



กังหันลมผลิตไฟฟ้าสำหรับชนบท

Windmill for Electricity Generation in the Rural Area

โดย

ผศ. สมาน เสนงาม

วศ.บ (เครื่องกล) เกียรตินิยม, วศ. ม. (นิวเคลียร์), M.Eng.Sc. (Fluid Power)

โดยการสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2526

25 กันยายน 2541

Order Key16484
BIB Key149863

650	ศมอ
250	เลขหมู่ TJ 428 ส 26 2541
	เลขทะเบียน..... 1
 2.0.ศ.อ. 2541

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอแสดงความขอบคุณ ต่อสำนักงานประมาณ ในนามของรัฐบาลที่ได้ให้ทุนสนับสนุนสำหรับโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ นักศึกษาทุกระดับที่ได้เข้ามีส่วนร่วมในการช่วยวิจัย ตลอดจน ครู ช่าง และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งร่างกาย แรงใจ ให้โครงการนี้สามารถ สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ข้าพเจ้ารู้สึกในความกรุณาของท่านเหล่านี้ โดยเฉพาะรัฐบาลที่อนุญาตให้สามารถขยายระยะเวลาวิจัยได้จนถึงสิ้นสุดปีงบประมาณ 2541 นี้ จึงขอประกาศขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

บทคัดย่อ

กังหันลมต้นแบบเป็นชนิดคาเรียส มีกำลังผลิตสูงสุด 500 วัตต์ ที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที โดยตัวกังหันประกอบขึ้นด้วยใบพัดอลูมิเนียมอัลลอยด์ 4 ใบ ตัวใบมีรูปร่างเป็นแพนอากาศ NACA 0018 มีความกว้างคอर्ड 150 มิลลิเมตร ประกอบกับส่วนที่เป็นคุมให้เป็นกงกังหัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เมตร สูง 2 เมตร มีกังหันแบบซาโวเนียส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เมตร สูง 2 เมตร เป็นตัวช่วยเริ่มหมุน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัดแปลงจาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ขนาด 150 A / 24 V โดยการพันขดลวดใหม่เพื่อให้ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ 350 รอบ/นาที มีแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่วกรดขนาด 12 โวลต์ ต่อแบบอนุกรมสำหรับสะสมพลังงาน แล้วใช้อินเวอร์เตอร์ ขนาด 500 วัตต์ ในการแปลงเป็นไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์

ผลการทดสอบหลังจากที่ได้มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องถึง 4 รุ่น ได้กังหันลมต้นแบบที่สามารถทำงานได้ เหมาะสำหรับการใช้งานที่บริเวณลมค่อนข้างสูง

ABSTRACT

A prototype windmill is a Darrieus rotor. Designed for electricity generation at the maximum rated of 500 watts at wind velocity of 8 m/s. The rotor consists of 4 blades, which made of extrude aluminum alloy of the NACA 0018 profile with chord length of 150 mm. The rotor is also included with a Savonius rotor, with its dimension of 4 m diameter and 2 m height, for starting.

The generator was modified from a 150 A/ 24 V car alternator to work at low speed as 350 rpm. Car battery and a 500 watts inverter are used for energy storing and 220 volts power supply output.

The test results, after many years and 4 generations of the prototype models, show that the last model can work properly, though the site location of high wind availability is needed.

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	II
หนังสือรับรองความเป็นต้นฉบับ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
สารบัญ	VI
คำนำ	VII
รายละเอียดของโครงการ	VIII
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	VIII
วัตถุประสงค์ของโครงการ	IX
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	IX
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	IX
วิธีการวิจัย	IX
ขอบเขตของการวิจัย	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	14
บทที่ 3 การออกแบบ และสร้าง	27
บทที่ 4 การทดสอบ	38
บทที่ 5 วิจัย และสรุป	44
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	48

คำนำ

โครงการวิจัยเรื่อง "กังหันลมผลิตไฟฟ้าสำหรับชนบท" นี้เป็นโครงการวิจัยในลักษณะออกแบบ สร้าง และติดตั้งใช้งานจริงของกังหันลมต้นแบบ ที่มีขนาดกำลังผลิตประมาณ 500 วัตต์ โครงการวิจัยนี้เป็นหนึ่งในหลายโครงการที่ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทำการวิจัยออกแบบและทดสอบเพื่อเสาะแสวงหาการนำพลังงานรูปแบบต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ก๊าซชีวภาพ และก๊าซชีววมวล เป็นต้น ทั้งนี้ เพราะสถานการณ์ทางด้านพลังงานของโลกปัจจุบัน เริ่มเข้าสู่ภาวะขาดแคลน เนื่องจากแหล่งสำรองพลังงานของโลกมีจำกัด และถูกใช้ไปด้วยอัตราสูงอย่างมาก แต่เดิมนั้นพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจาก ถ่านหิน และ น้ำมันปิโตรเลียมเป็นหลัก จึงควรมีการวิจัยและพัฒนาพลังงานรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเป็นส่วนเสริมและทดแทนพลังงานในส่วนที่หมดสิ้นไป

รายละเอียดของโครงการ

1. ชื่อโครงการ

กังหันลมผลิตไฟฟ้าสำหรับชนบท

Windmill for Electricity Generation in the Rural Area

2. ประเภทของงานวิจัย

การวิจัยประยุกต์

3. สาขาวิชาการที่ทำการวิจัย

การพลังงาน

4. ลักษณะโครงการวิจัย

เป็นโครงการวิจัยเอกเทศที่สมบูรณ์ในตัว

5. ลักษณะการดำเนินงาน

ดำเนินงานโดยหน่วยงานเดียว

6. ผู้ดำเนินงานวิจัย

ชื่อ นาย สมาน เสนงาม (Mr. Smarn Sen-Ngam)

7. สถานที่ทำการทดลอง

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

8. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

พลังงานลมเป็นแหล่งพลังงานอีกชนิดหนึ่งที่ยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากนัก ผลจากวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานของโลกทำให้มีการวิจัยพลังงานนอกแบบในรูปแบบต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้มีการดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับกังหันลมมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2518 จนมีประสบการณ์ทางวิจัยพื้นฐานของกังหันลมพอสมควร จึงควรนำความรู้และประสบการณ์นี้มาใช้พัฒนากังหันลมสำหรับใช้ในชนบทขึ้น เพื่อใช้เป็นต้นกำเนิดพลังงานไฟฟ้าในชนบทที่ห่างไกล ช่วยพัฒนาความเป็นอยู่ให้ดีขึ้น

จากการศึกษาข้อมูลพลังงานลมเท่าที่มีอยู่ พบว่าบริเวณจังหวัดสงขลาเหมาะแก่การติดตั้งต้นแบบกังหันลมเพื่อวิจัย เนื่องจากมีศักยภาพพลังงานลมสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ของประเทศไทย ใน

งานวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาถึงลักษณะการใช้งานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นแบบ ทั้งลักษณะต้นแบบ การดูแลบำรุงรักษา และข้อบกพร่องต่าง ๆ

9. วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อทดสอบการใช้งานจริงของต้นแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ทั้งในแง่สมรรถนะ อายุการใช้งาน ความไว้วางใจได้ของระบบ

เพื่อส่งเสริมการพัฒนาความเป็นอยู่ของประชาชนในชนบท

10. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่อได้ต้นแบบที่สมบูรณ์แล้ว ก็สามารถส่งเสริมให้มีการเผยแพร่ไปยังหมู่บ้านในชนบทที่มีความขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าและมีศักยภาพพลังงานลมพอสมควร ทั้งนี้อาจดำเนินงานโดยหน่วยงานที่พัฒนาชนบทโดยตรง หรือส่งเสริมให้คำแนะนำปรึกษาแก่กลุ่มชาวบ้านที่สนใจด้วยตัวผู้วิจัยเอง อันจะทำให้ประชาชนในชนบทที่มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น เช่น สามารถติดตั้งวิทยุ หรือ โทรศัพท์ประจำหมู่บ้านได้ อีกทั้งสามารถประหยัดพลังงานในรูปแบบอื่นด้วย

11. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในประเทศไทยมีสถาบันที่ทำการศึกษาและพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้าประมาณ 2 สถาบัน คือ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ส่วนในต่างประเทศ เช่น ERDA และ NASA ของ สหรัฐ และ SWD ของเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น

12. วิธีการวิจัย

เนื่องจากการวิจัยในลักษณะ ออกแบบ สร้าง และทดสอบการใช้งานต้นแบบ จึงแบ่งขั้นตอนการวิจัยได้ดังนี้

- ก. ศึกษาและออกแบบระบบ
- ข. สร้าง ติดตั้ง และปรับแต่ง
- ค. ใช้งานและศึกษาข้อมูลด้านต่าง ๆ

13. ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวิจัยในเชิงการสร้างที่ต้องลงทุนค่าวัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ สูง ดังนั้นจึงจำกัดขอบเขตให้ศึกษาเฉพาะต้นแบบของระบบกังหันลมที่เหมาะสมเพียงระบบเดียว ขนาดกำลังการผลิตไม่เกิน 500 วัตต์ พร้อมกับติดตั้งระบบแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

14. ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ได้ขยายระยะเวลาวิจัยจากเริ่มต้น 1 ตุลาคม 2526 จนถึง 25 กันยายน 2541

15. แผนการดำเนินงาน

แบ่งเป็นตามตาราง

การดำเนินงาน	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
การออกแบบ	x	x											
การสร้าง		x	x	x	x								
การติดตั้ง					x	x							
การทดสอบ						x	x	x	x	x	x	x	x

หมายเหตุ ในการดำเนินงานจริงได้ปรับแผน เนื่องจากมีการปรับปรุงออกแบบกังหันลมใหม่ถึง 4 รุ่นดังเสนอไว้ในรายงาน

16. อุปกรณ์ในการวิจัยที่จำเป็น

ได้แก่เครื่องมือวัดต่าง ๆ ได้แก่

- เครื่องวัดความเร็วลมแบบเคลื่อนที่
- มัลติมิเตอร์ สำหรับวัดค่ากระแส และศักดาไฟฟ้า
- ตาชั่งสปริงแบบตั้ง สำหรับวัดแรงบิดเริ่มหมุนของกังหัน
- ตัวความต้านทาน (ภาระทางไฟฟ้า) สำหรับทดสอบกำลังผลิตไฟฟ้าขาออก และเครื่องมือในโรงงานผลิต และติดตั้งได้แก่
- เครื่องกลึง
- เครื่องเชื่อม ไฟฟ้า
- เครื่องตัดเหล็ก
- รถยนต์บรรทุก และรถเข็น

17. งบประมาณ

จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2526 โอนมาใช้ในปี 2527 จำนวนเงินทั้งสิ้น 95,000 บาทถ้วน

บทที่ 1

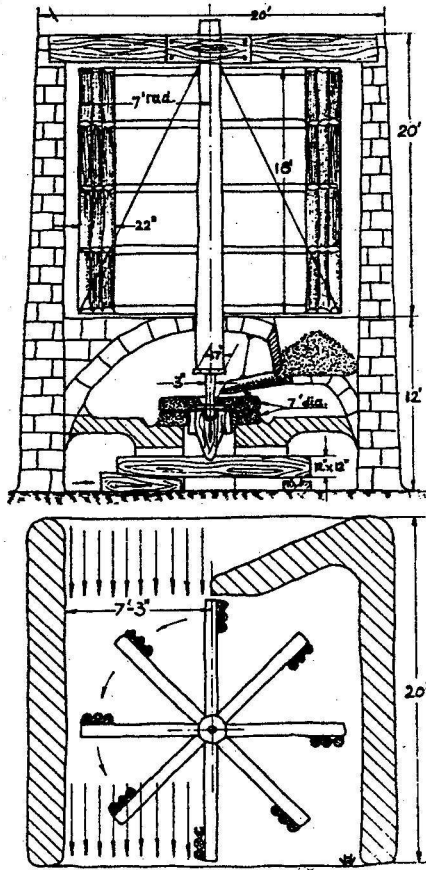
บทนำ

1.1 ความนำ

โครงการวิจัยเรื่อง "กักหน้ลผลิตไฟฟ้าสำหรับชนบท" นี้เป็นโครงการวิจัยในลักษณะออกแบบ สร้าง และติดตั้งทดสอบการใช้งานของกักหน้ลผลิตแบบ ที่มีขนาดกำลังผลิตประมาณ 500 วัตต์ โครงการนี้ในระยะเริ่มต้นได้เลือกโรงเรียนในชนบทที่ยังไม่มีไฟฟ้าในเขตจังหวัดสงขลา เป็นที่ติดตั้ง เพื่อใช้สำหรับการทดลองและสาธิตการใช้งานต้นแบบ แต่หลังจากโครงการได้ดำเนินการมาระยะหนึ่ง ปรากฏว่าโรงเรียนที่คัดเลือกสำหรับเป็นที่ติดตั้งนั้นมีระบบสายส่งไฟฟ้าเข้าไปถึง ประกอบกับได้มีการออกแบบ สร้างและปรับปรุง จนกระทั่งต้องเปลี่ยนแปลงการออกแบบใหม่ทั้งหมด เนื่องจากปัญหาทางด้านการสร้างและประกอบต้นแบบที่ไม่สามารถผลิตได้ตามต้นแบบเดิม จึงได้เปลี่ยนสถานที่ติดตั้งและทดสอบมาเป็นในบริเวณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อความสะดวกต่อการดำเนินงาน

โครงการวิจัยนี้เป็นหนึ่งในหลายโครงการที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ ได้มีการวิจัย เพื่อเสาะแสวงหาและทดสอบการนำพลังงานรูปแบบต่าง ๆ มาใช้ ประโยชน์ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ก๊าซชีวภาพ และก๊าซชีววมวล เป็นต้น ทั้งนี้เพราะสถานการณ์ทางด้านพลังงานของโลกปัจจุบันเริ่มเข้าสู่ภาวะขาดแคลน เนื่องจากแหล่งสำรองพลังงานของโลกมีจำกัด และถูกใช้ไปด้วยอัตราสูงอย่างมาก ซึ่งแต่เดิมนั้นพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากถ่านหินและน้ำมันปิโตรเลียมเป็นหลัก จึงควรมีการวิจัยและพัฒนาพลังงานรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเป็นส่วนเสริมและทดแทนพลังงานในส่วนที่หมดสิ้นไป

ในที่นี้ เป็นการศึกษาวิจัยการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม เน้นถึงระบบต้นแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยพัฒนาต่อเนื่องจากผลงานวิจัยและประสบการณ์ที่ผ่านมาของผู้วิจัย เพื่อเป็นการทดสอบและเผยแพร่ผลงานวิจัยออกสู่สาธารณะ เพื่อกระตุ้นให้มีการผลิตและพัฒนา กักหน้ลที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ขึ้นเองภายในประเทศ



ภาพที่ 1.1 กังหันลมเปอร์เซีย^[13]

1.2 พลังงานลมในอดีต

มนุษย์รู้จักการใช้พลังงานลมในการเดินเรือสำเภา หมุนกังหันลม มานานนับพันปี จากบันทึกทางประวัติศาสตร์ ชาวอียิปต์รู้จักใช้กังหันลมสำหรับสูบน้ำและโม่ข้าวมานานตั้งแต่ 3600 ปีก่อนคริสตกาล ส่วนชาวเปอร์เซียใช้กังหันลมแกนตั้งทำด้วยผ้าใบสำหรับโม่ข้าวในราว 200 ปีก่อนคริสตกาล และชาวจีนในสมัยราชวงศ์ซ่ง (ค.ศ. 960-1280) ใช้กังหันลมแกนราบที่เลียนแบบใบมาจากใบเรือสำเภา ในการท่อน้ำทางเกษตรกรรม และโม่ข้าวและถั่ว

ต่อมาในช่วงคริสตศตวรรษที่ 12-13 ชาวยุโรปได้นำเทคโนโลยีกังหันลมแกนราบนี้ไปจากตะวันออก ทำให้มีการสร้างกังหันลมขึ้นในประเทศต่าง ๆ ของยุโรป เพื่อใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม เช่น อังกฤษ ฮอลแลนด์ รัสเซีย กรีซ และโปรตุเกส เป็นต้น ในสมัยต่อมาได้มีการสร้างและพัฒนากังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งเกิดขึ้นในยุโรปเป็นส่วนใหญ่ เช่น เมื่อปี ค.ศ. 1185 อังกฤษได้สร้างกังหันลมตัวแรกขึ้นที่ Yorkshire ปี ค.ศ. 1929 คาเรียส ชาวฝรั่งเศสได้สร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้า ขนาด 15 กิโลวัตต์ขึ้นที่ Bourget ปี ค.ศ. 1920 คูเมชาวเยอรมันได้สร้างกังหันลมแบบ 6

ใบพัด ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พื้นดินแต่มีราคาแพงเกินไป ปี ค.ศ.1931 รัสเซีย ก็ได้สร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 100 กิโลวัตต์ขึ้นที่ Yalta

ในช่วงปี ค.ศ. 1941- 1945 สหรัฐอเมริกา ได้มีการสร้างกังหันลมขนาดใหญ่ที่ Vermont เป็นแบบ 2 ใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 53 เมตร กำลังการผลิต 1.25 เมกกะวัตต์ ที่ความเร็วลม 13.4 เมตร/วินาที เริ่มใช้งานในเดือนมีนาคม 1945 เป็นเวลา 23 วันใบพัดเกิดหัก และเลิกใช้งานไป เนื่องจากไม่คุ้มค่าใช้จ่าย

ราวกลางปี ค.ศ. 1950 บริษัทเอ็นพีแอลเคเบิ้ลแห่งอังกฤษได้สร้างกังหันลมระบบส่งกำลังนิวแมติก ขนาด 0.1 เมกกะวัตต์ ที่ความเร็วลม 13.4 เมตร/วินาที โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24 เมตร ใบพัดมีลักษณะกลวงทำหน้าที่เป็นเครื่องดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง ดูดอากาศผ่านกังหันที่ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายในหอคอยกลวง แต่ปรากฏว่าประสิทธิภาพต่ำกว่ากังหันแบบธรรมดา จึงไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร

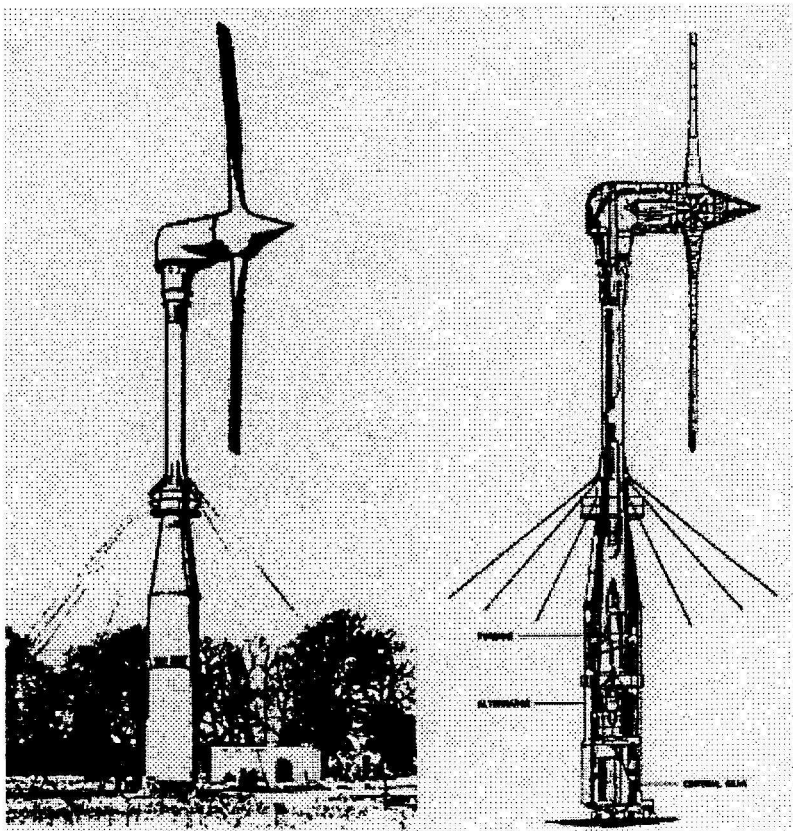
เดนมาร์ก ได้มีการสร้างกังหันลมในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 70-90 กิโลวัตต์ จำนวน 18 ตัว และต่อมาในปี ค.ศ. 1957 ได้สร้างกังหันลมแบบ 3 ใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24 เมตร กำลังการผลิต 0.2 เมกกะวัตต์ที่ความเร็วลม 15 เมตร/วินาทีแต่เลิกใช้งานไปเมื่อปี 1968



ภาพที่ 1.2 กังหันลมในยุโรปสมัยกลาง^[7]



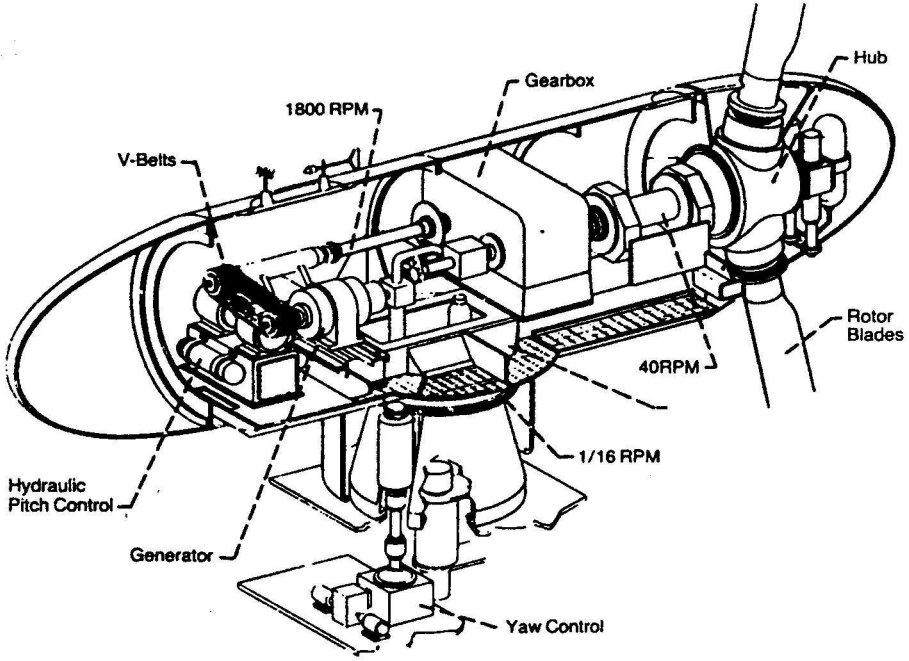
ภาพที่ 1.3 กังหันลมของรัสเซีย^[7]



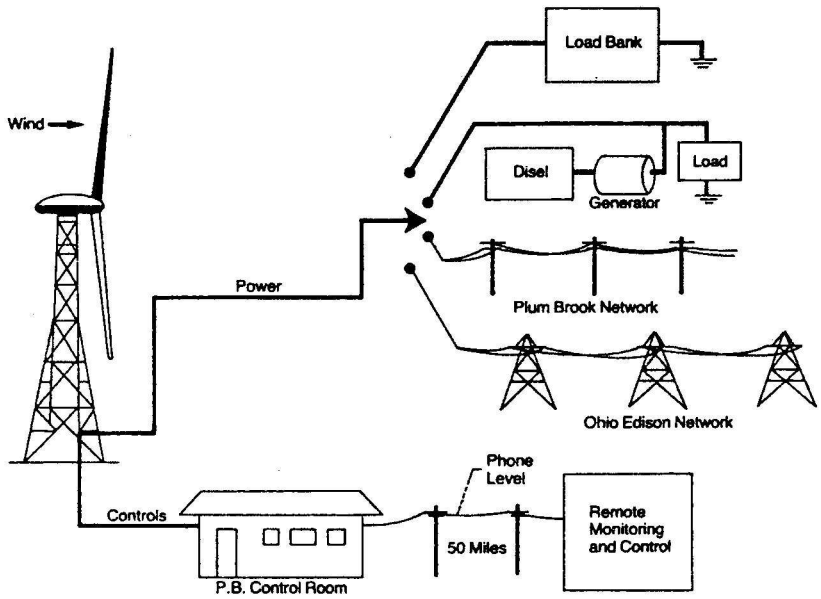
ภาพที่ 1.4 กังหันลมเอ็นฟิลด์-แอนดรู^[7]

หลังจากนั้นการสร้างและพัฒนากังหันลมแบบต่าง ๆ ได้หยุดชะงักไป เนื่องจากพบว่ายังไม่คุ้มค่าต่อการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม จนกระทั่งในราวปี 1974 ได้เกิดวิกฤตการณ์ทางพลังงานของโลกขึ้นทั้งทางตรงคือแหล่งสำรองพลังงานที่มีปริมาณลดลง และทางอ้อมคือกลุ่ม

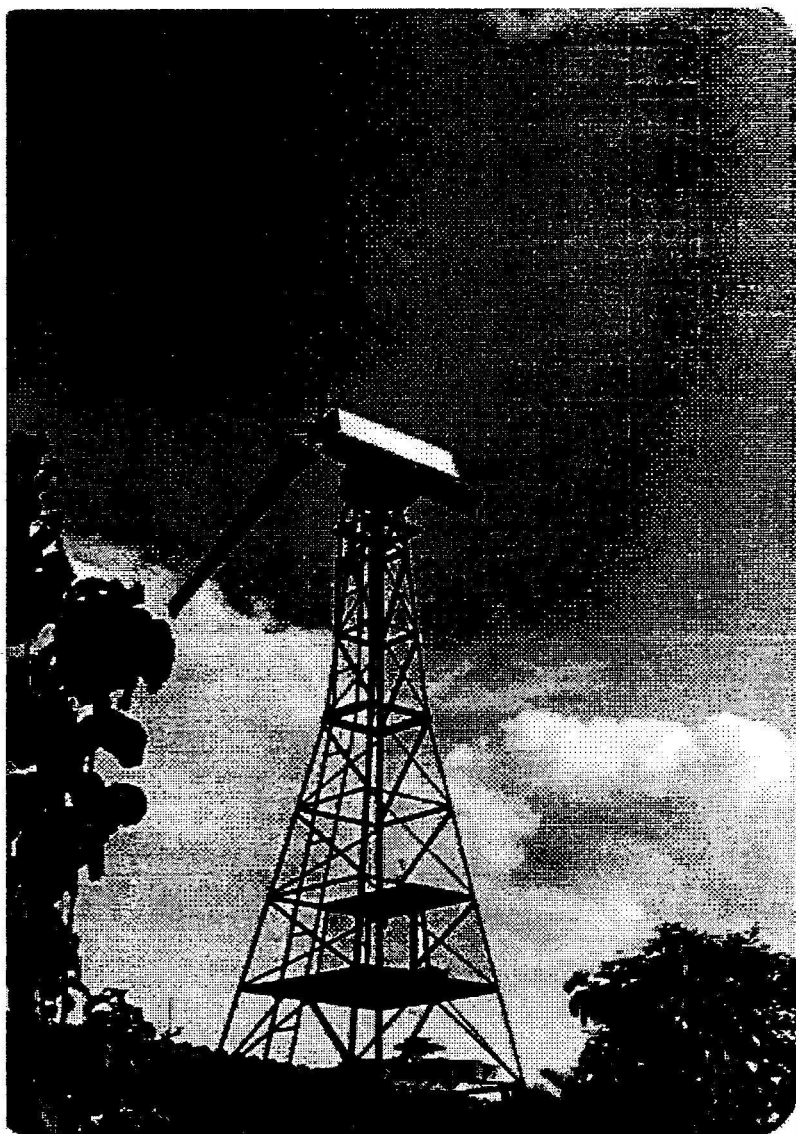
ประเทศผู้ผลิตน้ำมันเป็นสินค้าออกได้ขึ้นราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่ส่งออก ทำให้ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกได้ตระหนักถึงปัญหาและความจริงในเรื่องนี้ จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนรูปต่าง ๆ ขึ้นรวมทั้งกังหันลมสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วย เช่น คานาดา รัสเซีย และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น



ภาพที่ 1.5 ระบบทางกลของกังหันลม Mod-O^[11]



ภาพที่ 1.6 ระบบการติดตั้งของกังหันลม Mod-O ที่ปลัมบรูค^[11]



ภาพที่ 1.7 กังหันลมวิจัยขนาด 1 kW ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์^[1]

สำหรับสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ.1975 องค์การเอร์ดา¹ ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่างนาซา² กับเอ็นเอสเอฟ³ ได้ทำโครงการพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้าขึ้น โดยกังหันลมตัวแรกใช้รหัสว่า Mod-O มีขนาดกำลังการผลิต 0.1 เมกกะวัตต์ ที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 เมตร หอคอยสูง 30.5 เมตร ติดตั้งที่พลัมบรุค โอไฮโอ เพื่อใช้ในการทดลองเสียค่าใช้จ่ายไปทั้งสิ้นเป็นเงิน 865,000 เหรียญสหรัฐ และปัจจุบันนี้อยู่ในระหว่างการพัฒนาต้นแบบต่อไป

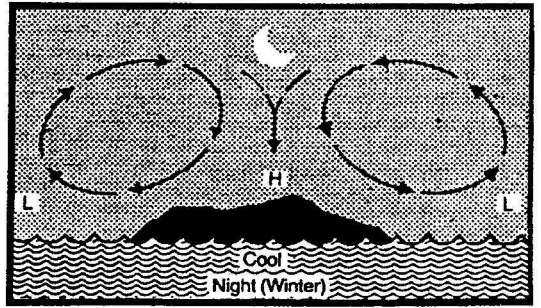
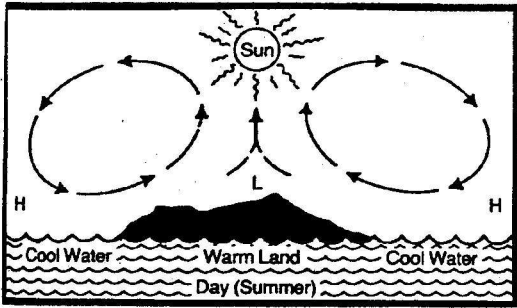
ในประเทศไทยได้มีการใช้พลังงานลมในการสูบน้ำใช้ หรือสูบน้ำเข้านามานานแล้ว ส่วนระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เพิ่งได้เริ่มทำกันในระดับวิจัยในสองทศวรรษที่แล้วนี้เองโดยหน่วย

¹ERDA -the Energy Research and Development Administration

²NASA -National Aeronautics and Space Administration

³NSF -National Science Foundation

งานเล็ก ๆ เช่น ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งเป็นงานวิจัยเพื่อความรู้ทางวิชาการมากกว่าที่จะนำไปใช้งานอย่างจริงจัง เนื่องจากขาดปัจจัยและสถานการณ์ร่วมที่เหมาะสม อีกทั้งขาดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงสภาพด้อยพัฒนาของประเทศโดยเฉพาะทางด้านเทคโนโลยี ของบุคคลระดับบริหารทั้งในวงวิชาการและวงการอื่น ๆ ซึ่งมักจะนิยมใช้วิธีซื้อเทคโนโลยีจากประเทศพัฒนาแล้วเกือบทั้งหมด



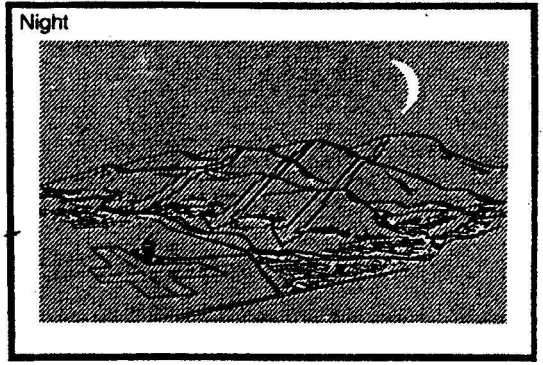
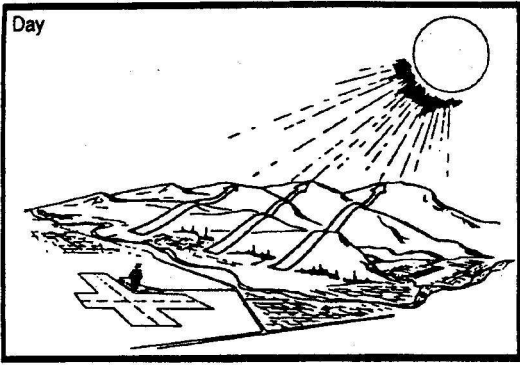
ภาพที่ 1.8 การเกิดลมบก-ลมทะเล^[11]

1.3 แหล่งกำเนิดของลม

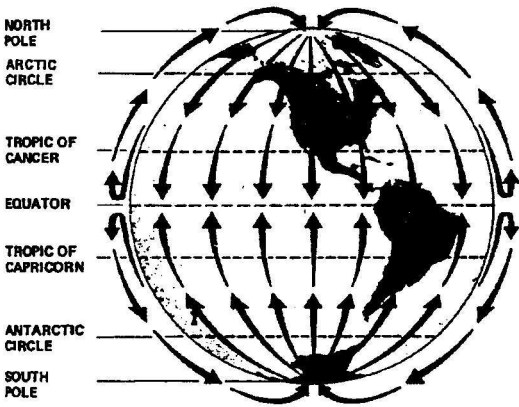
ลมเกิดขึ้นจากการไหลของกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากพื้นผิวของโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน หรือมีคุณสมบัติในการดูดกลืนความร้อนแตกต่างกัน เช่น ในตอนกลางวัน อากาศเหนือทะเล มหาสมุทร จะยังคงเย็นอยู่เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ใช้ไปในการระเหยน้ำและถูกดูดกลืนไว้ ส่วนอากาศเหนือพื้นดินจะร้อนจึงขยายตัวและลอยขึ้น อากาศที่เย็นกว่า หนักกว่าจากเหนือพื้นน้ำไหลเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดลมประจำถิ่นที่เรียกว่าลมทะเลขึ้น เมื่อตกเวลากลางคืน พื้นดินจะเย็นตัวเร็วกว่าน้ำเนื่องจากดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ไว้น้อย ทำให้อากาศเหนือพื้นดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศเหนือผิวน้ำ อากาศจึงมีการเคลื่อนที่จากพื้นดินไปสู่ทะเล เกิดเป็นลมที่เรียกว่าลมบกขึ้น

ลมประจำถิ่น เกิดขึ้นได้ในบริเวณภูเขาและหุบเขาเช่นกัน เนื่องจากในตอนกลางวัน อากาศบริเวณไหล่เขาที่เป็นพื้นลาดจะร้อนและลอยตัวขึ้น ทำให้อากาศส่วนบนที่เย็นกว่าไหลลงมาแทนที่ ส่วนในตอนกลางคืนพื้นลาดบริเวณไหล่เขาจะเย็นตัวลงได้เร็วกว่า ทำให้เกิดลมในทิศทางกลับกันกับตอนกลางวัน

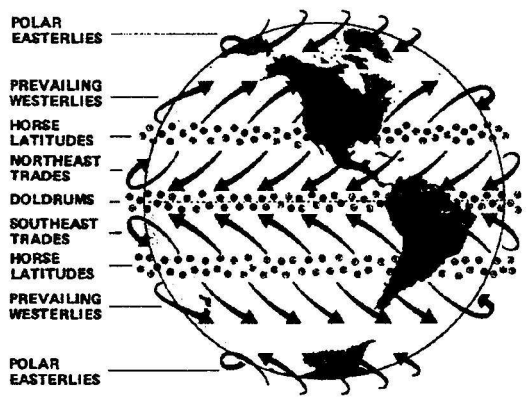
ลมประจำฤดู เกิดขึ้นเนื่องจากพื้นผิวโลกได้รับความร้อนไม่เท่ากัน เช่น ที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะร้อนกว่าบริเวณขั้วโลก ทำให้อากาศเย็นจากขั้วโลกไหลเข้ามาแทนที่อากาศร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้น และในที่สุดอากาศชั้นบนก็จะไหลไปแทนที่อากาศบริเวณขั้วโลก ทำให้เกิดกระแสลมหมุนเวียนเป็นวัฏจักรขึ้น



ภาพที่ 1.9 การเกิดลมภูเขา-ลมหุบเขา^[11]



(ก) ถ้าโลกไม่หมุน



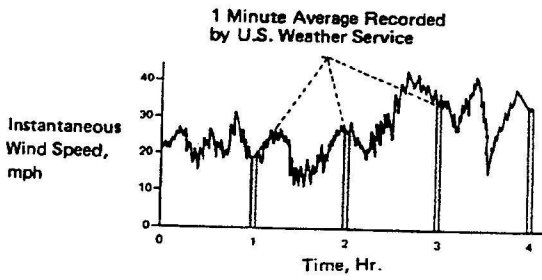
(ข) ผลที่โลกมีการหมุนรอบตัวเอง

ภาพที่ 1.10 ทิศทางกระแสลมที่เกิดขึ้นบนโลก^[17]

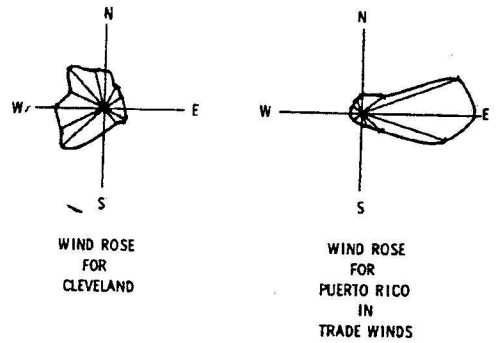
นอกจากนี้ การที่โลกมีการหมุนรอบตัวเอง จะทำให้ทิศทางของกระแสอากาศเบี่ยงเบนไป โดยอากาศระดับล่างที่เคลื่อนที่เข้าสู่เส้นศูนย์สูตรจะเบนไปทางตะวันตก ส่วนอากาศร้อนในบรรยากาศชั้นบนที่เคลื่อนที่ไปขั้วโลกจะเบนไปทางทิศตะวันออก และความจริงที่ว่าแกนการหมุนของโลกทำมุมเอียง 23.5 องศากับระนาบวงโคจร การได้รับความร้อนของบริเวณต่าง ๆ บนพื้นโลกจึงแปรไปตามเวลาในระหว่างปี ทำให้เกิดฤดูกาล และลมประจำฤดูขึ้น

1.4 ทิศทางและความเร็วลม

ลมที่พัดผ่านบริเวณหนึ่ง ๆ นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทิศทางและความเร็วอยู่บ่อยครั้ง และอาจเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของทิศทางและความเร็วลมจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลตลอดปี และปรกศลมในฤดูหนาวจะมีปริมาณและความเร็วสูงกว่าฤดูร้อนประมาณ 2-3 เท่า



(ก) ความเร็วลม



(ข) ทิศทางลม

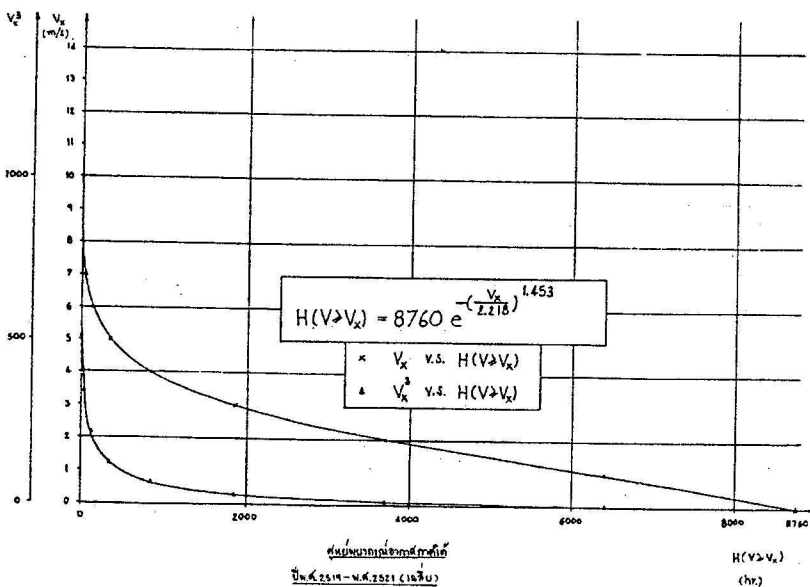
ภาพที่ 1.11 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลลม [7]

ในการใช้พลังงานลมนั้น จำเป็นจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วลมที่ละเอียดพอสมควรเพื่อทราบศักยภาพของพลังงาน จึงจะสามารถเลือกใช้ชนิดและขนาดกังหันลมที่เหมาะสมได้

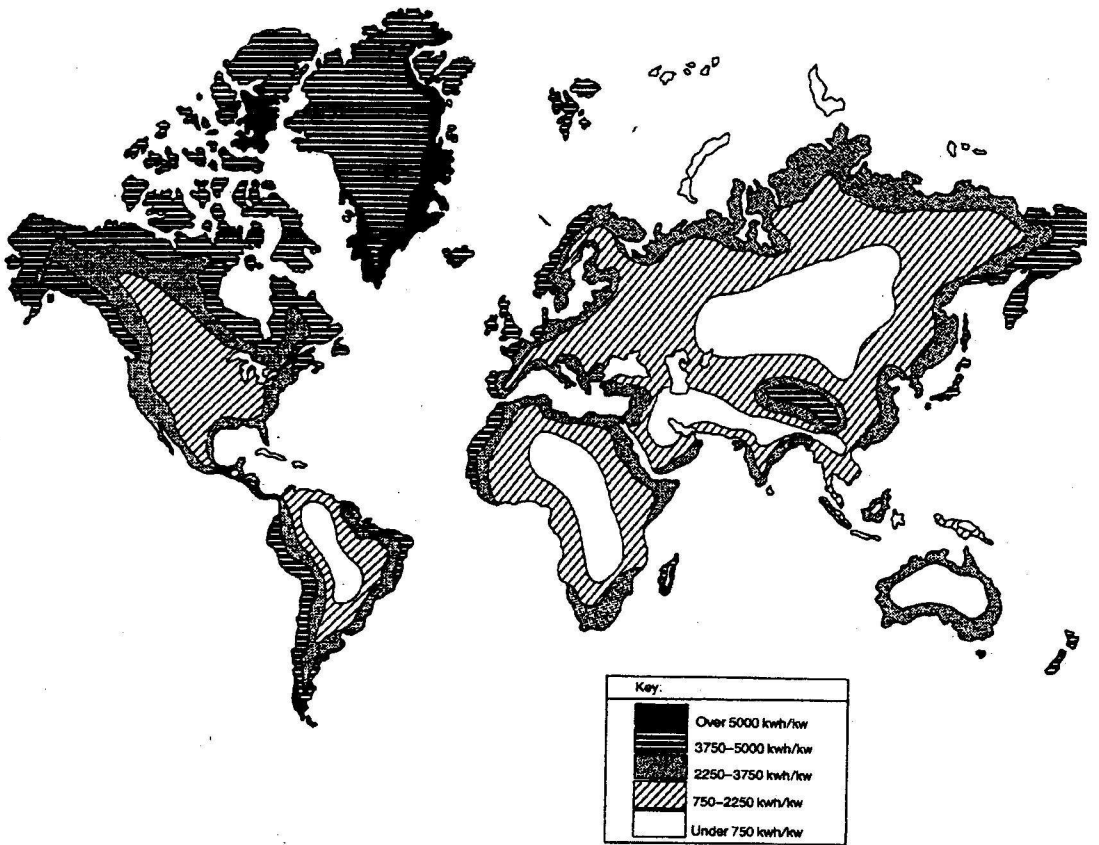
1.5 การกระจายของความเร็วลม

การกระจายของความเร็วลมนิยมแสดงอยู่ในรูปกราฟวาระความเร็วลม (velocity duration curve) แสดงถึงช่วงเวลากี่ชั่วโมงที่ลมมีความเร็วเกินค่าหนึ่ง ในเวลาหนึ่งปี ซึ่งแต่ละบริเวณก็จะมี การกระจายของความเร็วลมแตกต่างกันออกไป

ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลลม ที่วัดจากศูนย์พยากรณ์อากาศภาคใต้ สงขลา เฉลี่ยถึงปี 2521 เป็นดังกราฟ



ภาพที่ 1.12 กราฟวาระความเร็วลม สงขลา เฉลี่ยถึงปี 2521 [11]



ภาพที่ 1.13 ศักยภาพของพลังงานลมต่อปีบริเวณต่าง ๆ ^[11]

1.6 ศักยภาพของพลังงานลม

ได้จากการวิเคราะห์ เปลี่ยนข้อมูลดิบของลม ให้อยู่ในรูปของการกระจายของความเร็วลม ในช่วงเวลา 1 ปี โดยใช้สมการ Weibull distribution ^[9] ในรูป

$$H_{(v \geq v_x)} = 8760e^{-(v_x/C)^k} \quad (1.1)$$

เมื่อเทอมซ้ายมือแสดงจำนวนชั่วโมงใน 1 ปีที่ลมมีความเร็วตั้งแต่ v_x ขึ้นไป

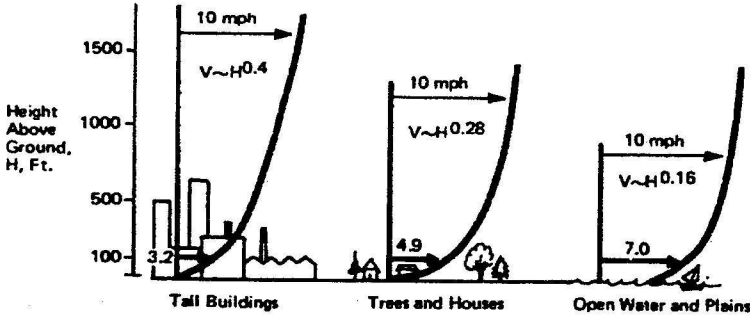
C และ k เป็นค่าคงที่ หรือเรียกว่า Weibull distribution parameters

ผลที่ได้แสดงอยู่ในรูป กราฟวาระของความเร็วลม (velocity duration curve) และกราฟวาระของกำลังลม (power duration curve) และ Weibull distribution parameters

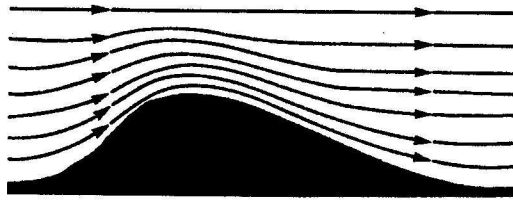
จากข้อมูลดิบของกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา เก็บข้อมูลโดยสถานีตรวจอากาศต่าง ๆ ในลักษณะสุ่มตัวอย่าง 3 ชั่วโมง/ครั้ง ในช่วงปี พ.ศ. 2521 สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ค่าต่าง ๆ ดังตาราง

ตารางที่ 1.1 ค่าคงที่ของการกระจายของลมบริเวณใกล้เคียง ^[1]

สถานีตรวจอากาศ	C	k
ท่าอากาศยานหาดใหญ่	2.13	1.065
ศูนย์พยากรณ์อากาศภาคใต้	2.216	1.620



ภาพที่ 1.14 ลักษณะผิวโลกที่มีผลต่อลม ^[7]



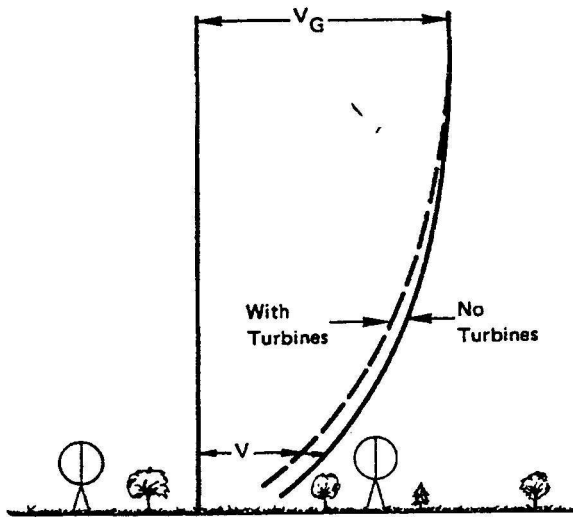
ภาพที่ 1.15 ความเร็วเมื่อลมผ่านเนิน ^[7]

1.7 การเลือกสถานที่ติดตั้งกังหันลม

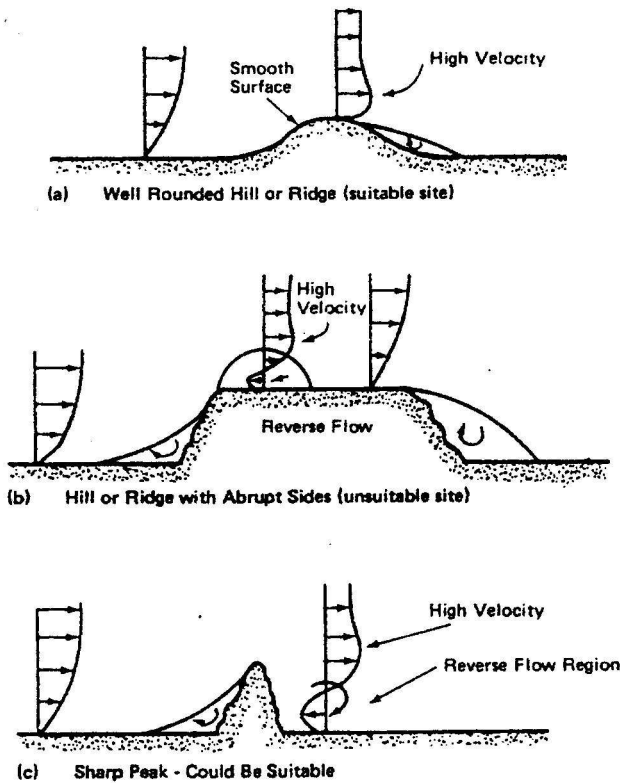
สถานที่ติดตั้งกังหันลม นอกจากต้องมีความเร็วลมและทิศทางที่ดีแล้ว ในรายละเอียดจะต้องคำนึงถึงผลของความเสียดทานและการตีบ (shear and compression) ของกระแสลมด้วย เนื่องจากกระแสลมที่พัดในแนวราบผ่านพื้นผิวโลก จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะภูมิประเทศ

ความเสียดทานของพื้นผิวโลก จะมีผลกระทบอย่างมากต่อลมที่ระดับต่ำ ส่วนลมระดับสูงเหนือพื้นดินมาก ๆ จะพัดอย่างอิสระ โดยทั่วไปลมที่พื้นผิวโลกจะมีความเร็วประมาณ 1/7 ของลมอิสระ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ เช่น อาคาร ต้นไม้ ทะเล หรือทุ่งราบ เป็นต้น

ที่สวีเดน ได้มีการทดสอบในอุโมงค์ลมและสรุปว่า เพื่อป้องกันผลของการบังลม อันเกิดจากกังหันลมต่อกังหันลมตัวอื่นควรวางกังหันลมให้ห่างกันอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกังหัน และแนะนำให้อัฒศัณฐานห่าง 8-12 เท่า



ภาพที่ 1.16 ผลการบังลมของกังหัน [7]



ภาพที่ 1.17 การเลือกเนิน [7]

ผลกระทบที่สำคัญต่อกระแสลมอีกอย่างหนึ่งคือ เส้นกระแส (streamlines) ของกระแสอากาศถูกบีบให้ตีบลง จะทำให้ลมมีความเร็วสูงขึ้น เช่นการพัดผ่านหุบเขาแคบ ๆ เนินเขาเตี้ย ๆ แต่เนินบางลักษณะอาจทำให้กระแสลมปั่นป่วนได้ ซึ่งไม่เหมาะต่อการติดตั้งกังหันลม ทรูปสถานที่ที่เหมาะสมต่อการติดตั้งกังหันลมควรมีลักษณะดังนี้

- ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปีมีค่าสูง
- ไม่มีสิ่งกีดขวางสูง ๆ ในทิศเหนือลมในระยะใกล้
- เป็นเนินลาดที่เรียบ หรือเกาะกลางทะเล
- เป็นที่ราบ หรือบริเวณชายฝั่ง
- เป็นหุบเขาที่ทำให้ลมแรงขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 แรงกระทำบนวัตถุเนื่องจากของไหล

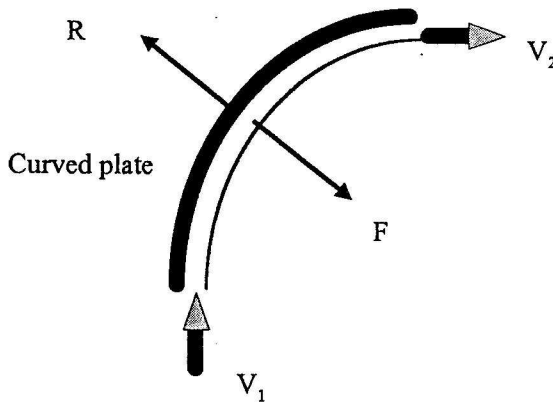
จากหลักการของการกระทบและโมเมนตัม

$$Fdt = d(mV) \quad (2.1)$$

ในกรณีของการไหลแบบคงที่ของของไหล ในปริมาตรควบคุมของท่อกระแส (stream tube) สามารถอินทิเกรตสมการ (2.1) และเขียนใหม่เป็น

$$F = \rho Q(V_2 - V_1) \quad (2.2)$$

เมื่อไม่คิดแรงเสียดทาน และน้ำหนักของของไหล และกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของของไหลมีค่าคงที่

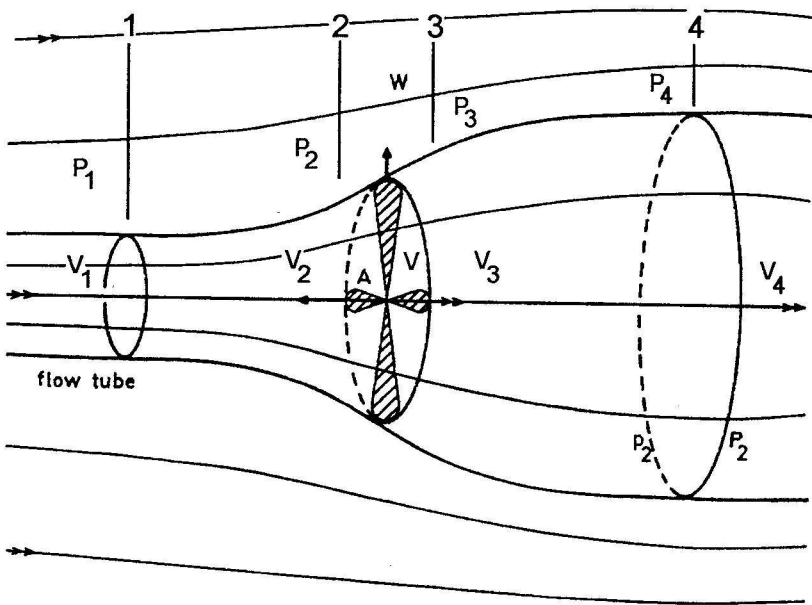


ภาพที่ 2.1 หลักการของโมเมนตัม

2.2 ทฤษฎีโมเมนตัมสำหรับกั้นหันลม

พิจารณาอากาศที่ไหลผ่านกั้นหันลม โดยใช้สมมุติฐานว่า อากาศเป็นของไหลที่ไม่ยุบตัว (incompressible fluid) และไม่มีแรงเสียดทาน

- อากาศก่อนเข้ากังหันที่ตำแหน่ง 1 มีความเร็ว V_1 และความดัน P_1
- เมื่อเข้าใกล้กังหันที่ตำแหน่ง 2 ความเร็วลดลงเป็น V_2 และความดันเพิ่มขึ้นเป็น P_2
- แล้วไหลผ่านตัวกังหันด้วยความเร็ว V
- หลังจากนั้น เขตแดน (boundary) ของกระแสอากาศจะขยายตัวจนมีความดันเป็น P_4 เท่ากับความดันบรรยากาศ (P_1) ที่ตำแหน่ง 4 โดยมีความเร็วเป็น V_4



ภาพที่ 2.2 แบบของการไหลของลมผ่านกังหัน

ดังนั้นมวลอากาศที่ไหลผ่านกังหัน

$$\dot{m} = \rho AV \quad (2.3)$$

เมื่อ ρ เป็นความหนาแน่นของอากาศ

A เป็นพื้นที่กวาดของใบพัด

V เป็นความเร็วลมที่ผ่านกังหัน

จากทฤษฎีโมเมนตัม แรงกระทำบนใบพัดหาได้จาก

$$F = \rho AV(V_1 - V_4) \quad (2.4)$$

เมื่อพิจารณาในเขต 2-3 จะได้ว่า

$$F = A(P_2 - P_3) \quad (2.5)$$

จากสมการ เบนาร์นูลลี

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2.6)$$

$$P_3 + \frac{1}{2} \rho V^2 = P_4 + \frac{1}{2} \rho V_4^2 \quad (2.7)$$

จากสมการ (2.6) และ (2.7) ได้

$$P_2 - P_3 = \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_4^2) \quad (2.8)$$

จากสมการ (2.4) และ (2.5) ได้

$$P_2 - P_3 = \rho V (V_1 - V_4) \quad (2.9)$$

ดังนั้นสรุปจากสมการ (2.8) และ (2.9) ได้ว่า

$$V = \frac{1}{2} (V_1 + V_4) \quad (2.10)$$

จะพบว่าความเร็วลมที่ผ่านกังหันนั้น มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของความเร็วลม ก่อนและหลังผ่านตัวกังหัน

เนื่องจาก กำลัง, $P = FV$

แทนค่าจากสมการ (2.4) และ (2.10) จะได้

$$P = \frac{1}{2} \rho AV (V_1^2 - V_4^2) \quad (2.11)$$

กำลังของกระแสลม ที่อยู่ในรูปพลังงานจลน์ มีค่า

$$P_{air} = \frac{1}{2} \rho AV_1^3 \quad (2.12)$$

จากสมการ (2.11) และ (2.12) จะเห็นได้ว่า กำลังที่กังหันลมรับจากกระแสลมมีค่าน้อยกว่าพลังงานจลน์ทั้งหมดที่กระแสลมมีอยู่

เบทซ์ (Betz) ได้วิเคราะห์ว่า ความเร็วลมหลังจากที่ผ่านกังหันลมซึ่งมีค่าได้ตั้งแต่ 0 - V_1 ในทางทฤษฎี แต่จะมีค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยให้กำลังขาออกของกังหันมากที่สุด เมื่อ

$$V_4 = \frac{1}{3} V_1$$

นั่นคือ จากสมการ (2.11)

$$\begin{aligned} P_{\max} &= \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{V_1 + \frac{1}{3} V_1}{2} \right) [V_1^2 - (3V_1^2)] \\ &= \frac{8}{27} \rho AV_1^3 \end{aligned} \quad (2.13)$$

อัตราส่วนระหว่างกำลังที่นำมาใช้งานได้ต่อกำลังทั้งหมดของลม เรียกว่า "สัมประสิทธิ์กำลัง" (power coefficient), C_p

$$\frac{P}{P_{air}} = C_p$$

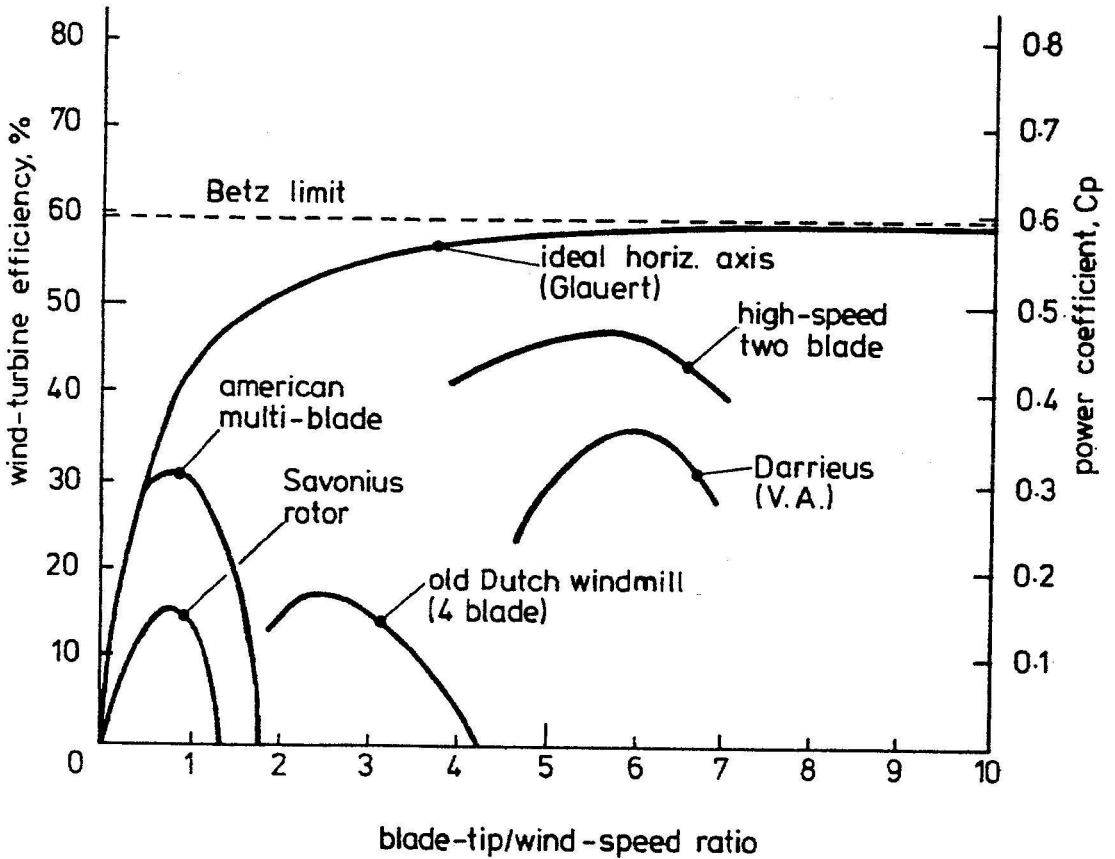
จากสมการ (2.12) และ (2.13)

$$C_{p \max} = \frac{16}{27} = 0.593 \tag{2.14}$$

ค่านี้เป็นค่าสูงสุดทางทฤษฎี เรียกว่า "Betz coefficient"

ได้จากข้อสมมติฐานว่า กังหันลม มีลักษณะดังนี้ คือ

- มีค่าอัตราเร็วปลายใบสูง (high tip-speed ratio)
- มีจำนวนใบพัดเป็นอนันต์
- มีแรงดูดบนใบพัดเป็นศูนย์



ภาพที่ 2.3 สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันแบบต่าง ๆ^[5]

ในกังหันลมจริง ค่าสัมประสิทธิ์กำลังจะมีค่าต่ำกว่า Betz coefficient ดังแสดงไว้ในรูปกราฟภาพที่ 2.3

ดังนั้นสมการที่ใช้งานจริง จึงนิยมเขียนอยู่ในรูปใหม่เป็น



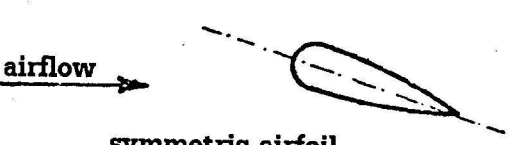
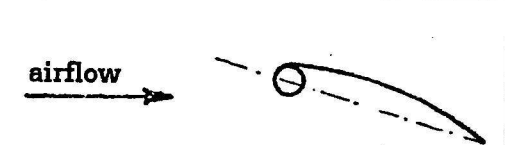
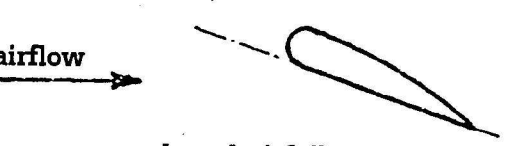
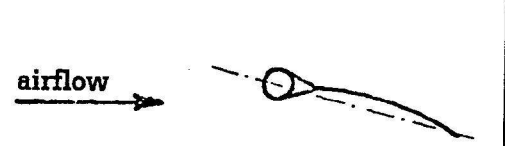
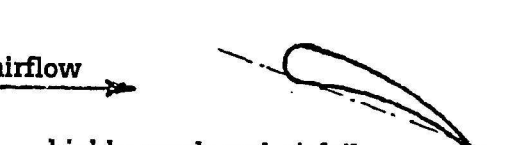
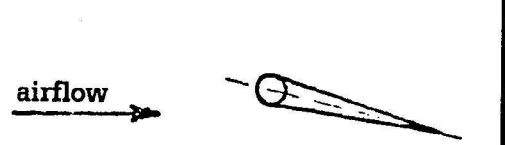
$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A V_\infty^3 \tag{2.15}$$

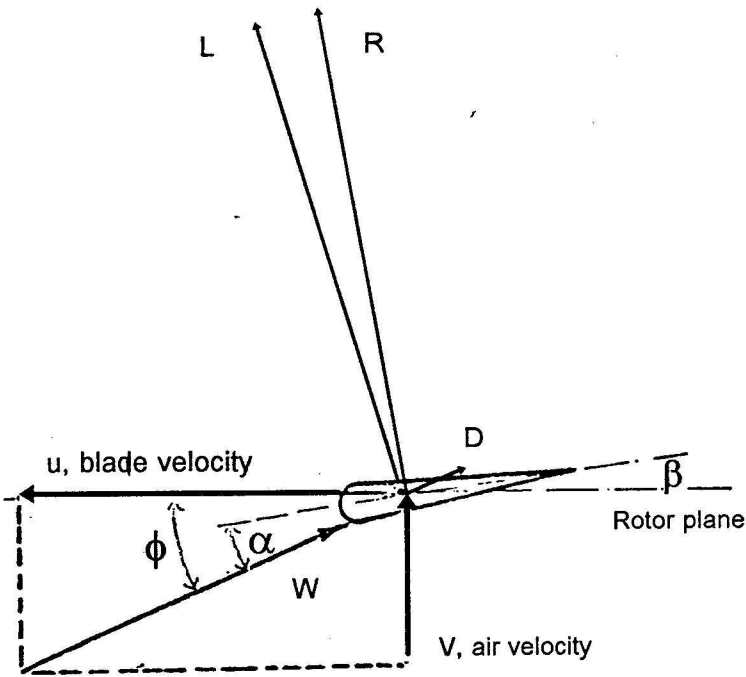
- เมื่อ P เป็นกำลังการผลิตของกังหันลม
- C_p เป็นสัมประสิทธิ์กำลัง ของกังหันลม
- ρ เป็นความหนาแน่นของอากาศ
- V_∞ เป็นความเร็วลมก่อนเข้ากังหัน
- A เป็นพื้นที่กวาดของใบพัด

2.3 แพนอากาศ (Airfoil)

ตัวกังหันของกังหันลมประกอบขึ้นด้วย คุมล้อ (hub) และใบพัด (blades) ติดตั้งเข้าด้วยกัน ทั้งนี้อาจจะมีจำนวนใบพัดตั้งแต่ 1 ใบพัดขึ้นไปถึงหลายสิบใบก็ได้ตามความเหมาะสม ใบพัดเหล่านี้มีรูปร่างต่าง ๆ กัน ตั้งแต่แบบที่ง่ายที่สุดคือเป็นแผ่นแบน ๆ จนกระทั่งแบบโค้งนูนหรือเว้าก็มี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แพนอากาศแบบต่าง ๆ ^[8]

 <p>airflow →</p> <p>flat plate</p>	 <p>airflow →</p> <p>arched plate</p>
 <p>airflow →</p> <p>symmetric airfoil</p>	 <p>airflow →</p> <p>sail with pole</p>
 <p>airflow →</p> <p>cambered airfoil</p>	 <p>airflow →</p> <p>sail with pole</p>
 <p>airflow →</p> <p>highly cambered airfoil</p>	 <p>airflow →</p> <p>sailwing</p>



ภาพที่ 2.4 ลักษณะการทำงานของแพนอากาศ

เมื่ออากาศไหลผ่านพื้นผิวของแพนอากาศ จะทำให้เกิดแรงกระทำต่าง ๆ เกิดขึ้นบนแพนอากาศเนื่องจากการกระจายของความดันที่มีค่าต่างกัน และผลของแรงเสียดทาน ซึ่งนิยมนรวมเป็นแรงประกอบหลัก 2 ส่วน คือ แรงยก (lift force) มีทิศทางตั้งฉากกับกระแสอากาศ และแรงฉุด (drag force) มีทิศทางตามกระแสอากาศ ภาพข้างล่างแสดงถึงแนวกระแส (stream lines) ของอากาศเมื่อไหลผ่านแผ่นโลหะแบน เปรียบเทียบกับการไหลผ่านแพนอากาศ การนำรูปทรงแพนอากาศมาใช้ จะมีผลทำให้สามารถลดแรงฉุดให้ต่ำลงได้

แพนอากาศมักติดตั้งให้มีลักษณะทำมุมเอียงรับกระแสอากาศ เพื่อทำให้เกิดแรงยก ยิ่งเอียงเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดแรงยกมากขึ้น แต่ขณะเดียวกันจะทำให้เกิดแรงฉุดซึ่งเป็นแรงที่ไม่ต้องการเพิ่มมากขึ้นด้วย ค่าของมุมเอียงนี้เรียกว่า มุมปะทะ (attack angle) ซึ่งเป็นมุมที่วัดระหว่าง เส้นคอร์ด (chord line) กับทิศทางกระแสอากาศ

2.4 สมรรถนะของแพนอากาศ

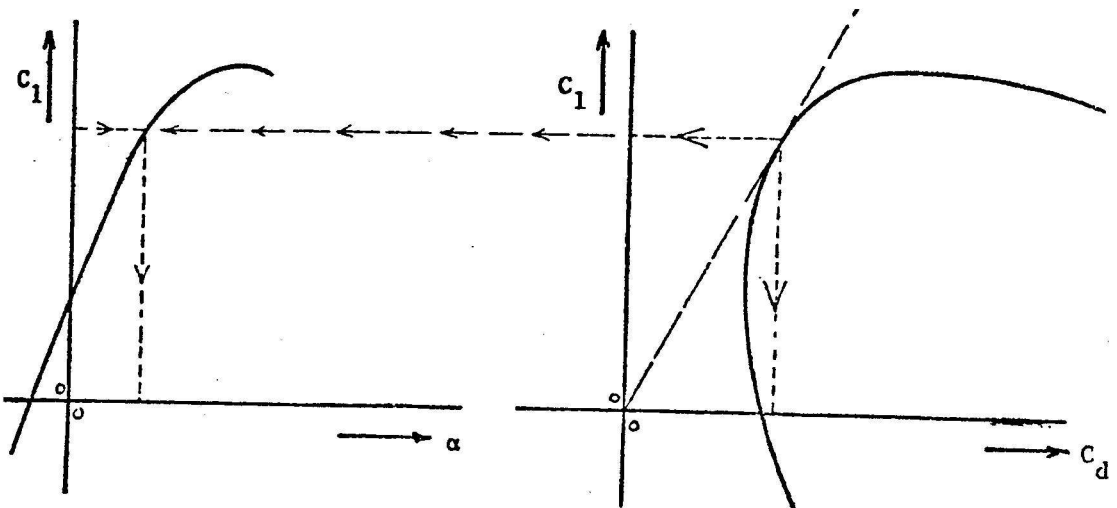
นิยมเขียนอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์ 2 ตัว คือ สัมประสิทธิ์แรงยก (lift coefficient) และสัมประสิทธิ์แรงฉุด (drag coefficient) ซึ่งเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \tag{2.16}$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.17)$$

- เมื่อ C_L เป็น สัมประสิทธิ์แรงยก
- C_D เป็น สัมประสิทธิ์แรงฉุด
- L เป็น แรงยก
- D เป็น แรงฉุด
- ρ เป็น ความหนาแน่นของอากาศ
- V เป็น ความเร็วของกระแสลม
- A เป็น พื้นที่ของใบพัด

แรงยกและแรงฉุดขึ้นกับรูปทรงของแพนอากาศและมุมปะทะ ทำให้แพนอากาศแต่ละแบบ มีสมรรถนะแตกต่างกันออกไป ซึ่งนิยมแสดงสมรรถนะของแพนอากาศชนิดต่าง ๆ ด้วยรูปกราฟ 2 รูปคือ กราฟ $C_L - \alpha$ และกราฟ $C_L - C_D$ ดังภาพตัวอย่างข้างล่าง



ภาพที่ 2.5 สมรรถนะทั่วไปของแพนอากาศ

แพนอากาศนั้นมีรูปทรงหลายแบบด้วยกัน เช่น Clark-Y, NACA Series, Schmitz, และ Wortmann Stuttgart เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ อนุกรม NACA หมายเลขต่าง ๆ เนื่องจากมีมาตรฐาน และรายละเอียดผลการทดสอบสมรรถนะอย่างพร้อมมูล รวมทั้งมีรูปทรง ตั้งแต่แบบธรรมดาจนถึงรูปทรงที่ซับซ้อนมาก ๆ

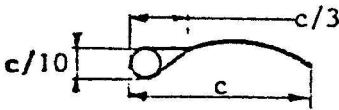

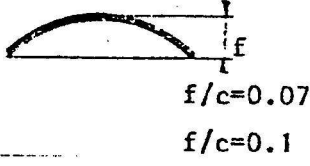
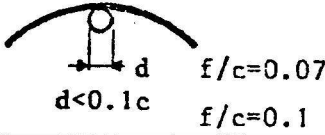

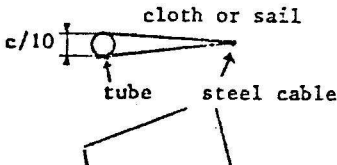
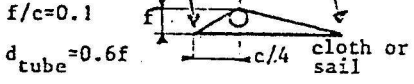
การเลือกแพนอากาศสำหรับใช้ในการออกแบบกังหันลม นั้นควรเลือกค่าออกแบที่ C_L และ α ที่ทำให้ได้อัตราส่วน C_D/C_L ต่ำสุด จึงจะได้กำลังงานสูงสุดที่เป็นไปได้สำหรับแพนอากาศแบบนั้น ๆ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงเลขเรโนลด์ (Re, Renold number) ที่เหมาะสมด้วย

2.5 วิธีหาอัตราส่วนแรงจุด/แรงยกต่ำสุด

พิจารณาภาพที่ 2.5 ซึ่งเป็นกราฟแสดงคุณลักษณะของแพนอากาศแบบหนึ่ง ขั้นตอนวิธีการทำได้ดังต่อไปนี้คือ

- ในภาพ (ข) ลากเส้นจาก 0,0 ไปสัมผัสเส้นกราฟ ที่จุดสัมผัสนี้ อ่านค่า C_D และ C_L
- ในภาพ (ก) ใช้ค่า C_L ที่ได้จากภาพ (ข) หาค่ามุมปะทะได้ ซึ่งค่ามุมปะทะนี้จะทำให้เกิดค่า C_D/C_L ต่ำสุดสำหรับแพนอากาศแบบนี้ ค่าที่ได้นี้เรียกว่า "ค่าออกแบบ" นั่นคือ
- C_L เรียกว่า สัมประสิทธิ์แรงยกออกแบบ (C_L -design)
- α เรียกว่า มุมปะทะออกแบบ (α -design)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าออกแบบของแพนอากาศแบบต่าง ๆ

ชื่อของแพนอากาศ	รายละเอียดทางเรขาคณิต	$(C_D/C_L)_{min}$	α	C_L
sail and pole		0.1	5	0.8
flat steel plate		0.1	4	0.4
arched steel plate		0.02	4	0.9
arched steel plate with tube on concave side		0.05	5	0.9
arched steel plate with tube on convex side		0.2	14	1.25
sail wing		0.05	2	1.0
sail trouser		0.1	4	1.0
NACA 4412	ดูจากเอกสารอ้างอิง ^[8]	0.01	4	0.8
NACA 23015	ดูจากเอกสารอ้างอิง ^[8]	0.01	4	0.8

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าออกแบบของแพนอากาศแบบต่าง ๆ ตั้งแต่แบบง่าย ๆ เช่น แผ่นโลหะ จนถึงแบบที่ซับซ้อน แบบ NACA อนุกรมเลข 5 ตัว เช่น NACA 23015 เป็นต้น

ข้อสังเกต ผลของอากาศที่กระทำต่อแพนอากาศ จะเหมือนกันทั้งกรณีอากาศไหลผ่านแพนอากาศ หรือแพนอากาศเคลื่อนที่ผ่านอากาศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความเร็วสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้น

2.6 แรงที่เกิดขึ้นบนใบพัดกังหันลม

ดังได้กล่าวแล้วว่า มีแรงกระทำต่าง ๆ เกิดขึ้นบนแพนอากาศเมื่อปะทะกับกระแสอากาศ และใบพัดของกังหันลมก็เป็นแพนอากาศที่มีลักษณะเฉพาะแบบหนึ่ง เมื่อปะทะกับลมหรือกระแสอากาศ ย่อมเกิดแรงกระทำต่าง ๆ ขึ้นเช่นกัน เนื่องจากใบพัดขณะทำงานหรือกำลังหมุนอยู่ย่อมมีความเร็วค่าหนึ่ง ขณะเดียวกันลมที่พัดผ่านกังหันลมก็มีความเร็ว จึงต้องพิจารณาผลของความเร็วสัมพัทธ์เป็นหลัก ดังภาพที่ 2.4

- ในที่นี้
- V เป็น ความเร็วลมสัมบูรณ์
 - W เป็น ความเร็วลมสัมพัทธ์
 - u เป็น ความเร็วของใบพัดสัมบูรณ์ = $r \omega$
 - α เป็น ค่ามุมปะทะ (attack angle)
 - β เป็น ค่ามุมใบพัด (blade angle)

แรงที่เป็นองค์ประกอบหลัก ที่เกิดขึ้นบนใบพัดคือ

- L เป็น แรงยก มีทิศทางตั้งฉากกับ W
- D เป็น แรงดูด มีทิศทางเดียวกันกับ W
- R เป็น แรงลัพท์ที่เกิดขึ้น

จากผลของแรงลัพท์นี้ สามารถแตกเวกเตอร์ของแรงออกไปในทิศทางใหม่ เพื่อความสะดวกในการคำนวณของกังหันลมได้ 2 แรง คือ แรงในแนวแกน และแรงในแนวสัมผัสซึ่ง

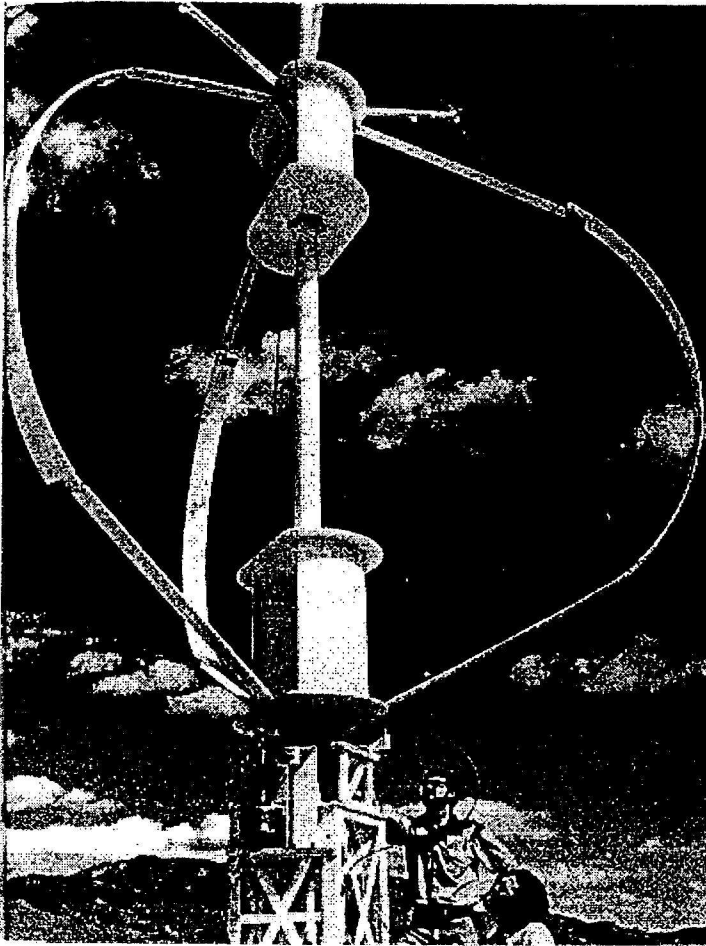
- แรงในแนวแกน, F_A เป็นแรงที่กระทำต่อตุ้กดาลูกปืนของเพลา และส่งต่อไปยังหอคอย
- แรงในแนวสัมผัส, F_T เป็นแรงที่ทำให้ใบพัดเกิดการหมุน ให้พลังงานกลออกมาที่เพลา

$$F_A = \frac{1}{2} C_A \rho V^2 A \tag{2.18}$$

$$F_T = \frac{1}{2} C_M \rho V^2 A \tag{2.19}$$

เมื่อ C_A เป็น สัมประสิทธิ์แรงในแนวแกน

C_M เป็น สัมประสิทธิ์แรงบิด

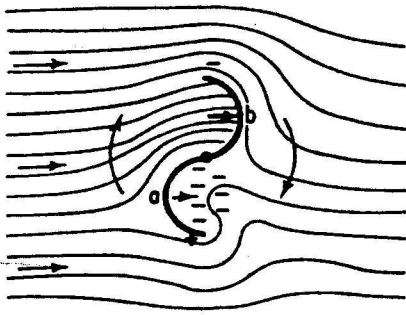


ภาพที่ 2.6 กังหันลมแบบดาร์เรียส ^[13]

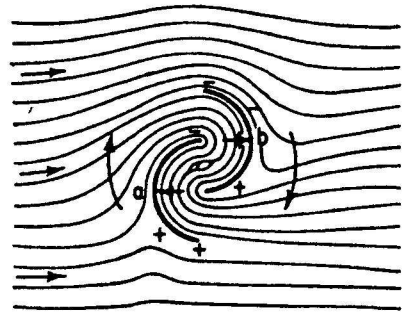
2.7 กังหันลมแบบดาร์เรียส (Darrieus Rotor)

ในปี 1931 G.J.M. Darrieus ชาวฝรั่งเศสได้ออกแบบกังหันลมแกนตั้งโดยใช้แพนอากาศเป็นใบทำให้เกิดแรงยกขับเคลื่อนให้หมุน ต่อมาจนกระทั่งในทศวรรษ 1970 สภาวิจัยแห่งชาติของแคนาดา (National Research Council of Canada) ได้รื้อฟื้นกังหันแบบนี้ขึ้นมาพัฒนาใหม่จนมีศักยภาพพอที่จะแข่งขันกับกังหันแบบแกนราบชนิดใบพัดสมัยใหม่ได้ กังหันลมแบบนี้สามารถจัดรูปแบบได้หลายอย่าง เช่น Φ -Darrieus, \square -Darrieus, Y-Darrieus, และ Δ -Darrieus ส่วนจำนวนใบก็อาจมีได้ตั้งแต่ 1 ใบจนกระทั่งหลาย ๆ ใบ

การหมุนของกังหันลมชนิดนี้ เกิดจากแรงที่เกิดขึ้นบนใบพัด ณ ตำแหน่งใบพัดต่าง ๆ กัน ส่งผลทำให้โดยแต่ละตำแหน่งสามารถแตกเวกเตอร์แรงลัพธ์ออกได้เป็นแรงในแนวสัมผัส ที่กำเนิดแรงบิดในทิศทางการหมุนของกังหัน แต่กังหันลมชนิดนี้ไม่สามารถเริ่มหมุนด้วยตัวเองได้ จึงต้องมีอุปกรณ์อื่นช่วย เช่น ติดตั้งกังหันแบบซาโวนีเยสไว้ด้วยกัน แพนอากาศที่ใช้สำหรับกังหันลมแบบดาร์เรียสนี้นิยมใช้แบบสมมาตร (symmetrical airfoil) เพราะต้องรับลมทั้งสองหน้า



(ก) แบบเก่า



(ข) แบบปรับปรุงใหม่

ภาพที่ 2.7 กังหันลมแบบซาโวเนียส^[6]

2.8 กังหันลมแบบซาโวเนียส (Savonius Rotor)

ในอดีตกังหันลมแบบแกนคิงที่ใช้กันมาก เป็นแบบที่ใช้ "แรงดูด" ขับให้กังหันหมุน กังหันเหล่านี้มีรูปร่างต่าง ๆ กันออกไป เช่น ตัวใบพัดเป็นแผ่น เป็นถ้วย เป็นรูปตัว S ซึ่งได้แก่แบบซาโวเนียส เป็นต้น กังหันเหล่านี้จะมีแรงบิดเริ่มหมุนสูง แต่ให้ความเร็วรอบต่ำ และกำลังขาออกต่ำ

กังหันลมแบบซาโวเนียสเป็นชนิดที่ใช้กันมาก มีรูปร่างคล้ายถังทรงกระบอกผ่าครึ่งแล้วนำมาวางเยื้องกัน กังหันแบบนี้แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพต่ำ แต่ต้นทุนการผลิตต่ำจึงมีการใช้อย่างแพร่หลายพอสมควร

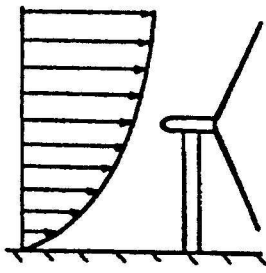
แรงขับที่ทำให้กังหันหมุนเป็นแรงดูดอย่างเดียวประสิทธิภาพจึงต่ำ แต่สร้างได้ง่าย ราคาถูก ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงรูปแบบกังหันใหม่ดังภาพทำให้มีแรงยกเกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย ประสิทธิภาพจึงดีกว่าแบบเก่า

ทั้งกังหันลมแบบคาเรียสและซาโวเนียส เป็นกังหันลมแบบแกนคิงที่มีข้อได้เปรียบกว่ากังหันลมแบบแกนราบที่ว่า ไม่ต้องมีระบบปรับทิศทางตามการเปลี่ยนทิศของลม ทำให้ออกแบบได้ง่ายขึ้น และลดผลของแรงใจโรบนกังหันด้วย

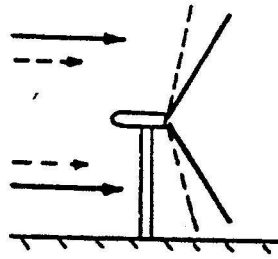
2.9 ภาระส่วนเกิน (Extraneous Loading)

มีแรงที่ไม่ประสงค์ต่าง ๆ กระทำต่อกังหันลม ซึ่งมีผลต่อการหมุนของใบพัดอย่างมาก แรงกระทำเหล่านี้ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในรูป cyclic motion และ vibration แก่ใบพัด หอคอย คลับลูกปืน และส่วนประกอบอื่น ๆ ของกังหันลม อันจะทำให้มีผลโดยตรงต่อ ความไว้วางใจได้ (reliability) อายุการใช้งาน (lifetime) และสมรรถนะ (performance) ของกังหันลม

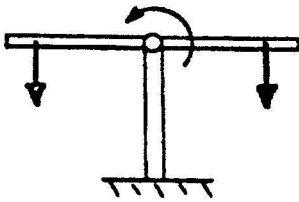
ในการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงแรงเหล่านี้ ซึ่งได้แก่



Wind Shear



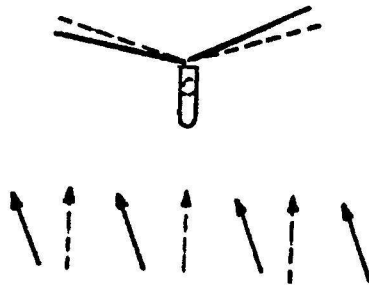
Wind Gusts



Gravity



Tower Shadow

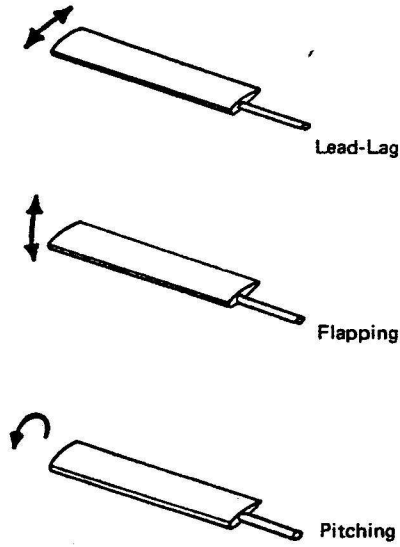


Wind Shift

ภาพที่ 2.8 ลักษณะการเกิดของภาระส่วนเกิน ^[7]

- แรงไจโร (gyro forces)
- ความสมดุลของใบพัด (blade balance)
- ความเสียดทานของผิวโลก (wind shear)
- การเปลี่ยนทิศของลม (wind shifts)
- แรงดึงดูดของโลก (gravity forces)
- หอคอยบัง (tower shadow)

ลักษณะการเกิดของแรงเหล่านี้ อธิบายได้ด้วยภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.9 ลักษณะลักษณะการเคลื่อนไหวของใบพัด ^[7]

ลักษณะการเคลื่อนไหวของใบพัดเนื่องจากผลภาระของแรงเหล่านี้ แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ โยก (lead-lag) กระพือ (flapping) และบิด (pitching) ดังภาพที่ 2.9

บทที่ 3,

การออกแบบ และสร้าง

3.1 ความนำ

การออกแบบกังหันลมที่เหมาะสม จำเป็นต้องทราบข้อมูลความเร็วลมของสถานที่ติดตั้ง ที่ละเอียดพอสมควร จึงจะได้ประสิทธิภาพสูงสุดคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยเฉพาะสำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลตลอดปี ด้วยเครื่องมือวัดความเร็วลม แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม ที่นิยมได้แก่กราฟวาระ เพื่อความสะดวกในการคำนวณออกแบบต่อไป อนึ่งก่อนการเลือกสถานที่ติดตั้ง ควรจะมีการศึกษาถึงศักยภาพของพลังงานลม ณ บริเวณต่าง ๆ จากข้อมูลเท่าที่มีอยู่เสียก่อน ปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มเก็บข้อมูลที่ใช้ในทางพลังงานลมบ้างแล้ว และอาจจะใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ที่ตรวจวัดหรือประมาณการโดยสถานีตรวจ อากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นแนวทางได้บ้างเนื่องจากเป็นข้อมูลแบบหยาบ ๆ หรือจากผลการวิเคราะห์เทียบเท่าข้อมูลของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ส่วนกรณีของกังหันลมสูบน้ำซึ่งโดยทั่วไปมีขนาดเล็กและการลงทุนไม่สูงมากนักไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ละเอียดก็ได้

จากข้อมูลความเร็วลมที่ได้ สามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกแบบและชนิด ของกังหันลมที่เหมาะสมได้ เนื่องจากกังหันลมแต่ละชนิดต่างก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงความเร็วลมที่จะใช้งานด้วย มีการจัดระดับความเร็วลม ออกเป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ ตามค่าเฉลี่ยคือ

ความเร็วลมต่ำ	ความเร็วลมปานกลาง	ความเร็วลมสูง
3.5 เมตร/วินาที	5 เมตร/วินาที	7 เมตร/วินาที

ขั้นตอนการออกแบบ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. หากำลังหรือพลังงานที่ต้องการใช้
2. หาค่าพลังงานลมที่มีอยู่
3. เลือกชนิดและคำนวณขนาดกังหันลม
4. ออกแบบส่วนประกอบอื่น ๆ

3.2 หาค่าพลังงานที่ต้องการใช้

ปริมาณของพลังงานที่ต้องการใช้ที่ได้จากกึ่งहनลมผลิตไฟฟ้า หาได้จากปริมาณหน่วยของพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันได้แก่ภาระของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ บวกกับค่าเพื่อเพื่อความปลอดภัยอีกพอ สมควร พร้อมทั้งการเลือกขนาดของระบบเก็บสำรองพลังงานให้เหมาะสม ซึ่งในที่นี้ใช้แบตเตอรี่

เนื่องจากเป็นต้นแบบสำหรับบริเวณที่ยังไม่มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ามากนัก เช่น ใช้วิทยุ โทรทัศน์ และแสงสว่างเล็กน้อย จึงออกแบบโดยกำหนดขนาดกึ่งहनลมที่มีกำลังการผลิตสูงสุด 500 วัตต์ หรือประมาณ 2 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน (2 kWhr/day) ส่วนพลังงานส่วนเกินที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบอื่น ๆ ถ้าใช้ในโรงเรียนได้ เช่น การใช้เครื่องขยายเสียง การใช้เครื่องฉายภาพ เป็นต้น

3.3 หาค่าพลังงานที่ลมมีอยู่

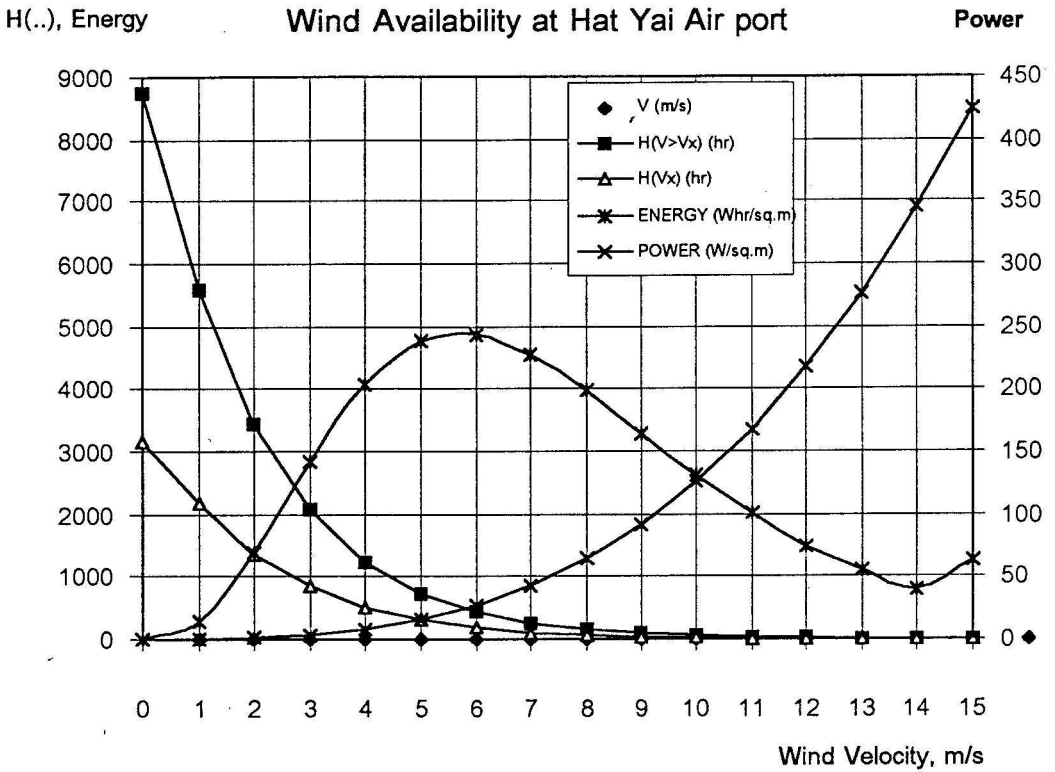
จากข้อมูลความเร็วลมในบริเวณท่าอากาศยานหาดใหญ่^[1] ดังสมการที่ 3.1 และแสดงในตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อวิเคราะห์ในเชิงพลังงานแล้วพบว่าความเร็วลมประมาณ 6 เมตร/วินาที เป็นจุดสูงสุด จึงควรเป็นจุดสำหรับการออกแบบ

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลลมบริเวณท่าอากาศยานหาดใหญ่^[1]

V (m/s)	H(V≥Vx) (hr)	H(Vx) ¹ (hr)	POWER ² (W/sq.m)	ENERGY (Whr/sq.m)
0	8760.0	3157.4	0.00	0.00
1	5602.6	2164.0	0.13	272.66
2	3438.6	1363.4	1.01	1374.35
3	2075.2	836.9	3.40	2846.99
4	1238.3	505.7	8.06	4077.67
5	732.6	302.2	15.75	4759.03
6	430.5	179.0	27.22	4871.90
7	251.5	105.3	43.22	4551.19
8	146.2	61.6	64.51	3972.93
9	84.6	35.8	91.85	3291.16
10	48.7	20.8	126.00	2614.78
11	28.0	12.0	167.71	2007.55
12	16.0	6.9	217.73	1497.94
13	9.1	3.9	276.82	1090.90
14	5.2	2.3	345.74	778.05
15	3.0	3.0	425.25	1256.05

¹ คาบเวลาของความเร็วลม

² ที่ประสิทธิภาพรวม 21%



ภาพที่ 3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมบริเวณท่าอากาศยานหาดใหญ่

$$H_{(V \geq V_x)} = 8760e^{-(V_x/2.13)^{1.665}} \tag{3.1}$$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในแง่ของพลังงาน กังหันลมควรออกแบบสำหรับการทำงานระหว่างความเร็วลม 2 - 12 เมตร/วินาที

3.4 เลือกชนิดกังหันลมและคำนวณขนาด

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อจำกัดด้านการออกแบบ ความคุ้มค่าด้านการลงทุน และสภาพการทำงานที่เหมาะสม ทำให้การเลือกค่าออกแบบเป็นดังนี้

ก. ความเร็วลมเริ่มทำงาน (Cut - in Velocity)

จากผลการวิเคราะห์ กังหันลมควรทำงานเริ่มทำงานที่ความเร็วลมความเร็วลม 2 เมตร/วินาที แต่การออกแบบให้กังหันลมมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ความเร็วลมสูง ๆ นั้นจะมีค่าความทึบของใบ (solidity factor) ต่ำทำให้ไม่สามารถเริ่มทำงานที่ความเร็วลมต่ำได้

จึงกำหนดค่าความเร็วลมให้สูงพอประมาณคือ 4 เมตร/วินาที เป็นจุดออกแบบให้กังหันลมเริ่มทำงาน ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับแรงบิดเริ่มต้นที่คาดว่าจะได้จากผลการคำนวณ

$$V_{cut-in} = 4 \text{ m/s} \tag{3.2}$$

ข. ความเร็วลมพิกัด (Rated Velocity)

แม้จากข้อมูลที่วิเคราะห์ กังหันลมควรทำงานที่ความเร็วลมประมาณ 12 เมตร/วินาที ก็ตาม แต่จะทำให้ต้องลงทุนด้านเครื่องกำเนิดและระบบไฟฟ้ามากเกินไป ค่าที่เหมาะสมจึงควรอยู่ระหว่าง 6-12 เมตร/วินาที ในที่นี้ กำหนดความเร็วลมพิกัด เป็น 8 เมตร/วินาที

$$V_{rated} = 8 \text{ m/s} \tag{3.3}$$

ค. ความเร็วลมหยุดทำงาน (Cut - out Velocity)

ผลจากข้อมูลที่วิเคราะห์ พลังงานที่ได้จากลมที่ความเร็วลมเกิน 12 เมตร/วินาที มีค่าต่ำมาก และต้องลงทุนด้านความแข็งแรงส่วนประกอบกังหันลมเพิ่มขึ้น จึงกำหนดความเร็วลมหยุดทำงาน เป็น 12 เมตร/วินาที โดยการทดสอบระยะแรกอาจจะใช้ค่าไม่เกิน 10 เมตร/วินาที

$$V_{cut-out} = 12 \text{ m/s} \tag{3.4}$$

ง. ชนิดและขนาดกังหันลม

จากข้อมูลดังกล่าว ระยะแรกโครงการได้ตัดสินใจเลือก กังหันลมแกนราบแบบ 4 ใบพัดที่มีลักษณะข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก

อย่างไรก็ตาม ผลจากการสร้างและประกอบกังหันลมต้นแบบดังกล่าว ประสบปัญหาการติดตั้งระบบควบคุม (speed governor) ตามที่ได้สรุปไว้ในรายงานด้วยแล้ว จึงทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงต้นแบบในระยะต่อมา และเป็นส่วนที่ทำให้โครงการล่าช้าออกไปด้วย

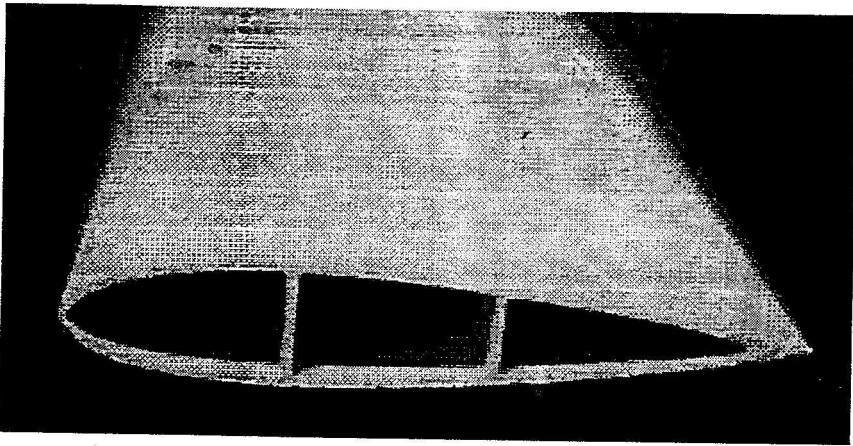
เพราะค่าออกแบบต้องใช้กังหันลมทำงานที่ความเร็วสูง จึงได้เปลี่ยนเป็นเลือกใช้กังหันลมแบบคาเรียส ตามเอกสารอ้างอิง ได้ค่าออกแบบต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2

ซึ่งคำนวณจาก สมการดังนี้

$$P = C_p \cdot \eta_e \cdot \eta_m \cdot \frac{1}{2} \rho A V_\infty^3 \tag{3.5}$$

เมื่อ P	เป็นกำลังการผลิตของกังหันลม	= 500 วัตต์
η_e	เป็นประสิทธิภาพระบบไฟฟ้า	= 0.85
η_m	เป็นสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพระบบส่งกำลังทางกล = 0.3	= 0.85
C_p	เป็นสัมประสิทธิ์กำลัง ของกังหันลม	= 0.3
ρ	เป็นความหนาแน่นของอากาศ	= 1.2 kg/m ³
V_∞	เป็นความเร็วลมก่อนเข้ากังหัน	= 8 m/s
A	เป็นพื้นที่กวาดของใบพัด	

เมื่อแทนค่า ได้ว่า A = 8 ตารางเมตร



ภาพที่ 3.2 ใบพัดคอมมินัมอัลลอยด์รีด โดยบริษัท ALCAN

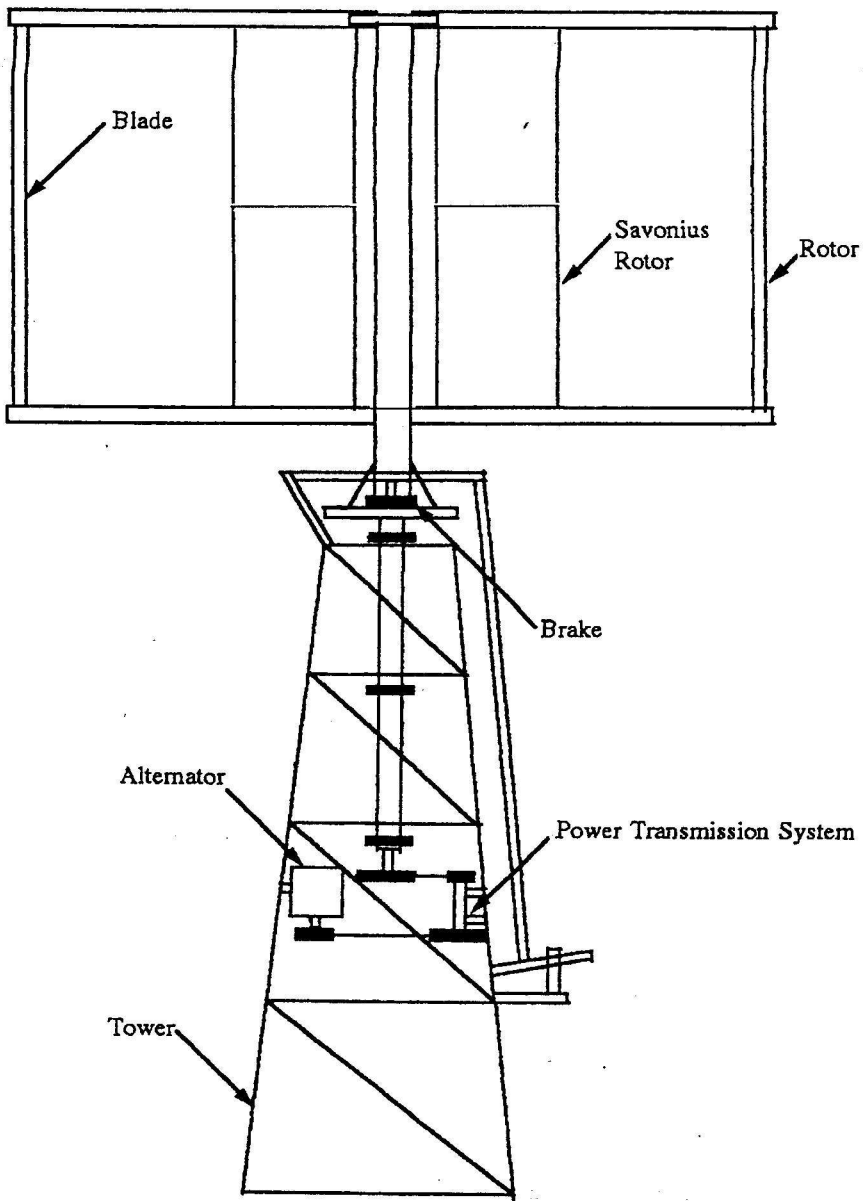
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะกังหันลมต้นแบบของโครงการระยะสุดท้าย

กำลังการผลิต	500 วัตต์ (ที่ 8 เมตร/วินาที)
สัมประสิทธิ์กำลัง	30%
ประสิทธิภาพรวม	21%
ขนาดพื้นที่รับลม	สูง 2 เมตร x กว้าง 4 เมตร
ชนิดของกังหัน	ดาเรียส (ใบพัดแกนตั้ง)
จำนวนใบ	4
รูปร่างใบพัด	NACA 0018, Chord = 150 mm
อัตราส่วนความเร็วปลายใบ	5
ความทึบของใบ	15%
ความเร็วรอบ	140 รอบ/นาที

3.5 การออกแบบส่วนประกอบ

ก. เครื่องควบคุมความเร็ว

ในระยะแรกของโครงการ ได้ออกแบบและประกอบเครื่องควบคุมความเร็วรอบ ทำหน้าที่ปรับมุมใบพัด ให้สัมพันธ์กับความเร็วรอบในการหมุน เพื่อรักษาให้มีความเร็วรอบคงที่ไม่เกินค่าที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมที่ใช้ เป็นชนิดใช้แรงเหวี่ยงจากคัมน้ำหนักผสมกับแรงดึงกลับจากสปริง ช่วงการบังคับมุมใบพัด 0 - 90 องศา ความเร็วรอบ 0 - 200 รอบ/นาที ผลการประกอบอุปกรณ์ปรากฏว่าไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากเป็นงานละเอียดปราณีตเกินกว่าที่จะผลิตได้เอง แบบและภาพถ่ายแสดงไว้ในภาคผนวก



ภาพที่ 3.3 ลักษณะกังหันต้นแบบ

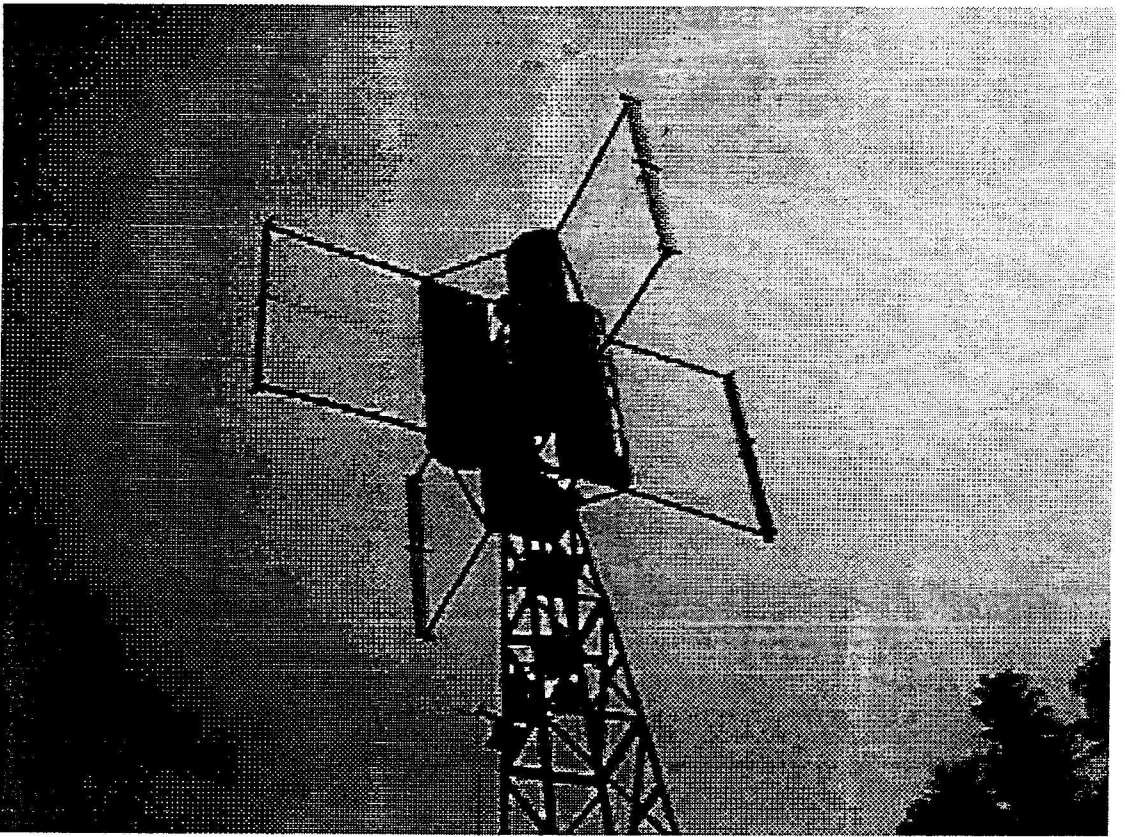
ในระยะต่อมาถึงได้มีการเปลี่ยนแบบ ทั้งตัวกังหันเอง และระบบควบคุมกังหัน โดยใช้ระบบเบรกแทน ซึ่งปัจจุบันเป็นแบบเบรกที่ทำงานด้วยคน ควรพัฒนาให้เป็นระบบอัตโนมัติต่อไป

ข. หอยคอย

ขนาดสูง 9 เมตรสร้างตามแบบอ้างอิง^[1] สร้างจากเหล็กฉากขนาด 50mm x 50mm x4 mm

ค. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ดัดแปลงจาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ขนาด 150 A / 24 V โดยการพันขดลวดใหม่เพื่อให้ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำลง^[1] คือจากเดิมประมาณ 1000 รอบต่อนาที ให้ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ 350 รอบ/นาที มีข้อมูลดังนี้



ภาพที่ 3.4 ลักษณะกังหันต้นแบบ

- โรเตอร์ พันคอล์ยใหม่ ขนาดเท่าเดิม
- สเตเตอร์ พันคอล์ยใหม่ เพิ่มจำนวนรอบเป็น 3 เท่า เดิมใช้ลวด BWG 14 พัน 14 รอบ ต่อขด เปลี่ยนเป็น ลวด BWG 19 พัน 40 รอบต่อขด

ง. ชุดสะสมพลังงาน

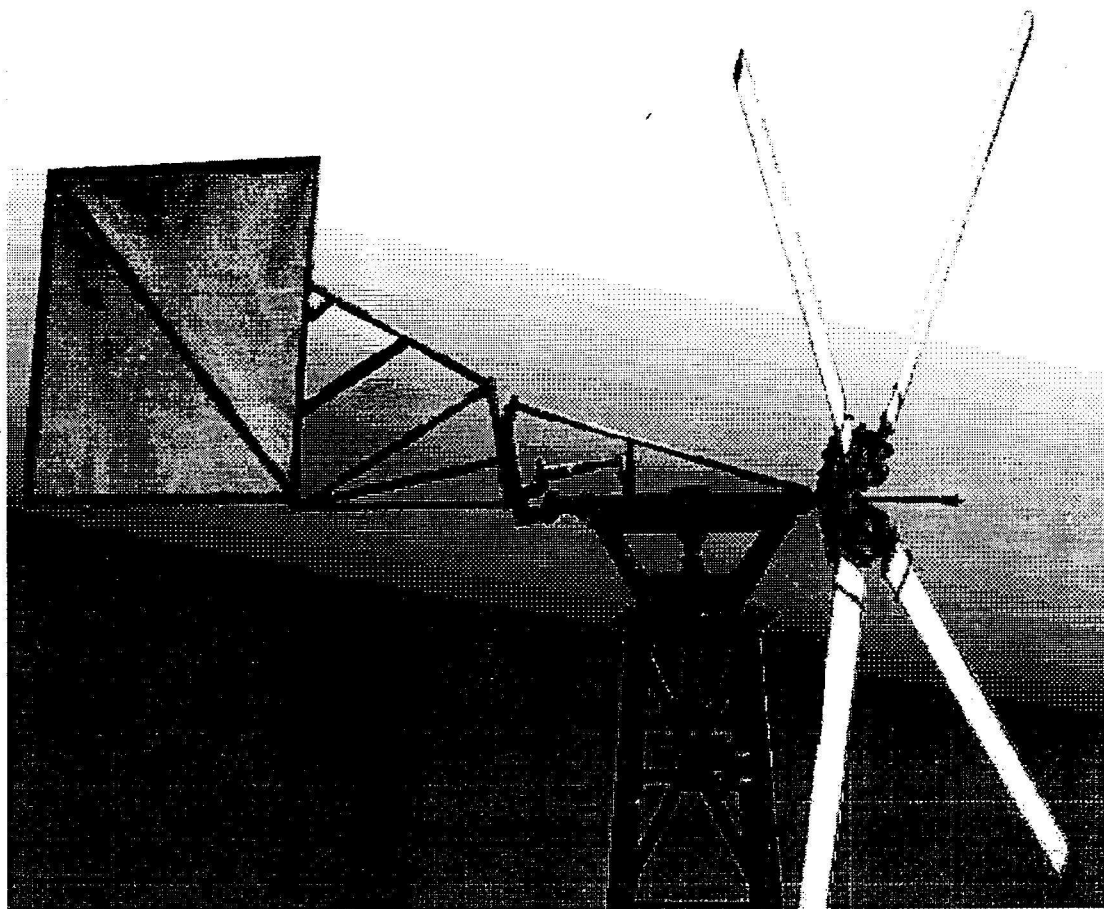
เป็นแบตเตอรี่รถยนต์ ชนิดตะกั่วกรด ขนาด 12 โวลต์

จ. ชุดจ่ายไฟฟ้าสลับ

ใช้ อินเวอร์เตอร์ ขนาด 24 โวลต์ ยี่ห้อ DENZO เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ กำลังการผลิต 500 วัตต์

สรุปการออกแบบและสร้าง

แบบและส่วนประกอบกังหันแสดงไว้ในภาคผนวก กังหันที่สร้างและพัฒนาในรุ่นต่าง ๆ แสดงใน ภาพที่ 3.5 ถึง 3.8



ภาพที่ 3.5 ภาพถ่ายกังหันต้นแบบรุ่นแรก

3.6 พัฒนาการของต้นแบบ

เพื่อให้รายงานมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น จะสรุปความเป็นไปในพัฒนาการของออกแบบและสร้างกังหันลมต้นแบบ ดังต่อไปนี้

ก. ต้นแบบรุ่นแรก (ต.ค.2526-ส.ค.2527)

ต้นแบบเป็นกังหันลมแกนราบแบบใบพัด (propeller) 4 ใบ ใบพัดเป็นอลูมิเนียมผสมสรีดขึ้นรูปแบบ NACA 0018 คอร์ด 150 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 4280 มม. มีระบบควบคุมความเร็วรอบและกำลังการผลิตโดยวิธีปรับมุมปะทะของใบพัดด้วยแรงเหวี่ยงค้ำน้ำหนักผสานกับสปริง และแพนหางเป็นชนิดเอียงศูนย์ทำหน้าที่ปรับหน้ากังหันออกจากแนวลมพัด ถ้าลมมีความเร็วสูงเกินไป ดังแสดงในภาพที่ 3.5

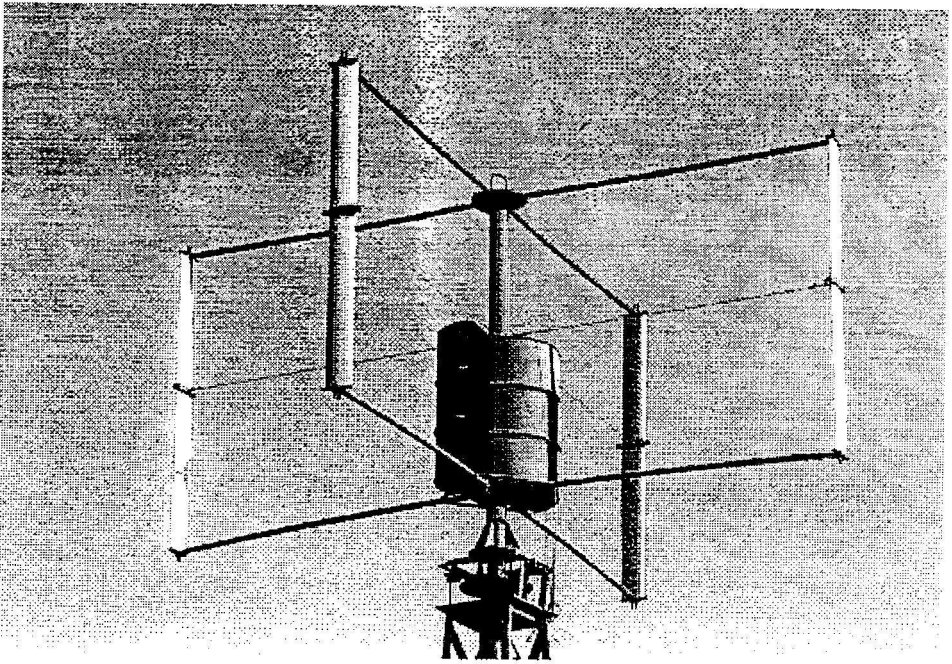


ภาพที่ 3.6 ภาพถ่ายกังหันต้นแบบรุ่นที่สอง

ข. ต้นแบบรุ่นที่สอง (ก.ค.2528-พ.ค.2529)

เปลี่ยนต้นแบบจากกังหันลมแกนราบ เป็นต้นแบบสำหรับทดสอบการทำงานของกังหันลมแกนดิ่งขนาดเล็ก มีระบบควบคุมการทำงานโดยอาศัยแรงเหวี่ยงจากน้ำหนักใบพัดผสมผสานกับแรงดิ่งกลับของสปริง มีลักษณะดังนี้

ต้นแบบเป็นกังหันลมแกนดิ่งแบบดาเรีซตีเลียม (□- Darrieus) 2 ใบพัด ใบพัดเป็นอคูมิเนียมผสมรีดขึ้นรูปแบบ NACA 0018 คอร์ด 150 มม. ความยาวใบ 2000 มม. รัศมี 1500 มม. ใช้กังหันซาโวเนียส (Savonius) ขนาดรัศมี 410 มม. x สูง 48 มม. เป็นตัวช่วยเริ่มต้นการทำงาน ความเร็วรอบทำงาน 160 รอบ/นาที ที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาทีขึ้นไป มีระบบควบคุมความเร็วรอบและกำลังการผลิตโดยวิธีปรับพื้นที่กวาดของใบพัดด้วยแรงเหวี่ยงผสมผสานกับสปริง ดังภาพที่ 3.6

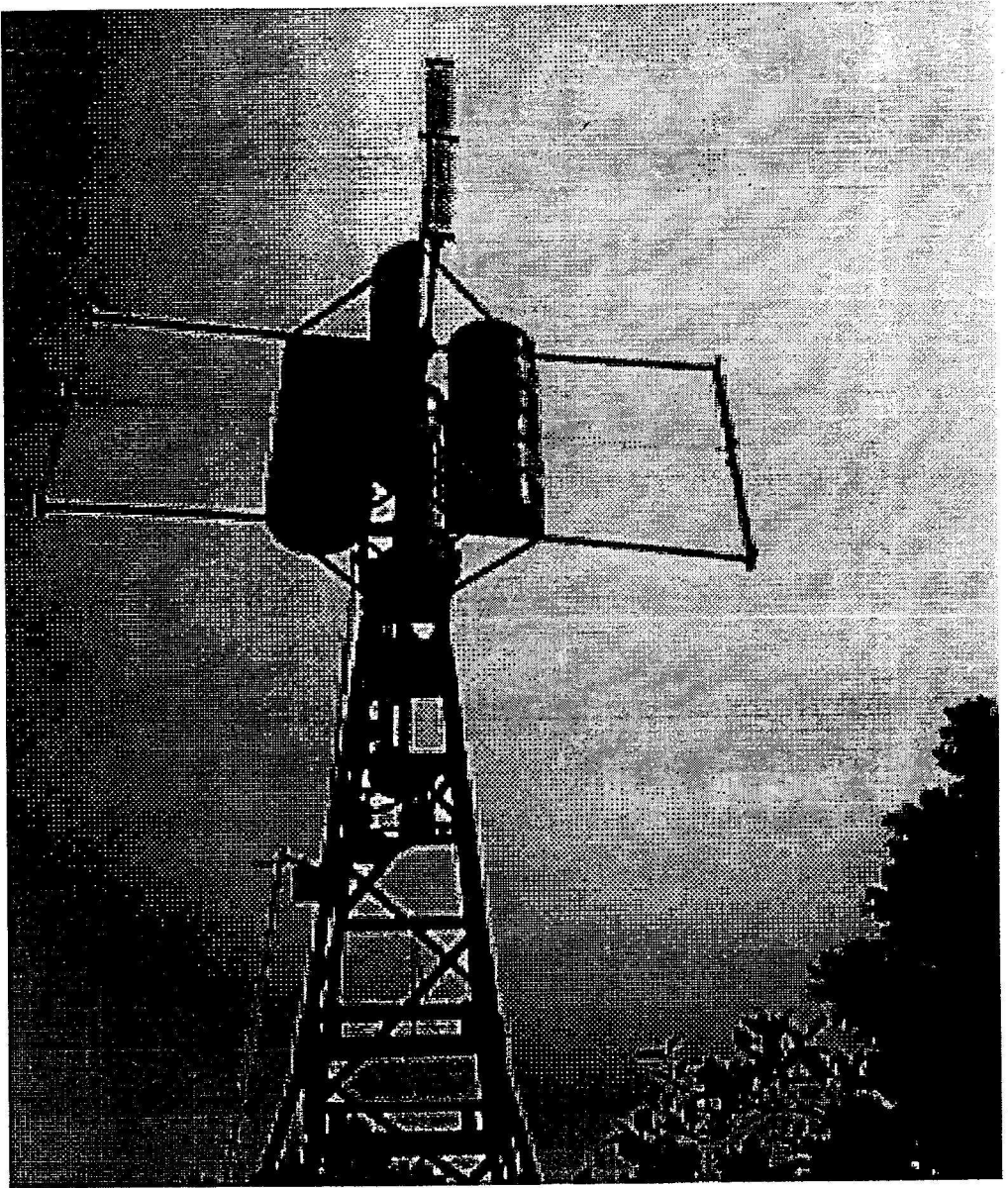


ภาพที่ 3.7 ภาพถ่ายกังหันต้นแบบรุ่นที่สาม

ค. ต้นแบบรุ่นที่สาม (ก.ค.2538-มี.ค.2540)

ปรับปรุงจากกังหันลมแกนดิ่งแบบคาเรียสรุ่นที่สอง โดยเปลี่ยนกังหันที่สามารถปรับตัวได้ เป็นกังหันแบบตายตัว และเปลี่ยนระบบควบคุมกังหันที่ซับซ้อนเป็นงานเบรกบังคับด้วยคน และเพิ่มขนาดตัวกังหัน รวมทั้งเพิ่มขนาดกังหันซาโวเนียสด้วย มีลักษณะดังนี้

ต้นแบบเป็นกังหันลมแกนดิ่งแบบคาเรียสสี่เหลี่ยม (□- Darrieus) 4 ใบพัด ใบพัดเป็นอลูมิเนียมผสมรีซินรูปแบบ NACA 0018 คอร์ด 150 มม. ความยาวใบ 2000 มม. รัศมี 2000 มม. ใช้กังหันซาโวเนียสที่ทำจากถังผ้าซีกันขนาดรัศมี 445 มม. x สูง 880 มม. เป็นตัวช่วยเริ่มต้นการทำงาน ไม่มีระบบควบคุมความเร็วรอบแต่ติดตั้งงานเบรกเพื่อใช้หยุดกังหันเมื่อมีพายุ ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.8 ภาพถ่ายกังหันต้นแบบรุ่นที่สี่

ง. ต้นแบบรุ่นที่สี่ (ก.ค.2540-ก.ย.2541)

ปรับปรุงกังหันลมแกนตั้งจากรุ่นที่สามโดยเพิ่มขนาดตัวกังหันชาโวเนียสที่เป็นตัวช่วยเริ่มต้นการทำงานเป็นแบบ 4 ซีกและให้มีขนาดโตขึ้น มีลักษณะดังนี้

ต้นแบบเป็นกังหันลมแกนตั้งแบบคาเรียสสี่เหลี่ยม (□- Darrieus) 4 ใบพัด ใบพัดเป็นลูมิเนียมผสมรีซินรูปแบบ NACA 0018 คอร์ด 150 มม. ความยาวใบ 2000 มม. รัศมี 2000 มม. ใช้กังหันชาโวเนียส 4 ซีกแยกกันที่ทำจากถังผ้าซีกขนาดรัศมี 800 มม. x สูง 880 มม. เป็นตัวช่วยเริ่มต้นการทำงาน ดังภาพที่ 3.8

บทที่ 4

การทดสอบ

4.1 ความนำ

ในการทดสอบการใช้งานของกังหันลมต้นแบบนั้น ควรทดสอบทั้งด้านสมรรถนะและเก็บข้อมูลด้านอื่น ๆ ด้วย เช่น ปัญหาการซ่อมแซม การบำรุงรักษา อายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น และควรมีการเก็บข้อมูลการทดสอบตลอดปี เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าที่ออกแบบกับค่าที่วัดได้จริง

อย่างไรก็ตาม ในโครงการวิจัยนี้ได้ใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการปรับปรุงและพัฒนาต้นแบบมากกว่า เนื่องจากการผลิตและประกอบต้นแบบทำไม่ได้สมบูรณ์ตามที่ออกแบบ จึงประสบปัญหาว่ากังหันไม่สามารถทำงานได้ในระยะแรก ๆ ดังนั้นข้อมูลการทดสอบจึงอาจไม่สมบูรณ์ครบถ้วนนัก ทั้งนี้เนื่องจากขีดจำกัดด้านงบประมาณและสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยตลอดปีด้วย

4.2 เครื่องมือทดสอบ

เครื่องมือทดสอบส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือวัด ได้แก่

- เครื่องวัดความเร็วลมแบบเคลื่อนที่
- มัลติมิเตอร์ สำหรับวัดค่ากระแส และศักดาไฟฟ้า
- ตาชั่งสปริงแบบดึง สำหรับวัดแรงบิดเริ่มหมุนของกังหัน
- ตัวความต้านทาน (ภาระทางไฟฟ้า) สำหรับทดสอบกำลังผลิต ไฟฟ้าขาออก

ขั้นตอนการทดสอบ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

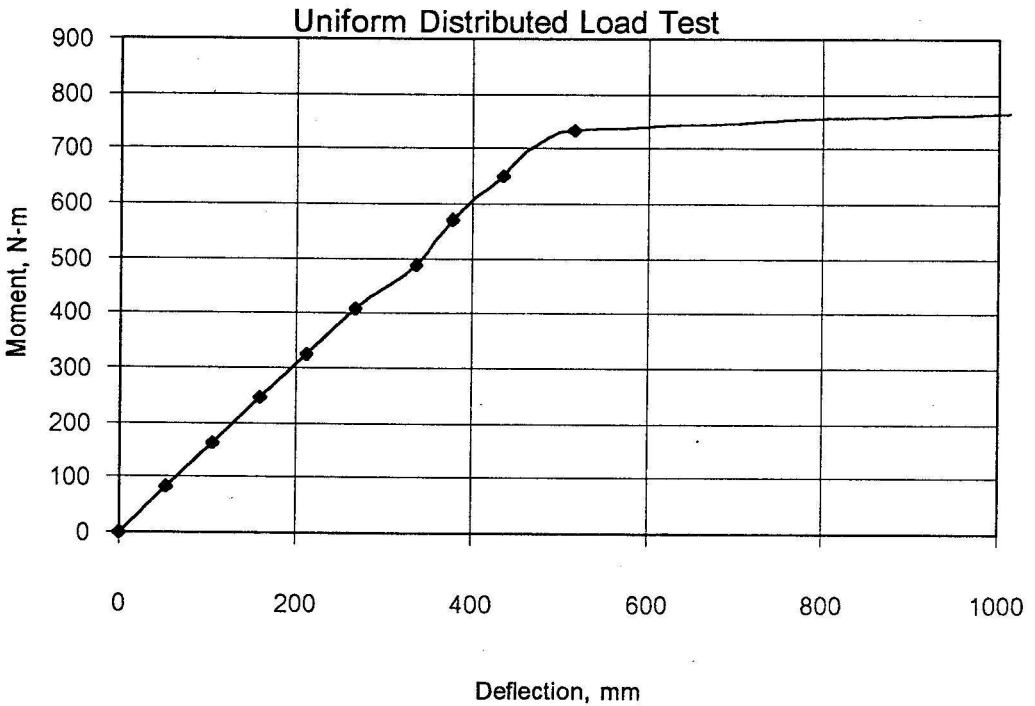
1. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ความแข็งแรงของใบพัด และอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าทั้งหมด คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอินเวอร์เตอร์ ส่วนเบตเตอร์ไม่มีการทดสอบ
2. การทดสอบที่บริเวณติดตั้ง เป็นอุปกรณ์ระบบทางกลทั้งหมด ได้แก่ ตัวกังหัน และระบบควบคุม เป็นต้น

4.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เป็นการทดสอบ ความแข็งแรงของใบพัดที่ผลิตจากการรีดอลูมิเนียมผสม และอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าที่สำคัญ ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ผ่านการตัดแปลงแล้ว ส่วนอินเวอร์เตอร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีรายละเอียดจากผู้ผลิต

ก. ความแข็งแรงของใบพัด

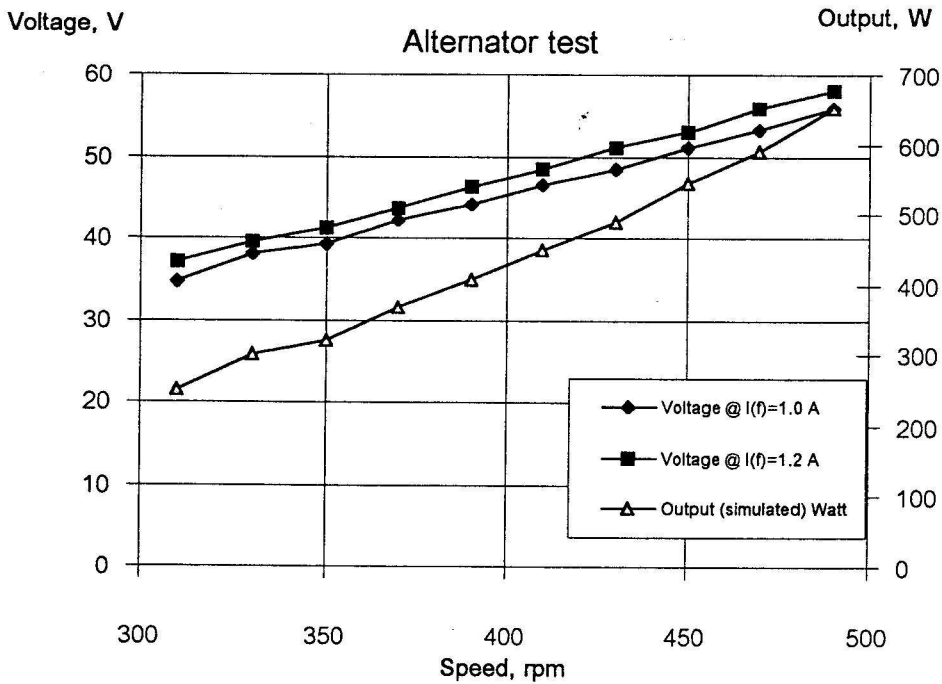
เป็นการทดสอบความแข็งแรงของใบพัดที่ผลิตจากการรีดอลูมิเนียมผสม เพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลในการออกแบบเพื่อรับแรงปะทะจากลม ผลการทดสอบเป็นดังภาพที่ 4.1 ส่วนรายละเอียดเพิ่มเติมแสดงไว้ในภาคผนวก



ภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบ ความแข็งแรงของใบพัด

ข. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

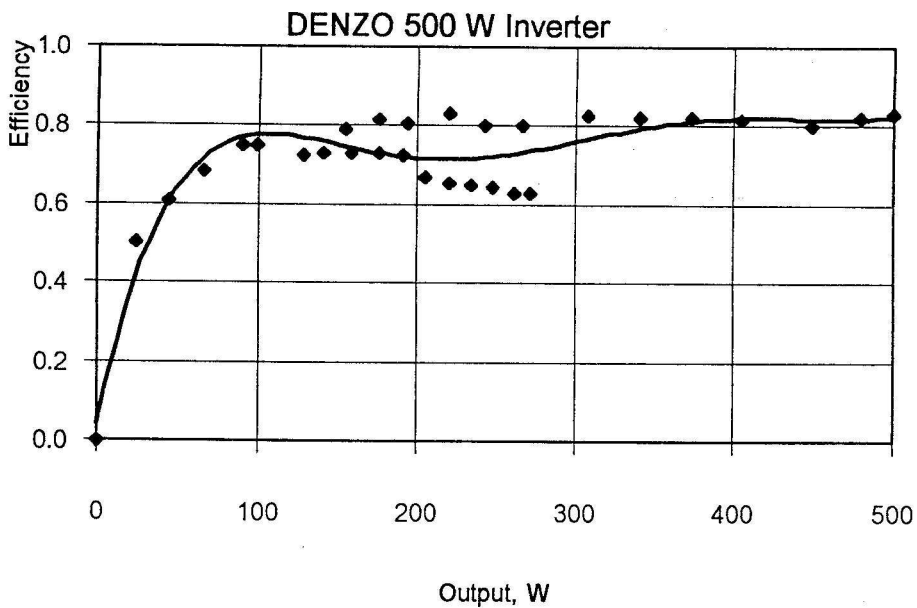
ตัดแปลงจาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ขนาด 150 A / 24 V โดยการพันขดลวดใหม่เพื่อใหทำงานที่ความเร็วรอบต่ำลง^[1] คือจากเดิมประมาณ 1000 รอบต่อนาที ให้ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ 350 รอบ/นาที มีผลการทดสอบแบบวงจรเปิด (open circuit test) และผลการจำลองกำลังการผลิตดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค. อินเวอร์เตอร์

ผลการทดสอบ อินเวอร์เตอร์ ขนาด 24 โวลต์ ชี้อ DENZO เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ กำลังการผลิต 500 วัตต์ เป็นดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์

4.4 การทดสอบที่บริเวณติดตั้ง

เป็นการทดสอบอุปกรณ์ระบบทางกล ได้แก่ ตัวกังหัน และระบบควบคุม เป็นต้น ณ บริเวณสถานที่ติดตั้งกังหันลม ผลการทดสอบตามที่ได้มีพัฒนาการต้นแบบ เนื่องจากต้นแบบรุ่นแรก ๆ ไม่ทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ ผลการทดสอบเป็นดังนี้

ก. ต้นแบบรุ่นแรก

การทำงาน

เริ่มหมุนเองด้วยลม

พบว่ากังหันลมจะสามารถเริ่มหมุนเองได้ที่ความเร็วลม 4 m/s ด้วยความเร็วรอบ 50 rpm

ระบบควบคุมใบพัด

พบว่ากลไกที่สร้างขึ้นไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากการผลิตและประกอบไม่ปราณีตเพียงพอ ทำให้กลไกมีการติดขัดขณะทำงาน

สรุป

ต้องปรับปรุงระบบควบคุมใบพัด หรือระบบควบคุมอย่างอื่นเพิ่มเติม เพื่อให้กังหันลมสามารถทำงานได้

ข. ต้นแบบรุ่นที่สอง

การวัดค่าแรงบิดเริ่มหมุน

ได้ค่าแรงบิดเริ่มหมุน = 2 N-m

การทำงาน

เริ่มหมุนเองด้วยลม

พบว่ากังหันลมจะสามารถเริ่มหมุนเองได้ที่ความเร็วลม 5 m/s ด้วยความเร็วรอบ 10 rpm แสดงว่าไม่สามารถเริ่มหมุนเองจนถึงความเร็วทำงานของกังหันคาเรียสได้

การช่วยเริ่มหมุนด้วยคน

พบว่ากังหันลมจะสามารถช่วยเริ่มหมุนด้วยคนได้ ถึงความเร็วรอบ 40 rpm ขณะมีลมประมาณ 3-5 m/s แล้วปล่อยให้ทำงาน ในที่สุดจะค่อย ๆ หมุนช้าลงจนหยุดในเวลาประมาณ 3-8 นาที

สรุป

ต้องปรับปรุงกังหันชาโวเนียสที่ช่วยเริ่มต้น เพื่อให้กังหันลมสามารถทำงานได้

ค. ต้นแบบรุ่นที่สาม

การวัดค่าแรงบิดเริ่มหมุน

ได้ค่าแรงบิดเริ่มหมุน = 4 N-m

การทำงาน

เริ่มหมุนเองด้วยลม

พบว่ากังหันลมไม่สามารถเริ่มหมุนด้วยตัวเองได้

การช่วยเริ่มหมุนด้วยคน

พบว่ากังหันลมจะสามารถช่วยเริ่มหมุนด้วยคนได้ ถึงความเร็วรอบ 30 rpm ขณะมีลมประมาณ 3-5 m/s แล้วปล่อยให้ทำงาน ในที่สุดจะหมุนช้าลงจนหยุดในเวลาประมาณ 1 นาที

สรุป

กังหันลมมีแรงเสียดทานสูงกว่าแรงบิดเริ่มต้น ทั้งนี้เนื่องจากได้เปลี่ยนระบบทศรอบด้วยโซ่เป็นสายพานวี ทำให้มีแรงเสียดทานสูงขึ้นด้วย ต้องปรับปรุงกังหันชาโวเนียสที่ช่วยเริ่มต้น เพื่อให้กังหันลมสามารถทำงานได้

ง. ต้นแบบรุ่นที่สี่

การวัดค่าแรงบิดเริ่มหมุน

ได้ค่าแรงบิดเริ่มหมุน = 4 N-m

การทำงาน

เริ่มหมุนเองด้วยลม

พบว่ากังหันลมจะสามารถเริ่มหมุนเองได้ที่ความเร็วลม 4 m/s ด้วยความเร็วรอบ 20 rpm

สมรรถนะ

เนื่องจากขณะทดลองครั้งล่าสุด สภาพพลังงานลมยังไม่เอื้ออำนวย นั่นคือมีกระแสลมพัดมายังไม่ต่อเนื่อง (ลมจะดีที่สุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์) ดังนั้นผลการทดสอบสมรรถนะการผลิตของกึ่งहनลมต้องใช้เวลารวบรวมจึงจะได้นำเสนอในโอกาสต่อไป

สรุป

กึ่งहनลมเริ่มดำเนินงานได้ แต่ความเร็วรอบยังไม่พอ ทั้งนี้เนื่องจากได้เปลี่ยนระบบทดรอบด้วยโซ่เป็นสายพานวี ทำให้มีแรงเสียดทานสูงขึ้นด้วย อนึ่งกึ่งहनลมตัวนี้ออกแบบไว้ที่ความเร็วรอบประมาณ 100 รอบ/นาที โดยกึ่งहनแบบคาเรียสนี้จะเริ่มทำงานที่ประมาณ $\lambda = 3$ หรือประมาณ 60 รอบ/นาทีขึ้นไป ซึ่งคาดว่าความเร็วลมที่เริ่มทำงานได้จริงต้องมีค่าสูงขึ้นกว่าค่าที่ออกแบบคือ 4 เมตร/วินาที ทั้งนี้ต้องรอสภาพอากาศที่อำนวยต่อไป

บทที่ 5

วิจารณ์ และสรุป

5.1 วิจารณ์ทั่วไป

โครงการวิจัยนี้ได้ใช้เวลาส่วนใหญ่ไปในการปรับปรุงและพัฒนาต้นแบบ ทำให้เสียเวลา และโครงการต้องดำเนินงานล่าช้าออกไปนานพอสมควร นอกจากนี้ยังมีขีดจำกัดด้านงบประมาณ และอุปกรณ์ พอลจะกล่าวให้เป็นความรู้ทั่วไปได้ดังนี้

ก. ด้านงบประมาณ

เนื่องจากจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงแบบของกังหันหลายรุ่น ทำให้มีค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าวัสดุ ส่วนค่าจ้างผลิตชิ้นงานไม่พอใช้ จึงต้องผลิตเองเป็นส่วนใหญ่

ข. ด้านอุปกรณ์

แม้ว่าจะเป็นกังหันลมขนาดเล็ก แต่อุปกรณ์และส่วนประกอบต่าง ๆ ล้วนมีน้ำหนักมาก อีกทั้งตัวหอยคอกยก็มีความสูงพอสมควร จำเป็นมีการใช้แรงงานและรถเครนในการเคลื่อนย้าย ประกอบและติดตั้ง มีการประกอบติดตั้งหลายครั้งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการจ้างรถเครนสูง

ค. ด้านสถานที่ติดตั้ง

ในระยะแรกของโครงการ ได้มีการออกสำรวจหาบริเวณติดตั้งที่เหมาะสมนอกสถานที่ โดยพยายามเลือกสถานที่ราชการ เช่น โรงเรียนในชนบท และบริเวณใกล้ชายทะเล เป็นต้น แต่หลังจากโครงการได้ดำเนินการไปประมาณ 1 ปี สถานที่ที่ได้เลือกได้เปลี่ยนสถานะไป นั่นคือมีระบบไฟฟ้าเข้าไปถึงแล้ว ทำให้ในที่สุดได้เปลี่ยนสถานที่ทดลอง เป็นติดตั้งในบริเวณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งได้บริเวณที่ไม่โล่งนัก

ง. ด้านบุคลากร

ในที่นี้ หมายถึงทั้งผู้วิจัย และผู้ช่วยวิจัยในหลาย ๆ ด้าน นั่นคือสำหรับผู้วิจัยเอง หลังจากการดำเนินงานได้ขยายเวลาออกไปนานกว่าที่ประมาณการไว้ และมีหน้าที่การงานด้านอื่นเข้ามาสอดแทรก ทำให้การดำเนินงานบางช่วงต้องหยุดซังก ระยะเวลาดังกล่าวนี้แบ่งเป็นช่วงใหญ่ ๆ ได้ 2 ช่วงคือ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2530-2532 เป็นช่วงที่ผู้วิจัยลาศึกษาต่อต่างประเทศ และระหว่าง ปี

พ.ศ. 2534-2536 เป็นช่วงเร่งรัดการผลิตบัณฑิตทางวิศวกรรมศาสตร์ ทำให้มีการเรียนการสอนเกินมากเป็นพิเศษ

จ. ด้านสภาพภูมิอากาศ

การทดสอบการใช้งานของกังหันลมต้นแบบนั้น ควรมีการเก็บข้อมูลการทดสอบตลอดปี เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าที่ออกแบบกับค่าที่วัดได้จริง และช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบสมรรถนะนั้นจะอยู่ในช่วงเดือน มกราคม - มีนาคม เพราะมีลมปริมาณสูง

ส่วนช่วงอื่น ๆ ทำการทดสอบค่อนข้างยากเนื่องจากมักจะเป็นลมฝนฟ้าคะนอง เป็นส่วนใหญ่ และมีเวลาไม่แน่นอน

5.2 วิจารณ์ผลการทดสอบ

แบ่งตามหัวข้อและผลการทดสอบดังนี้

ก. ความแข็งแรงของใบพัด

ผลการทดลองได้ว่า ใบพัดที่ทดสอบสามารถรับแรงโมเมนต์สูงสุดที่ข้อมได้ 440 N-m ทำให้ไม่สามารถนำมาสร้างกังหันลมที่มีใบยาวเกินกว่า 2 เมตรได้ จึงมีการเสริมความแข็งแรงภายในด้วยเหล็กเส้นขนาด 9 mm จำนวน 2 เส้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากไฟัดที่ได้มีความสมบูรณ์ในรูปร่างทางอากาศพลศาสตร์ จึงนับว่าเป็นเทคนิคการผลิตที่ควรส่งเสริมอย่างยิ่ง

ข. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

มีเฉพาะผลการทดสอบแบบวงจรเปิด ไม่มีภาระเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดของห้องปฏิบัติการที่อุปกรณ์เครื่องมือไม่พร้อม จึงน่าจะมีอุปกรณ์ทดสอบด้านนี้โดยเฉพาะเพราะสามารถใช้งานทั่วไปได้ด้วย

ค. อินเวอร์เตอร์

ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ พบว่าจะมีประสิทธิภาพประมาณ 80% และเหมาะสำหรับการใช้งานที่ภาระ 20% ขึ้นไป อนึ่งขณะที่ทำการวิจัยได้มีการทดสอบประสิทธิภาพ อินเวอร์เตอร์ขนาดอื่น ๆ ด้วย คือ ขนาด 260 วัตต์ และขนาด 1000 วัตต์ พบว่าอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพสูง (ประมาณ 90%) และสามารถจ่ายได้เต็มพิกัด ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่ 1000 W นั้นจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า (ประมาณ ไม่เกิน 82%) และสามารถจ่ายภาระได้เพียง 800 W เท่านั้น ทั้งนี้ต้องสังเกตว่าเป็น อินเวอร์เตอร์ที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีไม่เกินปี พ.ศ. 2527 เท่านั้น

ง. ตัวกังหันลม

จากต้นแบบรุ่นแรกถึงรุ่นที่สี่ และประสบการณ์ของผู้วิจัย พบว่ากังหันลมแบบแกนราบมีข้อดีที่สามารถเริ่มหมุนทำงานได้ง่าย แม้ว่าความเร็วลมจะค่อนข้างต่ำ จึงน่าที่จะพัฒนาให้สมบูรณ์ โดยเฉพาะในส่วนระบบควบคุมใบพัด หรือระบบควบคุมอย่างอื่น

ขณะที่กังหันลมแกนคิ่ง เช่นดาเรียนั้น มีข้อดีที่ไม่ต้องมีระบบทางเสื่อเพื่อปรับทิศทางตามลม แต่ต้องการความเร็วลมค่อนข้างสูงจึงจะเริ่มทำงานได้ จึงจำเป็นต้องคัดเลือกสถานที่ติดตั้งเป็นพิเศษ

5.3 ข้อเสนอแนะ

กังหันลมที่พัฒนาขึ้นเป็นต้นแบบนี้ยังไม่สมบูรณ์ดีนัก ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงควรปรับปรุงอุปกรณ์บางส่วนให้ดีขึ้น โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับอายุการใช้งาน เพราะจากการสังเกตพบว่าตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา อุปกรณ์และโครงสร้างต่าง ๆ จะเกิดภาวะเป็นถูกกัดกร่อนเป็นสนิม และสึกกร่อนจากสภาพที่สัมผัสลมความเร็วสูง รวมทั้งการป้องกันจากน้ำฝนยังไม่ดีนัก

ดังนั้นการปรับปรุงเชิงป้องกัน เช่นทาสี หรือสร้างฝาครอบที่เหมาะสม สามารถทำได้ไม่ยากนัก ส่วนการปรับปรุงค่าความแข็งแรงด้านการออกแบบตัวกังหัน เช่น ค่าเพื่อความปลอดภัยนั้น ต้องรอผลการใช้งานจริงของต้นแบบเป็นระยะเวลาหนึ่ง ส่วนแบบของหอคอย^[1]ได้ผ่านการพิสูจน์มานานว่ามีความแข็งแรงเพียงพอ

อนึ่งปริมาณพลังงานลมในประเทศไทยนั้นมีค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเลือกสถานที่ติดตั้งนับว่ามีส่วนสำคัญอย่างมากว่า การติดตั้งกังหันลมจะมีความคุ้มค่าหรือไม่

5.4 สรุป

โครงการวิจัยเรื่อง "กังหันลมผลิตไฟฟ้าสำหรับชนบท" นี้เป็นโครงการวิจัยที่เกิดขึ้นในภาวะการขาดแคลนพลังงาน เพื่อเสาะแสวงหาและทดสอบการนำพลังงานรูปแบบต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ เพื่อเป็นส่วนเสริมและทดแทนพลังงานในส่วนที่หมดสิ้นไป

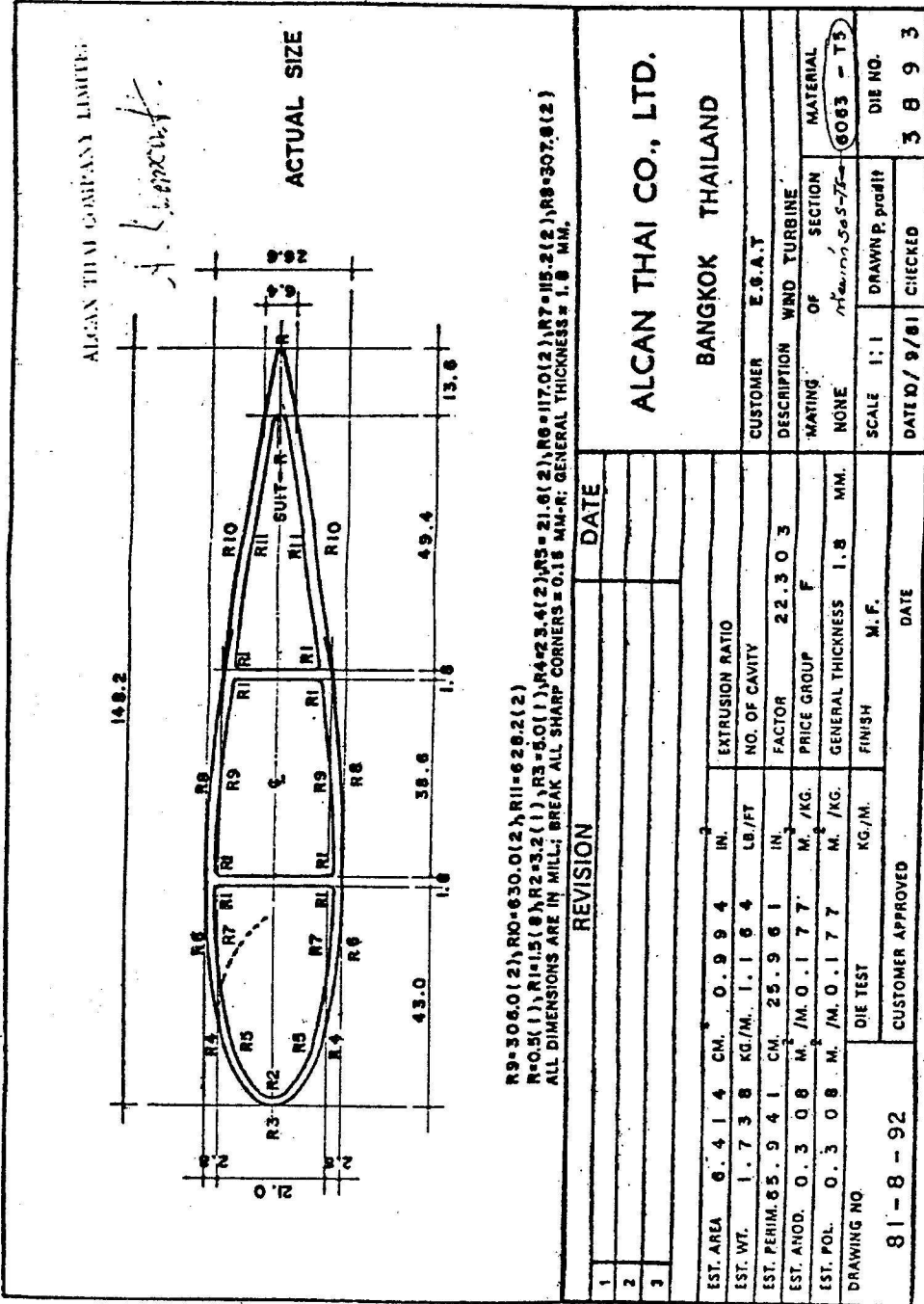
ผลงานวิจัยที่ได้รับที่ผ่านการทดสอบระดับหนึ่งแล้วนี้ สามารถเผยแพร่ออกสู่สาธารณะได้ เพื่อกระตุ้นให้มีการผลิต และพัฒนากังหันลมที่เหมาะสม สำหรับการใช้งาน ขึ้นเองภายในประเทศ แม้ว่าต้นแบบที่ได้ยังไม่สมบูรณ์นัก เมื่อปรับปรุงอีกเพียงเล็กน้อย ก็สามารถเผยแพร่ไปยังหมู่บ้านในชนบทที่มีความขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าและมีศักยภาพพลังงานลมพอสมควรได้ ทั้งนี้ตัวผู้วิจัยเองยินดีให้คำปรึกษาแก่หน่วยงานและผู้สนใจทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

1. สมาน เสงงาม และคณะ, โครงการวิจัยและพัฒนาการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่; 2528.
2. ธวัชชัย จันทร์คง, กังหันลมแกนดิ่งแบบกึ่งดาเรียส, โครงการงานวิศวกรรมเครื่องกลที่ ME 6/2528, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่; 2529.
3. เอกฤทธิ์ ปรัชคารา และกิตติพงษ์ ทิพย์มิ่งคลศิลป์, การออกแบบและสร้างกังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง, โครงการงานวิศวกรรมเครื่องกลที่ ME 24/2538, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่; 2539.
4. Abbot, I.H. and Von Doenhoff, A.E., *Theory of Wing Sections.*, Dover, New York; 1958.
5. British, Wind Energy Association, *Wind Energy for the Eighties.*, Short Run Press, England; 1982.
6. Considine, D.M., *Energy Technology Handbook.*, McGraw-Hill, 1977.
7. Eldridge, F.R., *Wind Machines.*, 2nd ed, Van Nostrand Reinhold, New York; 1980.
8. Jansen, W.A.M. and Smulders, P.T., *Rotor Design for Horizontal Axis Windmills.*, S.W.D., Netherlands; 1977.
9. Justus, C.G., Hargraves, W.R., and Mikhail, A., *Reference Wind Speed Distributions and Height Profiles for Wind Turbine Design and Performance Evaluation Applications.*, Georgia Institute of Technology; 1976.
10. Klaver, E.C., *Static and Dynamic Loading on a Tower of Windmill.*, August; 1977.
11. Kovarik, T., Pipher, C., and Hurst, J., *Wind Energy.*, Domus Books, New York; 1979.
12. Park, J., *Simplified Wind Power Systems for Experimenters.*, 2nd ed, Helion, California; 1975.
13. Torrey, V., *Wind Catchers.*, The Stephen Greene Press, Vermont; 1977.
14. United Nation, *Proceedings of the Meeting of the Expert Working Group on the Use of Solar and Wind Energy.*, United Nation, New York; 1976.

ภาคผนวก

ผ.1 ข้อมูลใบพัดอตุ้มนิเยม



All Standard tolerances is not our catalogue will apply unless otherwise indicated herein

ภาพที่ ผ.1 รูปร่างของใบพัด

Alcan CA

50 S

66050

Heat-Treatable Al-Mg-Si Wrought Alloy

Chemical Composition Limits (in %)

Mg	Si	Fe	Cu	Cr	Mn	Ti	Zn	Other elements	
								each	total
0.45-0.85	0.30-0.60	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10	0.03	0.05	0.15

Outstanding Characteristics

Excellent extrudability.
 Medium strength alloy suitable for intricate extrusions.
 High corrosion resistance. Good formability in T4 condition.
 Good surface finish.

Standard Commodities

Extrusion ingot; extrusions; tube; rod, wire and bar.

Typical Uses

Architectural members such as window frames and glazing bars; irrigation tubing.

Typical Physical Properties

Specific gravity	2.71 g/cm ³
Modulus of elasticity	7000 kg/mm ²
Modulus of rigidity	2850 kg/mm ²
Melting range	600-650°C
Specific heat between 0-100°C	0.21 cal/g · °C
Coefficient of linear expansion between 20-100°C	23 × 10 ⁻⁶ /°C
Thermal conductivity at 25°C (T4 condition)	0.48 cal/cm · s · °C
Specific electrical resistance at 20°C	0.033 Ω mm ² /m

Other Characteristics

Corrosion resistance:	Very good
Anodizing:	Very good
Weldability:	Good
Brazeability:	Good
Formability:	Good (in T4 temper)

ALCAN THAI COMPANY LIMITED

A. Kinnarat



ALCAN S.A. ZURICH-SUISSE

5th edition 1971

ภาพที่ ผ.2 ข้อมูลจำเพาะของใบพัด

Alcan CA

50 S

2nd sheet

Heat-Treatable Al-Mg-Si Wrought Alloy

Mechanical Properties

Commodity and Temper	Gauge mm	0.2% Proof Stress kg/mm ²	Ult. Tensile Stress kg/mm ²	Elongation δ ₅ %	Brinell Hardness kg/mm ²	Ult. Shear Stress kg/mm ²	Fatigue Strength kg/mm ²
----------------------	----------	--------------------------------------	--	-----------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------

Extruded Shapes

T5	up to 3.2	12.0 (18.3)	15.5 (21.1)	8 (11)	(69)	Rockwell "F"	
	3.2— 6.4	12.0 (17.6)	15.5 (20.4)	10 (12)	(69)		
	6.4—19	12.0 (16.9)	15.5 (19.7)	10 (16)	(69)		
T6	12.7 and over	10.9 (19.7)	19.7 (22.5)	12 (15)	(66)		
	T6C	up to 3.2	16.2 (19.7)	19.7 (23.2)	8 (12)		
3.2— 6.4		15.5 (19.0)	19.0 (22.5)	10 (13)	(70)		
6.4—19		14.8 (18.3)	18.3 (21.8)	12 (15)	(68)		

Drawn, Flattened and Rolled Wire, Rod and Bar

O	all sizes	(3.5)	(10.5)	12.0	(40)	(26)	(7.5)	
T4	under 6.4	(9.0)	14.0 (17.5)		(30)	(42)	(12.5)	(8.5)
T6	under 6.4	(21.1)	21.0 (24.5)		(21)	(73)	(15.5)	(10.0)

Extruded Rod and Bar

T6	12.7 and over	16.9 (19.4)	19.7 (22.5)	12 (15)	(78)
T6C	up to 3.2	16.2 (20.8)	19.7 (23.6)	8 (11.5)	(75)
	3.2— 6.4	15.5 (20.1)	19.0 (22.9)	10 (12.5)	(75)
	6.4—19	14.8 (20.1)	18.3 (22.2)	12 (14.5)	(75)

Heat Treatment

Solution heat treatment

Temper	Temp. °C	Quenching	Ageing	
			Temp. °C	Time h
T4	520 ± 3	In water	—	—
T5*	—	—	185 ± 3	5
T6	520 ± 3	In water	175 ± 3	8
			or 180 ± 3	6

* Solution heat treatment may be achieved by quenching extrusions emerging at a minimum temperature of 495 °C at a minimum rate of 80 °C/min. Still air quenching is usually sufficient for this purpose.



ALCAN S.A. ZURICH-SUISSE

5th edition 1971

ภาพที่ ผ.3 ข้อมูลจำเพาะของใบพัด (ต่อ)

Alcan CA

50 S
66050

Heat-Treatable Al-Mg-Si Wrought Alloy

Mechanical Properties

Commodity and Temper	Gauge mm	0.2% Proof Stress kg/mm ²	Ult. Tensile Strength kg/mm ²	Elongation δ ₅₀ %	Brinell Hardness kg/mm ²	Ult. Shear Strength kg/mm ²	Fatigue Strength kg/mm ²
----------------------	----------	--------------------------------------	--	------------------------------	-------------------------------------	--	-------------------------------------

Drawn Tubing

O	all sizes	(3.5)	(10.5) 12.0	(40)	(26)	(7.7)	
T4	W.T. 0.4— 1.2	7 (10.5)	12.7 (16.9)	16 (26)	(42)	(10.5)	
		7 (10.5)	12.7 (16.9)	18 (33)	(42)	(10.5)	
	W.T. 6.6—12.7	7 (10.5)	12.7 (16.9)	20 (33)	(42)	(10.5)	
T6	W.T. 0.4— 1.2	15.5 (21.1)	19.0 (23.9)	10 (16)	(70)	(14.1)	
		15.5 (21.1)	19.0 (23.9)	12 (20)	(70)	(14.1)	
	W.T. 6.6—12.7	15.5 (21.1)	19.0 (23.9)	14 (20)	(70)	(14.1)	
T8A	W.T. all sizes	17.6 (25.3)	21.1 (28.2)	8 (13)			
T8D	W.T. all sizes	23.9 (28.9)	26.0 (31.0)	7 (12)			

Extruded Tubing

O	W.T. all sizes	(5.2)	(9.1) 12.0	(30)	(26)	(7.7)	
T4	W.T. 3.2— 6.4	7 (9.1)	13.4 (14.8)	20 (26)			
		7 (9.1)	13.4 (14.1)	24 (29)			
T5	W.T. up to 3.2	12.0 (18.3)	15.5 (21.1)	8 (11)			
	3.2— 6.4	12.0 (17.6)	15.5 (20.4)	10 (12)			
	6.4—19	12.0 (16.9)	15.5 (19.7)	10 (16)			
T6	W.T. 12.7 and over	16.9 (21.1)	19.7 (23.9)	12 (18)	(78)	(14.1)	
T6C	W.T. up to 3.2	16.2 (20.4)	19.7 (23.2)	8 (12)	(75)		
		15.5 (19.7)	19.0 (22.5)	10 (13)	(75)		
		14.8 (19.7)	18.3 (21.8)	12 (14)	(75)		

Handwritten signature or stamp

5th edition 1971

ALCAN S.A. ZURICH-SUISSE



ภาพที่ ผ.4 ข้อมูลจำเพาะของใบพัด (ต่อ)

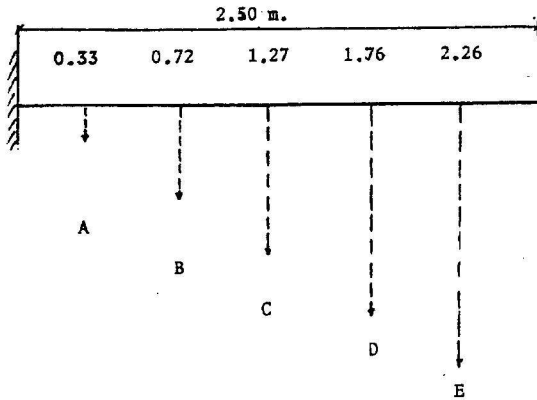
เลขที่ 156/2598




ภาควิชาโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์

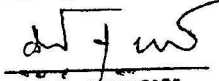
รายงานผลการทดสอบ Air Foil#NACA 0018

ทางภาควิชาโยธา ได้ทำการทดสอบ Air Foil เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2528 โดย Apply Equivalent Pointed Load แทน Uniform Distributed Load ณ ตำแหน่ง Centroid ของ Air Foil ที่ระยะต่าง ๆ รูป และผลการทดสอบได้แสดง ดังนี้



ครั้งที่	Load(kg) ที่ตำแหน่ง					Deflection ที่ปลาย (cm)	Moments (N-m)
	A	B	C	D	E		
1	0.2	0.6	1.0	1.4	1.8	5.3	81.72
2	0.4	1.2	2.0	2.8	3.6	10.6	162.85
3	0.6	1.8	3.0	4.2	5.4	15.8	244.27
4	0.8	2.4	4.0	5.6	7.2	21.0	326.67
5	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0	26.7	407.10
6	1.2	3.6	6.0	8.4	10.8	33.4	488.54
7	1.4	4.2	7.0	9.8	12.6	37.6	569.96
8	1.6	4.8	8.0	11.2	14.4	43.4	651.38
9	1.8	5.4	9.0	12.6	16.2	51.5	732.80
10	2.0	6.0	10.0	14.0	18.0	* หัก	814.23

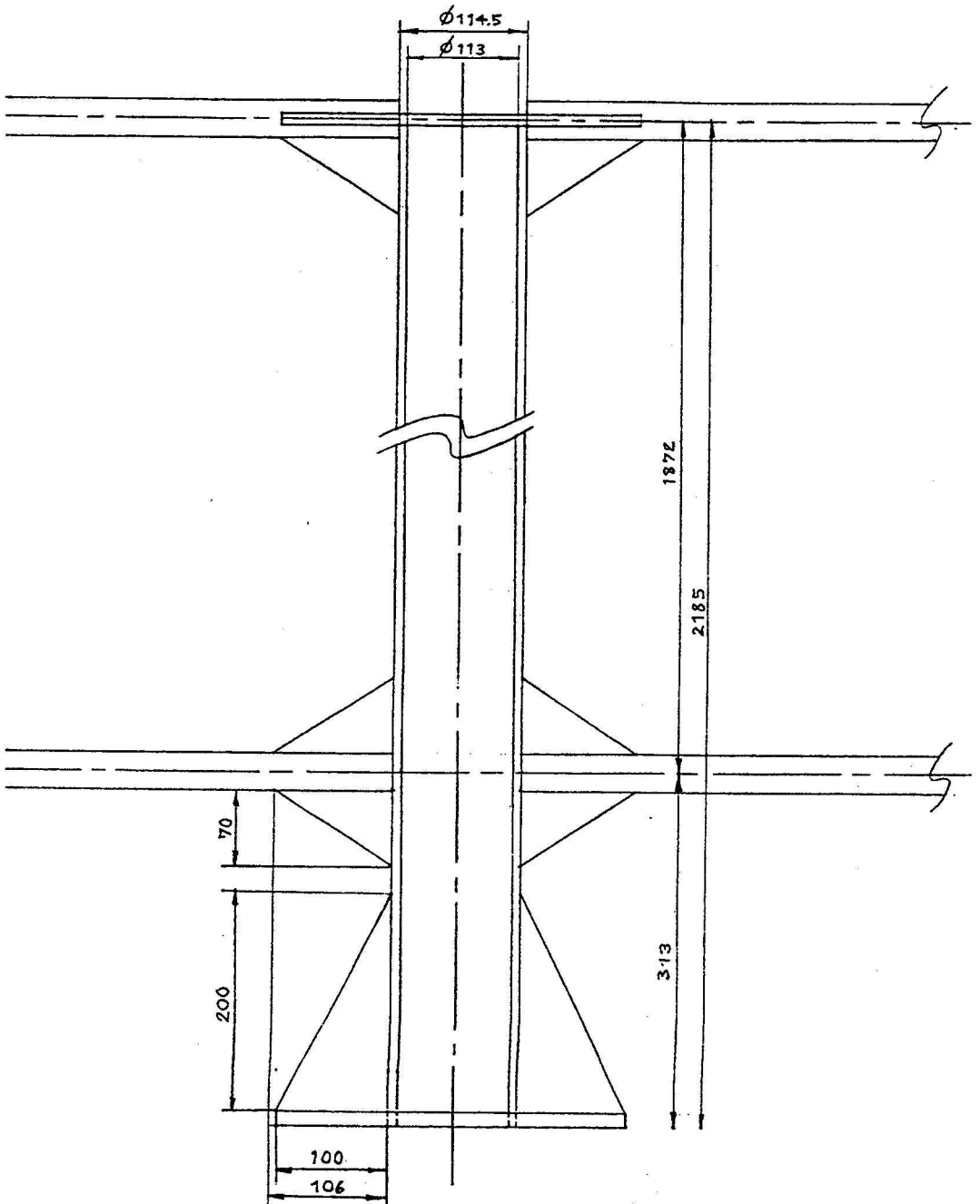

(นายฉีกษิธิ์ ศิริยุดธอร)
ผู้ทำการทดสอบ


(วิวัฒน์ สุทธวาทกร)
ผศ. หัวหน้าภาควิชา

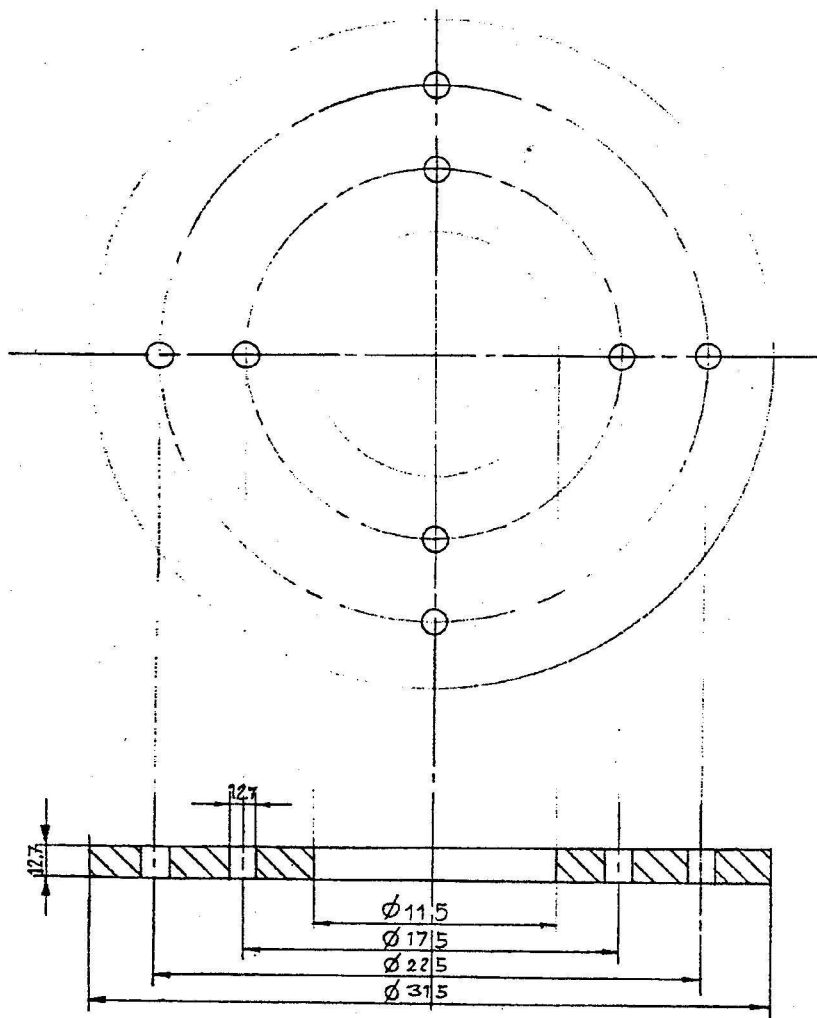
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ภาพที่ ผ.5 ผลการทดสอบ ความแข็งแรงของใบพัด

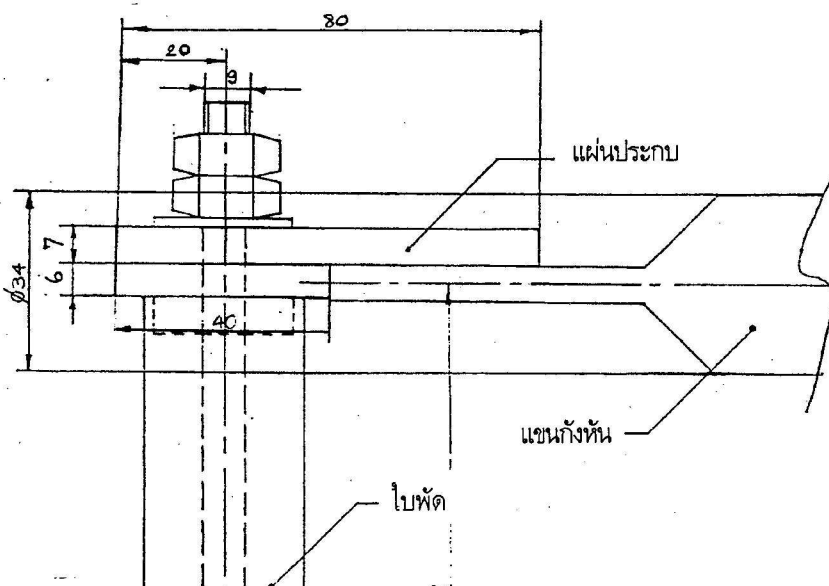
ผ.2 แบบกังหันลม



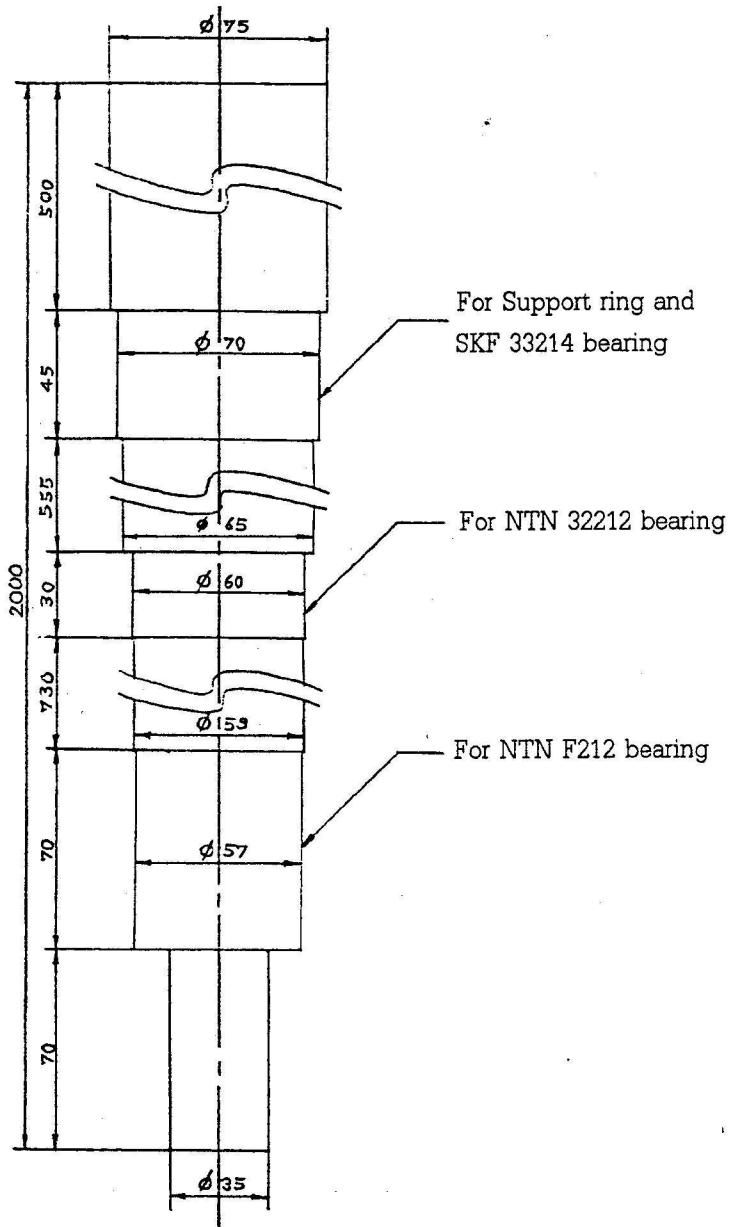
ภาพที่ ผ.6 แบบแกนกังหัน



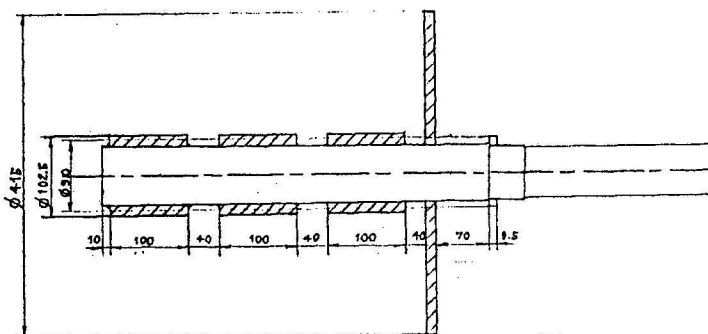
ภาพที่ ผ.7 แบบหน้าแปลนคูลล์



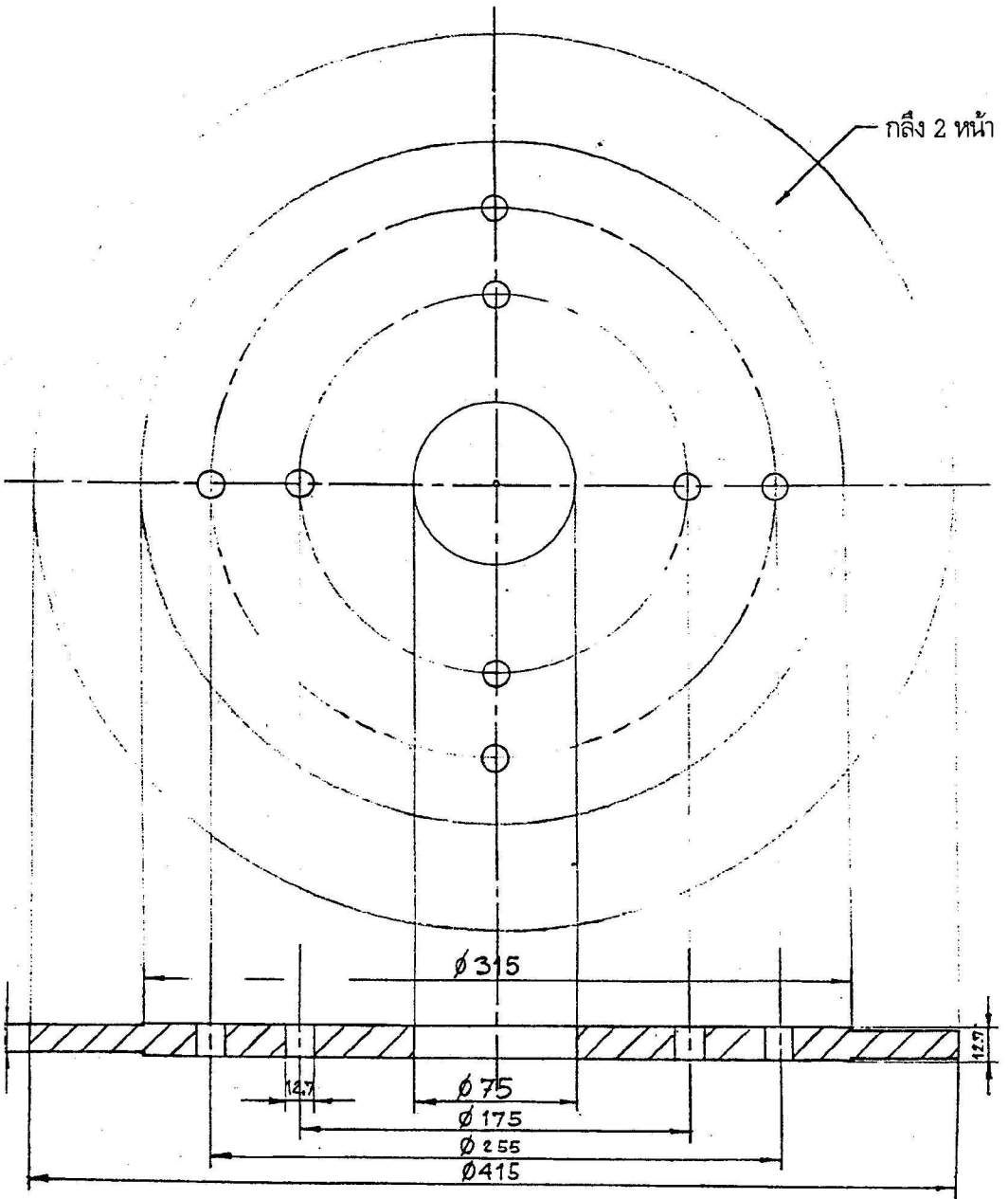
ภาพที่ ผ.8 แบบการจัดยึดไบพัด



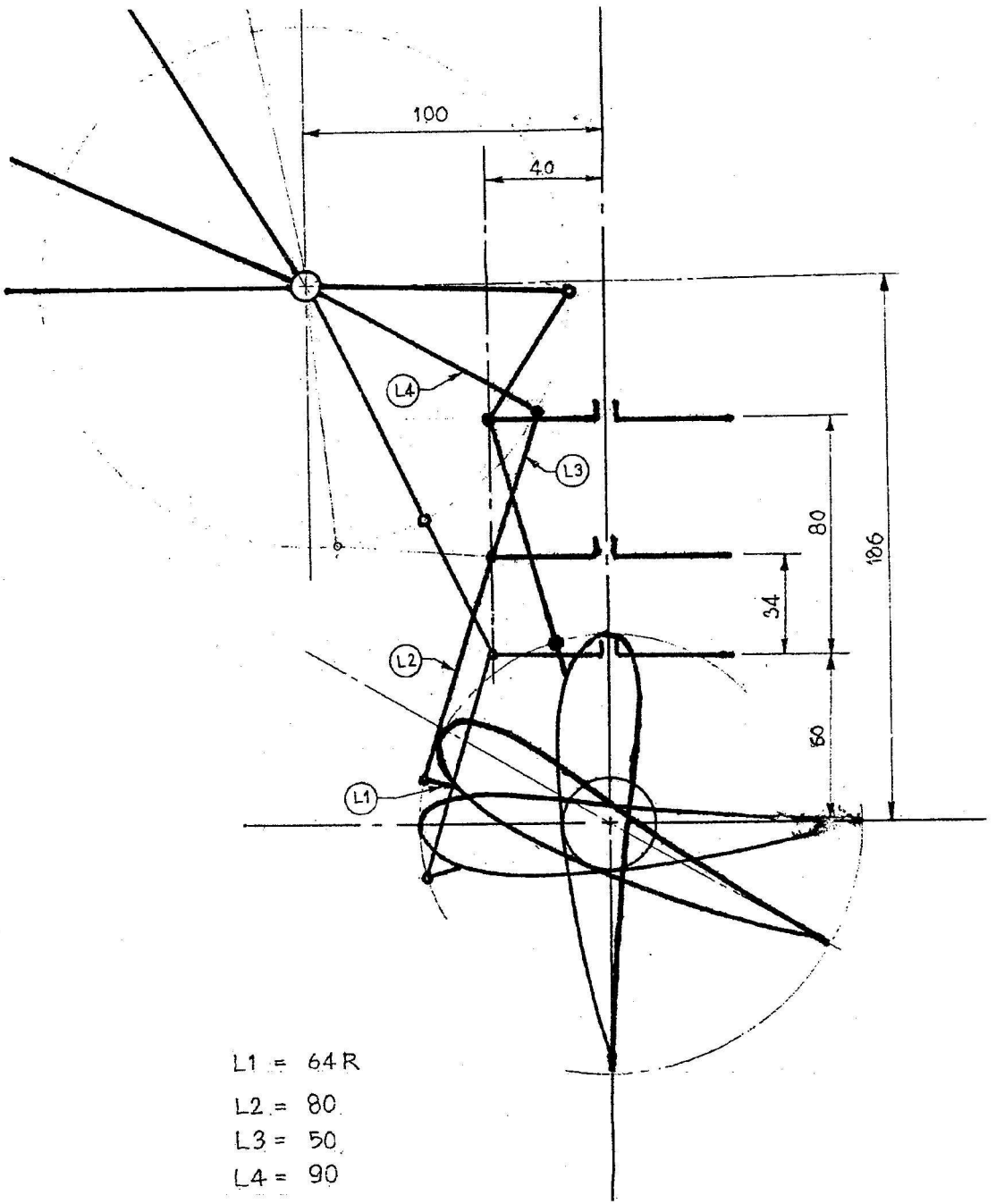
ภาพที่ ผ.9 แบบเพลากลางกังหัน



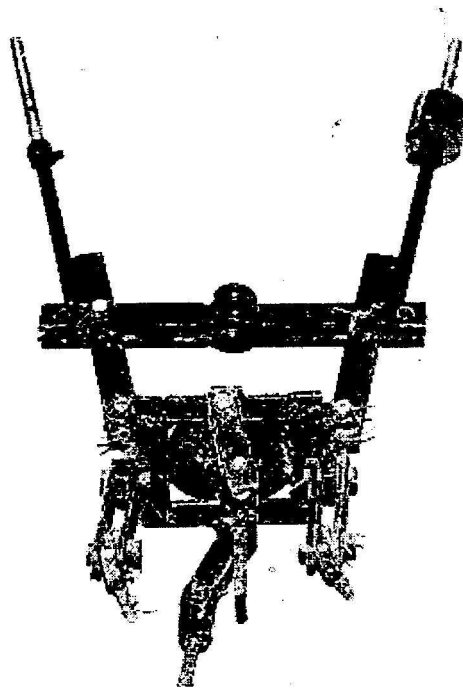
ภาพที่ ผ.10 แบบเพลากลางส่วนสวมคุมล้อ



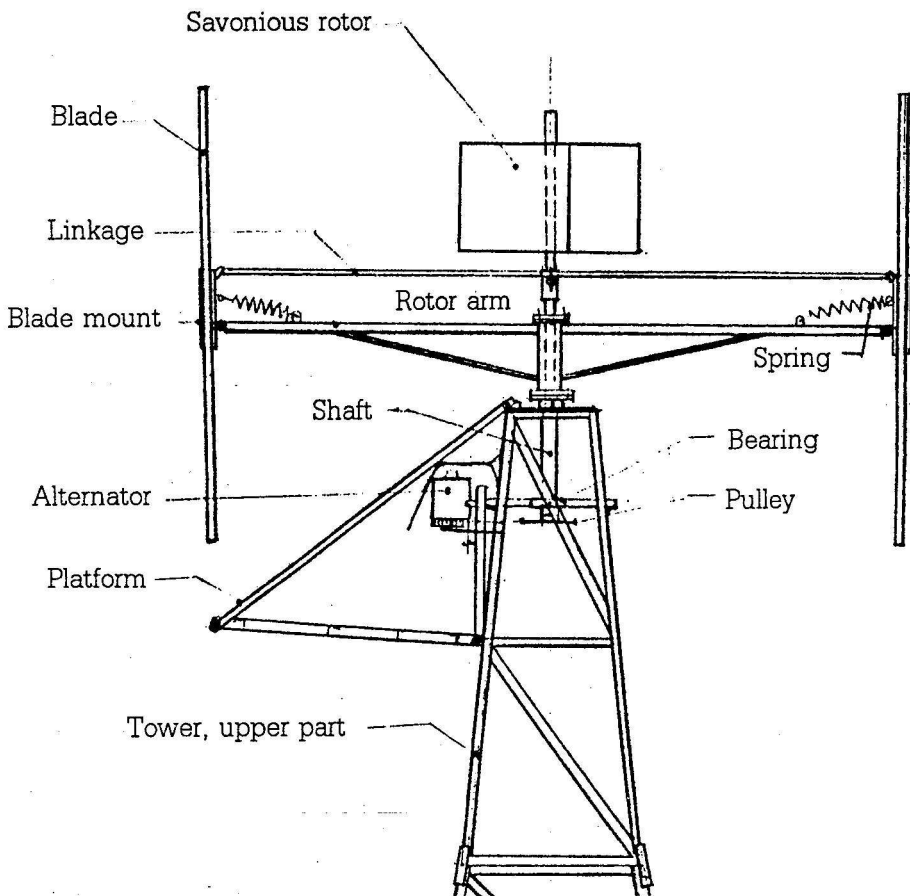
ภาพที่ ผ.11 แบบหน้าแปลนคูล้อตัวล่าง



ภาพที่ ศ.12 แบบระบบควบคุมใบพัดของกังหันรุ่นแรก



ภาพที่ ผ.13 ภาพถ่ายระบบควบคุม ใบพัดของกังหันรุ่นแรก



ภาพที่ ผ.14 แบบของกังหันลมรุ่นที่สอง

ตารางที่ ผ.1 ข้อมูลจำเพาะกัณฑ์ของโครงการระยะแรก

กำลังการผลิต	500 วัตต์ (ที่ 6.3 เมตร/วินาที)
สัมประสิทธิ์กำลัง	37%
ประสิทธิภาพรวม	24%
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	4.28 เมตร
ชนิดของกัณฑ์	ใบพัดแกนราบ
จำนวนใบ	4
รูปร่างใบพัด	NACA 0018
อัตราส่วนความเร็วปลายใบ	5
ความทึบของใบ	8.9%
ความเร็วรอบ	140 รอบ/นาที