บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาของปัญหา

แม้กังหันลมจะมีใช้กันมานานแล้วก็ตาม แต่ไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร จนกระทั่งน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น กังหันลมจึงได้รับความสนใจ ประกอบกับมีความเจริญก้าวหน้าทางวิชาการ จึงทำให้กังหันลมในปัจจุบันมีสมรรถนะและความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของลมเป็นพลังงานรูปแบบอื่นๆได้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น กังหันลมของ NASA 's Lewis Research Center ที่ Sandusky,Ohio[1] เป็นกังหันลมสูง 100 ฟุต มีใบรับลม (blade) อลูมิเนียมยาว 62 ฟุต สองใบ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 100 กิโลวัตต์ หรือกังหันลมแกนนอน (Horizontal axis windmill) ที่ Grandpa's Knob,Rutland Vermont[2] สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 1250 กิโลวัตต์ หรือกังหันลมแกนดิ่ง(Vertical axis windmill) รูป Eggbeater ของ NRCC (National Research Council of Canada)[3] ที่ออกแบบโดย Peter South กับ Raj Rangi เป็นกังหันลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 ฟุต มีใบรับลมที่พื้นที่หน้าตัดเป็นแบบอากาศพลศาสตร์(air foil) โดยด้านยาวโค้งตามลักษณะแบบ Troposkien(turning rope หรือSkipping rope หรือ เชือกที่กำลังแกว่ง) สามารถให้กำลัง 0.67 แรงม้า ที่ 150 รอบ/นาที(ใบรับลมสองใบ) และ 0.65 แรงม้า ที่ 130รอบ/นาที (ใบรับลมสามใบ) หรือกังหันลมแกนดิ่ง Eggbeater ของ Atomic Energy Commission's

---

[1] "Tilting with Windmill" Science, TIME Magazine.(July,1975),p.28

[2] "เรื่องเดียวกัน หน้าเดียวกัน"

[3] "Wind Turbine" New Products, Processes and Service, Business Review Magazine.(June,1975),p.268.

Sandia Laboratories ที่ Albuquerque[4] โดยใบรับลมทั้งสองมีด้านยาวโค้งตามลักษณะเชือกที่กำลังแกว่ง ที่บริเวณกึ่งกลาง เพียงหนึ่งในสามของความยาวทั้งหมด ส่วนที่ปลายทั้งสองที่ติดกับเพลา (power shaft) จะตรง กังหันลมนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ฟุต สามารถให้กำลัง 1 แรงม้า ที่ความเร็วลม 24 กิโลเมตร/ชั่วโมง หรือกังหันลมแกนดิ่ง Eggbeater ของ NAL (National Aeronautic Laboratory) ที่ Bangalore ประเทศอินเดีย[5]โดยใบรับลมทั้งสองมีพื้นที่หน้าตัดแบบอากาศพลศาสตร์ NACA 0012 มี chordline ยาว0.25เมตร และมีด้านยาวโค้งตามลักษณะ catenary กังหันลมนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เมตร และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1000 วัตต์ ที่ความเร็วลม 25 กิโลเมตร/ชั่วโมง

กังหันลมที่ได้กล่าวมานี้ ไม่เหมาะกับงานเกษตรกรรมของประเทศเล็กๆ ที่ประชาชนไม่ค่อยมีความชำนาญทางช่าง และไม่ร่ำรวย เพราะจะมีปัญหาเกี่ยวกับ การสร้าง การบำรุงรักษา และ การลงทุน

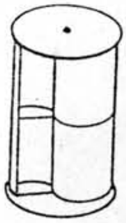
Brace Research Institute ได้สร้างกังหันลมแกนดิ่ง Savonious โดยใช้ถังน้ำมันขนาด 55 แกลลอน(0.208 ลูกบาศก์เมตร) ครึ่งซีกเป็นใบรับลม[6] สามารถให้กำลัง0.004 แรงม้า ที่ความเร็วลม 4.47 เมตร/วินาที มีความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม (tip speed) สูงสุดเท่ากับ 0.75 เท่าของความเร็วลม และมีประสิทธิภาพร้อยละ 20 ของพลังงานสูงสุดตามทฤษฎี (Theoretical maximum wind energy)

---

[4]Richard Stepler, "Eggbeater Windmill" Popular Science. (May, 1975),pp.74-76

[5]S.K.Tewari, "A Review of Efforts Made in India for Wind Power Utilisation" Economic and Social Commission for Asia and the Pacific Expert Working Group on the Use of Solar and Wind Energy, United Nations Economic and Social Council.(Bangkok:2-9March, 1975),p.18.

[6]David Gordon Willson, Joel P. Robinson, Jame H. Black,Jr., and Clifford E. Smith, "Windmill Development by Model Testing in water" Record of the Tenth Intersociety Energy Conversion Engineering Conference. (Delaware:18-22 August,1975),pp.981-86.



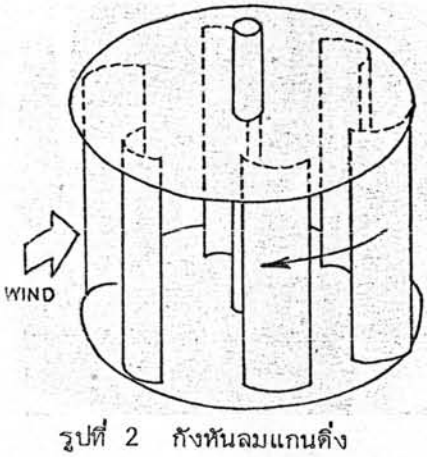
รูปที่ 1 กังหันลมแกนดิ่ง "Savonious"
ของ Brace Research Institute

I.I.Sc.(Indian Institute of Science) ที่ Bangalore ประเทศอินเดีย ได้สร้างกังหันลมแบบเดียวกันนี้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร สูง 4 เมตร แต่ใบรับลมใช้เส้นลวดขึงเป็นโครงสร้าง และใช้ผ้าใบเป็นใบรับลม[7] สามารถให้กำลัง 0.1 แรงม้า ที่ความเร็วลม 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีประสิทธิภาพร้อยละ 16 ถึง 20ของพลังงานลมสูงสุดตามทฤษฎี

2.ประเภทของกังหันลม

กังหันลมที่สำคัญจะมีอยู่ 2 ประเภท[8] คือ

(1) กังหันลมแกนดิ่ง (Vertical axis windmill) ลักษณะทั่วไป จะมีใบรับลมติดกับเพลาที่อยู่ในแนวดิ่ง ใบรับลมจะเป็นวัสดุแผ่นบางๆ ที่แบน หรือ โค้ง โดยมีจำนวนไม่จำกัด ตั้งแต่สองใบขึ้นไป (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 กังหันลมแกนดิ่ง

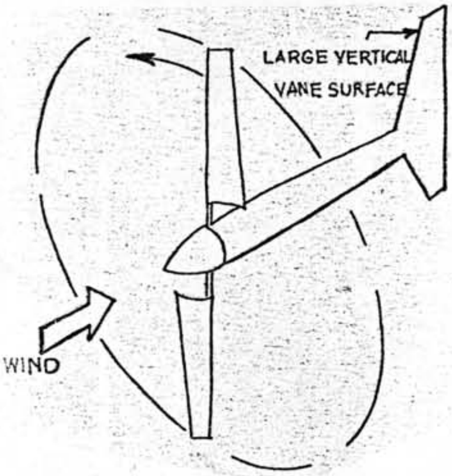
---

[7] S.K.Tewari, เรื่องเดียวกัน,p.10

[8] Jack Park, Simplified Wind Power Systems for Experimenters (2nd ed.; California: Helion,1975), pp. 18-22

กังหันลมประเภทนี้ สามารถเริ่มต้นหมุนได้เอง และให้กำลังเท่ากัน ไม่ว่าลมจะมาทางทิศใด แต่หมุนช้ากว่าประเภทแกนนอน คือ มีความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลมสูงสุดไม่เกินสองเท่าของความเร็วลม และให้ประสิทธิภาพร้อยละ 17 ถึง 28 ของพลังงานสูงสุดตามทฤษฎี

(2) กังหันลมแกนนอน (Horizontal axis windmill) ลักษณะทั่วไป จะมีใบรับลมติดอยู่ที่ปลายเพลาที่อยู่ในแนวนอน ใบรับลมจะเป็นวัสดุแผ่นบางๆที่แบนหรือโค้ง หรือบางที่จะมีรูปร่างแบบอากาศพลศาสตร์ โดยมีจำนวนไม่จำกัดตั้งแต่สองใบขึ้นไปเช่นเดียวกัน (รูปที่ 3)

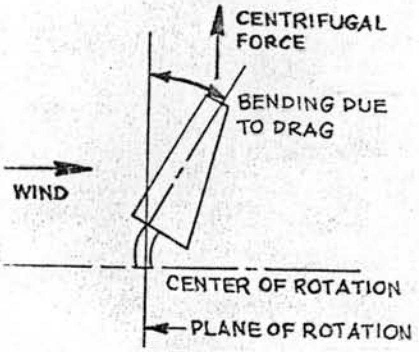


รูปที่ 3 กังหันลมแกนนอน

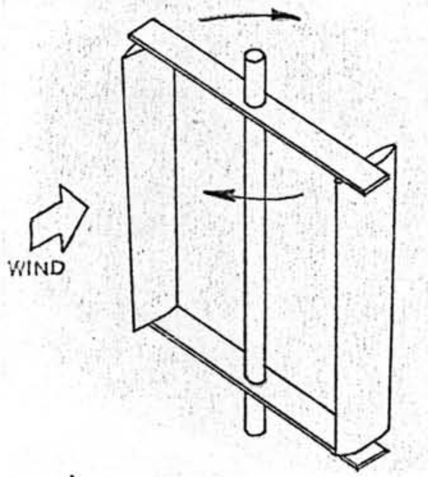
กังหันลมประเภทนี้ หมุนด้วยความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลมตั้งแต่ 2.1 เท่าของความเร็วลมขึ้นไป และจะมีประสิทธิภาพตั้งแต่ร้อยละ 21 ถึง 38 ของพลังงานสูงสุดตามทฤษฎี

กังหันลมแกนนอนนี้ จะหมุนได้ดี และให้กำลังสูง เมื่อใบรับลมหันหน้าเข้าหากระแสลม ดังนั้นจึงต้องมีหางเสือติดอยู่ที่ปลายของตัวกังหันลม เพราะเมื่อลมเปลี่ยนทิศ แรงต้าน (Drag force) บนหางเสือนี้จะหันกังหันลมเข้าหากระแสลม จากข้อกำหนดนี้ ถ้าลมเปลี่ยนทิศเร็วและมีมุมกว้างมาก จะเกิดแรง gyroscopic ได้ หรือถ้าลมแรงมาก จะเกิดแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal load)และแรงดัด (Bending load)ได้ (รูปที่ 4) ซึ่งผลจากเหตุทั้งสามนี้ จะทำให้กังหันลมประเภทนี้เสียหายได้ง่ายกว่าประเภทแกนดิ่ง

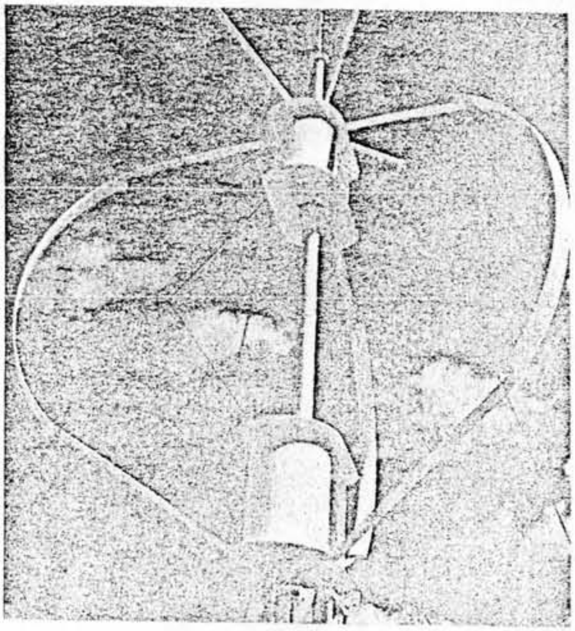
นอกจากกังหันลมสองประเภทดังกล่าว ยังมีกังหันลมอีกประเภทหนึ่งชื่อ Hybrid ซึ่งเป็นกังหันลมแกนดิ่ง แต่ใบรับลมมีพื้นที่หน้าตัดเป็นแบบอากาศพลศาสตร์ โดยด้านยาวจะตรง หรือโค้งตามลักษณะเชือกที่กำลังแกว่ง และมีจำนวนใบรับลมสองหรือสามใบ(รูปที่ 5 และ 6) กังหันลมแกนดิ่ง Eggbeater ของNASA หรือของNRCC หรือของNAL ดังที่กล่าวก็เป็นกังหันลมHybrid นี้ด้วย



รูปที่ 4 ผลของแรงหนีศูนย์กลางและแรงคัด ที่เกิดขึ้นบนกังหันลมแกนนอน



รูปที่ 5 กังหันลม Hybrid



รูปที่ 6 กังหันลม Eggbeater

กังหันลม Hybrid นี้ หมุนด้วยความเร็วสูงกว่าและมีประสิทธิภาพดีกว่ากังหันลมแกนดิ่งทั่วไป คือมีความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลมระหว่าง 3.5 ถึง 8 เท่าของความเร็วลม และมีประสิทธิภาพร้อยละ 25 ถึง 35ของพลังงานสูงสุดตามทฤษฎี แต่กังหันลมประเภทนี้ ไม่สามารถเริ่มต้นหมุนได้เอง และไม่ให้กำลังจนกว่าจะมีความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลมสองถึงสามเท่าของความเร็วลม[9] ดังนั้นจึงมักจะต้องมีกังหันลมแบบ Savonious ขนาดพอควรติดตั้งซ้อนบนแกนเดียวกัน เพื่อช่วยเริ่มต้นหมุนและเสริมความเร็วรอบจนกังหันลม Hybrid มีความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลมสูงพอที่จะให้กำลังได้

3.วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งที่จะหากังหันลมขนาดเล็กสำหรับใช้ในชนบท ซึ่งต้องเป็นกังหันลมที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก สามารถทำได้โดยชาวบ้านที่ไม่มีความชำนาญทางช่าง กังหันลมแบบนี้ง่ายแก่การส่งทอดพลังงานกลจากเพลาไปใช้ ความต้องการเหล่านี้ บ่งว่า กังหันลมแกนดิ่ง มีความยุ่งยากในการส่งทอดพลังงานกลไปใช้ น้อยกว่าประเภทแกนนอนซึ่งจะต้องหันหน้ารับลมอยู่ตลอดเวลา และในกลุ่มของกังหันลมแกนดิ่ง___.___แบบ "Savonious" มีโครงสร้างซึ่งทำได้ง่ายและหมุนช้า ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งไปยังกังหันลมแกนดิ่งแบบนี้ แต่จะมีการแก้ไขเกี่ยวกับการวางใบรับลม และทำการศึกษาหาสมรรถนะโดยการสร้างกังหันลมขนาดย่อส่วนขึ้นทดลองในอุโมงลม ในพิกัดความเร็วลมตั้งแต่ 7 ถึง 14 เมตร/วินาที

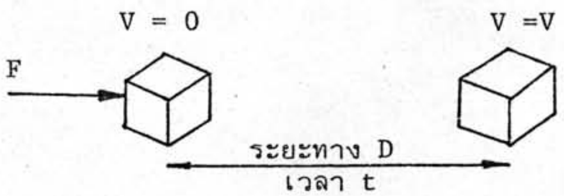
4.พลังงานจลน์ของลม[10]

อากาศที่มีความหนาแน่น ρ คงที่ มีปริมาตร 1 หน่วย เคลื่อนที่ด้วยความเร่งสม่ำเสมอจากความเร็ว 0 ถึงความเร็ว V ในระยะทาง D ในเวลา t (รูปที่ 7) จะพบว่า อากาศเคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของแรง F ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\rho V/t$

---

[9] Richard Stepler, เรื่องเดียวกัน หน้าเดียวกัน

[10] Leslie R. Parkinson, Aerodynamics (New York:The Macmillan Company, 1944),pp. 12-13.



รูปที่ 7

ดังนั้น อากาศ 1 หน่วยปริมาตรที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V สม่ำเสมอ จะมีพลังงานจลน์เท่ากับ $\rho V^2/2$

5. <u>พลังงานลมสูงสุดตามทฤษฎี</u>[11,12]

ถ้ากังหันลมสามารถทำให้ลมที่พัดมาปะทะหยุดสนิทได้ กังหันลมนั้นจะสามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์ในกระแสลมเป็นพลังงานกลได้หมด ซึ่งเป็นไปไม่ได้แม้แต่กังหันลมอุดมคติ(Ideal Windmill) ดังนั้นลมที่พัดผ่านกังหันลมจะเพียงพัดช้าลงเท่านั้น และด้วยข้อกำหนดนี้ กังหันลมทุกประเภท- [redacted]

ข้อสมมติ ก. ให้อากาศมีความหนาแน่นคงที่ และมีอัตราการไหลสม่ำเสมอ

ข. ให้ความเร็วลมมีค่าสม่ำเสมอในแต่ละภาคตัดขวาง

ค. เลือกปริมาตรควบคุม (Control volume) ให้ห่างจากพื้นผิวที่แข็งมากพอที่จะไม่มีอิทธิพลของ boundary layer ดังเส้นไข่ปลาในรูปที่ 8

ง. ตำแหน่งเหนือลม ① และตำแหน่งใต้ลม ③ ห่างจากตำแหน่งของกังหันลม ② มากพอที่จะทำให้ความดันที่ ① และ ③ เท่ากัน

จ. b และ a เป็นภาคตัดขวาง ข้างหน้าและข้างหลัง กังหันลม ตามลำดับ

ใช้สมการโมเมนตัมเชิงเส้นระหว่างภาคตัดขวาง b และ a

จะได้ $$(p_b-p_a)A_2 = \rho A_1V_1^2-\rho A_3V_3^2 \quad \text{—— 1}$$

ใช้สมการ Bernoulli ทางด้านเหนือลม ①-b และทางด้านใต้ลม a-③

จะได้ $$p_b-p_a = \rho(V_1^2-V_3^2)/2 \quad \text{—— 2}$$

เพราะว่า $A_1=A_2V_2/V_1$, $A_3=A_2V_2/V_3$, และจากสมการ 1,2

จะได้ $$V_2 = (V_1+V_3)/2 \quad \text{—— 3}$$

ถ้าความเร็วลมพัดช้าลงเป็น $V_2=xV_1$, $V_3=yV_1$, และจากสมการ 3

จะได้ $$y = 2x-1 \quad \text{—— 4}$$

ใช้สมการพลังงานระหว่าง ① - ③

จะได้ $$W' = (V_1^2-V_3^2)/2 \quad \text{—— 5}$$

เพราะว่าอัตราการไหลของลมที่ผ่านกังหันลม $m_2 = \rho A_2V_2$ และจากสมการ 3,4 และ 5

จะได้ $$P' = m_2W'$$

$$= 2x^2(1-x)\rho A_2V_1^3 \quad \text{—— 6}$$

ค่า P' max. หาได้โดยการ differentiate P' with respect to x แล้วให้ = 0

จะได้ $$x = 2/3$$

$$P'_{max} = 8\rho A_2V_1^3/27 \quad \text{—— 7}$$

ดังนั้น พลังงานสูงสุดตามทฤษฎี หรือ พลังงานของกังหันลมอุดมคติ $= 8\rho AV^3/27$

ถ้าความเร็วลมมีค่าคงที่ V ตลอดทุกภาคตัดขวาง ลมจะมีพลังงานจลน์ทั้งหมด = $\rho AV^3/2$

ดังนั้น พลังงานลมสูงสุดตามทฤษฎี หรือ พลังงานของกังหันลมอุดมคติ = $(8\rho AV^3/27)/(\rho AV^3/2)$ หรือร้อยละ 59.26 ของพลังงานจลน์ทั้งหมดที่มีในกระแสลมเท่านั้น

6. ประสิทธิภาพและพลังงานของกังหันลม

ประสิทธิภาพของกังหันลม คือ อัตราส่วนของพลังงานลมที่กังหันลมเปลี่ยนได้จริงต่อพลังงานสูงสุดที่กังหันลมจะเปลี่ยนได้

ดังนั้น ประสิทธิภาพของกังหันลม = $\frac{\text{พลังงานของกังหันลม}}{\text{พลังงานสูงสุดตามทฤษฎี}}$

$$E = P/P'max$$

$$P = (8\rho AV^3/27)(E)$$

บางครั้งประสิทธิภาพของกังหันลม อาจจะหมายถึง อัตราส่วนของพลังงานลมที่กังหันลมเปลี่ยนได้จริงต่อพลังงานจลน์ทั้งหมดที่มีในกระแสลม[13]

ดังนั้น $P = (\rho AV^3/2)(E^\circ)$

แต่ถึงอย่างไรก็ตาม พลังงานของกังหันลม ขึ้นอยู่กับ

ก. ความหนาแน่นของอากาศ

ข. ขนาดของกังหันลม หรือ ขนาดของใบรับลม

ค. ความเร็วลม

ง. ประสิทธิภาพของกังหันลม หรือ ประสิทธิภาพของใบรับลม (ถ้าจะสมมติว่า ระบบการส่งทอดกำลัง และส่วนประกอบอื่นๆ มีสภาวะและประสิทธิภาพเหมือนเดิม มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง)

---

[13] Michael A. Hackleman, David W. House, Wind and Windspinners (2nd ed., California: Peace Press, 1974), pp. 6-8.