

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยต้นแบบฟาร์มกังหันลมแบบใบผ้าของไทยเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าชุมชน เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานโดยใช้พลังงานลม ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสะอาดชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ได้อย่างไม่มีวันหมด ในปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากพลังงานลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า และการสูบน้ำ เป็นหลัก สำหรับประเทศไทยการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงานลมยังมีค่อนข้างน้อยมาก จึงต้องทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

#### 1. การเกิดและประเภทของลม

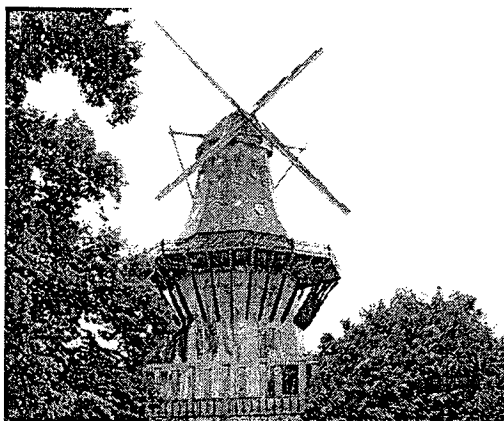
ลม (wind) สาเหตุหลักของการเกิดลมคือดวงอาทิตย์ ซึ่งเมื่อมีการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มายังโลก แต่ละตำแหน่งบนพื้นโลกได้รับปริมาณความร้อนไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศในแต่ละตำแหน่ง บริเวณใดที่มีอุณหภูมิสูงหรือความกดอากาศต่ำอากาศในบริเวณนั้นก็จะลอยตัวขึ้นสูง อากาศจากบริเวณที่เย็นกว่าหรือมีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้คือการทำให้เกิดลมนั่นเอง และจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้ทำให้เกิดเป็นพลังงานจลน์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ [1]

##### 1.1 ประวัติการประยุกต์ใช้พลังงานจากลม

การประยุกต์ใช้พลังงานจากลม เริ่มจากการค้นพบบันทึกเกี่ยวกับโรงสีข้าวพลังงานลม (windmills) โดยใช้ระบบเครื่องโมโนแกนตั้ง ซึ่งเป็นเครื่องมือแบบง่ายๆ นิยมใช้กันในพื้นที่ภูเขาสูงโดยชาวแอฟแกน (Afghan) เพื่อการสีเมล็ดข้าวเปลือกในช่วงศตวรรษที่ 7 ก่อนคริสตกาล ส่วนโรงสีข้าวพลังงานลมแบบแกนหมุนแนวนอนพบครั้งแรกแถบเปอร์เซีย ทิเบตและ จีน ประมาณคริสต์ศักราชที่ 1000 โรงสีข้าวพลังงานลมชนิดแกนหมุนในแนวนอน ได้แพร่หลายไปจนถึงประเทศแถบเมดิเตอร์เรเนียนและประเทศยุโรปตอนกลาง โรงสีข้าวแบบแกนหมุนแนวนอนพบครั้งแรกในประเทศอังกฤษประมาณปี ค.ศ. 1150 พบในฝรั่งเศสปี ค.ศ. 1180 พบในเบลเยียมปี ค.ศ. 1190 พบในเยอรมันปี ค.ศ. 1222 และ พบในเดนมาร์กปี ค.ศ. 1259 การพัฒนาและแพร่หลายอย่างรวดเร็วของโรงสีข้าวแบบแกนหมุนแนวนอนมาจากอิทธิพลของนักบวชครูเซด ซึ่งเป็นผู้นำความรู้เกี่ยวกับโรงสีข้าวพลังงานลมจากเปอร์เซียมาสู่หลายพื้นที่ของยุโรป

ในยุโรปโรงสีข้าวพลังงานลมได้รับการพัฒนาสมรรถนะอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะระหว่างช่วงศตวรรษที่ 12 และ ศตวรรษที่ 19 ในปี ค.ศ. 1800 ในประเทศฝรั่งเศสมีโรงสีข้าวพลังงานลมแบบยุโรปใช้งานอยู่ประมาณ 20,000 เครื่อง ในประเทศเนเธอร์แลนด์พลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรม ในช่วงเวลานั้นมาจากพลังงานลมถึงร้อยละ 90 ในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 โรงสีข้าวพลังงานลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแกนหมุน 25 เมตร ตัวอาคารมีความสูงถึง 30 เมตร ตัวอย่างโรงสีข้าวพลังงานลมแบบยุโรปดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งในช่วงเวลานั้นการใช้พลังงานลมไม่ได้มีเพียงแค่การสีข้าวแต่ยังมีการประยุกต์ใช้สำหรับการสูบน้ำอีกด้วย ต่อมาในยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมโรงสีข้าวพลังงานลมเริ่มมีการใช้งานลดลง อย่างไรก็ดีตามในปี ค.ศ. 1904 การ

ใช้พลังงานจากลมยังมีอัตราส่วนถึงร้อยละ 11 ของพลังงานในภาคอุตสาหกรรมของประเทศเนเธอร์แลนด์ และในประเทศเยอรมันยังมีโรงสีข้าวชนิดนี้ติดตั้งอยู่กว่า 18,000 เครื่อง



รูปที่ 2 แสดงลักษณะโรงสีข้าวพลังงานลมแบบยุโรป [2]

ในช่วงเวลาเดียวกับที่โรงสีข้าวพลังงานลมในยุโรปเริ่มเสื่อมความนิยม เทคโนโลยีนี้กลับได้รับการเผยแพร่ในทวีปอเมริกาเหนือโดยผู้ที่ไปตั้งถิ่นฐานใหม่ มีการใช้กังหันลมสูบน้ำขนาดเล็กสำหรับงานปศุสัตว์ซึ่งได้รับความนิยมมาก กังหันลมชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันในนามกังหันลมแบบอเมริกัน (american windmill) ซึ่งใช้ระบบการทำงานแบบควบคุมตัวอย่างสมบูรณ์ (fully self-regulated) โดยสามารถปรับความเร็วของแกนหมุนได้เมื่อความเร็วลมสูง ในขณะที่โรงสีข้าวพลังงานลมของยุโรปสามารถบิดตัวใบพัดออกจากทิศทางลมได้หรือสามารถหมุนใบพัดเก็บได้หากความเร็วลมสูงจนเกินไปเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวโรงสีข้าว ความนิยมของกังหันลมแบบอเมริกันเพิ่มขึ้นสูงมากระหว่างปี ค.ศ. 1920 - 1930 มีกังหันลมประมาณ 600,000 ตัวถูกติดตั้งเพื่อใช้งาน ในปัจจุบันกังหันลมแบบอเมริกันหลายแบบยังคงถูกนำมาใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ทางการเกษตรและกิจกรรมต่างๆ ทั่วโลก

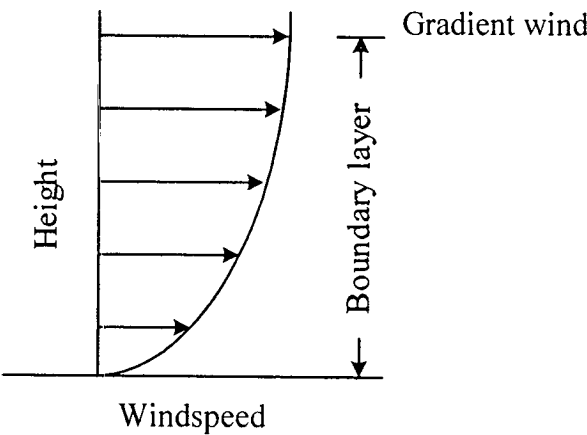
สำหรับประเทศไทยผู้เชี่ยวชาญทางด้านพลังงานลม ได้ประเมินการใช้งานกังหันลมแบบใบพัดที่ทำด้วยไม้ซึ่งใช้ในนาข้าวมีจำนวนอยู่ประมาณ 2,000 ตัว และกังหันลมแบบเสื้อลำแพนหรือแบบผ้าใบซึ่งใช้ในนาเกลือหรือนากุ้งมีจำนวนอยู่ประมาณ 3,000 ตัว ต่อมาได้พบว่าจำนวนกังหันลมดังกล่าวลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการพัฒนาพื้นที่เกษตรกรรมให้เป็นพื้นที่อุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2531 มีการสำรวจจำนวนกังหันลมเฉพาะในบริเวณ 20 ตารางกิโลเมตร ของจังหวัดสมุทรสาครและสมุทรสงคราม พบว่ามีกังหันลมเหลืออยู่เพียง 667 ตัว กังหันลมดังกล่าวถือว่าเป็นชนิดดั้งเดิมจากภูมิปัญญาชาวบ้าน แต่สามารถใช้แทนพลังงานไฟฟ้าเพื่อการสูบน้ำได้เป็นอย่างดี [1]

ตารางที่ 1 การพัฒนาของกังหันลมในช่วง ค.ศ. 1985 – 2002 [3]

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

1.3 หลักการทำงานของกังหันลม

ลมที่เกิดขึ้นถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้น ซึ่งหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอากาศกับอนุภาคอื่นๆ และมีแรงเสียดทานในระดับต่ำ โดยเริ่มต้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงเสียดทานจะลดลง ทำให้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน [4] ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูง และ สภาพภูมิประเทศ เช่นเดียวกันกับทิศทางของลม จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ ที่ความเร็วลมเท่าๆ กัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกัน เมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพท์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยเบื้องต้นที่เป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลมคือความเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ [4]

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1–3 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5–5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่าช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12–15 เมตรต่อวินาที เป็นช่วงที่เรียกว่าช่วงความเร็วลม (nominal หรือ rate wind speed) ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเอง ในช่วงที่ความเร็วลมได้ระดับไปสู่ช่วงความเร็วลมเป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นความเร็ว (tip speed ratio) [5] และในช่วงเลยความเร็วลม (cut out wind speed) เป็นช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้

การหากำลังของลมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$  ผ่านพื้นที่หน้าตัด  $A$  หาได้จาก

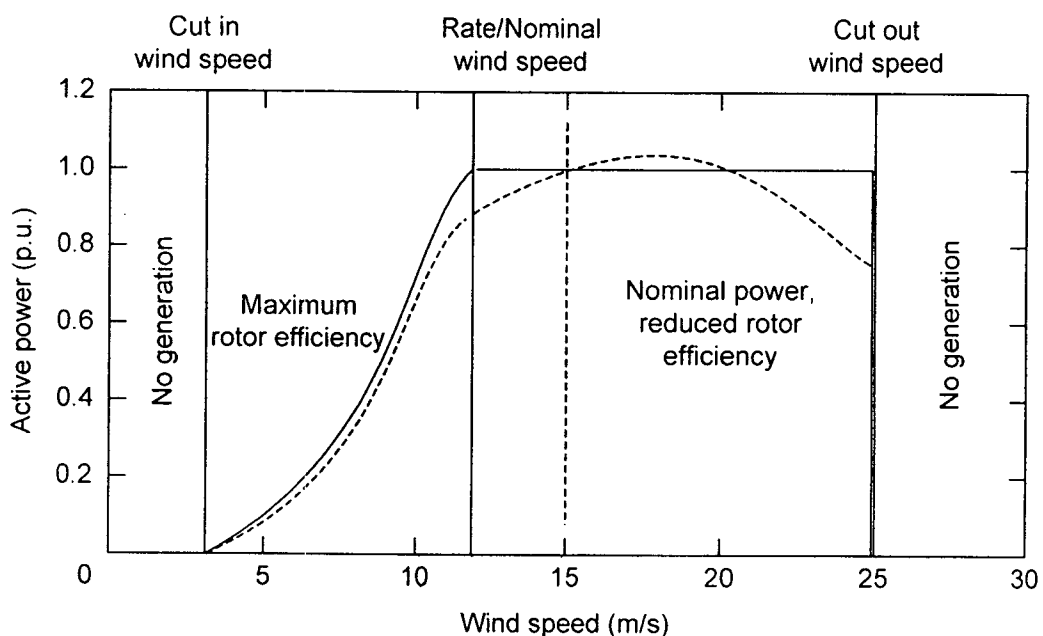
$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

เมื่อ  $P_w$  คือ กำลังของลม (W)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ มีค่าเท่ากับ  $1.225 \text{ kg/m}^3$

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัด ( $\text{m}^2$ )

$v$  คือ ความเร็วลม ( $\text{m/s}$ )



รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ [5]



สำหรับหลักการทั่วไปในการนำพลังงานลมมาใช้คือ เมื่อมีลมพัดมาปะทะกับใบพัดของกังหันลม กังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมที่อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกลโดยการหมุนของใบพัด แรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่านแกนหมุนทำให้เฟืองเกียร์ที่ติดอยู่กับแกนหมุนเกิดการหมุนตามไปด้วย พลังงานกลที่ได้จากการหมุนของเฟืองเกียร์นี้เองที่ถูกประยุกต์ใช้ประโยชน์ตามความต้องการเช่น ในกรณีที่ต้องการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าจะต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไป ซึ่งเมื่อเฟืองเกียร์ของกังหันลมเกิดการหมุนจะไปขับเคลื่อนให้แกนหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตามไปด้วย ด้วยหลักการนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้

#### 1.4 ประเภทของกังหันลม

กังหันลมโดยทั่วไปจะมีรูปแบบพื้นฐานหลักๆ คล้ายๆกัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างในส่วนของการรายละเอียด ดังนั้นการแบ่งประเภทของกังหันลมมักจะยึดเอาลักษณะการวางตัวของแกนเพลลาของกังหันลมเป็นหลัก ซึ่งประเภทหลักๆของกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอนและกังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.4

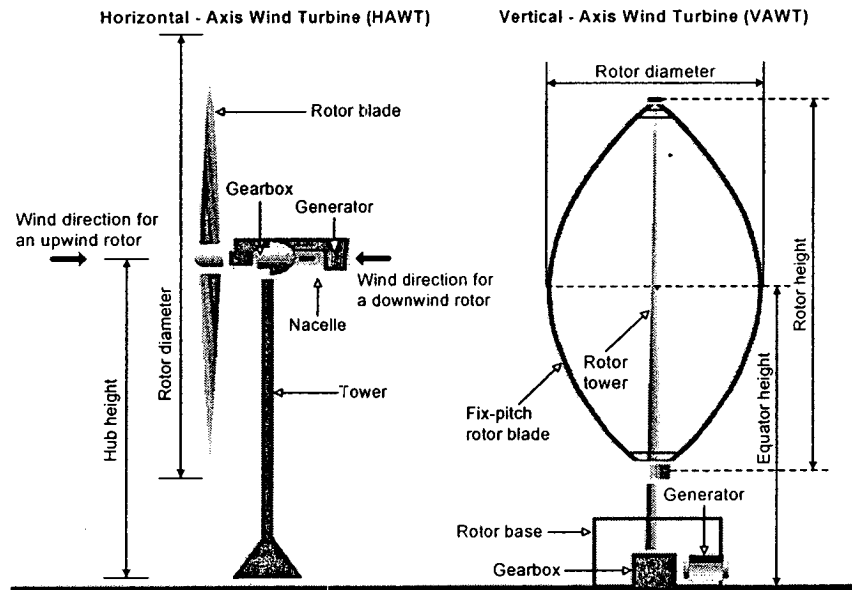
##### 1.4.1 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน

กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน (horizontal-axis type wind turbine, HAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนวางตัวอยู่ในทิศทางเดียวกับทิศทางของลม โดยมีใบเป็นตัวยึดตัวรับแรงลม กังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการนำมาใช้งานมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงแต่ต้องติดตั้งบนเสาที่มีความสูงมาก และมีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับแรงลมได้ทุกทิศทางในแนวนอนตลอดเวลา อย่างไรก็ตามในรายละเอียดของรูปแบบ องค์ประกอบ และลักษณะการทำงานของกังหันลมแบบนี้ที่นิยมใช้กันสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ[4]ได้แก่

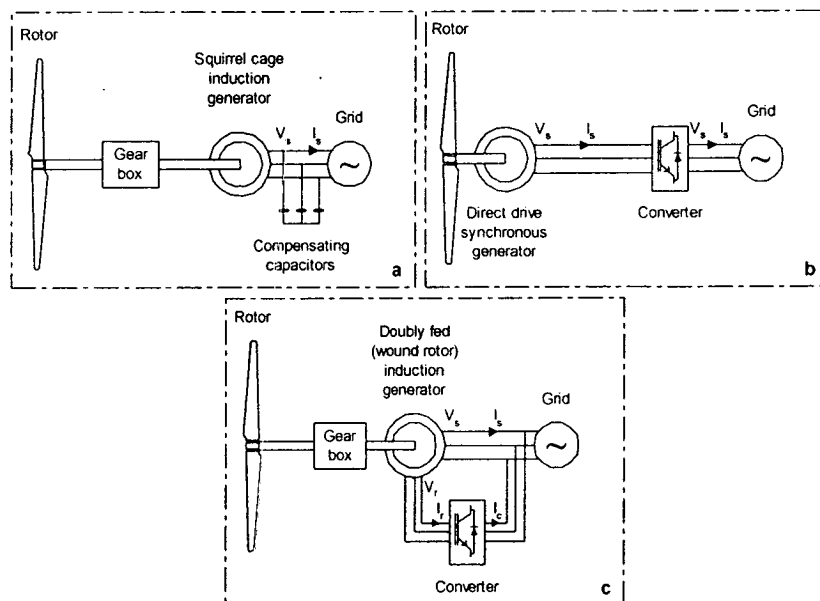
1.4.1.1 กังหันลมแบบความเร็วคงที่ (fixed speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล้องเกียร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (squirrel cage induction generator) ชุดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.5 a ในความเป็นจริงแล้วกังหันลมแบบนี้มีค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator slip) ไม่คงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าน้อยมากเพียง 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเรียกกังหันลมแบบนี้ว่าเป็นแบบความเร็วคงที่

1.4.1.2 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (variable speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล้องเกียร์ เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบบดับเบิลเฟด (doubly fed induction generator) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ชุดสเตเตอร์ต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า กังหันลมชนิดนี้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วรอบและความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้ องค์ประกอบของกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ดังแสดงในรูปที่ 2.5 b

1.4.1.3 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (variable speed with direct drive)  
 กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสโดยตรงและมีเครื่อง  
 แปลงกระแสไฟฟ้า สำหรับการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า องค์ประกอบของกังหันลมแบบ  
 ความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรงดังแสดงในรูปที่ 2.5 c



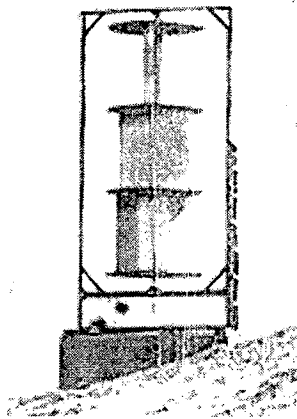
รูปที่ 5 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง [6]



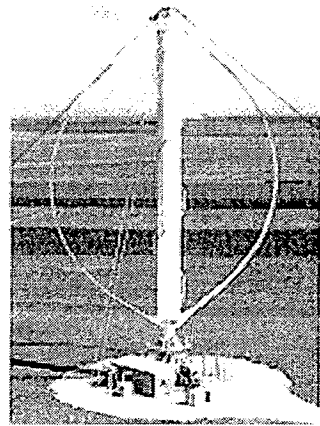
รูปที่ 6 แสดงองค์ประกอบกังหันลมแบบความเร็วคงที่ (a) กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (b)  
 และกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (c) [4]

#### 1.4.2 กังหันลมที่มีแกนเพลายอยู่ในแนวตั้ง [1]

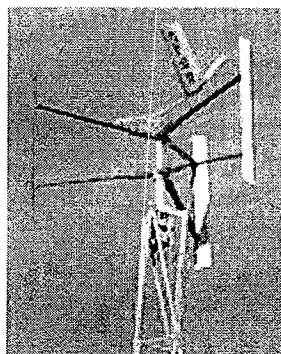
กังหันลมที่มีแกนเพลายอยู่ในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine, VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของลม ซึ่งสามารถรับลมได้ทุกทิศทางและติดตั้งอยู่ในระดับต่ำได้ กังหันลมแบบนี้ที่รู้จักกันดีคือกังหันลมแบบแดร์เรียส (darrieus) ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1920 และกังหันลมซาโวเนียส (Savonius) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฟินแลนด์ กังหันลมแบบแกนตั้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำ มีข้อจำกัดในการขยายให้มีขนาดใหญ่และการยกชุดใบพัดเพื่อรับแรงลม การพัฒนาจึงอยู่ในวงจำกัดและมีความไม่ต่อเนื่อง ปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมแบบแกนตั้งน้อยมาก ข้อดีของกังหันลมแกนตั้งคือ สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง มีชุดปรับความเร็ว (gear box) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถติดตั้งอยู่ที่ระดับพื้นล่างได้ นอกจากนี้ตัวเสาของกังหันลมยังไม่สูงมากนัก แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับกังหันลมที่มีแกนเพลแบบแกนนอน ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการใช้งานอยู่น้อย ดังรูปที่ 2.6



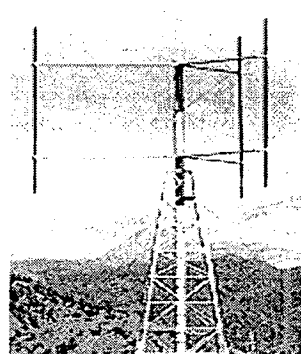
a. กังหันลม Savonius



b. กังหันลม Darrieus



c. กังหันลม Cycrotor



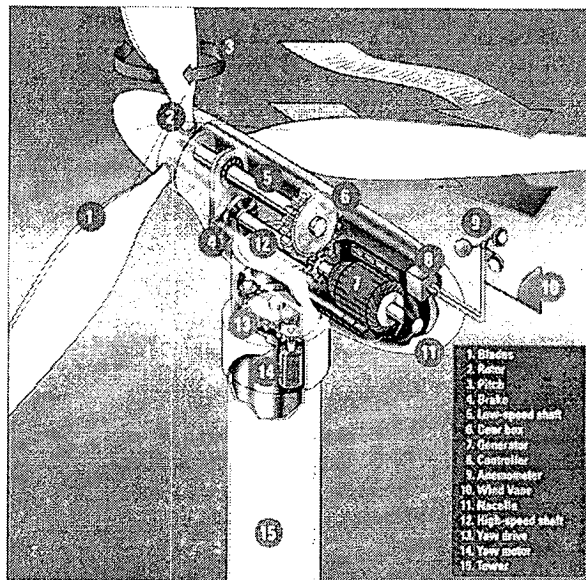
d. กังหันลม Giromill

รูปที่ 7 กังหันลมที่มีแกนเพลายอยู่ในแนวตั้ง [1]

### 1.4.3 ส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า

จากการได้รับประโยชน์อย่างชัดเจนในการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า ทำให้เทคโนโลยีของกังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้ส่วนประกอบต่างๆของกังหันลมประเภทนี้มีค่อนข้างมากและมีความซับซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งส่วนประกอบแต่ละส่วนมีหน้าที่สรุปได้ดังต่อไปนี้

1.4.3.1 ใบพัด (blade) เป็นตัวรับพลังงานลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนเพลากลมหุน (rotor) ของใบพัด โดยใบพัดสามารถปรับทิศทางการรับลมได้



รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า [7]

1.4.3.2 ระบบเบรก (brake) เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลากลมหุนของกังหันลม

1.4.3.3 คันบังคับเพลากลมหุน (low speed shaft และ high speed shaft) เป็นส่วนที่คอยควบคุมความเร็วของเพลากลมหุนให้หมุนช้าหรือเร็วของใบพัด และส่งผ่านระบบส่งกำลัง

1.4.3.4 ห้องส่งกำลัง (gear box) เป็นระบบที่คอยปรับเปลี่ยนและควบคุมความสัมพันธ์ของความเร็วในการหมุนระหว่างเพลากลมหุนกับเพลากลมหุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1.3.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลที่ถูกส่งมาจากเพลากลมหุนของใบพัดเป็นพลังงานไฟฟ้า

1.4.3.6 ตัวควบคุม (controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดความเร็วลม

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

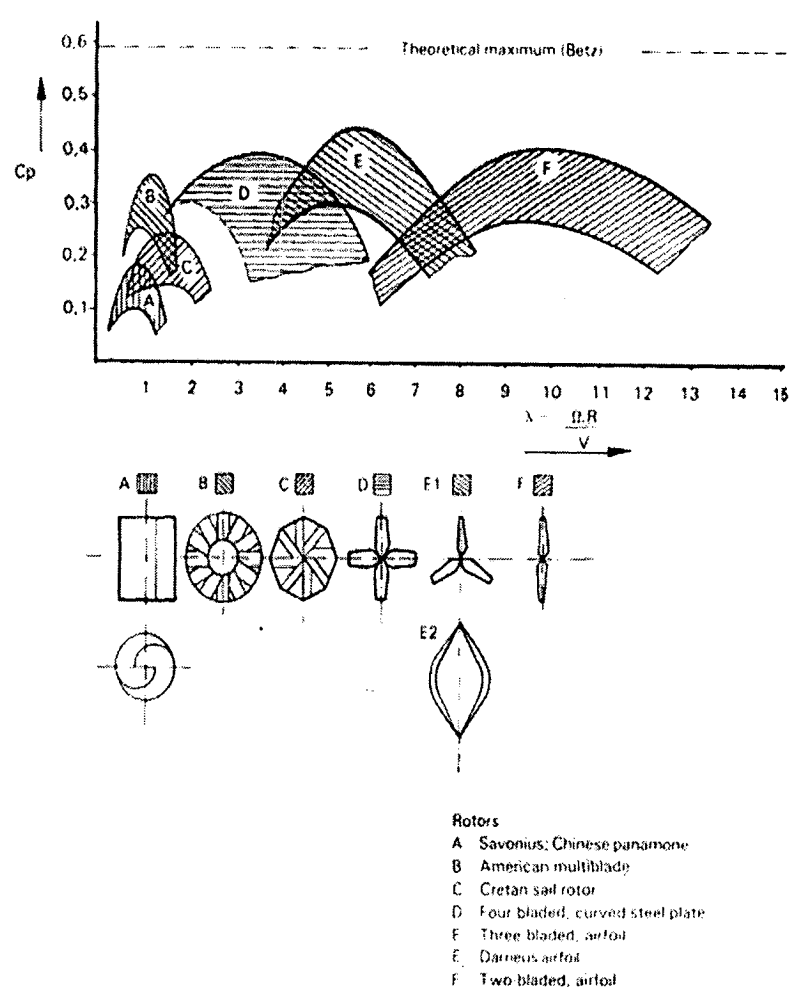
1.4.3.8 แกนคอหมุนรับทิศทางลม (yaw drive) เป็นตัวควบคุมการหมุนของห้องเครื่อง เพื่อให้ใบพัดปรับรับทิศทางลม โดยมีมอเตอร์ (yaw motor) เป็นตัวช่วยในการปรับทิศทาง

1.4.3.9 เสาหรือหอคอย (tower) เป็นส่วนที่แบกรับอุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ข้างบนนอกจากนี้ยังต้องมีระบบไฮดรอลิก (hydraulic system) ที่จะช่วยในการชะลอการหมุนและการหยุดหมุนของใบพัด ระบบระบายความร้อน (cooling system) มีไว้สำหรับการระบายความร้อนจากการทำงานของระบบซึ่งเกิดความร้อนจากการทำงานอย่างต่อเนื่อง และมีชุดเครื่องมือสำหรับการวัดความเร็วลม (anemometer) เพื่อวัดและเก็บข้อมูลความเร็วลมซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่กับชุดแผงหาง (vane) จะเห็นได้ว่ากังหันลมแนวแกนนอนจะมีระบบที่ยุ่งยากซับซ้อนมาก เมื่อเทียบกับกังหันลมแนวแกนตั้ง

## 1.5 ชนิดของใบกังหันลม

เนื่องจากว่าความเร็วของลมในทุกพื้นที่ในประเทศไทยจะอยู่ที่ประมาณ 2-3 m/s จะเห็นจากรูปที่ 9 พบว่าใบพัดที่เหมาะสมกับลมในประเทศไทยจะเป็นแบบ A, B, C และ D

กังหันที่ใช้ใบ 3 ใบพัด (แบบ E1) เป็นลักษณะกังหันลมที่เลือกใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่บริเวณใช้ลมแรงที่ 4-8 m/s แบบ A คือ ใบพัดกังหันลมแบบแนวตั้ง แบบ B คือ ใบพัดกังหันลมแบบแนวนอนเหมาะสมสำหรับปั้มน้ำ แบบ C คือ ใบพัดกังหันลมแบบแนวนอน บริเวณพื้นที่ที่พบ คือนาเกลือจังหวัดสมุทรสาคร



รูปที่ 9 ชนิดของใบกังหันลม [8]

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทบทวนวรรณกรรมในครั้งนี้นี้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับกังหันลมแนวนอน แนวตั้ง ทั้งเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า และที่เกี่ยวข้องกับการสูบน้ำ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนากังหันลมแนวตั้งต่อไป คือ

จินดาวุฒิ และคณะ [10] ได้ทดสอบสมรรถนะของกังหันลมซาโวนีเยสแบบแผ่นแบนปลายโค้ง ซึ่งได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ทดสอบได้แก่ ฐานไว้สำหรับติดตั้งใบกังหันและเครื่องมือวัดแรงบิด อุโมงค์ลม และเครื่องเป่าลม เครื่องเป่าลมนี้สามารถสร้างความเร็วลมได้ตั้งแต่ 2 ถึง 8 เมตรต่อวินาที ในการทดสอบใบกังหันลมแบบแผ่นแบนนี้จะทำการทดสอบโดยมีค่า รัศมีของแขนใบกังหันต่อรัศมีความโค้งมีค่าคงที่ โดยทำการเปลี่ยนค่ามุม  $\theta$  เพิ่มขึ้นทีละ 15 องศา เริ่มที่ 30 องศาถึง 165 องศา และจำนวนใบพัดเป็น 2, 3, 4 และ 6 ใบ เราจะนำผลจากการทดสอบมาศึกษา และนำมาวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าของสมรรถนะได้จาก กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังของใบกังหัน และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเร็วลมปลายใบกับสัมประสิทธิ์กำลัง ซึ่งจากการทดสอบได้ว่า ใบกังหันจำนวน 6 ใบ มุม 135 องศาจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

เศกสิทธิ์ และคณะ [11] ได้ศึกษาสมรรถนะของกังหันลมซาโวนีเยสชนิดมีช่องว่างตรงกลาง เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนารูปแบบกังหันลมในแนวตั้งต่อไป โดยตัวกังหันลมซาโวนีเยสทำด้วยเหล็ก มีขนาดเมื่อกางใบพัดเต็มที่  $0.5 \times 0.5$  m. รับความเร็วลมตั้งแต่ 2 – 8 m/s โดยใช้มอเตอร์ (Blower) เป็นตัวกำเนิดกระแสลม และใช้ท่อส่งลมเป็นตัวควบคุมกระแสลมให้เกิดความสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัดมายังตัวกังหัน ซึ่งให้กำลังสูงสุดที่ความเร็วลม 8 m/s 2 ใบพัด  $a/r = 0.8$  จากการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ใบพัด พบว่าเมื่อความเร็วลมและ  $a/r$  เพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังของกังหันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

สรศักดิ์ คำวังและมนัสสุตา เนาคำแพง [12] ได้ออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพของกังหันลมแกนตั้งสูบน้ำ โดยการสร้างกังหันลมแกนตั้ง 6 ใบพัด แบบซาโวนีเยส สูง 7 เมตร และพื้นที่ของใบพัดมีขนาด 1.14 ตารางเมตร ติดตั้งเครื่องสูบน้ำแบบปั๊มชักเข้ากับตัวกังหันและหาปริมาณน้ำที่ระดับความเร็วลมต่างๆ ในช่วงเวลา 10 วินาที จากการวิจัยพบว่า พบว่าความเร็วลมต่ำสุดที่กังหันลมแกนตั้งสามารถสูบน้ำได้มีค่าเท่ากับ 4.28 เมตรต่อวินาที และประสิทธิภาพต่ำสุดของกังหันลมแกนตั้งสูบน้ำ คือ 4.80% และที่ความเร็วลม 5.86 เมตรต่อวินาที ประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันลมแกนตั้งสูบน้ำ คือ 8.97% จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพจะแปรผกผันกับความเร็วลม

อุสาห์ บุญบำรุง [13] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง ระบบต้นแบบการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมสำหรับบริเวณที่มีความเร็วลมต่ำ เพื่อศึกษาวิจัยการออกแบบและสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเร็วลมเริ่มต้นในการจ่ายพลังงานไม่เกิน 2 m/s โดยได้ทำการสร้างใบพัดรูปแบบภาคตัดขวางแบบ NACA 4415 ยาว 60 Cm จำนวน 6 ใบพัด ให้พิกัดกำลัง 400 W ที่พิกัดความเร็วลม 10 m/s ออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการของฟาราเดย์ จำนวน 8 คู่ขั้วแม่เหล็กแรงดันไฟฟ้า 20 V ที่ 400 rpm จากการวิจัยพบว่ากังหันเริ่มหมุนที่ความเร็วลมประมาณ 2 m/s

และที่ความเร็วลม 9 m/s กังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ 180 W ประสิทธิภาพของระบบมีค่าเฉลี่ย 0.2 และมีค่ามากที่สุด 0.45 ที่ความเร็วลม 9 m/s

สำเร็จ แพ่งศรี [14] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง พัฒนาเครื่องต้นแบบการใช้พลังงานลมผลิตไฟฟ้า เพื่อให้เครื่องกังหันต้นแบบสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามปริมาณอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า และนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์กับอุปกรณ์ไฟฟ้า จากการวิจัยพบว่าใบกังหันหมุนผลิตไฟฟ้าได้ที่ความเร็วรอบของใบพัด 12 rpm ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 4 m/s แรงเคลื่อนที่ผลิตได้ 13 V

นร.ปรัชญ์ พรหมรักษ์ นร.เทียนชัย นานุดดา และ นร.วุฒทวี ภักดี [15] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง การปรับปรุงและพัฒนาระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ได้ทำการปรับปรุงกังหันลมของเดิมที่ชำรุดให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ใหม่โดยใช้กังหันลมชนิดแกนนอน มีใบพัด ขนาด 200 Cm จำนวนใบพัด 3 ใบ โดยใช้อัลเตอเนเตอร์รถยนต์เป็นตัวผลิตไฟฟ้า ผลการทดลองพบว่ากังหันลมเริ่มทำงานได้ที่ความเร็วลม 5.1 m/s และพบว่า เมื่อความเร็วลมเท่ากับ 8 m/s จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพคือ 12 V และที่ความเร็วลม 3 m/s จะผลิตไฟฟ้าได้ 2.3 V

เดช ดำรงค์ดี และ ยงยศ วุฒิโกวิท [16] ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมซึ่งสามารถนำมาใช้ในการขับเคลื่อนระบบกังหัน ลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยทำการติดตั้งกังหันลม ณ สำนักงานเขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์ป่าสะเมิง อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ผลการวิเคราะห์พบว่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีมีค่าเท่ากับ 4.1 m/s ซึ่งมีความมากกว่า 3 m/s ซึ่งเป็นความเร็วลมเริ่มต้นที่กังหันลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้