

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาสมรรถนะปล่องกังหันลมสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าตำราเอกสารต่าง ๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยจึงได้แบ่งหัวข้อเพื่อศึกษารายละเอียดดังต่อไปนี้

- 2.1 ลม
- 2.2 พลังงานลม
- 2.3 กังหันลม
- 2.4 ทฤษฎีกังหัน
- 2.5 ทฤษฎีกังหันไอน้ำ
- 2.6 ทฤษฎีสามเหลี่ยมความเร็ว
- 2.7 ปล่อง
- 2.8 ทฤษฎีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- 2.9 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์
- 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลม

2.1.1 หลักการของลม [2]

ลมเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศ และแรงจากการหมุนของโลก ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลมคือ ดวงอาทิตย์ ซึ่งเมื่อมีการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มายัง โลก แต่ละตำแหน่งบนพื้น โลกได้รับปริมาณความร้อนไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศในแต่ละตำแหน่ง บริเวณใดที่มีอุณหภูมิสูงหรือความกดอากาศต่ำอากาศในบริเวณนั้นก็จะลอยตัวสูงขึ้น อากาศที่บริเวณเย็นกว่าหรือมีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้คือการทำให้เกิดลม นั่นเอง และจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศทำให้เกิดพลังงานจลน์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้มากมาย

2.1.2 ลมบกและลมทะเล

ลมบกและลมทะเล (Land and Sea Breeze Winds) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิของบริเวณทะเลกับฝั่ง โดยลมทะเลจะเกิดในตอนกลางวัน เพราะบนฝั่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณในทะเลจึงทำให้

เกิดลมจากทะเลพัดเข้าสู่ฝั่ง ส่วนลมบกเกิดในเวลากลางคืน เพราะบริเวณในทะเลจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบนฝั่ง ทำให้เกิดลมจากฝั่งออกสู่ทะเล

2.1.3 ลมภูเขาและลมหุบเขา

ลมภูเขาและลมหุบเขา (Mountain and Valley Winds) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสันเขาและหุบเขา โดยลมภูเขาจะพัดจากสันเขาลงไปสู่หุบเขาในตอนกลางคืนเนื่องจากบริเวณสันเขาอยู่ที่สูงกว่าจึงเย็นเร็วกว่าหุบเขาดังนั้นจึงมีลมพัดลงจากยอดเขาสู่หุบเขา ส่วนลมหุบเขาจะพัดจากหุบเขาขึ้นไปสู่สันเขาโดยเกิดขึ้นในตอนกลางวัน เนื่องจากบริเวณหุบเขาเบื้องล่างจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ายอดเขาจึงมีลมพัดขึ้นไปตามความสูงของสันเขา นอกจากนี้ยังมีการเรียกชื่อลมตามทิศการเคลื่อนที่ในแต่ละฤดูกาล เช่น ลมมรสุม ซึ่งหมายถึงลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางกับการเปลี่ยนฤดูคือฤดูร้อนจะพัดอยู่ในทิศทางหนึ่งและจะพัดเปลี่ยนทิศทางเป็นตรงกันข้ามในฤดูหนาว

2.1.4 ลมมรสุมที่พัดผ่านประเทศไทย

ภูมิอากาศของประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของระบบลมสำคัญ ซึ่งพัดตามฤดูกาล คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมมรสุมเป็นลมที่เกิดเนื่องจากความแตกต่างความกดอากาศที่มีอยู่ในทวีปกับที่มีอยู่เหนือมหาสมุทร จึงทำให้เกิดมีลมพัดจากบริเวณความกดอากาศสูงไปยังบริเวณความกดอากาศต่ำเปลี่ยนตามฤดู

2.1.5 มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือปกติจะเริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคมไปจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ แต่บางปีอาจจะเลยไปถึงกลางเดือนมีนาคม ในช่วงระยะนี้ทางตอนในของทวีปเอเชียแถบประเทศจีนกลางเป็นบริเวณความกดอากาศสูงจึงเกิดมีลมหนาวเย็นและค่อนข้างแรงพัดเข้าสู่ประเทศไทย ซึ่งเป็นเขตความกดอากาศต่ำกว่า จัดเป็นช่วงฤดูหนาวของประเทศไทยที่มีอากาศเย็นและแห้งแล้งโดยทั่วไป แต่อุณหภูมิจะไม่ลดต่ำลงมาถึงจุดเยือกแข็ง ตามยอดเขาสูงๆ อาจเกิดเกล็ดน้ำแข็งได้แต่ไม่บ่อยนัก ยกเว้นทางภาคใต้ฝั่งตะวันออกเมื่อระลอกมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีกำลังแรงก็จะพัดผ่าน อ่าวไทยมาก่อน ทำให้ท้องฟ้ามีเมฆมากและมีฝนตกชุกตามชายฝั่งทะเลด้านนี้

2.1.6 มรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ปกติจะพัดตั้งแต่มิถุนายนไปจนถึงกลางเดือนกันยายน ส่วนทางภาคใต้มีมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะเริ่มประมาณต้นเดือนพฤษภาคมและไปสิ้นสุดกลางเดือนตุลาคม ลมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกใต้ในมหาสมุทรอินเดียและทวีปออสเตรเลีย เป็นลมทิศตะวันออกเฉียงใต้เมื่อพัดข้ามเส้นศูนย์สูตรจะเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้

ลมนี้มีความชุ่มชื้นเนื่องจากพัดผ่านทะเล เมื่อพัดเข้าสู่ประเทศไทยซึ่งเป็นเขตความกดอากาศต่ำกว่า จะทำให้มีเมฆมากและฝนตกทั่วไป จัดเป็นช่วงฤดูฝนของประเทศไทย บริเวณที่มีฝนตกมากกว่า บริเวณอื่น คือ บริเวณชายฝั่งทะเลและตามเทือกเขาด้านรับลม

2.2 พลังงานลม[3]

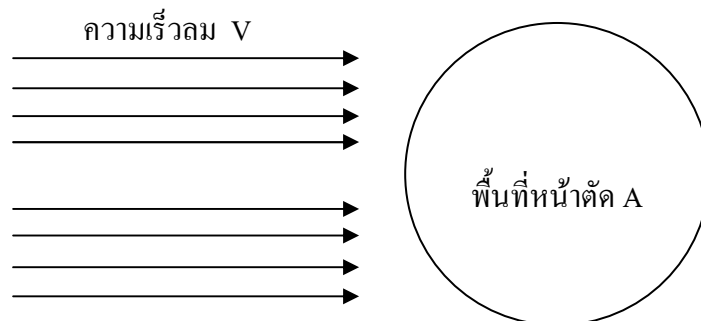
พลังงานจลน์ที่เกิดจากลม ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ เมื่อพิจารณาในรูปของสมการโดยพิจารณาว่า มวล m (kg) ถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V (m/s) ซึ่งได้สมการพลังงานจลน์ (E) ดังต่อไปนี้

$$E = \frac{1}{2} (mV^2) \quad (2.1)$$

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศมีหน่วยเป็น มวล/เวลา จะทำให้ลมในรูปของพลังงานจลน์ เปลี่ยนเป็นกำลังงานลม (P_w) ดังต่อไปนี้

$$P_w = \frac{1}{2} (mV^2) \quad (2.2)$$

ถ้าลมเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เราสามารถเขียนอัตราการไหลของอากาศเชิงมวลต่อเวลา ได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 ความเร็วลม V เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A [3]

$$P_w = \frac{1}{2} (\rho AV^3) \quad (2.3)$$

เมื่อ

- P_w คือ กำลังงานของลม (W)
- ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
- A คือ พื้นที่หน้าตัดของกังหัน (m^2)
- V คือ ความเร็วลม (m/s)

2.3 กังหันลม [1]

กังหันลม คือ เครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้จากนั้นนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์โดยตรงเช่นการบดสีเมล็ดพืชการสูบน้ำหรือในปัจจุบันใช้ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าการพัฒนากังหันลมเพื่อใช้ประโยชน์มีมาตั้งแต่ชนชาวอียิปต์โบราณและมีความต่อเนื่องถึงปัจจุบันโดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่างๆเพื่อให้ได้กำลังงานพลังงานและประสิทธิภาพสูงสุด

2.3.1 ประเภทของกังหันลม

กังหันลม โดยทั่วไปจะมีรูปแบบพื้นฐานหลักๆ คล้ายๆกัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างในส่วนของรายละเอียด ดังนั้นการแบ่งประเภทของกังหันลมมักจะยึดเอาลักษณะการวางตัวของแกนเพลลาของกังหันลมเป็นหลัก ซึ่งประเภทหลักๆของกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง และกังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน

2.3.2 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

กังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบหรือตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมนั่นเองโดยมีใบพัดยึดติดขนานกับแกนหมุนทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัดกังหันลมชนิดนี้สามารถรับแรงลมในแนวนอนได้ทุกทิศทางสามารถแยกได้ตามลักษณะแรงขับเคลื่อนที่เกิดจากกระแสลมได้ดังนี้

2.3.2.1 ชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงดูด (Primarily Drag-type) อาทิ กังหันลมแบบใบโค้งตัวเอสหลายใบ (S Multi-bladed) แบบกระดานใบจักรเรือ (Screened Paddlewheel) แบบลูกถ้วย (Cupped)



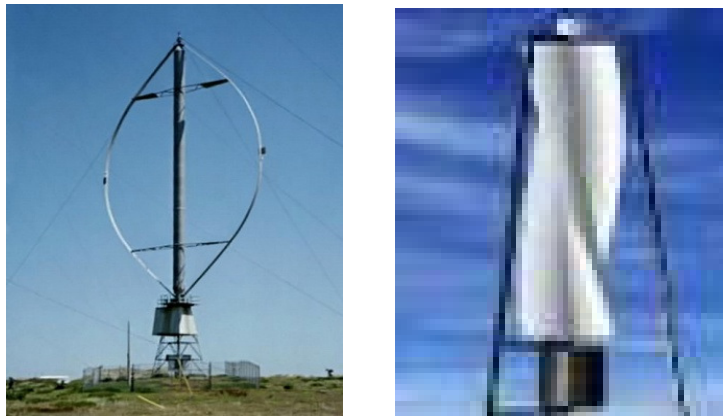
รูปที่ 2.2 ลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงดูด[1]

2.3.2.2 ชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงยก(Primarily Lift-type) อาทิ กังหันลมแบบแดร์เรีซ(Darrieus) แบบแนวตั้งรูปเอช (H-VAWT) แบบแนวตั้งรูปวี (V-VAWT) แบบกังหันบังกี (Banki Turbine)



รูปที่ 2.3 ลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงยก[1]

2.3.2.3 ชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงผสม(Combination) อาทิ กังหันลมแบบซาโวเนียส(Savonius) แบบซาโวเนียสแดร์เรีซ (SavoniusDarrieus)



รูปที่ 2.4 ลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงผสม[1]

2.3.3 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)

กังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับพื้นราบหรือขนานกับทิศทางเคลื่อนที่ของลมนั่นเอง โดยมีใบพัดยึดติดตั้งฉากกับแกนหมุนทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด อาทิ กังหันลมแบบใบเดี่ยว (Single Blade) แบบใบคู่ (Double Blade) แบบสามใบ (Three Blade) แบบหลายใบ (Multi Blade) แบบใบพัดหลายชุด (MultiRotor) แบบอัพวินด์ (Up-wind) แบบดาวน์วินด์ (Down-wind) เป็นต้น ปัจจุบันกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบสามใบพัดชนิดแกนหมุนแนวนอนมีการ

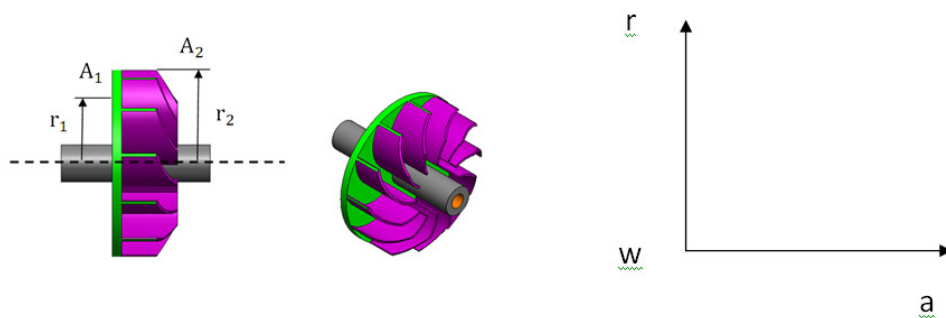
พัฒนาอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องได้รับความนิยมในการใช้งานและแพร่หลายในเชิงพาณิชย์และมีการใช้มากถึงร้อยละ 75 ของกังหันลมที่มีใช้งานในปัจจุบัน



รูปที่ 2.5 กังหันลมแกนหมุนแนวนอน[1]

2.4 ทฤษฎีกังหัน[4]

การแปลงพลังงานของกังหัน โดยอาศัยหลักการของกลศาสตร์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ หาความสัมพันธ์ระหว่างงานเพลหรืองานกล ที่ได้กับการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของกระแสการไหลที่วงล้อหรือแถวของใบพัดที่เคลื่อนที่หรือหมุนได้ดังนี้เพื่อความสะดวก สมมติให้ตัววงล้อใบพัดดังกล่าว มีลักษณะเป็นทรงกระบอกยึดติดกับเพลที่ศูนย์กลาง โดยมีช่องทางไหลสำหรับให้กระแสของไหลไหลผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แบบจำลองของวงล้อใบพัดที่หมุน (Rotor) [4]

กระแสของไหลภายหลังที่ขยายตัวในแถวใบพัดที่อยู่กับที่ หรือนอชเชิลแล้วจะมีความเร็วสูง C_1 ไหลเข้าช่องทางไหลในโรเตอร์ ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A_1 และไหลออกด้วยความเร็ว C_2 ที่พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งได้ฉากกับกระแสการไหล A_2 ทั้งนี้สมมติให้จุดศูนย์กลางของแต่ละ หน้าตัดอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางเพล r_1 และ r_2 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์แบบ 1 มิติ (One-dimension) โดยถือว่าสมบัติต่างๆ ของของ

ไหลแต่ละหน้าตัดมีค่าคงที่ จะได้ว่าการไหลผ่านชิ้นส่วนข้างต้น ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในกระแสดังกล่าว ซึ่งสามารถแยกพิจารณาออกได้เป็น 3 แขนงตั้งฉากกันดังนี้
ในแนวแกนเพลลาจะได้ว่า

$$F_a = \dot{m}(C_{2a} - C_{1a}) \quad (2.4)$$

เมื่อ

F_a คือ แรงที่กระทำต่อวงล้อในแนวแกนเพลลา (N)

\dot{m} คือ อัตราการไหล (kg/s)

C_{1a}, C_{2a} คือ องค์ประกอบของความเร็วของกระแสดังกล่าวในแนวแกนที่ทางเข้าและออกตามลำดับ(m/s)

ในแนวแกนตามปกติ นอกจากจะมีแรงนี้แล้ว ยังมีแรงเนื่องจากความดันที่ผิวหน้าทั้งสองของแป้นวงล้อมากระทำเสริมอีกคือ $P_1A_1 - P_2A_2$ ซึ่งทั้งหมดนี้จะถ่ายทอดไปยังเพลลาเป็นแรงรูน (thrust) ดังนั้น การออกแบบทั้ง ระบบจะต้องหาทางรองรับแรงนี้ มิฉะนั้นเพลลาจะขยับไปในแนวที่แรงกระทำ ยกเว้นผลกระทบข้างต้นแล้ว จะไม่มีงานกลเกิดขึ้นในทิศทางนี้ เนื่องจากชิ้นส่วนไม่มีการเคลื่อน ที่ในแนวที่แรงกระทำ

ในแนวรัศมีเนื่องจากรูปร่างของช่องทางไหลต่างๆที่จัดทำขึ้นใน โรเตอร์จริงจะมีลักษณะสมมาตร (Symmetry) รอบแกนหมุน ดังนั้นองค์ประกอบของแรงที่เกิดขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ของกระแสดังกล่าวในแนวรัศมี จึงหักล้างกันหมดเหลือแรงสุทธิเป็นศูนย์ประกบไม่มีการเคลื่อนที่ของแป้นหมุนในทิศทางนี้ดังนั้นจึงไม่มีงานกลเกิดขึ้นในแนวนี้เช่นกัน

ในแนวเส้นรอบวง องค์ประกอบของการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของกระแสดังกล่าว ในแนวเส้นรอบวงจะทำให้เกิดแรงสุทธิที่กระทำต่อแป้นในแนวนี้ ทำให้แป้นเคลื่อนที่หรือ หมุนซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ได้งานกลออกมาใช้ประโยชน์ ในการวิเคราะห์สามารถนำเอาทฤษฎีทางกลศาสตร์ที่เกี่ยวกับแรงบิด (Torque) และเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงมุมมาใช้ดังนี้

จากรูปที่ 2.6 เมื่อพิจารณาให้ $r_1 \neq r_2$ และในช่วงระยะเวลา δ_t สมมุติให้มีมวล δ_m ไหลผ่านเป็นหมุนดังกล่าว ความเร็วเข้าและออกจากแป้นหมุน อาจแตกเป็น 3 องค์ประกอบในแนวแกน รัศมีและเส้นรอบวงได้ดังนี้

$$C_1 = C_{1a} + C_{1r} + C_{1w} \quad (2.5)$$

และ

$$C_2 = C_{2a} + C_{2r} + C_{2w} \quad (2.6)$$

เมื่อพิจารณาเฉพาะการเคลื่อนที่ในแนวเส้นรอบวงมวล δ_m จะมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงมุมในช่วง $\delta_t = \delta_m(r_2 C_{2w} - r_1 C_{1w})$ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงบิดที่กระทำดังนี้

$$\delta T = \frac{\delta_m}{\delta_t} (r_2 C_{2w} - r_1 C_{1w}) \quad (2.7)$$

ซึ่งเมื่ออินทิเกรต (Integrate) แล้วจะได้

$$T = \dot{m}(r_2 C_{2w} - r_1 C_{1w}) \quad (2.8)$$

เป็นแรงบิดที่กระทำต่อของไหล หรือในทางกลับกัน

$$T = \dot{m}(r_1 C_{1w} - r_2 C_{2w}) \quad (2.9)$$

เป็นแรงบิดที่กระทำต่อเป็นหมุนตามหลักของแรงกระทำเท่ากับแรงปฏิกิริยาแรงบิดข้างต้นทำให้เป็นหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω ซึ่งจะทำให้งานกล

$$W = T\omega = \dot{m}\omega(r_1 C_{1w} - r_2 C_{2w}) \quad (2.10)$$

แต่ $r_1\omega$ และ $r_2\omega$ เป็นความเร็วเชิงเส้นของแป้นที่รัศมี r_1 และ r_2 ตามลำดับซึ่งให้เท่ากับ U_1 และ U_2 ตามปกติ สำหรับแป้นหมุน หรือวงล้อใบพัดกั้นส่วนใหญ่มักจะออกแบบให้ $r_1 = r_2 = r$ ดังนั้น

$$W = \dot{m}\omega(C_{1w} - C_{2w}) \quad (2.11)$$

ซึ่งสามารถใช้ได้ทั่วไป ไม่ว่าจะเป็น กังหันไอน้ำหรือ กังหันแก๊ส

2.5 ทฤษฎีสามเหลี่ยมความเร็ว[5]

ในการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องจักรกลของไหล ไม่ว่าจะเป็บปั๊ม คอมเพรสเซอร์ หรือกังหันสิ่งที่เป็นเครื่องมือ สำคัญในการวิเคราะห์ คือ สามเหลี่ยมความเร็ว (Velocity Triangle) ที่ทางเข้าและออกของใบพัด ความเร็วที่ประกอบกันเป็นสามเหลี่ยม ได้แก่ ความเร็วของใบพัด (U) ในแนวเส้นรอบวง ซึ่งถูกใช้เป็นฐานและแกนอ้างอิง (Frame of Reference) ด้วย ความเร็วสมบูรณ์ (C) และความเร็วของสารทำงานสัมพันธ์กับใบพัด (V) ในการพิจารณา แบบ 1-มิติ จะยึดเอาความเร็วต่าง ๆ ที่กึ่งกลางความยาว

เมื่อใช้กฎข้อที่ 1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์กับการไหลผ่านแฉกที่อยู่กับที่ จะได้

$$Q - W = \dot{m}(h_1 - h_2) + \frac{\dot{m}}{2}(C_1^2 - C_0^2) \tag{2.12}$$

Q ในที่นี้ ≈ 0 เนื่องจากมีความร้อนสูญเสีย้น้อยมาก

W = 0 เพราะชิ้นส่วนใบพัดไม่ได้เคลื่อนที่

ดังนั้น

$$h_1 - h_2 = \frac{1}{2}(C_1^2 - C_0^2) \tag{2.13}$$

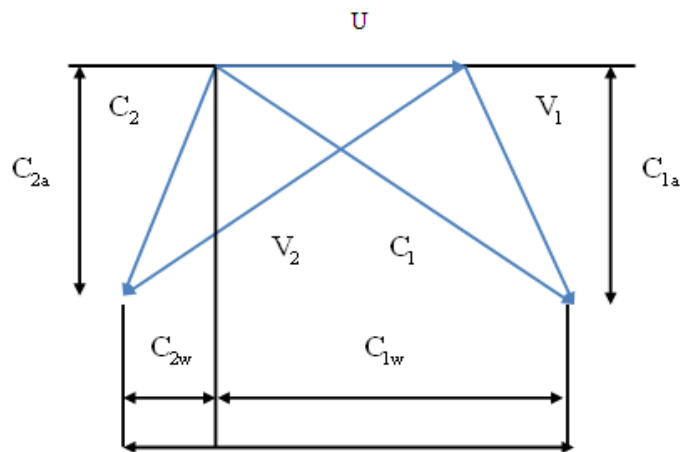
เช่นเดียวกัน เมื่อใช้กฎข้อที่ 1 กับแฉกที่เคลื่อนที่โดยถือว่าแกนอ้างอิง(Frame of Reference)เคลื่อนที่ไปกับใบพัดด้วยความเร็ว U ด้วยเช่นนี้ นอกจาก $Q = 0$ เหมือนใบพัดที่อยู่กับที่แล้ว $W = 0$ ด้วย เนื่องจากความเร็วใบพัดสัมพันธ์กับแกนอ้างอิง มีค่าเป็นศูนย์ ทั้งนี้เทอมของพลังงานจลน์ ที่ใช้ในสมการจะอยู่ในรูปของความเร็วสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q - W = 0 = \dot{m}(h_1 - h_0) + \frac{\dot{m}}{2}(V_1^2 - V_0^2)$$

หรือ

$$h_1 - h_2 = \frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) \tag{2.14}$$

เมื่อพิจารณาประกอบกับสามเหลี่ยมความเร็วที่ทางเข้าและออกของใบพัดที่เคลื่อนที่ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.8 สามเหลี่ยมความเร็วที่แฉกใบพัดเคลื่อนที่ [5]

$$\begin{aligned} W &= \dot{m}U(C_{1w} - C_{2w}) = \dot{m}U\Delta C_w \\ \dot{m}U(V_{1w} - V_{2w}) &= \dot{m}U\Delta V_w \end{aligned} \tag{2.15}$$

สังเกตว่า C_{1w} กับ C_{2w} และ V_{1w} กับ V_{2w} มีทิศทางตรงกันข้ามดังนั้น ΔC_w และ ΔV_w จึงเป็นผลบวกของเทอมที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในรูปที่ 2.8

เมื่อนำกฎข้อที่ 1 มาใช้กับแฉกที่เคลื่อนที่นี้โดยให้แกนอ้างอิงอยู่กับที่จะได้

$$-W = \dot{m}(h_2 - h_1) + \frac{\dot{m}}{2}(C_2^2 - C_1^2)$$

$$\text{หรือ} \quad = \dot{m}(h_1 - h_2) + \frac{\dot{m}}{2}(C_1^2 - C_2^2) \quad (2.16)$$

จากความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.14 สามารถเขียนสมการ 2.16 ใหม่ได้ดังนี้

$$W = \frac{\dot{m}}{2}(C_1^2 - C_2^2) + \frac{\dot{m}}{2}(V_2^2 - V_1^2) \quad (2.17)$$

ทั้งหมดนี้ชี้ให้เห็นว่านอกจากกฎข้อที่ 1 จะเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการวิเคราะห์แล้ว กฎทางกลศาสตร์ซึ่งอาศัยการพิจารณาสามเหลี่ยมความเร็วก็จัดว่ามีความสำคัญด้วย

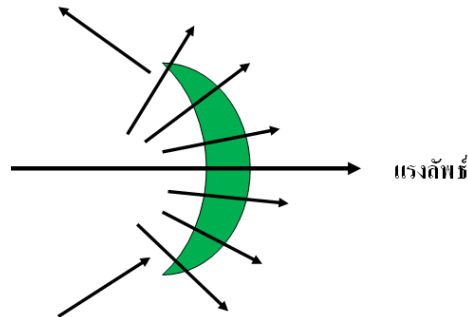
2.6 ทฤษฎีกังหันไอน้ำ[5]

ไอน้ำในขณะที่อยู่ในหม้อไอน้ำจะมีพลังงานจำนวนมากแฝงอยู่ และพลังงานนี้สามารถทำให้เกิดประโยชน์ได้มากมาย เช่น ให้ความร้อนแก่เครื่องจักรกล หรือผลิตไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ การที่จะทำให้ไอน้ำมีการเคลื่อนไหวได้ก็โดยการระบายไปสู่ปลายทางที่มีความดันต่ำ เช่น เปิดจากหม้อไอน้ำ ซึ่งมีความดันของไอน้ำสูง ส่งไปยังคอนเดนเซอร์โดยมีกังหันไอน้ำคั่นระหว่างช่วงความเร็วของไอน้ำที่วิ่งไปนั้น จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันเปรียบได้กับความเร็วของกระแสน้ำ จะไหลช้าหรือเร็วยอมแล้วแต่ความแตกต่างของระดับน้ำและขนาดของท่อกังหันไอน้ำจะอาศัยไอน้ำความดันสูงไหลผ่านหัวฉีด ทำให้เกิดความเร็วยิ่งสูงไปผลักใบของกังหันทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กังหันไอน้ำที่ได้รับกำลังทำให้หมุนได้ จากการเปลี่ยนของโมเมนตัมของลำของไหลที่วิ่งไปบนใบกังหัน ซึ่งไอน้ำที่พุ่งออกจากหัวฉีดแล้ววิ่งไปบนผิวโค้งของกังหัน จะออกกำลังผลักบนใบกังหัน ซึ่งแรงที่เหวี่ยงแรงเล็ก ๆ ต่างกับการกระทำกับใบกังหันในทิศทางตั้งฉากกับผิวโค้งของใบตลอดความยาวของปีก

จากรูปที่ 2.9 แรงย่อยสามารถรวมเป็นแรงลัพธ์ได้ และให้สังเกตว่าแรงที่กระทำไปใช้แรงที่เกิดจากกำลังสถิติหรือแรงกระทำของไอน้ำที่ออกจากหัวฉีด ทั้งนี้เพราะใบของกังหันถูกออกแบบให้ไอน้ำวิ่งวนไหลเวียนเรียบไปตามแนวบนผิวโค้ง ตลอดส่วนโค้งของปีก และลำที่ออกจากใบกังหันก็วิ่งไหล

เส้นเรียบไปตามผิวริมใบทางออกเช่นเดียวกับการที่รถแล่นไปนั้น จะมีแรงจากน้ำหนักของรถกระทำในทางตั้งฉากกับทิศทางของถนนนั้น โดยเป็นลักษณะของแรงเหวี่ยง

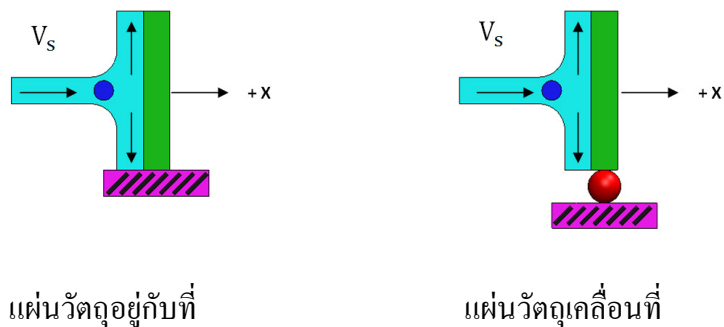


รูปที่ 2.9 แรงย่อยที่กระทำกับใบกังหันไอน้ำ [5]

กังหันแรงดลเป็นกังหันแบบพื้นฐานที่ประกอบไปด้วยโรเตอร์เพียงตัวเดียว หรือหลายเครื่องก็ได้ ในกรณีที่มีโรเตอร์หลายเครื่องเรียกว่าแบบผสม ซึ่งโรเตอร์แต่ละตัวจะต่อเชื่อมติดบนเพลาร่วม ใบกังหันประเภทนี้จะมีรูปร่างที่สมมาตรมีขนาดสั้นและเท่ากันตลอด ทั้งนี้เนื่องจากไอน้ำที่เข้ากังหันมีความดันสูง ทำให้ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (V) มีค่าน้อยมาก จะมีความต้องการพื้นที่ในการไหลไม่มาก โดยทั่วไปมุมของไอน้ำที่เข้า (ϕ) และออก (γ) จากใบกังหันมีค่าอยู่ประมาณ 20 องศา

2.6.1 กังหันแรงดลอย่างง่าย (Simple Impulse Turbine)

การที่จะทำให้ใบกังหันหมุนได้นั้นโดยอาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ซึ่งแรงที่กระทำกับใบกังหันคือแรงดล โดยพิจารณาแรงสูงสุดหรือแรงลัพธ์ ตามแกน X



รูปที่ 2.10 แรงดลของไหลที่กระทำต่อใบพัด [5]

จากรูปที่ 2.10 คือการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นเรียบที่หมุนและแผ่นเรียบที่อยู่กับที่ สามารถเขียนสมการอยู่ในรูปของการ เปลี่ยนแปลงโมเมนตัมหรือแรงดลคือ

$$F = \dot{m}(V_S - V_B) \tag{2.18}$$

เมื่อ

F คือ แรงดล (N)

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของลำของไหล (kg/s)

V_S คือ ความเร็วในแนวแรง (m/s)

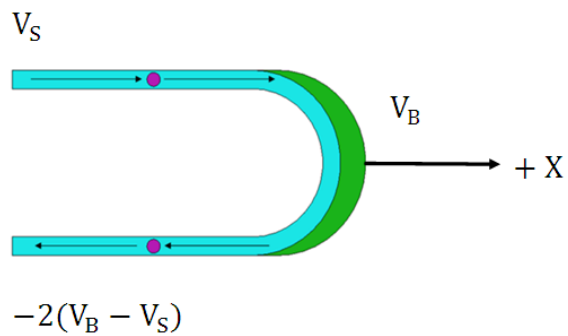
V_B คือ ความเร็วในแนวเรียบ (m/s)

กำลังหรืองานที่กระทำต่อหน่วยเวลา สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{W} = FV_B = \dot{m}V_B(V_S - V_B) \tag{2.19}$$

ความเร็วแผ่นเรียบที่เหมาะสม

$$V_B = V_{B,opt} = \frac{V_S}{2} \tag{2.20}$$



รูปที่ 2.11 การกระทบของลำของไหลบนใบพัดโค้ง 180 องศา[5]

ใบวิ่ง (Moving Blade) จากรูปที่ 2.11 ความเร็วสัมบูรณ์ของลำของไหลที่ออกเท่ากับ

$$F = \dot{m}(V_S - (2V_B - V_S)) \tag{2.21}$$

โดยที่

$$V_B - (V_S - V_B) = (2V_B - V_S)$$

จะได้

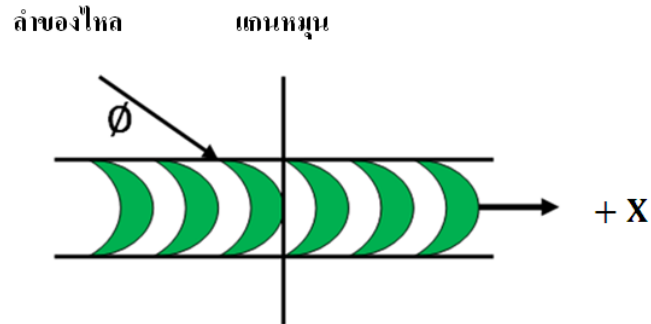
$$\dot{W} = FV_B = 2\dot{m}V_B(V_S - V_B) \tag{2.22}$$

โดยที่ V_B คือ ความเร็วใบกังหัน (m/s)

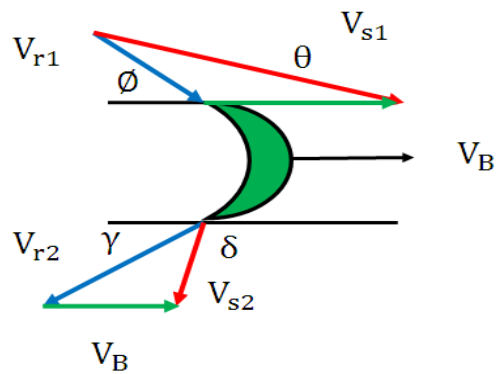
\dot{W} คือ กำลัง (W)

$$\dot{W}_{max} = \frac{1}{2}\dot{m}V_S^2 = \frac{\dot{m}V_S^2}{2} \tag{2.23}$$

โดยที่ V คือความเร็วของใบกังหันซึ่งจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วลำไอน้ำไคอะแกรมของความเร็ว เป็นการนำเวกเตอร์ของความเร็วรวมเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แกวของใบพัดอิมพัลซ์บนวงล้อ [5]



รูปที่ 2.13 ไคอะแกรมความเร็วของใบกังหันและสามเหลี่ยมความเร็วของกังหัน [5]

เมื่อ

- V_B คือ ความเร็วของใบพัด(m/s)
- V_{s1} คือ ความเร็วสัมผัสของของไหลที่ออกจากหัวฉีด(m/s)
- V_{s2} คือ ความเร็วสัมผัสของของไหลออกจากใบกังหัน (m/s)
- V_{r1} คือ ความเร็วสัมผัสของของไหลเข้าใบพัด(m/s)
- V_{r2} คือ ความเร็วสัมผัสของของไหลออกจากใบพัด (m/s)
- θ คือ มุมหัวฉีด(องศา)
- ϕ คือ มุมทางเข้าใบกังหัน(องศา)
- γ คือ มุมทางออกใบกังหัน(องศา)
- δ คือ มุมทางออกของไหล(องศา)

ในการวิเคราะห์แรงคลพื้นฐาน จะวิเคราะห์ในแนวแกน X ซึ่งจะมีความเร็วที่ทางออกจากหัวฉีดและไปกั้นหันในทิศทาง $\cos \theta$ และ $\cos \delta$ ตามลำดับจะได้

$$F = \dot{m}(V_{s1} \cos \theta - V_{s2} \cos \delta) \tag{2.24}$$

หรือ $F = \dot{m}(V_{r1} \cos \varphi - V_{r2} \cos \gamma)$ เมื่อ $\gamma < 90^\circ$

ความเร็วของไอ้ในทิศทางเคลื่อนที่ของใบกั้นเรียกว่าความเร็วของการหมุนวงล้อจะได้

$$V_{w1} = V_{s1} \cos \theta$$

$$V_{w2} = V_{s2} \cos \delta$$

ดังนั้น $F = \dot{m}(V_{w1} - V_{w2})$

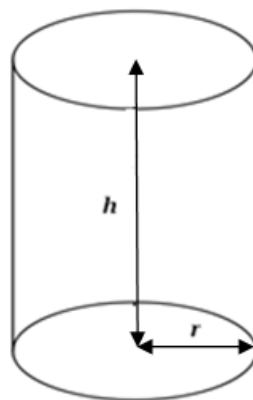
งาน $W = \dot{m} V_B (V_{s1} \cos \theta - V_{s2} \cos \delta) \tag{2.25}$

2.7 ปล่อง[6]

ปล่อง คือ สิ่งที่มีรูปทรงกลวงคล้ายท่อหรือรู ลักษณะเมื่อถูกตั้งขึ้นจะมีช่องเปิดทะลุด้านบน สำหรับปล่อยควันหรือลมออก

2.7.1 ปล่องทรงกระบอก

ปล่องทรงกระบอกเป็นทรงสามมิติที่มีฐานเป็นวงกลมที่เท่ากันและอยู่ในระนาบที่ขนานกัน ถ้าตัดทรงสามมิติด้วยระนาบที่ขนานกับฐาน จะได้รอยตัดที่เป็นวงกลมที่เท่ากันทุกประการ



รูปที่ 2.14 ปล่องรูปทรงกระบอก[6]

จากสูตร

$$\text{พื้นที่ผิวข้าง} = 2\pi r h$$

$$\text{พื้นที่ผิว} = 2\pi r(h + r)$$

$$\text{ปริมาตรทรงกระบอก} = \pi r^2 h$$

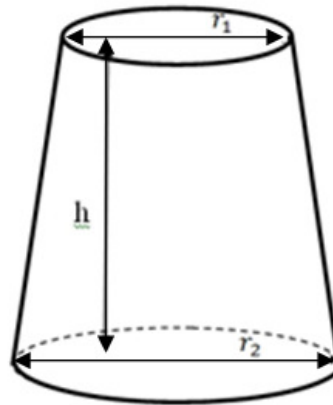
เมื่อ

r คือ รัศมี (m)

h คือ ความสูง (m)

2.7.2 ปล่องทรงกรวย

ปล่องทรงกรวยเป็นรูปเรขาคณิตสามมิติที่มีฐานเป็นรูปวงกลม มียอดแหลมที่ไม่อยู่ในระนาบเดียวกับฐานและเส้นที่ต่อระหว่างจุดยอดกับจุดใดๆ บนขอบของฐานเป็นส่วนของเส้นตรงเรียกรูปเรขาคณิตสามมิตินั้นว่า กรวย



รูปที่ 2.15 ปล่องรูปทรงกรวย[6]

จากสูตร

$$\text{พื้นที่ผิวข้างกรวย} = \pi r l$$

$$\text{พื้นที่ฐานกรวย} = \pi r l(h + r)$$

$$\text{ปริมาตรทรงกระบอก} = \pi r l + \pi r^2$$

เมื่อ

r_1 คือรัศมีด้านบน (m)

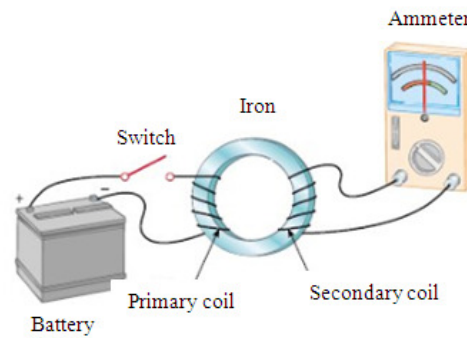
r_2 คือรัศมีด้านล่าง (m)

h คือความสูง (m)

2.8 ทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า[7]

2.8.1 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

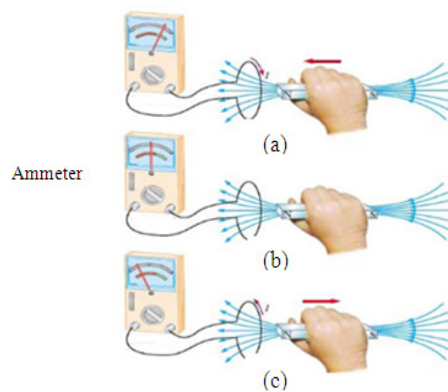
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า จากกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) กล่าวไว้ว่า “ เมื่อสนามแม่เหล็กซึ่งตัดกับขดลวดตัวนำเกิดการเปลี่ยนแปลง จะทำให้มีแรงไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น ” หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า “ ถ้าขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในเส้นลวดตัวนำนั้น ”



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของฟาราเดย์ [7]

2.8.2 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด

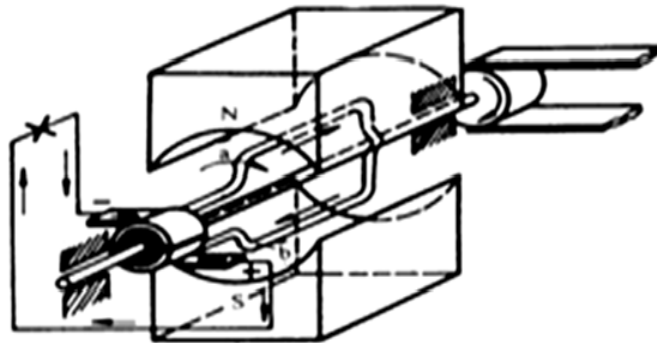
จากกฎของฟาราเดย์หลักการนี้กำหนดให้ขดลวดอยู่กับที่และให้แม่เหล็กหมุนเคลื่อนที่ และต่อปลายทั้งสองเข้ากับขั้วของกัลป์วานอมิเตอร์ เมื่อทำให้ขั้วแม่เหล็กกลับไปกลับมาภายในขดลวด จะพบว่าเข็มของกัลวานอมิเตอร์แกว่งกลับไปกลับมาเช่นเดียวกันแสดงว่าไฟฟ้ากระแสสลับเกิดขึ้นแล้วบนขดลวด



รูปที่ 2.17 หลักการเบื้องต้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด [7]

2.8.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

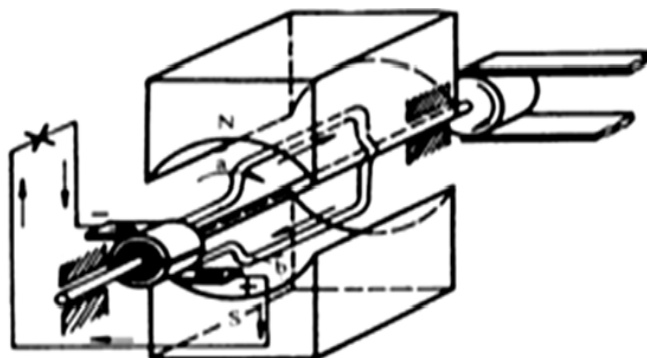
หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยขดลวดเพียงขดเดียว (2 ตัวนำ) ซึ่งปลายทั้งสองต่อเข้ากับซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เมื่อทำให้หมุนในสนามแม่เหล็ก N-S จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับบนตัวนำทั้งสองของขดลวด ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง และจะเปลี่ยนเป็นกระแสตรงเมื่อผ่านซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์



รูปที่ 2.18 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง [7]

2.8.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีลักษณะเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ต่างกันที่ปลายสายทั้งสองของขดลวดต่อเข้ากับแหวนทองแดง หรือสลีปริง (Slip Ring) จึงนำกระแสสลับที่กำเนิดบนตัวนำไปใช้โดยตรง ด้วยการต่อผ่านสลีปริง



รูปที่ 2.19 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ [7]

2.8.5 การคำนวณแรงเคลื่อนไฟฟ้า

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำที่เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_{av} = B_i l V_i \quad (2.26)$$

เมื่อ

- E_{av} คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
 B_i คือ ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (wb/m²)
 l คือ ความยาวตัวนำ (m)
 V_i คือ อัตราความเร็วในการเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก(m/s)

$$V_i = \frac{2\pi R_i S}{60} \quad (2.27)$$

เมื่อ

- V_i คือ อัตราความเร็วในการเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก(m/s)
 R_i คือ รัศมีของขดลวดตัวนำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(m)
 S คือ ความเร็วรอบของเพลลา (rpm)

นอกจากนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้ายังสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_{av} = 2naB_i \left(\frac{\text{rpm}}{60} \right) \quad (2.28)$$

เมื่อ

- E_{av} คือ อัตราความเร็วในการเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก(m/s)
 B_i คือ ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (wb/m²)
 N คือ ความเร็วรอบของเพลลา(rpm)
 A คือ พื้นที่ทั้งหมดของสนามแม่เหล็ก (m²)

แรงดันสูงสุดจะมีค่าสูงกว่าแรงดันเฉลี่ย ประมาณ 50%

$$E_{Peak} = 1.56E_{ave} \quad (2.29)$$

ถ้าขดลวดมีการต่อแบบ 3 เฟส ซึ่งโดยทั่วไปจะต่อแบบสตาร์ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมปลายทั้งสองของตัวนำ และแปรผันกับค่าความต้านทานของตัวนำนั้น

$$E_{peakstar} = 1.73E_{peak} \quad (2.30)$$

2.8.6 กฎของโอห์ม (Ohm 's Law)[8]

กฎของโอห์ม กล่าวว่าไว้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ จะแปรผันตามแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมปลาย ทั้งสองของตัวนำ และแปรผันผกผันกับค่าความต้านทานของตัวนำนั้น

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.31)$$

เมื่อ

I	คือ	กระแสไฟฟ้า (A)
V	คือ	ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (V)
R	คือ	ค่าความต้านทาน (Ω)

2.8.7 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (Power Electric) หมายถึง ผลคูณระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

$$P = VI \quad (2.32)$$

เมื่อ

P	คือ	กำลังไฟฟ้า (W)
V	คือ	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)
I	คือ	กระแสไฟฟ้า (A)

พลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) หมายถึง ผลคูณระหว่างกำลังไฟฟ้าและจำนวนเวลาที่ใช้งาน

$$E = PT \quad (2.33)$$

เมื่อ

E	คือ	พลังงานไฟฟ้า (W)
P	คือ	กำลังไฟฟ้า (W)
T	คือ	เวลา (h)

2.9 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ [9]

ในการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ มาใช้งาน มักพิจารณาการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ โดยอาจจะพิจารณาจากผลตอบแทนที่ได้รับมากที่สุด หรือค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ซึ่งในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบดังนี้

1. เงินลงทุนครั้งแรก (First cost)
2. อัตราดอกเบี้ยรายปี (Annual Interest Rate)

3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและซ่อมบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Coct)
4. มูลค่าซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน (Salvage Value)
5. รายได้ (Income)
6. อายุการใช้งาน (Life Time)

2.9.1 การหาค่ามูลค่าเงินในอนาคต

$$R = P(1 + i)^n \quad (2.34)$$

เมื่อ

R	คือ	มูลค่าเงินในอนาคต
P	คือ	มูลค่าเงินปัจจุบัน
I	คือ	อัตราดอกเบี้ยรายปี
N	คือ	จำนวนปี

2.9.2 ค่าใช้จ่ายรวมรายปี

$$C = Cc + Cf + Com \quad (2.35)$$

เมื่อ

C	คือ	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด
Cc	คือ	ค่าใช้จ่ายในด้านการลงทุน
Cf	คือ	ค่าใช้จ่ายในด้านการเช่าเพลิง
Com	คือ	ค่าใช้จ่ายในด้านการบำรุงรักษา

2.9.3 ค่าเสื่อมราคารายปี

$$BT = \frac{P - S}{N} \quad (2.36)$$

เมื่อ

T	คือ	ค่าเสื่อมราคารายปี
P	คือ	การลงทุนเบื้องต้น
S	คือ	มูลค่าซาก
N	คือ	จำนวนปีที่ทำงาน

2.9.4 ค่าเสื่อมราคาในแต่ละปี

$$t = \frac{2(N-t+1)(P-S)}{\{N(N+1)\}} \quad (2.37)$$

เมื่อ

t	คือ	ปีที่ต้องการ
N	คือ	ปีที่พิจารณา
P	คือ	ค่าลงทุนเบื้องต้น
S	คือ	มูลค่าซาก

2.9.5 อัตราการคืนทุน

$$ROI = \frac{ANB - (T + C) \times 100\%}{P} \quad (2.38)$$

เมื่อ

ROI	คือ	อัตราการคืนทุน
ANB	คือ	ผลตอบแทนรายปี
T	คือ	ค่าเสื่อมราคารายปี
C	คือ	ค่าใช้จ่ายรายปี
P	คือ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำเร็จ แพ่งศรี [10] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง พัฒนาเครื่องต้นแบบการใช้พลังงานลมผลิตไฟฟ้า เพื่อให้เครื่องกังหันต้นแบบสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามปริมาณอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า และนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์กับอุปกรณ์ไฟฟ้าจากการวิจัยพบว่าใบกังหันหมุนผลิตไฟฟ้าได้ที่ความเร็วรอบของใบพัด 12rpm ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 4m/s แรงเคลื่อนที่ผลิตได้ 13V

ยุทธชัย เกี้ยวสันเทียะ และสมพงษ์ พิเชษฐภิญโญ [11] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการศึกษาและพัฒนา กังหันสำหรับการสูบน้ำในประเทศไทย เพื่อเป็นการศึกษาหาสมรรถนะของกังหันลมแบบแกนอน ที่มีใบพัดเป็นลักษณะแผ่นโค้ง โดยมีอัตราส่วนความโค้ง 0.07 และหาประสิทธิภาพ รวมทั้งระบบ โดยนำเครื่องสูบน้ำต่อเข้ากับกังหันลมชนิดนี้ รวมถึงประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุนของ กังหันลมและเครื่องสูบน้ำ จากการทดลองพบว่าใบพัดที่เหมาะสมสำหรับกังหันลมชนิดนี้เท่ากับ 12 ใบ และเมื่อมีความเร็วลม 2m/s สามารถสูบน้ำที่ความสูง 2m ได้ 3.5LPM และสามารถ

คำนวณหาประสิทธิภาพรวมได้ 0.0689 เมื่อคิดผลตอบแทนจากปริมาณน้ำที่ได้เทียบกับอายุการใช้งานของกังหันลม 10 ปี จะได้ต้นทุนในการสูบน้ำ 1m^2 คือ 4.5 บาท

ปริญญ์ พรหมรักษ์, เทียนชัย นานุดดา และ วุฒทวิ ภัคดี [7] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการปรับปรุงและพัฒนาาระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ได้ทำการปรับปรุงกังหันลมของเดิมที่ชำรุดให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ใหม่โดยใช้กังหันลมชนิดแกนนอน มีใบพัด ขนาด 200cm จำนวนใบพัด 3 ใบ โดยใช้อัลเตอเนเตอร์รถยนต์เป็นตัวผลิตไฟฟ้า ผลการทดลองพบว่ากังหันลมเริ่มทำงานได้ที่ความเร็วลม 5.1m/s และพบว่าเมื่อความเร็วลมเท่ากับ 8m/s จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพคือ 12Vและที่ความเร็วลม 3m/s จะผลิตไฟฟ้าได้ 2.3V

อุสาห์ บำรุงศิลป์ [12] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง ระบบต้นแบบการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมสำหรับบริเวณความเร็วลมต่ำ เพื่อศึกษาวิจัยการออกแบบและสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเร็วเริ่มต้นในการจ่ายพลังงานไม่เกิน 2m/s โดยได้ทำการสร้างแบบใบพัดรูปภาคตัดขวางแบบ NACA 4415ยาว 60 cm ให้พิกัดกำลัง 400 Wที่พิกัดความเร็วลม 10 m/s ออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยหลักการของฟาราเดย์ จำนวน 8ขั้วแม่เหล็ก แรงดันไฟฟ้า 20V ที่ 400rpm จากการวิจัยพบว่ากังหันเริ่มหมุนที่ความเร็วลมประมาณ 2 m/s และที่ความเร็วลม 9 m/s กังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ 180W ประสิทธิภาพของระบบมีค่าเฉลี่ย 0.2และมีค่ามากที่สุด 0.45ที่ความเร็วลม 9 m/s

เดช ดำรงค์ดี และยงยศ วุฒิโกวิท [13] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมซึ่งสามารถนำมาใช้ในการขับเคลื่อนกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยทำการติดตั้งกังหันลม ณ สำนักงานเขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์ป่าสะเมิง อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ผลการวิเคราะห์พบว่า ความเร็วลม เฉลี่ยทั้งปีมีค่าเท่ากับ 4.1 m/s ซึ่งมีค่ามากกว่า 3m/s ซึ่งเป็นความเร็วเริ่มต้นที่กังหันลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้

OnderOzgener[14] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง A Small Wind Turbine System (SWTS) Application and its Performance Analysis เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมขนาดเล็กเพื่อใช้ในการให้แสงสว่างของอาคารวิจัยด้านพลังงาน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้กังหันลมขนาด 1.5kW มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด 3m และมีความสูงจากพื้นดิน 12m จากการวิจัยพบว่าความเร็วลมเฉลี่ย 7.5m/s และให้กำลังจากอัลเตอร์เนเตอร์สูงสุด 616W

Hiroyuki Hirahara, M.ZakirHossain, Masaaki Kawahashi and YshitamiNonomura [15] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง Testing Basic Performance of Very Small Wind Turbine Design for Munltipurposesในการศึกษาครั้งนี้ใช้กังหันลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด 500mm. เพื่อศึกษา

กำลังของกังหัน ค่า C_p ความเร็วของกังหันและแรงบิดของกังหันซึ่งทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วลม และลักษณะการไหลของอากาศรอบๆ กังหัน จากการวิจัยพบว่าจะได้ค่า C_p สูงสุดเท่ากับ 0.4 และค่า TSR สูงสุดเท่ากับ 2.7 และกระแสลมที่ไหลผ่านใบพัดจริงมีค่าประมาณ 20% เท่านั้นซึ่งมีค่าต่ำกว่าในทางทฤษฎี

I.H. Al-Bahadly, A.F.T. Petersen [16] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง A Ducted Horizontal Wind Turbine for Efficient Generation เป้าหมายของการนำเอาพลังงานลมมาใช้ในเขตตัวเมืองโดยทำการติดตั้งปล่องกังหันลมบริเวณหลังคาบ้านโดยใช้ความแตกต่างของตัวตัน ของลมที่ไหลผ่านบริเวณรอบๆ อาคารได้ถูกนำมาเสนอเป็นทางเลือกใหม่จากการติดตั้งกังหันแบบเดิมๆ ผลจากการทดสอบโดยสร้างขนาดต้นแบบแสดงการจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อธิบายไว้ว่า การใช้วิธีการดักลมโดยใช้เป็นปล่องกังหันลม สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้น จากความเร็วลมที่บริเวณทางออกของปล่องกังหันลม ในบางโอกาสใช้การทดแทนพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ จากการศึกษาของสภาพภูมิอากาศเพื่อประเมินผลการใช้พลังงานประจำปีและการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่ามีการใช้กังหันลมขนาดเล็กทั่วไปกับการใช้พลังงานจากกังหันเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งจากการเปรียบเทียบแล้วพบว่า พลังงานกังหันลมมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งกับอาคารทั่วไป และมีข้อดีที่ชัดเจนในเรื่องของความปลอดภัยและพลังงานลมเป็นพลังงานที่สะอาด

Ssu-Yuan Hu, Jung-Ho Cheng [17] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง Innovatory Designs for Ducted Wind Turbines การออกแบบกังหันลมโดยปกติมักจะรวมถึงการสร้างปล่องดักลมขนาดใหญ่ สำหรับการสร้างแรงดันทางไหลเวียนของอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของความเร็วลม ในงานวิจัยนี้เป็นกังหันลมรูปแบบปล่องดักลม ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปล่องกังหันลมมีผลต่อการเพิ่มแรงดันซึ่งเป็นไปตามหลักการของ Bernoulli's การเพิ่มขึ้นของความเร็วลมอย่างมีนัยสำคัญนี้ยังเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการนำหลักการทางเรขาคณิตในการออกแบบท่อโดยมีการใช้โปรแกรมอินเตอร์เฟสเพิ่มประสิทธิภาพโดยการจำลองซอฟต์แวร์ CFD (Computational Fluid Dynamic Software) เพื่อทดสอบขนาดรูปร่างที่ดีที่สุด สำหรับการออกแบบภายในปล่องกังหัน จะช่วยขยายความเร็วลมภายในปล่องถึง 60 % โดยในที่นี้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบบริเวณทางเข้าของอากาศ ในทางปฏิบัติและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม ผลของการทดสอบแสดงให้เห็นว่าปล่องดักลมช่วยให้การไหลเวียนรอบๆ ของใบพัดกังหัน และทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 80%

Andy Grant, Nick Kelly [18] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง The development of a ducted wind turbine simulation model เทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่เป็นส่วนหนึ่งในวิวัฒนาการของตัวอย่างการสร้างปล่อง

กังหันลม ปัจจุบันนี้ พลังงานลมไม่ได้มีบทบาทสำคัญเพียงแค่สภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตาม มีการพัฒนากังหันลมขนาดเล็ก ติดตั้งกับบริเวณด้านหน้าของอาคาร ใช้ความแตกต่างของแรงดันอากาศที่พัดผ่านอาคาร สำหรับผลิตพลังงานภายในประเทศงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปทรงของปล่องกังหันลม เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคต่าง ๆ ของเครื่องมือการจำลองอาคารสูง งานวิจัยนี้จะอธิบายถึง แนวคิดของปล่องสร้างกังหันลม การพัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์ และเครื่องมือการจำลองอาคารสูงในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการใช้โปรแกรมการจำลองมาใช้ในการออกแบบรูปทรง และวิเคราะห์ถึงพลังงานที่น่าจะเป็นไปได้จากการออกแบบอาคารสูงร่วมกับปล่องกังหันลมบริเวณหน้าตึก