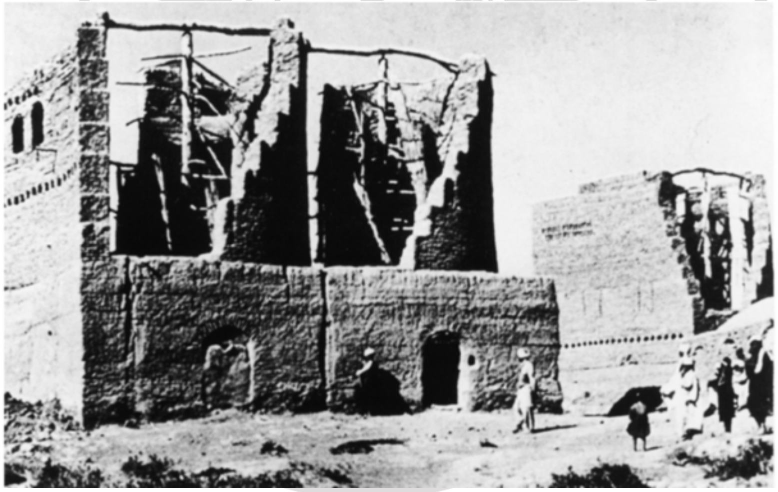
บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กังหันลมเป็นเครื่องกลหมุนชนิดหนึ่งที่ใช้เพื่อการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนที่ของกระแสลมมาใช้ประโยชน์ กังหันมีหลากหลายรูปแบบที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการนำไปงานหรือเป้าหมายของการใช้งานและสภาพของกระแสลมในแต่ละท้องถิ่น กังหันลมเป็นเครื่องมือกลที่ประดิษฐ์คิดค้นมาใช้เพื่อทำให้มนุษย์มีความสะดวกสบายมากขึ้นโดยกังหันลมมีประวัติศาสตร์อันยาวนานซึ่งมีการใช้มาตั้งแต่ยุคโบราณ

ประวัติในการพัฒนากังหันลมแกนตั้ง

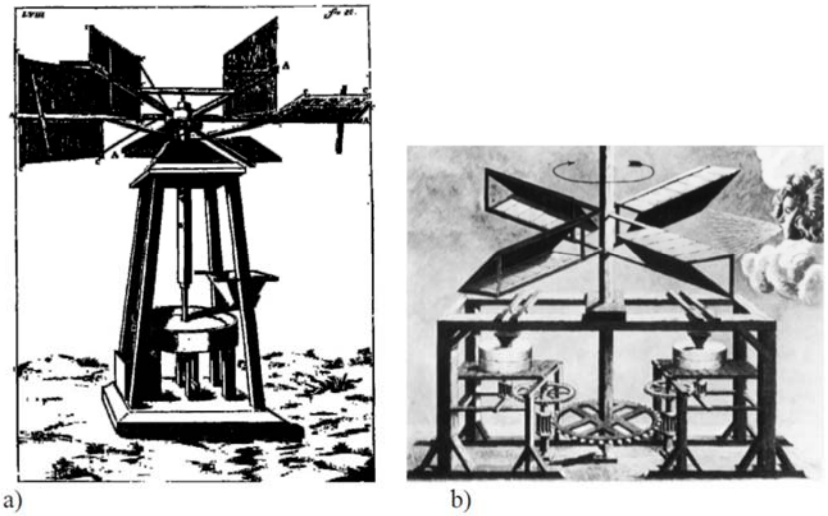
ตามที่นักประวัติศาสตร์ได้กล่าวไว้ว่ามนุษย์มีความพยายามที่จะนำพลังงานจากลมมาใช้เพื่อผ่อนการใช้แรงงานจากคนหรือสัตว์เป็นเวลานานมาแล้ว เริ่มตั้งแต่การใช่พลังงานจากลมในการขับใบเรือ จากนั้นก็ได้พัฒนาพลังงานจากลมมาใช้เพื่อการบดเมล็ดธัญพืชและการชลประทานเพื่อการเกษตร จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่ยังสามารถตรวจสอบได้ ย้อนกลับไป 1700 ปี ก่อนคริสตศักราช Mr.Emperor Hummurabi ได้พัฒนากังหันลมเพื่อการปั้มน้ำใช้ในการเกษตรในบริเวณที่ราบลุ่มของยุคเมโสโปเตเมีย ซากกังหันลมที่เก่าแก่ที่สุดในโลกยังสามารถพบได้ที่อิหร่าน หรืออัฟกานิสถาน



ภาพที่ 2.1 ซากกังหันลมแกนตั้งที่เก่าแก่ที่สุดพบในอัฟกานิสถาน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

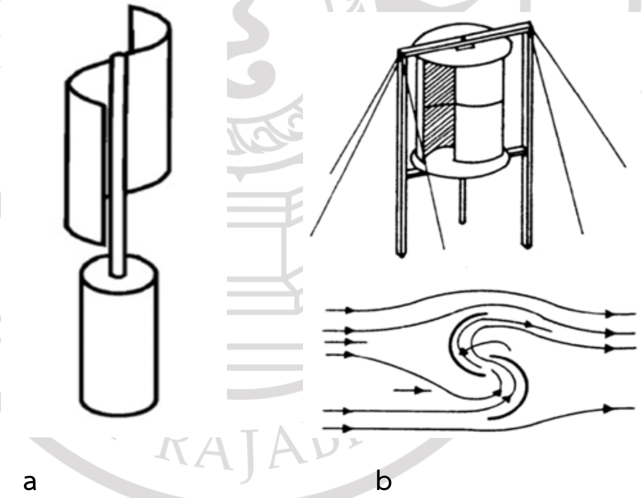
จากนั้นมากังหันลมแกนตั้งก็ได้ถูกพัฒนามาเรื่อยๆและมีความซับซ้อนของกลไกการทำงานมายิ่งขึ้นอย่างเช่นในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กังหันลมแกนตั้งที่ได้รับการพัฒนาให้มีกลไกที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

ภาพที่ 2.2a กังหันลมที่ใบสามารถหุบได้ฝรั่งเศส ค.ศ.1719 ภาพที่ 2.2b กังหันลมที่อาศัยแรงฉุดในการหมุนโรเตอร์ อิตาลี ค.ศ.1600

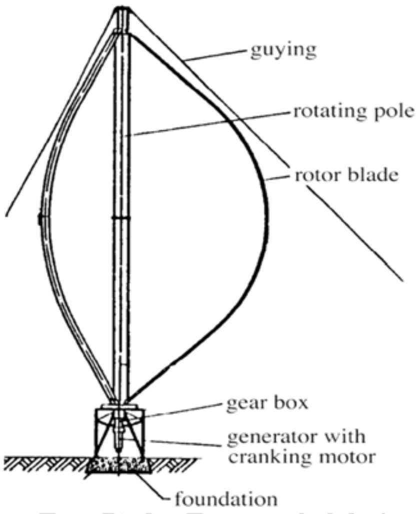
ในปี ค.ศ.1922 Mr.SJ Savonius ได้ประดิษฐ์กังหันลมแกนตั้งที่มีรูปร่างใบกังหันคล้ายตัวอักษร S ขึ้น เรียกว่า Savonius Turbine ภาพที่ 2.3a หลังจากนั้นก็พัฒนามาเป็นดังภาพที่ 2.3b



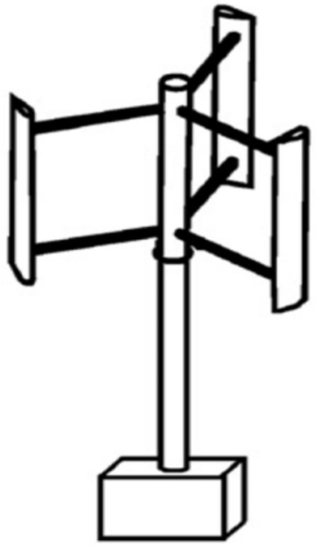
ภาพที่ 2.3 กังหันลมแกนตั้งของ Savonius

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 2.3a Savonius rotor ในยุคเริ่มต้น ภาพที่ 2.3b Savonius rotor ที่ปรับปรุงแล้วต่อมาในปี ค.ศ.1931 Georges Darrieusวิศวกรชาวฝรั่งเศสได้จดสิทธิบัติแนวคิดการประดิษฐ์กังหันลมแกนตั้งที่อาศัยแรงยกในการหมุนโรเตอร์ เรียกว่า Darrieusturbine ดังในภาพที่ 2.4a



a



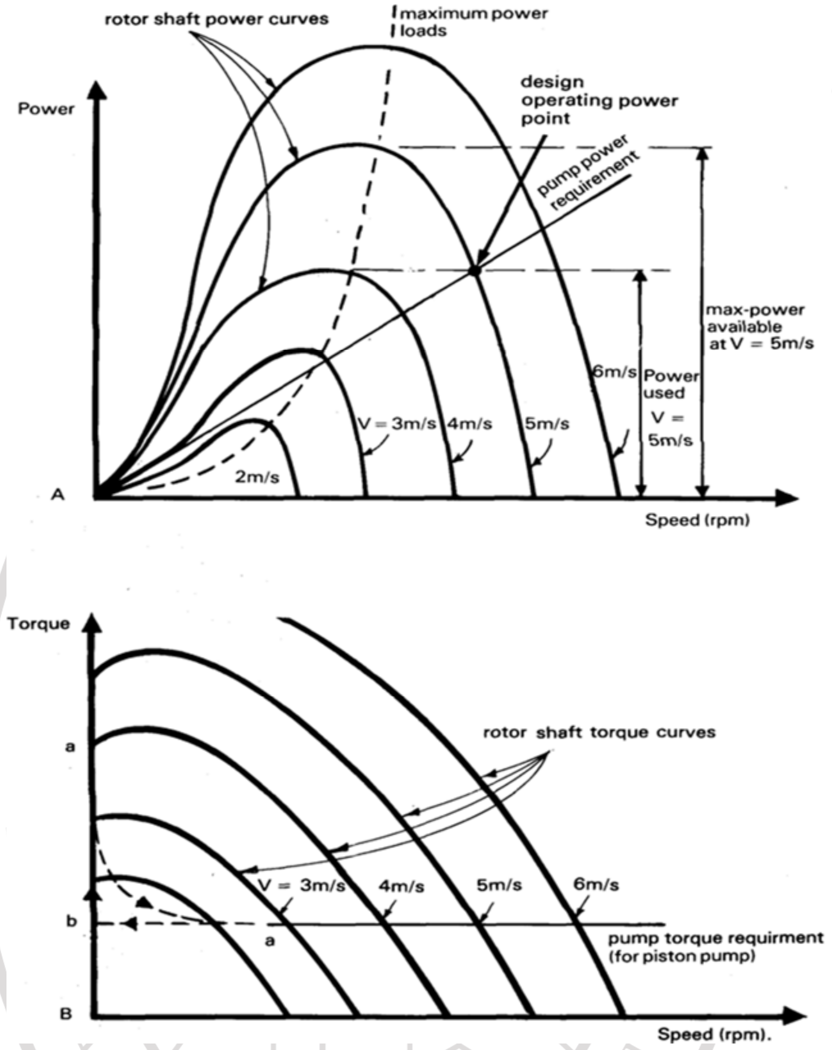
b

ภาพที่ 2.4 แสดงกังหันลมแกนตั้งของ Darrieus
ภาพที่ 2.4a แบบใบกังหันโค้ง ภาพที่ 2.4b แบบใบกังหันตรง

ในเวลาต่อมากังหันลมแกนตั้งที่อาศัยแรงยกในการหมุนโรเตอร์แต่มีใบกังหันแบบตรงก็ได้ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษโดยทีมงานวิศวกรของ Peter Musgrove ในปี ค.ศ.1987 กังหันลมชนิดนี้เรียกว่า H-rotor ในปัจจุบันการผลิตและพัฒนากังหันลมส่วนใหญ่แล้วจะเกิดในประเทศกลุ่มยุโรปและอเมริกา โดยเฉพาะประเทศเยอรมนีซึ่งเป็นประเทศผู้นำทางด้านเทคโนโลยีกังหันลม แต่อย่างไรก็ตาม ณ เวลาปัจจุบัน(ค.ศ.2011) ประเทศที่ติดตั้งและผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมมากที่สุดคือประเทศจีน โดยมีความสามารถสะสมรวมกันทั้งสิ้น 62,733 MW โดยคิดเป็นสัดส่วนถึง 26.3 % ของความสามารถรวมทั้งหมดของโลกรองลงมาคือ USA มีขนาดกำลังผลิตพลังงานจากลมได้ 46,919 MW คิดเป็น 19.7 % ของกำลังการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมของโลกและประเทศเยอรมนี ซึ่งมีขนาดความสามารถผลิตไฟฟ้าจากลมได้ 29,060 MW จากการเปิดเผยข้อมูลโดย GWEC(2011) ได้ระบุว่า ในปี 2011 ทั้งโลกมีความสามรถในการผลิตไฟฟ้าจากลมรวมกันทั้งสิ้น 238,351 MW โดยที่ประเทศในกลุ่มยุโรปมีกำลังการผลิตรวมกันมากที่สุดคือ 96,616 MW ส่วนความสามารถในการผลิตพลังงานจากลมของประเทศไทยไม่ได้ถูกกล่าวถึงในเอกสารดังกล่าวแต่อย่างใด

ประสิทธิภาพสมรรถนะและแรงบิด

กังหันลมหรือใบพัดกังหันลมสามารถอธิบายได้โดยการวาดเส้นโค้งที่ได้จากการทดลองกับการใช้พลังงานจากความเร็วรอบที่ความเร็วลมต่างๆในภาพที่ 2.5 A ในทำนองเดียวกันกับแรงบิดที่ผลิตโดยใบพัดกังหัน ดังภาพที่ 2.5 B



ภาพที่ 2.5 A พลังงานจากความเร็วรอบที่ความเร็วลมต่างๆ และ B แรงบิดที่ผลิตโดยใบพัดกังหัน

ประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันลม จะสอดคล้องกับกำลังขับสูงสุดที่กำหนดในความเร็วลมที่ระบุ ประสิทธิภาพมักจะแสดงเป็นอัตราส่วน อัตราส่วนนี้เรียกว่า "สัมประสิทธิ์ของกำลัง" หรือ C_p ซึ่งมีสมการดังนี้

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A V^3} \qquad (2\text{-}1)$$

C_p สัมประสิทธิ์ของกำลัง

P กำลังไฟฟ้า

ρ ความหนาแน่นของมวลอากาศ

A พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางกระแสลม

V ความเร็วสูงสุดของกระแสลม

อัตราส่วนความเร็วของใบพัดกังหันลมที่รัศมี R หมุนที่ เรเดียน / วินาทีกับความเร็วลม V

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \qquad (2\text{-}2)$$

λ อัตราส่วนความเร็วของใบพัดกังหันลม

ω ความต้านทานไฟฟ้า

R รัศมี

V ความเร็วของกระแสลม

C_p เทียบจากกราฟสามแบบที่แตกต่างกันโดยมีการกำหนดค่า A, B, C, D, El, E2 และ F ตามที่ระบุไว้ในภาพที่ 2.6 ส่วนกราฟที่สองแสดงค่าแรงบิดสัมประสิทธิ์ C_t

$$C_t = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A V^2 R} \qquad (2\text{-}3)$$

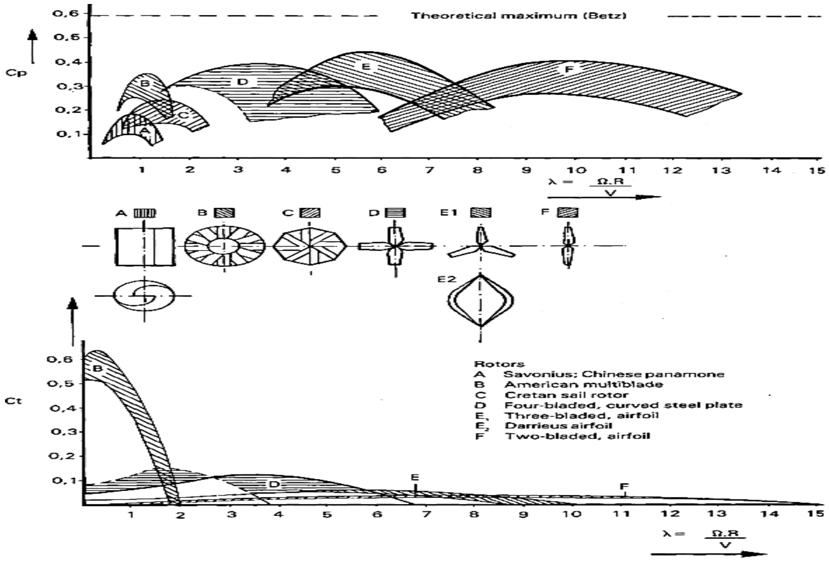
C_t สัมประสิทธิ์แรงบิด

ρ ความหนาแน่นของมวลอากาศ

A พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางกระแสลม

V^2 ความเร็วของกระแสลม^2

R รัศมี



รูปที่ 2.6 ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง C_p และค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด C_t ของกังหันลม

ทฤษฎีการคำนวณพลังงานจากลม

สมการคำนวณพลังงานจากลมที่ไหลด้วยความเร็ว V_0 ที่ไหลผ่านในทิศทางตั้งฉากพื้นที่ A

$$P_{wind} = \frac{1}{2}\rho A V_0^3 \tag{2-4}$$

เมื่อ

ρ ความหนาแน่นของมวลอากาศ

A พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางกระแสลม

V_0 ความเร็วของกระแสลมก่อนการเข้ากระทบใบกังหัน

ความเร็วลม ยกกำลังสาม สามารถที่จะอธิบายได้โดย พลังงานที่ได้จากลมคือพลังงานจลน์

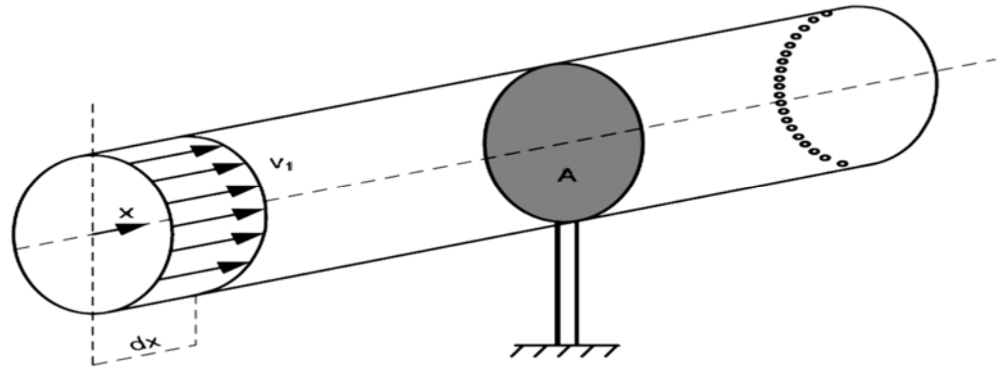
$$E = \frac{1}{2} m V_0^2 \tag{2-5}$$

เมื่อ m คือ มวลของอากาศที่ไหลผ่านหน้าตัดพื้นที่ A ในเวลาที่กำหนดค่าหนึ่ง และอัตราการไหลโดยมวลก็คือ

$$m = A\rho \frac{dx}{dt} = \rho A V_0 \tag{2-6}$$

มันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วลม ดูภาพที่ 2.7 ดังนั้นพลังงานจากลมจึงสามารถเขียนได้ดังนี้

$$P_{wind} = E = \frac{1}{2} m V_0^2 = \frac{1}{2}\rho A V_0^3 \tag{2-7}$$



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 2.7 แสดงการไหลของมวลอากาศผ่านพื้นที่หน้าตัด

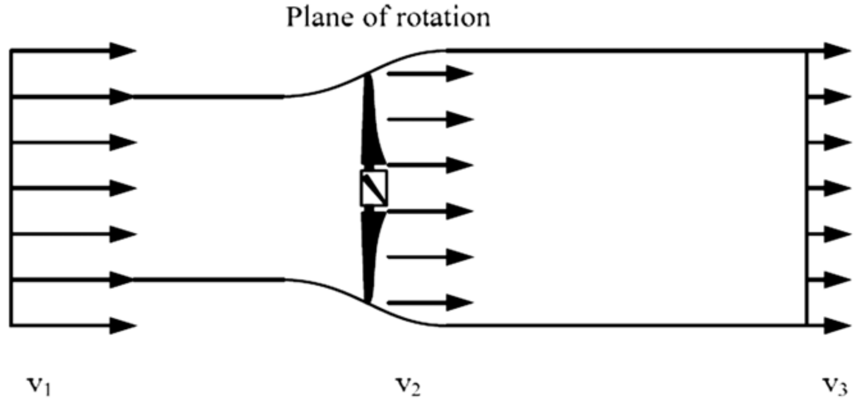
พลังงานจากลมถูกเปลี่ยนไปเป็นงานทางกลโดยแกนของกังหัน ด้วยการลดความเร็วในการไหลของมวลอากาศลง แต่ในความเป็นจริงมันไม่สามารถที่จะเปลี่ยนไปเป็นงานทางกลได้ทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ เพราะถ้าเช่นนั้นมันจะต้องถูกลดความเร็วในการไหลของมวลอากาศลงจนเท่ากับศูนย์ใบกังหันเพียงแค่ขวางเพื่อลดความเร็วในการไหลของมวลอากาศในบริเวณพื้นที่ที่ใบกังหันกวาดผ่าน(cross sectional

area, A) เท่านั้น. ในทางตรงกันข้าม ถ้าการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด A ของมวลอากาศโดยความเร็วในการไหลไม่ลดลงเลย มันหมายความว่าพลังงานไม่ได้ถูกเปลี่ยนเช่นกัน ดังนั้นมันจะต้องมีค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเปลี่ยนพลังงานเนื่องจากการลดลงของความเร็วในการไหลระหว่างสองค่าที่มากที่สุดและน้อยที่สุด Betz(1926) และ Lanchester(1915) ได้ค้นพบว่าค่ากำลังสูงสุดที่สามารถสกัดออกมาได้จากโดยกังหันลมโดยที่ ความเร็วลมต้นทางที่อยู่ห่างไปจากกังหัน V1 จะถูกลดความเร็วลงเท่ากับ V3 =V1/3 ที่ปลายทางห่างไปจากโรเตอร์กังหันลม

ดังนั้นความเร็วลมที่ระนาบของโรเตอร์คือ V2 = 2V1/3 ภาพที่ 2.8 ดังนั้นในทางทฤษฎีกังหันลมสามารถสกัดพลังงานจากลมสูงสุดคือ

$$P_{betz} = \frac{1}{2}\rho A V_0^3 \, Cp_{\cdot betz} \qquad (2\text{-}8)$$

โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานสูงสุด CpBetz = 16/27 = 0.59 นี่เป็นค่าที่ดีที่สุดถึงแม้ว่าการสกัดพลังงานจากลมจะไม่มีการสูญเสียใดๆเลย ก็ยังได้เพียง 59% ของกังลมเท่านั้น ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานของกังหันที่แท้จริงจะต่ำกว่านี้ สำหรับกังหันลมที่อาศัยแรงฉุดในการหมุนโรเตอร์จะมีค่า Cp ต่ำกว่า 0.2 ส่วนกังหันลมที่อาศัยแรงยกในการหมุนโรเตอร์ที่มีการออกแบบใบกังหันอย่างดีจะสามารถให้ค่า Cp ได้สูงถึง 0.5



ภาพที่ 2.8 อากาศไหลผ่านโรเตอร์ของกังหัน การขยายออกของ stream tube ส่งผลให้ความเร็วในการไหลลดลง

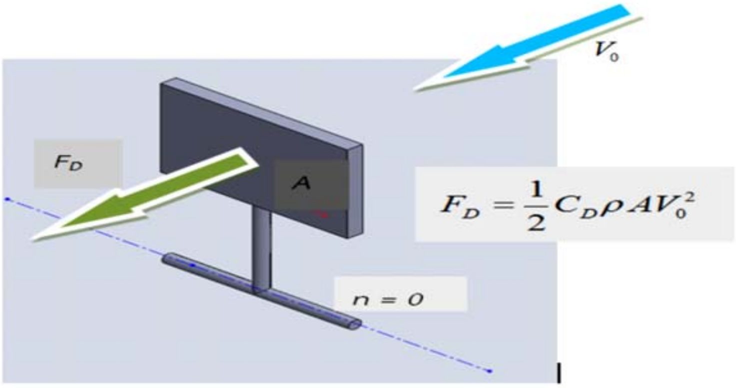
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กังหันลมที่อาศัยแรงฉุดในการหมุนโรเตอร์ (Drag principle wind turbines)

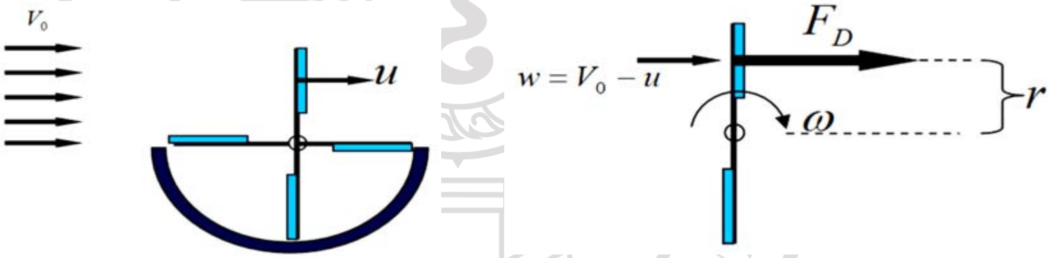
เครื่องมือที่อาศัยแรงฉุดจะอาศัยแรงที่กระทำต่อพื้นที่ A ที่ตั้งฉากกับทิศทางของกระแสลมดูภาพที่ 2.9 โดยแรงที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A V_0^3 \qquad (2\text{-}9)$$

ซึ่งมันก็คือความเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อพื้นที่ A ต่อความหนาแน่นมวลอากาศ ρ ต่อความเร็วของกระแสลมยกกำลังสอง V_0 สามการนี้ใช้ในการคำนวณแรงฉุดที่เกิดขึ้นกับวัตถุที่ใช้ขวางทางการไหลของกระแสลม โดยที่พื้นที่ A จะต้องเป็นพื้นที่ในทิศทางที่ตั้งฉาก (projected area,A) กับกระแสลมเท่านั้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงฉุด C_D คือค่าคงที่ของความเป็นสัดส่วนซึ่งจะบอกถึง คุณภาพอากาศพลศาสตร์ของวัตถุนั้นๆ ดังนั้นวัตถุใดที่มีค่าคุณภาพอากาศพลศาสตร์ที่ดี ค่าสัมประสิทธิ์แรงฉุดจะต่ำ ซึ่งจะทำให้แรงฉุดต่ำลง ดูภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงแรงฉุดที่กระทำต่อวัตถุผิวเรียบที่ไม่มีการเคลื่อนที่ใดๆ



a b

ภาพที่ 2.10 การลดแรงต้านกังหันลมของเปอร์เซียโดยมีกำบังลม

แรงบิด, ความเร็วในการหมุน และกำลังของกังหันลมแกนตั้งในยุคแรกของเปอร์เซียจะเป็นกังหันลมที่อาศัยแรงฉุด ซึ่งจะสามารถคำนวณได้อย่างง่ายๆ โดยอาศัยหลักสมมติฐานจากแบบจำลองอย่างง่ายที่ว่าแรงบิดจะเกิดดังในภาพที่ 2.10a จะเทียบเท่าได้กับแรงบิดที่เกิดกับกังหันลมจริงดังในภาพที่ 2.10b แบบจำลองอย่างง่ายจะไม่คำนึงถึงการเคลื่อนเข้ามาและเคลื่อนออกไปของใบกังหัน และไม่คำนึงถึงการรบกวนกระแสลมจากใบกังหันที่นำหน้าและตามหลัง ดังนั้นในกรณีนี้ความเร็วสัมพัทธ์จริง จะเท่ากับ $w = V_0 - u$ ที่ซึ่งการหมุนของแผ่นใบกังหันแตกต่างไปจากความเร็วกระแสลม V_0 และ ความเร็วที่เส้นรอบวงของใบกังหัน $u = r.\omega$ ที่รัศมีเฉลี่ย r ของพื้นที่ A ความเร็วเชิงมุมเนื่องจากการหมุนด้วยความเร็วรอบ n เท่ากับ $\omega = 2\pi n$ ดังนั้นผลลัพธ์ของแรงฉุดที่กระทำต่อแผ่นกังหันที่กำลังหมุนคือ

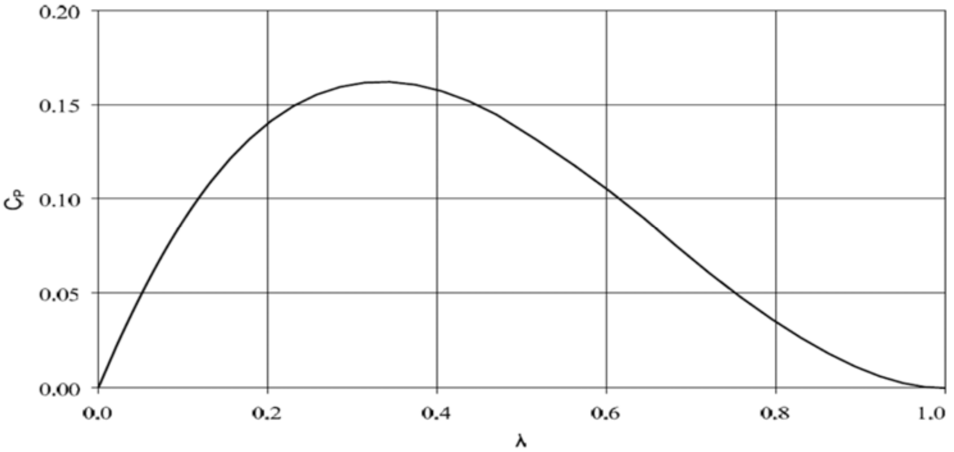
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A w^2 = \frac{1}{2} C_D \rho A (V_0 - u)^2 \qquad (2\text{-}9)$$

ค่าเฉลี่ยของกำลังขับทางกล ซึ่งความเป็นจริงก็คือโมเมนตัม นั้นเองซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$P_{wind} = F_D . u = \frac{1}{2} \rho A V_0^3 \left(C_D . \left(1 - \frac{u}{V0}\right)^2 . \frac{u}{V0}\right) = \frac{1}{2} Cp . \rho . A . V_0^3 \qquad (2\text{-}10)$$

กำลังขับในสมการนี้ จะเหมือนกับกำลังในกระแสลม ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ A และต่อความเร็วของกระแสลมยกกำลังสาม V_0^3 จากสมการที่ 2-10 จะเห็นว่าค่าที่อยู่ในวงเล็บก็คือค่าสัมประสิทธิ์กำลังนั้นเอง (C_p) ซึ่งจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพอากาศพลศาสตร์ของโรเตอร์นั้นเองซึ่งมันจะให้สัดส่วนของกำลังงานจากลมที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นกำลังงานที่เพลา



ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์กำลัง กับ อัตราส่วนความเร็วปลายใบกังหัน (Tip speed ratio) ของกังหันลมแบบ Savonius มาตรฐาน

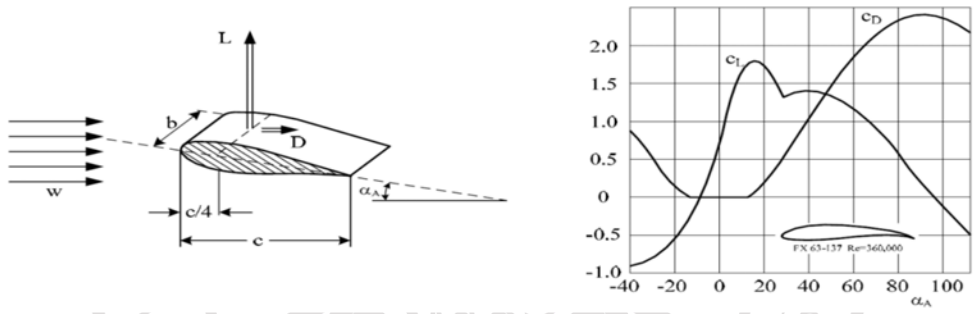
ค่าสัมประสิทธิ์นี้จะต้องต่ำกว่าค่าสูงสุดในทางทฤษฎี (C_p =0.59) ที่นำเสนอโดย Betz โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานนี้จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบกังหันต่อความเร็วลม (tip speed ratio,γ) ความเร็วที่ปลายใบกังหัน ต่อความเร็วของกระแสลมทางด้านต้นทางในภาพที่ 2.11 แสดงไดอะแกรมสำหรับแบบจำลองอย่างง่ายของกังหันลมแกนตั้งของเปอร์เซีย ดังในรูปที่ 10 โดยใช้สัมประสิทธิ์แรงฉุดที่ CD = 1.1 ของแผ่นสี่เหลี่ยม โดยไม่มีการหมุนของเพลา (γ =0) และไม่มีกำลังทางกลที่สกัดได้จากกระแสลม หรือไม่ก็ โรเตอร์กังหันหมุนฟรีด้วยความเร็วสูงสุดโดยปลายใบกังหันมีความเร็วเท่ากับความเร็วของกระแสลม ($\gamma = \gamma$ *idle* = 1) ในระหว่างสองค่าต่ำสุดและสูงสุดนี้ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่มากที่สุดจะประมาณ CP ≈ 0.16 ค่านี้จะเกิดที่ความเร็วปลายใบกังหัน (tip speed ratio, γ)อยู่ที่ประมาณ 0.33 นั้นหมายความว่าพลังงานจากลมเพียงแค่ 16% เท่านั้นที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลที่เพลา

กังหันลมที่อาศัยแรงยกในการหมุนโรเตอร์ (Lift principle wind turbine)

มีหลายวัตถุที่เหมือนกับ airfoils และ แผ่นเพลสที่เอียงด้วยเช่นกัน ผลของแรงจากการปะทะของการไหลกระแสลมไม่เพียงแต่ ให้แรงฉุดที่เป็นองค์ประกอบ D ในทิศทางที่ขนานกับทิศทางการไหล w เท่านั้น แต่มันยังเกิดแรงยกที่เป็นองค์ประกอบ L ในทิศทางตั้งฉากอีกด้วย ดังภาพที่ 2.12 แรงยกสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho A w^2 \qquad (2\text{-}11)$$

เช่นเดียวกันกับ แรงฉุด เนื่องจากว่ามันเป็นสัดส่วนกับ พื้นที่ (projected area) a = c . b และความดันพลศาสตร์ $\left(\frac{\rho}{2}\right) w^2$ ที่มุมปะทะน้อยๆ α_Aแรงยกจะกระทำที่ตำแหน่งประมาณ หนึ่งในสี่ของความยาวคอร์ด (c) ถัดจากขอบนำ(leading edge) ภาพที่ 2.12 ด้านขวาแสดงสัมประสิทธิ์แรงยก C_A ที่มุมปะทะน้อยๆ ($\alpha_A \leq 10^0$) ดังนั้นแรงยกจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมุมปะทะ



ภาพที่ 2.12 แสดงแรงยก L และแรงฉุด D ของ airfoil และค่าของสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงฉุดที่มุมปะทะต่างๆ

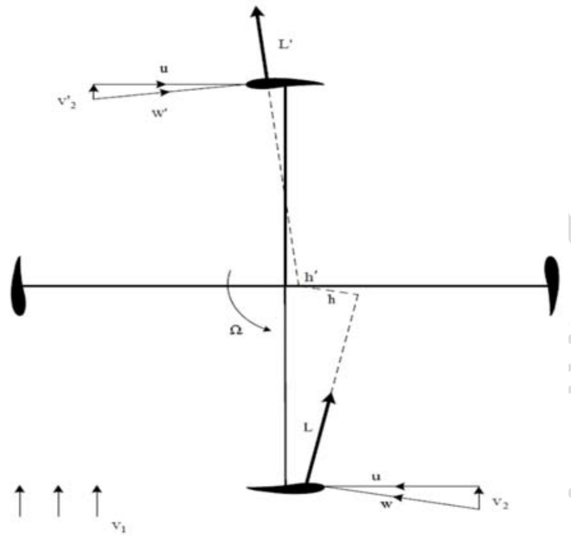
$$L = C_L(\alpha_A)\frac{1}{2}\rho A w^2 \qquad (2\text{-}12)$$

โดย CA (αA) ≈ CA’αA สำหรับ αA ≤ 0.1745(≈10^0) ในกรณีของเพลสสี่เหลี่ยมในจินตนาการที่มีความกว้างไม่จำกัด b , CA เท่ากับ 2π ค่าที่แท้จริงของโปรไฟล์จริงค่อนข้างจะต่ำโดยประมาณ CA’≈ 5.5 และแน่นอนว่า จะมีแรงฉุดเกิดขึ้นด้วย แต่มันน้อยมากที่ย่านมุมปะทะน้อยๆ สำหรับโปรไฟล์ที่มีอากาศพลศาสตร์คุณภาพดีมาก CD =(0.01…0.20) CA ถ้าหากมุมปะทะ αA ≤ 15 ^{0} มากกว่านี้ไปแล้วสัมประสิทธิ์แรงฉุดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังภาพที่ 2.12

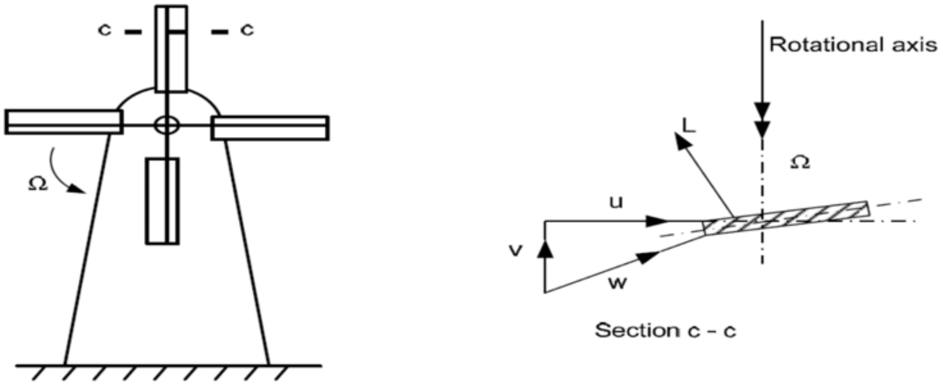
แรงยก LV เป็นแรงสำหรับขับใบกังหันลมชนิดอาศัยแรงยก ตัวอย่างกันหันลมแกนตั้งที่อาศัยแรงยกเช่น Darieus turbine ดังในภาพที่ 2.13 และภาพที่ 2.14 กังหันลมชนิดนี้จะมี tip speed ratio, γ ประมาณ 4-5 พิจารณากังหันลมสองใบในภาพที่ 2.14 ซึ่งมุมปะทะของความเร็วสัมพัทธ์ของลมจะใกล้เคียงกันมากกับแนวเส้นสัมผัสของขอบนำ(leading edge) ของใบกังหัน ดังนั้นแรงยกจะมากกว่าแรงฉุดมากและแรงเหล่านี้(L และ L’) จะเป็นแรงสำคัญในการขับโรเตอร์กังหัน โดยมีนิยามว่า แรงยกจะต้องทำมุมตั้งฉากกับความเร็วสัมพัทธ์และเป็นสาเหตุของที่ทำให้เกิดระยะคาน (h และ h’) ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างแรงบิดที่โรเตอร์กังหัน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กังหันลมแกนนอนทั้งหมดอย่างเช่น กังหันลมในยุคแรกๆของ Dutch smock mill หรือกังหันลมแบบใบเรือของเมดิเตอร์เรเนียน จะเป็นกังหันลมที่ขับด้วยหลักการแรงยก ดูภาพที่ 2.14 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานของกังหันเหล่านี้จะอยู่ประมาณ Cp,max ≈ 0.25 ซึ่งจะเห็นว่ามันมีค่าที่สูงกว่ากันหันลมที่อาศัยแรงฉุดเป็นอย่างมาก กังหันลมแกนนอนสมัยใหม่ที่มีอากาศพลศาสตร์ของโปรไฟล์อย่างดี จะให้ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานมากถึง Cp,max ≈ 0.5 ดังนั้น มันจึงมีค่าที่ใกล้เคียงค่าของCp,Betz = 0.59 ที่สุด



ภาพที่ 2.13 แสดงแรงยก L และ L’ ที่เกิดกับใบกังหันทั้งสองใบซึ่งจะทำให้เกิดแรงบิดที่โรเตอร์



ภาพที่ 2.14 แสดงกังหันลมแกนนอนในยุคแรกๆที่อาศัยแรงยกในการหมุนโรเตอร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แนวคิดของการออกแบบและพัฒนากังหันลม

เป้าหมายของการออกแบบกังหันลมแกนตั้งที่มีใบกังหันปรับมุมได้อย่างต่อเนื่อง คือการใช้ประโยชน์จากการหันใบแต่ละใบเข้าหาทิศทางลมในการหมุนรอบแกนหลัก(Rotor) แรงที่จะทำให้โรเตอร์เกิดการหมุนคือแรงฉุด การสูญเสียแรงบิดของโรเตอร์สำหรับกังหันลมแบบ Savonius เกิดจากการที่ใบกังหันหันส่วนโค้งเข้าหาทิศทางลม นั้นคือพลังงานสุทธิที่กังหันจะผลิตได้จะต้องเกิดจากสัมประสิทธิ์แรงฉุดของใบกังหันที่หันส่วนโค้งตามทิศทางลมซึ่งจะต้องมากกว่าใบกังหันที่หันส่วนโค้งเข้าหาทิศทางลมในการ

ออกแบบกังหันชนิดใหม่นี้ผลออกแบบพยายามอย่างยิ่งที่จะลดหรือกำจัดแรงที่กระทำบนใบกังหันที่หันที่เคลื่อนสวนทิศทางลมและพยายามใช้ประโยชน์จากแรงที่กระทำต่อใบกังหันที่อยู่ในเฟสนี้ให้มากที่สุด

1. การปรับมุมของใบกังหัน (Blade adjustment)

เพื่อให้ใบกังหันแต่ละใบสร้างแรงบิดในทางบวกแก่โรเตอร์ในทุกๆตำแหน่งตลอดการหมุนรอบโรเตอร์ ใบกังหันแต่ละใบจะต้องมีการปรับมุมได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้แรงฉุดและแรงยกมากที่สุด ใบกังหันจะต้องเคลื่อนผ่าน 4 เฟสหลักของการหมุนรอบโรเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2.15 เมื่อใบกังหันเคลื่อนไปตามทิศทางของกระแสลม

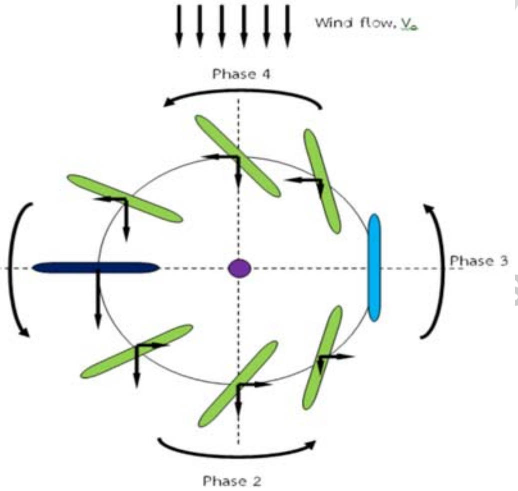
1.1 หน้าของใบกังหันตั้งฉากกับทิศทางการไหลของลม ในตำแหน่งนี้จะทำให้เกิดแรงฉุดมากที่สุด

1.2 เมื่อการเคลื่อนที่ของใบกังหันเคลื่อนไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับกระแสลม(อยู่ในตำแหน่งด้านหลังของโรเตอร์) ในตำแหน่งนี้ใบกังหันจะเกิดทั้งแรงฉุดและแรงยก ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงบิดที่โรเตอร์ได้เช่นกัน

1.3 เมื่อใบกังหันเคลื่อนที่พุ่งสวนทางลม ในตำแหน่งนี้ใบกังหันจะหันด้านที่จะทำให้เกิดแรงฉุดน้อยที่สุดเข้าหาลม

1.4 เมื่อใบกังหันเคลื่อนที่ไปในทิศทางตั้งฉากกับกระแสลม (อยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของโรเตอร์)ในตำแหน่งนี้ใบกังหันจะเกิดทั้งแรงฉุดและแรงยก ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงบิดที่โรเตอร์ได้เช่นกันกับเฟสที่ 2 ดังนั้นจะก่อให้เกิดแรงบินในทางบวกให้โรเตอร์ในการหมุนรอบโรเตอร์ ใบกังหันจะหมุนรอบตัวเพียงครึ่งรอบ ดังนั้นการหมุนรอบตัวของใบกังหันต่อการหมุนรอบตัวของโรเตอร์จะมีอัตราส่วนเท่ากับ 1:2

2. การควบคุมมุมของใบกังหัน (Blade angle control) เนื่องจากมีอัตราส่วนในการหมุนรอบโรเตอร์ของใบกังหันเป็น 1:2 ดังนั้นการหันหาทิศทางของใบกังหันจึงขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสลม ดังนั้นกลไกในการควบคุมการหมุนของใบกังหันจึงเป็นสิ่งจำเป็น และระบบกลไกสำหรับกังหันลมในงานวิจัยนี้จะเป็นแบบ passive control (โดย wind vane)

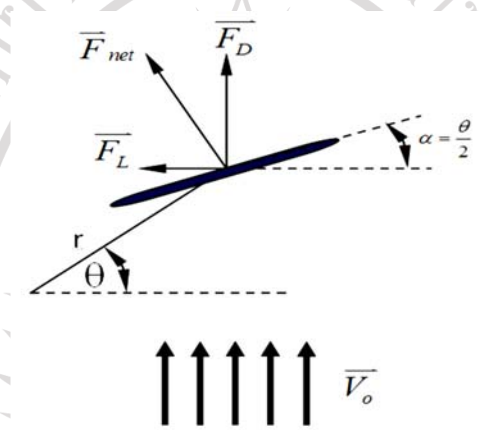


ภาพที่ 2.15 แสดงแรงฉุดและแรงดึงที่เกิดขึ้นที่ใบกังหัน ณ ตำแหน่งต่างๆที่หมุนรอบโรเตอร์

3. การวิเคราะห์ทางทฤษฎี

การวิเคราะห์จะใช้สมมติฐานที่ว่าใบของกังหันเป็นวัตแผ่นบาง แข็งเกร็ง ใบกังหันแต่และใบจะหมุนรอบแกนของมันเอง โดยแกนของใบกังหันแต่ละแกนจะอยู่ห่างจากแกนหลัก (โรเตอร์) เป็นระยะทาง r และใบกังหันแต่ละใบจะหมุนรอบตัวเองเพียงครึ่งรอบต่อการหมุนรอบโรเตอร์หนึ่งรอบถ้ากำหนดให้ตำแหน่งของโรเตอร์ของกังหันอยู่ที่มุม θ

ดังนั้นใบกังหันจะทำมุม α กับตำแหน่งเริ่มต้น และเนื่องจากข้อกำหนดทางจลศาสตร์มุม $\alpha = \frac{\theta}{2}$ การวิเคราะห์จะเริ่มต้นสมมติให้ใบกังหันเริ่มตั้งฉากกับทิศทางกับกระแสลม เมื่อโรเตอร์ทำมุม **θ=0** ดังในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 แสดงแรงยกและแรงฉุดที่กระทำต่อใบกังหันที่มุมเฟสใดๆของโรเตอร์ แรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงยกและแรงฉุด

ใบกังหันของแต่ละใบจะถูกกระทำด้วยแรงยกและแรงฉุด F_L และ F_D ซึ่งแรงลัพธ์เท่ากับ $F_{net} = F_L + F_D$ (ในกรณีนี้เราจะไม่พิจารณาความเสียดทานที่ใบกังหัน) สัมประสิทธิ์แรงยก และแรงฉุดกำหนดให้เป็น CL และ CD ดังนั้น

$$C_L = \frac{F_L}{0.5\rho V02} \quad \text{และ} \quad C_D = \frac{F_D}{0.5\rho V02A} \qquad (2\text{-}13)$$

ρ คือ ความหนาแน่นของมวลอากาศ

V_0 คือ ความเร็วของกระแสลมก่อนเข้ากระทบใบกังหัน

A คือ พื้นที่ของใบกังหัน (projected area)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์เราจะใช้การประมาณการอย่างง่ายสำหรับสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงฉุดที่นิยามและนำเสนอโดย Caplan and Garden สำหรับวัตถุแผ่นเรียบ

$$C_L = C_{Lmax}\sin(2\alpha) \quad \text{และ} \quad C_D = 2C_{Lmax}\cos^2\alpha \qquad (2\text{-}14)$$

โดยที่ CL,maxที่ประมาณการจะอยู่ในช่วง 1 - 1.2 (ในที่นี้เราจะใช้ CL,max= 1 สำหรับทุกการคำนวณ) ในการวิเคราะห์เราจะไม่คำนึงถึงความปั่นป่วนที่เกิดจากการไหลผ่านใบกังหันแต่ละใบดังนั้น อัตราส่วนแรงยกต่อแรงฉุดจึงเขียนได้ดังนี้

$$\frac{F_L}{F_D} = \frac{C_L}{C_D} = \frac{C_{L\,max}\sin(2\alpha)}{2C_{L\,max}\cos^2(\alpha)} \qquad (2\text{-}15)$$

หรือ

$$\frac{F_L}{F_D} = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)$$

ผลลัพธ์นี้ประมาณว่าแรงลัพธ์สุทธิ F_{net} ที่กระทำบนใบกังหันมีทิศทางตั้งฉากกับผิวใบกังหัน การคำนวณแรงบิดสถิตของกังหัน เมื่อกังหันลมไม่ถูกตรึงไว้ไม่ให้หมุนใบกังหันจะสร้างแรงบิดแก่โรเตอร์เท่ากับ

$$T = F_L .r.\sin\theta + F_D.r.\cos\theta \qquad (2\text{-}16)$$

จากสมการที่ 2-14 และ 2-15 แทนค่าใน 2-16 จะได้ว่า

$$T = \frac{1}{2}\rho V_0^2 ArC_{L\,max}(\sin(2\alpha)\sin(\theta) + 2\cos^2\alpha\cos\theta) \qquad (2\text{-}17)$$

แทนค่า $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ในสมการที่ 15 จะได้

$$T = \frac{1}{2}\rho V_0^2 ArC_{L\,max}(1 + \cos\theta) \qquad (2\text{-}18)$$

สมการนี้เป็นสมการคำนวณค่าแรงบิดสถิตของโรเตอร์เนื่องจากแรงจากใบกังหันแต่ละใบที่ตำแหน่งมุมของโรเตอร์ เท่ากับ θ และค่าประมาณแรงบิดสุทธิของโรเตอร์กังหันที่มีจำนวนใบกังหันตั้งแต่สองใบขึ้นไปหรือมากกว่าคือ

$$T = N\frac{1}{2}\rho V_0^2 ArC_{L\,max} \qquad (2\text{-}19)$$

เมื่อ N คือ จำนวนใบของกังหัน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สมการนี้เป็นสมการที่ไม่ได้คำนึงถึงการที่กระแสลมถูกรบกวนจากใบกังหันที่อยู่ต้นทางลม และจะเห็นว่าแรงบิดจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนใบของกังหัน ความยาวรัศมีของโรเตอร์และขนาดของพื้นที่ใบกังหัน และจะเห็นว่ามันไม่ได้ขึ้นอยู่กับมุม θ ของแกนโรเตอร์เลย(หมายความว่ามันสามารถเริ่มหมุนได้ในทุกๆตำแหน่งมุม θ)

สมการที่ใช้ในการหาค่ากำลังไฟฟ้า

การหาค่ากำลังไฟฟ้าจะใช้สูตร

$$P = EI \qquad (2\text{-}20)$$

P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (W)

E คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (A)

ทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำหรับทำหน้าที่กำเนิดแรงดันไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและสลับ หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ เมื่อขดลวดเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ตามสมการด้านล่าง

$$E = B \times l \times N \times V \qquad (2\text{-}21)$$

โดยที่

E = แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

B = ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

l = ความยาวของขดลวด

N = จำนวนรอบของขดลวด

V = ความเร็ว

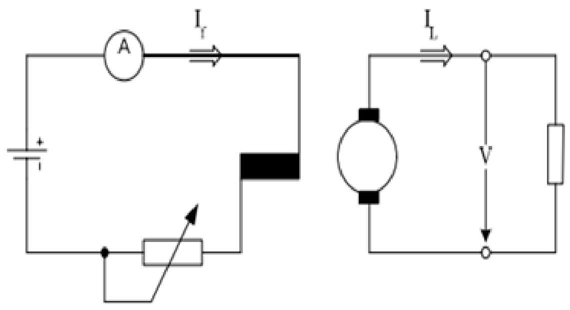
การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อขดลวดหมุนตัดสนามแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นที่ปลายขดลวดซึ่งจะมีแหวนสลิป (Slip Ring) ต่ออยู่ความถี่ที่ได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของการหมุนขดลวดส่วนขนาดของแรงดันจะขึ้นอยู่กับผลของสมการที่ได้อธิบายในข้างต้น

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Types of generator) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนั้นแบ่งตามลักษณะของการกระตุ้นขดลวดฟิลด์คอยล์ ได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. เครื่องกำเนิดชนิดใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกเป็นตัวกระตุ้น (Separately excited generator) ฟิลด์คอยล์ของเครื่องกำเนิดชนิดนี้ จะถูกกระตุ้นให้มีอำนาจแม่เหล็กโดยการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกเป็นตัวกระตุ้น ซึ่งมีวงจรดังแสดงในภาพที่ 2.17 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก

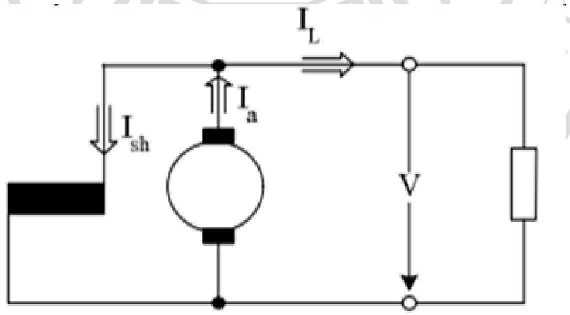
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.17 วงจรเครื่องกำเนิดชนิดใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกเป็นตัวกระตุ้น

2. เครื่องกำเนิดชนิดใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากในตัวมันเองกระตุ้น (Self-excited generator)เครื่องกำเนิดชนิดนี้ ฟิลด์คอยล์จะถูกกระตุ้นให้มีอำนาจแม่เหล็ก โดยอาศัยไฟฟ้ากระแสตรงจากภายในตัวเครื่องกำเนิดของมันเอง ซึ่งขึ้นอยู่กับอำนาจแม่เหล็กตกค้าง (Residual magnetism or Residual flux) ที่มีอยู่ที่ขั้วแม่เหล็ก เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นเล็กน้อยและจะมีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นเล็กน้อยด้วย ดังนั้นกระแสนี้บางส่วนจะไหลผ่านฟิลด์คอยล์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะเสริมกับอำนาจแม่เหล็กตกค้างที่ขั้วแม่เหล็กเครื่องกำเนิดชนิดใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากในตัวมันเองกระตุ้นนั้น แบ่งตามลักษณะการต่อของฟิลด์คอยล์กับอาร์เมเจอร์ได้ 3 ชนิด

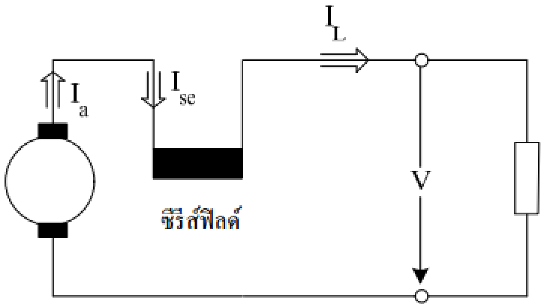
2.1 เครื่องกำเนิดแบบชั้นท์ (Shunt generator or shunt wound) เครื่องกำเนิดชนิดนี้ฟิลด์คอยล์จะต่อคร่อมหรือต่อขนานอยู่กับอาร์เมเจอร์ เครื่องกำเนิดนี้จะให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกสูงชั้นท์ฟิลด์



ภาพที่ 2.18 วงจรเครื่องกำเนิดแบบชั้นท์

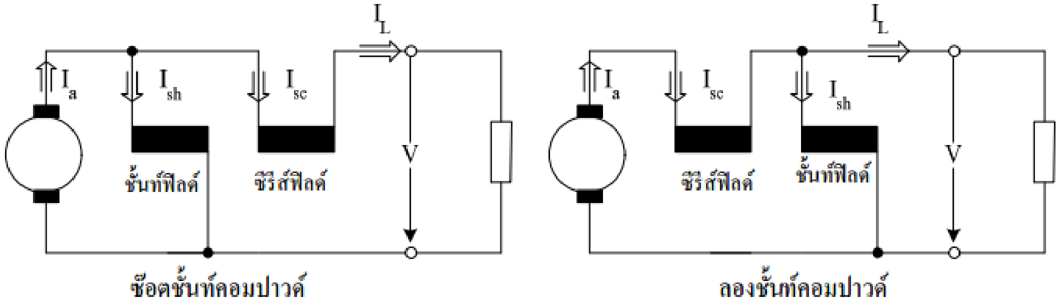
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.2 เครื่องกำเนิดแบบซีรีส์ (Series generator or series wound) เครื่องกำเนิดชนิดนี้ขดลวดฟิลด์คอยล์จะต่ออนุกรมอยู่กับอาร์เมเจอร์เป็นเครื่องกำเนิดที่ให้กระแสสูงขดลวดฟิลด์คอยล์เป็นขดลวดเส้นโต เครื่องกำเนิดนี้ไม่ค่อยนิยมใช้จะใช้ในกรณีพิเศษเท่านั้น เช่น ทำตัวขยายกำลัง (Boosters) เป็นต้น



ภาพที่ 2.19 วงจรเครื่องกำเนิดแบบซีรีส์

2.3 เครื่องกำเนิดแบบคอมปาวด์ (Compound generator or compound wound) เครื่องกำเนิดชนิดนี้เป็นเครื่องกำเนิดที่รวมเอาคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดแบบซีรีส์ และเครื่องกำเนิดแบบชั้นท์เข้าด้วยกันเป็นช๊อตชั้นท์คอมปาวด์ (Short shunt compound) และลองชั้นคอมปาวด์ (Long shunt compound)



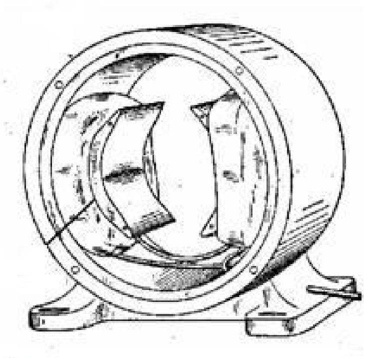
ภาพที่ 2.20 วงจรเครื่องกำเนิดแบบคอมปาวด์

3. โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ

3.1 ส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วย

- เปลือกหรือโครง (Frame or Yoke) ทำด้วยเหล็กหล่อหรือสารแม่เหล็กทำหน้าที่ คือยึดขั้วแม่เหล็กและส่วนประกอบทั้งหมดเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic circuit)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราไพพรรณี



ภาพที่ 2.21 แสดงเปลือกหรือโครงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

- ขั้วแม่เหล็ก (Pole-Shoes) ทำจากแผ่นเหล็กบางๆ (Laminated sheet steel) อัดซ้อนเข้า ด้วยกันโดยแต่ละแผ่นจะเคลือบไว้ด้วยฉนวน ลักษณะของขั้วแม่เหล็กแสดงในภาพที่ 2.21 ขั้วแม่เหล็กนี้จะนำไปยึดเข้ากับโครงด้วยสกรู (Screw)

- ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil or Field winding) หรือเรียกว่าขดลวดฟิลด์คอยล์เป็นลวดตัวนำพันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก ขดลวดฟิลด์คอยล์มี 2 ชนิด คือ

1) ขดลวดชั้นท์ฟิลด์ (Shunt field or Shunt winding) จะพันด้วยเส้นลวดความต้านทานสูง

2) ขดลวดซีรีส์ฟิลด์ (Series field or Series winding) จะพันด้วยลวดเส้นโตความต้านทานจะต่ำ

- แปรงถ่านและแบริ่ง (Brushes and Bearing) ทำหน้าที่เป็นสะพานไฟจากคอมมิวเตเตอร์ไปยังวงจรภายนอกแปรงถ่านทำมาจาคาร์บอนอัดแน่นจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าบรรจุอยู่ในซองถ่านและถูกกดด้วยสปริงให้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา และซองถ่านจะถูกยึดติดอยู่กับฝาครอบส่วนแบริ่งหรือลูกปืนนั้นจะเป็นตัวรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากการหมุนตัว และช่วยลดแรงเสียดทานที่เพลาขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนปกติแล้วแบริ่งจะยึดติดอยู่ที่ฝาครอบทั้ง 2 ข้างของเครื่องกำเนิด

- ฝาปิดหัวท้ายหรือฝาครอบ (End plate) ทำมาจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครงทำหน้าที่รองรับเพลาของส่วนหมุนและยึดซองถ่าน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

3.2 ส่วนที่เคลื่อนที่ ประกอบด้วย

- แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์เป็นที่สำหรับบรรจุ ขดลวดอาร์เมเจอร์ แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ ที่ด้านหนึ่งฉาบด้วยฉนวนอัด ซ้อนเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก และทำเป็นช่องสล๊อทไว้ และที่

แกเหล็กอาร์เมเจอร์นี้ จะเจาะรู ไว้ด้วยเพื่อช่วยในการระบายความร้อนอันเนื่องมาจากการสูญเสีย

- ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature or Armature winding) คือขดลวดที่บรรจุในช่องสล๊อทของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ซึ่งจะมีการพันเป็นแบบแลป (Lap) หรือ (Wave) ปลายของขดลวดจะถูกนำไปต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์

- คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที É เกิดในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วย ซี่ทองแดงหลายๆซี่อัดเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก และระหว่างซี่ทองแดงแต่ละซี่จะคั้นไว้ด้วยฉนวนหนาที่แข็งแรงและยึดติดไว้กับเพลาอันเดียวกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์

ไฟฟ้ากระแสตรง

กระแสตรง (Direct Current) คือการไหลทิศทางเดียวของประจุไฟฟ้า กระแสตรงเกิดจากแหล่งที่มาเช่นแบตเตอรี่, เทอร์โมคัปเปิล, เซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสอื่นๆ กระแสตรงอาจไหลในตัวนำเช่นขดลวด แต่ยังสามารถไหลผ่านเซมิคอนดักเตอร์, ฉนวนหรือแม้กระทั่งผ่านสุญญากาศเช่นในลำแสงไอออน ประจุไฟฟ้าไหลในทิศทางที่คงที่แตกต่างไปจากกระแสสลับ (Alternating Current) กระแสตรงแทบไม่มีอันตราย ส่วนใหญ่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็คโทรนิคส์ขนาดเล็ก ใช้กระแสต่ำ สามารถผลิตได้จากการนำกระแสสลับมาเปลี่ยนเป็นกระแสตรง เช่นที่ชาร์จโทรศัพท์มือถือ เนื่องจากกระแสในเส้นลวดหรือส่วนประกอบสามารถไหลไปในทิศทางใดก็ได้ เมื่อตัวแปล I ถูกกำหนดให้เป็นตัวแทนของกระแสทิศทางที่เป็นตัวแทนของกระแสบวกจะต้องมีการระบุซึ่งมักจะเป็นลูกศรในวงจรแผนภาพ นี้เรียกว่าทิศทางอ้างอิงของกระแส I ถ้ากระแสไหลในทิศทางตรงกันข้าม ตัวแปล I จะมีค่าติดลบ เมื่อทำการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ทิศทางที่เกิดขึ้นจริงของกระแสที่ไหลผ่านองค์ประกอบของวงจรเฉพาะมักจะไม่เป็นที่รู้จัก ผลที่ตามมาก็คือ ทิศทางอ้างอิงของกระแสมักจะถูกกำหนดตามอำเภอใจ เมื่อวงจรได้รับการแก้ปัญหาแล้ว ค่าลบสำหรับตัวแปลต่างๆ จะหมายความว่าทิศทางที่เกิดขึ้นจริงของกระแสผ่านองค์ประกอบวงจรจะเป็นตรงกันข้ามกับทิศทางอ้างอิงที่ถูกกำหนดไว้ก่อน ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทิศทางกระแสอ้างอิงมักจะถูกกำหนดให้ทุกจุดมีกระแสไหลลงกราวด์วิธีนี้มักจะสอดคล้องกับทิศทางของกระแสที่เกิดขึ้นจริง เพราะในหลายวงจรแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ จะเป็นบวกเมื่อเทียบกับกราวด์ ในวงจรไฟฟ้าใดๆ จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าและตัวต้านทานหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะใส่เข้าไปในวงจรไฟฟ้านั้นๆ เพราะฉะนั้น ความสำคัญของวงจรที่จะต้องคำนึงถึงเมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าใดๆ ก็คือทำอย่างไรจึงจะไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในวงจรมากเกินไปซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดเสียหายหรือวงจรไหม้เสียหายได้ นายยอร์จ ซีมอน โอห์ม นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ให้ความสำคัญของวงจรไฟฟ้าตามสมาการ

สมสกรีของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$I = \frac{E}{R} \qquad (2\text{-}22)$$

เมื่อ I เป็นกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์

E คือค่าความต่างศักย์มีหน่วยเป็นโวลต์

R คือความต้านทานของตัวนำมีหน่วยเป็นโอห์ม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(การท่องเที่ยวแห่งประทศไทย, 2558) หมู่บ้านเกาะจิกมีผู้คนอพยพอาศัยมาประมาณ ปี พ.ศ. 2549 คนกลุ่มแรกที่มาตั้งรกรากคือ คนบางปิด อำเภอแหลมงอบและชาวจีนโพ้นทะเล สาเหตุที่ชื่อเกาะจิกเพราะสมัยก่อนมีต้นจิกชุกชุมและเสด็จเตี่ยหรือกรมหลวงชุมพรเขตอุดมศักดิ์เป็นคนตั้งชื่อว่า เกาะจิก มีพื้นที่ประมาณ 700 ไร่ สภาพเป็นเกาะมีทะเลล้อมรอบตั้งอยู่ทางทิศใต้ของอำเภอขลุง ทิศตะวันออกจดอำเภอเขาสมิง และอำเภอแหลมงอบ จังหวัดตราด ทิศใต้จดทะเล ทิศเหนือจดอำเภอแหลมสิงห์ การคมนาคมโดยเรือเป็นหลัก จำนวนประชากร 489 คน แยกเป็นชาย 252 คน หญิง 237 เกาะจิกตั้งอยู่ที่ตำบลบางชัน เป็นเกาะซึ่งมีการนำร่องโครงการใช้พลังงานทดแทนแบบผสมผสานโดยมีการใช้ พลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องปั่นไฟสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าให้แก่บ้านเรือนบนเกาะ ประมาณ 100 หลังคาเรือนโดยใช้การเก็บค่าไฟแบบเติมเงิน ประชากรส่วนใหญ่ทำอาชีพประมง เลี้ยงปลา กุ้งแห้ง การเดินทาง ใช้ถนนสุขุมวิทจนถึงสามแยกไปท่าเรือเกาะช้างเฟอร์รี่ ให้เลี้ยวขวา ไปทางเดียวกับท่าเรือเกาะช้างเฟอร์รี่ จากนั้นเลี้ยวขวาไปทางอ่างกระป่อง ไปทางท่าเรืออ่างกระป่อง สามารถจอดรถได้ที่ท่าเรือ จากนั้นลงเรือข้ามไปเกาะจิก ดังที่รู้กันว่าเกาะจิกแห่งนี้เป็นเกาะนำร่องโครงการใช้พลังงานทดแทนแบบผสมสานฉะนั้นชาวบ้านที่นี่อาศัยพลังงานจากธรรมชาติคือพลังงานลมและแสงอาทิตย์ เป็นไฟฟ้าใช้ในแต่ละบ้าน จึงสะดวกทั้งระบบการติดต่อทางโทรศัพท์มือถือด้วย อีกทั้งมีเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับไฟฟ้าทั้งเกาะ รวมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสำรอง หากจำเป็นกรณีฟ้าปิด ฉะนั้นเกาะจิกเป็นเกาะที่เป็นตัวอย่างการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่ดีแห่งหนึ่งทั้งด้านเทคโนโลยีและการบริหารที่ชาวบ้านมีส่วนร่วม นักท่องเที่ยวที่มีเวลาว่างในวันหยุดและยังไม่มีแพลนว่าจะไปไหน ไม่ควรพลาดที่จะมาเยือนเกาะจิกแห่งนี้ นอกจากจะได้รับประทานอาหารอร่อยแล้วยังได้พักผ่อนอยู่กับตนเองในบรรยากาศที่เงียบสงบและได้ความรู้เรื่องพลังงานทดแทน

กรณ์ปภพ รัตนวิจิตร และ ศศินภา บุญพิทักษ์ (2556). **งานวิจัยเรื่องการออกแบบและวิเคราะห์กังหันลมสำหรับการใช้งานที่ความเร็วลมต่ำ**” : จันทบุรี : มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กล่าวว่า ปัจจุบันพลังงานทดแทนมีบทบาทมากขึ้นในภาวะวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน การใช้พลังงานลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นทางเลือกในการใช้พลังงานจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์ จึงมีความจำเป็นในการออกแบบกังหันลมให้มีประสิทธิภาพ การออกแบบกังหันลมนี้ใช้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์การไหล (Computation Fluid Dynamic Program) โดยแบ่งออกแบ่ง 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นแรกเป็นการพิสูจน์ความถูกต้องของขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์กังหันลมโดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กังหันลมต้นแบบที่ได้จากโปรแกรมกับข้อมูลของกังหันลมต้นแบบ

สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ขั้นตอนที่สองคือออกแบบกังหันลมใหม่และวิเคราะห์กังหันลมที่ออกแบบใหม่ โดยมุ่งเน้นการเปรียบเทียบค่ากำลังงานจากกังหันลมและค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมต้นแบบกับกังหันลมที่ออกแบบใหม่

การออกแบบกังหันลมให้มีประสิทธิภาพสูงที่มีความเร็วลมต่ำนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังงานและค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ได้จากกังหันลมที่ออกแบบใหม่มีค่าสูงกว่ากังหันลมต้นแบบที่ความเร็วลมต่ำ อย่างไรก็ดีการที่ได้ผลจากการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องอาศัยการทดลองหารอบการหมุนที่แท้จริงของกังหันลมที่ออกแบบใหม่ เพื่อหาค่าที่ได้มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์กังหันลมด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์การไหล เพื่อหาค่ากำลังงานและค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง อีกทั้งยังสามารถพัฒนาให้เหมาะสมเพื่อสร้างกังหันลมต้นแบบเพื่อใช้ในชุมชนได้เหมาะสมอีกด้วย

เจนวิทย์ คีตสิน และ ชนินทร์ ตรงจิตภักดี. (2554) **งานวิจัยเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมที่ติดตั้ง Gurney Flap โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กล่าวว่า การศึกษาประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมประเภทแกนหมุนตามแนวนอนขนาดเสนผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร โดยการปรับปรุงรูปร่างของใบพัดและติดตั้ง Gurney flap ที่บริเวณชายหลังของใบพัด โดยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ ของไหลเชิงคำนวณ โดยเริ่มต้นการวิเคราะห์ผลแบบ 2 มิติ จากรูปร่างหน้าตัดของใบพัดต้นแบบและใบพัดที่ปรับปรุงรูปร่างและติดตั้ง Gurney flap ที่ขนาดความสูง 1-4% เทียบกับความยาว คอร์ด ที่มุมปะทะต่างๆกัน เพื่อวิเคราะห์หาขนาดความสูงที่เหมาะสม นำไปสู่การคำนวณแบบ 3 มิติ เพื่อทำนายคุณลักษณะการไหลของกระแสอากาศและเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำลังงานที่เกิดขึ้นของกังหันลมทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงรูปร่างและติดตั้ง Gurney flap โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Periodic ร่วมกับวิธีแกนหมุนอ้างอิง(Moving Reference Frame) และใช้ชุดสมการจำลองการไหลแบบปั่นป่วน k SST $-\omega$ ในการคำนวณระบบสมการ ณ สภาวะการไหลของกระแสลมคงที่และไม่เกิดการอัดตัวในช่วงของอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด (Tip Speed Ratio) จาก 0.82 ถึง 9.00 เมื่อกำหนดความเร็วของกระแสลมคงที่ 8 เมตรต่อวินาที จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มความสูงของ Gurney flap ในช่วง1-3% เทียบกับความยาวคอร์ด สามารถเพิ่มแรงยกได้มากขึ้นในขณะที่แรงตานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นส่งผลให้ใบพัดสามารถสร้างประสิทธิภาพกำลังงานได้มากขึ้นในช่วงอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดมากกว่า 4.91

กมลศักดิ์ เจริญชัยพูนผล และกิตติชัย อุดกันทา. (2554) **งานวิจัยเรื่องชุดจำลองกังหันลมขนาดเล็กแกนหมุนแนวตั้งเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า.** เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

กล่าวว่า การออกแบบและสร้างชุดจำลองกังหันลมขนาดเล็กแกนหมุนแนวตั้งเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยแรงหน่วงที่เกิดจากกระแสลมของใบกังหัน ทำให้เกิดการหมุนที่ระดับความเร็วลม 3 ถึง 6 เมตรต่อวินาที ใบกังหันลมทำจากท่อพีวีซี ผ่าครึ่ง กว้าง 110 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร จำนวน 12 ใบ เส้นผ่านศูนย์กลางกังหันลมมีขนาด 600 มิลลิเมตร

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลักษณะการทำงานจะอาศัยพัดลมขนาด 300 วัตต์ เป็นตัวผลิตกระแสลมที่ระดับความเร็วลม 2 ถึง 6 เมตรต่อวินาที เมื่อกังหันลมหมุนจะส่งผ่านกำลังโดยโซ่อัตราทด 1:3 ไปยังชุดเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่มีแม่เหล็กถาวรขนาด 25x40x10 มิลลิเมตร จำนวน 12 แท่ง ติดบนแผ่นเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร โดยเคลื่อนที่ตัดผ่านขดลวดทองแดงแกนอากาศ จำนวน 9 ขด จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส ต่อเข้ากับบริดไดโอดเรกติฟราย เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ที่แบตเตอรี่ 6 โวลต์ 4 แอมป์

จากการทดสอบการทา งานของชุดจำลองกังหันลมขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่ามุม 0 องศา เป็นมุมปะทะลมที่ดีที่สุดที่ทำให้กังหันลมหมุนได้ความเร็วรอบและแรงบิดสูงสุดสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าโดยทำให้หลอดไดโอดเปล่งแสงสว่างขึ้นที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาทีให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 0.4974 วัตต์ ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที

ธนกร เข็มทองและคนอื่นๆ. (2557). **งานวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกังหันลมจากท่อพีวีซี (PVC) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า.** จันทบุรี : มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

กล่าวว่า เป็นการออกแบบ สร้าง และเปรียบเทียบกังหันลมชนิด 4 ใบพัดและ 5 ใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เมตร ที่ใบพัดทำจากท่อพีวีซี (PVC) ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสร้างกังหันลมสำหรับเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการติดตั้งบนอาคารหรือที่สูง ในพื้นที่จังหวัดจันทบุรีที่ความเร็วลมในระดับต่างๆ โดยมีการทดสอบการทำงานและเก็บค่าความเร็วลม (m/s), ความเร็วรอบ (RPM), ความต่างศักย์ (V) และ กระแสไฟฟ้า (mA) ของกังหันลมที่มีความเร็วลมในแต่ละวันช่วงเวลา 16.00 – 17.00 น. เป็นระยะเวลา 1 เดือน และหาจุดคุ้มทุนของกังหันลมแต่ละชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าต่างๆของกังหันลม 4 ใบพัดและ 5 ใบพัด จะเห็นได้ว่า กังหันลมชนิด 4 ใบพัด ให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย = 16.90 V และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย = 226 mA ซึ่งมากกว่ากังหันลมชนิด 5 ใบพัดที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย = 16.32 V และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย = 216 mA ในความเร็วลมที่เท่ากัน ค่าประสิทธิภาพกังหันลมชนิด 4 ใบพัด คือ 0.093 มากกว่ากังหันลมชนิด 5 ใบพัด คือ 0.083 หรือมากกว่า 10.75 เปอร์เซ็นต์เช่นกันและยังมีจุดคุ้มทุนที่เร็วกว่ากังหันลมชนิด 5 ใบประมาณ 1 ปี ดังนั้นกังหันลมชนิด 4 ใบ จึงเหมาะสมกับการติดตั้งในพื้นที่จังหวัดจันทบุรีและให้ค่าประสิทธิภาพสูงลดค่าใช้จ่ายในการสร้างกังหันลมแบบเดิมเนื่องจากวัสดุหาได้ง่ายในท้องถิ่น และยังสามารถนำไปชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่ขนาด 12 V เพื่อเป็นพลังงานสำรองใช้ให้เกิดประโยชน์อีกต่อไปได้อีกด้วย

นนทวุฒิ ปรีชาวุฒิ. (2552) **งานวิจัยเรื่องการออกแบบใบกังหันลมแกนนอนที่เหมาะสมสำหรับความเร็วลมต่ำ.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

กล่าวว่า การศึกษาสมรรถณะและการออกแบบกังหันลมแกนนอนด้วยทฤษฎีเบลตอิลิเมนต์โมเมนตัม ซึ่งเป็นทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณสมรรถณะ และการออกแบบใบกังหันที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน อีกทั้งได้ทำการจำลองการไหลของอากาศด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์วอลลูม เพื่อศึกษาพฤติกรรมของอากาศขณะไหลผ่านกังหันลม การศึกษาทั้งหมดนี้มุ่งเน้นเพิ่นำองค์ความรู้มาพัฒนากระบวนการออกแบบใบกังหันลม ให้มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำมาใช้ในพื้นที่ที่มีความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีต่ำ เช่น ประเทศไทย ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าใบกังหันลมแบบแกนนอนที่ออกแบบด้วยทฤษฎีเบลตอิลิเมนต์โมเมนตัมนั้นสามารถออกแบบรูปร่างของใบกังหันลมซึ่งมีประสิทธิภาพสูง (สัมประสิทธิ์กำลังงานสูงถึง 0.5) ที่มีความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที อย่างไรก็ตามช่วงการทำงานของกังหันลมที่ออกแบบสำหรับความเร็วเฉลี่ยลมต่ำนั้นจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมากเมื่อความเร็วลมสูงขึ้น จากการศึกษาสมรรถณะการทำงานของกังหันลมทำให้ทราบว่า การปรบมุมและการปรับความเร็วรอบกังหันขณะทำงานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมในการทำงานที่ความเร็วลมสูงขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สงวนลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี