สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T042470

กังหันลมนาเกลือ

SALT-FARM WINDMILL

โดย

นายฐานันตร์ หวังมุทิตากุล

นายณรงค์ฤทธิ์ อิทธิสารรณชัย

นายณัฐนันท์ กรุงแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ทวี เทศเจริญ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42470
วัน, เดือน, ปี 23 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

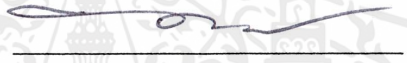
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง กังหันลมนาเกลือ

SALT-FARM WINDMILL

ผู้จัดทำ

1. นาย ฐานันตร์ หวังมุทิตากุล รหัสประจำตัว 40010195
2. นาย ณรงค์ฤทธิ์ อิทธิสารรณชัย รหัสประจำตัว 40010212
3. นาย ณัฐนันท์ กรุงแก้ว รหัสประจำตัว 40010221



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ทวี เทศเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กังหันลมนาเกลือ

นายฐานันตร์ หวังมุทิตากุล 40010195
นายณรงค์ฤทธิ์ อิทธิสารรณชัย 40010212
นายณัฐนันท์ กรุงแก้ว 40010221
รศ. ทวี เทศเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษา วิจัย พัฒนา และจัดสร้างกังหันลมนาเกลือ ซึ่งกังหันนี้ใช้ประโยชน์จากพลังงานลมเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกล พลังงานกลที่ได้จะนำไปขับลูกสูบของปั๊ม เพื่อสูบน้ำจากทะเลเข้าสู่นาเกลือ ซึ่งจะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันลมและพลังงานที่ได้ การออกแบบได้คำนึงถึงความแข็งแรงของโครงสร้าง และโครงสร้างจะต้องกีดขวางลมที่จะเข้าสู่ใบพัดน้อยที่สุด กังหันลมที่จะสร้างขึ้นนี้จะแตกต่างจากกังหันลมนาเกลือทั่วๆไป คือ จะใช้ใบพัดที่ทำจากผ้าใบซึ่งจะมีความแข็งแรงคงทนกว่าใบพัดที่ทำจากใบจาก และยังสามารถปรับแต่งมุมในการรับลม เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับลมให้ได้มากที่สุด โดยในปริญญานิพนธ์นี้จะประกอบด้วย ขั้นตอนการออกแบบ การสร้าง การทดลอง และผลการทดลอง เพื่อทำการหาค่าประสิทธิภาพของกังหันเมื่อทำการปรับมุมของใบพัดไปที่ขนาดต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Salt-Farm Windmill

Thanun Wangmutitakul 40010195
Narongrith Ittisarnronnachai 40010212
Nuttanun Krungkaew 40010221
Assoc.Prof. Thavee Teschareon Advisor

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to study ,research ,develop and build the windmill. The windmill uses advantage of wind power which is changed to mechanical energy, received energy drive the piston of the pump for pump water from the sea to salt farm. We investigated factors which have effects to the efficiency of the windmill and received energy. The design is related to the strength of structure ,and the structure must not obstruct the wind going to the blade. The differences of this windmill from the others are using canvas to make the blade and the adjustable blade angle in order to receive the wind for more efficient.In this thesis consist of design construction experiment and result to find efficiency of turbine when we adjust blade's angle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ ทวี เทศเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ พี่มณฑา เทียมเมือง ที่ให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือ และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำโครงงานชิ้นนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ฐานันตร์ หวังมุทิตากุล
ณรงค์ฤทธิ์ อิทธิสารรณชัย
ณัฐนันท์ กรุงแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 แนวคิดและหลักการออกแบบกังหันลม	
1.1 บทนำ	1
1.2 ขั้นตอนการออกแบบ	1
1.3 พลังงานที่ต้องการ	2
1.4 การสูบน้ำ	2
1.5 ขนาดกังหัน	3
1.6 ประสิทธิภาพกังหัน	3
บทที่ 2 ลม (wind)	
2.1 ความเร็วลมเฉลี่ย	6
2.2 ความเร็วลมที่ความสูงใด ๆ	7
2.3 เครื่องมือวัดความเร็วลม	7
บทที่ 3 กังหันลม (windmill)	
3.1 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง	11
3.2 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน	12
3.3 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกังหันทั้ง 2 แบบ	13
3.4 การเลือกสรรที่ตั้ง	15
3.5 การคำนวณกำลังงานจากกังหันลม	18
บทที่ 4 การออกแบบโครงสร้าง	
4.1 การหาขนาดของแรงในชิ้นส่วน	22
4.2 ความเค้นและความเครียด (stress and strain)	27
4.3 ค่าความปลอดภัย (factor of safety)	28
4.4 รอยเชื่อม (welding)	29
บทที่ 5 ส่วนประกอบการติดตั้ง	
5.1 ส่วนประกอบของกังหัน	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ขั้นตอนการประกอบ	31
5.3 ภาพแสดงส่วนต่าง ๆ ของกังหัน	32
บทที่ 6 การทดลองและผล	
6.1 วัตถุประสงค์	36
6.2 อุปกรณ์ประกอบการทดลอง	36
6.3 ทฤษฎีประกอบการทดลอง	36
6.4 ขั้นตอนการทดลอง	38
6.5 ผลการทดลอง	40
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์	42
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 กราฟแสดง Power factor เมื่อทราบค่าความเร็วลม	20
3-2 แสดงค่าพื้นที่รับลมของใบพัดเมื่อทราบค่ารัศมี	21
6-1 แสดงผลการทดลองขั้นที่ 1	40
6-2 แสดงผลการทดลองขั้นที่ 2	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1-1 การสูบน้ำโดยใช้กังหันลม	2
1-2 กราฟแสดงกำลังที่ต้องการในการสูบน้ำ	3
1-3 กราฟที่ใช้ในการหาขนาดพื้นที่ของกังหัน	4
1-4 แสดงผลของตำแหน่งที่ต่อความเร็วรอบ	5
2-1 ตัวบอกทิศทางลมและเครื่องมือวัดความเร็วลม	8
2-2 ส่วนประกอบของแอนิโมมิเตอร์	9
2-3 ส่วนประกอบของแอนิโมมิเตอร์ชนิดผลิตกระแสไฟฟ้า	10
3-1 แสดงภาพด้านบนของกังหันลมแบบ 2 , 3 และ 4 ใบ	12
3-2 แบบของกังหันลมหมุนในแนวตั้ง	13
3-3 แบบของกังหันลมหมุนในแนวนอน	14
3-4 ผลกระทบของลมจากพื้นที่ต่าง ๆ ณ ความเร็วต่าง ๆ	15
3-5 อัตราเร่งของลมผ่านเนินเขา	15
3-6 ผลของการจัดเรียงของกังหันลม ณ ความสูงต่างๆ	16
3-7 ลักษณะของกระแสลมของภูมิประเทศที่มีลักษณะแตกต่างหัน	16
3-8 ข้อเสนอของชนิดภูมิประเทศที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับการทดลองของการเพิ่มความเร็วลม	17
4-1 ชิ้นส่วนรับ 2 แรง	23
4-2 แรงในชิ้นส่วนรับ 2 แรง	23
4-3 แนวศูนย์กลางของชิ้นส่วน	24
4-4 ส่วนรับแรงดึงและแรงกด	24
4-5 ภาคตัดแรง	25
4-6 รูปแบบรอยเชื่อมแบบต่าง ๆ	29
4-7 รอยเชื่อมรูปตัว V	30
5-1 เพลาและแบริ่งที่ยึดเพลา	32
5-2 จานเหล็กและท่อเหล็กที่ทำการเชื่อมเรียบร้อยแล้ว	32
5-3 ส่วนของปลายเพลาที่ยื่นออกมาสำหรับส่งกำลัง	33
5-4 โครงเหล็กรูป A- frame และเท้าแขนเสริมความแข็งแรง	33
5-5 การยึดลวดสลิงด้วย U- bolt	34
5-6 กังหันลมที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว	34
5-7 ภาพด้านข้างของกังหัน	35
5-8 กังหันที่เก็บใบเมื่อทำการทดลองเสร็จ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ ω	37
6-2 แสดงมุมของผ้าใบ	39
6-3 กราฟแสดงผลการทดลองขั้นที่ 1	40
6-4 กราฟแสดงผลการทดลองขั้นที่ 2	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
แนวคิดและหลักการออกแบบกังหันลม

1.1 บทนำ

พลังงานลมได้ถูกนำมาใช้กว่า 2000 ปี ตั้งแต่กังหันลมแบบเก่าของฮอลแลนด์ที่เป็นกังหันลมแนวตั้งที่มี 4 ใบพัด , กังหันลม high speed ที่มีใบพัด 2 , 3 หรือ 4 ใบพัด จนถึงกังหันปัจจุบันที่มีประสิทธิภาพสูง ที่มีแรงยกสูงและแรงฉุดน้อย ปัจจุบันผู้ที่ทำการทดลองสามารถนำเทคโนโลยีที่พัฒนาแล้วมาทำการทดลองหาประสิทธิภาพ และทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยลง การใช้ประโยชน์ของกังหันลม ไม่ว่าจะเป็น นำมาสูบน้ำ หรือ นำมากำเนิดกระแสไฟฟ้า จะเป็นสิ่งที่กำหนดการออกแบบ รูปแบบ หรือ ขนาด ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ในการออกแบบได้แก่ พลังงานลมตามธรรมชาติที่สามารถหาได้ , สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ , ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง , ความซับซ้อนในระบบ ฯลฯ

บางทีการใช้พลังงานจากลมอาจมาจากกังหันลมตามธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ , คลื่น โดยการนำเชือกผูกระหว่าง Hand – Operated Water Pump กับต้นไม้ แต่กังหันลมตามธรรมชาตินี้ไม่สามารถควบคุม หรือกำหนดพลังงานได้ จึงต้องสร้างกังหันลม โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

1.2 ขั้นตอนการออกแบบ

หลักการออกแบบ มี 2 วิธี

<u>วิธีที่1</u>

1. กำหนดค่าพลังงานที่ต้องการ
2. กำหนดค่าพลังงานลมที่สามารถหาได้
3. กำหนดรูปร่างและขนาด ของกังหันที่ต้องการ จากพลังงานที่หาค่ามาแล้ว
4. ออกแบบส่วนประกอบต่างๆ โดยยึดหลักของ aerodynamic และ หลักของโครงสร้าง

<u>วิธีที่ 2</u>

1. เลือกแบบของกังหัน และขนาดของกังหัน ที่สามารถสร้างได้
2. กำหนด , ประมาณค่าความเร็วลมสำหรับการออกแบบ
3. ออกแบบส่วนประกอบของกังหัน โดยยึดหลักของ aerodynamic และ หลักของโครงสร้าง

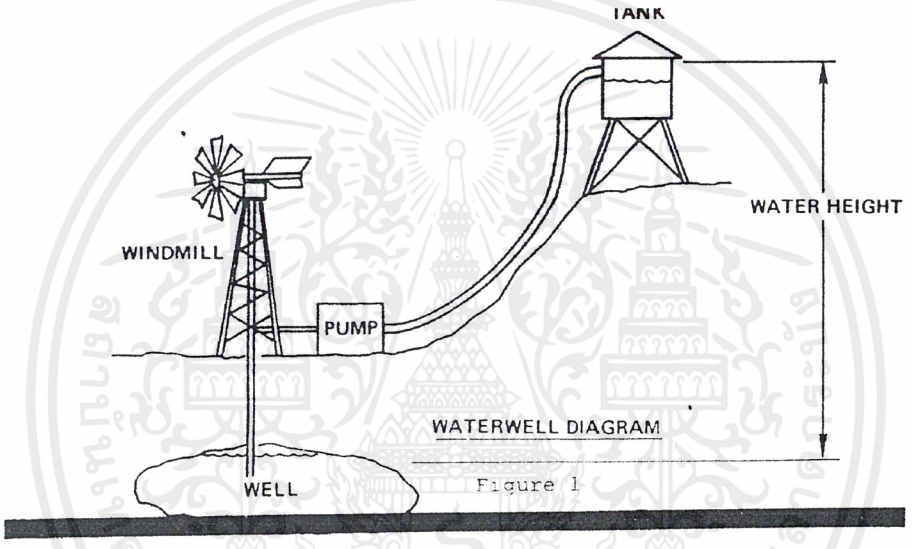
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 พลังงานที่ต้องการ

ก่อนที่จะทำการออกแบบกังหัน เราจะต้องทำการคำนวณพลังงานที่เราต้องการจะใช้เสียก่อน ซึ่งวิธีที่เราจะสามารถนำพลังงานลมมาใช้แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ใช้ในการสูบน้ำ และใช้ในการผลิตไฟฟ้า

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงเสมอคือ การกำหนดพลังงานที่ต้องการ แต่ถ้าไม่สามารถกำหนดพลังงานที่ต้องการได้ อาจจะออกแบบโดยยึดจาก พลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยดูจากค่าไฟฟ้า หรืออาจพิจารณาว่าพลังงานลมนั้นมีอยู่อย่างมากมาย และง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งอาจออกแบบให้พลังงานที่ต้องการมากกว่าพลังงานที่คำนวณตามทฤษฎี



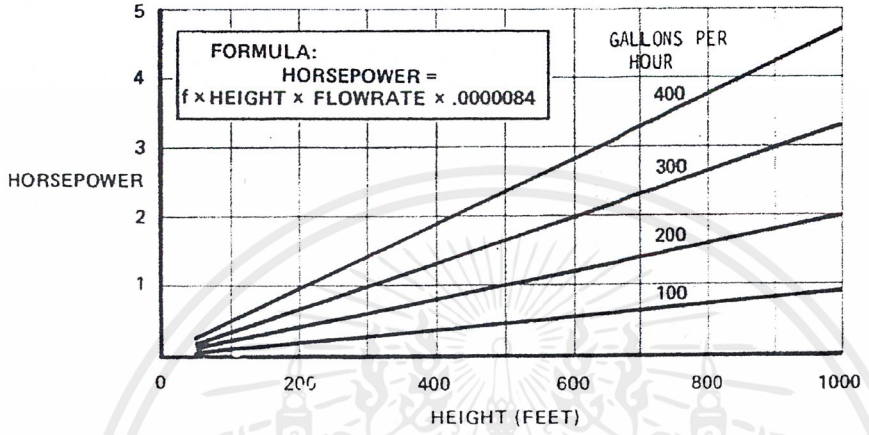
รูปที่ 1-1 การสูบน้ำโดยการใช้กังหันลม

1.4 การสูบน้ำ

การประมาณค่าพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ ต้องทราบระดับความสูงที่จะสูบน้ำขึ้นไป และความเร็วในการสูบน้ำที่ต้องการ ดูจากรูปที่ 1-1 ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นกำลังงานที่ต้องการ ซึ่งจะต่างจากพลังงานที่ได้ จากลม ความแตกต่างนี้จะเป็นประสิทธิภาพของอุปกรณ์ หรือความด้อยประสิทธิภาพ (ขึ้นกับว่ามองอย่างไร) ของอุปกรณ์ที่ทำงาน ถ้ากังหันลมที่ทำการทดลองเป็นกังหันอุดมคติ (frictionless , perfectly balanced , etc.) พลังงานจากลมที่ได้จะเท่ากับพลังงานลมที่มีอยู่ การประมาณค่าพลังงานที่ใช้สูบน้ำดูจาก รูปที่ 1-2 จากข้อมูล ค่าพลังงานที่ได้จะเป็นค่าประมาณ การออกแบบอย่างปลอดภัยต้องเพิ่มค่าพลังงานที่ต้องการ โดยการประมาณค่า safety factor อาจจะเป็น 2 เท่า หรือ อาจจะประมาณเผื่อไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		f=(1.1)	(1.2)	(1.3)	(1.4)
FLOW RATE		100	200	300	400
HEIGHT	50	.05	.10	.16	.24
	100	.09	.20	.33	.47
	200	.18	.40	.66	.94
	400	.36	.80	1.3	1.9
	600	.54	1.2	1.9	2.8
	800	.72	1.6	2.6	3.8
	1000	.90	2.0	3.3	4.7



รูปที่ 1-2 กราฟแสดงกำลังที่ต้องการในการสูบน้ำ

1.5 ขนาดกังหัน

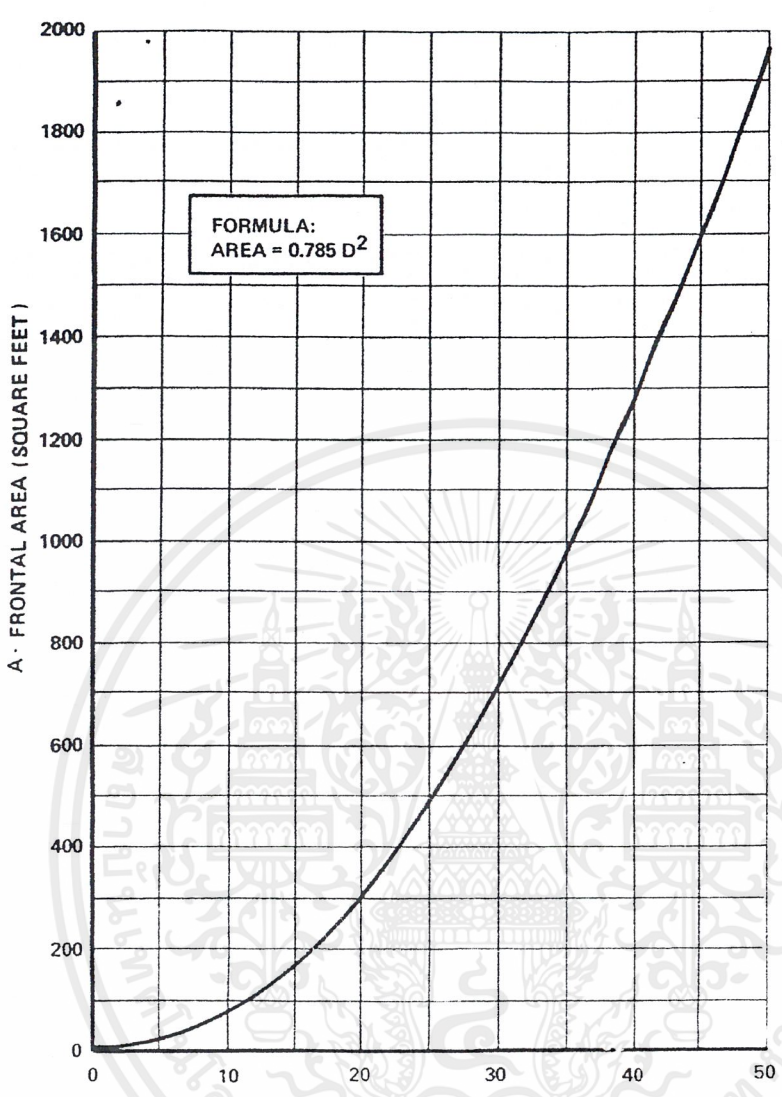
สำหรับกังหันลมแนวนอน ที่มีหลายใบพัด จะใช้ รูปที่ 1-3 สำหรับการคำนวณหาพื้นที่ด้านหน้า (ที่ใช้รับลม) ของกังหัน จะได้เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของกังหัน

1.6 ประสิทธิภาพกังหัน

เนื่องจากมนุษย์ไม่สามารถสร้างกังหันลมที่มีประสิทธิภาพ 100% ได้ ดังนั้นในการออกแบบควรที่จะสมมติ ค่าประสิทธิภาพให้ต่ำ (จึงจะได้พลังงานที่ต้องการ) กังหันได้พลังงานจากลมโดยการทำให้ลมช้าลง ถ้าเราสามารถหยุดลมให้สนิทด้วยกังหันได้ จะได้ประสิทธิภาพ 100% แต่ในความจริงไม่สามารถหยุดลมให้สนิทได้ ทำได้แค่ทำให้ลมช้าลง 1 ใน 3 ของลมเริ่มต้น ประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎีที่กังหันลมจะมีได้คือ 59%

ประสิทธิภาพทางปฏิบัติอาจไม่เท่ากับ 59% เสมอไป ขึ้นอยู่กับ ค่า gear losses , ความถูกต้องของอุปกรณ์ที่ใช้ ฯลฯ ค่าประสิทธิภาพที่ได้จะอยู่ประมาณ 0.1 (10%) - 0.4 (40%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



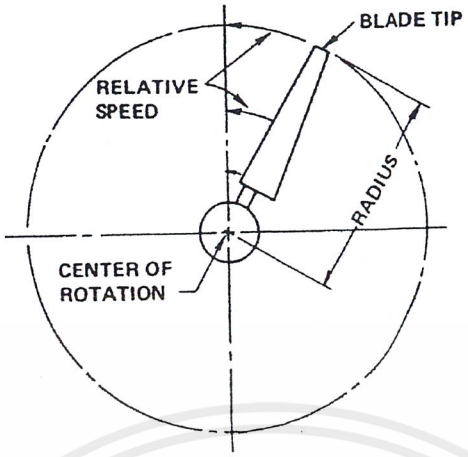
$A = .785\ D^2$

D	A
1	.79
2	3.14
3	7.07
4	12.57
5	19.63
6	28.27
7	38.48
8	50.27
9	63.62
10	78.54
11	95.03
12	113.10
13	132.73
14	153.86
15	176.71
20	314.16
25	490.87
30	706.86
35	962.11
40	1256.64
45	1590.43
50	1963.50

รูปที่ 1-3 กราฟที่ใช้ในการหาขนาดพื้นที่ของกังหัน

กังหันลมกำเนิดพลังงานโดยการหมุน การหมุนหมายถึงอุปกรณ์รอบๆจุดศูนย์กลางเคลื่อนที่รอบจุดศูนย์กลางอย่างช้าๆ ส่วนที่อยู่ปลายจะมีความเร็วมากกว่าส่วนที่อยู่ใกล้จุดกึ่งกลาง ดูรูปที่ 1-4 สิ่งนี้ทำให้สามารถหา อัตราส่วนความเร็ว : u/V ซึ่งคือความเร็วของใบพัด ส่วนด้วย ความเร็วของลม ความเร็วทั้ง 2 นี้ควรจะมีหน่วยเดียวกัน ค่า u/V ที่ปลายใบพัดจะมีค่ามากกว่า u/V ที่กึ่งกลางระหว่างปลายใบพัดกับจุดกึ่งกลางใบพัด ซึ่งการคำนวณจะใช้ค่า u/V ที่ปลายใบพัด ค่า u/V อาจจะเป็น 1 หรือ 2 สำหรับความเร็วต่ำ หรือ 5-8สำหรับกังหันความเร็วสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1-4 แสดงผลของตำแหน่งที่มีต่อความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ลม (Wind)

ลม หมายถึง มวลของอากาศที่มีการเคลื่อนไหว ลมจัดว่าเป็นพลังงานแบบหนึ่งโดยการเคลื่อนที่ของมวลอากาศจากบริเวณที่มีความกดอากาศสูง ไปสู่บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ โดยบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงอากาศจะลอยตัวสูงขึ้นทำให้ความหนาแน่นลดลง บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะมีความกดอากาศสูงกว่า อากาศจะไหลเข้าไปชดเชยเพื่อทำให้ความหนาแน่นเท่ากัน ทำให้เกิดลมขึ้น การที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงถูกโลกเพียงด้านเดียวเสมอ เป็นผลให้อุณหภูมิของผิวโลกในแต่ละภูมิประเทศไม่เท่ากัน จึงทำให้มีลมเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งความเร็วของลมจะแตกต่างกันไป แล้วแต่ลักษณะภูมิประเทศ และระดับความสูงต่างๆ ก็จะมีความเร็วลมต่างกันด้วย ซึ่งสูตรคำนวณความเร็วลม ณ ระดับต่างๆสามารถแสดงได้ดังนี้

$$V_x = V_f (h/30)^{1/n} \qquad (2.1)$$

เมื่อ

V_x = ความเร็วลมที่ระดับความสูงที่ต้องการทราบ

V_f = ความเร็วลมที่ระดับความสูงอ้างอิงระดับ 30 ฟุต

h = ความสูงเหนือพื้นดิน

1/n = เป็นค่าประมาณของการเพิ่มกำลัง

ปริมาณที่แทนค่าสำหรับค่า n ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ

n = 7 ในกรณีที่เป็นพื้นที่ที่โล่งแจ้ง ในชนบท ในทุ่งนา

n = 5 ในกรณีที่พื้นที่มีลักษณะเป็นคลื่นอย่างมาก และมีสิ่งกีดขวาง

n = 3 ในกรณีที่เป็นพื้นที่รอบเมือง และใกล้รอบเมือง เต็มไปด้วยสิ่งกีดขวาง

2.1 ความเร็วลมเฉลี่ย

การที่เราสามารถจะกำหนดพลังงานลมให้แน่นอนลงไปนั้นไม่สามารถทำได้ เพราะว่าลมมีความไม่คงที่จึงต้องมีการตรวจสอบความเร็วลมตลอดเวลา และในการใช้งานจริงๆ เราจะหาความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งก็พอแล้ว ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของลม (Wind Characteristic) ส่วนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นสามารถกำหนดรูปแบบได้ในกรณีที่ลมมีลักษณะเคลื่อนที่เป็นแบบเดียว เรียกว่า “Prevalent winds” ถ้ามีลักษณะการเคลื่อนที่มากกว่าหนึ่งแบบเรียกว่า “Energy winds” แบบแรกจะเกิดในช่วงเวลานานกว่าแบบที่สอง ส่วนแบบที่สองนั้นจะให้พลังงานมากที่สุดในช่วงเวลาที่ต่าง ๆ กัน

Prevalent wind นั้นจะเกิดประมาณ 5 วันต่อสัปดาห์ และมีความเร็วลมประมาณ 8-24 Km/hr ส่วนแบบ Energy wind เกิดขึ้นประมาณ 2 วันต่อสัปดาห์ และมีความเร็วลมประมาณ 16-40 Km/hr จะกล่าวได้ว่า ลมที่พัดในช่วงเวลา 30 % มีกำลังมากกว่าลมที่พัดในช่วงเวลา 70 %

วิธีง่าย ๆ ในการกำหนดความเร็วลมเฉลี่ย คือการนำข้อมูลจากสถานีวัดลมหรือบุคคลที่เคยทำการวัดมาก่อนมาพิจารณา แต่ประเทศไทยยังมีข้อมูลทางด้านนี้น้อยอยู่ ดังนั้น อาจจะต้องมีการใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลม (Anemometer) และทิศทางลม (Wind direction) มาทำการทดสอบเอาเองในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น 1 เดือน หรือ 1 ปี แล้วหาความเร็วลมเฉลี่ยออกมา จะสามารถพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยที่นำไปใช้งานได้และไม่เป็นอัตรายแก่อุปกรณ์ที่ใช้จะอยู่ในช่วง 20-40 Km/hr

2.2 ความเร็วลมที่ความสูงใด ๆ

ความเร็วลมในระยะความสูงต่าง ๆ กัน ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่งย่อมมีค่าต่างกัน เช่น ความเร็วลมที่สูงจากพื้นขึ้นไป 100 ฟุต จะมีความเร็วลมเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของความเร็วลมที่เหนือพื้นดิน

สูตรที่ใช้ในการหาความเร็วลมที่ความสูงต่าง ๆ กัน ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่ง

$$V/V_a = (z/z_a)^{0.27960+0.03265 \ln Za} + V_a^{0.10528 \ln Za -(0.09831 + 0.055021 \ln Z + 0.00642 \ln Z \ln Za)} \qquad (2.2)$$

เมื่อ

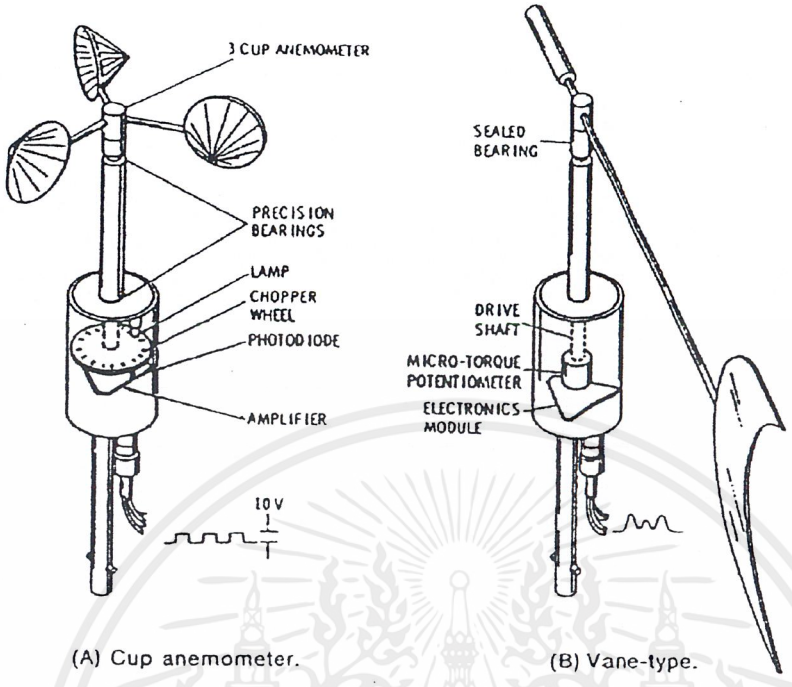
V = ความเร็วลมที่ความสูง Z

V_a = ความเร็วลมที่ Z_a ที่หาได้จากแอโนมิเตอร์

2.3 เครื่องมือวัดความเร็วลม

เครื่องมือวัดความเร็วลมและทิศทางลม เป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการวิจัยพลังงานลมเพื่อที่จะให้ได้สถานที่ตั้งที่เหมาะสมในการที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 ตัวบอกทิศทางลมและเครื่องมือวัดความเร็วลม

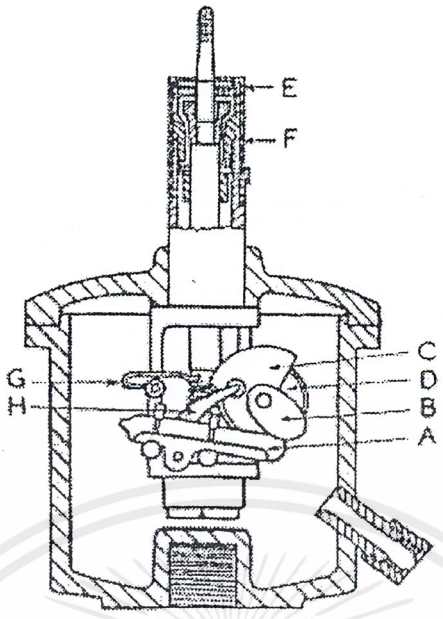
แอนิโมมิเตอร์ (Anemometer) คือเครื่องมือวัดความเร็วลมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป (ดังรูปที่ 2-1) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบบถ้วย (Cup anemometer) ซึ่งเรียกว่า Robinson cup anemometer ตามชื่อผู้ที่พัฒนาขึ้นใช้คือ T.H. Robinson

แอนิโมมิเตอร์แบบนี้มีลักษณะคือ ตัวหมุนประกอบด้วยแกนตามแนวตั้งซึ่งมีแขนตามแนวนอน 3 หรือ 4 อันติดอยู่โดยทำมุมซึ่งกันและกัน ที่ปลายแขนจะมีลูกถ้วยติดอยู่ ลูกถ้วยอยู่ในแนวตั้งผ่านแกนหมุน และด้านนูนของลูกถ้วยจะเป็นทิศทางการหมุนและการหมุนไม่ขึ้นกับทิศทางลม

แอนิโมมิเตอร์ในปัจจุบันแบ่งได้ตามอุปกรณ์ที่สร้างเป็น 2 ชนิด คือ แบบ Mechanic และแบบ Electronic แบบ Mechanic ที่ใช้ตามสถานีตรวจอากาศมีสองแบบคือ

1. Contact – type anemometer แบบมาตรฐานทั่วไป ใช้เป็นแบบลูกถ้วย 3 ใบ เป็นตัวหมุน ปลายของแกนหมุนตามแนวตั้งจะเป็นเฟืองเกลียว ซึ่งจะไปทำให้หลอดแก้วที่บรรจุปรอททำหน้าที่ Electrical contact ทุก ๆครั้งที่มีลมผ่านไป 1/20 ไมล์ จากรูปที่ 2-2 เป็นโครงสร้างภายในของแอนิโมมิเตอร์ชนิดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-2 ส่วนประกอบของแอนิโมมิเตอร์ชนิดถ้วย

A คือ เมอคิวรี่สวิทช์ , B เป็นลูกเบี้ยวที่ไปกระดก A ให้ทำงาน ซึ่ง B จะหมุนไปตามลูกน้ำหนัก C ลูกนำหนัก C หมุนขึ้นสูงได้ด้วยการดันของกระเดื่องบนเฟืองล้อซึ่งต่อประสานอยู่กับเฟืองเกียร์และลูกน้ำหนัก C จะตกลงเมื่อเคลื่อนขึ้นถึงตำแหน่งสูงสุด สำหรับเมอร์คิวรี่สวิทช์นั้นต่ออยู่กับวงจรแบตเตอรี่เพื่อให้ Telephone massage refistor ทำงาน แต่อาจจะใช้ Electro – magnetic recorder แบบอื่นทำงานแทนได้ เครื่องมือชนิดนี้วัดความเร็วลมได้เที่ยงตรงที่ช่วงความเร็ว 0.2-0.3 เมตร/วินาที

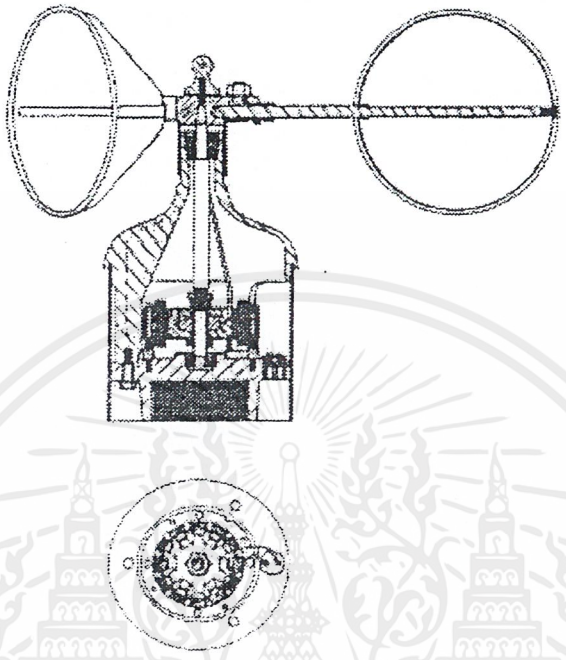
2. Cup – generator anemometer แบบนี้วัดความเร็วลมได้อย่างต่อเนื่องเป็น ไมล์/ชั่วโมง แบบล่าสุดที่ใช้อยู่มีลักษณะเป็นแบบตัวหมุนเป็นรูปถ้วยรูปกรวย 3 ใบ เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ติดกับแขนสั้นๆ ใช้กับบอลแบริ่ง ปลายของแกนหมุนตามแนวตั้งประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร 11 ขั้ว ล้อมรอบด้วยสเตเตอร์ที่พันด้วยขดลวดทีมีความต้านทานต่ำ ทั้งหมดนี้นำมาประกอบกันเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้แรงดัน 10 โวลต์ ที่ความเร็วรอบ 100รอบ/นาที สำหรับเครื่องอ่านเป็น Moving –voil voltmeter หมุนได้ 240 มี สเกลเป็นไมล์/ชั่วโมง วัดได้ 5-100 ไมล์/ชั่วโมง และให้กระแสสลับสูงสุด 5 มิลลิแอมป์

นอกจาก แอนิโมมิเตอร์แบบลูกถ้วยที่ใช้แมคคานิคแล้วยังมีแบบอิเลคโทรนิคซึ่งเป็นแบบค่อนข้างใหม่ ดังรูปที่ 2-3 เป็นแบบอิเลคโทรนิคส์ ที่ปลายข้างหนึ่งของแกนหมุนติดกับวงล้อกลมที่เจาะรูโดยรอบแสงจะส่องจากหลอดไฟผ่านรูของวงล้อไปตกกระทบบนโฟโต้ไดโอด โดยเมื่อลมแรงวงล้อจะหมุนเร็วทำให้แสงตกโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น แอมปิไฟล์ ซึ่งมีโฟโต้ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยขอยู่จะมีระดับสัญญาณออกสูง ซึ่งสัญญาณออกถูกส่งผ่านสายไปยังเครื่องอ่านหรือบันทึกต่อไป

ราคาโดยประมาณของแอนิโมมิเตอร์ประมาณ 1.5 – 3 หมื่นบาท



รูปที่ 2-3 ส่วนประกอบของแอนิโมมิเตอร์ชนิดผลิตกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
กังหันลม (Wind mill)

ในการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ เราไม่สมารถนำพลังงานลมมาใช้งานได้โดยตรง จำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์แปลงพลังงานลมเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นที่สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งได้แก่กังหันลม ในทางทฤษฎีพลังงานที่ได้จากลมโดยผ่านทางกังหันลมจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเพียง 59.3% โดยขึ้นอยู่กับกังหันชนิดต่างๆ ซึ่งกำลังที่จะได้น้อยมากเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับขนาด และการออกแบบ กังหันที่มีประสิทธิภาพต่ำจะมีขนาดใหญ่กว่าชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า

กังหันลมสามารถแบ่งตามแกนที่หมุนได้ 2 แบบ คือ

- กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง (Vertical axle windmill)
- กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน (Horizontal axle windmill)

3.1 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง

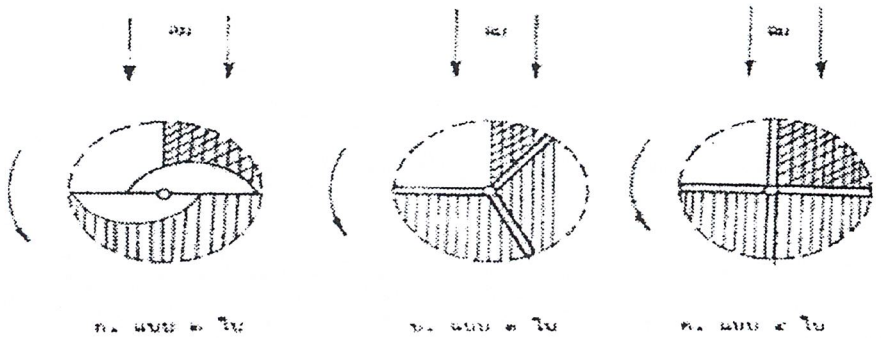
กังหันลมแบบนี้แกนหมุนของใบพัดจะตั้งฉากกับพื้นดิน หรือแนวตั้ง กังหันลมแบบนี้มีคุณสมบัติคือสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง น้ำหนักของใบจะทิ้งลงในลักษณะสมมาตร (Symmetry) และไม่มีผลต่อความกว้างของใบเมื่อแขนหมุน (Moment arm) ไม่มีปัญหาต่อการติดตั้งฐาน การหมุนของใบจะอยู่ในแนวระนาบเดียวกันกับทิศทางลม ดังนั้นแรงลมที่ปะทะจะเป็นแรงที่ทำให้เกิดการหมุน โดยตรงซึ่งทำให้การใช้ประโยชน์จากแรงปะทะมีมากขึ้น ส่วนข้อเสียคือ ไม่สมารถใช้ประโยชน์ได้จากใบทุกใบในเวลาเดียวกัน เนื่องจากมีส่วนของใบที่บังลมใบอื่นอยู่ และยังมีใบที่โดนแรงลมทำให้เกิดแรงต้านการหมุนอีกด้วย

3.1.1 แบบของกังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง

3.1.1.1 แบบซาโวเนียส หรือ เอสโรเตอร์ (Savonius or S. rotor) เป็นกังหันลมชนิด 2 ใบ การหมุนเกิดจากการที่ลมปะทะทางด้านเว้าแล้วทำให้ใบหมุนรอบแกน กังหันแบบนี้ให้แรงบิดสูง ให้พลังงานค่อนข้างคงที่ แต่ความเร็วรอบต่ำ ส่วนมากนำไปใช้งานทางด้านกล เช่น สูบน้ำ

3.1.1.2 แบบดาเรียส (Darrieus) กังหันแบบนี้ให้ความเร็วรอบสูง แต่จะมีแรงบิดเริ่มต้นต่ำ ทำให้จะต้องมีตัวช่วยเสริมการหมุนในขณะที่ไม่มีลมหรือลมแรงไม่พอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-1 แสดงภาพด้านบนของกังหันลมแบบ 2 , 3 และ 4 ใบ

3.2 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน

กังหันลมแบบนี้จะมีแกนหมุนของใบพัดขนานกับพื้นดิน คุณสมบัติของกังหันลมชนิดนี้คือ ใบของกังหันสามารถรับลมได้เต็มที่ และจะให้กำลังงานมากกว่าแบบแรกเมื่อเทียบขนาดเท่า ๆ กัน เพราะแบบนี้มีพื้นที่หน้าตัดของส่วนรับลมมากกว่าเมื่อเทียบกับแบบหมุนในแนวตั้ง กังหันแบบนี้มีความซับซ้อนมากกว่า ติดตั้งลำบากต้องหันตัวกังหันหาทิศทางที่ลมผ่าน ใบพัดมีได้ตั้งแต่ 1 ใบขึ้นไป

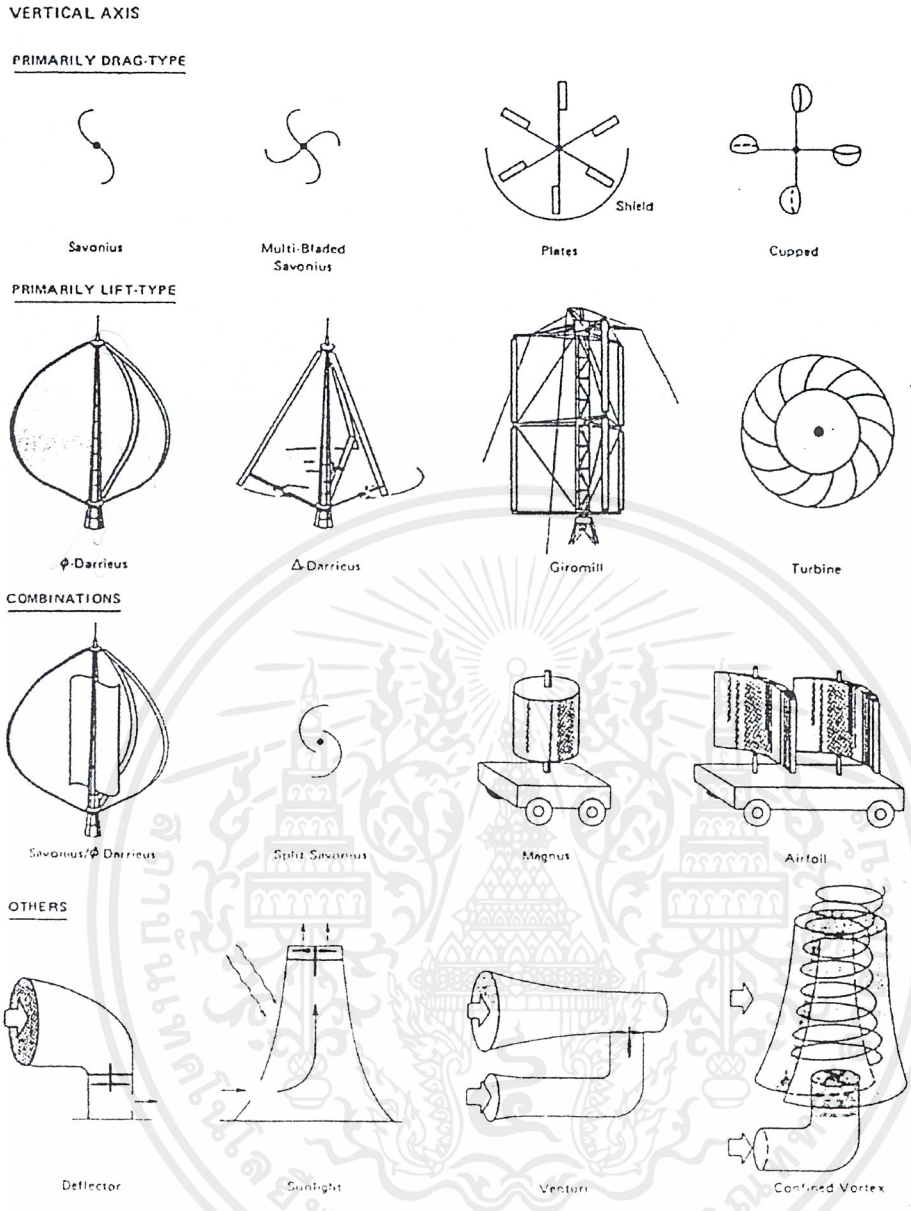
เนื่องจากแบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอนสามารถรับลมได้ในทิศทางเดียว ทำให้ต้องมีอุปกรณ์ทำให้ตัวกังหันหันเข้าสู่ทิศทางลม หรืออาจติดตั้งในทิศทางที่มีลมมาเป็นประจำ

3.2.1 แบบของกังหันที่มีแกนหมุนในแนวนอน

3.2.1.1 แบบที่มีจำนวนใบไม่มาก คือมีใบตั้งแต่ 2-4 ใบ กังหันลมแบบนี้จะมีความเร็วรอบสูง แต่มีแรงบิดเริ่มต้นต่ำ ดังนั้นกังหันลมแบบนี้จึงควรใช้ในบริเวณที่มีลมแรง และเนื่องจากความเร็วรอบสูงจึงนิยมนำไปผลิตกำลังไฟฟ้า

3.2.1.2 แบบที่มีจำนวนใบมาก กังหันลมแบบนี้จะให้แรงบิดสูง แต่ความเร็วรอบค่อนข้างต่ำ และไม่เหมาะที่จะใช้ในบริเวณลมแรงมากเพราะมีพื้นที่ในการรับแรงลมมากจึงมีแรงผลักสูงอาจทำให้เสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-2 แบบของกังหันลมหมุนในแนวตั้ง

3.3 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกังหันทั้ง 2 แบบ

ข้อดี

กังหันลมแนวตั้ง

- รับลมได้รอบด้าน
- น้ำหนักตกลงบนฐานทำให้สมดุลกว่า
- การออกแบบผลิต ส่งกำลังทำได้ง่าย
- เพิ่มแขนการหมุนได้ไม่จำกัด

กังหันลมแนวนอน

- พื้นที่รับลมมากกว่า เมื่อน้ำหนักเท่ากัน
- มีประสิทธิภาพสูง
- แรงบิดรอบแกนสูง
- ความเร็วรอบต่อความเร็วลมสูงกว่า
- รอบหมุนคงที่กว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย

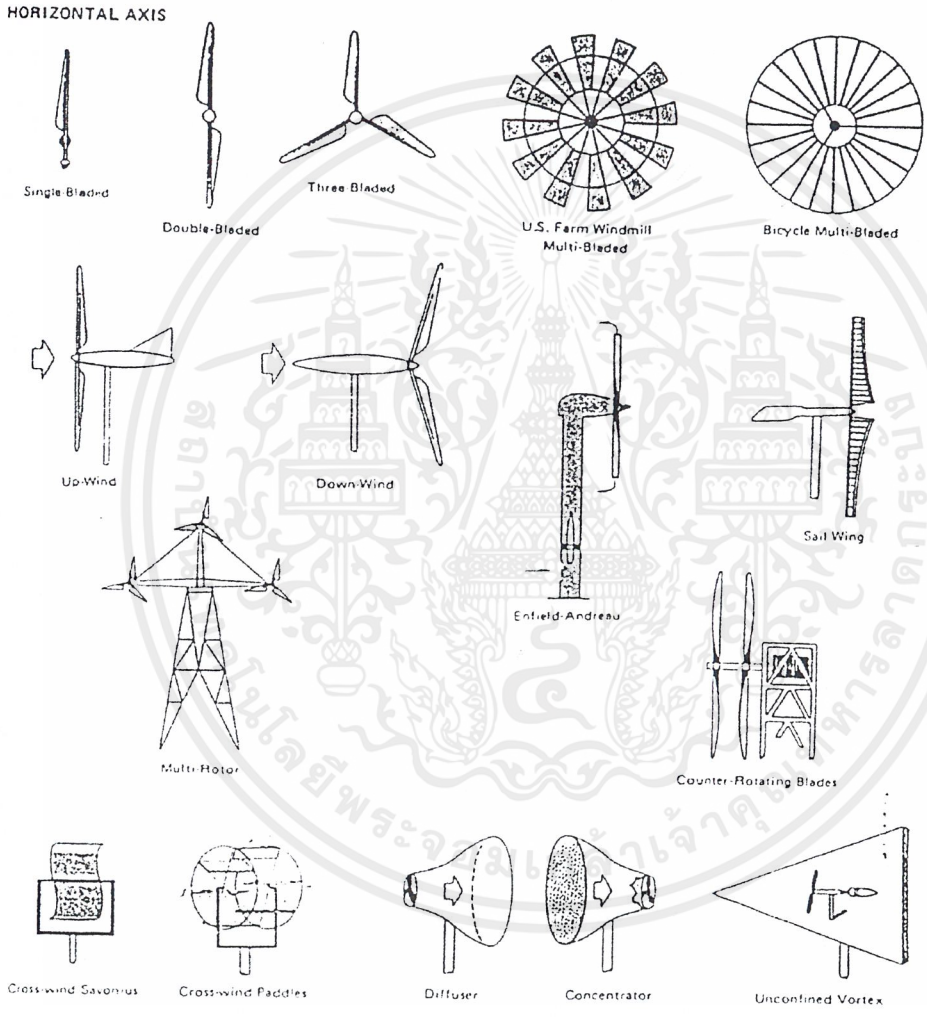
กังหันลมแนวตั้ง

- ไม่สามารถรับลมได้ทุกใบ
- มีแรงต้านการหมุน

กังหันลมแนวนอน

-รับลมในทิศทางเข้าใบพัดเท่านั้น

- มีปัญหาในการประกอบใบพัดกับฐาน



รูปที่ 3-3 แบบของกังหันหมุนในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

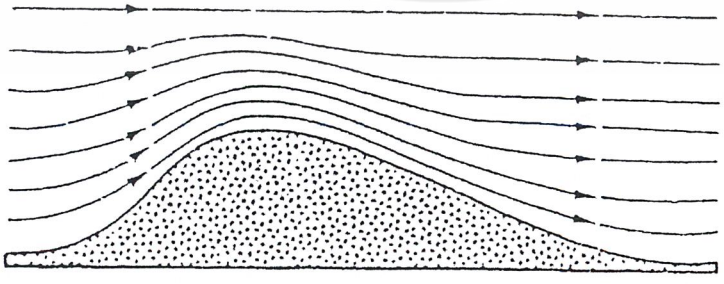
3.4 การเลือกสถานที่ตั้ง

การเลือกต้องใช้ความระมัดระวัง เพราะมีแรงเฉือนกับแรงกดในแนวตั้งฉากกับแนวระดับของกระแสลม เมื่อกระลมพัดผ่านไปบนพื้นที่ของโลก แรงเฉือนนี้จะมีผลเมื่อกระแสความเร็วต่ำใกล้ผิวโลกมากกว่าที่สูงขึ้นไป ในกรณีเฉพาะคือเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระที่สูงมากพอที่จะให้ไม่มีผลของผิวการเฉือน

กฎทั่วไปคือความเร็วที่ใกล้ผิวโลกจะเพิ่มเป็นกำลัง 1/7 ของความสูงเหนือผิวโลกเหนือระดับน้ำทะเลดังรูปที่ 3-4

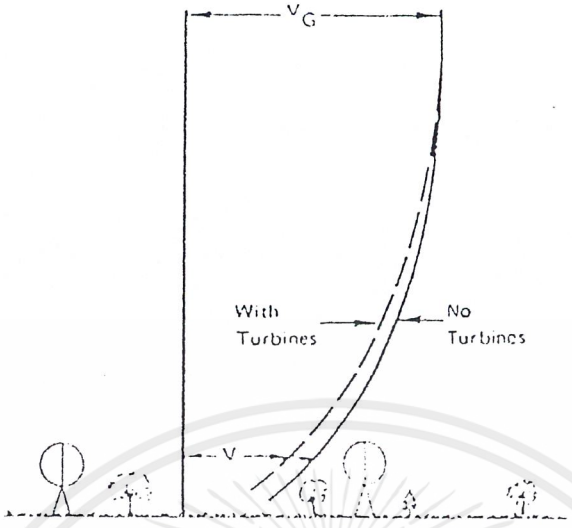
รูปที่3-4 ผลกระทบของลมจากพื้นที่ต่าง ณ ความเร็วต่าง ๆ

แต่อย่างไรก็ตามแรงเฉือนลมหรือกำลังลมที่ได้จะมีผลกับความเรียบของผิวโลกถ้าในพื้นที่นั้นมีตึกสูงๆ สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ หรือ สิ่งกีดขวางอย่างอื่น ความเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมต่อความสูงเหนือระดับพื้นดินจะมีค่ามากกว่าในกรณีที่เป็นที่ราบดัง รูปที่ 3-5 , 3-6 และ 3-7

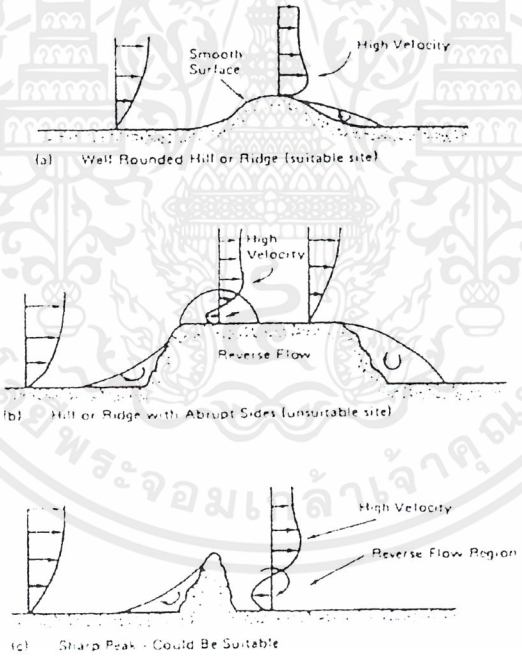


รูปที่ 3-5 อัตราการเร่งของลมผ่านเนินเขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-6 ผลของการจัดเรียงของกังหันลม ณ ความสูงต่าง ๆ

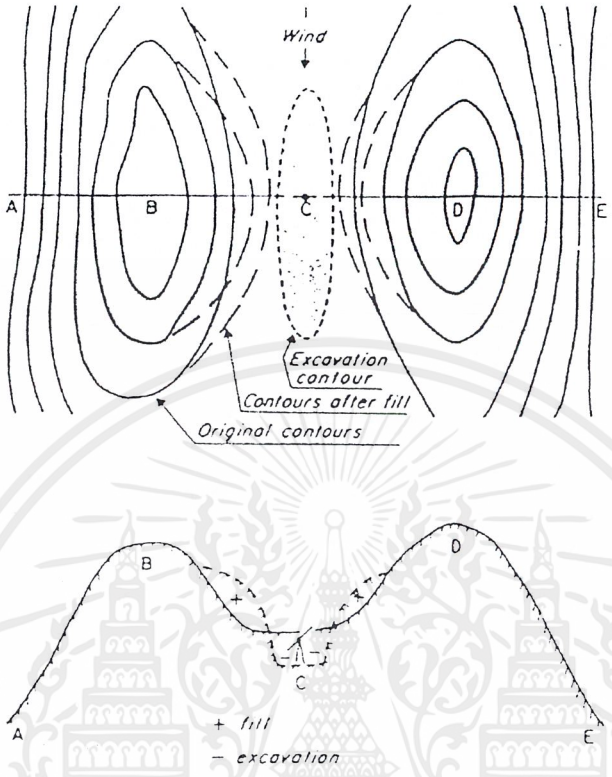


รูปที่ 3-7 ลักษณะของกระแสลมของภูมิประเทศที่มีลักษณะแตกต่างกัน

ผลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือกระแสลมจะมีความเร่งเพิ่มขึ้น เมื่อพัดผ่านเนินหรือหุบเขาแคบ ๆ ดัง รูปที่ 3-8 ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มกำลังงานที่ได้ออกมาจากกังหันลม จึงมีการนิยมตั้งกังหันลมในสถานที่เช่นนี้เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3-8 ข้อเสนอของชนิดภูมิประเทศที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับการทดลองของการเพิ่มความเร็วลม

สรุปลักษณะของสถานที่ตั้งที่เหมาะสม

1. มีความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีสูงพอ
2. ไม่มีสิ่งกีดขวางกระแสลมในแนวตั้ง
3. ควรจะอยู่บนเนินที่เรียบหรืออยู่บนเกาะ หรือเป็นที่ราบ ทุ่งนา
4. ช่องระหว่างภูเขา
5. มีทิศทางลมค่อนข้างแน่นอน เช่น บริเวณ ชายฝั่งทะเล หุบเขา

สำหรับกังหันลมนาเกลือนิยมติดตั้งบริเวณชายฝั่งซึ่งมีลมพัดสม่ำเสมอตลอดทั้งปี และมีทิศทางที่ค่อนข้างแน่นอน คือ ลมบก และ ลมทะเล กังหันลมนาเกลือจึงนิยมติดตั้งให้หันหน้าออกสู่ทะเล เพื่อรับลมในทิศทางทะเลสู่บกได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42470

ลักษณะของลม	ผลตกกระทบ
ไม่สม่ำเสมอ	พลังงานที่ได้จะไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจำเป็นต้องมีแหล่งเก็บสะสมพลังงาน
ถ้ามีลมหลายทิศทาง	เพื่อให้ได้พลังงานออกมาสูงสุด จะต้องใช้โรเตอร์แบบแกนในแนวราบ
ความเปลี่ยนแปลงทางแนวตั้ง	ความไม่ราบเรียบทำให้เกิดความปั่นป่วนของลม ดังนั้นในบริเวณที่ไม่เรียบจะต้องมีหอติดตั้งกังหันลมสูงกว่าบริเวณที่ราบเรียบเพื่อให้ถึงระดับที่ลมมีการไหลสม่ำเสมอ
ความเปลี่ยนแปลงตามแนวราบ	ยากที่จะหาพื้นที่ที่เหมาะสม

3.5 การคำนวณกำลังงานจากกังหันลม

มีสูตรการคำนวณได้จากการคิดเริ่มต้นอย่างเดียวกัน แต่นำมาดัดแปลงให้ง่ายขึ้น

1.) ความหนาแน่นของอากาศแปรผันกับความดันและอุณหภูมิ

$$\rho = 1.3 \times P / 760 \times (1 + t / 273) \qquad (3.1)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัม / ตารางเมตร)

P = ความดันบรรยากาศ

t = อุณหภูมิ (องศาเซียลเซียส)

ถ้าที่บรรยากาศปกติ

P = 760 ม.ม. ของบาโรมิเตอร์

t = 25 C

จะได้

$$\rho = 1.3 \times 760 / 760 \times (1 + 25 / 273)$$

พลังงานกล (Kinetic energy) ของลมที่มีมวล m ก.ก. และมีความเร็ว V เมตร / วินาที หาได้จาก

$$K.E. = \tfrac{1}{2} mv^2 \quad \text{จูลล์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาพลังงานภายใน 1 วินาที ที่ลมพัดผ่านพื้นที่ตัดขวาง (A) ของกังหันลมมีหน่วยเป็นตารางเมตร

ปริมาตรของลมที่ผ่านพัดผ่าน = AV

มวล = ρAV

กำลัง (Power) = $\frac{1}{2}(\rho AV) \times V^2$

= $1/2\rho AV^3$ วัตต์

$\therefore$ กำลัง = $1/2\rho AV^3E$ วัตต์

เมื่อ

E = efficiency factor

แทนค่า ρ = 1.2

กำลัง = $0.6 \times AV^3E$

หรือจาก

H.P. = $P \times A \times E$

เมื่อ P = power factor (หาได้จาก chart A เมื่อรู้ค่าความเร็วลม V ไมล์ / ชม.)

A = พื้นที่ตัดขวาง

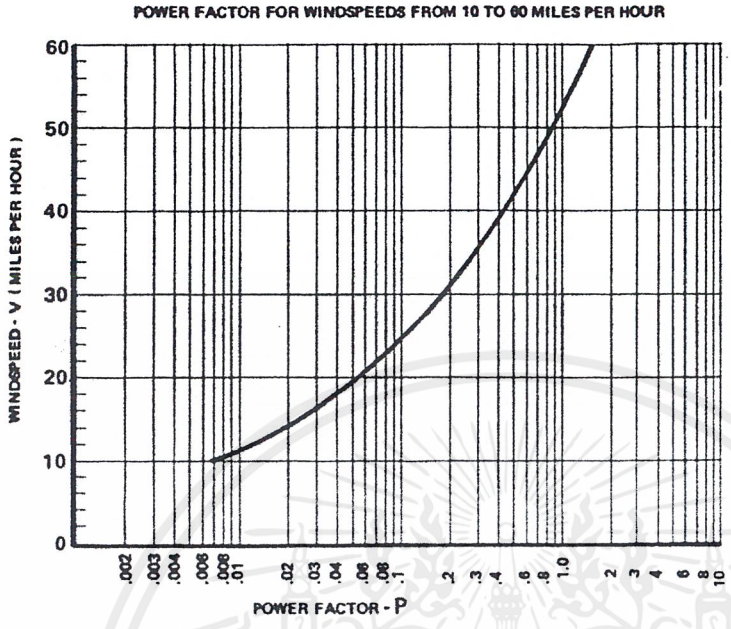
E = efficiency factor

H.P. = กำลังม้า

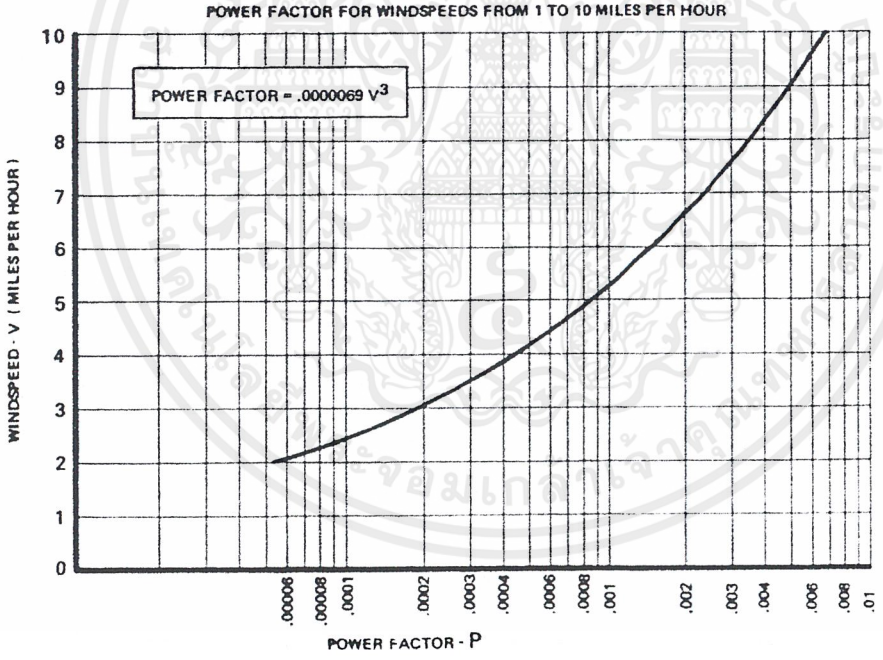
หาค่า Power factor จาก ตาราง 3-1 เมื่อรู้ค่าความเร็วลม V ไมล์ / ชม. และค่า A จาก ตาราง 3-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3-1 กราฟแสดง Power Facter เมื่อทราบค่าความเร็วลม

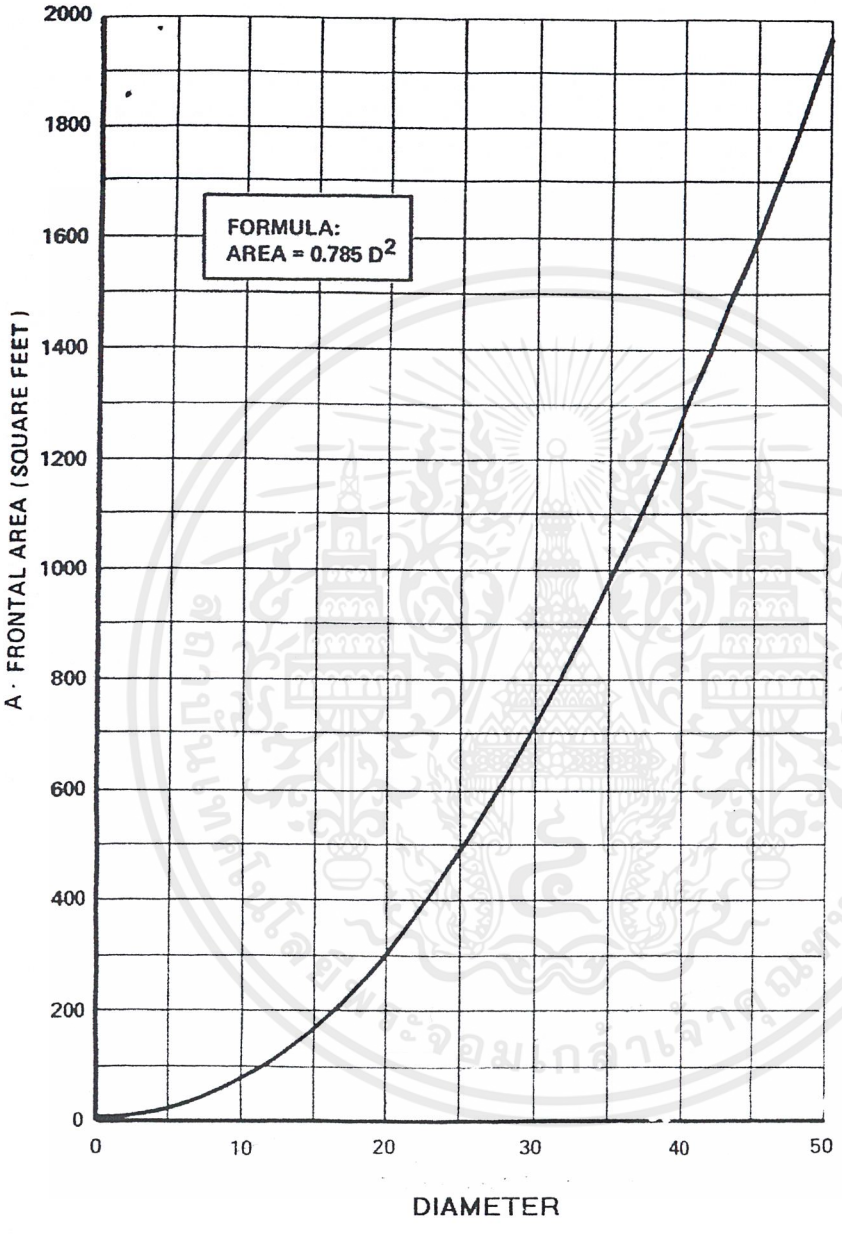


V (MPH)	P
0	0
1	.0000069
2	.000055
3	.00019
4	.00044
5	.00087
6	.0015
7	.0024
8	.0035
9	.0051
10	.0069
15	.023
20	.055
25	.108
30	.187
35	.297
40	.444
45	.632
50	.866
55	1.15
60	1.50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3-2 แสดงค่าพื้นที่รับลมของใบพัดเมื่อทราบค่ารัศมี



$A = .785\ D^2$

D	A
1	.79
2	3.14
3	7.07
4	12.57
5	19.63
6	28.27
7	38.48
8	50.27
9	63.62
10	78.54
11	95.03
12	113.10
13	132.73
14	153.86
15	176.71
20	314.16
25	490.87
30	706.86
35	962.11
40	1256.64
45	1590.43
50	1963.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบโครงสร้าง

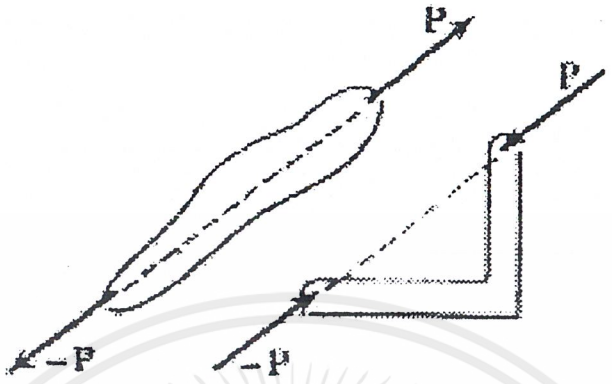
ส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของกังหันคือโครงสร้าง โดยโครงสร้างจะทำหน้าที่รองรับกังหัน เป็นฐานในการติดตั้ง โดยโครงสร้างของกังหันมีหลายแบบ สิ่งที่เราต้องคำนึงถึง คือ โครงสร้างต้องสามารถรองรับน้ำหนักของกังหันลม และสามารถต้านแรงลมที่อาจทำให้กังหันเสียหายได้ โดยจะต้องทำการคำนวณหาแรงที่กระทำทั้งหมด

โครงเหล็ก (Frame work) เป็นโครงสร้างพื้นฐานในการออกแบบ และสร้างกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งโครงเหล็กมีข้อได้เปรียบหลายประการไม่ว่า ความแข็งแรง ราคาถูก หาวัสดุได้ง่าย เป็นต้น คานเหล็กมีหลายแบบไม่ว่าจะเป็นเหล็กรูปตัว I เหล็กฉาก เหล็กกลม เป็นต้น และมีการยึดปลายอีกหลายแบบไม่ว่าจะเป็น การเชื่อม ย้ำหมุด หรือใช้สลัก ซึ่งก็มีข้อดีข้อเสียต่างกันไป โครงเหล็กแบบหนึ่งที่มีความแข็งแรง ง่ายต่อการออกแบบ คำนวณ และประกอบคือ โครงเหล็กแบบ A-Frame โครงสร้างที่สำคัญของโครงสร้างแบบ A-Frame ก็คือ มีหน้าจั่วทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เป็นโครงเหล็กรูปสามเหลี่ยม โดยจะใช้การเชื่อมในการเชื่อมในการประกอบเหล็กเข้าต่อกัน และจะมีคานเหล็กด้านล่างเชื่อมต่อหน้าจั่วทั้ง 2 ข้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง ในบางกรณีที่มีการเสริมโครงถักเข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้มากขึ้นไปอีก

4.1 การหาขนาดของแรงในชิ้นส่วน

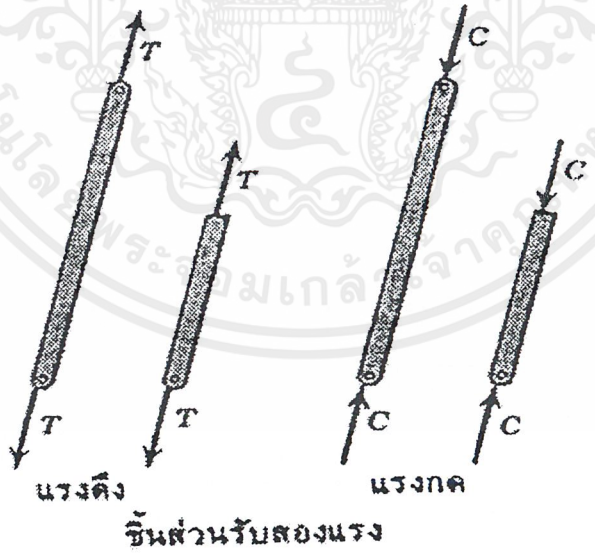
ในการออกแบบจะต้องหาแรงที่มากระทำในชิ้นส่วนต่าง ๆ และเลือกขนาดของคานเหล็กที่เหมาะสมต่อไปเพื่อที่จะสามารถรับแรงทั้งหมดได้ ร่วมถึงรอยเชื่อมที่ต้องคำนึงถึงด้วย จะต้องตั้งสมมุติฐานขึ้นหลายอย่าง ประการแรกคือจะต้องสมมุติว่าชิ้นส่วนทุกชิ้นเป็นชิ้นส่วนรับแรงสองแรง ซึ่งหมายถึงชิ้นส่วนที่มีแรงมากระทำเพียงสองแรงเท่านั้นเมื่ออยู่ในสมดุล ดัง รูปที่ 4-1 แรงทั้งสองจะต้องกระทำที่ปลายของชิ้นส่วนโดยขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงข้ามกัน และอยู่ในแนวเดียวกัน ชิ้นส่วนนั้นอาจถูกดึงหรือกดดังใน รูปที่ 4-2 สังเกตได้ว่าแรงดึง T หรือแรงกด C ที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดใดๆ มีค่าเหมือนเดิมตลอด ต่อไปต้องสมมุติว่าไม่คิดน้ำหนักของชิ้นส่วน แต่ให้เป็นแรงกระจายสม่ำเสมอสามารถแทนได้ด้วยแรง W/2 สองแรงกระทำที่ปลายของคาน ซึ่งเทียบได้กับแรงภายนอกที่มากระทำที่ข้อต่อ การคิดน้ำหนักของชิ้นส่วนเข้าไปด้วยจะได้คำตอบที่ถูกต้องมากขึ้น แต่จะได้คำตอบที่ถูกต้องของแรงดึงและแรงกดเฉลี่ยที่กระทำต่อชิ้นส่วนทั้งชิ้นแต่ไม่รวมถึงการโกงงอของชิ้นส่วน เมื่อมีการต่อกันของชิ้นส่วนแบบเชื่อมสามารถสมมุติได้ว่าการต่อกันเป็นแบบแนวศูนย์กลางร่วมกันดังในรูปที่ 4-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



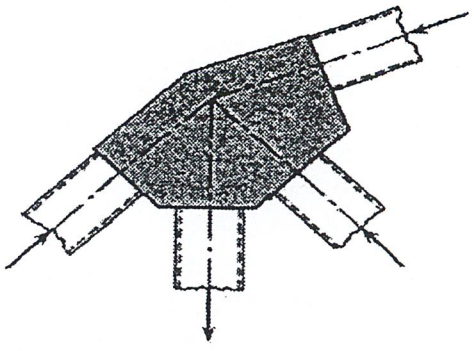
ชิ้นส่วนรับสองแรง

รูปที่ 4-1 ชิ้นส่วนรับ 2 แรง



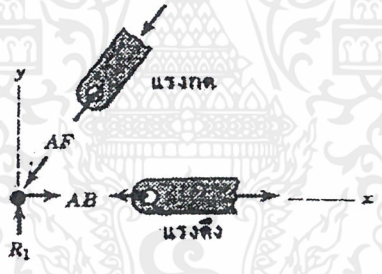
รูปที่ 4-2 แรงในชิ้นส่วนรับ 2 แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 แนวศูนย์กลางของชิ้นส่วน

ในการวิเคราะห์โครงสร้างแบบ A-Frame จะสามารถวิเคราะห์โดยวิธีง่ายๆ โดยการแตกแรงในลักษณะสามมิติทั่วๆ ไป แต่ในบริเวณรอยต่อสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีการใช้จุดต่อ (Method of joints) เพื่อใช้หาแรงที่มากระทำบริเวณรอยต่อ



รูปที่ 4-4 ส่วนรับแรงดึงและแรงกด

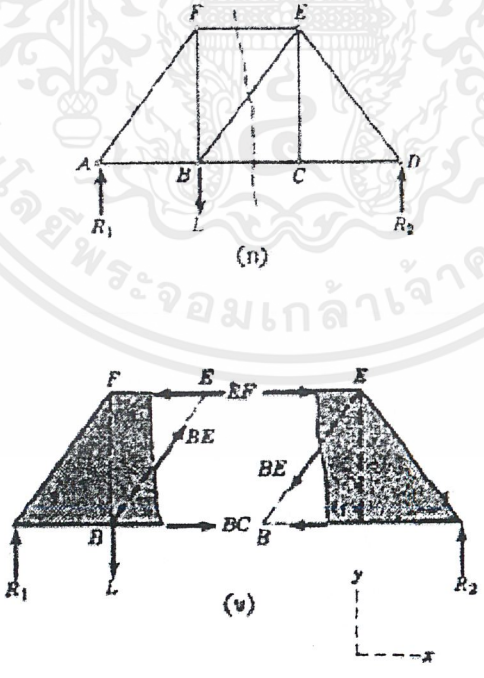
4.1.1 วิธีการใช้จุดต่อ (Method of joints) วิธีการนี้ประกอบด้วย การสมดุลแรงต่างๆ ที่มากระทำต่อข้อต่อ (joints) ต่างๆ ซึ่งก็คือการสมดุลแรงที่ตัดกันนั้นเอง และใช้สมการของการสมดุลเพียงสองสมการเท่านั้น สามารถเริ่มที่จุดใดก็ได้ที่มีแรงที่ทราบกันแล้วอย่างน้อยหนึ่งแรง และมีแรงที่ไม่ทราบค่าไม่เกินสองแรง อาจเริ่มจากทางซ้ายก่อนที่ผนังอิสระ แสดงไว้ในรูปที่ 4-4 จุดต่อต่างๆ กำหนดด้วยตัวอักษร แรงในชิ้นส่วนกำหนดด้วยอักษรสองตัวของชิ้นส่วนนั้น ทิศทางของแรงที่ควรจะเป็นดูได้จากหลักการดังนี้ ผังวัสดุอิสระของเสี้ยวหนึ่งของชิ้นส่วน AF และ AB ได้แสดงไว้ด้วยเพื่อให้เห็นชัดถึงแรงกระทำ และแรงปฏิกริยา จริงๆ แล้วชิ้นส่วน AB จะกดทางด้านซ้ายของรอยต่อถึงแม้ว่าเขียนแรงไว้ทางด้านขวา และชี้ออกจากสลัก ดังนั้น ถ้าเขียน แรงไว้ทางด้านที่มีชิ้นส่วนอยู่เป็นหลักเสมอแล้วแรงดึง (Tension) จะชี้ออกและแรงกด (Compression) จะชี้เข้าเสมอ ขนาดของแรง AF หาได้จากสมการ $\sum F_y = 0$ และ AB หาได้จากสมการ $\sum F_x = 0$ ต่อไปจึงทำการคิดที่สลักถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบางกรณีที่ไม่สามารถที่จะกำหนดทิศทางที่ถูกต้องของแรงที่ไม่ทราบค่าที่กระทำบนรอยต่อ เมื่อเป็นเช่นนี้สามารถที่จะกำหนดเช่นไรก็ได้ ค่าลบที่ได้หมายความว่าคำตอบที่ได้มีทิศทางตรงข้ามกับที่สมมุติไว้

เมื่อสามารถพิจารณาแรงทั้งหมดได้แล้วที่กระทำบนโครงสร้างได้แล้ว จากนั้นก็จะพิจารณาเลือกวัสดุเพื่อที่จะนำมาใช้ในการสร้าง โดยจะพิจารณาจากความเค้นและความเครียดที่จะเกิดในวัสดุหรือรอยเชื่อมจากแรงที่เข้ามากระทำ

4.1.2 วิธีการใช้ภาคตัด (Method of section) ข้อได้เปรียบของวิธีการใช้จุดต่อ คือการใช้สมการของการสมดุลเพียง 2 สมการเท่านั้น ทั้งนี้เพราะวิธีการเกี่ยวข้องกับระบบของแรงตัดกันที่จุดหนึ่ง แต่สำหรับวิธีใช้ภาคตัดสมการของโมเมนต์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยจากการเลือกภาคตัด (section) ที่ระบบของแรงไม่ได้ตัดกันที่จุดหนึ่ง ข้อได้เปรียบของวิธีการใช้ภาคตัดคือสามารถใช้หาแรงในชิ้นส่วนใด ๆ ได้โดยตรงจากการตัด section จากชิ้นส่วนนั้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเริ่มคำนวณจากสลักแรกไปถึงชิ้นส่วนที่ต้องการในการเลือกตัดภาคตัดมีข้อพึงสังเกตว่า ชิ้นส่วนไม่ทราบค่าของแรงจะต้องมีไม่เกิน 3 ค่า ในแต่ละภาคตัดเพราะว่ามีเงื่อนไขของการสมดุลเพียง 3 สมการเท่านั้น



รูปที่ 4-5 ภาคตัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปจะแสดงถึงวิธีการใช้ภาคตัดกับโครงถักในรูปที่ 4-5 ขั้นแรกหาแรงปฏิกริยาภายนอกโดยวิธีเช่นเดียวกับวิธีที่แล้วโดยการคิดโครงถักทั้งหมดเป็นวัตถุชิ้นเดียวเมื่อต้องการหาแรงในชิ้นส่วนใด เช่น BE ให้ตัดโครงถักออกโดยภาคตัดสมมติที่แสดงไว้ด้วยเส้นประดังรูปที่ 4-5 ภาคตัดนี้ ชิ้นส่วนทั้ง 3 ซึ่งยังไม่ทราบแรงเพื่อให้แต่ละส่วนของโครงถักที่ถูกตัดยังอยู่ในสภาวะสมดุล จึงจำเป็นที่จะต้องใส่แรงเท่ากับแรงที่ชิ้นส่วนที่ถูกตัดออกไปกระทำ แรงเหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นแรงดึงหรือแรงกดจะต้องอยู่ในแนวของชิ้นส่วนเสมอเพราะชิ้นส่วนเหล่านี้เป็นชิ้นส่วนรองรับ 2 แรง ส่วนที่ถูกตัดทางด้านซ้ายอยู่ในสมดุลภายใต้แรงกระทำต่าง ๆ ดังนี้ภาระ L แรงปฏิกริยา R_1 และแรงที่ชิ้นส่วนทั้ง 3 ที่ถูกตัดออกไป (ส่วนทางด้านขวา) กระทำทิศทางของแรงที่เขียนสามารถสังเกตได้จากเงื่อนไขสมดุลดังนั้นถ้าคิดโมเมนต์รอบจุด B สำหรับส่วนทางซ้ายจะเห็นได้ว่า แรง EFควรจะชี้ไปทางซ้ายซึ่งก็คือ แรงกด ภาระ L มีค่ามากกว่าแรงปฏิกริยา R_1 ดังนั้นแรง BE จะต้องชี้ขึ้นเพื่อให้สมดุลทางแนวดิ่ง แรง BE เป็นแรงดึง เพราะกระทำออกจากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน ด้วยการประมาณค่าของแรง R_1 และ L ไว้ในใจ แรง BC ควรจะไปทางขวาเพื่อการสมดุลของโมเมนต์รอบจุด E ซึ่งถ้าสังเกตดูจากโครงถักก็จะพบเช่นเดียวกันว่า ชิ้นส่วนในแนวราบทางด้านล่างจะต้องถูกดึงเนื่องจากการแอ่นตัวที่เนื่องจากโมเมนต์ดัด เมื่อใช้สมการของโมเมนต์รอบจุด B สามารถหา EF ได้ทันที เพราะแรงอื่นๆ ผ่านจุด B โดย BE หาได้จากสมการของแรงในแนวแกน y BC หาได้จากสมการโมเมนต์รอบจุด E ด้วยวิธีที่กล่าวมานี้แรงที่ไม่ทราบค่าทั้งสามสามารถหาได้โดยอิสระจากกัน

ส่วนของโครงถักทางด้านขวาอยู่ในสมดุลภายใต้แรงปฏิกิริยา R_2 และแรงในชิ้นส่วนที่ถูกตัดทั้งสาม ซึ่งมีทิศทางกระทำตรงกันข้ามกับเมื่ออยู่ในส่วนทางด้านซ้ายทิศทางของแรงในแนวราบดูได้จากการสมดุลของโมเมนต์รอบจุด B และ E

โครงถักทั้งสองส่วนนี้นำไปใช้คำนวณหาแรงได้เหมือนกัน แต่ส่วนที่แรงเกี่ยวข้องน้อยกว่าจะคำนวณได้ง่ายกว่า

สิ่งสำคัญคือจะต้องเข้าใจว่าในวิธีการใช้ภาคตัดนี้คิดส่วนของโครงถักทั้งหมดเป็นชิ้นเดียวอยู่ในสมดุล ดังนั้นแรงในชิ้นส่วนที่อยู่ภายในภาคตัดจะไม่นำมายุ่งด้วยการคำนวณ เพื่อให้วัตถุและแรงภายนอกที่กระทำเห็นได้ชัดจึงมักจะให้รอยตัดผ่านที่ชิ้นส่วนไม่ใช่ผ่านสลัก

ในวิธีการใช้ภาคตัดนี้สมการของโมเมนต์มีประโยชน์มาก และจุดศูนย์กลางของโมเมนต์นั้นมักจะเลือกจุดที่มีแรงผ่านมากที่สุด ซึ่งอาจจะอยู่ในหรือนอกส่วนที่ตัดก็ได้ เมื่อเขียนผังวัสดุอิสระของภาคตัดแล้ว ไม่เสมอไปนักที่จะทราบทิศทางที่ควรจะเป็นของแรงที่ไม่ทราบค่า เมื่อเป็นดังนี้จะสมมติเป็นเช่นใดก็ได้ ถ้าค่าที่ได้มีเครื่องหมายบวกแสดงว่าสมมติไว้ถูกถ้าได้เป็นเครื่องหมายลบแสดงว่าสมมติไว้กลับทิศ การกำหนดสัญลักษณ์ของชิ้นส่วนและแรงมักจะใช้ตัวอักษรที่อยู่ที่ปลายทั้งสองของชิ้นส่วนนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความเค้นและความเครียด (Stress and Strain)

4.2.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้น เป็นคุณสมบัติในการพิจารณาว่าวัสดุจะเกิดความเสียหายได้เมื่อใด โดยความเค้นคือแรงที่กระทำบนพื้นที่หนึ่งหน่วย มีหน่วยเหมือนกับความดันคือ Pa เมื่อมีความเค้นมากเกินกว่าความเค้นที่สามารถทนได้วัสดุก็จะเกิดความเสียหาย ได้อาจจะเกิดการยืดออกจนไม่สามารถกลับสภาพเดิมได้ หรือวัสดุอาจจะขาดได้ แรงที่มีขนาดมากไม่ได้เป็นตัวแปรเดียวที่จะทำให้วัสดุเสียหายได้แต่ยังขึ้นกับขนาดของพื้นที่ที่รับแรงด้วย ความเค้นมีด้วยกันสองชนิด คือ ความเค้นดึงหรือความเค้นอัด (Tension or compression stress และความเค้นเฉือน

สูตรการคำนวณหาค่าของความเค้นดึงหรืออัดคือ

$$\sigma = F/A \qquad (4.1)$$

โดยที่

F คือ แรงดึงหรือแรงอัด

A คือ พื้นที่ตั้งฉากที่มีแรงดึงหรืออัดมากระทำ

σ คือ ความเค้นดึงหรืออัด

สูตรการคำนวณความเค้นเฉือนคือ

$$\tau = F/A \qquad (4.2)$$

โดยที่

F คือ แรงเฉือน

A คือ พื้นที่ตั้งฉากที่มีแรงเฉือนมากระทำ

τ คือ ความเค้นเฉือน

โดยปกติมักจะเกิดความเค้นทั้งสองชนิด แต่ก็มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดแค่อย่างใดอย่างหนึ่ง

4.2.2 ความเครียด (Strain)

เมื่อเหล็กมีแรงดึงมากระทำจะทำให้เหล็กมีการยืดออก เราเรียกการยืดออกนี้ว่าความเครียด ระยะที่เพิ่มขึ้นต่อความยาวหนึ่งหน่วยคือหน่วยความเครียด(unit strain) อย่างไรก็ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเครียดก็คือหน่วยความเครียด แต่ความยาวที่ยืดออกทั้งหมดคือความเครียดทั้งหมด (total strain)

จากที่กล่าวมาสามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\varepsilon = \delta/l \qquad (4.3)$$

โดยที่

ε คือ ความเครียด

δ คือ ความยาวที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด

l คือ ความยาวทั้งหมด

การยืดตัวคือการที่วัสดุมีการยืดตัวออกและสามารถกลับสู่สภาพเดิมเมื่อนำแรงที่กระทำออก กฎของ Hooke กล่าวไว้ว่าความเค้นในวัสดุจะเกี่ยวข้องกับความเครียดที่เกิดขึ้น แต่ก็ไม่ได้เป็นจริงในวัสดุยืด (elastic material) ที่มีการยืดจนเสียรูปร่างเดิมหรือไม่สามารถคืนสภาพเดิมได้

เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\sigma = E\varepsilon \qquad (4.4)$$

$$\tau = G\gamma \qquad (4.5)$$

โดยที่

E คือ ค่าคงที่ที่เรียกว่า Modulus of elastic

G คือ ค่าคงที่ที่เรียกว่า Shear modulus of elastic

γ คือ ค่าความเครียดเฉือน (Shear strain)

4.3 ค่าความปลอดภัย (Factor of safty)

ในการพิจารณาความเค้นและความเครียด ค่าที่คำนวณได้อาจจะผิดจากตามความเป็นจริง เนื่องจากหลายๆ ตัวแปร เช่น พื้นที่หน้าตัดที่ไม่เท่ากัน แรงที่เปลี่ยนไป เป็นต้น ดังนั้นความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) ควรมีค่ามากกว่าความเค้นที่คำนวณได้จากแรง โดยค่าความปลอดภัยจะเป็นอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงของวัสดุกับความเค้นที่คำนวณได้ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n_d = \text{strength/ strain} \qquad (4.6)$$

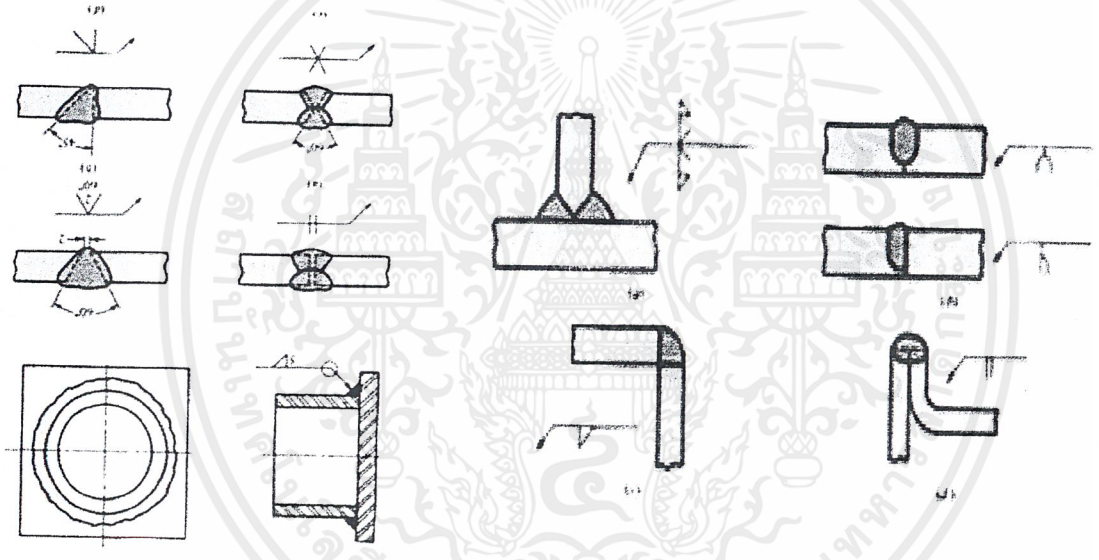
โดยที่

n_d คือ ค่าความปลอดภัยที่ออกแบบ

ค่าความปลอดภัยเราสามารถออกแบบได้เอง หรือสามารถใช้ค่ามาตรฐานที่มีการกำหนดมาให้

4.4 รอยเชื่อม (Welding)

ในการประกอบคานเหล็กเข้าด้วยกันการเชื่อมเป็นวิธีหนึ่ง รูปที่ 4-6 แสดงให้เห็นรอยเชื่อมแบบต่างๆ



รูปที่ 4-6 รูปแบบรอยเชื่อมแบบต่าง ๆ

รอยเชื่อมจะมีแรงมากระทำเหมือนกับคานเหล็กดังนั้นการพิจารณารอยเชื่อมก็จะพิจารณาความเค้นและความเครียดเหมือนกัน รูปที่ 4-7 แสดงให้เห็นรอยเชื่อมเป็นร่องตัว V (V-Groove weld) ที่มีแรง F มากระทำ เราสามารถหาความเค้นเฉลี่ยได้ดังสูตร

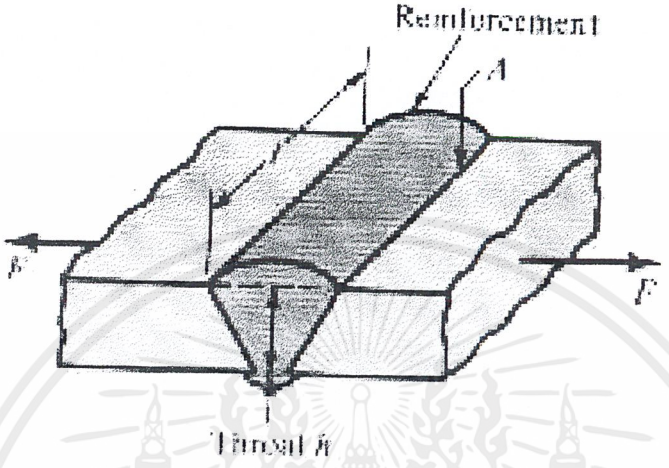
$$\sigma = F/hl \qquad (4.7)$$

แต่ถ้ามีแรงเฉือนมากระทำ สูตรความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมคือ

$$\tau = F/hl \qquad (4.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากความเค้นในรอยเชื่อมที่เกิดจากแรงทั้งสองแบบยังมีรูปแบบอื่นอีกมากมาย เช่นความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ดัด



รูปที่ 4-7 รอยเชื่อมรูปตัว V

ในการออกแบบโครงสร้างทั้งหมดของกังหันใช้ทฤษฎีมากมายเข้ามาช่วยในการคิด แต่ประสบการณ์ในการออกแบบจะช่วยให้การออกแบบได้เร็วขึ้น โดยคำแนะนำของอาจารย์ทำให้การออกแบบไม่จำเป็นจะต้องยึดติดกับทฤษฎีมากจนต้องคำนวณทุกขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ส่วนประกอบการติดตั้ง

ในบทนี้จะแสดงให้เห็นถึงส่วนต่างๆ ของกังหันลมนาเกลือ และการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ จากที่เราได้ออกแบบใบพัด ออกแบบโครงสร้าง และส่วนประกอบต่างๆ

5.1 ส่วนประกอบของกังหัน

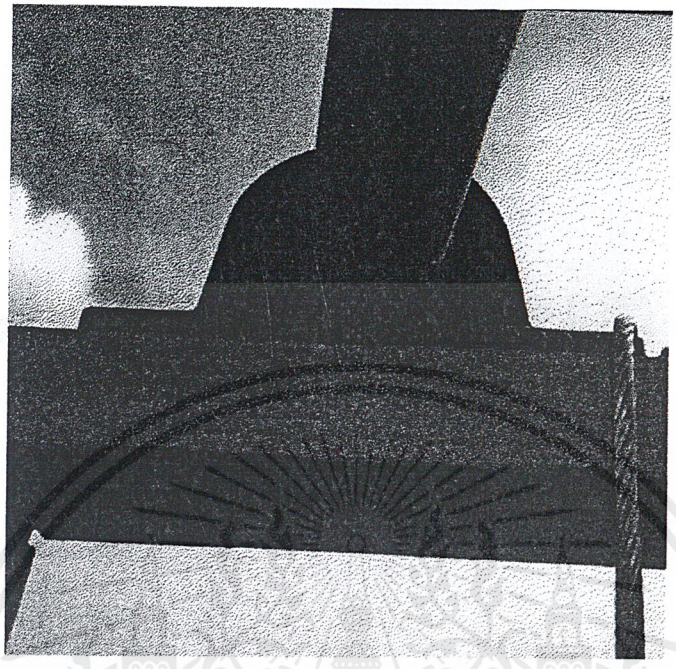
1. จานเหล็กแกนหมุนของใบพัด
2. แบริ่ง
3. โครงแบบ A-frame
4. เพลาหมุน
5. ผ้าใบจำนวน 6 ใบ
6. เหล็ก C beam สำหรับคานด้านล่างของ A-frame
7. ท่อเหล็ก รัศมี 2นิ้วจำนวน 6 ท่อน

5.2 ขั้นตอนการประกอบ

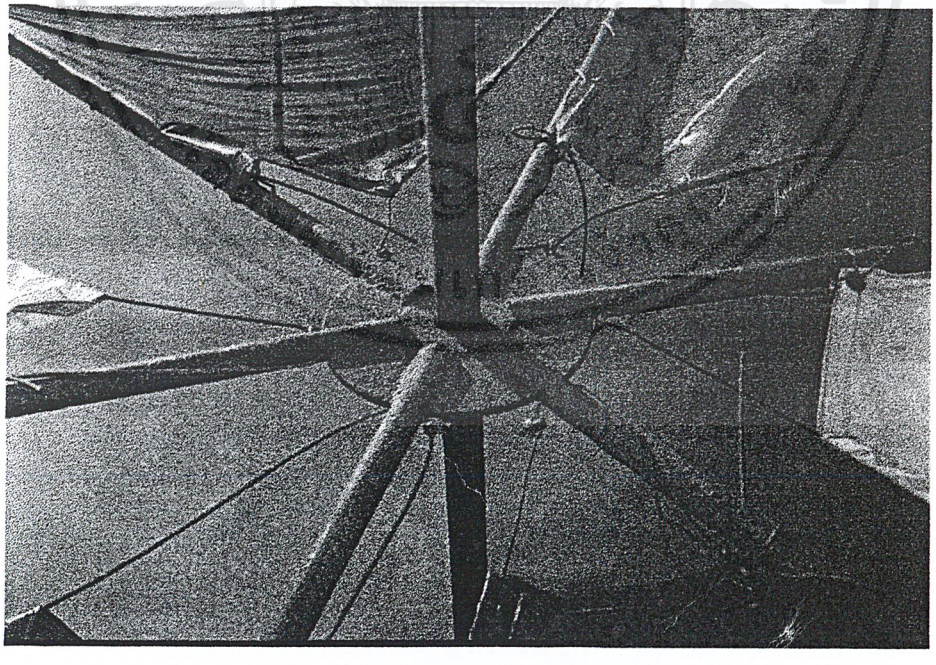
1. นำเหล็กที่ประกอบเป็นรูป A-frame แล้วทั้ง 2 ชิ้น มาเชื่อมต่อด้วยเหล็ก C beam ในส่วนที่เป็นฐานของกังหัน ด้วยวิธีการเชื่อมไฟฟ้า
2. นำท่อเหล็กรัศมี 2 นิ้วมาเชื่อมต่อกับจานเหล็กวงกลม โดยให้เหล็กแต่ละท่อนทำมุม 60 องศา
3. นำแบริ่งมาติดกับโครงที่ประกอบไว้แล้ว โดยใช้น๊อตยึด ทั้ง 2 ด้านของโครงเหล็ก
4. นำจานเหล็กมาสวมเข้ากับเพลา
5. นำเพลามาสวมเข้ากับแบริ่ง
6. ติดผ้าใบเข้ากับท่อเหล็ก โดยใช้ลวดสลิง ทำการปรับมุมของใบพัดด้วย U-bolt ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ภาพแสดงส่วนต่าง ๆ ของกังหัน

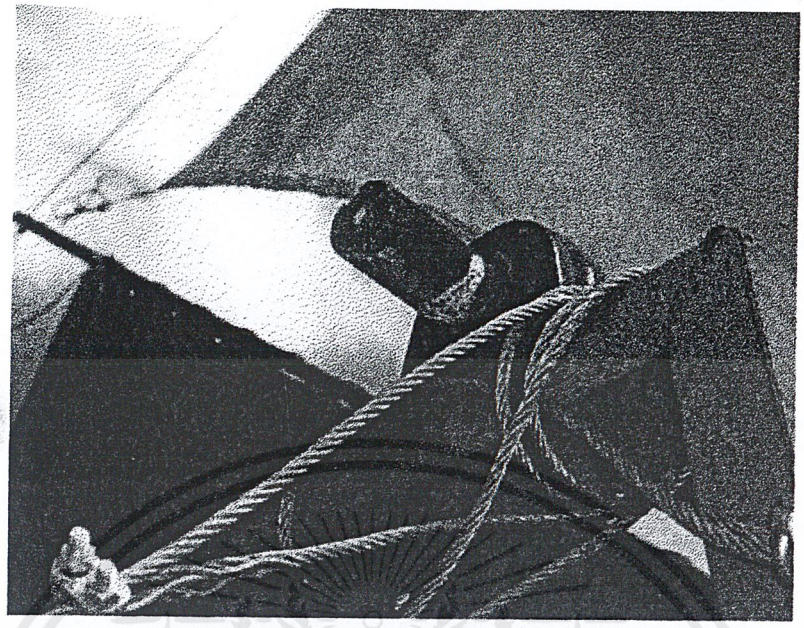


รูปที่ 5-1 เพลาและแบริ่งที่ยึดเพลา

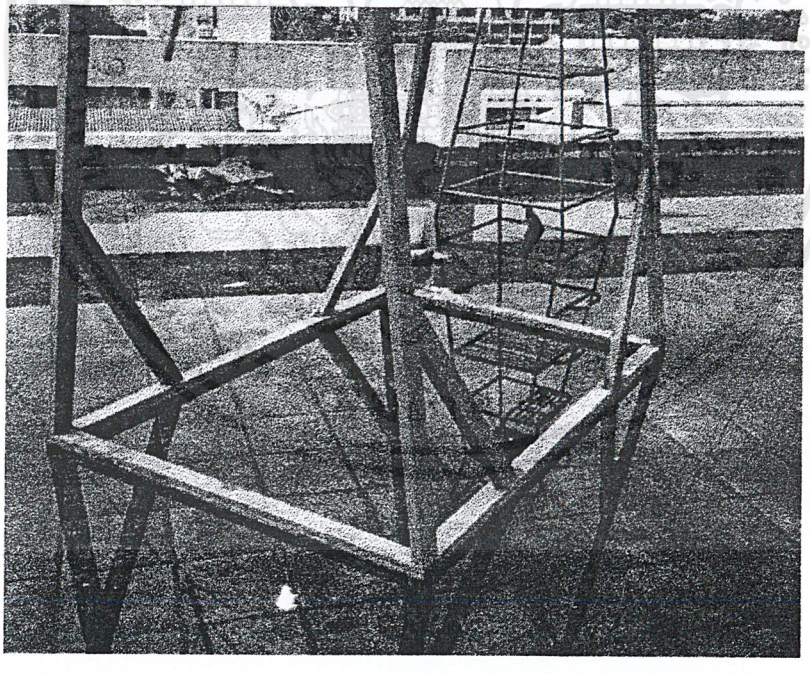


รูปที่ 5-2 จานเหล็กและท่อเหล็กที่ทำการเชื่อมเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

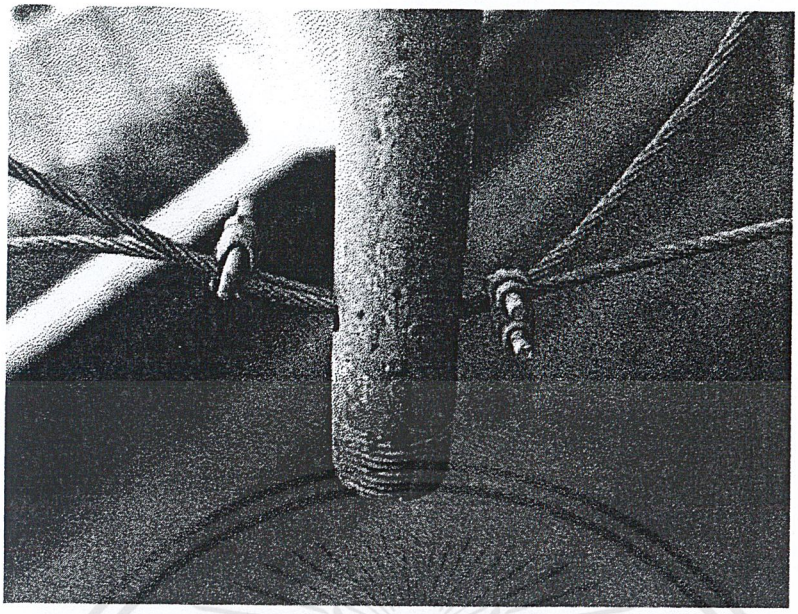


รูปที่ 5-3 ส่วนของปลายเพลาที่ยื่นออกมาสำหรับส่งกำลัง

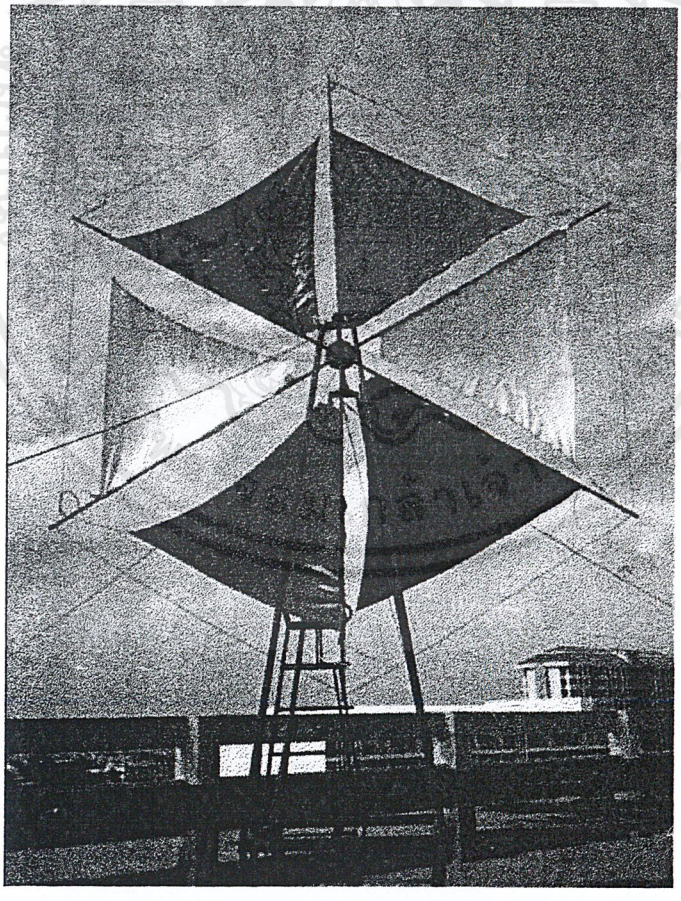


รูปที่ 5-4 โครงเหล็ก A-frame และเท้าแขนเสริมความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

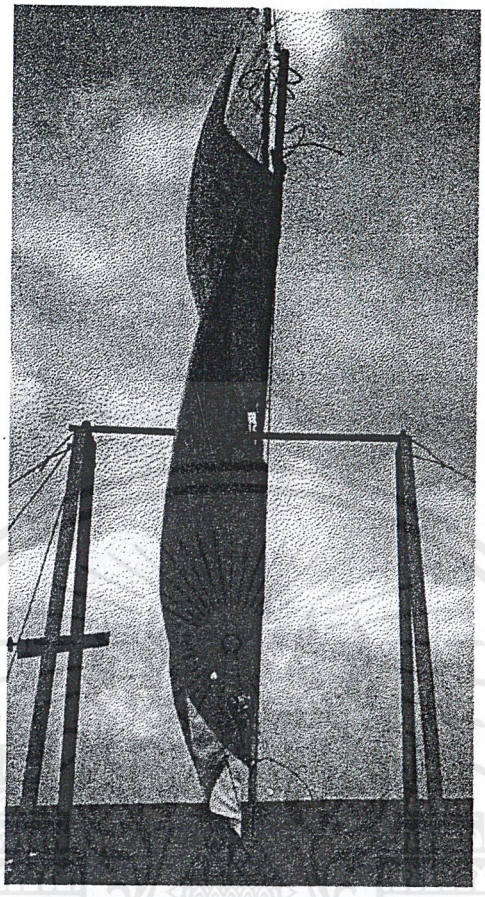


รูปที่ 5-5 การยึดลวดสลิงด้วย U-bolt

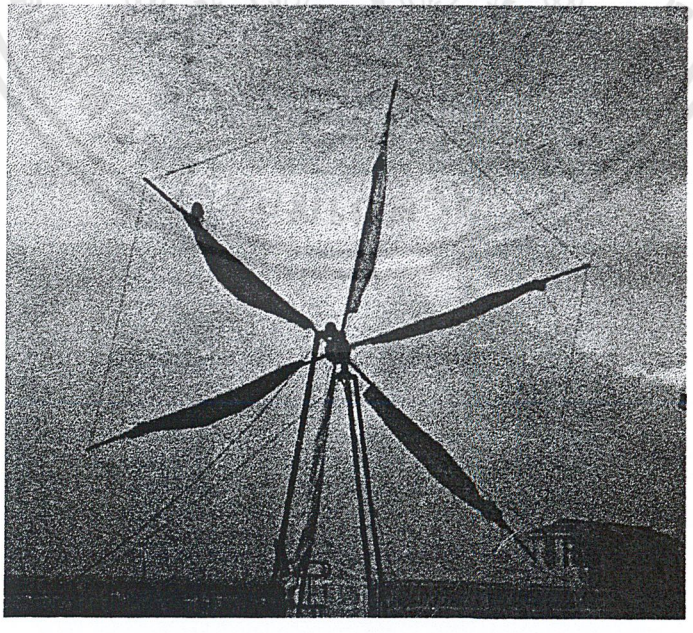


รูปที่ 5-6 กังหันลมที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-7 ภาพด้านข้างของกังหัน



รูปที่ 5-8 กังหันที่เก็บใบเมื่อทำการทดลองเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผล

6.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการวิเคราะห์หามุมองศาของใบพัดที่ให้ประสิทธิภาพของกังหันสูงสุด
2. เพื่อศึกษาถึงลักษณะของประสิทธิภาพกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆกัน

6.2 อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

1. โครงของกังหันที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว
2. ใบพัดของกังหันที่ทำจากผ้าใบจำนวน 6 ใบ
3. ลวดสลิงสำหรับทำการยึดผ้าใบเข้ากับโครงกังหัน และใช้ในการปรับมุม
4. U – Bolt ใช้ในการยึดลวดสลิง
5. เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)
6. เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

6.3 ทฤษฎีประกอบการทดลอง

สมมุติให้กังหันลมหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) ซึ่ง

$$\omega = 2\pi n \qquad (6.1)$$

ดังนั้นกำลังงานที่ได้รับจากการเปลี่ยนพลังงานลมมาเป็นพลังงานกล คือ

$$P = T\omega \qquad (6.2)$$

เมื่อ

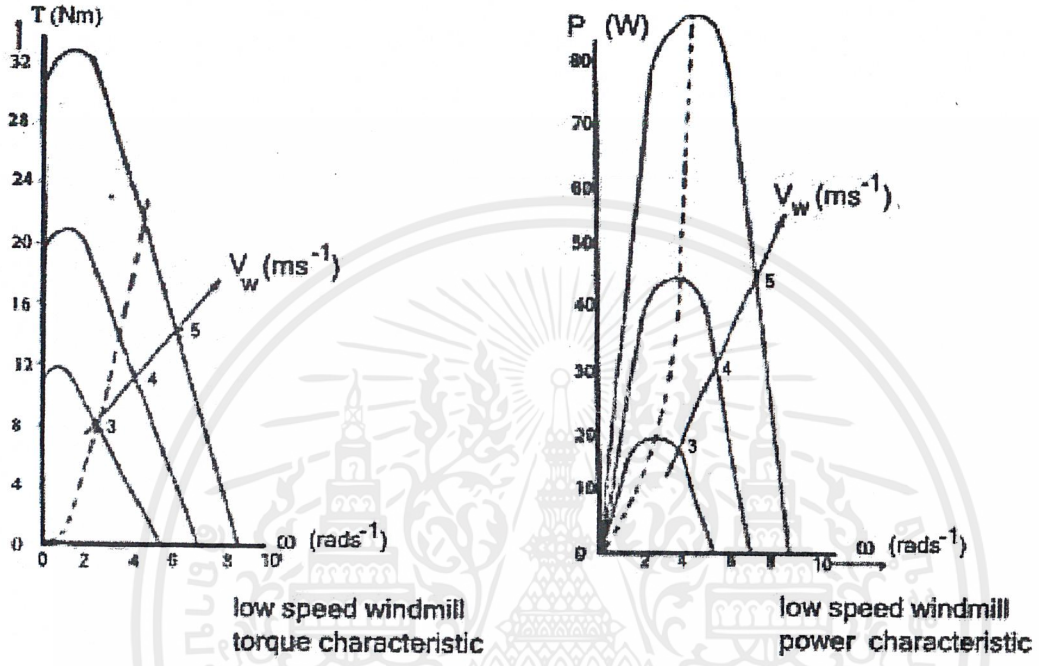
P คือ กำลังงาน (Power) (w)

T คือ แรงบิด (Torque) (Nm)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม (Angular Speed) (rad/sec)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (6.2) กำลังงานที่ได้รับเท่ากัน แต่อาจได้จากค่าของแรงบิดสูง ความเร็วเชิงมุมต่ำ หรือ แรงบิดต่ำ ความเร็วเชิงมุมสูงก็ได้ ฉะนั้นในการออกแบบกังหันลมที่ดีจำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน เพื่อให้สัมพันธ์กับแรงบิดและความเร็วเชิงมุมด้วย



รูปที่ 6-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ ω

- ขณะที่กำลังงานเท่ากันแต่สามารถได้มาจากค่าความเร็วเชิงมุมที่ต่างกัน
- กำลังงานสูงสุดจะเปลี่ยนไปตามค่าของความเร็วเชิงมุมกำลังสาม และแรงบิดก็จะเปลี่ยนไปตามความเร็วเชิงมุมกำลังสอง
- กำลังงานสูงสุดจะได้จากความเร็วเชิงมุมสูงกว่า แรงบิดสูง
- แรงเริ่มต้นสำหรับกังหันแบบความเร็วรอบสูง (High speed) จะมีค่าน้อยกว่ากังหันลมแบบความเร็วรอบต่ำ (Low speed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ขั้นตอนการทดลอง

เราแบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 หามุมของผ้าใบที่ได้ความเร็วรอบของกังหันสูงสุด

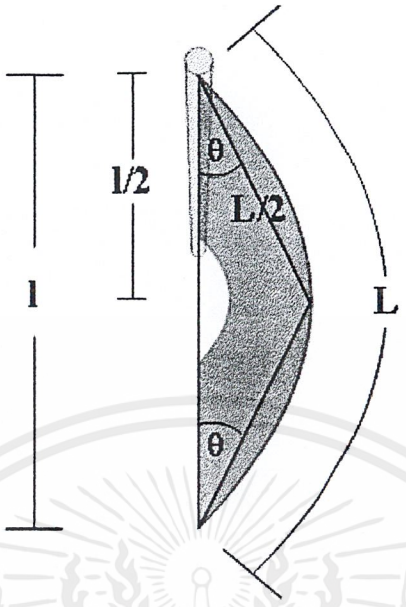
1. เริ่มจากการปรับมุมของผ้าใบไปที่ 15° โดยทำการปรับความตึงหย่อนของลวดสลิง
2. ปล่อยให้กังหันหมุนรับลม รอจนกระทั่งความเร็วลมมีค่าคงที่
3. ทำการวัดค่าของความเร็วรอบของกังหันที่ความเร็วลมนั้น
4. ทำการวัดค่าซ้ำเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย
5. บันทึกผลการทดลอง
6. ทำการทดลองซ้ำ แต่ให้ทำการเปลี่ยนมุมของผ้าใบให้มีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 5° ทำไปเรื่อยๆจนกระทั่งความเร็วรอบของกังหันมีค่าลดลง
7. นำข้อมูลที่ได้มาวาดกราฟ

ขั้นที่ 2 ความเร็วรอบของกังหันเมื่อใช้มุมของผ้าใบที่มีความเร็วรอบของกังหันสูงสุด ที่ความเร็วลมต่างๆกัน

1. ทำการปรับมุมของผ้าใบไปที่มุมที่มีความเร็วรอบของกังหันสูงสุด ที่ได้จากการทดลองในขั้นที่ 1
2. ให้กังหันหมุนที่ความเร็วลมต่างๆกัน
3. ทำการวัดค่าของความเร็วรอบของกังหันที่ความเร็วลมนั้น
4. ทำการวัดค่าซ้ำเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย
5. บันทึกผลการทดลอง
6. นำข้อมูลที่ได้มาวาดกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การปรับมุมของผ้าใบ</u>



รูปที่ 6-2 แสดงมุมของผ้าใบ

จากรูปที่ 6-2 เราจะทำการปรับมุมของผ้าใบ (θ) ได้โดยทำการปรับระยะของด้าน l ซึ่งเราจะใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$l = L \cos \theta \qquad (6.3)$$

เช่น เมื่อเราต้องการปรับมุมใบพัดที่มีความยาวด้าน (L) 250 เซนติเมตร ให้มีมุมของใบพัด (θ) อยู่ที่ 30° ทำได้โดยใช้สมการ 6.3

$$\begin{aligned} l &= L \cos \theta \\ &= 250 \cos 30^\circ \\ &= (250)(0.866) \\ &= 216.5 \text{ เซนติเมตร} \end{aligned}$$

จากนั้นให้ทำการปรับระยะของด้าน l ไปที่ 216.5 เซนติเมตร ก็จะได้มุมของใบพัดที่ 30° อย่างที่ต้องการ

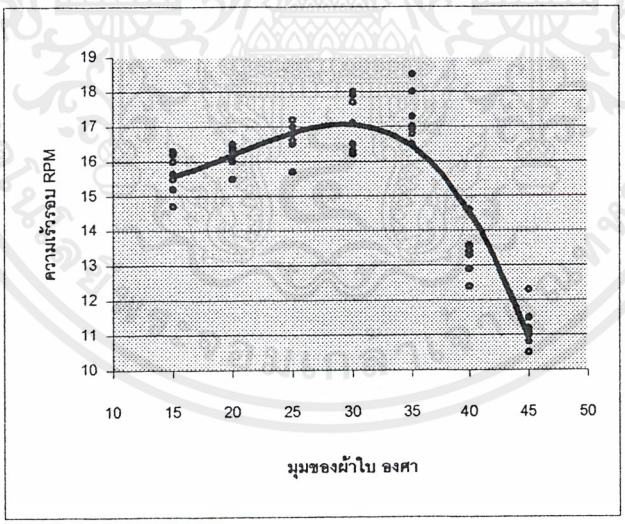
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 ผลการทดลอง

ผลการทดลองขั้นที่ 1

องศา	15	20	25	30	35	40	45
ครั้งที่ 1	15.65	16.18	16.50	17.10	17.28	13.57	11.20
ครั้งที่ 2	16.20	15.50	15.70	16.50	16.50	13.30	10.80
ครั้งที่ 3	16.00	16.30	16.60	16.30	16.90	12.40	12.30
ครั้งที่ 4	15.50	16.40	16.80	17.70	17.00	14.60	11.00
ครั้งที่ 5	16.30	16.50	15.70	17.90	18.00	14.60	10.50
ครั้งที่ 6	15.20	16.00	17.00	18.00	18.50	12.90	11.50
ครั้งที่ 7	14.70	16.35	17.20	16.20	16.78	13.40	11.10
$\bar{X}$	15.65	16.18	16.50	17.10	17.28	13.54	11.20

ตารางที่ 6-1 แสดงผลการทดลองขั้นที่ 1



รูปที่ 6-3 กราฟแสดงผลการทดลองขั้นที่ 1

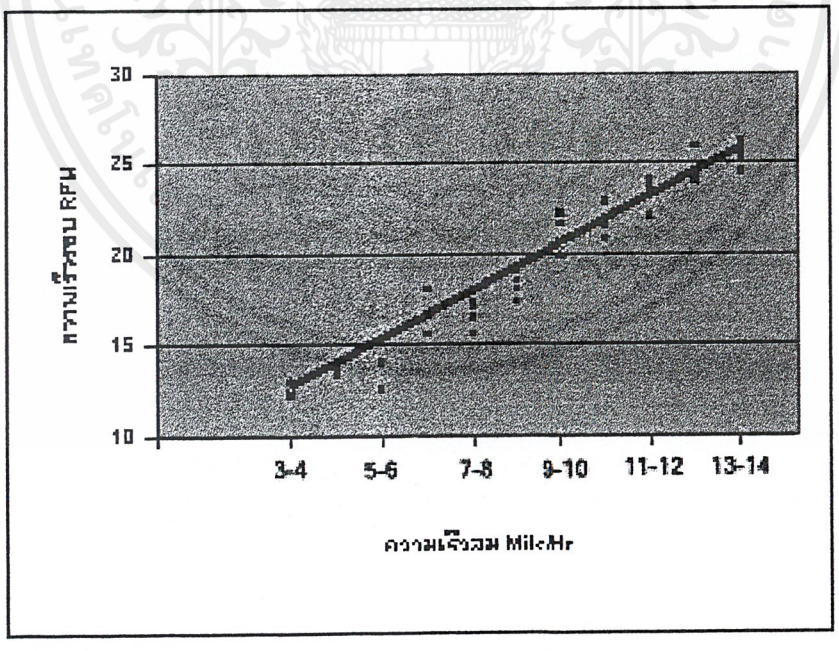
จากการทดลองขั้นที่ 1 นั้น จะเห็นว่าในตอนแรกนั้นเมื่อเราทำการเพิ่มขนาดมุมของใบพัดให้เพิ่มมากขึ้นความเร็วรอบของกังหันก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย จนกระทั่งเมื่อเพิ่มขนาดมุมของใบพัดมากกว่า 35° จะเห็นว่าค่าความเร็วรอบของกังหันจะมีค่าลดลง จากผลการทดลองเช่นนี้แสดงให้เห็นว่า มุมของใบพัดที่ให้ประสิทธิภาพของกังหันสูงสุดนั้นอยู่ที่ประมาณ 35° โดยเราจะใช้มุมนี้ในการทดลองในขั้นที่ 2 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองขั้นที่ 2

ความเร็วลม (miles/hour)	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14
ครั้งที่ 1	12.30	15.30	16.50	22.04	22.00	25.10
ครั้งที่ 2	13.74	14.00	16.40	20.20	24.00	25.50
ครั้งที่ 3	12.50	15.20	17.00	19.80	23.50	24.50
ครั้งที่ 4	14.00	12.50	15.56	22.28	23.80	26.10
ครั้งที่ 5	13.54	16.50	19.00	22.80	25.90	25.60
ครั้งที่ 6	12.03	18.00	18.01	22.90	24.10	25.00
ครั้งที่ 7	13.20	15.50	18.50	20.80	24.40	25.80
ครั้งที่ 8	12.84	15.00	17.27	21.50	23.90	26.20
$\bar{X}$	13.02	15.25	17.28	21.54	23.95	25.48

ตารางที่ 6-2 แสดงผลการทดลองขั้นที่ 2



รูปที่ 6-4 กราฟแสดงผลการทดลองขั้นที่ 2

จากการทดลองขั้นที่ 2 นี้ จะเห็นว่ากราฟระหว่างความเร็วลมกับความเร็วรอบของกังหันจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งจะตรงกับทฤษฎีจากรูปที่ 6-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุป และ วิจารณ์

เนื่องจากจุดประสงค์ของโครงงานนี้การสร้างกังหันเพื่อศึกษา และวิจัยการเปลี่ยนพลังงานลมมาใช้งานโดยใช้กังหันลมแบบนาเกลือ ซึ่งกังหันลมแบบนาเกลือนี้เป็นกังหันลมแบบแนวนอนมีความเร็วรอบต่ำ แต่สามารถให้แรงบิดที่สูงโดยปกติกังกันลมนาเกลือจะใช้ในการสูบน้ำทะเลเข้าสู่นาเกลือโดยอาศัยแรงลม

กังหันลมนาเกลือที่ใช้กันอยู่นั้นไม่ค่อยได้มีการศึกษาถึงการใช้งานให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยการที่จะทำให้กังหันลมสามารถให้ประสิทธิภาพสูงสุดนั้นมีปัจจัยหลายประการไม่ว่าจะเป็นขนาดของกังหัน รูปแบบ จำนวนใบหรือมุมของใบพัดเป็นต้น ซึ่งมุมของใบพัดเป็นปัจจัยที่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ราคาถูก จึงเหมาะสมที่จะศึกษาและพัฒนาเพื่อนำไปปรับปรุงกังหันลมนาเกลือที่มีอยู่ให้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เราจึงได้ทำการตั้งเป้าหมายที่จะทำการปรับมุมของใบพัดเพื่อหามุมที่ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด

โดยทั่วไปกังหันลมนาเกลือที่ใช้อยู่ทั่วไปมักจะมีขนาดใหญ่และมี 6 ใบ เราจึงได้ทำการออกแบบกังหันลมให้มีใบ 6 ใบใช้ผ้าใบเป็นวัสดุรับลม เนื่องจากผ้าใบสามารถหาได้ง่ายทนทาน และปรับเปลี่ยนมุมได้ง่าย กังหันมีขนาดรัศมีใบ 3 เมตรใช้โครงแบบ A-frame ในการรองรับส่วนของกังหันและเพลา

สำหรับที่ตั้งโดยทั่วไปกังหันลมนาเกลือจะได้รับลมบก ลมทะเล ในทิศทางที่แน่นอนและมีลมพัดสม่ำเสมอ เราจึงเลือกที่ตั้งที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ มีลมพอเพียงและมีทิศทางที่ค่อนข้างแน่นอน จึงเลือกที่จะทำการติดตั้งบนดาดฟ้าตึกเครื่องกล

จากการดำเนินงานสร้างกังหัน ศึกษา และวิจัย เราสามารถที่จะสรุปผลการดำเนินการดังนี้

1. การสร้างกังหันลมมีขนาดใหญ่จึงทำให้ยุ่งยากต่อการจัดสร้างและประกอบ อีกทั้งบริเวณที่ตั้งอยู่บนตึกเครื่องกล จึงทำให้ต้องมีการขนส่งชิ้นส่วนขึ้นไป และน้ำหนักของชิ้นส่วนที่มากจึงจำเป็นต้องแยกชิ้นส่วนแล้วจึงค่อยนำมาประกอบอีกครั้ง
2. ความเร็วลม การที่กังหันจะหมุนได้นั้นต้องอาศัยลมที่มีกำลังแรงเพียงพอและต้องมีความสม่ำเสมอ ณ จุดที่ตั้งกังหันลมควรต้องมีการศึกษาถึงลักษณะความเร็วของลม และปริมาณลมที่เกิดขึ้น เป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 1 ปีเสียก่อน แล้วนำค่าเฉลี่ยความเร็วของลมที่ได้วัดจากเครื่องวัดความเร็วลมหรือ แอนิโมมิเตอร์ไปใช้ในการทดลอง และออกแบบกังหันเพื่อออกแบบกังหันให้แข็งแรงพอ และการทดลองที่เหมาะสม โดย ณ ที่นี้ความเร็วลมที่วัดได้จากกรมอุตุนิยมวิทยามีความเร็วลมประมาณ 4-10 ไมล์/ชั่วโมง
3. ทิศทางลม เนื่องจากกังหันที่ออกแบบไม่สามารถหมุนตามทิศทางลม จึงต้องมีการหาทิศทางลมที่พัดผ่านเป็นประจำ โดยการสังเกตในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ในบางครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจจะต้องทำการหมุนกังหันเพื่อหาทิศทางลม เพื่อที่จะทำการทดลอง แต่กังหันมีขนาดใหญ่จึงควรจะพยายามหาทิศทางที่แน่นอนในช่วงเวลาหนึ่ง

4. ใบพัด เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่จะทำการศึกษาวิจัย จึงต้องมีการออกแบบใบพัดให้มีการปรับเปลี่ยนมุม ประกอบได้ง่ายทนทาน วัสดุที่เลือกใช้จึงเป็นผ้าใบตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ขนาด 2.5 เมตร และมีการติดตาไก่เพื่อทำการยึดกับแกนกังหันและทำการร้อยลวดสลิงผ่านเพื่อให้สามารถปรับมุมของใบได้ง่าย
5. การปรับผ้าใบ การปรับมุมของผ้าใบเป็นการยากมากที่จะปรับมุมของผ้าใบให้ได้มุมที่พอดีเนื่องจากผ้าใบมีความโค้งที่ไม่แน่นอน การปรับมุมจึงใช้การคำนวณในลักษณะเส้นตรงจึงทำให้มุมที่ทำการปรับอาจจะเป็นมุมที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง จึงถือได้ว่าเป็น error ที่เกิดขึ้นอันหนึ่ง จึงควรที่จะมีการหาวิธีที่ดีกว่านี้มาใช้ในการคิดคำนวณ
6. สรุปที่ตั้ง
    - มีความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีที่สูงพอ
    - ไม่มีสิ่งกีดขวางกระแสลม
    - ควรจะอยู่บนเนินที่เรียบ หรือ เป็นเกาะในทะเล หรือ เป็นที่ราบ
    - ช่องระหว่างภูเขา
    - มีทิศทางลมที่ค่อนข้างแน่นอน
7. การทดลองเนื่องจากต้องทำการทดลองในช่วงความเร็วลมคงที่ ทำให้ต้องลำบากในการรอกระแสลมที่จะพัดเข้ามาให้มีความเร็วลมอยู่ในช่วงหนึ่ง จึงค่อยทำการทดลองได้ ในบางครั้งต้องทำการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้งเพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง และหาค่าเฉลี่ยของลม บางวันลมมีทิศทางเปลี่ยนไปอาจทำให้ผลการทดลองเปลี่ยนไปด้วย
8. จากการทดลอง จะได้ค่าองศาที่เหมาะสมที่สุดของกังหันที่สร้างขึ้นคือ 35 องศา ซึ่งที่ 35 องศานี้จะได้ความเร็วรอบมากที่สุด เมื่อสังเกตผลการทดลองจะพบว่าความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าปรับมุมของผ้าใบมากขึ้น จนถึงมุม 35 องศา ถ้าปรับมุมมากกว่า 35 องศาแล้ว ความเร็วรอบจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด
9. สรุปผลการทดลอง ประสิทธิภาพที่แท้จริงของกังหันสามารถหาได้ถ้าทำการวัดหาค่าแรงบิดของเพลาได้ ซึ่งจะหาค่าประสิทธิภาพได้จาก อัตราส่วนของพลังงานที่ได้จากเพลา ต่อ พลังงานที่ได้จากลม ซึ่งเป็นจุดที่ควรศึกษาอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Jack Park , "Simplified Wind Power System For Experiment"
2. Bames W. McCormick , "Aero Dynamics, Aeronautics and Flight Mechanics"
3. Robert W. Fox,Allan T. McDonald , "Introduction to Fluid Mechanics"
4. Joseph Edward Shigley,Charles R. Mischke , "Mechanical Engineering Design"
5. กฤตยชญ์ ทิพย์วัลย์ , พีรศิลป์ อัครเดชเรืองศรี , ธีรยุทธ เจริญไพบูลย์กิจ , "การพัฒนากังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า" ปริญญานิพนธ์ปี 2542 ของภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้