

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบกังหันลมแบบซาโวเนียสสำหรับลมความเร็วต่ำ

A DESIGN FOR LOW-SPEED SAVONIUS WIND TURBINE



นายพดล สุกแสงปัญญา
นายประเสริฐ อมรัตน์เสรีกุล

2017
2569ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....72167
วัน,เดือน,ปี.....1.1 ส.ย. 2550

b.....117 64260
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบกังหันลมแบบซาโวเนียสสำหรับลมความเร็วต่ำ
A DESIGN FOR LOW-SPEED SAVONIUS WIND TURBINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A DESIGN FOR LOW-SPEED SAVONIUS WIND TURBINE

NOBPHADON SUKSANGPANYA
PRASERT AMONRATTANASAREKUN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACILITY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบกังหันลมแบบซาโวเนียสสำหรับลมความเร็วต่ำ

A DESIGN FOR LOW-SPEED SAVONIUS WIND TURBINE

คณะผู้จัดทำ

1. นายพนพล สุกแสงปัญญา

รหัสประจำตัว 46010331

2. นายประเสริฐ อมรรัตนเสรีกุล

รหัสประจำตัว 46010420



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบกังหันลมแบบชาโวนีตสำหรับความเร็วลมต่ำ

นายนพดล สุกแสงปัญญา 46010331
 นายประเสริฐ อมรัตน์เสรีกุล 46010420
 อาจารย์สยาม สงวนรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

กังหันลมแบบชาโวนีตเป็นกังหันลมแนวตั้งสำหรับลมความเร็วต่ำ กังหันลมชนิดนี้มีข้อดีคือ ไม่เพียงเป็นกังหันลมที่สร้างง่าย แต่ยังเป็นกังหันลมที่มีประสิทธิภาพสูง จากการออกแบบและทดลองในอุโมงค์ลมอย่างง่าย พบว่าให้ประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 31 ที่อัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลมประมาณ 1



VERTICAL AXIS SAVONIUS WIND TURBINE FOR LOW WIND SPEED AREA

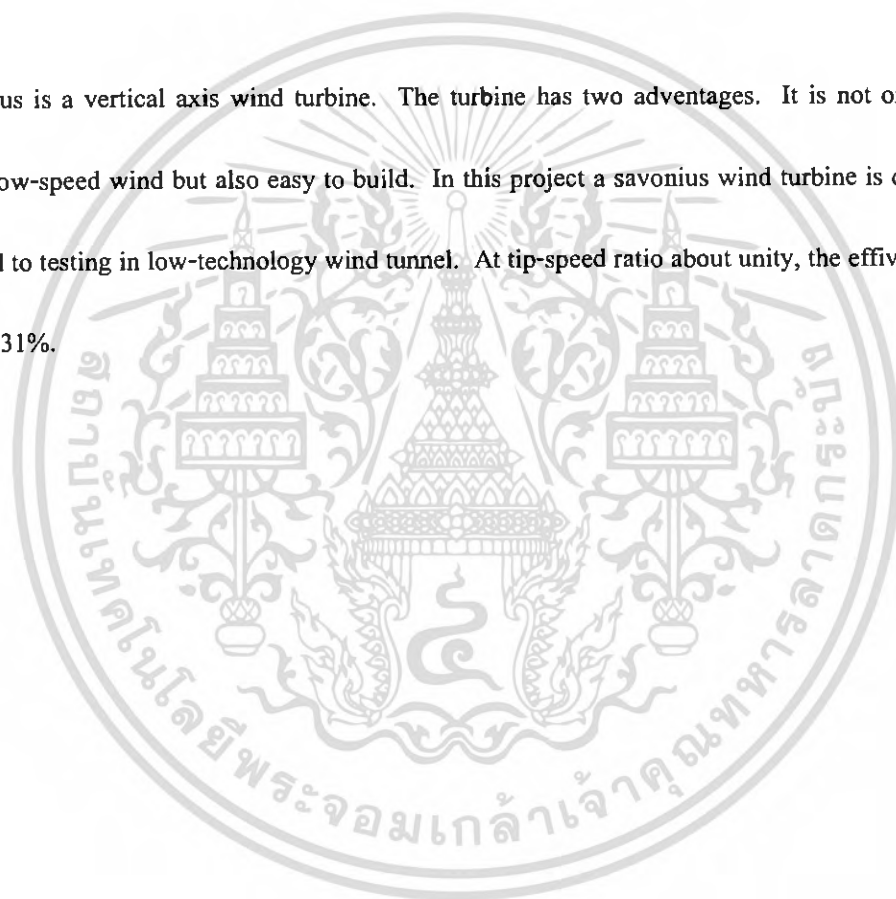
NOBPHADON SUKSANGPANYA

PRASERT AMONRATTANASAREKUN

SAYAM SAGUANRUM Adviser

Abstract

Savonius is a vertical axis wind turbine. The turbine has two advantages. It is not only high efficiency for low-speed wind but also easy to build. In this project a savonius wind turbine is designed and constructed to testing in low-technology wind tunnel. At tip-speed ratio about unity, the efficiency of the savonius is 31%.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์สยาม สวงรัมย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้แนวความคิดและคำแนะนำต่าง ๆ ในการดำเนินงานเป็นอย่างดี ทั้งในด้านข้อมูลและการแก้ปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการจนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุก ๆ ท่านที่คอยชี้แนะ และอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ระหว่างทำโครงการ ขอขอบพระคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตและกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานที่ให้ความช่วยเหลือในการสืบค้นหาข้อมูล นอกจากนี้ต้องขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา และคอยเป็นกำลังใจ ตลอดจนช่วยเหลือด้านอื่น ๆ ทั้งนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงอีกครั้งหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV-VI
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII-X
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของ โครงการงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของ โครงการงาน	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาก โครงการงาน	3
บทที่ 2 ลม	5
2.1 ทฤษฎีการเกิดลม	5
2.1.1 การเกิดลมในลักษณะทั่วทั้งโลก	5
2.1.2 การเกิดลมในลักษณะเฉพาะที่	6
2.1.2.1 เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำ	6
2.1.2.2 สามารถเกิดจากความลาดชันของเชิงเขาหรือภูเขา	6
บทที่ 3 กังหันลม	7
3.1 ลักษณะทั่วไปของกังหันลม	7
3.2 ประสิทธิภาพของกังหันลม	7
3.3 การจำแนกกังหันลม	8
3.3.1 ตามลักษณะการวางตัวของแกนการหมุน	8
3.3.1.1 กังหันลมแนวนอน	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 กังหันลม (ต่อ)	
3.3.1.2 กังหันลมแนวตั้ง	9
3.3.2 ตามลักษณะแรงขับเคลื่อนที่กระแสมกระทำต่อใบพัด	11
3.3.2.1 ขับด้วยแรงยกตัว	11
3.3.2.2 ขับด้วยแรงดูด	11
3.4 ส่วนประกอบของกังหันลม	11
3.4.1 ใบกังหันลม	11
3.4.2 ชุดควบคุม	12
3.4.3 ชุดเฟือง	12
3.4.4 เสา	12
3.4.5 เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า	13
3.5 กังหันลมแบบซาโวนีเยส	13
บทที่ 4 พลังงานลมในประเทศไทย	15
4.1 ศักยภาพพลังงานลม	15
4.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานลม	16
บทที่ 5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	20
5.1 ทฤษฎีพลังงานจลน์	20
5.2 ทฤษฎีกำลังลม	20
5.3 ทฤษฎีกำลังใบพัด	21
5.4 การคำนวณความเสียหายบนเพลาคานหมุน	24
5.5 การคำนวณสถักเกลียวบริเวณค้ำบนและล่างของใบพัด	30
5.6 การคำนวณอายุการใช้งานของเบริง	34
บทที่ 6 วัสดุและอุปกรณ์	38
6.1 แบบจำลองกังหันลม	38
6.2 เครื่องวัดความเร็วลม	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 วัสดุและอุปกรณ์ (ต่อ)	
6.3 ชุดเครื่องมือวัดแรงบิด	41
6.4 เครื่องวัดความเร็วรอบ	42
6.5 อุโมงค์ลม	42
6.6 แหล่งกำเนิดลม	43
บทที่ 7 การทดลอง	44
7.1 วิธีการทดลอง	44
7.2 ผลการทดลอง	44
บทที่ 8 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	55
8.1 สรุปผลการทดลอง	55
8.2 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	57

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน	4
4.1	ความเร็วลมเฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคมที่ความสูง 30 เมตร	18
4.2	ช่วงระยะเวลาของความเร็วลมใน 1 ปีที่ความสูง 30 เมตร	19
5.1	แสดงคุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตัด	34
5.2	ตัวประกอบ X , Y สำหรับบอลเบริง	36
7.1	ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 1	44
7.2	ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 2	45
7.3	ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 3	45
7.4	ผลการทดลองและผลการคำนวณโดยเฉลี่ย	45



สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	แสดงการเกิดลมทั่วทั้งโลก	6
2.2	การเกิดลมบริเวณฝั่งทะเลเวลากลางวัน	6
2.3	การเกิดลมบริเวณฝั่งทะเลเวลากลางคืน	6
2.4	การเกิดลมบริเวณหุบเขาเวลากลางวัน	6
2.5	การเกิดลมบริเวณหุบเขาเวลากลางคืน	6
3.1	ประสิทธิภาพของกังหันลมชนิดต่าง ๆ	8
3.2	กังหันลมแบบแนวนอน	9
3.3	กังหันลมแบบแนวตั้ง	10
3.4	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกังหันลม	12
3.5	ลักษณะการวางตัวของใบพัดแบบตัวเอส	13
3.6	ลักษณะการหมุนของใบพัดแบบชาวโรเนียด	14
4.1	แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยช่วงลมสงบเฉลี่ยตลอดทั้งปี	15
4.2	แผนที่ศักยภาพพลังงานลมพิจารณาความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่สภาวะลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร พร้อมแถบสีแจกแจงค่าความเร็วและกำลังของลม	16
4.3	แผนที่ศักยภาพพลังงานลมพิจารณาความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเดือนต่าง ๆ ที่สภาวะลมสงบในเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร	17
4.4	กราฟเส้นแสดงความเร็วลมเฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคมที่ความสูง 30 เมตร	18
4.5	กราฟวงกลมแสดงระยะเวลาของความเร็วลมใน 1 ปี ที่ความสูง 30 เมตร	19
5.1	แสดงความยาวของพื้นที่หน้าตัดใบพัด	21
5.2	แสดงความเร็วลมที่เคลื่อนผ่านใบพัด	22
5.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังและอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด	23
5.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์และอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดเมื่อใบพัดมีระยะคร่อม 0.19	23
5.5	ภาพการกระจายแรงบิดที่เกิดขึ้นบนเพลากลางหมุน	24
5.6	แผนภาพวัตถุอิสระในช่วง AB	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
5.7	แผนภาพวัตตอิสระในช่วง AC	25
5.8	แผนภาพวัตตอิสระในช่วง AD	26
5.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความยาวของเพลลาแกนหมุน	27
5.10	แสดงเวกเตอร์การกระจายความเค้นเฉือนสูงสุดบนทรงกระบอกกลาง	27
5.11	กราฟตัวประกอบของผิวสำเร็จสำหรับเหล็กกล้า	29
5.12	ภาพแสดงบริเวณด้านบนและล่างของใบพัด	31
5.13	โมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางบริเวณด้านบนและล่างใบพัด	32
5.14	แผนภาพวัตตอิสระเมื่อพิจารณาแรงที่กระทำต่อแบร็ง	35
5.15	แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของแบร็ง	35
6.1	ขนาดใบพัดของแบบจำลองกังหันลม	38
6.2	แยกชิ้นส่วนอุปกรณ์แบบจำลอง	39
6.3	การประกอบส่วนของใบพัด	39
6.4	ประกอบใบพัด โดยมีระยะคร่อม 0.19	40
6.5	ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมด	40
6.6	เครื่องวัดความเร็วลม	40
6.7	ดาซิ่งสปริง	41
6.8	ชุดเครื่องมือวัดแรงบิด	41
6.9	วิธีวัดแรงบิด	41
6.10	เครื่องวัดความเร็วรอบ	42
6.11	คู่มือกล้องและแหล่งกำเนิดลม	42
6.12	พัดลมที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดลม	43
7.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบพัดกับความเร็วลม	46
7.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดกับความเร็วลม	47
7.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระของใบพัดกับความเร็วลม	47
7.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของใบพัดและความเร็วลม	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า	
7.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลม	48
7.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมกับความเร็วลม	49
7.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังของใบพัดกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด	49
7.8	กราฟแสดงแนวโน้มสัมประสิทธิ์กำลังของใบพัดกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด	50
7.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์เมื่อใบพัดมีระบะคร่อม 0.19 ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังของใบพัดและอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด, λ	51
7.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลมทางทฤษฎี เมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$ และ $C_p = 0.3098$	51
7.11	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองและทฤษฎีของกำลังใบพัดกับความเร็วลมเมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$ และ $C_p = 0.3098$	52
7.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมและความเร็วลมเมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ และ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$	53
7.13	กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังใบพัดและกำลังลมเทียบกับความเร็วลมเมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$ และ $C_p = 0.3098$	54

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด (Cross section area)	m^2
C_p	สัมประสิทธิ์กำลัง (Power coefficient)	-
C_g	สัมประสิทธิ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator coefficient)	-
C_d	สัมประสิทธิ์แรงต้าน (Drag coefficient)	-
C_i	รัศมีวงในของเพลาแกนหมุน (Inner radius of rotation shaft)	m
C_o	รัศมีวงนอกของเพลาแกนหมุน (Outer radius of rotation shaft)	m
C_0	แรงสถิตประเมิน (Basic static load rating)	kN
C	แรงพลวัตประเมิน (Basic dynamic load rating)	kN
c	ระยะรัศมีใด ๆ ของเพลาแกนหมุน (Radius of rotation shaft)	m
CG	จุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity)	-
d	เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Blade diameter)	m
D	เส้นผ่านศูนย์กลางการหมุน (Rotation diameter)	m
D_d	ระยะที่แรงต้านกระทำ (Drag length)	m
F_n	แรงที่กระทำบนสลักเกลียว (Force on bolt)	N
F_a	แรงตามแนวแกน (Axial load)	N
F_r	แรงตามแนวรัศมี (Radial load)	N
F_e	แรงสมมูล (Equivalent radial load)	N
F_d	แรงต้าน (Drag force)	N
h	ความสูงของใบพัด (Blade height)	m
I_a	กระแสไฟฟ้า (Current)	A
J	โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (Polar moment of inertia)	m^4
k_a	ตัวประกอบผิว (Surface factor)	-
k_b	ตัวประกอบขนาด (Size factor)	-
k_c	ตัวประกอบภาระ (Load factor)	-

คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
K_{fs}	ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นเฉือนจริง (Actual shear stress concentration factor)	-
K_t	ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นเชิงทฤษฎี (Theoretical stress concentration factor)	-
KE_{wind}	พลังงานจลน์จากลม (Kinetic energy of wind)	J
L	ความยาวเพลลาแกนหมุน (Shaft length)	m
L_1	ความยาวเพลลาแกนหมุนจากจุด A ถึง B (Shaft length AB)	m
L_2	ความยาวเพลลาแกนหมุนจากจุด A ถึง C (Shaft length BC)	m
L_{10}	อายุประเมิน (Rating life)	rev
l	ความยาว (Length)	m
M_b	โมเมนต์รอบเพลลาหมุนของใบพัด (Moment about blade rotor)	N·m
M_G	โมเมนต์รอบจุด G (Moment at G)	N·m
m	มวล (Mass)	kg
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate)	kg / s
\dot{m}_{av}	อัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ย (Average mass flow rate)	kg / s
n	ตัวประกอบความปลอดภัย (Safety factor)	-
N	จำนวนใบพัดของกังหันลม (Number of wind turbine)	-
OD	เส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกของแบร์ริง (Outside diameter of the bearing)	m
P_{blade}	กำลังใบพัด (Blade power)	W
P_{wind}	กำลังลม (Wind power)	W
P_{rotor}	กำลังของเพลลาหมุน (Rotor power)	W
P_{gen}	กำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator power)	W
p	ความดันบรรยากาศ (Atmosphere pressure)	N / m ²
q	ความไวของรอยเจาะ (Notch sensitivity)	-
R	ค่าคงที่ของแก๊สของอากาศ (Gas constant of air)	J / kg·K

คำอธิบายสัญลักษณ์และทำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Re	เลขเรย์โนลด์ส (Reynolds number)	-
r_n	รัศมีที่วัดจากแกนการหมุน (Radius of rotation)	m
S	ระยะคร่อมของใบพัด (Blade overlap)	m
T	อุณหภูมิของอากาศ (Air temperature)	K
T_{allow}	แรงบิดบนเพลาแกนหมุนที่ยอมรับได้ (Allowable torque)	$N \cdot m$
T_{blade}	แรงบิดของใบพัด (Blade torque)	$N \cdot m$
T_{rotor}	แรงบิดของเพลาแกนหมุน (Rotor torque)	$N \cdot m$
T_b	แรงบิดบนเพลาแกนหมุน (Torque on shaft)	$N \cdot m$
T_{eq}	แรงบิดต้านเนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction torque)	$N \cdot m$
T_{AB}	แรงบิดระหว่างจุด A ถึง B (Torque between AB)	$N \cdot m$
T_{BC}	แรงบิดระหว่างจุด B ถึง C (Torque between BC)	$N \cdot m$
T_{CD}	แรงบิดระหว่างจุด C ถึง D (Torque between CD)	$N \cdot m$
T_{max}	แรงบิดสูงสุด (Maximum torque)	$N \cdot m$
T_{min}	แรงบิดต่ำสุด (Minimum torque)	$N \cdot m$
t_b	แรงบิดบนเพลาแกนหมุนต่อ 1 เมตร (Torque per meter on shaft)	$N \cdot m/m$
t_{eq}	แรงบิดต้านเนื่องจากแรงเสียดทานต่อ 1 เมตร (Friction torque per meter)	$N \cdot m/m$
U	ความเร็วปลายใบพัด (Blade velocity)	m/s
V_i	ความเร็วลมเข้าสู่ใบพัด (Incoming wind velocity)	m/s
V_t	ความเร็วลมออกจากใบพัด (Exiting wind velocity)	m/s
x_r	ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี (Radial load factor)	-
x	ความยาวบนเพลาแกนหมุน (Length on shaft)	m
Y_t	ตัวประกอบแรงรูน (Thrust load factor)	-
λ	อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด (Tip-speed ratio)	-
Ω	ความเร็วเชิงมุม (Angular velocity)	rad/s
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ (Air density)	kg/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
τ_{max}	ความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum shear stress)	N/m^2
τ_a	ความเค้นเฉือนส่วนเปลี่ยน (Shear stress amplitude)	N/m^2
τ_m	ความเค้นเฉือนเฉลี่ย (Mean shear stress)	N/m^2
τ_y	ความเค้นเฉือนคราก (Yield shear stress)	N/m^2
τ_n	ขีดจำกัดความทนทานของความเค้นเฉือน (Endurance limit of shear stress)	N/m^2
τ_s	ความเค้นเฉือนบนสลักเกลียว (Bolt shear stress)	N/m^2
τ_{allow}	ความเค้นเฉือนที่ยอมรับได้ (Allowable shear stress)	N/m^2
σ_y	ความแรงคราก (Yield stress)	N/m^2
σ_u	ความเค้นสูงสุด (Ultimate stress)	N/m^2
σ'_n	ขีดจำกัดความทน (Endurance limit)	N/m^2
μ	ความหนืด (Dynamic viscosity)	$N \cdot s/m^2$

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานประเภทเชื้อเพลิงสูงมาก ในปี 2543 มีการนำเข้า น้ำมันดิบ 168,000 ล้านบาท น้ำมันดีเซล 4,530 ล้านบาท น้ำมันเตา 6,300 ล้านบาท น้ำมันเบนซิน 140 ล้าน บาท [1] และความต้องการใช้พลังงานยังคงสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยคาดว่าในช่วงปี 2549 – 2554 มีความต้องการ ใช้พลังงานสูงถึง 5.2 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อวัน [2] นอกจากนี้พลังงานจากฟอสซิลเหล่านี้ยังเป็นมลพิษต่อ สิ่งแวดล้อมอีกด้วย เนื่องจากการเผาถ่านหินดังนั้นหากเราสามารถลดการนำเข้าพลังงาน จะประหยัด งบประมาณของประเทศได้อย่างมาก ในการลดการนำเข้าพลังงานสามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีการหนึ่งคือ การหาพลังงานจากแหล่งอื่นมาทดแทนการนำเข้า โดยแหล่งพลังงานใหม่ี่ต้องเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ มาก และไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยเรียกได้ว่า เป็นพลังงานสะอาด ซึ่งพลังงานสะอาดที่สามารถ นำมาใช้ในประเทศไทยได้มีหลายชนิดเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงาน

สำหรับประเทศไทยหากมีใครพูดถึงการผลิต ไฟฟ้าด้วยพลังงานสะอาดอย่างพลังงานลม นั้นอาจ เป็นเรื่องยากที่จะเกิดขึ้น แต่ด้วยเทคโนโลยีกังหันลมช่วยทำให้ประเทศที่มีกำลังลมต่ำสามารถสร้างฟาร์ม กังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในท้องถิ่นได้ ปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้ติดตั้งสถานี ทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต มีกำลังการผลิต 42 กิโลวัตต์ [3] โดยการทดลองใช้งานและเก็บข้อมูลเพื่อระบบในอนาคต มีทีมวิจัยได้ทำการศึกษาจากข้อมูลของหน่วยงาน ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการวัดกระแสลม เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิต กองทัพอากาศ และ กรม อุตุนิยมวิทยาทหารเรือ เป็นต้น จนรู้กายภาพของลม และความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีจากการวิเคราะห์แผนที่ ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยทำให้เห็นได้ชัดว่าประเทศไทยสามารถใช้พลังงานลมได้แต่ความเร็ว จะต่ำมาก เมื่อเทียบกับบริเวณยุโรปและอเมริกาเหนือ

ช่วงสิบปีที่ผ่านมาการพัฒนากังหันลมมีการเติบโตอย่างก้าวกระโดด ประเทศที่มีกำลังผลิต ไฟฟ้า จากพลังงานลมมากที่สุดในปัจจุบันคือประเทศเยอรมนี ในปี ค.ศ.2001 เยอรมนีผลิตกระแสไฟฟ้าจาก พลังงานลมถึง 16,500 เมกะวัตต์คิดเป็นร้อยละ 36 ของโลก [4] รองลงมาคือประเทศสเปน และประเทศ สหรัฐอเมริกา มีกำลังผลิต 8,000 เมกะวัตต์ และ 6,800 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ประเทศเดนมาร์กซึ่งมีกำลังการ ผลิต 3,121 เมกะวัตต์ หรือเป็นอันดับ 4 ของโลก และเป็นประเทศที่ส่งออกกังหันลมเพื่อการผลิต กระแสไฟฟ้ามากที่สุดในโลกจากปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานจากลมจะเห็นว่ายุโรปเป็นกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศที่มีการใช้พลังงานหมุนเวียนจากลมมาผลิตกระแสไฟฟ้า ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมสะอาดคาดว่าภายในปี ค.ศ.2010 ทั้งยุโรปจะผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมได้ 60,000 เมกะวัตต์ ในปี ค.ศ.1980 กังหันลม 1 ต้นผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่ำกว่า 100 กิโลวัตต์ ในขณะที่เทคโนโลยีล่าสุดในปัจจุบันกังหันลม 1 ต้น ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 5 เมกะวัตต์ ถ้าอยู่ในแหล่งมีศักยภาพพลังงานลมสูงกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมจะมีราคาถูกกว่ากระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 8-10 เท่า ประเทศอินเดียจัดว่าเป็นประเทศที่มีศักยภาพและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านพลังงานลมมากที่สุดในเอเชีย โดยสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมได้ 2,800 เมกะวัตต์ เนื่องจากรัฐบาลอินเดียมีนโยบายส่งเสริมการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมในงานอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง นอกจากนี้ประเทศจีนก็เป็นอีกประเทศหนึ่งที่กำลังพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมปัจจุบันผลิตได้ 760 เมกะวัตต์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองกังหันลมแบบซาโวนีเยส
- 2) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันลม

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

- 1) ออกแบบกังหันลมโดยใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรม
- 2) สร้างแบบจำลองกังหันลมแบบซาโวนีเยส
- 3) ทดสอบกังหันลมที่สภาวะต่างๆ
- 4) วิเคราะห์ประสิทธิภาพกังหันลม

1.4 แผนการดำเนินงาน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของลมเป็นพลังงานกลที่ไ้ใบพัดกังหันลมแบบซาโวเนียสหมุนได้
- 2) ได้เครื่องต้นแบบเพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎีและพัฒนาต่อไป
- 3) สร้างทางเลือกในการนำวัสดุบางประเภท เช่น ถังน้ำมัน กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
- 4) ได้ทักษะในการเขียนเอกสารเชิงวิชาการ

ตาราง 1.1 แผนการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงาน	พ.ศ. 2549							พ.ศ. 2550		
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ค.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1) รวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่ใช้ในการทำโครงการ	↔									
2) ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ	↔									
3) ออกแบบกังหันลมโดยใช้ความรู้จากทฤษฎี		↔								
4) สร้างกังหันลมแบบจำลองจากการออกแบบ			↔							
5) นำแบบจำลองมาทดลองและบันทึกผล					↔					
6) สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง					↔					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

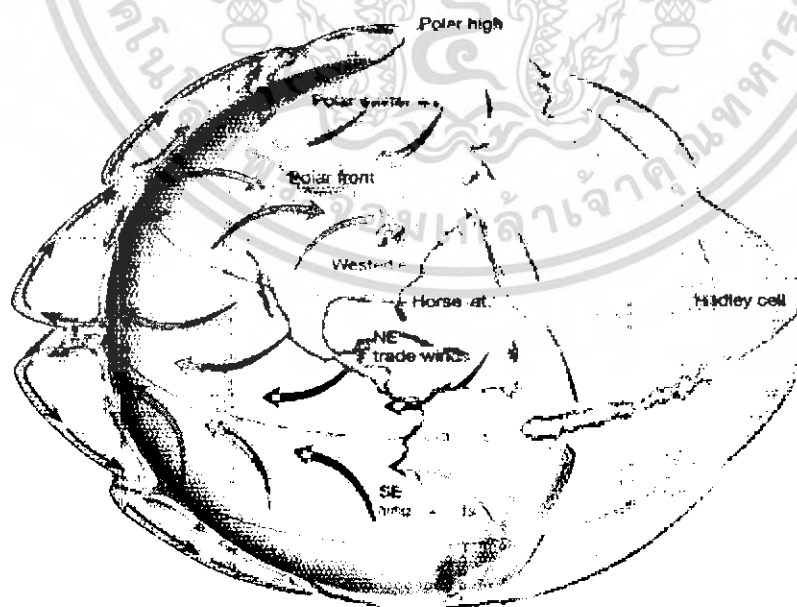
ลม

2.1 ทฤษฎีการเกิดลม

เนื่องจากบรรยากาศบริเวณพื้นผิวโลกมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ [5] ทำให้ความหนาแน่นของอากาศ หรือความกดอากาศแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ อากาศบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง บริเวณความกดอากาศต่ำจะลอยตัวขึ้นสูง เพราะมีน้ำหนักเบากว่าอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ บริเวณความกดอากาศสูงที่เคลื่อนที่มาแทนที่ และการเคลื่อนตัวของอากาศจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งนี้เราเรียกว่า “ลม” หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ลม คือการเคลื่อนตัวของอากาศ เราอาจจะแบ่งลักษณะการเกิดของลมอย่างกว้าง ๆ ได้เป็น 2 ลักษณะตามขนาดของบริเวณที่เกิดลม

2.1.1 การเกิดลมในลักษณะทั่วทั้งโลก

เกิดขึ้นเนื่องจากการที่อุณหภูมิของพื้นผิวโลกที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรนั้นสูงกว่าอุณหภูมิบริเวณขั้วโลกเหนือ และขั้วโลกใต้ เป็นเหตุทำให้อากาศร้อนบริเวณเส้นศูนย์สูตรเคลื่อนตัวสู่บริเวณขั้วโลก แต่เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง จึงส่งผลกระทบต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศโดยตรง กล่าวคืออากาศร้อนในบรรยากาศชั้นบนจะพัดสู่ทิศตะวันออก และอากาศเย็นซึ่งอยู่ใกล้พื้นผิวโลกจะหมุนตัวไปทางทิศตะวันตก ดังรูป 2.1



รูป 2.1 แสดงการเกิดลมทั่วทั้งโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

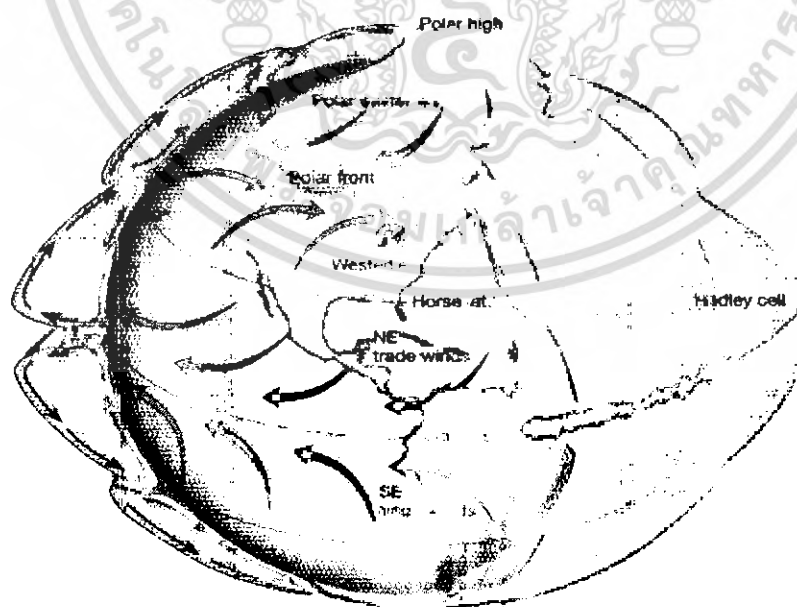
ลม

2.1 ทฤษฎีการเกิดลม

เนื่องจากบรรยากาศบริเวณพื้นผิวโลกมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ [5] ทำให้ความหนาแน่นของอากาศ หรือความกดอากาศแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ อากาศบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง บริเวณความกดอากาศต่ำจะลอยตัวขึ้นสูง เพราะมีน้ำหนักเบากว่าอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ บริเวณความกดอากาศสูงที่เคลื่อนที่มาแทนที่ และการเคลื่อนตัวของอากาศจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งนี้เราเรียกว่า “ลม” หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ลม คือการเคลื่อนตัวของอากาศ เราอาจจะแบ่งลักษณะการเกิดของลมอย่างกว้าง ๆ ได้เป็น 2 ลักษณะตามขนาดของบริเวณที่เกิดลม

2.1.1 การเกิดลมในลักษณะทั่วทั้งโลก

เกิดขึ้นเนื่องจากการที่อุณหภูมิของพื้นผิวโลกที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรนั้นสูงกว่าอุณหภูมิบริเวณขั้วโลกเหนือ และขั้วโลกใต้ เป็นเหตุทำให้อากาศร้อนบริเวณเส้นศูนย์สูตรเคลื่อนตัวสู่บริเวณขั้วโลก แต่เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง จึงส่งผลกระทบต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศโดยตรง กล่าวคืออากาศร้อนในบรรยากาศชั้นบนจะพัดสู่ทิศตะวันออก และอากาศเย็นซึ่งอยู่ใกล้พื้นผิวโลกจะหมุนตัวไปทางทิศตะวันตก ดังรูป 2.1



รูป 2.1 แสดงการเกิดลมทั่วทั้งโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การเกิดลมในลักษณะเฉพาะที่

การเกิดลมในลักษณะนี้เกิดได้ 2 แบบ คือ

2.1.2.1 เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำ

เวลากลางวันเมื่อแสงอาทิตย์ส่องสู่พื้นโลก ส่งผลให้พื้นดินนั้นดูดซับความร้อนได้มากกว่าพื้นน้ำ ดังนั้นอากาศบนพื้นดินจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศบนพื้นน้ำ อากาศบนพื้นดินจึงลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่อากาศบนพื้นน้ำจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ ดังรูป 2.2

ในขณะที่ในเวลากลางคืนการเคลื่อนที่จะตรงกันข้ามกับช่วงเวลากลางวัน โดยอากาศบนพื้นน้ำมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศบนพื้นดิน อากาศบนพื้นน้ำจึงลอยตัวขึ้น และอากาศบนพื้นดินจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ดังรูป 2.3



รูป 2.2 การเกิดลมบริเวณฝั่งทะเลเวลากลางวัน รูป 2.3 การเกิดลมบริเวณชายฝั่งทะเลเวลากลางคืน



รูป 2.4 การเกิดลมบริเวณหุบเขาเวลากลางวัน

รูป 2.5 การเกิดลมบริเวณหุบเขาเวลากลางคืน

2.1.2.2 เกิดจากความลาดชันของเชิงเขาหรือภูเขา

ในช่วงเวลากลางวันอากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นไปตามความลาดชันของภูเขา ดังรูป 2.4 และในเวลากลางคืนอากาศที่เย็นหนักจะกดตัวลงมาตามความลาดชันของภูเขา ดังรูป 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

กังหันลม

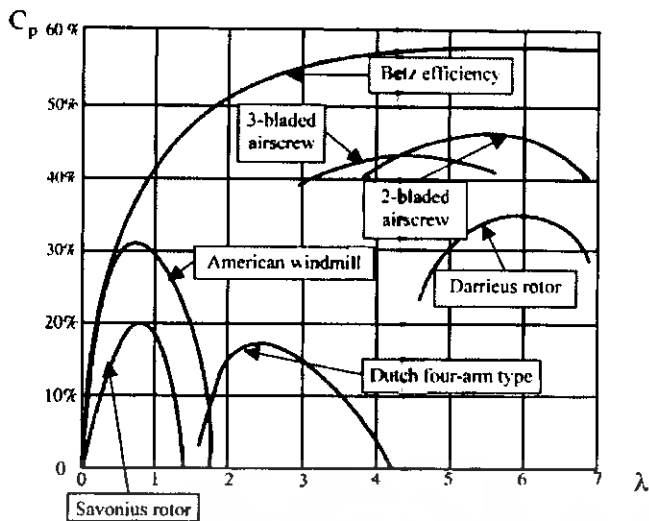
3.1 ลักษณะทั่วไปของกังหันลม

การพัฒนากังหันลมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เริ่มมีมาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณจนถึงยุคปัจจุบัน การออกแบบกังหันลมต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน และประสิทธิภาพที่ดี และเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่ผันแปรตามธรรมชาติ และความต้องการพลังงานลมที่สม่ำเสมอให้เหมาะสมกับการใช้งาน จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เก็บพลังงานและใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้มากกว่าเป็นแหล่งสำรอง

กังหันลม คือ เครื่องต้นกำลังชนิดหนึ่งที่ใช้เปลี่ยนพลังงานจลน์ของลมเป็นพลังงานกล หลังจากนั้นนำพลังงานกลจะถูกนำไปใช้ทั้งทางตรง เช่น การสูบน้ำ และทางอ้อม เช่น การเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ถึงแม้ว่าตามทฤษฎีของเบตซ์ (Betz theory) กังหันลมจะมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 59.3 [6] แต่กังหันลมที่มีประสิทธิภาพปานกลางก็นำไปใช้ประโยชน์ได้ถ้าอยู่ในบริเวณที่มีลมแรง เพราะกำลังที่ได้จากกังหันลมแปรผันเป็นสัดส่วนกำลังสามของความเร็วลมนั่นเอง

3.2 ประสิทธิภาพของกังหันลม

เมื่อลมพัดผ่านกังหัน พลังงานส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายเทให้กับกังหัน ส่วนหนึ่งสูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานและพลังงานในส่วนที่เหลือจะทำให้ลมสามารถพัดต่อไปได้ ถ้าไม่มีแรงเสียดทานและไม่มีลมพัดออกจากหลังใบพัด นั่นหมายความว่ากังหันลมตัวนี้มีประสิทธิภาพร้อยละ 100 อย่างไรก็ตาม แม้ไม่มีแรงเสียดทาน ก็ไม่มีกังหันลมใดมีประสิทธิภาพมากกว่านั้น ในทางทฤษฎีของเบตซ์ กังหันลมมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 59.3



รูป 3.1 ประสิทธิภาพของกังหันลมชนิดต่าง ๆ [7]

3.3 การจำแนกกังหันลม

กังหันลมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันอาจแบ่งได้ตามลักษณะของใบพัดได้ 2 ลักษณะ

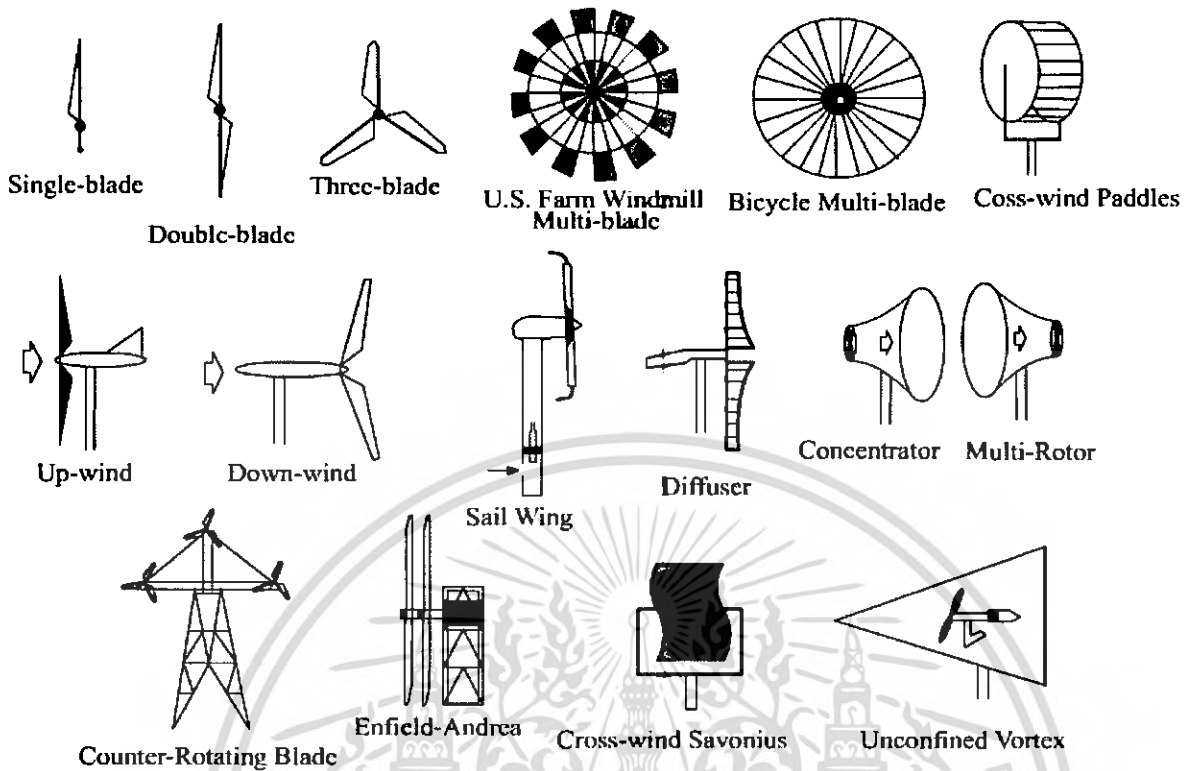
3.3.1 ลักษณะการวางตัวของแกนการหมุน

3.3.1.1 กังหันลมแกนนอน

กังหันลมประเภทนี้จะมีแกนการหมุนขนานกับพื้นระนาบหรือขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสลมนั่นเอง มีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม กังหันลมประเภทนี้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานสูง กังหันถูกติดตั้งบนเสาสูงและมีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับลมได้ทุกทิศทางในแนวระนาบอยู่ตลอดเวลา กังหันลมลักษณะนี้ได้แก่ กังหันลม 2,3,4 ใบ แบบเสื่อรำแพน เป็นต้น ดังแสดงในรูป 3.2

ข้อได้เปรียบของกังหันลมแนวนอน

- เนื่องจากใบพัดจะอยู่บนหอคอย ซึ่งจะทำให้ใบพัดรับลมจากที่สูงซึ่งมีความเร็วลมสูง
- กังหันลมแนวนอนทุกชนิดสามารถเดินเครื่องได้ด้วยตัวเอง
- กังหันลมแนวนอนนั้นมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานค่อนข้างสูง
- กังหันลมแนวนอนจะใช้พื้นที่ด้านล่างน้อย



รูป 3.2 กังหันลมแบบแนวนอน

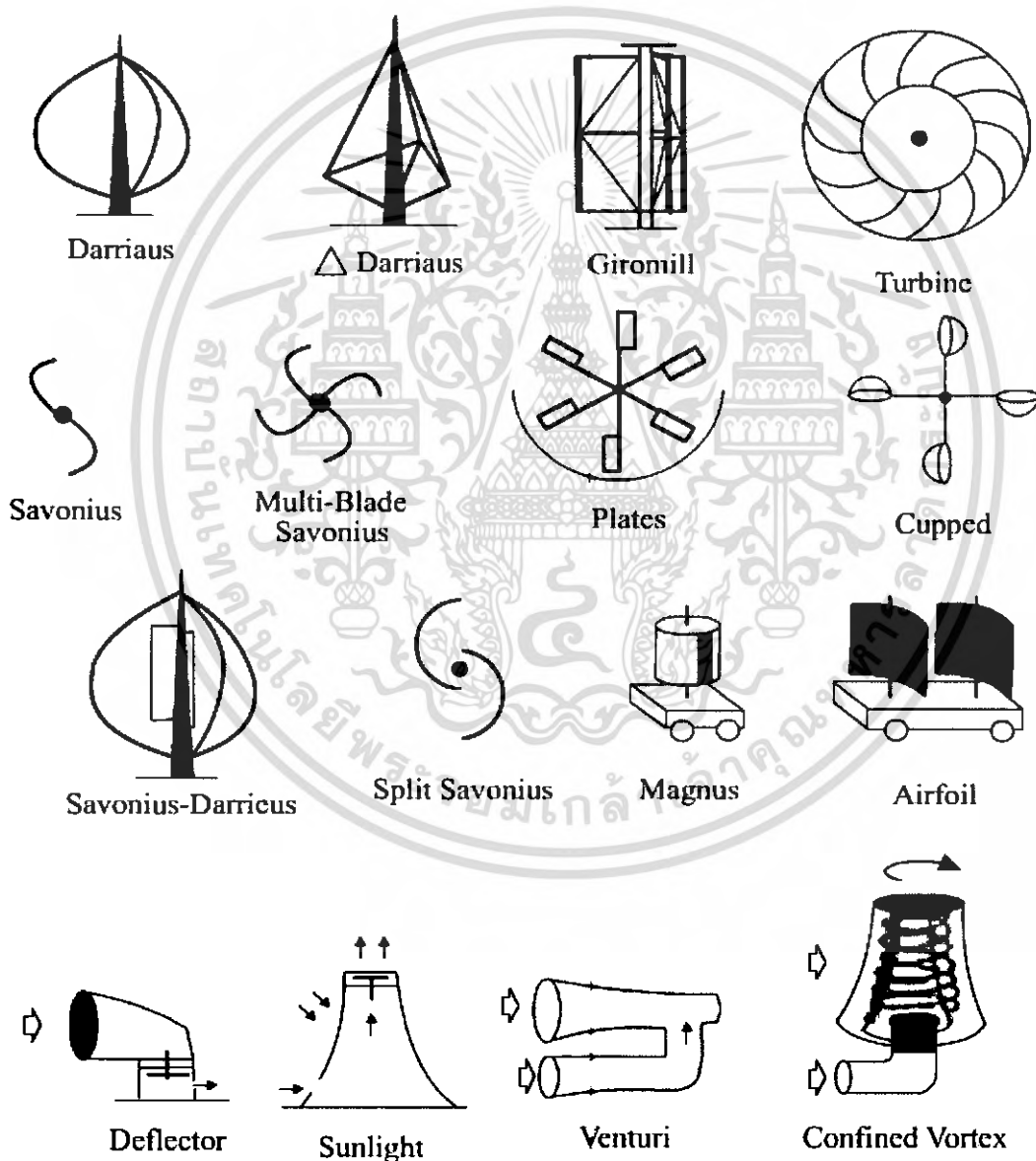
3.3.1.2 กังหันลมแนวตั้ง

กังหันลมประเภทนี้จะมีแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง หรือตั้งฉากกับทิศทางเคลื่อนที่ของกระแสลมสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง โดยไม่จำเป็นต้องมีชุดควบคุมหรือชุดแพนหาง แต่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานทั้งสูงและต่ำ กังหันลมแนวตั้งมีหลายชนิด ได้แก่ กังหันลมแบบซาโวเนียส แบบคาเรียส แบบใจ โรมิลล์ และกังหันลมแบบสกูว์ เป็นต้น ดังแสดงในรูป 3.3 แต่กังหันลมแนวตั้งนั้นมีข้อได้เปรียบหลายประการที่จะกล่าวต่อไป

ข้อได้เปรียบของกังหันลมแนวตั้ง

- กังหันลมแบบแนวตั้งบางชนิดไม่จำเป็นที่จะต้องมียอคอยเหมือนกับกังหันลมแนวนอน ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชุดเพือง และอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ จะถูกติดตั้งอยู่ระดับพื้นดิน จึงง่ายในการสร้างและซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ
- เนื่องจากกังหันลมแนวตั้ง สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง จึงไม่จำเป็นต้องมีหางเสือเพื่อบังคับให้ใบพัดหันไปรับลม

- ใบพัดของกังหันลมจะไม่รับน้ำหนักของตัวเอง จึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงความเสียหายอันเนื่องมาจากความล้า (Fatigue) และยังสามารถหลีกเลี่ยงโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการโค้งงอ (Bending moment) ได้อีกด้วย สำหรับกังหันลมแบบแนวอนนั้น อุปกรณ์ต่างๆจะยื่นออกมาจากตัวหอคอยทำให้ต้องรับแรงเนื่องแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะก่อให้เกิดทั้งความเค้นเนื่องจากความล้าและการโค้งงอ
- มีความทนทานมากกว่ากังหันลมแบบแนวอน
- เกิดมลภาวะทางเสียงน้อยกว่ากังหันลมแนวอน



รูป 3.3 กังหันลมแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ตามลักษณะแรงขับเคลื่อนที่กระทำต่อใบพัด

ใบพัดของกังหันลมจะรับพลังงานจากลม โดยที่แรกจากลมจะไปขับเคลื่อนใบพัดให้หมุนได้ใน 2 ลักษณะคือ

3.3.2.1 ขับด้วยแรงยกตัว (Lift Force)

แรงที่กระทำที่ใบพัดจะเป็นแรงที่กระทำที่มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของทิศทางของลม เช่น กังหันลมแบบใบโรมิลล์ และแบบแครรี่เรียส

3.3.2.2 ขับด้วยแรงจูด (Drag Force)

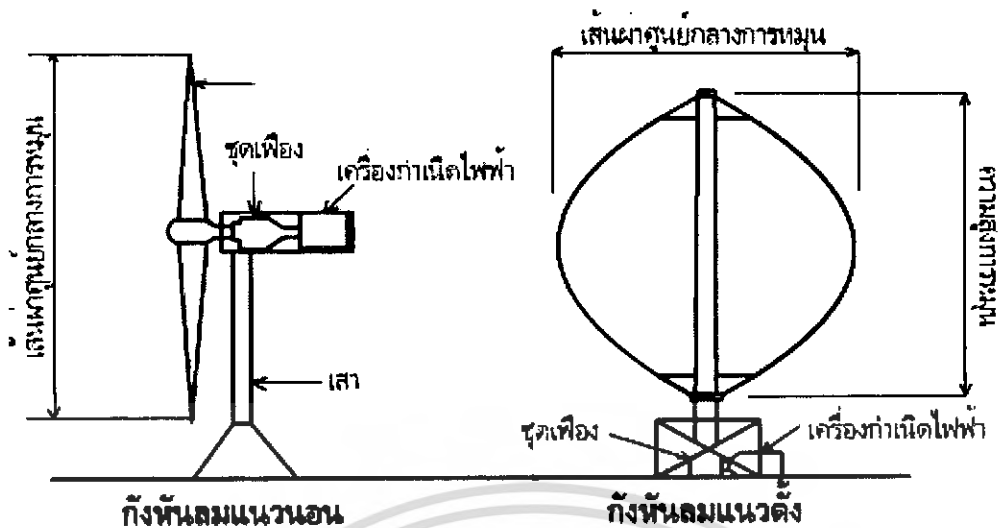
แรงที่กระทำที่ใบพัดจะเป็นแรงที่กระทำที่มีทิศทางขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของทิศทางของลม เช่น กังหันลมแบบซาโวเนียส

ในประเทศไทยได้มีการใช้กังหันลมที่มีเพลลาอยู่ในแกนนอนกันอย่างแพร่หลายและส่วนมากแล้วจะออกแบบให้ใบกังหันลมหมุนด้วยแรงยกตัว อาทิเช่น กังหันลมแบบหลายใบ กังหันลมแบบ Propeller กังหันลมแบบสี่อราแพนที่ใช้ในบริเวณภาคใต้ เป็นต้น ส่วนกังหันลมที่มีเพลลาอยู่ในแกนตั้งก็ได้มีการศึกษาและพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ เนื่องจากกังหันลมแบบนี้มีข้อได้เปรียบกังหันลมแบบแนวนอนที่เด่นชัดคือ ไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมทิศทางของกังหันให้หันหน้าไปทางที่สามารถรับลม และระบบส่งกำลังและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถติดตั้งอยู่บนพื้นดินได้

3.4 ส่วนประกอบของกังหันลม

3.4.1 ใบกังหันลม (Blade)

ใบกังหันลมเป็นส่วนที่จะก่อให้เกิดพลังงานกล โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากการหมุนมาเป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนเพลลา ใบกังหันลมจะมีจำนวนจากน้อยใบ ไปจนถึงหลายใบ กังหันลมที่ออกแบบสร้างให้มีหลายใบจะใช้งานที่ต้องการแรงบิดสูง อาทิ ใช้สูบน้ำ กะเทาะเมล็ดพืช เป็นต้น ส่วนกังหันลมที่มีใบกังหันจำนวนน้อย ก็เพื่อต้องการให้รอบการหมุนของใบพัดมีความเร็วรอบสูงนั่นเอง ซึ่งจะเหมาะกับการผลิตกระแสไฟฟ้า วัสดุที่ใช้ในการสร้างใบกังหันจะต้องมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความเบา และแข็งแรง ซึ่งวัสดุที่มีคุณสมบัติดังกล่าวได้แก่ แผ่นเหล็กบาง ผ่านไม้ แผ่นอะลูมิเนียมอัลลอยด์ และแผ่นไฟเบอร์กลาส



รูป 3.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกังหันลม

3.4.2 ชุดควบคุม (Controller)

สำหรับกังหันลมแกนนอน ชุดควบคุมจะทำหน้าที่ในการบังคับทิศทางใบพัดเพื่อให้หันหน้าเข้ารับกระแสลมตลอดเวลา หรือกล่าวอีกนัยก็คือ ชุดเพนหางของกังหันลมนั้นเอง และยังมีชุดควบคุมซึ่งทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายให้แก่กังหันลมในกรณีที่มีลมแรงจัด สำหรับชุดควบคุมซึ่งทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายให้แก่กังหันลม ที่ลมแรงจัดนี้จะมีด้วยกันอยู่ 2 ลักษณะ คือ การทำให้กังหันลมหันเหจากกระแสลม โดยการหันไปทางด้านข้างหรือยกหน้าขึ้น อีกลักษณะหนึ่งคือ การก่อให้เกิดการหน่วงต่อการหมุนให้แก่ชุดใบพัด อาทิ การบิดมุมของใบพัดให้มีพื้นที่ในการรับลมน้อยลง หรือเพิ่มอุปกรณ์ที่จะทำให้เกิดภาระต่อการขับของใบพัดเพิ่มมากขึ้น

3.4.3 ชุดเฟือง (Gear Box)

การถ่ายทอดกำลังจากการหมุนของใบพัดจะถูกส่งผ่านไปยังเพลลาขับและนำไปใช้งาน โดยตรงเลยหรือผ่านชุดเฟือง สายพานหรือระบบไฮดรอลิก เพื่อให้การหมุนของเพลลาได้แรงบิด หรือความเร็วรอบตามที่ต้องการต่อการใช้งานเสียก่อน

3.4.4 เสา (Tower)

หอคอยจะทำหน้าที่ในการยึดชุดกังหันลมให้อยู่ในระดับความสูงที่ต้องการ เพื่อให้จะได้รับกระแสลมที่อยู่ในระยะความสูง ซึ่งมีกระแสลมพัดผ่านอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาได้ดี หอคอยอาจทำด้วยโครงสร้างไม้หรือโลหะก็ได้ แต่ต้องรับภาระต่าง ๆ ที่กระทำต่อชุดกังหันลมได้อย่างเพียงพอโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในขณะที่มีลมแรงจัด

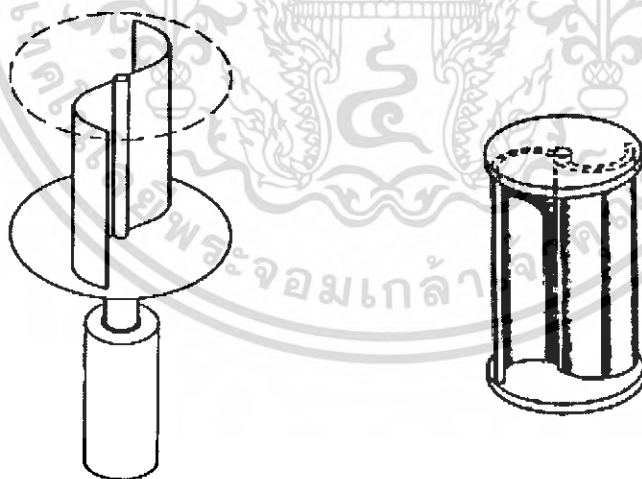
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Generator)

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยพลังงานลมนั้นจะต้องมีเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานกลที่ได้จากกังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีทั้งกระแสตรง และกระแสสลับ ซึ่งโครงสร้างจะประกอบไปด้วย ขดลวดเหนี่ยวนำและแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้หลักการเกิดแรงเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะเกิดการสูญเสียพลังงานภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงเมื่อนำกังหันลมมาผลิตกระแสไฟฟ้า

3.5 กังหันลมแบบซาโวเนียส (Savonius wind turbine)

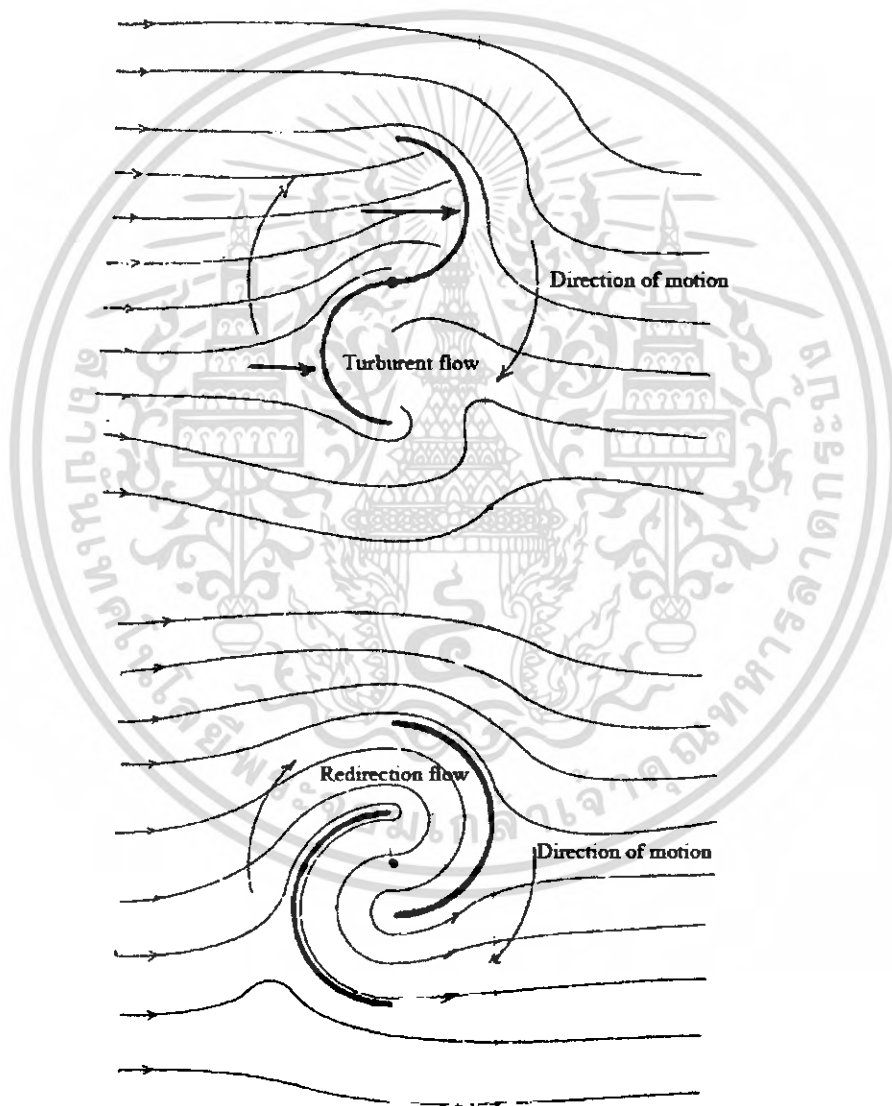
กังหันลมแบบซาโวเนียสเป็นกังหันลมที่มีความเร็วรอบต่ำ แต่ให้ค่าแรงบิดเริ่มต้นสูง เหมาะที่จะนำมาใช้งานด้านเชิงกล เช่น การสูบน้ำ กังหันลมชนิดนี้มีใบพัดแบบ คล้ายตัวเอส (S) หรือเรียกว่าใบพัดตัวเอส เพราะว่ามีเมื่อมองจากด้านบนของใบพัดจะมีลักษณะโครงสร้างของใบพัดคล้ายตัวเอส ซึ่งออกแบบสร้างครั้งแรกโดย ซิกิร์ด เจ ซาโวเนียส (Sigurd J. Savonius) ชาวฟินแลนด์



รูป 3.5 ลักษณะการวางตัวของใบพัดแบบตัวเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบพัดจะมีโครงสร้างง่าย ๆ อาจทำจากกระป๋องหรือถังซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ทั่วไป และนอกจากนี้กังหันลมแนวตั้งจะหมุนในแนวทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของลม ใบพัดจึงหมุนได้ด้วยลมจากทุกทิศทาง และจะสามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเองที่กระแสลมที่มีความเร็วลมต่ำ โดยกระแสลมจะเข้าแทรกกับด้านเว้าของใบพัด ทำให้เกิดความดันที่ต่างกันระหว่างด้านเว้าและด้านนูนของใบพัดทำให้ใบพัดหมุนเกิดแรงบิดส่งกำลังขึ้น ในบางกรณีที่ต้องการแรงบิดเพิ่มขึ้นก็สามารถเพิ่มจำนวนชั้นของใบพัดขึ้นเป็นกังหันลมชาโวเนียสแบบหลายชั้นซึ่งได้มีการพัฒนาต่อไปอีกหลายรูปแบบ



รูป 3.6 ลักษณะการหมุนของใบพัดแบบชาโวเนียส

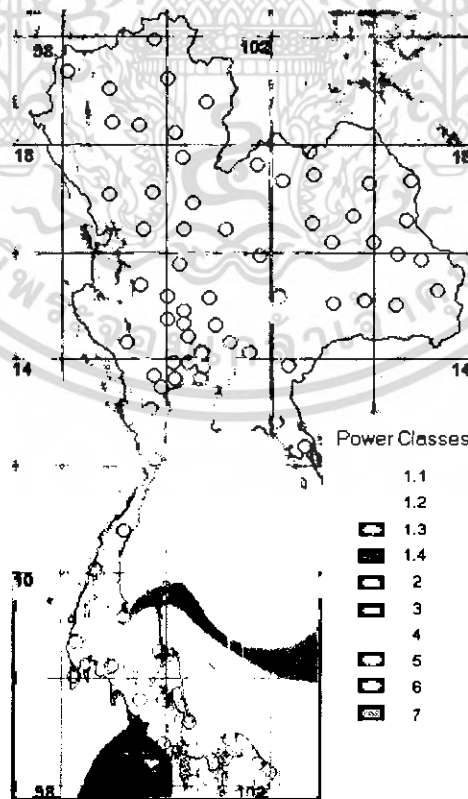
บทที่ 4

พลังงานลมในประเทศไทย

4.1 ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย

การใช้ประโยชน์จากพลังงานลมด้วยการนำเอากังหันลมมาใช้งานนั้นมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ หลายประการ อาทิ การออกแบบกังหันลม และการเลือกสถานที่ติดตั้งให้มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้พลังงานและมีความต่อเนื่องของพลังงานที่ได้รับมีค่าสูงเพียงพอ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัดข้อมูลลมและนำข้อมูลนั้นมาทำการศึกษาวิจัยสำหรับการคัดเลือกสถานที่ และตำแหน่งติดตั้งตลอดจนการออกแบบกังหันลมด้วย

การวิเคราะห์พลังงานลมในประเทศไทย [8] ในระยะที่ผ่านมา มีบุคคลและหน่วยงานต่าง ๆ ได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ โดยสามารถสรุปได้ว่า ศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทยมีค่าต่ำ เนื่องจากจำนวนสถานีตรวจอากาศประมาณร้อยละ 80 ที่มีความเร็วลมเฉลี่ยต่ำกว่า 3 เมตรต่อวินาที แต่อย่างไรก็ตามบริเวณชายฝั่งทะเล และทางภาคใต้ของประเทศไทยรวมทั้งบริเวณที่ราบใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยาบางแห่ง ยังพอมีสักยภาพที่จะใช้พลังงานจากกระแสลมได้

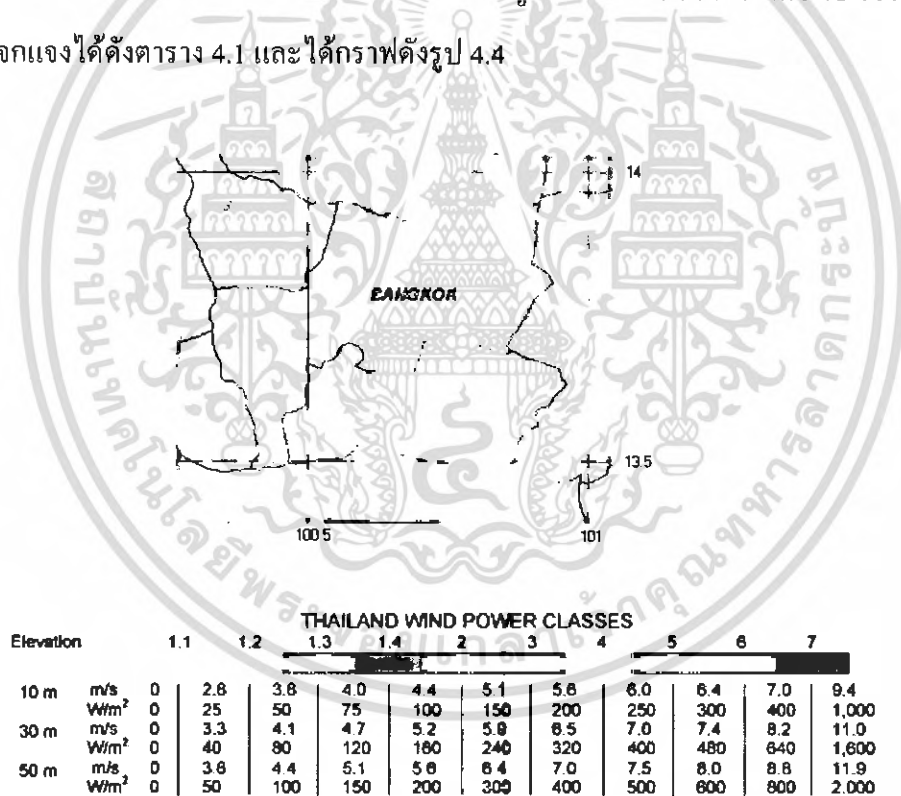


รูป 4.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยช่วงลมสงบเฉลี่ยตลอดทั้งปี
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานลม

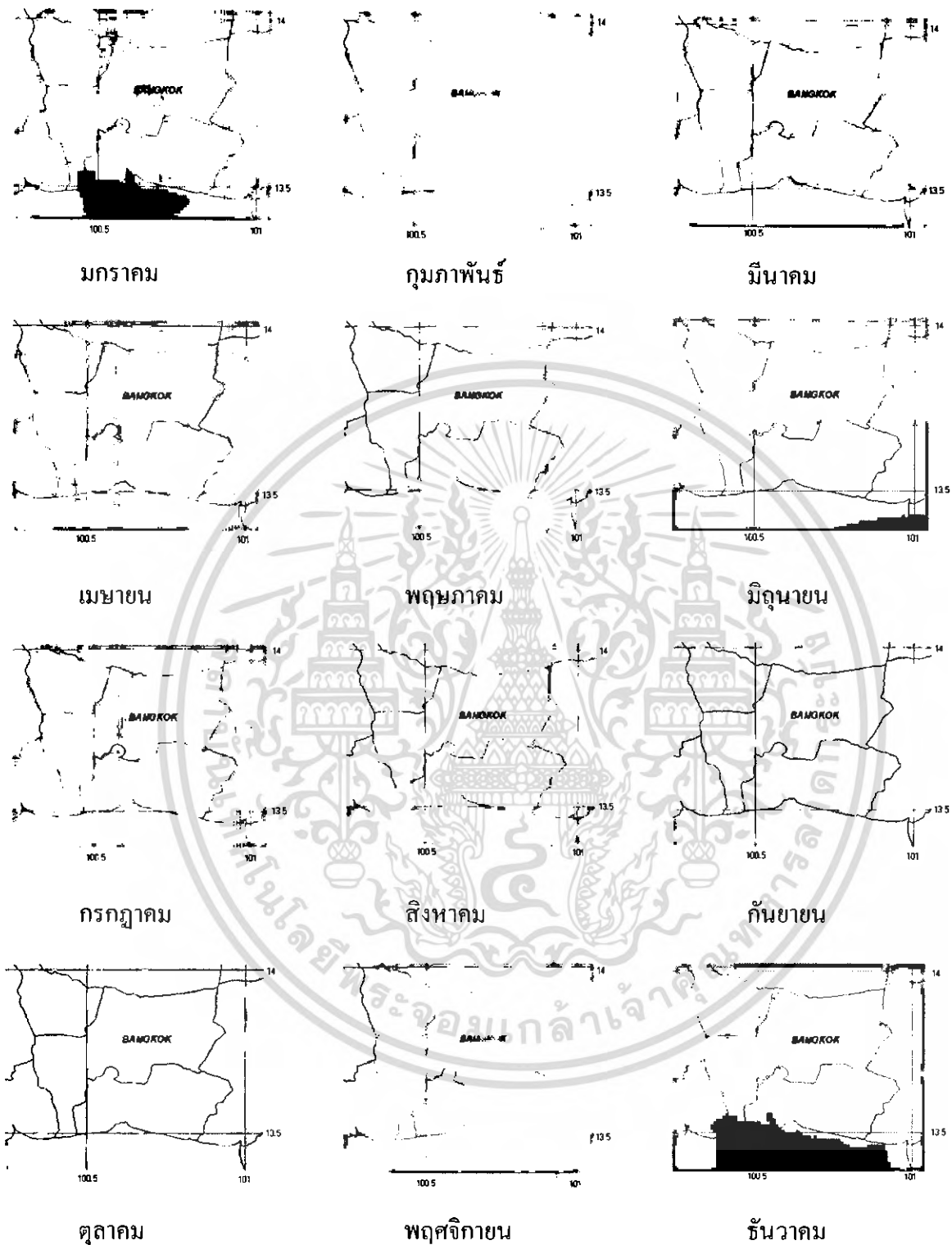
การรวบรวมข้อมูลของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ ได้มีการจัดทำแผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทย เพื่อการประเมินพลังงานลมในพื้นที่ต่าง ๆ ในประเทศไทย

ในโครงการนี้จะใช้แผนที่ศักยภาพพลังงานลมพิจารณาความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปี และในช่วงเดือนต่าง ๆ ที่สภาวะลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร โดยมีข้อมูลดังรูป 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ จะเห็นว่าในเขตกรุงเทพมหานครมีพื้นที่ส่วนใหญ่มีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ในแถบสีระหว่าง 1.2 และ 1.3 ซึ่งมีพื้นที่บางส่วนอยู่ในแถบสี 1.1 หรือกล่าวได้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ในกรุงเทพมหานครมีความเร็วลมประมาณ 3.6, 4.1 และ 4.1 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 10, 30 และ 50 เมตร ตามลำดับ กล่าวคือความเร็วลมมีค่ามากขึ้นแปรผันตรงกับความสูงของพื้นที่ นำค่าความเร็วลมของพื้นที่ส่วนใหญ่ของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมที่ความสูง 30 เมตร มาแจกแจงได้ดังตาราง 4.1 และได้กราฟดังรูป 4.4



4.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมพิจารณาความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่สภาวะลมสงบ

ในเขตกรุงเทพมหานคร พร้อมแถบสีแจกแจงค่าความเร็วและกำลังของลม

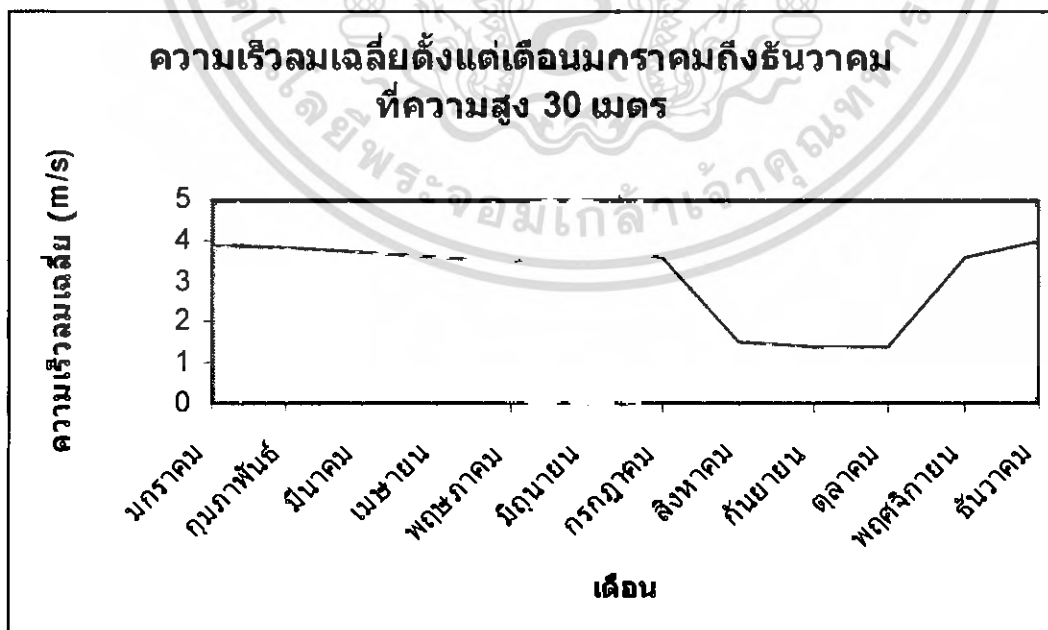


4.3 แผนที่ศึกษาภาพพลังงานลมพิจารณาความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเดือนต่าง ๆ
ที่สภาวะลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.1 ความเร็วลมเฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคมที่ความสูง 30 เมตร

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ที่ความสูง 30 เมตร
มกราคม	3.9
กุมภาพันธ์	3.8
มีนาคม	3.7
เมษายน	3.6
พฤษภาคม	3.5
มิถุนายน	3.8
กรกฎาคม	3.6
สิงหาคม	1.5
กันยายน	1.4
ตุลาคม	1.4
พฤศจิกายน	3.6
ธันวาคม	4.0



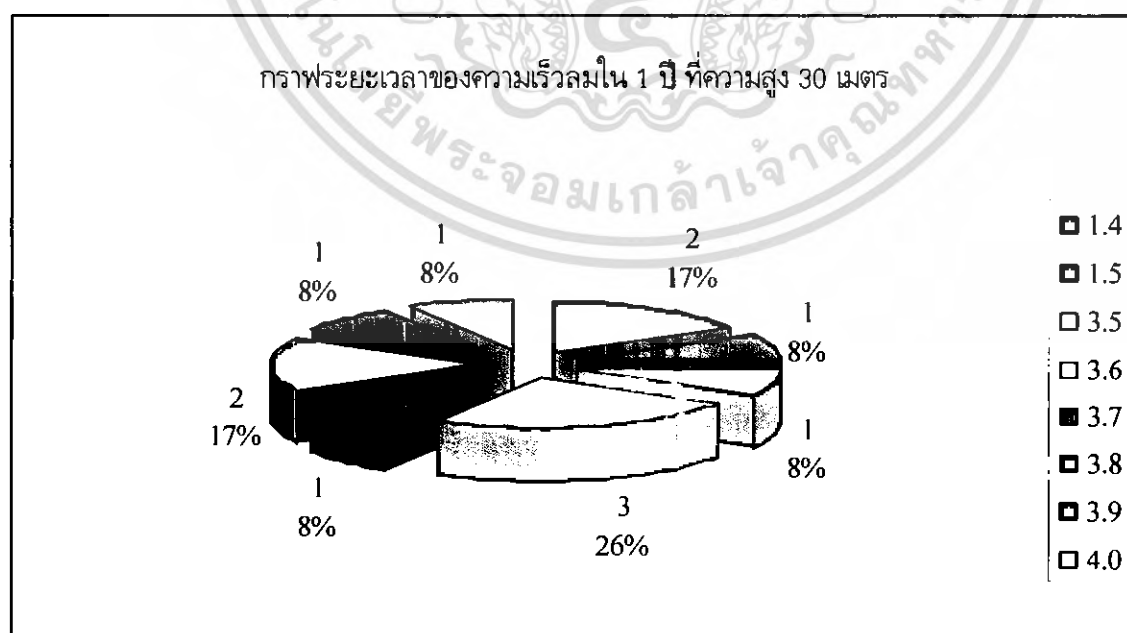
รูป 4.4 กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคมที่ความสูง 30 เมตร

จากข้อมูลจะเห็นว่าเป็นข้อมูลของแต่ละเดือนหากแต่ต้องการพิจารณาเป็นช่วงเวลาจึงนำข้อมูลมาเรียบเรียงใหม่ดังตาราง 4.2 นำมาวิเคราะห์ได้ดังรูป 4.5 ทำให้ทราบค่ากำลังลมเป็นช่วงเวลาเพื่อจะนำมาเปรียบเทียบกำลังจากใบพัด เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ได้สะดวกมากขึ้น

ในการทดลองจริงเนื่องจากสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลจึงจำเป็นต้องใช้อุโมงค์ลมเพื่อทดสอบกังหันลม โดยอุโมงค์ลมสามารถกำหนดค่าความเร็วลมและตัวแปรควบคุมต่าง ๆ ได้

ตาราง 4.2 ช่วงระยะเวลาของความเร็วมใน 1 ปี ที่ความสูง 30 เมตร

ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ที่ความสูง 30 เมตร	ระยะเวลา (เดือน)
1.4	2
1.5	1
3.5	1
3.6	3
3.7	1
3.8	2
3.9	1
4.0	1



รูป 4.5 กราฟวงกลมแสดงระยะเวลาของความเร็วมใน 1 ปี ที่ความสูง 30 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

5.1 ทฤษฎีพลังงานจลน์

ลม คือ อากาศที่เคลื่อนที่โดยมีค่าของความหนาแน่นค่าหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วทำให้เกิดเป็นพลังงานลม พลังงานลมเป็นพลังงานจลน์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ เมื่อพิจารณาในรูปแบบของสมการพลังงาน โดยพิจารณาว่ามวลถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะก่อให้เกิดพลังงานดังนี้

$$KE_{wind} = \frac{1}{2} mV_i^2 \quad (5.1)$$

5.2 ทฤษฎีกำลังลม

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศจะมีหน่วยเป็น มวลต่อหน่วยเวลา ดังนั้นจากสมการ (5.1) เขียนให้อยู่ในรูปของกำลังได้เป็น

$$P_{wind} = \frac{1}{2} mV_i^2 \quad (5.2)$$

จากสมการความต่อเนื่องของการไหล

$$m = \rho AV_i \quad (5.3)$$

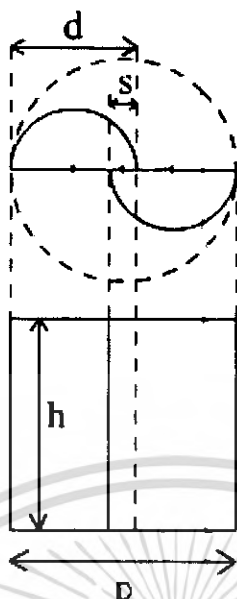
พื้นที่หน้าตัดแสดงดังรูป 5.1 จะสามารถหาได้จาก

$$A = h(2d - S) \quad (5.4)$$

อัตราส่วนระยะคร่อมของใบพัด (Overlap ratio) ซึ่งต่อไปจะเรียกสั้น ๆ ว่า “ระยะคร่อม” ที่ใช้ในโครงการนี้คือ 0.19 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด เนื่องจากค่านี้ให้กำลังสูงสุด [9]

$$S = 0.19d \quad (5.5)$$

$$D = 2d - S = 1.81d \quad (5.6)$$



รูป 5.1 แสดงความยาวของพื้นที่หน้าตัดใบพัด

โดยค่าความหนาแน่นของอากาศ [10] คำนวณสามารถหาได้จาก

$$\rho = p / (RT) \quad (5.7)$$

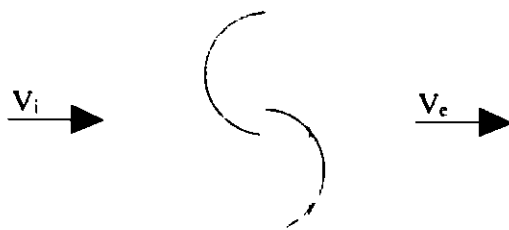
จากสมการ (5.2) และ (5.3) สามารถเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$P_{\text{wind}} = \frac{1}{2} \rho A V_1^3 \quad (5.8)$$

5.3 ทฤษฎีกำลังใบพัด

กำลังที่ใบพัดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของมวลอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ใบพัด ดังนั้น ความเร็วลมที่เข้าและออกจากใบพัดจึงมีค่าแตกต่างกัน โดยที่ความเร็วลมที่ออกจากใบพัดจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วลมที่เข้าสู่ใบพัด เมื่อสมมุติว่าการไหลเข้าและออกจากใบพัดเป็นแบบสม่ำเสมอ (Laminar flow) สามารถสรุปได้สมการ

$$P_{\text{blade}} = \frac{1}{2} m_{av} V_i^2 - \frac{1}{2} m_{av} V_e^2 \quad (5.9)$$



รูป 5.2 แสดงความเร็วลมเคลื่อนที่ผ่านใบพัด

ค่าอัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ยที่ผ่านใบพัดสามารถหาได้จาก

$$\dot{m}_{av} = \rho A \frac{(V_i + V_e)}{2} \quad (5.10)$$

แทนค่าสมการ (5.10) ลงในสมการ (5.9) จะได้

$$P_{blade} = \frac{1}{4} \rho A (V_i + V_e) (V_i^2 - V_e^2) \quad (5.11)$$

พลังงานลมถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากแรงเสียดทานและลักษณะการไหลของอากาศภายในใบพัดเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ (Turbulence flow) ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองและกำหนดค่าสัมประสิทธิ์กำลังขึ้น ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงสัดส่วนของกำลังที่ได้จากใบพัด โดยสามารถคำนวณจากสมการ (5.8) และ (5.11)

$$C_p = \frac{P_{blade}}{P_{wind}} \quad (5.12)$$

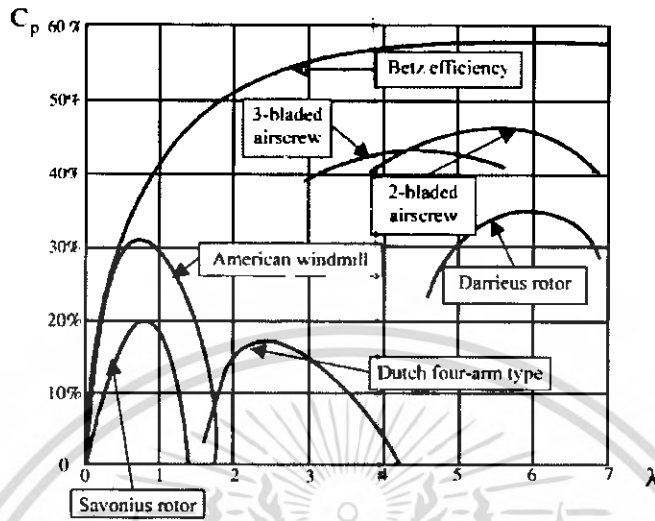
จากสมการ (5.12) จะสามารถคำนวณหา กำลังที่เกิดขึ้นจากใบพัดได้ดังนี้

$$P_{blade} = \frac{1}{2} \rho C_p A V_i^3 \quad (5.13)$$

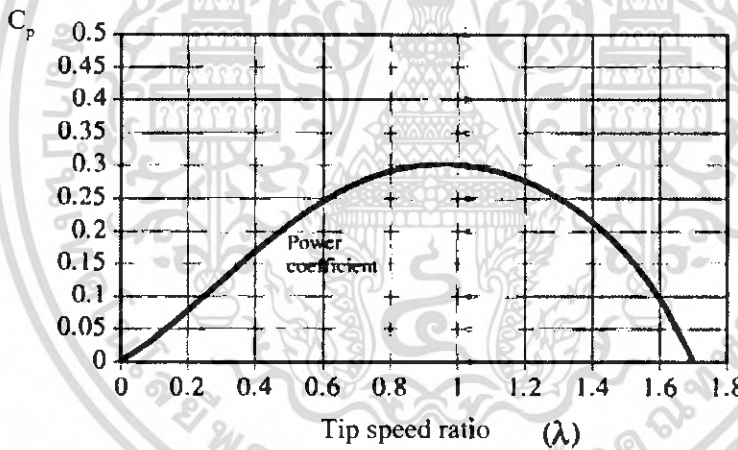
นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง สามารถหาได้จากการทดลองกักกันด้วยความเร็วลมค่าต่าง ๆ หรือกราฟการทดลองของใบพัดแบบซาโวเนียส ซึ่งจะมีค่าสอดคล้องกับความเร็วลมในรูปของตัวแปรไร้มิติ อัตราส่วนของความเร็วปลาย ดังรูป 5.3 ซึ่งกักกันลมแนวตั้งแบบซาโวเนียสที่ใช้ในโครงการนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังเพียง 0.2 แต่ได้มีการค้นคว้าจากเอกสารพบว่าค่าสัมประสิทธิ์กำลังนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะคร่อมของใบพัดที่ดีที่สุดซึ่งมีค่า 0.19 เท่าของระยะเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด จะสามารถทำให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงถึง 0.3 เมื่อค่าอัตราส่วนความเร็วปลายประมาณ 1 ได้ ดังรูป 5.4



รูป 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังและอัตราส่วนความเร็ว



รูป 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์และอัตราส่วนความเร็วเมื่อมีระยะคร่อม 0.19 [11]

อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดหาได้จาก

$$\lambda = \frac{U}{V_i} = \frac{\Omega(D/2)}{V_i} \tag{5.14}$$

สามารถคำนวณแรงบิดจากใบพัดได้จาก

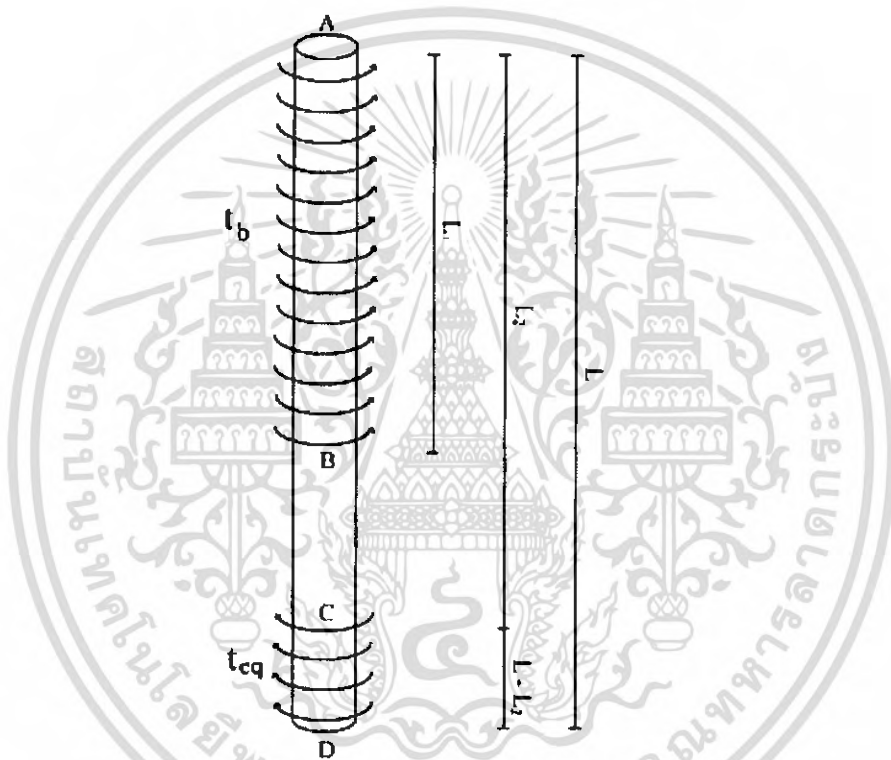
$$T_{blade} = \frac{P_{blade}}{\Omega} \tag{5.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การคำนวณความเสียหายบนเพลากลมหมน

เมื่อลมพัดผ่านใบพัดของกังหันลมจะทำให้เกิดแรงบิด ในขณะที่กังหันยังไม่หมุนค่าแรงบิดจะมีค่าน้อยกว่าค่าแรงบิดด้านอื่นเนื่องมาจากแรงเสียดทาน ซึ่งหาได้จากการค่อย ๆ เพิ่มความเร็วลมขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งกังหันลมเริ่มหมุน แรงบิดที่สามารถทำให้กังหันลมเริ่มหมุนได้คือแรงบิดที่มีค่าเท่ากับแรงบิดด้านเนื่องจากแรงเสียดทาน [12] ดังรูป 5.5 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากโดย

$$t_b L_1 = t_{eq} (L - L_2) \quad (5.16)$$

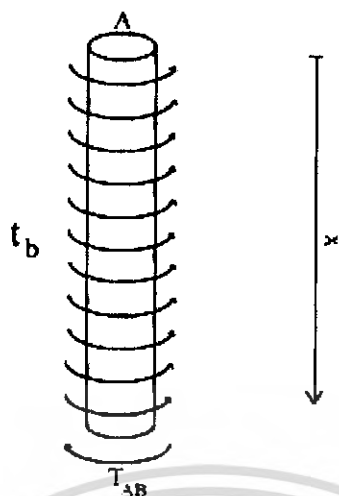


รูป 5.5 ภาพการกระจายแรงบิดที่เกิดขึ้นบนเพลากลมหมน

สามารถหาค่าแรงบิดบนเพลากลมหมนต่อ 1 เมตรได้โดย

$$t_{eq} = \frac{T_{blade}}{L_1} \quad (5.17)$$

เมื่อลมพัดผ่านใบพัดแล้วยังไม่เกิดการหมุน จะทำให้เกิดแรงบิดที่เพลากลมหมน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้



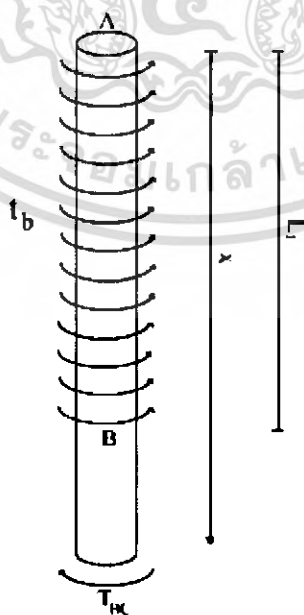
รูป 5.6 แผนภาพวัตถุอิสระในช่วง AB

พิจารณาแรงบิด ดังสมการ (5.18) จากรูป 5.6 โดยที่ระยะ $0 \leq x \leq L_1$ ดังนั้นจะเกิด $T_{AB, \min}$ เมื่อ $x = 0$ และ $T_{AB, \max}$ เมื่อ $x = L_1$

$$T_{AB} = t_b x \quad (5.18)$$

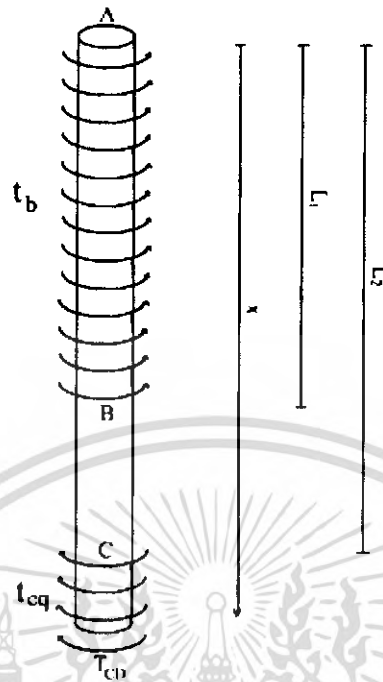
พิจารณาแรงบิด ดังสมการ (5.19) จากรูป 5.7 โดยที่ระยะ $0 \leq x \leq L_2$

$$T_{BC} = t_b L_1 \quad (5.19)$$



รูป 5.7 แผนภาพวัตถุอิสระในช่วง AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.8 แผนภาพวัตถุอิสระในช่วง AD

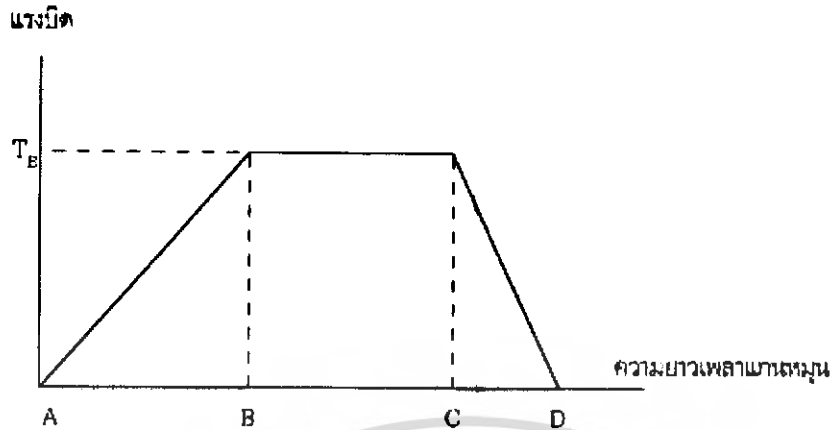
พิจารณาแรงบิด ดังสมการ (5.20) จากรูป 5.8 โดยที่ระยะ $0 \leq x \leq L$ ดังนั้นจะเกิด $T_{CD, \min}$ เมื่อ $x = L$ และ $T_{CD, \max}$ เมื่อ $x = L_2$

$$T_{CD} = (t_b L_1) - t_{eq} (x - L_2) \quad (5.20)$$

จากสมการ (5.20) แทน t_{eq} จากสมการ (5.17) จะได้

$$T_{CD} = (t_b L_1) - t_b \left(\frac{L_1}{L - L_2} \right) (x - L_2) \quad (5.21)$$

จากการวิเคราะห์แรงบิดที่ผ่านมาจะสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความยาวเพลาแกนหมุนได้ดังรูป 5.9

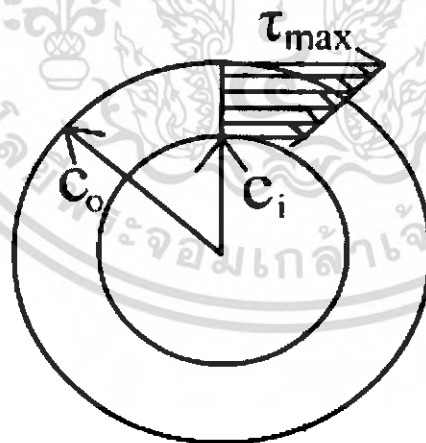


รูป 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความยาวของเพลานาถหมุน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด และความยาวของเพลานาถหมุน เราจะทราบค่าแรงบิดสูงสุด อยู่ที่ช่วง BC มีค่าเท่ากับ

$$T_{\max} = t_b L_1 \quad (5.22)$$

ความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีแรงบิดสูงสุดที่ผิวของเพลานาถหมุนดังรูป 5.10



รูป 5.10 แสดงเวกเตอร์การกระจายความเค้นเฉือนสูงสุดบนทรงกระบอกกลวง

สามารถคำนวณหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุดได้โดย

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max} C_o}{J} \quad (5.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของทรงกระบอกกรวงสามารถหาได้โดย

$$J = \int_A c^2 dA$$

$$J = \int_{C_i}^{C_o} c^2 d(\pi c^2) = \int_{C_i}^{C_o} c^2 2\pi c dc = \int_{C_i}^{C_o} 2\pi c^3 dc$$

$$J = \frac{\pi}{2} (C_o^4 - C_i^4) \quad (5.24)$$

เมื่อเพลารับแรงบิดภายใต้การเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง T_{max} การคิดค่าความปลอดภัยจะใช้ทฤษฎีของโซลเดอร์เบิร์ก [13] คือ

$$\frac{1}{n} = \frac{\tau_m}{\tau_y} + \frac{K_{fs} \tau_a}{\tau_n} \quad (5.25)$$

โดยที่

$$\tau_y = 0.5\sigma_y \quad = \text{ความแรงเฉือนคราก จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด [15]}$$

$$\tau_m = \frac{T_m C_o}{J} \quad = \text{ความเค้นเฉือนเฉลี่ย}$$

$$\tau_a = \frac{T_a C_o}{J} \quad = \text{ความเค้นเฉือนส่วนเปลี่ยนแปลง}$$

$$K_{fs} = 1 + q(K_t - 1) \quad = \text{ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นของความเค้นเฉือนจริง}$$

$$T_m = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad = \text{แรงบิดเฉลี่ย}$$

$$T_a = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \quad = \text{แรงบิดส่วนเปลี่ยนแปลง}$$

$$q = 0 \quad = \text{ความไวรอยเจาะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีรอยเจาะ}$$

$$\tau_n \quad = \text{ความต้านแรงทนทานสำหรับแรงเฉือนซึ่งสามารถหาได้โดย}$$

$$\tau_n = k_a k_b k_c \sigma'_n \quad (5.26)$$

เมื่อ

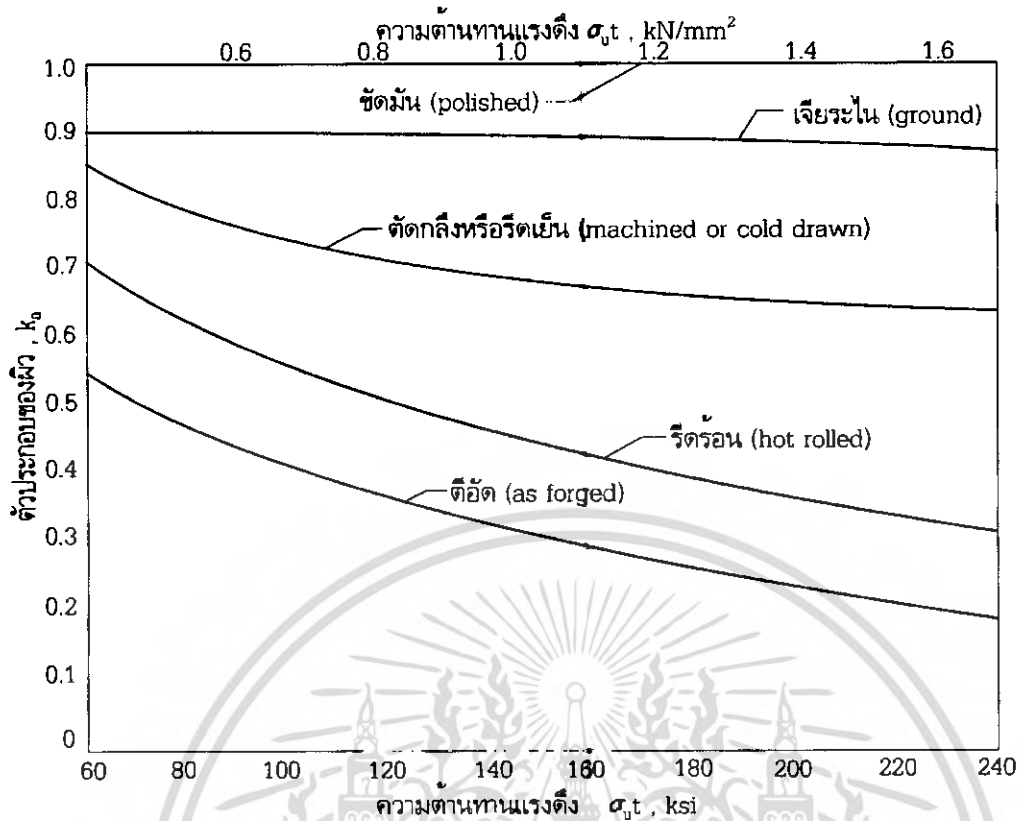
$$\sigma'_n = 0.5\sigma_u \quad = \text{ขีดจำกัดความทนทานสำหรับเหล็กกล้าเหนียว ซึ่ง } \sigma_u < 1380 \text{ MPa}$$

$$k_a \quad = \text{ตัวประกอบผิว หาได้จากรูป 5.11}$$

$$k_b \quad = \text{ตัวประกอบของขนาด}$$

$$k_c \quad = \text{ตัวประกอบของแรง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.11 กราฟตัวประกอบของผิวสำเร็จสำหรับเหล็กกล้า [14]

ตัวประกอบของขนาดมีค่าดังนี้

$k_b = 1.00$ สำหรับ $2c < 8$ มิลลิเมตร

$k_b = 0.85$ สำหรับ $8 < 2c < 50$ มิลลิเมตร

$k_b = 0.75$ สำหรับ $2c > 50$ มิลลิเมตร

ตัวประกอบของแรงมีค่าดังนี้

$k_c = 1.00$ สำหรับการตัด

$k_c = 0.80$ สำหรับการดึงหรือกด

$k_c = 0.60$ สำหรับการเฉือน

โดยในที่นี้จะใช้ตัวประกอบของแรงเป็น 0.6

พิจารณาค่าความปลอดภัยเป็น $n = 3$ ดังนั้นจะสามารถหาความเค้นเฉือนที่ยอมรับได้ดังนี้

$$\frac{1}{n} = \frac{\frac{T_m C_o}{J}}{0.6\sigma_y} + \frac{(1)\frac{T_a C_o}{J}}{k_a k_b k_c (0.5\sigma_u)} \quad (5.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{n} = \frac{\left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}\right) C_o}{J \cdot 0.6\sigma_y} + \frac{(1) \left(\frac{T_{\max} - T_{\min}}{2}\right) C_u}{k_o k_b k_c (0.5\sigma_u)} \quad (5.28)$$

เมื่อแรงบิดอยู่ในช่วง 0 ถึง T_{allow} จะสามารถคำนวณ T_{allow} ได้จากสมการ (5.28)

$$\frac{1}{n} = \frac{\left(\frac{T_{allow} + 0}{2}\right) C_o}{J \cdot 0.6\sigma_y} + \frac{(1) \left(\frac{T_{allow} - 0}{2}\right) C_u}{k_o k_b k_c (0.5\sigma_u)} \quad (5.29)$$

$$T_{allow} = \frac{1}{n} \times \frac{2}{\left(\frac{C_o}{0.6\sigma_y J} + \frac{C_u}{k_o k_b k_c (0.5\sigma_u) J}\right)}$$

สามารถหาความเค้นเฉือนได้โดย

$$\tau_{allow} = \frac{T_{allow} C_o}{J} \quad (5.30)$$

เมื่อเปรียบเทียบความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นบนเพลากันหมุนและความเค้นเฉือนที่ยอมรับได้ จะสามารถพิจารณาความเสียหายได้ โดยโครงสร้างจะปลอดภัยเมื่อ

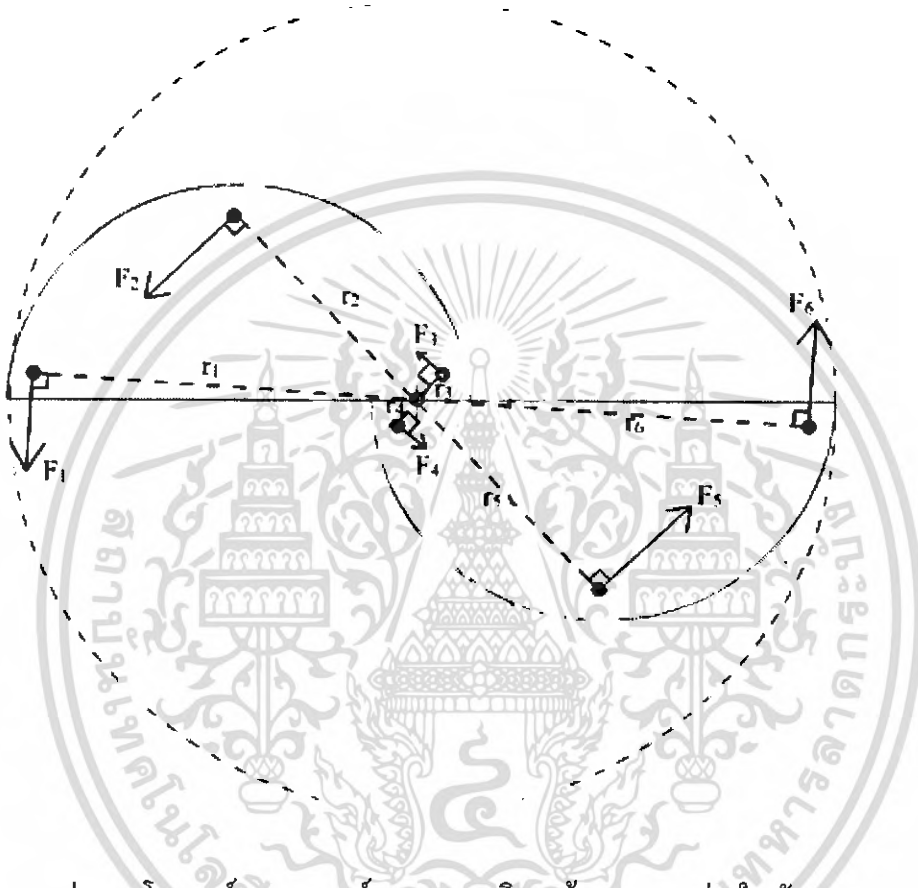
$$\tau_{\max} < \tau_{allow} \quad (5.31)$$

5.5 การคำนวณสลักเกลียวบริเวณด้านบนและล่างของใบพัด

บริเวณใบพัดด้านบนและล่างยึดด้วยสลักเกลียวด้านละ 6 ตัว ดังรูป 5.12 เมื่อลมกระทำต่อใบพัดแล้วยังไม่เกิดการหมุน สลักเกลียวเกิดความเค้นเฉือนจากโมเมนต์ที่ใบพัด ดังนั้น โมเมนต์สูงสุดขณะที่ใบพัดยังไม่เกิดการหมุนมีค่าเท่ากับแรงบิดด้านอื่นเนื่องมาจากแรงเสียดทาน

พิจารณาแรงบนสลักเกลียวซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางมวลดังรูป 5.13 โมเมนต์
ในขณะที่ใบพัดยังไม่หมุนได้

$$M_b = F_1 r_1 + F_2 r_2 + F_3 r_3 + F_4 r_4 + F_5 r_5 + F_6 r_6 \quad (5.34)$$



รูป 5.13 โมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางมวลบริเวณด้านบนและล่างใบพัด

เมื่อสลักเกลียวอยู่ไกลจากจุดศูนย์กลางมวล จะรับแรงเนื่องจากโมเมนต์มากขึ้น [16] นั่นคือ

$$F \propto r$$

ดังนั้น

$$\frac{F_1}{r_1} = \frac{F_2}{r_2} = \frac{F_3}{r_3} = \frac{F_4}{r_4} = \frac{F_5}{r_5} = \frac{F_6}{r_6} = \frac{F_n}{r_n} \quad (5.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการ (5.35) ในสมการ (5.34)

$$M_b = \frac{F_n r_1^2 + F_n r_2^2 + F_n r_3^2 + F_n r_4^2 + F_n r_5^2 + F_n r_6^2}{r_n}$$

$$F_n = \frac{M_b r_n}{(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2 + r_5^2 + r_6^2)} \quad (5.36)$$

เนื่องจากใบพัดจะติดสลักเกลียวทั้งบนและด้านล่าง ดังนั้นแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์บนสลักเกลียวแต่ละตัวจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนั้นแรงที่เกิดขึ้นจริง ๆ บนสลักเกลียวแต่ละตัวจะเป็น $\frac{F}{2}$

พิจารณาคำนวณความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นบนสลักเกลียวจากโดย

$$\tau_s = \frac{F_n/2}{A_s} \quad (5.37)$$

เลือกสลักเกลียวจากตาราง 5.1 เพื่อหาความแรงเฉือนครากจากความเค้นครากดั่งจากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดดังนี้

$$\tau_y = 0.5\sigma_y \quad (5.38)$$

พิจารณาค่าความปลอดภัยเป็น $n = 3$ ดังนั้นจะสามารถหาความเค้นเฉือนที่ยอมรับได้จาก

$$n = \frac{\tau_y}{\tau_{allow}} \quad (5.39)$$

เมื่อเปรียบเทียบความเค้นเฉือนบนสลักเกลียวและความเค้นเฉือนที่ยอมรับได้ จะสามารถพิจารณาความเสียหายได้โดยโครงสร้างจะปลอดภัยเมื่อ

$$\tau_s < \tau_{allow} \quad (5.40)$$

ตาราง 5.1 แสดงคุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตั๊ด [13]

ชั้น คุณสมบัติ	เกลียว	ความเค้น พิสูจน์ ต่ำสุด (N/mm^2)	ความต้าน แรงดึง ต่ำสุด (N/mm^2)	ความต้านแรง ดึงคราก ต่ำสุด (N/mm^2)	วัสดุที่ใช้
4.6	M5-M36	225	400	240	Low or medium carbon
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Low or medium carbon
5.8	M5-M24	380	520	420	Low or medium carbon
8.8	M16-M36	600	830	660	Medium carbon, Q&T
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Medium carbon, Q&T
10.9	M5-M36	830	1040	940	Low carbon martensite, Q&T
12.9	M1.6-M36	970	1220	1100	Alloy, Q&T

5.6 การคำนวณอายุการใช้งานของแบริ่ง

เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานแบริ่ง จะต้องคำนวณช่วงอายุการใช้งาน โดยสมมุติว่าสมกระทำต่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม และคิดคั้งแบริ่ง เพียงตัวเดียว ดังรูป 5.14 ซึ่งทำให้แบริ่งรับแรงมากกว่าความเป็นจริง เพื่อคำนวณการใช้งานในช่วงที่ปลอดภัยที่สุด สามารถหาแรงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดได้โดย

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A V_i^2 \quad (5.41)$$

$$A = h(2d - S) \quad (5.42)$$

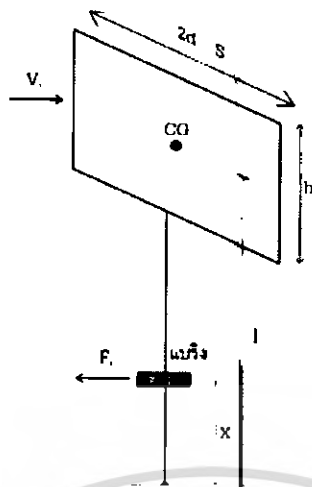
ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน สามารถหาได้จากกราฟสัมประสิทธิ์แรงต้านซึ่งจะมีค่าสอดคล้องกับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ [17] เมื่อ D_d คือ

$$D_d = h \quad (5.43)$$

เลขเรย์โนลด์์ [18] มีค่าดังสมการ

$$Re = \frac{\text{inertia force}}{\text{viscous force}} = \frac{\rho V_i D_d}{\mu} \quad (5.44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.14 แผนภาพวัตถุอิสระเมื่อพิจารณาแรงที่กระทำต่อแบริง

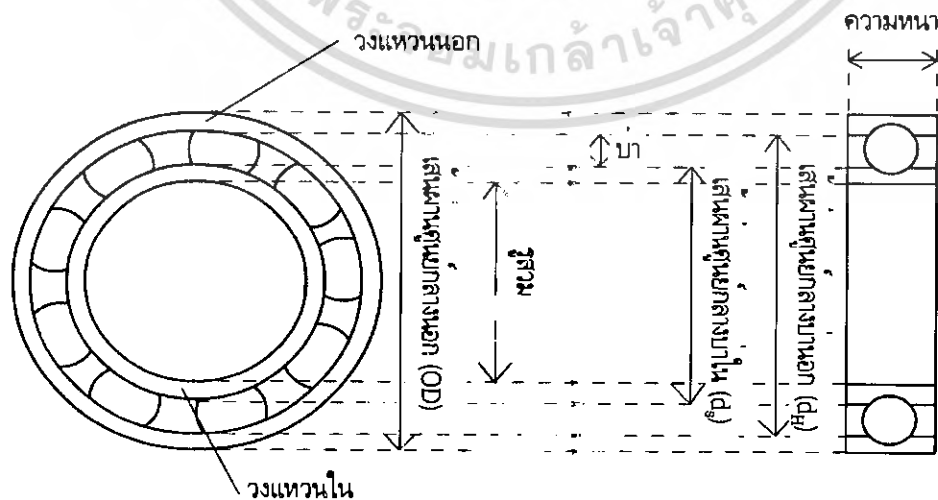
เมื่อวัตถุตั้งฉากกับทิศทางการไหลของลม สัมประสิทธิ์แรงต้านจะเป็น 1.98 ดังนั้น แรงตามแนวรัศมีที่กระทำต่อแบริงสามารถคำนวณได้โดย

$$\sum M_G = 0 ; F_D l = F_r x$$

$$F_r = \frac{F_D l}{x} \tag{5.45}$$

แรงตามแนวแกนสามารถคำนวณได้โดย การนำค่าแรงบิดที่ความเร็วลมสูงสุดตามหาค่าแรงที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเส้นรอบวงรอบนอกของแบริง และสมมติว่าใบพัดหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่จะได้

$$F_a = \frac{T_{blade}}{OD/2} \tag{5.46}$$



รูป 5.15 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของแบริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงสมมูลที่เกิดขึ้นบนเบริง (F_e) หาได้ดังนี้

- เปิดตารางมิติมาตรฐานและแรงประเมนของบอลเบริง [12] เพื่อหาแรงสถิตประเมน (C_0) จากการเลือกขนาดรูสวม โดยรูสวมมีขนาดเท่ากับเพลากันหมุน
- พิจารณา $\frac{F_a}{C_0}$ เพื่อหาค่า e จากตารางที่ 5.2
- เปรียบเทียบ $\frac{F_a}{VF_r}$ กับ e เพื่อหาตัวประกอบ X, Y จากตาราง 5.2 โดย
 - $V = 1$ เมื่อวงแหวนด้านในของเบริงหมุน
 - $V = 1.2$ เมื่อวงแหวนด้านนอกของเบริงหมุน
- หาแรงลัพธ์ได้จาก

$$F_e = X_1 VF_r + Y_1 F_a \quad (5.47)$$

ตาราง 5.2 ตัวประกอบ X, Y สำหรับบอลเบริง [16]

$\frac{F_a}{C_0}$	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$	
		X_1	Y_1	X_2	Y_2
0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.170	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.280	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.420	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.560	0.44	1.00	0	0.56	1.00

*ใช้ 0.014 ถ้า $\frac{F_a}{C_0} < 0.014$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุการใช้งานของแบร็งสามารถคำนวณได้จาก โดย [14]

$$L_{10} = \left(\frac{C}{F_c} \right)^a \quad (5.48)$$

โดย

$a = 3$ ค่าคงที่เมื่อเป็นบอลแบร็ง

$a = \frac{10}{3}$ ค่าคงที่เมื่อเป็นโรลลิงแบร็ง

L_{10} อายุประเมิน คือ จำนวนรอบซึ่งร้อยละ 90 จากจำนวนนี้ สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้า

C แรงพลวัตประเมิน คือแรงที่กระทำในแนวรัศมีที่แบร็งจะรับได้ โดยมีอายุประเมินมีค่าเท่ากับ 10^6 รอบ หาได้จากตารางมิติมาตรฐานและแรงประเมินของบอลแบร็ง [12]



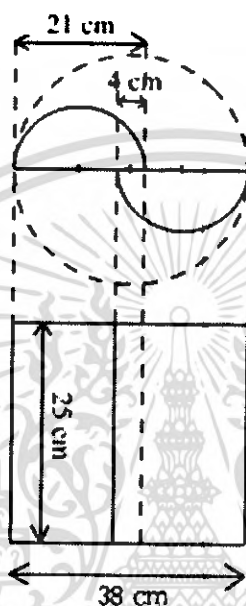
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วัสดุและอุปกรณ์

6.1 แบบจำลองกึ่งหั่นลม

แบบจำลองกึ่งหั่นลมแนวตั้งแบบซาโวเนียสที่ใช้มีขนาดใบพัดดังรูป 6.1



รูป 6.1 ขนาดใบพัดของแบบจำลองกึ่งหั่นลม

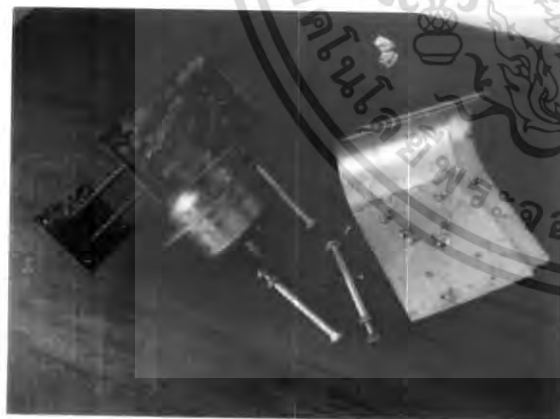
วัสดุที่ใช้ทำใบกึ่งหั่นลมนำกระป๋องเหล็กมาดัดแปลง ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 เซนติเมตร และสูง 25 เซนติเมตร ลักษณะของใบพัดที่ออกแบบจะเป็นใบพัดของกึ่งหั่นลมแบบซาโวเนียสชนิด 2 ใบพัด ดังนั้นจะได้พื้นที่ของใบพัด

เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด	d	=	0.21	เมตร
ระยะคร่อมของใบพัด	S	=	0.04	เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางการหมุน	D	=	0.38	เมตร
ความสูงใบพัด	h	=	0.25	เมตร
พื้นที่หน้าตัด	A	=	Dh	
		=	0.095	ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากแบบจำลองกึ่งหั่นลมนี้มีขนาดเล็กและความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองมีค่าน้อยมากดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงโครงสร้างของเพลาแกนหมุน ในส่วนของสลักเกลียวบริเวณด้านบนและด้านล่างของใบพัดในแบบจำลองจะใช้การเชื่อมแทนเพราะใบพัดมีขนาดเล็ก สำหรับแบริงที่เราใช้เป็นชนิดโรตลิ่งแบริงมีข้อดีคือ แรงเสียดทานขณะเริ่มต้นหมุนน้อยจึงเหมาะกับกึ่งหั่นลมซึ่งมีการหยุดหมุนบ่อยครั้ง การดูแลรักษาเกี่ยวกับการหล่อลื่นแบริงชนิดนี้สามารถทำได้ง่าย ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย สามารถใช้รองรับเพลาในตำแหน่งต่าง ๆ ได้ และติดตั้งได้ง่าย โดยการสร้างแบบจำลองกึ่งหั่นลมมีวิธีการดังนี้

- แยกชิ้นส่วนแบบจำลองกึ่งหั่นลมซึ่งได้ทดลองสร้างขึ้นในวิชาโครงการงาน 1 เพื่อนำอุปกรณ์ต่าง ๆ กลับมาใช้งานใหม่ ได้แก่ โครงสร้าง, เพลาแกนหมุน และแบริงมาใช้ประโยชน์ ดังรูป 6.2
- สร้างใบพัด โดยใช้กระป๋องเหลือใช้ แล้วทำการตัดด้านบนและด้านล่างกระป๋องให้มีขนาดใบ 25×21 เซนติเมตร จากนั้นตัดแผ่นเหล็กครึ่งวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 เซนติเมตรเพื่อใช้ประกบด้านบนและด้านล่างด้วยการเชื่อมดังรูป 6.3
- นำใบพัดทั้ง 2 ใบมาประกบกัน โดยให้มีระยะคร่อมเป็น 0.19 ของเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด ซึ่งจะ มีขนาด 4 เซนติเมตร ซึ่งแสดงในรูป 6.4
- นำชิ้นส่วนทั้งหมดมาพ่นสี
- นำชิ้นส่วนต่าง ๆ ทั้งหมด มาประกอบกัน ได้แบบจำลองกึ่งหั่นลมดังรูป 6.5



รูป 6.2 แยกชิ้นส่วนอุปกรณ์แบบจำลอง

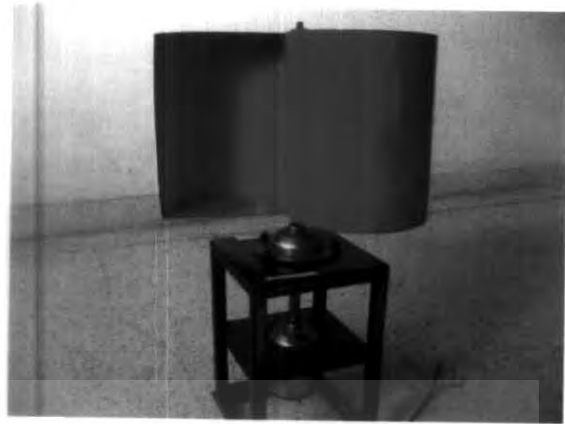


รูป 6.3 การประกอบส่วนของใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.4 ประกอบใบพัดโดยมีระยะคร่อม 0.19



รูป 6.5 ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมด

6.2 เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดความเร็วลม (Wind speed meter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วลมในขณะที่ลมไหลผ่าน โดยเครื่องวัดนี้มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที ซึ่งอ่านได้เฉพาะความเร็วลมที่ไหลผ่านใบพัดของเครื่องวัดเท่านั้น



รูป 6.6 เครื่องวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ชุดเครื่องมือวัดแรงบิด

สร้างโดยใช้ตาชั่งสปริงยึดติดกับโครงสร้าง โดยตาชั่งสปริงเป็นอุปกรณ์วัดภาระจากมวลหรือแรง ซึ่งในการทดลองเรานำมาประยุกต์ใช้เพื่อวัดแรงบิดจากเพลากังหันลมซึ่งส่งต่อแรงบิดมาจากใบพัด โดยยึดติดกับเพลากันหมุนของกังหันลมด้วยเทปกาวที่บีบไม่ยืด และคำนวณหาแรงบิดได้ดังรูป 6.9 โดย

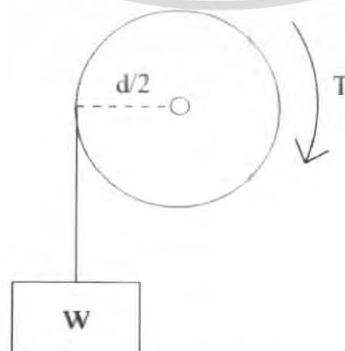
$$T = w\left(\frac{d}{2}\right) \quad (6.1)$$



รูป 6.7 ตาชั่งสปริง



รูป 6.8 ชุดเครื่องมือวัดแรงบิด

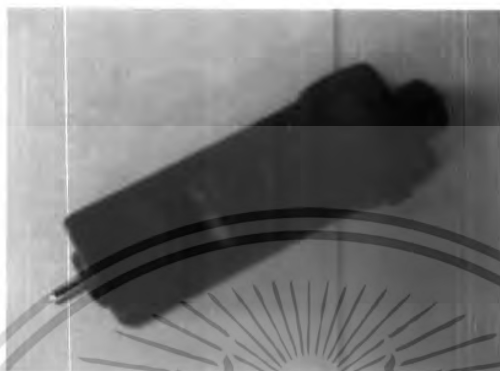


รูป 6.9 วิธีวัดแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 เครื่องวัดความเร็วรอบ

เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) เป็นอุปกรณ์เพื่อทราบความเร็วรอบของใบพัด โดยจะอ่านค่าออกมาได้เป็นจำนวนรอบต่อหน่วยเวลา เครื่องที่ใช้จะอ่านออกมาเป็นจำนวนรอบต่อนาที นำไปหาร 60 จะได้ค่าที่ต้องการคือ รอบต่อวินาที เพื่อเป็นความถี่นำไปใช้หาค่าอัตราเร็วเชิงมุม



รูป 6.10 เครื่องวัดความเร็วรอบ

6.5 อุโมงค์ลม

อุโมงค์ลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้ลมอยู่ในสถานะที่ไม่ให้ลมภายนอกเข้ามาผสมและสามารถกำหนดให้ลมมีความเร็วคงที่ค่าหนึ่งได้ขณะที่ทำการทดลอง โดยลมจะวิ่งในอุโมงค์ด้วยความเร็วคงที่ซึ่งออกมาจากแหล่งกำเนิดลม



รูป 6.11 อุโมงค์ลมและแหล่งกำเนิดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 แหล่งกำเนิดลม

ในการผลิตกระแสลมในโรงงานนี้ใช้พัดลมที่สามารถปรับความเร็วลมได้ 3 ระดับ ในกรณีที่ ต้องการใช้ค่าความเร็วอื่นสามารถเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมให้มีระยะห่างจากอุโมงค์เพิ่มมากขึ้น และ วัดความเร็วลมโดยการเฉลี่ยบริเวณก่อนกระทบใบพัด



รูป 6.12 พัดลมที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดลอง

7.1 วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งเครื่องมือวัดแรงบิดบนเพลากลางของกังหันลม
2. เปิดพัดลมให้ทำการผลิตกระแสลมไหลผ่านอุโมงค์ลมระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ความเร็วคงที่
3. ทำการวัดค่าความเร็วลมเฉลี่ยบริเวณก่อนกระทบใบพัด
4. จากนั้นอ่านค่าภาระที่ตาชั่งสปริง โดยรอให้ค่าบริเวณตาชั่งสปริงคงที่
5. ปลดเครื่องมือวัดแรงบิดออก
6. จากนั้นเปิดพัดลมความเร็วลมเดิมทำการวัดความเร็วรอบจากกังหันลม
7. ทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 6 โดยการเพิ่มความเร็วลมขึ้น และทดลอง 3 ครั้งต่อความเร็วลมเฉลี่ยหนึ่งค่า
8. นำค่าที่วัดได้มาคำนวณและเขียนกราฟความสัมพันธ์

7.2 ผลการทดลอง

เมื่อนำกังหันลมทดสอบในอุโมงค์ลมขนาดเล็กที่ปรับความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0 ถึง 3 เมตรต่อวินาที โดยใช้ระยะคร่อม 0.19 โดยทำการทดสอบ 3 ครั้ง ซึ่งความเร็วรอบต่อวินาที และภาระจากตาชั่งสปริงของการทดลองครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ถูกแสดงในตาราง 7.1, 7.2, 7.3 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 3 ครั้งถูกแสดงในตาราง 7.4

ตาราง 7.1 ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 1

$V_i, m/s$	f, rps	$\Omega, Rad/s$	λ	w, kg	$T_{blade}, N \cdot m$	P_{blade}, W	P_{wind}, W	C_p
2.12	1.60	10.057	0.901	0.44	0.0153	0.1541	0.5272	0.2922
2.35	1.90	11.942	0.965	0.55	0.0195	0.2288	0.7181	0.3185
2.46	2.05	12.885	0.995	0.57	0.0198	0.2558	0.8238	0.3105
2.52	2.15	13.514	1.018	0.60	0.0209	0.2824	0.8855	0.3188
2.79	2.40	15.085	1.027	0.71	0.0247	0.3730	1.2017	0.3103
2.90	2.60	16.342	1.070	0.72	0.0251	0.4098	1.3496	0.3036
3.21	3.00	18.857	1.116	0.83	0.0289	0.5451	1.8303	0.2978

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7.2 ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 2

$V_i, m/s$	f, rps	$\Omega, Rad/s$	λ	w, kg	$T'_{blade}, N \cdot m$	P_{blade}, W	P_{wind}, W	C_p
2.12	1.60	10.057	0.901	0.48	0.0167	0.1681	0.5272	0.3188
2.35	1.90	11.942	0.965	0.52	0.0181	0.2163	0.7181	0.3012
2.46	2.05	12.885	0.995	0.59	0.0205	0.2647	0.8238	0.3214
2.52	2.15	13.514	1.018	0.57	0.0198	0.2683	0.8855	0.3029
2.79	2.40	15.085	1.027	0.72	0.0251	0.3783	1.2017	0.3147
2.90	2.60	16.342	1.070	0.75	0.0261	0.4268	1.3496	0.3163
3.21	3.00	18.857	1.116	0.85	0.0296	0.5582	1.8303	0.3050

ตาราง 7.3 ผลการทดลองและผลการคำนวณครั้งที่ 3

$V_i, m/s$	f, rps	$\Omega, Rad/s$	λ	w, kg	$T_{blade}, N \cdot m$	P_{blade}, W	P_{wind}, W	C_p
2.12	1.60	10.057	0.901	0.46	0.0160	0.1611	0.5272	0.3055
2.35	1.90	11.942	0.965	0.55	0.0192	0.2287	0.7181	0.3185
2.46	2.05	12.885	0.995	0.58	0.0201	0.2602	0.8238	0.3159
2.52	2.15	13.514	1.018	0.60	0.0209	0.2824	0.8855	0.3188
2.79	2.40	15.085	1.027	0.70	0.0244	0.3677	1.2017	0.3060
2.90	2.60	16.342	1.070	0.72	0.0251	0.4098	1.3496	0.3036
3.21	3.00	18.857	1.116	0.84	0.0292	0.5516	1.8303	0.3013

ตาราง 7.4 ผลการทดลองและผลการคำนวณโดยเฉลี่ย

$V_i, m/s$	f, rps	$\Omega, Rad/s$	λ	w, kg	$T_{blade}, N \cdot m$	P_{blade}, W	P_{wind}, W	C_p
2.12	1.60	10.057	0.901	0.46	0.0160	0.1611	0.5272	0.3055
2.35	1.90	11.942	0.965	0.54	0.0188	0.2245	0.7181	0.3127
2.46	2.05	12.885	0.995	0.58	0.0201	0.2602	0.8238	0.3159
2.52	2.15	13.514	1.018	0.59	0.0205	0.2776	0.8855	0.3135
2.79	2.40	15.085	1.027	0.71	0.0247	0.3730	1.2017	0.3103
2.90	2.60	16.342	1.070	0.73	0.0254	0.4154	1.3496	0.3078
3.21	3.00	18.857	1.116	0.84	0.0292	0.5516	1.8303	0.3013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้หาอัตราเร็วเชิงมุม อัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลม แรงบิดใบพัด กำลังใบพัด กำลังลม และสัมประสิทธิ์กำลังได้ดังนี้

$$\text{การคำนวณอัตราเร็วเชิงมุม} \quad \Omega = 2\pi f \quad (7.1)$$

$$\text{การคำนวณ } \lambda \quad \lambda = \Omega(d/2)/V, \quad (7.2)$$

$$\text{โดยที่ } d = 0.38 \text{ m}$$

$$\text{การคำนวณแรงบิดใบพัด} \quad T_{blade} = (wg)r \quad (7.3)$$

$$\text{โดยที่ } r = 0.00355 \text{ m}$$

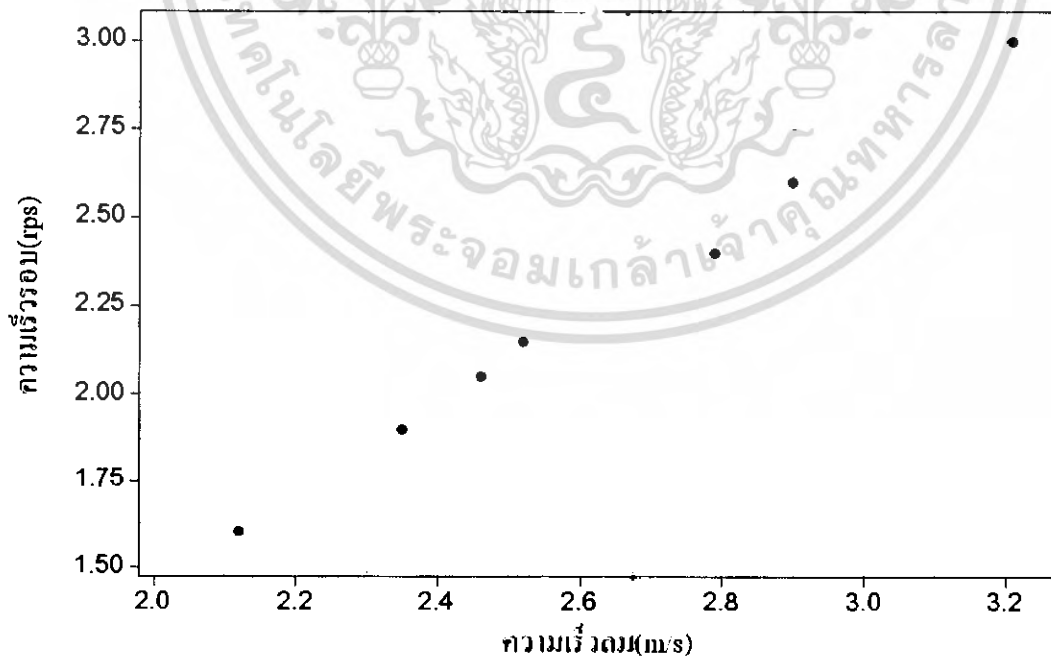
$$\text{การคำนวณกำลังใบพัด} \quad P_{blade} = T_{blade}\Omega \quad (7.4)$$

$$\text{การคำนวณกำลังลม} \quad P_{wind} = \frac{1}{2}\rho AV_i^3 \quad (7.5)$$

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

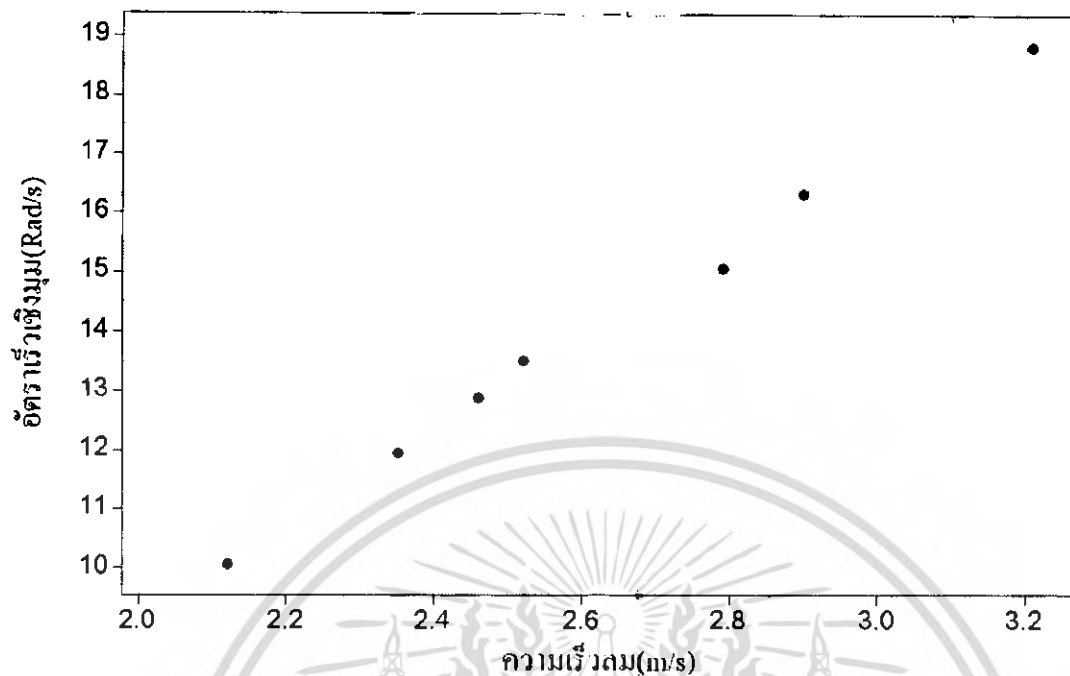
$$\text{การคำนวณสัมประสิทธิ์กำลัง} \quad C_p = \frac{P_{blade}}{P_{wind}} \quad (7.6)$$

นำผลที่ได้จากการทดลองและการคำนวณทั้ง 3 ครั้งที่ความเร็วลมเฉลี่ยต่าง ๆ มาหาความสัมพันธ์เทียบกับความเร็วลม ได้กราฟดังต่อไปนี้

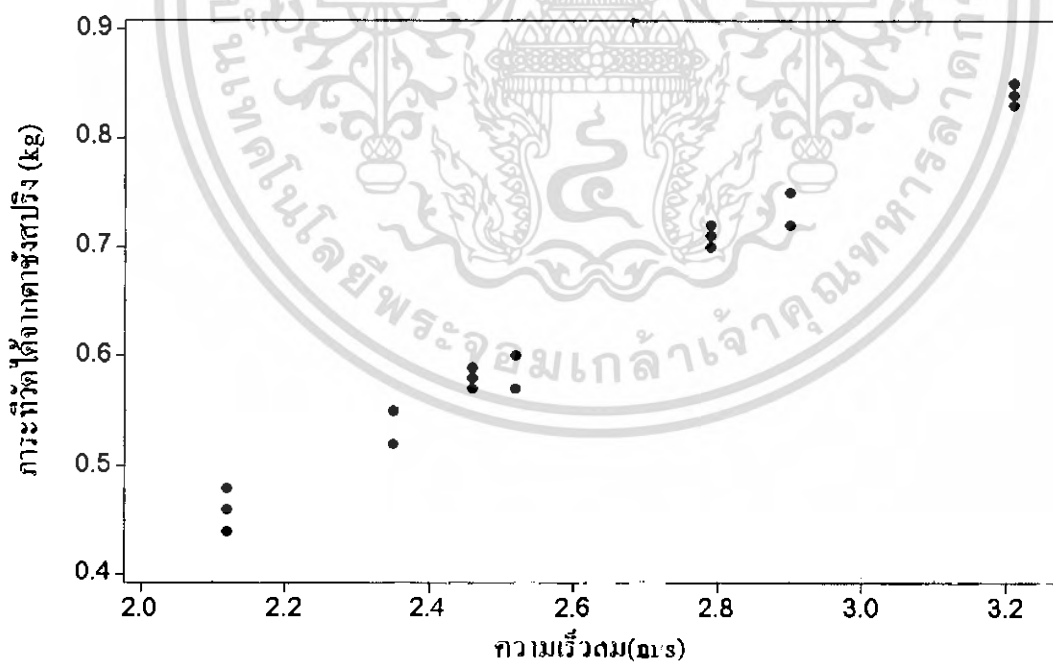


รูป 7.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบพัดกับความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

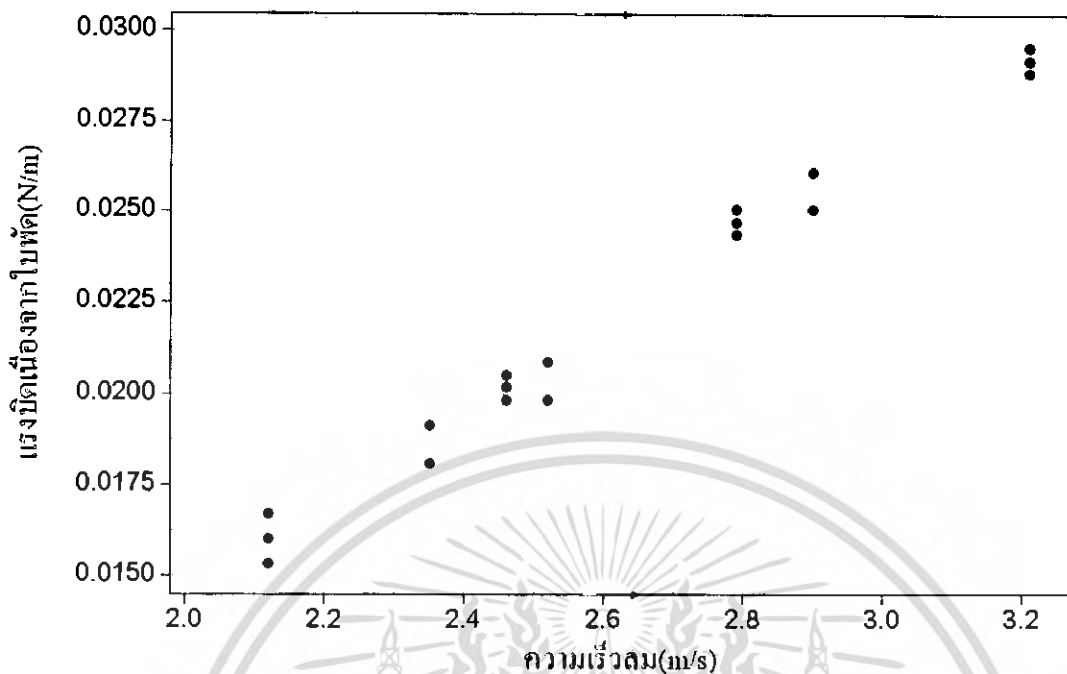


รูป 7.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดกับความเร็วกลม

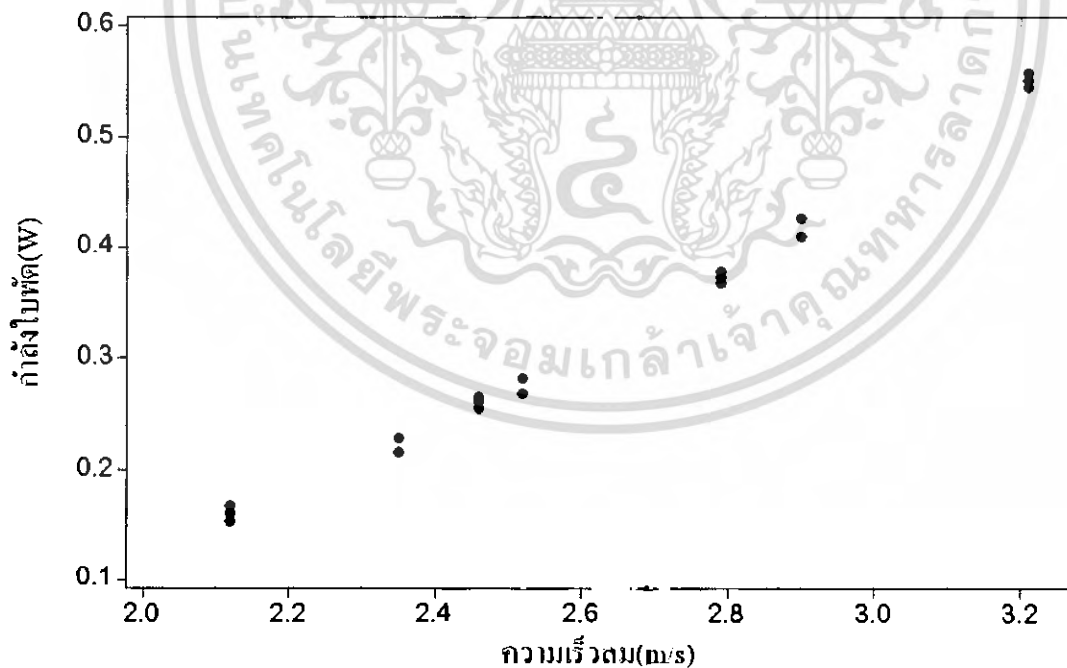


รูป 7.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาวะของใบพัดกับความเร็วกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

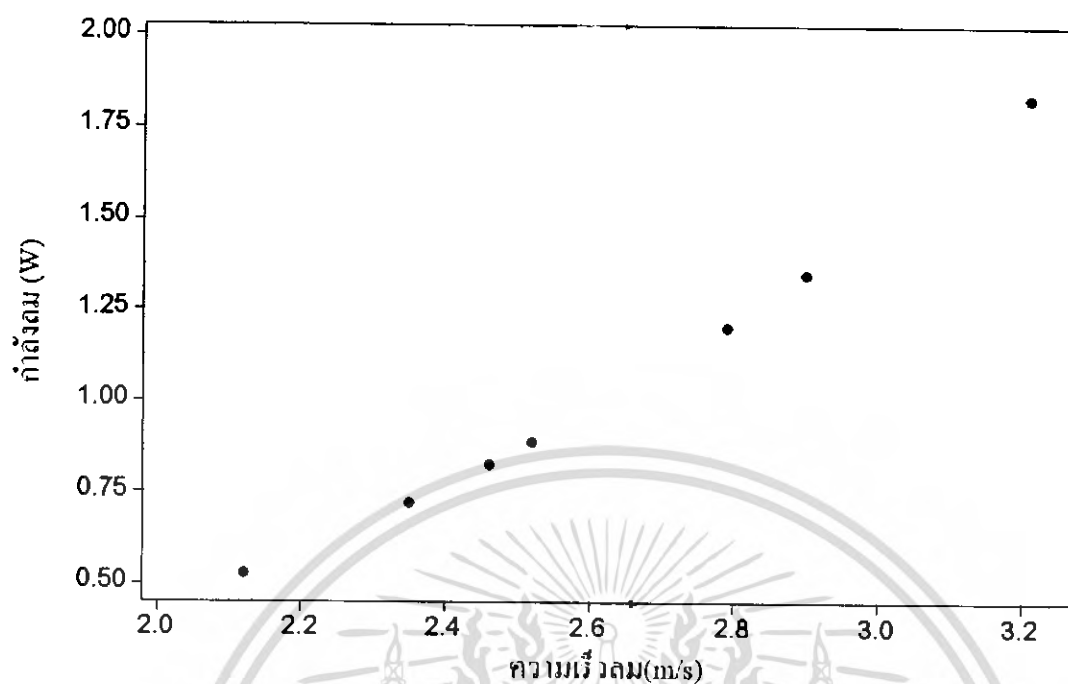


รูป 7.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของใบพัดและความเร็วลม

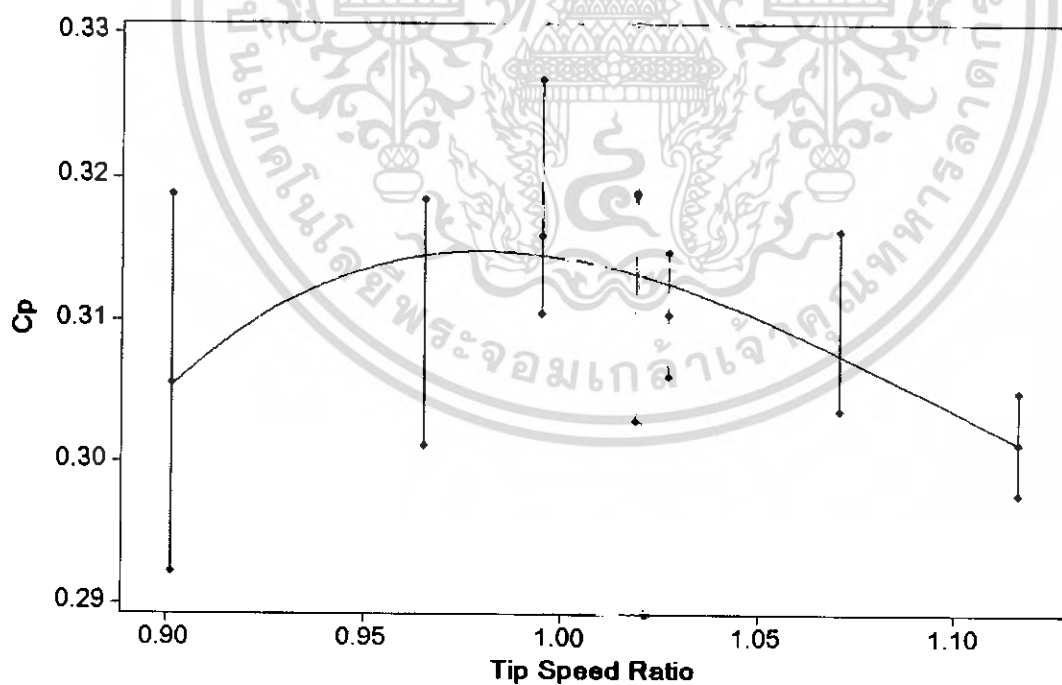


รูป 7.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

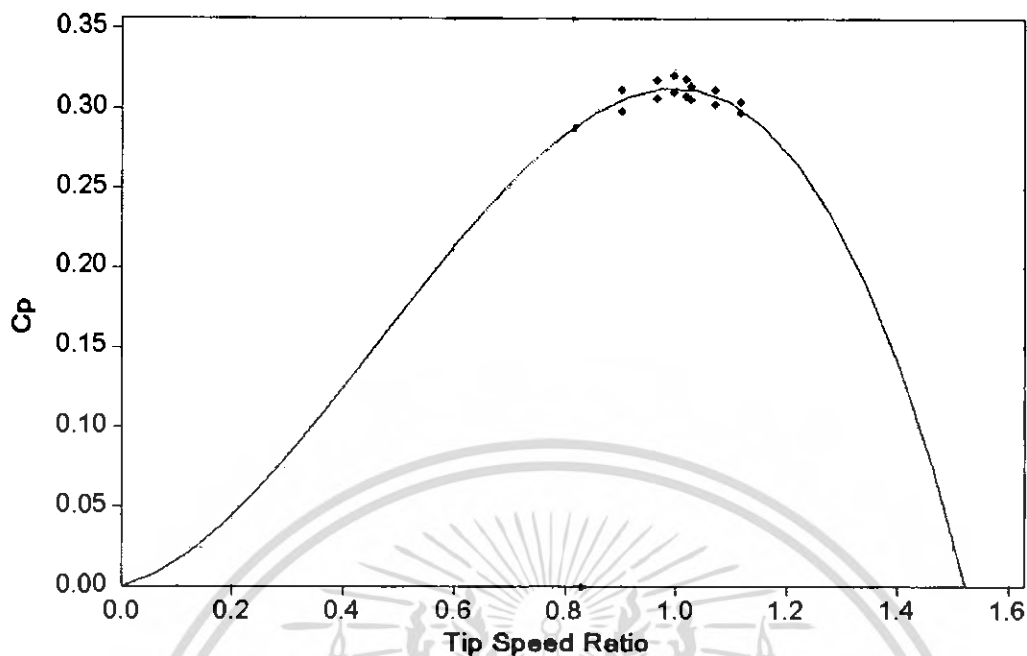


รูป 7.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมกับความเร็วลม



รูป 7.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังของใบพัดกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 7.8 กราฟแสดงแนวโน้มของสัมประสิทธิ์กำลังของใบพัดกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด

จากรูป 7.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับ λ พบว่าสัมประสิทธิ์กำลังจะเพิ่มขึ้นเมื่อ λ เพิ่มขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่ง แล้วลดลงมา โดยมีแนวโน้มคล้ายกราฟพาราโบลา ดังนั้นสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังและ λ เป็น

$$C_p = 0.0954\lambda + 0.7536\lambda^2 - 0.5355\lambda^3 \quad (7.7)$$

โดยจุดที่มีค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดหาได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการ (7.7) โดยให้ $\frac{dC_p}{d\lambda} = 0$ ซึ่งจะได้ดังนี้

$$\frac{dC_p}{d\lambda} = 0 = 0.0954 + 1.5072\lambda - 1.6065\lambda^2$$

$$\lambda_{\max} = 0.9977, -0.0595$$

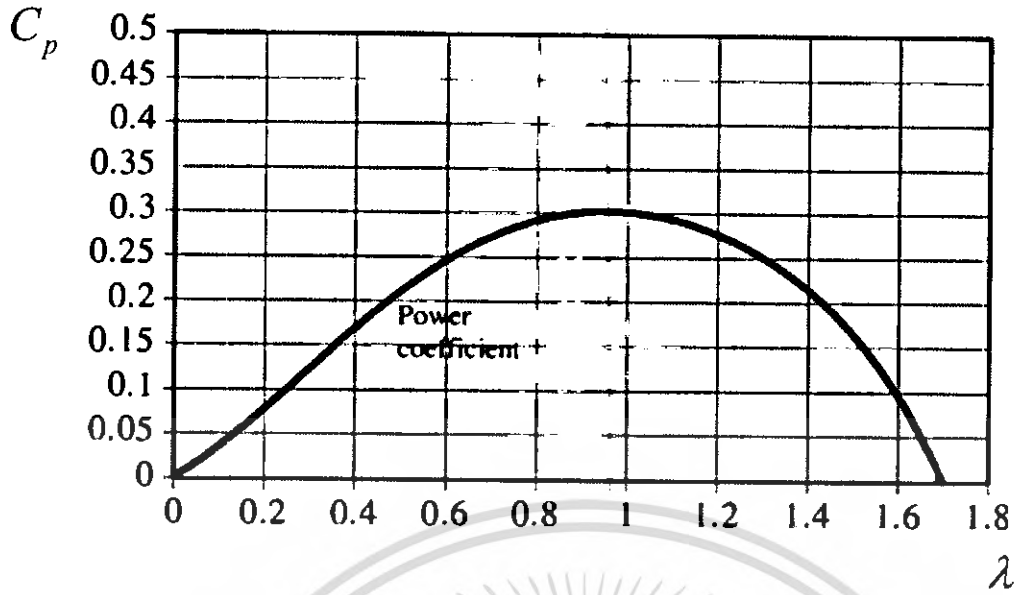
เนื่องจาก $\lambda_{\max} = -0.0595$ เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นแทน $\lambda_{\max} = 0.9977$ ลงในสมการ (7.7) ได้

$$C_p = 0.0954(0.9977) + 0.7536(0.9977)^2 - 0.5355(0.9977)^3$$

$$C_p = 0.3135$$

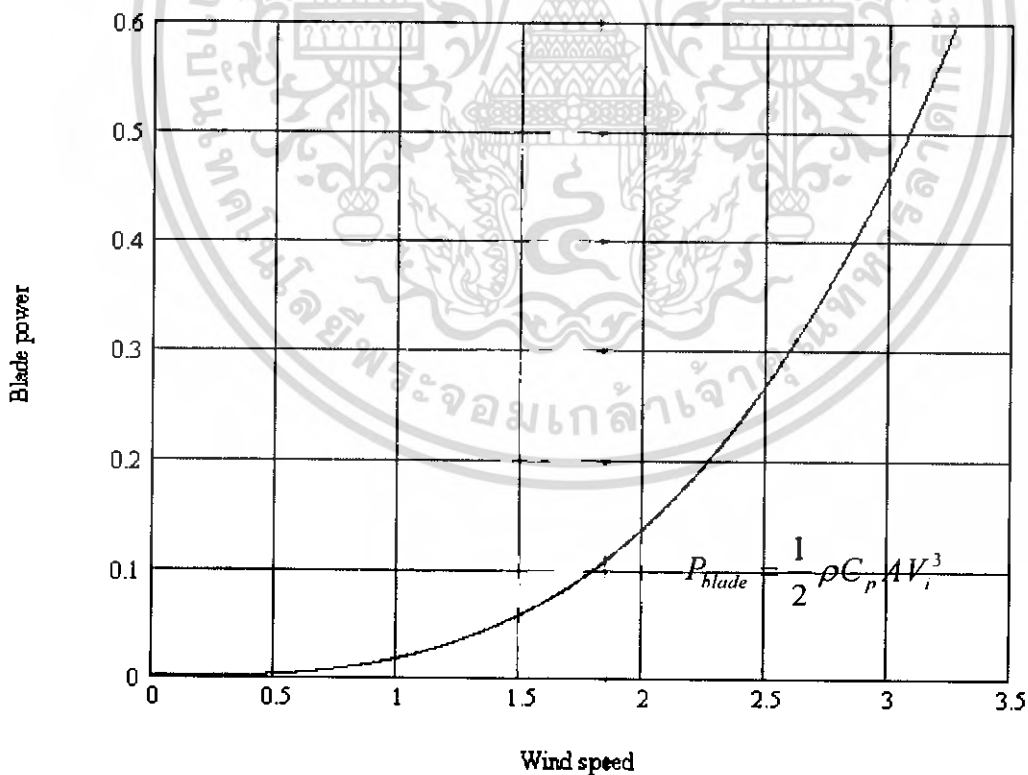
เมื่อนำสมการ (7.7) มาเขียนกราฟแนวโน้มของผลการทดลองได้ดังรูป 7.8 พบว่าสัมประสิทธิ์กำลังจากการทดลองอยู่ในช่วงสูงสุดของกราฟ โดยค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์จากการทดลองเป็น 0.3098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 7.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์เมื่อใบพัดมีระยะคร่อม 0.19 ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังของใบพัดและอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด, λ

เมื่อเปรียบเทียบกับรูป 7.8 และรูป 7.9 พบว่าสัมประสิทธิ์กำลังจากผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎี



รูป 7.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลมทางทฤษฎี

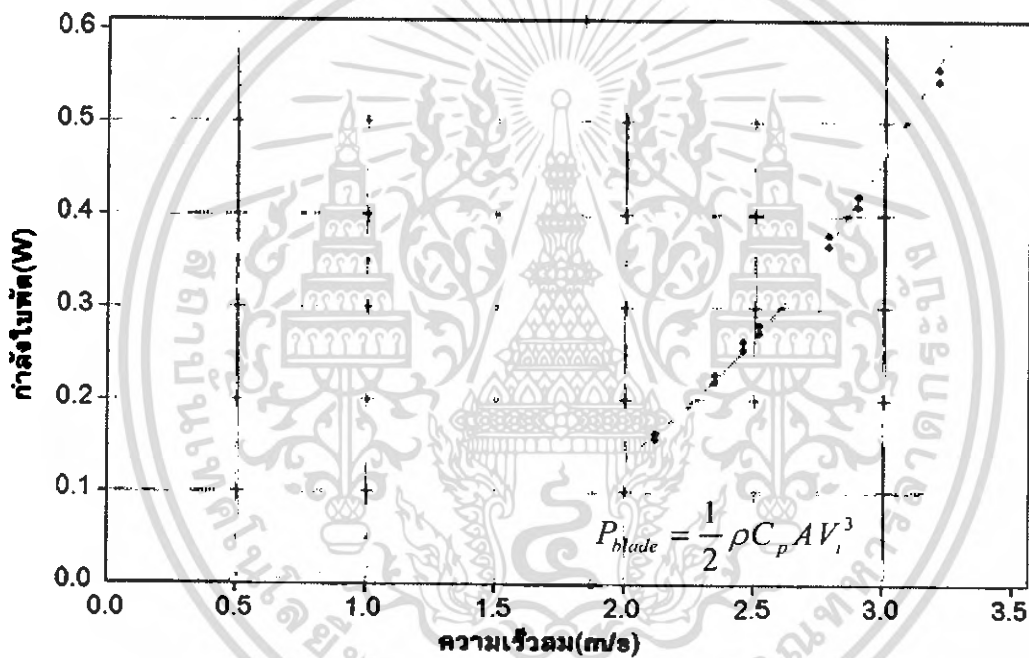
เมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$ และ $C_p = 0.3098$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 7.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลม พบว่าแรงที่วัดได้จากกำลังใบพัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดเพิ่มขึ้น หากพิจารณาจากสมการ (5.13) โดยแทนสัมประสิทธิ์กำลังเฉลี่ยเป็น 0.398 พื้นที่หน้าตัดเป็น $0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$ และความหนาแน่นของอากาศเป็น 1.165 kg/m^3 ลงในสมการ (5.13) ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วมทางทฤษฎีดังสมการ

$$P_{blade} = (1/2)(1.165)(0.3098)(0.25 \times 0.38)V_i^3 \quad (7.8)$$

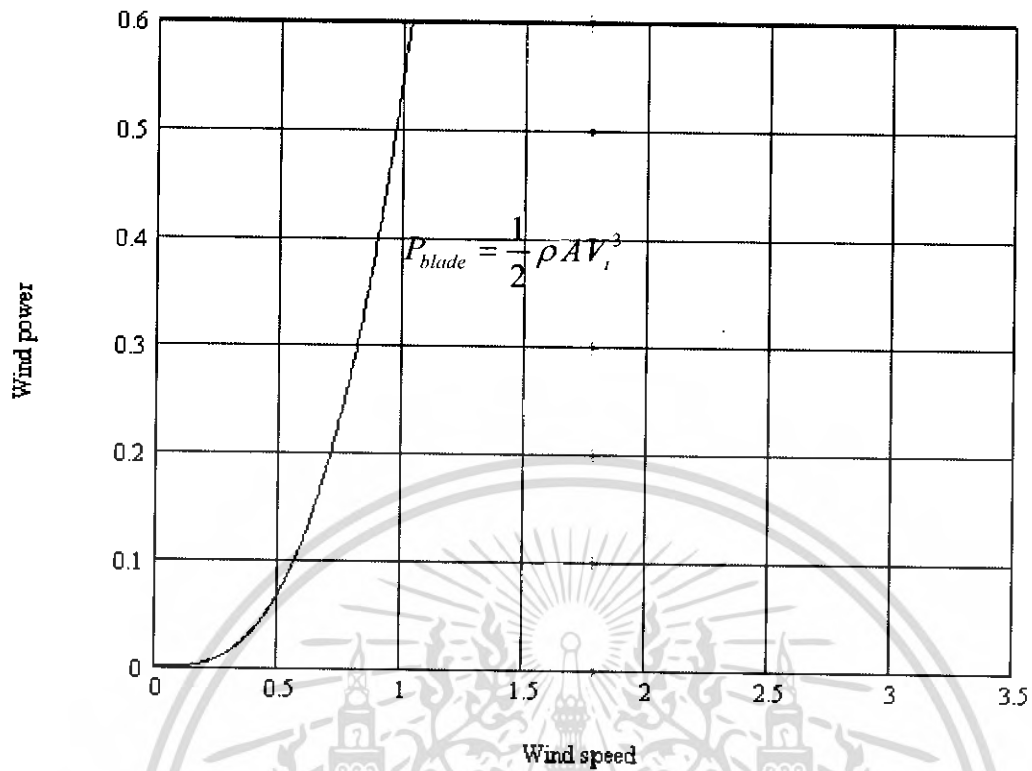
นำสมการ (7.8) มาเขียนกราฟได้ดังรูป 7.9



รูป 7.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองและทฤษฎีของกำลังใบพัดกับความเร็วม

เมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$ และ $C_p = 0.3098$

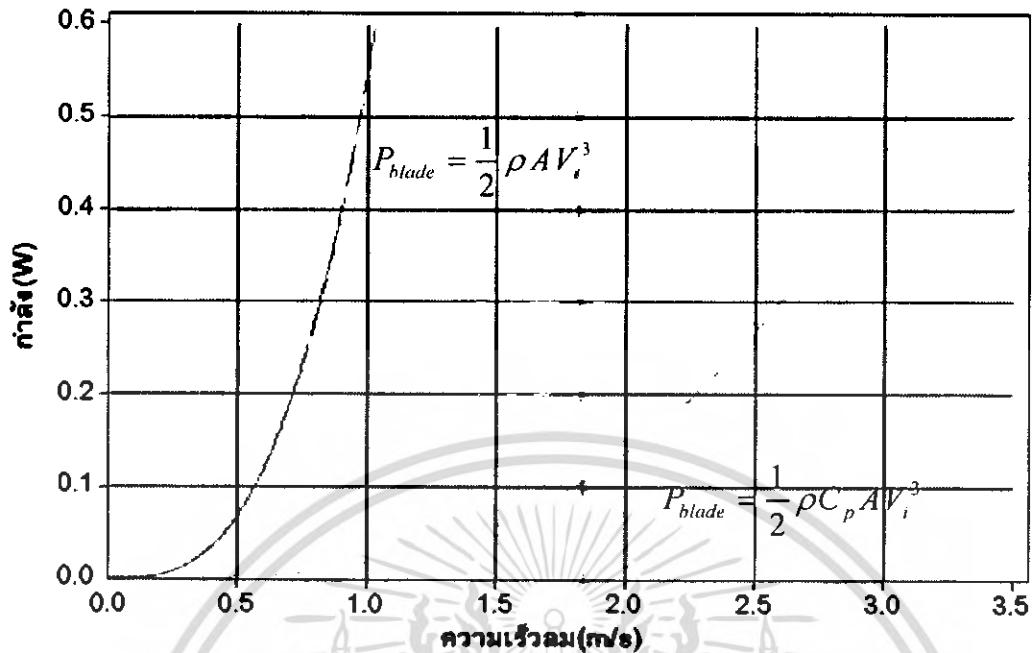
นำกำลังใบพัดจากผลการทดลองเทียบกับความเร็วมจากรูป 7.5 มาเปรียบเทียบเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากสมการ (7.8) ดังรูป 7.10 พบว่าผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีดังรูป 7.11



รูป 7.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมและความเร็วลมเมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$
และ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$

จากสมการ (5.8) เมื่อแทนค่าพื้นที่หน้าตัดเป็น $0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$ และความหนาแน่นของอากาศเป็น 1.165 kg/m^3 ลงในสมการ (5.8) ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมกับความเร็วมืดสมการ

$$P_{blade} = (1/2)(1.165)(0.25 \times 0.38) V_i^3 \quad (7.9)$$



รูป 7.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังใบพัดและกำลังลมเทียบกับความเร็วลม
เมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$ และ $C_p = 0.3098$

พิจารณาสัมประสิทธิ์กำลังเทียบกับอัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลมจากรูป 7.8 พบว่าสัมประสิทธิ์กำลังลดลงจนเข้าใกล้ 0 เมื่ออัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลมมากกว่า 0.998 ซึ่งในความเป็นจริง กำลังใบพัดยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น แต่กำลังใบพัดกับกำลังลมนั้นแตกต่างกันมากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้สัมประสิทธิ์กำลังเข้าใกล้ 0 ดังแสดงในรูป 7.13

บทที่ 8

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำกัณฑ์แบบชาโวเนียบมาทดลองในอุโมงค์ลมด้วยความเร็วลมต่าง ๆ พบว่าผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎี และมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 31.35 ของกำลังลม ที่อัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลมเป็น 0.9977 และเมื่อพิจารณากราฟที่แสดงในรูป 7.8 พบว่าสัมประสิทธิ์กำลังจะสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วลดลงเรื่อย ๆ จนเป็น 0 ซึ่งในความเป็นจริง กำลังใบพัดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นดังกราฟในรูป 7.10 ซึ่งได้มาจากสมการ (5.13) ส่วนกำลังลมนั้นจะมีความชันเพิ่มขึ้นมากกว่ากำลังใบพัดดังกราฟซึ่งแสดงในรูป 7.12 ซึ่งได้มาจากสมการ (5.8) เมื่อนำกราฟในรูป 7.10 และ 7.12 มาซ้อนกันดังกราฟในรูป 7.13 ความแตกต่างของความชันระหว่างกำลังลมและกำลังใบพัดจะมากขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้สัมประสิทธิ์กำลังซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังใบพัดและกำลังลม มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนเข้าใกล้ศูนย์

กัณฑ์ลมแบบชาโวเนียบส น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานลมค่าประมาณ 0 ถึง 3 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 30 เมตร [9] โดยในโครงการนี้เป็นเพียงการสร้างและทดลองแบบจำลองของกัณฑ์ลมแนวตั้งแบบชาโวเนียบเท่านั้น ในการสร้างกัณฑ์ลมชนิดนี้เพื่อใช้งานจริงนั้นสามารถนำผลการทดลองที่ได้ในโครงการนี้มาประยุกต์ใช้งานได้

8.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อประสิทธิภาพที่สูงขึ้นสามารถติดใบพัดชาโวเนียบหลายใบได้
2. สำหรับติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกัณฑ์ลมแบบชาโวเนียบซึ่งเป็นกัณฑ์ลมที่ให้แรงบิดสูงควรใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดที่ต้องการแรงบิดหรือติดตั้งชุดเฟืองทดแรงบิด
3. การวัดแรงบิดควรวัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ได้ค่าที่ละเอียดและถูกต้องยิ่งขึ้น
4. ในการทดลองควรมีอุโมงค์ลมที่แหล่งกำเนิดลมมีทิศทางความเร็วลมสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งหน้าตัดซึ่งต้องใช้ใบพัดที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ และมีขนาดของอุโมงค์ที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบเนื่องจากผนังของอุโมงค์ลม
5. หากต้องการพิจารณาลักษณะการไหลซึ่งละเอียดยิ่งขึ้นควรใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ เช่น StarCD ช่วยในการคำนวณ
6. ตัวโครงสร้างใช้ยึดในชุดการทดลองควรมีความแข็งแรงมากกว่านี้เพื่อป้องกันการสั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, “การนำเข้าน้ำมันชนิดต่าง ๆ ปีพ.ศ. 2543,” www.dbe.moc.go.th
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.), “รายงานประเมินความต้องการพลังงานในอนาคต,” www.eppo.go.th
- [3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, “สถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพ จ. ภูเก็ต,” www.egat.or.th
- [4] Ezio S, Claudio C., “Exploitation of wind as an energy source to meet the world’s electricity demand,” *Wind Eng* 1998;74-76; 375-87.
- [5] M.M.El-Wakil., “Powerplant Technology,” International ed.:McGraw-Hill,1984
- [6] Wilson Re, Lissaman PBS., “Applied Aerodynamics of wind power machines,” Oregon State University, 1974.
- [7] Fung KT, Scheffler RL, Stolpe J., “Wind energy – a utility perspective,” *IEEE Trans Power Appar System* 1981;100:1176.
- [8] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน., “แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย,” บริษัท เฟล โลว์ เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนต์ส์ จำกัด.
- [9] Blackwell BB and Sheldahl R and Feltz LV., “Wind Tunnel Performance Data for Two and Three Bucket Savonius Rotor,” *Journal of Energy*, 1978.
- [10] Yunus A. Cengel and Michael A. Boles., “Thermodynamics An engineering Approach,” 5th ed. : McGraw-Hill, 2006.
- [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 ชาญ ถนังงาน., “การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1,” หน่วย SI: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2003.
- [14] วรวิทย์ อิงภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน., “การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2,” หน่วย SI: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2003.
- [15] William D. Callister., “Materials Science and Engineering: An Introduction,” 7th ed.: John Wiley and Sons, 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

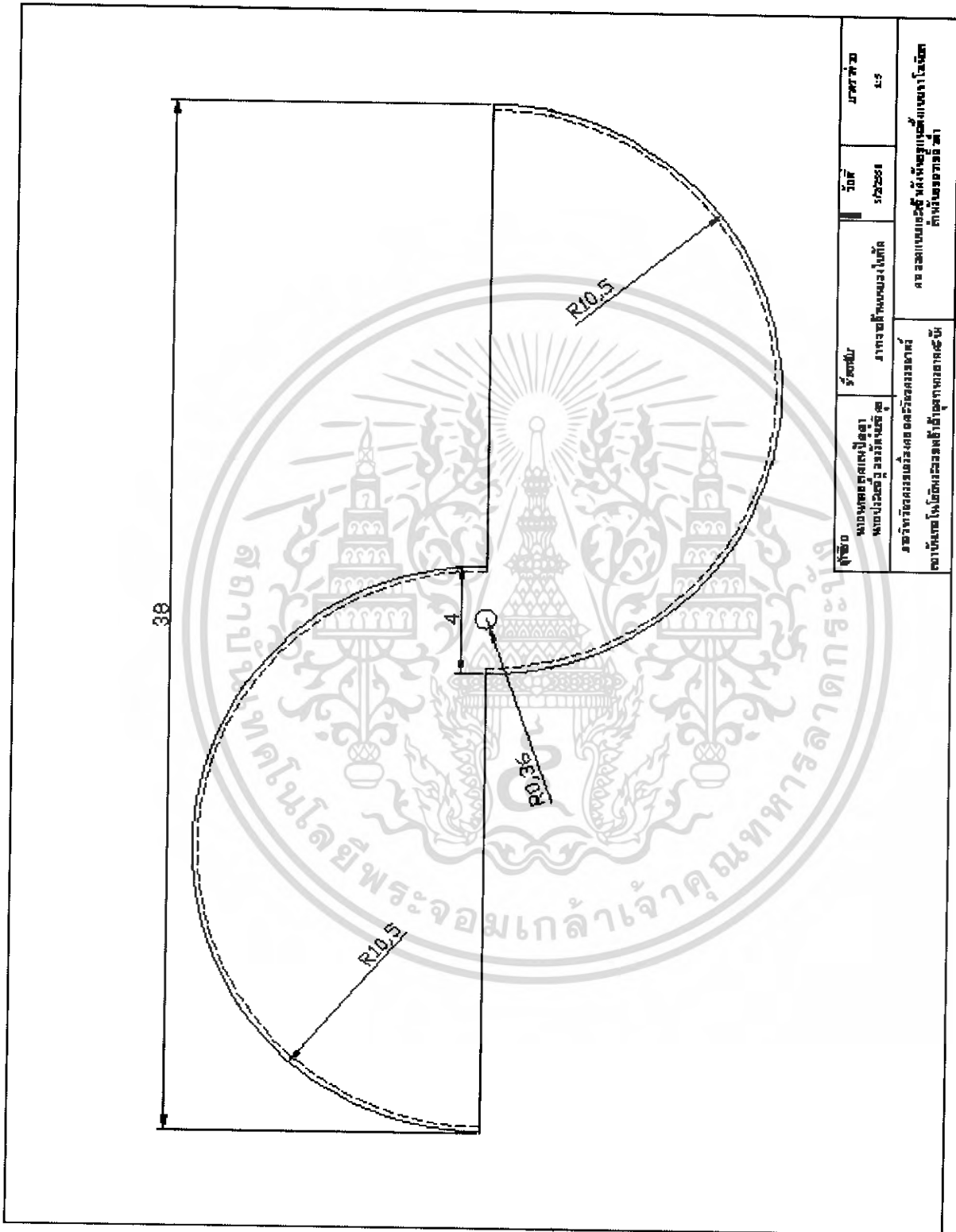
บรรณานุกรม (ต่อ)

- [16] Joseph E. Shigley and Charles R. Mischke., “*Mechanical Engineering Design*,” 6th ed. : McGraw-Hill, 2003.
- [17] Bruce R. Munson and Donald F. young and Theodore H. Okiishi., “*Fundamentals of Fluid Mechanics*,” 4th ed: 2004.
- [18] Fox and McDonold., “*Introduction to Fluid Mechanics*,” 2nd ed.: John Wiley and Sons, 1978.

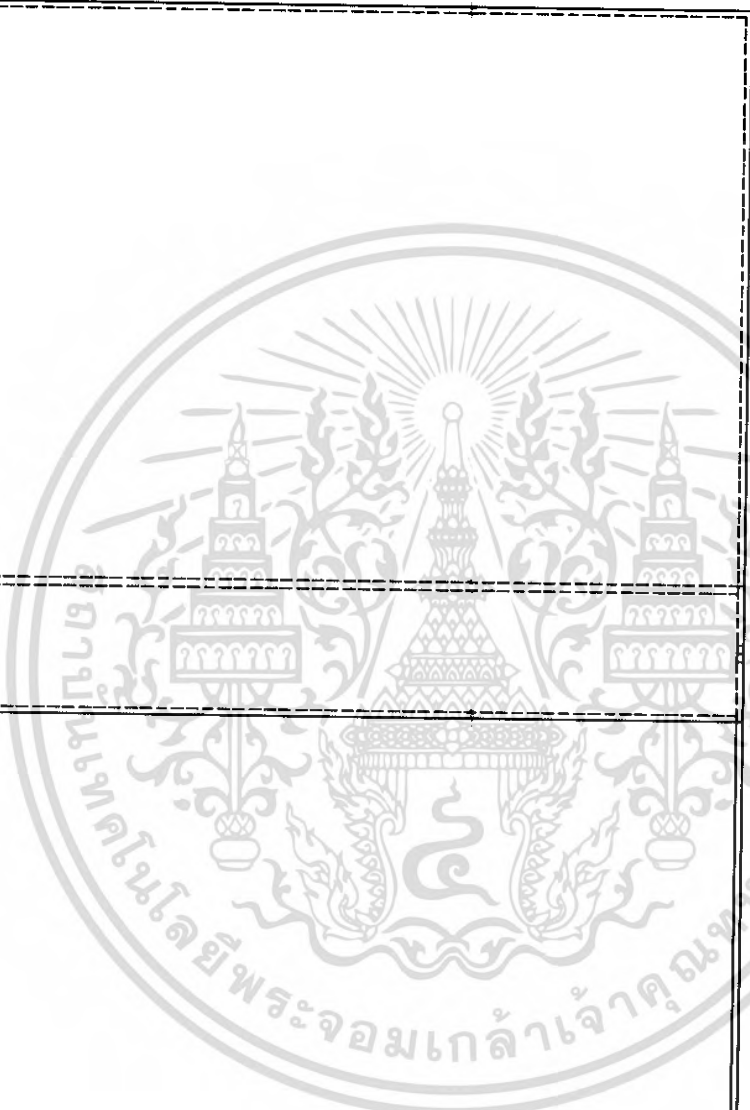


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

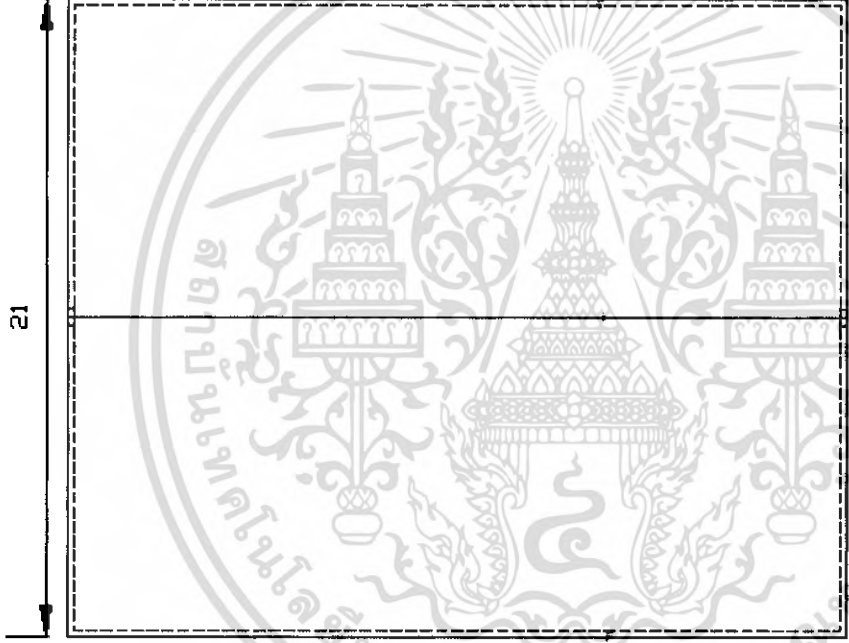
ภาคผนวก



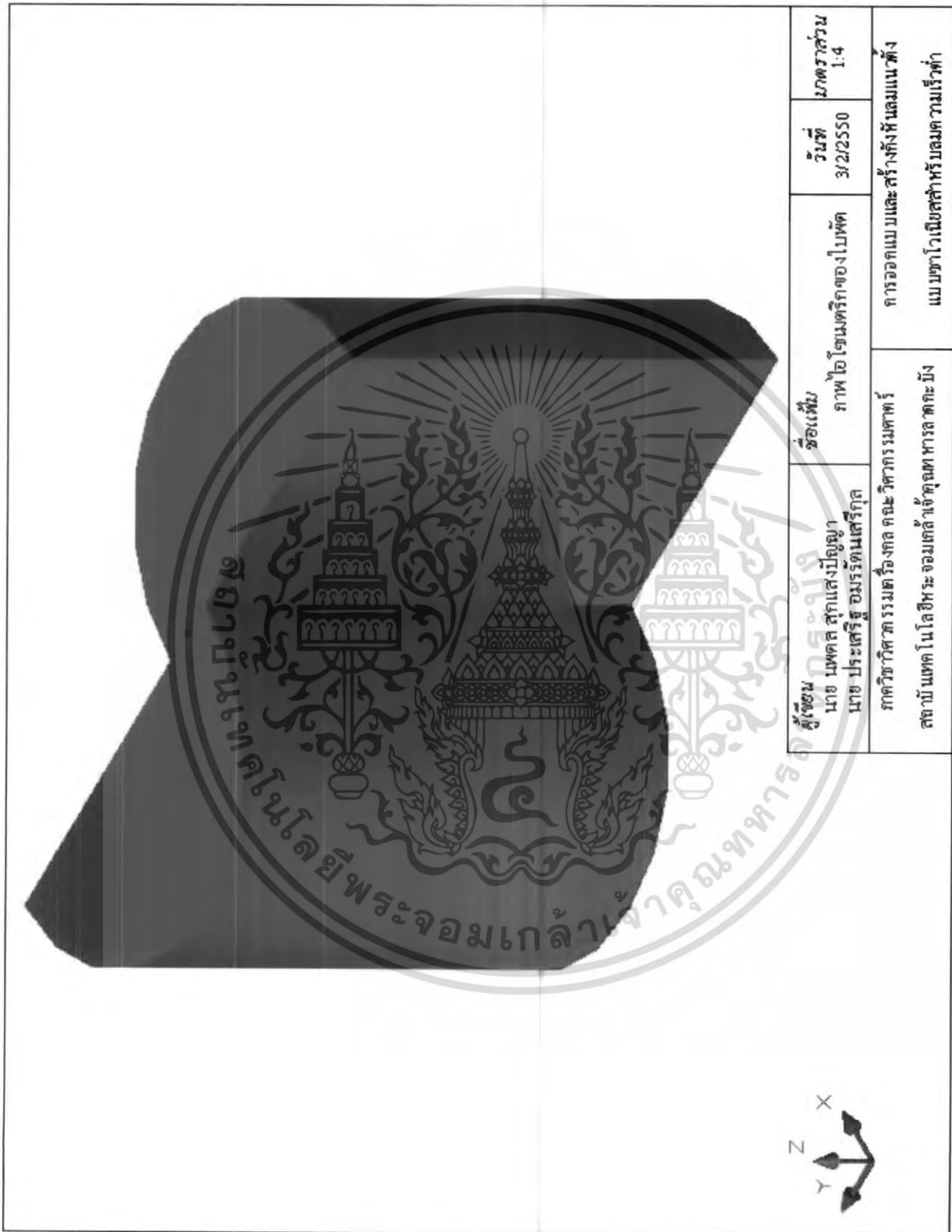
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	38	วันที่ 3/2/2550	มาตราส่วน 1:4
	25	ชื่อเต็ม ภาพฉายด้านหน้าของ ไมหัต	การออก แบบและ สั้ร้งทังห้ นลมแน นตัง แบบชวโวเนยสทห้หรับลมควมเร้วทห้
ผู้เขียน นาย เมทศ สุกแสงปัญญา นาย ประเสริฐ อมรัตน์เสรีกุล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ผู้เขียน นาย นพดล สุกแสงปัญญา นาย ประสริฐ อมรรัตน์เดร์กิต	ชื่อเล่น ภาพชายค่านั่งของไม่หัด	วันที่ 3/2/2550	มาตราส่วน 1:4
	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	การออกแบบและสร้างชิ้นงานแนวตั้ง แบบทราโวเออัสสำหรับคานาмериканเรียวค้ำ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

นาย นพดล สุกแสงปัญญา

เกิด ๑๐ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๒๗

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา สาขา วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขา วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชาเครื่องกล

นาย ประเสริฐ อมรัตน์เสรีกุล

เกิด ๒๓ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๒๗

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๒ สาขา วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขา วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชาเครื่องกล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การออกแบบกังหันลมแบบซาโวเนียส สำหรับลมความเร็วต่ำ (A design for Low-Speed Savonius Wind)

นพดล สุกแสงปัญญา¹, ประเสริฐ อมรรัตนเสรีกุล¹

สยาม สวงวันรัมย์²

บทคัดย่อ

ชีวิตของคนในปัจจุบันนี้จำเป็นต้องพึ่งพาพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ พลังงานบางชนิดเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ในขณะที่พลังงานบางชนิดใช้ได้อย่างไม่มีวันหมด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ ซึ่งในโครงการนี้เป็นกรออกแบบและสร้างเพื่อนำพลังงานเหล่านี้มาใช้ โดยเราจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยแปลงพลังงานเหล่านี้ให้เป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้งานได้ ในที่นี้เราจะใช้กังหันลมเพื่อเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการแปลงพลังงานจะเริ่มต้นจากใบพัดแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานกล จากนั้นพลังงานกลนี้จะถูกส่งไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยสิ่งที่เราให้ความสำคัญในการออกแบบคือ ใบพัด ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากที่สุดตัวหนึ่งในกังหันลมซึ่งหากว่าเราออกแบบใบพัดที่มีประสิทธิภาพที่ดีได้แล้ว กังหันลมก็จะมีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน

Abstract

Nowadays, we depend on many energy sources. Some source of energy can be extinct, such as, oil, petroleum gas. Thus, we must find some sources of energy to replace energy that can be run out, such as, solar energy, and wind energy. These are sources of energy that produce no pollution and unlimited. In order to use this energy, we need to convert them into a usable form, which in this case; a wind turbine is a device for converting wind energy to electrical energy. One of the most important things of wind turbine that blades must be designed to be able to convert mechanical energy to electrical energy effectively. If we could design significant the blades, the wind turbine will approach to its maximum potential.

Keywords: Vertical axis wind turbine (VAWT), Savonius Blade, Natural Energy, Clean Energy

1. บทนำ

ลมเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ [1] ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศและแรงจากการหมุนของโลก สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลม เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าลมเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีอยู่ในตัวเอง ซึ่งในบางครั้งแรงที่เกิดจากลมอาจทำให้บ้านเรือนที่อยู่อาศัยพังทลายต้นไม้หักโค่นลง สิ่งของวัตถุต่าง ๆ ล้มหรือปลิวลอยไปตามลม ฯลฯ ในปัจจุบันมนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญและนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จกหมดสิ้น

ลมเป็นพลังงานที่มนุษย์ใช้มานานกว่า 2,000 ปี โดยการใชกังหันลมหมุนเครื่องขุดชัยพิช เครื่องสูบน้ำ และเครื่องจักรกลต่าง ๆ ในการอำนวยความสะดวกสบายแก่ชีวิต และการศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาการใชประโยชน์จากพลังงานลมก็ยังคงดำเนินอยู่ในปัจจุบันและยังคงพัฒนาต่อไปในอนาคต

¹ นักศึกษาคณะวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 4G รหัส 46010331 และ 46010420 ตามลำดับ

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

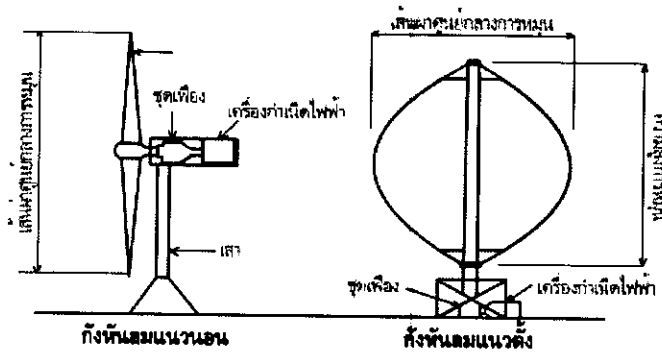
สัญลักษณ์

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

ในสภาวะปัจจุบัน โลกกำลังมีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมราคาน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณการใช้พลังงานที่มากขึ้น ดังนั้น ลมจะเป็นทางเลือกพลังงานอีกทางหนึ่ง ที่สะอาดและมีอยู่อย่างไม่จำกัด จึงควรที่จะให้ความสำคัญ และให้การสนับสนุนการวิจัย เพื่อการพัฒนาให้เป็นแหล่งพลังงาน

ช่วงสิบปีที่ผ่านมาการพัฒนากังหันลมมีการเติบโตอย่างก้าวกระโดด ประเทศที่มีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมมากที่สุดในปัจจุบันคือ ประเทศเยอรมนี ในปี ค.ศ.2001 เยอรมนีผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานถึง 16,500 เมกะวัตต์คิดเป็นร้อยละ 36 ของโลก [2] รองลงมาคือ ประเทศสเปน และประเทศสหรัฐอเมริกา มีกำลังผลิต 8,000 เมกะวัตต์ และ 6,800 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ประเทศเดนมาร์กซึ่งมีกำลังการผลิต

3,121 เมกะวัตต์ หรือเป็นอันดับ 4 ของโลก และเป็นประเทศที่ส่งออก กังหันลมเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้ามากที่สุดในโลกจากปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานจากลมจะเห็นได้ว่ายุโรปเป็นกลุ่มประเทศที่มีการใช้พลังงานหมุนเวียนจากลมมาผลิตกระแสไฟฟ้า ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมสะอาดคาดว่าภายในปี ค.ศ.2010 ทั้งยุโรปจะผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมได้ 60,000 เมกะวัตต์ ในปี ค.ศ.1980 กังหันลม 1 ตันผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่ำกว่า 100 กิโลวัตต์ ในขณะที่เทคโนโลยีล่าสุดในปัจจุบันกังหันลม 1 ตัน ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 5 เมกะวัตต์ ถ้าอยู่ในแหล่งมีศักยภาพพลังงานลมสูงกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมจะมีราคาถูกกว่ากระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 8-10 เท่า



รูป 1 กังหันลมแนวอน (ซ้าย) และกังหันลมแนวตั้ง (ขวา)

ประเทศอินเดียจัดว่าเป็นประเทศที่มีศักยภาพและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านพลังงานลมมากที่สุดในเอเชีย โดยสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมได้ 2,800 เมกะวัตต์ เนื่องจากรัฐบาลอินเดียมีนโยบายส่งเสริมการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมในงานอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง นอกจากนี้ประเทศจีนก็เป็นอีกประเทศหนึ่งที่กำลังพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม

ในประเทศไทยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ตั้งสถานีโรงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต ยิ่งกว่านั้นแล้วยังมีคณะวิจัยต่าง ๆ ได้เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพลังงานลมและสภาพอากาศ อาทิ กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กรมอุตุนิยมวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิต กองทัพอากาศ และ กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ เป็นต้น จนรู้สมบัติทางกายภาพของลม และความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีจากการวิเคราะห์แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย [3] ทำให้เห็นได้ชัดว่าประเทศไทยสามารถใช้พลังงานลมได้ แต่ความเร็วลมจะต่ำมากเมื่อเทียบกับบริเวณยุโรปและอเมริกาเหนือ การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมซึ่งมีศักยภาพทางลมต่ำอาจทำได้ด้วยเทคโนโลยีกังหันสมัยใหม่ช่วยให้สามารถสร้างฟาร์มกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในห้องถิ่นได้

2. กังหันลม

กังหันลม คือ เครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับและแปลงพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ และนำพลังงานกลมาใช้โดยตรงหรือทางอ้อมโดยการเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนากังหันลมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เริ่มมีมาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณจนถึงยุคปัจจุบัน โดยการออกแบบกังหันลมต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด และเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่ผันแปรตามธรรมชาติ และความต้องการพลังงานลมที่สม่ำเสมอให้เหมาะสมกับการใช้งาน จะต้องมีส่วนเก็บพลังงานและใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้เป็นแหล่งสำรองหรือใช้

ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น กังหันลมแบ่งประเภทของการจำแนกชนิดออกเป็น 2 วิธี คือ

- จำแนกตามลักษณะการวางตัวของแกนการหมุนคือแนวตั้งหรือแนวอน
- จำแนกตามลักษณะของแรงขับที่กระแสลมกระทำต่อไปกังหัน กล่าวคือการขับด้วยแรงยกและการขับด้วยแรงหน่วงหรือแรงดูด

ในที่นี้ใช้หลัก จำแนกตามลักษณะการวางตัวของแกนการหมุน

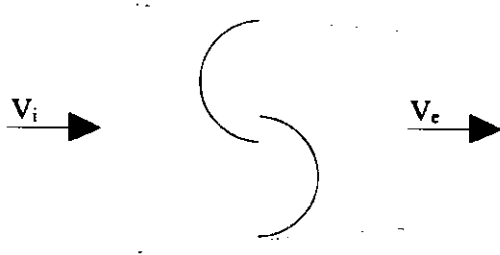
2.1 กังหันลมแบบแนวอน

กังหันลมแบบแนวอน (Horizontal axis wind turbine; HAWT) แกนหมุนขนานกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม ได้แก่ กังหัน ลมใบเสื่อลำแพน กังหันลมชนิดหลายใบพัดสำหรับสูบน้ำ กังหันลมชนิด 1, 2, 3, 4 หรือ 6 ใบพัดสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิด 3 ใบพัดได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูง

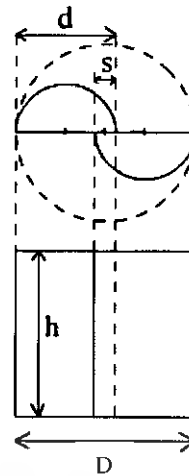
ข้อได้เปรียบของกังหันลมแนวอน

- เนื่องจากใบพัดจะอยู่บนหอคอย ซึ่งจะทำให้ใบพัดรับลมจากที่สูงซึ่งมีความเร็วลมสูงกว่ากังหันลมแบบแนวตั้งซึ่งใบพัดจะอยู่ใกล้พื้นดิน ทำให้ความเร็วลมจะต่ำกว่า
- เครื่องของกังหันลมแนวอนสามารถเดินเครื่องได้ด้วยตัวเอง เนื่องจาก แรงยก (Lift force) และแรงต้าน (Drag force) ส่วน กังหันลมแนวตั้งนั้นเครื่องยนต์ของกังหันลมไม่สามารถเริ่มต้นเดินเครื่องด้วยตัวเองได้ต้องมีการช่วยผลักดันในบางชนิด
- กังหันลมแนวอนนั้นมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงกว่า กังหันลมแบบแกนตั้งทำให้การพัฒนากังหันลมแนวตั้งอยู่ในวงจำกัด และไม่มีความต่อเนื่อง ปัจจุบันจึงมีการใช้งานกังหันลมแบบแกนตั้งน้อยมาก
- กังหันลมแนวอนจะใช้พื้นที่น้อยกว่ากังหันลมแนวตั้งที่ต้องใช้สายเคเบิล (Guy cable) ช่วยพยุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2 แสดงความเร็วลมเคลื่อนที่ผ่านใบพัด



รูป 3 แสดงความยาวของพื้นที่หน้าตัดใบพัด

2. กังหันลมแบบแนวตั้ง

กังหันลมแบบแนวตั้ง (Vertical axis wind turbine: VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทางมีหลายแบบแบบต้นกังหันลมแดเรียส (Darrieus) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส กังหันลมซาโวเนียส (Savonius) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฟินแลนด์ กังหันลมโจโรมิลล์ (Giromills) ซึ่งเป็นกังหันลมแดเรียส แบบใบพัดตรง นอกจากนี้แล้วยังมีอีกหลายชนิดที่ถูกพัฒนาขึ้นมา

ข้อได้เปรียบของกังหันลมแนวตั้ง

กังหันลมแบบแนวตั้งบางชนิดไม่จำเป็นต้องมีหอคอยเหมือนกับกังหันลมแนวนอน ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชุดเฟือง และอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ จะถูกติดตั้งอยู่ระดับพื้นดิน จึงง่ายในการสร้างและซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ

เนื่องจากกังหันลมแนวตั้ง สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง จึงไม่จำเป็นต้องมีหางเสือเพื่อบังคับให้ใบพัดพัดหันไปรับลม ใบพัดของกังหันลมจะไม่รับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก การออกแบบจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการรับความเค้นเนื่องจากความล้า (Fatigue stress) และยังสามารถหลีกเลี่ยงการโก่งงอ (Bending moment) ได้อีกด้วย สำหรับกังหันลมแบบแนวนอนนั้น อุปกรณ์ต่างๆจะยื่นออกมาจากตัวหอคอยทำให้ต้องรับแรงเนื่องแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะทำให้เกิดทั้งความเค้นเนื่องจากความล้าและการโก่งงอ มีความทนทานมากกว่ากังหันลมแบบแนวนอน

เกิดมลภาวะทางเสียงน้อยกว่ากังหันลมแนวนอน

สถานภาพการนำพลังงานลมมาประยุกต์ใช้งานในประเทศไทย ได้แก่ กังหันลมเพื่อการสูบน้ำ กังหันลมเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานลมเพื่อการระบายอากาศหลังคา

สำหรับโครงการนี้จะออกแบบและสร้างกังหันลมแนวตั้ง โดยรูปแบบพัดแบบซาโวเนียสชนิด 2 ใบพัด เนื่องจากจากกังหันลมชนิดนี้สามารถ

หมุนเริ่มต้นได้เองเมื่อกระแสลมมีความเร็วต่ำ และสามารถให้แรงบิดที่มีค่าเหมาะสม กังหันลมแบบซาโวเนียสมีหลายรูปแบบ เช่น แบบ 2 ใบพัด และ 3 ใบพัด นอกจากนี้แล้วการสร้างกังหันลมชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อนมากเกินไป อาจใช้อุปกรณ์ราคาถูกหรืออุปกรณ์เหลือใช้มาสร้างได้ เช่น สามารถนำถังน้ำมันเก่ามาทำเป็นใบพัดได้ ในขณะที่กังหันลมบางชนิดจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะทางเพื่อการสร้างกังหันและบางครั้งอาจซับซ้อนมาก ดังนั้นกังหันลมชนิดนี้จึงเหมาะต่อการประยุกต์ใช้กับศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทยได้

3. การออกแบบใบพัด

ทฤษฎีพลังงานจลน์

พลังงานลมเป็นพลังงานชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ เมื่อพิจารณาในรูปแบบของสมการโดยพิจารณาว่ามวลถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะก่อให้เกิดพลังงานจลน์ [1]

$$KE_{wind} = \frac{1}{2} mV^2 \quad \text{----- (1)}$$

ทฤษฎีกำลังลม

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศมีหน่วยเป็น มวลต่อหน่วยเวลาดังนั้นในสมการ (1) อาจเขียนในรูปของกำลังได้เป็น

$$P_{wind} = \frac{1}{2} mV^3 \quad \text{----- (2)}$$

จากรูป 2 อัตราการไหลโดยสมการความต่อเนื่องจะได้

$$m = \rho AV \quad \text{----- (3)}$$

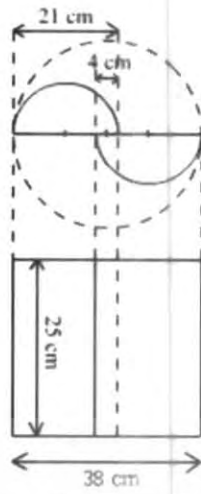
พื้นที่หน้าตัดแสดงดังรูป 3 อาจหาได้จากสมการ (4)

$$A = h(2d - S) \quad \text{----- (4)}$$

จากรูป 3 ระยะคร่อม (Overlap) ของใบพัดในโครงงานนี้เป็น 0.19 ของเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด โดยระยะคร่อมนี้ทำให้สัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้น [4] จากรูป 4 ดังรูป 5

$$S = 0.19d \quad \text{----- (5)}$$

$$D = 2d - S = 1.81d \quad \text{----- (6)}$$



รูป 6 หน้าที่ของใบพัด



รูป 7 แยกชิ้นส่วนอุปกรณ์แบบจำลอง



รูป 8 การประกอบส่วนของใบพัด



รูป 9 ประกอบใบพัดโดยมีระยะคร่อม 0.19



รูป 10 ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมด

- แยกชิ้นส่วนแบบจำลองกึ่งหุ้มซึ่งได้ทดลองสร้างขึ้นในวิชาโครงการ 1 เพื่อนำอุปกรณ์ต่าง ๆ กลับมาใช้งานใหม่ ได้แก่ โครงสร้าง, เฟลาแกนหมุน และแบริ่งมาใช้ประโยชน์ ดังรูป 7
- สร้างใบพัด โดยใช้กระป๋องเหลือใช้ แล้วทำการตัดด้านบนและด้านล่างกระป๋องให้มีขนาดใบ 25 x 21 เซนติเมตร จากนั้นตัดแผ่นเหล็กครึ่งวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 21 เซนติเมตรเพื่อการศึกษาและทดลองรูป 10

- นำใบพัดทั้ง 2 ใบมาประกอบกัน โดยให้มีระยะคร่อมเป็น 0.19 ของเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด ซึ่งจะมีขนาด 4 เซนติเมตรซึ่งแสดงในรูป 9
- นำชิ้นส่วนทั้งหมดมาพ่นสีเพื่อความสวยงาม
- นำชิ้นส่วนต่าง ๆ ทั้งหมด มาประกอบกันได้แบบจำลองกึ่งหุ้มเพื่อใช้ประกอบกับหม้อและด้านล่างด้วยการเชื่อมดังรูป 8 แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 11 ชุดเครื่องมือวัดแรงบิด



รูป 12 ชุดทดลองกังหันลม



รูป 13 เครื่องวัดความเร็วลม



รูป 14 เครื่องวัดความเร็วรอบ

5. การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. กังหันลม
2. เครื่องวัดความเร็วลม
3. ชุดเครื่องมือวัดแรงบิด
4. เครื่องวัดความเร็วรอบ
5. อุโมงค์ลม
6. พัดลม

วิธีการทดลอง

1. สร้างเครื่องมือวัดแรงบิดที่เกิดขึ้นบนเพลากลางหมุนของกังหันลม แนวตั้งแบบซาโวเนียสโดยใช้อุปกรณ์ดังนี้
 - 1.1. ตาชั่งสปริง
 - 1.2. โครงสร้างยึดตาชั่งสปริง
 จากนั้นยึดตาชั่งสปริงกับโครงสร้างโดยใช้เทปกาวที่บ่มไม่ยึดดังรูป 11
2. ประกอบพัดลม อุโมงค์ลม แบบจำลองกังหันลม และชุดเครื่องมือวัดแรงบิดประกอบเข้าด้วยกันดังรูป 12
3. เปิดพัดลมเพื่อวัดความเร็วลมบริเวณปลายอุโมงค์ด้วยเครื่องวัดความเร็วลมดังรูป 13 เพื่อหาความเร็วลมเฉลี่ย

4. วัดความเร็วรอบของกังหันด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบดังรูป 14

5. ทดลองหาภาระจากตาชั่งสปริงแต่ละความเร็วลมเฉลี่ย
6. เปลี่ยนความเร็วลม แล้วหาความเร็วเฉลี่ย ความเร็วรอบ และภาระจากตาชั่งสปริง โดยทดลอง 3 ครั้งต่อความเร็วลมเฉลี่ยค่าหนึ่ง

6. ผลการทดลอง

เมื่อนำกังหันลมทดสอบในอุโมงค์ลมขนาดเล็กที่ปรับความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0 ถึง 3 เมตรต่อวินาที โดยใช้ระยะคร่อม 0.19 ซึ่งสามารถวัดความเร็วรอบต่อวินาที และแรงจากตาชั่งสปริง ได้ดังตาราง 1

ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้หา อัตราเร็วเชิงมุม อัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลม แรงบิดใบพัด กำลังใบพัด กำลังลม และสัมประสิทธิ์กำลังดังนี้

การคำนวณอัตราเร็วเชิงมุม $\Omega = 2\pi f$ ----- (16)

การคำนวณ $\lambda = \Omega(d/2)/V_i$ ----- (17)

โดยที่ $d = 0.38 \text{ m}$

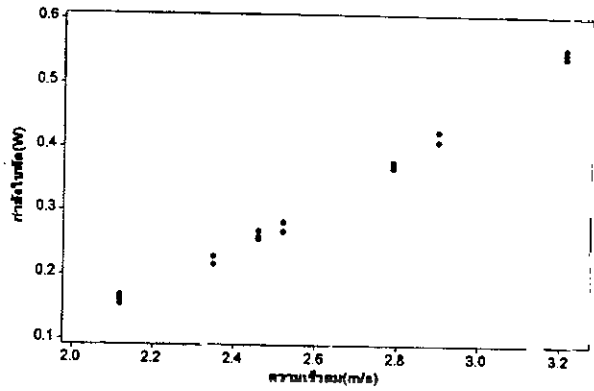
การคำนวณแรงบิดใบพัด $T_{blade} = (wg)r$ ----- (18)

โดยที่ $r = 0.00355 \text{ m}$

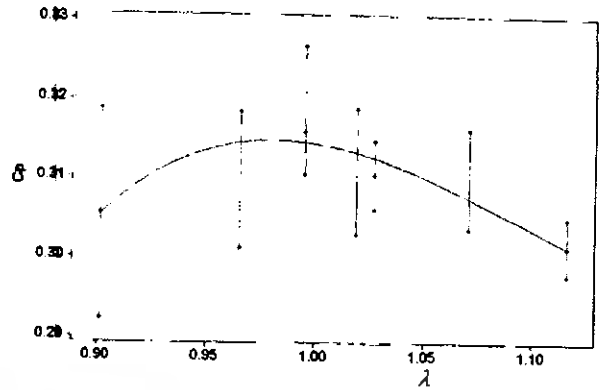
การคำนวณกำลังใบพัด $P_{blade} = T_{blade}\Omega$ ----- (19)

การคำนวณกำลังลม $P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A V_i^3$ ----- (20)

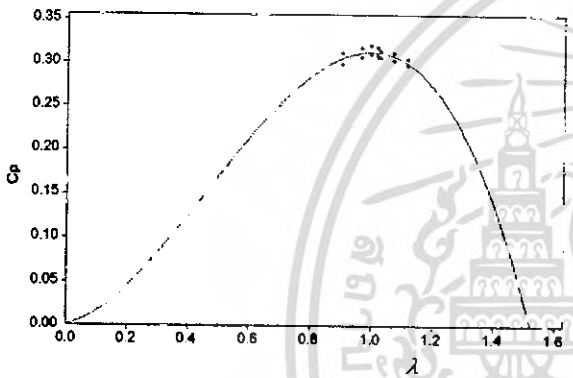
โดยที่ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ และ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$



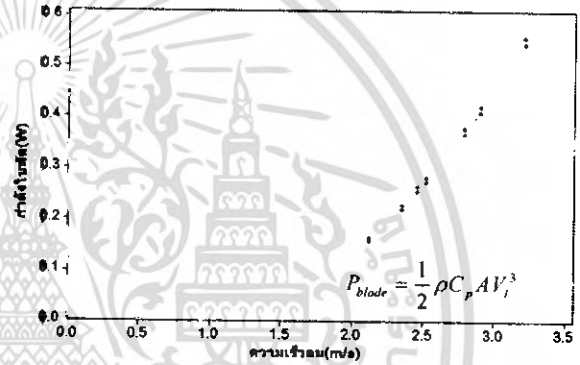
รูป 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับอัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลม



รูป 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลม



รูป 17 กราฟแสดงแนวโน้มสัมประสิทธิ์กำลังของผลการทดลอง



รูป 18 กราฟการเปรียบเทียบของกำลังใบพัดระหว่างผลการทดลองและทฤษฎีเมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$, $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$ และ $C_p = 0.3098$

การคำนวณสัมประสิทธิ์กำลัง $C_p = \frac{P_{blade}}{P_{wind}} \quad \text{----- (21)}$

นำผลที่ได้จากการทดลองและการคำนวณหาความสัมพันธ์กำลังใบพัดกับ λ ได้กราฟดังรูป 15 และความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับ λ ได้กราฟดังรูป 16

จากรูป 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับ λ พบว่าสัมประสิทธิ์กำลังจะเพิ่มขึ้นเมื่อ λ เพิ่มขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่ง แล้วตกลงมาโดยมีแนวโน้มคล้ายกราฟพลาโบลา ดังนั้นสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังและ λ เป็น

$$C_p = 0.0954\lambda + 0.7536\lambda^2 - 0.5355\lambda^3 \quad \text{----- (22)}$$

จุดที่มีค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดหาได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการ

โดยให้ $\frac{dC_p}{d\lambda} = 0$ ซึ่งจะได้ดังนี้

$$\frac{dC_p}{d\lambda} = 0 = 0.0954 + 1.5072\lambda - 1.6065\lambda^2$$

สำหรับการใช้งาน เห็นว่ากำลังใบพัดที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีจากสมการ (13) $\lambda_{max} = 0.9977, -0.0595$ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $\lambda_{max} = -0.0595$ เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นแทน $\lambda_{max} = 0.9977$ ลงในสมการ (21) ได้

$$C_p = 0.0954(0.9977) + 0.7536(0.9977)^2 - 0.5355(0.9977)^3$$

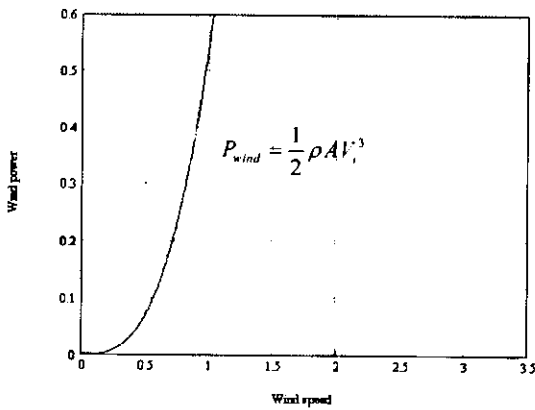
$$C_p = 0.3135$$

เมื่อนำสมการ (22) มาเขียนกราฟแนวโน้มของผลการทดลองได้ดังรูป 17 พบว่าสัมประสิทธิ์กำลังจากการทดลองอยู่ในช่วงสูงสุดของกราฟ โดยค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์จากการทดลองเป็น 0.3098

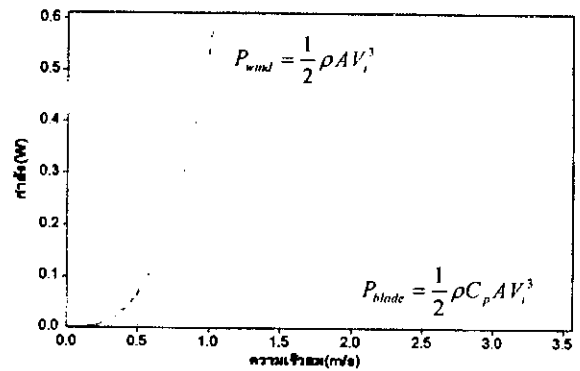
จากรูป 15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลม พบว่าแรงที่วัดได้จากกำลังใบพัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มมากขึ้น หากพิจารณาจากสมการ (13) โดยแทนสัมประสิทธิ์กำลังเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด และความหนาแน่นของอากาศลงในสมการ ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังใบพัดกับความเร็วลมดังสมการ

$$P_{blade} = (1/2)(1.165)(0.3098)(0.25 \times 0.38)V^3 \quad \text{----- (23)}$$

นำสมการ (22) มาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับผลการทดลองดังรูป 18



รูป 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมและความเร็วลม เมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$ และ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$



รูป 20 กราฟเปรียบเทียบกำลังลมกับกำลังใบพัดเมื่อเทียบกับความเร็วลม เมื่อ $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$, $C_p = 0.3098$ และ $A = 0.25 \times 0.38 \text{ m}^2$

7. สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำกังหันแบบซาโวเนียสมาทดลองในอุโมงค์ลมด้วยความเร็วลมต่าง ๆ พบว่าผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎี และมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 31.35 ของกำลังลม ที่อัตราส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลมเป็น 0.998 และเมื่อพิจารณากราฟที่แสดงในรูป 17 พบว่าสัมประสิทธิ์กำลังจะสูงขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วลดลงเรื่อย ๆ จนเข้าใกล้ 0 ซึ่งในความเป็นจริง กำลังใบพัดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นดังรูป 18 ซึ่งได้มาจากสมการ (22) ส่วนกำลังลมก็เพิ่มขึ้นเช่นกันดังรูป 19 ซึ่งได้จากสมการ (8) เมื่อนำกราฟในรูป 18 และ 19 มาซ้อนกันดังรูป 20 ความแตกต่างของความชันระหว่างกำลังลมและกำลังใบพัดจะมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งความชันของสมการ (8) เพิ่มขึ้นมากกว่า จนทำให้สัมประสิทธิ์กำลังซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังใบพัดและกำลังลม มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนเข้าใกล้ศูนย์

กังหันลมแบบซาโวเนียส สามารถให้ประสิทธิภาพที่ดีในประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานลมต่ำประมาณ 3 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 30 เมตร [7] โดยในโครงการนี้เป็นารสร้างและทดลองโดยใช้

แบบจำลองของกังหันลมแนวตั้งแบบซาโวเนียส ในการสร้างเพื่อใช้งานจริง สามารถนำผลการทดลองที่ได้ในโครงการนี้มาประยุกต์ใช้งานได้

8. ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อประสิทธิภาพที่สูงขึ้นสามารถติดใบพัดซาโวเนียสหลายใบได้
2. สำหรับติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกังหันลมแบบซาโวเนียสซึ่งเป็นกังหันลมที่ให้แรงบิดสูง ควรใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดที่ต้องการแรงบิดหรือติดตั้งชุดเฟืองทดแรงบิด
3. การวัดแรงบิดควรวัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ได้ค่าที่ละเอียดและถูกต้องยิ่งขึ้น
4. ในการทดลองควรมีอุโมงค์ลมที่แหล่งกำเนิดลมมีทิศทางความเร็วลมสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งหน้าตัดซึ่งต้องใช้ใบพัดที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ และมีขนาดของอุโมงค์ที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบเนื่องจากความหนืด
5. หากต้องการพิจาณาลักษณะการไหลซึ่งละเอียดยิ่งขึ้นควรใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ เช่น starCD ช่วยในการคำนวณ
6. ตัวโครงสร้างใช้ยึดในชุดการทดลองควรมีความแข็งแรงมากกว่านี้เพื่อป้องกันการสั่น

ตาราง 1 ผลการทดลองและผลการคำนวณโดยเฉลี่ย

V_i (m/s)	f (rps)	Ω (rad/s)	λ	w (kg)	T_{blade} (N·m)	P_{blade} (W)	P_{wind} (W)	C_p
2.12	1.60	10.1	0.90	0.46	0.016	0.161	0.527	0.305
2.35	1.90	11.9	0.97	0.54	0.018	0.224	0.718	0.313
2.46	2.05	12.8	0.99	0.58	0.020	0.260	0.824	0.316
2.52	2.15	13.5	1.01	0.59	0.020	0.277	0.885	0.314
2.79	2.40	15.1	1.03	0.71	0.024	0.373	1.202	0.310
2.90	2.60	16.3	1.07	0.73	0.025	0.415	1.349	0.308
3.21	3.00	18.8	1.12	0.84	0.029	0.551	1.830	0.301

เอกสารอ้างอิง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้