บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลม คือ กระแสอากาศที่เคลื่อนที่ในแนวนอน ส่วนความกดอากาศ คือ อากาศที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง การเรียกชื่อลมนั้นเรียกตามทิศทางที่ลมนั้น ๆ พัดมา เช่น ลมที่พัดมาจากทิศเหนือเรียกว่าลมเหนือ และลมที่พัดมาทางทิศใต้เรียกว่าลมใต้ เป็นต้น

ความสัมพันธ์ของลมกับความกดอากาศ

การเกิดลม เกิดจากอากาศที่เคลื่อนที่จากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

1. ความแตกต่างของอุณหภูมิในที่สองแห่ง อากาศเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวความหนาแน่นของอากาศจะลดลง อากาศจึงลอยตัวขึ้น อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและมีความหนาแน่นของอากาศมากกว่าจากบริเวณใกล้เคียงจะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดลม

2. ความแตกต่างของความกดอากาศ อากาศเมื่อได้รับความร้อนจะมีความกดอากาศต่ำ ความหนาแน่นลดลงจึงลอยตัวสูงขึ้น อากาศเย็นที่มีความหนาแน่นมากกว่าและมีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาหาบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ ทำให้เกิดลม

พื้นที่ความกดอากาศ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

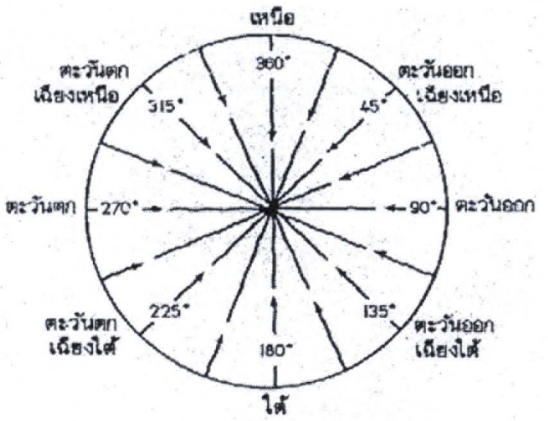
1. พื้นที่ความกดอากาศสูง (High pressure areas)หมายถึงบริเวณที่มีความกดอากาศสูงกว่าบริเวณข้างเคียง กระแสลมจะพัดเวียนออกจากศูนย์กลางในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (ในซีกโลกด้านเหนือเส้นศูนย์สูตร) บริเวณที่มีความกดอากาศสูงนี้จะมีสภาพท้องฟ้าแจ่มใส อากาศเย็น

2. พื้นที่ความกดอากาศต่ำ (Low pressure areas) หมายถึง บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำกว่าบริเวณข้างเคียงกระแสลมจะพัดเวียนเข้าหาศูนย์กลางในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ในซีกโลกด้านเหนือเส้นศูนย์สูตร) บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ ท้องฟ้าจะมีเมฆมาก ถ้าหากมีความกดอากาศต่ำมากจะเกิดพายุต่าง ๆ ขึ้น

การวัดลม การวัดลมมีค่าที่ต้องการวัด 2 ค่า คือการวัดทิศลม และวัดความเร็วลม

1. **ทิศลม** อาจเรียกตามทิศต่าง ๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาจากทิศเหนือ ปัจจุบันการวัดทิศลมนิยมวัดตามเข็มทิศ และวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศลมด้วยเข็มทิศ เข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็น ทิศใหญ่ ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศ เมื่อแบ่งย่อยอีกจะเป็น 8 ทิศ โดยจะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก

เฉียงเหนือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศ ให้ย่อยเป็น 16 ทิศหรือ 32 ทิศ ได้อีก แต่การรายงานทิศนั้น มักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศ เท่านั้น ส่วนการวัดทิศลมที่บอกมุมจริงของลมเป็นองศา ในลักษณะที่เวียนไปตามเข็มนาฬิกา ใช้สเกลจาก 0 องศาไปจนถึง 360 องศา โดย ลมทิศ 0 องศา หรือ 360 องศา เป็นทิศเหนือ, ลมทิศ 45 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ลมทิศ 90 องศา เป็นทิศตะวันออก, ลมทิศ 135 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้, ลมทิศ 180 องศา เป็นทิศใต้, ลมทิศ 315 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ภาพ 2)



ภาพ 1 ทิศลมเรียกมุมจริงเป็นองศา

2. **ความเร็วลม** คือ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีพลังงานจลน์ ทำให้เกิดแรงกระทำต่อวัตถุใด ๆ ที่ปะทะลมได้ และแรงในรูปความดันเป็นสัดส่วนกับความเร็วลมยกกำลัง 2 ดังอธิบายในรูปสมการเป็น

$$p = 0.5\rho u^2$$

เมื่อ p = ความดันที่เกิดจากการกระทำของลม

U = ความเร็วลม

ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ

ด้วยเหตุที่มีแรงเกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของลม ทำให้สามารถหาความเร็วลมได้ โดยที่ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือใด ๆ แต่ใช้การสังเกตจากปรากฏการณ์ของวัตถุที่อยู่รอบตัว ดังนั้นเพื่อใช้งานตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดมาตราความเร็วลมขึ้น เรียกว่ามาตราโบฟอร์ด (Beaufort Scale) โดยพลเรือเอก เซอร์ฟรานซิส โบฟอร์ด (Admiral Sir Francis Beaufort) ชาวอังกฤษ เป็นผู้คิดขึ้นใช้สำหรับตรวจลมในทะเล ต่อมาได้ถูกดัดแปลงนำมาใช้ทั้งบนบกและใน

ทะเลมาตราโบฟอร์ด จะใช้การสังเกตจากสิ่งกีดขวางไม่ว่าบนบกหรือในทะเล ได้แก่ ใบไม้ กิ่งไม้ สายโทรเลข สายโทรศัพท์ ธง สิ่งปรักหักพังต่าง ๆ และคลื่นในทะเล เกณฑ์ที่ใช้กำหนดความเร็วลม ได้มาจากการสังเกตกำลังลมเหนือพื้นดินและในทะเล มาตราโบฟอร์ด เริ่มต้นจากมาตรา 0 ไปจนถึงมาตรา 17 ตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นคือที่มาตรา 0 จะเป็นเขตลมสงบ ไปจนถึงมาตรา 17 ที่ลมมีกำลังแรงจัดเป็นพายุเฮอร์ริเคน ปัจจุบันมาตราโบฟอร์ดถูกนำมาใช้น้อยลง โดยเฉพาะสถานีบนบกเนื่องจากมีการใช้เครื่องมือวัดลมมากขึ้น ตารางที่ 1 เป็นตารางเทียบความเร็วลม และชนิดลมตามมาตราโบฟอร์ด และปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน

ตาราง 1 เทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ด

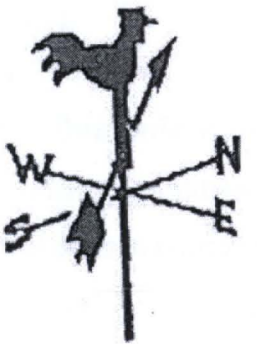
มาตราโบฟอร์ด	ความเร็วลม		ชนิดลม	ปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน
	นอต	กม./ชม.		
0	1	1.6	ลมสงบ	ลมสงบควันลอยขึ้นตรง
1	1-3	1.6-4.8	ลมเบา	ทิศทางลมสังเกตได้จากควันที่ลอยแต่ไม่ใช่จากศรลม
2	4-6	6.4-8.6	ลมอ่อน	รู้สึกมีลมปะทะหน้า ใบไม้เคลื่อนไหว ศรลมเริ่มหันทิศทางไปตามลม
3	7-10	12.8-19.2	ลมเฉื่อย	ใบไม้และกิ่งไม้เล็ก ๆ เคลื่อนไหวตลอดเวลา ธงเคลื่อนออกตามลม
4	11-21	20.8-28.8	ลมปานกลาง	ฝุ่นฟุ้ง กระดาษปลิว กิ่งไม้เล็กๆ โยก
5	17-21	30.4-38.4	ลมกระโชก	ต้นไม้เล็ก ๆ เริ่มโยก แหล่งน้ำบนบก เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนองบึงเป็นระลอก

ตาราง 1 (ต่อ)

มาตรา โบฟอร์ด	ความเร็วลม		ชนิดลม	ปรากฏการณ์ธรรมชาติ เหนือพื้นดิน
6	22-27	40.0-38.4	ลมแรง	กิ่งไม้ใหญ่โยก สายโทรเลขดัง หวือ ๆ ไม่สะดวกที่จะใช้ร่ม
7	28-33	51.2-60.8	พายุปาน กลาง	ต้นไม้โยก เดินต้านลม ไม่ สะดวก
8	34-40	62.4-73.6	พายุกระโชก	กิ่งไม้หัก เดินไปข้างหน้าไม่ สะดวก
9	41-47	75.2-86.4	พายุแรง	สิ่งก่อสร้างเสียหายเล็กน้อย
10	48-55	88.0-100.8	พายุจัด	ต้นไม้ถอนรากสิ่งก่อสร้าง เสียหายมาก
11	56-63	102.4-115.2	พายุจัด	สิ่งก่อสร้างเสียหายมาก เป็น บริเวณกว้าง
12	64-71	116.8-131.2	เฮอร์ริเคน	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก
13	92-82	132.5-147.3	เฮอร์ริเคน	
14	81-89	148.8-164.8	เฮอร์ริเคน	
15	90-99	166-4-182.4	เฮอร์ริเคน	
16	100-108	184.0-200.0	เฮอร์ริเคน	
17	109-118	201.6-217.6	เฮอร์ริเคน	

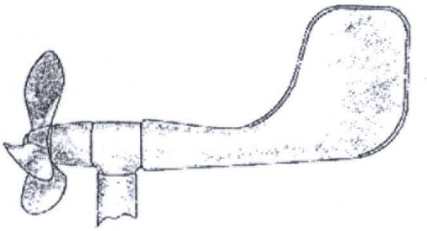
เครื่องวัดลม

1. **เครื่องวัดทิศลม** เรียกว่า ศรลม (Wind Vane) ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นลูกศรยาว มีหางเป็นแผ่นแนวตั้งเป็นตัวบังคับให้หัวศรลมชี้ในทิศทางที่ลมพัดเข้ามา โดยแกนของศรลมหมุนได้โดยรอบ และต่อเข้ากับระบบวงจรไฟฟ้าทำให้สามารถอ่านทิศทางลมตามที่ปลายศรลมชี้ได้ที่หน้าปัดของเครื่องวัด (ภาพ 3)



ภาพ 2 ศรลม

ความดันอากาศจากกระแสลมที่แตกต่างกันบนลูกถ้วย เป็นเหตุให้ลูกถ้วยหมุนไปรอบเพลา (ภาพ 2) อัตราที่ลูกถ้วยหมุนจะเป็นสัดส่วนตรงกับความเร็วลม สามารถอ่านความเร็วลมได้จากหน้าปัด หรือส่งไปยังเครื่องบันทึกเครื่องวัดที่วัดได้ทั้งความเร็วลมและทิศทางลม เรียกว่า แอโรเวน (Aerovane) เป็นชุดรวมแอนิโมมิเตอร์และศรลมเข้าด้วยกัน เครื่องวัดนี้ใช้ใบพัด 3 ใบวัดความเร็วลม ใบพัดหมุนเป็นอัตราส่วนกับความเร็วลม รูปร่างของเครื่องมีรูปทรงอากาศพลศาสตร์ดี มีหางเสืออยู่ในแนวตั้งช่วยให้ใบพัดหันเข้าหาลม (ภาพ 4) ศรลมจะทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ บอกทิศทางลม และช่วยให้แกนของใบพัดชี้เข้าหาทิศทางลม ทั้งแอนิโมมิเตอร์และศรลม เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล



ภาพ 3 แอโรเวน

เครื่องวัดลมที่กล่าวมานี้ใช้วัดลมเหนือพื้นดิน เพื่อบอกทิศทางและความเร็วลมของจุดที่ติดตั้ง แต่เนื่องจากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ มีอิทธิพลต่อความเร็วและทิศทางลม เช่น อาคาร ต้นไม้ และอื่น ๆ ที่ความเร็วลมจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นพ้นจากสิ่งกีดขวาง ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้วัดลมควรตั้งอยู่ในที่โล่งที่ลมไหลได้สะดวก และควรอยู่สูงกว่าหลังคาอาคาร แต่ในทางปฏิบัตินั้น เครื่องวัดลมจะถูกติดตั้งวางไว้ในระดับความสูงแตกต่างกัน ทำให้ข้อมูลการวัดลมที่ได้ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้านพลังงานลม

ลมผิวพื้น

ลมผิวพื้น (Surface Winds) เป็นลมที่พัดบริเวณผิวพื้นในระดับความสูงไม่เกิน 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศ และมีแรงฝืดอันเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วย ในระดับต่ำแรงความดันจากความกดอากาศในแนวนอนจะไม่สมดุลกับแรงคอริออลิส และแรงฝืดทำให้ความเร็วลมลดลงมีผลให้แรงคอริออลิสลดลงไปด้วย ลมผิวพื้นจึงไม่พัดขนานกับไอโซบาร์ (เส้นแนวความดันเท่า) แต่พัดข้ามไอโซบาร์จากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ และทำมุมกับไอโซบาร์ มุมที่ลมพัดทำกับไอโซบาร์ในระดับความสูงต่ำกว่า 10 เมตรเหนือผิวพื้นนั้นขึ้นอยู่กับความหยาบของผิวพื้น ถ้าเป็นทะเลที่ราบเรียบแรงฝืดต่ำจะทำมุม 10 ถึง 20 องศา ถ้าเป็นพื้นดินจะทำมุม 20 ถึง 40 องศา และบริเวณที่เป็นป่าไม้หนาทึบอาจทำมุมถึง 90 องศา ส่วนที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตร ขึ้นไปแรงฝืดลดลงและความเร็วลมสูงขึ้น มุมที่ทำกับไอโซบาร์จะน้อยลง โดยที่ระดับความสูง 1 กิโลเมตรนั้นเกือบไม่มีแรงฝืด ดังนั้นลมจึงพัดขนานกับไอโซบาร์

ลมสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

ลมมรสุม

ลมมรสุม (Monsoon) มาจากคำในภาษาอาหรับว่า Mausim แปลว่า ฤดู ดังนั้นลมมรสุมจึงหมายถึง ลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางพร้อมกับการเปลี่ยนฤดู เช่น ฤดูร้อนจะพัดในทิศทางหนึ่งและจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว การเรียกลมนี้ใช้ครั้งแรกในบริเวณทะเลอาหรับซึ่งพัดอยู่ในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือเป็นระยะเวลา 6 เดือน และพัดอยู่ในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้เป็นระยะเวลา 6 เดือน ส่วนมรสุมที่เห็นชัดเจนที่สุดในส่วนอื่นๆ ของโลกคือ ลมมรสุมที่เกิดขึ้นในเอเชียตะวันออก และเอเชียใต้

ลมมรสุมที่พัดผ่านประเทศไทย

ภูมิอากาศของประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของระบบลมสำคัญซึ่งพัดตามฤดูกาล คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมมรสุมเป็นลมที่เกิดเนื่องจากความ

แตกต่างของความกดอากาศที่มีอยู่ในทวีปกับที่มีอยู่เหนือมหาสมุทร จึงทำให้เกิดมีลมพัดจากบริเวณความกดอากาศสูงไปยังบริเวณความกดอากาศต่ำเปลี่ยนตามฤดูดังนี้

1. **มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ** ปกติจะเริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคม ไปจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ แต่บางปีอาจจะเลยไปถึงกลางเดือนมีนาคม ในช่วงระยะนี้ทางตอนในของทวีปเอเชียแถบประเทศจีนเป็นบริเวณความกดอากาศสูง จึงเกิดมีลมหนาวเย็น และค่อนข้างแห้งพัดเข้าสู่ประเทศไทยซึ่งเป็นเขตความกดอากาศต่ำกว่า จึงเป็นช่วงฤดูหนาวของประเทศไทยที่มีอากาศเย็นและแห้งโดยทั่วไป แต่อุณหภูมิจะไม่ลดต่ำลงมาถึงจุดเยือกแข็ง ตามยอดเขาสูงๆ อาจเกิดเกล็ดน้ำแข็งได้แต่ไม่บ่อยนัก ยกเว้นทางภาคใต้ฝั่งตะวันออกเมื่อระลอกมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีกำลังแรงก็จะพัดผ่านอ่าวไทยมาก่อน ทำให้ท้องฟ้ามีเมฆมากและมีฝนตกชุกตามชายฝั่งทะเลด้านนี้

2. **ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้** ปกติจะพัดตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม ไปจนถึงกลางเดือนกันยายน ส่วนทางภาคใต้มรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะเริ่มประมาณต้นเดือนพฤษภาคมและไปสิ้นสุดกลางเดือนตุลาคม ลมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกใต้ในมหาสมุทรอินเดียและทวีปออสเตรเลีย ซึ่งเดิมเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้แต่เมื่อพัดข้ามเส้นศูนย์สูตรจะเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ ลมนี้มีความชุ่มชื้นเนื่องจากพัดผ่านทะเล เมื่อพัดเข้าสู่ประเทศไทยซึ่งเป็นเขตความกดอากาศต่ำกว่าจะทำให้เมฆมากและฝนตกทั่วไป จัดเป็นช่วงฤดูฝนของประเทศไทย บริเวณที่มีฝนตกมากกว่าบริเวณอื่น คือ บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันตกและตามเทือกเขาด้านรับลม

การนำพลังงานลมมาใช้งาน

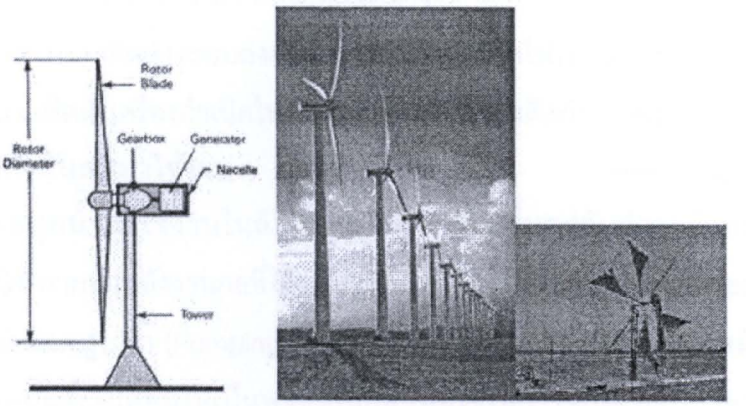
การนำพลังงานลมมาใช้งาน ต้องอาศัยอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกล กังหันลม คือ เครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับและแปลงพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ และนำพลังงานกลมาใช้เพื่อสูบน้ำโดยตรงหรือผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนากังหันลมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เริ่มมีมาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณจนถึงยุคปัจจุบัน โดยการออกแบบกังหันลมต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลม และหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน มาใช้ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ประเภทของกังหันลม

กังหันลมอาจจำแนกประเภทได้ 2 วิธี คือ จำแนกตามลักษณะการวางตัวของแกนหมุนหรือจำแนกตามแรงขับจากกระแสลมที่กระทำต่อใบกังหัน

1. **จำแนกตามลักษณะการวางตัวของแกนหมุน**

กังหันลมแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine – HAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของกระแสลม โดยมีใบพัดตั้งฉากกับแรงลม เช่น กังหันลมพรอเพลเลอร์ เป็นต้น กังหันลมแกนนอนรูปแบบต่าง ๆ



ภาพ 4 กังหันลมแกนต่างๆ

กังหันลมแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine – VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของกระแสลม ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง มี 2 แบบหลัก ๆ คือ กังหันลมแดร์เรียส (Darrieus) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส และกังหันลมซาโวเนียส (Savonius) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฟินแลนด์ กังหันลมแกนตั้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำกว่า มีข้อจำกัดในการขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและปัญหาแรงลมที่ไม่สมดุลกระทำกับชุดใบพัด การพัฒนาจึงอยู่ในวงจำกัดและมีความไม่ต่อเนื่อง ปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมแกนตั้งน้อยมาก

2. **จำแนกตามลักษณะของแรงขับที่กระแสลมกระทำต่อใบกังหัน**

กล่าวคือ การขับด้วยแรงยก (Lift Force) หรือการขับด้วยแรงฉุดหรือแรงหน่วง (Drag Force) การจำแนกตามวิธีที่ 1 เป็นวิธีที่เด่นชัดสามารถเข้าใจง่ายจึงนิยมมากกว่าวิธีที่ 2 ซึ่งต้องพิจารณาโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับอากาศพลศาสตร์ นอกจากนี้ยังมีกังหันลมที่ไม่ได้จำแนกประเภทตามวิธีทั้ง 2 เช่น กังหันลมทอร์นาโด กังหันลมที่เพิ่มดิฟฟิวเซอร์ หรือ คอนเซนเตรเตอร์ (Diffuser or Concentrator) เป็นต้น กังหันลมแกนนอนเป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนมากออกแบบให้เป็นชนิดที่ขับใบกังหันด้วยแรงยก เช่น กังหันลมพรอเพลเลอร์ (Propeller) กังหันลมหลายใบ (Multi-bladed) กังหันลมวงล้อจักรยาน (Bicycle wheel) ในประเทศไทยมี

การใช้กังหันลมแกนนอนตามนาเกลือ เป็นแบบใบพัดรูปใบลำแพน หรือใบเรือ (Sail rotor) ส่วนกังหันลมแบบใบกังหันไม้ที่ใช้กันมากในจังหวัดฉะเชิงเทรา จัดอยู่ในชนิดพรอเพลเลอร์อย่างไรก็ตาม ในระยะหลังนี้กังหันลมแกนตั้งได้รับความสนใจในการพัฒนามากขึ้นเช่นกันทั้งนี้เพราะกังหันลมแบบนี้มีข้อดีอยู่อย่างน้อย 2 ข้อ เมื่อเทียบกับแกนนอนกล่าวคือ

2.1 กังหันลมแกนตั้งไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมให้กังหันหันหน้าเข้าหาลม เพื่อให้ได้รับพลังงานมากที่สุด เนื่องจากสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง

2.2 สามารถติดตั้งระบบส่งกำลังและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อยู่บนระดับพื้นดินได้ขณะที่กังหันลมแกนนอนจะติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบส่งกำลังติดกับกังหัน ซึ่งอยู่บนหอคอยสูง

การนำกังหันลมมาใช้งาน

กังหันลมถูกนำมาใช้งานในลักษณะต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับว่าจะนำพลังงานกลหรือพลังงานไฟฟ้ามาใช้ หากนำพลังงานกลที่ได้มาใช้มักเป็นต้นกำลังในการสูบน้ำ หรือการสีข้าว

1. **กังหันลมสูบน้ำ** (Pumping Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล เพื่อใช้ในการชักหรือสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูง สำหรับการเกษตร การทำนาเกลือ การอุปโภคและการบริโภค ปัจจุบันมีใช้อยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบระหัดและแบบสูบชัก

2. **กังหันลมผลิตไฟฟ้า** (Electric Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล จากนั้นนำพลังงานกลมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าปัจจุบันมีการนำมาใช้งานทั้งกังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) และกังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine) การทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า คือ เมื่อมีลมมาปะทะจนทำให้กังหันหมุน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับส่วนของกังหันจะหมุนตามทำการผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านเครื่องควบคุมไฟฟ้าที่ติดตั้งด้านล่าง

ส่วนประกอบของกังหันลม

ปัจจุบันมีความสนใจในการนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้น โดยกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีขนาดกำลังการผลิตต่างกัน ตั้งแต่ขนาดเล็ก 1 kW จนถึงขนาดใหญ่ 2.5 MW. โดยทั่วไปส่วนประกอบหลัก ๆ ของกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ

1. ใบพัด (Blades) ใบพัดนับว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด เป็นตัวทำให้เกิดพลังงานกลที่เพลาของกังหันจำนวนใบพัดอาจมีตั้งแต่หนึ่งถึงหลายสิบใบ กังหันลมที่มีจำนวนใบพัดมากส่วนใหญ่จะใช้กับงานที่ต้องการแรงบิด (Torque) สูง ในทางตรงข้ามกังหันที่มีจำนวนใบพัดน้อยส่วนใหญ่ใช้กับงานที่ต้องการความเร็วรอบสูง เช่น การผลิตไฟฟ้าที่ส่วนใหญ่แล้วจะมีจำนวน 2 – 3 ใบ ส่วนแบบใบเดี่ยวนั้นจะใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการให้เกิดการรบกวนสัญญาณคลื่น

ต่าง ๆ เช่น คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์และไม่เกิดเสียงดังรูปหน้าตัดของใบพัดมีตั้งแต่ลักษณะแพนอากาศ (Airfoil) หรือลักษณะปีกเครื่องบิน เป็นแผ่นโค้ง และเป็นแผ่นราบ เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำใบพัดควรจะเป็นวัสดุเบาและแข็งแรง ซึ่งอาจเป็นอลูมิเนียมอัลลอยด์ เหล็ก ไม้ หรือไฟเบอร์กลาส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและการคัดเลือกของผู้ออกแบบ

2. โรเตอร์ (Rotor) เป็นส่วนที่หมุนซึ่งประกอบขึ้นจากการประกอบใบพัด (blades) และดุม (hub) ยึดติดเป็นชุดเดียวกัน

3. ส่วนปรับมุม (Pitch) เป็นการปรับมุมบิดของใบพัดด้วยอุปกรณ์ควบคุม เพื่อควบคุมการหมุนของโรเตอร์ เมื่อมีลมพัด ทำให้หมุนเร็วหรือช้าได้

4. เบรก (Brake) เป็นเบรกสำหรับหยุดการหมุนของโรเตอร์ ในสภาวะฉุกเฉิน เป็นแบยจานกลม ซึ่งมีทั้งใช้แบบกลไก ไฟฟ้า และไฮดรอลิก

5. เพลาความเร็วต่ำ (Low-speed shaft) เป็นเพลาของ โรเตอร์ จะหมุนด้วยความเร็วต่ำประมาณ 30-60 rpm

6. ชุดเกียร์ (Gear box) เป็นชุดเกียร์ ที่ต่อระหว่างเพลาของโรเตอร์ ที่หมุนด้วยความเร็วต่ำกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หมุนด้วยความเร็วสูง เพื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 30-60 rpm ไปเป็น 1,200-1,300 rpm

7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าตามกำหนด เช่น 50-Hz, 380V AC

8. อุปกรณ์ควบคุม (Controller) เป็นตัวควบคุมความเร็วเริ่มต้นของเครื่องกังหันลมที่ความเร็วลมประมาณ 4 m/s และหยุดเครื่องกังหันลมที่มีความเร็วลมประมาณ 25 m/s

9. เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) เป็นตัววัดความเร็วและส่งผ่านข้อมูลไปยัง controller

10. เครื่องวัดทิศทางลม (Wind vane) เป็นตัววัดทิศทางลมและช่วยให้ตัวขับเปลี่ยนทิศทาง (yaw drive) ปรับทิศทางของกังหันลมให้หันไปทางที่เหมาะสมกับทิศทางลม

11. เรือนกังหันลม (Nacelle) เป็นส่วนเรือนสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ เช่น โรเตอร์ ซึ่งจะอยู่บนยอดของหอคอย เป็นตัวป้องกันอุปกรณ์ต่างๆ ภายใน กังหันลมขนาดใหญ่จะมีตัวเรือนกังหันลมขนาดใหญ่พอที่คนสามารถเข้าไปทำงานได้

12. เพลาความเร็วสูง (High-speed shaft) เป็นเพลาที่มีความเร็วรอบสูง เป็นตัวขับ generator

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 18 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 250036
เลขเรียกหนังสือ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

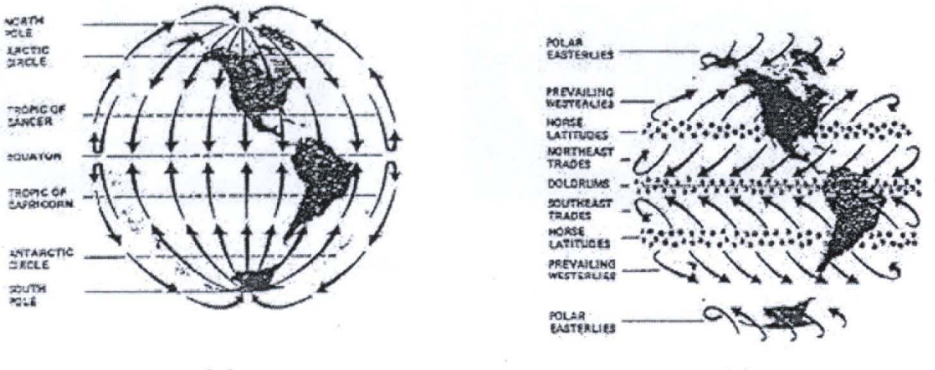
13. ตัวขับเปลี่ยนทิศทาง (Yaw drive) ตัวขับเปลี่ยนทิศทาง เป็นอุปกรณ์ปรับทิศทางของกังหันเมื่อทิศทางลมเปลี่ยนแปลง ซึ่งใช้สำหรับกังหันแบบทิศทางลมอยู่ทางด้านหน้า (upwind turbines) ส่วนกังหันแบบทิศทางลมอยู่ทางด้านหลัง (downwind turbines) ไม่จำเป็นต้องใช้เนื่องจากสามารถหมุนตามลมได้เอง

14. มอเตอร์ขับ เปลี่ยนทิศทาง (Yaw motor) เป็นมอเตอร์ต้นกำลังของ yaw drive

15. หอคอย (Tower) หอคอยมีลักษณะเป็นเสาหรือท่อขนาดใหญ่ เป็นโครงสร้างที่ตั้งตัวเรือนกังหันลมให้อยู่ในระดับสูง มักทำจากท่อเหล็กหรือโครงเหล็ก เนื่องจากความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นตามความสูง ดังนั้นหอคอยยิ่งมีความสูงมากขึ้นก็จะทำให้ได้พลังงานมากยิ่งขึ้น ได้กระแสไฟฟ้ามากขึ้น

พลังงานลม

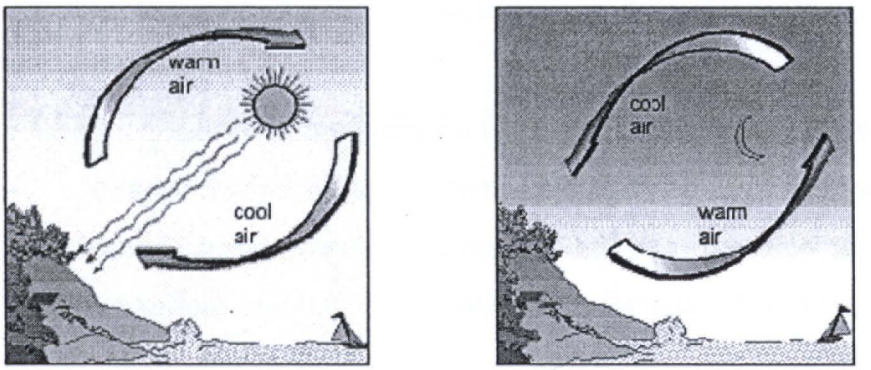
ลมเป็นพลังงานจลน์รูปแบบหนึ่ง ที่มีต้นกำเนิดจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้อมซึ่งพบได้ทั่วโลก อย่างไรก็ตามในแต่ละแห่งก็จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามลักษณะภูมิประเทศของแต่ละเขตพื้นที่ดังที่ทราบว่าลมมีต้นกำเนิดจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้อม คือ การรับความร้อนจากดวงอาทิตย์ของผิวโลกไม่เท่ากัน พื้นผิวโลกส่วนใดได้รับความร้อนมากอากาศบริเวณนั้นจะขยายตัวทำให้มีความหนาแน่นน้อย และจะลอยตัวสูงขึ้นอากาศบริเวณข้างเคียงที่เย็นและมีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนเข้าไปแทนที่จึงทำให้เกิดกระแสลมขึ้น นอกจากนี้ยังมีสาเหตุอื่น ๆ เช่น เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและน้ำและเกิดจากความลาดชันของเชิงเขาหรือภูเขา



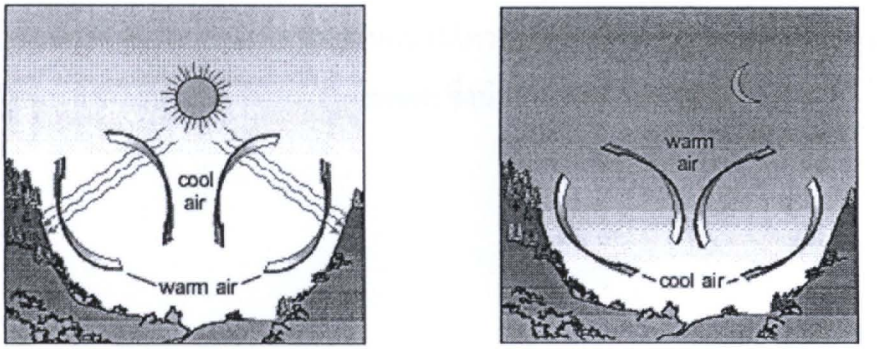
(ก) (ข)

ภาพ 5 ทิศทางลม (ก) ทิศทางลมเมื่อโลกไม่หมุน
(ข) ทิศทางลมเมื่อมีผลกระทบจากการหมุนของโลก

ในช่วงเวลากลางวันจะมีแสงอาทิตย์ส่องมายังพื้นโลก ทำให้พื้นดินนั้นดูดซับความร้อนได้มากกว่าพื้นน้ำซึ่งจะทำให้อากาศบนพื้นดินมีอุณหภูมิสูงกว่าบนพื้นน้ำ แล้วอากาศบนพื้นดินลอยตัวสูงขึ้นและอากาศบนพื้นน้ำจะเคลื่อนลอยตัวมา แทนที่และในเวลากลางคืนทิศทางจะตรงกันข้ามกับเวลากลางวัน ดังภาพ 5 (ก) ในช่วงเวลากลางคืนอากาศที่เย็นหนักจะกดตัวลงมาตามความลาดชันของภูเขา และในเวลากลางคืนอากาศเย็นหนักจะกดลงมาตามความลาดชันของภูเขาดัง (ข)



(ก)



(ข)

ภาพ 6 การเกิดลม (ก) การเกิดลมตามชายฝั่ง (ข) การเกิดลมตามหุบเขา

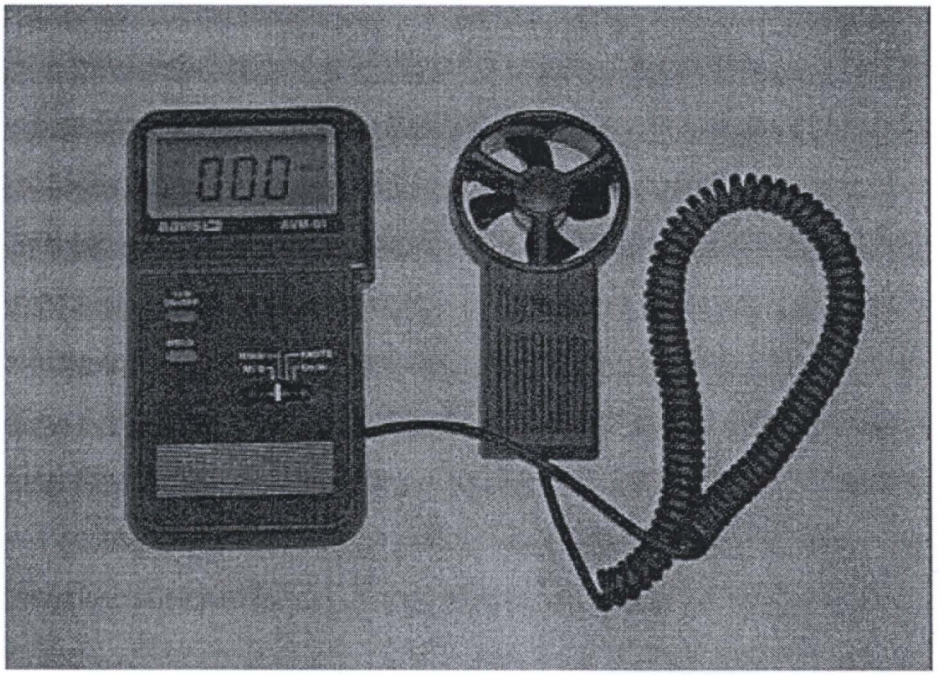
ความเร็วลมภาพ

เราไม่สามารถจะกำหนดพลังงานลมที่แน่นอนได้ เพราะว่าลมมีความเร็วไม่คงที่ต้องมีการตรวจสอบความเร็วลมตลอดเวลา และในการใช้งานจริง ๆ เราจะหาความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งก็พอแล้ว ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของลม (Wind Characteristic) ส่วนมากนั้น สามารถกำหนดรูปแบบได้ในกรณีที่ ลมมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบเดียวเรียกว่า "Prevalent winds" ถ้ามีลักษณะการเคลื่อนที่มากกว่าหนึ่งแบบเรียกว่า "Energy winds" แบบแรกจะเกิดขึ้นในช่วงเวลานานกว่าแบบที่สอง ส่วนแบบที่สองนั้นให้พลังงานออกมามากที่สุดในช่วงเวลาต่างกัน Prevalent winds นั้นจะเกิดขึ้นประมาณ 2 วันต่อสัปดาห์ และมีความเร็วประมาณ 16-40 km/hr จะกล่าวได้ว่าลมที่พัดในช่วงเวลา 30% มีกำลังงานมากกว่า ลมที่พัดในช่วงเวลา 70%

วิธีง่าย ๆ ในการกำหนดลมเฉลี่ย คือ นำข้อมูลจากสถานีวัดลมมาพิจารณา แต่ประเทศไทยยังมีข้อมูลอยู่น้อย ดังนั้นถ้ามีอุปกรณ์วัดความเร็วลม แอนิโมมิเตอร์ (Anemometer) และทิศทางลม (Wind direction) ก็ทำการทดลองเองได้ โดยทดสอบในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น หนึ่งเดือน หนึ่งปี แล้วหาความเร็วลมเฉลี่ยออกมา จะพบความเร็วลมที่สามารถให้พลังงานออกมาได้เพียงพอและไม่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในช่วง 20-40 km/hr

เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดความเร็วลมและทิศทางลม เป็นสิ่งสำคัญในการวิจัยพลังงานลม เพื่อที่จะให้ได้สถานที่ตั้งที่เหมาะสมในการที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด เครื่องมือวัดความเร็วลมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันแบ่งได้ตามอุปกรณ์ที่สร้างเป็น 2 ชนิด คือ Mechanic และ Electronic แต่ที่นิยมใช้ คือแบบ Electronic ซึ่งนำมาใช้ในการทดสอบ



ภาพ 7 Anemometer Electric

ทฤษฎีพลังงานลม

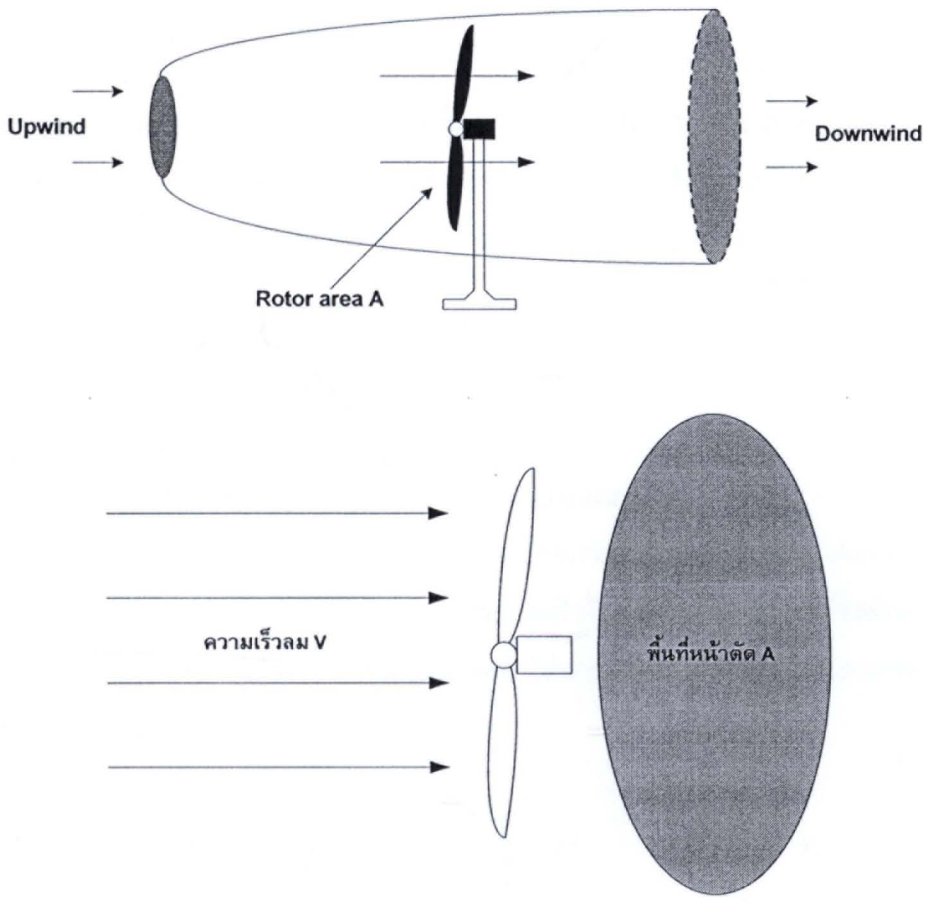
พลังงานลม คือ มวลอากาศซึ่งเคลื่อนที่ไปบนผิวโลก ตามแนวนอนในทุกทิศทางด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน พลังงานลมเกิดจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ โดยที่ผิวโลกแต่ละส่วนได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน จึงเป็นเหตุให้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงเกิดการลอยตัวสูงขึ้น และอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำไหลเข้ามาแทนที่จึงทำให้มวลของอากาศเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นซึ่งเราเรียกว่าลม

พลังงานลมเป็นพลังงานจลน์ที่เกิดจากลมในหนึ่งหน่วยเวลา (Wind power) ค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาตรของความเร็วลม (V) โดยที่ความเร็วลม 3 เมตร/วินาที ซึ่งจะมีกำลังลมต่อพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเมตร เท่ากับ 9 วัตต์/ตารางเมตร ที่ความเร็ว 10 เมตร/วินาที ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 325 วัตต์/ตารางเมตร และที่ความเร็ว 50 เมตร/วินาที (ความเร็วพายุเฮอริเคน) จะมีกำลังสูงถึง 40,560 วัตต์/ตารางเมตร

ตามทฤษฎีแล้วกังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดแค่ 16 ใน 27 ส่วนหรือประมาณ 59.3% ของพลังงานจลน์ของลมเท่านั้น ถ้าลมเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A เราสามารถเขียนอัตราการไหลของอากาศเชิงมวลต่อเวลา (m) ดังสมการได้ดังต่อไปนี้

$$P_W = \frac{1}{2}\left(\rho A v^3\right) \qquad (2.1)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ 1.225 kg/m^3



ภาพ 8 ความเร็วลม (v) เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด (A)

แทนค่าสมการที่ 2.5 ลงในสมการที่ 2.4 จะได้กำลังลม ซึ่งเป็นพลังงานจลน์ เมื่อกระแสลมมีความหนาแน่นและมีความเร็วลมพัดผ่านพื้นที่หน้าตัด A ต่อหน่วยเวลา ดังนั้นสมการที่ 2.6

$$P_W = \frac{1}{2}\left(\rho A^3\right) \qquad \text{Watt} \qquad (2.2)$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนกำลังลมต่อพื้นที่หน้าตัดจะได้สมการที่ 2.7

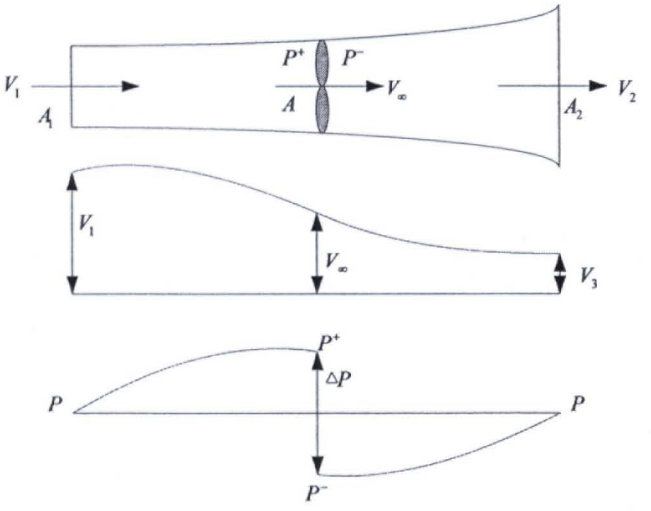
$$\frac{P_W}{A} = \frac{1}{2}\left(\rho v^3\right) \quad \text{Watt/m}^2 \qquad (2.3)$$

กังหันลม จะสามารถนำกำลังลมที่มีอยู่ในกระแสลมมาใช้ประโยชน์ได้เป็นเพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงานจากสาเหตุต่าง ๆ ในระบบขึ้น ถ้ากำหนดให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power Coefficient) ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสัดส่วนของกำลังงานที่กังหันลมจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นกำลังงานที่จะได้จากกังหันลมคือ

$$P = \frac{1}{2}\left(C_p \rho A v^3\right) \quad \text{Watt} \qquad (2.4)$$

ทฤษฎีโมเมนตัมการไหลของอากาศในแนวแกน

Rankine (1865) ได้อธิบายทฤษฎีโมเมนตัมการไหลของอากาศใน Axial Fan ว่าเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำบนใบพัดและความเร็วในการไหลของอากาศซึ่งต่อมา Froude ได้ปรับปรุงทฤษฎีดังกล่าวให้มีความเหมาะสมจึงทำให้สามารถทำนายประสิทธิภาพของใบพัดได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น



ภาพ 9 การไหลของอากาศในแนวแกน

ทฤษฎีโมเมนตัมการไหลของอากาศในแนวแกน จะต้องอยู่ภายใต้สมมติฐาน ดังต่อไปนี้

1. เป็นของไหลที่ไม่สามารถกดอัดได้
2. ไม่เกิดความต้านทานต่อการหมุนของใบพัด
3. ใบพัดพิจารณาให้เป็น Infinite member
4. การไหลของอากาศมีความเป็นเนื้อเดียวกันตลอด
5. แรงที่กระทำตลอดแนวพื้นที่ใบพัดที่การกระจายแรงแบบ Uniform
6. ไม่มีความดันย้อนกลับในขณะที่ใบพัดหมุน
7. ความดันสถิตบริเวณด้านหน้าและด้านหลังใบพัด ไม่มีผลกระทบต่อการไหลของอากาศ

จากกฎการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass) จะได้ว่า

$$\rho A_1 v_1 = \rho A v_{ax} = \rho A_2 v_2 \qquad (2.5)$$

แรงที่กระทำ (T) ต่อใบพัด เป็นผลเนื่องมาจาก การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมการไหลของอากาศด้านเข้าและด้านออก ดังสมการที่ 2.6

$$T = \rho A_1 v_1^2 - \rho A_2 v_2^2 \qquad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.5 จะได้ว่า

$$T = \rho A v_{ax} v_1 - \rho A v_{ax} v_2$$

$$T = \rho A v_{ax} (v_1 - v_2) \qquad (2.7)$$

เราอาจแสดงแรงที่กระทำต่อใบพัดในรูปของผลต่างความดันได้ ดังสมการที่ 2.8

$$T = (P^+ - P^-)A \qquad (2.8)$$

จากสมการ Bernoulli แรงดันที่กระทำต่อใบพัดเราสามารถหาจากสมการต่างๆ คือ

ก่อนถึงใบพัด $$P + \frac{1}{2}(\rho v_1^2) = P^+ + \frac{1}{2}(\rho v_{ax}^2) \qquad (2.9)$$

ออกจากใบพัด $$P^- + \frac{1}{2}(\rho v_{ax}^2) = P + \frac{1}{2}(\rho v_2^2) \qquad (2.10)$$

นั่นคือ $$P^+ - P^- = \frac{1}{2}[\rho(v_1^2 - v_2^2)] \qquad (2.11)$$

จะได้แรงที่กระทำ (*T*) ต่อใบพัดดังสมการที่ 2.12

$$T = \frac{1}{2}[\rho A(v_1^2 - v_2^2)] \qquad (2.12)$$

แทนค่าสมการที่ 2.16

$$v_{ax} = \frac{1}{2}(v_1 - v_2) \qquad (2.13)$$

Betz (1854) ได้เสนอแนวทางการหาค่าสูงสุดของการเก็บกำลังงานจากกระแสลมให้ได้ค่าสูงสุด โดยพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของความเร็วลม และ $v_1 v_2$

กำหนดให้ a เท่ากับอัตราส่วนระหว่างความเร็วลมที่ลดลง กับความเร็วลมก่อนเข้าสู่ใบพัด v

นั่นคือ $a = \frac{v}{v_1}$

ดังนั้น $v_{ax} = v_1 - v = v_1 - av_1$

$$v_{ax} = v_1(1-a) \qquad (2.14)$$

แทนค่าสมการที่ 2.17 ในสมการที่ 2.18 เพื่อหาค่าความเร็วลมด้านออกจากใบพัด จะได้

$$v_2 = v_1(1-2a) \qquad (2.15)$$

ดังนั้น กำลังงานที่เกิดจากการหมุนของใบพัดจะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ของมวลอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ใบพัดของกังหันลม ดังสมการที่ 2.16

$$P = \frac{1}{2}[\rho A v_{ax}(v_1^2 - v_2^2)] \qquad (2.16)$$

จากสมการที่ 2.18 และ 2.19 จะได้กำลังงานของกังหันลมมีค่าเท่ากับ

$$P = 4a(1-a)^2 \frac{1}{2}\rho A v_1^3 \qquad (2.17)$$

ค่า จะมีค่าสูงสุดก็ต่อเมื่อ $P\frac{dP}{da} = 0$ และจุดนี้พบว่าค่า $a = \frac{1}{3}$ นั่นคือกำลังงานสูงสุดที่ใบพัดของกังหันลมจะเก็บได้คือ

$$P = \left(\frac{16}{27}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\rho A v_1^3 \qquad (2.18)$$

และตัวเลข 16/27 ก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุด ($C_{p_{max}}$ หรือเรียกว่า Betz Coefficient)

โดยขนาดของกำลังสมสามารถหาได้จากทฤษฎีและสมการที่ได้พิสูจน์มาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมาโดยได้สมการกำลังลมดังนี้

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A v^3 \qquad (2.19)$$

เมื่อ

P_w : กำลังลม (W)

ρ : ความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.225 Kg/m^3

v^3 : ความเร็วลม (m/s)

A : พื้นที่หน้าตัด (m^2)

ซึ่งความหนาแน่นของอากาศเป็นฟังก์ชั่นของความกดอากาศและอุณหภูมิระดับน้ำทะเล สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho(z) = \frac{P_o}{(RT)\exp^{(-gz/RT)}} \qquad (2.20)$$

เมื่อ

$\rho(z)$: ความหนาแน่นของอากาศที่เป็นฟังก์ชั่นกับระดับความสูงของน้ำทะเล Kg/m^2

P_o : ที่ความดันบรรยากาศระดับน้ำทะเลมาตรฐาน (Kg/m^2)

R : ค่าคงที่ของอากาศ (J/K mol)

T : อุณหภูมิ (K)

g : แรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

z : ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเล (m)

พลังงานลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานกลเพื่อไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$$P_{wT} = P_w C_p = \frac{1}{2}\rho A_R v^3 C_p \qquad (2.21)$$

เมื่อ

P_{wT} : กำลังรวมของลม (W)

C_p : สัมประสิทธิ์สมรรถนะของใบ

A_R : พื้นที่กวาดของใบ (m^2)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

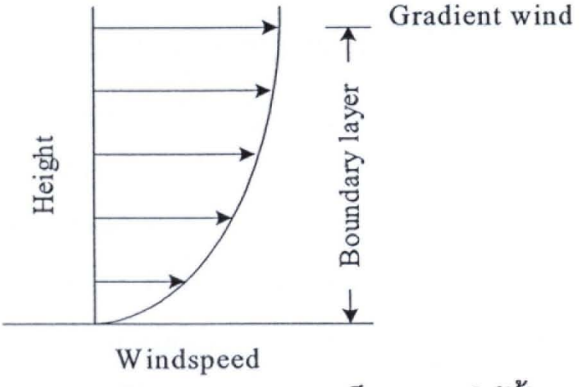
กังหันลม

ในการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ เราต้องมีเครื่องแปลงพลังงานลมให้เป็นพลังงานรูปอื่น ซึ่งได้แก่กังหันลม ในทางทฤษฎีพลังงานที่ได้จากลม โดยผ่านการแปรรูปพลังงานด้วยกังหันนั้น จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเพียง 59.3% โดยกังหันลมแบบต่างๆ จะให้พลังงานออกมามากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ ขนาดและการออกแบบกังหันลม

หลักการทำงานของกังหันลม

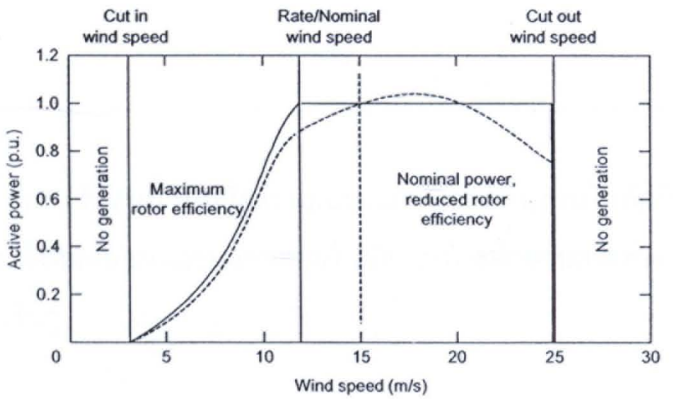
กังหันลมหมุนได้เนื่องจากพลังงานจลน์ของกระแสลมผลักดันใบกังหันแล้วทำให้เกิดการหมุนรอบแกน พลังงานลมถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลของแกนหมุนกังหันลม มวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบกังหันจะเคลื่อนที่ช้าลง ในทางปฏิบัติแล้วพลังงานจากลมไม่สามารถถ่ายเทให้กับกังหันลมได้ทั้งหมด ซึ่งถ้าเกิดขึ้นจริงจะหมายความว่ามวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบกังหันจะต้องหยุดสนิทอยู่กับที่บริเวณพื้นที่หน้าตัดของใบกังหันทั้งหมด สมการที่ (2.21) ใช้ในการอธิบายพลังงานทั้งหมดที่กังหันลมสามารถเปลี่ยนรูปได้จากพลังงานลม

ลมที่เกิดขึ้นถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้น ซึ่งหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตร เหนือพื้นดินเป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอากาศกับอนุภาคอื่นๆ และมีแรงเสียดทานในระดับต่ำ โดยเริ่มต้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไป แรงเสียดทานจะลดลง ทำให้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูง และสภาพภูมิประเทศ เช่นเดียวกันกับทิศทางของลมจากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ ที่ความเร็วลม เท่า ๆ กัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกัน เมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพธ์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยเบื้องต้นที่เป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลมคือความเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง



ภาพ 10 แสดงลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง 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) ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวมันเอง ในช่วงที่ความเร็วลมไต่ระดับไปสู่ช่วงความเร็วลมเป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency) ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นความเร็ว (tip speed ratio) (Siegfried. 1998 : 67) และในช่วงเลยความเร็วลม (cut out wind speed) เป็นช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหัน การหากำลังของลมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ผ่านพื้นที่หน้าตัด A หาได้จากสมการที่ (2.19)



ภาพ 11 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลม

กังหันลมแบ่งตามลักษณะการวางตัวของแกนเพลาได้ 2 แบบ

1. กังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine : HAWT) ลักษณะของกังหันลมแบบแนวแกนนอนนั้น จะมีแกนของใบพัดนั้นขนานกับแนวการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ส่วนใบพัดนั้นจะตั้งฉากเพื่อรับลม โดยกังหันชนิดนี้ก็จะมีจำนวนใบพัดแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 1 ใบ หรืออาจมีมากถึง 6 ใบ ก็ได้เพื่อความต่อเนื่องในการรับลมที่สม่ำเสมอ

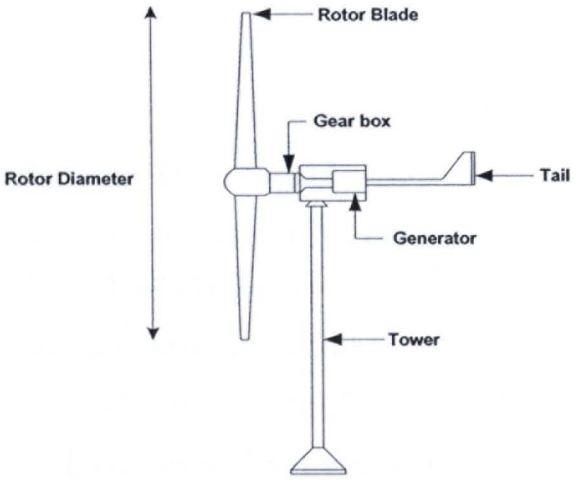
2. กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine : VAWT) ลักษณะของกังหันลมชนิดนี้จะเป็นกังหันที่มีแกนหมุน และใบพัดตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของแรงลมใน

แนวราบ ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติที่จะสามารถรับลมได้ทุกทิศทุกทางไม่มีการเคลื่อนที่ของลมจะมาในลักษณะใดก็ตามแต่ข้อเสียของกังหันลมประเภทนี้คือมีใบพัดขนาดใหญ่

ตาราง 2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของกังหันลมทั้ง 2 แบบ

กังหันลมแนวแกนนอน	กังหันลมแนวแกนตั้ง
ข้อดี	**ข้อดี**
1. มีพื้นที่รับลมมากกว่าเมื่อน้ำหนักเท่ากัน	1. รับได้ทุกทิศทางไม่ต้องใช้หางเสือในการปรับทิศทาง
2. มีประสิทธิภาพสูงกว่า	2. น้ำหนักที่ลงฐานมีความสมดุลมากกว่า
3. แรงบิดรอบแกนสูงกว่า	3. เริ่มต้นหมุนได้เองเมื่อความเร็วลมต่ำ
4. ความเร็วรอบสูงกว่าเมื่อความเร็วลมเท่ากัน	4. ระบบการผลิตส่งกำลังทำได้ง่าย ราคาถูก
5. ความเร็วรอบคงที่กว่า	5. มีแรงต้านจากใบที่ไม่ได้รับลม
6. ต้องปรับทิศทางของใบกังหันเข้าหาทิศทางลม	6. ไม่สามารถรับลมได้ทุกใบ
7. การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับแกนหมุนจะทำได้ยาก	

การออกแบบกังหันลมนี้ เป็นกังหันลมแนวแกนนอนแบบสามใบพัดซึ่งจากการศึกษาวิจัยหลักการทำงานของกังหันลมแนวแกนนอนสามใบพัด เหมาะสำหรับการทำงานเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้ามากกว่าแบบอื่นๆ



ภาพ 12 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine : HAWT)

ส่วนประกอบของกังหันลม

ใบกังหันลม

ใบกังหันลมเป็นส่วนที่จะก่อให้เกิดพลังงานกลโดยการเปลี่ยนเป็นพลังงานจากการหมุนมาเป็นพลังงานกล ในการขับเคลื่อนเพลาใบกังหันลมจะมีจำนวนจากน้อยใบไปจนถึงหลายใบ กังหันลมที่ออกแบบสร้างให้มีหลายใบจะใช้ในงานที่ต้องการแรงบิดสูง อาทิเช่น ใช้ในงานสูบน้ำ กะเทาะเมล็ดพืช เป็นต้น ส่วนกังหันลมที่มีใบกังหันจำนวนน้อย ก็เพื่อต้องการให้รอบการหมุนของใบพัดมีความเร็วรอบสูงนั้นเอง ซึ่งจะเหมาะกับการผลิตกระแสไฟฟ้า

ระบบส่งกำลัง

การเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกลโดยผ่านกังหันลม ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือระบบส่งกำลัง เพราะหากระบบส่งกำลังไม่ดีแล้ว ประสิทธิภาพที่ได้รับก็จะได้ไม่เต็มที่ ในการออกแบบระบบส่งกำลังที่ดีต้องคำนึงส่วนประกอบมากมาย เช่น ความเหมาะสมกับงานที่จำใช้ ราคา การบำรุงรักษา การสูญเสียในระบบส่งกำลัง

การส่งกำลังจากการหมุนของใบพัด จะถูกส่งผ่านไปยังเพลาขับ และนำไปใช้งานโดยตรงได้เลยหรือผ่านชุดเฟืองทด สายพานหรือระบบไฮดรอลิกส์ เพื่อให้การหมุนของเพลาได้

แรงบิดหรือความเร็วรอบตามที่ต้องการ หลักการทั่วไปในการนำพลังงานลมมาใช้ คือ เมื่อมีลมพัดมาปะทะกับใบพัดของกังหันลม กังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกลโดยการหมุนของใบพัด แรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่าน

แกนหมุนทำให้เฟืองเกียร์ที่ติดอยู่กับแกนหมุนเกิดการหมุนตามไปด้วย พลังงานกลที่ได้จากการหมุนของเฟืองเกียร์นี่เองที่ถูกประยุกต์ใช้ประโยชน์ตามความต้องการ เช่น ในกรณีที่ต้องการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าจะต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไป ซึ่งเมื่อเฟืองเกียร์ของกังหันลมเกิดการหมุนจะไปขับเคลื่อนให้แกนหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตามไปด้วย ด้วยหลักการนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็สามารถผลิตกระแส ไฟฟ้าออกมาได้ ส่วนในกรณีของการใช้กังหันลมในการสูบน้ำหรือสีข้าวสามารถนำเอาพลังงานกลจากการหมุนของเฟืองเกียร์นี้ไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยกังหันลม

ขั้นแรกเริ่มของการเปลี่ยนพลังลม ให้เป็นพลังงานกลนั้น สามารถกระทำให้สำเร็จโดยระบบถ่ายทอดกำลังด้วยวัตถุใบพัด และเฟืองอุปกรณ์หลักหมุนใบพัด และอุปกรณ์ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทต่างๆ บางครั้งใช้สายพานหรือระบบเฟืองเกียร์เพื่อปรับเปลี่ยนอัตราความเร็วหมุนของเครื่องขับพลังลมให้เหมาะสมกับความเร็วหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การใช้พลังงานลมมาช่วยในการผลิตไฟฟ้านั้น จะประสบปัญหาอย่างหนึ่งคือเมื่อลมมีความเร็วต่ำมากก็ไม่สามารถใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงต้องมีตัวเก็บพลังงานไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ และต้องมีการวางแผนสร้างให้เหมาะสมกับสภาพความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่หนึ่งๆ ระบบที่ใช้กันมาก คือ ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดหรือชาร์ตแบตเตอรี่ แล้วจึงจ่ายกระแสไฟตรงออกมาจากแบตเตอรี่ไปยังโหลดที่ต้องการ

เป็นการศึกษาวิจัยเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่สภาวะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำพลังงานลมจากกังหันลม เพื่อผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ

ประสิทธิภาพของกังหันลม

กังหันลมสามารถเอากำลังงานจากลมโดยตรง โดยการลดความเร็วลมให้ช้าลง ถ้ากังหันลมสามารถทำให้ลมลดความเร็วจากเดิมจนหยุดได้โดยสมบูรณ์แล้ว คือ ความเร็วของลมหลังจากผ่านกังหันแล้วมีค่าเป็นศูนย์ จะได้พลังงานจากลม 100% แต่จริงๆ แล้วกังหันลมไม่สามารถทำให้ลมที่พัดผ่านหยุดหมุนได้ กังหันลมมากที่สุดตามทฤษฎีที่กังหันลมสามารถรับเอาไว้ได้จะเป็น 59.3% ของกำลังทั้งหมด ดังนั้นการที่กังหันลมเอาพลังงานจากลมมาใช้ได้มากที่สุด 59.3% จึงถือว่าจุดนี้กังหันลมมีประสิทธิภาพ 100%

การคำนวณพลังงานจากกังหันลม

มีสูตรการคำนวณพลังงานจากกังหันลมหลายอย่าง ซึ่งสูตรเหล่านี้ได้จากการคิดเริ่มต้นอย่างเดียวกันแต่นำสูตรมาแปลงใช้งานให้ง่ายขึ้น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ความหนาแน่นของอากาศแปรผันกับความดันและอุณหภูมิ

$$\rho = 1.3 \times \frac{p}{760 \times \left(1 + \frac{t}{273}\right)} \qquad (2.22)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (Kg/m^3)

p = ความดันที่วัดเทียบกับระดับน้ำทะเลที่ 1 atm

t = อุณหภูมิ (^oC)

A = พื้นที่ตัดขวาง (ft^2)

E = Efficiency factor

ทฤษฎีใบพัด

กำลังของใบพัด (blade power)

ใบพัด สร้างขึ้นให้มีลักษณะหรือรูปร่างเป็น Airfoil คล้ายกับลักษณะของปีกเครื่องบิน เมื่อใบพัดหมุนโดยการหมุนของเครื่องยนต์ ใบพัดก็จะสร้างแรงยกไปทางด้านหน้าของเครื่องบิน และแรงยกส่วนนี้เราเรียกว่า thrust ที่จะทำให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า อากาศยานส่วนใหญ่มีใบพัดแบบที่ใช้ดึง เครื่องบิน ผ่านไปในอากาศ ใบพัดประเภทนี้เรียกว่า ใบพัดแบบ tractor อากาศยานบางเครื่องใช้ใบพัดแบบผลัก ให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปในอากาศ เรียกใบพัดประเภทนี้ว่า pusher

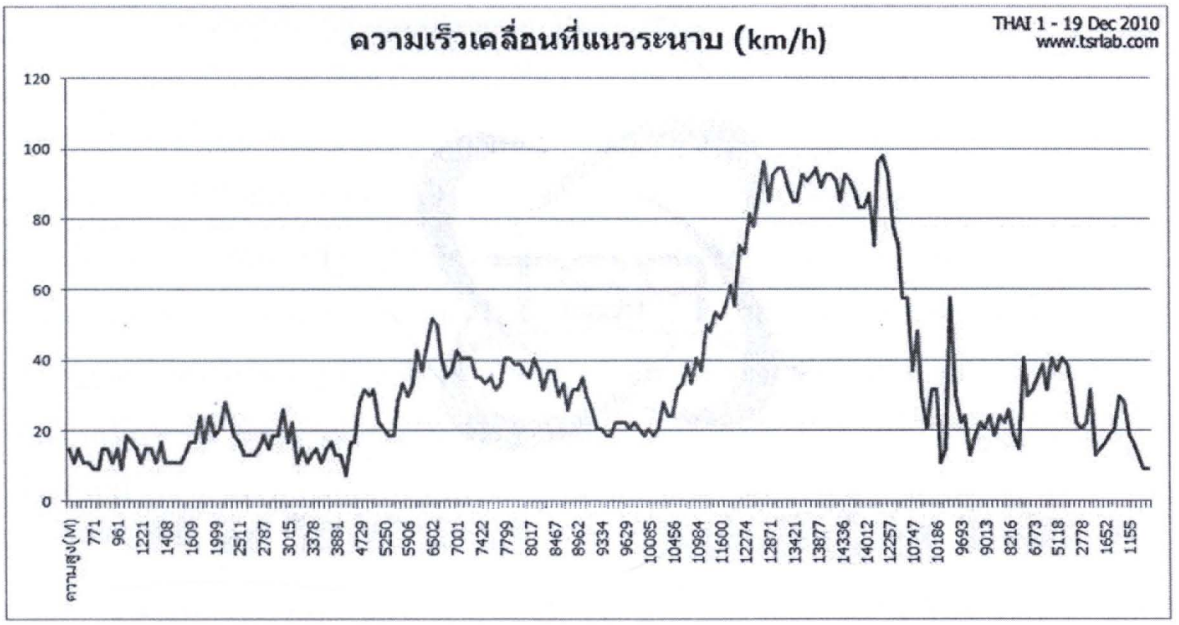
การศึกษาและวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค

การศึกษาทางเทคนิคการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม

จากข้อมูลความเร็วลมในประเทศไทยโดยกรมอุตุนิยมวิทยามีอัตราความเร็วลมเฉลี่ยเพียง 3m/s ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลงมาก เพราะเนื่องจากการติดตั้งกังหันลมในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการนำเข้ากังหันลมจากต่างประเทศทั้งหมด ซึ่งเป็นกังหันที่ถูกออกแบบไว้ที่ความเร็วลมสูงกว่าในประเทศไทย ดังนั้นการใช้งานจึงไม่ได้ประสิทธิภาพเต็มที่ การออกแบบและเลือกใช้กังหันลมให้เหมาะกับความเร็วลมในประเทศไทยจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งแต่การจะทำเช่นนั้นได้ ก่อนอื่นต้องสร้างองค์ความรู้เชิงวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องเนื่องจากเกี่ยวข้องโดยตรงกับอากาศพลศาสตร์ของกังหันลม การเก็บสถิติความเร็วลม การออกแบบและหารูปร่างของกังหันลม จึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อประสิทธิภาพกังหันลม ทั้งนี้เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

การเก็บสถิติความเร็วลมและการหากำลังงานสูงสุด

การเก็บสถิติความเร็วลมมีความสำคัญมากในการออกแบบและกำหนดกำลังงานสูงสุดของกังหันลมหรือขนาดของกังหันลมที่จะนำมาติดตั้งใช้งาน



ภาพ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเคลื่อนที่แนวระนาบ

การออกแบบและเลือกคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่าง ๆ

1. ชนิดของ Generator
2. เลือกรูปแบบและชนิดของกังหันลม
3. กำหนดความสูงและชนิดของวัสดุที่ทำหอคอย
4. การเลือกชนิดและขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า
5. การเลือกชนิดและขนาดของเครื่องควบคุมระบบไฟฟ้าการออกแบบและเลือกคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆ
6. การหาประสิทธิภาพของกังหันลมแต่ละชุด เทียบกับพลังงานสูงสุด ณ ความเร็วใด ๆ ค่าหนึ่ง
7. การหาประสิทธิภาพของกังหันลมโดยรวมทั้งระบบ

การศึกษาและวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การเลือกเทคโนโลยี หรือโครงการต่าง ๆ รวมถึงโครงการวิจัย ในการตัดสินใจที่จะสร้างออกแบบขนาดหรือดำเนินโครงการ จะใช้วิธีทางเศรษฐศาสตร์ช่วยในการตัดสินใจ โดยพิจารณาจากผลความคุ้มค่า ที่ทำให้เกิดการเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด หรือให้ผลตอบแทนมากที่สุด อย่างไรก็ตามจะต้องคำนึงถึงอุปกรณ์อื่นๆ ด้วย เช่น ผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ คือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนสุทธิ หรือกระแสเงินสดของโครงการ ซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยการทำส่วนลดกระแสผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุโครงการให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน ในการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ หากค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ แสดงว่าเป็นโครงการที่สมควรจะดำเนินการ เนื่องจากมีผลตอบแทนเมื่อเปรียบเทียบ ณ ปัจจุบัน มากกว่าค่าใช้จ่าย แต่ในทางตรงกันข้ามหากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าเป็นโครงการที่ไม่น่าจะลงทุน เนื่องจากมีผลตอบแทนเมื่อเปรียบเทียบ ณ ปัจจุบันน้อยกว่าค่าใช้จ่ายมูลค่าปัจจุบันสุทธิ สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรดังต่อไปนี้

$$NPV = (B_0 - C_0) + \frac{(B_1 - C_1)}{(1+r)} + \frac{(B_2 - C_2)}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{(B_n - C_n)}{(1+r)^n}$$

หรือ $\sum_{t=0}^{n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t}$ หรือ $\sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$

โดยที่ B_t = มูลค่าของผลประโยชน์จากโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t = มูลค่าของต้นทุนจากโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

r = อัตราคิดลด (discount rate)

n = อายุของโครงการหรือปีที่สิ้นสุดอายุของโครงการ

อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)

อัตราผลตอบแทนของโครงการ คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ทำให้ค่า NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น อัตราผลตอบแทนของโครงการจึงได้แก่อัตราดอกเบี้ย หรือ i ที่ทำให้ NPV = 0 อัตราผลตอบแทนของโครงการ เป็นตัวชี้วัดการประเมินความคุ้มค่าของโครงการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากแนวคิดของอัตราผลตอบแทนของโครงการมีความสอดคล้องกับอัตราผลกำไรของโครงการ โดยที่ค่าอัตราผลตอบแทนที่คำนวณได้ คือ อัตราส่วนลดภายในโครงการ นั่นคือจะเป็นอัตราดอกเบี้ยสูงสุดที่โครงการสามารถจ่ายได้ หากว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ณ สถานการณ์ปัจจุบัน

สูงกว่าค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการที่คำนวณได้ก็ไม่สมควรที่จะลงทุนโครงการดังกล่าว ในทางตรงกันข้าม หากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ณ สถานการณ์ปัจจุบันยิ่งต่ำกว่าค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการที่คำนวณได้มากเท่าไรแสดงเป็นโครงการที่ให้ผลตอบแทนมากขึ้นตามลำดับหรืออาจเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t}$$

หรือ $$= \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = 0$$ โดยที่ i คือ อัตราผลตอบแทนภายในการตัดสินใจที่จะลงทุนหรือไม่สำหรับโครงการนั้น ให้พิจารณาจากค่า i เปรียบเทียบกับอัตราคิดลดของสังคม (r) คืออัตราผลตอบแทนหรืออัตราการชดเชยขั้นต่ำที่จะทำให้สังคมยอมเลื่อนการบริโภคในปัจจุบันไปเพื่อการบริโภคในอนาคตที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ ถ้าโครงการใดมีค่า i สูงกว่า r โครงการนั้นก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับและสามารถลงทุนได้ เพราะถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการนั้นสูงกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่สังคมยอมรับได้ สังคมย่อมได้รับความพอใจเพิ่มขึ้น

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit- Cost Ratio : B/C)

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน หมายถึงอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ต่อมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนทั้งหมด ซึ่งแสดงได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$\frac{\mathrm{B}}{\mathrm{C}} = \frac{B_0 + \frac{B_1}{(1+r)} + \frac{B_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{B_n}{(1+r)^n}}{C_0 + \frac{C_1}{(1+r)} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{C_n}{(1+r)^n}}$$

โครงการที่เป็นที่ยอมรับได้ตามหลักเกณฑ์นี้ คือ โครงการที่มีมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์มากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุน นั่นคือ โครงการจะเป็นที่ยอมรับเมื่อ B/C มีค่ามากกว่าหนึ่ง

ระยะคืนทุน (Payback period)

ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าลงทุนของโครงการ การคำนวณหาระยะคืนทุนจึงอาจคำนวณหาได้ง่ายๆ ดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน / ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฟผ. กับการศึกษาพลังงานลมเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้า ความพยายามในการคิดค้นเพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทนให้เศรษฐกิจของประเทศเรานั้น หน่วยงานหนึ่งซึ่งก็คือ กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายพัฒนาและแผนงานโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จึงได้พยายามทุ่มเทความสามารถในการทำวิจัยและพัฒนาเพื่อนำพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า แทนพลังงานรูปแบบเก่าซึ่งนับวันมีแต่จะหมดไป ทั้งนี้โดยที่ตระหนักถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและนิเวศวิทยาเป็นสำคัญ งานศึกษาและทดลองใช้พลังงานลมผลิตไฟฟ้า เป็นส่วนหนึ่งในแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนของ กฟผ. โดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเท่าที่สามารถจะทำได้ และเพื่อให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ดังกล่าว กฟผ. ได้ศึกษาและติดตามวิทยาการด้านนี้ทั้งในและต่างประเทศ อีกทั้งได้ทำการสาธิต ทดสอบ ตลอดจนติดตั้งกังหันลมขึ้นใช้งาน และเก็บข้อมูลการทดสอบ เพื่อใช้เป็นแนวทางที่จะพัฒนาระบบให้ดีขึ้นและเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

กฟผ. กับการดำเนินโครงการพลังงานลมในขั้นแรก การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานลมทั่วประเทศ โดยได้รับความร่วมมือจากกรมอุตุนิยมวิทยาผลการศึกษาสรุปได้ว่าความเร็วลมในประเทศไทยโดยเฉลี่ยจัดอยู่ในระดับปานกลาง-ต่ำ คือ ต่ำกว่า 4 เมตร/วินาที โดยส่วนที่ความเร็วลมสูงสุดจะอยู่ในบริเวณชายฝั่งบริเวณเกาะต่าง ๆ ในอ่าวไทยและทางภาคใต้ของประเทศ เมื่อทราบข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานลมแล้ว กฟผ. ได้ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ในการสนับสนุนทุนวิจัยเพื่อออกแบบสร้างกังหันลมขึ้น และนำไปติดตั้งทดลองใช้งาน ผลปรากฏว่ายังมีปัญหาเกี่ยวกับระบบส่งกำลัง และความแข็งแรงของใบกังหัน ขณะเดียวกัน กฟผ. ก็ได้ออกแบบสร้างกังหันลมแบบล้อจักรยาน นำไปติดตั้งทดสอบใช้งานที่ชายฝั่งทะเล บริเวณบ้านอ่าวไผ่ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งปรากฏว่ายังคงมีปัญหาเรื่องระบบส่งกำลังเช่นกัน ในปี พ.ศ. 2526 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้เลือกบริเวณแหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต ซึ่งเป็นจุดที่มีข้อมูลบ่งชี้ว่า มีความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปี ประมาณ 5 เมตรต่อวินาที เป็นสถานที่ตั้งของสถานีทดลองการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม ใช้ชื่อว่า สถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพ โดยตั้งอยู่ทางทิศเหนือของแหลมพรหมเทพ ประมาณ 1 กิโลเมตร

ภูริบันน์ นันทะวงษ์, วัชรินทร์ ไชยเสนีย์ และสิทธิพงษ์ บัวกล้า (2551) ศึกษาวิจัยเรื่อง การศึกษาด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้ากังหันลมขนาดเล็ก : กรณีศึกษา เกาะล้าน อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี โดยใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์และ

ประเมินความเป็นไปได้ทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์ (Financial & Economical Feasibility) วิธี ได้แก่ อัตราผลตอบแทนทางการเงินของโครงการ (Financial Internal Rate of Return : IRR) มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางการเงินของโครงการ (Net Present Value : NPV) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit to Cost Ratio : B/C) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) ด้วยโปรแกรม RETScreen จากผลการศึกษาทางเทคนิค พบว่าพื้นที่ตัวอย่างนี้มีศักยภาพความเร็วลมระดับปานกลาง มีการเลือกเทคโนโลยีและคุณสมบัติทางเทคนิคของกังหันลมได้เหมาะสม ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 2.6 เมตร/วินาที ที่มีความสูง 10 เมตร และจากการคำนวณที่ความสูง 18 เมตร จะมีความเร็วลมเฉลี่ย 4.1 เมตร/วินาที ซึ่งคุณสมบัติของกังหันลมที่ใช้ กังหันลมเริ่มทำงานที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3 เมตร/วินาที ผลการศึกษาพบว่า กังหันลมผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 30 kWh/วัน จากกราฟความสัมพันธ์ความเร็วลม จะมีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 3.8-4.2 เมตร/วินาที อาจเป็นผลจากการติดตั้งกังหันลมบริเวณไหล่เขา ทำให้ช่วงเดือน กันยายน ถึง ธันวาคม สันเขาจะบังทิศทางลมทำให้การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมได้น้อยกว่าการคำนวณ

เป้าหมายของการวิจัย

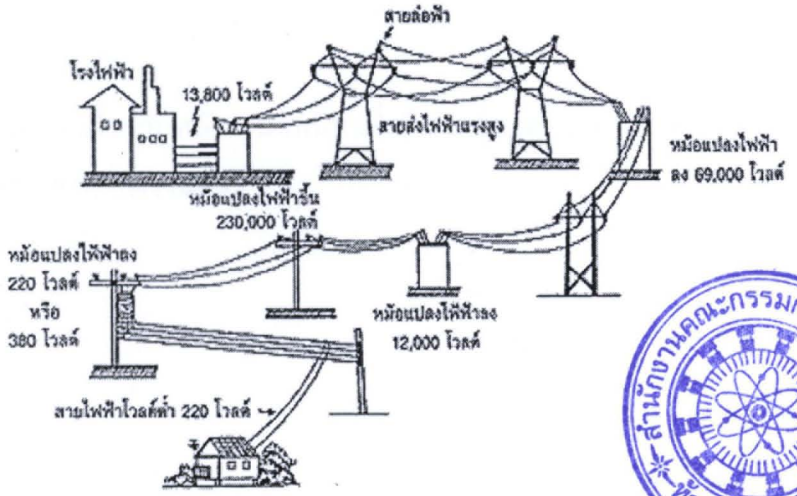
สามารถเผยแพร่ความรู้ด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมแบบเชื่อมต่อสายส่ง ขนาด 2.5 MW ณ ลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา สู่ชุมชนหรือบริษัทที่สนใจใช้เทคโนโลยีระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานลมในประเทศไทย

สถานที่ทำการทดลองและ/หรือเก็บข้อมูล

ลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา

ระบบไฟฟ้าจากสายส่ง

ระบบไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นระบบแบบรวมศูนย์ (Centralized) ตัวโรงไฟฟ้าจะตั้งอยู่ห่างไกลจากแหล่งชุมชนที่มีการใช้ไฟฟ้า ในการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า (Electric Power) ที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าจะมีค่าความต่างศักย์ (Generator voltage) ค่าหนึ่งตามกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าแห่งนั้น เพื่อลดการสูญเสียภายในสายส่งไฟฟ้า (I2R) ที่มีระยะทางไกลให้น้อยลงและจำกัดขนาดของสายส่งไม่ให้มีขนาดใหญ่จนเกินไป เนื่องจากขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายส่ง จะแปรตามปริมาณกะแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจึงทำการแปลงกำลังไฟฟ้าให้มีค่าความต่างศักย์สูงขึ้น (แรงดันไฟฟ้า) ซึ่งอาจเป็น 69 , 115 , 230 หรือ 500 กิโลโวลต์ ตามระยะทางใกล้หรือไกล และเมื่อใกล้แหล่งชุมชนก็จะลดระดับแรงดันให้เป็นไปตามที่ต้องการ เช่น 220 โวลต์ สำหรับบ้านเรือนและ 380 สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (ภาพ 1) แสดงระบบการจัดส่งไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่าระบบจำหน่าย (Distribution system) หรือระบบจัดส่งพลังงานไฟฟ้า ระบบนี้มีความเหมาะสมในกรณีที่พื้นที่ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

ภาพ 14 แผนภูมิแสดงระบบไฟฟ้าจากสายส่ง

ข้อดีของระบบไฟฟ้าจากสายส่งคือ

1. มีความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ได้ไม่จำกัด (ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าของแต่ละประเทศ) หากเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่น

2. การดำเนินงานง่ายเนื่องจากโดยปกติจะมีหน่วยงานทางด้านไฟฟ้าของประเทศเป็นผู้รับผิดชอบ ทั้งในด้านการจัดหาแหล่งพลังงาน การผลิต การจำหน่าย และการจัดเก็บค่าไฟฟ้า

3. ระบบแบบรวมศูนย์มีความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์เมื่อเทียบกับระดับกำลังการผลิต (Economics of scale) ระบบไฟฟ้าสายส่งจึงมีจุดแข็งในด้านราคาค่าไฟฟ้าที่ถูก

ข้อเสียของระบบไฟฟ้าจากสายส่งคือ

1. ในบางประเทศที่มีระบบไฟฟ้าไม่ดีเพียงพอ มีความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ได้จำกัด ในกรณีเช่นนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ชนบทห่างไกล จะเป็นผู้ใช้กลุ่มแรกที่ถูกตัดไฟ หากเกิดกรณีไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงงานไม่เพียงพอ ส่งผลถึงความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าวเกิดความไม่พอใจเนื่องจากได้จ่ายค่าไฟฟ้าเท่าเทียมกับประชาชนในเขตพื้นที่ชุมชนเมืองแต่กลับได้รับบริการที่ต่ำกว่า ผู้ใช้อาจเลิกใช้ไฟฟ้าซึ่งจะส่งผลกระทบตามมาต่อหน่วยงานที่ให้บริการไฟฟ้า เนื่องจากการขาดรายได้

2. การใช้ไฟฟ้าอย่างสะดวกสบายจากระบบสายส่งไฟฟ้าทำให้บางครั้งประชาชนขาดจิตสำนึกของการใช้พลังงานอย่างมีคุณค่า ในเขตชุมชนเมืองบางแห่งหน่วยงานให้บริการไฟฟ้าได้

ลงทุนในระบบจำหน่ายที่มีมาตรฐานที่สูงจนเกินความจำเป็น ทำให้ต้องใช้เงินลงทุนที่สูงกว่าปกติ ซึ่งอาจสูงกว่าเทคโนโลยีอื่น

จากการวิจัยเกี่ยวกับพลังงานลมนั้น เพื่อศึกษาข้อมูลทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม