หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

พลังงานลม

มนุษย์รู้จักนำพลังงานลมมาใช้เป็นประโยชน์นับหลายพันปีมาแล้ว เช่น ใช้พลังงานลมในการแล่นเรือใบ ช่วยในการสูบน้ำ ต่อมาในระยะหลังนี้ได้มีการพัฒนาการใช้พลังงานลมในการผลิตกำลังไฟฟ้า แต่ในระยะแรกๆยังไม่ได้รับความสนใจมากเท่าที่ควร จนกระทั่งเกิดวิกฤติการณ์ของพลังงาน ตลอดจนปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการใช้พลังงานต่างๆ ทำให้ประเทศต่างๆทั่วโลกหันมาสนใจพลังงานลมกันมากขึ้น เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานที่ใช้กันตามปกติ

2.1 กังหันลม (1)

กังหันลมเป็นเครื่องกลอย่างหนึ่งที่รับพลังงานจากลมมาใช้ได้ มีการนำเอากังหันลมมาใช้กันนานมาแล้ว อาจกล่าวได้พอสังเขปดังนี้

2457 ปีก่อนพุทธกาล – ชาวอียิปต์ใช้พลังงานลมในการแล่นเรือใบ

1457 ปีก่อนพุทธกาล – ชาวบาบิลอนใช้กังหันลมในการทดน้ำ

พ.ศ. 1187 – เริ่มใช้กังหันลมครั้งแรกในแถบเปอร์เซีย

พ.ศ. 1643 – มีกังหันลมใช้กันอย่างแพร่หลายในแถบตะวันออกกลาง

– เริ่มใช้กังหันลมครั้งแรกในแถบยุโรป

พ.ศ. 1743 – เริ่มใช้กังหันลมครั้งแรกในจีนตอนเหนือ

พ.ศ. 1843 – เริ่มใช้กังหันลมครั้งแรกในเนเธอร์แลนด์

พ.ศ. 2125–2143 – ใช้กังหันลมในโรงงานต่างๆในเนเธอร์แลนด์ เช่น โรงงานทำกระดาษ โรงเลื่อย และโรงงานผลิตน้ำมันจากเมล็ดพืช เป็นต้น

พ.ศ. 2165 – เริ่มใช้กังหันลมครั้งแรกในสหรัฐอเมริกา โดยชาวดัทช์ที่ไปตั้งถิ่นฐานที่ นิวอัมสเตอร์ดัม (New Amsterdam) (ในปัจจุบันนี้คือ รัฐนิวยอร์ค)

พ.ศ. 2397 – Halladay ได้สร้างกังหันลมแบบหลายใบ (multibladed windmill) ขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งภายหลังได้นำไปใช้ในการสูบน้ำ และผลิตกำลังไฟฟ้า ในสหรัฐอเมริกา

พ.ศ. 2433 – ที่เดนมาร์ก La Cour ได้ประดิษฐ์กังหันลมแบบใบพัด 4 ใบ (four vaned windmill) สำหรับผลิตกำลังไฟฟ้า

พ.ศ. 2470 – ที่ฝรั่งเศส ดาร์เรียส (Darrieus) ได้ประดิษฐ์กังหันลมแบบแกนดิ่งขึ้นใหม่ ซึ่งเรียกว่า กังหันลมแบบดาร์เรียส (Darrieus rotor)

พ.ศ. 2478 – เริ่มใช้กังหันลมในการผลิตกำลังไฟฟ้าครั้งแรกในรัสเซีย

พ.ศ. 2484 – ที่สหรัฐอเมริกา ได้สร้างกังหันลมแบบใบพัด (propeller) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 175 ฟุต ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 1,250 กิโลวัตต์ ซึ่งออกแบบโดย พี.ซี.พัตนัม (P.C. Putnum) และสร้างโดยบริษัท เอส.มอร์แกน สมิธ (S.Morgan Smith Co.) ซึ่งต่อมาเรียกว่า กังหันลมแบบสมิธ–พัตนัม

พ.ศ. 2493 – ที่อังกฤษ บริษัท เอนฟิลด์ เคเบิล (Enfield Cable) ได้สร้างกังหันลมที่ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 100 กิโลวัตต์ ติดตั้งที่ เซนต์ อัลบานส์ (St.Albans)

พ.ศ. 2501 – ที่ฝรั่งเศส ได้สร้างกังหันลมที่ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 800 กิโล–วัตต์ ใกล้กับกรุงปารีส

พ.ศ. 2518 – องค์การนาซา แห่งสหรัฐอเมริกา ได้สร้างกังหันลมแบบใบพัด 2 ใบ เส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 125 ฟุต ตั้งบนหอสูง 125 ฟุต ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 100 กิโลวัตต์

พ.ศ. 2520 – นักศึกษาของวิทยาลัย Tvind ที่เดนมาร์ก ได้ออกแบบกังหันลมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก และก่อสร้างโดยวิทยาลัย ซึ่งใช้เวลาในการก่อสร้างเพียง 3 ปี สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ถึง 2 เมกะวัตต์

พ.ศ. 2521 – ที่รัสเซีย ได้เริ่มการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าขนาด 4,500 เมกะวัตต์ ที่ผลิตโดยกังหันลม ซึ่งตามโครงการจะเสร็จเรียบร้อยก่อนปี พ.ศ. 2533

พ.ศ. 2522 – ที่สหรัฐอเมริกา ได้เริ่มโครงการก่อสร้างกังหันลมขนาดที่ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 2 เมกะวัตต์ ที่รัฐแคโรไลนาเหนือ

2.2 ชนิดของกังหันลม (2)(3)

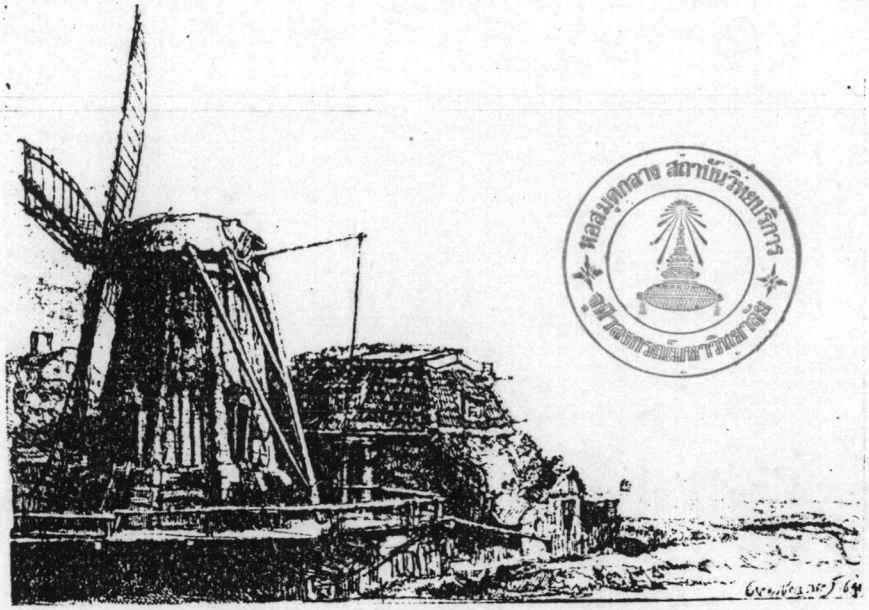
กังหันลมที่ได้มีการพัฒนากันขึ้นมานั้นมีลักษณะและรูปร่างแตกต่างกันไป แต่พอจะจำแนกตามลักษณะของเพลาหมุนของกังหันลมได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ กังหันลมแบบแกนระดับ (horizontal-axis windmills) และกังหันลมแบบแกนดิ่ง (vertical-axis windmills)

2.2.1 กังหันลมแบบแกนระดับ

กังหันลมประเภทนี้มีอยู่ด้วยกันหลายแบบ เช่น

2.2.1.1 กังหันลมแบบดัทช์ (Dutch windmills)

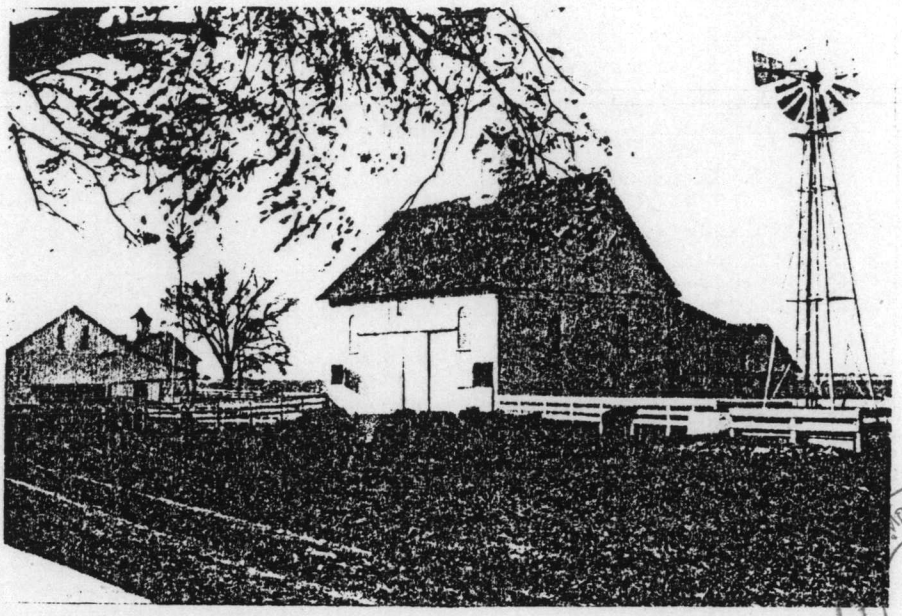
กังหันลมแบบดัทช์เป็นกังหันลมซึ่งประกอบด้วยใบพัด 4 ใบ มีลักษณะเป็นใบเรือ มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ประมาณ 60–80 ฟุต โครงสร้างโดยทั่วไปจะเป็นไม้เป็นส่วนใหญ่ มีอัตราการหมุนต่ำ และค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงาน (power coefficient) อย่างสูงประมาณ 0.19 ซึ่งในปัจจุบันนี้ถือว่าเป็นแบบล้าสมัยแล้วสำหรับการผลิตพลังงาน ลักษณะของกังหันลมแบบดัทช์ แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายกังหันลมแบบดัทช์

2.2.1.2 <u>กังหันลมแบบหลายใบ</u> (multibladed windmills)

กังหันลมแบบหลายใบ หรือ แบบอเมริกัน มีใช้กันมากในการทำไร่ของชาวอเมริกัน ในช่วงปี พ.ศ. 2397-2426 ซึ่งในปัจจุบันก็ยังมีใช้กันอยู่ กังหันลมแบบนี้มีใบพัดหลายใบ ประมาณมากกว่า 15 ใบขึ้นไป ซึ่งทำด้วยโลหะเช่น เหล็ก โดยทั่วไปจะมีขนาดเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12-16 ฟุตหรือมากกว่านั้น มีอัตราการหมุนค่อนข้างต่ำ และค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานประมาณ 0.25 จะใช้งานสำหรับการสูบน้ำ หรือหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดย่อมได้ดี ลักษณะของกังหันลมแบบหลายใบแสดงได้ดังรูปที่ 2.2

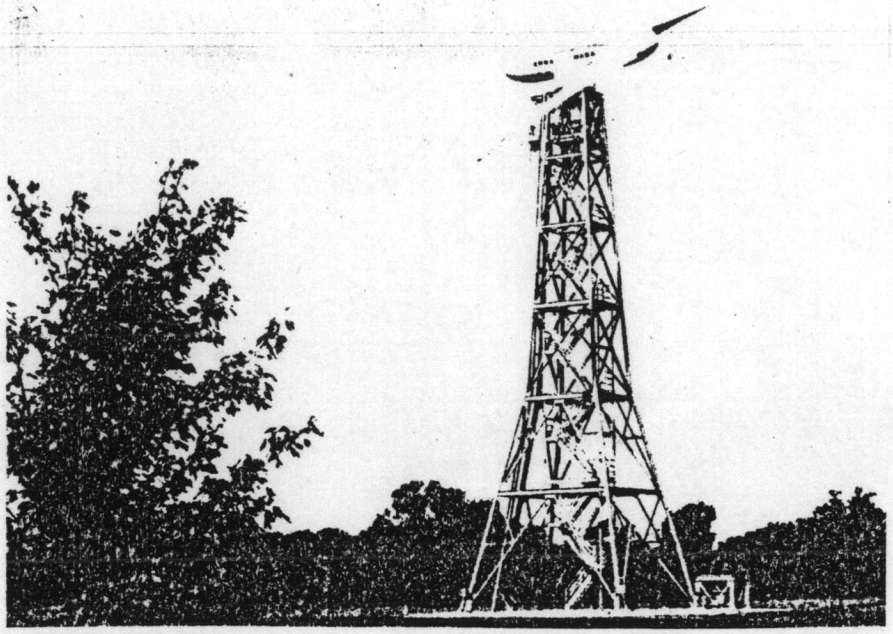


รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายกังหันลมแบบหลายใบ

บรรณสาร สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1.3 <u>กังหันลมแบบใบพัด</u> (propeller)

กังหันลมแบบใบพัด ใบพัดจะทำด้วยโลหะ หรือวัสดุอื่น เช่น ไม้ มีลักษณะคล้ายใบพัดเครื่องบิน ติดอยู่กับแกนหมุน จำนวนใบพัดอาจจะมี 2 ใบหรือ 3 ใบแล้วแต่การออกแบบ กังหันลมประเภทนี้มีอัตราการหมุนสูงมาก ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปใช้หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานสูงถึง 0.47 กังหันลมที่สร้างโดยองค์การนาซาแห่งสหรัฐอเมริกา เมื่อ ปี พ.ศ. 2518 ก็เป็นกังหันลมแบบใบพัด ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



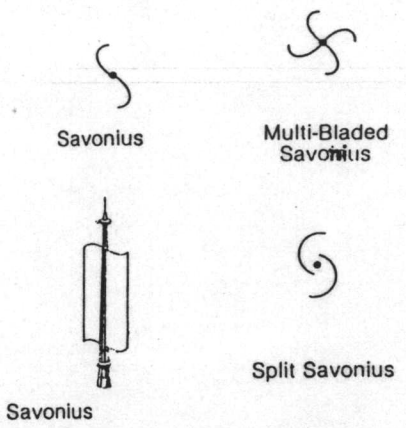
รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายกังหันลมแบบใบพัด

2.2.2 <u>กังหันลมแบบแกนดิ่ง</u>

กังหันลมประเภทนี้มีอยู่ด้วยกันหลายแบบ เช่น

2.2.2.1 <u>กังหันลมแบบซาโวเนียส</u> (Savonius rotor)

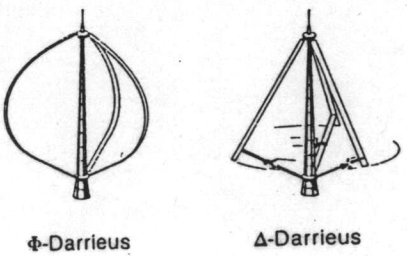
กังหันลมแบบนี้คิดขึ้นโดยวิศวกรชาวฟินแลนด์ ซึ่งจะประกอบด้วยปีกรับลมรูปร่างครึ่งทรงกระบอกกลวง 2 ชุด ติดไว้กับแกนหมุน เนื่องจากปีกรับลมของกังหันลมแบบนี้ จะต้องมีการหมุนทั้งตามลมและทวนลม อัตราการหมุนจึงค่อนข้างต่ำและค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานไม่สูงนัก แต่มีข้อดีคือเป็นแบบง่ายๆ สามารถรับลมในแนวระดับได้ทุกทิศทาง กังหันลมแบบนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



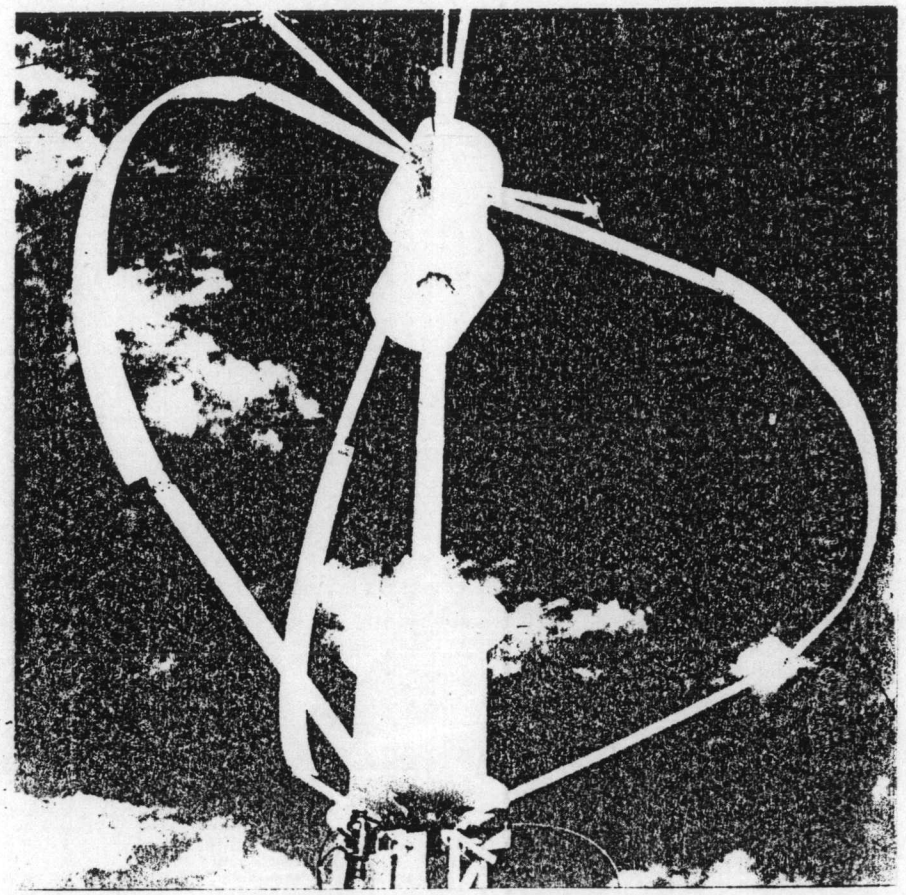
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของกังหันลมแบบซาโวเนียส

2.2.2.2 <u>กังหันลมแบบดาร์เรียส</u> (Darrieus rotor)

กังหันลมแบบนี้คิดขึ้นโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศส ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเหมือนเครื่องตีไข่ ประกอบด้วยใบพัดเป็นแผ่นวัสดุบาง 2 หรือ 3 แผ่น ใบพัดแต่ละใบจะโค้งงอหรือยืดหยุ่นได้ ปลายทั้งสองของใบพัดตรึงติดไว้กับเพลาหมุนซึ่งอยู่ในแนวดิ่ง กังหันลมแบบนี้จะมีอัตราการหมุนค่อนข้างสูง และค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานสูงพอๆกับกังหันลมแกนระดับแบบใบพัด แต่มีข้อเสียอยู่ที่ว่า กังหันลมแบบนี้จะเริ่มหมุนเองไม่ได้ จะต้องมีตัวช่วยหมุนในตอนแรกเสียก่อน กังหันลมแบบนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.5



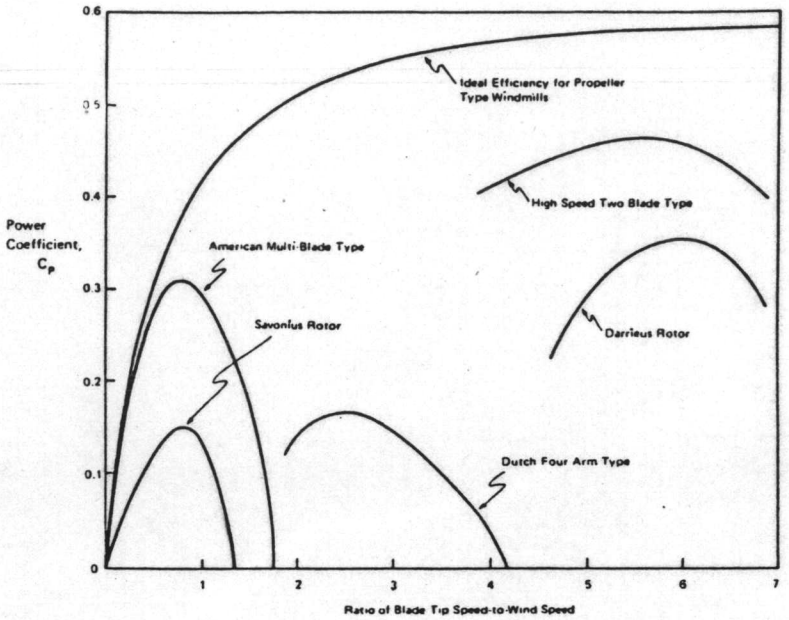
รูปที่ 2.5 ก. แสดงลักษณะของกังหันลมแบบดาร์เรียส



รูปที่ 2.5 ข. ภาพถ่ายกังหันลมแบบดาร์เรียส

ข้อได้เปรียบของการนำกังหันลมแบบแกนดิ่งมาใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าประการที่สำคัญคือ ระบบอุปกรณ์ต่างๆเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะติดตั้งไว้ที่ระดับพื้นดินได้ เนื่องจากเพลาส่งกำลังอยู่ในลักษณะที่ถ่ายทอดได้โดยตรง เมื่อเทียบกับกังหันลมแบบแกนระดับแล้ว ระบบอุปกรณ์ต่างๆมักจะต้องนำไปติดตั้งไว้บนหอสูงของตัวเครื่องกังหัน ซึ่งจะยุ่งยากและสิ้นเปลืองมากกว่า

ลักษณะการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ โดยทั่วไปจะเปรียบเทียบกันได้ดังกราฟ[4] ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ

จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานของกังหันลมแต่ละแบบจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของอัตราเร็ว (speed ratio) หรือ อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วปลายใบพัดและอัตราเร็วลม

การนำพลังงานลมมาใช้ผลิตกำลังไฟฟ้านั้น อาจจะมีปัญหา เช่น จะต้องใช้กังหันลมขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจก่อให้เกิดมลภาวะด้านทัศนียภาพ (visual pollution) ขึ้นได้ สำหรับกังหันลมที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานประมาณ 0.45 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดประมาณ 60 เมตร รับพลังงานจากลมที่มีความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที จะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 750 กิโลวัตต์ เมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ผลิตได้ขนาด 10^6 เมกะวัตต์ จะต้องใช้กังหันลมขนาดดังกล่าวเป็นจำนวนพันกว่าเครื่องด้วยกัน ซึ่งคงจะหาพื้นที่ที่เหมาะสมได้ยาก ได้มีการเสนอแนะให้มีการติดตั้งกังหันลมไว้นอกชายฝั่งทะเลออกไป เป็นต้น ปัญหาในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำงานได้สอดคล้องกับกังหันลมนั้นๆ และปัญหาต่อมา คือ เรื่อง

การเก็บพลังงาน โดยทั่วไปจะเก็บพลังงานสะสมไว้ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด แต่ก็ยังเสียค่าใช้จ่ายสูง และเสียพลังงานไปมาก

อย่างไรก็ดี จากการสำรวจในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี พ.ศ. 2515 พบว่า พลังงานลมที่มีอยู่ทั่วประเทศมีประมาณ 10^8 เมกะวัตต์ ซึ่งเป็นจำนวนประมาณ 40 เท่าของอัตราการใช้พลังงานที่คาดว่าจะใช้ทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2519 ดังนั้น จะเห็นว่าพลังงานลมสามารถที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี หากมีการปรับปรุงและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น เมื่อเร็วๆนี้ในสหรัฐอเมริกา ได้ก่อตั้งโครงการหนึ่งขึ้นมา คือ โครงการระบบการแปลงพลังงานลม (A Wind Energy Conversion System Program:WECS) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากังหันลมให้ผลิตพลังงานสำหรับนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนให้ได้ก่อนถึงปี พ.ศ. 2543 โดยในขั้นแรกของโครงการคือ พัฒนากังหันลมที่ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 2–3 กิโลวัตต์ ให้ผลิตกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นเป็นหลายๆเมกะวัตต์

2.3 กำลังงาน (Power) [2]

เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอากาศทำให้เกิดลมโดยที่พลังงานลมจะอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ ซึ่งมีค่า

$$E_k = \tfrac{1}{2}mv^2 \qquad (2.1)$$

เมื่อ m เป็นมวลของอากาศ หน่วยเป็น กิโลกรัม

v เป็นความเร็วของลม หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

ถ้าให้ A เป็นพื้นที่หน้าตัดที่มีลมผ่าน หน่วยเป็น เมตร^2

และ ρ เป็นความหนาแน่นของอากาศ หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อเมตร^3

ดังนั้น อัตราของพลังงานจลน์ หรือ กำลังงานของลม มีค่าเป็น

$$P = \tfrac{1}{2}(\rho Av)v^2$$

$$P = \tfrac{1}{2}\rho Av^3 \qquad (2.2)$$

การใช้กังหันลมเพื่อรับพลังงานจากลมนั้น ไม่สามารถที่จะรับเอาพลังงานมาได้ทั้งหมด แต่จะรับพลังงานมาได้เพียงบางส่วนเท่านั้น จากการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี พบว่ากำลังงานที่สามารถนำออกมาได้จากกำลังงานของลม จะมีค่าสูงสุดที่จำกัด ซึ่งอาจวิเคราะห์ได้ดังนี้

ให้ v เป็นความเร็วลมที่พัดเข้ามา ห่างจากตัวหมุน

v_1 เป็นความเร็วลมที่มีการดึงผ่านตัวหมุน

v_2 เป็นความเร็วลมที่พัดออกไป ห่างจากตัวหมุน

และ Q เป็นอัตราการเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่ผ่านเข้ามา

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนโมเมนตัมของอากาศ $= Q(v-v_2)$

หรือ แรงกระทำต่อตัวหมุน $= Q(v-v_2)$

กำลังงานที่ตัวหมุนได้รับจากลม $= Q(v-v_2)\, v_1$ (2.3)

แต่ อัตราการเปลี่ยนกำลังงานของลม $= \frac{1}{2}Qv^2 - \frac{1}{2}Qv_2^2$ (2.4)

จากหลักคงตัวของพลังงาน จะได้ว่า

$$Q(v-v_2)\, v_1 = \tfrac{1}{2}Qv^2 - \tfrac{1}{2}Qv_2^2$$

จะได้

$$v_1 = \frac{v + v_2}{2} \qquad (2.5)$$

จากสมการ (2.3) และ (2.5) เขียนได้ว่า

$$P = \rho A v_1 (v-v_2)\, v_1$$

หรือ

$$P = \tfrac{1}{4}\rho A(v-v_2)(v+v_2)^2 \qquad (2.6)$$

กำลังงานที่รับมาจากลมจะขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดออกไปคือ v_2 เมื่อพิจารณาในกรณีที่ กำลังงานนี้มีค่าสูงสุด ก็ต่อเมื่อ

$$\frac{\partial P}{\partial v_2} = 0$$

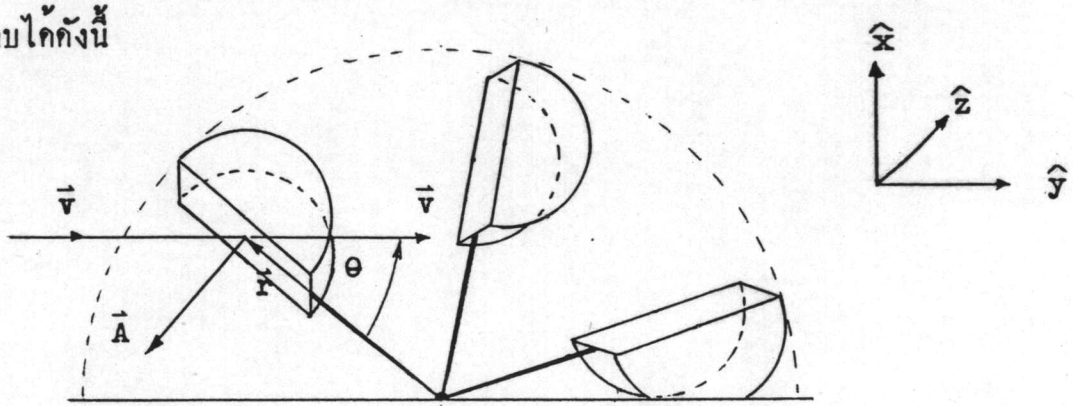
หรือ $$3v_2^2 + 2vv_2 - v^2 = 0$$

จะได้ $$v_2 = \frac{1}{3} v \qquad (2.7)$$

ดังนั้น $$P_{max} = \frac{16}{27}\left[\frac{1}{2}\rho A v^3\right] \qquad (2.8)$$

หมายความว่า กำลังงานที่จะสามารถนำออกมาได้มากที่สุดเชิงทฤษฎีเท่ากับ ($\frac{16}{27}$) ของกำลังงานของลม หรือเท่ากับ 59.3 % ซึ่งเรียกค่านี้ว่า ค่าจำกัดของเบตซ์ (Betz limit) ในทางปฏิบัติแล้ว กังหันลมโดยทั่วไปจะสามารถรับกำลังงานออกมาได้ต่ำกว่าค่านี้

กรณีกำลังงานของกังหันลมจำลองที่สร้างขึ้น อาจวิเคราะห์เชิงทฤษฎีโดยประมาณอย่างหยาบได้ดังนี้



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของลมที่พัดเข้าหากังหันลมจำลอง

โมเมนต์บิด (torque) ที่เกิดบนเพลาหมุน เมื่อตัวหมุนวางในบริเวณที่มีลมไหลแบบสม่ำเสมอ (steady flow)[5] จะได้

$$\vec{T}_{shaft} = \sum_{cs} (\vec{r} \times \vec{v}) \rho \vec{v} \cdot \vec{A} \qquad (2.9)$$

เมื่อ T_{shaft} เป็นโมเมนต์บิดที่เกิดบนเพลาหมุน(หน่วย N-m)

r เป็นระยะระหว่างกึ่งกลางเพลาหมุนและใบพัด (m)

v เป็นความเร็วลมที่พัดเข้า (m/s)

ρ เป็นความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

A เป็นพื้นที่หน้าตัดของใบพัดที่รับลม (m^2)

ให้ θ เป็นมุมที่แนวลมกระทำกับแนวแกนของใบพัด

$$\vec{T} = (rv \sin\theta \hat{z}) \rho \left[-vA \cos(90^{\circ}-\theta) \right]$$

$$= -rv \sin\theta \hat{z} \rho vA \sin\theta$$

$$\vec{T} = -r \rho A v^2 \sin^2\theta \hat{z} \qquad (2.10)$$

ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์บิด จะเป็น

$$T = r \rho A v^2 \sin^2\theta \qquad (2.11)$$

เมื่อ $P = T\omega$

ดังนั้น $$P = r \rho A v^2 \omega \sin^2\theta \qquad (2.12)$$

เมื่อ ω เป็นอัตราเร็วเชิงมุมของใบพัด (rad/s)

อัตราเร็วเชิงเส้นของใบพัดจะเป็นสัดส่วนกับอัตราเร็วของลม

ดังนั้น $$r\omega = kv \qquad (2.13)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่

007218

จึงได้ $P = k\rho Av^3 \sin^2\theta$ (2.14)

ค่าสูงสุดของกำลังงานที่ได้ เมื่อ $\theta = 90^\circ$

ดังนั้น $P_{max} = k\rho Av^3$ (2.15)

ความสามารถในการทำงานของกังหันลม วัดด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงาน (power coefficient : C_p) ซึ่งนิยามว่า

$$C_p = \frac{\text{กำลังงานที่ได้จากกังหันลม}}{\text{กำลังงานของลม}} \quad (2.16)$$