

การจำลองกังหันลมเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า
SIMULATION OF WIND TURBINE IN GENERATE ELECTRICAL



นายธีรชัย จริยาพิทักษ์สกุล
นายพุทธา จินทร์วิ
นายภัทรดิศ มหาสะโร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 45996

วันที่ 12 มีนาคม 2546

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองกังหันลมเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า
SIMULATION OF WIND TURBINE IN GENERATE ELECTRICAL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจำลองกังหันลมเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

SIMULATION OF WIND TURBINE IN GENERATE ELECTRICAL

ผู้จัดทำ

1. นาย ชีรชัย จริยาพิทักษ์สกุล รหัสประจำตัว 41014634
2. นาย พุทธา จินคร้ว รหัสประจำตัว 41014700
3. นาย ภัทรดิศ มหาสะโร รหัสประจำตัว 41014707



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองกังหันลมเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

นายธีรชัย จริยาพิทักษ์สกุล 41014634

นายพุทธา จีนคร้ว 41014700

นายภัทรดิศ มหาสะโร 41014707 รศ.ดร.

มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นรากฐานและตัวแปรสำคัญในการพัฒนาประเทศด้านการผลิตกระแสไฟฟ้า เชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าปัจจุบัน ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน นั้น มีแต่จะน้อยลงไปทุกทีและจะต้องหมดไปในที่สุด ถึงแม้ว่าเราสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำซึ่งเป็นพลังงานงานหมุนเวียน แต่ก็เป็นส่วนที่น้อยมาก อีกทั้งแหล่งน้ำที่สามารถพัฒนาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าก็มีจำนวนจำกัดและการดำเนินงานยังมีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย การแสวงหาแหล่งพลังงานอื่น ๆ มาทดแทนจึงเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่ง ซึ่งการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมก็เป็นทางเลือกที่ดีทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ในประเทศไทย

โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม โดยใช้โปรแกรมภาษาปาสคาลในการจำลองพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของระบบกังหันลม เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงบิด และความเร็วเชิงมุม ณ ความเร็วลมต่างๆ และสภาวะต่างๆ ของมุมใบพัด รวมไปถึงการคำนวณและ การออกแบบระบบกังหันลม

SIMULATION OF WIND TURBINE IN GENERATE ELECTRICAL

TEERACHAI JARIYAPITAKSAKUL

PUTTHA JEENKOUR

PATARADIT MAHASARO

Prof. MONGKON MONGKONVONGROTE Adviser

ABSTRACT

This project is to study the dynamic characteristic of wind turbine with transmission unit for electric generation. The computer program using PASCAL software was developed to simulate the dynamics characteristic of wind turbine system. The calculation results showed the transient torque response and the response of angular velocity under instantaneous wind energy input. And wind turbine model was built for study steady state characteristic of wind turbine.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการนี้ผู้จัดทำขอกล่าวขอบพระคุณ อาจารย์มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้แนวความคิดและคำแนะนำต่างๆในการดำเนินงานอย่างดียิ่ง ทั้งในด้านข้อมูลและการแก้ปัญหาต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการจนสามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียที่ให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านการค้นหาข้อมูลและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และอาจารย์ท่านอื่นๆประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆในการทำโครงการและข้าพเจ้าขอบพระคุณพระเจ้า

นอกจากนี้ต้องขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และผู้อุปการะท่านต่างๆ ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา ด้านงบประมาณ และคอยให้กำลังใจในการศึกษาและทำโครงการมาโดยตลอดสำหรับประโยชน์ที่เกิดจากการทำโครงการนี้ คณะผู้จัดทำต้องขอกล่าวขอบพระคุณอย่างสูงไว้อีกครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 จุดประสงค์ของงานวิจัย	1
1.2 วิธีการดำเนินโครงการ	1
บทที่ 2 ลมและกังหันลม	2
2.1 ลม	2
2.2 กังหันลม	3
2.2.1 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง	4
2.2.2 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน	6
2.3 ประสิทธิภาพของกังหันลม	9
บทที่ 3 เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า	11
3.1 หลักการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	11
3.2 โครงสร้างและส่วนประกอบ	12
3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	13
3.3.1 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสลับ 1 เฟส	14
3.3.2 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟส	14
บทที่ 4 ทฤษฎีและการออกแบบกังหันลม	16
4.1 แนวทางออกแบบเบื้องต้น	16
4.2 การออกแบบทางพลศาสตร์(Aerodynamic Design)	16
4.2.1 แอร์ฟอยล์(Airfoil)	16
4.2.2 Relative wind velocity	18
4.2.3 สูตรการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของใบพัดกับความเร็วลม	18
4.2.4 การหา BLADE AREA	19
4.2.5 สูตรการหามุมใบพัด และ SOLIDITY	19
4.3 แรงที่กระทำต่อใบพัดของกังหัน	20
4.3.1 แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force)	20
4.3.2 แรงลาก (Windmill Drag Force)	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
4.4 คุณสมบัติของแรงบิดและกำลังงาน (Torque and Power characteristics)	21
4.5 ระบบส่งกำลัง	22
บทที่ 5 การคำนวณหาขนาดของแอร์ฟอยล์และขนาดของกังหันลม	23
บทที่ 6 แบบจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม	28
6.1 แบบจำลองกังหันลม (wind turbine models)	28
6.1.1 แบบจำลองของใบพัด (blade model)	28
6.1.2 แบบจำลองของคูล์ (hub model)	28
6.1.3 แบบจำลองของเกียร์ทด (gear box model)	29
6.2 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (generator model)	29
6.3 วิธีการจำลองระบบ	31
6.4 ขั้นตอนในการจำลองระบบ	32
6.5 ผลการจำลองระบบ	33
บทที่ 7 อุปกรณ์ และ ผลการทดลอง	37
7.1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
7.1.1 ใบพัด air foil ชนิด 3 ใบ	37
7.1.2 อุโมงค์ลมและหลอดรังผึ้ง	38
7.1.3 ชุดเครื่องมือวัดแรงบิดที่เพลลา	38
7.1.4 เครื่องมือวัดความเร็วลม	39
7.1.5 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ	40
7.1.6 แหล่งกำเนิดลม	40
7.2. วิธีการทดลอง	41
7.3. ผลการทดลอง	42
7.3.1 ผลการทดลองปรับมุมใบพัด 0-30 องศา ที่ความเร็วลม 3 m/s	42
7.3.2 ผลการทดลองปรับมุมใบพัด 0-30 องศา ที่ความเร็วลม 3.5 m/s	43
7.3.3 ผลการทดลองปรับมุมใบพัด 0-30 องศา ที่ความเร็วลม 4.0 m/s	44
7.3.4 ผลการทดลองปรับมุมใบพัด 0-30 องศา ที่ความเร็วลม 4.5 m/s	45
7.3.5 ผลการทดลองปรับมุมใบพัด 0-30 องศา ที่ความเร็วลม 5.0 m/s	46
7.3.6 ผลการทดลอง ค่าความเร็วรอบ แรงบิด กำลังทุกความเร็วลม	47
7.3.7 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของกังหันลมที่มุมใบพัดต่าง ณ.ความเร็วลมใดๆ	47
บทที่ 8 สรุป และ ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้าที่
2-1	แสดงการเกิดลมทั่วทั้งโลก	3
2-2	แสดงการเกิดลมแบบเฉพาะที่	3
2-3	แสดงภาพด้านบนของกังหันลมแบบ 2,3 และ 4 ใบ	4
2-4	แบบของกังหันลมหมุนในแนวตั้ง	5
2-5	กังหันแบบแกนนอน	6
2-6	กังหันลมแบบคัตซ์	7
2-7	ลักษณะของใบพัดแบบเชล-วิง	8
2-8	กังหันลมแบบพริ้นซ์ตัน เชล-วิง	8
3-1	ชนิดลวดแบบธรรมดาที่หมุนในสนามแม่เหล็ก	11
3-2	การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า	12
3-3	วิธีต่อลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดสามเฟส	15
4-1	แสดงลักษณะและแรงต่างๆที่กระทำที่แอร์ฟอยล์	16
4-2	แสดงรูปแบบแอร์ฟอยล์ในลักษณะต่างๆ	17
4-3	ค่าประกอบของแรงยกและแรงลาก	18
4-4	SOLIDITY	20
4-5	แสดงการงอของใบพัด	21
4-7	แสดงลักษณะของกำลังงานและแรงบิด	22
5-1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วลม กับ Power factor	23
5-2	รูปแบบแอร์ฟอยล์ที่ได้	27
6-1	แผนผังการทำงานของเครื่องจักร	33
6-2	กราฟแสดงความเร็วลมที่เวลาใด ๆ	34
6-3	กราฟแสดงความเร็วลมในช่วง 0 ถึง 100 ชม.	34
6-4	กราฟแสดงค่า C_p กับอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดและมุมใบพัด	35
6-5	กราฟแสดงค่าแรงบิดและกำลังที่เวลาใด ๆ	35
6-5	กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า	35
6-6	กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพรวมของระบบ	36
7-1	แสดงลักษณะใบพัด	37
7-2	ใบพัดที่ใช้ในการทดลอง	37
7-3	อุโมงค์ลมและหลอดรังสี	38
7-4	แสดงวิธีในการวัดแรงบิด	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้าที่
7-5.	แสดงวิธีการในการวัดความเร็วลมบริเวณก่อนลมกระทบใบพัด	39
7-6.	แสดงวิธีในการวัดความเร็วรอบ	40
7-7.	พัลลมที่ใช้ในการผลิตกระแสลม	40
7-8	พัลลมที่ใช้ในการผลิตลมที่ความเร็ว 4.5 m/s	41
7-9	กราฟแรงบิดที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชันที่ความเร็วลม 3 m/s	42
7-10	กราฟกำลังที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชันที่ความเร็วลม 3 m/s	42
7-11	กราฟแรงบิดที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชันที่ความเร็วลม 3.5 m/s	43
7-12	กราฟกำลังที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชันที่ความเร็วลม 3.5 m/s	43
7-13	กราฟแรงบิดที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชันที่ความเร็วลม 4 m/s	44
7-14	กราฟกำลังที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชันที่ความเร็วลม 4 m/s	44
7-15	กราฟแรงบิดที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชันที่ความเร็วลม 4.5 m/s	45
7-16	กราฟกำลังที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชันที่ความเร็วลม 4.5 m/s	45
7-17	กราฟแรงบิดที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชันที่ความเร็วลม 5 m/s	46
7-18	กราฟกำลังที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชันที่ความเร็วลม 5 m/s	46
7-19	กราฟความเร็วรอบ	47
7-20	กราฟแรงบิด	47
7-21	กราฟกำลัง	48
7-22	กราฟประสิทธิภาพ	48

บทที่ 1

บทนำ

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นรากฐานและตัวแปรสำคัญในการพัฒนาประเทศด้านการผลิตกระแสไฟฟ้า เชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าปัจจุบันได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน นั้น มีแต่จะน้อยลงไปทุกทีและจะต้องหมดไปในที่สุด ถึงแม้ว่าเราสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังน้ำซึ่งเป็นพลังงานงานหมุนเวียน แต่ก็เป็นส่วนที่น้อยมาก อีกทั้งแหล่งน้ำที่สามารถพัฒนาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าก็มีจำนวนจำกัดและการดำเนินงานยังมีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย การแสวงหาแหล่งพลังงานอื่น ๆ มาทดแทนจึงเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่ง ซึ่งการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมก็เป็นทางเลือกที่ดี ทางเลือกหนึ่ง

1.1 จุดประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลม
- 2) เพื่อศึกษาระบบของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมก่อนที่จะสร้างเป็นระบบจริงขึ้นมา

1.2 วิธีการดำเนินโครงการ

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งเรื่องหลักมีดังนี้ แบบจำลองของระบบกังหันลม ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองใบพัด แบบจำลองคูลล์ แบบจำลองเกียร์ทด แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 1-5 หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการศึกษามาทำการออกแบบในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาปาลาสคาลเพื่อที่จะจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมออกมาซึ่งรายละเอียดอยู่ในบทที่ 5

จากนั้นทำการสร้างชุดทดลองโดยทำการศึกษารอกแบบใบพัดจากนั้นก็ออกแบบใบพัด ออกแบบอุโมงค์ลม หลอดรังผึ้ง เพลส แมริ่ง ชุดวัดแรงบิด ซึ่งรายละเอียดอยู่ในบทที่ 6 หลังจากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขชุดทดลอง

จากนั้นทำการทดลองเก็บค่าต่างๆที่ได้จากชุดทดลองซึ่งผลการทดลองอยู่ในบทที่ 6 จากนั้นก็มาทดลองค่าต่างๆจากโปรแกรมซึ่งผลการทดลองที่ได้อยู่ในบทที่ 5

จากนั้นทำการสรุปผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองจากคอมพิวเตอร์และจากชุดทดลองว่ากังหันลมมีพฤติกรรมอย่างไรซึ่งรายละเอียดอยู่ในบทที่ 7

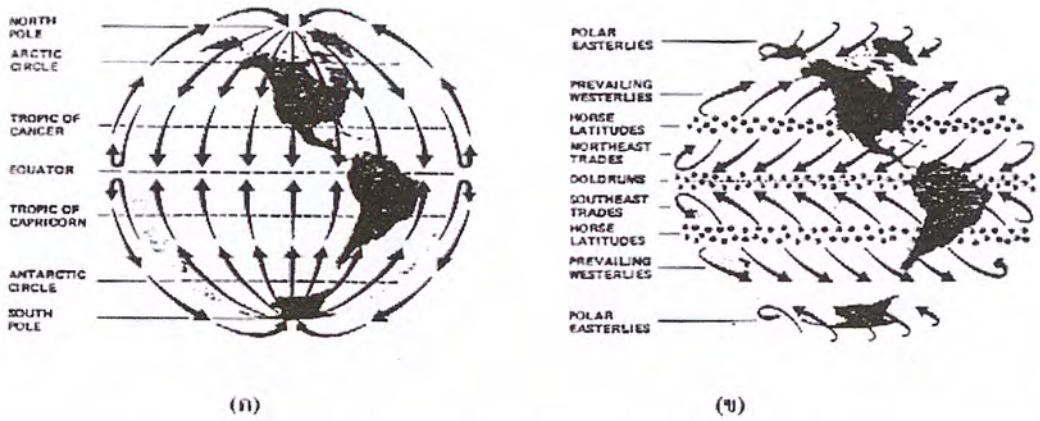
บทที่ 2

ลมและกังหันลม

2.1.ลม

เนื่องจากการที่บรรยากาศพื้นผิวโลกมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอากาศ จึงทำให้ความหนาแน่นของอากาศ หรือความกดอากาศนั้นแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยที่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงๆ จะทำให้อากาศบริเวณนั้นลอยตัวขึ้นสูง เพราะว่าบริเวณดังกล่าวมีความกดอากาศต่ำ (อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะเบากว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ) เป็นเหตุให้อากาศจากบริเวณอื่นๆ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งจะมีความกดอากาศสูงกว่านั้นจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ และการเคลื่อนตัวของอากาศจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งนี้ เราเรียกว่า “ลม” หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ลม คือการเคลื่อนตัวของอากาศ เราอาจจะแบ่งลักษณะการเกิดของลมอย่างกว้างๆ ได้เป็นสองแบบ คือการเกิดในลักษณะทั่วทั้งโลก และการเกิดในลักษณะเฉพาะที่ สำหรับลักษณะแรกจะเกิดขึ้นเนื่องจากการที่อุณหภูมิของพื้นผิวโลกที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรนั้นสูงกว่าอุณหภูมิที่ขั้วโลกเหนือ และขั้วโลกใต้ เป็นเหตุให้อากาศร้อนที่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรนั้นลอยตัวขึ้นสูงสู่บรรยากาศข้างบน ทำให้อากาศที่อยู่ที่ขั้วโลกซึ่งเย็นกว่าเคลื่อนตัวมายังบริเวณเส้นศูนย์สูตร ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก) แต่เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศนี้ โดยที่อากาศร้อนซึ่งอยู่ในบรรยากาศชั้นบนจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางตะวันออก และอากาศเย็นซึ่งจะอยู่ใกล้พื้นผิวโลกจะหมุนตัวไปในทางทิศตะวันตกเหมือนแสดงในรูปที่ 2.1 (ข) สำหรับลักษณะการเกิดลมแบบที่สอง นั้นเกิดได้ 2 แบบคือ เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำ และเกิดจากความลาดชันของเชิงเขาหรือภูเขา สำหรับแบบแรกในช่วงเวลากลางวันจะมีแสงอาทิตย์ส่องมายังพื้นโลกทำให้พื้นดินนั้นดูดซับความร้อน ได้มากกว่าพื้นน้ำ ซึ่งจะทำให้อากาศบนพื้นดินมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศบนพื้นน้ำ แล้วอากาศที่พื้นดินจะลอยตัวสูงขึ้นและอากาศที่พื้นน้ำจะเคลื่อนตัวมาแทนที่ และในเวลากลางคืนทิศทางการเคลื่อนที่จะตรงกันข้ามกับช่วงเวลากลางวัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) ในแบบที่สองในช่วงเวลากลางวันอากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นไปตามความลาดชันของภูเขา และในเวลากลางคืนอากาศที่เย็นหนักจะกดตัวลงมาตามความลาดชันของภูเขาเหมือนที่แสดงในรูปที่ 2.2 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 แสดงการเกิดลมทั่วทั้งโลก

(ก) ทิศทางลมเมื่อโลกไม่หมุน

(ข) ทิศทางลมเมื่อมีผลกระทบจากการหมุนของโลก

เมื่อลมเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศนั้นย่อมมีมวล ดังนั้นจึงจัดได้ว่าเป็นพลังงานอีก รูปแบบหนึ่ง ซึ่งพลังงานลม จากลมนั้นเป็นพลังที่ได้จากธรรมชาติ และเป็นพลังงานที่ไม่ทำให้เกิดมลพิษ หรือพลังงานบริสุทธิ์ และพลังงานที่ได้จากลมนี้ยังจัดว่าเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด แต่พลังงานจากลมก็เป็นพลังงานที่ไม่มีค่าแน่นอน เพราะว่าลมก็มีการเปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่ตลอดเวลา ลมยังมีความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามที่เราสามารถที่จะนำเอาพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์ได้ซึ่งมนุษย์เราได้เอาพลังงานจากลมมาใช้ตั้งแต่อดีตกาล โดยการนำมาใช้ในการเดินเรือในมหาสมุทร หรือวิดน้ำเพื่อการเกษตร เป็นต้น



รูปที่ 2-2 แสดงการเกิดลมแบบเฉพาะที่

(ก) การเกิดลมตามชายฝั่ง

(ข) การเกิดลมตามภูเขา

2.2.กึ่งहनลม

ในการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ เราต้องมีเครื่องแปลงพลังงานลมให้เป็นพลังงานรูปอื่น

ซึ่งได้แก่ กังหันลม ในทางทฤษฎี พลังงานที่ได้จากลม โดยผ่านกังหันลมจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิได้อยู่ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

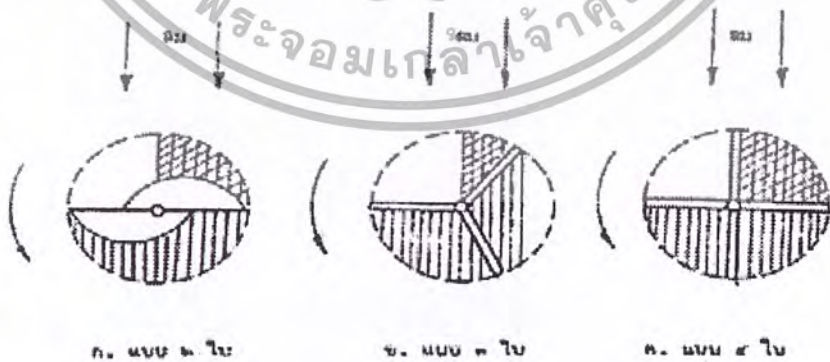
59.3% โดยกังหันลมแบบต่างๆนั้นจะให้กำลังงานออกมาได้น้อยมากเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ, ขนาดและการออกแบบ กังหันลมที่มีประสิทธิภาพต่ำจะมีขนาดใหญ่กว่าชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า กังหันลมที่ใช้กันอยู่ที่มีชื่อเรียกแตกต่างกันโดยส่วนใหญ่จะแบ่งออกตามลักษณะแกน โรเตอร์ ที่ติดตั้งใบพัดว่าหมุนในลักษณะใดเมื่อมีลมพัดผ่าน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ กังหันลมแนวนอน (Horizontal axis machines) และกังหันลมที่ปะทะใบพัด ซึ่งจะทำให้เกิดแรง 2 แรง คือ

- 1) แรงลาก(Drag Force) เป็นแรงที่มีทิศทางเดียวกันกับความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างทิศทางของความเร็วลม กับทิศทางการหมุนของกังหัน
- 2) แรงยก(Lift Force) เป็นแรงที่มีทิศตั้งฉากกับแนวแรงลาก ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแรงยกที่เกิดขึ้นกับปีกของเครื่องบิน

ปัจจุบันอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้กังหันมีความแตกต่างกันคือความเป็นsolidity เท่ากับพื้นที่หน้าตัดที่ใบพัดกังหันหมุนต่อพื้นที่ของใบพัดของกังหัน ซึ่งจะบ่งบอกถึงลักษณะการใช้งานด้วย เช่น ถ้าเป็นพวก High Solidity Machine จะมีแรงบิดตอนออกตัวสูงแต่กำลังสูงสุดจะเกิดที่ความเร็วการหมุนต่ำเหมาะที่จะใช้เป็นกังหันน้ำ ส่วนพวก low solidity machine แรงบิดตอนออกตัวต่ำ กำลังเกิดสูงสุดที่ความเร็วการหมุนสูงเหมาะที่จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.2.1 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง

กังหันลมแบบนี้แกนหมุนของใบพัดจะตั้งฉากกับพื้นดิน กังหันลมแบบนี้มีคุณสมบัติคือสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง น้ำหนักของใบพัดจะทิ้งลงในลักษณะสมมาตร(Symmetry) และไม่มีผลต่อความกว้างของใบ เมื่อเพิ่มแขนหมุน(moment arm) ไม่เป็นปัญหาต่อการติดตั้งฐาน การหมุนของใบจะอยู่ในแนวระนาบเดียวกันกับทิศทางของลมดังนั้นแรงจะปะทะจะเป็นแรงที่ทำให้เกิดการหมุนโดยตรง ซึ่งทำให้การใช้ประโยชน์จากแรงปะทะมีมากขึ้น ส่วนเสียของกังหันแบบนี้คือ ลักษณะการวางใบไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกใบ ใบเวลาเดียวกัน แต่ละใบก็มีส่วนใบที่บังลมอยู่ และยังมีส่วนใบที่ถูกลมปะทะทำให้เกิดแรงต้านการหมุนเป็นอีกด้วย



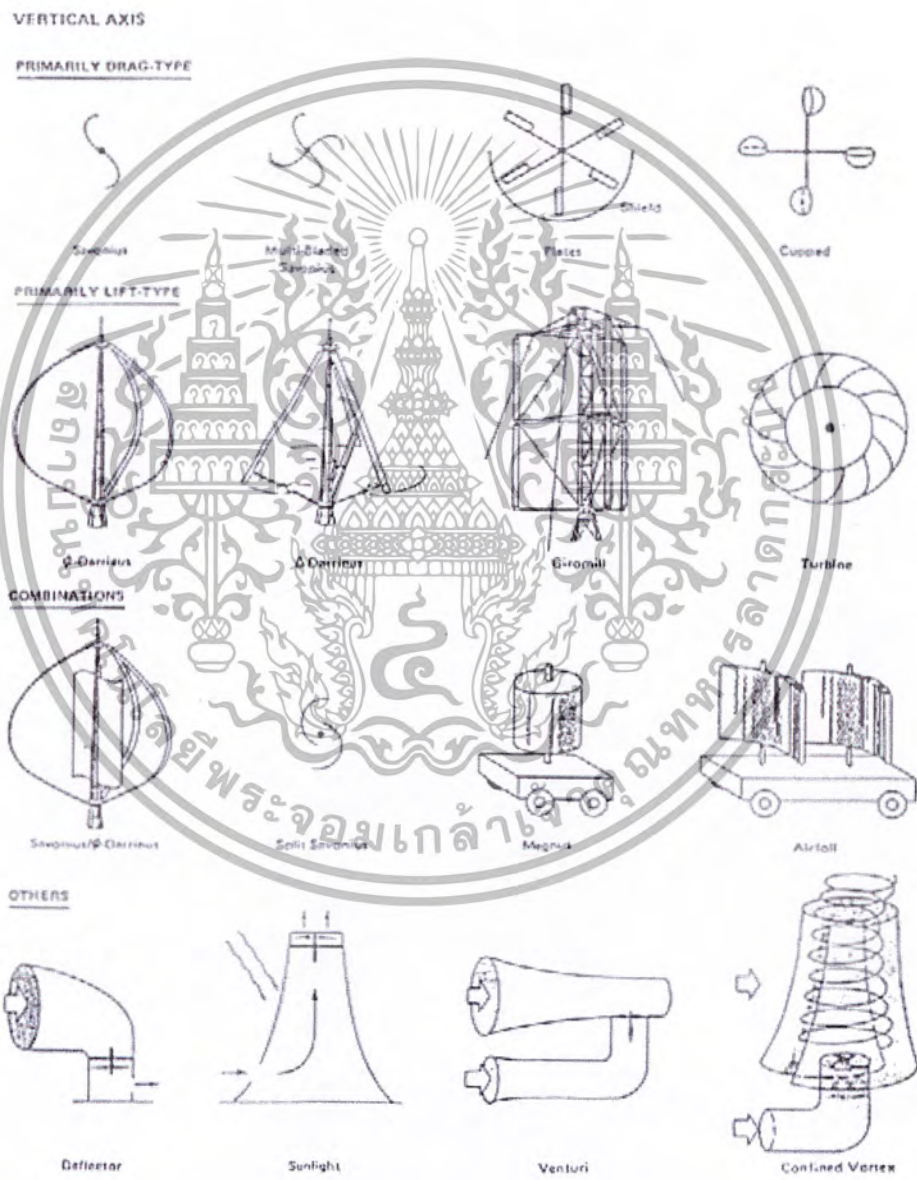
รูป 2-3 แสดงภาพด้านบนของกังหันลมแบบ 2, 3 และ 4 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบของกังหันลมชนิดที่มีแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง

แบบซาโวเนียส หรือเอสโรเตอร์ (Savonius or S.rotor) เป็นกังหันลมชนิด2ใบ การหมุนเกิดจากการที่ลมปะทะทางด้านเว้า แล้วทำให้ใบหมุนรอบแกน กังหันแบบนี้มีแรงบิดบนแกนสูงทำให้พลังงานค่อนข้างคงที่แต่ความเร็วรอบต่ำ ส่วนมากนำไปใช้งานทางด้านกล เช่น เครื่องสูบน้ำ

แบบดาร์เรียส (Darrieus) กังหันลมแบบนี้จะมีความเร็วรอบสูง แต่จะมีแรงบิดเริ่มต้นต่ำฉะนั้นจะต้องมีตัวช่วยเริ่มต้นการหมุนในขณะไม่มีลมหรือลมแรงไม่พอ



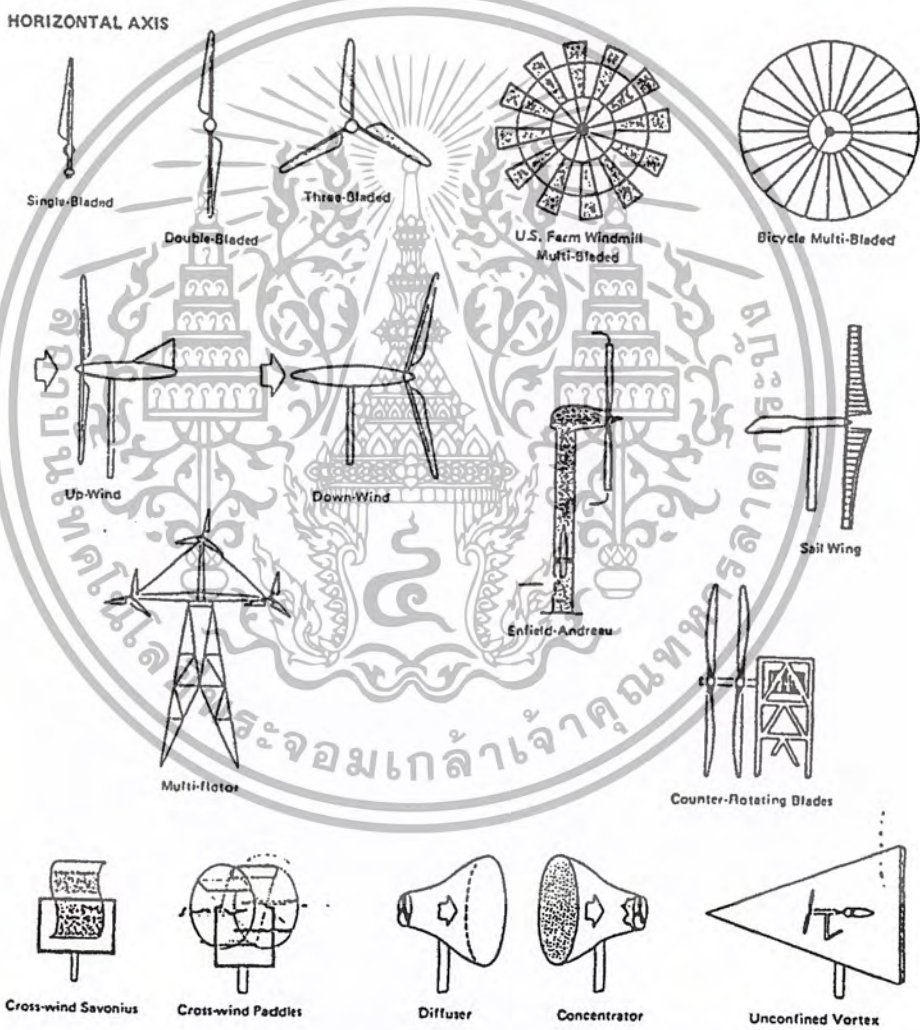
รูป 2-4 แบบของกังหันลมชนิดที่มีแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน

กังหันลมแบบนี้จะมีแกนหมุนของใบพัดขนานกับพื้นดิน คุณสมบัติของกังหันลมแบบนี้คือ ใบของกังหันสามารถรับลมได้เต็มที่และจะทำให้กำลังงานมากกว่าแบบแรกเมื่อเทียบขนาดเท่าๆกัน เพราะว่าแบบนี้มีพื้นที่หน้าตัดของส่วนรับลมของกังหันชนิดนี้เทียบเท่าแบบหมุนในแนวตั้งกังหันแบบนี้มีความซับซ้อนมาก ติดตั้งลำบากต้องหันตั้งลมเข้าสู่ทิศทางที่ลมผ่าน ใบพัดมีลักษณะอยู่ในแนวตั้งชิดติดกับเดือยของแกนหมุนในแนวนอนจำนวนใบพัดมีได้ตั้งแต่ใบขึ้นไป

จากทิศทางลมซึ่งขนานกับแกนหมุน การหมุนของมันจะเกิดขึ้นได้ จากการรับลม 2 แบบคือ รับลมแนวหน้า(up-wind) และรับลมด้านหลัง(down-wind) สังเกตได้จากรูปที่ 2.5



รูป2-5 กังหันแบบแกนนอน

แบบของกังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวนอน

กังหันแบบดัตช์(Dutch windmills) ได้รับการออกแบบและสร้างขึ้นจากชาวดัตช์ ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่14 ใช้วิดน้ำออกจากพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วม บริเวณริมแม่น้ำและยังแยกชนิดตามลักษณะของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

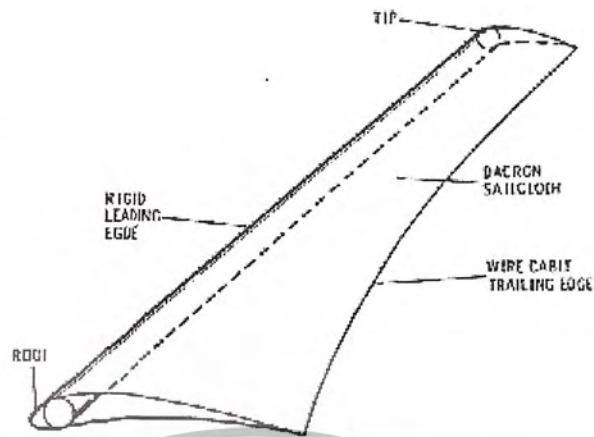
ใบได้อีก ในศตวรรษที่19 ประมาณว่ามีกังหันใช้กันอยู่ 9000ตัว ตั้งแต่เมื่อมีการปฏิวัติอุตสาหกรรมมีการใช้ไอน้ำ และเทคโนโลยีมากขึ้นจำนวนกังหันจึงลดลง



รูป2-6 กังหันลมแบบดัตช์

กังหันแบบเซลวิง(Sail-wing or PRINCETON-sail) เป็นกังหันแกนนอนที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัย PRINCETON ซึ่งประยุกต์มาจากใบของเรือ ลักษณะของใบเป็นไปตามรูปที่ ซึ่งประกอบด้วยท่อโลหะเป็นแกนของใบ และเป็นด้านขอบนำในการหมุน ผิวใบเป็นผ้าไหมชนิดหนึ่ง มีลักษณะยืดหยุ่น ทางด้านหลังจะใส่เคเบิลซึ่ง ใบพัดแบบนี้มีประสิทธิภาพในเกณฑ์ดี ราคาไม่แพง สร้างง่าย น้ำหนักเบากว่า แบบที่ทำด้วยไฟเบอร์กลาสถึง 50%มีการออกแบบตามหลักอากาศพลศาสตร์ เพื่อให้เกิดอัตราส่วนของ แรงยกต่อแรงหน่วง(L/D)สูง ขนาดของเซล-วิง จะจำกัดแค่30ฟุต (เส้นผ่าศูนย์กลาง) เนื่องมาจากความแข็งแรงของใบพัด ดังรูปที่ 2.7 เป็นลักษณะของเซล-วิง ของมหาวิทยาลัย PRINCETON เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2-7 ลักษณะของใบพัดแบบเซล-วิง



รูปที่ 2-8 กังหันลมแบบพริ้นซ์ตัน เซล-วิง

กังหันแบบโพรเพลเลอร์ เป็นกังหันรอบสูง มีความแข็งแรงคงทนน้อยกว่าแบบมัลติ-เบรคปกติจะมี 2-3 ใบ หรืออย่างมาก 4 ใบ เริ่มทำงานที่ $TSR=5$ จนถึงประมาณ 20 โดยทั่วไปมักใช้งานที่ 5-10 กังหันชนิดนี้เหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะรอบสูง สามารถใช้การทอดอัตราต่ำๆ เพื่อขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าได้ กังหันลมที่ใช้อยู่ในประเทศไทยแถบจังหวัดฉะเชิงเทรา ก็จัดเป็นกังหันชนิด โพรเพลเลอร์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ประสิทธิภาพของกังหันลม

กังหันลมสามารถเอากำลังงานจากลมโดยตรง โดยการลดความเร็วลมให้ช้าลง ถ้ากังหันลมสามารถทำให้ลดความเร็วจากเดิมจนหยุดได้สมบูรณ์แล้วคือ ความเร็วของลมหลังจากผ่านกังหันแล้วกลายเป็นศูนย์ จะได้พลังงานจากลม 100% แต่จริงๆแล้วกังหันลมไม่สามารถทำให้ลมที่พัดผ่านหยุดได้ กำลังลมมากที่สุด ทางทฤษฎีที่กังหันลมสามารถรับเอาไว้ได้จะเป็น 59.3%ของกำลังทั้งหมด หมายความว่า สามารถลดความเร็วลงได้ประมาณ3ส่วนของความเร็วต้นเท่านั้น ดังนั้น กังหันลมที่สามารถลดความเร็วลมออกมาได้มากที่สุด 59.3% จึงถือว่ามี ประสิทธิภาพ100%

ถ้ากังหันลมมีประสิทธิภาพ75%เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ75%กำลังงานกลของกังหันลมสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 33.34%

ค่าประสิทธิภาพนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกังหันลม การออกแบบและการสูญเสียของระบบเฟืองต่างๆ ในกรณีที่ใช้สำหรับตรวจสอบความเร็วให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเห็น ได้ชัดว่า 0.1-0.4 ไม่มากกว่านี้ ค่านี้กำหนดให้เป็น efficiency factor ของกังหันลม ใช้สัญลักษณ์ E ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของกังหันและ speed ratio โดย speed ratioของกังหันขึ้นอยู่กับกรหมุนของกังหันและความเร็วที่พัดผ่าน การหมุนของกังหันหมายความว่า ส่วนประกอบของใบพัดบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางมีการหมุนช้าๆ ขณะที่ส่วนปลายของใบพัดหมุนเร็ว อัตราส่วนการหมุนขึ้นอยู่กับรัศมีใบพัดและความเอียงใบพัด

จากลักษณะการหมุนที่กล่าวแล้วสามารถกำหนดส่วนการหมุนของความเร็วซึ่งมีส่วนมากในการออกแบบกังหัน ให้ค่านี้เป็น u/v เมื่อ

u = ความเร็วของกังหันลมที่มีใบพัดเอียงทำมุมเอียงในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง

v = ความเร็วลมที่พัดผ่านกังหัน

ค่า u/v นี้ประมาณ 1-2 เมื่อกังหันลมหมุนช้า และเท่ากับ5-7 หรือ8 เมื่อกังหันหมุนเร็ว

ตารางที่1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของกังหันลมแนวแกนตั้งและกังหันลมแนวแกน

นอน

กังหันแนวนอน	กังหันแนวตั้ง
ข้อดี	ข้อดี
1. มีพื้นที่รับลมมากกว่าเมื่อน้ำหนักเท่ากัน	1. รับลมได้ทุกทิศทาง ไม่ต้องใช้หางเสือในการปรับทิศทาง
2. ประสิทธิภาพสูงกว่า	2. น้ำหนักที่ลงที่ฐานมีความสมดุลมากกว่า
3. แรงบิดรอบแกนสูง	3. เริ่มต้นหมุนเองได้เมื่อความเร็วลมต่ำ
4. ความเร็วรอบสูงกว่าเมื่อความเร็วลมเท่ากัน	4. ระบบการผลิตส่งกำลังทำได้ง่ายราคาถูก
5. ความเร็วรอบคงที่กว่า	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่แจ้งชื่อผู้จัดทำเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัณฑ์แนวนอน

ข้อเสีย

1. ต้องปรับทิศทางของใบกัณฑ์เข้าหาทิศทางลม
ไม่ได้รับลม
2. การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับแกนหมุนจะทำให้ยาก

กัณฑ์แนวตั้ง

ข้อเสีย

1. มีแรงต้านการหมุนจากใบพัดที่
2. ไม่สามารถรับลมได้ทุกใบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

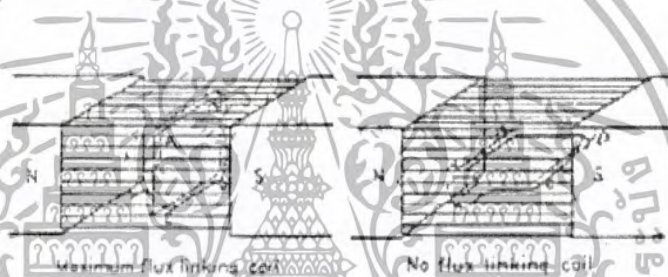
บทที่ 3

เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยพลังงานลม นั้น จะต้องมีเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในบทนี้จะกล่าวรายละเอียดต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งจะประกอบไปด้วยโครงสร้างและส่วนประกอบ หลักการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด การทำงาน ตลอดจนการสูญเสียในเครื่องกำเนิด

3.1 หลักการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ จะเกิดจากการให้ตัวนำวิ่งผ่านสนามแม่เหล็ก ที่มีความเข้มคงที่ค่าหนึ่ง ด้วยอัตราเร็ว นั่นคือ ทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลง ของเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยเวลาดังนั้น จึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น ดังรูปที่ 3.1



รูป 3-1 ขดลวดแบบธรรมดาที่หมุนในสนามแม่เหล็ก

ซึ่งแสดงถึงการนำเอาขดลวดหนึ่งให้วิ่งผ่านสนามแม่เหล็กถาวร โดยที่สนามแม่เหล็กนั้นสม่ำเสมอทุกจุด ดังรูป 3.1(ก) เป็นตำแหน่งที่เส้นแรงแม่เหล็กที่มากล้องขดลวดมีค่าสูงสุดสำหรับรูปที่ 3.1(ข) นั้น เป็นตำแหน่งที่ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กมาคล้องขดลวด (no flux linking coil) ในรูปที่ 3.1(ค) นั้น เป็นตำแหน่งที่มีเส้นแรงแม่เหล็กมาคล้องขดลวดสูงสุด แต่ว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับขดลวดนั้นมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือมีค่าต่ำสุด ฉะนั้นเมื่อระนาบของขดลวดตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กก็จะทำให้เกิด การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าต่ำสุด หรือ เท่ากับศูนย์ ส่วนรูปที่ 3.1(ง) นั้นเป็นตำแหน่งที่มีการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นสูงสุด เพราะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยเวลาสูงสุดนั่นเอง

จากรูปที่ 3.1 เมื่อขดลวดเคลื่อนที่หมุนเข้ามาอีกไป $\frac{1}{4}$ รอบ จากตำแหน่งในรูป 3.1ก ไปยังตำแหน่งในรูป 3.1ข นั้นทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ไปคล้องขดลวด AB ลดลงเป็นศูนย์เพราะการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยในขดลวดช่วงนี้คือ

$$E_{av} = N\phi/t \quad \text{โวลต์} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N = จำนวนรอบของตัวนำในขดลวด

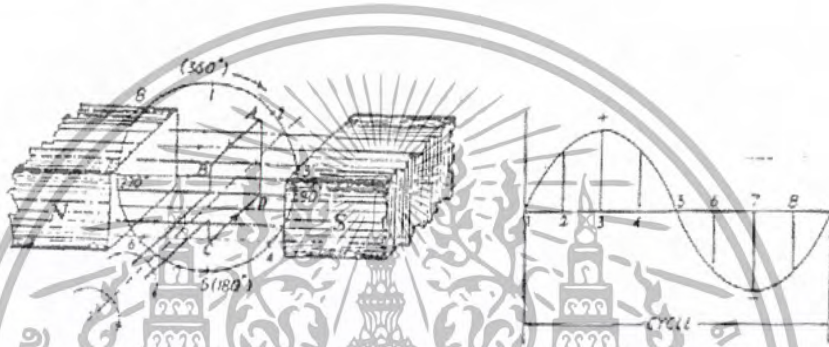
t = เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไป $\frac{1}{4}$ รอบ นั่นคือ $t = 1/4s$

S = จำนวนรอบต่อนาที (rpm.)

และแรงเคลื่อนไฟฟ้า e ที่เกิดขึ้นจากตัวนำยาว l เมตร วิ่งตัดผ่านสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่น (B) เวเบอร์ต่อตารางเมตร ด้วยความเร็ว (V) เมตรต่อนาที คือ

$$e = Blv \sin\theta \quad \text{โวลต์} \quad (3.2)$$

ฉะนั้นเมื่อตัวนำหมุนไปหนึ่งรอบ ทำให้เกิดเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เป็นลบและบวก ขึ้นในตัวมัน คือจะเป็นไฟกระแสสลับ ดังรูป 3.2



รูป 3-2 การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า

จากที่ได้กล่าวถึงหลักการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดมาแล้ว จะเห็นว่าแรงดันที่ได้คือออกมาเป็นกระแสสลับ ถ้าต้องการไฟกระแสตรงทำได้โดยใช้ปลอกทองเหลือง (slip ring) 1 วง แล้วผ่าซีกเป็น 2 ส่วน โดยให้ขดลวดสัมผัสอยู่กับภายในของวงแหวนผ่าซีกทั้งสองนั้นสลับกันไปมา ตลอดเวลาที่มีการหมุนของตัวนำทั้งสอง โดยผ่านวงแหวนผ่าซีก (commutator) ซึ่งกระแสตรงที่ได้ยังไม่ค่อยเรียบ ถ้าให้เรียบมากยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนตัวนำให้มากขึ้น ปริมาณแรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นในแต่ละตัวนำจะขึ้นอยู่กับความเร็วของตัวนำนั้นๆ ตัดเส้นแรงแม่เหล็ก

3.2 โครงสร้างและส่วนประกอบ

จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor)

1) โครงสร้างและส่วนประกอบที่อยู่กับที่ คือ

1.1 เปลือกโครงเหล็ก (Magnetic frame หรือ York) ทำด้วยเหล็กหล่อมีไว้สำหรับยึดขั้วแม่เหล็กและทำให้ทางเดินแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กวิ่งได้ครบวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 แกนเหล็กของขั้วแม่เหล็กและขั้วแม่เหล็ก(Pole core Pole shoe) ทั้งสองส่วนนี้ประกอบขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนและขั้วแม่เหล็ก เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นการที่ต้องมีขั้วแม่เหล็กนั้นมีจุดมุ่งหมาย 2 ประการคือ

1.2.1 เพื่อจ่ายเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนช่องว่างอากาศ(Air Gap) และช่วยลดความต้านทานแม่เหล็ก(Reluctance) ของทางเดินสนามแม่เหล็กให้ลดลง

1.2.2 เพื่อเป็นตัวรองรับขดลวดที่กระตุ้นทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก(Exciting)

1.3 ขดลวดที่พันรอบแกน(Pole coil) คือขดลวดสนามแม่เหล็กที่ประกอบด้วยลวดกลมหรือแบนทำด้วยทองแดงหลายๆเส้น นำมาประกอบเป็นรูปร่างของขดลวดของตัวนำที่ต้องการ

2) โครงสร้างของส่วนที่เคลื่อนที่ประกอบด้วย

2.1 แกนเหล็กของอาร์เมเจอร์ เป็นที่สำหรับฝังตัวนำหรือขดลวดลงไป ให้หมุนตัดสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กสเตเตอร์ และยังเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก เพื่อให้สนามแม่เหล็กที่วิ่งจากสนามแม่เหล็กหลัก(ขั้ว) ผ่านช่องอากาศเข้าไปยังตัวหมุน แล้วผ่านช่องอากาศไปยังสนามแม่เหล็ก(ขั้ว) และผ่านโครงกลับไปไปยังขั้ว N อีกที โดยที่ตัวหมุนนี้มีความต้านทานแม่เหล็กต่ำมาก

2.2 ขดลวดอาร์เมเจอร์ คือขดลวดที่พันอยู่ในช่องต่างๆของอาร์เมเจอร์ เพื่อเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก

2.3 คอมมิวเตเตอร์

มีหน้าที่นำกระแสออกมาจากตัวนำที่พันอยู่ในอาร์เมเจอร์ และเป็นตัวกลับไฟกระแสสลับที่เกิดขึ้นภายในอาร์เมเจอร์ให้เป็นกระแสไฟตรง

2.4 แกนหมุน (Shaft) มีหน้าที่เป็นตัวรับหรือตัวถ่ายทอดการหมุนหรือการเคลื่อนที่ต่างๆที่เกิดขึ้นกับโรเตอร์

2.5 แปรงถ่านและลูกปืน (brusher and bearing) แปรงถ่านมีหน้าที่เป็นตัวรวบรวมกระแสที่ได้จากคอมมิวเตเตอร์เพื่อส่งต่อไปยังวงจรภายนอก ส่วนลูกปืนนั้นเป็นตัวที่ใช้สำหรับรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุนและยังช่วยลดแรงเสียดทานด้วย

3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมี 2 ประเภทคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอินดักชัน (Induction Generator) และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส(Synchronous Generator) แต่เนื่องจากในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน

โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส 3 เฟส (Construction of Three-Phase Synchronous Generators) จะประกอบด้วย

- สเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โรเตอร์
- ระบบที่ใช้ในการกระตุ้น(Excitation Systems)
- ขดลวดหน่วง(Damper Winding)

1) สเตเตอร์

ทำหน้าที่ยึดขดลวดอาร์เมเจอร์ที่บรรจุอยู่ในสลีตประกอบด้วยแผ่นลามิเนตบางๆอัดเป็นรูปทรง

2) โรเตอร์

โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบ่งเป็น 2 ประเภท คือแบบขั้วยื่น(Salient pole) และแบบขั้วเสมอผิว(Nonsalient pole)

โรเตอร์แบบขั้วยื่นลักษณะที่จะใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกระแสต่ำ ดังนั้น โรเตอร์จึงมีขั้วเหล็กตั้งแต่ 4 ขั้วขึ้นไป

โรเตอร์แบบขั้วเสมอผิว มีลักษณะเหมาะกับการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความเร็วสูงเพราะสามารถทนต่อระบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางได้สูง

3) ระบบกระตุ้น

หลังจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสถูกขับเคลื่อนด้วยตัวกำเนิดจนถึงความเร็วใกล้ซิงโครนัสจึงจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านแปรงถ่านและสลีบเข้าสู่ขดลวดฟิลด์ของโรเตอร์เพื่อกระตุ้นให้เกิดความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กเพิ่มขึ้น โดยมีปฏิสัมพันธ์กับความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กของขดลวดที่สเตเตอร์และสร้างแรงบิดที่ความเร็วซิงโครนัส หรือเกิดการประกบติดกันระหว่างขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์กับขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์จึงทำให้โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส

4) ขดลวดหน่วง

ขดลวดหน่วงเป็นทองแดงที่ถูกฉนวนบริเวณด้านปลาย และวางตัวอยู่บริเวณหน้าขั้วแม่เหล็ก และขดลวดนี้จะทำหน้าที่คือหน่วงการสั่นของโรเตอร์ในเครื่องกำเนิดซิงโครนัสที่เกิดจากการเพิ่มหรือลดขนาดของโหลดอย่างรวดเร็วและช่วยในการเริ่มต้นหมุน เมื่อเครื่องกลทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ซิงโครนัส

3.3.1 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสลับ 1 เฟส

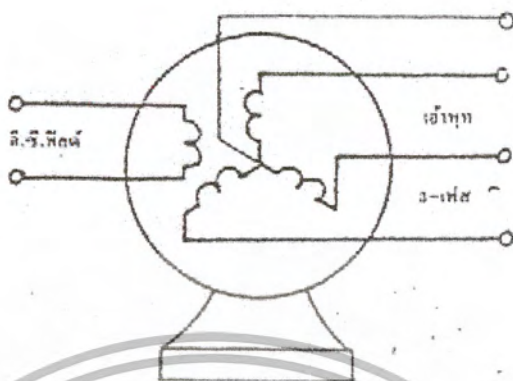
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำงานเมื่อมีต้นกำลัง(Prime mover)มาขับให้ส่วนที่เคลื่อนที่ได้ซึ่งจะทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์นั้นเคลื่อนที่แล้วจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมา

ในเครื่องกำเนิดสลับ 1 เฟส จะมีขดลวด อาร์เมเจอร์เพียงชุดเดียว ถึงแม้ว่าเครื่องกำเนิดนั้นจะมีขั้วแม่เหล็กเท่าใดก็ตาม ขดลวดอาร์เมเจอร์จะต่ออันดับกันทั้งหมดแล้วจะเหลือปลายสายไว้เพียง 2 เส้นเท่านั้น

3.3.2 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟส ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องกำเนิดที่มีขนาดกำลังเอาต์พุตสูงและมีจำนวนขั้วแม่เหล็กมากและถึงแม้ว่าจะมีจำนวนขั้วแม่เหล็กมากน้อยเท่าใดก็ตาม ภายในขั้วแม่เหล็กหนึ่งขั้ว

จะมีขลวดอาร์เมเจอร์อยู่ 3 ชุดด้วยกัน โดยแต่ละชุดจะพันห่างกัน 120 องศาไฟฟ้าและขลวดนี้จะมีการต่อกันเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าไปอนกับ โหลด 2 วิธีคือ ต่อแบบวาย หรือสตาร์ และแบบเดลต้า



ก. ต่อแบบวาย หรือสตาร์



ข. ต่อแบบเดลต้า

รูปที่ 3-3 วิธีต่อขลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีและการออกแบบกังหันลม

4.1 แนวทางออกแบบเบื้องต้น

โดยทั่วไปจะพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้

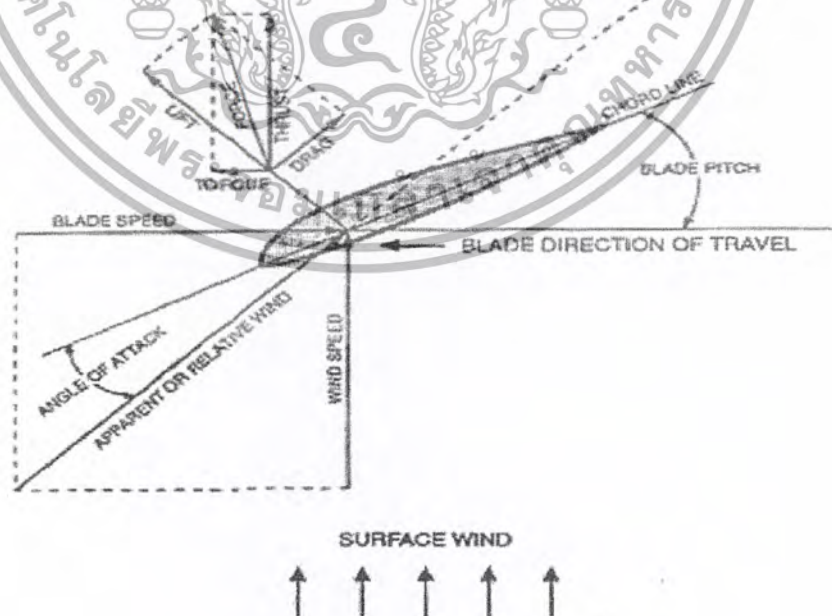
- พิจารณาถึงPOWERที่เราต้องการ
- พิจารณาถึงกำลังลมที่มี
- พิจารณาถึงชนิดและแบบของกังหันลมที่เหมาะสมสำหรับงานนั้นๆ

เราต้องพิจารณาถึงกำลังลมที่เรามีอยู่ โดยการวัดความเร็วลมเฉลี่ย ณ จุดที่ที่จะทำการติดตั้งกังหันลม ทำกราฟแสดงปริมาณลมที่เกิดขึ้น และทำการเลือกแบบของกังหันลมและขนาดของใบพัด เพื่อให้เหมาะสมและใกล้เคียงกับจุดประสงค์มากที่สุด

4.2 การออกแบบทางพลศาสตร์(Aerodynamic Design)

ในการออกแบบทางพลศาสตร์นั้นเป็นการออกแบบใบพัดกังหันลม เพื่อให้ประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งมีส่วนสำคัญๆ ดังนี้

4.2.1 แอร์ฟอยล์(Airfoil) คือส่วนพื้นที่ผิวที่สัมผัสอากาศโดยการไหลของอากาศจะสัมผัสกับแรงสองแรง คือ แรงยก(lift) และแรงลาก(drag) โดยแรงยกจะถูกจัดตั้งฉากกับการไหลของอากาศ และ แรงลากจะขนานกับทิศทางของอากาศ(ดังรูป 4.1) แอร์ฟอยล์มีลักษณะอยู่หลายแบบมากมาย (ดังรูป 4.2) แอร์ฟอยล์ทุกอันจะทำมุมกับแรงลมเพื่อจะทำให้เกิดแรงยก โดยแรงยกมากเป็นสิ่งที่เราต้องการ(มุมมากด้วย) โดยมุมจะถูกวัดระหว่างเส้นคอร์ดกับเส้นทางการไหลของลมโดยมุมที่เกิดขึ้นจะถูกเรียกว่า(angle of attack)



รูปที่ 4-1 แสดงลักษณะและแรงต่างๆที่กระทำที่แอร์ฟอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการบอกค่าของแรงยกและแรงลากนั้นจะบอกอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์(Coefficient)

$$C_l = 2L/\rho V^2 A \tag{4.1}$$

$$C_d = 2D/\rho C_l V^2 A \tag{4.2}$$

- เมื่อ C_l = สัมประสิทธิ์แรงยก
- C_d = สัมประสิทธิ์แรงลาก
- ρ = ความหนาแน่นของอากาศ
- A = Blade area (chord length \times blade length)

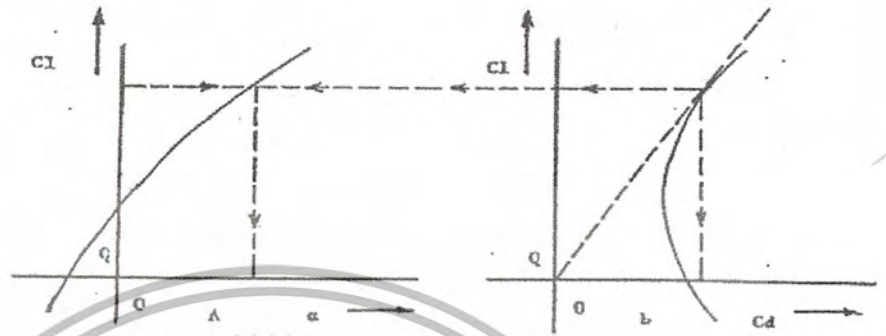


รูปที่ 4-2 แสดงรูปแบบแอร์ฟอยล์ในลักษณะต่างๆ

ค่าของ C_d , C_l จะมีความสัมพันธ์กับมุมปะทะ (α) ซึ่งในแต่ละชนิดของแอร์ฟอยล์จะแตกต่างกันออกไป เราสามารถหาค่าต่างๆ ได้จากกราฟ เช่นรูป 4.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_l - α และ C_l - C_d ตามรูป 4.3 b หากเราลากเส้นสัมผัสจากจุด $C_d = C_l = 0$ ณ จุดสัมผัสเราจะได้ค่าของ C_d - design และ C_l - design เมื่อลากเส้นตัดกราฟในรูป 4.3a เราก็จะได้ α -design หากเรานำค่าของ C_d หาคด้วย C_l เราก็จะได้ค่า C_d/C_l ค่าสุดท้ายสำหรับแอร์ฟอยล์นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบกังหันลม จึงเป็นเสมือนการเลือกแบบของกังหันลมเพื่อที่จะให้แรงยกสูงสุด และแรงลากต่ำสุด



รูปที่ 4-3 ค่าประกอบของแรงยกและแรงลาก

4.2.2 Relative wind velocity

เมื่อกังหันหมุน หากเรามองจากกังหันเราจะมองเห็นทิศทางลมเปลี่ยนไป ทิศทางใหม่ของลมที่พัดเข้า กังหันนี้เรา

เรียกว่า Relative wind velocity ซึ่งจะทำมุมกับแนวการหมุนของกังหันเป็นมุม ϕ เรียกว่า Wind angle (ดูได้จากรูป 4.1)

4.2.3 สูตรการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของใบพัดกับความเร็วลม

$$\frac{u}{v} \text{ ที่รัศมีใดๆ} = \frac{u/v(\text{tip}) \times r}{\text{tip radius}} \tag{4.3}$$

$$\frac{u}{v} (\text{tip}) = \frac{0.105 \times N \times r}{k \times v} \tag{4.4}$$

โดย

r (radius) = รัศมีโดยวัดจากศูนย์กลางของการหมุนถึงพื้นที่ที่ u/v ที่เราหาอยู่

tip radius = รัศมีกังหัน/2

N = รอบการหมุน (รอบ/นาที)

U = ความเร็วใบพัด

V = ความเร็วลม

k= constant to adjust

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า

V (ไมล์/ชม.) , $k=1.47$

V (กม./ชม) , $k=1.0$

4.2.4 การหา BLADE AREA

$$\text{BLADE AREA} = \text{BLADE LENGTH} \times \text{BLADE CHORD} \quad (4.5)$$

4.2.5 สูตรการหามุมใบพัด และ SOLIDITY

$$\text{มุมของใบพัด} = \text{wind angle} - \text{angle of attack} + \text{airfoil of zero} \quad (4.6)$$

โดย

Wind angle = มุมที่ relative wind ทำกับ blade direction of zero

angle of attack = มุมที่ relative wind ทำกับ chord line

airfoil of zero $\equiv 0$ สำหรับ symmetrical airfoil

$\equiv 2$ สำหรับ camber airfoil

$\equiv 4$ สำหรับ highly camber airfoil

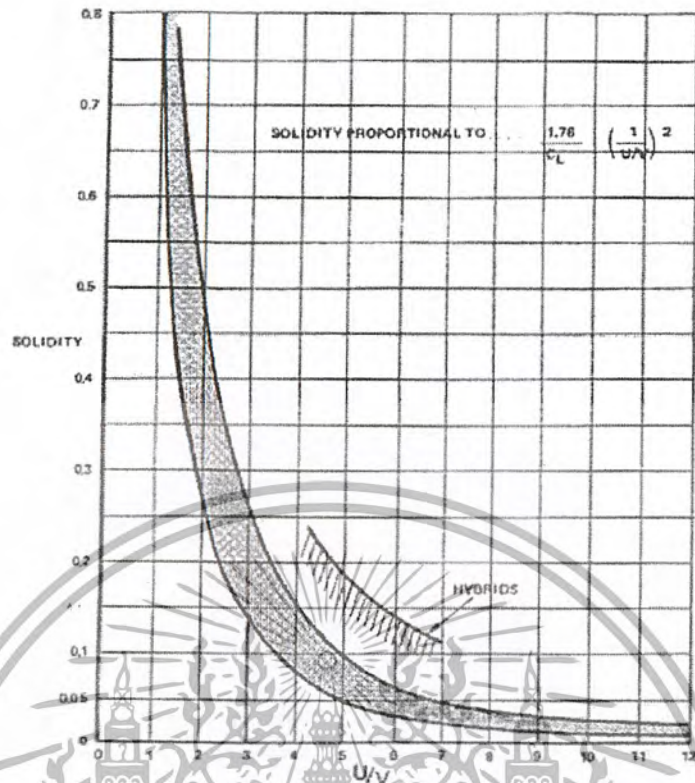
SOLIDITY คือ ลักษณะของใบพัดโดยเมื่อลมเข้าใบพัดหมุนจะหมุนเหมือนเป็น Solid surface

$$\text{SOLIDITY} = \text{BLADE AREA} / \text{FRONTAL AREA} \quad (4.7)$$

โดย

BLADE AREA คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดของใบพัด

FRONTAL AREA = พื้นที่ผิวที่ใช้คำนวณหากำลังใบพัด



รูปที่ 4-4 SOLIDITY

การเลือก SOLIDITY FACTOR สำหรับกังหันใช้รูป โดย SOLIDITY VALUE ด้านสูงจะถูกเลือก เมื่อ lift coefficient ถูกประมาณเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดของ airfoil และ LOW SOLIDITY VALUE ถูกเลือกเมื่อเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดของ lift ของ airfoil

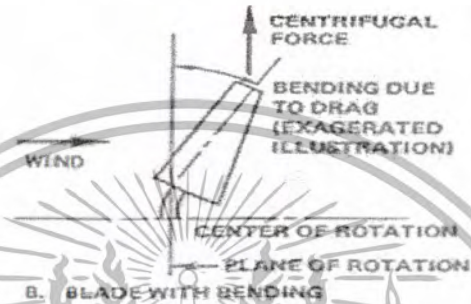
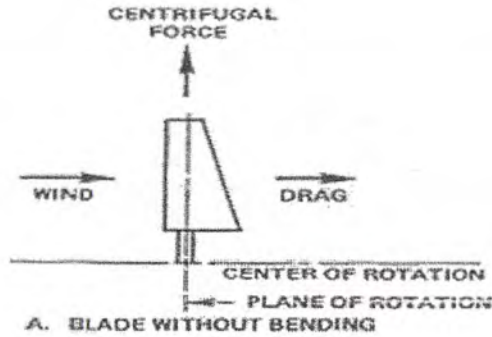
4.3 แรงที่กระทำต่อใบพัดของกังหัน

เราสามารถแบ่งแรงที่กระทำต่อกังหันลมที่สำคัญที่เราต้องพิจารณาได้ 2 ประเภท

4.3.1 แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เป็นแรงที่กระทำกับใบพัดในแนวแกนการหมุน ซึ่งเหมือนกับเวลาเราผูกก้อนหินไว้กับเชือกแล้วเหวี่ยงหรือหมุนในวงรอบการหมุน แรงหนีศูนย์กลางจะเป็นเสมือนแรงดึงเชือกนั้น ซึ่งจะตั้งฉากกับทิศทางการหมุนคือว่าพร้อมจะเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงอยู่ตลอดเวลา

4.3.2 แรงลาก (Windmill Drag Force) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โครงสร้างของกังหัน (Truss) หักโค่น และ ทำให้ใบพัดของกังหันบิดงอเสียหาย เช่น ในกรณีที่ใบพัดถูกยึดติดไว้กับที่แต่เมื่อมีแรงลากมากกระทำที่ใบพัดทำให้ใบพัดเกิดการบิดงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-5 แสดงการงอของใบพัด

4.4 คุณสมบัติของแรงบิดและกำลังงาน (Torque and Power characteristics)

จากรูป 4.1 เมื่อแตกแรงกวาดและแรงยกที่กระทำต่อใบพัด ให้อยู่ในแนวระนาบเดียวกันผลลัพธ์ระหว่างแรงทั้งสอง จะเป็นแรงที่ทำให้เกิดการหมุนของกังหัน สมมติให้กังหันหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω)

$$\omega = 2\pi n \tag{4.8}$$

ฉะนั้นกำลังงานที่ได้รับจากการเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกล คือ

$$P = T\omega \tag{4.9}$$

- P : กำลังงาน (Power) (w)
- T : แรงบิด (Torque) (N-m)
- ω : ความเร็วเชิงมุม (Angular speed) (rad/sec)

จากสมการ (4.9) กำลังงานที่ได้รับเท่ากัน แต่อาจได้จากค่าของแรงบิดสูง ความเร็วเชิงมุมต่ำ หรือแรงบิดต่ำ ความเร็วเชิงมุมสูงก็ได้ ฉะนั้นในการออกแบบกังหันลมที่ดีจำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน เพื่อให้สัมพันธ์กับแรงบิดและความเร็วเชิงมุมด้วย

จากรูป 4.7 เราสามารถสรุปได้ดังนี้

- ขณะที่กำลังงานเท่ากันแต่สามารถ ได้มาจากค่าความเร็วเชิงมุมที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำลังงานสูงสุดจะเปลี่ยนไปตามค่าของความเร็วเชิงมุมกำลังสาม และแรงบิดก็จะเปลี่ยนไปตามความเร็วเชิงมุมกำลังสอง
- กำลังงานสูงสุดจะได้จากความเร็วเชิงมุมสูงมากกว่า แรงบิดสูง
- แรงบิดเริ่มต้นสำหรับกังหันลมแบบความเร็วรอบสูง (High speed) จะมีค่าน้อยกว่ากังหันลมแบบความเร็วรอบต่ำ (Low speed)



รูปที่ 4-7 แสดงลักษณะของกำลังงานและแรงบิด

4.5 ระบบส่งกำลัง

การเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกลโดยผ่านกังหันลม ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่ง คือ ระบบส่งกำลัง เพราะหาก

ระบบส่งกำลังไม่ดีแล้ว ประสิทธิภาพที่ได้รับก็จะได้ไม่เต็มที่ ในการออกแบบระบบส่งกำลังที่ดีต้องคำนึงถึงส่วนประกอบมากมาย เช่น ความเหมาะสมกับงานที่จะใช้ ราคาการบำรุงรักษา การสูญเสียในระบบส่งกำลัง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

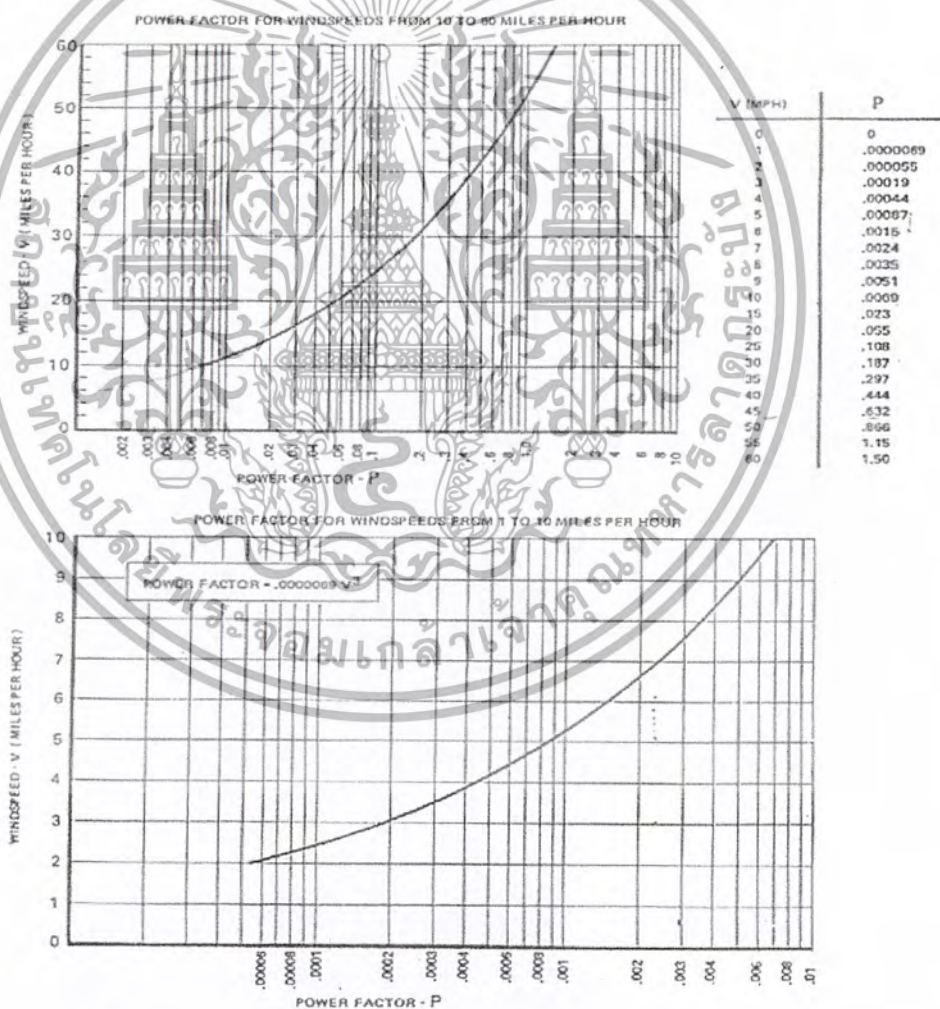
การคำนวณหาขนาดของแอร์ฟอยล์และขนาดของกังหันลม

ในการออกแบบใบพัดของเราต้องนำความรู้ทางอากาศพลศาสตร์มาใช้ โดยใบพัดที่เราออกแบบนั้นจะเป็นลักษณะรูปร่างเป็นแอร์ฟอยล์ ซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้ตารางอ้างอิงและทำตามขั้นตอน ของ SWD

การคำนวณหาขนาดของแอร์ฟอยล์และขนาดของกังหันลม ก่อนอื่นต้องทราบ

- กำลังลมที่เราต้องการ
- ความเร็วของลม

ถ้าเรานำความเร็วลมที่ root มาคิด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.92 ไมล์ต่อชั่วโมง จากการวัด



รูปที่ 5-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วลม กับ Power factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 ที่ความเร็วลมเท่ากับ 4.92 ไมล์ต่อชั่วโมง จะได้ค่า Power factor เท่ากับ 0.00083

จากกราฟเมื่อค่า w/v เท่ากับ 2.4 จะได้ค่า $E = 0.3$

จากสมการ $HP = P \times A \times E$

และ กำลังงาน (วัตต์) = $746 \times P \times A \times E$

แทนค่า

- กำลังงาน 0.48 วัตต์

- $P = 0.00083$

- $E = 0.3$

$$0.48 = 746 \times 0.00083 \times A \times 0.3$$

$A = 2.60$ ตารางฟุต หรือเท่ากับ 0.2417 ตารางเมตร

จากสมการการหาพื้นที่

$$A = \pi D^2 / 4$$

$$(2.60 \text{ ft}^2) = \pi D^2 / 4$$

$$D = 1.82 \text{ ฟุต}$$

เพราะฉะนั้นกังหันลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.82 ฟุต

และจากรูปที่ 3.4 SOLIDITY

ที่ $w/v = 2.4$

$$\text{SOLIDITY} = 0.028$$

จากสมการ

$$\text{SOLIDITY} = \text{BLADE AREA} / \text{FRONTAL AREA}$$

แทนค่า

$$0.028 = \text{BLADE AREA} / (0.247 \text{ m}^2)$$

เพราะฉะนั้น $\text{BLADE AREA} = 0.007$ ตารางเมตร

จากสมการ

$$\text{BLADE AREA} = \text{BLADE LENGTH} \times \text{BLADE CHORD}$$

แทนค่า

$$0.007 = (0.2 \text{ m}) \times \text{BLADE CHORD}$$

เพราะฉะนั้น $\text{BLADE CHORD} = 0.035$ เมตร

ส่วนที่ความเร็วลม 11.18 ไมล์ต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 5.1 ที่ความเร็วลมเท่ากับ 11.18 ไมล์ต่อชั่วโมง จะได้ค่า Power factor 0.011

จากกราฟเมื่อค่า w/v เท่ากับ 1.8 จะได้ค่า $E = 0.26$

จากสมการ $HP = P \times A \times E$

และ กำลังงาน (วัตต์) = $746 \times P \times A \times E$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า

- กำลังงาน 5.55 วัตต์
- $P = 0.011$
- $E = 0.26$

$$5.55 = 746 \times 0.011 \times A \times 0.26$$

$A = 2.60$ ตารางฟุต หรือเท่ากับ 0.2417 ตารางเมตร

จากสมการการหาพื้นที่

$$A = \pi D^2 / 4$$

$$(2.60 \text{ ft}^2) = \pi D^2 / 4$$

$$D = 1.82 \text{ ฟุต}$$

เพราะฉะนั้นกังหันลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.82 ฟุต

และจากรูปที่ 3.4 SOLIDITY

$$\text{ที่ } u/v = 1.8$$

$$\text{SOLIDITY} = 0.045$$

จากสมการ

$$\text{SOLIDITY} = \text{BLADE AREA} / \text{FRONTAL AREA}$$

แทนค่า

$$0.045 = \text{BLADE AREA} / (0.247 \text{ m}^2)$$

เพราะฉะนั้น $\text{BLADE AREA} = 0.011$ ตารางเมตร

จากสมการ

$$\text{BLADE AREA} = \text{BLADE LENGTH} \times \text{BLADE CHORD}$$

แทนค่า

$$0.011 = (0.2 \text{ m}) \times \text{BLADE CHORD}$$

เพราะฉะนั้น $\text{BLADE CHORD} = 0.055$ เมตร

หลังจากที่เราคำนวณและรู้ว่าความยาวคอร์ดได้เท่าใดแล้ว ต่อไปเราจะนำความยาวคอร์ดที่คำนวณได้ นี้ไปหาลักษณะของแอร์ฟอยล์ โดยนำค่าความยาวคอร์ดที่คำนวณได้ ไปคูณกับค่าในตาราง จะได้ upper และ Lower ของแอร์ฟอยล์ออกมา

ค่า upper และ Lower ของแอร์ฟอยล์ชนิด NACA4412 เป็นดังนี้

upper	lower
0	0
2.44	-1.43
3.39	-1.95
4.73	-2.49
5.76	-2.74
6.59	-2.86
8.8	-2.74
9.76	-2.26
9.8	-1.8
9.19	-1.4
8.14	-1
6.69	-0.65
4.89	-0.39
2.71	-0.22
0	0

โดยค่าที่อยู่ในตารางอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ ต่อไปจะนำความยาวคอร์ดที่ได้ไปคูณกับค่าในตารางข้างบนจะได้ค่าดังนี้

- ที่ tip ของใบพัด ซึ่งมีค่าความยาวคอร์ดเท่ากับ 5.5 เซนติเมตร จะได้ค่า upper และ Lower ดังนี้

upper	lower
0	0
0.1342	-0.07865
0.18645	-0.10725
0.26015	-0.13695
0.3168	-0.1507
0.36245	-0.1573
0.484	-0.1507
0.5368	-0.1243
0.539	-0.099
0.50545	-0.077

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.4477	-0.055
0.36795	-0.03575
0.26895	-0.02145
0.14905	-0.0121
0	0

- ที่ root ของใบพัด ซึ่งมีค่าความยาวคอรัลเท่ากับ 3.5 เซนติเมตร จะได้ค่า upper และ Lower ดังนี้

upper	lower
0	0
0.0854	-0.05005
0.11865	-0.06825
0.16555	-0.08715
0.2016	-0.0959
0.23065	-0.1001
0.308	-0.0959
0.3416	-0.0791
0.343	-0.063
0.3216	-0.049
0.284	-0.035
0.234	-0.02275
0.171	-0.0136
0.948	-0.0077
0	0

แล้วนำค่านี้ไปสร้างแอร์ฟอยล์ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5-2 รูปแบบแอร์ฟอยล์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

แบบจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม

6.1 แบบจำลองกังหันลม (wind turbine models)

6.1.1 แบบจำลองของใบพัด (blade model)

แรงบิดของลมที่กระทำต่อใบพัดเป็นไปดังสมการ

$$M_w = \frac{1}{2} \pi \rho c_p R^3 \frac{V_w^3}{\lambda} \quad (6.1)$$

$$\lambda = \frac{R \omega_M}{v_M} \quad (6.2)$$

โดยที่

λ = อัตราส่วนความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบพัดต่อความเร็วลม

R = รัศมีใบพัด (m)

ω_M = ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ (rad/s)

V_w = ความเร็วลม (m/s)

C_p = สัมประสิทธิ์กำลัง

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

ใบพัดกังหันลมสามารถบ่งบอกลักษณะได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์กำลัง ซึ่งหาได้จากเส้นโค้งไร้มิติซึ่งเป็นฟังก์ชันของ λ และมุมของใบพัด β โดยความสัมพันธ์เป็นดังสมการ

$$c_p = (0.44 - 0.0167 \beta) \sin \left[\frac{\pi(\lambda - 3)}{15 - 0.3\beta} \right] - 0.00184 (\lambda - 3) \beta \quad (6.3)$$

6.1.2 แบบจำลองของคอกล้อ (hub model)

ความสัมพันธ์ของแรงบิดของใบพัดกับแรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลลาแทนได้ด้วยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dM_T}{dt} = \frac{1}{T_H} (M_w - M_T) \quad (6.4)$$

โดยที่

M_T = แรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลากังหัน (N-m)

M_w = แรงบิดที่กระทำที่ใบพัด (N-m)

T_H = ค่าคงที่เวลา (s)

6.1.3 แบบจำลองของเกียร์ทด (gear box model)

ความสัมพันธ์ทางพลศาสตร์ของแรงบิดที่ทั้งสองของของเกียร์ทด และความเร็วรอบเป็นไปดังสมการ

$$\frac{d\omega_M}{dt} = \frac{1}{T_T} (M_T - G_R M_M) \quad (6.5)$$

โดยที่

G_R = อัตราส่วนเกียร์ทด

T_T = ค่าคงที่เวลาของเกียร์ทด (s)

M_M = แรงบิดที่ผ่านเกียร์ทดแล้ว (N-m)

6.2 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (generator model)

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดทางไฟฟ้ากับแรงบิดทางกลเป็นดังสมการ

$$M_E = J \left(\frac{2}{P} \right) \frac{d\omega_r}{dt} - M_M \quad (6.6)$$

โดยที่

M_E = แรงบิดทางไฟฟ้า (N-m)

P = จำนวนขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ω_r = ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (rad/s)

J = ค่าคงที่

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดทางไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเป็นดังสมการ

$$M_E = \left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{P}{2}\right)\left[\left(I_d^g - I_q^g\right)I_q^g I_d^g - \lambda_m I_q^g\right] \quad (6.7)$$

โดยที่

L_q^g = stator inductance in quadrature axis

L_d^g = stator inductance in direct axis

λ_m = amplitude ของ flux linkage

I_q^g = กระแสในแกน q

I_d^g = กระแสในแกน d

ความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้ากับความเร็วเชิงมุมทางกลมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\omega_r = \frac{P}{2} \omega_M \quad (6.8)$$

และแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$V_s = -\left(R^g + \frac{d}{dt}L\right)I_q^g + \lambda_m \omega_r \quad (6.9)$$

โดยที่

V_s = แรงดันไฟฟ้า (volt)

ω_M = ความเร็วเชิงมุมทางกล (rad/s)

R^g = ความต้านทานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Ω)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 วิธีการจำลองระบบ

6.3.1 การอ่านค่าความเร็วลมจากแฟ้มข้อมูล เนื่องจากในเบื้องต้นนั้น ได้บันทึกข้อมูลความเร็วลมไว้ในแฟ้ม ในรูปแบบของคู่อันดับของเวลากับความเร็วลม เวลาที่ได้มีการเก็บข้อมูลความเร็วลมมานั้นจะมีช่วงเวลาไม่เท่ากัน ซึ่งการจำลองระบบนั้นจะทำในช่วงเวลาที่มีระยะห่างเท่ากัน ดังนั้นจึงต้องประมาณค่าความเร็วลมในเวลาทำการจำลองระบบ โดยการประมาณค่าความเร็วลมระหว่างสองจุดใด ๆ ที่ได้เป็นทีกไว้ให้นั้นให้เป็นสมการเส้นตรง แล้วจึงแทนค่าเวลาใด ๆ เพื่อหาค่าความเร็วลมเพื่อใช้ในการหาค่าอื่น ๆ ต่อไป

6.3.2 แทนสมการต่าง ๆ ด้วยสมการเชิงเลข เพื่อที่จะทำการคำนวณค่าต่าง ๆ ออกมานั้น ต้องเปลี่ยนสมการที่มีอยู่นั้นให้เป็นสมการเชิงเลข ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ที่เวลาใด ๆ ออกมาได้โดยมีวิธีการดังนี้

6.3.2.1 แบบจำลองของใบพัด

จากสมการ(6.4) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$M_{T_2} = \left(s \frac{M_w}{T_H} M_w + M_{T_1} \right) / \left(1 + \frac{s}{T_H} \right) \tag{6.10}$$

โดยที่

M_{T_1} = แรงบิดที่เพลาใบพัดที่เวลา t_1 (N-m)

M_{T_2} = แรงบิดที่เพลาใบพัดที่เวลา t_2 (N-m)

s = ช่วงเวลาในการคำนวณ (s)

6.3.2.2 แบบจำลองของเกียร์ทด

จากสมการ(6.5) จะได้ว่า

$$M_M = \left(\frac{M_T}{G_r} - (\omega_{M2} - \omega_{M1}) \frac{T_T}{s} \right) \tag{6.11}$$

โดยที่

ω_{M1} = ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ที่เวลา t_1 (rad/s)

ω_{M2} = ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ที่เวลา t_2 (rad/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2.2 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า

จากสมการ(6.6) จะได้ว่า

$$M_E = J \frac{(\omega_{M2} - \omega_{M1})}{s} - M_M \quad (6.11)$$

และจากสมการ(6.9) จะได้ว่า

$$V_s = R^s I_{q2} + L \frac{(I_{q2} - I_{q1})}{s} + \lambda_m \omega_r \quad (6.12)$$

โดยที่

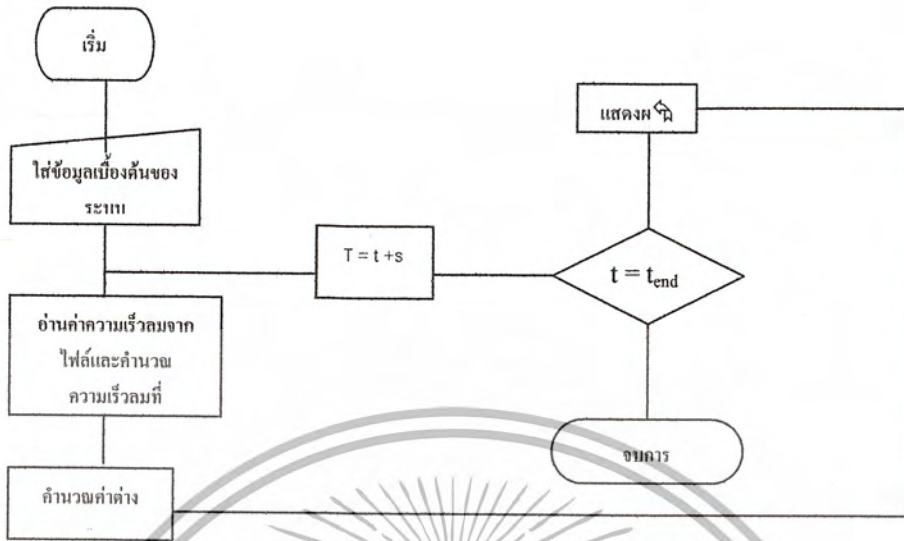
I_{q1} = กระแสไฟฟ้าที่เวลา t_1 (A)

I_{q2} = กระแสไฟฟ้าที่เวลา t_2 (A)

6.4 ขั้นตอนในการจำลองระบบ

- 3.3.1 ใส่ข้อมูลเบื้องต้นของระบบ เวลาสิ้นสุด
- 3.3.2 ให้ค่าเวลาเริ่มต้น $t = 0$
- 3.3.3 อ่านค่าความเร็วลมจากไฟล์ และคำนวณค่าความเร็วลมที่เวลาใด ๆ ออกมา
- 3.3.4 คำนวณค่าต่าง ๆ ออกมาตามลำดับ
- 3.3.5 ตรวจสอบเวลาว่าถึงเวลาสิ้นสุดหรือยัง ถ้าไม่ทำซ้ำต่อไปจนจบ
- 3.3.6 แสดงผล
- 3.3.7 จบการจำลองระบบ

สามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงานของโปรแกรมโดยย่อได้ดังนี้



รูปที่ 6-1 แผนผังการทำงานของกรจำลองระบบ

6.5 ผลการจำลองระบบ

โดยใช้ค่าเริ่มต้นของระบบดังนี้

$$\text{อัตราส่วนเกียร์ทด} = 3$$

$$\text{ความหนาแน่นอากาศ} = 1.4 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{จำนวนขั้วของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า} = 6$$

$$J = 0.2$$

$$R = 0.34$$

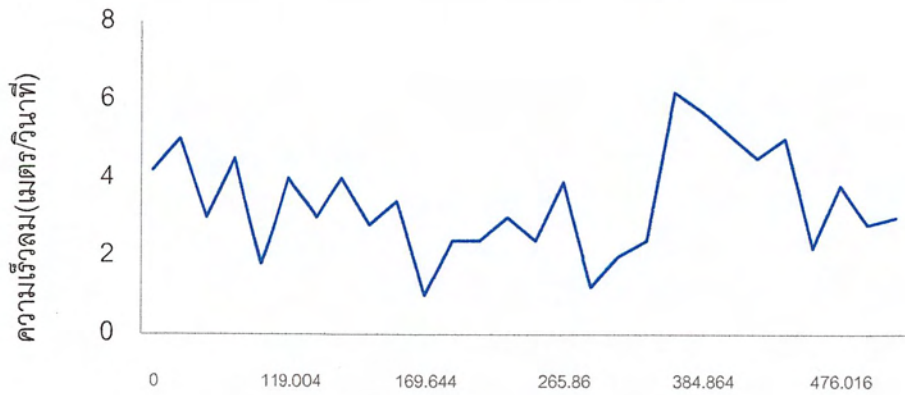
$$L = 0.65$$

$$\lambda_m = 1.02$$

$$T_H = 1$$

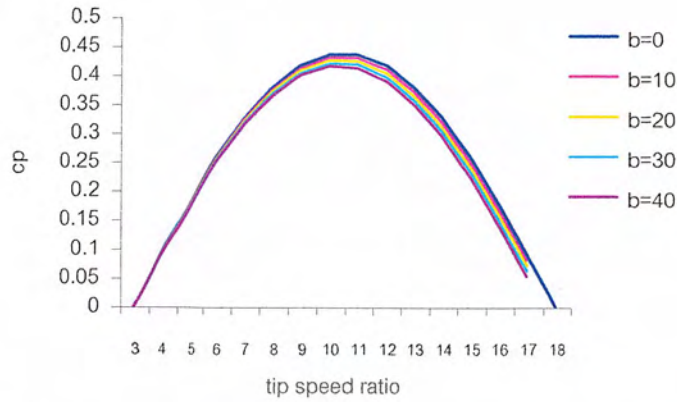
$$T_T = 1$$

ซึ่งจะให้ผลการจำลองระบบดังนี้



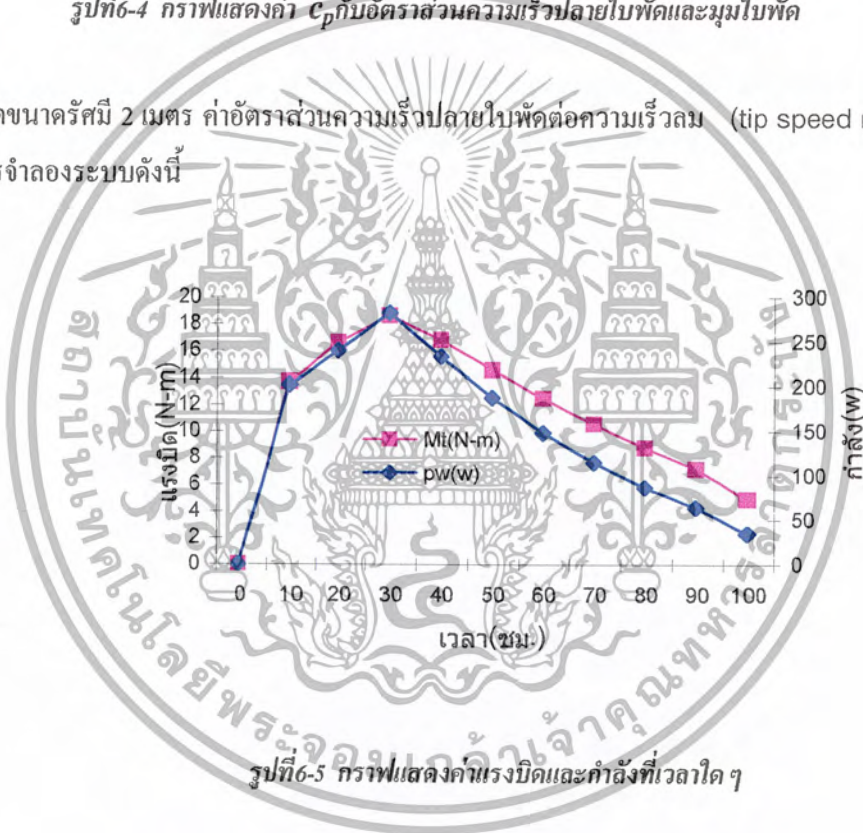
รูปที่ 6-3 กราฟแสดงความเร็วลมในช่วง 0 ถึง 100 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

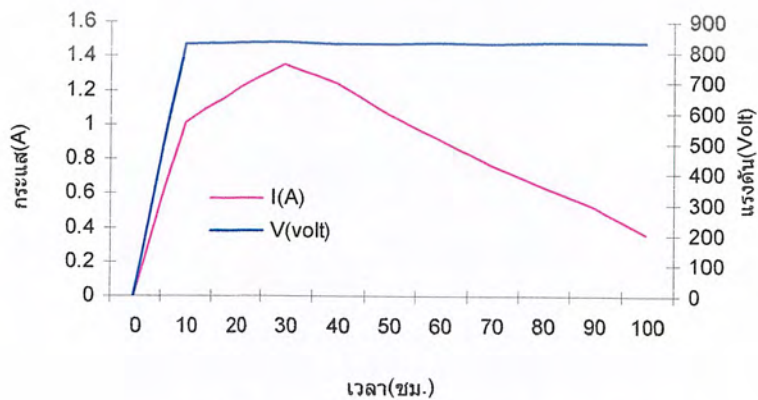


รูปที่ 6-4 กราฟแสดงค่า C_p กับอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดและมุมใบพัด

เมื่อใช้ใบพัดขนาดรัศมี 2 เมตร ค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดต่อความเร็วลม (tip speed ratio) เท่ากับ 6 จะได้ผลการจำลองระบบดังนี้

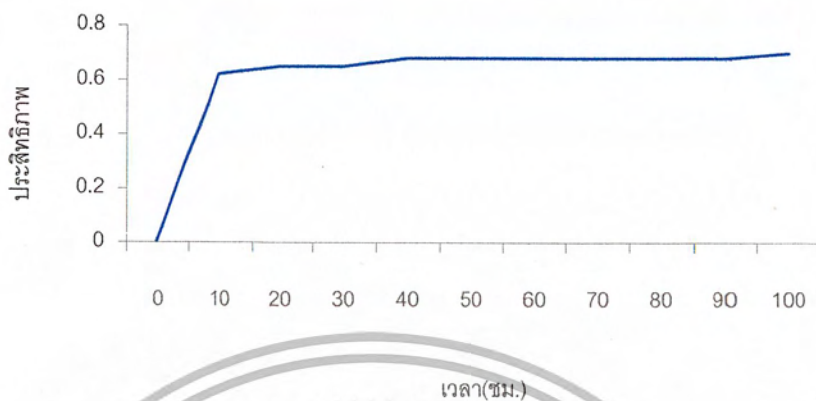


รูปที่ 6-5 กราฟแสดงค่าแรงบิดและกำลังที่เวลาใดๆ



รูปที่ 6-5 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-6 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพรวมของระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

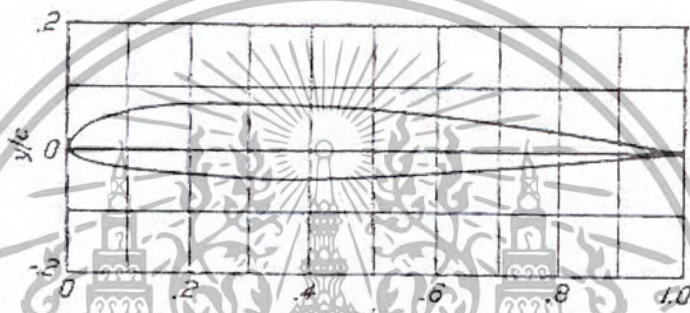
บทที่ 7

อุปกรณ์ และ ผลการทดลอง

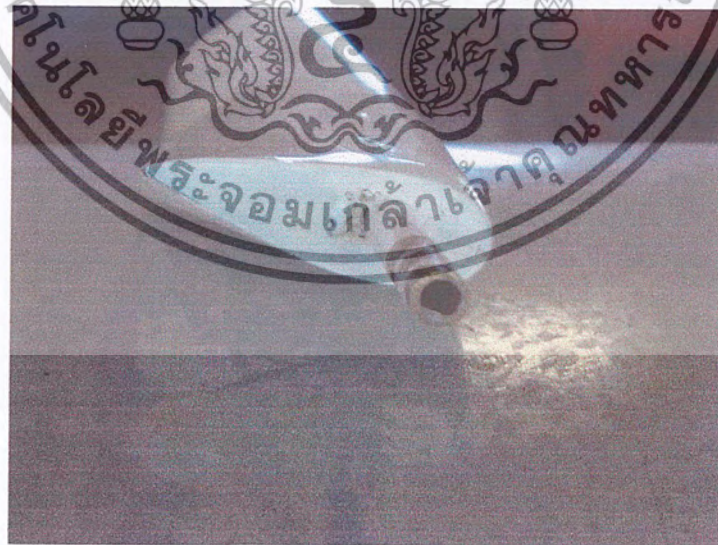
7.1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

7.1.1 ใบพัด air foil ชนิด 3 ใบ

เป็นชนิด air foil เบอร์ NACA 4412



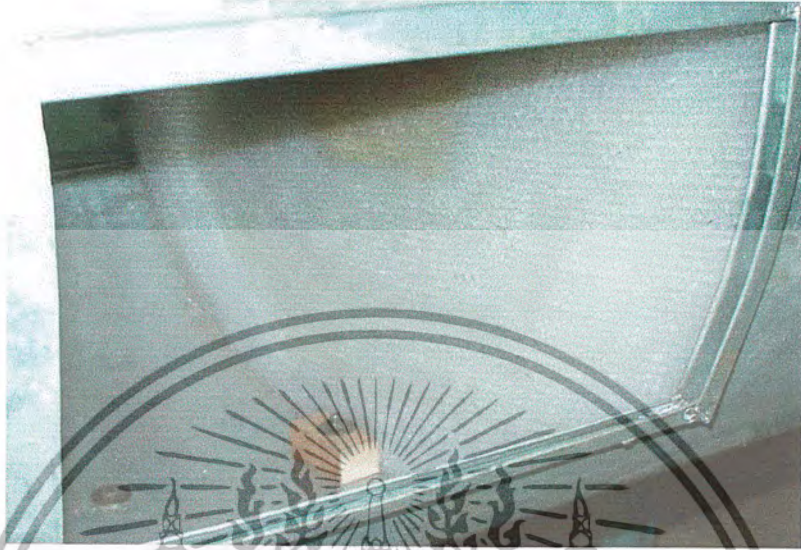
รูปที่ 7-1 แสดงลักษณะใบพัด



รูปที่ 7-2 ใบพัดที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.2 อุโมงค์ลมและหลอดรังผึ้ง



รูปที่ 7-3. อุโมงค์ลมและหลอดรังผึ้ง

อุโมงค์ลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองให้อยู่ในสภาวะที่ไม่ให้ลมภายนอกเข้ามาผสมขณะที่ทำการทดลอง โดยลมจะวิ่งไปตามท่อ ผ่านหลอดรังผึ้งซึ่งจะเป็นตัวทำให้การไหลราบเรียบซึ่งเป็นการจำลองให้เหมือนลมจริงในบรรยากาศ

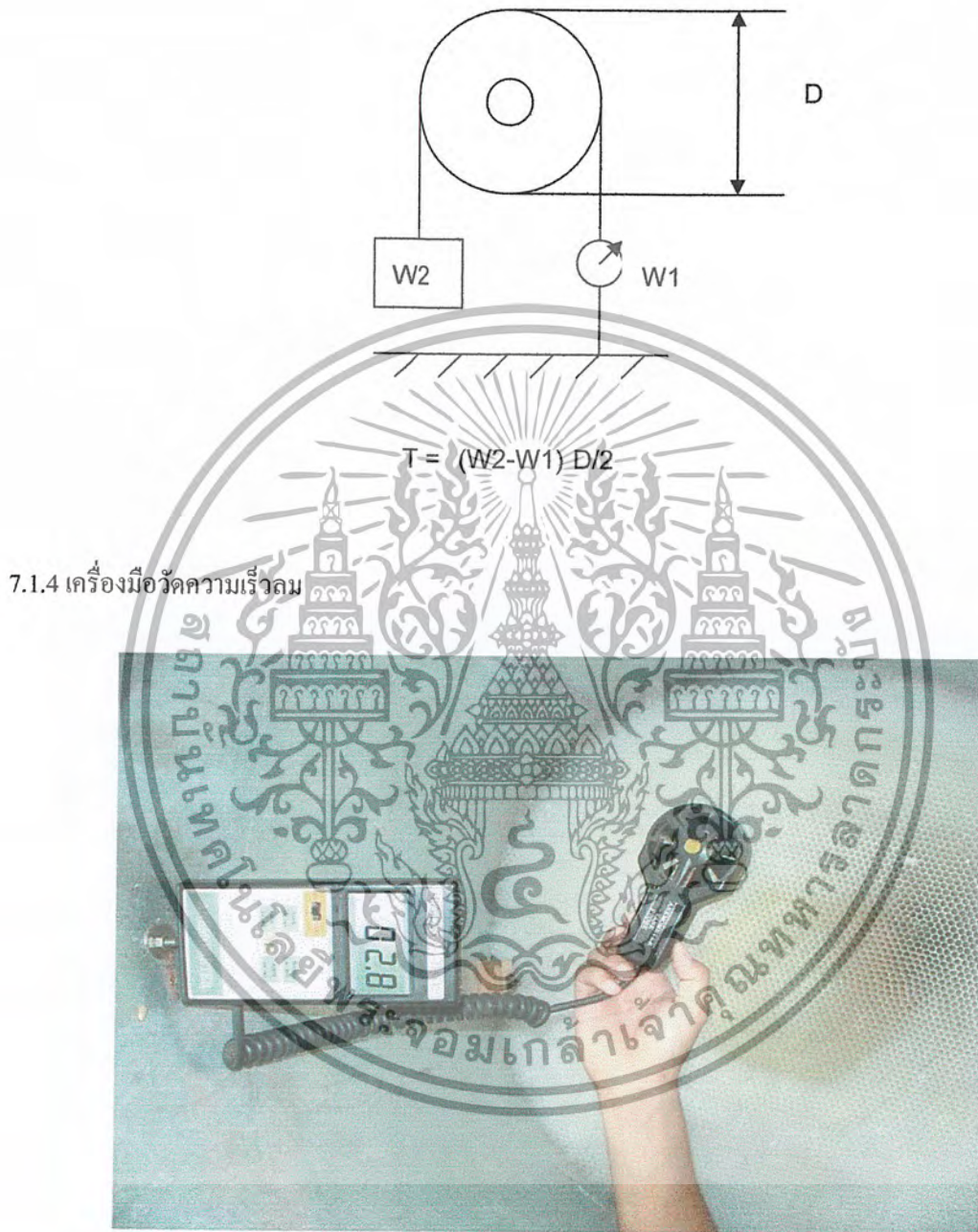
7.1.3 ชุดเครื่องมือวัดแรงบิดที่เพลา



รูปที่ 7-4. แสดงวิธีในการวัดแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

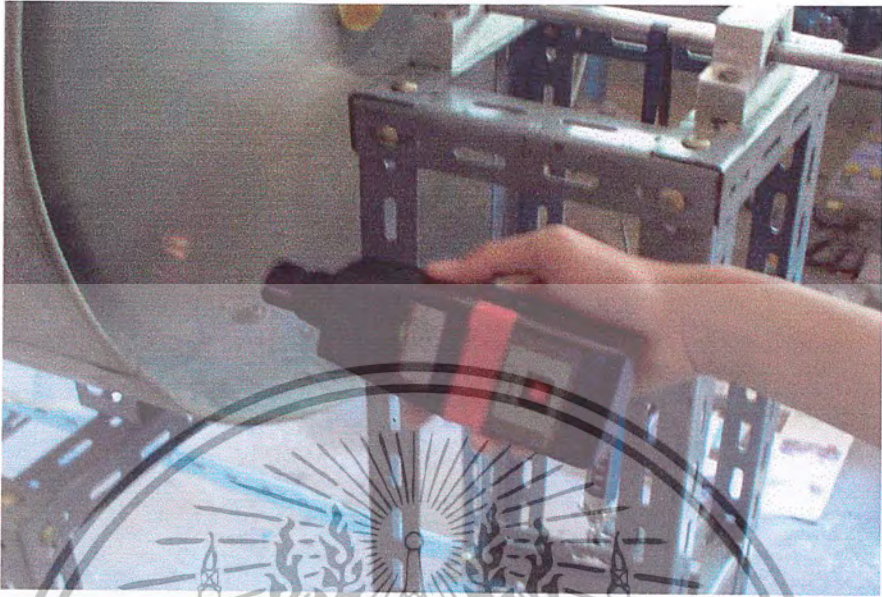
หลักการในการวัดแรงบิดใช้การวัดแบบ ไดนาโมมิเตอร์แบบเชือกรัด



รูปที่ 7-5. แสดงวิธีการในการวัดความเร็วลมบริเวณก่อนลมกระทบใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.5 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ



รูปที่ 7-6. แสดงวิธีการวัดความเร็วรอบ

7.1.6 แหล่งกำเนิดลม



รูปที่ 7-7. พัดลมที่ใช้ในการผลิตกระแสลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ พัดลมที่ใช้ในรูป 7-7 สามารถปรับความเร็วลมได้ 3 ระดับ

1. 3 m/s
2. 3.5 m/s
3. 4 m/s

ความเร็วลมที่ได้ วัดโดยการเฉลี่ยบริเวณก่อนที่จะกระทบใบพัด



รูปที่ 7-8 พัดลมที่ใช้ในการผลิตลมที่ความเร็ว 4.5 m/s

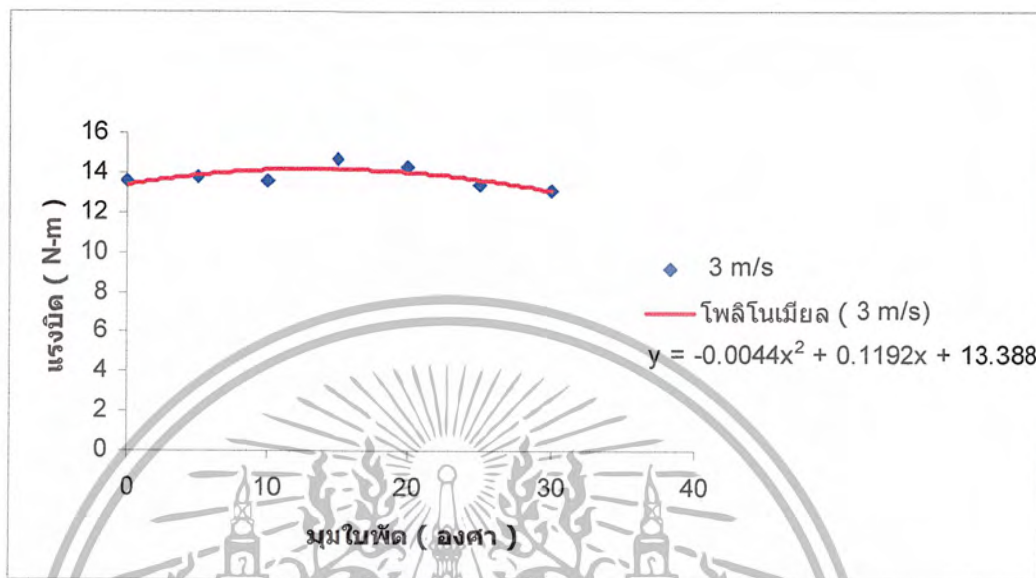
7.2.วิธีการทดลอง

1. เปิดพัดลมให้ทำการผลิตลมให้ไหลผ่านอุโมงค์ลม
2. ทำการปรับมุมใบพัดเริ่มต้นที่ 0 องศา
3. ทำการวัดความเร็วรอบขณะที่ไม่มีไหล
4. ใส่ไหลด์ทำการวัดทอร์ค และความเร็วรอบขณะมีไหลด์
5. เอาไหลด์ออก
6. ทำการปรับมุมใบพัดเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศา
7. ทำซ้ำในขั้นตอน 3-6 จนถึงมุม 30 องศา
8. ทำการเปลี่ยนระดับความเร็วลม
9. ทำซ้ำในขั้นตอน 1-8 จนครบความเร็วลมที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

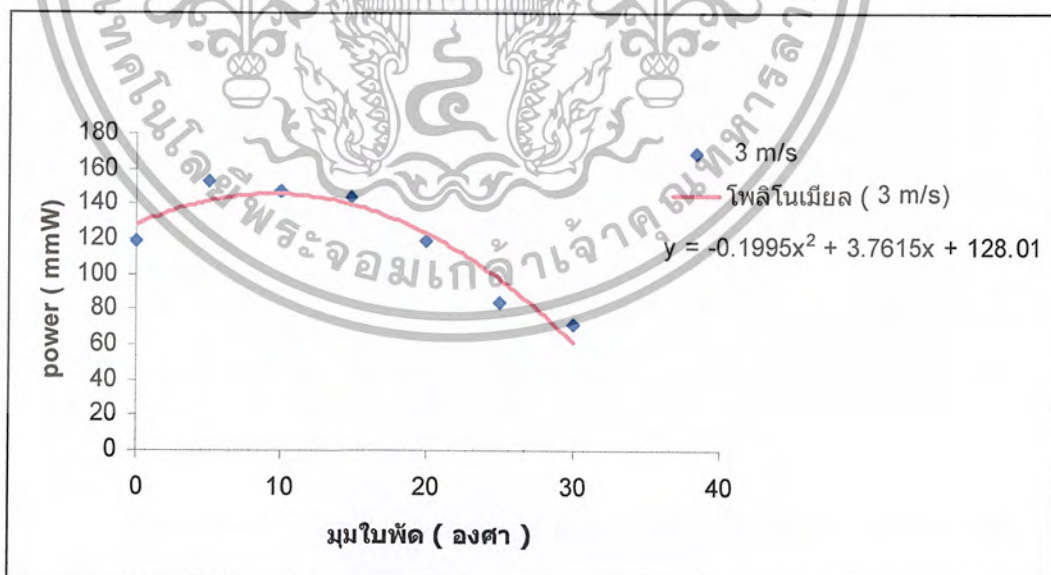
7.3.ผลการทดลอง

7.3.1 ผลการทดลองปรับมุมใบพัด 0-30 องศา ที่ความเร็วลม 3 m/s



รูปที่ 7-9 กราฟแรงบิดที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชัน

$$Y = -0.0044x^2 + 0.1192x + 13.388$$

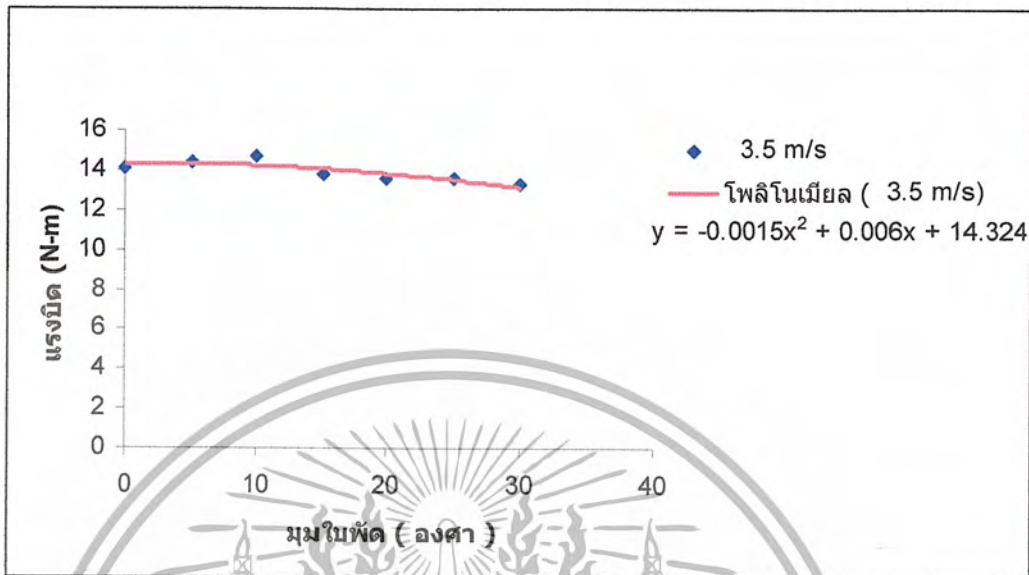


รูปที่ 7-10 กราฟกำลังที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชัน

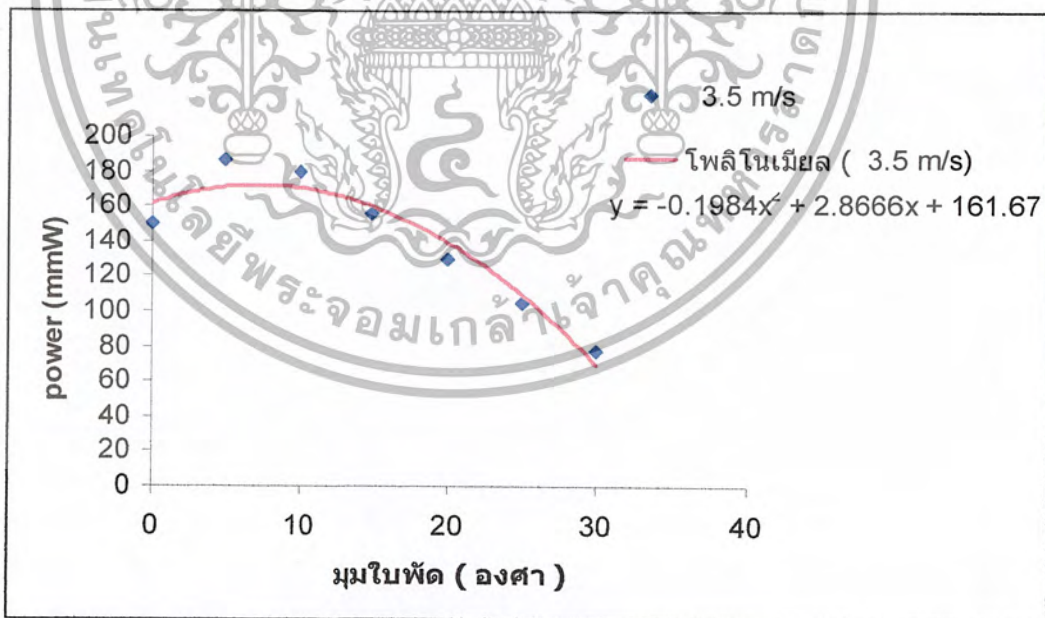
$$Y = 128.01 + 3.7615x - 0.1995x^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.2 ผลการทดลองปรับมุมใบพัด 0-30 องศา ที่ความเร็วลม 3.5 m/s



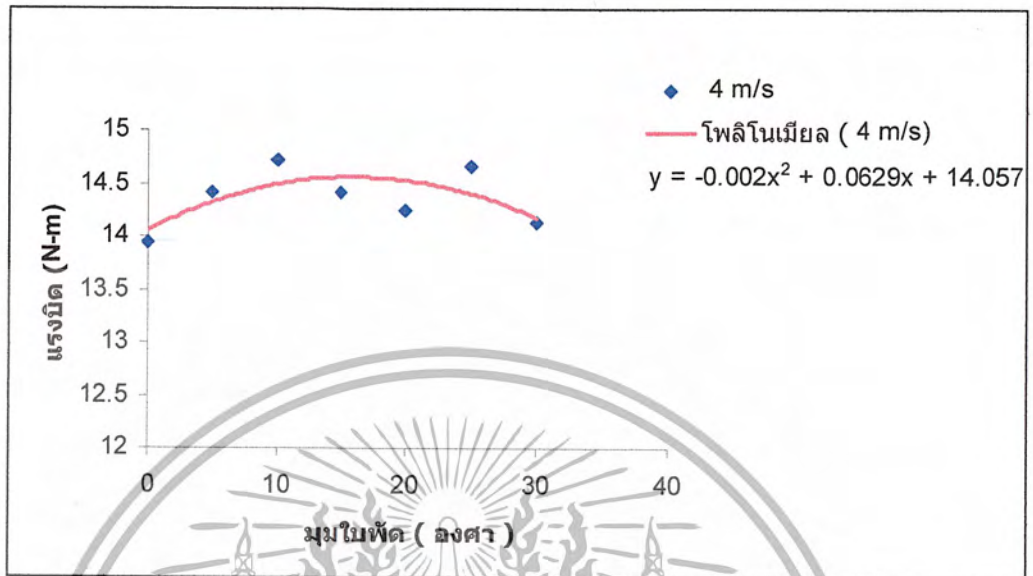
รูปที่ 7-11 กราฟแรงบิดที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชัน
 $y = 14.324 + 0.0067x - 0.0015x^2$



รูปที่ 7-12 กราฟกำลังที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชัน
 $y = 161.67 + 2.8666x - 0.1984x^2$

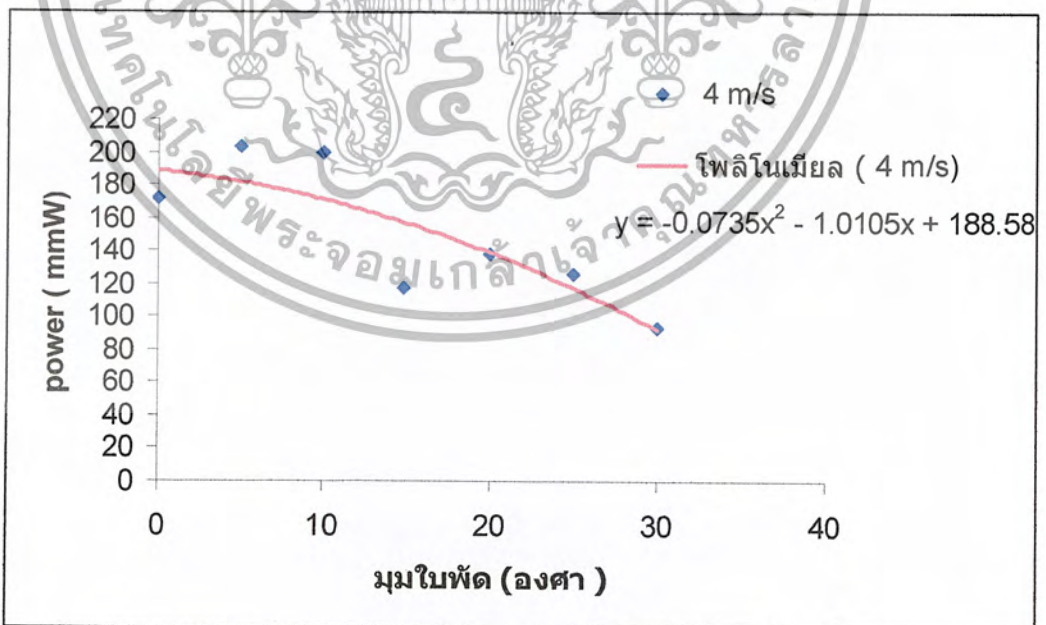
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3 ผลการทดลองปรับมุมใบพัด 0-30 องศา ที่ความเร็วลม 4.0 m/s



รูปที่ 7-13 กราฟแรงบิดที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชัน

$$y = 14.057 + 0.06292x - 0.002x^2$$

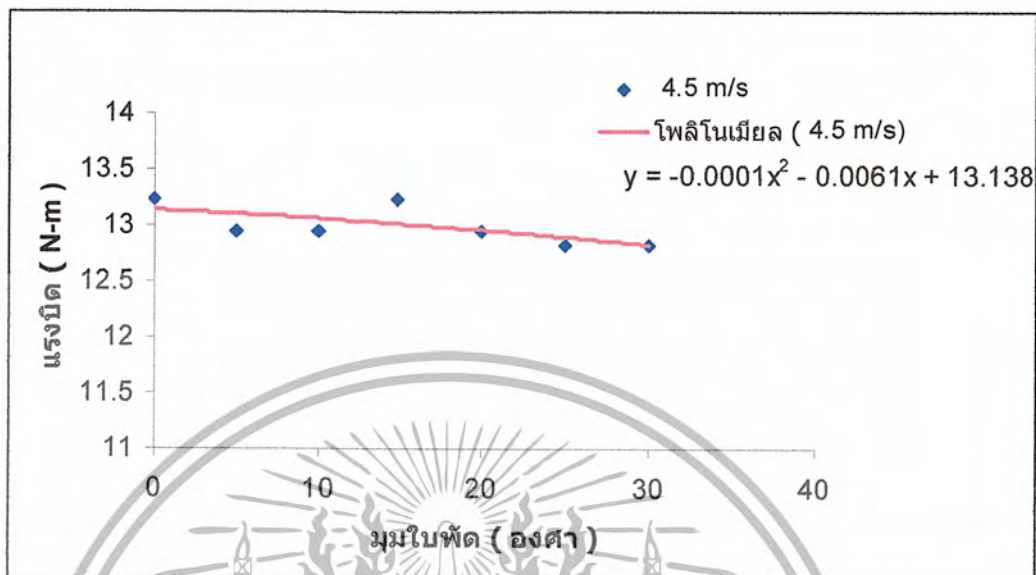


รูปที่ 7-14 กราฟกำลังที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชัน

$$y = 188.58 - 1.0105x - 0.0735x^2$$

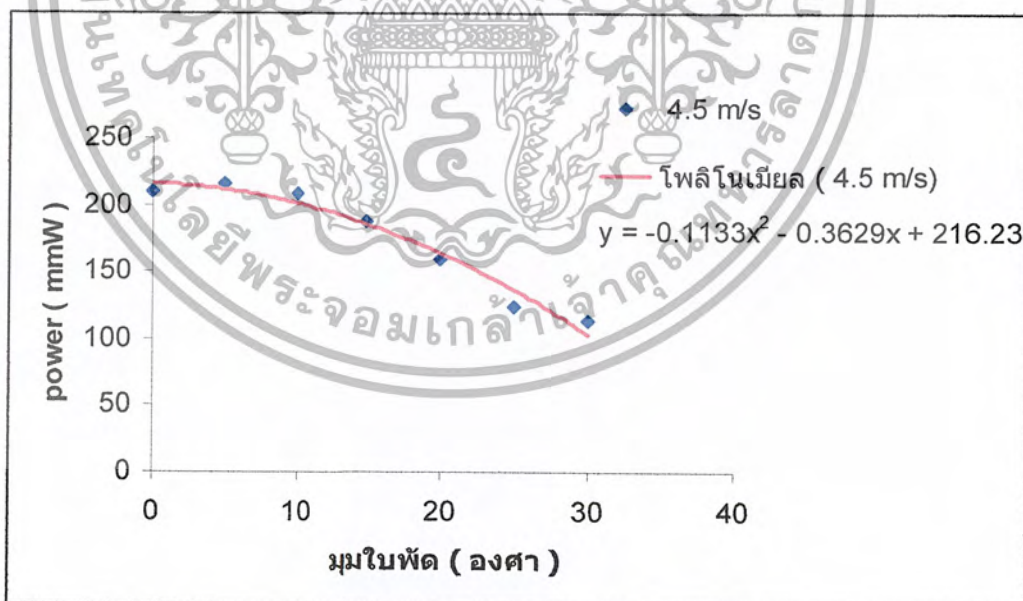
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.4.ผลการทดลองปรับมุมใบพัด 0-30 องศา ที่ความเร็วลม 4.5 m/s



รูปที่ 7-15 กราฟแรงบิดที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชัน

$$Y = -0.0001x^2 - 0.0061x + 13.138$$

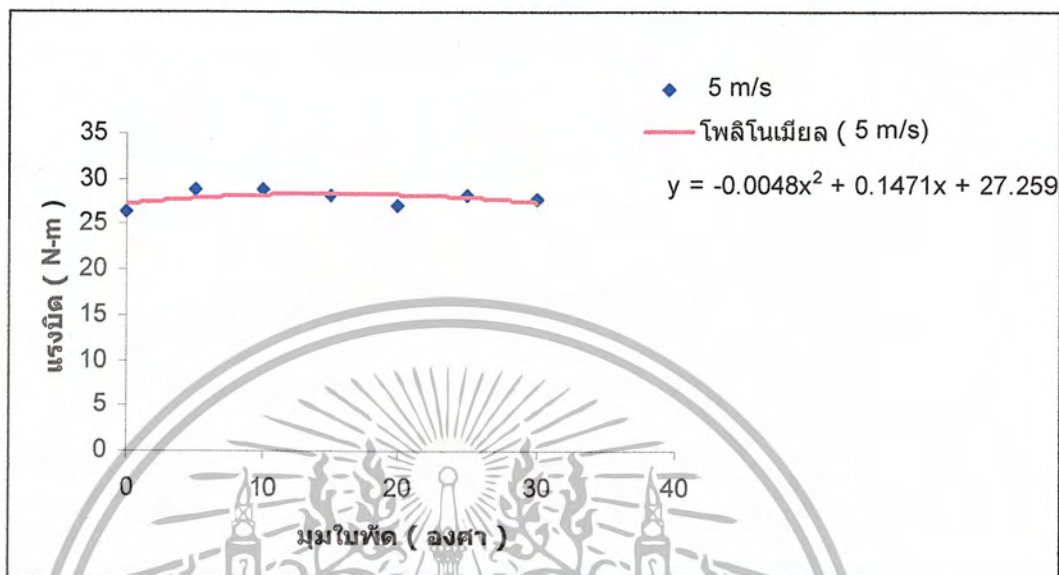


รูปที่ 7-16 กราฟกำลังที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชัน

$$Y = -0.1133x^2 - 0.3629x + 216.23$$

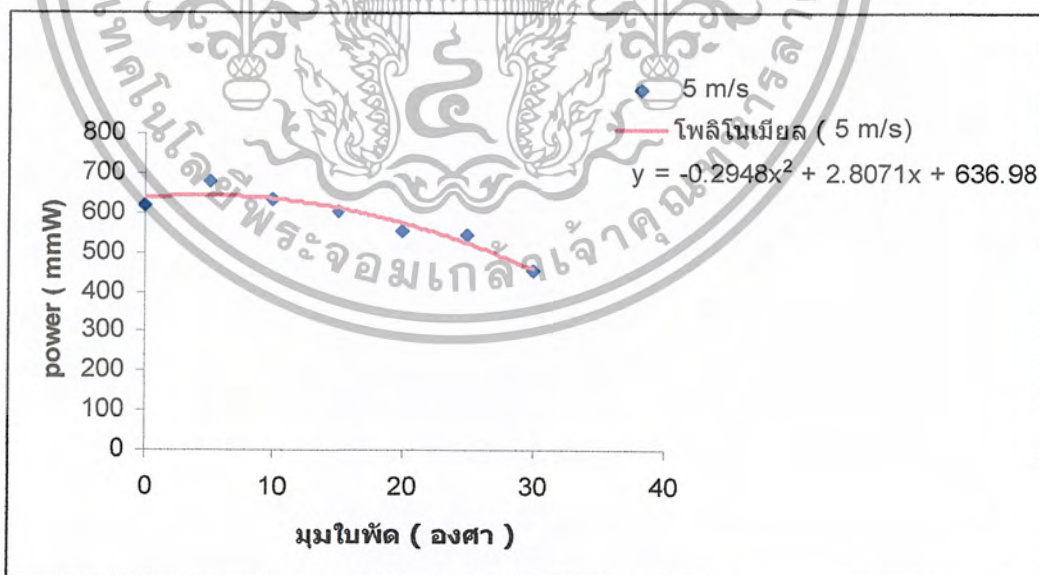
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.5 ผลการทดลองปรับมุมใบพัด 0-30 องศา ที่ความเร็วลม 5.0 m/s



รูปที่ 7-17 กราฟแรงบิดที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชัน

$$Y = -0.0048x^2 + 0.1471x + 27.259$$



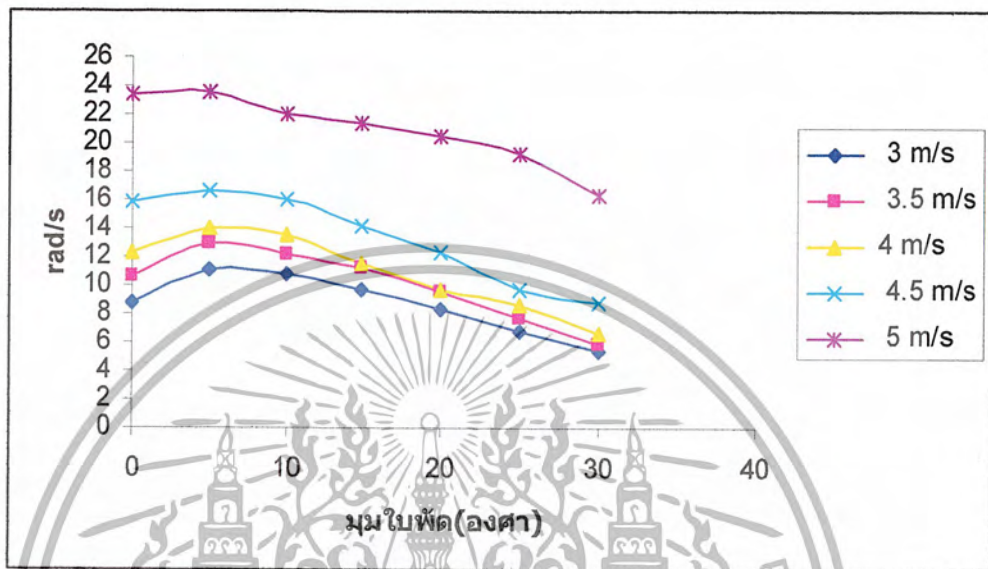
รูปที่ 7-18 กราฟกำลังที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ประมาณเป็นฟังก์ชัน

$$Y = -0.2948x^2 + 2.807x + 636.98$$

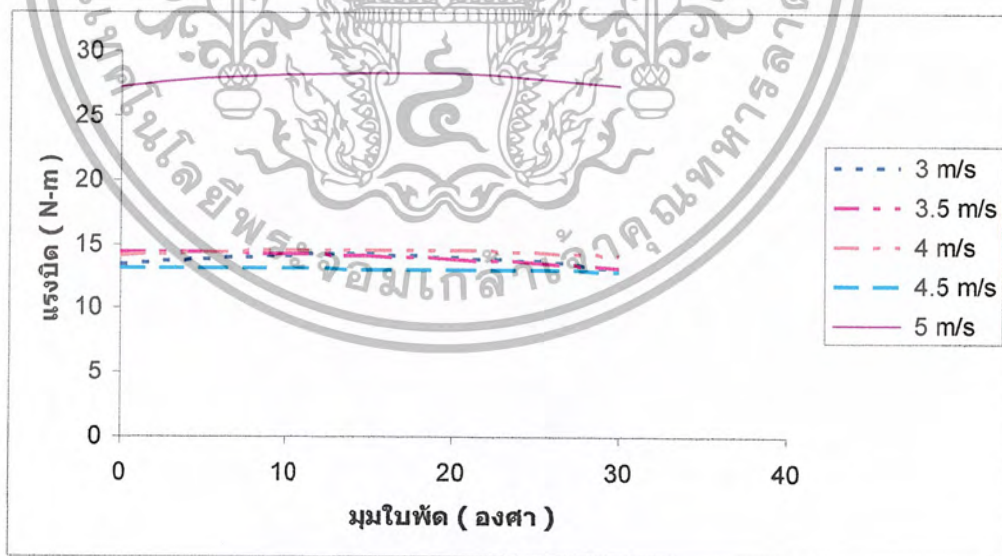
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ความเร็วลมที่ 5 m/s ทำโดยปรับพัดลมที่ความเร็วต่ำสุดแล้วเอาหลอดครึ่งฝั่งออก

7.3.6 ผลการทดลอง ค่าความเร็วรอบ แรงบิด กำลังทุกความเร็วลม

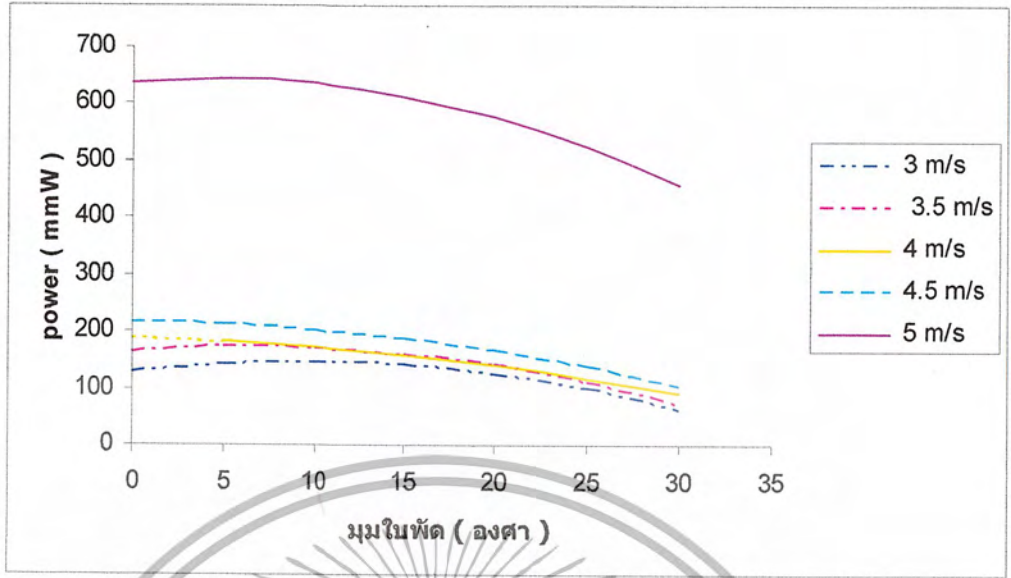


รูปที่ 7-19 กราฟความเร็วรอบ



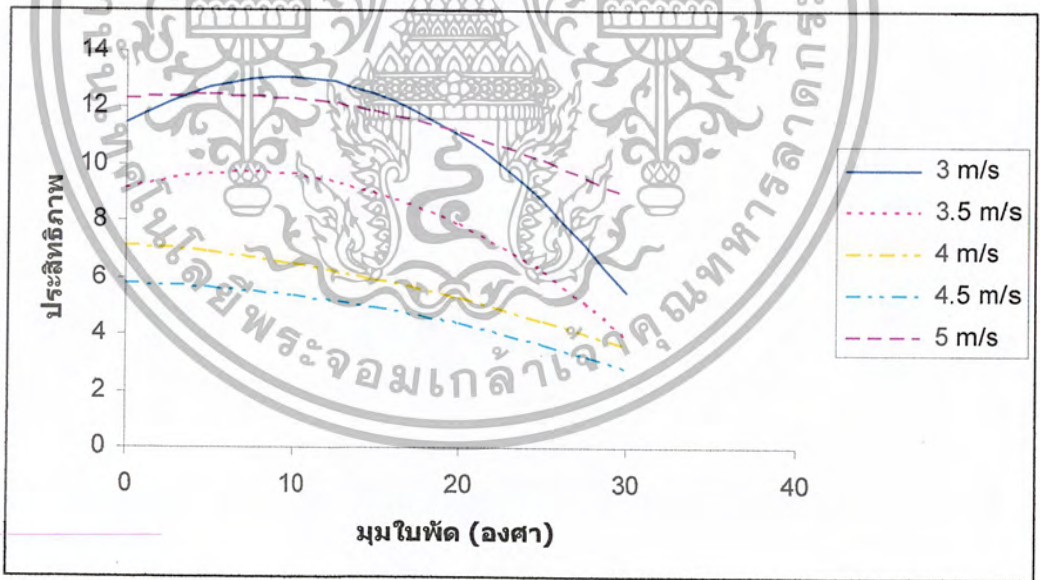
รูปที่ 7-20 กราฟแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-21 กราฟกำลัง

7.3.7. ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของกังหันลมที่มุมใบพัดต่าง ๆ ความเร็วลมใดๆ



รูปที่ 7-22 กราฟประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองจะได้กราฟต่างๆตามรูป โดยในรูปที่ 7-9, รูปที่ 7-11, รูปที่ 7-13, รูปที่ 7-15 และรูปที่ 7-17 เป็นกราฟที่แสดงค่าแรงบิด (N-m) ที่ความเร็วลม 3 m/s, 3.5 m/s, 4 m/s, 4.5 m/s และ 5 m/s ตามลำดับ ลักษณะของกราฟที่ได้ประมาณเป็นสมการโพลีโนเมียล ดีกรี 2 ลักษณะของสมการแรงบิดที่ความเร็วลมต่างๆเป็นดังนี้

รูปที่ 7-9 เป็นกราฟแรงบิดที่ความเร็วลม 3 m/s จะได้สมการอยู่ในรูป $y = -0.0044x^2 + 0.1192x + 13.388$

รูปที่ 7-11 เป็นกราฟแรงบิดที่ความเร็วลม 3.5 m/s จะได้สมการอยู่ในรูป $y = -0.0015x^2 + 0.006x + 14.324$

รูปที่ 7-13 เป็นกราฟแรงบิดที่ความเร็วลม 4 m/s จะได้สมการอยู่ในรูป $y = -0.002x^2 + 0.0629x + 14.057$

รูปที่ 7-15 เป็นกราฟแรงบิดที่ความเร็วลม 4.5 m/s จะได้สมการอยู่ในรูป $y = -0.0001x^2 + 0.0061x + 13.138$

รูปที่ 7-17 เป็นกราฟแรงบิดที่ความเร็วลม 5 m/s จะได้สมการอยู่ในรูป $y = -0.0048x^2 + 0.1471x + 27.259$

กราฟแรงบิดที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับกราฟความเร็วรอบในรูป 7-19 โดยมีความสัมพันธ์ที่มุมต่าง ดังนี้ ถ้าความเร็วรอบสูง แรงบิดที่ได้ก็จะน้อย และที่ความเร็วรอบต่ำ แรงบิดก็จะสูงขึ้นอยู่กับการทดลองว่า โหลดที่ใช้ในแต่ละความเร็วลมที่มุมต่างๆมากหรือน้อย โดยผลคูณระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบที่มุมใดๆก็ได้ค่ากำลังที่มุมนั้น กราฟแรงบิดที่ได้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามุมใบพัดมุมใดดีที่สุด เพราะแต่ละมุมมีความเร็วรอบที่ไม่คงที่ ถ้าความเร็วรอบคงที่ในทุกมุมใบพัดจะสามารถสรุปได้ สาเหตุที่ไม่สามารถทดลองที่ความเร็วรอบคงที่ได้เพราะการที่จะควบคุมความเร็วรอบให้คงที่ในแต่ละมุมใบพัดจะทำให้ยากและจะเสียเวลาในการทดลองมากเพราะฉะนั้นความเร็วรอบที่ทำการวัดได้ในแต่ละมุมจึงมีค่าไม่คงที่ ซึ่งกราฟที่แสดงค่าความเร็วรอบที่เปลี่ยนไปตามมุมใบพัดในทุกความเร็วลมอยู่ในรูปที่ 7-19 จากกราฟความเร็วรอบในรูปที่ 7-19 จะเห็นว่าความเร็วลมมากขึ้นความเร็วรอบก็จะสูงขึ้นด้วย

กราฟในรูปที่ 7-20 เป็นการเปรียบเทียบค่าแรงบิดในทุกๆความเร็วลมที่ทดลอง จากกราฟจะเห็นว่าในความเร็ว 3 m/s, 3.5 m/s, 4 m/s และ 4.5 m/s จะมีค่าแรงบิดที่เกาะกลุ่มกันใกล้เคียงกันแต่ในความเร็วลมที่ 5 m/s ทำการทดลองโดยเอาหลอดครึ่งฟุ้งออกลมที่ปะทะใบพัดจึงไม่ราบเรียบจึงมีผลทำให้ค่าที่ได้มีค่ามากกว่าความเร็วลมอื่นมาก แต่ลักษณะแนวโน้มของกราฟแรงบิดทั้ง 3 m/s, 3.5 m/s, 4 m/s, 4.5 m/s, 5 m/s, มีลักษณะของกราฟคล้ายกัน

กราฟในรูปที่ 7-10, รูปที่ 7-12, รูปที่ 7-14, รูปที่ 7-16 และ รูปที่ 7-18 เป็นกราฟที่แสดงค่ากำลังที่กักหน้ลมผลิตได้ โดยหาจากการคำนวณผลการทดลอง โดยที่กำลังเท่ากับ ผลคูณของแรงบิดกับความเร็วรอบที่ความเร็วลม 3 m/s, 3.5 m/s, 4 m/s, 4.5 m/s และ 5 m/s ตามลำดับ ลักษณะของกราฟที่ได้ประมาณเป็นสมการโพลีโนเมียล ดีกรี 2 ลักษณะของสมการกำลังที่ความเร็วลมต่างๆเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7-10 เป็นกราฟกำลังที่ความเร็วลม 3 m/s จะได้สมการอยู่ในรูป $y = -0.1995x^2 + 3.7615x + 128.01$ จากกราฟ เมื่อทำการปรับมุมใบพัดในช่วง 0-10 องศา กำลังที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมที่ปรับโดยที่มุมใบพัดที่ 10 องศา จะให้กำลังได้มากที่สุดหลังจากนั้นเมื่อปรับมุมใบพัดมากขึ้นค่ากำลังที่ได้จะมีค่าลดลง

รูปที่ 7-12 เป็นกราฟกำลังที่ความเร็วลม 3.5 m/s จะได้สมการอยู่ในรูป $y = -0.1984x^2 + 2.8666x + 161.67$ จากกราฟ เมื่อทำการปรับมุมใบพัดในช่วง 0-10 องศา กำลังที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมที่ปรับโดยที่มุมใบพัดที่ 10 องศา จะให้กำลังได้มากที่สุดหลังจากนั้นเมื่อปรับมุมใบพัดมากขึ้นค่ากำลังที่ได้จะมีค่าลดลง

รูปที่ 7-14 เป็นกราฟกำลังที่ความเร็วลม 4 m/s จะได้สมการอยู่ในรูป $y = -0.0735x^2 - 1.0105x + 188.58$ จากข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองที่ยังไม่แปลงเป็นสมการ พอลิโนเมียลที่มุมใบพัดที่ค่าต่างค่ากำลังที่ได้มีค่าขึ้นๆลงๆ ซึ่งอาจเกิดจากการผิดพลาดจากการทดลอง เนื่องจากเวลาในการทดลองวัดแรงบิด ไม่ได้ทำการเปลี่ยนผ้าที่ใช้วัดแรงบิดและเมื่อใช้ไปนานๆผ้าที่ใช้วัดจะลื่นทำให้ค่าแรงบิดที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าปกติ ทำให้ผลที่ได้ในความเร็วลม 4 m/s มีความคลาดเคลื่อน โดยมุมที่น่าจะผิดพลาดน่าจะเป็นมุม 15 องศาเพราะมีค่าต่ำซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับกราฟในรูปที่ 7-10 และ รูปที่ 7-12 ที่มุม 15 องศาจะมีค่ากำลังมากกว่ามุม 20 องศาและที่ความเร็วลมที่ 4 m/s ที่มุม 15 องศาก็น่าจะมากกว่ามุม 20 องศา ซึ่งถ้าเราดูจากผลการทดลองที่ยังไม่ประมาณเป็นสมการ พอลิโนเมียลมุมที่ 5 องศาจะให้กำลังมากที่สุด

รูปที่ 7-16 เป็นกราฟกำลังที่ความเร็วลม 4.5 m/s จะได้สมการอยู่ในรูป $y = -0.1133x^2 - 0.3629x + 216.23$ จากกราฟ เมื่อทำการปรับมุมใบพัดในช่วง 0-5 องศา กำลังที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมที่ปรับโดยที่มุมใบพัดที่ 5 องศาจะให้กำลังได้มากที่สุดหลังจากนั้นเมื่อปรับมุมใบพัดมากขึ้นค่ากำลังที่ได้จะมีค่าลดลง

รูปที่ 7-18 เป็นกราฟกำลังที่ความเร็วลม 5 m/s จะได้สมการอยู่ในรูป $y = -0.2948x^2 - 2.8071x + 636.98$ จากกราฟ เมื่อทำการปรับมุมใบพัดในช่วง 0-5 องศา กำลังที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมที่ปรับโดยที่มุมใบพัดที่ 5 องศาจะให้กำลังได้มากที่สุดหลังจากนั้นเมื่อปรับมุมใบพัดมากขึ้นค่ากำลังที่ได้จะมีค่าลดลงโดยที่ความเร็วลม 5 m/s นี้ทดลองโดยเอาหลอดครึ่งฝั่งออกทำให้กำลังที่ได้มากกว่าความเร็วอื่นมาก

รูปที่ 7-21 เป็นกราฟที่แสดงการเปรียบเทียบกำลังที่ได้ในความเร็วต่างๆ จากกราฟจะเห็นว่าที่ความเร็วลม 3 m/s, 3.5 m/s มุมที่ให้กำลังมากที่สุดคือมุมประมาณ 10 องศา แต่ที่ความเร็วลม 4 m/s, 4.5 m/s, 5 m/s มุมที่ให้กำลังมากที่สุดคือมุม 5 องศา

กราฟในรูปที่ 7-22 เป็นกราฟที่แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่มุมใบพัดต่างๆ ในทุกความเร็วลมที่ทดลองจากกราฟจะเห็นว่าที่ความเร็วลม 3 m/s จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดรองลงมาที่ 3.5 m/s, 4 m/s และ 4.5 m/s แต่ที่ความเร็วลม 5 m/s ประสิทธิภาพกลับสูงขึ้นเกิดจากการทดลองที่ความเร็วลม 5 m/s เอาหลอดครึ่งฝั่งออกทำให้ลมที่กระทบใบพัดไม่ราบเรียบจึงทำให้ผลที่ได้แตกต่างออกไปจากความเร็วลมค่าอื่นซึ่งในการทดลองจะมีหลอดครึ่งฝั่งทำให้ลมราบเรียบ

จากกราฟในรูปที่ 7-22 ที่ความเร็ว 3 m/s, 3.5 m/s ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดอยู่ที่มุมประมาณ 10

องศา แต่ที่ความเร็วลม 4 m/s, 4.5 m/s ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดอยู่ที่มุม 5 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ลมเป็นพลังงานทดแทนอีกแหล่งหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพราะฉะนั้น การศึกษาเกี่ยวกับพลังงานที่ได้จากลมอย่างเช่นระบบกังหันลมจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างมาก ในการจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมนั้นการจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักดังนี้

1. การจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะสามารถทดลองได้ใน สภาวะที่จำกัด ได้ซึ่งในการทำจริงๆอาจจะมีข้อจำกัด เช่น การปรับมุมใบพัดในชุดทดลองไม่ สามารถปรับมุมที่ละ 1 องศาหรือละเอียดมากกว่านี้ได้เพราะมีความจำกัดอยู่ หรือการปรับความเร็ว ลม การปรับรัศมีใบพัด การปรับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ค่า tip speed ratio ซึ่งโปรแกรม คอมพิวเตอร์สามารถปรับค่าได้มากกว่าและสามารถที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมได้ง่ายกว่า อีกทั้ง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ยังสามารถใช้เวลาในการทดสอบค่าต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วกว่าการทดลองจาก ชุดทดลองซึ่งจะต้องเสียเวลามากกว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาเพื่อจำลอง ระบบผลิตกระแสไฟฟ้านี้ยังสามารถคำนวณความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาได้หรือในช่วงที่ เป็น Tran change เพราะในสภาวะความเป็นจริงลมจะมีความเร็วที่ไม่คงที่ตลอดเวลาจะมีการ เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเพราะฉะนั้น ในส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถที่จะจำลองระบบ ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมในจุดที่ชุดทดลองไม่สามารถทำได้

2. การจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมจากชุดทดลอง

การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ยังมีราคาเคลื่อนไปจากสภาวะความเป็นจริงเพราะ โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นในส่วนของทฤษฎีแต่ในสภาวะความเป็นจริงจะมีการสูญเสียพลังงาน หลายอย่างยกตัวอย่างเช่น ค่าความฝืด แรงเสียดทานที่เบรลิ่ง โมเมนต์ความเฉื่อย ซึ่งมีผลทำให้ พลังงานที่ผลิตได้ลดลง เพราะฉะนั้นการจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมจากชุดทดลอง นี้ทำให้เรารู้ถึงสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นอย่างเช่น ความเร็วรอบ แรงบิด และกำลังที่ผลิตได้มีผล เป็นอย่างไรขึ้นอยู่กับตัวแปรอะไรบ้างเมื่อทำการปรับมุมใบพัด เปลี่ยนความเร็วลม

โดยภาพรวมแล้วในการจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมโดยการเขียน โปรแกรม จำลองระบบและการทำชุดทดลองทำให้เราสามารถทราบถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในระบบการผลิต กระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมนั้น

1. มุมใบพัดมีผลต่อกำลังที่กังหันลมผลิตได้โดยที่ตัวแปรอื่นๆ คงที่เช่น กระแสลมคงที่แต่ทำการ

ปรับมุมใบพัดทั้งตัวโปรแกรมและชุดทดลองโดยใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะมีการกำหนดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tip speed ratio คงที่ ผลปรากฏว่ากำลังที่ผลิตได้ในแต่ละมุมใบพัดที่ความเร็วลมเดียวกันมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่จะมีแนวโน้มลดลงตามมุมที่ปรับเพิ่มขึ้น

2. ค่า Tip speed ratio มีผลต่อกำลังที่กังหันลมผลิตได้ โดยที่ค่า Tip speed ratio โดยทำการเปลี่ยนค่า Tip speed ratio ในการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีผลทำให้กำลังที่กังหันลมผลิตได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยที่ค่า Tip speed ratio ขึ้นอยู่กับชนิดของใบพัดที่ทำการออกแบบ เพราะฉะนั้นในการออกแบบต้องออกแบบที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยเลือกชนิดใบพัดที่มีความเหมาะสมในระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลม
3. ในการออกแบบระบบกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าตัวที่มีผลต่อกำลังที่ผลิตได้คือค่า C_p ซึ่งขึ้นกับมุมใบพัดและค่า Tip speed ratio ซึ่งเป็นตัวแปรต้น ถ้าทำการสร้างกังหันลมในการผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลาที่กระแสลมแรงก็สามารถที่จะปรับมุมใบพัดให้มาก ๆ ทำให้ใบพัดกินลมน้อย ๆ กังหันลมก็จะหมุนช้าลง แต่ถ้าในช่วงเวลาที่กระแสลมอ่อนก็สามารถปรับมุมใบพัดให้น้อยลงก็สามารถทำให้กังหันลมหมุนเร็วขึ้นทำให้ Generator ทำงานและสามารถที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ควรมีข้อมูลมากกว่านี้เพื่อการทดลองจะละเอียดมากขึ้นเช่นข้อมูลของค่า C_p ของชนิดใบพัดแต่ละแบบ
2. การสร้างชุดทดลองควรมีแหล่งผลิตกระแสลมให้ปรับความเร็วลมให้มากกว่านี้โดยที่ไม่ต้องใช้พัดลมหลายตัวเพราะว่าการยกพัดลมเข้าและออกมีผลต่อทิศทางมุมกระแสลมที่กระทบใบพัดมีการเปลี่ยนแปลงทำให้การทดลองนั้นอยู่ในสถานะที่ไม่เหมือนกันได้ในแต่ละครั้งที่ทำการเปลี่ยนพัดลมเพราะฉะนั้นควรติดตั้งตัว Blower ในการผลิตกระแสลมในการทดลอง
3. การวัดแรงบิดควรวัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์โดยการติดตั้ง Stagnate
4. โครงสร้างชุดทดลองควรทำให้แข็งแรงไม่สั่นเวลาลมพัดแรง ๆ ซึ่งจะเป็นตัวที่ทำให้ค่าที่วัดออกมาคลาดเคลื่อนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร.กมล ตรีกรบุตร, พลังงานลม
- [2] G.S. Stavrakakis, G.N. Kariniotakis, "A General Simulation Algorithm for Accurate Assessment of Isolated Diesel-Wind Turbine System Model" , IEEE Tran. On Energy Conversation, Vol.10 No.3, September 1995
- [3] W. Xueguang, D.Huizhu, C. Yunping "Application of Models of the Wind Energy Conversion System to Wind Power Dynamic Analysis" , IEEE Trans on Power System technology, Vol.2, 1998
- [4] Bogdan S.Borowy, Ziyad M. Salameh , " Dynamic Response of a Stand-Alone Wind Energy Conversion System with Battery Energy Storage to a wind Gust", IEEE Tran. On Energy Conversation, Vol.12 No.1, March 1997



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

```
program winsim3;
```

```
uses crt;
```

```
const ro = 1.4;re=0.34;le=0.65;
```

```
p=6; th=1; tau=1; gr=3;j=0.2;lm=1.02;wmin=90;wmax=100;
```

```
var wf,outfile:text;
```

```
n,z,s,i:integer;
```

```
a,b,r,cp,l,t,v,vo,
```

```
tm,tt,tto,tw,te,dt,rb,
```

```
dw,wr,dwr,iq,iqo,pw,pg,
```

```
vs,w,wo,wi,eff:real;
```

```
{-----}
```

```
procedure getv(var t,v:real;i:integer);
```

```
var a,b,c,d,m,tf,vf:real;
```

```
n,k:integer;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
```

```
    reset(wf);
```

```
    t:=i*s;
```

```
    n:=0;
```

```
    repeat
```

```
        readln(wf,tf,vf);
```

```
        n:=n+1;
```

```
    until tf > t;
```

```
    c:=tf;
```

```
    d:=vf;
```

```
    reset(wf);
```

```
    k:=0;
```

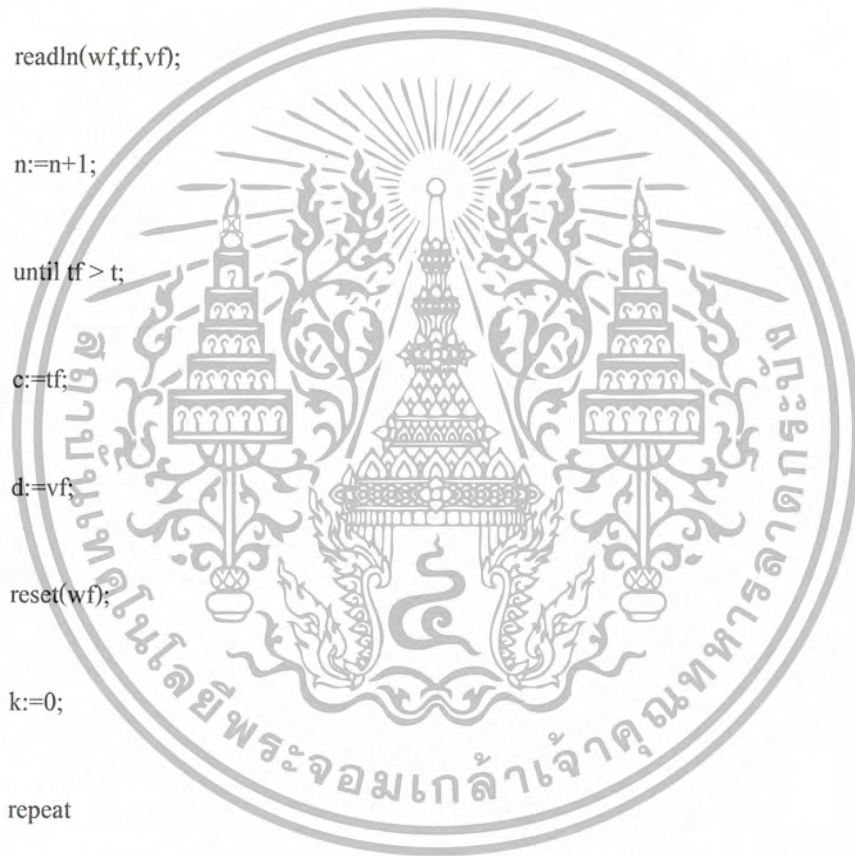
```
    repeat
```

```
        readln(wf,tf,vf);
```

```
        k:=k+1;
```

```
    until k=n-1;
```

```
    a:=tf;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
b:=vf;
```

```
m:=(d-b)/(c-a);
```

```
v:=m*(t-a)+b;
```

```
end;
```

```
{-----}
```

```
procedure getcp(var cp,b,l:real);
```

```
begin
```

```
cp:=(0.44-0.0167*b)*sin(3.14*(1-3)/(15-0.3*b))  
-0.00184*(1-3)*b;
```

```
end;
```

```
{-----}
```

```
procedure cont(var w:real;wmax,wmin:real);
```

```
begin
```

```
while w < wmin do
```

```
w:=w+1;
```

```
while w>wmax do
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
w:=w-1 ;  
  
end;  
  
{-----}
```

```
begin {main}
```

```
clrscr;
```

```
assign(wf,'vel2.txt');
```

```
assign(outfile,'result.txt');
```

```
rewrite(outfile);
```

```
writeln('THIS IS WIND TURBINE SIMULATION PROGRAM');
```

```
write('stop time : ');
```

```
readln(n);
```

```
write('step : ');
```

```
readln(s);
```

```
write('rotor radius : ');
```

```
readln(r);
```

```
write('blade angle : ');
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
readln(b);
```

```
b:=b*pi/180;
```

```
a:=3.14*r*r;
```

```
write('tip speed ratio : ');
```

```
readln(l);
```

```
getcp(cp,b,l);
```

```
writeln;
```

```
w:=0;tw:=0;tt:=0;tm:=0;te:=0;iq:=0;vs:=0;
```

```
wo:=0;tto:=0;iqo:=0;
```

```
z:= n div s;
```

```
for i:= 0 to z do
```

```
begin
```

```
getv(t,v,i);
```

```
wi:=l*v/r;
```

```
w:=l*v*gr/r;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cont(w,wmax,wmin);

wr:=p*w*gr/2;

tw:=0.5*ro*a*r*cp*v*v/l;

pw:=tw*wi;

tt:=((s*tw/th)+tto)/(1+s/th);

tm:=(tt/gr)-(w-wo)*(tau/s);

te:=j*(w-wo)/s-tm;

iq:=-4*te/(3*lm*p);

vs:=-re*iq+le*(iq-iqo)/s+lm*wr;

pg:=iq*vs;

eff:=pg/pw;



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if i=0 then
```

```
begin
```

```
tt:=0;tm:=0;te:=0;iq:=0;vs:=0;pw:=0;eff:=0;pg:=0;
```

```
writeln(' t   wi   w   tw   tt   iq   vs   pw');
```

```
writeln(outfile,' t   v   w   tw   iq   vs');
```

```
end;
```

```
writeln(t:7:2,wi:7:2,w:8:2,tw:8:4,tt:8:4,iq:10:2,vs:8:2,pw:8:2);
```

```
writeln(outfile,t:7:2,v:7:2,wi:8:2,tw:8:4,iq:8:2,vs:10:2);
```

```
tto:=tt;
```

```
wo:=w;
```

```
iqo:=iq;
```

```
end;
```

```
readln;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้