

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานกักเก็บลมเพื่อผลิตไฟฟ้า

ลมเป็นแหล่งพลังงานอีกแหล่งหนึ่งที่มีอยู่ในธรรมชาติสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีวันหมดในอดีตนุษย์ได้นำลมมาใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิตตลอดมาและในปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากพลังงานลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบประเทศยุโรปได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีกักเก็บลมเพื่อผลิตไฟฟ้าเชิงพาณิชย์กันอย่างแพร่หลายและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆซึ่งในต่างประเทศกักเก็บลมขนาดใหญ่แต่ละตัวสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 4-5 เมกะวัตต์ และนับวันยังได้รับการพัฒนาให้มีขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพสูง สำหรับประเทศไทยการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงานลมยังมีค่อนข้างน้อยอาจเป็นเพราะศักยภาพลมภายในประเทศไม่สูงเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ อย่างไรก็ตามหากมีการส่งเสริมและพัฒนาพื้นฐานความรู้ด้านกักเก็บลมก็สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานด้านเทคโนโลยีพลังงานลมร่วมกับพลังงานอื่นๆ ที่มีอยู่ในแถบบ้านเราอย่างเช่นที่สถานีรถไฟแหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ตได้ทดลองใช้กักเก็บลมผลิตไฟฟ้าร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์และต่อเข้ากับระบบสายส่ง ดังนั้นการศึกษา เรียนรู้ การศึกษาวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานลม น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล ลดมลภาวะ และช่วยประเทศไทยลดการนำเข้าแหล่งพลังงานจากต่างประเทศอีกทางหนึ่ง

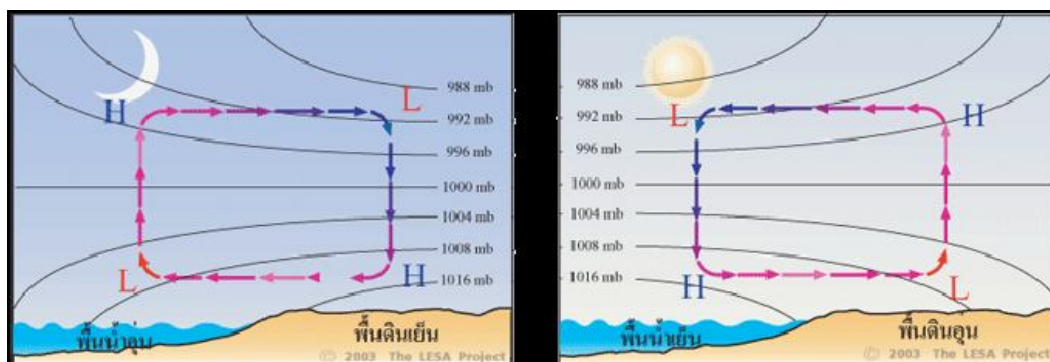
2.2 การเกิดและประเภทของลม

ลม (Wind) มีปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดลมคือดวงอาทิตย์ ซึ่งเมื่อมีการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มายังโลก แต่ละตำแหน่งบนพื้นโลกได้รับปริมาณความร้อนไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิและความกดอากาศในแต่ละตำแหน่งบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงหรือความกดอากาศต่ำอากาศบริเวณนั้นก็จะลอยตัวขึ้นสูง อากาศจากบริเวณที่เย็นกว่าหรืออากาศที่มีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้คือการทำให้เกิดลมนั่นเองและจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้ทำให้เกิดพลังงานจลน์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ ลมสามารถจำแนกออกได้หลายชนิดตามสถานที่ที่เกิดความแตกต่างอุณหภูมิดังนี้

2.2.1 ลมบกและลมทะเล

ลมบกและลมทะเล (Land and sea breeze) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณทะเลกับฝั่ง โดยลมทะเลเกิดในตอนกลางวัน เพราะบนฝั่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณในทะเลจึง

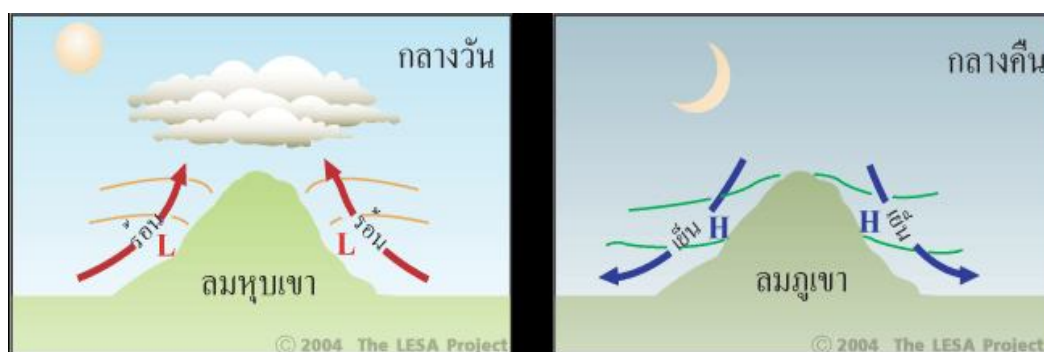
ทำให้เกิดลมจากทะเลพัดเข้าสู่ฝั่ง ส่วนลมบกเกิดในเวลากลางคืนเพราะบริเวณในทะเลจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบนฝั่ง ทำให้เกิดลมจากฝั่งออกทะเล ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลมบก และลมทะเล (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551)

2.2.2 ลมภูเขาและลมหุบเขา

ลมภูเขาและลมหุบเขา (mountain and valley winds) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสันเขาและหุบเขา โดยลมภูเขาจะพัดจากสันเขาลงไปสู่หุบเขาในตอนกลางคืนเนื่องจากบริเวณสันเขาอยู่บริเวณที่สูงกว่าจึงเย็นเร็วกว่าหุบเขา ส่วนลมหุบเขาจะพัดจากหุบเขาขึ้นไปตามความสูงของสันเขาโดยเกิดขึ้นในตอนกลางวันเนื่องจากบริเวณหุบเขาเบื้องล่างจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ายอดเขาจึงมีลมพัดขึ้นไปตามความสูงของสันเขา นอกจากนี้ยังมีการเรียกชื่อลมตามทิศการเคลื่อนที่ในแต่ละฤดูกาล เช่น ลมมรสุม ซึ่งหมายถึงลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางการเปลี่ยนฤดูคือฤดูร้อนจะพัดไปในทิศทางหนึ่งและจะพัดเปลี่ยนทิศทางเป็นตรงกันข้ามในฤดูหนาว (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551) ลมภูเขาและลมหุบเขา แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลมหุบเขาและลมภูเขา (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551)

2.3 ประวัติและการประยุกต์ใช้พลังงานลม

การประยุกต์ใช้พลังงานลม เริ่มจากการพบบันทึกเกี่ยวกับโรงสีข้าวพลังงานลม (Windmills) โดยใช้ระบบไม้ในแกนตั้ง ซึ่งเครื่องไม้แบบง่ายๆ นิยมใช้กันในพื้นที่ภูเขาสูงโดยชาวแอฟแกน (Afghan) เพื่อการสีเมล็ดข้าวเปลือกในช่วงศตวรรษที่ 7 ก่อนคริสตกาล ส่วนโรงสีข้าวพลังงานลมแบบแกนหมุนแนวนอนพบครั้งแรกแถบเปอร์เซีย ทิเบตและจีน ประมาณศักราชที่ 1000 โรงสีข้าวพลังงานลมชนิดแกนหมุนในแนวนอน ได้แพร่หลายจนไปถึงประเทศแถบเมดิเตอร์เรเนียนและประเทศยุโรปตอนกลางโรงสีข้าวแบบแกนหมุนแนวนอนพบครั้งแรกในประเทศอังกฤษประมาณปี ค.ศ.1150 พบในฝรั่งเศสปี ค.ศ.1180 พบในเบลเยียม ค.ศ.1190 พบในเยอรมันปี ค.ศ.1222 และพบในเดนมาร์ก ค.ศ.1259 การพัฒนาและการแพร่หลายอย่างรวดเร็วของโรงสีข้าวแบบแกนหมุนแนวนอนมาจากอิทธิพลของนักบวชชุด ซึ่งเป็นผู้นำความรู้เกี่ยวกับโรงสีข้าวพลังงานลมจากเปอร์เซียมาสู่หลายพื้นที่ของยุโรป

ในยุโรปโรงสีข้าวพลังงานลมได้รับการพัฒนาสมรรถนะอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะระหว่างช่วงศตวรรษที่ 12 และศตวรรษที่ 19 ในปี ค.ศ.1800 ในประเทศฝรั่งเศสมีโรงสีข้าวพลังงานลมแบบยุโรปใช้งานอยู่ประมาณ 20,000 เครื่องในประเทศเนเธอร์แลนด์พลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมในช่วงเวลานั้นมาจากพลังงานลมถึงร้อยละ 90 ในช่วงศตวรรษที่ 19 โรงสีข้าวพลังงานลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแกนหมุน 25 เมตร ตัวอาคารสูงถึง 30 เมตร ตัวอย่างโรงสีข้าวพลังงานลมแบบยุโรปดังแสดงในภาพที่ 2.3 ซึ่งในช่วงเวลานั้นการใช้พลังงานไม่ได้มีเพียงโรงสีข้าวแต่ยังมีการประยุกต์ใช้สำหรับการสูบน้ำ ต่อมาในยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมโรงสีข้าวพลังงานลมเริ่มมีการใช้งานลดลง อย่างไรก็ดีตามในปี ค.ศ.1904 การใช้พลังงานจากลมยังมีอัตราส่วนถึงร้อยละ 11 ของพลังงานในภาคอุตสาหกรรมของประเทศเนเธอร์แลนด์ และในประเทศเยอรมันยังมีโรงสีข้าวชนิดนี้ติดตั้งอยู่กว่า 18,000 เครื่อง



ภาพที่ 2.3 ลักษณะโรงสีข้าวพลังงานลมแบบยุโรป

(นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานวัฒน์, 2547)

ในช่วงเวลาเดียวกันที่โรงสีข้าวพลังงานลมในยุโรปเริ่มเสื่อมความนิยม เทคโนโลยีนี้กลับได้รับการเผยแพร่ในทวีปอเมริกาเหนือโดยผู้ที่ไปตั้งถิ่นฐานใหม่มีการใช้กังหันลมสูบน้ำขนาดเล็กสำหรับงานปศุสัตว์ซึ่งได้รับความนิยมมาก กังหันลมชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันในนามกังหันลมแบบอเมริกา (America windmill) ซึ่งใช้ระบบการทำงานแบบควบคุมตัวอย่างสมบูรณ์ (fully self-regulated) โดยสามารถปรับความเร็วของแกนหมุนได้เมื่อความเร็วสูง ในขณะที่โรงสีข้าวพลังงานลมของยุโรปสามารถปิดตัวใบพัดออกจากทิศทางลมได้หรือสามารถหมุนใบพัดเก็บได้หากความเร็วลมสูงจนเกินไปเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวโรงสีข้าว ความนิยมของกังหันลมแบบอเมริกันเพิ่มขึ้นสูงมากระหว่างปี ค.ศ. 1920-1930 มีกังหันลมประมาณ 600,000 ตัวถูกติดตั้งเพื่อใช้งาน ในปัจจุบันกังหันลมแบบอเมริกาหลายแบบยังคงนำมาใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ทางการเกษตรและกิจกรรมต่างๆ ทั่วโลก

สำหรับประเทศไทยผู้เชี่ยวชาญทางด้านพลังงานลมได้ประเมินการใช้งานกังหันลมแบบใบพัดที่ทำด้วยไม้ซึ่งใช้ในนาข้าวมีจำนวนประมาณ 2,000 ตัว และกังหันแบบเลื้อยลำแพนหรือแบบผ้าใบซึ่งใช้ในนาเกลือหรือนากุ้ง มีจำนวนประมาณ 3,000 ตัวต่อมาได้พบว่าจำนวนกังหันลมดังกล่าวได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการพัฒนาพื้นที่เกษตรกรรมให้เป็นพื้นที่อุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2531 มีการสำรวจจำนวนกังหันลมเฉพาะในบริเวณ 20 ตารางกิโลเมตร ของจังหวัดสมุทรสาครและสมุทรสงคราม พบว่ามีกังหันลมเหลืออยู่เพียง 667 ตัว กังหันลมดังกล่าวถือได้ว่าเป็นชนิดดั้งเดิมจากภูมิปัญญาชาวบ้าน แต่สามารถใช้แทนพลังงานไฟฟ้าเพื่อการสูบน้ำได้เป็นอย่างดี(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,2551)

ในปี ค.ศ.1891 แดน พอล ลาคูร์ (Dane poul LaCour) วิศวกรชาวเดนมาร์กเป็นคนแรก ที่สร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าขึ้น และได้รับการพัฒนาระหว่างช่วงสงครามโลกครั้งที่ 1 และ 2 เพื่อทดแทนการขาดแคลนพลังงานในขณะนั้นบริษัท เอฟ เอล สมิทท์ (F.L. Smidth) ประเทศเดนมาร์กได้เป็นผู้ริเริ่มกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบสมัยใหม่ในปี ค.ศ.1941-1942 กังหันลมของบริษัทนี้เป็นกังหันลมสมัยใหม่ที่ใช้แพนอากาศ (airfoils) ซึ่งใช้ความรู้ขั้นสูงทางด้านอากาศพลศาสตร์ในเวลานั้น ในช่วงเวลาเดียวกัน พาลเมอร์ พูทเนม (Palmer Putnam) ชาวอเมริกันได้สร้างกังหันลมขนาดใหญ่ให้กับบริษัท มอร์แกน สมิทท์ (Morgan Smith Co.) กังหันลมที่สร้างขึ้นมามีเส้นผ่านศูนย์กลาง 53 เมตร ซึ่งมีความแตกต่างจากกังหันลมของเดนมาร์กทั้งในเรื่องของขนาดและหลักการออกแบบ กังหันลมของเดนมาร์กมีหลักการอยู่บนพื้นฐานของการหมุนโดยลมส่วนบน (upwind rotor) กับการควบคุมผ่านตัวล่อ (stall regulation) ทำงานที่ความเร็วต่ำ ส่วนกังหันลมของพูทเนมออกแบบอยู่บนพื้นฐานของการหมุนโดยลมส่วนล่าง (downwind rotor) กับการควบคุมโดยการปรับใบพัด

(variable pitch regulation) อย่างไรก็ตามกังหันลมของพุทแนมก็ไม่สามารถประสบความสำเร็จ และถูกรื้อออกในปี ค.ศ. 1945 (Thomus & Lennart, 2002)

หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ในช่วงปีค.ศ.1956–1967 โจฮันเนส จูล(Johannes Juul) ชาวเดนมาร์กได้พัฒนาและออกแบบกังหันลมใหม่เพิ่มเติมและทำการติดตั้งที่เมืองเกดเซอร์ (Gedser) ประเทศเดนมาร์กสามารถผลิตไฟฟ้าได้กว่า 2.2 ล้านหน่วยและในเวลาเดียวกันนี้ ฮุตเตอร์ (Hutter) ชาวเยอรมันก็ได้พัฒนากังหันลมรูปแบบใหม่เหมือนกัน โดยกังหันลมของฮุตเตอร์นั้นประกอบด้วยใบกังหันมีลักษณะเรียวยาวทำจากไฟเบอร์กลาสส์ (fiberglass) 2 ใบกังหันลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูง

อย่างไรก็ตามแม้ว่ากังหันลมของจูลและฮุตเตอร์จะประสบความสำเร็จในตอนแรกแต่ความสนใจในกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ก็ลดลงหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 มีเพียงกังหันลมขนาดเล็กสำหรับผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลหรือสำหรับการประจุแบตเตอรี่เท่านั้นที่ยังได้รับความสนใจต่อมาหลังเกิดปัญหาวิกฤตการณ์น้ำมันในปี ค.ศ. 1973 ทำให้ความสนใจในพลังงานลมได้กลับมาอีกครั้งจากเหตุผลดังกล่าวจึงมีการสนับสนุนเงินทุนเพื่อการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับพลังงานลมเป็นอย่างมากโดยเฉพาะในประเทศเยอรมันสหรัฐอเมริกา และสวีเดนซึ่งได้ใช้เงินนี้ในการพัฒนาต้นแบบกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ในระดับเมกะวัตต์อย่างไรก็ตามกังหันลมต้นแบบหลายๆแบบไม่สามารถประสบความสำเร็จเท่าที่ควรทั้งที่ผ่านมาเป็นเวลานานโดยประสบปัญหาทางเทคนิคหลายๆประการเช่นกลไกการบิดของใบพัด เป็นต้น

ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการสนับสนุนเงินทุนเพื่อกระตุ้นให้มีการพัฒนาพลังงานลมเป็นอย่างมากตัวอย่างที่สามารถเห็นได้ชัดเจนถึงผลของการกระตุ้นในครั้งนี้ เช่นทำให้เกิดทุ่งกังหันลม (wind farms) ขนาดใหญ่ติดตั้งอยู่ตามเทือกเขาทางตะวันออกของซานฟรานซิสโกและทางตะวันออก เฉียงเหนือของลอสแอนเจลิสทุ่งกังหันลมแห่งแรกนี้ประกอบไปด้วยกังหันลมขนาด 50 กิโลวัตต์เป็นส่วนใหญ่ หลายปีผ่านไปขนาดของกังหันลมรุ่นใหม่เพิ่มขึ้นเป็น 200 กิโลวัตต์ ซึ่งเกือบทั้งหมดนำเข้าจากประเทศเดนมาร์กในช่วงสิ้นปี ค.ศ. 1980 มีกังหันลมติดตั้งอยู่ในแคลิฟอร์เนียประมาณ 15,000 ตัว ด้วยขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 1,500 เมกะวัตต์

การพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานลมเป็นไปอย่างรวดเร็วจากในปี ค.ศ. 1989 ขนาดของกังหันลมในขณะนั้นมีขนาด 300 กิโลวัตต์ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกังหัน 30 เมตร หลังจากนั้นประมาณสิบปีมีผู้ผลิตจากหลายบริษัทได้ผลิตกังหันลมขนาด 1,500 กิโลวัตต์ ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหัน 70 เมตรและในช่วงเวลาก่อนเปลี่ยนศตวรรษใหม่ กังหันลมขนาด 2 เมกะวัตต์เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกังหันขนาด 74 เมตรได้รับการพัฒนาและติดตั้งเพื่อใช้งาน ปัจจุบันนี้กังหันลมขนาด 2 เมกะวัตต์กลายเป็นขนาดของกังหันลมที่ผลิตในเชิงพาณิชย์

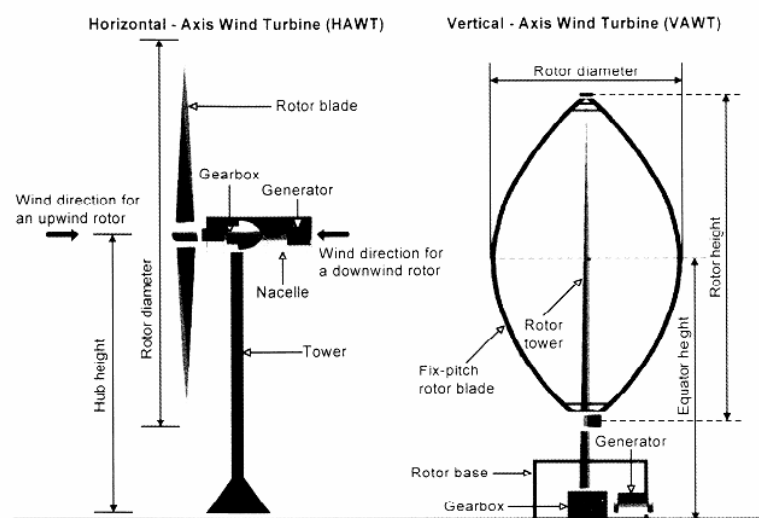
เป็นที่เรียบร้อยแล้วและกังหันลมขนาด 4-5 เมกะวัตต์ กำลังอยู่ในช่วงของการพัฒนาโดยตัวต้นแบบขนาด 4.5 เมกะวัตต์ได้มีการติดตั้งและทดสอบแล้วเมื่อปี ค.ศ. 2002 (นิพนธ์ เกตุจ้อยและ อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์, 2547) ข้อมูลการการพัฒนาของกังหันลมในช่วง ค.ศ. 1985-2002 แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การพัฒนาของกังหันลมในช่วง ค.ศ. 1985-2002 ((Thomus & Lennart, 2002)

ปี ค.ศ.	กำลังการผลิต (กิโลวัตต์)	เส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหัน (เมตร)
1985	50	15
1989	300	30
1992	500	37
1994	600	46
1998	1,500	70
2002	3,500-4,500	88-112

2.4 ประเภทของกังหันลม

กังหันลมโดยทั่วไปจะมีรูปแบบพื้นฐานหลักๆ คล้ายๆกัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างในส่วนของการรายละเอียด ดังนั้นการแบ่งประเภทของกังหันลมมักจะยึดเอาลักษณะการวางตัวของแกนเพลากองกังหันลมเป็นหลัก ซึ่งกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ กังหันลมที่มีแกนเพลายู่ในแนวนอนและกังหันลมที่มีแกนเพลายู่ในแนวตั้งดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ลักษณะกังหันลม (นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์, 2547)

2.4.1 กังหันลมที่มีแกนเพลายู่ในแนวนอน

กังหันลมที่มีแกนเพลายู่ในแนวนอน (horizontal-axis type wind turbine, HAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนวางตัวอยู่ในทิศขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม กังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการนำมาใช้งานมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงแต่ต้องติดตั้งบนเสาที่มีความสูงมากและมีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับแรงลมได้ทุกทิศทางในแนวนอนตลอดเวลาอย่างไรก็ตามในรายละเอียดของรูปแบบ องค์ประกอบและลักษณะการทำงานของกังหันลมแบบนี้ที่นิยมใช้กันสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ (นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อธิตพล ศศิธรานุวัฒน์, 2547) ได้แก่

2.4.1.1 กังหันลมแบบความเร็วคงที่ (fixed speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วยใบพัด กล้องเกียร์ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (squirrel cage induction generator) ชุดสเตรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 2.5 a ในความเป็นจริงแล้วกังหันลมแบบนี้มีค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator slip) ไม่คงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าน้อยมาก เพียง 1-2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเรียกกังหันลมแบบนี้ว่าเป็นแบบความเร็วคงที่

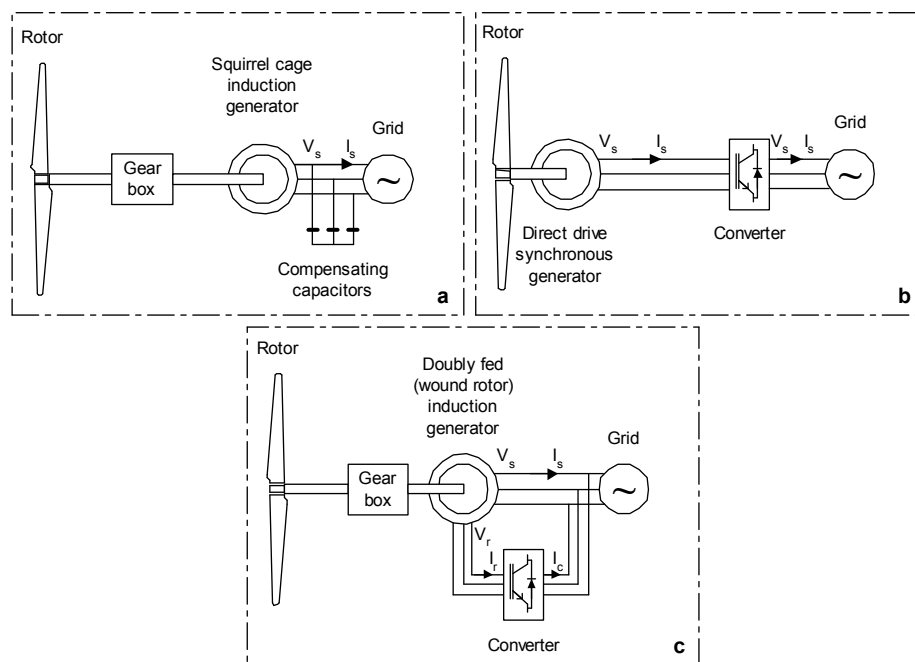
2.4.1.2 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (variable speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล้องเกียร์เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบบดับเบิลเฟด (doubly fed induction generator) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชุดสเตรเตอร์ต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้ากังหันลมชนิดนี้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้างั้นจึงสามารถปรับความเร็วรอบและความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้องค์ประกอบของกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 b

2.4.1.3 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (variable speed with direct drive) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วยใบพัดเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสโดยตรงและมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า องค์ประกอบของกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรงดังแสดงในภาพที่ 2.5 b

2.4.2 กังหันลมที่มีแกนเพลายู่ในแนวตั้ง

กังหันลมที่มีแกนเพลายู่ในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine, VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของลมซึ่งสามารถรับลมได้ทุกทิศทางและติดตั้งอยู่ในระดับต่ำได้กังหันลมแบบนี้ที่รู้จักกันดีคือกังหันลมแบบแดร์ริเยส (darrieus) ซึ่งออกแบบโดยวิศวกร

ชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ.1920 ข้อดีของกังหันลมแกนตั้งคือสามารถรับลมได้ทุกทิศทางมีชุดปรับความเร็ว (gear box) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถติดตั้งอยู่ที่ระดับพื้นล่างได้นอกจากนี้ตัวเสาของกังหันลมยังไม่สูงมากนักแต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับกังหันลมที่มีแกนเพลแบบแกนนอนดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการใช้งานอยู่น้อย



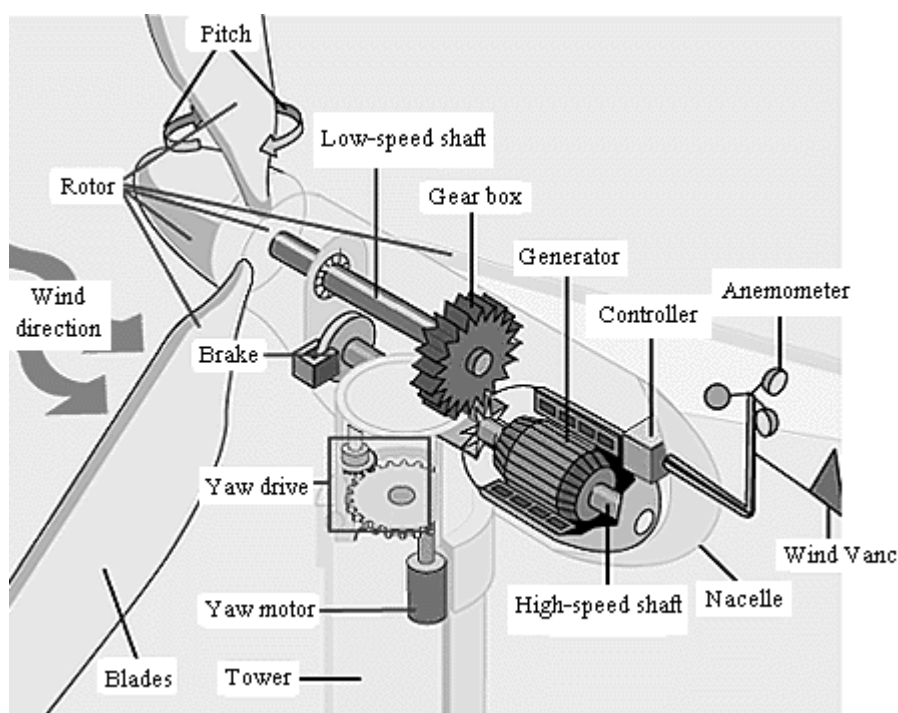
ภาพที่ 2.5 องค์ประกอบกังหันลมแบบความเร็วคงที่ (a) องค์ประกอบกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (b) องค์ประกอบกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่แบบต่อตรง (c) (นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานูวัฒน์, 2547)

2.5 ส่วนประกอบของกังหันลม

กังหันลมโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ คือ ใบพัดระบบถ่ายทอดกำลังจากใบพัดชุดควบคุมการบังคับทิศทางของใบพัดและเสาหรือหอคอยอย่างไรก็ตามในส่วนรายละเอียดส่วนประกอบของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของกังหันลมนั้นเช่นถ้าเป็นกังหันลมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตไฟฟ้าก็จะมีส่วนประกอบรายละเอียดและเทคโนโลยีที่ซับซ้อนกว่ากังหันลมที่ใช้สำหรับการสูบน้ำในที่นี้ขอกล่าวแค่เพียงกังหันลมแบบผลิตกระแสไฟฟ้าเท่านั้น

2.5.1 ส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า

จากการได้รับประโยชน์อย่างชัดเจนในการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าทำให้เทคโนโลยีของกังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงทำให้ส่วนประกอบต่างๆของกังหันลมประเภทนี้มีค่อนข้างมากและมีความซับซ้อนซึ่งส่วนประกอบแต่ละส่วนมีหน้าที่สรุปได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างของส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า

(http://www3.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm)

2.5.1.1 ใบพัด (Blade) เป็นตัวรับพลังงานลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนเพลากลมหุน (rotor) ของใบพัด

2.5.1.2 ระบบเบรก (Brake) เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลากลมหุนของกังหันลม

2.5.1.3 คั่นบังคับเพลากลมหุน (low speed shaft และ high speed shaft) เป็นส่วนที่คอยควบคุมความเร็วของเพลากลมหุนให้หมุนช้าหรือเร็วของใบพัดและส่งผ่านระบบส่งกำลัง

2.5.1.4 ห้องส่งกำลัง (gear box) เป็นระบบที่ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนและควบคุมความสัมพันธ์ของความเร็วในการหมุนระหว่างเพลาแกนหมุนกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.5.1.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลที่ถูกส่งมาจากเพลาแกนหมุนของใบพัดเป็นพลังงานไฟฟ้า

2.5.1.6 ตัวควบคุม (Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดความเร็วลม

2.5.1.7 ห้องเครื่อง (nacelle) เป็นห้องควบคุมขนาดใหญ่อยู่ส่วนหลังของใบพัดใช้บรรจุระบบต่างๆ เช่น ระบบเกียร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบเบรก และระบบควบคุม

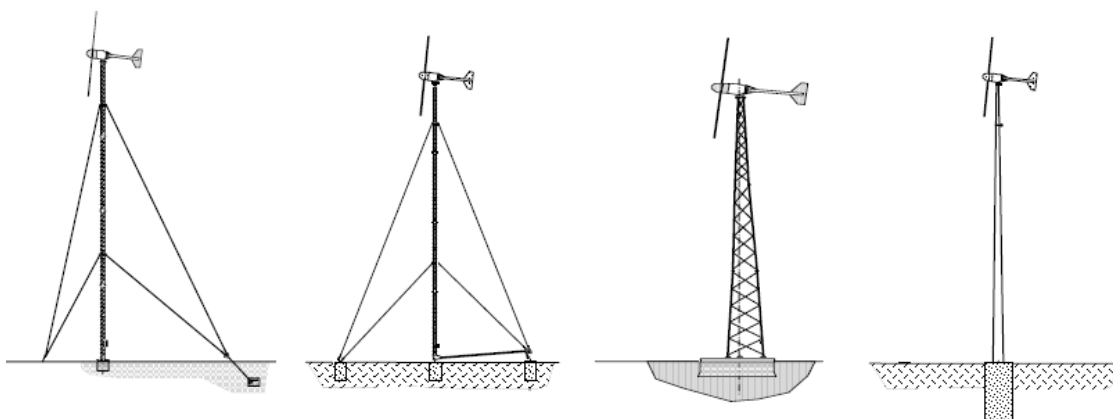
2.5.1.8 แกนคอหมุนรับทิศทางลม (yaw drive) เป็นตัวควบคุมการหมุนของห้องเครื่องเพื่อให้ใบพัดปรับรับทิศทางลมโดยมีมอเตอร์ (yaw motor) เป็นตัวช่วยในการปรับทิศทาง

2.5.1.9 เสาหรือหอคอย (tower) เสาทำหน้าที่รับน้ำหนักของกังหัน และยกกังหันลมสูงขึ้นจากพื้นให้อยู่ในบริเวณที่ลมมีความเร็วสูงและสม่ำเสมอ (uniform) ลดอิทธิพลชั้นขีดผิวใกล้พื้น และพ้นจากโซนเวค จากการไหลผ่านของวัตถุที่อยู่พื้น อาทิ ต้นไม้ สิ่งปลูกสร้าง เนินเขา เสามี 3 แบบที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549)

1) เสาแบบเสาตรง มีข้อดีคือสร้างง่ายไม่ซับซ้อนติดตั้งง่ายเหมาะกับกังหันลมขนาดเล็ก กำลังการผลิตต่ำ เสาแบบเสาตรงสามารถออกแบบให้เอนได้ในกรณีลมกระโชกแรง เสาเอนเบี่ยงออก ทำให้ทิศทางกังหันเหออกจากแนวกระแสลม อาจช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับปีกกังหันได้

2) เสาแบบโครงถัก (lattice tower) มีข้อดีคือสร้างง่ายแข็งแรง สามารถใช้กับกังหันลมขนาดใหญ่กำลังผลิตสูงได้ เช่นเดียวกันกับเสาแบบเสาตรง คือสามารถออกแบบให้มีระบบเอนตัวหลบลมกระโชกแรงได้

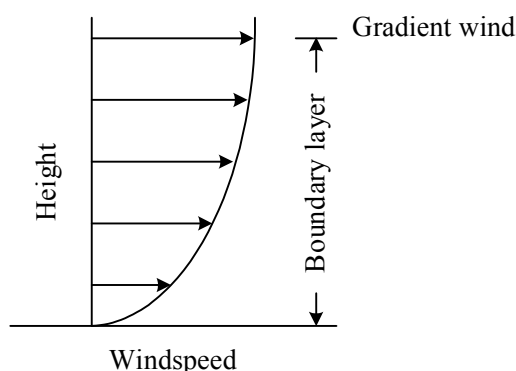
3) เสาแบบทรงกระบอกเรียว (tubular conical tower) เสาชนิดนี้ต้องการการคำนวณออกแบบที่แม่นยำ สร้างยาก ราคาแพง ข้อดีที่สำคัญคือมันคงแข็งแรง ภายในแกนกลางของเสาสามารถติดตั้งอุปกรณ์ได้หลายอย่าง เช่น บันไดหรือลิฟต์ สำหรับช่างซ่อมบำรุง เป็นทั้งท่อร้อยสายไฟไปในตัว นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบรูปทรงให้เข้ากับตัวกังหัน และนาเซล เพื่อให้ดูกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม สวยงามไม่เป็นมลพิษทางสายตา



ภาพที่ 2.7 เสาแบบเสาจริง แบบโครงถัก และแบบทรงกระบอกเรียบ

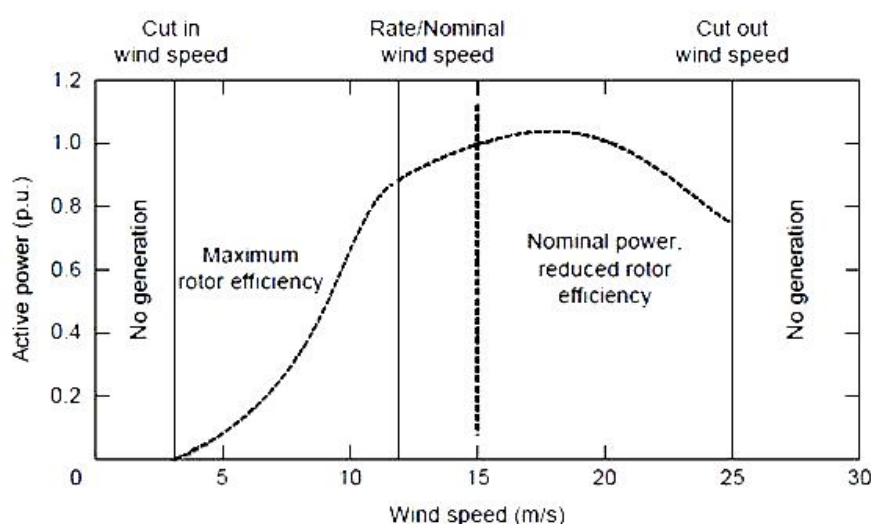
2.6 หลักการทำงานของกังหันลม

ลมที่เกิดขึ้นถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้นซึ่งหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอากาศกับอนุภาคอื่นๆและมีแรงเสียดทานในระดับต่ำโดยเริ่มต้นระหว่างความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงเสียดทานจะลดลงทำให้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2.8 (นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานูวัฒน์, 2547)จนกระทั่งที่ความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทานความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูง และสภาพภูมิประเทศ เช่นเดียวกับทิศทางลม จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่มันจะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ที่ความเร็วลมเท่ากัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกัน เมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมากผลคือแรงลัพธ์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกันดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยเบื้องต้นเป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลมคือความเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง



ภาพที่ 2.8 ลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงที่ความเร็วลมต่ำในช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12-15 เมตรต่อวินาที เป็นช่วงที่เรียกว่าช่วงความเร็วลม (nominal หรือ rate wind speed) ซึ่งเป็นที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเอง ในช่วงที่ความเร็วสูงสุด (maximum rotor efficiency) เป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นความเร็ว (tip speed ratio) (Siegfried, 1998) และในช่วงความเร็วลม (cut out wind speed) เป็นช่วงความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเมื่อความเร็วลมสูงเกินไปอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกังหันลมได้



ภาพที่ 2.9 กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ (Siegfried, 1998)

สำหรับหลักการทั่วไปในการนำพลังงานลมมาใช้คือเมื่อมีลมมาปะทะกับใบพัดของกังหันลม กังหันลมก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมให้อยู่ในรูปของพลังงานกล โดยการหมุนใบพัดแรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่านชุดกลไกที่ติดกับแม่เหล็กซึ่งขดลวดจะยึดอยู่กับที่ ทำให้แม่เหล็กหมุนตัดกับขดลวดเกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าด้วยหลักการนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ประสิทธิภาพของกังหันลมจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน

2.7 การแบ่งขนาดของกังหันลม

กังหันลมผลิตไฟฟ้านับตั้งแต่ Prof. Jacour วิศวกรชาวเดนมาร์กได้ออกแบบและผลิตกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นเป็นครั้งแรกและการพัฒนากังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าก็มีอย่างต่อเนื่องและแพร่หลาย เพื่อนำเทคโนโลยีชนิดนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในการนำกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าไปใช้งานให้เหมาะสม และเกิดประสิทธิภาพสูงสุดขนาดของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า (capacity) เส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด (rotor diameter) พื้นที่กวาดของใบพัด (swept area) ซึ่งมีทั้งหมด 5 ขนาด และการเลือกมาใช้งานก็สามารถเลือกได้ตามความเหมาะสมกับภาระที่ต้องการใช้งาน (ไกรวัณ คุรุฑู, 2551) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขนาดของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

ที่	ขนาดของกังหัน	ขนาดกำลังการผลิต (kW)	เส้นผ่านศูนย์กลาง(m)	พื้นที่กวาด (m ²)
1	ขนาดเล็ก (Micro Wind Turbine)	< 1.5	< 3	< 7
2	ขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)	1.5 - 20	3 - 10	7 - 80
3	ขนาดกลาง (Medium Wind Turbine)	20 - 200	10 - 25	80 - 500
4	ขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)	200 - 1,500	25 - 70	500 - 3,850
5	ขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine)	> 1,500	> 70	> 3,850

2.8 การวัดลมและเครื่องมือวัดลม

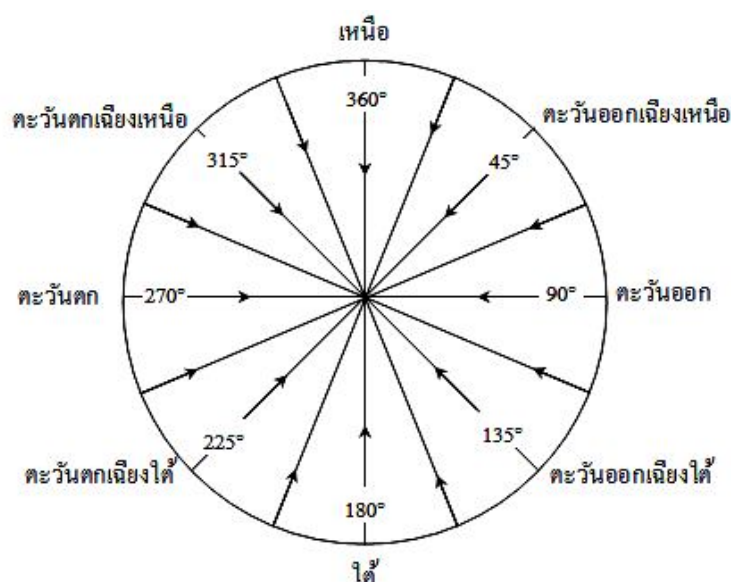
2.8.1 การวัดลม

ในการวัดลมมีส่วนที่ต้องการวัดอยู่ 2 อย่าง ได้แก่ การวัดทิศทาง และ วัดความเร็วลม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

2.8.1.1 การวัดทิศทางอาจเรียกได้ตามชื่อทิศต่างๆของเข็มทิศหรือเรียกเป็นองศาจากทิศจริงปัจจุบันการวัดทิศทางนิยมวัดตามเข็มทิศและวัดเป็นองศาถ้าวัดทิศทางด้วยเข็มทิศเข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็นทิศใหญ่ๆ 4 ทิศคือทิศเหนือทิศใต้ทิศตะวันออกทิศตะวันตกซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศเมื่อแบ่งย่อยอีกจะเป็น 8 ทิศโดยจะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือทิศตะวันออกเฉียงใต้ทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศให้ย่อยเป็น 16 ทิศหรือ 32 ทิศได้อีกแต่การรายงานทิศนั้นมักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศเท่านั้นส่วนการวัดทิศทางที่

เป็นองศาบอกมุมของลมจากทิศจริงในลักษณะที่เวียนไปตามเข็มนาฬิกาใช้สเกลจาก 0 องศาไปจนถึง 360 องศาเช่นลมทิศ 0 องศาหรือ 360 องศาเป็นทิศเหนือ, ลมทิศ 45 องศาเป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ลมทิศ 90 องศาเป็นทิศตะวันออก, ลมทิศ 135 องศาเป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้, ลมทิศ 180 องศาเป็นทิศใต้, ลมทิศ 225 องศาเป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้, ลมทิศ 270 องศาเป็นทิศตะวันตกและลมทิศ 315 องศาเป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือดังภาพที่ 2.10

2.8.1.2 อัตราความเร็วลมลมมีอัตราความเร็วที่แตกต่างกัน ซึ่งสถานที่แต่ละแห่งเป็นตัวแปรที่สำคัญ ถ้าลมมีอัตราความเร็วที่สูงจะก่อให้เกิดความเสียหายที่รุนแรง ลมตามธรรมชาติมีอัตราความเร็วที่ 62 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะเริ่มก่อให้เกิดความเสียหาย และสามารถทำความเสียหายให้แก่บ้านเรือนได้ ดังนั้นอัตราความเร็วลมจึงสามารถทำให้เกิดแรงได้



ภาพที่ 2.10 ทิศทางเรียกเป็นองศาจากทิศจริง

ด้วยเหตุที่มีแรงเกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของลมทำให้สามารถหาความเร็วลมได้โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือใดๆแต่ใช้การสังเกตจากปรากฏการณ์ของวัตถุที่อยู่รอบตัวดังนั้นเพื่อใช้งานตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดมาตราความเร็วลมขึ้นเรียกว่ามาตราโบฟอร์ต (Beaufort scale) โดยพลเรือเอกเซอร์ฟรานซิสโบฟอร์ต (Admiral Sir Francis Beaufort) ชาวอังกฤษเป็นผู้คิดขึ้นใช้สำหรับตรวจลมในทะเลต่อมาได้ถูกดัดแปลงนำมาใช้ทั้งบนบกและในทะเลมาตราโบฟอร์ตจะใช้เปรียบเทียบกับสิ่งที่เกิดขวางไม่ว่าบนบกและในทะเลโดยสิ่งที่เกิดขวางต่างๆได้แก่ ใบไม้กิ่งไม้สายโทรเลขสายโทรศัพท์ธงสิ่งปรักหักพังต่างๆและคลื่นในทะเลเกณฑ์ที่ใช้กำหนด

ความเร็วลมได้มาจากการสังเกตกำลังลมเหนือพื้นดินและในทะเลมาตราโบฟอร์ตเริ่มต้นจากมาตราที่ 0 ไปจนถึงมาตราที่ 17 ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นคือที่มาตรา 0 จะเป็นเขตลมสงบ

ไปจนถึงมาตราที่ 17 ลมมีกำลังแรงจัดกลายเป็นพายุเฮอริเคนปัจจุบันมาตราโบฟอร์ตถูกนำมาใช้น้อยลงโดยเฉพาะสถานีบนบกตารางที่ 2.3 เป็นตารางเทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ตและปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน

2.8.2 เครื่องวัดลม

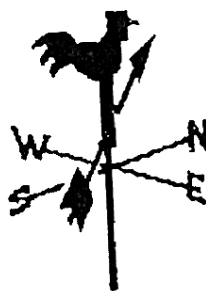
2.8.2.1 เครื่องวัดทิศทางลมเรียกว่าศรลม (wind vane) ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นลูกศรยาวซึ่งมีความยาวเป็นเส้นทางต้องเห็นตัวบังคับให้ปลายศรลมชี้ในทิศทางที่ลมพัดเข้ามาโดยมีแกนของศรลมหมุนไปโดยรอบและต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าอ่านทิศทางลมตามที่ปลายศรลมชี้ไปที่หน้าหัดของเครื่องดังภาพที่ 2.11

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ต

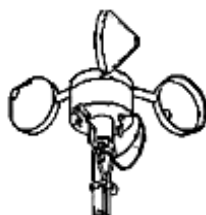
มาตรา โบฟอร์ต	ความเร็ว		ชนิดลม	ปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน
	นอต	กม./ชม.		
0	1	1.6	ลมสงบ	ลมสงบ คำนวณโดยตรง
1	1-3	1.6-4.8	ลมเบา	ทิศทางลมสังเกตได้จากควันที่ลอยแต่ไม่ใช่จากศรลม
2	4-6	6.4-8.6	ลมอ่อน	รู้สึกมีลมปะทะหน้า ใบไม้เคลื่อนไหว ศรลมเริ่มหันทิศทางไปตามลม
3	7-10	12.8-19.2	ลมเฉื่อย	ใบไม้และกิ่งไม้เล็กๆเคลื่อนไหว ตลอดเวลาขยับเคลื่อนไหวออกตามลม
4	11-21	20.8-28.8	ลมปานกลาง	ฝุ่นคุ้ง กระจายปลิว กิ่งไม้เล็กๆโยก
5	17-21	30.4-38.4	ลมกระโชก	ต้นไม้เล็กๆเริ่มโยก
6	22-27	40.0-38.4	ลมแรง	กิ่งไม้ใหญ่โยก สายโทรเลขดังหวีดๆ
7	28-33	51.2-60.8	พายุปานกลาง	ต้นไม้โยก เดินต้านลมไม่สะดวก
8	34-40	62.4-73.6	พายุกระโชก	กิ่งไม้หัก เดินไปข้างหน้าไม่สะดวก
9	41-47	75.2-86.4	พายุแรง	สิ่งก่อสร้างเสียหายเล็กน้อย
10	48-55	88.0-100.8	พายุจัด	ต้นไม้ถอนราก สิ่งก่อสร้างเสียหายมาก
11	56-63	102.4-115.2	พายุจัด	สิ่งก่อสร้างเสียหายเป็นบริเวณกว้าง

12	64-71	116.8-131.2	เฮอรัรีเคน	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก
13	72-80	132.8-147.3	เฮอรัรีเคน	
14	81-89	148.8-164.8	เฮอรัรีเคน	
15	90-99	166.4-182.4	เฮอรัรีเคน	
16	100-108	184.0-200.0	เฮอรัรีเคน	
17	109-118	201.6-217.6	เฮอรัรีเคน	

2.8.2.2 เครื่องวัดความเร็วเรียกว่าแอนนิโมมิเตอร์ (anemometer) ซึ่งแอนนิโมมิเตอร์แบบเก่าแก่ที่สุดคือแบบแผ่นกระดก (pressure plate anemometer) ประดิษฐ์โดยโรเบิร์ตฮุก (Robert Hook) เมื่อปีพ.ศ.2210 ประกอบด้วยแผ่น โลหะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแขวนติดอยู่กับแกนและแกนนี้ติดอยู่กับเสาในแนวตั้งแผ่น โลหะนี้หมุนรอบแกน ได้อย่างอิสระและตั้งฉากกับทิศทางลมเสมอเมื่อมีลมพัดปะทะกับแผ่น โลหะปลายด้านหนึ่งของแผ่น โลหะจะกระดกขึ้นมุมที่แผ่น โลหะทำกับแนวตั้งนั้นจะขึ้นอยู่กับความแรงของลมถ้ลมนั้นแรงมากมุมที่ทำจะใหญ่ขึ้นความเร็วลมอ่านได้จากสเกลที่ทำไว้บน โลหะ โล่่งที่ติดอยู่กับแกนของแผ่น โลหะปัจจุบันแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือแบบลูกถ้วย (cup anemometer) ประกอบด้วยลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกลม 3 หรือ 4 ใบติดอยู่กับเพลาในแนวตั้งดังภาพที่ 2.12

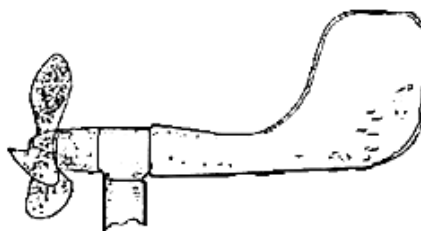


ภาพที่ 2.11 สรลม



ภาพที่ 2.12 แอนนิโมมิเตอร์แบบรูปถ้วย

ความกดที่แตกต่างกันจากด้านหนึ่งของลูกถ้วยใบหนึ่งไปยังลูกถ้วยอีกใบหนึ่งเป็นเหตุให้ลูกถ้วยหมุนรอบๆเพลาอัตราที่ลูกถ้วยหมุนจะเป็นสัดส่วนตรงต่อความเร็วลมการหมุนของลูกถ้วยปกติจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นความเร็วลมผ่านระบบเกียร์และสามารถอ่านความเร็วลมได้จากหน้าปัดหรือส่งไปยังเครื่องบันทึกเวลาส่วนเครื่องวัดที่วัดได้ทั้งความเร็วลมและทิศทางลมเรียกว่า แอโรเวน (aero vane) ดังภาพที่ 2.13 โดยรวมแอนิโมมิเตอร์และศรลมเข้าด้วยกันเครื่องมือนี้ใช้ใบพัด 3 ใบวัดความเร็วลมใบพัดหมุนเป็นอัตราส่วนกับความเร็วลมด้วยรูปร่างของเครื่องที่มีรูปทรงอากาศพลศาสตร์ดีและมีหางเสืออยู่ในแนวตั้งช่วยให้ใบพัดหันเข้าหาลมศรลมจะทำหน้าที่ 2 อย่างคือบอกทิศทางลมและช่วยให้แกนของใบพัดชี้เข้าหาทิศทางลมทั้งแอนิโมมิเตอร์และศรลมเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องมือที่ทำการบันทึก



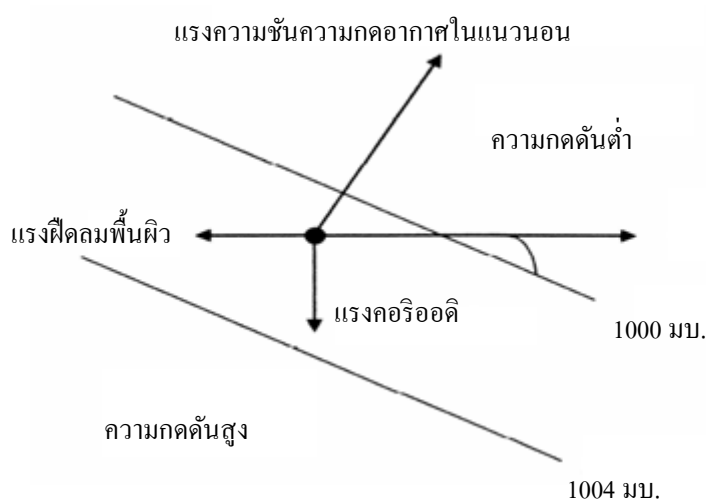
ภาพที่ 2.13 แอโรเวน

เครื่องวัดลมที่กล่าวมานี้เป็นการวัดลมที่พื้นดินและบอกทิศทางหรือความเร็วลมในตำแหน่งคงที่โดยเฉพาะสิ่งกีดขวางอื่นๆก็มีอิทธิพลต่อลมเช่นอาคารต้นไม้และอื่นๆความเร็วลมจะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นดังนั้นเครื่องมือที่ใช้วัดลมควรตั้งอยู่ในที่โล่งที่ลมไหลได้สะดวกและควรอยู่สูงกว่าหลังคาอาคารแต่ในทางปฏิบัติแอนิโมมิเตอร์จะถูกติดตั้งวางไว้ในระดับความสูงต่างๆไม่แน่นอนทำให้การวัดลมขาดความแม่นยำไปพอสมควร

2.9 ลมผิวพื้น

ลมผิวพื้น (Surface Winds) คือลมที่พัดจากบริเวณผิวพื้นไปยังความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดินซึ่งเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศและมีแรงเสียดทานเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วยในระดับต่ำแรงความชันความกดอากาศในแนวนอนจะไม่สมดุลกับแรงคอริโอลิสแรงเสียดทานทำให้ความเร็วลมลดลง มีผลให้แรงคอริโอลิสลดลงไปด้วยลมผิวพื้นจะไม่พัดขนานกับไอโซบาร์แต่พัดข้ามไอโซบาร์จากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ

และทำมุมกับไอโซบาร์การทำมุนนั้นขึ้นอยู่กับความหยาบของผิวพื้นถ้าเป็นทะเลที่ราบเรียบจะทำมุม 10 ถึง 20 แต่พื้นดินทำมุม 20 ถึง 40 ส่วนบริเวณที่เป็นป่าไม้หนาทึบ อาจทำมุมถึง 90 มุมที่ทำกับไอโซบาร์อยู่ในระดับความสูง 10 เมตรเหนือผิวพื้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไป แรงฝืดลดลง แต่ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นมุมที่ทำกับไอโซบาร์จะเล็กลง ส่วนที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงฝืดดังนั้นลมจึงพัดขนานกับไอโซบาร์ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ในระดับความสูง 1 กิโลเมตร แรกจากพื้นที่มีแรงพัดลมผิวพื้นพัดข้ามไอโซบาร์ และทำมุมกับไอโซบาร์

2.10 การคำนวณพลังงานและกำลังลม

การคำนวณพลังงานและกำลังลมที่ได้ สามารถใช้สมการคณิตศาสตร์ต่อไปนี้ในการคำนวณและวิเคราะห์ศักยภาพกำลังลมทั้งหมด พลังงานที่สะสมอยู่ในลมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.1)$$

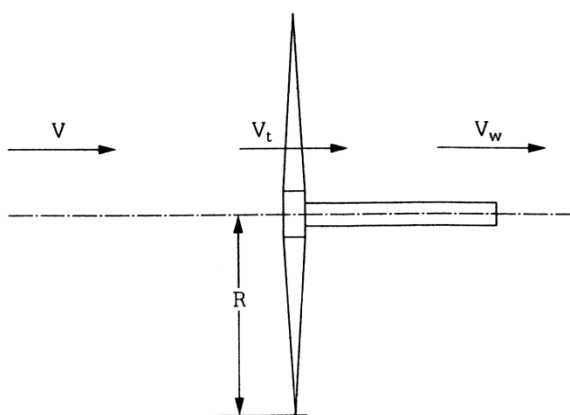
- เมื่อ P_w คือ กำลังลม (W)
 ρ คือ ความหนาแน่นของลม (kg/m^3)
 A คือ พื้นที่ของใบพัด (m^2)
 V คือ ความเร็วลม (m/s)

อัตราของพลังงานจลน์ที่มากที่สุดที่ลมจะให้แก่อากาศที่ไหลเชิงมวลคูณกับพลังงานจลน์ต่อหน่วยมวล ในการคำนวณจะตั้งสมมติฐานคือสถานะของอากาศมีผลน้อยมากต่อกำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้ดังสมการ (2.2) และ (2.3)

$$\text{RATE KE}_{\text{MAX}} = \rho V A \times \frac{V^2}{2} \quad (2.2)$$

$$\text{RATE KE}_{\text{MAX}} = \frac{\rho V^3 A}{2} \quad (2.3)$$

ซึ่งกังหันลมจะนำพลังงานจลน์จากลมมาใช้ในการหมุนตัวเอง ความเร็วลมก่อนผ่านกังหันมีค่าเท่ากับ V เมื่อลมอยู่ในอยู่ในระยะที่ผ่านกังหันจะมีความเร็วเท่ากับ V_t และเมื่อผ่านกังหันไปแล้วจะมีค่าลดลงเป็น V_w ซึ่งอยู่ด้านหลังของกังหันดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 การไหลของลมผ่านกังหัน

จากหลักการถ่ายเทพลังงานกำลังของกังหันลมเท่ากับผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลกับพลังงานจลน์ที่ลดลงตามสมการที่ (2.4)

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A V_t (V^2 - V_w^2) \quad (2.4)$$

เมื่ออากาศไหลผ่านด้านหน้าและด้านหลังของกังหันลมลดลง ทำให้เกิดความดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ จากหลักการถ่ายเทโมเมนตัม ความดันตกคร่อมสามารถแสดงได้ตามสมการที่ (2.5)

$$\Delta P = \rho \frac{(V^2 - V_w^2)}{2} \quad (2.5)$$

ดังนั้นแรงที่กระทำต่อกังหันลมจะเท่ากับผลคูณของความดันตกคร่อมกับพื้นที่ซึ่งสามารถแสดงได้ตามสมการที่ (2.6)

$$F = \rho A \frac{(V^2 - V_w^2)}{2} \quad (2.6)$$

อัตราการลดลงของโมเมนตัมในกระแสลมสามารถแสดงได้ตามสมการที่ (2.7)

$$\rho A V_t (V - V_w) = 0 \quad (2.7)$$

เนื่องจากอัตราการลดลงของโมเมนตัมจะเท่ากับแรงที่กระทำต่อกังหัน ดังสมการที่ (2.6) และมีค่าเท่ากับสมการที่ (2.7) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง V , V_w และ V_t ดังสมการที่ (2.8)

$$V_t = \frac{(V - V_w)}{2} \quad (2.8)$$

ดังนั้นกำลังของกังหันลม P_w สามารถแสดงในรูปตัวแปร V , V_w ดังสมการที่ (2.9)

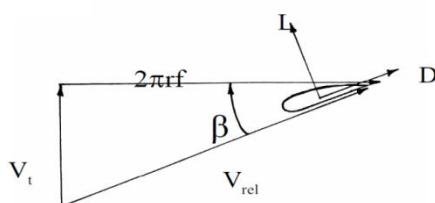
$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \left[\frac{\left(1 + \frac{V_w}{V}\right) \left(1 - \frac{V_w}{V}\right)}{2} \right] \quad (2.9)$$

พจน์ในปีกกาของสมการที่ (2.9) จะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ $\frac{16}{27}$ เมื่อ $V_w = \frac{V}{3}$ หรือเมื่อ $\frac{8}{9}$ ของพลังงานจลน์ของลมถูกดูดซับโดยกังหันลม ดังนั้นกำลังของกังหันลมมากที่สุดจะเป็นไปตามสมการที่ (2.10)

$$P_m = \frac{16}{27} \left[\frac{1}{2} \rho A V^3 \right] \quad (2.10)$$

เมื่อกระแสลมผ่านใบพัดของกังหันจะทำให้เกิดทอร์กที่กระทำต่อตัวหมุน(rotor) ของกังหันลมในทิศทางการหมุนซึ่งจะก่อให้เกิดกำลังทางกลภาพที่ 2.16แสดงองค์ประกอบของความเร็วลมที่กระทำต่อใบพัด ที่พัดผ่านหน้าตัดของใบพัดที่มีรัศมี r จากแกนของกังหัน กำหนดให้ความเร็วลมในแนวสัมผัส (tangential velocity) มีค่าเท่ากับ $2\pi r f$

เมื่อ f = ความถี่ของใบพัดหมุน
 V_t = ความเร็วของลมตามแกนของกังหัน



ภาพที่ 2.16 องค์ประกอบของความเร็วที่กระทำต่อใบพัด

ดังนั้น

$$\text{ความเร็วสัมพัทธ์สุทธิ } V_{rel} = \sqrt{V_t^2 + (2\pi r f)^2} \quad (2.11)$$

โดยที่มุมความเร็วสัมพัทธ์สุทธิเทียบกับแนวสัมผัสแสดงได้ดังสมการ (2.12)

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{V_t}{2\pi r f} \right) \quad (2.12)$$

เมื่อใบพัดของกังหันลมมีการบิดเป็นมุมเล็กน้อยหรือพิชต์(Pitch) จะทำให้เกิดแรงยก (L) และแรงต้าน (Drag Force, D) ในทิศทางที่ตั้งฉากและขนานกับความเร็วสัมพัทธ์ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 2.16 ดังนั้นแรงสุทธิที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของใบพัดในทิศทางที่หมุนจะเท่ากับ $L \sin \beta - D \cos \beta$

กำลังของกังหันลมที่แรงสุทธิที่กระทำต่อใบพัด = แรง $\times$ ความเร็ว

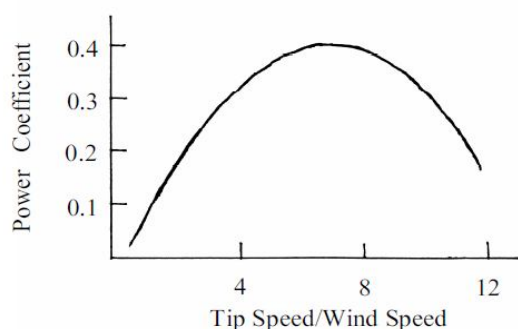
$$= (L \sin \beta - D \cos \beta) 2\pi r f \quad (2.13)$$

จากสมการที่ (2.5) และรูปที่ 2.16 พบว่าแรงยก L จะมีค่ามากกว่าแรงต้าน D และกำลังของกังหันลมจะเพิ่มขึ้น โดยความเร็วในแนวสัมผัสของกังหันลมจะมีค่ามากกว่าความเร็วลม

ประสิทธิภาพของกังหันลมสามารถแสดงได้ตามสมการที่ (2.14) ในรูปของสัมประสิทธิ์กำลังไร้หน่วย(C_p) ซึ่งนิยามตามสมการ

$$C_p = \frac{P_m}{\frac{1}{2} \rho V^3 A} \quad (2.14)$$

ค่า (C_p) ควรจะมีค่าน้อยกว่า $\frac{16}{27}$ และเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนความเร็วตามภาพที่ 2.9 ถ้าอัตราส่วนความเร็วต่ำจะพบว่ามุมของใบพัดมีค่ามากไป ทำให้เกิดแรงหน่วงมากส่งผลให้กำลังลดลง ในขณะที่อัตราส่วนความเร็วสูง มุมของใบพัดจะน้อยไปทำให้แรงยกลดลง ส่งผลให้กำลังลดลง Tip Speed Ratio (TSR) บอกถึงสัดส่วนระหว่างความเร็วปลายใบพัดและความเร็วลม ถ้า TSR ต่ำเกินไปหรือหมุนช้า ลมที่พัดผ่านพื้นที่หน้าตัดจะผ่านใบพัดกังหันโดยไม่มีการสัมผัสกับใบพัดของกังหันหรือสัมผัสน้อยซึ่งไม่ทำให้เกิดแรงกระทำต่อใบพัด แต่ถ้า TSR มากเกินไปกังหันจะมีแรงต้านลมมากเกินไปซึ่งจะทำให้ลมหมุนรอบๆ ใบพัด (ไกรพัฒน์ จินขจร, 2551)



ภาพที่ 2.17 อัตราส่วนความเร็วและสัมประสิทธิ์

2.11 การแจกแจงแบบไวบูลล์ (Weibull Distribution)

ในการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของความเร็วลม ในแต่ละช่วงสามารถดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการแจกแจงแบบไวบูลล์ซึ่งเป็นสมการที่ให้ผลวิเคราะห์แม่นยำและใช้กันอย่างแพร่หลาย (Gupta, 1986, Stevens, et al., 1979, Rehman, et al., 1994) ซึ่งฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ของความเร็วลม มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.15)

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \quad (2.15)$$

และมีฟังก์ชันการแจกแจงความถี่สะสม ดังสมการที่ (2.16)

$$F(v) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \quad (2.16)$$

- เมื่อ $f(v)$ คือ ค่าฟังก์ชันการแจกแจงความถี่
 $F(v)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่สะสม
 V คือ ความเร็วลม (m/s)
 K คือ พารามิเตอร์รูปร่าง (ไร้หน่วย)
 C คือ พารามิเตอร์ระดับ (m/s)

สมการการแจกแจงแบบไวบูลล์ ประกอบด้วยพารามิเตอร์อยู่ 2 พารามิเตอร์ด้วยกันคือ

2.11.1 พารามิเตอร์รูปร่าง (Shape Parameter, K)

เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะการกระจายของลม ซึ่งในบริเวณที่ค่า K ต่ำ แสดงว่าบริเวณนั้นมีความเร็วลมต่ำพัดโดยความถี่ที่บ่อยครั้งกว่าความเร็วลมสูง และในกรณีที่มีค่า K สูงก็จะแสดงผลในทางตรงข้ามคือบริเวณนั้นมีความเร็วลมสูงพัดโดยความถี่ที่บ่อยครั้ง โดยที่ค่า K จะเป็นไปตามลักษณะแต่ละพื้นที่ผิว ค่า K หาได้จากสมการที่ (2.17)

$$K = \left(\frac{\sigma_x}{V_c} \right)^{-1.086} \quad (2.17)$$

- เมื่อ σ_x = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 V_c = ค่าความเร็วลมเฉลี่ย

2.11.2 พารามิเตอร์ระดับ (Scale Parameter, C)

เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมเฉลี่ย เมื่อความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าสูง ค่า C จะมีค่าสูง และเมื่อมีความเร็วลมเฉลี่ยที่ต่ำ ค่า C จะมีค่าต่ำตามไปด้วย ดังสมการที่ (2.18)

$$C = \frac{V_c}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (2.18)$$

เมื่อ $\Gamma(x)$ = Gamma function
 V_c = ค่าความเร็วลมเฉลี่ย

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-t} t^{x-1} dt \quad (2.19)$$

Gamma function สามารถประมาณได้ ดังสมการที่ (2.20)

$$\Gamma(x) = (2\pi x)^{\frac{1}{2}} x^{x-1} e^{-x} \left(1 + \frac{1}{12x} + \frac{1}{288x^2} - \frac{139}{51840x^3} + \dots\right) \quad (2.20)$$

ค่า K และค่า C หาได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลม ณ จุดนั้นๆ (Exell, 1981) และในการคำนวณหาพลังงานสูงสุดจากกังหันลมในอุดมคติสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.21)

$$E_i = (1 - F_c) T \int_0^\infty P_i(v) f(v) dv \quad (2.21)$$

เมื่อ E_i คือ พลังงานสูงสุดที่กังหันลมในอุดมคติสามารถทำได้ (W-h)
 F_c คือ อัตราส่วนของช่วงลมที่สงบ (ไร้หน่วย)
 T คือ เวลาในรอบปี (h)
 $P_i(v)$ คือ พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมในอุดมคติ (W)

และหากพิจารณาสมการที่ (2.21) พบว่า เทอม $\int_0^\infty P_i(v) f(v) dv$ คือ พลังงานโดยเฉลี่ยที่ผลิตได้จากกังหันในอุดมคติและ F_c เป็นสัดส่วนของช่วงลมสงบ ซึ่งต้องนำมาพิจารณาเนื่องจาก

$f(v)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงความถี่เฉพาะช่วงที่มีความเร็วมากกว่าศูนย์เท่านั้นและในส่วนของพลังงานลมที่ผลิตได้จากกังหันในอุดมคติ สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.22)

$$P_i(v) = \frac{1}{2} C_B \rho V^3 A \quad (2.22)$$

เมื่อ C_B คือ Betz limit = 0.59

และเมื่อค่า $dF(v)=f(v)dv$ ในสมการที่(2.21) สามารถหาคำตอบด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข (Chumnong Sorapipatana, 2537) ตามสมการที่ (2.23)

$$E_i \cong (1 - F_c) T \sum_{i=0}^{i=\infty} [0.05(P_i(v_i) + (P_i(v_i + 1)) \times (F(v_i)))] \quad (2.23)$$

ในทำนองเดียวกัน การคำนวณหาพลังที่กังหันลมสามารถผลิตได้จริง สามารถวิเคราะห์โดยใช้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.24)

$$E_a = (1 - F_c) T \int_{V_o}^{V_n} P_a(v) f(v) dv \quad (2.24)$$

เมื่อ E_a คือ ค่าพลังงานที่ผลิตได้จริงจากกังหันลมที่ใช้ทดสอบ (W-h)

$P_a(v)$ คือ พลังงานที่ผลิตได้จริงจากกังหันลมที่ใช้ทดสอบ (W)

V_o คือ cut in speed (m/s)

V_n คือ cut out speed (m/s)

ดังนั้นในการประมาณค่าพลังงานที่สามารถผลิตได้จริงในรอบปีสามารถหาค่าโดยประมาณจากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.25)

$$E_a \cong (1 - F_c) T \sum_{i=0}^{i=n-1} [0.5(P_a(v_i) + (P_a(v_{i+1})) \times (F(v_{i+1}) - F(v_i)))] \quad (2.25)$$

2.12 ทฤษฎีการออกแบบใบกังหัน

ในการออกแบบใบกังหันมีความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงความกว้างที่แน่นอนและมุมบิดของใบกับแนวการหมุนของใบ (β) ที่ตำแหน่งต่างๆตลอดความยาวใบเนื่องจากแรงที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของส่วนโรเตอร์ จะขึ้นอยู่กับแรงสองแรงคือ

$$\text{Lift} = C_L \left(\frac{\rho}{2} \right) A V_{rel}^2 \quad (2.26)$$

$$\text{Drag} = C_d \left(\frac{\rho}{2} \right) A V_{rel}^2 \quad (2.27)$$

และ Tip Speed Ratio (λ) คืออัตราส่วนความเร็วปลายใบ (ความเร็วที่ต้องการให้กังหันลมใช้งานในสภาวะต่างๆ)

$$\lambda = \frac{\text{Tip-speed}}{\text{Wind-speed}} \quad (2.28)$$

ในการวิเคราะห์เราจะพิจารณาส่วนเล็กๆตลอดความยาวของใบโดยมีพื้นที่ $2\pi r \Delta r$ ดังภาพที่ 2.18 การพิจารณาพื้นที่ใบพัดแรงยก (lift force) และแรงต้าน (drag force) จะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์แรงยก C_L และสัมประสิทธิ์แรงต้าน C_D (ค่า C_L และ C_D ต้องหาจากกราฟซึ่งเป็นแบบเฉพาะของรูปแบบของ Airfoil นั้นๆ) ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึง มุมปะทะ (α) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการทำให้เกิดแรงยกที่มุมปะทะนี้ี้จะมีความสัมพันธ์กับแบบ Air foil ในการเลือกแบบของ Air foil นิยมใช้คือ NACA แต่จะต้องคำนึงถึง Reynold's Number ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.29)

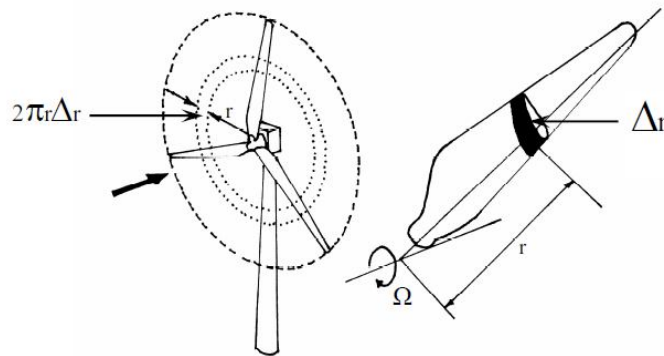
$$Re = \frac{V_{rel} C}{\nu} \quad (2.29)$$

เมื่อ C คือ ความกว้างที่กว้างที่สุดของใบ

V_{rel} คือความเร็วสัมพัทธ์

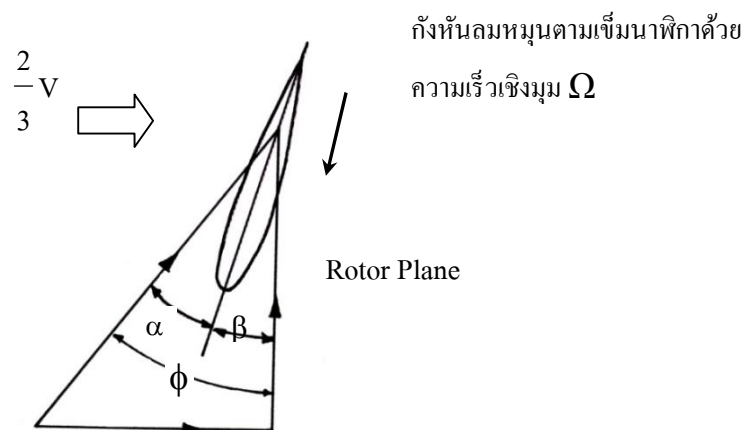
ν คือ ความหนืดของอากาศมีค่าประมาณ $1.568 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

ที่อุณหภูมิของอากาศ เท่ากับ $27^\circ C$



ภาพที่ 2.18 การพิจารณาพื้นที่ใบพัด

นำค่า Reynold's Number ที่ได้ไปเลือกชนิดของ NACA จากกราฟของ NACA จะสามารถเทียบหา C_L และ C_D

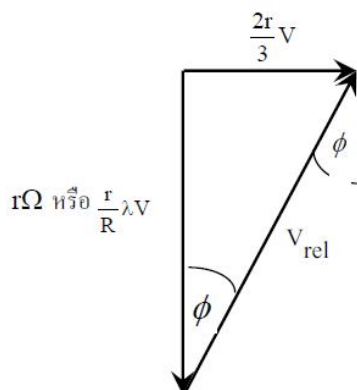


ภาพที่ 2.19 มุมที่ลมกระทำกับใบกังหัน

จากภาพที่ 2.19 มุมที่ลมกระทำกับใบกังหัน จะได้

$$\beta = \phi - \alpha \quad (2.30)$$

- เมื่อ β คือ มุมที่บิดไปของใบจากแนวการหมุนของใบ (Rotor plane)
 ϕ คือ ปะทะระหว่างใบกับลม (ความเร็วสัมพัทธ์)
 α คือ มุมที่ความเร็วสัมพัทธ์ V_{rel} กระทำกับแนวการหมุนของใบกังหัน



ภาพที่ 2.20 เวกเตอร์ไดอะแกรมของความเร็วที่ r ใดๆ

เมื่อพิจารณาเวกเตอร์ไดอะแกรมของความเร็วสมภาพที่ 2.20 จะได้ สมการที่ (2.31)

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{2R}{3r\lambda} \right] \quad (2.31)$$

เมื่อ R = รัศมีของใบพัดที่ต้องการออกแบบ
 r = รัศมีที่ตำแหน่งต่างๆของใบพัดตลอดความยาวใบ
 λ = อัตราส่วนความเร็วปลายใบ

แรงขับเคลื่อนของกังหันลม (driving force) คือแรงในแนวการหมุนของใบกังหันส่วนแรงที่ดันกังหันไปด้านหลังคือ Thrust แรงดังกล่าวสามารถหาได้ ดังนี้

$$\text{Driving force} = \text{Lift}(\sin\phi) - \text{Drag}(\cos\phi) \quad (2.32)$$

$$\text{Thrust} = \text{Lift}(\cos\phi) - \text{Drag}(\sin\phi) \quad (2.33)$$

เนื่องจากแรงต้านมีค่าน้อยจึงไม่นำมาคิดคำนวณซึ่งทำให้

$$\text{Thrust} = \text{Lift}(\cos\phi) \quad (2.34)$$

เมื่อความเร็วลม V ผ่านปะทะใบจะมีความเร็วลดลงเหลือ $\frac{1}{3}V$ ลมที่ใช้ในการหมุนของโรเตอร์จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของลมเข้าและลมออก จะได้ $\frac{2}{3}V$ จากทฤษฎีสมการโมเมนตัมเชิงเส้น จะได้

$$\text{Thrust} = \left(\frac{4}{9}\right) \rho A v^2 \quad (2.35)$$

เมื่อ $A =$ พื้นที่ลมปะทะ

พิจารณาพื้นที่วงแหวนที่ระยะ r ใดๆ พื้นที่ A เท่ากับ $2\pi r \Delta r$

$$\text{Thrust} = \frac{4}{9} \rho (2\pi r \Delta r) v^2 \quad (2.36)$$

และจากทฤษฎีแรงที่กระทำกับใบกังหันหน้าตัวรูป Airfoil

$$\text{Lift} = C_L \left(\frac{\rho}{2}\right) A v_{rel}^2 \quad (2.37)$$

เมื่อพิจารณาที่ระยะ r ใดๆ และให้จำนวนใบกังหันเท่ากับ B และความกว้างใบกังหันแต่ละใบเท่ากับ C จะได้

$$\text{Lift} = C_L \left(\frac{\rho}{2}\right) B C \Delta r v_{rel}^2 \quad (2.38)$$

$$\text{Lift} = C_L \left(\frac{\rho}{2}\right) B C \Delta r \left(\frac{\lambda v r / R}{\cos \phi}\right)^2 \quad (2.39)$$

แรง Thrust คิดตามทฤษฎีสมการ โมเมนตัมเชิงเส้นตามสมการที่ (2.35) และ (2.36) จะเท่ากับ Thrust ที่คิดจากทฤษฎีรูป Air foil ตามสมการที่ (2.34) และ (2.39)

$$\left(\frac{4}{9}\right) \rho (2\pi r \Delta r)^2 = C_L \left(\frac{\rho}{2}\right) B C \Delta r \left(\frac{\lambda v \left(\frac{r}{R}\right)}{\cos \phi}\right)^2 \cos \phi \quad (2.40)$$

จะได้ความกว้างของใบกังหันมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.41)

$$C = \frac{16\pi R \left(\frac{R}{r}\right) (\cos \phi)}{9\lambda^2 B C_L} \quad (2.41)$$

เมื่อทราบมุม θ ตามสมการ 2.31 ก็สามารถหาความกว้างของใบกังหันที่ระยะรัศมี r ใดๆ ได้ดังสมการที่ (2.34) (จิระวัฒน์ แดงไทย, ฅณัฐพงศ์ เวณันท์ และ อนุรักษ์ นาคจัน, 2547)

2.13 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์เครื่องกลที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ ดังนี้คือ

2.13.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C generator) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.13.1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดสนามแม่เหล็กหมุน (rotating field type generator)

2.13.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดขั้วแม่เหล็กยื่น (salient pole generator)

2.13.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (D.C generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (D.C Generator) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.13.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทกระตุ้นแยก (separately excited generator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้รับการกระตุ้นให้เกิดสนามแม่เหล็ก จากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าภายนอก เช่น แบตเตอรี่ เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน DC ภายนอกทำหน้าที่กระตุ้นสนามแม่เหล็กที่ขดลวดฟิลด์

2.13.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทกระตุ้นตัวเอง (self-excited generator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็กได้ภายในตัวเองแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดชันท (shunt generator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขดลวดฟิลด์ต่อขนานกับอามเมอร์เรียกว่า ชันทฟิลด์ (shunt field)

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดซีรีส์ (series generator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขดลวดฟิลด์ต่ออนุกรมกับอามเมอร์เรียกว่า ซีรีส์ฟิลด์ (series field)

3) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดคอมปาวด์ (compound generator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขดลวดฟิลด์ต่อทั้งแบบอนุกรมและขนานกับอามเมอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ 1) แบบลองชันท (long shunt) 2) แบบชอร์ตชันท (short shunt)

2.13.3 ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Efficiency)

ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมายถึง อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายออกมา หรือ กำลังเอาต์พุต (output power; P_o) ต่อกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือ กำลังอินพุต (input power; P_i) ดังสมการที่ (2.42)

$$\text{ประสิทธิภาพ } (\eta) = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \quad (2.42)$$

ค่าเอาต์พุต (output power ; P_o) ย่อมน้อยกว่าค่ากำลังอินพุต (input power ; P_i) เพราะเมื่อจ่ายกำลังอินพุต (input power ; P_i) ให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเกิดความสูญเสียต่างๆ ดังนั้น ประสิทธิภาพต้องต่ำกว่า 100% อย่างแน่นอน

2.13.4 ความสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Losses)

ความสูญเสียหรือกำลังสูญเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สำคัญได้แก่

2.13.4.1 ความสูญเสียแบบสเตรย์ (stray power losses) ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

1) ความสูญเสียทางกล (mechanical loss) ได้แก่ความสูญเสียเนื่องจากความเสียด (friction loss)

2) ความสูญเสียในแกนเหล็ก (core loss) ได้แก่ การสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิส (hysteresis loss) และการสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (eddy current loss)

2.13.4.2 ความสูญเสียในขดลวดทองแดง (copper losses) ในขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนจะเกิดการเหนี่ยวนำและมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียในขดลวดตัวนำในรูปของความร้อน ($I_a^2 R_a$) และในขดลวดสนามแม่เหล็กหรือฟิลด์ ($I_f^2 R_f$) (สัมพันธ์ หาญชล, 2519)

2.14 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งจะได้พิจารณา รายละเอียดดังนี้ (อ่ำไพศักร์ ทิบุญมา, นันทวัฒน์ วีระยุทธ และพิสิษฐ์ เตชะรุ่งศาล, 2548)

2.14.1 ต้นทุนการสร้างระบบ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1) ค่าใช้จ่ายในการเริ่มต้น ได้แก่ ค่าจัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์ ชุดควบคุมการเก็บประจุ ชุดแปลงกระแสไฟฟ้า ชุดเก็บพลังงานสายไฟฟ้ารวมทั้งวัสดุ และ ค่าจ้างในการจัดทำอุปกรณ์ในการติดตั้งเสาเข็มหลุม

2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ได้แก่ ค่าแรงงาน

2.14.2 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

คิดราคาการผลิตกระแสไฟฟ้าของกำลังลม ต่อหน่วยที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน หาได้ดังสมการที่ (2.43)

$$CE = \frac{CT}{P} \quad (2.43)$$

เมื่อ CE คือต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh)

CT คือ เงินลงทุนรายปีทั้งหมด (บาท/ปี)

เงินลงทุนรายปีทั้งหมด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.44)

$$CT = C_c + C_m - C_s \quad (2.44)$$

เมื่อ C_c คือเงินลงทุนเริ่มต้นรายปี ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ตามสมการที่ (2.45)

$$C_c = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (2.45)$$

เมื่อ i คืออัตราดอกเบี้ยต่อปี (เปอร์เซ็นต์)

n คืออายุการใช้งานของเครื่อง (ปี)

2.14.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

จะทำการคิดค่าใช้จ่าย เมื่อเริ่มต้นทำการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเรียบร้อยแล้วเป็นรายปี โดยใช้สมการที่ (2.46)

$$C_m = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times 0.05 \quad (2.46)$$

เมื่อ C_m คือเงินลงทุนในการบำรุงรักษารายปี

2.14.4 มูลค่าซากของกังหันลม

คิดเป็นมูลค่าซากรายปีตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี โดยคิดที่ 10% ของเงินลงทุนเริ่มต้น ดังสมการที่ (2.47)

$$C_s = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (2.47)$$

เมื่อ C_s คือมูลค่าซากเมื่อสิ้นสุดอายุใช้งาน

2.14.5 ระยะเวลาคืนทุน

จะพิจารณาจำนวนปีที่คุ้มต่อเงินลงทุนเริ่มต้นในการสร้างกังหันลม ซึ่งคำนวณจากสมการที่ (2.48) (อ่ำไพศักร์ ที่บุญมา, นันทวัฒน์ วีระยุทธและพิสิษฐ์ เตชะรุ่งศาล, 2548)

$$\text{ระยะคืนทุน(ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น(บาท)}}{\text{มูลค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี}\left(\frac{\text{บาท}}{\text{ปี}}\right)} \quad (2.48)$$

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kazumasa Ameku (2008) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมขนาด 3 kW ที่มีใบพัดแบบปีกเครื่องบิน ซึ่งมีอัตราส่วนความเร็วเท่ากับ 3 กังหันลมถูกควบคุม 2 วิธีได้แก่ การควบคุมโดยการปรับเปลี่ยนค่ามุมของใบพัดและ ควบคุมกระแสไฟฟ้าในสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทดสอบได้สภาพของลมจริง การตรวจสอบภายใต้สภาวะจริงได้ผลดังนี้

1) โปรแกรมควบคุมค่าประมาณของความเร็วลมจะถูกคำนวณโดยพลังงานที่ออกมา และ อัตราเร็วเชิงมุม โดยพบว่า การแจกแจงที่ได้จากการประมาณความเร็วลม และจากการวัดมีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกัน

2) กังหันลมที่ควบคุมอัตโนมัติแสดงให้เห็นถึงค่าพลังงานที่ได้เท่ากับ 1,106 W และค่าสัมประสิทธิ์พลังงานเท่ากับ 0.14 ภายได้ความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตร/วินาที

Arifujjaman Md. (2009) ได้ศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานลมขนาดเล็กแบบแม่เหล็กถาวร (PMG) จากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือแสดงให้เห็นว่าระบบแปลงพลังงานแบบ PMG ไม่ใช่ทางเลือกที่ดีที่สุด หากพิจารณาในแง่ของความน่าเชื่อถือของระบบปรับสภาวะพลังงานของ PMG based SWT โดยอุณหภูมิต่ำเป็นตัวแปรส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือนี้ และพบว่ามีความน่าเชื่อถือต่ำที่สุดของระบบก็คือในส่วน of grid-tie invertors และได้ทำการทดลองแปรค่าจุดปฏิบัติการบน PCS สามารถสรุปได้ว่ากังหันลมขนาดเล็กควรใช้ระบบ grid connected จึงจะได้ความน่าเชื่อถือที่ดีกว่า ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ

Fawzi A.L. Jowder (2009) ได้ศึกษาการวิเคราะห์พลังงานลมและการหาตำแหน่งที่ตั้งของกังหันลมในประเทศบาร์เรน เก็บรวบรวมข้อมูลความเร็วลมเป็นรายชั่วโมงที่มีความสูง 10 เมตร 30 เมตรและ 60 เมตร ตั้งแต่ปี 2003-2005 ที่ประเทศบาร์เรน และทำการวิเคราะห์เชิงสถิติ เพื่อหาตำแหน่งที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานลม นำข้อมูลความเร็วลมมาสร้างเป็นแบบจำลอง โดยใช้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของ Weibull ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆของฟังก์ชันถูกประมาณค่าด้วยวิธีการต่างกัน 2 แบบคือแบบ graphical method และ approximated method โดยพบว่าฟังก์ชันความน่าจะเป็นเป็น Weibull ที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธี approximated approach สามารถทำนายความเร็วลมและค่าพลังงานได้ถูกต้องกว่าวิธีอื่นด้วยการใช้ Weibull parameters สามารถคำนวณค่า capacity factors ทั้งแบบรายปีและรายเดือน จากการเก็บข้อมูลพบว่าที่ความสูง 30 เมตร รุ่น Mod-0 จะมีความเหมาะสมที่สุด จากกระบวนการดังกล่าวสามารถหาค่าพลังงานลมและค่า capacity factors ที่ความสูงต่างๆได้และสามารถที่จะประมาณการรูปแบบของกังหันเพื่อวางแผนสำหรับสถานีพลังงานลมได้

Jonathan Whale (2009) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบ การสร้าง และการทดสอบระยะ pitch ของใบพัดสำหรับกังหันขนาดเล็ก ผลการศึกษาสรุปได้ว่า BPMS ประสบความสำเร็จในการบันทึกพฤติกรรมของกลไก Blade feathering ของกังหันลมแบบ 20 kW และ 30 kW BPMS แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่สำคัญเพราะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและราคาไม่แพงสำหรับผู้ติดตั้งกังหันขนาดเล็ก เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของกลไกการป้องกันเมื่อเกิดลมแรงเกินขีดจำกัด สำหรับการศึกษาข้อมูลที่ได้มีค่าสำคัญมากสำหรับผู้ผลิตซึ่งใช้วิธี Teflon-coated thrust

washer สำหรับทดสอบความทนทานของแกนหมุน เพื่อปรับปรุงระยะ pitch weight และ ใช้วิธีลดความตึงของสปริงของ PWOPM เพื่อการใช้ประโยชน์ที่มากและผลยังได้แสดงให้เห็นว่าวิธีอื่นๆที่จะลดแรงตึงของสปริงยังคงต้องการอยู่

Li. H (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบให้มีความเหมาะสมและการเลือกตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากลมแบบ direct-drive PM โดยอาศัยหลักการออกแบบของระบบกำเนิดไฟฟ้าแบบ PM ให้ได้ผลดีที่สุด จากการศึกษาพบว่าเครื่อง PM ที่มีอัตราการหมุนต่ำและอัตราระดับพลังงานที่สูงจะมีสมรรถนะสูงกว่าในแง่ของ torque density และ torque per cost อย่างไรก็ตามเครื่องแบบนี้จะราคาสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดภายนอกใหญ่ จากสมรรถนะที่มองในด้านของ AEOPC พบว่าระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมแบบ direct-drive PM ขนาดพลังงาน 500 kW , 1 MW , 1.5 MW อาจจะเหมาะสมกับความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปีต่ำ กลาง สูง ตามลำดับ และในการเลือกระบบกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ utility loads ราคาติดตั้งและความต้องการในการใช้งาน

Maria Isabel Blanco (2009) ได้ศึกษาด้านทุนที่ใช้ในการผลิตพลังงานลมในยุโรปโดยสำรวจจากผู้ผลิตและผู้พัฒนารวมถึงศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผู้ผลิตและผู้พัฒนากังหันลม เหตุผลเบื้องหลังที่ทำให้ราคาในปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้น และวิวัฒนาการในอนาคตที่คาดหวังกจากงานวิจัยพบว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานลมจากพื้นดินจะอยู่ระหว่าง 4.5 - 8.7 €cent/kWh ส่วนราคาต้นทุนที่ใช้ผลิตบริเวณชายฝั่งอยู่ระหว่าง 6 ; 11.1 €cent/kWh โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดคือจำนวนชั่วโมงในการดำเนินการและราคาต้นทุนวัตถุดิบ จากสามปีที่ผ่านมาพบว่าราคาการผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่า 20% สาเหตุหลักมาจากวัตถุดิบที่จำเป็นบางชนิดในช่วงเวลาดังกล่าวมีราคาสูงขึ้นตามความต้องการของทั่วโลก แต่อย่างไรก็ตามหากกล่าวในแง่ของอันดับของการลงทุนด้านพลังงาน พลังงานลมนี้ยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีอื่นๆและในระยะยาวหวังว่าราคาในการผลิตควรต่ำลงถ้ามีปัจจัยอื่นที่เพียงพอจะชดเชยราคาต้นทุนดังกล่าวได้ซึ่งก็คือการประยุกต์ใช้นโยบายที่เหมาะสมเช่น การวิจัยและพัฒนาวัสดุใหม่ การดำเนินการจัดการควบคุมด้วยเครื่องมือระยะไกล กังหันลมและโครงสร้างพื้นฐานย่อยที่ใช้นอกชายฝั่ง การใช้เทคนิคที่ก้าวหน้าในการทำนายและกำหนดที่ตั้งวิธีการที่จะเข้าถึงต้นทุนที่เพียงพอ และกฎหมายที่แน่นอนในระยะยาว

Tremeac Brice (2009) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์วงจรชีวิตของกังหันลมแบบ 4.5 MW และ 250 W จากการศึกษายืนยันได้ว่าพลังงานจากลมเป็นเทคโนโลยีที่ดีที่ช่วยบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศความเข้มข้นของพลังงานถือว่าอยู่ในระดับดีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือพลังงานนิวเคลียร์แต่อย่างไรก็ตามชี้ให้เห็นว่ามี

ข้อผิดพลาดบางประการที่ควรหลีกเลี่ยง เพื่อให้การใช้พลังงานรูปนี้ปล่อยคาร์บอนไดร้ออกไซด์น้อยที่สุดเพื่อแข่งขันกับพลังงานนิวเคลียร์มี 2 แง่มุมคือ

1) การขนส่งต้องจำกัดให้น้อยที่สุด โรงงานผลิตควรกระจายขึ้นส่วนหรือจัดตั้งขึ้นส่วนให้สัมพันธ์กับบริเวณผลิต เมื่อจำเป็นต้องขนส่งควรขนส่งทางเรือ หรือทางรถไฟ มากกว่าที่จะส่งทางรถบรรทุก

2) การรีไซเคิลระหว่างกระบวนการปลดประจำการก็เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งที่ไม่ควรมองข้าม เพื่อที่จะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

ผลที่ได้ถือว่าดีมากสำหรับกังหันลมขนาดใหญ่ เพราะมันสามารถหลีกเลี่ยงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดร้ออกไซด์ปริมาณมาก พลังงานลมยังมีผลกระทบต่อแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ สุขภาพของมนุษย์ และระบบนิเวศน้อยกว่าเมื่อเทียบกับพลังงานนิวเคลียร์ สำหรับกังหันลมขนาดเล็กมันเป็นการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ดีเยี่ยมสำหรับพื้นที่ห่างไกล ซึ่งไม่สามารถต่อเชื่อมกริดได้ และเป็นหนึ่งในวิธีที่ดีที่สุดที่ช่วยลดภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก พลังงานจากลมไม่เพียงแต่เป็นการผลิตไฟฟ้าที่มีการปล่อยคาร์บอนไดร้ออกไซด์น้อยอย่างเดียว แต่ยังเป็นแหล่งผลิตพลังงานที่ได้จากลมซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากลมซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มากมายไม่มีวันหมดไปจากโลก

กังสดาล สกุลพงษ์มาลี (2544) ได้ศึกษาพลังงานลมพบว่าประเทศไทยมีความเร็วลมเฉลี่ยต่ำซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญของการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม แต่อย่างไรก็ยังมีโครงการสาธิตการใช้พลังงานเพื่อผลิตไฟฟ้า ส่วนกังหันลมเพื่อการสูบน้ำที่มีจำหน่ายยังคงมีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ แต่ยังมีบางพื้นที่ที่ศักยภาพความเร็วลมเพียงพอสำหรับการติดตั้งกังหันลม สำหรับแนวนโยบายด้านงานวิจัยพลังงานลมเพื่อการสูบน้ำควรมุ่งงานวิจัยประยุกต์ใช้กังหันลมกับอุปกรณ์ที่ต้องการใช้พลังงานกลในฟาร์มให้มากขึ้น ซึ่งควรมีแผนสนับสนุนและพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตกังหันลมในประเทศไทย รวมถึงควรมุ่งงานวิจัยรวบรวมสถานภาพจริงของกังหันลม ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากต่อการกำหนดแผนพัฒนา และส่งเสริมการใช้กังหันเพื่อการสูบน้ำต่อไปสำหรับแนวนโยบายด้านงานวิจัยพลังงานลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ควรจะมุ่งงานวิจัยด้านการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค และเศรษฐศาสตร์สำหรับพื้นที่ที่ศักยภาพความเร็วลมสูง

มนตรี เต่าไรสง (2544) ได้ศึกษาการประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมมุมพิทช์ใบพัดกังหันลม จากการทดลองพบว่ากลไกที่ออกแบบสามารถควบคุมความเร็วรอบของกังหันในสถานะคงตัวได้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ โดยมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยและมีการแกว่งอยู่ในช่วงแคบๆ ตลอดเวลา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเร็วรอบที่ต้องการควบคุมคือ 100 รอบต่อนาที พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 0.8 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการทดลองโดยใช้

กระแสดมความเร็ว 5.85 ,6.98 และ 8.60 เมตรต่อวินาที พัดกรรโชกเข้าปะทะกังหันลมในขณะที่กังหันลมอยู่ฝั่งพบว่า กลไกที่ออกแบบจะใช้เวลา 3035 และ 55 วินาที ตามลำดับ เพื่อปรับความเร็วรอบของกังหันลมให้เข้าสู่สภาวะคงตัว โดยมีความเร็วรอบสูงสุดก่อนที่จะเริ่มปรับเข้าสู่สภาวะคงตัวคือ 294.8, 429.8 และ 849.7 รอบต่อนาที ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อทำการทดลองโดยใช้กระแสดมความเร็ว 5.82 , 6.95 และ 8.57 เมตรต่อวินาที พัดกรรโชกเข้าปะทะกังหันลมในขณะที่ความเร็วรอบของกังหันลมอยู่ในสภาวะคงตัวที่ความเร็วลมประมาณ 4.40 เมตรต่อวินาที พบว่ากลไกที่ออกแบบจะใช้เวลา 10 , 12 และ 15 วินาที ตามลำดับเพื่อปรับความเร็วรอบของกังหันลมให้กลับเข้าสู่สภาวะคงตัวอีกครั้งหนึ่ง โดยมีความเร็วรอบสูงสุดก่อนที่จะเริ่มปรับเข้าสู่สภาวะคงตัว คือ 101.8128.3 และ 185.3 รอบต่อนาที ตามลำดับ

ศศิอนงค์ วัชรศิขร (2546) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพลังงานลมมาใช้งานในเขตการไฟฟ้านครหลวง ปัจจุบันพบว่ายังไม่เหมาะสมนักเนื่องจากความเร็วลมเฉลี่ยของเขตกรุงเทพมหานครยังอาจไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามในพื้นที่บางแห่งในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงอาจมีความเหมาะสมในการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม เช่น พื้นที่เขตใกล้ชายฝั่งทะเลหรือที่ยอดอาคารสูง ซึ่งในอนาคตควรมีการศึกษาในเรื่องของ “wind survey” เพิ่มเติม อีกทั้งควรมีการติดตามเทคโนโลยีทางด้านกังหันลมที่ใช้ในพื้นที่เขตความเร็วลมต่ำเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในเขตพื้นที่การไฟฟ้านครหลวงต่อไปหากมีความเป็นไปได้ทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์

จิระวัฒน์ แดงไทย และคณะ (2547) ได้ศึกษากังหันลมแกนนอนขนาดเล็กชนิด 3 ใบ โดยทำการออกแบบใบกังหันมีรูปร่างที่สามารถให้สัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดในเชิงอากาศพลศาสตร์ ทำการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์โพนิเบรกโดยความยาวของใบกังหันเท่ากับ 37 cm. ประกอบเข้ากับโรเตอร์และโครงสร้างรับโรเตอร์ จากนั้นจึงสร้างอุโมงค์ลมทดสอบ โดยปรับค่าให้ความเร็วลมอยู่ในช่วง 5.3-8.12 m/s นำข้อมูลมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน และสัมประสิทธิ์แรงบิด พบว่าที่ความเร็วสูงสุดของการทดสอบคือ 8.12 m/s มีค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานและสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงสุดเท่ากับ 0.0397 และ 0.021 ตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าคำนวณทางคณิตศาสตร์พบว่าแนวโน้มของเส้นกราฟทั้ง 2 แบบ มีลักษณะที่สอดคล้องกันแต่ค่าตัวเลขมีความแตกต่างกันมาก อาจมีสาเหตุมาจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดและข้อมูลของแผนอากาศรวมทั้งการจัดสร้างใบกังหันลม

นิพนธ์ เกตุจ้อย (2547) ได้ศึกษาเทคโนโลยีพลังงานลม ลมเป็นพลังงานหมุนเวียนอีกแหล่งหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากว่ามีศักยภาพเพียงพอที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานของมนุษย์ในอนาคตได้ การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นถึงแม้ว่าจะผ่านไปกว่า 100 ปี

แต่การที่จะให้เทคโนโลยีนี้สามารถเข้ามาทดแทนเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าอื่นๆ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันทั้งหมดคงเป็นไปได้ เพราะอนาคตรูปแบบพลังงานจะหลากหลายมากขึ้น การใช้พลังงานจากซากฟอสซิลจะลดลงเนื่องจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สัดส่วนการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล หรือแม้แต่พลังงานลมจะสูงขึ้น สำหรับประเทศไทยนั้นยังมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานลมน้อยมาก จำเป็นอย่างยิ่งที่เราต้องหันมาให้ความสนใจในเทคโนโลยีพลังงานลม ถึงแม้ว่าจะมีศักยภาพไม่สูงนักหากเปรียบเทียบกับต่างประเทศ แต่ก็สามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในขนาดฟิวด์ระดับกิโลวัตต์ได้ หากเราเริ่มวิจัยและพัฒนาตั้งแต่วันนี้ในอนาคตประเทศเราจะได้มีเทคโนโลยีพลังงานลมเป็นของตัวเอง ไม่ต้องพึ่งพาจากต่างประเทศทั้งหมดเหมือนเช่นเทคโนโลยีอื่นๆ อย่างในปัจจุบัน

ชาติชาย ยมะคุปต์ (2548) ได้ศึกษาวิจัยการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยกังหันลมขนาดเล็ก โดยทำการออกแบบกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าต้นแบบโดยการใช้อินดักชั่นมอเตอร์เป็นเจนเนอเรเตอร์ผลิตกระแสไฟฟ้า จากการทดลองพบว่าความเร็วลมในกำแพงแสนซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ย 4 m/s ไม่สามารถขับเคลื่อนได้ เมื่อนำกังหันไปทดสอบบนรถยนต์กังหันลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยความเร็วลมประมาณ 8 m/s สามารถขับเคลื่อนขนาด 3 แรงม้าได้ และได้กำลังไฟฟ้าประมาณ 2.2 kW กังหันลมไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ที่ความเร็วลม 4 m/s อาจเป็นเพราะเนื่องจากแรงเสียดทานต่างๆ เช่น ลูกปืน เฟือง และสายพาน

องค์อร รัตนาดถาวร (2548) ได้ศึกษาการทำงานของระบบกังหันลมแบบปรับความเร็วได้ใช้การจำกัดพลังงานแบบสตอล จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกังหันพบว่า กังหันเป็นระบบไม่เชิงเส้น และไม่เสถียรเมื่อทำงานแบบจำกัดพลังงาน และเมื่อประมาณให้เป็นเชิงเส้นพบว่าระบบมีความไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่มากกระทำ นอกจากนี้เมื่อควบคุมให้เกิดการสตอลเพื่อจำกัดพลังงาน ระบบยังแสดงความไม่เสถียรอีกด้วย ดังนั้นจึงนำตัวควบคุม 2 แบบ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว นั่นคือตัวควบคุมฟัซซี่ ซึ่งเป็นตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้น เหมาะสำหรับควบคุมระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง และตัวควบคุมป้อนล่วงหน้า ซึ่งเป็นตัวควบคุมเชิงเส้น จากการทดลองพบว่าตัวควบคุมทั้ง 2 แบบ ต่างก็สามารถควบคุมกังหันให้ทำงานตามลักษณะที่ต้องการได้ ตลอดช่วงของความเร็วลมนั้นคือ สามารถควบคุมกังหันให้ติดตามการสกัดพลังงานสูงสุดได้ เมื่อความเร็วลมต่ำกว่าฟิวด์ และสามารถควบคุมกังหันให้จำกัดพลังงานด้วยการสตอลได้ เมื่อความเร็วลมสูงกว่าฟิวด์ ดังนั้นตัวควบคุมแบบฟัซซี่เหมาะจะควบคุมกังหันให้ทำงานตลอดความเร็วลมมากกว่า แต่ข้อเสียคือ การออกแบบต้องใช้การลองผิดลองถูกซึ่งทำให้เสียเวลามาก ส่วนตัวควบคุมแบบป้อนล่วงหน้า มีประสิทธิภาพในการจำกัดพลังงานได้ไม่ดีเท่าแบบฟัซซี่ แต่

สามารถออกแบบได้ง่าย และเหมาะจะใช้กับกังหันซึ่งติดตั้งในแหล่งที่ความเร็วลมไม่สูงมากนัก เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการติดตามพลังงานสูงสุดได้ดี

กรวิทย์ กระจำพันธ์ (2549) ได้ศึกษาการสร้างและการเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมกังหันลมแบบป้อนล้าวงหน้า แบบติดตามกำลังสูงสุด และแบบพีชชี สำหรับกังหันลมขนาดเล็กแบบมุมใบพัดคงที่ กังหันลมเป็นระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง และเมื่อประมาณให้เป็นเชิงเส้นพบว่า ระบบมีความไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่มากกระทำ นอกจากนี้เมื่อควบคุมให้เกิดการสตอลเพื่อจำกัดพลังงาน ระบบยังแสดงความไม่เสถียรอีกด้วย ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอตัวควบคุม 3 แบบ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวนั้นคือตัวควบคุมแบบพีชชี ใช้หลักการป้อนทอร์กอากาศพลศาสตร์ที่ได้จากการประเมิน เข้าหักล้างตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอน เมื่อเปรียบเทียบโดยพิจารณาการทำงานตลอดช่วงความเร็วลม พบว่าตัวควบคุมแบบพีชชีทำงานได้ดีและมีประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่าแบบติดตามกำลังสูงสุดและแบบป้อนทอร์กอากาศพลศาสตร์ล่วงหน้า ทั้งในช่วงความเร็วลมต่ำกว่าพิกัดและสูงกว่าพิกัด สาเหตุที่ตัวควบคุมแบบพีชชีทำงานในช่วงการจำกัดพลังงานได้ดีกว่าแบบอื่น เนื่องจาก ประการแรกตัวควบคุมแบบพีชชีสามารถเลือกจำกัดความเร็วรอบที่ต้องการได้ เมื่อความเร็วรอบใกล้ถึงค่าสูงสุดในช่วงความเร็วลมต่ำกว่าพิกัด ตัวควบคุมแบบพีชชีจะสั่งลดแรงบิดเพื่อจำกัดความเร็วแต่เนิ่นๆ ประการต่อมาพีชชีสามารถปรับความเปลี่ยนแปลงของแรงบิดที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ถ้ายอมให้แรงบิดที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเปลี่ยนแปลงมากๆ ได้ ค่าสั่งแรงบิดสามารถเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงสามารถรับมือกับระบบที่ไม่เสถียร ดังนั้นตัวควบคุมแบบพีชชีเหมาะควบคุมกังหันให้ทำงานตลอดความเร็วลมมากกว่า แต่ข้อเสียคือการออกแบบทำได้ยาก และเสียเวลามาก อีกทั้งถ้าไม่ทราบต้องทราบค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์ของกำลังไฟฟ้าก็ไม่สามารถควบคุมการทำงานของกังหันลมได้ เช่นเดียวกับวิธีการควบคุมแบบป้อนทอร์กอากาศพลศาสตร์ ซึ่งต่างกับตัวควบคุมแบบติดตามกำลังสูงสุด ไม่จำเป็นต้องทราบค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์ของกำลังไฟฟ้าก็สามารถควบคุมการทำงานของกังหันลมได้

จารุวรรณ ตั้งต้นสกุลวงศ์ (2549) ได้ศึกษาการจำลองการไหลผ่านกังหันลมแกนตั้งแบบ 3 ใบกังหัน ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์การไหล FLUENT กังหันลมที่จำลองเป็นกังหันลมแกนตั้งขนาดเล็กแบบแรงยก การจำลองเชิงตัวเลขกระทำโดยใช้กรรมวิธีปริมาตรจำกัดใน 3 มิติแบบไร้โครงสร้างประกอบด้วยเทคนิคการเลื่อนกริด (Sliding mesh technique) ในการหาผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ มวล และโมเมนตัม ผลการจำลองที่ได้สอดคล้องกับทฤษฎี โดยค่าแรงบิดมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วสัมพัทธ์ และมุมปะทะที่เข้าสู่หน้าตัดกังหัน ผลการเฉลยจากการคำนวณสามารถนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันได้ การศึกษา

การไหลผ่านกังหันโดยใช้เทคนิคการเคลื่อนกริดถือว่าประสบความสำเร็จในเบื้องต้น และสรุปได้ว่าโปรแกรมมีศักยภาพเพียงพอที่จะใช้ในการทำนายการไหลผ่านกังหันลมแกนตั้ง ซึ่งสามารถใช้ในการช่วยออกแบบและพัฒนาประสิทธิภาพของกังหันได้ต่อไป

ชโลธร ธรรมแท้ (2549) ได้ศึกษาการจำลองการไหลผ่านกังหันลมแกนนอนด้วย CFD จากการจำลองการไหลของกังหันลม NREL Phase II ด้วยโปรแกรม CFD (Fluent) สรุปได้ดังนี้ ค่า y^+ ที่เหมาะสมสำหรับการจำลองแบบคิดความหนืดโดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน $k-\epsilon$ คือ $y^+ = 250$ หรือน้อยกว่า ผลการคำนวณด้วย Fluent สามารถใช้ในการทำนายพฤติกรรมกังหันลมได้เป็นอย่างดี โดยค่ากำลังงานที่ได้จากการจำลองแบบคิดความหนืดให้ผลที่ผิดพลาดเพียง 2.69 % และสามารถทำนายค่าสัมประสิทธิ์ความดันบนใบกังหันลมได้ดีมาก ถ้าไม่เกิดการ stall ซึ่งในกรณีนี้การจำลองแบบไม่คิดความหนืดก็ให้ความแม่นยำดีมากเช่นกัน

วัฒนะ สืบกนิร (2550) ได้ศึกษากังหันลมซึ่งระบบการทำงานของกังหันลม ได้มีการพัฒนาทางเครื่องกล ในเรื่องของกรังการจำกัดพลังงานโดยใช้การควบคุมมุมใบพัด และ active stall ระบบขับเคลื่อนกังหันลมแบบมีเกียร์ และแบบขับเคลื่อนโดยตรง การพัฒนาทางไฟฟ้าเมื่อมีการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยเฉพาะการศึกษาและการสร้างระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบต่างๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทาง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส อธิบายถึงการทำงาน ข้อดีและข้อเสียในแง่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกัน ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทาง เป็นที่น่าสนใจอย่างมากเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ ดังนั้นการวิเคราะห์การทำงาน การควบคุมจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญการวิเคราะห์การทำงานของ DFIG ในสภาวะคงตัวขณะที่ทำงานในเงื่อนไขของ synchronous operation โดยโรเตอร์ของ DFIG ต่อกับ machine side converter และ line side converter ซึ่ง machine side converter สามารถปรับได้ทั้งขนาดแรงดัน และความถี่ อย่างอิสระ โดยที่ความถี่ที่ป้อนให้โรเตอร์เมื่อรวมกับความเร็วของโรเตอร์แล้ว ทำให้เกิดสนาม ที่ synchronize กับสนามที่สเตเตอร์ ซึ่งจะทำให้สามารถรักษาความถี่ที่สเตเตอร์ให้คงที่ โดยที่ความเร็วของโรเตอร์เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง การควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่โรเตอร์และสเตเตอร์ ทำได้โดยการปรับขนาดของแรงดันที่โรเตอร์ และการควบคุมนี้สามารถควบคุมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้ การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดย DFIG สามารถทำได้โดยการปรับมุมระหว่างแรงดันที่โรเตอร์และสเตเตอร์ โดยสามารถรักษาความถี่ที่สเตเตอร์ให้คงที่ ควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ โดยที่ความเร็วของโรเตอร์เปลี่ยนแปลงได้ในช่วงกว้างทำให้ DFIG เป็นที่น่าสนใจและนิยมใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลมและในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำ

นภัทร วัจนเทพินทร์ (2551) ได้ศึกษากังหันระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็ก ผลการศึกษาวิจัยพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย ที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็ก เท่ากับ 4.96231 kWh/d เป็นการผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 4.91856 kWh/d และผลิตจากพลังงานลมเท่ากับ 0.0437 kWh/d ค่าความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 3.924 mph ประสิทธิภาพของกังหัน ลมผลิตไฟฟ้าทดสอบในห้องปฏิบัติการมีค่าระหว่างร้อยละ 39.7-61.5 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ ของกังหันลมผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 81.37 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ ร้อยละ 6.13 และประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 82.645 การวิจัยนี้ควรเก็บข้อมูลให้ครบรอบปี เนื่องจากสภาพอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลจึงจะสามารถประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำที่สุด อย่างไรก็ตามระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็กนี้ สามารถใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการศึกษาได้เป็นอย่างดี

จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ สร้าง และทดสอบ กังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่าการใช้พลังงานจากกระแสลมมีการตื่นตัวกันมากขึ้น โดยเฉพาะในแถบประเทศยุโรป มีการพัฒนากังหันลมกันอย่างต่อเนื่อง แต่ในประเทศไทยยังมีการศึกษาพัฒนากังหันลมน้อยมาก ซึ่งเกิดจากสาเหตุค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง จุดคุ้มคามีระยะเวลานาน และความเร็วลมในประเทศเรามีค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตามในต่างประเทศได้พัฒนากังหันลมที่มีขนาดใหญ่ระดับ MW ที่ใช้ความเร็วลมสูงซึ่งไม่เหมาะสมกับประเทศไทย แต่เราสามารถพัฒนากังหันลมให้มีขนาดเล็กลงตามสภาวะความเร็วลมในประเทศไทย พร้อมทั้งศึกษาพัฒนาด้านเทคนิคกังหันลมเพื่อให้สามารถทำงานที่ความเร็วลมต่ำๆ และเลือกสถานที่ตั้งให้มีความเหมาะสม สำหรับแนวคิดและเทคนิคของงานวิจัยนี้คือ ออกแบบ จัดสร้าง และทดสอบการใช้งานในพื้นที่จริง ซึ่งเป็นเขตพื้นที่ตัวอย่างของจังหวัดนครพนม รวมทั้งหาจุดคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ต้นทุนการจัดสร้างระบบ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย และระยะเวลาคืนทุน