สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T042464

การพัฒนากังหันลมแนวตั้งเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า

DEVELOPMENT OF AXIAL TURBINE FOR GENERATOR

โดย

นายปกรณ์ เอนกพรพิบูล

นายสลิลสักดิ์ วิสวกุล

นายสุขุม อร่ามเจริญ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ร.ศ.ทวี เทศเจริญ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42464
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 การพัฒนากังหันลมแนวตั้งเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า

DEVELOPMENT OF AXIAL TURBINE FOR GENERATOR

ผู้จัดทำ

1.นายปกรณ์ เอนกพรพิบูล รหัสประจำตัว 40010416

2.นายสลิลศักดิ์ วิศวกุล รหัสประจำตัว 40010830

3.นายสุขุม อร่ามเจริญ รหัสประจำตัว 40010865

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ร.ศ. ทวี เทศเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนากังหันลมแนวตั้งเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า

ปกรณ์ เอนกพรพิบูลย์
สลิลศักดิ์ วิศวกุล
สุขุม อร่ามเจริญ
ร.ศ. ทวี เทศเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้จัดทำเพื่อทดลองศึกษาการทำงานของกังหันลมแนวตั้งซึ่งสามารถปรับองศาของใบพัดในการรับลมได้เพื่อใช้ปั่นกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมและการเกษตรกรรม สำหรับความเร็วลมต่างๆกัน การคำนวณและการออกแบบกังหันลม ได้ใช้ความรู้ในด้านอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic) และทางกลศาสตร์ (Mechanic) โดยดัดแปลงจากกังหันลมทั่วไป ให้มี 3 ชั้น และ ทำจากวัสดุที่หาง่าย เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of Axial Turbine for Generator

Pakorn Anekpornpiboon
Salinsak Visavakul
Sukhum Aramjarean
Thavee Teschareon Advisor

Abstract

This thesis created for experiment an axial turbine which able to adjust vane angle , that's generating an electricity for Agriculture and Industrial .The wind turbine is designed according to the experimental data acquired from simplified wind power system for experiment , aerodynamic and mechanics .This axial turbine be adapted from general electricity to 3 storey and invent form usually material to received maximum useful for generating electricity .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องมาจากความกรุณาจาก ร.ศ.ทวี เทศเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางตลอดจนวิธีการแก้ปัญหา ขอขอบคุณ อาจารย์มณฑา เทียมเมือง สำหรับคำแนะนำต่างๆและเครื่องมือในการทำงาน และขอขอบคุณเพื่อนๆและทุกๆคนที่มีส่วนร่วมในการทำงานทั้งหมดนี้ให้สำเร็จ

ปกรณ์ เอนกพรพิบูล
สลิลศักดิ์ วิศวกุล
สุขุม อร่ามเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ลม (Wind)	2
2.1 ความเร็วลมเฉลี่ย	3
2.2 ความเร็วลมที่ความสูงใด ๆ	4
2.3 เครื่องมือวัดความเร็วลม	4
บทที่ 3 กังหันลม (Wind mill)	7
3.1 กังหันลมแบบแกนหมุนในแนวตั้ง	7
3.2 กังหันลมแบบแกนหมุนในแนวนอน	9
3.3 ประสิทธิภาพของกังหันลม	10
3.4 การเลือกสถานที่ตั้ง	11
3.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยกำลังลม	14
3.6 การคำนวนกำลังงานจากกังหันลม	15
บทที่ 4 โครงสร้าง	18
บทที่ 5 ทฤษฎีและแนวคิดในการออกแบบกังหันลมแนวตั้ง	29
5.1 สิ่งที่ใช้ในการพิจารณาเบื้องต้น	29
5.2 แนวคิดและการออกแบบ	29
5.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวนชิ้นส่วนโครงสร้างและอุปกรณ์ต่าง ๆ	31
บทที่ 6 ส่วนประกอบและการติดตั้ง	41
6.1 ส่วนประกอบ	41
6.2 ขั้นตอนการประกอบและติดตั้ง	45
บทที่ 7 ผลการทดลอง	49
7.1 การวัดแรงบิด	50
7.2 การหาประสิทธิ (Turbine Efficiency)	52
บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์การทดลอง	53
ภาคผนวก	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ขนาดระบุของเพลาตามมาตราฐาน ISO/R775-1969	34
5.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานแบน ตามมาตราฐาน	39
5.3 ขนาดสายพานลิ่มและล้อสายพานลิ่ม ตามมาตราฐาน	40
7.1 แสดงค่าของความเร็วลมและความเร็วรอบของเพลาที่วัดได้	49
7.2 แสดงผลการทดสอบแรงบิดและประสิทธิภาพ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบการทำงานของกังหันลม	3
2.2 ตัวบอกทิศทางลม	4
2.3 ส่วนประกอบของแอนิโมมิเตอร์ชนิดถ้วย	5
2.4 ส่วนประกอบของแอนิโมมิเตอร์ชนิดผลิตกระแสไฟฟ้า	6
3.1 แสดงภาพด้านบนของกังหันลมแบบ 2, 3 และ 4ใบ	7
3.2 แบบของกังหันลมหมุนในแนวตั้ง	8
3.3 แบบของกังหันหมุนในแนวนอน	10
3.4 ผลกระทบของลมจากพื้นที่ต่าง ๆ ณ ความเร็วต่าง ๆ	11
3.5 อัตราการเร่งของลมผานเนินเขา	12
3.6 ผลของการจัดเรียงของกังหันลมในความเร็ว ณ ความสูงต่าง ๆ	12
3.7 การดูแลปฏิบัติในการเลือกทำเลที่ตั้ง	12
3.8 ข้อเสนอชนิดของภูมิประเทศที่เหลี่ยนแปลงไปสำหรับการทดลองของการเพิ่มความเร็วลม	13
4.1 แสดงรูปโครงถักแบบต่าง ๆ	18
4.2 ลักษณะของโครงถัก	19
4.3 ชิ้นส่วนรับสองแรง	20
4.4 แรงในชิ้นส่วนรับสองแรง	20
4.5 แนวศูนย์กลางของชิ้นส่วน	21
4.6 โครงถักรับแรง	21
4.7 ส่วนรับแรงดึงและแรงกด	22
4.8 ไดอะแกรมของแมกซ์เวลล์	23
4.9 ภาคตัดแรง	24
4.10 ลักษณะแรงต่าง ๆ	25
4.11 ลักษณะแรงในโครงถัก	26
5.1 แสดงลักษณะของกังหันที่ทำการออกแบบในขั้นเบื้องต้น	29
5.2 แสดงลักษณะของใบพัดในแต่ละชุดของกังหันซึ่งมีลักษณะเป็นแบบซาโวเนียส	30
5.3 แสดงการปรับมุมระหว่างกังหันแต่ละชุด	30
5.4 รูปท่อกลมผนังบาง ผ่าตลอดความยาว	32
5.5 ลักษณะการขับสายพานแบบต่าง ๆ	37
6.1 แสดงใบพัดของกังหันลม	41
6.2 แสดงเพลากลางของกังหันลม	42
6.3 แสดงการใช้งานของแบริ่ง	42
6.4 แสดงโครงสร้างของกังหันลม	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 แสดงแขนของใบพัดกังหัน 43
6.6 แสดงการติดตั้งพู่เล่ขนาด 24 นิ้ว 44
6.7 แสดงพู่เล่ขนาด 2.5 นิ้ว 44
6.8 แสดงโครงสร้างของกังหันลม 45
6.9 แสดงการติดตั้งใบพัดกับแขน 45
6.10 แสดงการประกอบใบพัดเข้ากับเพลากลาง 46
6.11 แสดงการติดตั้งแบริ่ง 46
6.12 แสดงการประกอบใบพัดกับโครงสร้าง 47
6.13 แสดงชุดทดรอบ 47
6.14 แสดงการติดตั้งชุดทดรอบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 48
7.1 แสดงชุดทดสอบแรงบิด 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันนี้ ประชากรของโลกเรานั้นมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นผลให้การใช้ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงานและทรัพยากรธรรมชาติเหล่านั้นอย่างเห็นได้ชัด เช่นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งโดยมากจะใช้เชื้อเพลิงจากธรรมชาติ อาทิเช่น โรงไฟฟ้าซึ่งเชื้อเพลิงแบบฟอสซิล หรือ ถ่านหิน เป็นต้น หรือโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งที่จำเป็นต้องมีเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าก็จะต้องใช้พลังงานจากน้ำมัน หรือก๊าซ ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานที่สิ้นเปลืองหรือที่เรียกว่า ทรัพยากรประเภทใช้แล้วหมดไป และโรงงานเหล่านี้ก็ได้ก่อตั้งเพิ่มมากขึ้นทุกวันเพื่อตอบสนองกับอุปสงค์ของประชากรโลกที่สูงขึ้นอย่างมาก และด้วยเหตุเหล่านี้เอง จะพบได้ว่าปัจจุบันจะมีการรณรงค์การประหยัดพลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเราได้ตระหนักถึงปัญหาต่างที่เกิดขึ้น จึงได้ทำการคิดค้นการนำพลังงานลมซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด, บริสุทธิ์และใช้แล้วไม่หมดไป มาใช้ประโยชน์โดยการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากกระแสลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเราได้ทำการประดิษฐ์ และ คิดค้นกังหันลมในแนวตั้งโดยมีหลักการดังนี้

เมื่อกังหันลมรับลมจะเกิดแรงหมุนขึ้นที่เพลาโดยความเร็วรอบของเพลาที่หมุนจะมีค่าน้อยเราจึงต้องทำการทดรอบโดยการใช้ประโยชน์จากพูเล่ และใช้สายพานถ่ายแรงเพื่อทำให้ความเร็วรอบเหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยเนื่องจากความเร็วลมจะมีค่าไม่คงที่ แต่เราสามารถทำการวัดค่าความเร็วในหลายๆช่วงเวลาและ ทำการหาความเร็วลมเฉลี่ย เพื่อนำมาใช้ในการคำนวนต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

ลม(Wind)

ลม หมายถึง มวลของอากาศที่มีการเคลื่อนที่ จัดว่าลมเป็นพลังงานแบบหนึ่งโดยการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ เกิดขึ้นได้โดยเนื่องจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะลอยตัวสูงขึ้น ความกดอากาศต่ำ ทำให้ความหนาแน่นลดลง อากาศบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ความกดอากาศสูง จะไหลเข้าไปชดเชยให้ความหนาแน่นเท่ากัน การที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงถูกโลกเพียงด้านเดียวเสมอ เป็นผลให้อุณหภูมิของผิวโลกในแต่ละภูมิประเทศแต่ละแห่งไม่เท่ากัน จึงทำให้มีลมเกิดขึ้นตลอดเวลาหรือกล่าวได้ว่าลมคือการเคลื่อนที่ของอากาศนั่นเอง ซึ่งความเร็วลมของลมแตกต่างกันไปแล้วแต่ลักษณะภูมิประเทศและ ณ ระดับความสูงต่าง ๆ ก็จะมีความเร็วลมต่างกัน ซึ่งสูตรการคำนวณความเร็วลม ณ ระดับต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$V_x = V_f (h / 30)^{1/n} \qquad (1.1)$$

เมื่อ

V_x = ความเร็วลมที่ระดับความสูง ณ ระดับที่ต้องการทราบ

V_f = ความเร็วลมที่ระดับอ้างอิง 30 ฟุต

h = ความสูงเหนือพื้นดิน

1/n = เป็นค่าประมาณของการเพิ่มกำลัง

ปริมาณที่แทนค่าสำหรับค่า n ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ

N = 7 ในกรณีที่พื้นที่เป็นที่โล่งแจ้ง ในชนบทในทุ่งนา หรือที่ภูมิประเทศเป็นคลื่นเล็กน้อย

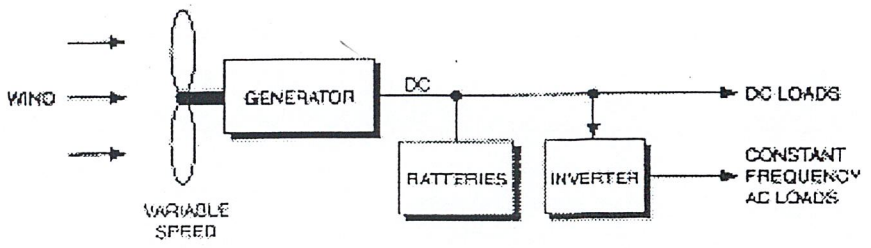
N = 5 ในกรณีที่พื้นที่เป็นคลื่นอย่างมากและมีสิ่งกีดขวาง

N = 3 ในกรณีที่เป็นพื้นรอบเมืองและใกล้รอบเมืองและพื้นที่เต็มไปด้วยสิ่งกีดขวาง

การนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์นั้นจะต้องเปลี่ยนรูปพลังงานให้เป็นพลังงานกลหรือพลังงานไฟฟ้าเสียก่อน โดยใช้ประโยชน์ของกังหันลมเป็นตัวแปลงพลังงาน โดยในที่นี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนพลังงานลมเป็น พลังงานที่อยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีหลักการดังนี้

เมื่อลมพัดจะทำให้กังหันลมที่ทำการออกแบบไว้นั้นหมุน ซึ่งแกนของกังหันจะหมุนไปด้วยซึ่งจะทำให้เกิดความเร็วรอบขึ้น จากนั้นเราทำการทดรอบโดยใช้ พูเล่ถ่ายแรงผ่านสายพานให้ได้ความเร็วรอบเหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อนำมาเรคติฟายด์ (rectify) ให้เป็น กระแสตรง แล้วทำการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป (ดังรูปที่2. 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 รูปแบบการทำงานของกังหันลม

แต่เนื่องจากความเร็วลมจะมีค่าไม่คงที่ โดยองค์ประกอบที่มีส่วนในการกำหนดความเร็ว และทิศทางของความเร็วลมนั้นมีตัวแปรหลายอย่าง แต่เราสามารถทำการคาดคะเนความเร็วและทิศทาง ของลมในช่วงเวลาหนึ่งๆได้จากสถิติข้อมูลที่มีการบันทึกไว้อย่างต่อเนื่อง

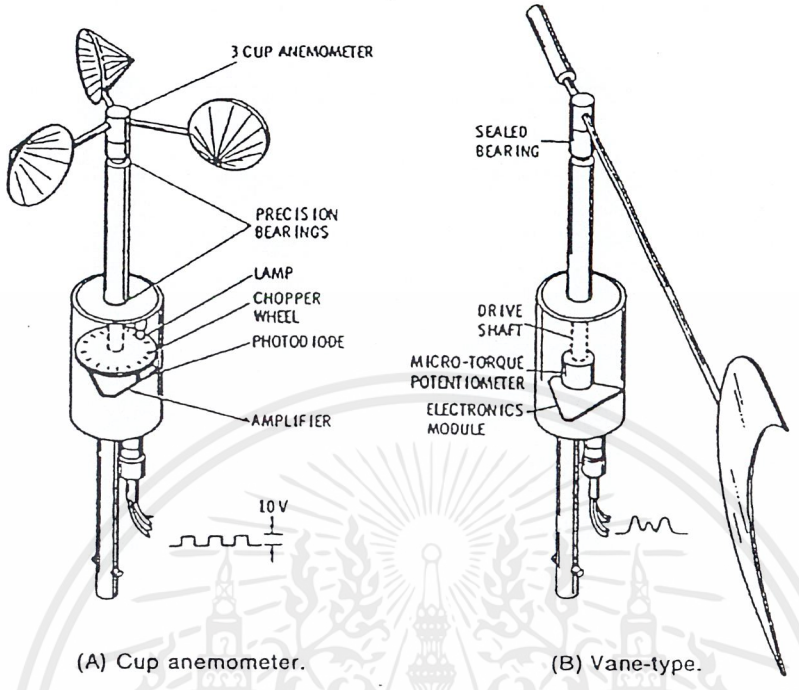
2.1 ความเร็วลมเฉลี่ย

การที่เราสามารถจะกำหนดพลังงานลมให้แน่นอนลงไปนั้นไม่ได้ เพราะว่าลมมีความเร็วไม่คงที่ จึงต้องมีการตรวจสอบความเร็วลมตลอดเวลา และในการใช้งานจริง ๆ เราจะหาความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งก็พอแล้ว ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของลม (Wind Characteristic) ส่วนมากนั้นสามารถกำหนดรูปแบบได้ในกรณีที่ลมมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบเดียว เรียกว่า "Prevalent winds" ถ้ามีลักษณะการเคลื่อนที่มากกว่าหนึ่งแบบเรียกว่า " Energy winds" แบบแรกจะเกิดขึ้นในช่วงเวลานานกว่าแบบที่สอง ส่วนแบบที่สองนั้นให้พลังงานออกมามากที่สุดในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน

Prevalent winds นั้นจะเกิดประมาณ 5 วันต่อสัปดาห์ และมีความเร็วประมาณ 8-24 Km/hr ส่วนแบบ Energy winds เกิดประมาณ 2 วันต่อสัปดาห์มีความเร็วประมาณ 16-40 Km hr จะกล่าวได้ว่า ลมที่พัดในช่วงเวลา 30% มีกำลังงานมากกว่าลมที่พัดในช่วงเวลา 70%

วิธีง่าย ๆ ในการกำหนดความเร็วลมเฉลี่ย คือนำข้อมูลจากสถานีวัดลมมาพิจารณา แต่ประเทศไทยยังมีข้อมูลอยู่น้อย ดังนั้น ถ้ามีอุปกรณ์วัดความเร็วลม แอนิโมมิเตอร์ (Anemometer) และทิศทางลม (Wind direction) ก็สามารถทำการทดสอบเองได้ โดยทดสอบในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น หนึ่งเดือน หนึ่งปี แล้วหาความเร็วเฉลี่ยออกมา จะพบว่าความเร็วลมที่สามารถให้พลังงานออกมาได้เพียงพอ และไม่เป็นอันตรายแก่อุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในช่วง 20-40 Km/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตัวบอกทิศทางลม

2.2 ความเร็วลมที่ความสูงใด ๆ

ความเร็วลมในระยะความสูงต่าง ๆ กัน ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากัน เช่นความเร็วลมที่สูงจากพื้นดินขึ้นไป 100 ฟุต จะมีความเร็วลมเพิ่มขึ้น เป็น 2 เท่าของความเร็วเหนือพื้นดิน

สูตร ที่ใช้หาความเร็วที่ความสูงต่าง ๆ กัน ณ บริเวณหนึ่ง ๆ

$$\frac{v}{va} = \frac{\left(\frac{z}{za}\right)^{0.27960+0.03265\ \ln za}}{} + Va^{0.10528\ \ln za - (0.09831 + 0.055021\ \ln z + 0.00642\ \ln z\ \ln za)}$$

เมื่อ

v = ความเร็วลมที่ความสูง z

Va = ความเร็วลม za ที่หาได้จากแอนิโมมิเตอร์

2.3 เครื่องมือวัดความเร็วลม

เครื่องมือวัดความเร็วลมและทิศทางลม เป็นสิ่งสำคัญในการวิจัยพลังงานลมเพื่อที่จะให้ได้สถานที่ตั้งที่เหมาะสมในการที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด

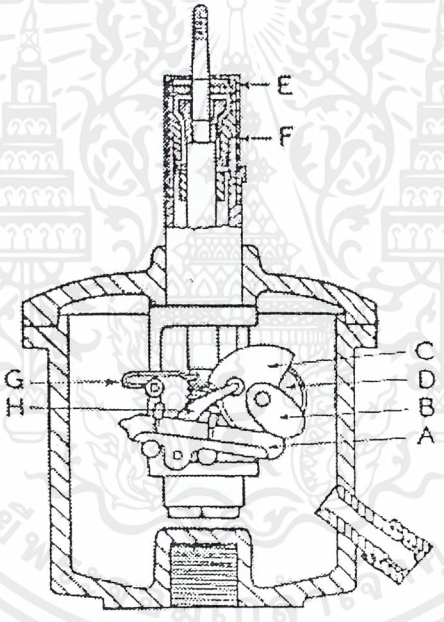
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอนิโมมิเตอร์ (Anemometer) คือ เครื่องมือวัดความเร็วลมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบบถ้วย (Cup Anemometer) ซึ่งเรียกว่า Robinson Cup Anemometer ตามชื่อผู้ที่พัฒนาขึ้นใช้ คือ T.H. Robinson

แอนิโมมิเตอร์แบบนี้จะมีลักษณะ คือ ตัวหมุนประกอบด้วนแกนตามแนวตั้งซึ่งมีแขนตามแนวนอน 3 หรือ 4 อัน ติดอยู่โดยทำมุมซึ่งกันและกัน ที่ปลายแขนจะมีลูกถ้วยติดอยู่ ลูกถ้วยอยู่ในแนวตั้งผ่านแกนหมุนและด้านนูนของลูกถ้วยจะเป็นทิศทางการหมุนและการหมุนไม่ขึ้นกับทิศทางลม

แอนิโมมิเตอร์ในปัจจุบันแบ่งได้ตามอุปกรณ์ที่สร้างเป็น 2 ชนิด คือ แบบ Mechanic และ แบบ Electronic แบบ Mechanic ที่ใช้อยู่ตามสถานีตรวจอากาศมีอยู่ 2 แบบ คือ

2.3.1 **Contact – type Anemometer** แบบมาตรฐานทั่วไป ใช้เป็นแบบลูกถ้วย 3 ใบ เป็นตัวหมุนปลายของ แกนหมุนตามแนวตั้งจะเป็นเฟืองเกลียว ซึ่งจะไปทำให้หลอดแก้วที่บรรจุปรอททำหน้าที่ Electrical contact ทุก ๆ ครั้งที่ลมผ่านไป 1/20 ไมล์



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของแอนิโมมิเตอร์ชนิดถ้วย

จากรูปที่ 1.3 เป็นโครงสร้างภายในของแอนิโมมิเตอร์ชนิดนี้

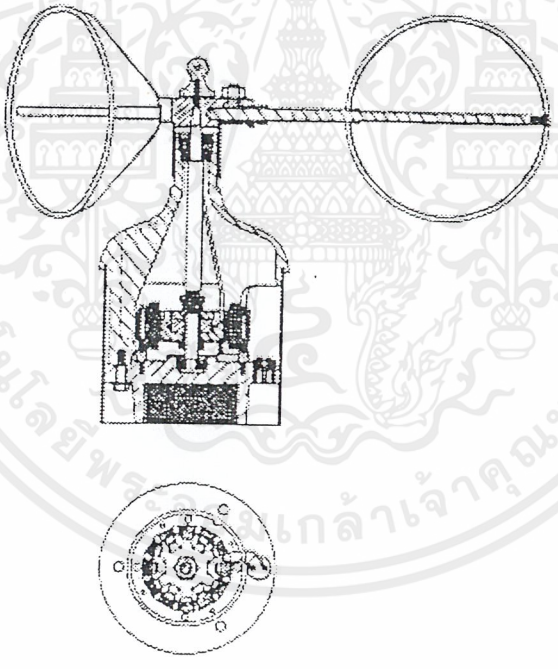
A คือ เมอร์คิวรี่สวิตช์ , B เป็นลูกเบี้ยวที่ไปกระดก A ให้ทำงาน ซึ่ง B จะหมุนไปตามลูกน้ำหนัก C ลูกน้ำหนัก C หมุนสูงขึ้นได้ด้วยการดันของกระเดื่องบนเฟืองล้อซึ่งต่อประสานอยู่กับเฟืองเกียร์และลูกน้ำหนัก C จะตกลงเมื่อเคลื่อนขึ้นถึงตำแหน่งสูงสุด สำหรับเมอร์คิวรี่สวิตช์นั้นต่ออยู่กับวงจรแบตเตอรี่เพื่อให้ Telephone message refistor ทำงาน แต่อาจจะใช้ electro – magnetic recorder แบบอื่นแทนได้ เครื่องมือชนิดนี้วัดความเร็วลมได้เที่ยงตรงที่ช่วงความเร็ว 0.2 – 0.3 เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 Cup – generator Anemometer แบบนี้วัดความเร็วลมได้อย่างต่อเนื่องเป็นไมล์ต่อชั่วโมงแบบล่าสุดที่ใช้อยู่มีลักษณะเป็นแบบตัวหมุนเป็นลูกถ้วยรูปกรวย 3 ใบ เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ติดกับแขนสั้น ๆ ใช้กับบอลแบริ่ง

ปลายของแกนหมุนตามแนวตั้งประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร 11 ขั้ว ล้อมรอบด้วยสเตเตอร์ที่พันด้วยขดลวดที่มีความต้านทานต่ำทั้งหมดนี้ประกอบขึ้นเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้แรงดัน 10 โวลต์ ที่ 100 รอบ/นาที สำหรับเครื่องอ่านเป็น moving – voil volmeter หมุนได้ 240 มีสเกลเป็นไมล์ต่อชั่วโมงวัดได้ 5 – 100 ไมล์/ชม. และให้กระแสสลับสูงสุด 5 มิลลิแอมป์

นอกจาก แอนิโมมิเตอร์แบบลูกถ้วยที่ใช้แมคคานิคแล้ว ยังมีแบบอิเลคโทรนิคซึ่งเป็นแบบค่อนข้างใหม่ ดังรูปที่ 1.4 เป็นแบบอิเลคโทรนิค ที่ปลายข้างหนึ่งของแกนหมุนติดกับวงล้อกลมที่เจาะรูโดยรอบ แสงจะส่องจากหลอดไฟผ่านรูของวงล้อไปตกกระทบบนโฟโต้ไดโอดโดยเมื่อลมแรงวงล้อจะหมุนเร็วทำให้แสงตกโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น แอมพลิไฟล์ ซึ่งมีโฟโต้ไดโอดประกอบด้วยอยู่จะมีระดับสัญญาณออกสูง ซึ่งสัญญาณออกถูกส่งผ่านสายไปยังเครื่องอ่านหรือบันทึกต่อไป ราคาโดยประมาณของแอนิโมมิเตอร์นี้มีราคาประมาณ 1.5 – 3 หมื่นบาท



รูปที่ 1.4 ส่วนประกอบของแอนิโมมิเตอร์ชนิดผลิตกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

กังหันลม (Wind mill)

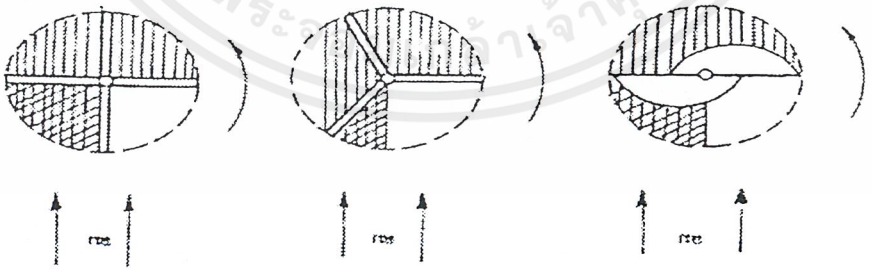
ในการที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ เราจำเป็นต้องมีเครื่องแปลงพลังงานลมให้เป็นพลังงานรูปอื่น ซึ่งได้แก่กังหันลม ในทางทฤษฎี พลังงานที่ได้จากลม โดยผ่านทางกังหันลมจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเพียง 59.3% โดยกังหันลมแบบต่าง ๆ นั้นจะให้กำลังงานออกมาได้น้อยหรือมากเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ ขนาดและการออกแบบ กังหันที่มีประสิทธิภาพต่ำจะมีขนาดใหญ่กว่าชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า

กังหันลมแบ่งตามแกนหมุนได้ 2 แบบ คือ

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

3.1 กังหันลมแบบแกนหมุนในแนวตั้ง

กังหันลมแบบนี้แกนหมุนของใบพัดจะตั้งฉากกับพื้นดิน กังหันลมแบบนี้มีคุณสมบัติ คือ สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง น้ำหนักของใบจะทิ้งลงในลักษณะสมมาตร (Symmetry) และไม่มีผลต่อความกว้างของใบ เมื่อเพิ่มแกนหมุน (moment arm) ไม่เป็นปัญหาต่อการติดตั้งฐาน การหมุนของใบจะอยู่ในแนวระนาบเดียวกันกับทิศทางลม ดังนั้นแรงปะทะจะเป็นแรงที่ทำให้เกิดการหมุนโดยตรง ซึ่งทำให้การใช้ประโยชน์จากแรงปะทะมีมากขึ้น ส่วนเสียของกังหันลมแบบนี้ คือ ลักษณะการวางใบไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกใบในเวลาเดียวกัน เนื่องจากมีส่วนใบที่บังลมอยู่ และยังมีส่วนใบที่ถูกลมปะทะทำให้เกิดแรงต้านการหมุนขึ้นอีกด้วย



ก. แบบ 2 ใบ ข. แบบ 3 ใบ ค. แบบ 4 ใบ

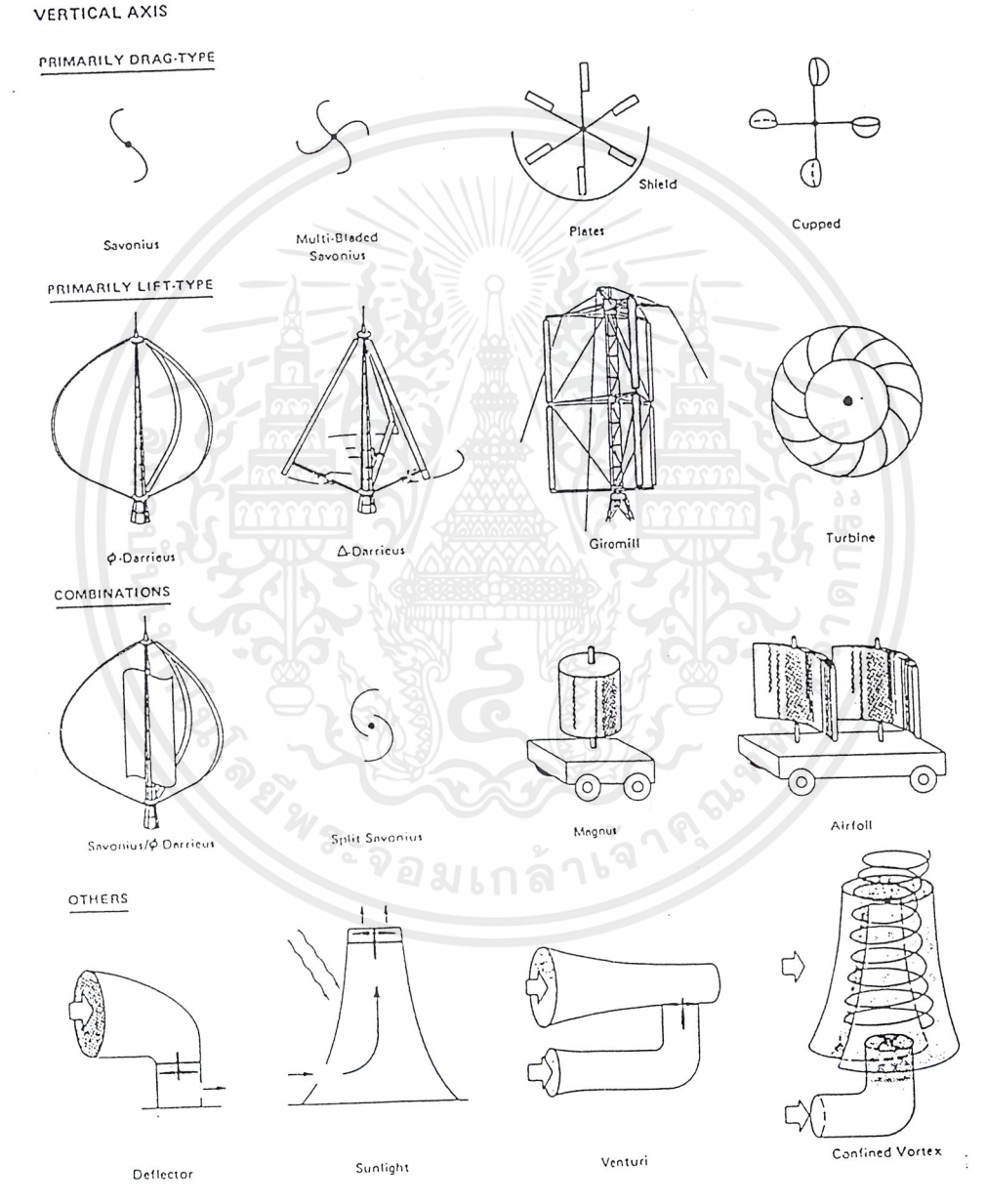
รูปที่ 3.1 แสดงภาพ ด้านบนของกังหันลมแบบ 2, 3 และ 4 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบของกังหันลมชนิดที่มีแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง

3.1.1 แบบซาโวเนียส หรือ เอสโรเตอร์ (Savonius or S.Rotor) เป็นกังหันลมชนิด 2 ใบ การหมุนเกิดจากการที่ลมปะทะทางด้านเว้า แล้วทำให้ใบหมุนรอบแกน กังหันแบบนี้มีแรงบิดบนแกนสูง ให้พลังงานค่อนข้างคงที่ แต่ความเร็วรอบต่ำ ส่วนมากนำไปใช้งานทางด้านกล เช่น เครื่องสูบน้ำ

3.1.2 แบบดาเรียส (Darrious) กังหันลมแบบนี้จะมีความเร็วรอบสูง แต่จะมีแรงบิดเริ่มต้นต่ำ ฉะนั้นจะต้องมีตัวช่วยเริ่มต้นการหมุนในขณะไม่มีลมหรือลมแรงไม่พอ



รูปที่ 3.2 แบบของกังหันลมหมุนในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน

กังหันลมแบบนี้จะมีแกนหมุนของใบพัดขนานกับพื้นดิน คุณสมบัติของกังหันลมแบบนี้คือ ใบของกังหันสามารถรับลมได้เต็มที่ และจะให้กำลังงานมากกว่าแบบแรกเมื่อเทียบขนาดเท่า ๆ กัน เพราะว่าแบบนี้มีพื้นที่หน้าตัดของส่วนรับลมของกังหันชนิดนี้เทียบเท่าแบบหมุนในแนวตั้ง กังหันแบบนี้มีความซับซ้อนมาก ติดตั้งลำบากต้องหันตัวกังหันลมเข้าสู่ทิศทางที่ลมผ่าน ใบพัดมีลักษณะอยู่ในแนวตั้งยึดติดกับเดือยของแกนหมุนในแนวนอน จำนวนใบพัดมีได้ตั้งแต่ 1 ใบขึ้นไป

เนื่องจากแบบแกนนอนรับลมทางเดียว จึงต้องมีเครื่องมือทำให้ตัวกังหันหันเข้าสู่ทิศทางลม และถ้าลมแรงมากก็จะเสียหายมากกว่าแบบหมุนแกนตั้ง จึงต้องออกแบบใบพัดให้มีลักษณะที่สามารถพับใบพัดหรือเบี่ยงเบนใบพัดออกจากทิศทางลมในช่วงเวลานั้น

แบบของกังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวนอน

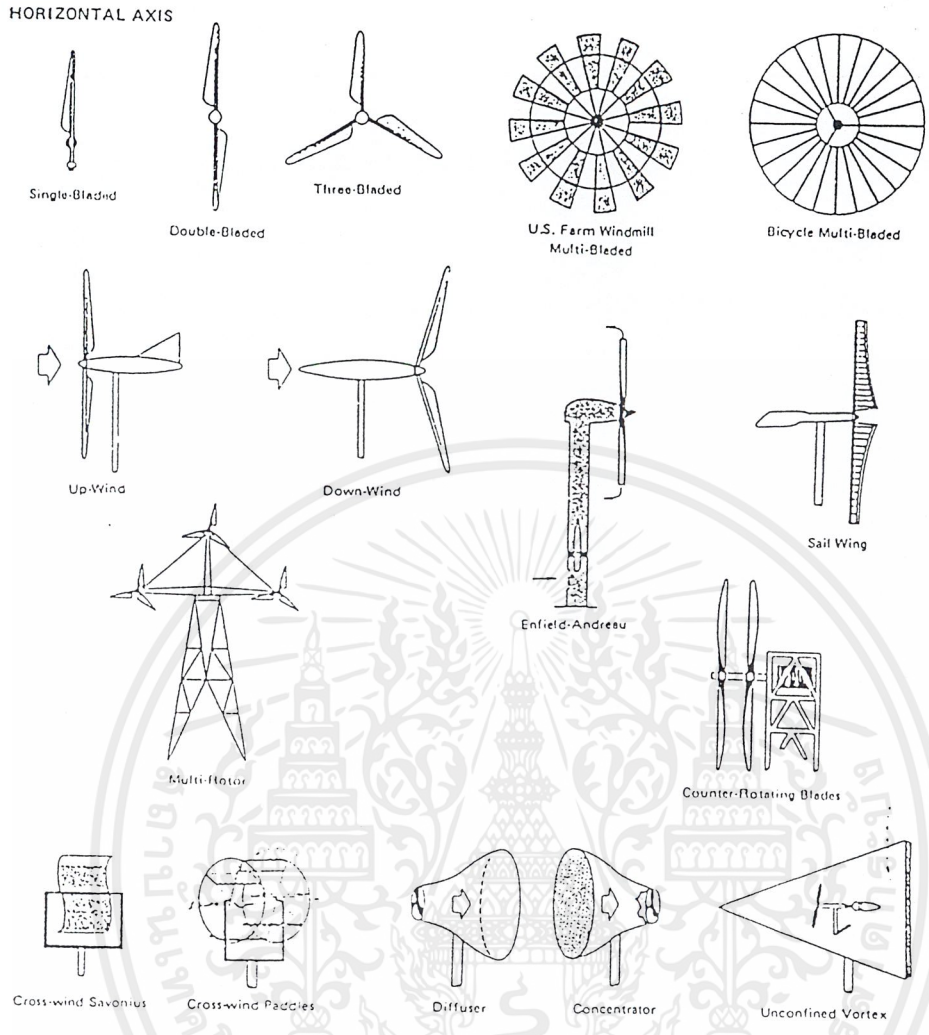
3.2.1 แบบที่มีจำนวนใบไม่มาก คือมีใบตั้งแต่ 2 – 4 ใบ กังหันลมแบบนี้จะมีความเร็วรอบสูง คือประมาณ 300 รอบ/นาที หรือมากกว่า แต่แรงบิดเริ่มต้นต่ำ ดังนั้นกังหันลมแบบนี้จึงควรใช้ในที่ที่มีความเร็วลมพอประมาณจนถึงความเร็วลมสูง เมื่อมีความเร็วลมสูงจึงนิยมนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องการความเร็วรอบสูง

3.2.2 แบบที่มีจำนวนใบมาก กังหันลมแบบนี้จะให้แรงบิดเริ่มต้นสูง แต่ความเร็วรอบค่อนข้างต่ำ ดังนั้นกังหันประเภทนี้จึงเหมาะที่จะใช้งานทางกล เช่น ชุดระหัดวิดน้ำ ปั๊มน้ำ เป็นต้น

การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกังหันลมทั้ง 2 แบบ

กังหันลมแนวตั้ง	กังหันลมแนวนอน
ข้อดี	
- รับลมได้รอบด้าน	- มีพื้นที่รับลมมากกว่า เมื่อน้ำหนักเท่ากัน
- น้ำหนักตกลงบนฐานสมดุลกว่า	- มีประสิทธิภาพสูง
- เริ่มหมุนได้เองที่ความเร็วต่ำ	- มีแรงบิดรอบแกนสูง
- ระบบการผลิต ส่งกำลัง ทำได้ง่าย ราคาถูก	- รอบจัดกว่าเมื่อความเร็วเท่ากัน
- เพิ่มแขนการหมุนได้ไม่จำกัด	- รอบหมุนคงที่กว่า
ข้อเสีย	
- ไม่สามารถรับลมได้ทุกใบ	- มีปัญหาในการหมุนใบรับทิศทางลมที่เปลี่ยนไป
- เกิดแรงต้านการหมุน	- มีปัญหาในการประกอบใบพัดกับฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แบบของกังหันหมุนในแนวนอน

3.3 ประสิทธิภาพของกังหันลม

กังหันลมสามารถเอากำลังงานจากลมโดยตรง โดยการลดความเร็วลมให้ช้าลง ถ้ากังหันลมสามารถทำให้ลดความเร็วจากเดิมจนหยุดได้โดยสมบูรณ์แล้วคือ ความเร็วของลมหลังจากผ่านกังหันแล้วกลายเป็นศูนย์ จะได้พลังงานจากลม 100% แต่จริง ๆ แล้วกังหันลมไม่สามารถทำให้ลมที่พัดผ่านหยุดได้ กำลังลมมากที่สุด ทางทฤษฎี ที่กังหันลมสามารถรับเอาไว้ได้จะเป็น 59.3% ของกำลังทั้งหมด หมายความว่าสามารถลดความเร็วลมลงได้ประมาณ 3 ส่วนของความเร็วต้นเท่านั้น ดังนั้นกังหันลมที่สามารถเอากำลังงานจากลมออกมาได้มากที่สุด 59.3% จึงถือว่ามีประสิทธิภาพ 100%

กังหันลมมีประสิทธิภาพ 75% เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ 75% กำลังงานกลของกังหันลมสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 33.34% คือ

75% ของกังหันลม คือ 75% ของ 59.3% = 0.75×59.3

75% ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า = $0.75 \times 59.3 \times 0.75 = 33.34\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าประสิทธิภาพนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกังหันลม การออกแบบและการสูญเสียของระบบเฟืองต่าง ๆ ในกรณีที่ใช้สำหรับทดรอบความเร็วให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเห็นได้ชัดว่า 0.1 – 0.4 (10% - 40%) ไม่มากกว่านี้ ค่านี้กำหนดให้เป็น Efficiency factor ของกังหันลม ใช้สัญลักษณ์ E ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดกังหันและ speed ratio โดย speed ratio ของกังหันขึ้นอยู่กับการหมุนของกังหันและความเร็วลมที่พัดผ่าน การหมุนของกังหันหมายความว่า ส่วนประกอบของใบพัดบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางมีการหมุนช้า ๆ ขณะที่ส่วนปลายของใบพัดหมุนเร็ว อัตราส่วนการหมุนขึ้นอยู่กับรัศมีใบพัดและความเอียงใบพัด

จากลักษณะการหมุนที่กล่าวแล้วสามารถกำหนดอัตราส่วนการหมุนของความเร็วซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการออกแบบกังหัน ให้ค่านี้เป็น u/v เมื่อ

u = ความเร็วของกังหันลมที่มีใบพัดเอียงทำมุมเอียงในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง

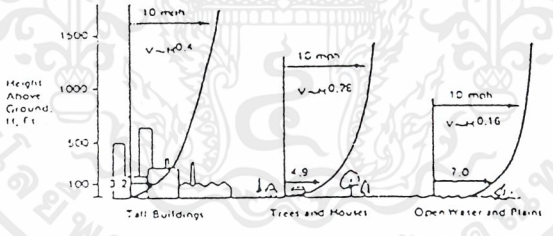
v = ความเร็วลมที่พัดผ่านกังหัน

ค่า u/v นี้ประมาณ 1-2 เมื่อกังหันหมุนช้า และเท่ากับ 5-7 หรือ 8 เมื่อกังหันหมุนเร็ว

3.4 การเลือกสถานที่ตั้ง

ต้องใช้ความระมัดระวัง เพราะมีแรงเฉือนกับแรงกดในแนวตั้งฉากกับแนวระดับของกระแสลม เมื่อกระแสลมพัดผ่านไปบนพื้นที่ของโลก แรงเฉือนนี้จะมีผลเมื่อกระแสความเร็วต่ำใกล้ผิวโลกมากกว่าที่สูงขึ้นไป ในกรณีเฉพาะ คือ เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระที่สูงมากพอที่จะทำให้ไม่มีผลของผิวการเฉือน

กฎทั่วไป คือ ความเร็วที่ใกล้ผิวโลกจะเพิ่มเป็นกำลังเศษหนึ่งส่วนเจ็ดของความสูงเหนือผิวโลกเหนือระดับน้ำดังรูปที่ 2.4

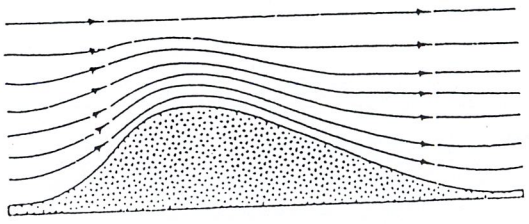


รูปที่ 3.4 ผลกระทบของลมจากพื้นที่ต่าง ๆ ณ ความเร็วต่าง ๆ

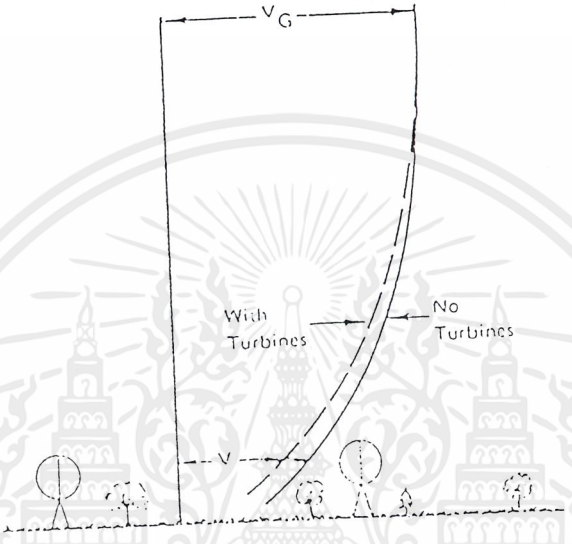
แต่อย่างไรก็ตาม แรงตามแรงเฉือนลมหรือกำลังลมที่ได้จะมีความเรียบของผิวโลกอีกด้วย ถ้าในพื้นที่นั้นมีตึกสูง ๆ สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ หรือ สิ่งที่กีดขวางอย่างอื่นความเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมต่อความสูงเหนือระดับพื้นดินจะมีค่ามากกว่าในกรณีที่เป็นที่ราบ ดังรูปที่ 3.5, 3.6 และ 3.7

ผลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ กระแสลมจะมีความเร่งเพิ่มขึ้นเมื่อพัดผ่านเนินหรือหุบเขาแคบ ๆ ดังรูป 3.8 ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มพลังงานที่ได้ออกมาของกังหันลมในสถานที่เช่นนี้เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด

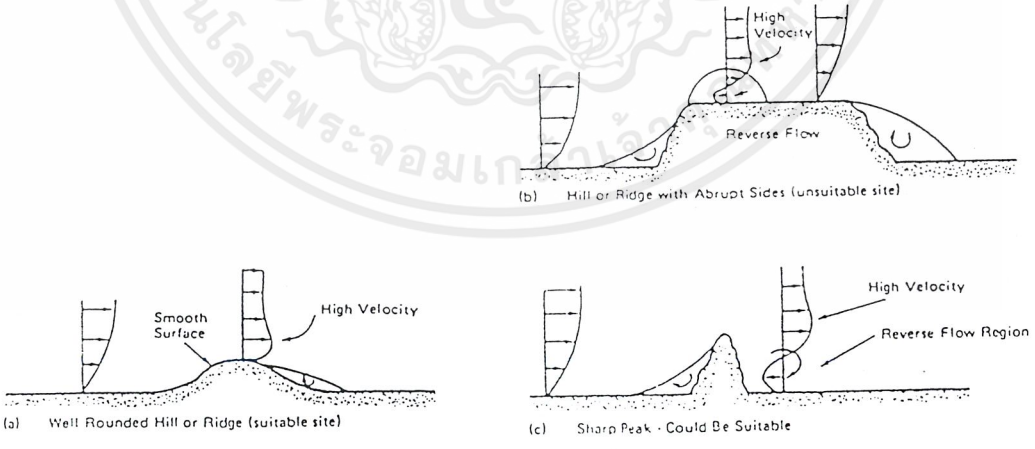
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 อัตราการเร่งของลมผ่านเนินเขา

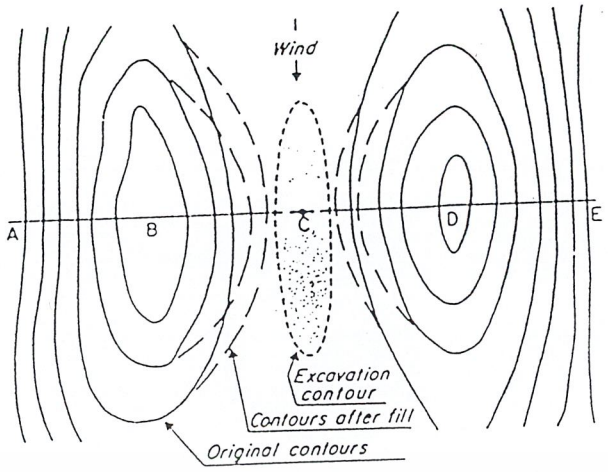


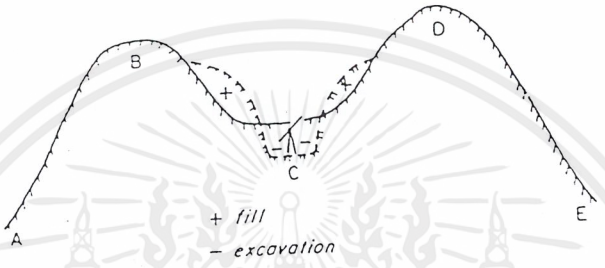
รูปที่ 3.6 ผลของการจัดเรียงของกังหันลมในความเร็วลม ณ ความสูงต่าง ๆ



รูปที่ 3.7 การดูแลการปฏิบัติในการเลือกทำเลที่ตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่3.8 ข้อเสนอชนิดของภูมิประเทศที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับการทดลองของการเพิ่มความเร็วลม

สรุปลักษณะของสถานที่ตั้งที่เหมาะสม

1. มีความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปีสูงพอ (หาได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา)
2. ไม่มีสิ่งกีดขวางกระแสลมในทางสูง
3. ควรจะอยู่บนเนินที่เรียบหรืออยู่บนเกาะในทะเลหรือเป็นที่ราบ
4. ช่องระหว่างภูเขา

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยกำลังลม

ขั้นแรกเริ่มของการเปลี่ยนพลังลมให้เป็นพลังงานกลนั้นสามารถกระทำให้สำเร็จด้วยวัตถุประเภทใบพัดและเฟืองอุปกรณ์ผลักหมุนใบพัดและอุปกรณ์ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ บางครั้งใช้สายพานหรือระบบเฟืองเกียร์เพื่อปรับเปลี่ยนอัตราความเร็วหมุนของเครื่องขับพลังลมให้เหมาะสมกับความเร็วหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การใช้ลมมาช่วยในการผลิตไฟฟ้านั้นจะประสบปัญหาอย่างหนึ่ง คือ เมื่อลมมีความเร็วต่ำมากก็ไม่สามารถใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงต้องมีตัวเก็บพลังงานไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ และต้องมีการวางแผนสร้างให้เหมาะสมกับสภาพความเร็วลมโดยเฉลี่ยในพื้นที่หนึ่ง ๆ ระบบที่ใช้กันมาก คือ ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดหรือชาร์ตแบตเตอรี่ แล้วจึงจ่ายกระแสไฟตรงออกมาจากแบตเตอรี่ไปยังแหล่งที่ต้องการ

ในปัจจุบันสามารถตั้งกฎเกณฑ์จากประสบการณ์ได้ว่า ถ้ามีความเร็วลมเฉลี่ยประจำปีประมาณ 9 – 10 ไมล์ / ชม. (15 – 16 กม. / ชม.) ก็เพียงพอสำหับการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังลม และกระแสลมที่ผลิตไฟฟ้าได้อย่างดีนั้น มีกำหนดได้ประมาณ 15 – 25 ไมล์ / ชม. เพื่ออัตราความเร็วลมขนาดนี้คงที่อยู่ตลอด 2 วัน ในส่วนเฉลี่ยของความเร็วทั้งปีก็ถือว่าเพียงพอแล้ว

ในปัจจุบัน มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมมีขนาดตั้งแต่ 50 – 6000 วัตต์ จนสูงขึ้นไปจนถึง 3000 กิโลวัตต์ ซึ่งโครงการวิจัยขององค์การนาซาได้รายงานว่า สามารถทำได้ถึง 300 ล้านกิโลวัตต์ วิธีคิดอย่างง่ายสำหรับระบบพลังงานต่ำ

ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งมีกำลัง 48 กิโลวัตต์ – ชม. ต่อ 1 เดือนที่แรงดัน 12 โวลต์ ตรงกับ 4000 แอมแปร์ – ชม. ในทุก ๆ แอมแปร์ – ชม. จะส่งไปประจุในแบตเตอรี่ พลังงานนี้จะถูกนำไปใช้งาน

สมมติว่าเราต้องการกำลัง 120 วัตต์ ที่ 12 โวลต์ หากระแสที่ใช้ได้ คือ

$I = P / E = 120/12 = 10$ แอมแปร์

I = กระแส (แอมแปร์)

P = กำลัง (วัตต์)

E = แรงดัน (โวลต์)

ให้ใช้เครื่องกับสถานีวิทยุที่ทำงาน 8 ชม. วัน ทำงานประมาณ 80% นอกจากเครื่องส่งแล้ว กระแสบางส่วนยังต้องไปเลี้ยงเครื่องรับและเครื่องสำรอง สมมติว่าทั้งหมดใช้ในงานตลอดเวลาเป็น 50% ฉะนั้น ถ้าทำงาน 8 ชม./วัน จะมีเวลา 4 ชม. ทำงานตลอดเวลาที่ 120 วัตต์ ตลอดวันและสิ้นเปลืองไฟฟ้า 40 แอมแปร์ – ชม. ($10 \times 0.5 \times 8$) ในหนึ่งเดือนสิ้นเปลือง 1240 แอมแปร์ – ชม. ในอัตราส่วนเฉลี่ยเบื้องต้น อุปกรณ์นี้สามารถทำงานได้ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่มีกำลังความจุ 4000 แอมแปร์ – ชม.

ถ้าไม่มีลมพัด 6 วันในหนึ่งสัปดาห์ กำลังทั้งหมดที่ต้องการใช้ใน 6 วัน ประมาณ 240 แอมแปร์ – ชม. (6×40) ดังนั้นต้องการแบตเตอรี่ที่มีความจุ 240 แอมแปร์ – ชม. มาเป็นตัวเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้เวลาไม่มีลมพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การคำนวณกำลังงานจากกังหันลม

มีสูตรการคำนวณได้หลายอย่าง ซึ่งสูตรเหล่านี้ได้จากการคิดเริ่มต้นอย่างเดียวกัน แต่นำมาดัดแปลงให้ง่ายขึ้น

1) ความหนาแน่นของอากาศแปรผันกับความดันและอุณหภูมิ

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

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัม / ตารางเมตร)

P = ความดันบรรยากาศ

t = อุณหภูมิ (องศาเซียลเซียส)

ถ้าที่บรรยากาศปกติ

P = 760 ม.ม.ของบาโรมิเตอร์

t = 25 C

จะได้

$$\rho = 1.3 \times \frac{760}{760 \times (1 + 25 / 273)} = 1.20 \text{ ก.ก / ม}^3$$

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

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

หาพลังงานภายใน 1 วินาที ที่ลมพัดผ่านพื้นที่ตัดขวาง (A) ของกังหันลมมีหน่วยเป็นตารางเมตร

ปริมาตรของลมที่พัดผ่าน = AV

มวล = ρAV

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

= $\tfrac{1}{2} \rho AV^3$ วัตต์

$\therefore$ กำลัง = $\tfrac{1}{2} \rho AV^3 E$ วัตต์

เมื่อ

E = Efficiency factor

แทนค่า

ρ = 1.2

กำลัง = $0.6 \times AV^3 E$

หรือจาก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

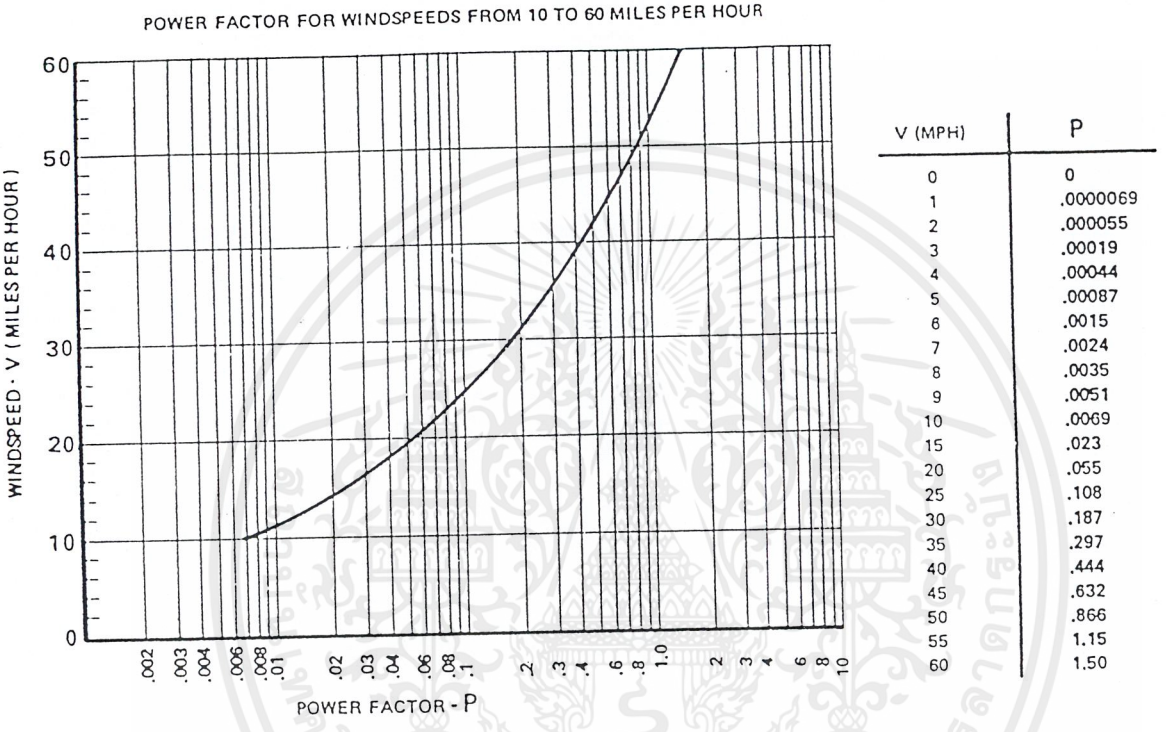
เมื่อ P = power factor (หาได้จาก chart A เมื่อรู้ค่าความเร็วลม V ไมล์ / ชม.)

A = พื้นที่ตัดขวาง

E = Efficiency factor

H.P. = กำลังม้า

หาค่า Power factor จาก chart A เมื่อรู้ค่าความเร็วลม V ไมลล์ / ชม. และค่า A จาก chart B



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

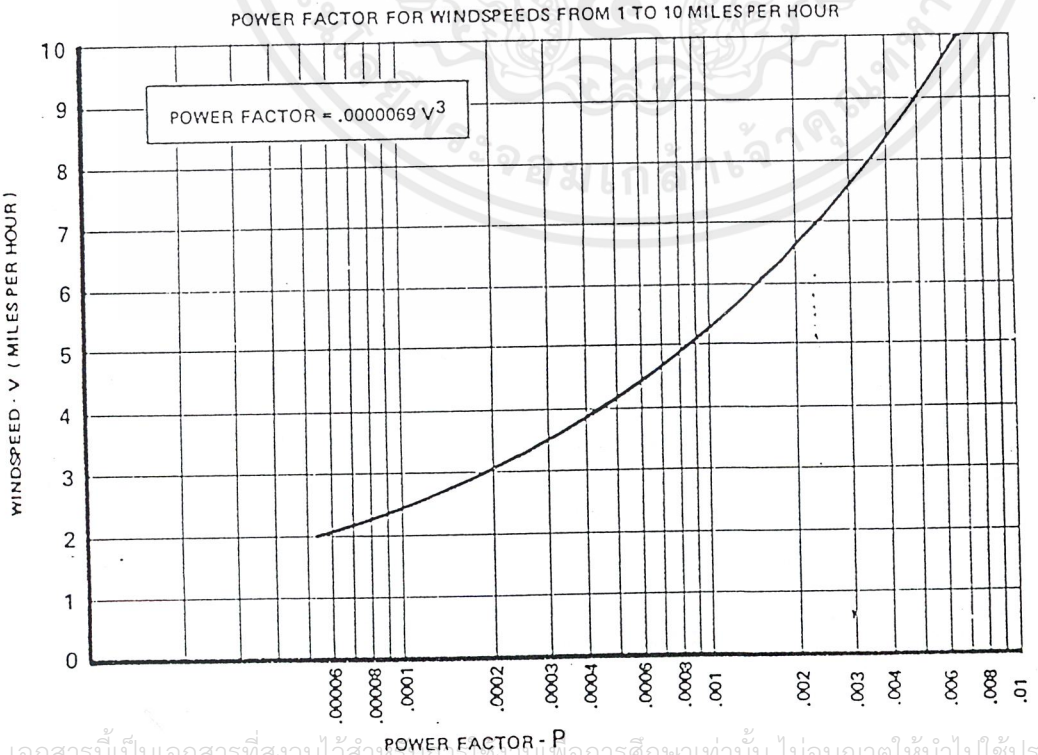
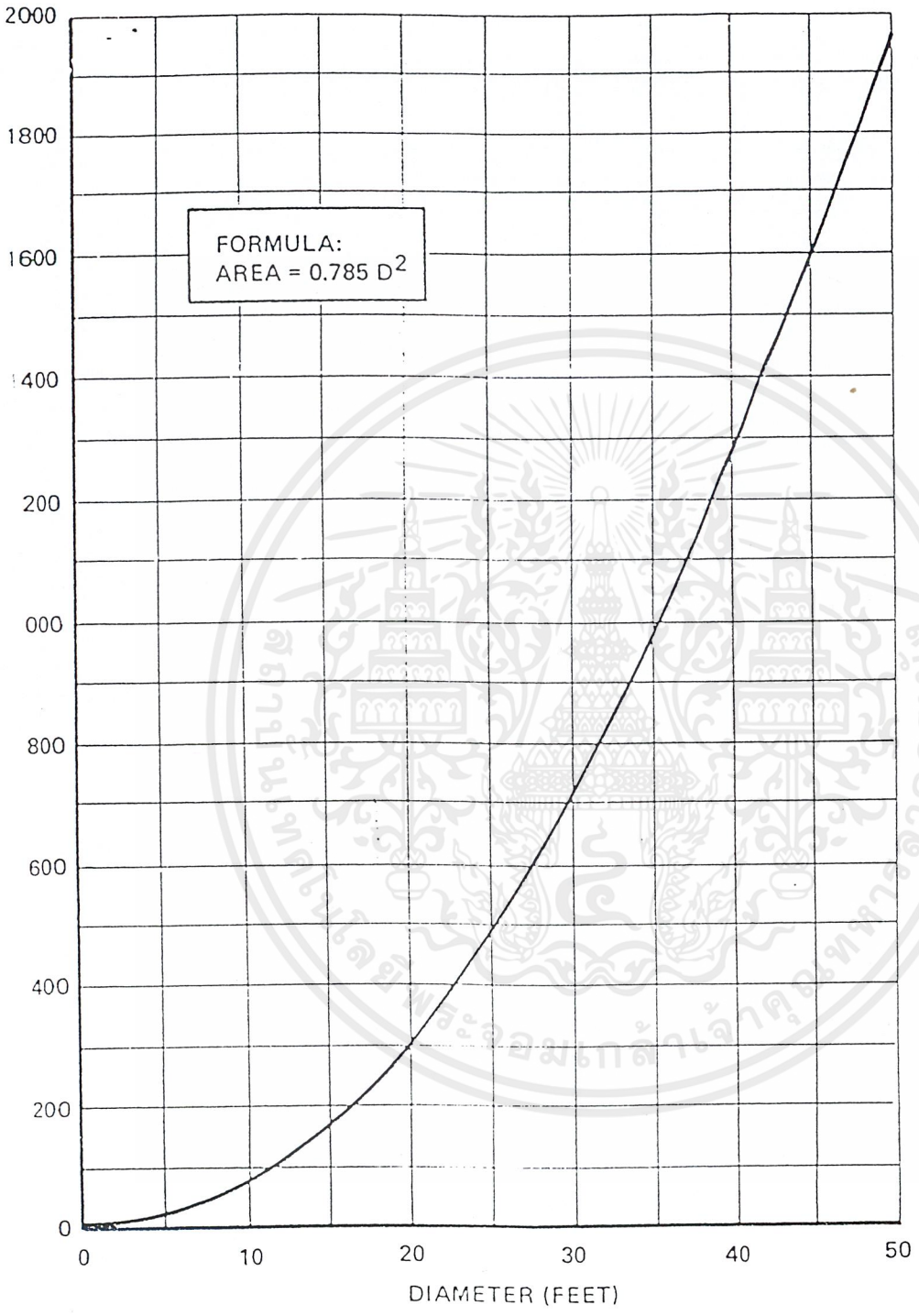


CHART A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักวิทยบริการฯ พระจอมเกล้าลาดกระบัง



$A = .785\ D^2$

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

Chart B

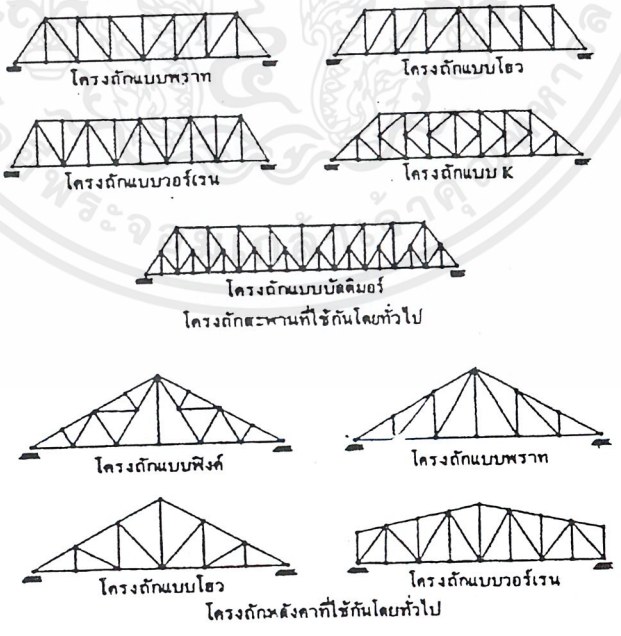
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42464

บทที่ 4
โครงสร้าง

ในการออกแบบและสร้างกังหันลมนั้น ส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ ฐานของกังหันลม โดยฐานของกังหันลมมีหลายรูปแบบ เช่น เป็นโครงถัก (truss) ฐานทรงกระบอก เป็นต้น สิ่งที่เราต้องคำนึงถึง คือ ฐานของกังหันลมต้องสามารถรองรับน้ำหนักของกังหันลมและสามารถต้านทานแรงลมที่อาจทำให้กังหันลมเสียหายหรือพังทลายได้ ในบทนี้เราจะกล่าวถึงฐานของกังหันลมที่เป็นโครงถัก (truss)

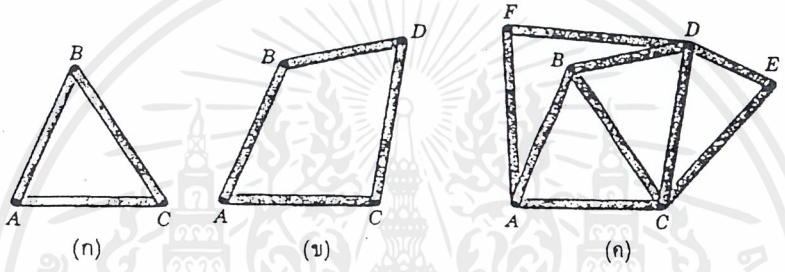
โครงเหล็ก (Frame work) ที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนซึ่งยึดติดกันที่ปลายเพื่อประกอบกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแกร่ง เรียกว่า โครงถัก (truss) สะพาน โครงหลังคา ปั้นจั่น และ โครงสร้างในลักษณะเดียวกัน ตัวอย่างของโครงถักที่พบอยู่เสมอชิ้นส่วนที่ใช้มักเป็นรูปตัว I และ U เหล็กฉาก เหล็กกลม และรูปร่างพิเศษอย่างอื่น และยึดติดกันที่ปลายด้วยวิธีการเชื่อมไฟฟ้า ย้ำโดยใช้น๊อตขันหรือใช้สลัก โครงถักสามารถประกอบได้ทั้งในแบบสองมิติและสามมิติ แต่ในที่นี้เราจะพิจารณาเฉพาะโครงถักสองมิติ โครงถักสองมิติ คือ โครงถักที่ชิ้นส่วนต่าง ๆ วางอยู่ในระนาบเดียวกัน เรียกว่า โครงถักระนาบ (Plane truss) โครงถักระนาบพวกที่ใช้กับสะพานมักจะออกแบบเป็นคู่ ซึ่งจะวางโครงถักแต่ละแถวไว้แต่ละข้างของสะพานและยึดกันด้วยคานขวางเพื่อรับน้ำหนักของพื้นถนน ซึ่งจะถ่ายน้ำหนักไปยังชิ้นส่วนของโครงถัก ตัวอย่างของโครงถักระนาบที่ใช้กันทั่วไปแสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงรูปโครงถักแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบหลักของโครงถักระนาบ คือ รูปสามเหลี่ยม ชิ้นส่วนสามชิ้นต่อกันที่ปลายด้วยสลัก ประกอบกันเป็นโครงที่แข็งเกร็ง (rigid frame) ดังที่แสดงในรูปที่ 4.2 (ก) หรือในลักษณะอื่น ชิ้นส่วน 4 ชิ้นหรือมากกว่าต่อกันด้วยสลัก ประกอบกันเป็นรูปหลายเหลี่ยมเป็นโครงที่ไม่แข็งเกร็ง (non – rigid frame) ดังรูปที่ 4.2 (ข) โครงที่ไม่แข็งเกร็งสามารถทำให้แข็งเก็งได้ โดยการเพิ่มชิ้นส่วนทางด้านเส้นทแยงมุมเชื่อมระหว่าง A และ D หรือ B และ C กลายเป็นสามเหลี่ยม 2 รูป โครงสร้างสามารถขยายออกไปได้โดยการเพิ่มจำนวนขึ้น เช่น DE และ CE หรือ AF และ DF ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ค) โดยวิธีนี้โครงสร้างยังคงรักษาความแข็งเกร็งไว้ได้ คำว่าแข็งเกร็งที่ใช้นี้หมายถึง การที่โครงสร้างไม่ยุบลง (noncollapsible) และการเปลี่ยนรูปไปของชิ้นส่วนเนื่องจากความเครียดภายในที่เกิดขึ้นสามารถละทิ้งได้



รูปที่ 4.2 ลักษณะของโครงถัก

โครงถักที่ประกอบมาจากรูปสามเหลี่ยมในลักษณะที่กล่าวมาเรียกว่า โครงถักธรรมดา (simple truss) ถ้ามีชิ้นส่วนมากกว่าความจำเป็นเป็นต้องใช้เพื่อไม่ให้โครงสร้างยุบตัว โครงถักนั้นเรียกว่า statically indeterminate ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ถ้ามีแต่เฉพาะสมการของการสมดุลสมการเพียงอย่างเดียว ชิ้นส่วนที่เกินความจำเป็นนั้นเรียกว่า redundant

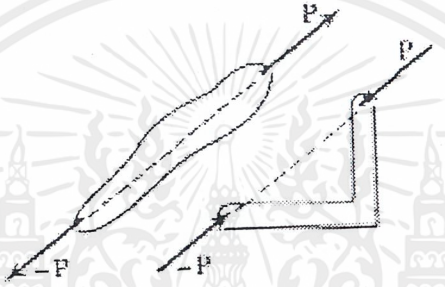
ในการออกแบบโครงถักต้องหาแรงในชิ้นส่วนต่าง ๆ และเลือกขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมเพื่อรับแรงดังกล่าว ในการวิเคราะห์หาแรงของโครงถักธรรมดา (simple truss) จะต้องตั้งสมมติฐานขึ้นหลายอย่าง ประการแรกจะต้องสมมติว่า ชิ้นส่วนทุกชิ้นส่วนรับสองแรงซึ่งหมายถึง ชิ้นส่วนที่มีแรงกระทำเพียง 2 แรงเท่านั้นเมื่ออยู่ในสมดุลดังรูปที่ 4.3 แรงทั้งสองจะต้องกระทำที่ปลายของชิ้นส่วนโดยขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงกันข้ามกันและอยู่ในแนวเดียวกัน ชิ้นส่วนนั้นอาจจะถูกดึงหรือถูกกดดังในรูปที่ 4.4 ขอให้สังเกตว่าแรงตึง T หรือแรงกด C ที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดใด ๆ มีค่าเหมือนเดิมตลอด ต่อไปต้องสมมติว่าไม่คิดน้ำหนักของชิ้นส่วน W เมื่อกระจายอย่างสม่ำเสมอสามารถแทนได้ด้วยแรง W/2 สองแรงกระทำที่ปลายของชิ้นส่วน ซึ่งเทียบได้กับแรงภายนอกที่กระทำที่ข้อต่อสลัก การคิดน้ำหนักของชิ้นส่วนเข้าไปด้วยแบบนี้จะได้คำตอบที่ถูกเข้าไปด้วย แบบนี้จะได้คำตอบที่ถูกต้องของแรงดึงหรือแรงกดเฉลี่ยที่กระทำต่อชิ้นส่วนแต่ไม่ได้นับรวมถึงผลการดัดตัว (bending) ของชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

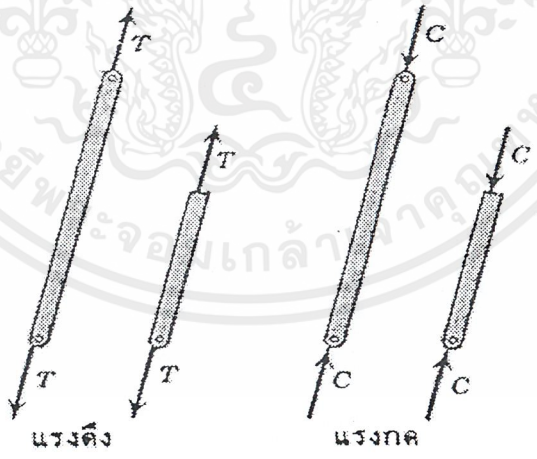
เมื่อการต่อกันของชิ้นส่วนเป็นแบบเชื่อมหรือใช้หมุดย้ำ สามารถสมมติได้ว่าการต่อกันเป็นแบบสลัก ถ้าแนวศูนย์กลางของชิ้นส่วนทั้งหมดมาตัดรวมกันดังแสดงในรูปที่ 4.5

ในการวิเคราะห์ ยังต้องสมมติต่อไปอีกต่อไปอีกว่าแรงภายนอกทั้งหมดกระทำที่สลักข้อต่อพื้นของสะพานในแบบโครงถัก จะวางอยู่บนคานขวางซึ่งต่ออยู่กับปลายชิ้นส่วน (joint)

โครงถักอย่างใหญ่มักจะมีอุปกรณ์ที่เผื่อไว้สำหรับการยืดและหดตัวที่เนื่องมาจากอุณหภูมิหรือสำหรับการเปลี่ยนรูปเนื่องจากภาระที่กระทำอุปกรณ์เหล่านี้ มักจะมีไว้ที่ฐานใดฐานหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ลูกกลิ้ง (roller) แป้นโยก (rocker) หรืออาจจะเป็นพวกข้อต่อที่เลื่อนได้ (slip joint) โครงถักที่ไม่มีอุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นปัญหาแบบ statically indeterminate

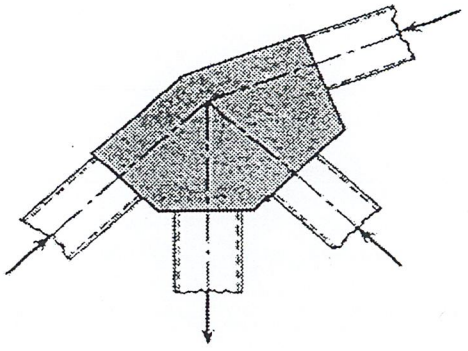


รูปที่ 4.3 ชิ้นส่วนรับสองแรง



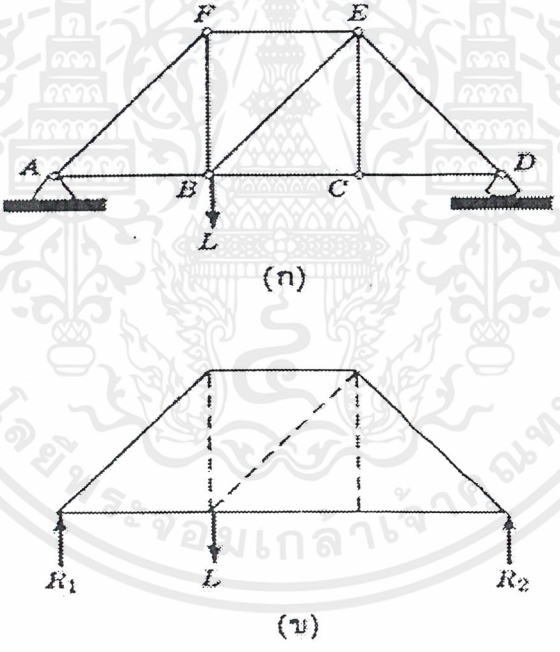
รูปที่ 4.4 แรงในชิ้นส่วนรับสองแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แนวศูนย์กลางของชิ้นส่วน

ในการวิเคราะห์หาแรงโครงถักธรรมดา (simple truss) ในที่นี้จะแสดงไว้สองวิธีและแต่ละวิธีจะใช้รูปที่ 4.6 (ก) เป็นตัวอย่าง และรูปที่ 4.6 (ข) แสดงผังวัตถุอิสระของโครงถัก แรงปฏิกิริยาภายนอกได้โดยการคำนวณจากสมการของการสมดุลเมื่อคิดโครงถักทั้งรูป ต่อไปจึงวิเคราะห์หาแรงในชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วน

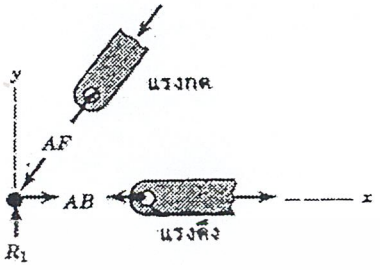


รูปที่ 4.6 โครงถักรับแรง

วิธีการใช้จุดต่อ (Method of joints) วิธีนี้ประกอบด้วยการสมดุลของแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อสลักข้อต่อที่จุดต่อ (joint) ต่าง ๆ ซึ่งก็คือ การสมดุลของแรงที่ตัดกันนั่นเอง และใช้สมการของการสมดุลเพียงสองสมการเท่านั้น วิธีการเริ่มต้นที่จุดต่อใดก็ได้ที่มีแรงที่ทราบค่าแล้ว อย่างน้อยหนึ่งแรงและมีแรงที่ไม่ทราบค่าไม่เกินสองแรง อาจจะเริ่มจากสลักทางด้านซ้ายก่อนที่ผังวัสดุอิสระ (free body diagram) แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 จุดต่อต่าง ๆ กำหนดด้วยตัวอักษรแรงในชิ้นส่วนกำหนดด้วยอักษรสองตัวของชิ้นส่วน AF และ AB ได้แสดงไว้ด้วยเพื่อให้เห็นชัดถึงแรงกระทำและแรงปฏิกิริยา จริง ๆ แล้วชิ้นส่วน AB จะกดทางด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสลัก ถึงแม้ว่าเขียนแรง AB ไว้ทางด้านขวาและชี้ออกจากสลัก ดังนั้นถ้าเขียนแรงไว้ทางด้านที่มีชิ้นส่วนอยู่เป็นหลักแล้ว (tension) จะชี้ออกจากสลักและแรงกด (compression) จะชี้เข้าหาสลักเสมอ ขนาดของแรง AF หาได้จากสมการ $\sum F_y = 0$ และ AB หาได้จาก $\sum F_x = 0$



รูปที่ 4.7 ส่วนรับแรงดึงและแรงกด

ต่อไปคิดที่สลัก F เพราะว่าในตอนนี้มีตัวไม่ทราบค่าเพียงสองแรงเท่านั้น คือ EF และ BF สลัก B, C, E และ D เป็นลำดับขั้นที่จะคิดต่อไป ผังวัสดุอิสระซึ่งเป็นการแสดงสมการของสมการสมดุล $\sum F_x = 0$ และ $\sum F_y = 0$ แบบกราฟฟิกได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.8 ตัวเลขหมายถึงลำดับในการคิดของสลักต่าง ๆ มีข้อควรสังเกตไว้ในที่นี้ว่าเมื่อถึงสลัก D ซึ่งอยู่จุดสุดท้ายแล้ว แรงปฏิกิริยา R_2 จะต้องสมดุลกับแรงใน CD และ ED ซึ่งได้หามาจากสองสลักที่อยู่ข้าง ๆ แล้วสิ่งนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณ และมีข้อสังเกตอีกประการหนึ่งว่า ในการแยกสลัก C ออกเป็นอิสระ จะเห็นได้ทันทีว่า แรงใน CE จะเป็นศูนย์ ตามสมการ $\sum F_y = 0$ แต่แรงในชิ้นส่วนนี้จะไม่เป็นศูนย์ ถ้ามีแรงภายนอกกระทำที่ C บ่อยครั้งที่มักจะแสดงถึงแรงดึง T และแรงกด C ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ลงในรูปเดิม โดยเขียนลูกศรชี้ออกจากสลักเมื่อเป็นแรงดึงและชี้เข้าหาสลักเมื่อเป็นแรงกด ดังแสดงไว้ในตอนล่างของรูปที่ 4.8

ในบางกรณีไม่สามารถที่จะกำหนดทิศทางที่ถูกต้องของแรงที่ไม่ทราบค่าที่กระทำต่อสลักได้ เมื่อเป็นเช่นนี้สามารถที่จะกำหนดเช่นไรก็ได้ ค่าลบที่ได้จากการคำนวณ หมายถึงว่าคำตอบที่ถูกต้องจะต้องจะมีทิศทางกลับกับที่สมมติไว้

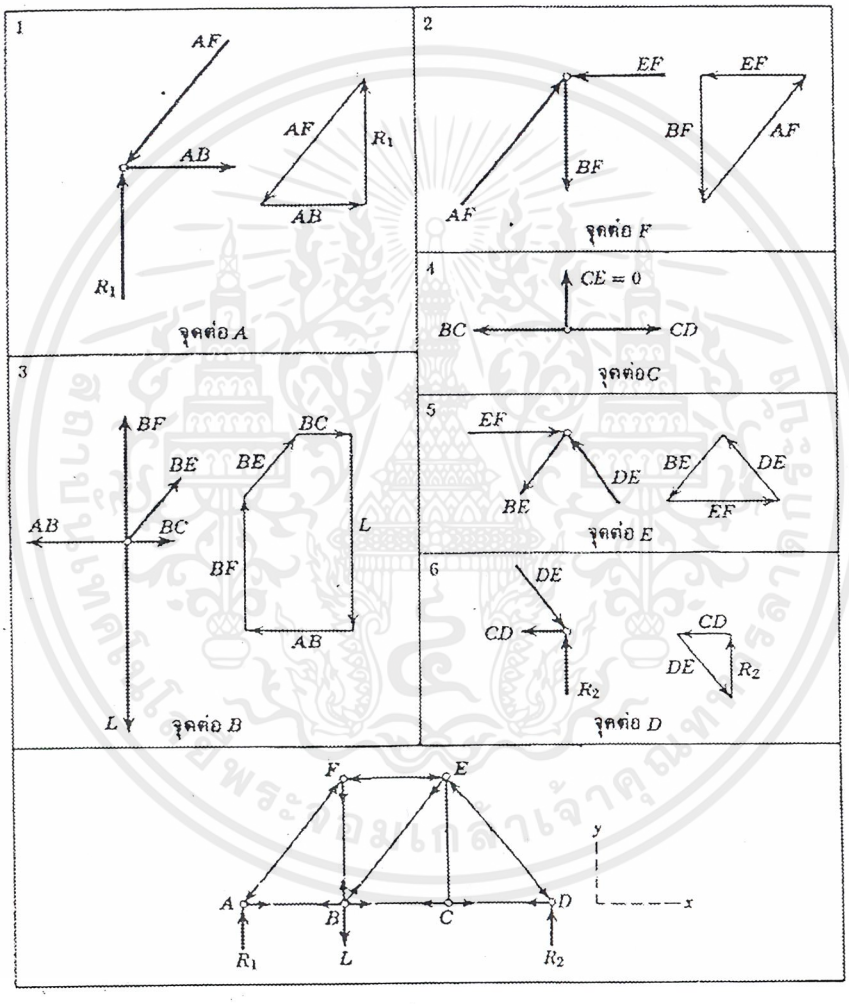
ถ้าโครงถักธรรมดา (simple truss) มีฐานรับมากเกินกว่าที่จำเป็นเพื่อให้อยู่ในสภาพสมดุล โครงถักชิ้นนี้เรียกว่า statically indeterminate และฐานรับที่เกินมานี้เป็น external – redundancy ถ้าโครงถักชิ้นนี้ส่วนภายในมากเกินกว่าความจำเป็นจะป้องกันไม่ให้เกิดการยุบตัวชิ้นส่วนที่เกินมานี้เป็น internal redundancy สำหรับโครงถักซึ่งเป็น statically determinate externally จะมีความสัมพันธ์ที่แน่นอนระหว่างชิ้นส่วนและจำนวนของข้อสลักที่จำเป็นสำหรับความมั่นคงภายในโดยปราศจาก redundancy เนื่องจากมีสมการของแรงสองสมการในการสมดุลของแรงสองสมการในการสมดุลของแต่ละสลัก ดังนั้นจะมี 2j สมการสำหรับโครงถักธรรมดาที่มี j สลัก ถ้าโครงถักมี m two – force member และมีตัวไม่ทราบค่าทั้งหมดเท่ากับ m + 3 ดังนั้นโครงถักระนาบธรรมดาซึ่งมีองค์ประกอบพื้นฐาน คือ รูปสามเหลี่ยมจะต้องมีเงื่อนไขตามสมการ $m + 3 = 2j$ สำหรับโครงถักแบบ statically determinate internally

ความสัมพันธ์นี้เป็นเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับความมั่นคง แต่ว่าไม่เพียงพอที่จะกำหนดความมั่นคงได้ ทั้งนี้ชิ้นส่วนหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งในจำนวนของ m ชิ้นนี้อาจจะประกอบกันเป็นรูปที่ไม่มั่นคงได้ ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m + 3 > 2j แสดงว่ามีจำนวนของชิ้นส่วนมากกว่าจำนวนของสมการที่มี และโครงถักเป็น statically determinate internally ถ้า m +3 < 2j โครงถักจะไม่มั่นคงเพราะชิ้นส่วนขาดไปและยุบตัวได้เมื่อมีแรงกระทำ

รูปเหลี่ยมของแรงสำหรับแต่ละสลักแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้หาแรงที่ไม่ทราบค่าและยังเป็นการตรวจสอบคำตอบที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้สมการของสมการสมดุลด้วย ถ้ากำหนดลำดับในการรวมกันของแรงที่แต่ละสลักเหมือนกัน เช่น ตามเข็มนาฬิกา รูปเหลี่ยมของแรงเหล่านี้สามารถนำมาเขียนทับกันได้เรียกว่า Maxwell diagram ขนาดของแรงและทิศทางสามารถหาได้โดยตรงจากไดอะแกรมนี้



รูปที่ 4.8 ไดอะแกรมของแมกซ์เวลล์

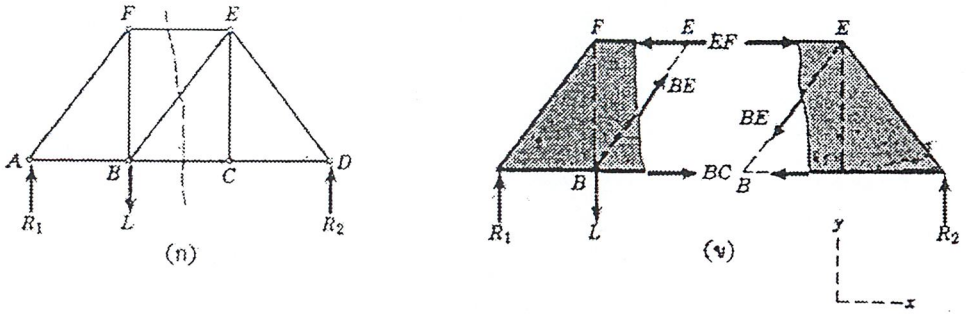
วิธีการใช้ภาคตัด (Method of section) ข้อได้เปรียบของวิธีการใช้จุดต่อ คือ จะใช้สมการของการสมดุลเพียง 2 สมการเท่านั้น ทั้งนี้เพราะวิธีการเกี่ยวข้องกับระบบของแรงตัดกันที่จุดหนึ่งแต่สำหรับวิธีการใช้ภาคตัด สมการของโมเมนต์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดย จากการเลือกภาคตัด (section) ที่ระบบของแรงไม่ได้ตัดกันที่จุดหนึ่ง ข้อได้เปรียบของวิธีการใช้ภาคตัด คือ สามารถใช้หาแรงในชิ้นส่วนใด ๆ ได้โดยตรงจากการตัด section ผ่านชิ้นส่วนนั้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเริ่มคำนวณจากสลักแระไปจนถึงชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ต้องการ ในการเลือกตัด section มีข้อพึงสังเกตว่า ชิ้นส่วนไม่ทราบค่าของแรงจะต้องมีไม่เกิน 3 ในแต่ละภาคตัด เพราะว่ามีเงื่อนไขของการสมดุลเพียง 3 สมการเท่านั้น

ต่อไปจะแสดงถึงวิธีการนี้กับโครงถักในรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นตัวอย่างในวิธีที่แล้วเช่นกัน โครงถักนี้ได้แสดงไว้อีกในรูปที่ 4.9 (ก) ขั้นแรกหาแรงปฏิกิริยาภายนอกโดยวิธีเช่นเดียวกับวิธีที่แล้ว โดยการคิดโครงถักทั้งหมดเป็นวัตถุชิ้นเดียว เมื่อต้องการหาแรงในชิ้นส่วนใด เช่น BE ให้ตัดโครงถักออก โดยภาคตัดสมมติที่แสดงไว้ด้วยเส้นประดังรูปที่ 4.9 (ข) ภาคตัดนี้ชิ้นส่วนทั้งสามซึ่งยังไม่ทราบแรง เพื่อให้แต่ละส่วนของโครงถักที่ถูกตัดยังคงอยู่ในสมดุลจึงจำเป็นที่จะต้องใส่แรงเท่ากับแรงชิ้นส่วนที่ถูกตัดออกไป กระทำ แรงเหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นแรงดึงหรือแรงกดจะต้องอยู่ในแนวของชิ้นส่วนเสมอเพราะชิ้นส่วนเหล่านี้เป็นชิ้นส่วนรองรับแรงสองแรง ส่วนที่ถูกตัดทางด้านซ้ายอยู่ในสมดุลภายในสมดุลภายใต้แรงกระทำต่าง ๆ ดังนี้ภาระ L แรงปฏิกิริยา R_1 และแรงที่ชิ้นส่วนทั้งสามที่ถูกตัดออกไป (ส่วนทางด้านขวา) กระทำ ทิศทางของแรงที่เขียนสามารถสังเกตได้จากเงื่อนไขการสมดุล ดังนั้นถ้าคิดโมเมนต์รอบจุด B สำหรับส่วนทางซ้ายจะเห็นว่าได้แรง EF ควรจะชี้ไปทางซ้ายก็คือแรงกด ภาระ L มีค่ามากกว่าแรงปฏิกิริยา R_1 ดั้งนั้นแรง BE จะต้องชี้ขึ้นเพื่อให้สมดุลทางแนวดิ่ง แรง BE เป็นแรงดึงเพราะกระทำออกจากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนด้วยการประมาณค่าของแรง R_1 และ L ไว้ในใจ แรง BC ควรจะไปทางขวาเพื่อการสมดุลของโมเมนต์รอบจุด E ซึ่งถ้าสังเกตจากโครงถักจะพบเช่นเดียวกันว่า ชิ้นส่วนในแนวราบด้านล่างจะต้องจากโครงถักก็จะพบเช่นเดียวกันว่า ชิ้นส่วนในแนวราบด้านล่างจะต้องถูกดึงเนื่องจากการแอ่นตัวที่เกิดจากโมเมนต์ตัด เมื่อใช้สมการของโมเมนต์รอบจุด B สามารถหา EF ได้ทันที เพราะแรงอื่น ๆ ผ่านจุด B โดย BE หาได้จากสมการของแรงในแนวแกน y BC หาได้จากสมโมเมนต์รอบจุด E ด้วยวิธีที่กล่าวมานี้ แรงที่ไม่ทราบค่าทั้ง 3 สามารถหาได้โดยอิสระจากกัน

ส่วนของโครงถักทางด้านขวาอยู่ในสมดุลภายใต้แรงปฏิกิริยา R_2 และแรงในชิ้นส่วนที่ถูกตัดทั้ง 3 ซึ่งมีทิศทางกระทำตรงกันข้ามกัน เมื่ออยู่ในส่วนทางด้านซ้ายทิศทางของแรงในแนวราบ ดูได้จากการสมดุลของโมเมนต์รอบจุด B และ E



รูปที่ 4.9 ภาคตัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงถักส่วนนี้นำไปใช้คำนวณหาแรงได้เหมือนกัน แต่ส่วนแรงที่เกี่ยวข้องน้อยกว่าจะคำนวณได้ง่ายกว่า

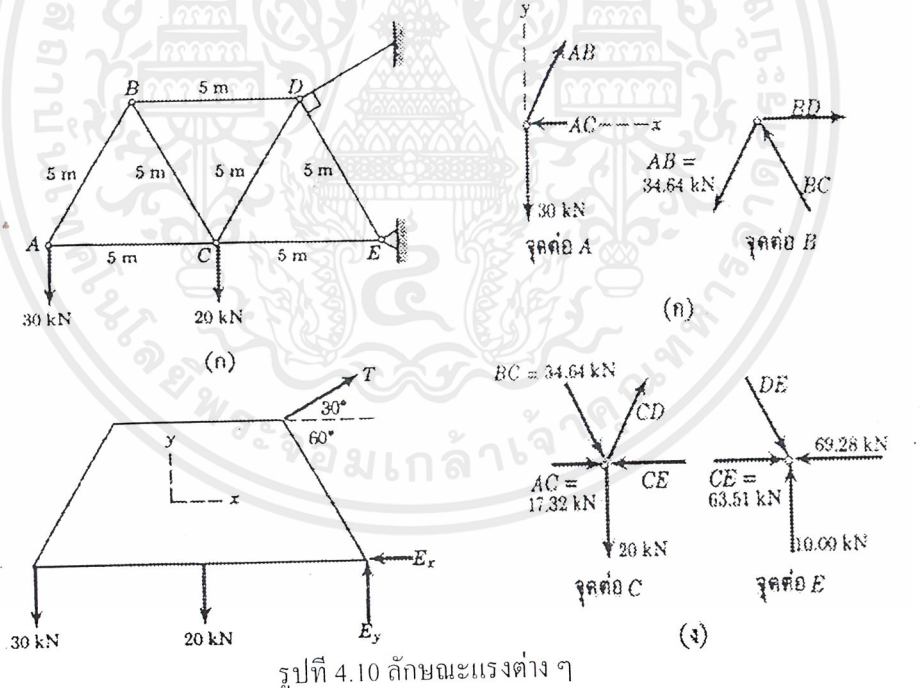
สิ่งที่สำคัญ คือ จะต้องเข้าใจว่าในวิธีการใช้ภาคตัดนี้คิดส่วนของโครงถักทั้งหมดเป็นชิ้นเดียวอยู่ในสมดุล ดังนั้นแรงในชิ้นส่วนที่อยู่ภายในภาคตัดจะไม่นำมาคำนวณ เพื่อให้วัตถุและแรงภายนอกที่กระทำเห็นได้ชัดจึงมักจะให้รอยตัดผ่านที่ชิ้นส่วนไม่ใช่ผ่านสลัก

ในวิธีใช้ภาคตัดนี้สมการของโมเมนต์มีประโยชน์มาก และจุดศูนย์กลางของโมเมนต์นั้นมักจะเลือกจุดที่มีแรงผ่านมากที่สุด ซึ่งอาจจะอยู่ในหรือนอกส่วนที่ตัดก็ได้ เมื่อเขียนผังวัสดุอิสระของภาคตัดแล้ว ไม่เสมอไปนักที่จะทราบทิศทางที่ควรจะเป็นของแรงที่ไม่ทราบค่า เมื่อเป็นดังนี้จะสมมติเป็นเช่นใดก็ได้ ถ้าค่าที่ได้มีเครื่องหมายบวกแสดงว่าสิ่งที่สมมติไว้ถูก ถ้าเครื่องหมายลบแสดงว่าสมมติไว้กลับทิศ การกำหนดสัญลักษณ์ของชิ้นส่วนและแรงมักจะใช้ตัวอักษรที่อยู่ที่ปลายทั้งสองของชิ้นส่วนนั้น

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการหาแรงในแต่ละชิ้นส่วนโดยใช้วิธีทั้งสอง คือ วิธีการใช้จุดต่อและวิธีการใช้ภาคตัด

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> จงคำนวณหาแรงในชิ้นส่วนของโครงถักแบบปลายยึดแน่น (Cantilever truss) ที่รับภาระดังรูปที่ 4.10 ด้วยวิธีการแบบจุดต่อ

<u>วิธีทำ</u>



รูปที่ 4.10 ลักษณะแรงต่าง ๆ

ถ้าไม่ต้องการคำนวณแรงปฏิกิริยาภายนอกที่ D และ E การคำนวณจะต้องเริ่มจากสลักที่ปลายรับน้ำหนักก่อน แต่อย่างไรก็ดี เมื่อจะต้องหาแรงในชิ้นส่วนทุกชิ้นอยู่แล้ว ดังนั้นจะเริ่มคำนวณหาแรงปฏิกิริยาภายนอกที่ D และ E ก่อน จากผังวัสดุดังรูป (ข)

จากสมการของการสมดุล จะได้ว่า

$T = 80.00$ KN $\qquad E_x = 69.28$ KN $\qquad E_y = 10.00$ KN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป (ค) เป็นผังวัสดุอิสระ ที่แสดงแรงต่าง ๆ ที่กระทำที่แต่ละสลัก ทิศทางที่ถูกต้องของแรงจะหาได้เมื่อพิจารณาสลักเรียงลำดับไป ที่สลัก A ทิศทางของแรงถูกต้องอย่างไม่มีปัญหา จากการสมดุล

$(\sum F_x = 0)$; $0.866\ AB - 30 = 0$, $AB = 34.64\ KN\ (T)$

$(\sum F_y = 0)$; $AC - 0.5\ (34.64) = 0$, $AC = 17.32\ KN\ (C)$

ซึ่ง T เป็นแรงดึง และ C เป็นแรงกด

ต่อไปจะวิเคราะห์สลัก B เพราะว่าที่สลัก C มีแรงที่ไม่ทราบค่ามากกว่าสองแรง BC จะต้องมีทิศทางขึ้น เมื่อเป็นดังนี้ แรง BD จะต้องชี้ไปทางขวาเพื่อทำให้แรงสมดุล เช่นเดียวกัน แรงที่ไม่ทราบค่าคำนวณได้จาก

$(\sum F_x = 0)$; $0.866\ BC - 0.866\ (34.64) = 0$, $BC = 34.64\ KN\ (C)$

$(\sum F_y = 0)$; $BD - 0.5\ (2)\ (34.64) = 0$, $BD = 34.64\ KN\ (T)$

ในขณะที่สลัก C ก็เหลือแรงที่ไม่ทราบค่าเพียงสองแรง และหาได้จากแบบเดียวกับที่แล้วมา

$(\sum F_y = 0)$; $0.866\ CD - 0.866\ (34.64) - 20 = 0$, $CD = 57.74\ KN\ (T)$

$(\sum F_x = 0)$; $CE - 17.32 - 0.5\ (34.64) - 0.5\ (57.74) = 0$, $CE = 63.51\ KN\ (C)$

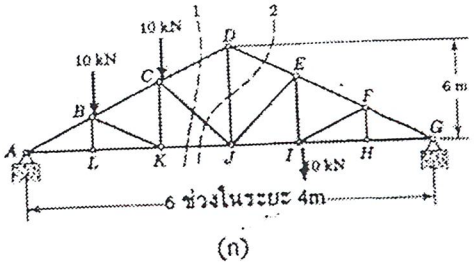
สุดท้ายที่สลัก E จะได้

$(\sum F_y = 0)$; $0.866\ DE = 10.00$, $DE = 11.55\ KN$

และสมการ $\sum F_x = 0$ เป็นการตรวจสอบความถูกต้อง

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> ด้วยวิธีการแบบภาคตัด จงคำนวณหาแรงในชิ้นส่วน DJ ของโครงถักแบบ ดังแสดงในรูป ไม่ต้องแรงในแนวราบที่ฐานรับ

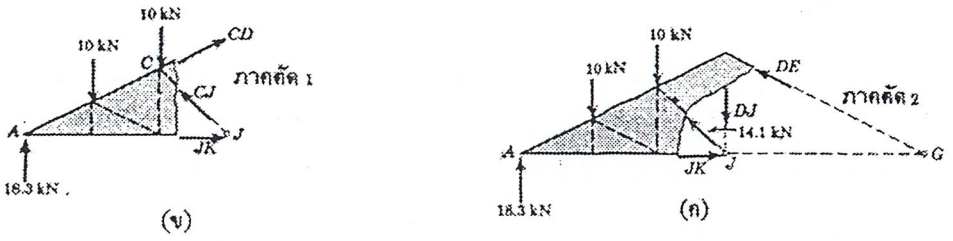
<u>วิธีทำ</u>



(ก)

รูปที่ 4.11 ลักษณะแรงในโครงถัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11(ต่อ) ลักษณะแรงในโครงถัก

ภาคตัด 2 ที่ผ่านจำเป็นต้องผ่านถึง 4 ชิ้นส่วนซึ่งยังไม่ทราบค่าแรง ถึงแม้ว่าแรง 3 แรงจะตัดกันที่ J และใช้สมการของโมเมนต์รอบ J หาแรงที่สี่ (DE) ได้ก็ตาม แรงใน DJ ก็ยังคงหาไม่ได้จากสมการของการสมดุลที่เหลืออยู่สองสมการ ดังนั้นจึงจำเป็นเป็นที่จะต้องพิจารณาที่ภาคตัด 1 ก่อน

ผังวัสดุอิสระของภาคตัด 1 ได้แสดงไว้ในรูปซึ่งแรงปฏิกิริยาที่ A = 18.3 KN ได้หามาก่อนแล้วจากการคิดโครงถักทั้งหมดเป็นวัตถุชิ้นเดียว ในการกำหนดทิศทางที่ควรจะเป็นของแรงที่ชิ้นส่วนทั้ง 3 ที่ถูกตัด การสมดุลของโมเมนต์รอบ A ขจัดแรง CD และ JK ออกไปทำให้เห็นได้ชัดว่า CJ จะต้องชี้ขึ้นและไปทางซ้ายการสมดุลของโมเมนต์รอบ C จะขจัดแรงทั้ง 3 ที่ผ่าน C ออก และชี้ให้เห็นว่า JK จะต้องไปทางขวาเพื่อเพิ่มโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาที่ยังขาดอยู่หรืออาจพิจารณาได้จากชิ้นส่วนทางด้านล่างจะต้องถูกดึงเพราะว่าแนวโน้มที่จะแอ่นตัวของโครงถักเกิดชิ้นส่วน CD ถึงแม้เมื่อดูผิวเผินควรจะถูกกด แต่จะกำหนดให้เป็นแรงดึงก็ได้ จะไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นเมื่อกำหนดทิศทางของแรงไม่ว่าแรงเดียวหรือมากกว่าผิดตราบเท่าที่การคำนวณยังคงใช้กติกาเดิม คำตอบที่มีค่าเป็นลบแสดงว่าทิศทางจริงกลับกันกับที่สมมติไว้

โดยการวิเคราะห์ที่ภาคตัด 1 หา CJ ได้จาก

$(\sum M_A = 0)$; $0.707\ CJ\ (12) - 10(4) - 10(6) = 10.00$, $CJ = 14.1\ KN\ (C)$

ซึ่งในสมการนี้โมเมนต์ของแรง CJ คำนวณโดยแยก CJ ออกเป็นแรงในดิ่งและแนวราบที่จุด J การสมดุลของโมเมนต์รอบ J จะได้ว่า

$(\sum M_J = 0)$; $0.894\ CD\ (6) + 18.3(12) - 10(4) - 10\ (8) = 10.00$, $CD = -18.6\ KN$

ซึ่งโมเมนต์ของ CD รอบ J คำนวณโดยแยก CD ออกเป็น 2 แรงย่อยที่ D เครื่องหมายลบแสดงว่าทิศทางของ CD กำหนดไว้ผิด

ดังนั้น $CD = 18.6\ KN\ (C)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเป็นเช่นนี้ก็อาจเปลี่ยนทิศทางของ CD ในผังวัสดุอิสระ และกลับเครื่องหมายในการคำนวณก็ได้ถ้าต้องการหรือมิฉะนั้นก็ปล่อยไว้เช่นนี้ แต่ทำที่สังเกตบ่งถึงทิศทางที่ต้องการไว้

จากผังวัสดุอิสระของภาคตัด 2 ซึ่งในขณะนี้รู้ค่า CJ แล้วการสมดุลโมเมนต์รอบ G จะขจัด DE และ JK ดังนั้น

$$(\Sigma M_A = 0); \qquad 12\,DJ + 10(16) + 10(20) - 18.3\,(24) - 14.1\,(0.707)(12) = 10.00$$

$$\therefore\ DJ = 16.6\ KN\ (T)$$

ซึ่งโมเมนต์ของ CJ หาได้จากแรงย่อยของ CJ กระทำที่ J คำตอบของ DJ เป็นบวกแสดงว่าที่สมมติเป็นแรงดึงนั้นถูกต้องแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ทฤษฎีและแนวคิดในการออกแบบกังหันลมแนวตั้ง

5.1สิ่งที่ใช้ในการพิจารณาเบื้องต้น

โดยทั่วไปจะพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้คือ

- วัตถุประสงค์ของโครงงาน ซึ่งก็คือ ความประหยัดต้นทุน โดยการใช้ประโยชน์จากวัสดุที่มีอยู่แล้วหรือหาได้ง่ายตามท้องตลาด

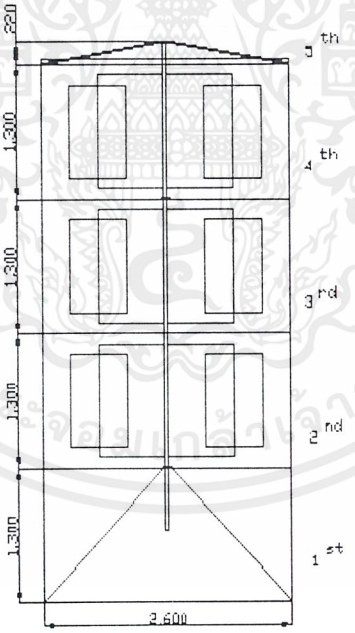
- พิจารณาจากความเร็วลมในจุดที่จะทำการติดตั้ง เพื่อใช้ในการออกแบบรูปแบบของชุดทดรอบ

- พิจารณาจากโครงงานว่ากำหนดข้อจำกัดอย่างไรบ้าง ซึ่งในโครงงานนี้กำหนดให้เป็นกังหันลมแนวตั้งซึ่งมีลักษณะใบพัดแบบซาโวเนียส (Savonius) หรือเอสโรเตอร์ (S-Rotor) ซึ่งเป็นกังหันลมชนิด2 ใบ และกำหนดให้ใช้ถังน้ำมัน200ลิตรผ่าครึ่งเป็นใบพัดของกังหัน

5.2 แนวคิดและการออกแบบ

5.2.1 การออกแบบโดยรวม

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของโครงงานนี้ต้องการศึกษาถึงประสิทธิภาพของกังหันลมโดยทำการปรับเปลี่ยนมุมของกังหันแต่ละชุด ซึ่งกังหันที่ทำการออกแบบเบื้องต้นจะมีลักษณะดังรูป

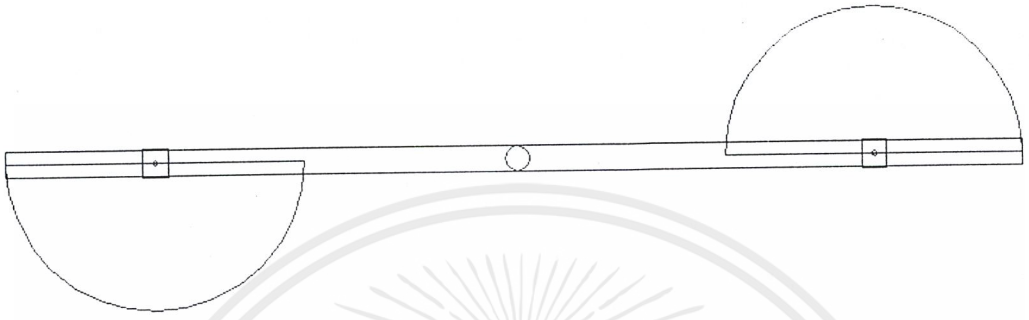


รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะของกังหันที่ทำการออกแบบในขั้นเบื้องต้น

โดยที่กังหันที่ออกแบบจะประกอบด้วยใบพัด3ชุด เนื่องจากจะทำให้การทำมุมกันของกังหันสามารถรับลมได้รอบด้านกว่าการใช้ใบพัด1หรือ2ชุด และถ้าใช้มากกว่า3ชุดจะส่งผลให้กังหันมีความสูงมากเกินไปซึ่งทำให้การประกอบและติดตั้งทำได้ยากและเกิดความไม่ประหยัดขึ้น ซึ่งไม่ตรงตามวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสงค์ของโครงงานนี้ ซึ่งในชุดใบพัดแต่ละชุดจะมีใบพัดลักษณะเป็นแบบซาโวเนียส2ใบ และกังหันแต่ละชุดสามารถปรับมุมระหว่างชุดได้ซึ่งดังรูป



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะของใบพัดในแต่ละชุดของกังหันซึ่งมีลักษณะเป็นแบบซาโวเนียส

รูปที่ 5.3แสดงการปรับมุมระหว่างกังหันแต่ละชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การออกแบบชุดใบพัด

ใบพัดแต่ละชุดถูกกำหนดให้ใช้ถังน้ำมัน200ลิตรซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่ายและสะดวกในการประยุกต์ใช้งาน แต่มีข้อเสียที่มีน้ำหนักค่อนข้างมาก โดยที่ถังน้ำมันมีพิกัดต่างๆดังต่อไปนี้คือ

1.ความสูงของถัง 90เซนติเมตร

2.เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 60เซนติเมตร

5.2.3 ขั้นตอนการออกแบบกังหัน

1.ทำการวัดกระแสลมโดยเฉลี่ยในสถานที่ที่จะทำการติดตั้ง

ดังนั้น V = 4.2 m/s

2.ทำการคำนวนพลังงานของลมที่จะให้กับกังหันจากสูตร

$P = \frac{1}{2} \rho A V^3$

= 144 Watt

ซึ่งกำลังที่ได้นี้ถือเป็นกำลังที่เพลาของกังหันในทางอุดมคติ

3. ทำการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยในที่นี้ทำการเลือก

Alternator ขนาด 90 Watt

ค่า Power factor 0.8

จะเห็นว่าเราจะต้องใช้กำลังขับ Alternator มีค่าเท่ากับ 112.5 Watt

5.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณชิ้นส่วนโครงสร้างและอุปกรณ์ต่างๆ

5.3.1 การบิด

ชิ้นส่วนเครื่องจักรที่มีพื้นที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (torque) จะบิดไปเป็นมุมเท่ากับ

$$\theta = TL/GJ$$

โดยที่ T คือโมเมนต์บิด

L คือความยาว

J คือโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (polar area moment of inertia)

$= \pi d^4/32$

$= \pi(d^4 - d_i^4)/32$ สำหรับท่อนกลมกลวง

d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก

d_i คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

ความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดจะมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกของท่อนกลมนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\tau = Tr / J$$

โดยที่ r คือรัศมีนอกของท่อนกลม

ในการที่จะใช้สมการนี้มักจะจำเป็นที่จะต้องหาค่าโมเมนต์บิดให้ได้เสียก่อน สำหรับเครื่องจักรกลที่ส่งกำลังมาตามเพลา จะคำนวณหาค่าโมเมนต์บิดได้จาก

$$W_p = T\omega = 2\pi nT$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ W_p คือกำลังงานเป็น W

T คือโมเมนต์บิดเป็น Nm

ω คือความเร็วเชิงมุมเป็น rad/s

n คือความเร็วรอบเป็น rev/s

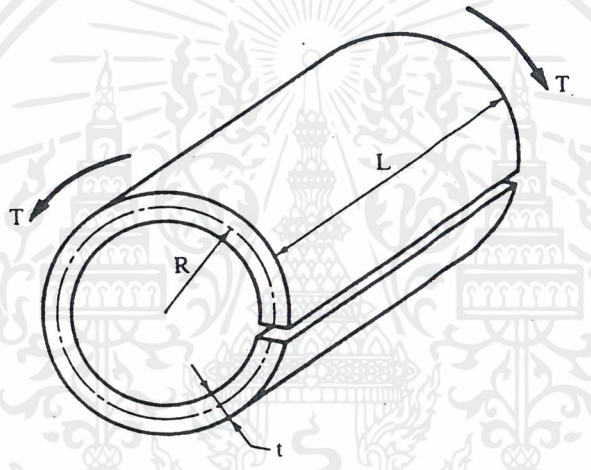
สำหรับในระบบหน่วยอังกฤษซึ่งยังมีใช้กันอยู่จะบอกกำลังงานเป็นแรงม้า และคำนวณโมเมนต์บิดได้จาก

$$hp = Tn /63000$$

โดยที่ T คือโมเมนต์บิดเป็น in-lb

n คือความเร็วรอบเป็น rev/min

ในกรณีของท่อกลมผนังบาง (thin-walled tube) ซึ่งมีรัศมีเฉลี่ย R และผ่าตลอดความยาวดังในรูป



รูปที่ 5.4ท่อกลมผนังบาง ผ่าตลอดความยาว

มุมบิดและค่าความเค้นเฉือนโดยประมาณคือ

$$\theta = 3TL/2\pi Rt^3G$$

$$\tau = 3T/2\pi Rt^2$$

5.3.2 การออกแบบเพลา

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่ในเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงสมควรที่จะได้พิจารณาถึงการออกแบบเพลาโดยเฉพาะ เพลาอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานดังต่อไปนี้คือ

เพลา (shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม

สพินเดิล (spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head-stock spindle) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สตับชาฟต์ (stub shaft) หรือบางครั้งเรียกเฮดชาฟต์ (head shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆมีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่นๆ

เพลาแนว (line shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (power transmission shaft) หรือเพลาเมน(main shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆโดยเฉพาะ

แจ็คชาฟต์ (jackshaft) หรือเคาน์เตอร์ชาฟต์ (counter shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน (flexible shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรืองอโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว(wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลายังจะต้องมีความแข็งเกร็ง (rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง (deflection)ของเพลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (critical speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลแบริ่ง(ball bearing) ก็ต้องมีการเยื้องแนว (misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลาด้วย

5.3.3 วัสดุเพลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน(mild steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

5.3.4 ขนาดของเพลา

เพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลาซึ่งเป็นขนาดระบุ(nominal size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลาด้วย ขนาดระบุของเพลาดูได้จากตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO/R775-1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

5.3.5 การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของเพลาที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลาเพื่อให้เพลาทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเดียวไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยว (cam shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งเที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลาที่เกิดขึ้นในขณะใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลาจะต้องมีความแข็งเกร็งอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลาในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3° ต่อความยาวเพลา 1 m [1] สำหรับเพลาส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มีมุมบิดได้ถึง 1° ต่อความยาวเพลา 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 0.5° ตลอดความยาวของเพลา

ความแข็งเกร็งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งเกร็งทางด้านระยะโก่ง เพราะจะต้องใช้ระยะโก่งของเพลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด (clearance) -* ระหว่างล้อสายพาน เฟือง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบริ่งสำหรับรองรับเพลาให้เหมาะสม ถ้าเพลามีระยะโก่งมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลงเป็นผลทำให้อัตราส่วนการขบ(contact ratio)ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควรการเลือกแบริ่งมารองรับเพลาก็เช่นกันจำเป็นจะต้องเลือกแบริ่งชนิดที่อนุญาตให้มีการเยื้องแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับระยะโก่งของเพลาที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบริ่งแบบธรรมดาหรือแบริ่งแบบปรับแนวได้เอง(self-aligning bearing)ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโก่งเป็นสำคัญ

ระยะโก่งดังกล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วๆไปแล้วผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งเกร็งทางด้านระยะโก่งได้ดังนี้คือ

สำหรับเพลาเครื่องจักรกลทั่วไป ค่าระยะโก่งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบริ่งควรจะไม่เกิน 0.08 mm/m [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเพลาที่มีเฟืองตรง (spur gear) คุณภาพดีอยู่ด้วย ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่เฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 mm และความลาดเอียงของเพลา ณ ตำแหน่งนี้ควรจะน้อยกว่า 0.0286°

สำหรับเพลาที่มีเฟืองดอกจอก (bevel gear) คุณภาพดีติดอยู่ ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่เฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.075 mm

จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลาอาจจะหามาได้โดยใช้ความแข็งเกร็งที่ต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรงภายนอกได้ การหาระยะโก่งของเพลาที่มีขนาดเท่ากันตลอดอาจทำได้โดยใช้วิธีที่ได้เรียนรู้มาแล้วในวิชากลศาสตร์วัสดุ เช่น วิธีการอินทิเกรตสองครั้ง (double integration) วิธีพื้นที่ของโมเมนต์ดัด (moment area) เป็นต้น

สำหรับเพลาที่มีขนาดไม่เท่ากันตลอด(stepped shaft) การใช้วิธีดังกล่าวมาแล้วอาจจะล่าช้าและเสียเวลา โดยเฉพาะวิธีการอินทิเกรตสองครั้งเพราะต้องใช้สภาพของขอบเขต (boundary condition) ใหม่ทุกครั้งที่เพลาเปลี่ยนขนาด วิธีที่นิยมใช้กัน (แต่ก็ยังใช้เวลามาก) คือวิธี graphical integration และ numerical integration วิธีหลังนี้เหมาะกับการใช้เครื่องคำนวณไฟฟ้าช่วยในการคำนวณ

5.3.6 สายพาน

การส่งกำลังทางกลจากเพลาอันหนึ่งไปยังเพลาอีกอันหนึ่ง อาจทำได้สามวิธี คือโดยใช้เฟือง ใช้สายพาน หรือใช้โซ่ การส่งกำลังโดยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้(flexible) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับการส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลาที่อยู่ห่างกันมากๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ เป็นต้น แต่ก็มีข้อเสียคือ อัตราทดไม่แน่นอนนักเนื่องมาจากการสลิป (slip) และการครีพ (creep) ของสายพานและต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลาหรือปรับแรงดึงในสายพานระหว่างใช้งาน นอกจากนั้นยังไม่อาจใช้งานที่มีอัตราทดสูงมากได้ ซึ่งมักใช้กับอัตราทดไม่เกิน 5

5.3.7 ชนิดและวัสดุสายพาน

สายพานแบ่งออกเป็นสี่ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือสายพานแบน(flat belts)มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ่ม (V-belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลม (ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และไทม์มิงเบ็ลท์ (timing belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่ทำให้เป็นร่องคล้ายฟันเฟืองตลอดความยาวของสายพาน สายพานแต่ละชนิดจะมีลักษณะในการใช้งานต่างกัน

วัสดุที่ใช้ทำสายพานจะต้องมีค่าความต้านแรงสูง (strength) สามารถบิดตัวได้ดี และจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสสูง

วัสดุที่ใช้ทำสายพานซึ่งใช้งานกันมากก็คือหนัง (oak-tanned leather) แต่ถ้าเป็นการใช้งานเป็นพิเศษ เช่นอยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้น มีไอของสารเคมี หรือมีน้ำมันอยู่ด้วย ก็มักใช้สายพานแบบ chrome leather เพื่อให้สายพานมีอายุการใช้งานได้นานพอสมควร จึงมักใช้ค่าความเค้นในการออกแบบสายพานต่ำกว่า ความต้านแรงดึงสูงสุดของสายพานมาก โดยทั่วไปจะใช้ค่าความปลอดภัยประมาณ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานหนังจะมีค่าประมาณ 0.40-0.50 และความเร็วใช้งานของสายพานควรจะอยู่ในช่วง 1000-2000 m/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายพานอีกชนิดหนึ่งคือสายพานยาง (rubber belts) สายพานประเภทนี้จะมีฝ้ายหรือผ้าใบเป็นไส้ภายในและมียางหุ้มอยู่ภายนอก ยางที่ใช้หุ้มจะเป็นยางที่อบด้วยกำมะถันในอุณหภูมิสูง (vulcanised) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความต้านแรง สายพานยางเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีน้ำมันหรือแสงแดด เมื่อเปรียบเทียบกับสายพานหนังแล้ว สายพานยางจะมีราคาถูกกว่า แต่อายุใช้งานสั้นกว่า สายพานยางทนต่อสภาพบรรยากาศในการใช้งานได้ดีกว่าสายพานหนัง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานยางจะมีค่าประมาณ 0.30-0.40 และสามารถรับแรงดึงได้ประมาณ 20 Nต่อชั้น ต่อความกว้างสายพาน 1 mm

สายพานบาลลาตา (balata belts) เป็นยางคล้ายสายพานยาง แต่ไม่ต้องผ่านกรรมวิธีอบด้วยกำมะถัน ทนต่อกรดและความชื้นได้ดี แต่อุณหภูมิใช้งานไม่ควรเกิน 40°C สายพานชนิดนี้มีความต้านแรงมากกว่าสายพานยางประมาณ 25%

สายพานผ้าถัก (textile belts) ทำจากฝ้ายหรือผ้าใบซ้อนกันเป็นชั้นๆแล้วยึดติดกัน จากนั้นจึงเคลือบด้วยน้ำมันลินซีด (linseed) เพื่อทำให้สายพานกันน้ำได้ มักใช้กับงานประเภทชั่วคราว

สายพานทุกชนิดที่กล่าวมานี้จะยืดตัวได้ดี ดังนั้นเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงจะยืดตัวทำให้เกิดการสลิปบนล้อสายพาน (pulley) ในทางปฏิบัติจึงมักจะยืดสายพานให้ตึงไว้ก่อนใช้งานทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการสลิปของสายพาน

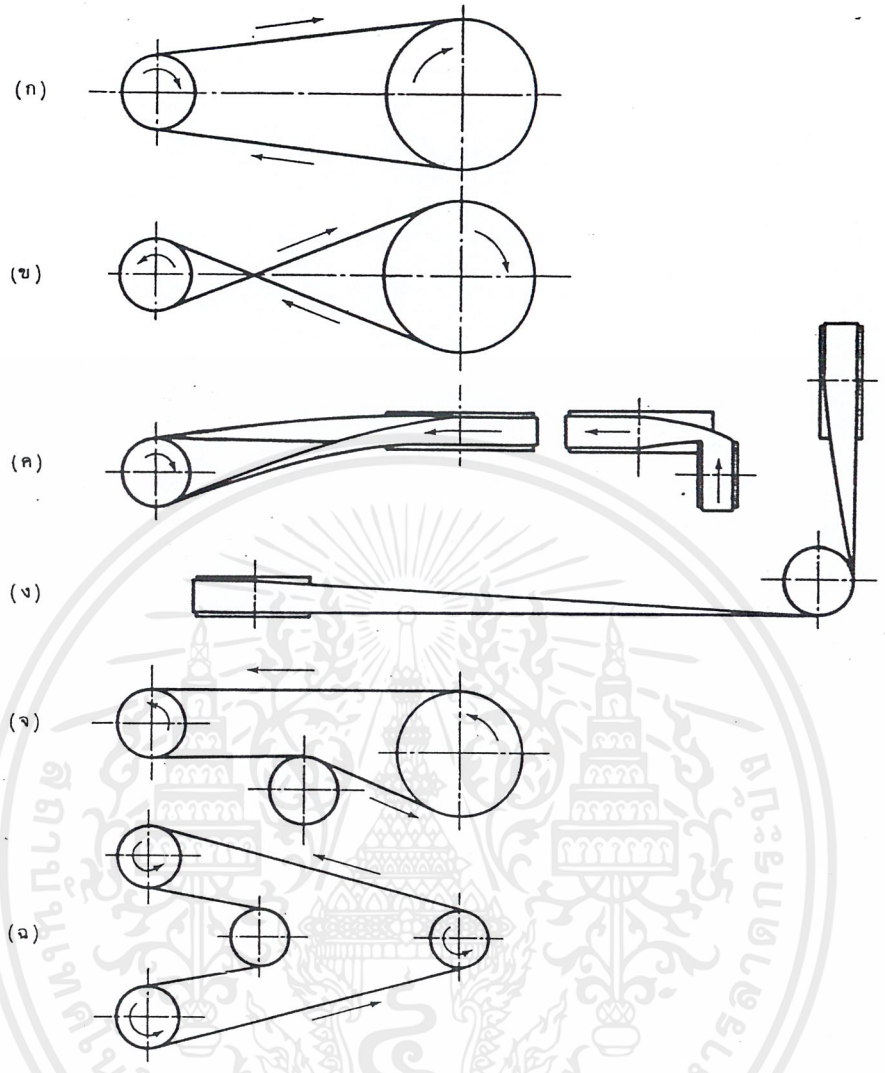
5.3.8 ลักษณะการขับด้วยสายพาน

เนื่องจากคุณสมบัติในการอ่อนตัวของสายพาน จึงอาจจัดลักษณะการขับของสายพานได้ต่างๆกัน ลักษณะทั่วๆไปที่นิยมใช้ในการขับด้วยสายพานดูได้จากรูป

เมื่อต้องการขับเพลาที่อยู่ขนานกัน และต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนในทิศทางเดียวกัน ก็จะทำได้ในลักษณะดังรูป (ก) ซึ่งเรียกว่าโอพีนไดรว์ (open drive) และถ้าเพลาอยู่ห่างกันมากควรจะให้สายพานด้านล่างตึง (tight) และด้านบนหย่อน (slack) แต่ถ้าต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนสวนทางกันก็ทำได้โดยใช้วิธีดังรูป (ข) ซึ่งเรียกว่าครอสไดรว์ (crossed drive) แต่การขับในลักษณะนี้จุดที่สายพานไขว้กันจะทำให้สายพานถูกัน ทำให้สายพานเกิดการสึกหรอมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันมิให้สายพานสึกหรอมากเกินไปจึงควรจะให้จุดศูนย์กลางของล้อสายพานอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่ายี่สิบเท่าของความกว้างสายพาน และทำงานที่ความเร็วสายพานไม่เกิน 15 m/s

การขับแบบควอเตอร์เทอนไดรว์ (quarter turn drive) ดังรูป(ค) ใช้เมื่อเพลาทั้งสองตั้งฉากกัน และเพื่อป้องกันไม่ให้สายพานหลุดออกจากล้อสายพานในขณะใช้งาน จึงต้องใช้ล้อสายพานที่กว้างเพียงพอ โดยทั่วไปมักจะต้องกว้างมากกว่าความกว้างสายพานไม่น้อยกว่า 1.4 เท่า และก่อนใช้งานจะต้องทดสอบก่อนเสมอ ส่วนการขับแบบมิวล์ไดรว์(mule drive) ดังในรูป (ง) ใช้เมื่อเพลาทั้งสองตั้งฉากกัน แต่ไม่อาจจัดในลักษณะควอเตอร์เทอนไดรว์ได้ หรือเมื่อต้องการให้หมุนกลับทิศทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ลักษณะการขับด้วยสายพานแบบต่างๆ

เมื่อไม่สามารถใช้ขับในลักษณะโอพันไดรว์ได้ เพราะส่วนโค้งสัมผัส (arc of contact) บนล้อสายพานเล็กมีค่าน้อยเกินไป (เพราะอัตราทดสูง และล้อสายพานอยู่ใกล้กันมาก) หรือเมื่อไม่อาจทำให้สายพานตึงโดยวิธีอื่น ก็อาจทำได้โดยใช้ล้อช่วย (idler) ดังรูป(จ) เป็นการช่วยให้สายพานสัมผัสกับล้อมากขึ้น ซึ่งเพิ่มกำลังที่ส่งได้ด้วย ส่วนการขับแบบริเวอร์ไดรว์ (reverse drive) ใช้เมื่อต้องการส่งกำลังไปยังเพลาหลายๆอันพร้อมกัน

5.3.9 สายพานลิ่ม

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมากโดยต้องการแรงดึงชั้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียว กับร่องรูปลิ่มของล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสน้อย และมีแรงดังชั้นต้นค่อนข้างต่ำ และเหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุดเมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน และในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉิน ก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่เป็นเบรคได้ด้วย

การขับด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดีคือเงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ นอกจากนั้นยังมีขนาดกระทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบริ่งของเพลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไปจึงมักใช้ในการขับทางด้านอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งใช้สายพานขับได้โดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7:1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10:1

5.3.10 ขนาดสายพานและล้อสายพานลิ่ม

สายพานลิ่ม มีหน้าตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ความกว้างพิตช์ (pitch width) และความหนาสายพานโดยใช้ตัวอักษรแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (narrow V-belts) มีขนาด SPZ SPA SPB และSPC และสายพานลิ่มแบบธรรมดา มีขนาด Y Z A B C D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่มและล้อสายพาน ดูได้จากรูปและส่วนขนาดต่างๆดูได้จากตาราง

5.3.11 ล้อสายพาน

การส่งกำลังโดยสายพานแบนทำได้โดยใช้ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าล้อสายพานกับผิวหน้าของสายพาน ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทราบรายละเอียดเกี่ยวกับล้อสายพาน เพื่อที่จะนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ลักษณะของล้อสายพานที่ใช้งานทั่วไป ดูได้จากรูป ล้อสายพานจะยึดติดกับเพลาด้วยลิ่ม ดังนั้นที่ดุมล้อสายพานจึงต้องเจาะร่องลิ่มไว้เพื่อใช้ยึดกับเพลา เพื่อให้ล้อสายพานมีน้ำหนักเบาจึงมักทำเป็นแขนยื่นออกจากดุมล้อไปยังผิวหน้าที่สัมผัสกับสายพาน แขนยื่นนี้มีขนาดเรียวลงตลอดและมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงรี ดังรูป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมาตรฐานดูได้จากตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานแบน ตามมาตรฐาน ISO99-1975(E)

ขนาดระบุ		ขนาดในพิกัด			
		เล็กสุด	ใหญ่สุด	เล็กสุด	ใหญ่สุด
mm	in	mm	mm	in	in
40	1.6	39.5	40.5	1.56	1.60
45	1.8	44.4	45.6	1.75	1.80
50	2	49.4	50.6	1.95	2.00
56	2.24	55.2	56.8	2.17	2.24
63	2.5	62.2	63.8	2.45	2.51
71	2.8	70	72	2.76	2.84
80	3.15	79	81	3.11	3.19
90	3.55	88.8	91.2	3.50	3.59
100	4	98.8	101.2	3.88	3.98
112	4.5	110.8	113.2	4.36	4.46
125	5	123.4	126.6	4.86	4.98
140	5.6	138.4	141.6	5.45	5.58
160	6.3	158	162	6.22	6.38
180	7.1	178	182	7.01	7.17
200	8	198	202	7.80	7.95
224	9	221.5	226.5	8.72	8.92
250	10	247.5	252.5	9.74	9.94
280	11.2	276.8	283.2	10.90	11.15
315	12.5	311.8	318.2	12.28	12.53
355	14	351.8	358.2	13.85	14.10
400	16	396	404	15.59	15.91
450	18	446	454	17.56	17.87
500	20	496	504	19.53	19.84
560	22.4	555	565	21.85	22.24
630	25	625	635	24.61	25.00
710	28	705	715	27.75	28.15
800	31.5	793.7	806.3	31.25	31.74
900	35.5	893.7	906.3	35.18	35.68
1000	40	993.7	1006.3	39.12	39.62
1120	45	1112	1128	43.78	44.41
1250	50	1242	1258	48.90	49.53
1400	56	1392	1408	54.80	55.43
1600	63	1590	1610	62.60	63.39
1800	71	1790	1810	70.48	71.26
2000	80	1990	2010	78.35	79.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ขนาดสายพานลิ่มและล้อสายพานลิ่ม ตามมาตรฐาน

ISO/R 52-1957(E) และ ISO/R 256-1962 (E)

ขนาดเป็น mm

หน้าตัดสายพาน			Y	Z	A	B	C	D	E
l_p			5.3	8.5	11	14	19	27	32
h			4	6	8	11	14	19	25
b_w			5.3	8.5	11	14	19	27	32
b_1			6.3	9.7	12.7	16.3	22	32	40
c			1.6	2	2.8	3.5	4.8	8.1	12
e			8 ± 0.3	12 ± 0.3	15 ± 0.3	19 ± 0.4	25.5 ± 0.5	37 ± 0.6	44.5 ± 0.7
f			6 ± 0.5	8 ± 0.6	10 ± 0.6	12.5 ± 0.8	17 ± 1	24 ± 2	29 ± 2
t_{min}			7	11	14	18	24	28	33
32°	ϕ		≤ 63	–	–	–	–	–	–
34°	สำหรับ		–	63 – 80	90 – 118	140 – 190	224 – 315	–	–
36°	เส้นผ่าน		63	–	–	–	–	≤ 500	≤ 630
38°	ศูนย์กลาง		–	> 80	> 118	> 190	> 315	> 500	> 630
b_2	จำนวน	1	12	16	20	25	34	48	58
	ร่องบน	2	20	28	35	44	59.5	85	102.5
	ล้อสาย	3	28	40	50	63	85	122	147
	พาน	4	36	52	65	82	110.5	159	191.5
		5	44	64	80	101	136	196	236
		6	52	76	95	120	161.5	233	280.5
		7	60	88	110	139	187	270	325
		8		100	125	158	212.5	307	369.5
		9		112	140	177	238	344	411
		10		124	155	196	263.5	381	458.5
		11		136	170	215	289	418	503
		12		148	185	234	314.5	455	547.5
$d_{p_{min}}$			28	50	80	125	200	355	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

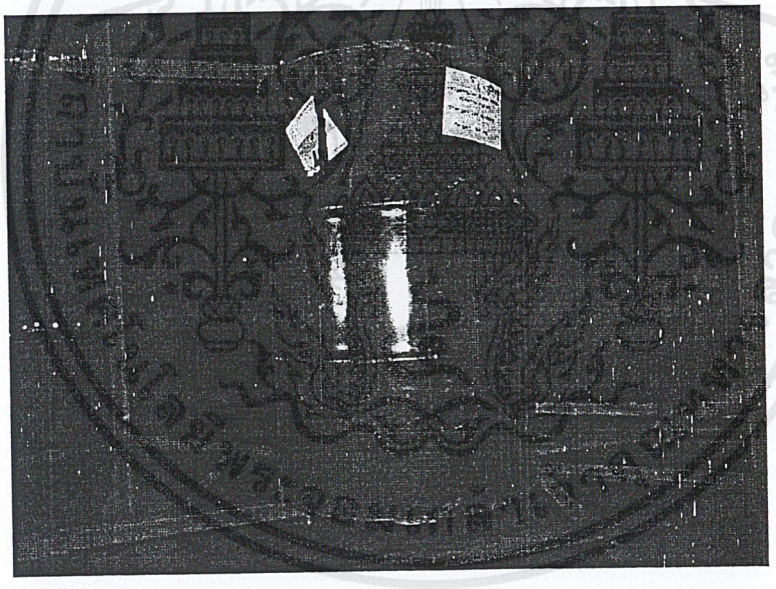
บทที่6
ส่วนการประกอบ และ การติดตั้ง

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆของกังหันลม และการประกอบชิ้นส่วนต่างๆจากที่เราทำการออกแบบ ใบพัด, โครงสร้าง รวมถึงส่วนประกอบต่างๆ โดยอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆนั้นจะแยกเป็นส่วนๆดังนี้

6.1 ส่วนประกอบ

6.1.1 ใบพัด (Oil tank blade)

เราได้ทำการคิดค้นและ ออกแบบโดยใช้ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร จำนวน 3 ใบ มาผ่าครึ่งทำเป็นใบพัด และทำการติดตั้ง กับแขนที่ทำจากเหล็กกล่อง โดยทำการออกแบบให้มี 3 ชั้น โดยใบพัดแต่ละใบจะติดตั้งเอียงทำมุมกัน 60 องศา เพื่อที่จะสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง ดังรูป

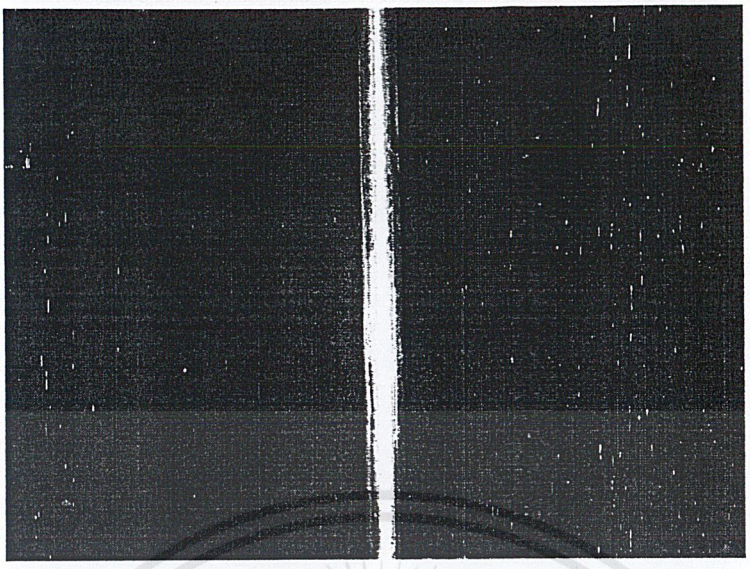


รูปที่ 6.1 แสดงใบพัดของกังหันลม

6.2.2 เพลากลาง (Shaft)

เพลากลาง คือ เพลาที่เราใช้ติดกับใบพัดเพื่อรับลมทำให้กังหันหมุนโดยที่เราออกแบบและเลือกใช้นั้น เราเลือกใช้เพลาสเตนเลส (Stainless) ขนาดความยาว 5.2 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25 นิ้ว โดยเราได้ทำการตัดเพลาแล้วต่อโดยการทำเกลียวเพื่อสะดวกในการประกอบและติดตั้ง ดังรูป

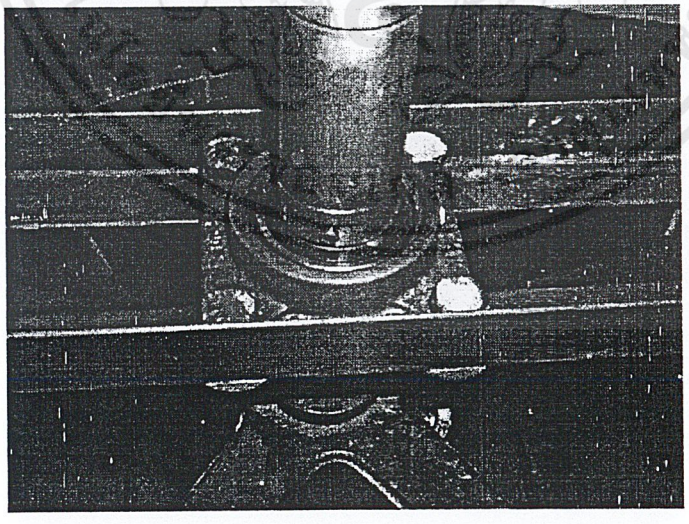
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงเพลากลางของกังหันลม

6.2.3 แบริ่ง (Bearing)

แบริ่งในส่วนของตัวกังหันนั้นเราจะใช้ทั้งหมด 3 ตัว โดยตัวแรกจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25 นิ้ว จะทำการติดตั้งที่ส่วนล่างของเพลาเพื่อทำการรับน้ำหนักของเพลาและใบพัดทั้งหมด ส่วนตัวที่ 2 นั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25 นิ้ว จะทำการติดตั้งไว้บริเวณส่วนกลางของเพลากังหัน เพื่อประคอง และช่วยในการหมุน ส่วนตัวที่ 3 จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วโดยทำการติดตั้งไว้บริเวณส่วนบนของกังหันลม ดังรูป

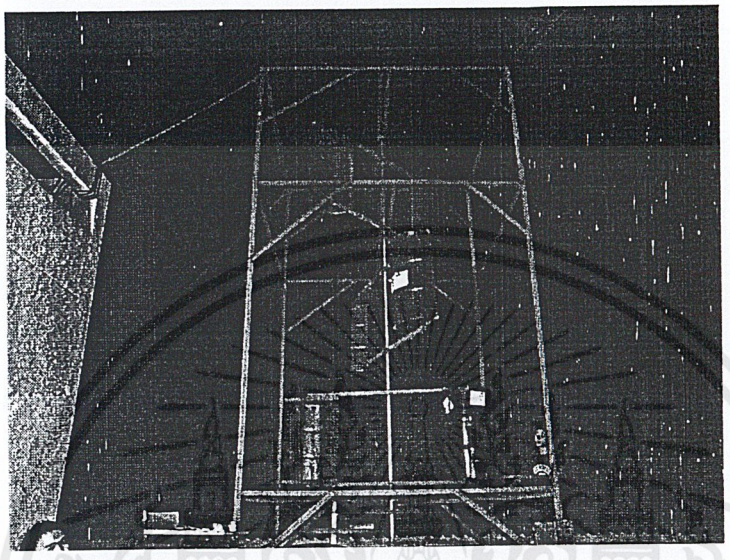


รูปที่ 6.3 แสดงการใช้งานของแบริ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4 โครงสร้าง (Structure)

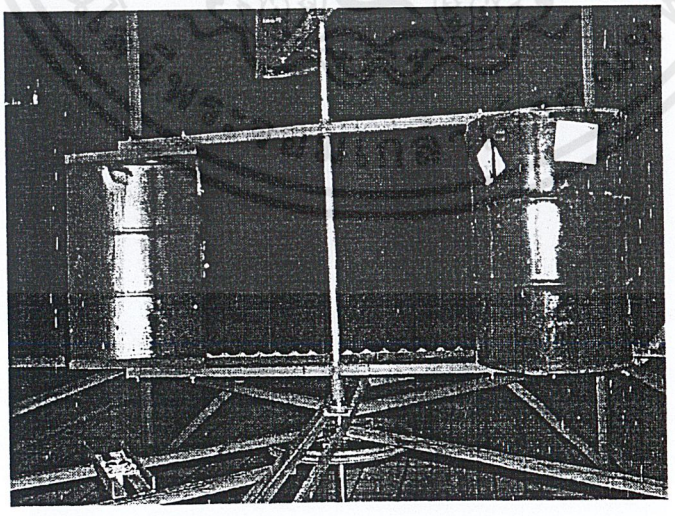
ในส่วนโครงสร้างของกังหันนั้นเราสร้างโดยใช้เหล็กฉากขนาด 40 x 40 ม.ม.หนา 1/8 นิ้ว มีความสูงของโครงทั้งหมด 5.2 เมตร และมีขนาดความกว้าง 2.6 เมตร ยาว 2.6 เมตร โดยชิ้นส่วนแต่ละชิ้นนั้นจะประกอบติดกันโดยใช้วิธีการเชื่อมไฟฟ้า ดังรูป



รูปที่ 6.4 แสดงโครงสร้างของกังหันลม

6.2.5 แขนของใบพัด(Arms)

เราออกแบบโดยใช้เหล็กกล่องขนาด 40 x 40 ม.ม. แขนแต่ละช่วงจะมีความยาว 80 ซ.ม. ดังรูป

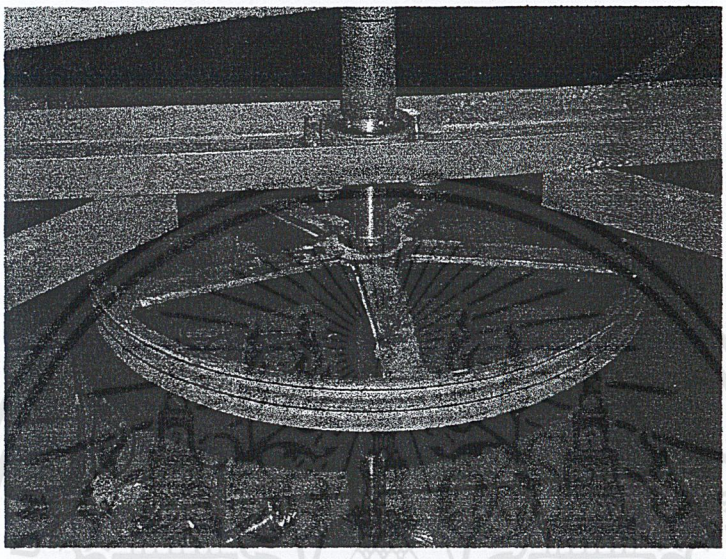


รูปที่ 6.5 แสดงแขนของใบพัดกังหัน

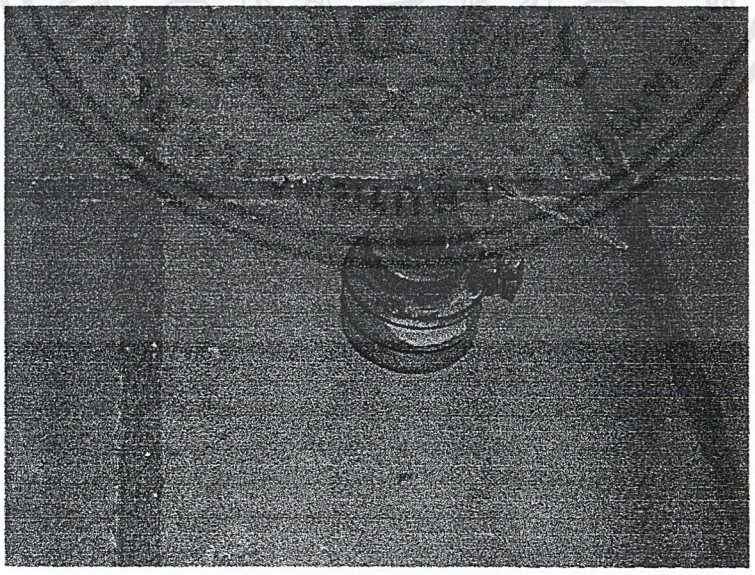
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.6 พูเล่ (Pulley)

เมื่อใบพัดหมุนจะทำให้เพลาหมุนด้วยแต่ความเร็วรอบที่ได้จากเพลานั้นไม่เพียงพอต่อทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเราจึงใช้ประโยชน์จากพูเล่ในการทดรอบเพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยพูเล่ที่เราใช้ในการทดรอบมีทั้งหมด 3 ตัว คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ,22 นิ้ว และ 24 นิ้ว โดยใช้แบบร่อง B



รูปที่ 6.6 แสดงการติดตั้งพูเล่ขนาด 24 นิ้ว



รูปที่ 6.6 แสดงพูเล่ขนาด 2.5 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.7 สายพาน (Belt)

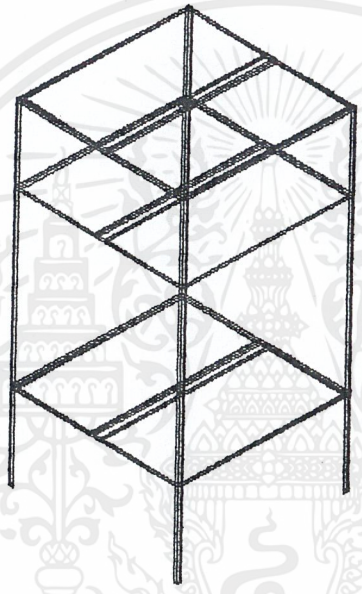
ใช้ในการถ่ายแรงจากพูเล่ตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่ง

6.2.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator)

เลือกใช้ยี่ห้อ Mitsubishi ขนาด 12 โวลต์

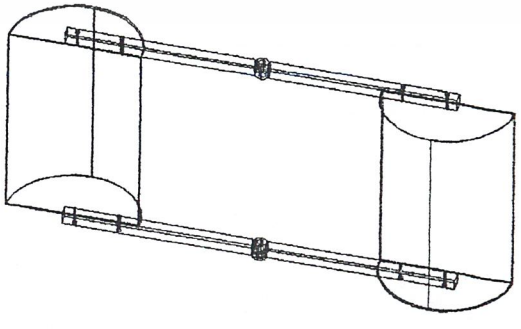
6.2 ขั้นตอนการประกอบ และ ติดตั้ง

6.2.1 ขึ้นโครงสร้างโดยใช้เหล็กฉาก ขนาด 40 x 40 ม.ม. ดังรูป



รูปที่ 6.7 แสดงโครงสร้างของกังหันลม

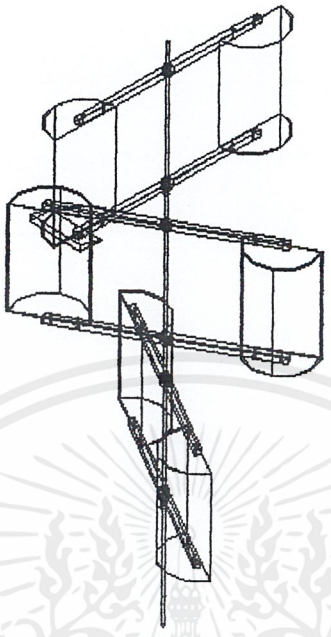
ติดตั้งใบพัดกับแขน ดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 แสดงการติดตั้งใบพัดกับแขน

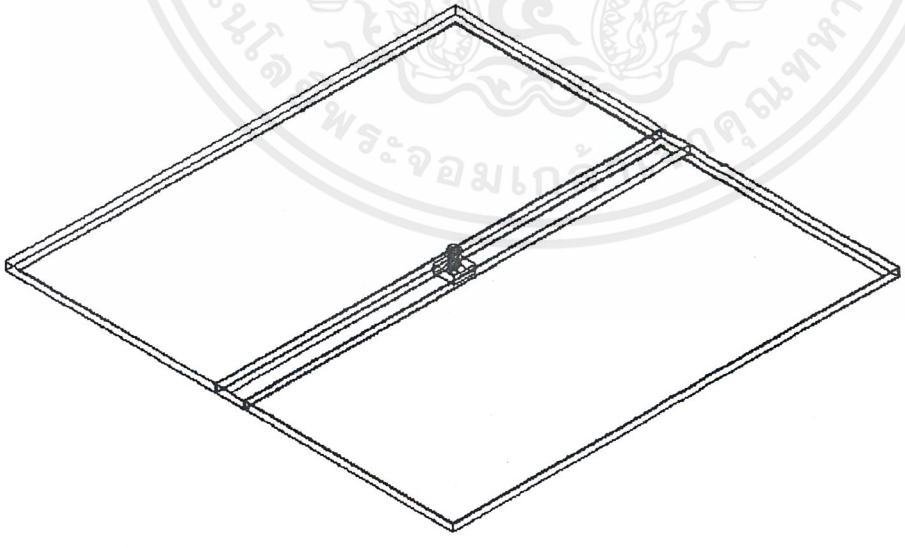
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบใบพัดเข้ากับเพลากลาง ดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 แสดงการประกอบใบพัดเข้ากับเพลากลาง

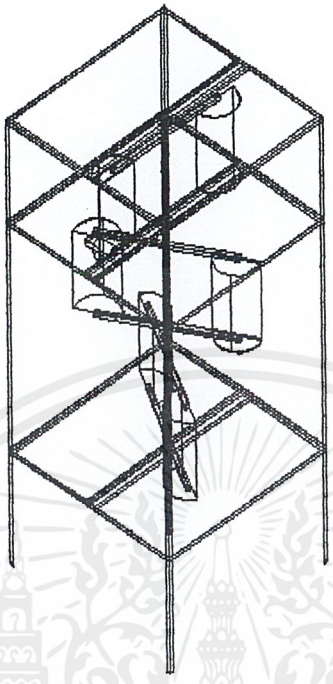
ติดตั้งแบริ่งกับโครงสร้าง ดังรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 แสดงการติดตั้งแบริ่งเข้ากับ

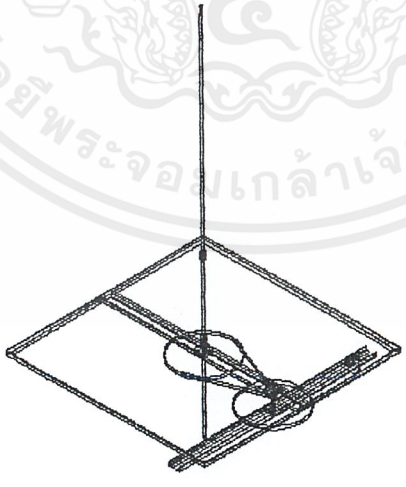
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบเพลากลางเข้ากับโครงสร้าง ดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 แสดงการประกอบใบพัดกับโครงสร้าง

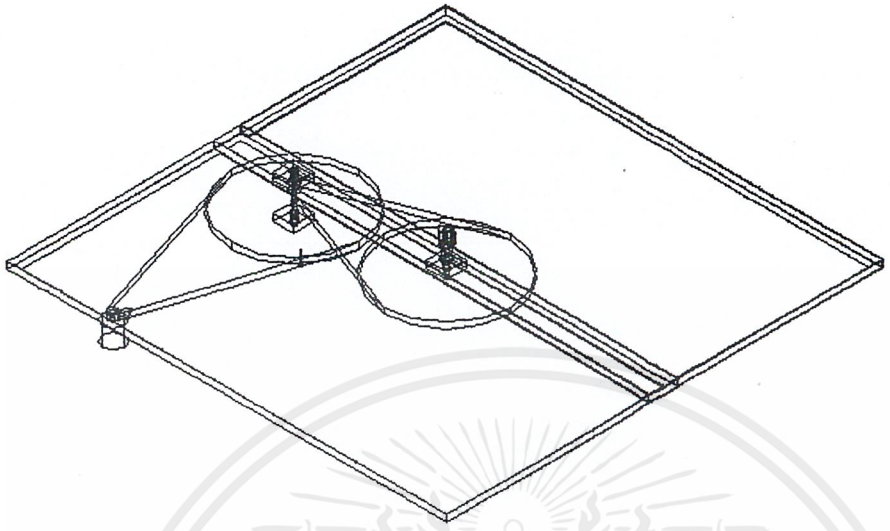
ติดตั้งพูเล่เพื่อใช้ในการทดรอบ ดังรูปที่ 6.12



รูปที่6.12 แสดงชุดทดรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูป6.13



รูปที่6.13 แสดงการติดตั้งชุดทดรอบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ผลการทดลอง

สำหรับผลการทดลองซึ่งเราได้ทำการวัดความเร็วลมและความเร็วรอบของกังหันลม โดยความเร็วลมนั้นเราสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม หรือแอนิโมมิเตอร์ แต่เนื่องจากความเร็วของลมนั้นมีค่าไม่คงที่ เราจึงทำการทดลองวัดค่าหลายๆครั้ง และช่วงเวลา โดยทำการหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป

ตารางที่ 7.1 แสดงค่าของความเร็วลม และ ความเร็วรอบของเพลาที่วัดได้

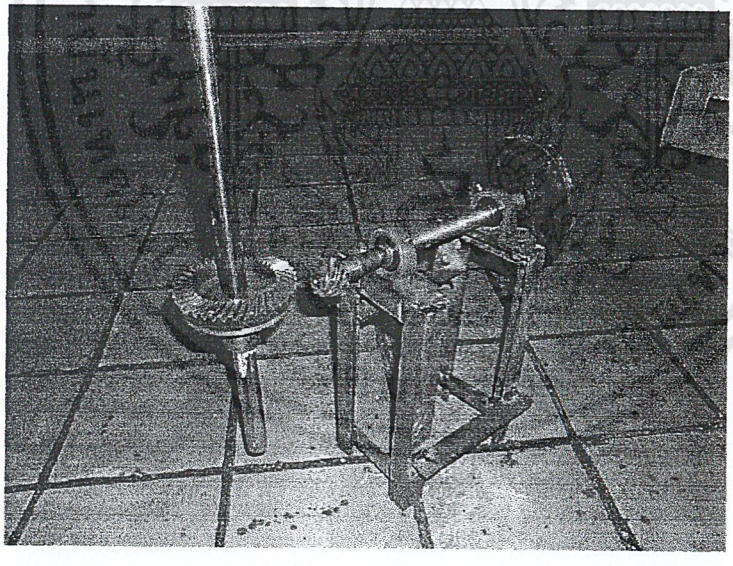
ครั้งที่	เวลา	ความเร็วลม ft/min	ความเร็วรอบของเพลา rpm	ความเร็วรอบของเพลาrad/s	ความเร็วเชิงเส้นของใบพัด v = wr	อัตราส่วนความเร็ว
ครั้งที่1	9.00 น.	600	10.1	1.057	169.14	28.19
	11.00 น.	850	15.7	1.644	263.07	30.95
	14.00 น.	800	13.1	1.37	219.227	27.4
	16.00 น.	950	17.5	1.833	293.31	30.89
	20.00 น.	900	18.1	1.895	303.23	33.69
	22.00 น.	950	18.5	1.937	309.958	32.62
	02.00 น.	950	18.7	1.958	313.32	32.98
เฉลี่ย		857.14	15.96	1.67	267.32	30.96
ครั้งที่2	9.00 น.	800	12.9	1.351	216.18	27.03
	11.00 น.	750	12.7	1.329	212.667	28.35
	14.00 น.	400	8.4	0.879	140.65	35.16
	16.00 น.	650	11.2	1.173	187.7	28.87
	20.00 น.	850	15.5	1.623	259.7	30.55
	22.00 น.	950	19	1.99	318.44	33.52
	02.00 น.	900	17.7	1.85	296.037	32.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ย		757.14	13.92	1.456	233.05	30.91
3-Jan-00	9.00 น.	750	12.8	1.34	214.42	28.59
	11.00 น.	900	18	1.885	301.63	33.51
	14.00 น.	800	13.6	1.424	227.86	28.48
	16.00 น.	550	10.2	1.068	170.9	31.07
	20.00 น.	1000	21.3	2.23	357.24	35.72
	22.00 น.	950	19.1	2	320.04	33.69
	02.00 น.	1050	22.7	2.377	380.36	36.22
เฉลี่ย		857.14	16.81	1.76	281.77	32.46

7.1 การวัดแรงบิด

สำหรับการวัดแรงบิดของเพลานั้น สามารถวัดได้จากชุดทดลองการวัดแรงบิด



รูปที่ 7.1แสดงชุดทดสอบแรงบิด

โดยค่าแรงบิดสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$T = (W - w)(D + d)/2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ T คือ แรงบิด (นิวตัน-เมตร)
W คือ น้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก(นิวตัน)
w คือ แรงดึงที่อ่านค่าได้จากตาชั่งสปริง (นิวตัน)
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของพูเล่ (เมตร)
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของสายพาน (เมตร)

7.2 การหาประสิทธิภาพ (Turbine Efficiency)

ประสิทธิภาพของกังหันลม (η) = $\frac{\text{Power Output}}{\text{Power Input}}$

เราสามารถคำนวณหา power input ของลมที่เข้าในกังหันได้

จากสมการของพลังงานจลน์ (kinetic energy) ของลมที่มีมวล m (ก.ก.) และมีความเร็ว v (เมตร / วินาที) หาได้จาก

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

หาพลังงานภายใน 1 วินาที ที่ลมพัดผ่านหน้าตัดขวาง (A) ของใบพัดกังหันโดย A จะหน่วยเป็นตารางเมตร

ปริมาตรของลมที่พัดผ่าน = AV

มวล = ρAV

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

= $\tfrac{1}{2} \rho A V^3$ วัตต์

และเราสามารถหา Power Output ที่ทำให้กังหันหมุนได้

กำลังที่ทำให้กังหันหมุน (Power Output) = $T\omega$

โดย T คือ แรงบิดของเพลา (นิวตัน-เมตร)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม (rad / วินาที)

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

จะได้ Power Output = $\frac{2\pi NT}{60}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่7.2แสดงผลการทดสอบแรงบิด และประสิทธิภาพ

ความเร็วลม (ft/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วเชิงมุมω (rad/s)	แรงบิด (N.m)	Power Input (watt)	Power Output (watt)	Efficiency %
400	8.4	0.879	2.190	15.552	1.925	12.37
550	10.2	1.068	3.588	38.260	3.830	10.01
600	10.3	1.089	4.983	52.448	5.476	10.43
650	11.2	1.173	6.378	64.860	7.481	10.71
750	12.7	1.340	7.970	107.510	10.680	9.93
800	13.6	1.424	9.568	130.440	13.625	10.45
850	15.5	1.623	10.166	154.560	16.499	10.67
900	17.7	1.850	9.568	177.147	17.710	9.97
950	18.2	2.000	15.149	215.000	30.298	14.09
1000	22.2	2.230	10.760	243.000	23.995	9.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
สรุปและวิจารณ์การทดลอง

ในการออกแบบกังหันลมนั้น เราต้องกำหนดกำลังงานที่เราต้องการออกมาก่อน แล้วจึงทำการออกแบบกังหันที่สามารถรับลมแล้วผลิตกำลังงานออกมาได้ตามต้องการ ซึ่งส่วนสำคัญที่สุด คือ การคำนวณหาประสิทธิภาพของกังหันลมว่า มีประสิทธิภาพเท่าไรเพื่อทำให้สามารถออกแบบกังหันลม ให้ได้กำลังงานตามต้องการ

กังหันลมที่ทำการออกแบบมานี้ เป็นกังหันลมในแนวตั้ง โดยใบพัดของกังหันนั้น เราใช้ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร จำนวน 3 ใบ มาผ่าครึ่งเพื่อดัดแปลงเป็นใบพัดของกังหันลม แล้วทำการติดตั้งกับเพลากลาง เพื่อให้เพลากลางหมุน โดยใบพัดแต่ละใบเราติดตั้งให้เอียงทำมุมกัน 60 องศา จากนั้นทำการทดรอบโดยใช้พูเล่เพื่อให้ความเร็วรอบที่ออกมานั้นเหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เลือกใช้ ซึ่งจากผลการทดลองเราสามารถสรุปผลเป็นข้อๆได้ดังนี้

1. ความเร็วของลม การที่กังหันจะสามารถหมุนได้นั้นต้องอาศัยลมที่มีกำลังพอประมาณ และจะต้องสม่ำเสมอ ณ จุดที่ตั้งกังหันลมควรต้องมีการศึกษาถึงลักษณะความเร็วของลม และปริมาณของลมที่เกิดขึ้น เป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 1 ปี เสียก่อน แล้วนำค่าเฉลี่ยความเร็วของลมที่วัดจากเครื่องวัดความเร็วลมหรือ แอนิโมมิเตอร์ ไปใช้ในการออกแบบกังหันลมให้เหมาะสม โดย ณ ที่นี้ความเร็วลมที่วัดได้จากกรมอุตุนิยมวิทยามีความเร็วประมาณ 4-10 ไมล์/ ชั่วโมง ซึ่งเรานำมาใช้ในการคำนวณหาขนาดใบพัดของกังหันลม

2. ลักษณะของใบพัดที่ใช้นั้นสามารถรับลม และทำให้เพลากลางหมุน โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 10% และในการออกแบบนั้นองศาของใบพัดแต่ละชุดจะทำมุมเอียงกัน 60 องศา เพื่อที่จะทำหันกังหันลมสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง อีกทั้งเรายังคำนึงถึงความประหยัดและคุ้มค่าของวัสดุโดยนำเหลือใช้ เช่น ถังน้ำมัน มาดัดแปลงให้เป็นใบพัดของกังหันลมด้วย

3. สถานที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมนั้น ควรเป็นสถานที่โล่งแจ้ง ไม่มีสิ่งกีดขวาง และมีกระแสลมตลอดเวลา เช่น บริเวณทุ่งนา, เนินเขา ฯลฯ โดยเราควรจะคำนึงถึงระดับความสูงในการติดตั้งกังหันลมด้วย เนื่องจากที่ระดับความสูงต่างๆกัน ความเร็วลมจะมีค่าต่างกันไปด้วย เช่น เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น 1 เท่า ความเร็วลมจะมีค่าเพิ่มขึ้น 3 เท่า เป็นต้น

4. มุมองศาในการรับลมที่ดีที่สุด คือ 0 องศา เทียบกับแขนของใบพัด เพราะจะทำให้หน้าตัดที่รับลมนั้นมากที่สุดด้วย รวมถึงจะทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหา และ แนวทางแก้ไข

ปัญหา

เนื่องจากเมื่อทำการสร้างกังหันลมเสร็จแล้ว จะพบว่าประสิทธิภาพที่ได้นั้นมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณไว้ เนื่องจากแรงเสียดทาน และ เกิดการสูญเสียพลังงานอย่างมากในชุดทดความเร็วรอบ รวมทั้งแรงเสียดทานที่เกิดจากสายพาน และแบริ่ง จึงทำให้ความเร็วรอบที่ได้ออกมาต่ำกว่าที่ทำการคำนวณออกแบบไว้

แนวทางแก้ไข

เมื่อเราทราบว่าประสิทธิภาพของกังหันลมนั้นสามารถผลิตกำลังงานได้น้อยกว่าที่คำนวณไว้ ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขเราจึงควรลดขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator) ให้มีความต้องการความเร็วรอบที่ต่ำลงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า หรืออาจจะทำการเพิ่มความยาวของแขนใบพัดเพื่อเพิ่มแรงบิดที่เพลา หรือ ทำการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของใบพัดในการรับลม เพื่อทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

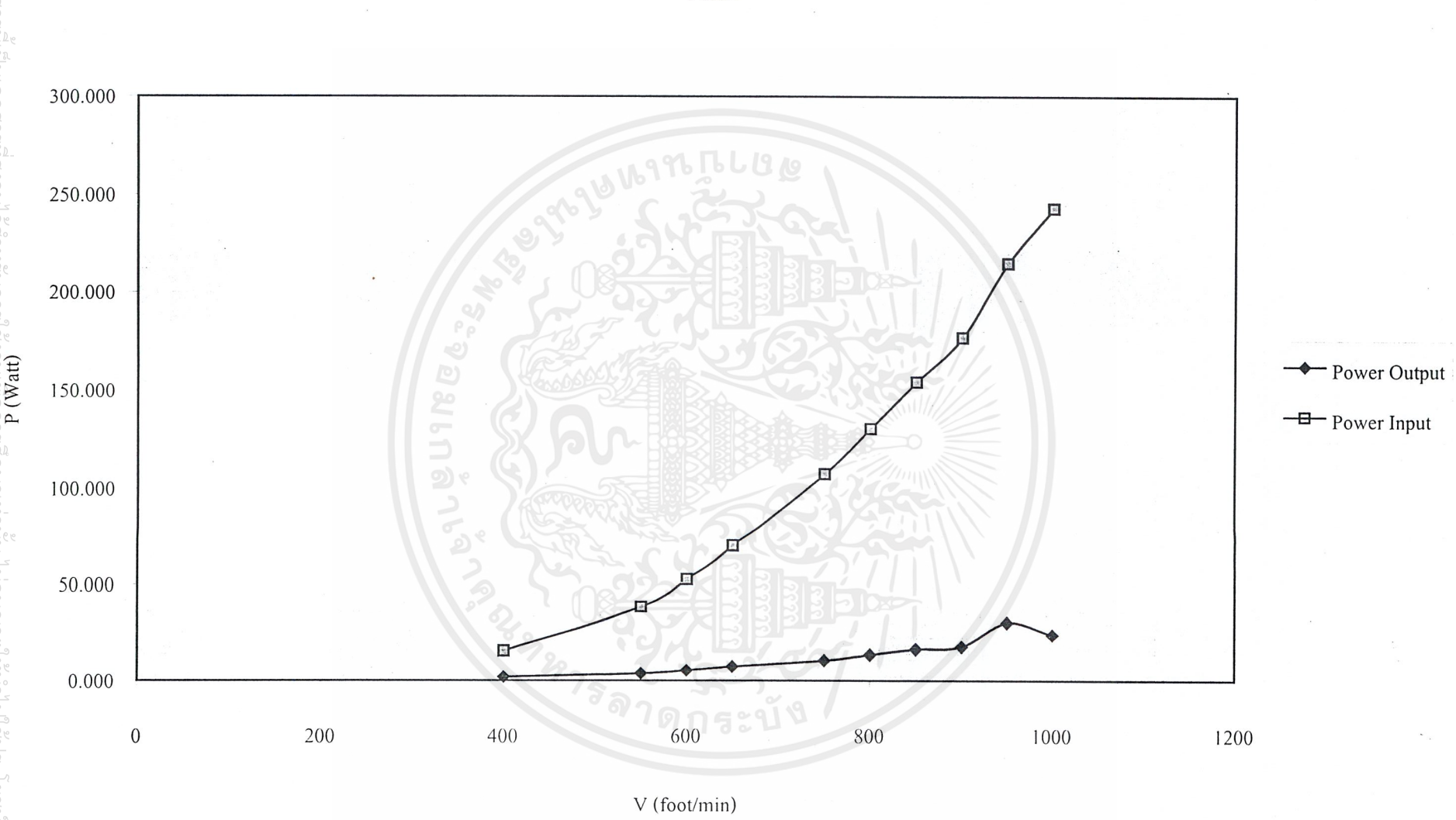
การพัฒนา และ การนำไปใช้ประโยชน์

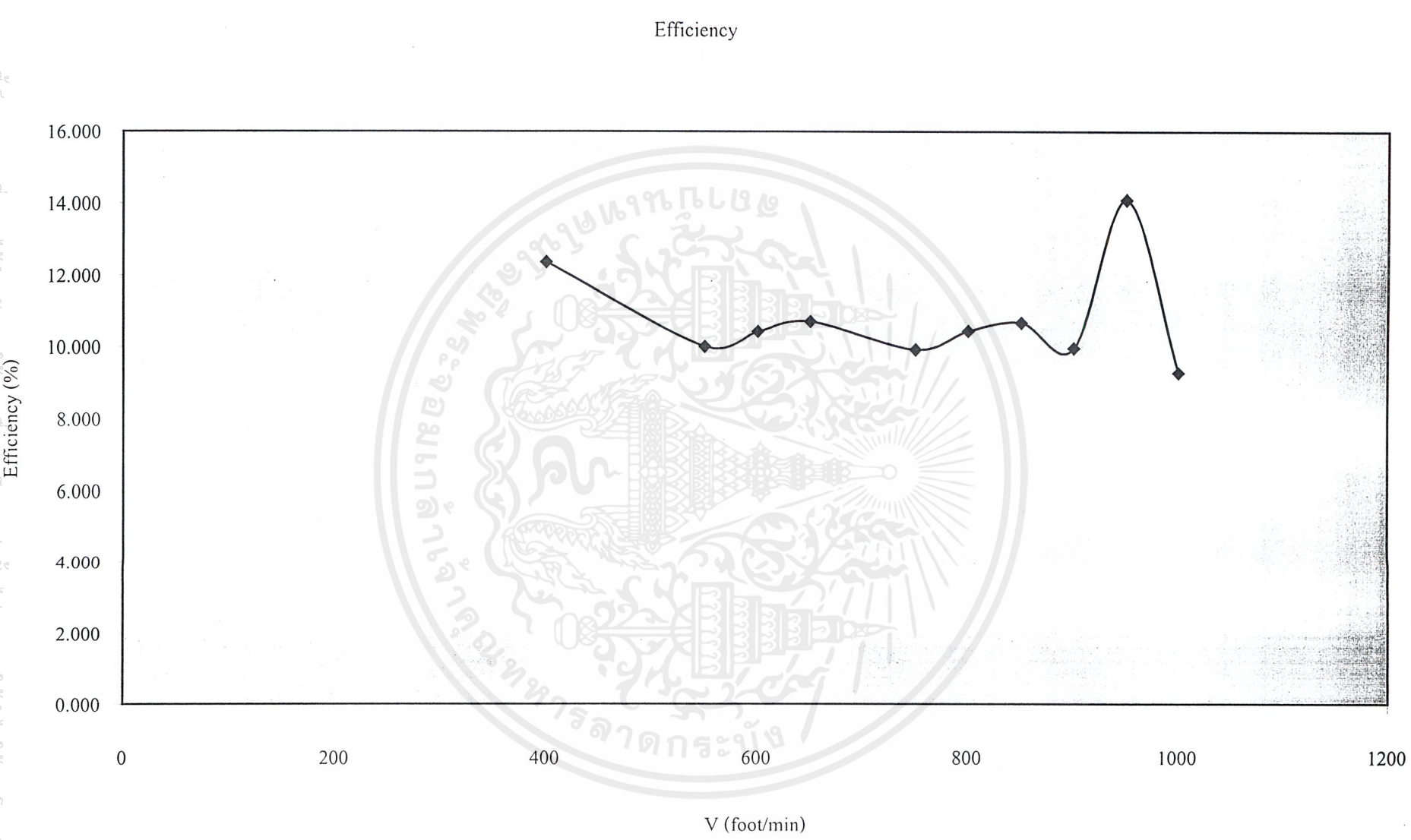
กังหันลมที่เราทำการออกแบบนี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรม และเกษตรกรรมได้ เนื่องจากมีข้อดี คือ สามารถทำการสร้างได้โดยง่าย และ มีต้นทุนในการสร้างต่ำ เนื่องจากเรานำวัสดุที่เหลือใช้มาดัดแปลง อีกทั้งยังให้ประสิทธิภาพที่ดีอีกด้วย

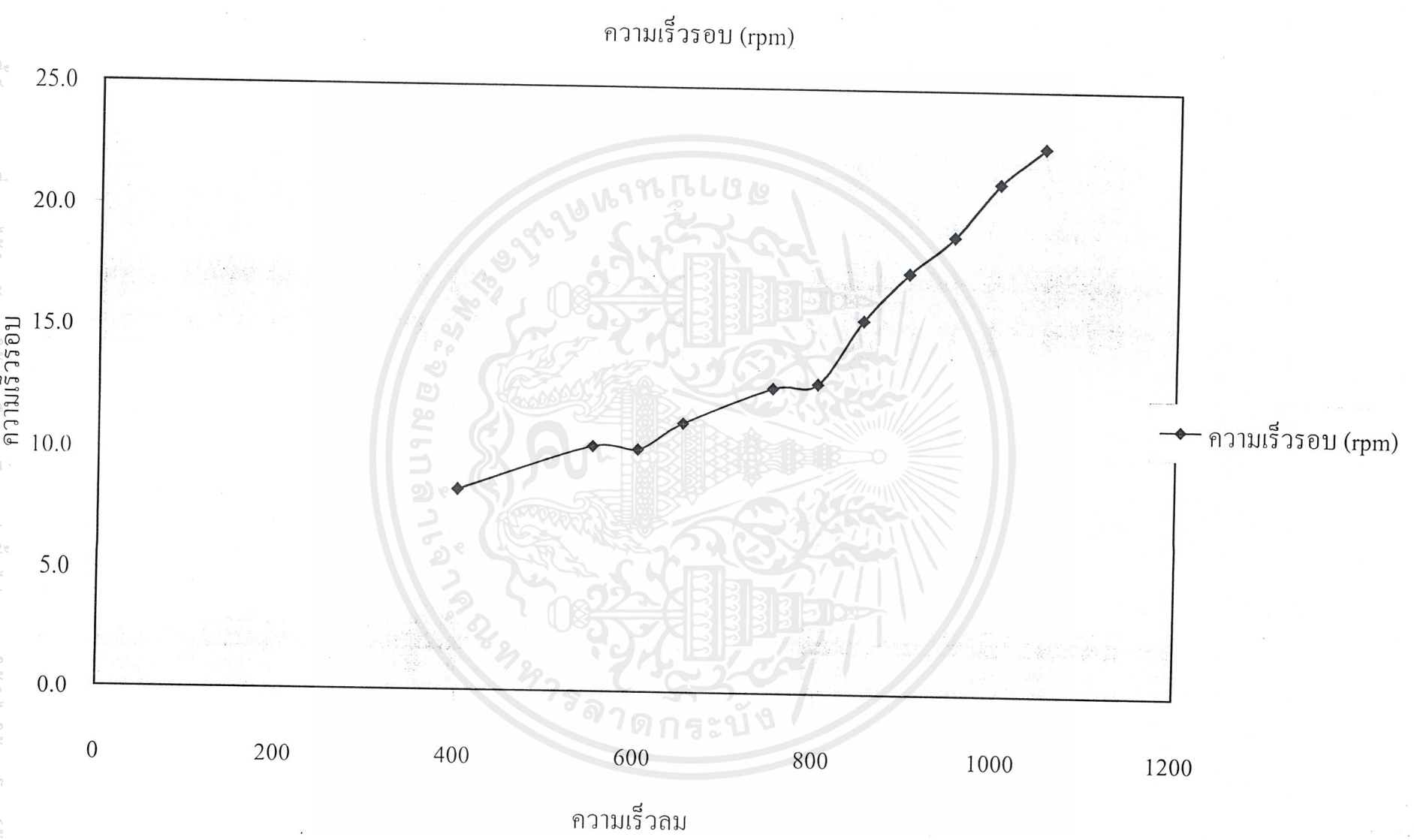
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

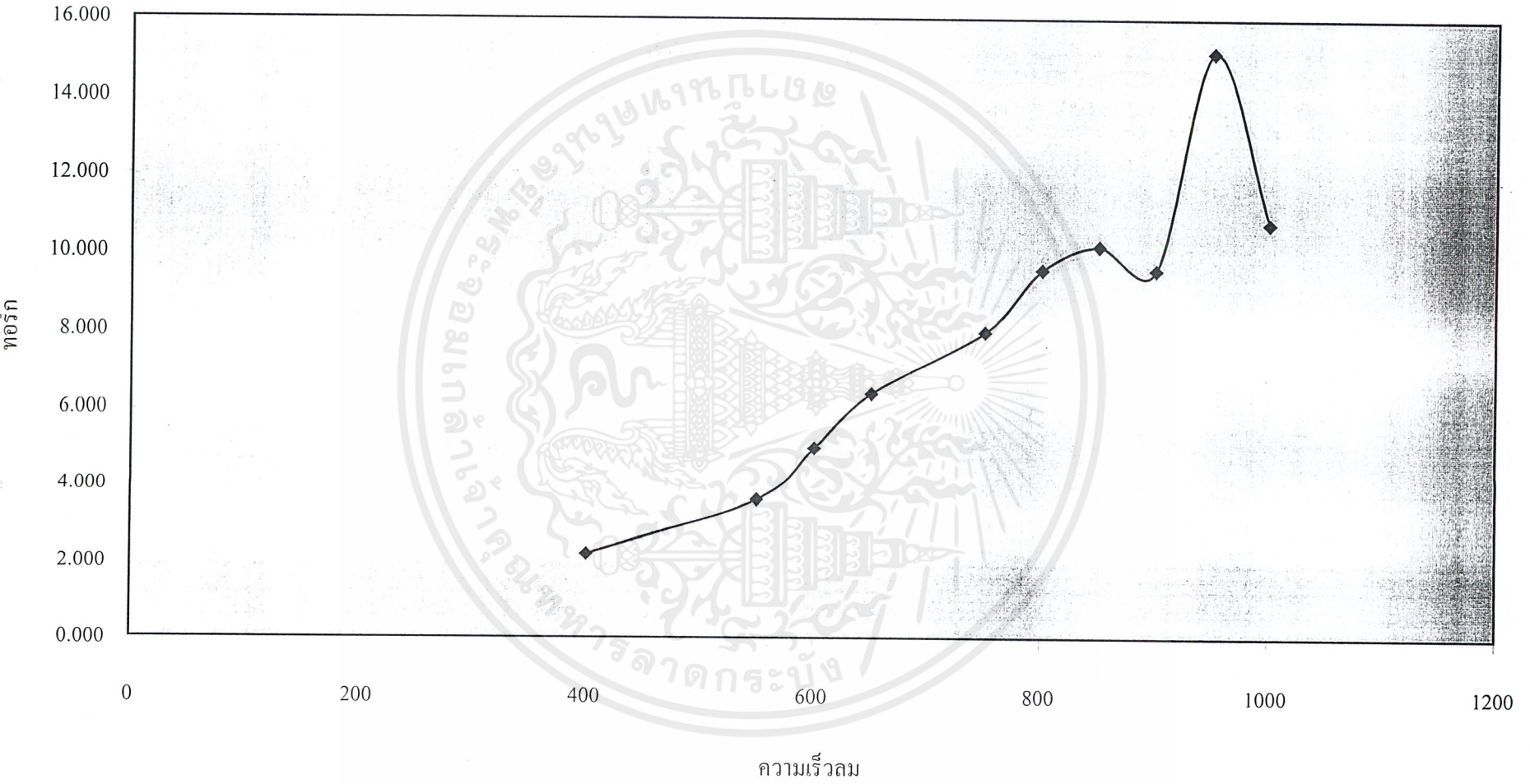
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Power
300.000
250.000
200.000
150.000
100.000
50.000
0.000
P (Watt)
0
200
400
600
800
1000
1200
V (foot/min)
Power Output
Power Input

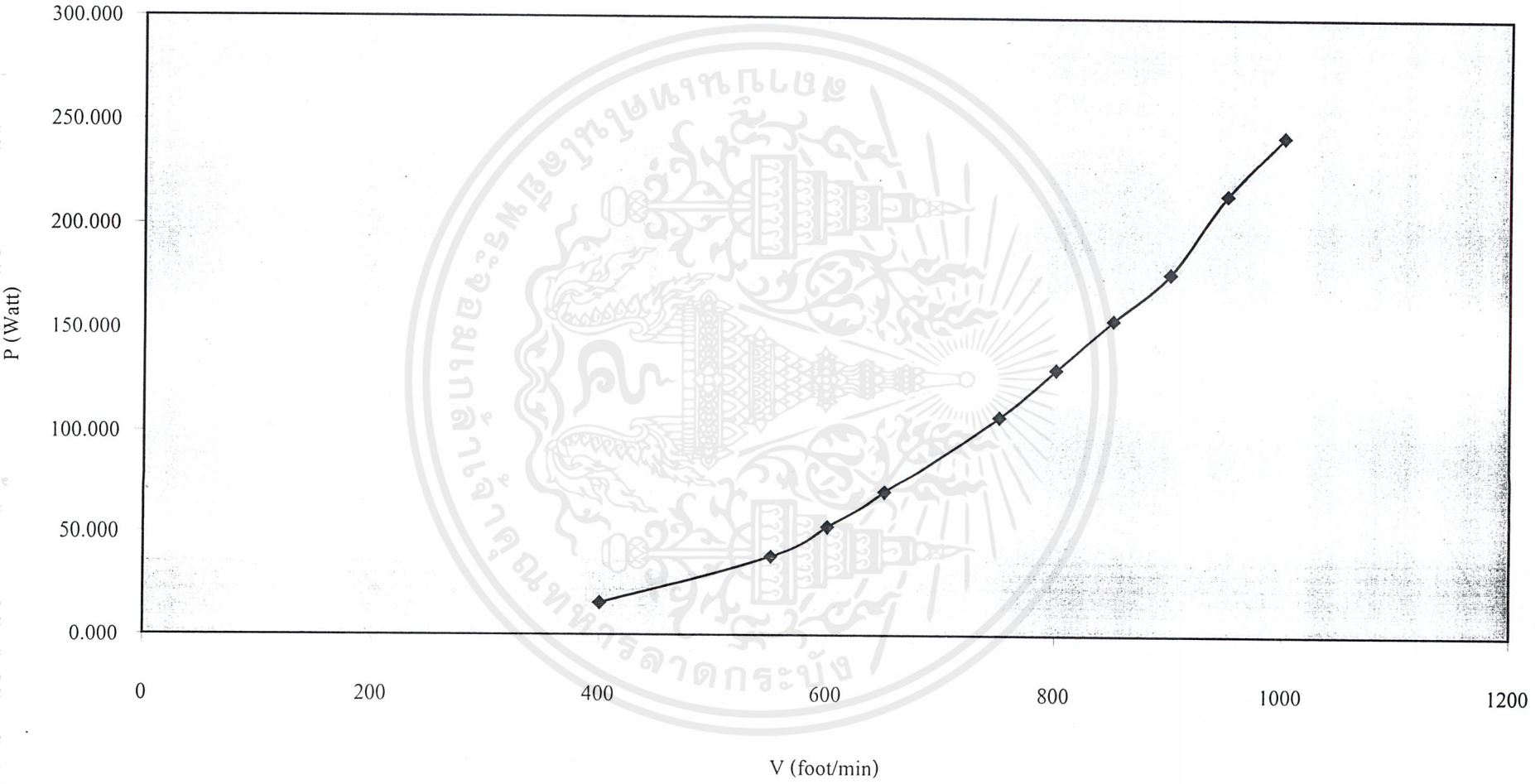

Efficiency
16.000
14.000
12.000
10.000
8.000
6.000
4.000
2.000
0.000
Efficiency (%)
0
200
400
600
800
1000
1200
V (foot/min)

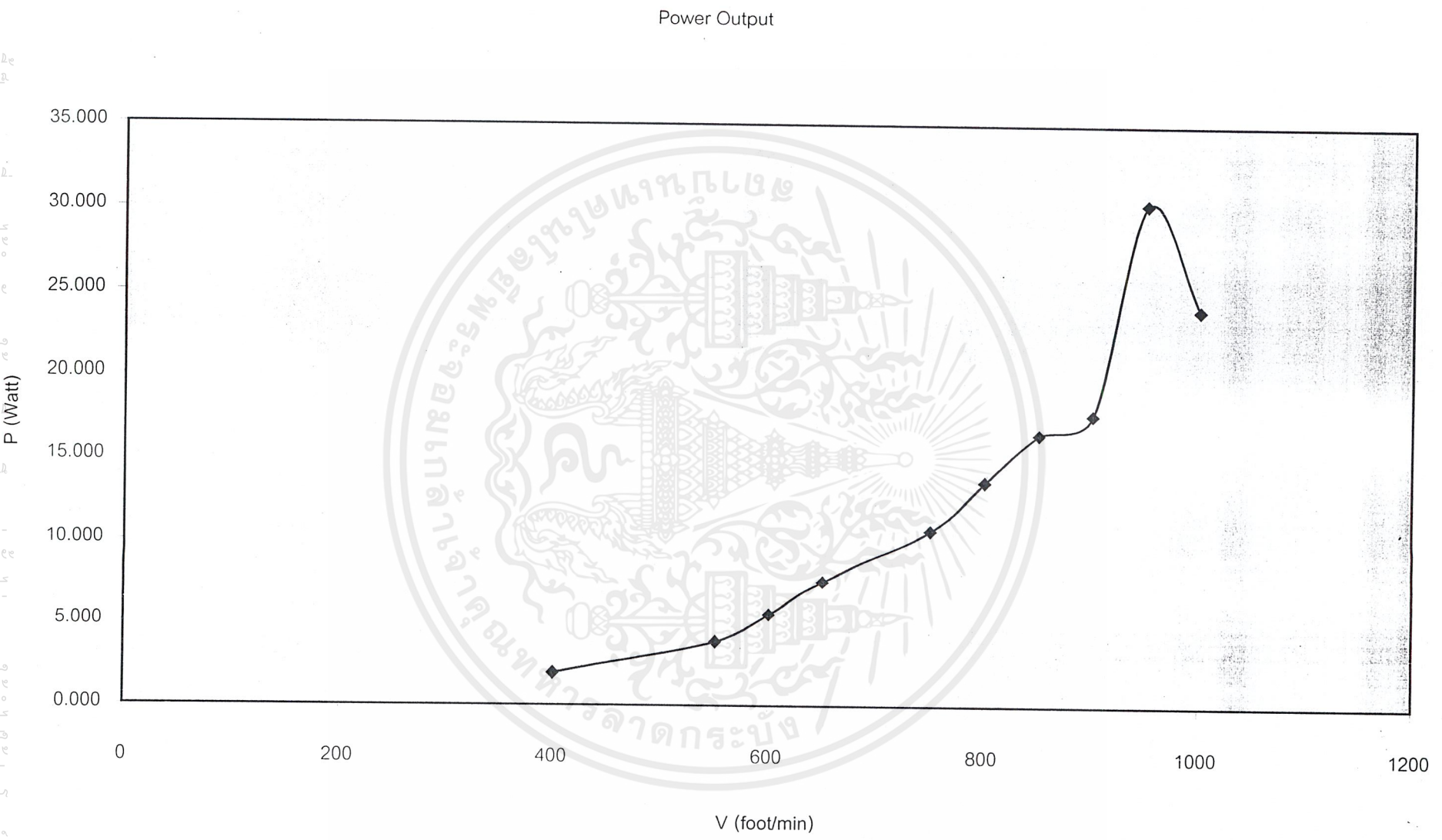

ความเร็วรอบ (rpm)
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
ความเร็วรอบ
0
200
400
600
800
1000
1200
ความเร็วลม
ความเร็วรอบ (rpm)

ทอร์ก Nm


16.000
14.000
12.000
10.000
8.000
6.000
4.000
2.000
0.000
ทอร์ก
0
200
400
600
800
1000
1200
ความเร็วลม

Power Input


300.000
250.000
200.000
150.000
100.000
50.000
0.000
P (Watt)
0
200
400
600
800
1000
1200
V (foot/min)


Power Output
35.000
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0.000
P (Watt)
0
200
400
600
800
1000
1200
V (foot/min)

บรรณานุกรม

1. Jack Park, "Simplified Wind Power System For Experiment"
2. เมธี หมั่นทำการ และก่อเกียรติ บุญชูกุศล, "กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิตยศาสตร์"
3. สมาน เจริญกิจพูลผล และ มนตรี พิรุณเกษตร, "กลศาสตร์ของไหล"
4. J.L. Meriam , L.G. Kraige , "Engineering Mechanics Statics" Fourth Edition
5. ดร. วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน ,"การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1-2 "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้