



บทที่ 3

กังหันลมแบบแกนตั้ง

Vertical Axis Wind Turbine

3.1 รายละเอียดและประสิทธิภาพของกังหันลมแกนตั้ง

กังหันลมแกนตั้งแตกต่างไปจากกังหันลมแบบแกนนอน ชาว เปอร์เซีย ได้คิดค้นไว้เป็นเวลาหลายร้อยปีก่อน ในบทนี้จะพูดถึงผลการทดลอง และชนิดต่างๆของกังหันลมที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด หรือใช้เฉพาะงานเท่านั้น

กังหันลมแบบแกนตั้งแยกประเภทออกได้เป็น

- กังหันลมแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Drag Machines)
- กังหันลมแบบตะแกรงบังลม (Screened Machines)
- กังหันลมแบบสับควิลลม (Machines with Flapping Blades)
- กังหันลมแบบไบหมุนรับลม (Machines with Turning Blades)
- กังหันลมแบบไบติดแน่นกับแกน (Machines with Fixed Blades)

3.1.1 กังหันลมแบบดิฟเฟอเรนเชียล

หลักการหมุนของกังหันลมชนิดนี้ ใช้หลักของความไม่สมมาตร การสร้างทำได้ง่ายมาก ชนิดที่ง่ายที่สุดของกังหันลมนี้คือ เครื่องมือวัดรูปถ้วย (Conemometer)

ก). กฎเกณฑ์การทำงาน

การเคลื่อนที่ของกังหันลมแกนตั้งชนิดนี้ ได้จากการส่งถ่ายพลังงานจากการไหลของอากาศไปให้กับถ้วย เนื่องจากรูปปร่างที่ไม่สมมาตร จึงทำให้เกิดการหมุนขึ้น ตัวประกอบ แอร์โรไดนามิค (Aerodynamic) C แสดงไว้อยู่ในรูปของแรงขับ

$$F = \frac{1}{2} \rho S V^2 C$$

โดยทั่วไป C มีค่าประมาณ 1.33 อาจปรับปรุงให้มีค่ามากกว่านี้ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ สำหรับไบรูปทรงกระบอก ตัวประกอบเหล่านี้มีค่าประมาณ 1.2-1.3



รูปที่ 3.1 โพรเตอร์รูปถ้วย

ข). ทฤษฎีการประมาณค่า (Approximate Theory)

การประมาณค่าโดยใช้ทฤษฎีสำหรับกังหันลมแกนตั้งที่ใช้แรงลาก (Drag Force) เป็นหลัก ให้ออกต้องแม่นยำมีความเป็นไปได้สูงด้วยการสมมติว่าให้ใบหมุนด้วยความเร็วแนวเส้น v โดยมีความเร็วลม V แรงแอโรไดนามิค (Aerodynamic) ที่เกิดขึ้นอยู่บนใบ เป็นสัดส่วนของ $(V-v)^2$ เมื่อเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับลม (Downwind) และ $(V+v)^2$ เมื่อเคลื่อนที่ตรงข้ามทิศทางลม (Upwind)

ดังนั้นกำลังงานที่ผลิตจาก กังหันลม

$$P = \frac{1}{2} \rho S [C_1 (V - v)^2 v - C_2 (V + v)^2 v]$$

C_1 และ C_2 เป็นตัวแปรประกอบสมมติไว้ก่อนว่าคงที่

กังหันลมจะมีประสิทธิภาพที่สุงที่สุดก็ต่อเมื่อ

$$v = v_{opt} = \frac{2SV - V\sqrt{4S^2 - 3D^2}}{3D}$$

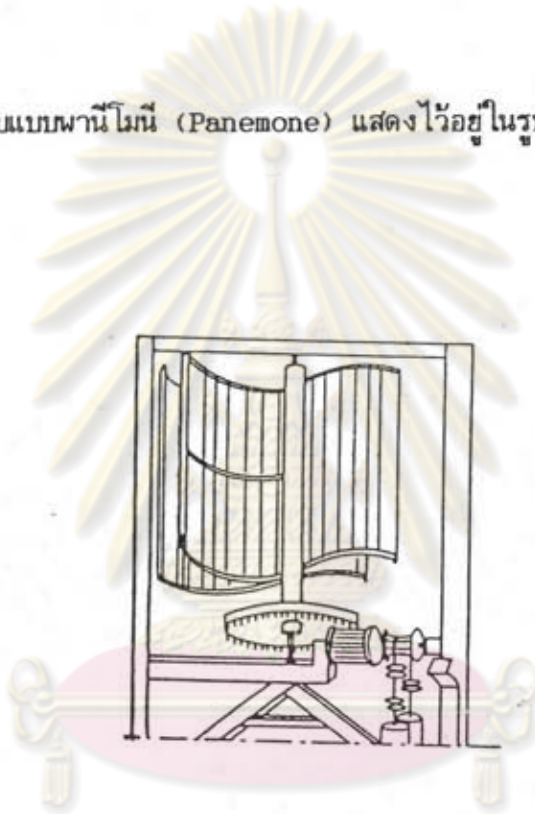


S และ D เท่ากับ $(C_1 + C_2)$ และ $(C_1 - C_2)$ ตามลำดับ

ในกรณีที่ $C_1 = 3C_2$ จะได้ $v_{opt} = V/6$ เมื่อ $C_2 = 0$

$v_{opt} = V/3$

สำหรับแบบพานี่โมเน่ (Panemone) แสดงไว้อยู่ในรูปที่ 3.2



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
รูปที่ 3.2 พานี่โมเน่ สำหรับขี้ไก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$v = \omega R/2$$

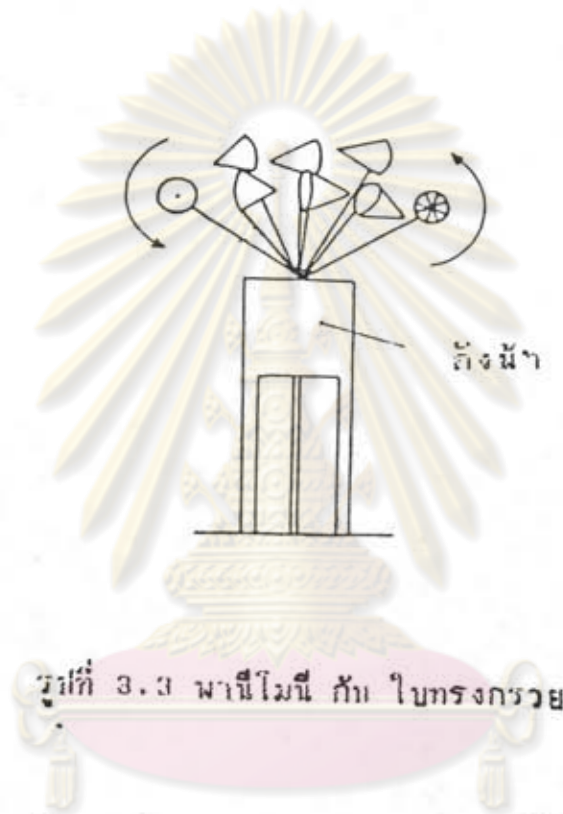
เมื่อใช้งานในภาคสนาม (Field) ค่าความเร็วปลายใบ $(\lambda = \frac{U_0}{V})$ อยู่ระหว่าง

0.3 และ 0.9

U_0 = ความเร็วที่จุดปลายของใบมีค่าเท่ากับ ωR

ค). พานี่โมเน่ (Panemone)

เป็นกังหันลมแกนตั้งที่เก่าแก่มากที่สุด ใบมีลักษณะคล้ายทรงกระบอกประกอบขึ้นหลายใบมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป เช่น ใบแบบกรวย แสดงไว้ในรูปที่ 3.3

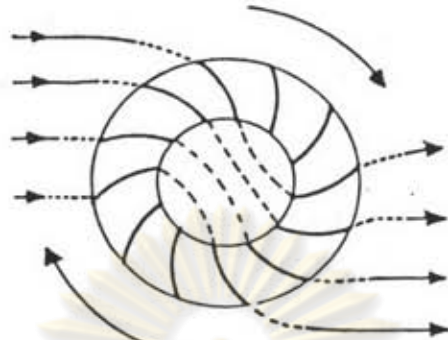


รูปที่ 3.3 พานี่โมเน่ กับ ใบทรงกรวย

ออบอร์ เดอร์ ลาลู (Auber de la Rue) ได้พบถึงกังหันลมแกนตั้ง ที่เขาได้เห็นใน แคนาดา ใบมีลักษณะเป็นรูปกรวยมีทั้งหมด 12 ใบ ติดตั้งอยู่ที่อ่างเก็บน้ำแห่งหนึ่ง ใช้สำหรับสูบน้ำต่างๆไป กังหันลมที่ออบอร์ เห็นเป็นแบบนี้แปลกมากเมื่ออยู่ในยุคสมัยนั้น แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 การพัฒนาต่อมา ก็อาศัยหลักการนี้ดัดแปลงมาเรื่อยๆ

ง). กังหันลาฟอน (Lafond Turbine) กังหันแบบลาฟอนคิดค้นขึ้นที่

มอนเปลเลียร์ (Montpellier) ประเทศฝรั่งเศส กังหันลมชนิดนี้ ของไหลจะถูกบังคับให้หักเห จากใบแรก และจะไปช่วยเสริมให้เกิดแรงขึ้นในใบต่อไปทำให้ทอร์คที่ได้นั้น กังหันลมแบบลาฟอน จะให้ค่าเอาก์พุท สูงสุดเมื่อค่า $\lambda_0 = 0.4$ เริ่มต้นหมุนได้เอง (Self Start) ที่ความเร็วลม 2.5 m/s



รูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 กังหันลมแบบลาฟอน

ตารางที่ 1 ได้มาจาก มอเชอร์ส เอ เวน <<Moteurs a vent>>
รวบรวมโดย แชมพลี (Champlly) แสดงถึงประสิทธิภาพของกังหันลมนี้

ตารางที่ 1

เส้นผ่า ศูนย์กลาง (เมตร)	ความสูง (เมตร)	จำนวน และ มาตราส่วน ของใบ	กำลังที่ความเร็วลมต่างๆ			น้ำหนัก (กิโลกรัม)
			4 ม/ว	7 ม/ว	10 ม/ว	
2	2	24 & 0.5x1 เมตร	47	140	400	400
2	3	36 & 0.5x1 เมตร	70	210	600	600
4	4	24 & 1x2 เมตร	190	560	1500	2000

พลังงานที่ได้ออกมาของกังหันลมแบบลาฟอน ยังได้น้อยอยู่ ประมาณครึ่งหนึ่งของ
กังหันลมแบบแกนนอน เมื่อพื้นที่รับลมเท่ากัน

จ). ซาโวเนียสโรเตอร์ (Savonius Rotor)

กังหันลมแบบซาโวเนียส เครื่องจักรชนิดนี้ประดิษฐ์ขึ้นโดยวิศวกร ชาวสวีเดน ซาโวเนียส (SIGURD SAVONIUS) ในปี 1924 จดทะเบียนปี 1929

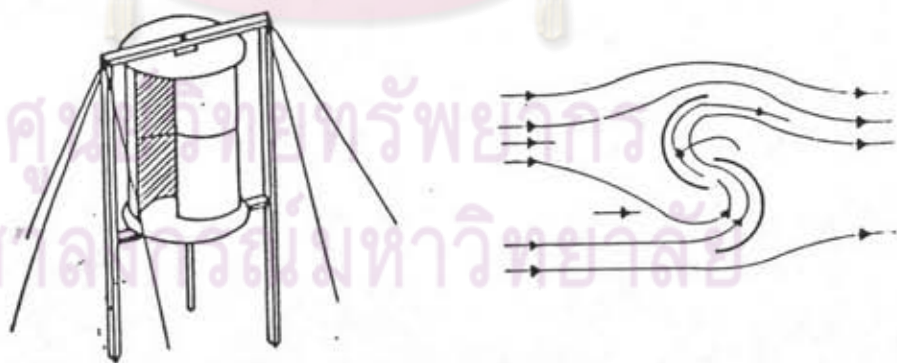
ส่วนสำคัญประกอบขึ้นด้วย ทรงกระบอกผ่าซีกซึ่งมีแกนเกยกันอยู่ ส่วนนี้เรียกว่า ออฟเซต (Offset) แบบจำลองแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 มีค่า $e/d = 1/3$

e = ค่าออฟเซตของกังหันลม

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอกผ่าซีก ที่ทำเป็นโรเตอร์

ออฟเซตมีไว้เพื่อให้ลมที่พัดผ่านจากใบแรกผ่านเข้าไปในใบที่สองได้ เพื่อช่วยเสริมให้เกิดแรงขึ้น

ในรูปที่ 3.5 แสดงถึงโรเตอร์ที่วางท่ามุมกันอยู่ 180°



รูปที่ 3.5 กังหันลมซาโวเนียส

3.1.2 งานที่ได้จากการทดลอง(Experiment work)

นักวิจัยชาวแคนาดา (Canadian) นิวแมน (Newmann) เล็กอาชัย (Lek Ah Chai) แห่งมหาวิทยาลัยแมคกิล (McGill) ในมลรัฐมอนทรีออล (Montreal) ได้เข้าทำการศึกษากังหันลมแบบฮาโวเนิส โดยใช้ค่า e ที่แตกต่างกัน ตัวใบมีลักษณะเหมือนทรงกระบอกผ่าซีก มีความสูง 15 นิ้ว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สามารถปรับค่า ออฟเซตได้ ศึกษาอยู่ 5 กรณี มีดังนี้

โรเตอร์ I. $e=0$ โรเตอร์ II. $e=1$ โรเตอร์ III. $e=1.5$
 โรเตอร์ IV. $e=2$ โรเตอร์ V. $e=2.5$ นิ้ว

รูปที่ 3.6 และ 3.7 แสดงถึงผลการทดลองที่ได้ออกมา การทดลองเพื่อวัดแรงบิดของการสตาร์ท ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับตำแหน่งของโรเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวประกอบของทอร์ค เทียบกับตำแหน่งของโรเตอร์ และตัวประกอบกำลังเมื่อเทียบกับความเร็วปลายใบ (Tip Speed Ratio)

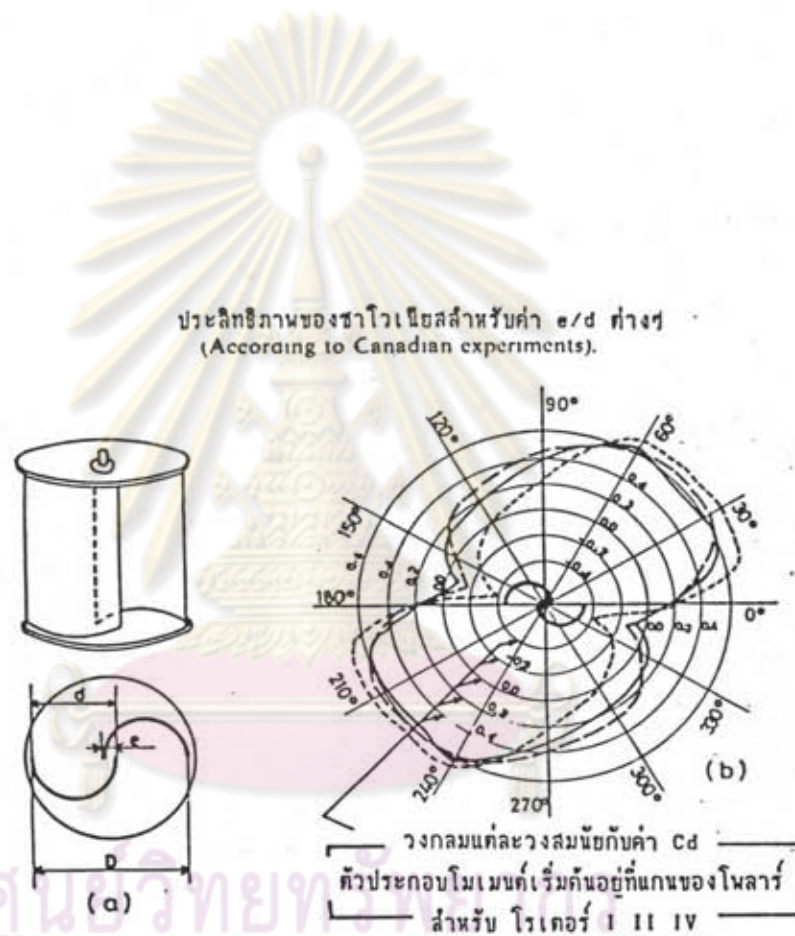
เป็นที่น่าสังเกตว่าตำแหน่งของโรเตอร์บางตำแหน่ง ทอร์คเริ่มต้นมีค่าเป็นลบ ซึ่งมีผลต่อการสตาร์ท ทำให้ไม่สามารถสตาร์ทที่ตำแหน่งนั้นได้ ค่าทอร์คเหล่านี้เปลี่ยนแปลงด้วยการปรับค่า e ให้เหมาะสม

เมื่อ $e = 0$ ค่าทอร์คจะมีค่าลบสูงสุดสำหรับโรเตอร์ I เมื่อค่าของ C_d ประมาณเท่ากับ 0.4 ที่ตำแหน่ง 58°
 $e = 1$ นิ้ว สำหรับโรเตอร์ II ค่าทอร์คจะมีค่าลบสูงสุด เมื่อค่าของ C_d ประมาณเท่ากับ 0.08 ที่ตำแหน่ง 18°

ค่าทอร์ค และ กำลังงานมีค่ามากที่สุดเมื่อค่า $e/d = 0.9$ สำหรับโรเตอร์ II ตัวประกอบกำลังงานเท่ากับ 0.3

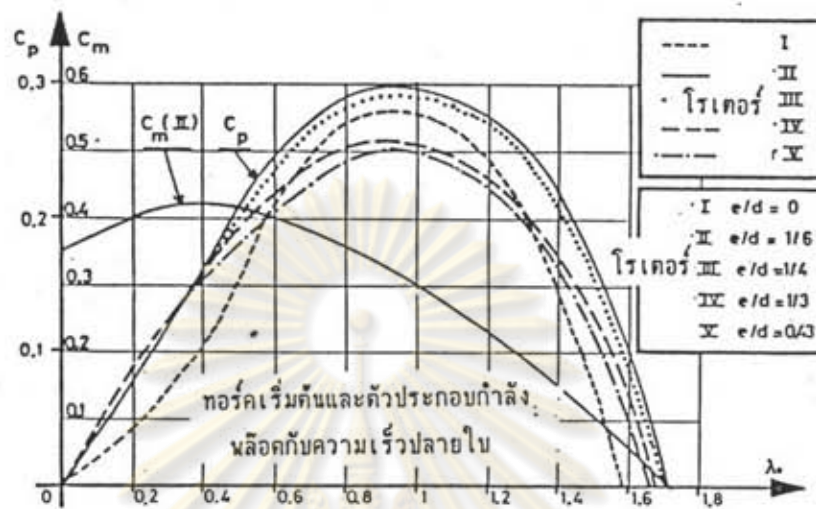
สำหรับกังหันลม ฮาโวเนิส ที่สร้างขึ้นครั้งแรก (โรเตอร์ III) $e/d = 1.3$ ตัวประกอบกำลังงานสูงสุดเท่ากับ 0.25 เงื่อนไขต่างๆที่ดีที่สุดและมีประสิทธิภาพที่สุดก็ต่อเมื่ออัตราส่วนความเร็วปลายใบอยู่ระหว่าง 0.9 และ 1

มีการทดสอบกังหันลมหลายวิธี เพื่อจะลดทอร์คทางลบนี้ วิธีหนึ่งที่จะแก้ไขได้ก็คือ วางโรเตอร์อีกตัวหนึ่งบนตัวเดิมวางทำมุมกันอยู่ 90° กำลังงานที่ได้ไม่ได้ลดลง แต่ว่าทอร์คเกิดที่ตัวใบทั้ง 2 ข้างมีทิศทางตรงกันข้ามหักล้างกันหมดไป



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.7

3.1.3 กำลังงานที่ได้รับ (Available Power)

ตัวประกอบกำลัง C_p มีความสัมพันธ์ กับกำลัง และความเร็วลม ดังสมการดังนี้

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

แทนค่า C_p ในสมการ โดยใช้ค่าสูงสุดที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น

0.3 สำหรับโรเตอร์ II

0.25 สำหรับโรเตอร์ IV

ให้ค่าของ ρ เท่ากับ 1.25 kg/m^3 ค่ากำลังงานสูงสุดมีค่าเท่ากับ

$$P_{\max} = 0.18 S V^3$$

สำหรับโรเตอร์ II

$$P_{\max} = 0.15SV^3$$

สำหรับโรเตอร์ IV

S = พื้นที่กวาดโดยโรเตอร์

$$S = h(2d-e) = hD$$

เนื่องจากการเพิ่มของตัวประกอบกำลัง ด้วยการขยายพื้นที่ในการกวาด ดังนั้น กังหันลมยิ่งออกแบบให้มีขนาดใหญ่เท่าไร ก็ยังมีกำลังงานมากเท่านั้น

กำลังงานสูงสุดที่ได้จากโรเตอร์ II จะได้มากกว่ากังหันลมแบบชาวโวนีเยสแบบเดิม 25-30 % เมื่อคิดในอัตราส่วนที่เท่ากัน

กำลังงานสูงสุดจะได้เมื่ออัตราส่วนความเร็วปลายใบ อยู่ระหว่าง 0.9 และ 1 (สำหรับโรเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง)

กำลังที่ได้จาก โรเตอร์ II คำนวณได้จาก ความสัมพันธ์ดังนี้

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p SV^3,$$

$$C_p = 0.53(\lambda_0 - 0.2)(1.7 - \lambda_0) \quad \text{สำหรับ } 0.9 < \lambda_0 < 1.6$$

$$C_p = 0.5 \lambda_0 - 0.2 \lambda_0^3 \quad \text{สำหรับ } 0 < \lambda_0 < 0.9$$

3.1.4 ทอร์ก (Torque)

ตัวประกอบกำลัง และ ตัวประกอบทอร์กมีความสัมพันธ์กันดังนี้ $C_p = C_m \lambda_0$ ถ้า C_p รู้ค่า ค่าของ C_m ก็จะหาค่าได้ และสามารถหาค่าทอร์ก M ได้ดังนี้

$$M = \frac{1}{2} \rho C_m RSV^2.$$

รูปที่ 3.7 ได้จากการทดลองในมอนทรีออล (Montreal) แสดงถึงเส้นโค้งของ C_m ของโรเตอร์ประเภท II $e/d = 1/6$ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากในจำนวนแบบทดลองทั้งหมด

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของกังหันลมที่ได้ทำการติดตั้งไว้แล้ว

ก). กังหันลมของชาวแคนาดา ชาวแคนาดาได้สำรวจความเป็นไปได้ในการใช้กังหันลมแบบชาวไวเน็ส ในประเทศที่กำลังพัฒนา สำหรับการสูบน้ำ ในถิ่นที่ห่างไกลความเจริญ สถาบันบาส (Brace) แห่งมหาวิทยาลัย แมคกิล ได้ศึกษากังหันลมแบบชาวไวเน็ส สำหรับสูบน้ำมันใส่ถัง 230 ลิตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 58 เซนติเมตร (กังหันลมสูง 1.76 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.95 เมตร $e = 19$ เซนติเมตร)

ข). กังหันลมของมหาวิทยาลัยดาการ์ (INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE DE DAKAR)

กังหันประกอบด้วยรูปทรงกระบอก 4 อัน ดัดแปลงมาจากถังน้ำมัน 230 ลิตร มีน้ำหนักกวาด 1.8 ตารางเมตร

ใช้เกียร์ลดความเร็วประมาณ 1:7 ตารางที่ 2 เป็นค่าสรุปของผลที่ได้รับจาก บรีมอนต์ และ มาลีย์ (Bremont and Marie)

ตารางที่ 2

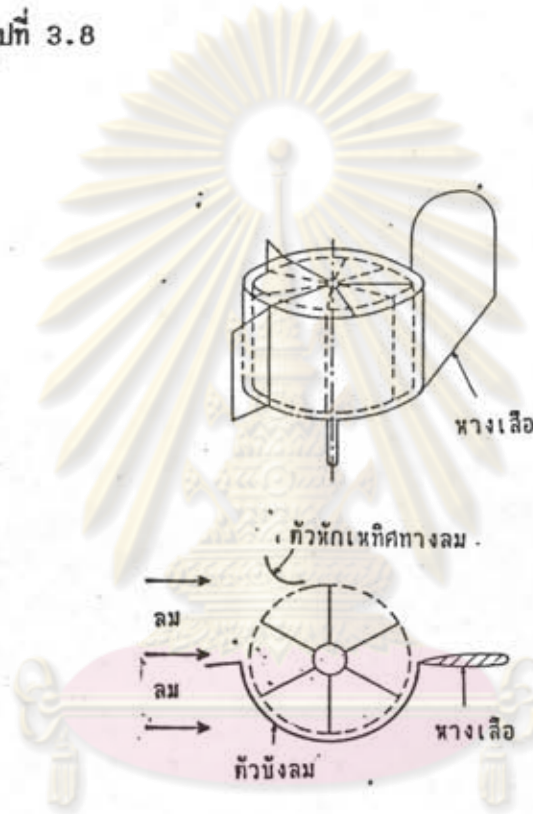
ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	2	3	4	5	6
กำลังงานวัตต์ที่เพลา (วัตต์)	4.5	14.5	30.5	42.5	52
กำลังงานวัตต์ขณะรับภาระ (วัตต์)	3	9.3	17.3	24.9	18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สังเกตในตารางจะเห็นว่าเครื่องจักรสามารถที่จะเริ่มต้นหมุนได้ที่ความเร็วลมต่ำ ลักษณะเด่นของกังหันลมแบบชาวไวเน็สมี ทอร์คเริ่มต้นสูง หลังจากงานนี้ มหาวิทยาลัยทางเทคโนโลยีของดาการ์ ได้สร้างกังหันลมแบบชาวไวเน็สที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.1 เมตร สูง 4 เมตร ประกอบด้วยชิ้นต่างๆ 4 ชิ้น บิดทำมุมกัน 45° กำลังอยู่ในการศึกษาทดลอง

3.2 กังหันลมแบบตะแกรงบังลม (Screened Machines)

เพื่อจะกำจัดแรงต้านที่เกิดขึ้นบนตัวใบที่วิ่งตัดลมมา นักวิจัยบางคน ได้ออกความคิด โดยนำตะแกรงมาบังลม ตัวตะแกรงตั้งหมุนรอบแกนโรเตอร์ และมีหางเสือเพื่อบังคับทิศทางของตะแกรง นำมาประกอบเข้ากัน ตะแกรงลมเหล่านี้จะบังลมที่มาปะทะในตำแหน่งที่ไม่ต้องการ แสดงไว้ในรูปที่ 3.8

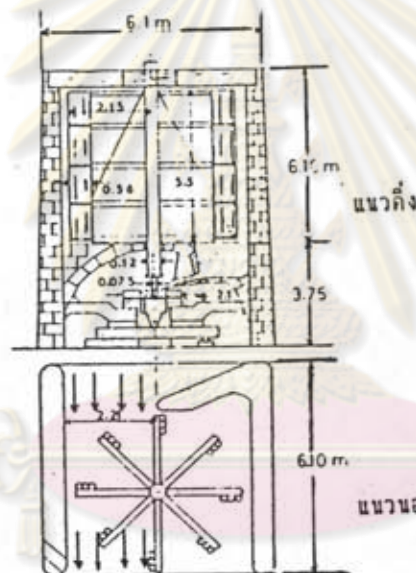


รูปที่ 3.8 กังหันลมแบบตะแกรงบังลม
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กัณฑ์ลมที่สร้างตามแบบนี้ มีค่าเอาก์พุกสูงสุด ที่ λ_0 ประมาณ 0.2-0.6

3.2.1 กัณฑ์ลมของชาวเปอร์เซีย (Persian)

คล้ายกับกัณฑ์ลมแบบตะแกรงบังลม เพียงแต่ว่าตัวตะแกรงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ อุปกรณ์บางอย่างดัดแปลงมาจากเรือใบ รูปที่ 3.9 ได้รับความเอื้อเฟื้อจากหน่วยวิจัย เนชันแนล จีโอกราฟิก โซไซตี้ ฮอลส์วูฟ (National Geographic society Hals Wuff)

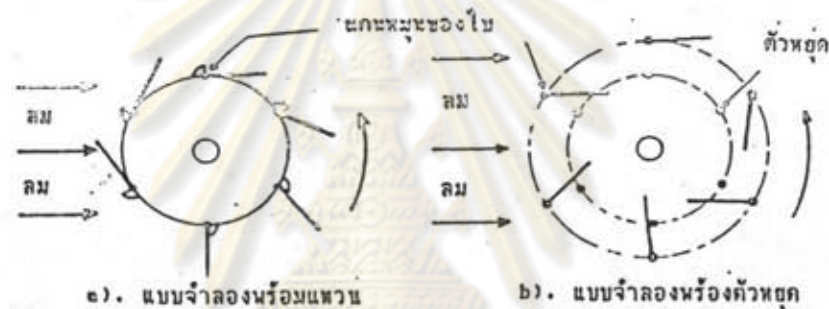


ศูนย์วิทยทรัพยากร
รูปที่ 3.9 กัณฑ์ลมของชาวเปอร์เซีย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

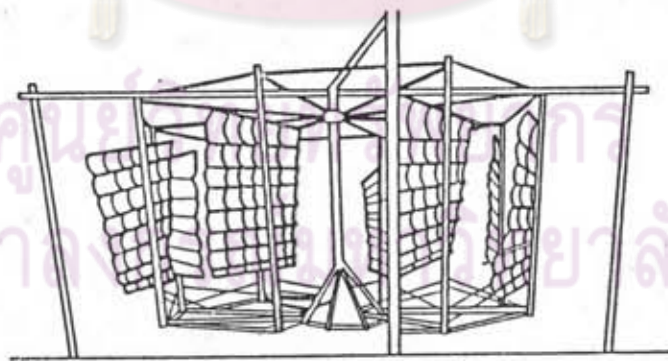
3.3 กังหันลมแบบใบพัดรับลม

รูปที่ 3.10 a และ b จะเห็นว่าใบสามารถถนัดได้ รูป a ใช้แหวนเป็นตัวบังคับใบ ส่วนรูป b ใช้ตัวสตอปเปอร์ (Stopper) เป็นตัวบังคับใบแทน ค่าเอ้าท์พุทสูงสุด เมื่อ $0.2 < \lambda < 0.6$ ข้อเสียเปรียบสำหรับเครื่องจักรประเภทนี้ก็คือ ประสิทธิภาพ และมีเสียงดัง สาเหตุส่วนใหญ่ ได้แก่ตัววงแหวน ตัวสตอปเปอร์ และส่วนที่เคลื่อนไหว เช่น ตัวใบ ลูกปืน

รูปที่ 3.11 เป็นกังหันลมที่ทำในจีน ซึ่งมีหลักการคล้ายๆ กัน



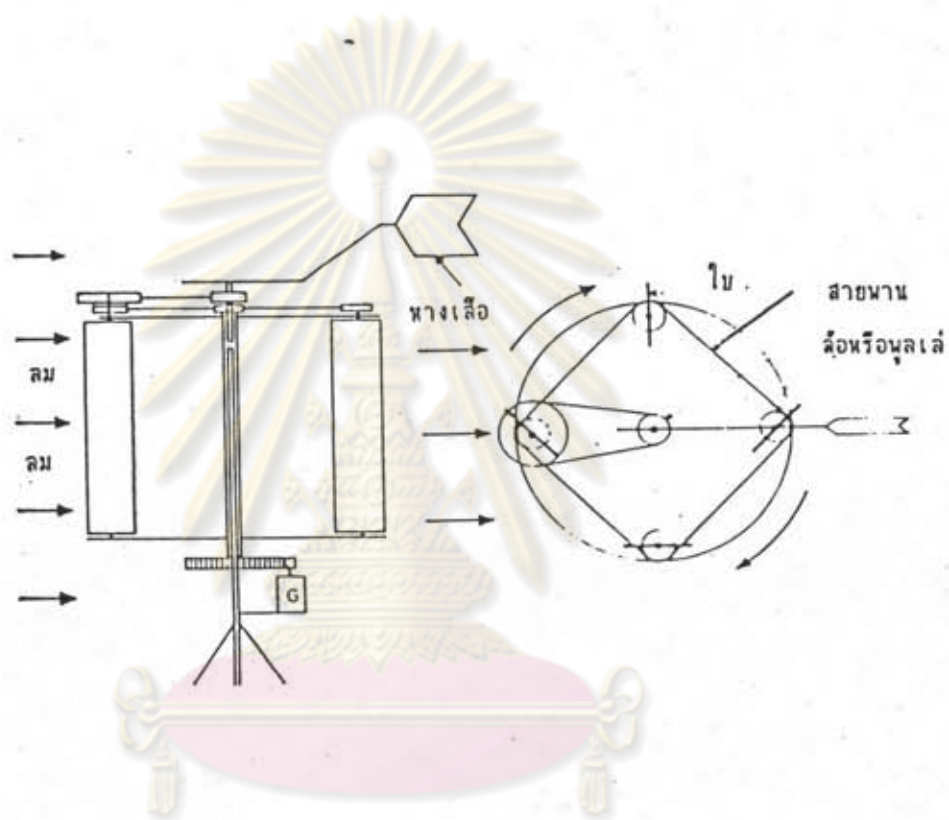
รูปที่ 3.10 กังหันลมแบบใบพัดรับลมได้



รูปที่ 3.11 กังหันลมของจีน

3.4 กังหันลมแบบใบหมุนรับลม (Turning-Blade Machines)

รูปที่ 3.12 แสดงถึง กังหันลมชนิดนี้

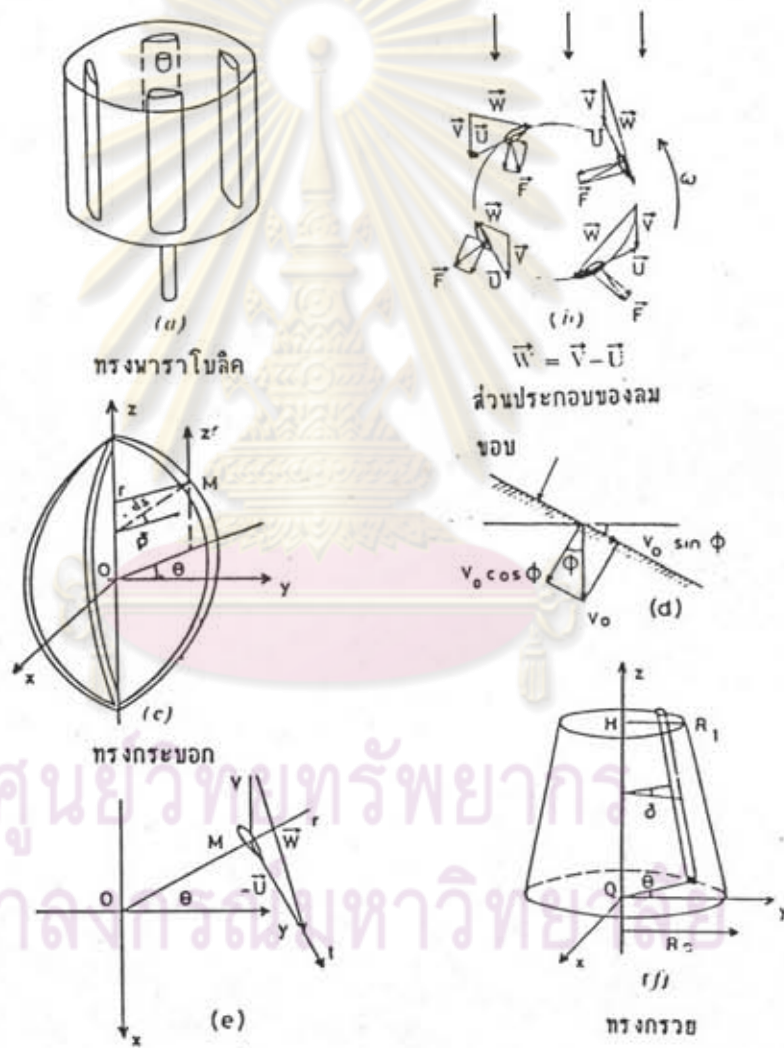


รูปที่ 3.12 พานี่โมนี้ กังหันลมชนิดนี้
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเร็วการหมุนของใบเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของวงล้อ (Wheel) ซึ่งหมุนได้โดย พูลเลย์ และ สายพาน การหมุนของใบควบคุมด้วยหางเสือ ซึ่งจะชี้ไปในทิศทางเดียวกับลม การสูญเสียทางด้าน เครื่องกลมาก ทั้งนี้เพราะความซับซ้อนของเครื่องจักร เนื่องจากมีชิ้นส่วนการเคลื่อน ไหวมาก

3.5 กังหันลมแบบใบติดแน่นกับแกน (Machines With Fixed Blades)

รูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กังหันลมแดเวีร์กล

ผู้เริ่มศึกษากังหันลมแนวนี้ และมีชื่อเสียงอย่างมาก คือ นักประดิษฐ์ชื่อว่า แดร์ริเยส (Darrieus) เป็นชาวฝรั่งเศส จดลิขสิทธิ์เมื่อ ปี 1931 ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด ได้แก่ ใบที่มีลักษณะโค้งมีหน้าตัดเหมือนหน้าตัดปีกเครื่องบิน หมุนรอบๆ แกนกลาง ใบยึดติดอยู่กับที่ ตัวกังหันลมมีอยู่หลายแบบ เช่น รูปทรงกระบอก ทรงกรวย ทรงกลม (Spherical) พาราโบลา (Parabolic) อย่างไรก็ตามกฎพื้นฐานที่ใช้ในการอธิบายคล้ายๆกัน

3.5.1). ทฤษฎีของกังหันลมแกนตั้ง

จากรูปที่ 3.13b

\vec{W} = ความเร็วลมสัมพัทธ์

\vec{V} = ความเร็วลม

\vec{U} = ความเร็วขอบของกังหันลม (Peripheral Speed)

จะได้สมการดังนี้

$$\vec{W} = \vec{V} + \vec{U}$$

เขียนใหม่ได้เป็น

$$\vec{W} = \vec{V} - \vec{U}$$

ถ้าเวกเตอร์ \vec{V} และ \vec{U} รู้ค่า ก็จะหาค่า \vec{W} ได้ และจะนำไปสู่แรงแอโรไดนามิค (Aerodynamic) ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการหา

สมมติว่าความเร็วลมคงที่ การคำนวณทำได้ไม่ยากมากนัก ด้วยการพิจารณาสามเหลี่ยมแทนแรง สำหรับตำแหน่งต่างๆ ของใบ แสดงถึงแรงที่เกิดขึ้น ในตำแหน่งนั้น มุมตกกระทบสัมพันธ์ บนส่วนโค้งของใบจะไม่เกินขีดจำกัดค่าหนึ่ง

$$i_{\max} = \sin^{-1}(V/U)$$

มุมนี้จะแหลมมาก ถ้าค่าความเร็วของ U มีค่ามากกว่าความเร็ว V มาก ในกรณีอื่น ถ้ากังหันลมอยู่กับที่ ความเร็วสัมพันธ์ P มีค่าเท่ากับความเร็ว V การสตอล(Stall) จะเกิดขึ้น ทำให้โมเมนต์ของการเริ่มต้นต่ำมาก(Starting Couple) ดังนั้นกังหันลมแบบเดเวียส ส่วนมากไม่สามารถสตาร์ทตัวเองได้

3.5.2) การศึกษากังหันลมแบบเดเวียส

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษากังหันลมแบบเดเวียส ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบพาลาโบลา โดย อา.เจ. เทมปลิน (R.J. Templin) มีตำแหน่งเป็นหัวหน้าห้องทดลอง ของ เนชันแนล แอโรนอติคอลล รีเสิร์ช (National Aeronautical research)

การดัดแปลงทฤษฎีเพื่ออธิบายเดเวียสโรเตอร์ เช่น แบบทรงกระบอก แบบทรงกลม แบบพาลาโบลิด จะกล่าวถึงในโอกาสต่อไป

3.5.3 ผลทางพลศาสตร์

$V \cos \phi$ ตั้งฉากกับขอบใบ $V \sin \phi$ มีทิศทางตั้งฉากกับ $V \cos \phi$ มุมของการตกกระทบนิยามด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน ส่วนที่ 1 มีทิศทางตามขอบใบ ส่วนที่ 2 มีทิศทางตั้งฉากกับส่วนที่ 1 ดังรูปที่ 3.13 d

โรเตอร์ของเดเวียส ซึ่งหมุนรอบแกนตั้งสมมติให้เป็นแกน OZ ความเร็วสมบูรณ์ (Absolute Speed) ของลมที่ผ่านตัวโรเตอร์ (V) มีทิศทางขนานกับ OX (รูปที่ 3.13c) ส่วนของใบที่จุดศูนย์กลางให้เป็นจุด M อยู่บนแนวคอร์ด l



ds = ระยะจากแกนกลางถึงตัวใบ

r = ระยะทางของตัวใบไปจนถึงแกนของการหมุน

θ = มุมระหว่าง ระนาบ OYZ และ ระนาบตั้ง

ϕ = มุมระหว่างแกนที่ตั้งฉากกับส่วนของใบ และ ระนาบในแนวนอน

สำหรับ โรเตอร์ แบบพลาโบล่า ที่สูง $2H$ จุดศูนย์กลางอยู่ที่ O :

$$\frac{r}{R} = 1 - \frac{z^2}{H^2}$$

$$\delta = \tan^{-1} (2zR/H^2)$$

สำหรับโรเตอร์แบบทรงกระบอก ซึ่งมีใบอยู่ในแนวแกนตั้ง

$$r = R \quad \text{และ} \quad \delta = 0.$$

สำหรับโรเตอร์ แบบกรวย

ศูนย์วิทย์ฯ พงศกร

$$r = R_0 - (R_0 - R_1) z/H$$

$$\delta = \tan^{-1} ((R_0 - R_1)/H)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนวณหาค่าส่วนประกอบ ของความเร็วสัมพัทธ์ ω สำหรับการคำนวณนี้ได้สร้าง
แกนช่วยกัน (Auxiliary Axes) รูป 3.13c กับ รูป 3.13e

แกน MZ' ให้เป็นบวกเมื่อขึ้น

แกน Mt เป็นบวกเมื่อคิดจากขอบหัวไปขอบหางของใบ

แกน Mr เป็นแกนนอน ตั้งฉากกับคอร์ด

ความเร็วสัมพัทธ์ W สัมพันธ์ กับความเร็ว U ซึ่งมีค่าเท่ากับ ωr ดังสมการ

$$\vec{W} = \vec{V} - \vec{U}$$

เวกเตอร์ \vec{W} คือผลรวมของเวกเตอร์แนวนอน 2 ตัว

ส่วนประกอบของ \vec{W} อธิบายโดยอาศัยข้อมูลจากข้างบน มีค่าดังนี้

$$W_r = V \sin \theta, \quad W_t = U + V \cos \theta, \quad W_z = 0.$$

ทิศทางในแนว โคไซน์ ตั้งฉากกับตัวใบ

ส่วนประกอบของเวกเตอร์ \vec{W} ที่ตั้งฉากกับตัวใบคือ $V \sin \theta \cos \delta$

ดังนั้น

$$W_t = U + V \cos \theta = r\omega + V \cos \theta.$$

ผลรวมของเวกเตอร์ \vec{W}

$$W^2 = (r\omega + V \cos \theta)^2 + V^2 \sin^2 \theta \cos^2 \delta,$$

มุมของการตกกระทบกำหนดให้เป็นไปตามความสัมพันธ์

$$\tan i = \frac{V \sin \theta \cos \delta}{r\omega + V \cos \theta}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ให้ความดันแบบไดนามิก (Dynamic Pressure) แทนด้วย $q = \frac{1}{2} \rho W^2$

l = ความยาวคอร์ดของตัวใบ

C_u = ตัวประกอบ ทางผลศาสตร์ที่ตั้งฉากกับคอร์ด

C_t = ตัวประกอบ ทางผลศาสตร์ที่ขนานกับคอร์ด

$$C_t = C_l \sin i - C_d \cos i$$

$$C_n = C_l \cos i + C_d \sin i$$

ds = ระยะจากแกนกลางถึงตัวใบ

ส่วนประกอบของแรงทางแอร์ไดนามิค ในทิศทางของคอร์ด และ ตั้งฉากกับ คอร์ด

มีดังนี้

$$dN = C_n q l \frac{dz}{\cos \delta}$$

$$dT = C_t q l \frac{dz}{\cos \delta}$$

ds และ dz มีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$dz = ds \cos \delta$$

แรงลัพธ์ที่กระทำบนตัว โรเตอร์

$$dF = dN \cos \delta \sin \theta - dT \cos \theta$$

$$= ql \left(C_n \sin \theta - C_t \frac{\cos \theta}{\cos \delta} \right) dz$$

การคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้นบนใบแต่ละใบ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางกาหมุนของ กังหันลม การคำนวณจึงต้องหาในลักษณะของการอินทิเกรต โดยกำหนดเงื่อนไขว่า ความยาว คอร์ดของใบมีค่าคงที่ แรงในทิศทางของลมที่กระทำบนตัวโรเตอร์ทั้งหมด เขียนเป็น สมการ ได้ดังนี้

$$F = \frac{pl}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{2\pi} q \left(C_n \sin \theta - C_t \frac{\cos \theta}{\cos \delta} \right) d\theta dz$$

P = จำนวนใบของกังหันลม

3.5.4 ทอร์ค และ กำลังงาน

โมเมนต์ของแรงแอร์โรไดนามิก ที่กระทำบนตัวใบรอบแกนการหมุนเท่ากับ

$$dM = \frac{C_l q l}{\cos \delta} r dz$$

โมเมนต์บนตัวโรเตอร์ทั้งหมด

$$M = \frac{pl + H}{2\pi} \int_{-H}^H \int_0^{2\pi} \frac{C_l q r}{\cos \delta} d\theta dz$$

ดังนั้นกำลังงานที่ได้จากสมการข้างบนนี้

$$P = M\omega = \frac{pl + H}{2\pi} \int_{-H}^H \int_0^{2\pi} \frac{C_l q r \omega}{\cos \delta} d\theta dz$$

ลำดับของการคำนวณไม่ได้ทำตาม อ.เจ. เทมปรีน (R.J. Templin) แต่เทคนิคต่างๆ ดัดแปลงภายใต้พื้นฐานเดียวกัน ผลที่ออกมาได้ใกล้เคียงกัน

สมการข้างบนไม่สามารถ อธิบายประสิทธิภาพของกังหันลม จึงใช้ทฤษฎีของ เบซส์ มาอธิบาย

ให้แรงที่กระทำบนกังหันลมแบบแกนนอนเท่ากับ

$$F = \rho S V (V_1 - V_2)$$

ให้ $v_2 = k v_1$ ความสัมพันธ์ของความเร็วต่างๆ มีดังนี้

$$v = \frac{1}{2} (v_1 - v_2) = v_1 \left(\frac{1+k}{2} \right)$$

ดังนั้นแรงที่ได้

$$F = \frac{1}{2} \rho S (V_1^2 - V_2^2) = \frac{1}{2} \rho S V_1^2 (1 - k^2) = 2 \rho S V^2 \frac{1-k}{1+k}$$

สมมติว่าทฤษฎีของเบสส์ ใช้ได้กับกังหันลมแกนตั้ง โดยกานำสมการ F ให้มีค่า

$$2 \rho S V^2 \left(\frac{1-k}{1+k} \right) = \frac{b l}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \int_0^{2\pi} q \left(C_n \sin \theta - C_t \frac{\cos \theta}{\cos \delta} \right) d\theta dz$$

โดยการแทน q ด้วยค่า $\frac{1}{2} \rho W_u^2$

$$G = \frac{1-k}{1+k} = \frac{b l}{8\pi S} \int_0^{\pi} \frac{W^2}{V^2} \left(C_n \sin \theta - C_t \frac{\cos \theta}{\cos \delta} \right) d\theta dz$$

$$\frac{W^2}{V^2} = \left(\frac{r\omega}{V} + \cos \theta \right)^2 + \sin^2 \theta \cos^2 \delta$$

$$\frac{\omega r}{V} = \frac{r}{R} \frac{\omega R}{V}$$

เราสามารถเขียน:

$$\frac{W^2}{V^2} \left(\frac{\omega R}{V} \frac{r}{R} \cos \theta \right)^2 + \sin^2 \theta \cos^2 \delta$$

เช่นเดียวกับ

$$\tan i = \frac{\sin \theta \cos \delta}{\frac{\omega R}{V} \frac{r}{R} + \cos \theta}$$

อัตราส่วน $\omega R/V$ ได้จากการวัด แทนค่าเข้าไปในสมการหาค่า G ได้ และสามารถนิยามค่า K ได้ว่า

$$k = \frac{1-G}{1+G}$$

ค่า k ทำให้สามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบ

$$\lambda_0 = \frac{\omega R}{V_1} = \frac{\omega R}{V} \left(\frac{1+k}{2} \right) = \frac{\omega R}{V(1+G)}$$

3.5.5 กำลัง และ ตัวประกอบทอร์ค (Power And Torque Coefficients)

ตัวประกอบกำลัง หาได้ดังนี้

$$C_p = \frac{2P}{\rho S V_1^3} = \frac{b l}{2\pi S} \int_{-H}^{+H} \int_0^{2\pi} C_t \frac{W_z^2}{V_1^3} \frac{\omega r}{\cos \delta} dz d\theta$$

$$\frac{W_z^2}{V_1^3} \omega r = \frac{W_z^2}{8V_1^3} \frac{\omega R}{V} \frac{r}{R} (1+k)^3$$

โดยใช้สมการนี้ C_p จะคำนวณได้จากค่าต่างๆ ของ $\omega R/V$ แต่ละค่าของ $\omega R/V$ สมัยกับค่าของ λ_0

ตัวประกอบโมเมนต์สัมพันธ์กับตัวประกอบกำลังดังนี้

$$C_m = C_p \lambda_0$$

ดังนั้น เมื่อคำนวณตัวประกอบกำลัง ทำให้ได้ค่า
ตัวประกอบโมเมนต์ C_m ด้วย

$$C_m = \frac{C_p}{\lambda_0} = \frac{2P}{\rho S V_1^3} \frac{V_1}{\omega R} = \frac{2M}{\rho S R V_1}$$

3.5.6 ข้อสังเกต

- 1). จะเห็นว่าสมการข้างบน จำกัดด้วยรูปร่างของโรเตอร์ ซึ่งอธิบายได้ด้วย ค่าของ r อยู่ในรูปฟังก์ชันของ z และ $\cos \delta$ การคำนวณทั่วไป

สามารถจะตัดแปลงไปอธิบายกังหันลมรูปอื่นๆ ได้ เช่น รูปทรงกระบอก รูปกรวย รูปทรงกลม รูปพลาโบล่า โดยการเปลี่ยนค่า z และ $\cos\delta$ การเปลี่ยนมาตราส่วนและรูปทรงของกังหันลมต้องคำนึงถึงค่าเหล่านี้ด้วย

2). สมมติให้ค่าตัวประกอบแรงยก และ แรงลาก มีค่าเหมือนกันโดยไม่คำนึงถึงลักษณะการไหลของลม โดยกำหนดให้ การไหลของลมเป็นแบบคงที่ การไหลแบบไม่คงที่ไม่ได้นำมาคำนวณด้วย (Steady and Unsteady) แต่การทดลองนั้นก็ยังมีค่าออกมาไม่แตกต่างกันมากนัก

3). การพิจารณาโดยใช้ลักษณะสมมาตรของกังหันลม ทำให้มีข้อจำกัดของการคำนวณเสมอๆ ด้วยเหตุผลข้อนี้ กังหันลมแบบพลาโบล่า หรือ แบบทรงกลม การคำนวณต้องคิดที่ระนาบนับจากศูนย์กลางซึ่งกำหนดให้เป็นแกนช่วยเท่านั้น

4). การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ทำโดย อา.เจ. เทมปรีน ใน ออตตาวา (Ottawa) โดยเฉพาะกังหันลมแบบ แดเรียส ซึ่งมีจำนวนใบ 2 และ 3 ใบ แสดงกำลังงานสูงสุดที่ทดลองได้ดังนี้

$$P = 0.25 SV^3$$

กำลังงานสัมพันธ์กับ λ_0 มีความสัมพันธ์กับ คอร์ด 1 ของใบ ดังนี้ $\lambda_0 = \frac{5R}{b}$

3.6). กังหันลมที่ใช้งานในภาคสนาม

การติดตั้งกังหันลมแบบแดเรียส ที่ใช้งานในภาคสนาม ส่วนใหญ่ทำกันอยู่ที่ฝรั่งเศส อเมริกา แคนาดา โดยเฉพาะในฝรั่งเศส วิทยักันที่ อีเล็คทริค เดอ ฟราน (Electricite' de France) โดย เจ.บี. โมเรล (J.B. Morel) ที่มหาวิทยาลัยที่ นาสา ในแคนาดาติดตั้งโดยหน่วยวิจัยของตัวเอง


3.6.1). การติดตั้งในฝรั่งเศส

เจ.บี. โมเรล ทดลองกังหันลมอยู่ 3 ตัว มีคุณสมบัติดังนี้

- รัศมี 1.75 เมตร มีจำนวนใบ 3 ใบ ให้กำลังงาน 300 วัตต์ มีประสิทธิภาพ 23% ที่ความเร็วลมประมาณ 10 เมตร/วินาที การทดสอบทำในอุโมงค์ลมขนาดใหญ่

- กังหันลมตัวที่ 2 มีกำลังงาน 5 กิโลวัตต์
- กังหันลมตัวที่ 3 มีกำลังงาน 7 กิโลวัตต์

ใบของกังหันลมตัวที่ 2 และ ตัวที่ 3 มีลักษณะลู่เข้าหาแกนตั้ง รูปร่างเหมือนรูปกรวย (Truncated Cone) การสร้างกังหันลมรูปร่างเช่นนี้ ก็เพื่อเหมาะสมในการยึด ผลที่ได้จากกังหันลม 2 ตัวสุดท้าย แสดงไว้ในตารางที่ 3



ตารางที่ 3		
กำลังงาน (กิโลวัตต์)	5	7
เส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์ (เมตร)		
ส่วนบน	2	4.2
ส่วนล่าง	8.5	8.5
ส่วนสูงของโรเตอร์ (เมตร)	5.7	5.7
ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	50	
ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	10	
ประสิทธิภาพ		0.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดสอบกังหันลม 5 กิโลวัตต์ และ 7 กิโลวัตต์ พร้อมกันโดยการเปลี่ยนแปลงค่า พารามิเตอร์บางค่า ทำให้ทราบว่า เมื่อกังหันลมมีลักษณะเป็นทรงกระบอกมากขึ้น กำลังงานที่ได้ก็มากตามขึ้นไป แต่ประสิทธิภาพรวมลดลง

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติที่สำคัญต่างๆ

ตารางที่ 4

กำลังงาน (กิโลวัตต์)	90	500	1200
เส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์ (เมตร)			
ส่วนบน	3.9	12	18
ส่วนล่าง	20	40	60
ส่วนสูงของโรเตอร์ (เมตร)	14	36	54
ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	50	14.3	14.3
ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	15	15	15

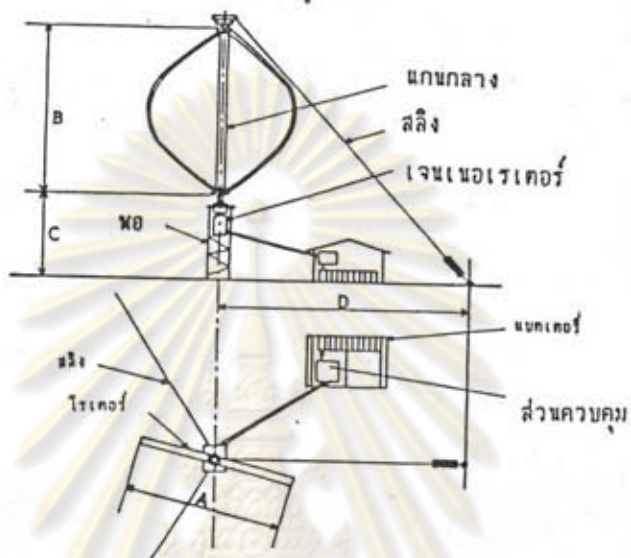
3.6.2). การศึกษาของอเมริกา

นาฬิกากังหันลมแบบแคเรียส ประกอบด้วยใบ 3 ใบ ทำด้วยพลาสติก หน้าตัดมีลักษณะเหมือนปีกเครื่องบิน แต่ละข้างลู่เข้าหาแกนตั้ง กังหันที่ทำการศึกษาดลองผลิตกำลังงานได้ 1 กิโลวัตต์ ขณะความเร็วลม 6.66 เมตร/วินาที และเริ่มต้นหมุนได้เองที่ 5.2 เมตร/วินาที ความเร็วสูงสุดของกังหันลมประมาณ 213 รอบ/นาที

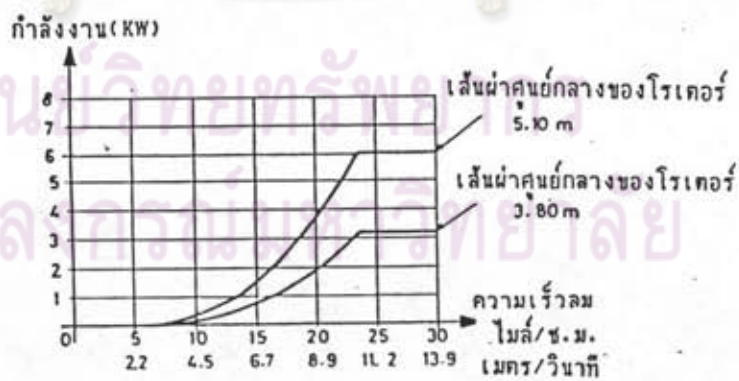
3.6.3). การศึกษาของแคนาดา การวิจัยของแคนาดาวิจัยกันที่ ศูนย์วิจัยแห่งชาติของแคนาดา (National Research Council Of Canada) โดย ปีเตอร์ เซาท์ (Peter South) การศึกษาโดยใช้กังหันลมแบบแคเรียส ซึ่งมีจำนวนใบ 2 และ 3 ใบ

กังหันลมแบบแคเรียส นำไปใช้ในการพาณิชย์แล้ว ตัวใบทำมาจากการดิงอลูมิเนียม จึงทำให้มีน้ำหนักเบา(รูปที่ 3.14)

กังหันลมแคเวียสของ โคมิเนียน
(จากการตั้งอุมิเนียน)



รูปที่ 3.14a



รูปที่ 3.14b

ตารางที่ 5 แสดงถึงอัตราส่วนของกังหันลมที่ทดลองในแคนาดา

ตารางที่ 5

เส้นผ่าศูนย์กลางของจอร์เจอร์	A	B	C	D
4.6 เมตร	4.6	5.1	2.4	11.7
6.0 เมตร	600	9.1	2.4	13.7

กังหันลมสร้างขึ้นสำหรับทนแรงลมได้ที่ 45 เมตร/วินาที สามารถทนแรงพายุได้ที่ 60 เมตร/วินาที เริ่มต้นผลิตกำลังงานเมื่อความเร็วลมมากกว่า 3.6 เมตร/วินาที แต่ถ้าความเร็วลมน้อยกว่านี้ กังหันลมจะหยุด ดังนั้นจึงติดมอเตอร์ที่ตัวกังหันลม โดยอาศัยพลังงานจากแบตเตอรี่ เมื่อความเร็วลมเพียงพอ ตัวอัลเตอเนเตอร์ (Alternator) จะตัดวงจรออกจากมอเตอร์ และจะเริ่มอัดแบตเตอรี่ใหม่

กังหันลมอาจจะได้รับความเสียหายถ้าความเร็วลมสูงเกินไป จึงใส่อุปกรณ์เพื่อหยุดความเร็วของกังหันลม ตัวเบรกจะเริ่มต้นทำงานเมื่อความเร็วถึงจุดหนึ่ง

ค่ากำลังงานเมื่อเทียบกับความเร็วลมปรากฏในตารางดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เส้นผ่าศูนย์กลางของจอร์เจอร์	แรงดันไฟฟ้า (จูลล์)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)				
		4	5	6	7	8
เมตร						
4.6	24	110	200	310	500	670
4.6	110	110	200	390	640	990
6.1	110	210	420	745	1040	1860

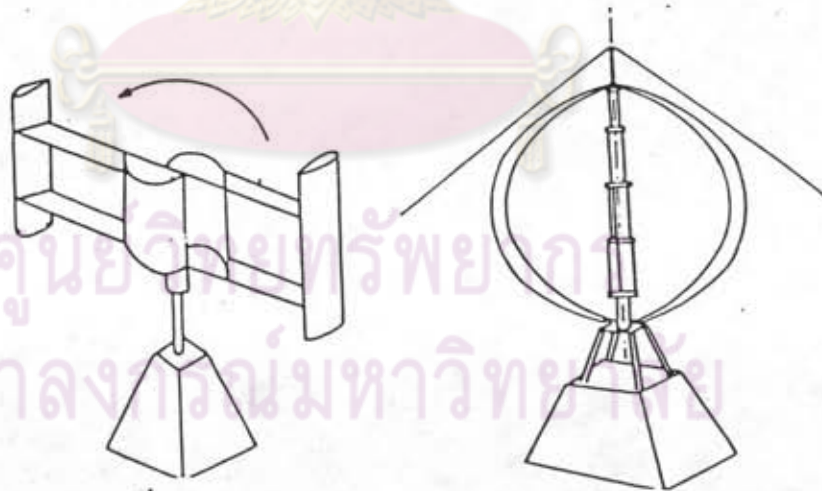
ประสิทธิภาพของกังหันลมแกนดิ่งที่ดีที่สุดในตอนนี้อยู่ที่ประมาณ 68% โดยทีมงานของแคนาดาซึ่งยังไม่เป็นที่น่าพอใจ ค่าใช้จ่ายของกังหันลมที่มีประสิทธิภาพระดับนี้ยังสูงอยู่ จึงได้ทำการพัฒนาและวิจัยอย่างมากเพื่อลดค่าใช้จ่ายของกังหันลม

ที่หน่วยวิจัยแห่งชาติได้สร้างกังหันลมแกนดิ่งแบบ 2 ใบมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 37 เมตร สูง 24 เมตร เครื่องจักรให้กำลังงาน 200 กิโลวัตต์ ใช้จ่ายไฟในพื้นที่ที่ขาดแคลนกระแสไฟฟ้า มีเบรคคอยเบรคกังหันลมให้คงสภาพความเร็วที่ระดับหนึ่ง เพื่อป้องกันตัวกังหันลม ตัวเบรคอาศัยหลักของแรงหนีศูนย์กลาง

3.7) ระบบแบบผสมระหว่าง ซาโวเนียส และ แดเวียส

ความไม่เหมาะสมของกังหันลมแบบแดเวียส ที่ต้องใช้ทอร์คเริ่มต้นการหมุนสูง แคนาดาแก้ปัญหาด้วยการเสริมมอเตอร์เข้าไปในจุดของการสตาร์ท

ข้อดีของกังหันลมแบบซาโวเนียส ทอร์คการเริ่มต้นสูง จึงใช้ข้อได้เปรียบอันนี้ชดเชยข้อเสียเปรียบของกังหันลมแบบแดเวียส แสดงไว้ในรูปที่ 3.15a และ 3.15b



รูปที่ 3.15a

รูปที่ 3.15b

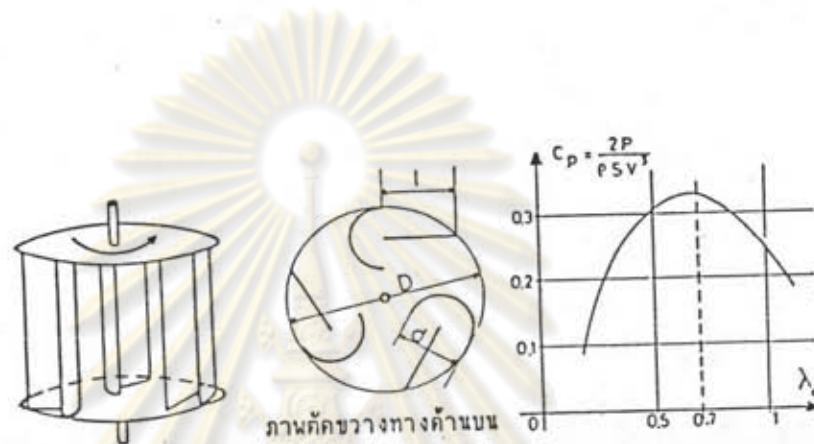
กังหันลมแบบผสม (ซาโวเนียส กับ แดเวียส)

จากรูปข้างบน แสดงกังหันลมอยู่ 2 ระบบ ทดลองอยู่ในอเมริกาและรัสเซีย

3.8). กังหันลมความเร็วต่ำออกแบบโดยศาสตราจารย์ นูเยิน ยิง

(NGUYEN VINH)

ตัวโรเตอร์ประกอบด้วยใบ 3 ใบ มีลักษณะเหมือนทรงกระบอกผ่าซีก แสดงไว้ในรูปที่ 3.16a.

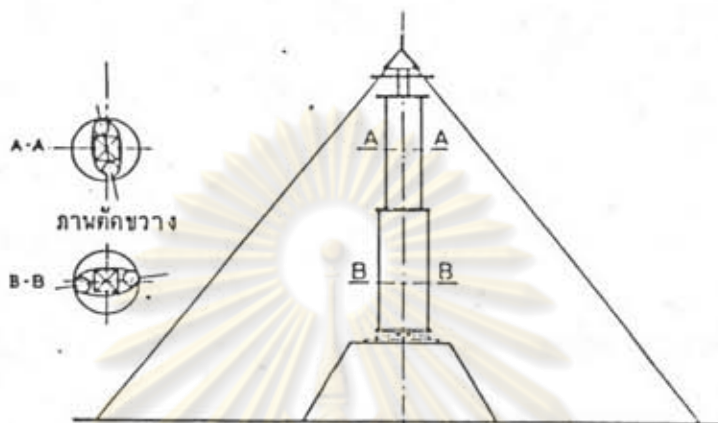


รูปที่ 3.16a กังหันลมของศาสตราจารย์ นูเยินยิง

ศึกษาทันที อีโคลี โพลีเทคนิค เดอ เทียส (E'cole Polytechnique de Thie's) โดยศาสตราจารย์ นูเยิน ยิง และผู้ร่วมงาน มีสเตอร์ ฮูแม (Mr. Houmaire) จากรูปภาพ ความยาว l ประมาณ $1/3$ ของเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ D ตัวประกอบ C มีค่าสูงสุดประมาณ 0.3 สำหรับ อัตราส่วนความเร็วปลายใบ $\lambda_0 = 0.7$ ทอร์คเริ่มต้นมีค่าสูงมาก ประสิทธิภาพของโรเตอร์ อธิบายโดยใช้การเปรียบเทียบกับกังหันลมแบบ ซาโวเนียส เพราะมีลักษณะคล้ายกันมาก

3.9). กังหันลมแบบ อานแบค (ARNBAK)

กังหันลมชนิดนี้พัฒนาขึ้นโดยชาวเดนมาร์ค มีรูปร่างแสดงไว้ในรูปที่ 3.16 หลักการโดยทั่วไปเหมือนกับแบบ แดเวียส ประกอบด้วยทรงกระบอก 2 อัน แต่ละอันมีรูปหน้าตัดเป็นรูปวงรี เกยกัน 90° เพื่อให้ ทอร์คเริ่มต้นเรียบ



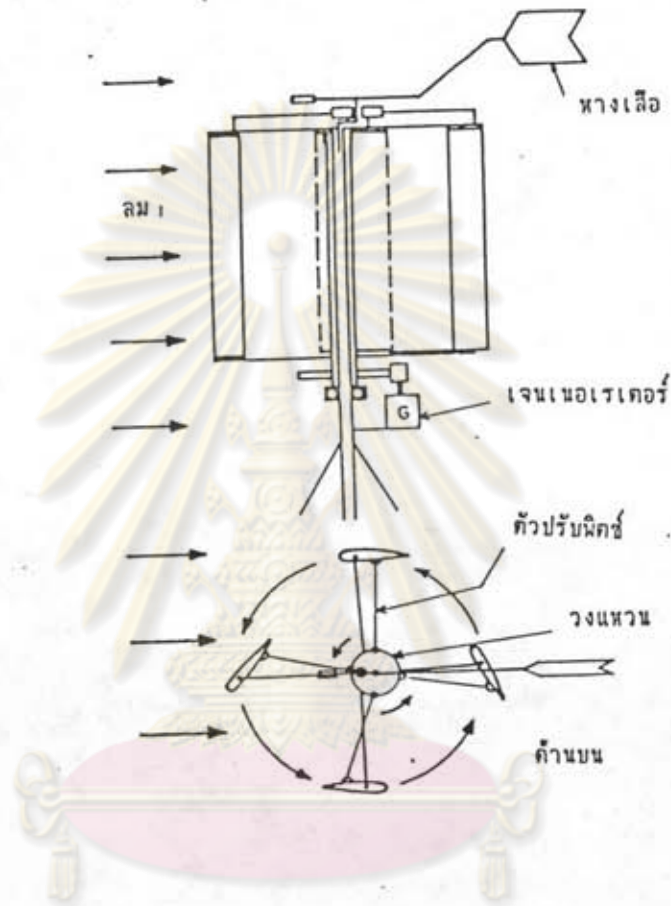
รูปที่ 3.16 กังหันลมแบบ อานแวน

3.10). กังหันลมแบบใบสามารถเคลื่อนไหวได้

3.10.1). ไซโครไจโล (Cyclogyro) หรือไจโลมิล (Gyromill)

คล้ายกับกังหันลมแบบแดเรียส แต่มีใบสามารถเคลื่อนไหวได้ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของใบควบคุมโดย ลูกเบี้ยว และ แกนลูกเบี้ยว (Cam and Rod) (รูปที่ 3.17)

การทดสอบแสดงว่า ไซโครไจโล มีประสิทธิภาพที่ดีกว่ากังหันลมแบบแดเรียสทั่วไป ได้มีการจำหน่ายกังหันลมเป็นการพาณิชย์แล้ว โดย พินสัน อีเนีย คอปอเรชั่น ออฟ มาทิงมิล แมนชาชูเซตส์ (Pinson Energy Corporation of Marston Mills , Massachussettes) ประกอบด้วยใบความสูง 8 ฟุต เส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์ 3.65 เมตร สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 2 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วลม 10 เมตร/วินาที



รูปที่ 3.17 ไซโคลมิล หรือ ไซโครไซโล
 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.10.2). กังหันลมแบบแคเวรีส์ที่ออกแบบโดย เดอ ลากาเด (DE LAGARDE) มหาวิทยาลัยของ มอนต์เปลเลียร์ (MONTPELLIER) และ อีวาน (EVAN) แห่งมหาวิทยาลัย แอสตัน (STANDREWS)

กังหันลมของ ลากาเด มุมที่เกิดจากใบถูกกำหนดด้วยตัวหยุด (Stopper) และ เส้นยางคอยหยุดใบไว้ ส่วนกังหันลม แบบอีวาน ใช้สปริงแทน

เมื่อเปรียบเทียบกับแบบแคเวรีส์ที่ใบยึดติดอยู่กับที่ กังหันลมชนิดนี้เมื่อเริ่มต้นสูง

โรเตอร์แบบแคเรียล



รูปที่ 3.18 การออกแบบของ เดอ ลากาเต

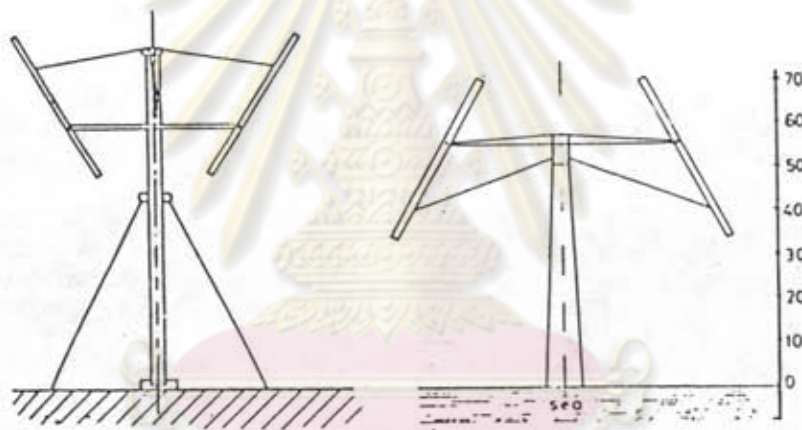
ศูนย์วิทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.19 การออกแบบของฮีแวน

3.11). กังหันลมแบบแคเวียร์สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้

ลมธรรมชาติไม่มีความเร็วที่แน่นอน ดังนั้นเมื่อความเร็วลมมากอาจจะทำให้กังหันลมเกิดความเสียหายได้ จึงได้มีการออกแบบกังหันลมที่สามารถ ลดความเร็วลงได้ โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

พื.เจ. มีสกุฟ (P.J. Musgrove) และ ไอดี เมย์ (I.D. Mays) สร้างกังหันลมโดยอาศัยหลักการชนิดนี้ขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 กังหันลมแบบแคเวียร์ที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้

๑). แบบจำลอง

๒). แบบจำลองกำลังงานสูง

เส้นผ่าศูนย์กลาง = 75 เมตร P = 2500 กิโลวัตต์

ใช้แรงหนีศูนย์กลาง เป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกังหันลม เมื่อความเร็วของกังหันลมสูง แรงหนีศูนย์กลางก็จะมากขึ้นด้วย ตัวตรวจวัดแรงหนีศูนย์กลาง (Governor) จะไปบังคับกลไกของกังหันลม อย่างอัตโนมัติ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะลดพื้นที่รับลม และ จะมีผลต่อความเร็วรอบ

3.12 กังหันลมแบบดันและดึง (Push-Pull Windmill)

นักประดิษฐ์ที่คิดค้นกังหันลมแบบแกนตั้ง ที่มีใบสามารถสับรับลมได้ การออกแบบ ใบ ลักษณะนี้สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่า กังหันลมแกนนอน กังหันลมแบบ ทรงกระบอก และ แบบโทร โปรสโคล การเกิดบริเวณความกดอากาศต่ำหลังใบที่มีลักษณะใบ เหมือนปีกเครื่องบิน และการเสริมปริซึมผิวโค้ง ทำให้กังหันมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมมาก

ศาสตราจารย์ เฮอermann (Herrmann) วัย 41 ปี ทำงานประจำอยู่ที่มหาวิทยาลัย เบอร์ลินตะวันตก เป็น หัวหน้าวิจัยและพัฒนาของมหาวิทยาลัย เสนอความคิดเกี่ยวกับกังหันลม แกนตั้งแบบดันและดึง ขณะที่เกิดภาวะน้ำมันขาดตลาด เมื่อหลายปีมาแล้ว และได้จดทะเบียน ลิขสิทธิ์ โดยเสนอรูปแบบที่สำคัญไว้ 2 ส่วนดังนี้

1. ปริซึมผิวโค้งสวมอยู่บริเวณแกนกลาง จะ เปลี่ยนทิศทางของลมไปในทิศทางที่ ต้องการ
 2. ใบ 3 ใบที่สามารถสับรับลมได้ ใบแต่ละอันวางอยู่บนลูกปืน ใบจะสับขึ้นรับลม ทันทีเมื่อ อยู่ในทิศทางที่เหมาะสม
- ขณะเดียวกัน ช่องแคบระหว่างใบและแกนกลาง จะช่วยเสริมให้ความกดอากาศต่ำ หลังใบมากขึ้นไปอีก

หลายปีก่อน เฮอermann และภรรยาของเขา ย้ายไปที่ จอปลิน (JOPLIN) เป็นที่ที่ เขาสร้างแบบจำลองครั้งแรกขึ้นมา และได้สร้างกังหันลมขึ้นจริงในภายหลัง จุดมุ่งหมายเพื่อใช้ ในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คุณสมบัติของกังหันลมที่เฮอermannสร้างไว้มีดังนี้

- กังหัน เริ่มหมุนที่ความเร็วลม 1.3 ไมล์/ชั่วโมง ซึ่งเท่ากับลมหายใจของคนเขาๆ เท่านั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารับภาระเข้าไปเมื่อมีความเร็วประมาณ 6 ไมล์/ชั่วโมง ผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 0.1 กิโลวัตต์



ที่ความเร็วลม 15 ไมล์/ชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 3.0 กิโลวัตต์

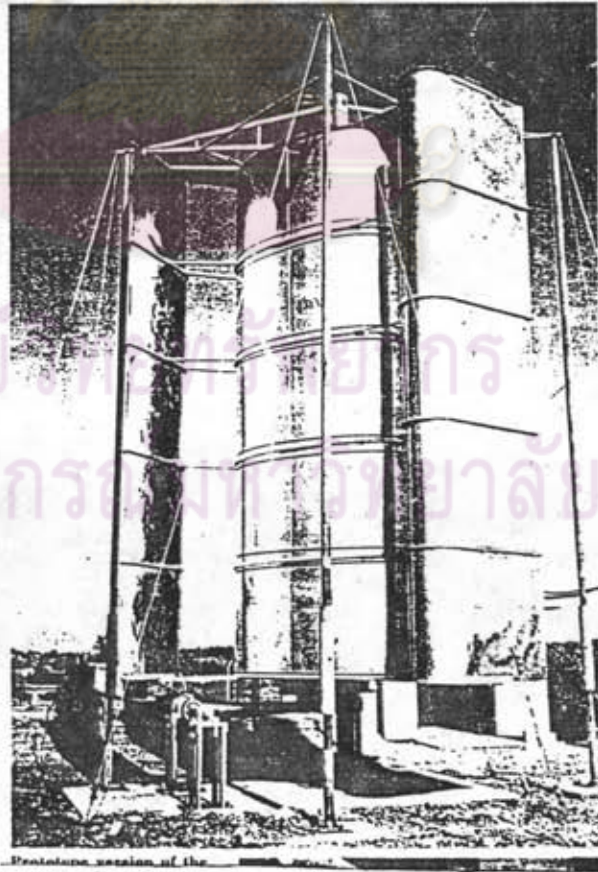
ที่ความเร็วลม 25 ไมล์/ชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 25.0 กิโลวัตต์

ที่ความเร็วลม 65 ไมล์/ชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 150.0 กิโลวัตต์

-ที่ความเร็วรอบต่ำ ใช้ลูกปืนที่ไม่ต้องใส่จารบี มีหลักการดังนี้

ผิวสัมผัส 2 ข้างสามารถทำเป็นแม่เหล็กได้ ข้างหนึ่งสร้างจากกระแสที่มาจาก เจนเนอเรเตอร์ และอีกข้างหนึ่งเกิดจากกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ มีทิศทางแตกต่างกัน เกิดแรงผลักกันขึ้น ทำให้ผิวสัมผัส 2 ข้างไม่มีการสัมผัส แรงเสียดทานน้อยมากจึงไม่ต้องมีการหล่อลื่น เสียงที่เกิดจากการขัดสีไม่มี หลักการนี้ดัดแปลงไปใช้งานต่างๆไป เช่น รถไฟแม่เหล็ก (Maglev) ฯลฯ

-เสียงที่เกิดจากอุปกรณ์ต่างๆมีน้อย ถึงแม้เมื่อความเร็วรอบต่ำ อายุงานที่คาดไว้ประมาณ 30 ปี



รูปที่ 3.21 กังหันลมแกดตันและตั้ง