค์ 5

ขอบเขตการศึกษา 5

การดำเนินการศึกษา 6

บทที่ 2. ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานลม 7

พลังงานลม 7

ความเร็วลมบนพื้นที่ 8

ลักษณะทั่วไปของลมภายในประเทศ 11

สรุป 13

บทที่ 3. กังหันลม 14

ชนิดของกังหันลม 14

การออกแบบกังหันลม 20

หน้า

แบบของกังหันลมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน 36
ข้อดีของกังหันลม 43
ขอบเขตของกังหันลม 43
กังหันลมที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า 44

บทที่ 4. การผลิตกระแสไฟฟ้า 48
ส่วนผลิตกระแสไฟฟ้า 49
การเก็บพลังงาน 51
Load 52
ไดอะแกรมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า 55
การประยุกต์กังหันลมด้านผลิตกระแสไฟฟ้า 59

บทที่ 5. การศึกษาหุ่นจำลอง 62
กล่าวนำ 62
หุ่นจำลองของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า 63
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 66
การคำนวณ และวิเคราะห์ผลลัพธ์ 67

บทที่ 6. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ 68
ข้อสมมุติฐาน 68
การกำหนดราคา 69
หุ่นจำลองของราคาค่าใช้จ่ายต่อปี 72
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสิ้นเปลืองต่อปี 72
ค่าใช้จ่ายของการลงทุนจากการไฟฟ้าภูมิภาค 74
การคิดจุดคุ้มทุนที่การบำรุงรักษา และอัตราดอกเบี้ยคงที่ 74
การคิดจุดคุ้มทุนที่ระยะการใช้งาน และอัตราดอกเบี้ยคงที่ 74
การคิดความไวของอัตราดอกเบี้ยของระดับการลงทุนที่ II 75
กำหนดราคาน้ำมันเชื้อเพลิง 75

หน้า

บทที่ 7. สรุปการวิจัย และข้อเสนอแนะ 92
สรุปผลการออกแบบกังหันลม 92
สรุปผลกังหันลมหุ่นจำลอง 95
การวิจัยการผลิตกระแสไฟฟ้า 96
การวิจัยทางเศรษฐศาสตร์ 97
ข้อเสนอแนะ และผลประโยชน์ที่ได้รับ 109

เอกสารอ้างอิง 112

ภาคผนวก ก. ราคาต้นทุนกังหันลม/ไฟฟ้า 115
ราคาต้นทุนของกังหันลมหุ่นจำลอง 116
ราคาต้นทุนของกังหันลมอื่น ๆ 119
ราคาค่าใช้จ่ายการลงทุนด้านไฟฟ้าจากการไฟฟ้าภูมิภาค 133

ภาคผนวก ข. ตัวอย่างผัง ตารางทิศทาง และความเร็วของลม 139
ผังลมประเทศไทย 140
ตารางทิศทาง และความเร็วของลม 148
ตาราง Beaufort 150
ผังแสดงบริเวณความเร็วลม และสถานีที่ตั้ง 152

ภาคผนวก ค. ผลการทดลองจากหุ่นจำลอง 154
ผลการทดสอบกังหันลม 155
ผลการทดสอบอัลเทอเนเตอร์ 156
ลำดับขั้นการทำใบกังหัน 160
ตัวอย่างการสร้างตาราง Break - Even Price 163

หน้า

ภาคผนวก ง. สรุปสถานะภาพการค้นคว้า และพัฒนาพลังงานด้านลม 166
สรุปสถานะภาพการค้นคว้า และพัฒนาพลังงานลม
ของประเทศไทย 167
สรุปผลศักยภาพ และข้อมูลของโครงการด้านกังหันลม 171
กังหันลมที่สร้างทดลองที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
วิทยาเขตธนบุรี 172
สรุปความเหมาะสมในการใช้กังหันลมสูบน้ำ 177
ภาคผนวก จ. แสดงโปรแกรม สำหรับคอมพิวเตอร์ 178
แสดงโปรแกรมคำนวณพลังงาน 180
แสดงโปรแกรมวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์
หาจุดคุ้มทุน และทดสอบความไว 184
ภาคผนวก ฉ. ค่า และหน่วยที่เกี่ยวข้อง 242
ประวัติผู้เขียน 248

รายการตารางประกอบ

ตาราง		หน้า
3.1	พลังงานที่ได้จากกังหันลม	46
3.2	ค่าเฉลี่ยต่อเดือนในการใช้พลังงาน	47
4.1	ความสิ้นเปลืองของไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า	56
6.ก	จำแนกราคากังหันลม เพื่อเปรียบเทียบ	70
6.ข	จำแนกราคาเครื่องยนต์	71
6.1	Investment Level I	75
6.2	Investment Level II	77
6.3	Investment Level III	79
6.4	ค่าใช้จ่ายการลงทุนของเครื่องยนต์ดีเซล	81
6.5	ค่าใช้จ่ายการลงทุนของเครื่องยนต์เบนซิน	83
6.6	Diesel Break - even Price i = 15%, M II	85
6.7	Petrol Break - even Price i = 15%, M II	86
6.8	Electrical Break - even Price i = 15%	87
6.9	Diesel Break - even Price i = 15%, Life II	88
6.10	Petrol Break - even Price i = 15%, Life II	89
6.11	Electric Break - even Price i = 15%	90
6.12	Sensitivity Test on Interest	91
ก.2.1	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการศึกษา และทดลองกังหันลม	119
ก.2.2	ราคาประเมินกังหันลมแบบ MOD - I ในวิธีการออมน้ำมัน	121
ก.2.3	ราคาประเมินกังหันลมแบบ MOD - I ในวิธีการออมน้ำ	123

ตาราง หน้า

ก.2.4 ราคาประเมินกังหันลมแบบ Advanced Design โดยมีกังหันแก๊สช่วย . 125
ก.2.5 ราคาประเมินกังหันลมแบบ Advanced Design
โดยมี Combine Cycle back-up 126
ก.2.6 ราคาประเมินกังหันลมแบบ MOD - I ในวิธีการกักเก็บ
อากาศภายใต้ความดัน 127
ก.2.7 ขนาดของกังหันลม สำหรับสูบน้ำ โรงงานอุสา อุตสาหกรรม 129
ก.2.8 ราคาของกังหันลม สำหรับสูบน้ำ 130
ก.2.9 ราคาของกังหันลมชนิดต่าง ๆ 132
ข.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ หรือความถี่ลมจากผัง 141
ข.2 ทิศทาง และความเร็วลมเฉลี่ยตลอดเดือน ในคาบ 25 ปี 148
ข.3 ทิศทาง และความเร็วลมสูงสุดแต่ละเดือน ในคาบ 25 ปี 149
ข.4 Beaufort Scale 150
ค.1 แสดงผลการทดสอบกังหันลม 155
ค.2 ผลการทดสอบอัลเทอเนเตอร์ 156
ง.1 แสดงผลการทดลองกังหันลมซาโวเนียส สจธ. 173

รายการรูป และแผนภูมิประกอบ

รูป และแผนภูมิ		หน้า
2.1	ผังแสดงความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น vs. ความสูง	12
3.1	กังหันลมชนิดต่าง ๆ	16
3.2	ผังแสดงเส้นผ่านศูนย์กลาง vs. พื้นที่กวาดของกังหันลม	24
3.3	สัมประสิทธิ์ของกำลังงาน	25
3.4	สัมประสิทธิ์ของแรงบิดเพลา	27
3.5	สัมประสิทธิ์ของแรงกระทำในทิศทางของลม	28
3.6	Solidity	28
3.7	Solidity	29
3.8	Power factor	31
3.9	ประสิทธิภาพของกังหันลมแต่ละชนิด	32
3.10	ประสิทธิภาพของกังหันลมชนิด 2 และ 1 ใบ	33
3.11	ประสิทธิภาพของกังหันลมชนิด 3 ใบ	34
3.12	อัตราการให้พลังงาน vs. ความสูงของกังหันลมชนิดแกนเพลาขับอยู่ในแนวนอน	35
3.13	กังหันลมใบผ้า	37
3.14	กังหันลมใบพัดทำด้วยไม้	38
3.15	กังหันลมแบบหลายใบ	41
3.16	กังหันลมแบบคานกระดก สำหรับสูบน้ำ	42
4.1	แสดงหลักการทำงานของเยเนอเรเตอร์	49
4.2	แสดงไดอะแกรม สำหรับการผลิตไฟฟ้าของกังหันลม	55
4.3	ตัวอย่างการเก็บพลังงานลม	59

รูป และแผนภูมิ หน้า

7.1 การพิจารณาด้านพลังลม 94

7.2 กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของกังหันลม และเครื่องยนต์ดีเซล
โดยกำหนดค่าอัตราดอกเบี้ย และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาคงที่ 98

7.3 กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของกังหันลม และเครื่องยนต์เบนซิน
โดยกำหนดค่าอัตราดอกเบี้ย และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาคงที่ 102

7.4 กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของกังหันลม และค่าใช้จ่ายจากไฟฟ้าภูมิภาค
โดยกำหนดค่าอัตราดอกเบี้ย และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาคงที่ 103

7.5 กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของกังหันลม และเครื่องยนต์ดีเซล
โดยกำหนดค่าอัตราดอกเบี้ย และอายุใช้งานคงที่ 104

7.6 กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของกังหันลม และเครื่องยนต์เบนซิน
โดยกำหนดค่าอัตราดอกเบี้ย และอายุใช้งานคงที่ 105

7.7 กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของกังหันลม และค่าใช้จ่ายจากไฟฟ้าภูมิภาค
โดยกำหนดค่าอัตราดอกเบี้ย และอายุใช้งานคงที่ 106

7.8 กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของกังหันลม และพลังงานอื่น ๆ
โดยคิดอัตราดอกเบี้ยต่าง ๆ กำหนดให้อายุใช้งาน
และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาคงที่ 107

ข.1 แสดงบริเวณที่มีความเร็วลมเฉลี่ยดี 152

ข.2 แสดงที่ตั้งสถานี และความเร็วลมเฉลี่ย 153

ค.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ
และ Output ของอัลเทอเนเตอร์ 157

ค.2 ทดสอบ Output โดยการเปลี่ยนรอบจุดต่าง 158

ค.3 ควบคุม และดูแลกระแสที่ Field 159

ค.4 อ่านค่าลักษณะของกระแสที่ได้ 159

รายการสัญญลักษณ์

A	พื้นที่กวาดของกังหันลม (Swept area)
A_P	พื้นที่ฉายด้านข้างของกังหัน ชนิดแกนหมุนในแนวระดับ
C_A	สัมประสิทธิ์ของแรงกระทำในทิศทางของลม (Axial force coefficient)
C_D	สัมประสิทธิ์ของแรงฉุด (Drag coefficient)
C_L	สัมประสิทธิ์ของแรงยก (Lift coefficient)
C_M	สัมประสิทธิ์ของแรงบิดเพลา (Torque coefficient)
C_P	สัมประสิทธิ์ของกำลังงาน (Power coefficient)
D	แรงฉุด (Drag)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของใบกังหัน
F	แรงกระทำ
F_A	แรงกระทำในทิศทางของลม
L	แรงยก (Lift)
M	แรงบิดเพลา (Torque)
N	ความเร็วรอบมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที
n	ความเร็วรอบมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที
P	กำลังงาน
R	รัศมีภายนอกของใบกังหัน
U	ความเร็วปลายใบกังหัน (Tip Speed)
V	ความเร็วลม (Wind Velocity)
W	ความเร็วสัมพัทธ์ของลมเทียบกับใบกังหัน (Relative velocity)
α	มุมปะทะ (Angle of incidence)
θ	มุมของใบกังหัน (Blade angle)

λ	อัตราส่วนความเร็วปลายใบ
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ
δ	Solidity
A_{CE}	Annual cost of conventional Engine
A_{WM}	Annual cost of Wind mill
CE	Conventional Engine
E	Energy (wh or Kwh)
F	Annuity factor
g	Gravitional constant (9.81 m/s^2)
H	pumping head
I_{CE}	Investment of conventional engine
I_{WH}	Investment of windmill
i	rate of interest
n , L	number of years lifetime
M	Maintenance
P	Power (W)
W_d	Windspeed duration (hours)
W_M	Wind mill
η	Efficiency
η^P	Efficiency of Transmission