

เทคโนโลยีพลังงานลม

นิพนธ์ เกตุจ้อย^{a,*} และ อชิตพล ศศิธารานูวัฒน์^b

Wind Energy Technology

Nipon Ketjoy^{a,*} and Achitpon Sasitharanuwat^b

^aวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

^b คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ 53000

^a School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

^b Faculty of Science, University of Rajabhat Uttaradit, Uttaradit 53000, Thailand

* Corresponding author. E-mail address: ketjoy@yahoo.com (N. Ketjoy)

Received 20 November 2003; accepted 1 June 2004

บทสรุป

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอเทคโนโลยีพลังงานลม ว่ามีประวัติความเป็นมาอย่างไร เทคโนโลยีในปัจจุบัน ศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทย ทฤษฎีพลังงานลม เทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบต่างๆ ส่วนประกอบหลัก จุดเด่นและจุดด้อยของเทคโนโลยีแบบต่างๆ และผลกระทบของการใช้งานกังหันลมผลิตไฟฟ้า ซึ่งสิ่งที่นำเสนอในบทความนี้จะเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อประเทศ และทำให้ทุกคนหันมาให้ความสำคัญกับพลังงานจากลมมากขึ้น การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น ถึงแม้ว่าจะผ่านไปกว่า 100 ปีแล้ว แต่การที่จะให้เทคโนโลยีนี้สามารถเข้ามาทดแทนเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าอื่นๆ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันทั้งหมดคงเป็นไปได้ เพราะในอนาคตรูปแบบการใช้พลังงานจะหลากหลายมากขึ้น การใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะลดลงเนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สัดส่วนการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล หรือแม้แต่พลังงานลมจะสูงขึ้น สำหรับประเทศไทยนั้นยังมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานลมน้อยมาก จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องหันมาให้ความสนใจในเทคโนโลยีพลังงานลม ถึงแม้ว่าจะมีศักยภาพไม่สูงนักหากเปรียบเทียบกับในต่างประเทศ แต่ก็สามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในขนาดพิกัดระดับกิโลวัตต์ได้ หากเราเริ่มวิจัยและพัฒนาตั้งแต่วันนี้ ในอนาคตประเทศเราจะได้มีเทคโนโลยีด้านพลังงานลมเป็นของตัวเอง ไม่ต้องพึ่งพาจากต่างประเทศทั้งหมดเหมือนเช่นเทคโนโลยีอื่นๆ อย่างในปัจจุบัน

Summary

This paper presents the history of wind energy technology, present technology, wind energy potential in Thailand, wind theory, different types of wind turbine generator technology, main components, the advantages and disadvantages of each technology, and wind turbine impact. The information in this paper would benefit and attract the interest of Thai people to realize the importance of wind energy. Although wind turbine generator technology has been developed for the past 100 years, it still requires more time before it can be successfully replaced the present power generation technology. In the future, the energy use will be variously increased but energy from fossil fuel will be decreased because of environmental impact. The ratio of renewable energy use such as solar energy, hydropower, biomass and wind energy will be increased. In Thailand, current knowledge about wind energy technology is still limited and there is not much high potential of wind energy when compared to other countries. However, wind energy could produce an electricity in the kilowatt scale. Today, if we begin to do research and development on this technology, we may be able to produce wind energy in the future without depending on such technologies from abroad.

บทนำ

การใช้ประโยชน์จากพลังงานลมมีมากกว่า 3,000 ปี จนกระทั่งต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 ได้เริ่มมีการใช้พลังงานลมเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานกลเพื่อการสูบน้ำและการสีข้าว ต่อมาในช่วงเริ่มต้นของยุคอุตสาหกรรมใหม่ การใช้งานพลังงานจากลมถูกแทนที่ด้วยพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1970 เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันทั่วโลก ความสนใจในพลังงานลมจึงกลับมาอีกครั้ง โดยมีเป้าหมายหลักคือการนำพลังงานลมมาใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้า ร่วมกับแหล่งพลังงานฟอสซิลเพื่อความมั่นคงของระบบ และลดปัญหาความไม่แน่นอนของลมตามธรรมชาติ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมถูกพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกในช่วงต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 และมีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงต้นปี ค.ศ. 1970 จนกระทั่งปลายปี ค.ศ. 1990 พลังงานลมจึงกลับมาเป็นแหล่งพลังงานทดแทนหลักอีกแหล่งหนึ่ง ในช่วงสิบปีหลังของคริสต์ศตวรรษที่ 20 การติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า (wind turbines) ทั่วโลกเพิ่มขึ้นประมาณสองเท่าของทุกๆ สามปี ค่าไฟฟ้าจากพลังงานลมลดต่ำลงประมาณ 1 ใน 6 ตั้งแต่ช่วงต้นปี ค.ศ. 1980 และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานลมได้ทำนายเอาไว้ว่าการติดตั้งรวมสะสมของกังหันลมทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อปีจนกระทั่งปี ค.ศ. 2005 และราคาค่าไฟฟ้าจากพลังงานลมจะลดลงประมาณ 20 - 40 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลาเดียวกัน

เทคโนโลยีพลังงานลมมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วจากในปี ค.ศ. 1989 ขนาดของกังหันลมในขณะนั้นมีขนาด 300 กิโลวัตต์ ด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบกังหัน 30 เมตร หลังจากนั้นประมาณสิบปีมีผู้ผลิตจากหลายบริษัทได้ผลิตกังหันลมขนาด 1,500 กิโลวัตต์ ด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบกังหัน 70 เมตร และในช่วงก่อนเปลี่ยนศตวรรษใหม่ กังหันลมขนาด 2 เมกะวัตต์ เส้นผ่าศูนย์กลางของใบกังหันขนาด 74 เมตร ได้รับการพัฒนา และติดตั้งเพื่อใช้งาน ปัจจุบันนี้กังหันลมขนาด 2 เมกะวัตต์กลายเป็นขนาดของกังหันลมที่ผลิตในเชิงพาณิชย์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และกังหันลมขนาด 4 - 5 เมกะวัตต์ กำลังอยู่ในช่วงของการพัฒนา โดยตัวต้นแบบขนาด 4.5 เมกะวัตต์ ได้มีการติดตั้งเพื่อทำการทดสอบแล้วในปี ค.ศ. 2002 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การพัฒนาของกังหันลมตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1985 - 2002

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

ที่มา: Thomas and Lennart, 2002

การขยายตัวของตลาดกังหันลมเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลในเชิงบวกต่อการศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี และกับบริษัทอุตสาหกรรมที่ผลิตกังหันลมเพื่อการพาณิชย์ แต่หากจะกล่าวไปแล้วปัจจุบันมากกว่า 83 เปอร์เซ็นต์ ของการติดตั้งกังหันลมทั่วโลกมีอยู่ใน 5 ประเทศเท่านั้น คือ เยอรมัน สหรัฐอเมริกา สเปน เดนมาร์ก และอินเดีย ดังนั้นความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีกังหันลมจึงมาจากประเทศเหล่านี้เกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตามการใช้งานจากพลังงานลมก็ได้แพร่หลายไปยังพื้นที่ส่วนอื่นๆ ของโลก ดังนั้นข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับเรื่องพลังงานลมจึงสามารถหาได้ทั่วๆ ไปจากหลายแหล่งทั่วโลกเช่นกัน แม้ว่าการใช้งานพลังงานลมจะมี

มากกว่าสามพันปี แต่ก็ยังเป็นเทคโนโลยีที่สลับซับซ้อน เนื่องจากต้องอาศัยหลักทางวิชาการจากหลากหลายสาขา ได้แก่ อากาศพลศาสตร์ (aerodynamics) โครงสร้างและการเคลื่อนไหวของวัตถุ (structure-dynamics) และวิศวกรรมเครื่องกล (mechanical engineering) รวมไปถึงวิศวกรรมไฟฟ้า (electrical engineering) ดังนั้นในการศึกษา วิจัยและ การพัฒนาเทคโนโลยีก็หันมามองจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์ความรู้ที่เป็นสหวิทยาการ

ประวัติของการประยุกต์ใช้พลังงานจากลม

มีการค้นพบบันทึกเกี่ยวกับโรงสีข้าวพลังงานลม (windmills) โดยใช้ระบบเครื่องโม่ในแกนตั้ง ซึ่งเป็นเครื่องโม่แบบง่าย ๆ นิยมใช้กันในพื้นที่ภูเขาสูงของ Afghan เพื่อการสีเมล็ดข้าวเปลือกในช่วงศตวรรษที่ 7 ก่อนคริสตกาล ส่วนโรงสีข้าวพลังงานลมแบบแกนหมุนแนวนอนพบครั้งแรกแถบเปอร์เซีย ทิเบตและจีน ประมาณคริสต์ศักราชที่ 1000 โรงสีข้าวพลังงานลมชนิดแกนหมุนในแนวนอนได้แพร่หลายไปจนถึงประเทศแถบเมดิเตอร์เรเนียนและ ประเทศยุโรปตอนกลาง โรงสีข้าวแบบแกนหมุนแนวนอนพบครั้งแรกในประเทศอังกฤษประมาณปี ค.ศ. 1150 พบในฝรั่งเศสปี ค.ศ. 1180 พบในเบลเยียมปี ค.ศ. 1190 พบในเยอรมันปี ค.ศ. 1222 และ พบในเดนมาร์กปี ค.ศ. 1259 การพัฒนาและแพร่หลายอย่างรวดเร็วของโรงสีข้าวแบบแกนหมุนแนวนอนมาจากอิทธิพลของนักบวชซึ่งเป็นผู้มีความรู้เกี่ยวกับโรงสีข้าวพลังงานลมจากเปอร์เซีย มาสู่หลายพื้นที่ของยุโรป (รูปที่ 1)

ในยุโรปโรงสีข้าวพลังงานลมได้รับการพัฒนาสมรรถนะอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะระหว่างช่วงศตวรรษที่ 12 และ ศตวรรษที่ 19 ในปี ค.ศ. 1800 ในประเทศฝรั่งเศสมีโรงสีข้าวพลังงานลมแบบยุโรปใช้งานอยู่ประมาณ 20,000 เครื่อง ในประเทศเนเธอร์แลนด์พลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมในช่วงเวลานั้นมาจากพลังงานลมถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 โรงสีข้าวพลังงานลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแกนหมุน (rotor) 25 เมตร ตัวอาคารมีความสูงถึง 30 เมตร ซึ่งในช่วงเวลานั้นการใช้พลังงานลมไม่ได้มีเพียงแค่การสีข้าว แต่ยังมีการประยุกต์ใช้สำหรับการสูบน้ำอีกด้วย ต่อมาในยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมโรงสีข้าวพลังงานลมเริ่มมีการใช้งานลดลง อย่างไรก็ตามในปี ค.ศ. 1904 การใช้พลังงานจากลมยังมีอัตราส่วนถึง 11 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานในภาคอุตสาหกรรมของประเทศเนเธอร์แลนด์ และในประเทศเยอรมันยังมีโรงสีข้าวชนิดนี้ติดตั้งอยู่กว่า 18,000 เครื่อง



รูปที่ 1 กังหันลมแบบอเมริกัน (รูปซ้าย ที่มา: www.azsolarcenter.com/imagesetsseries01.html) โรงสีข้าวพลังงานลมแบบยุโรป (รูปขวา สถานที่: Potsdam, Germany)

ในช่วงเวลาเดียวกับที่โรงสีข้าวพลังงานลมในยุโรปเริ่มเสื่อมความนิยม เทคโนโลยีนี้กลับได้รับการเผยแพร่ในทวีปอเมริกาเหนือโดยผู้ที่ไปตั้งถิ่นฐานใหม่ มีการใช้กังหันลมสูบน้ำขนาดเล็กสำหรับงานปศุสัตว์ซึ่งได้รับความนิยมมาก กังหันลมชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ American windmill ซึ่งใช้ระบบการทำงานแบบ fully self-regulated โดยสามารถปรับความเร็วของแกนหมุนได้เมื่อความเร็วลมสูงในขณะที่โรงสีข้าวพลังงานลมของยุโรปสามารถเบี่ยงตัวใบพัดออกจากทิศทางลมได้หรือสามารถม้วนใบพัดเก็บได้หากความเร็วลมสูงจนเกินไป เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวโรงสีข้าว ความนิยมของกังหันลมแบบอเมริกันเพิ่มขึ้นสูงมากระหว่างปี ค.ศ. 1920 - 1930 มีกังหันลมประมาณ 600,000 ตัวถูกติดตั้งเพื่อใช้งานกังหันลมแบบอเมริกันหลายแบบยังคงถูกใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ทางการเกษตรด้านต่าง ๆ ทั่วโลก

สำหรับประเทศไทยผู้เชี่ยวชาญทางด้านพลังงานลมได้ประเมินการใช้งานกังหันลมแบบใบพัดที่ทำด้วยไม้ซึ่งใช้ในนาข้าวมีจำนวนอยู่ประมาณ 2,000 ตัว และกังหันลมแบบเสือล่าแพนหรือแบบผ้าใบ ซึ่งใช้ในนาเกลือหรือนาเกลือมีจำนวนอยู่ประมาณ 3,000 ตัว ต่อมาได้พบว่าจำนวนกังหันลมดังกล่าวลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการพัฒนาพื้นที่เกษตรกรรมให้เป็นพื้นที่อุตสาหกรรม ในปี พ.ศ 2531 มีการสำรวจจำนวนกังหันลมเฉพาะในบริเวณ 20 ตารางกิโลเมตร ของจังหวัดสมุทรสาครและสมุทรสงครามพบว่ามียังกังหันลมเหลืออยู่เพียง 667 ตัว กังหันลมดังกล่าวถือว่าเป็นชนิดดั้งเดิมจากภูมิปัญญาชาวบ้านแต่สามารถใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าเพื่อการสูบน้ำได้เป็นอย่างดี (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2544)

ในปี ค.ศ. 1891 Dane Poul LaCour วิศวกรชาวเดนมาร์กเป็นคนแรกที่สร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าขึ้นเทคโนโลยีนี้ได้รับการพัฒนาระหว่างช่วงสงครามโลกครั้งที่ 1 และ 2 โดยใช้เทคโนโลยีนี้เพื่อทดแทนการขาดแคลนพลังงานในขณะนั้น บริษัท F.L. Smidth ของเดนมาร์กถือได้ว่าเป็นผู้เริ่มกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบสมัยใหม่ในปี ค.ศ. 1941-1942 กังหันลมของ Smidth เป็นกังหันลมแบบสมัยใหม่ตัวแรกที่ใช้ airfoils ซึ่งใช้ความรู้ขั้นสูงทางด้านอากาศพลศาสตร์ในเวลานั้น ในช่วงเวลาเดียวกัน Palmer Putnam ชาวอเมริกันได้สร้างกังหันลมขนาดใหญ่ให้กับบริษัท Morgan Smith Co. กังหันลมที่สร้างขึ้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 53 เมตร ซึ่งมีความแตกต่างจากกังหันลมของเดนมาร์กทั้งในเรื่องของขนาดและ หลักการออกแบบ กังหันลมของเดนมาร์กมีหลักการอยู่บนพื้นฐานของ upwind rotor กับ stall regulation ทำงานที่ความเร็วลมต่ำ กังหันลมของ Putnam ออกแบบอยู่บนพื้นฐานของ downwind rotor กับ variable pitch regulation แต่อย่างไรก็ตามกังหันลมของ Putnam ก็ไม่ประสบความสำเร็จ และถูกรื้อออกในปี ค.ศ. 1945 ตารางที่ 2 คือประวัติของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่สำคัญๆ

ตารางที่ 2 ประวัติของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

Turbine (country)	Diameter (m)	Swept area (m ²)	Power (kW)	Specific power (kW/m ²)	Number of blade	Tower height (m)	Date in service (Year)
Poul LaCour (Denmark)	23	408	18	0.04	4	-	1891
Smith Putnam (United States)	53	2,231	1,250	0.56	2	34	1941
F.L. Smidth (Denmark)	17	237	50	0.21	3	24	1941
F.L. Smidth (Denmark)	24	456	70	0.15	3	24	1942
Gedser (Denmark)	24	452	200	0.44	3	25	1957
Hütter (Germany)	34	908	100	0.11	2	22	1958

ที่มา: Thomas and Lennart, 2002

หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 Johannes Juul ชาวเดนมาร์กได้พัฒนาหลักการออกแบบของกังหันเดนมาร์กเพิ่มเติม กังหันลมของเขาถูกติดตั้งที่ Gedser ประเทศเดนมาร์ก ผลิตไฟฟ้าได้กว่า 2.2 ล้านหน่วย ในช่วงปี ค.ศ. 1956 - 1967 ในเวลาเดียวกัน Hutter ชาวเยอรมันได้พัฒนากังหันรูปแบบใหม่ โดยกังหันประกอบด้วยใบกังหันเรียวยาวที่ทำจากไฟเบอร์กลาส (fiberglass) 2 ใบ ติดไว้ที่ downwind ของหอสูงบน teetering hub กังหันลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูง (รูปที่ 2)

แม้ว่าจะประสบความสำเร็จเบื้องต้นกับกังหันลมของ Juul และ Hutter ความสนใจในกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ก็ลดลงหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 มีเพียงกังหันลมขนาดเล็กสำหรับผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลหรือสำหรับการประจุแบตเตอรี่ที่ได้รับความสนใจ แต่จากปัญหาวิกฤตการณ์น้ำมันในปี ค.ศ. 1970 ทำให้ความสนใจในพลังงานลมได้กลับมาอีกครั้งจากเหตุผลดังกล่าวจึงมีการสนับสนุนเงินทุนเพื่อการวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับพลังงานลมเป็นอย่างมากโดยเฉพาะในประเทศเยอรมัน สหรัฐอเมริกา และสวีเดน ซึ่งได้ใช้เงินนี้ในการพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ต้นแบบในขนาดระดับเมกะวัตต์ อย่างไรก็ตามกังหันลมต้นแบบหลายๆ ตัวไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ทั้งที่ผ่านมาเป็นเวลานาน สาเหตุมาจากปัญหาทางเทคนิคหลายๆ ประการ เช่น กลไกการบิดของใบพัด (pitch mechanism)

รูปแบบการสนับสนุนทางด้านพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญ คือ Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA) ซึ่งผ่านสภานิติบัญญัติของสหรัฐ (US Congress) ในเดือนพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 1978 ประธานาธิบดี Carter และสภานิติบัญญัติมีความต้องการที่จะเพิ่มการอนุรักษ์พลังงานและ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพภายในประเทศด้วยการลดการใช้น้ำมันจากต่างชาติ พระราชบัญญัติฉบับนี้ (PURPA) ประกอบไปด้วยภาษีพิเศษ เงินสินเชื่อบริษัทสำหรับพลังงานหมุนเวียน ซึ่งนำไปสู่ความสนใจในการพัฒนาพลังงานลมเป็นอย่างมาก ตัวอย่างที่สามารถเห็นได้ชัดเจนถึงผลของการกระตุ้นในครั้งนี้ เช่น ทำให้เกิดทุ่งกังหันลม (wind farms) ขนาดใหญ่ติดตั้งอยู่ตามเทือกเขาทางตะวันออกของ ซาน ฟรานซิสโก และทางตะวันออกเฉียงเหนือของ ลอส แองเจลิส ทุ่งกังหันลมแห่งแรกนี้ประกอบไปด้วยกังหันลมขนาด 50 กิโลวัตต์ เป็นส่วนใหญ่หลายปีผ่านไป ขนาดของกังหันลมรุ่นใหม่เพิ่มขึ้นเป็น 200 กิโลวัตต์ ณ สิ้นทศวรรษที่ 80 กังหันลมเกือบทั้งหมดนำเข้าจากประเทศเดนมาร์ก ในช่วงสิ้นปี ค.ศ. 1980 มีกังหันลมติดตั้งอยู่ใน แคลิฟอร์เนีย ประมาณ 15,000 ตัว ด้วยขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 1,500 เมกะวัตต์

ปัจจุบันเงินทุนสนับสนุนดังกล่าวได้เริ่มลดลงในอเมริกา แต่กลับเพิ่มขึ้นในยุโรปและอินเดีย โดยในปี ค.ศ. 1990 ยุโรปมีรูปแบบเงินทุนสนับสนุนในลักษณะ fix feed-in tariff สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน คือได้กำหนดราคารับซื้อแบบคงที่ให้กับไฟฟ้าที่ผลิตมาจากพลังงานหมุนเวียน ส่วนในประเทศอินเดีย ใช้วิธีการลดภาษีให้กับการลงทุนทางด้านพลังงานลม การสนับสนุนดังกล่าวทำให้การติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

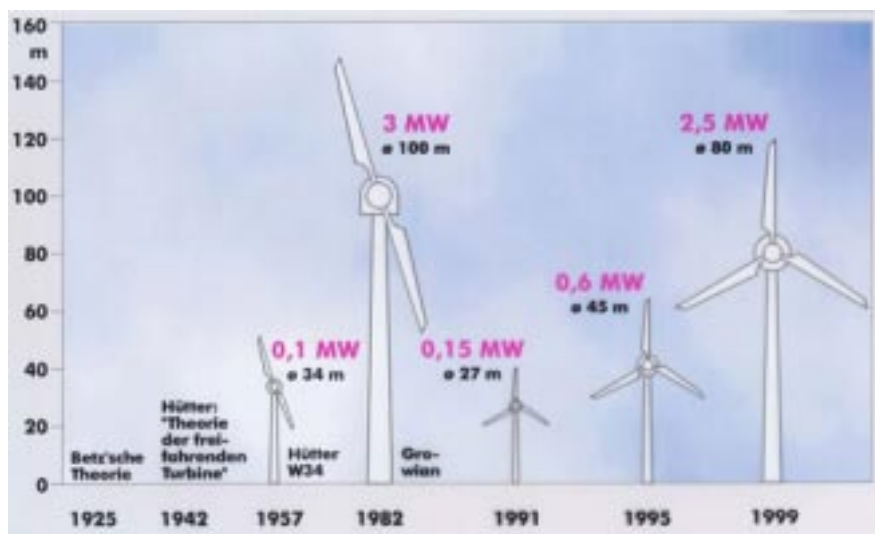
ในประเทศเยอรมัน รัฐบาลให้การสนับสนุนในรูปแบบต่างๆ กับผู้ประกอบการหรือโรงงานที่ลงทุนติดตั้งกังหันลมหรือใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมเพื่อการผลิตสินค้า ซึ่งมีสวนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีต่อสินค้า สามารถโฆษณาต่อผู้บริโภคได้ว่าสินค้าของตนเองผลิตจากพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันเป็นเรื่องที่คนในยุโรปให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก การขยายตัวของตลาดพลังงานลมทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน 20 ปีหลังจากความล้มเหลวในการทดสอบกังหันลมต้นแบบทั่วโลก ณ สิ้นปี ค.ศ. 2000 กังหันลมขนาด 1.5 เมกะวัตต์ได้กลายมาเป็นกังหันลม ที่มีความเหมาะสมทางด้านเทคนิค (technical optimum) ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลของกังหันลมขนาดใหญ่ซึ่งสร้างขึ้นและทดสอบโดยหลายบริษัทในหลายประเทศ ในช่วงเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1941 - 1994 และรูปที่ 3 เป็นการพัฒนากังหันลมในประเทศเยอรมันในช่วงปี ค.ศ. 1925 - 1999 ซึ่งแสดงข้อมูลของบริษัทผู้ผลิต ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าและ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหัน



รูปที่ 2 กังหันลมผลิตไฟฟ้าป้อนให้กับโรงงานผลิตคอนกรีตมวลเบาของบริษัท Wehrhahn, Delmenhorst, Germany (รูปซ้าย) สินค้าของบริษัทซึ่งมีสัญลักษณ์แสดงว่าใช้พลังงานจากลมในการผลิต (รูปขวา สถานที่: Wehrhahn factory, Delmenhorst, Germany)

ตารางที่ 3 สมรรถนะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาดใหญ่ (Thomas and Lennart, 2002)

Turbine (country)	Diameter (m)	Swept area (m ²)	Capacity (MW)	Operating hours	Generated (GWh)	Period (Year)
Mod-1 (United States)	60	2,827	2	-	-	79-83
Growian (Germany)	100	7,854	3	420	-	81-87
Smith-Putnam (United States)	53	2,236	1.25	695	0.2	41-45
WTS-4 (United States)	78	4,778	4	7,200	16	82-94
Nibe A (Denmark)	40	1,257	0.63	8,414	2	79-93
WEG LS-1 (United Kingdom)	60	2,827	3	8,441	6	87-92
Mod-2 (United States)	91	6,504	2.5	8,658	15	82-88
Näsudden 1 (Sweden)	75	4,418	2	11,400	13	83-88
Mod-OA (United States)	38	1,141	0.2	13,045	1	77-82
Tjæreborg (Denmark)	61	2,922	2	14,175	10	88-93
École (Canada)	64	4,000	3.6	19,000	12	87-93
Mod-5B (United States)	98	7,466	3.2	20,561	27	87-92
Maglarp WTS-3 (Sweden)	78	4,778	3	26,159	34	82-92
Nibe B (Denmark)	40	1,257	0.63	29,400	8	80-93
Tvind (Denmark)	54	2,290	2	50,000	14	78-93



รูปที่ 3 การพัฒนากังหันลมในประเทศเยอรมัน (Gregor, 2003)

สถานะปัจจุบัน

ตลาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขยายตัวอย่างต่อเนื่องกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา พลังงานลมมีบทบาทที่สำคัญเพิ่มขึ้นในการใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศเยอรมัน และสเปน ซึ่งกำลังการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในประเทศเนเธอร์แลนด์เกิดกระแสของ wind boom ทำให้ในช่วงปลายปี ค.ศ. 2002 มีการติดตั้งกังหันลมรวมกำลังการผลิตไฟฟ้าเกินกว่า 700 เมกกะวัตต์ แม้จะมีการคาดการณ์ไว้ว่าการขยายตัวของการติดตั้งกังหันลมจะลดลงในช่วงปี ค.ศ. 2003 - 2004 ในแถบตะวันตกเฉียงเหนือของยุโรป แต่ในช่วงปี ค.ศ. 2005 - 2006 ก็เป็นที่คาดว่าจะมีโครงการด้านพลังงานลมเกิดขึ้นตามมาอีกครั้ง (Han and Eize, 2003) ปัจจุบันมีกังหันลมติดตั้งอยู่ทั่วโลกกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมกว่า 33,000 เมกกะวัตต์ (John, 2003) และเฉพาะในยุโรป European Wind Energy Association ตั้งเป้าหมายไว้ว่าจะติดตั้งกังหันลมให้ได้ 60,000 เมกกะวัตต์ ภายในปี ค.ศ. 2010 (Ledesma et al., 2003)

ภาพรวมของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง

การใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้ามีอัตราการเจริญเติบโตเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สูงมากต่อปีในเชิงของจำนวนการติดตั้งในช่วงทศวรรษที่ 90 หากเปรียบเทียบกับการใช้เทคโนโลยีพลังงานอื่น อย่างไรก็ตามจากที่ได้อ่านไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ว่า การขยายตัวนี้ไม่ได้เกิดขึ้นทั่วโลก โดยในสิ้นปี ค.ศ. 1999 การติดตั้งกังหันลมทั่วโลกประมาณกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในทวีปยุโรป 19 เปอร์เซ็นต์ในอเมริกาเหนือ และ 9 เปอร์เซ็นต์ในเอเชียและแถบแปซิฟิก ตารางที่ 4 แสดงภาพรวมของการติดตั้งกังหันลมทั่วโลก

สำหรับในประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมจ่ายเข้าสายส่งในปริมาณน้อยมากหากเทียบกับแหล่งพลังงานอื่นๆ มีการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 150 กิโลวัตต์ ของบริษัท Nordtank ประเทศเดนมาร์ก ในพื้นที่สถานีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต แหหลวงพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 เพื่อสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์

(รูปที่ 4) จ่ายเข้าระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จนถึงปัจจุบันระบบสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าป้อนเข้าสายส่งได้ประมาณ 200,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/annual) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตมีโครงการที่จะติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นที่แหลมพรหมเทพโดยในปีนี้จะติดตั้งกังหันลมขนาด 600 กิโลวัตต์ ซึ่งคาดว่าจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณปีละ 840,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ปัจจุบันโครงการดังกล่าวกำลังอยู่ระหว่างการดำเนินงาน (Siripuekpong et al., 2002)

ตารางที่ 4 ภาพรวมการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งทั่วโลก

Region	Installed capacity (MW)				
	End 1995	End 1997	End 1999	End 2000	End 2001
Europe	2,518	4,766	9,307	12,972	16,362
North America	1,676	1,611	2,619	2,695	4,440
South & Central America	11	38	87	103	103
Asia & Pacific	626	1,149	1,403	1,795	2,162
Middle East & Africa	13	24	39	141	203
Total world-wide	4,844	7,588	13,455	17,706	23,270

ที่มา: Paul, 2003; Thomas and Lennart, 2002



รูปที่ 4 สถานีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต (Siripuekpong et al., 2002)

ศักยภาพพลังงานลม

จากการศึกษาศักยภาพพลังงานลมทั่วโลกพบว่า เป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างมหาศาล ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงพบว่า เฉพาะในพื้นที่ชายฝั่งของทวีปยุโรปมีพลังงานจากลมถึง 2,500 เทอราวัตต์ชั่วโมง/ปี ซึ่งคิดเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในยุโรปในปี ค.ศ. 1997 (Thomas and Lennart, 2002) ซึ่งตัวเลขพลังงานลมดังกล่าวนี้อาจแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลความเร็วลมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสมมุติฐานของเทคโนโลยีกังหันลมที่เลือกใช้ในการประเมิน

สำหรับประเทศไทยยังไม่เคยมีการประเมินค่าพลังงานจากลมว่ามีค่าประมาณเท่าไรต่อปี แต่มีการศึกษาเพื่อหาความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งจากการศึกษาของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (ปัจจุบันคือ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) พบว่าแหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีของประเทศไทย มีกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ระดับ 3 (Class 3) หรือมีความเร็วลม 6.4 เมตร/วินาที ขึ้นไปที่ความสูง 50 เมตร อยู่ทีภาคใต้บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก เริ่มตั้งแต่ จังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา และปัตตานี และที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงปลายเดือนมีนาคม นอกจากนั้นยังพบว่ามีแหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีอีกส่วนหนึ่ง อยู่บริเวณเทือกเขาตันทาตุระตั้งแต่ภาคใต้ตอนบนจรดภาคเหนือตอนล่างในจังหวัดเพชรบุรี กาญจนบุรี ตาก ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม แหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อยู่บริเวณเทือกเขาในอุทยานแห่งชาติแก่งกรุง จังหวัดสุราษฎร์ธานี อุทยานแห่งชาติเขาลง และได้รับมรสุม จังหวัดนครศรีธรรมราช ในอุทยานแห่งชาติศรีพังงา จังหวัดพังงา เขาพนมเบญจา จังหวัดกระบี่ ส่วนแหล่งที่มีศักยภาพรองลงมาโดยมีกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีตั้งแต่ระดับ 1.3 ถึง 2 (Class 1.3 - Class 2) หรือมีความเร็วลม 4.4 เมตร/วินาที ขึ้นไปที่ความสูง 50 เมตร พบว่าอยู่ที่ภาคใต้ตอนบนบริเวณอ่าวไทยชายฝั่งตะวันตก ตั้งแต่ จังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร จรดจังหวัดสุราษฎร์ธานี และบริเวณเทือกเขาในภาคเหนือ คือ จังหวัดเชียงใหม่ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ จังหวัดเพชรบูรณ์ และเลยซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และพบว่ามีที่ภาคใต้ฝั่งตะวันตก ตั้งแต่ จังหวัดพังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง จรดสตูล และในอ่าวไทยชายฝั่งตะวันออก คือ จังหวัดระยองและชลบุรี ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2544)

จากข้อมูลศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น หากเปรียบเทียบกับประเทศในยุโรปแล้วถือว่าต่ำมาก ซึ่งในทางปฏิบัติั้นความเร็วลมในระดับประมาณ 6 เมตร/วินาที ถือว่าไม่เหมาะสมกับการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่ระดับเมกะวัตต์ได้ เพราะต้องการความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 12 - 15 เมตร/วินาที ดังนั้นทางเลือกที่เหมาะสมของประเทศไทยหากจะส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากลม ในการผลิตไฟฟ้าควรจะเป็นระบบขนาดเล็กในช่วงพิกัดกำลังระดับกิโลวัตต์จึงจะเหมาะสมกว่า

ทฤษฎี

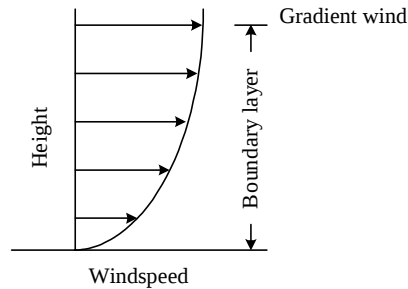
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานของพลังงานลม ลักษณะทางกายภาพและ ชนิดของกังหันลมแบบต่าง ๆ ซึ่งมีความแตกต่างทั้งทางด้านกายภาพ และหลักการออกแบบ

ลม

ลมเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นโดยธรรมชาติทั่วโลก ลมที่มักจะได้ยินชื่ออยู่บ่อย ๆ ก็คือ ลมมรสุม ซึ่งหมายถึงลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางการเปลี่ยนฤดู คือฤดูร้อนจะพัดอยู่ในทิศทางหนึ่งและจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว นอกจากนั้นลมยังอาจเกิดขึ้นจากอิทธิพลของภูมิประเทศและ ความเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งเรียกลมชนิดนี้ว่าลมประจำถิ่น ซึ่งลมประจำถิ่นยังสามารถแบ่งออกเป็น ลมบกและลมทะเล ลมภูเขาและลมหุบเขา นอกจากนี้ในประเทศไทยยังมีลมประจำถิ่นที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ ลมตะเภา และลมว่าว (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2544)

กังหันลมจะใช้ประโยชน์จากลมที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้น หมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศและมีแรงเสียดทานอันเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วยในระดับต่ำ แต่ที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงต้านจะลดลงและ ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้น (รูปที่ 5) ส่วนที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน ความเร็วลมเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูงและ สภาพภูมิประเทศ เช่นเดียวกันกับทิศทางของลม จาก

ประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่ขึ้นก็จะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ ที่ความเร็วลมเท่า ๆ กันแต่มีทิศทางลมที่ต่างกัน เมื่อพู่เข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพท์ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถอ่านได้จากเอกสารอ้างอิง (Siegfried, 1998)



รูปที่ 5 ลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ (atmosphere boundary layer)

ฟลักซ์ของลม

กำลังของลมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V ผ่านพื้นที่หน้าตัด A คือ

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

เมื่อ	P_w	คือ	กำลังของลม (W)
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.225 kg/m^3
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัด (m^2)
	V	คือ	ความเร็วลม (m/s)

ความหนาแน่นของอากาศเป็นฟังก์ชันของความกดอากาศและอุณหภูมิ ที่ระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเล ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho(z) = \frac{P_0}{(RT) \exp\left(\frac{-gz}{RT}\right)} \quad (2)$$

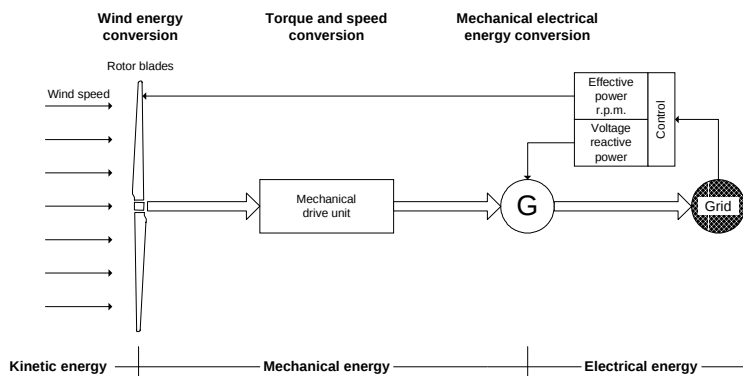
เมื่อ	$r(z)$	คือ	ความหนาแน่นของอากาศซึ่งเป็นฟังก์ชันของระดับความสูง (kg/m^3)
	P_0	คือ	ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลมาตรฐาน (kg/m^2)
	R	คือ	ค่าคงที่ของอากาศ (Specific gas constant of air) (J/K mol)
	T	คือ	อุณหภูมิ (K)
	g	คือ	ค่าแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)
	z	คือ	ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเล (m)

พลังงานลมถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลของแกนหมุนกังหันลม มวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบกังหันจะเคลื่อนที่ช้าลง ในทางปฏิบัติแล้วพลังงานจากลมไม่สามารถถ่ายทอดให้กับกังหันลมได้ทั้งหมด ซึ่งถ้าเกิดขึ้นจริงจะหมายความว่ามวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบกังหันจะต้องหยุดสนิทอยู่กับที่บริเวณพื้นที่หน้าตัดของใบกังหันทั้งหมด สมการที่ (3) ใช้ในการอธิบายพลังงานทั้งหมดที่กังหันลมสามารถเปลี่ยนรูปได้จากพลังงานลม (Siegfried, 1998)

$$P_{WT} = P_w C_p = \frac{\rho}{2} A_R V^3 C_p \quad (3)$$

เมื่อ	P_{WT}	คือ	กำลังของกังหันลม (W)
	C_p	คือ	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของกังหันลม
	A_R	คือ	พื้นที่กวาดของใบกังหัน (m^2)

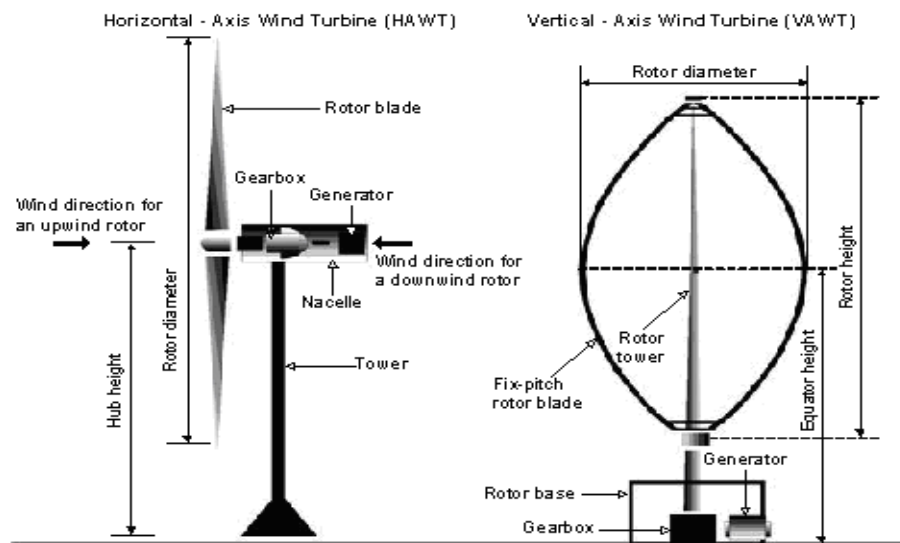
จากพื้นฐานดังกล่าวสามารถอธิบายการเปลี่ยนรูปพลังงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ดังนี้คือ พลังงานลมซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่ความเร็วค่าหนึ่ง (พลังงานจลน์) เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานทางกลด้วยแรงบิดและความเร็วรอบของแกนหมุนกังหัน (torque and speed conversion) พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเชื่อมต่อกับแกนหมุนของกังหันลม (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 การเปลี่ยนรูปพลังงานในระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ชนิดของกังหันลม

กังหันลมผลิตไฟฟ้าสมัยใหม่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ กังหันลมแกนตั้ง (Vertical-Axis Type Wind Turbine, VAWT) และกังหันลมแกนนอน (Horizontal-Axis Type Wind Turbine, HAWT) กังหันลมส่วนใหญ่ที่ใช้งานอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบแกนนอน ซึ่งต้องติดตั้งอยู่บนเสาสูง และมีอุปกรณ์ควบคุมเพื่อให้กังหันลมสามารถหันหน้าเข้าหาลมและ รับลมได้ทุกทิศทาง กังหันลมแกนตั้งเป็นที่รู้จักกันในชื่อ Darrieus ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1920 ข้อดีของกังหันลมแกนตั้ง คือ สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง ขูดปรับความเร็ว (gear box) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถติดตั้งอยู่ที่ระดับพื้นล่างได้นอกจากนี้ตัวเสาของกังหันลมยังไม่สูงมากนัก แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับแบบแกนนอน รูปที่ 7 แสดงชนิดของกังหันลมแบบแกนตั้งและแกนนอน



รูปที่ 7 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง (ที่มา: www.eia.doc.gov/backgrnd/fig22.htm)

เทคโนโลยี

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะรายละเอียดของเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนเป็นหลัก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน และมีส่วนแบ่งทางการตลาดขนาดใหญ่ และมีส่วนสำคัญในการกำหนดอนาคตของเทคโนโลยีพลังงานลมเป็นอย่างสูง

ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอน

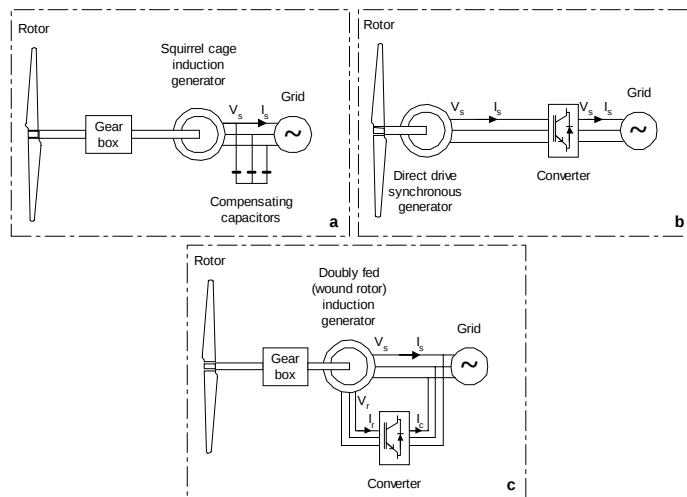
ในบทความฉบับนี้แบ่งชนิดของ HAWT ออกเป็น 3 ชนิดคือ a) fixed speed with directly grid-couple (asynchronous) squirrel cage induction generator b) variable speed with doubly fed induction generator และ c) variable speed based on a direct drive synchronous generator (รูปที่ 8) ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลของการพัฒนากังหันลมของบริษัทต่างๆ ในช่วงปี ค.ศ. 1990 - 2002

กังหันลมแบบความเร็วคงที่ (fixed speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล้องเกียร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (squirrel cage induction generator) ชุดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า (รูปที่ 8.a) ในความเป็นจริงแล้วกังหันลมแบบนี้มีค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator slip) ไม่คงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ศิระ หงษ์นา, 2544) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าน้อยมาก เพียง 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเรียกกังหันลมแบบนี้ว่าเป็นแบบความเร็วคงที่ (fix speed turbine) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำมักจะดึงพลังงาน (reactive power) จากสายส่งมาใช้ โดยเฉพาะที่ ในที่ที่มีระบบสายส่งที่ไม่เสถียรภาพ สำหรับเหตุการณ์ลักษณะดังกล่าวสามารถแก้ไขโดยการชดเชยพลังงานจากตัวเก็บประจุซึ่งติดตั้งตั้งอยู่ในตัวกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิดนี้

กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (variable speed) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล้องเกียร์เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบบดับเบิลเฟ็ด (doubly fed induction generator) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ชุดสเตเตอร์ต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า กังหันลมชนิดนี้ความเร็วรอบของเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงได้โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วรอบและความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้ (รูปที่ 8.b)

กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (variable speed with direct drive) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วยใบพัด เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสโดยตรง และมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 8 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอน

- Fixed speed with directly grid-couple (asynchronous) squirrel cage induction generator
- Variable speed based on a direct drive and synchronous generator
- Variable speed with doubly fed induction generator

ตารางที่ 5 การพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมในช่วงปี ค.ศ. 1990 – 2002 (Han and Eize, 2003)

Manufacturer	Design	Power range
Bonus (Denmark)	CT/CS; CT/AS	600 kW; 1 – 2.3 MW
DeWind (UK/Germany)	VTDI	600 kW – 2 MW
Enercon (Germany)	VTDD	300 kW – 4.5 MW
GE Wind Energy (US/Germany)	CT/CS; VTDI	600 kW; 900 kW – 3.6 MW
Lagerwey (Netherlands)	VT/AGP; VTDD	250 kW; 750 kW – 2 MW
Jeumont Industrie (France)	VTDD	750 kW – 1.5 MW
MADE (Spain)	CT/CS; VTSGP	660 kW – 1.3 MW; 2 MW
NEG Micon (Denmark)	CT/CS; CT/AS; VTDI	600 kW – 1.5 MW; 1.5 – 2 MW; 2.75 MW
Nordex (Germany)	CT/CS; VTDI	600 kW – 1.3 MW; 1.5 – 2.5 MW
REpower Systems (Germany)	CT/CS; CT/AGP; VTDI	600 kW – 750 kW; 1050 MW; 1.5 – 2.5 MW
Vestas (Denmark)	SVT/OSP; VTDI	660 kW – 2.75 MW; 850 kW – 3 MW

หมายเหตุ: รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถอ่านได้จากเอกสารอ้างอิง Siegfried, 1998

CT/CS = fixed speed, classic stall (fixed blade angle); CT/AS = fixed speed, active stall (negative variable blade angle, 3 – 5 degree); VTDI = variable speed (+ pitch), doubly fed induction generator; VTDD = variable speed, direct drive synchronous generator, combined with pitch (Enercon + Lagerwey + 1.5 MW Jeumont), combine with classic stall (Jeumont J48 (750 kW)); VTSGP = variable speed/pitch combine with (brushless) synchronous generator; VT/AGP = variable speed/pitch combine with asynchronous generator (100% current via converter); CT/AGP = nowadays unusual combination of fixed speed/pitch with directly connected asynchronous generator. This used to be Vestas' standard system, including 225 and 500 kW; SVT/OSP = semi-variable speed/pitch combine with OptiSlip (maximum +10% variation in normal speed)

จำนวนใบพัด

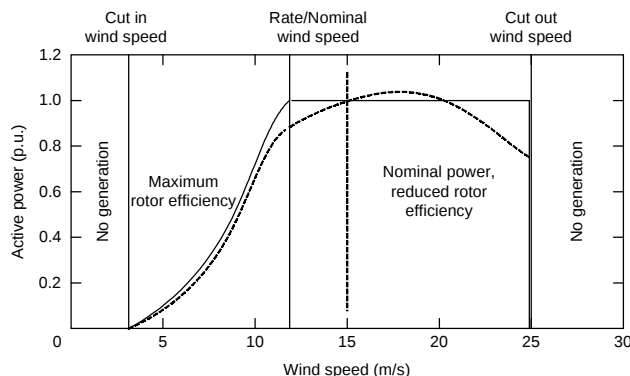
โดยทั่วไปกฎของการหาจำนวนใบพัดที่เหมาะสมสำหรับกังหันลมขึ้นอยู่กับตัวแปรต่อไปนี้ คือ อัตราต้องการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรอบสูง แรงบิดต่ำ กังหันจะต้องการจำนวนใบพัดน้อยแต่ถ้าเป็นกังหันลมซึ่งประยุกต์ใช้เพื่อการสูบน้ำ หรือสีข้าว กังหันชนิดนี้ต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วรอบต่ำดังนั้นกังหันชนิดนี้จะต้องการจำนวนใบพัดมาก

จำนวนใบพัดต่ำสุดที่ควรจะมีของกังหันลม คือ หนึ่งใบ ซึ่งมีข้อดีคือลดน้ำหนักของใบพัดลง อย่างไรก็ตามการหมุนของกังหันแบบใบเดียวไม่ดีเท่าที่ควร กังหันลมแบบสองใบเป็นแบบหนึ่งที่ยอมรับกันแต่การหมุนก็ยังไม่ราบรื่นนัก กังหันแบบสามใบให้การหมุนของแกนกังหันที่ราบรื่น แต่ก็มีน้ำหนักมาก ทำให้ต้องการโครงสร้างรองรับที่แข็งแรง ซึ่งส่งผลถึงงบประมาณการลงทุน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบสามใบพัดเป็นที่นิยมและ มีส่วนแบ่งทางการตลาดสูงกว่า นอกจากนี้ยังมีข้อดีมากกว่าแบบสองใบพัดอีก คือ ให้ความสวยงามมากกว่าในด้านของรูปลักษณ์และการมองเห็น มีเสียงดังรบกวนน้อยกว่า

ความเร็วลมและกำลังของกังหันลม

พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำ (1 – 3 เมตร/วินาที) กังหันลมจะยังไม่ทำงาน ในช่วงความเร็วลมนี้กังหันลมจะยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5 – 5 เมตร/วินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่า "cut in wind speed" ที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12 – 15 เมตร/วินาที เป็นช่วงที่เรียกว่า "nominal หรือ rate wind speed" ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตนเอง ค่าความเร็วลมที่แน่นอนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดของใบพัดและการออกแบบ ที่จุดต่ำกว่า nominal คือ

"maximum rotor efficiency" (รูปที่ 9) ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับ "tip speed ratio" (Siegfried, 1998) ในช่วงความเร็วลมที่สูงกว่า 25 เมตร/วินาที กังหันลมจะหยุดทำงาน เนื่องจากความเร็วลมที่สูงเกินไปจนอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้



รูปที่ 9 กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบ stall limit (เส้นประ) และแบบ pitch control (เส้นทึบ)

ผลกระทบของการใช้กังหันลม

ปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมผลิตไฟฟ้ากันอยู่ในหลายประเทศ ซึ่งได้รับการยอมรับจากประชาชนในพื้นที่เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามกังหันลมยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือผลกระทบข้างเคียงอื่นๆ ดังต่อไปนี้ (John, 2003)

- พื้นที่: กังหันลมจะต้องติดตั้งอยู่ห่างกันเท่ากับสิบเท่าของความสูงกังหัน เพื่อที่กระแสลมจะได้ลดความปั่นป่วนหลังจากที่ผ่านกังหันลมตัวอื่นมา อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่ติดตั้งจริงของกังหันลมจะใช้เพียง 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นส่วนของเสาและฐานรากและเส้นทางสำหรับการเข้าไปติดตั้งและดูแลรักษา กังหันลมขนาดใหญ่ที่มีความสูงของเสาสูงมาก จะต้องติดตั้งอยู่ห่างกันเป็นระยะทางไกล ตัวอย่างเช่น กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดระดับเมกกะวัตต์ ต้องการระยะห่างระหว่างกันถึง 0.5 - 1 กิโลเมตร ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะพบว่า การติดตั้งกังหันลมจะไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ต่างๆ อาทิเช่น พื้นที่ทางการเกษตร พื้นที่อุตสาหกรรม หรือแม้แต่พื้นที่ป่าธรรมชาติ ประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวยังคงสามารถใช้ประโยชน์จากที่ดินได้อย่างปกติ

- ทัศนวิสัย: สำหรับผลกระทบทางด้านสายตาหรือการมองเห็นของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น ยังไม่ได้มีการประเมินผลออกมาอย่างชัดเจน กังหันลมขนาดใหญ่จะมีความสูงมากกว่า 50 เมตรขึ้นไป ทำให้สามารถมองเห็นได้จากระยะไกล กังหันลมที่ติดตั้งอยู่ตามทุ่งหญ้า สร้างความสวยงาม สร้างจินตนาการ และความคิดต่างๆ ให้กับผู้พบเห็น กังหันลมสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้หลักการทางอากาศพลศาสตร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อเทคโนโลยีการบินหรืออากาศยานได้

- เสียง: เสียงของกังหันลมเกิดจากการหมุนของปลายใบพัดติดกับอากาศ จากการที่ใบพัดหมุนผ่านเสากังหัน จากความปั่นป่วนของลมบริเวณใบกังหันลม และจากตัวเครื่องจักรกลภายในตัวกังหันลม โดยเฉพาะส่วนของเกียร์ เสียงดังของกังหันลมผลิตไฟฟ้าเป็นตัวแปรที่สำคัญประการหนึ่งที่แสดงถึงประสิทธิภาพของกังหันลม ดังนั้นทางบริษัทผู้ผลิตกังหันลมจึงพยายามพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อลดผลกระทบจากเสียงของกังหันลมในช่วงห้าปีที่ผ่านมา ระดับของเสียงในบริเวณอาคาร บ้านเรือน หรือที่พักอาศัยที่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์อยู่ที่ไม่เกิน 40 เดซิเบล ที่ระยะห่างไม่เกิน 250 เมตร ดังนั้นการติดตั้งกังหันลมหากต้องการหลีกเลี่ยง

ปัญหาดังกล่าว ก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มระยะห่างจากเขตที่พักอาศัยของมนุษย์ให้มากขึ้น

- **นก:** มีผลการศึกษาจากหลายแห่งที่ขัดแย้งกัน สำหรับสาเหตุการตายของนกจากการบินชนกังหันลมที่กำลังหมุนอยู่ แต่หากพิจารณาแล้วความถี่ของเหตุการณ์ดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงหรือน้อยกว่า การที่นกบินชนรอ หน้าต่างของอาคาร หรือสายไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นอยู่เสมอๆ ยกเว้นในบางกรณีจำนวนการตายของนกในพื้นที่ติดตั้งกังหันลมอาจสูงอันเนื่องมาจาก มีฝูงนกที่อพยพย้ายถิ่นฐานในบางฤดูการผ่านพื้นที่ดังกล่าวในเวลากลางคืน หรือพื้นที่นั้นเป็นแหล่งหาอาหารของนกนักล่าบางชนิดนอกจากนี้แล้วจากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญบางคนพบว่าในบริเวณพื้นที่ติดตั้งกังหันลม กลับมีอัตราการผสมพันธุ์ของเกสรดอกไม้ที่สูงมาก เนื่องจากการปั่นป่วนของกระแสลมในบริเวณนั้น

- **คลื่นสนามแม่เหล็ก:** สัญญาณโทรทัศน์ คลื่นวิทยุ และเรดาร์ สามารถถูกรบกวนได้จากการหมุนของกังหันลม ซึ่งสร้างคลื่นรบกวนสัญญาณเหล่านั้น สัญญาณเรดาร์ซึ่งมีความสำคัญทางด้านการทหารพบว่ายังไม่มีรายงานของการถูกรบกวนจากกังหันลมอย่างชัดเจน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วในปัจจุบันพบว่ากังหันลมได้รับการยอมรับจากทางการทหาร และมีพื้นที่ทางการทหารหลายแห่ง โดยเฉพาะสนามบินที่มีกังหันลมติดตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งก็ไม่มีพบว่ามีคามผิดปกติใดๆ กับระบบเรดาร์

- **ความยั่งยืน:** ปัจจุบันกระแสของความยั่งยืน (sustainable) และเทคโนโลยีที่ปล่อยมลพิษ (zero-emission technology) กำลังเป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย หรือแม้แต่เนกการเมือง การทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิดมลพิษ สามารถใช้เป็นเทคโนโลยีหนึ่งเพื่อการผลิตไฟฟ้าทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และนิวเคลียร์ ดังนั้นเทคโนโลยีกังหันลมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการพัฒนาอย่างยั่งยืน

บทสรุป

ลมเป็นพลังงานหมุนเวียนอีกแหล่งหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากว่ามีศักยภาพเพียงพอที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานของมนุษย์ในอนาคตได้ การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นถึงแม้ว่าจะผ่านไปแล้ว 100 ปีแล้ว แต่การที่จะให้เทคโนโลยีนี้สามารถเข้ามาทดแทนเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าอื่นๆ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันทั้งหมดคงเป็นไปได้ เพราะในอนาคตรูปแบบการใช้พลังงานจะหลากหลายมากขึ้น การใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะลดลงเนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สัดส่วนการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล หรือแม้แต่พลังงานลมจะสูงขึ้น สำหรับประเทศไทยนั้นยังมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานลมน้อยมาก จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องหันมาให้ความสนใจในเทคโนโลยีพลังงานลม ถึงแม้ว่าจะมีศักยภาพไม่สูงนักหากเปรียบเทียบกับในต่างประเทศ แต่ก็สามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในขนาดพิกัดระดับกิโลวัตต์ได้ หากเราเริ่มวิจัยและพัฒนาตั้งแต่วินาทีนี้ในอนาคตประเทศเราจะได้มีเทคโนโลยีด้านพลังงานลมเป็นของตัวเอง ไม่ต้องพึ่งพาจากต่างประเทศทั้งหมดเหมือนเช่นเทคโนโลยีอื่นๆ อย่างในปัจจุบัน

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2544). *แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: เซ็นทรัลการพิมพ์.
- คิระ หงษ์นภา. (2544). *ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).
- Gregor, C. (2003). Global renewable energy potential. Retrieved September 20, 2003, from http://www.iset.uni-kassel.de/abt/w3w/folien/agdeb030901/foлие_33.html.
- Han, S., & Eize, D. V. (2003). Inside wind turbines fixed vs. variable speed. *Renewable Energy World*, 6, 30-40.
- John, T. (2003). Technology fundamentals wind turbines. *Renewable Energy World*, 6, 102-111.
- Ledesma, P., Usaola, J., & Rodriguez, J. L. (2003). Transient stability of a fixed speed wind farm. *Renewable Energy*, 28, 1341-1355.
- Paul, G. (2003). The BTM wind report: World market update. *Renewable Energy World*, 6, 66-83.
- Siegfried, H. (1998). *Grid integration of wind energy conversion systems*. Chichester : Wiley.
- Siripuekpong, P., Limsawat, W., & Korjedee, T. (2002, November). *Large wind turbine generator 600 kW*. Paper presented at the International Conference on Village Power from Renewable Energy in Asia, Phitsanulok.
- Thomas, A., & Lennart, S. (2002). An overview of wind energy-status 2002. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 67-128.