

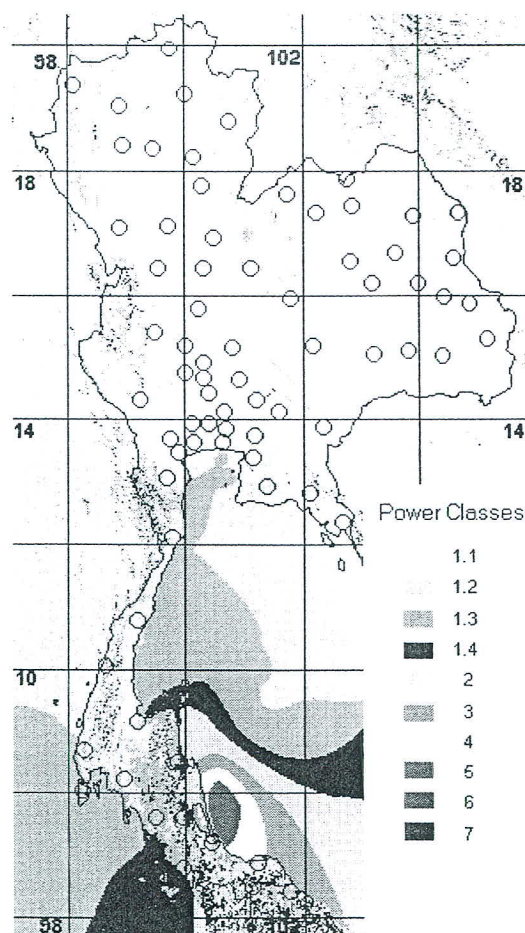
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวกับกังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำ ประกอบด้วย ลมในประเทศไทย ประเภทของกังหันลม ส่วนประกอบของกังหันลม ทฤษฎีอากาศพลศาสตร์ ทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังนี้

1. ลมในประเทศไทย

จากข้อมูลดังภาพที่ 1 จะเห็นว่าพลังงานลมในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่จะเป็นลมความเร็วต่ำ ซึ่งถ้าสามารถนำพลังงานลมความเร็วต่ำนี้มาใช้งานเพื่อสูบน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ก็จะเป็นประโยชน์มาก [1,2]



ภาพที่ 1 ศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทย [1, 2]

2 ประเภทของกังหันลม

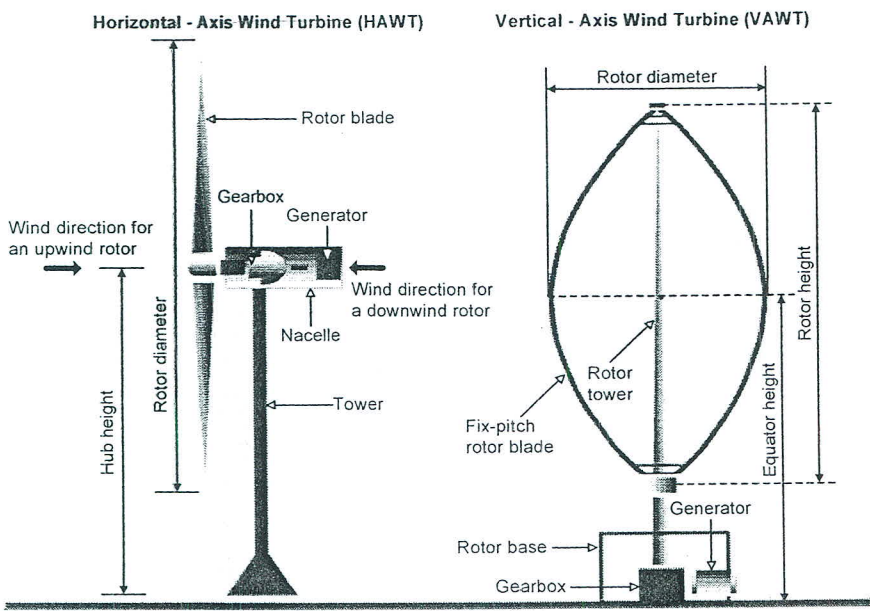
กังหันลมโดยทั่วไปจะมีรูปแบบพื้นฐานหลัก ๆ คล้าย ๆ กัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างในส่วนรายละเอียด การแบ่งประเภทของกังหันลมมักจะยึดเอาลักษณะการวางตัวของแกนเพลลาของกังหันลมเป็นหลัก ซึ่งประเภทหลักๆของกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอนและกังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2

2.1 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน (horizontal-axis type wind turbine, HAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนวางตัวอยู่ในทิศทางเดียวกับทิศทางของลม โดยมีใบเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม กังหันลมประเภทนี้ ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการนำมาใช้งานมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงแต่ต้องติดตั้งบนเสาที่มีความสูงมาก มีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับแรงลมได้ทุกทิศทางในแนวนอนตลอดเวลา อย่างไรก็ตามในรายละเอียดของรูปแบบองค์ประกอบ และลักษณะการทำงานของกังหันลมแบบนี้ที่นิยมใช้กันสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ [7, 12, 13] ได้แก่

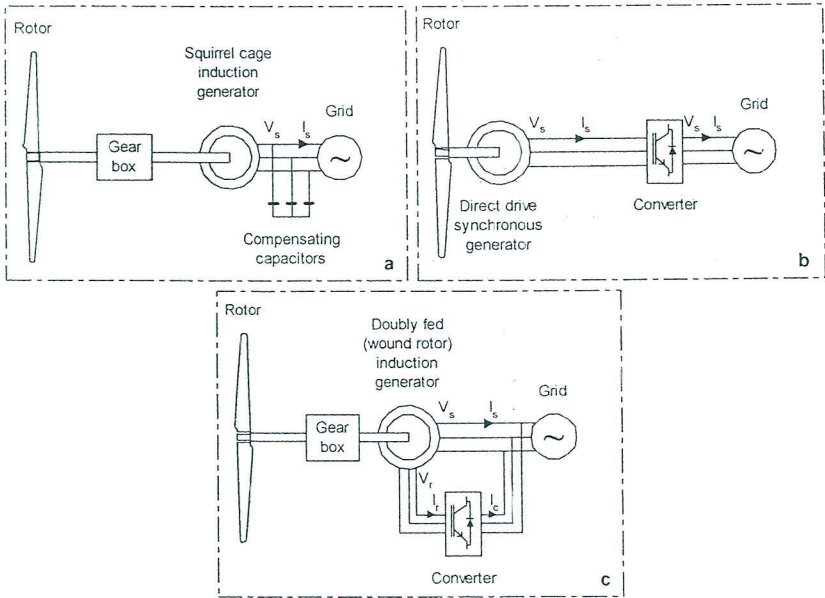
2.1.1 กังหันลมแบบความเร็วคงที่ (fixed speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล้องเกียร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (squirrel cage induction generator) ชุดสเตรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 3 a ในความเป็นจริงแล้วกังหันลมแบบนี้มีค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator slip) ไม่คงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าน้อยมากเพียง 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเรียกกังหันลมแบบนี้ว่าเป็นแบบความเร็วคงที่

2.1.2 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (variable speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล้องเกียร์ เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบบดับเบิลเฟด (doubly fed induction generator) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ชุดสเตรเตอร์ต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า กังหันลมชนิดนี้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วรอบและความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้ องค์ประกอบของกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ดังแสดงในภาพที่ 3 b

2.1.3 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (variable speed with direct drive) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสโดยตรงและมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า สำหรับการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า องค์ประกอบของกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรงดังแสดงในภาพที่ 3 c



ภาพที่ 2 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง [7]



ภาพที่ 3 องค์ประกอบกังหันลมแบบความเร็วคงที่ (a) กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (b) และกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (c) [7]

2.2 กังหันลมที่มีแกนเพลาลอยในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine, VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของลม ซึ่งสามารถรับลมได้ทุกทิศทางและติดตั้งอยู่ในระดับต่ำได้ กังหันลมแบบนี้ที่รู้จักกันดีคือกังหันลมแบบแดร์เรียส (darrieus) ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1920 ข้อดีของกังหันลมแกนตั้งคือ สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง มีชุดปรับความเร็ว (gear box) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถติดตั้งอยู่ที่ระดับพื้นล่างได้ นอกจากนี้ตัวเสาของกังหันลมยังไม่สูงมากนัก แต่มีข้อเสีย คือ ประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับกังหันลมที่มีแกนเพลาลอยแบบแกนนอน ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการใช้งานอยู่น้อย

3. ส่วนประกอบของกังหันลม

กังหันลมโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ คือ ใบพัด ระบบถ่ายทอดกำลังจากใบพัด ชุดควบคุมการบังคับทิศทางของใบพัดและเสาหรือหอคอย อย่างไรก็ตามในส่วนรายละเอียดของส่วนประกอบของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของกังหันลมนั้น เช่น ถ้าเป็นกังหันลมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตไฟฟ้าก็จะมีส่วนประกอบ รายละเอียด และเทคโนโลยีที่ซับซ้อนกว่ากังหันลมที่ใช้สำหรับการสูบน้ำ อย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดความเข้าใจในความแตกต่างของส่วนประกอบของกังหันลมแต่ละชนิด ในที่นี้จึงขอแยกกล่าวถึงส่วนประกอบของกังหันลมตามวัตถุประสงค์การใช้งานเป็น 2 กรณีคือ

3.1 ส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า จากการได้รับประโยชน์อย่างชัดเจนในการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า ทำให้เทคโนโลยีของกังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้ส่วนประกอบต่างๆของกังหันลมประเภทนี้มีค่อนข้างมากและมีความซับซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 4 ดังต่อไปนี้ [14]

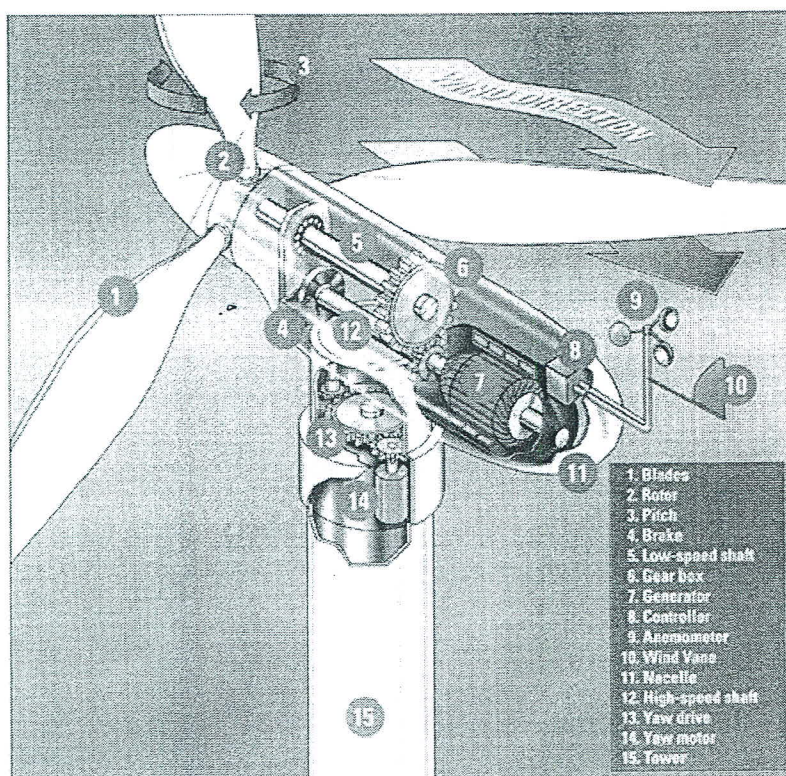
3.1.1 ใบพัด (blade) เป็นตัวรับพลังงานลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนเพลากลหมุน (rotor) ของใบพัด โดยใบพัดสามารถปรับทิศทางรับลมได้

3.1.2 ระบบเบรก (brake) เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลากลหมุนของกังหันลม

3.1.3 คันบังคับเพลากลหมุน (low speed shaft และ high speed shaft) เป็นส่วนที่คอยควบคุมความเร็วของเพลากลหมุนให้หมุนช้าหรือเร็วของใบพัด และส่งผ่านระบบส่งกำลัง

3.1.4 ห้องส่งกำลัง (gear box) เป็นระบบที่คอยปรับเปลี่ยนและควบคุมความสัมพันธ์ของความเร็วในการหมุนระหว่างเพลากลหมุนกับเพลากลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.1.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลที่ถูกส่งมาจากเพลากลหมุนของใบพัดเป็นพลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 4 ตัวอย่างส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า [14]

3.1.6 ตัวควบคุม (controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดความเร็วลม

3.1.7 ห้องเครื่อง (nacelle) เป็นห้องควบคุมขนาดใหญ่ อยู่ส่วนหลังของใบพัด ใช้บรรจุระบบต่างๆ เช่น ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบเบรก และระบบควบคุม

3.1.8 แกนคอกหมุนรับทิศทางลม (yaw drive) เป็นตัวควบคุมการหมุนของห้องเครื่อง เพื่อให้ใบพัดปรับรับทิศทางลม โดยมีมอเตอร์ (yaw motor) เป็นตัวช่วยในการปรับทิศทาง

3.1.9 เสาหรือหอคอย (tower) เป็นส่วนที่แบกรับอุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ข้างบน

นอกจากนี้ยังต้องมีระบบไฮดรอลิก (hydraulic system) ที่จะช่วยในการชะลอการหมุนและการหยุดหมุนของใบพัด ระบบระบายความร้อน (cooling system) มีไว้สำหรับการระบายความร้อนจากการทำงานของระบบซึ่งเกิดความร้อนจากการทำงานอย่างต่อเนื่อง และมีชุดเครื่องมือสำหรับการวัดความเร็วลม (anemometer) เพื่อวัดและเก็บข้อมูลความเร็วลมซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่กับชุดแพนหาง (vane)

3.2 ส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อการสูบน้ำ กังหัน ลม สูบ น้ำ เป็น กัง หัน ลม ที่มีแกนเพลลาอยู่ในแกนนอน มีส่วนประกอบและความซับซ้อนของเทคโนโลยีไม่มากนัก กังหันลมแบบนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยเหลือเกษตรกรที่ทำการเกษตรหรือปศุสัตว์ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ที่

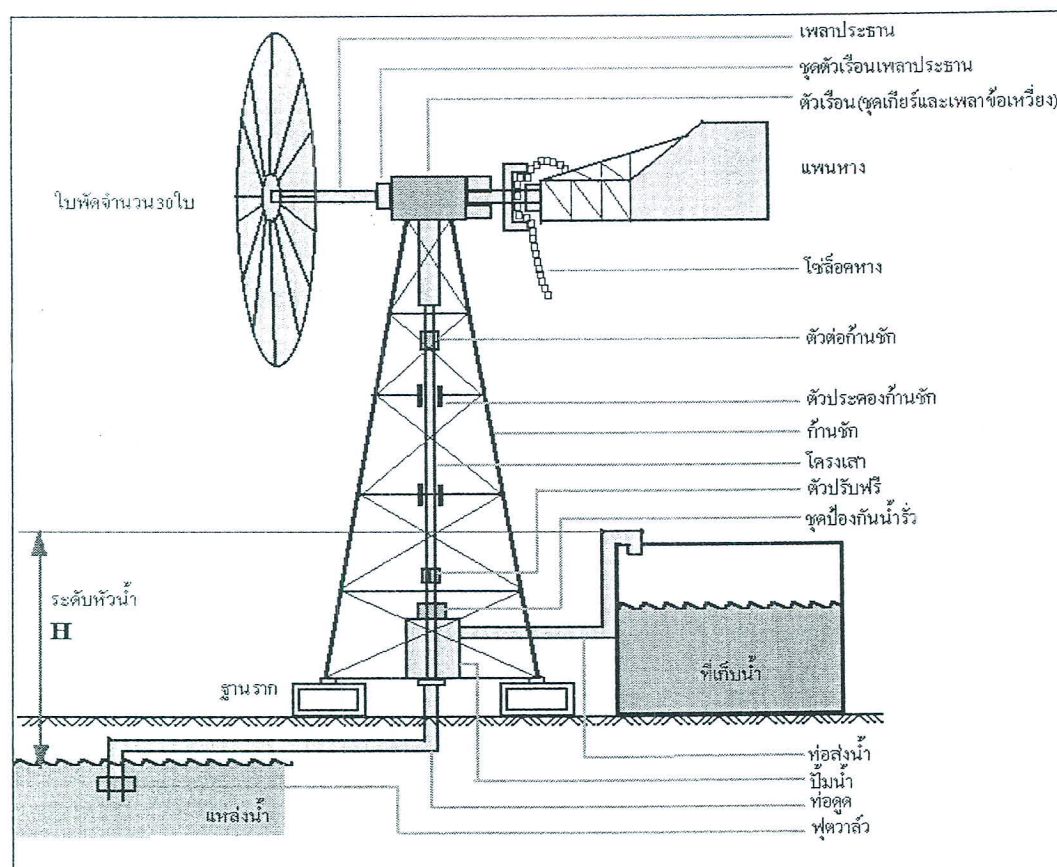
ห่างไกลในเขตชนบทและไม่มีไฟฟ้าใช้สำหรับการสูบน้ำ ตัวอย่างกังหันลมเพื่อการสูบน้ำและส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลมสูบน้ำดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ดำเนินการสร้างและทดลองใช้งานมีดังนี้ [1]

3.2.1 ใบพัด ทำหน้าที่รับแรงจากพลังงานลมแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานกลและส่งต่อไปยังเพลาประธานหรือเพลาหลัก

3.2.2 ตัวเรือน ประกอบไปด้วยเพลาประธานหรือเพลาหลัก ชุดตัวเรือนเพลาประธาน ซึ่งเป็นตัวหมุนถ่ายแรงกลเข้าตัวห้องเครื่องภายในห้องเครื่องจะเป็นชุดถ่ายแรงและเกียร์ที่เป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือแบบเฟืองขับ เพื่อเปลี่ยนแรงจากแนวราบเป็นแนวตั้งเพื่อดีงักขึ้นลง

3.2.3 ชุดเพนหาง ประกอบไปด้วยใบเพนหางทำจากเหล็กแผ่น ที่ทำหน้าที่บังคับตัวเรือนและใบพัดเพื่อให้หันรับแรงลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง

3.2.4 โครงเสา ทำด้วยเหล็กประกอบเป็นโครงถัก (truss structure) ความสูงของกังหันลมสูบน้ำมีความสำคัญอย่างมากในการพิจารณาติดตั้งกังหันเพื่อให้สามารถรับลมได้ดี กังหันลมแบบนี้มีความสูงประมาณ 12-15 เมตร และมีแกนกลางเป็นตัวบังคับก้านชักให้ชักขึ้นลงในแนวตั้ง



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อการสูบน้ำ [1]

3.2.5 ก้านชักทำด้วยเหล็กกลมตัน สำหรับรับแรงชักขึ้นลงในแนวดิ่งจากเฟืองขับที่อยู่ในตัวเรือน เพื่อทำหน้าที่ปั๊มอัดกระบอกสูบน้ำ

3.2.6 ปั๊มน้ำ ลูกสูบของกังหันลมสูบน้ำใช้วัสดุส่วนใหญ่เป็นทองเหลืองหรืออาจเป็นสแตนเลส ซึ่งมีความทนต่อการกัดและด่างสามารถรับแรงดูดและแรงส่งได้สูงมีหลายขนาดแต่ที่ใช้ทั่วไปมีขนาด 4.5-6 นิ้ว

3.2.7 ท่อน้ำ ส่วนใหญ่มักใช้ท่อ พีวีซี หรือท่อเหล็ก ที่มีขนาดประมาณ 2 นิ้ว

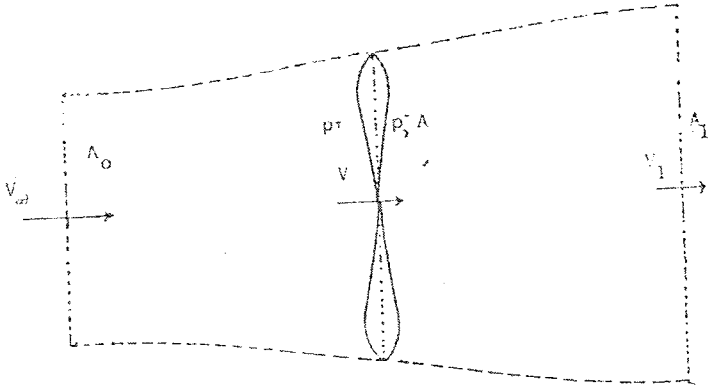
4. ทฤษฎีอากาศพลศาสตร์

ทฤษฎีใช้อธิบายอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมมี 2 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีโมเมนตัม (Momentum theory) และทฤษฎีอีลีเมนต์ของใบ (Blade elementary theory) ทฤษฎีโมเมนตัมวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมบนตัวกังหันลม ทฤษฎีอีลีเมนต์ของใบกล่าวถึงแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนใบกังหันแต่ละใบเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศและใบกังหัน เมื่อนำทฤษฎีทั้งสองมาวิเคราะห์ร่วมกันพบว่าสามารถทำนายสมรรถนะกังหันลมและนำมาใช้ออกแบบกังหันลมได้ [3,9]

4.1 ทฤษฎีโมเมนตัม (Momentum Theory) ทฤษฎีนี้แรงคิน (Rankine) ได้อธิบายเป็นคนแรกในปี พ.ศ. 2408 (ค.ศ. 1865) ฟรูด (Froude) ได้ปรับปรุงทฤษฎีนี้ในเวลาต่อมา เบ็ตซ์ (Betz) ได้ใช้ทฤษฎีทำนายประสิทธิภาพกำลังงานของกังหันลมในอุดมคติ ต่อมาได้มีการพิจารณานำเอาผลจากการหมุนของเวก (Wake Rotation) และการสูญเสียปลายใบ (Tip loss) รวมเข้าในทฤษฎีทำให้การทำนายสมรรถนะใกล้เคียงกับผลที่ได้จากภาคสนามและการทดสอบในอุโมงค์ลมมากขึ้น ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดดังนี้ [3,9]

4.1.1 ทฤษฎีโมเมนตัมในแนวแกน (Axial Momentum Theory) เป็นทฤษฎีที่อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมที่เกิดขึ้นบนกังหันลม พิจารณาอากาศที่ไหลผ่านกังหันลม ถ้าอากาศที่ไหลผ่านด้านหน้ากังหันลมมีแต่ความเร็วตามแนวแกนเท่านั้น แต่เมื่ออากาศไหลผ่านกังหันลมบริเวณด้านหลังของกังหันลมอากาศนั้นมีความเร็วทั้งในทิศทางตามแนวแกนและในทิศทางเชิงมุม เป็นโมเดลอย่างง่ายที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนกังหันลม โดยตั้งสมมุติฐานว่า

- 1) ตัวกลาง เป็นของไหลอัดตัวไม่ได้
- 2) ไม่มีแรงเสียดทานเนื่องจากแรงหน่วง
- 3) จำนวนใบกังหันลมเป็นอนันต์
- 4) ของไหลมีการไหลแบบเนื้อเดียวกันตลอด
- 5) ไม่มีการหมุนของเวก



ภาพที่ 6 ภาพแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศก่อนเข้าและหลังกังหันลมในแนวแกน
(Axial flow) A_0 , A , A_1 เป็นพื้นที่ภาคตัดขวางพลังงานลม [3]

กฎการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass)

$$\rho A_0 V_\infty = \rho A V = \rho A_1 V_1 \tag{2.1}$$

- เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ
- A_0 = พื้นที่ภาคตัดขวางของพลังงานลมด้านหน้ากังหัน
- A = พื้นที่ภาคตัดขวางของกังหันลม
- A_1 = พื้นที่ภาคตัดขวางของพลังงานลมด้านหลังกังหัน
- V = ความเร็วลม ก่อนเข้ากังหัน ณ. ตำแหน่งใดก็ตาม
- V_∞ = ความเร็วลมที่ไหลผ่านกังหัน
- V_1 = ความเร็วลม เมื่อผ่านกังหันออกมา ณ. ตำแหน่งใดก็ตาม

แรงขับเคลื่อนกังหันลมเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของมวลของอากาศที่ไหลเข้าและออกผ่านกังหันลม

$$T = \rho A_0 V_\infty^2 - \rho A_1 V_1^2 \tag{2.2}$$

- เมื่อ T = แรงขับเคลื่อน

แทนสมการ (2.1) ลงในสมการ (2.2)

$$T = \rho AV (V_\infty - V_1) \quad (2.3)$$

แรงรื้ดต้นกั้งหันลม อาจอธิบายได้ไ้ในเทอมของความดันที่กระทำด้านหน้าและด้านหลังของกั้งหันลม

$$T = (p^+ - p^-) A \quad (2.4)$$

สมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's equation) จากภาพที่ 6

พิจารณาจากตำแหน่งไกลมาก หน้ากั้งหันจนถึงตำแหน่งหน้ากั้งหันลม :

$$p + \frac{1}{2}\rho V_\infty^2 = p^+ + \frac{1}{2}\rho V^2 \quad (2.5ก)$$

พิจารณาจากตำแหน่งไกลมากหลังกั้งหันลมจนถึงตำแหน่งไกลมากหลังกั้งหัน :

$$p^- + \frac{1}{2}\rho V^2 = p + \frac{1}{2}\rho V_1^2 \quad (2.5ข)$$

จาก (2.5ก) และ (2.5ข) ได้

$$p^+ - p^- = \frac{1}{2}\rho(V_\infty^2 - V_1^2) \quad (2.6)$$

แทนสมการ (2.6) ในสมการ (2.4)

$$T = \frac{1}{2}\rho A(V_\infty^2 - V_1^2) \quad (2.7)$$

จากสมการ (2.3) และสมการ (2.7) หาความสัมพันธ์ได้

$$V = \frac{1}{2}(V_\infty - V_1) \quad (2.8)$$

สมมติให้

$$V = V_{\infty}(1 - a) \quad (2.9)$$

เมื่อ a คือเฟลคเตอร์เหนี่ยวนำตามแนวแกน (Axial induction factor)

ดังนั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ของความเร็วด้านหน้าและด้านหลังกังหันลมได้ดังนี้

$$V_1 = V_{\infty}(1 - 2a) \quad (2.10)$$

$$T = 2a(1 - a)\rho AV_{\infty}^2 \quad (2.11)$$

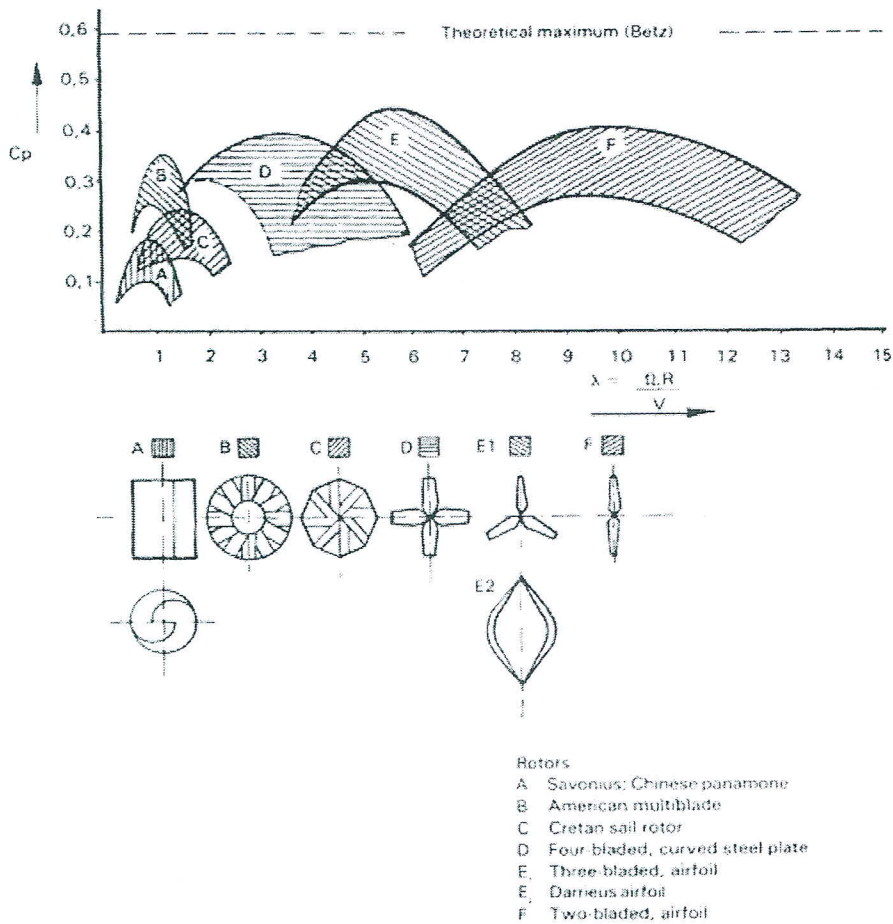
จากสมการ (2.11) สามารถหาค่ากำลังสูงสุดได้โดยหาอนุพันธ์ของสมการ (2.11) เทียบกับ a จะได้ค่า a ที่ให้ค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ $1/3$ นำค่า a แทนลงใน (2.11) จะได้สัมประสิทธิ์ของกำลัง (Power coefficient, C_p) เท่ากับ

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho AV_{\infty}^3} \quad (2.12)$$

ค่า C_p สูงสุดจะมีค่าเท่ากับ $\frac{16}{27}$ หรือ 0.5926 ซึ่งเรียกค่านี้ว่า สัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดของ Betz ดังแสดงในภาพที่ 7 สำหรับกังหันลมชนิดต่าง ๆ [11]

4.1.2 การหมุนของเวก (Wake Rotation) ถ้าหากพิจารณาบริเวณด้านหลังกังหันลมพบว่า การเคลื่อนที่ของอากาศมีการหมุนเวียนดังแสดงในภาพที่ 8 มีผลทำให้เกิดกำลังงานสูญเสีย ซึ่งมีค่ามากในกังหันลมประเภทที่มีอัตราส่วนความเร็วปลายใบต่ำ ส่วนกังหันลมที่มีอัตราส่วนความเร็วปลายใบสูง ค่าการสูญเสียจะมีค่าต่ำกว่า

ถ้า Ω เป็นความเร็วรอบของกังหันลม และ ω เป็นความเร็วเชิงมุมของเวก ดังนั้น เมื่อพิจารณาการหมุนของอากาศเทียบกับใบกังหัน จะพบว่าความเร็วเชิงมุมด้านหน้ากังหันลมมีค่า Ω และความเร็วเชิงมุมด้านหลังกังหันลมมีค่า $\Omega + \omega$



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบ [11]

สมการที่วิเคราะห์จากสมการเบอร์นูลลีตามสมการ (2.6) จึงเปลี่ยนไปเป็น

$$\begin{aligned}
 p^+ - p^- &= \frac{1}{2} \rho (\Omega + \omega)^2 r^2 - \frac{1}{2} \rho \Omega^2 r^2 \\
 &= \rho \left(\Omega + \frac{1}{2} \omega \right) \omega r^2
 \end{aligned}$$

แรงรัศมีที่เกิดขึ้นเขียนได้เป็น

$$dT = \rho \left(\Omega + \frac{1}{2} \omega \right) \omega r^2 2\pi r dr \quad (2.13)$$

ถ้า a' เฟลคเตอร์เหนี่ยวนำสัมผัสตามแนวแกน (Tangential induction factor)

$$a' = \frac{1}{2} \omega / \Omega$$

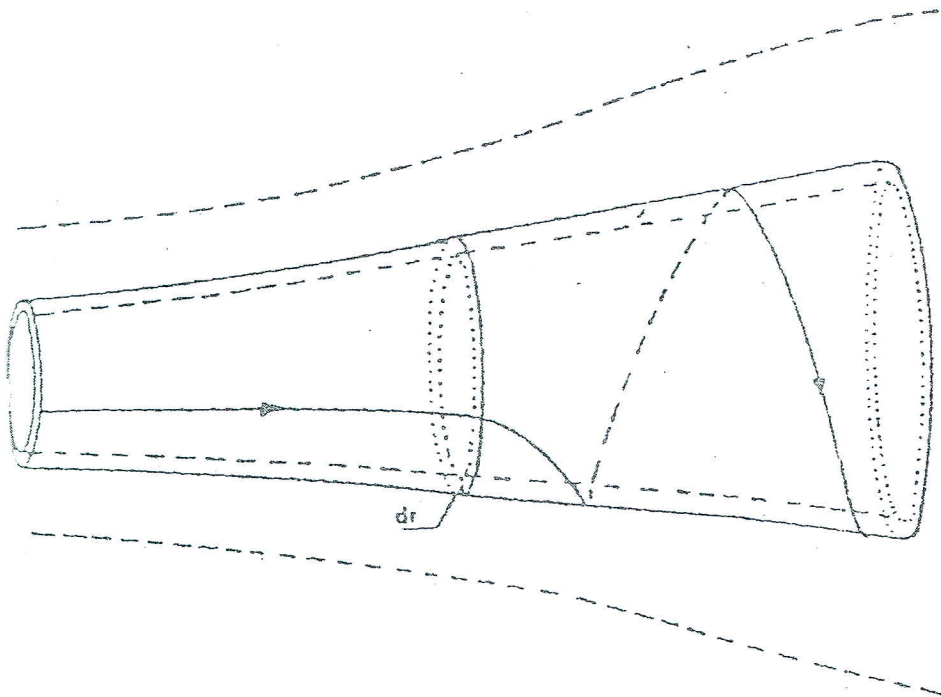
ดังนั้น
$$dT = 4a'(1 + a') \frac{1}{2} \rho \Omega^2 r^2 2\pi r dr \quad (2.14)$$

ทอร์ก (Torque) ที่เกิดขึ้นบนกังหันสามารถวิเคราะห์จากกฎการทรงโมเมนตัม รอบแกน

หมุน

$$dQ = (dm) \cdot \omega r \cdot r = \rho V 2\pi r \cdot dr \cdot \omega r \cdot r \cdot r$$

หรือ
$$dQ = 4a'(1 - a) \frac{1}{2} \rho V_\infty \Omega r^2 \cdot 2\pi r dr \quad (2.15)$$

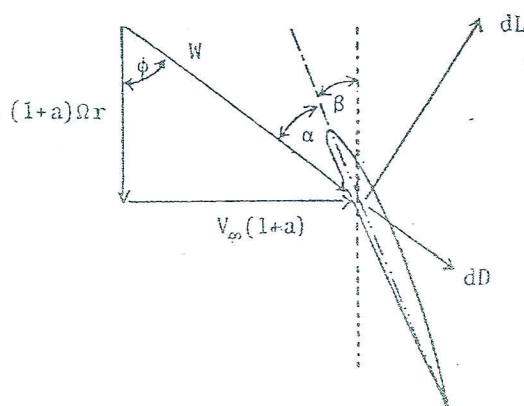


ภาพที่ 8 การเคลื่อนที่ของอากาศด้านหลังกังหันเกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนของกังหัน [3]

4.2 ทฤษฎีอีลิเมนต์ของใบ (Blade element theory) กล่าวถึงแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ใบกังหัน การนำทฤษฎีนี้มาใช้จำเป็นต้องทราบรายละเอียดของกังหัน ได้แก่ ความกว้างของใบ ความยาวของใบ จำนวนใบ มุมตั้งฉากของใบ ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยก และแรงหน่วงของใบ

สมมุติฐานของทฤษฎีอีลิเมนต์ของใบมีดังนี้

- 1) ใบกังหันแต่ละใบ ถือว่ามีอิสระแก่กัน ไม่มีผลรบกวนจากใบข้างเคียง
- 2) แรงที่กระทำบนใบนั้นมี 2 แรงคือ แรงยก (Lift force) และแรงหน่วง (Drag force) ของภาคตัดของใบ



ภาพที่ 9 เวกเตอร์ของความเร็วลมและแรงที่เกิดขึ้นบนโปรไฟล์ใบ [3]

แรงยกและแรงหน่วง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{แรงยก: } dL = C_L \frac{1}{2} \rho W^2 c dr \quad (2.16)$$

$$\text{แรงหน่วง: } dD = C_D \frac{1}{2} \rho W^2 c dr \quad (2.17)$$

แรงรัศมี และ ทอร์กที่เกิดขึ้นเขียนได้ดังนี้

$$\text{แรงรัศมี: } dT = Bc \frac{1}{2} \rho W^2 (C_L \cos \phi + C_D \sin \phi) dr \quad (2.18)$$

$$\text{ทอร์ก: } dQ = Bc \frac{1}{2} \rho W^2 (C_L \sin \phi - C_D \cos \phi) r dr \quad (2.19)$$

4.3 การสูญเสียปลายใบ (Tip loss) การสูญเสียเกิดขึ้นจากการแตกต่างของความดันบริเวณด้านหลังใบซึ่งมีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ และด้านท้องใบซึ่งมีความสูงกว่าบรรยากาศ ดังนั้นบริเวณปลายใบพบว่าเมื่ออากาศไหลวนจากความดันสูงไปหาความดันต่ำทำให้ความดันที่ปลายใบทั้งด้านหลังใบ และท้องใบมีค่าเข้าใกล้ ค่าความดันบรรยากาศมีผลให้แรงยกมีค่าต่ำลง เรียกผลที่เกิดขึ้นว่าการสูญเสียที่ปลายใบ

เพรนทอลล์ (Prandtl) ได้ให้สมการการสูญเสียปลายใบอยู่ในรูปของสมประสิทธิ์ F

$$F = \frac{2}{\pi} \arccos \exp \left(-\frac{1}{2} B_r \frac{R-r}{\sin \phi} \right)$$

เจนเซน (Jensen) ได้กล่าวถึงโมเดลของเพรนทอลล์และได้อธิบายถึงการลดรูปของสมการที่ติดอยู่ในเทอมเอ็กซ์โปเนนเชียลของรัศมี R และ r ให้อยู่ในรูปของค่าคงที่ ดังนี้

$$F = 1 - \frac{1.386}{B} \sin^2(\phi/2) \quad (2.20)$$

วิลสันและ ลิซซามัน (Wilson and Lissaman) สมมุติว่า แฟกเตอร์เหนี่ยวนำ a และ a' ต้องคูณกับ F และสมมุติว่าการสูญเสียปลายใบรวมอยู่ในสมการของทฤษฎีโมเมนตัมเท่านั้น

$$\text{ดังนั้น} \quad dT = 4aF(1 - aF) \frac{1}{2} \rho V_\infty^2 2\pi r dr \quad (2.21)$$

4.4 การรวมทฤษฎีโมเมนตัมและทฤษฎีอีลิเมนต์ของใบ เป็นการรวมทฤษฎีโมเมนตัมกับทฤษฎีอีลิเมนต์ของใบเข้าด้วยกัน เพื่อนำผลที่ได้จากทั้ง 2 ทฤษฎีไปใช้วิเคราะห์สมรรถนะของกังหันลม โดยพิจารณาแรงรัศมีและทอร์กของทฤษฎีโมเมนตัมเปรียบเทียบกับทฤษฎีอีลิเมนต์ของใบ

ทฤษฎีโมเมนตัม :

$$dT = 4a(1 - a) \frac{1}{2} \rho V_\infty^2 2\pi r dr$$

$$dT = 4a'(1 + a') \frac{1}{2} \rho \Omega^2 r^2 2\pi r dr$$

$$dQ = 4a'(1 - a) \frac{1}{2} V_\infty \Omega r 2\pi r dr$$

ในการทำงานเดียวกันกับสมการ (2.13) และสมการ (2.19) จะได้

$$\frac{4a'}{1+a'} = \frac{\sigma C_L}{\cos\phi}$$

เมื่อ σ คืออัตราส่วน โชลิดิตี (Solidity ratio)

$$\sigma = \frac{Bc}{2\pi r} \quad (2.27)$$

ดังนั้น สามารถหาทอร์คในรูปสัมประสิทธิ์ทอร์ค (C_q) ได้ดังนี้

$$C_q = \frac{Q}{\frac{1}{2}\rho A V_\infty^2}$$

ดังนั้น

$$dC_q = (1+a') \frac{\sigma C_L \sin\phi}{\cos^2\phi} \left(1 - \frac{C_d}{C_L} \cdot \frac{1}{\tan\phi}\right) \lambda_r^2 r \, dr \quad (2.28)$$

หรือ

$$dC_q = 2\sigma x^2 (\sin\phi + \lambda_r \cos\phi)^2 (C_L \sin\phi - C_d \cos\phi) \quad (2.29)$$

เมื่อ x คือ อัตราส่วนรัศมี

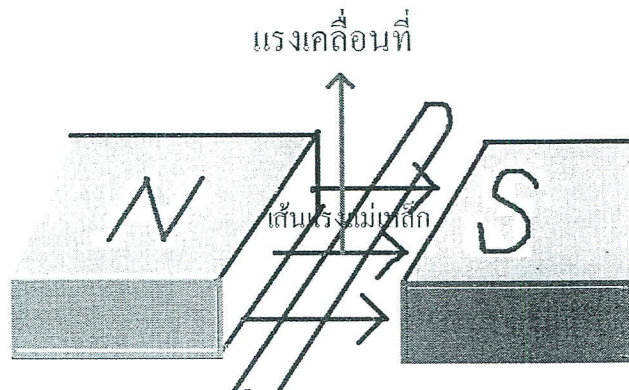
$$x = \frac{r}{R} \quad (2.30)$$

เมื่อ λ_r คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (TSR) ที่รัศมีใด ๆ

$$\lambda_r = \frac{\Omega r}{V} \quad (2.31)$$

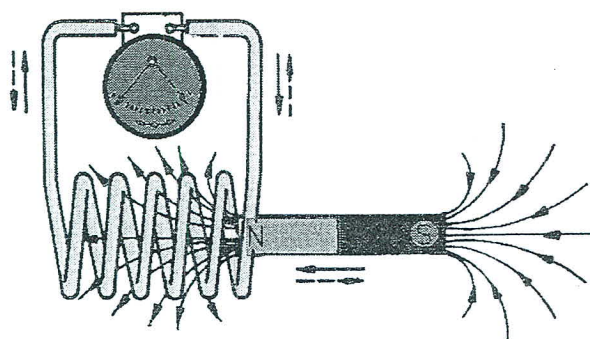
5. ทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

5.1 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า จากกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) กล่าวว่า “เมื่อสนามแม่เหล็กซึ่งตัดกับขดลวดตัวนำเกิดการเปลี่ยนแปลง จะทำให้มีแรงไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น” หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า “ถ้าเส้นลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในเส้นลวดตัวนำนั้น” [4]



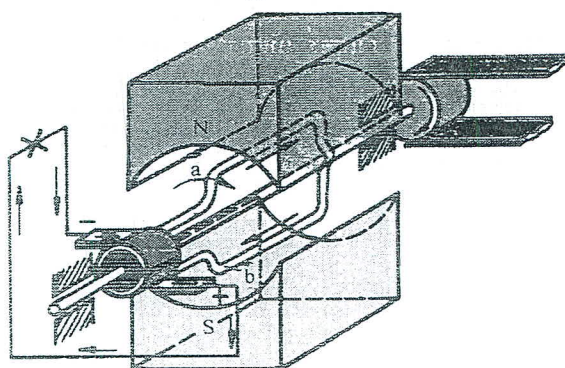
ภาพที่ 11 อธิบายกฎของฟาราเดย์

5.2 หลักการเบื้องต้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด จากกฎของฟาราเดย์หลักการนี้กำหนดให้ขดลวดอยู่กับที่และให้แม่เหล็กหมุนเคลื่อนที่ และต่อปลายทั้งสองเข้ากับขั้วของกัลวานอมิเตอร์ เมื่อทำให้ขั้วแม่เหล็กกลับไปกลับมาภายในขดลวด จะพบว่าเข็มของกัลวานอมิเตอร์แกว่งกลับไปกลับมาเช่นเดียวกันแสดงว่ามีกระแสสลับเกิดขึ้นแล้วบนขดลวด [4]



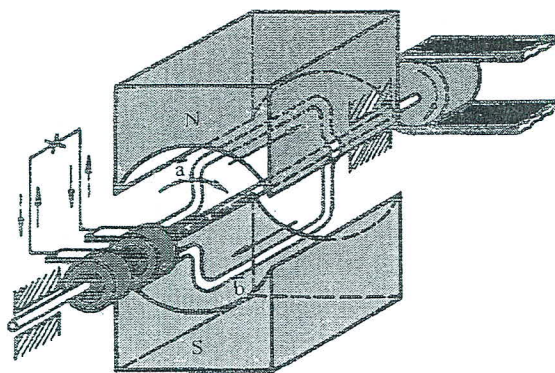
ภาพที่ 12 หลักการเบื้องต้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด

5.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยขดลวดเพียงขดเดียว (2 ตัวนำ) ซึ่งปลายทั้งสองต่อเข้ากับชี้ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เมื่อทำให้หมุนในสนามแม่เหล็ก N-S จะให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับบนตัวนำทั้งสองของขดลวด ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง และจะเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อผ่านชี้ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ [4]



ภาพที่ 13 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

5.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีลักษณะเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ต่างกันตรงที่ปลายสายทั้งสองของขดลวดต่อเข้ากับแหวนทองแดง หรือ สลิปริง (Slip Ring) จึงนำกระแสสลับที่ไ้กำเนิดบนตัวนำไปใช้โดยตรง ด้วยการต่อผ่านสลิปริง



ภาพที่ 14 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

5.5 การคำนวณแรงเคลื่อนไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำที่เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กที่ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_{av} = B_i l V_i \quad (2.32)$$

เมื่อ E_{av} = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (โวลต์)
 B_i = ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)
 l = ความยาวตัวนำ (เมตร)
 V_i = อัตราความเร็วในการเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก (เมตรต่อวินาที)

$$V_i = \frac{2\pi R_i S}{60} \quad (2.33)$$

เมื่อ V_i = อัตราความเร็วในการเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก (เมตรต่อวินาที)
 R_i = รัศมีของขดลวดตัวนำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (เมตร)
 S = ความเร็วรอบของเพลลา (รอบต่อวินาที)

นอกจากนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้ายังสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_{av} = 2nAB = \frac{\text{RPM}}{60} \quad (2.34)$$

เมื่อ E_{av} = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (โวลต์)
 B_i = ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)
 n = จำนวนรอบของขดลวด
 A = พื้นที่ทั้งหมดของสนามแม่เหล็ก (ตารางเมตร)

แรงดันสูงสุดจะมีค่าสูงกว่าแรงดันเฉลี่ยประมาณ 50 %

$$E_{peak} = 1.56 E_{av} \quad (2.35)$$

ถ้าขดลวดมีการต่อแบบ 3 เฟส ซึ่งโดยทั่วไปจะต่อแบบสตาร์ จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นอีกประมาณสแควร์รูทที่สามของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

$$E_{\text{peakstar}} = 1.73E_{\text{peak}} \quad (2.36)$$

5.6 กฎของโอห์ม (Ohm's Law) กฎของโอห์ม กล่าวไว้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ จะแปรผันตามแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม ปลายทั้งสองของตัวนำ และแปรผกผันกับค่าความต้านทานของตัวนำนั้น

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.37)$$

เมื่อ

- I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
- V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)
- R = ค่าความต้านทาน (โอห์ม)

5.7 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า (Power Electric) หมายถึงผลคูณระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

$$P = IV \quad (2.38)$$

เมื่อ

- P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
- I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
- V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

พลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) หมายถึง ผลคูณระหว่างกำลังไฟฟ้าและจำนวนเวลาที่ใช้งาน

$$E = PT \quad (2.39)$$

เมื่อ

- E = พลังงานไฟฟ้า (วัตต์-ชั่วโมง)
- P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
- T = เวลา (ชั่วโมง)

5.8 การหาค่าไฟฟ้าหรือหน่วยไฟฟ้า ค่าไฟฟ้า 1 หน่วย เท่ากับ 1 kWh หรือ1000 วัตต์-ชั่วโมง หมายถึง เครื่องใช้ไฟฟ้าที่กินไฟ 1000 วัตต์ในเวลา 1 ชั่วโมง หาได้จากสมการ

$$E_{unit} = \frac{PT}{1000} \tag{2.40}$$

- เมื่อ
- E_{unit} = หน่วยการใช้กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือหน่วย)
 P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
 T = จำนวนชั่วโมงการใช้งาน (ชั่วโมง)

5.9 กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้ หลังจากทราบว่าความเร็วลม และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน กังหันลมที่สร้างขึ้นจะต้องมีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าในปริมาณที่เหมาะสมกับการต้องการใช้ในแต่ละวัน ให้คิดเพื่อสำหรับการสูญเสียในระบบจากชุดแปลงกระแสไฟฟ้า 25%

$$P_w = 1.25 \frac{E}{h} \tag{2.41}$$

- เมื่อ
- P_w = กำลังไฟฟ้าของกังหันลม (วัตต์)
 E = พลังงานไฟฟ้า (วัตต์-ชั่วโมง)
 h = จำนวนชั่วโมงการทำงานของกังหันลม (ชั่วโมง)

5.10 ขนาดแบตเตอรี่ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าเพื่อสำรองในการใช้งาน เพราะการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมขึ้นอยู่กับความเร็วลม เพื่อให้เกิดการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อเนื่อง จึงต้องมีแบตเตอรี่จึงต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละวัน

$$A_h = \frac{EHx50\%}{V} \tag{2.42}$$

- เมื่อ
- A_h = ขนาดกระแสของแบตเตอรี่ (แอมแปร์-ชั่วโมง)
 E = พลังงานไฟฟ้า (วัตต์-ชั่วโมง)
 H = จำนวนชั่วโมงสำรองการใช้งาน (ชั่วโมง)
 50% = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงของแบตเตอรี่

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จินดาวุฒิ และคณะ [6] ได้ทดสอบสมรรถนะของกังหันลมชาโวนีเยสแบบแผ่นแบน ปลายโค้ง ซึ่งได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ทดสอบได้แก่ ฐานไว้สำหรับติดตั้งใบกังหัน และเครื่องมือวัดแรงบิด อุโมงค์ลม และเครื่องเป่าลม เครื่องเป่าลมนี้สามารถสร้างความเร็วลมได้ตั้งแต่ 2 ถึง 8 เมตรต่อวินาที ในการทดสอบใบกังหันลมแบบแผ่นแบนนี้จะทำการทดสอบโดยมีค่ารัศมีของแขนใบกังหันต่อรัศมีความโค้งมีค่าคงที่ โดยทำการเปลี่ยนค่ามุม θ เพิ่มขึ้นทีละ 15 องศา เริ่มที่ 30 องศาถึง 165 องศา และจำนวนใบพัดเป็น 2, 3, 4 และ 6 ใบ เราจะนำผลจากการทดสอบมาศึกษาและนำมาวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าของสมรรถนะได้จาก กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังของใบกังหัน และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเร็วลมปลายใบกับสัมประสิทธิ์กำลัง ซึ่งจากการทดสอบได้ว่าใบกังหันจำนวน 6 ใบ มุม 135 องศาจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

เสกสิทธิ์ และคณะ [10] ได้ศึกษาสมรรถนะของกังหันลมชาโวนีเยสชนิดมีช่องว่างตรงกลาง เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนารูปแบบกังหันลมในแนวตั้งต่อไป โดยตัวกังหันลมชาโวนีเยสทำด้วยเหล็ก มีขนาดเมื่อกางใบพัดเต็มที่ 0.5×0.5 m. รับความเร็วลมตั้งแต่ 2 – 8 m/s โดยใช้มอเตอร์ (Blower) เป็นตัวกำเนิดกระแสลม และใช้ท่อส่งลมเป็นตัวควบคุมกระแสลมให้เกิดความสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัดมายังตัวกังหัน ซึ่งให้กำลังสูงสุดที่ความเร็วลม 8 m/s 2 ใบพัด $a/r = 0.8$ จากการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ใบพัด พบว่าเมื่อความเร็วลมและ a/r เพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังของกังหันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

บุษกรชัย เกี้ยวสันเทียะ [9] ได้ทำการศึกษาจำนวนใบพัดและมุมติดตั้งใบพัดที่เหมาะสมเพื่อให้ชุดใบพัดกังหันลมซึ่งมีใบพัดแบบแผ่นเรียบมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนใบพัด 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24 และ 28 ใบ และปรับมุมติดตั้งใบพัดระหว่าง 15, 20, 25 และ 30 องศา แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานและค่าทางอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมได้สร้างจากทฤษฎีโมเมนตัมตามแนวแกนและทฤษฎีอีลิเมนต์ของใบ จากการศึกษาชุดใบพัดกังหันลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกังหัน 0.7 เมตร ใบพัดเป็นแบบแผ่นเรียบมีความกว้างของใบพัด 0.1 เมตร ความยาวใบพัด 0.2 เมตรหนา 1 มิลลิเมตร ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที พบว่า จำนวนใบพัดที่เหมาะสมสำหรับชุดใบพัดกังหันลมแบบแผ่นเรียบเท่ากับ 12 ใบพัด และมุมติดตั้งใบพัดที่เหมาะสมเท่ากับ 20 องศา โดยมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุดเท่ากับ 0.29 ที่อัตราส่วนความเร็วลมปลายใบประมาณ 1.6

ชโลธร ธรรมแท้ และ ทวิช จิตรสมบูรณ์ [6] ได้ทำการออกแบบกังหันลมแกนนอนด้วยวิธีเชิงทฤษฎีและเชิงตัวเลขถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อบูรณาการ การออกแบบกังหันลมแกนนอนตามหลักอากาศพลศาสตร์ หลักการคืออาศัยวิธีการคำนวณเชิงทฤษฎีที่คำนวณได้อย่างรวดเร็วในการค้นหาค่าที่เหมาะสมสำหรับกังหันลม และใช้วิธีเชิงตัวเลขที่มีความแม่นยำสูงกว่า ในการยืนยันหรือ

ปรับการออกแบบในเชิงทฤษฎี (หากจำเป็น) การออกแบบกังหันลมในที่นี้มีเป้าหมายในการออกแบบคือ ได้ประสิทธิภาพสูงที่ลมต่ำ และ ได้ Rated Power ที่ลมต่ำกว่า 10 m/s การออกแบบกังหันลมด้วยโปรแกรมเชิงทฤษฎีที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผลตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ และเมื่อสอบเทียบการออกแบบด้วยวิธีเชิงตัวเลขพบว่าประสิทธิภาพกังหันลมที่ได้มีความสอดคล้องกัน ทำให้กังหันลมที่ออกแบบมีความน่าเชื่อถือ

ชโลธร ธรรมแท้ และ ทวิช จิตรสมบูรณ์ [5] ได้ทำการวิเคราะห์อากาศพลศาสตร์ของใบกังหันลมด้วยทฤษฎี Strip ซึ่งสร้างจากการวิเคราะห์กฎอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และ โมเมนตัมเชิงมุมของ Strip ทำให้ได้ความสัมพันธ์ไปสู่การออกแบบมุมบิดของใบกังหันที่เหมาะสม ทำการเขียนโปรแกรมตามทฤษฎี Strip และทดสอบเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณเชิงทฤษฎีกับผลจากกังหันลมที่ได้มีการสร้างไว้แล้วพบว่าสอดคล้องกันดี และเมื่อใช้ทฤษฎีนี้ไปหาค่าที่เหมาะสมสำหรับมุมบิดที่ปลายใบและขนาดความโตของใบ พบว่าสามารถให้ประสิทธิภาพสูงสุดในทางทฤษฎีได้ถึง 41.46 % ขณะที่กังหันลมตัวเดิมมีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 30.18 % จึงนำไปออกแบบกังหันลมความเร็วต่ำสำหรับใช้ในประเทศไทย ซึ่งใบกังหันที่ออกแบบนี้ จะนำไปใช้สร้างเพื่อใช้งานจริงต่อไป

กังหันลม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกลโดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษ สำนับนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การสูบน้ำเพื่อการเกษตร และใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาจำนวนใบพัดและมุมตั้งใบพัดที่เหมาะสม เพื่อให้ชุดใบพัดกังหันลม ซึ่งมีใบพัดแบบแผ่นเรียบ มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนใบพัดและปรับมุมตั้งใบพัด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หา ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน และค่าทางอากาศพลศาสตร์ ของกังหันลมได้สร้างจากทฤษฎีโมเมนตัมตามแนวแกนและทฤษฎี อีลิเมนต์ ของใบ จากการศึกษาชุดใบพัดกังหันลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกังหัน 0.7 เมตร ใบพัดเป็นแบบแผ่นเรียบมีความกว้างของใบพัด 0.1 เมตร ความยาวใบพัด 0.2 เมตร หนา 1 มิลลิเมตร ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที พบว่า จำนวนใบพัดที่เหมาะสมสำหรับชุดใบพัดกังหันลมแบบแผ่นเรียบเท่ากับ 12 ใบพัด และมุมติดตั้งใบพัดที่เหมาะสมเท่ากับ 20 องศา โดยมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุดเท่ากับ 0.29 ที่อัตราส่วนความเร็วลมปลายใบประมาณ 1.6

ภคินี คลังนาถ [8] ได้ศึกษาการทำงานของกังหันลมชนิดผ้าใบแกนนอน โดยทำการศึกษารายละเอียดและโครงสร้างจากผู้ใช้และผู้ผลิต ได้ทำการวัดความเร็วลมและ ปริมาณน้ำ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและอัตราการไหลของน้ำ โดยความเร็วลมเฉลี่ยที่วัดได้มีค่าประมาณ 30 – 50 ลิตรต่อวินาที นำความสัมพันธ์ที่ได้มาแสดงในรูปของกราฟและสมการสุดท้ายได้ทำการออกแบบและจัดทำแบบจำลองเพื่อใช้ประกอบการศึกษาให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น