

ภาคผนวก ค
ผลงานวิชาการ

ผลงานวิชาการ

- [1] เมืองมนต์ เนตรหาญ และอำไพศักดิ์ ทีบุญมา. การวิเคราะห์และทดสอบประสิทธิภาพกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 800 วัตต์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2554
- [2] เมืองมนต์ เนตรหาญ นันทวัฒน์ วีระยุทธและอำไพศักดิ์ ทีบุญมา. การประเมินศักยภาพและทดสอบประสิทธิภาพกังหันลมผลิตไฟฟ้า: กรณีศึกษาจังหวัดนครพนม. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6. 5-7 พฤษภาคม 2553 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การวิเคราะห์และทดสอบประสิทธิภาพกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 800 วัตต์
Analysing and testing the efficiency of 800 watt wind turbine generator

เมืองมนต์ เนตรหาญ และอำไพศักดิ์ ทีบุญมา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทร 0-4535-3309 E-mail: umphisak@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า ให้มีความเหมาะสมกับความเร็วลมต่ำ ตามศักยภาพพลังงานลมของจังหวัดนครพนม โดยได้ออกแบบกังหันลมชนิดแกนนอน มีพิภักในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 800 วัตต์ ระบบที่ออกแบบเน้นความง่ายไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่าย ใช้วัสดุในประเทศ และต้นทุนต่ำ ทำการติดตั้งเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพกังหันลม ที่ระดับความสูง 14 เมตร ณ โรงเรียนวังกระแจะวิทยา อ.ปลาปาก จ.นครพนม ซึ่งลักษณะภูมิประเทศใกล้เคียงกับพื้นที่ทั่วไปของจังหวัดนครพนม นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังได้ วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย และระยะเวลาคืนทุน ผลจากการศึกษาพบว่ากังหันลมเริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2.0 เมตร/วินาที กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้เท่ากับ 785 วัตต์ ที่ความเร็วลม 11.5 เมตร/วินาที โดยมีสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดเท่ากับ 0.34 ที่ความเร็วลม 3.5 เมตร/วินาที และผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 495 kWh/y ในส่วนของการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย เท่ากับ 15.0 บาท และมีระยะคืนทุน เท่ากับ 26.6 ปี นอกจากนั้นยังพบว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้กังหันลมจะมีความน่าสนใจในการลงทุนก็ต่อเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยมากกว่า 8 บาทต่อหน่วย

คำสำคัญ: กังหันลม, ประสิทธิภาพ, ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์, ระยะคืนทุน

Abstract

The purpose of this research was to design, construct and test a wind turbine used to generate electricity at low-speed conditions that is suitable for the condition in Nakhonphanom Province. The Horizontal-Axis Wind Turbine (HAWT) which generates electricity at approximately 800 W was designed, constructed and tested at 14 m height in Wangkrasae School, Plapak District, Nakhonphanom Province where the general topography is similar to other regions of Nakhonphanom Province. The designed wind turbine system is concerned on four principal advantages, namely, low cost of investment, simplicity of the system, easiness to maintain and using domestic materials. The unit cost of electric energy and the payback period of system were also analyzed. The experimental results obviously showed that the system is cut in at wind speed of 2.0 m/s. The maximum electricity produced by the system is 785 W for wind speed of 11.5 m/s. It was also revealed that the highest power coefficient of the wind turbine system is 0.34 for wind speed of 4.5 m/s. Furthermore, results of economic analysis indicated that unit cost of electric energy and payback period of the wind turbine system are 15.0 Baht/unit and 26.6 years, respectively. Finally, it should be noted that wind turbine electrical system is of interesting when the electric cost is higher 8 Baht/kWh.

Keywords: Wind turbine, Efficiency, Economic worthiness, Payback period

1. บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการด้านพลังงานของโลกยังคงมีอัตราเพิ่มสูงขึ้น เพื่อให้มีความพอเพียงกับการเจริญเติบโตด้านเทคโนโลยี และการพัฒนาประเทศอย่างไม่มีขีดจำกัดเพื่อความได้เปรียบทางการค้าแก่ประเทศตนเอง โดยไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นตามมาโดยเฉพาะ

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงาน จากทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป อย่างเช่น มีโอเลียม ถ่านหิน แร่ธาตุ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การเกิดภาวะเรือนกระจก ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งเกิดภาวะโลกร้อนตามมา ดังนั้นทุกฝ่ายต้องช่วยกันดูแล รักษา และจัดการสิ่งแวดล้อมไม่ให้สูญเสียมากเกินไป สำหรับประเทศไทยต้องนำเข้าเชื้อเพลิงประเภทปิโตรเลียมเป็นจำนวนมาก จึงควรต้องเร่งพัฒนาและส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทน นำองค์ความรู้ที่มีอยู่มาพัฒนาใช้ให้เหมาะสมสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย [สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน 2551] โดยการศึกษาหาแหล่งพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล [นิพนธ์ เกตุจ้อย และคณะ 2547] หรือแม้แต่พลังงานลม [Frank, 1975] ที่สามารถหาได้ในประเทศไทย เพื่อพัฒนาไปสู่พลังงานทดแทนที่สะอาดได้ ซึ่งในปัจจุบันต่างประเทศมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาอย่างมากในด้านพลังงานลม แต่ในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย ซึ่งอาจเป็นเพราะประเทศไทย มีศักยภาพพลังงานลมในระดับผิวดินต่ำ [กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2546] เทคโนโลยีกังหันลมในต่างประเทศส่วนใหญ่จะเป็นกังหันลมที่มีขนาดใหญ่ซึ่งไม่เหมาะกับประเทศไทยที่ผ่านมามีนักวิจัยศึกษาถึงพลังงานลมในประเทศไทย พบว่า ประเทศไทยมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยต่ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญของการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม [กังสดาล สุกุลพงษ์มาลี 2544] แต่อย่างไรก็ตามยังมีการทดสอบกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า แบบพรอพเพิลเลอร์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ติดตั้งที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต จ่ายไฟเข้าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ [กองพัฒนาพลังงานทดแทน, Siripuekpong, et al., 2002] ส่วนกังหันลมเพื่อการสูบน้ำที่มีจำหน่ายยังคงมีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ [ไกลวัลย์ ครุฑกุล 2551] มีบางพื้นที่ที่มีศักยภาพความเร็วลมเพียงพอสำหรับการติดตั้งกังหันลมได้

จากการศึกษารวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่มีการศึกษา และทดลองติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะในเขตจังหวัดนครพนม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบสร้าง และทดสอบหาประสิทธิภาพกังหันลม รวมทั้งวิเคราะห์

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย และระยะเวลาคืนทุน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์และการทดลอง

กังหันลมที่ออกแบบ สร้าง และทดสอบ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ เป็นชนิดแกนนอน มีขนาดพิกัดในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 800 วัตต์ ในการออกแบบกังหันลม ได้นำข้อมูลความเร็วลมจากอุตุนิยามวิทยานครพนม และจากการตรวจวัดในสถานที่ตัวอย่างมาทำการศึกษา เพื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างของกังหันลม โดยพิจารณาออกแบบโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่าย ราคาถูก วัสดุอุปกรณ์หาได้ในประเทศ จากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นพบว่าใบกังหันรูปแพนอากาศชนิด NACA 4415 [Reuss, et al., 1995] ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรับลมที่ความเร็วลมต่างๆ มีค่า Tip speed ratio เท่ากับ 6 จำนวน 3 ใบ เส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 2.80 เมตร โครงกังหันทำจากเหล็กที่มีความหนา 9 mm ออกแบบให้มีน้ำหนักเบา แข็งแรง และบำรุงรักษาง่าย ชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าใช้ลวดเบอร์ 17 พันจำนวน 120 รอบ จำนวน 6 ชุด ชุดแม่เหล็กใช้แม่เหล็กชนิด Neodrimime ขนาด 27x25x10 mm นำแม่เหล็กมาวางบนแผ่นเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 255 mm หนา 6 mm และมีชุดหางเสือที่ใช้ในการควบคุมกังหันเมื่อลมเปลี่ยนทิศทาง และตัดการทำงานเมื่อความเร็วลมเกิน 12 m/s เพื่อป้องกันความเสียหาย กังหันลมติดตั้งสูงจากพื้นดิน 14 m มีชุดควบคุมการชาร์จ DC ขนาด 24 Volt ชุดเก็บสะสมพลังงาน DC ขนาด 12 Volt 75 Ah 2 ลูก ชุดแปลงกระแสไฟฟ้า DC ขนาด 24 Volt เป็น AC 220 Volt ทำการติดตั้ง ณ โรงเรียนวังกระแสวิทยา อำเภอปลาปาก จังหวัดนครพนม ดังแสดงในรูปที่ 1 ในการทดลองได้ใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลมพร้อมทั้งวัดทิศทางลม บันทึกรหัสข้อมูลความเร็วลมตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีค่าความแม่นยำในการวัดความเร็วลม ± 0.3 m/s และค่าความแม่นยำในการวัดทิศทางลม $\pm 3^\circ$ นอกจากนี้ยังได้บันทึกกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพกังหันลม

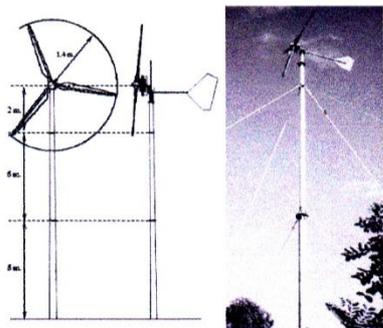
2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

อากาศเมื่อมีการเคลื่อนที่จะมีพลังงานสะสมเกิดขึ้น นั่นคือ พลังงานลม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วลมยกกำลังสาม โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (1) [Reuss, et al., 1995]

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

เมื่อ W คือ พลังงานลม (W)

- ρ คือ ความหนาแน่นของลม (kg/m³)
- A คือ พื้นที่กวาดของใบพัด (m²)
- V คือ ความเร็วลม (m/s)



รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งกังหันลม

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม
วิเคราะห์โดยใช้สมการที่ (2)

$$C_p = \frac{P}{W} \tag{2}$$

- เมื่อ C_p คือ สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม
- P_a คือ พลังงานที่กังหันลมผลิตได้จริง (W)

ในส่วนของการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของความเร็วลม
ในแต่ละช่วงสามารถดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการแจก
แจงแบบไวบูลล์ ซึ่งเป็นสมการที่ให้ผลการวิเคราะห์แม่นยำ
และใช้กันอย่างแพร่หลาย [Gupta, 1986, Stevens, et
al.,1979, Rehman, et al.,1994] ซึ่งฟังก์ชันการแจกแจง
ความถี่ของความเร็วลม มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3)

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \tag{3}$$

และมีฟังก์ชันการแจกแจงความถี่สะสม ดังสมการที่ (4)

$$F(v) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \tag{4}$$

- เมื่อ f(v) คือ ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่
- F(v) คือ ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่สะสม
- v คือ ความเร็วลม (m/s)

- k คือ พารามิเตอร์รูปร่าง (ไร้หน่วย)
- c คือ พารามิเตอร์ระดับ (m/s)

ค่า k และค่า c หาได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลม
ณ จุดนั้นๆ [Exell, 1981] และในการคำนวณหาพลังงาน
สูงสุดจากกังหันลมในอุดมคติสามารถคำนวณได้จากสมการที่
(5)

$$E_i = (1 - F_c) T \int_0^\infty P_i(v) f(v) dv \tag{5}$$

เมื่อ E_i คือ พลังงานสูงสุดที่กังหันลมในอุดมคติสามารถทำ
ได้(W-h)

- F_c คือ สัดส่วนของช่วงลมสงบ (ไร้หน่วย)
- T คือ เวลาในรอบปี (h)

P_i(v) คือ พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมในอุดมคติ (W)

และหากพิจารณาสมการที่ (5) พบว่าเทอม $\int_0^\infty P_i(v) f(v) dv$ คือ

พลังงานโดยเฉลี่ยที่ผลิตได้จากกังหันลมในอุดมคติ และ F_c
เป็นสัดส่วนของช่วงลมสงบ ซึ่งต้องนำมาพิจารณา เนื่องจาก
f(v) เป็นฟังก์ชันการแจกแจงความถี่เฉพาะช่วงที่ความเร็ว
มากกว่าศูนย์เท่านั้น และในส่วนของพลังงานลมที่ผลิตได้จาก
กังหันลมในอุดมคติ สามารถคำนวณได้จาก ความสัมพันธ์
ตามสมการที่ (6)

$$P_i(v) = \frac{1}{2} C_B \rho A v^3 \tag{6}$$

เมื่อ C_B คือ Betz limit ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.59 และเมื่อแทนค่า
dF(v) = f(v)dv ในสมการที่ (5) สามารถหาคำตอบด้วยวิธีการ
คำนวณเชิงตัวเลขตามสมการที่ (7) [Sorapipatana, 1994]

$$E_i \cong (1 - F_c) T \sum_{i=0}^{i=\infty} \left[0.5(P_i(v_i) + P_i(v_{i+1})) \times (F(v_{i+1}) - F(v_i)) \right] \tag{7}$$

ในทำนองเดียวกัน การคำนวณหาพลังงานที่กังหันลมสามารถ
ผลิตได้จริง สามารถวิเคราะห์โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$E_a = (1 - F_c) T \int_{v_0}^{v_n} P_a(v) f(v) dv \tag{8}$$

เมื่อ E_a คือ ค่าพลังงานที่ผลิตได้จริงจากกังหันลมที่ใช้

ทดสอบ (W-h)

$P_a(v)$ คือ พลังงานที่ผลิตได้จริงจากกังหันลมที่ใช้ทดสอบ (W)

v_o คือ Cut-in speed (m/s)

v_n คือ Cut-out speed (m/s)

ดังนั้นในการประเมินค่าพลังงานที่สามารถผลิตได้จริงในรอบปี สามารถหาค่าโดยประมาณได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (9)

$$E_a \cong (1-F_c)T \sum_{i=0}^{i=n-1} [0.5(P_a(v_i) + P_a(v_{i+1})) \times (F(v_{i+1}) - F(v_i))] \quad (9)$$

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย และระยะเวลาคืนทุน โดยมีข้อมูลและสมมุติฐานในการวิเคราะห์ คือ เงินลงทุนเริ่มในการสร้างระบบกังหันลมซึ่งรวมถึงค่าโครงสร้างและค่าติดตั้ง รวมเป็นเงินลงทุนทั้งหมดเท่ากับ 39,500 บาท ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุนเริ่มต้น มูลค่าซากของระบบเมื่อครบอายุการใช้งานเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุนเริ่มต้น อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากับ 7.5 เปอร์เซ็นต์ ระบบมีอายุการใช้งาน 10 ปี และในการคำนวณระยะคืนทุนกำหนดให้มูลค่าพลังงานต่อหน่วยเท่ากับ 3 บาท

ในส่วนของการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพลังงานจากระบบกังหันลมในงานวิจัยหาได้จากสมการที่ (10)

$$CE = \frac{C_T}{E_a} \quad (10)$$

เมื่อ CE คือ ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh)

C_T คือ เงินลงทุนรายปีที่ทั้งหมด (บาท/ปี)

โดยที่เงินลงทุนรายปีที่ทั้งหมด สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (11)

$$C_T = C_c + C_m - C_s \quad (11)$$

เมื่อ C_c คือเงินลงทุนเริ่มต้นรายปีที่ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (12)

$$C_c = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (12)$$

เมื่อ i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี, เปอร์เซ็นต์

n คือ อายุการใช้งานของเครื่อง, ปี

C_m คือ เงินลงทุนในการบำรุงรักษาประจำปี ซึ่งคำนวณโดยใช้สมการที่ (13)

$$C_m = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times 0.05 \quad (13)$$

C_s คือ มูลค่าซากเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน ซึ่งสามารถคำนวณหามูลค่าซากรายปีได้โดยใช้สมการที่ (14)

$$C_s = 0.1 \times \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (14)$$

ในส่วนของการวิเคราะห์ระยะคืนทุน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้หลักการวิเคราะห์ระยะคืนทุนอย่างง่าย กล่าวคือ สมมุติให้มูลค่าเงินไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นจึงสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น}}{\text{มูลค่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อปี}} \quad (15)$$

3. ผลและวิจารณ์

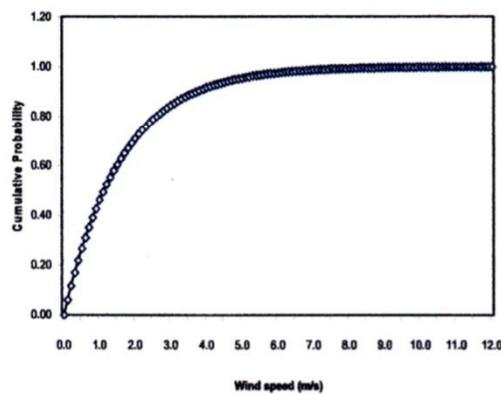
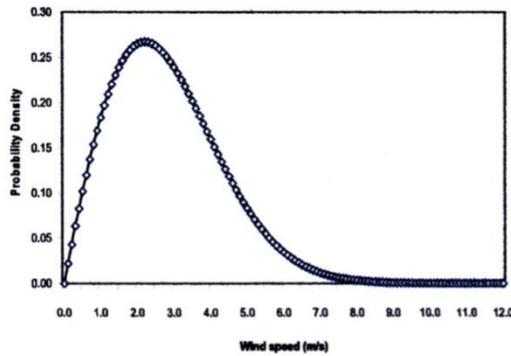
3.1 ผลการประเมินความน่าจะเป็นของความเร็วลม

ผลการวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับความสูง 14 m โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 m เป็นฐานในการประเมิน ซึ่งผลการวิเคราะห์ความถี่ของความเร็วลมตลอดทั้งปี โดยใช้สมการของไวบูลล์ให้ผลลัพธ์ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของไวบูลล์

k	c (m/s)	สัดส่วนช่วงลมสงบ	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
1.96	3.17	0.32	2.85

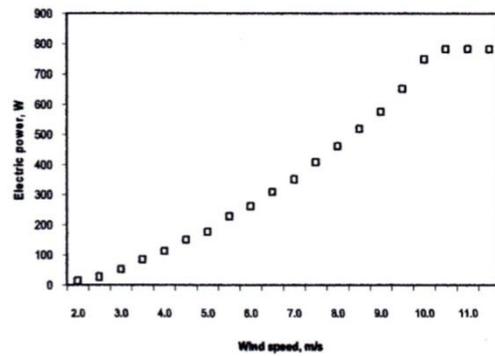
เมื่อนำพารามิเตอร์ที่แสดงในตารางที่ 1 ไปแทนค่าในสมการที่ (3) และ (4) จะได้ผลลัพธ์การแจกแจงความถี่และความถี่สะสมของลม ดังรูปที่ 2 จากกราฟด้านล่างจะสังเกตเห็นว่า การกระจายตัวของความเร็วลมจะมีความหนาแน่นอยู่ในช่วงความเร็วลม 2-3 m/s



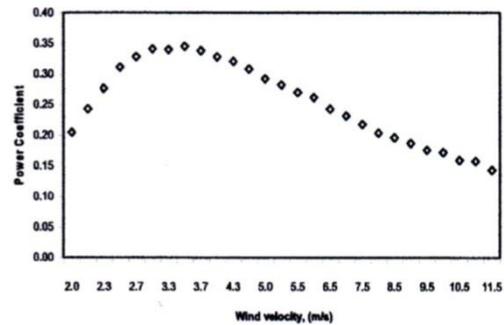
รูปที่ 2 การแจกแจงความถี่และความถี่สะสมของความเร็วลม ที่ความสูง 14 m

3.2 ผลการทดสอบกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า

การทดสอบกังหันลมขณะใช้งานจริงในพื้นที่ตัวอย่างของจังหวัดนครพนม ได้ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละความเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 3 จากรูปที่ 3 พบว่ากังหันลมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นและมีค่าลดลง เมื่อความเร็วลมเท่ากับ 12 m/s ทั้งนี้เนื่องจากได้ออกแบบระบบกังหันลมให้ตัดการทำงานที่ความเร็วลมเท่ากับ 12 m/s นอกจากนี้ผลจากการทดลองยังพบว่า กังหันลมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุดเท่ากับ 785 W ที่ความเร็วลม 11.5 m/s



รูปที่ 3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากกังหันลมในแต่ละความเร็วลม



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพของกังหันลม

รูปที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ในช่วงเริ่มต้นกังหันลมจะมีสัมประสิทธิ์กำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งความเร็วลมเท่ากับ 4.0 m/s สัมประสิทธิ์กำลังกังหันลมจะเริ่มลดลง จากข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า กังหันลมมีสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดเท่ากับ 0.34 ที่ความเร็วลมเท่ากับ 3.5 m/s ซึ่งผลการทดสอบที่ได้สอดคล้องกับการเลือกใบพัดของกังหันลมชนิด NACA 4415 ที่มีประสิทธิภาพการรับลมได้ดีในช่วงความเร็วลมต่ำ

3.3 ผลการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ได้คำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (9) ซึ่งเป็นการคำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยมีค่าสัดส่วนช่วงลมสงบเท่ากับ 0.32 และใช้ข้อมูลจากรูปที่ 2 และ 3 ประกอบการคำนวณ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมตลอดทั้งปี พบว่ามีค่าโดยประมาณเท่ากับ 495 kWh/y

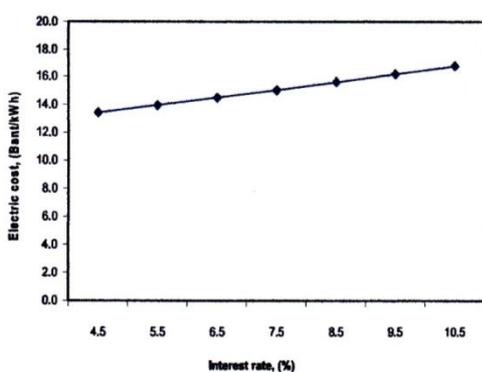
3.4 ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของระบบกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า จากข้อมูลในตารางที่ 2 พบว่าระบบกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้มีต้นทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 15.0 บาทต่อหน่วย โดยมีระยะคืนทุนเท่ากับ 26.60 ปี และหากพิจารณาเพิ่มเติมกรณีใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เปลี่ยนแปลง ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนแปลงไปดังข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 5 โดยเมื่ออัตราดอกเบี้ยเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตพลังงานต่อหน่วยเพิ่มขึ้นตาม และในขณะเดียวกันหากราคามูลค่าพลังงานที่นำมาวิเคราะห์ระยะคืนทุนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นก็จะส่งผลให้ระยะคืนทุนสั้นลง ดังข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ลำดับ	รายการ	จำนวนเงิน
1	เงินลงทุนเริ่มต้นสร้างระบบกังหันลม, บาท	39,500.00
2	มูลค่าต้นทุนกังหันลมรายปี (C _G), บาท/ปี	5,754.59
3	ค่าบำรุงรักษารายปี (C _m), บาท/ปี	1,975.00
4	มูลค่าซากกังหันลมรายปี (C _s), บาท/ปี	279.21
5	ค่าใช้จ่ายรายปีที่หมด(C _r), บาท/ปี, (2)+(3)-(4)	7,450.38
6	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี, kWh/y	495.00
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี, บาท/ปี, 3x(6)	1,485.00
8	ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย, บาท/kWh, (5)/(6)	15.00
9	ระยะคืนทุน*, ปี, (1)/(7)	26.60

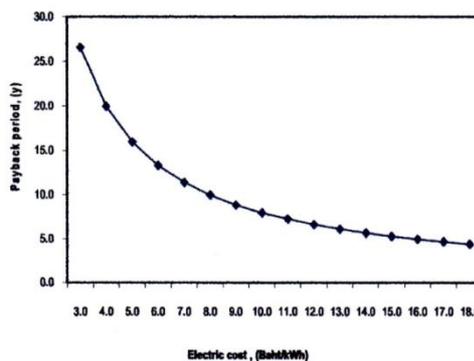
* พิจารณาโดยสมมติให้มูลค่าเงินคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงต้นทุนพลังงานไฟฟ้าตามอัตราดอกเบี้ย

ผลจากการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ระบบมีระยะคืนทุนที่

ค่อนข้างนาน และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6 พบว่า ระบบการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมจะมีความเป็นไปได้ต่อการนำมาประยุกต์ใช้งานก็ต่อเมื่อ ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยต้องมากกว่า 8 บาท เนื่องจาก ถ้าราคาพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าค่านี ระบบจะไม่มี ความเหมาะสมในการลงทุน เพราะระยะคืนทุนมากกว่า 10 ปี ซึ่งมากกว่าอายุการใช้งานจริงของระบบที่สร้างขึ้น



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงระยะคืนทุนตามราคาพลังงานไฟฟ้า

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ ออกแบบ สร้าง และทดสอบกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเขตพื้นที่จังหวัดนครพนม โดยทำการติดตั้ง และทดสอบใช้งานจริง จากการศึกษาพบว่า ความเร็วลมในจังหวัดนครพนม เฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 2.85 m/s ที่ความสูง 14 m ในส่วนของการทดสอบกังหันลมพบว่า กังหันลมเริ่มหมุนที่ความเร็วลม 1.5 m/s และเริ่มผลิตกำลังไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2.0 m/s โดยสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 785 W ที่ความเร็วลม 11.5 m/s และมีสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดเท่ากับ 0.34 ที่ความเร็วลม 3.5 m/s ตามลำดับ กังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 495 kWh/y จากการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่ามีต้นทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 15.0 บาท/หน่วย โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 26.6 ปี นอกจากนี้ยังพบว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมจะน่าสนใจมากยิ่งขึ้นถ้าราคาพลังงานต่อหน่วยมีค่ามากกว่า 8 บาทต่อหน่วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนทุนการศึกษา และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546.

โครงการจัดทำแผนที่แหล่งศักยภาพพลังงานลม.
กระทรวงพลังงาน.

กองพัฒนาพลังงานทดแทน. "พลังงานลม". การไฟฟ้าฝ่าย
ผลิตแห่งประเทศไทย.

กังสดาล สกฤตพงษ์มาลี. 2544. นโยบายด้านงานวิจัย
พลังงานหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี.

ไกลวัลย์ คุรุทกุล. 2551. "ลมพลังงานยั่งยืนแห่งอนาคต". ว.
รักษ์พลังงาน : 12-15.

นิพนธ์ เกตุจ้อย และอชิตพล ศศิธรานุวัฒน์. 2547.
"เทคโนโลยีพลังงานลม," ว. มหาวิทยาลัยนเรศวร : 57-
73.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2551 "พลังงานทดแทน".
ว. นโยบายพลังงาน : 56

Sorapipatana, C., 1994. "A Method for Determining the
Suitability of Commercial Wind Machines for a Given
Wind Regime". **RERIC International Energy
Journal**: 125-134.

Exell, R.H.B. 1981. "The Availability of Wind Energy in
Thailand". **AIT Research Report No. 134**.

Frank, R. Eldridge. 1975. "**Wind Machine National
Technology Information Service**", Department of
Commerce.

Gupta, BK. 1986. "Weibull parameters for annual and
monthly wind speed distributions for five locations in
India". **Solar Energy**: 469-471.

Lysen, E.H. 1982. "Introduction to Wind Energy".
**Amersfoort Steering Committee Wind Energy
Developing Countries**: 310.

Rehman, S., Halawani, T.O. and Husain, T. 1994.
"Weibull parameters for wind speed distribution in
Saudi Arabia. **Solar Energy** : 473-479.

Reuss, R.L., Hoffman, M. J. and Gregorek, G.M.1995.
**Effects Of Surface Roughness and Vortex
Generators on the NACA 4415 Airfoil**. The Ohio
State University Columbus, Ohio.

Siripuekpong, P, Limsawat. W. and Korjedee, T. 2002.
Large wind turbine generator 600 kW. International
Conference on Village Power from Renewable
Energy in Asia, Phitsanulok.

Stevens, M.J.M. and Smulders, P.T. 1979. "The
estimation of the parameters of the Weibull wind
speed distribution for wind energy utilization
purposes". **Wind Engineering** : 132-145.

การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6
5 - 7 พฤษภาคม 2553 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การประเมินศักยภาพและทดสอบกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า: กรณีศึกษาจังหวัดนครพนม Potential Evaluation and Test Wind Turbine for Electricity Generation: Case Study in Nakhonphanom Province

เมืองมนต์ เนตรหาญ¹ นันทวัฒน์ วีระยุทธ และอำไพศักดิ์ ทีบุญมา
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทร 0-4535-3309 E-mail: mu_ang_mon@hotmail.com

Muangmon Nethum¹, Nantawatana Weerayuth and Umphisak Teeboonma
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University
Warinchumrab District, Ubon Ratchathani Province, 34190, Tel: 0-4535-3309, Email: mu_ang_mon@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานลม ออกแบบ สร้างและทดสอบกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเขตพื้นที่จังหวัด นครพนม ในการประเมินศักยภาพพลังงานลมได้ใช้ข้อมูลจากสถานี อุตุนิยมวิทยา นครพนม สำหรับกังหันลมที่ออกแบบในงานวิจัยเป็นชนิด แกนนอน มีขนาดพิกัด ในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 800 วัตต์ ระบบที่ออกแบบเน้นความไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่าย และต้นทุนต่ำ ได้ทำการติดตั้งและทดสอบประสิทธิภาพที่ โรงเรียนวังกระแจะวิทยา อ.ปลาปาก จ. นครพนม ซึ่งลักษณะภูมิประเทศใกล้เคียงกับพื้นที่ ทั่วไปของจังหวัดนครพนม ผลจากการศึกษาพบว่า จังหวัดนครพนมมี ศักยภาพในการผลิตพลังงานจากลม เท่ากับ 2.36 MWh/y ที่ความสูง 14 เมตร ในส่วนของการทดสอบระบบกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าพบว่า กังหันลมเริ่มผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2.0 m/s และมีประสิทธิภาพ สูงสุดเท่ากับ 31 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วลม 4.5 m/s

คำสำคัญ: กังหันลม, ประสิทธิภาพ, ศักยภาพพลังงานลม

ABSTRACT

The purposes of this research were to evaluate wind energy potential, design, construct, and test wind turbine for generate electricity in Nakhonphanom province. To analyze the potential of wind energy, wind data were collected from Nakhonphanom meteorology station for assessment. In this work, Horizontal-Axis Wind Turbine (HAWT) which generates electricity at around 800 W was designed, constructed and tested. Designing concept of turbine was based on three principal advantages, namely, low

cost of investment, simplicity of the system, easiness to maintain, and using domestic materials. Subsequently, wind turbine was installed at Wangkrasae school, Plapak district, Nakhonphanom province for testing its efficiency. At this site, the topography is similar to other regions of Nakhonphanom province. Based on the potential evaluation, wind turbine constructed in this research can yield electric energy of 2.36 MWh/y at height 14 m. Furthermore, it was found from experimental result that cut in of wind turbine system is 2.0 m/s and the maximum efficiency is 31% under wind speed of 4.5 m/s.

Keywords: Wind turbine, efficiency, Wind energy potential

1. บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการด้านพลังงานของโลกยังคงมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เพียงพอกับการเจริญเติบโตด้านต่างๆ รวมทั้งการพัฒนาประเทศอย่างไม่มีการจำกัด เพื่อชิงความได้เปรียบทางการค้าแก่ประเทศตนเองโดยไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นตามมา โดยเฉพาะผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงานจากทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้อย่างหมดไป เช่น ปิโตรเลียม ถ่านหิน แร่ธาตุ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การเกิดภาวะเรือนกระจก ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งเกิดภาวะโลกร้อนตามมา ดังนั้นทุกฝ่ายต้องมาช่วยกันดูแล รักษา และจัดการสิ่งแวดล้อมไม่ให้สูญเสียมากเกินไป สำหรับประเทศไทยต้องนำเข้าเชื้อเพลิงประเภทปิโตรเลียมเป็นจำนวนมาก จึงควรต้องเร่งพัฒนาและส่งเสริมเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน นำองค์ความรู้ที่มีอยู่มาพัฒนาใช้ให้เหมาะสมสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย [1] โดย

การศึกษาหาแหล่งพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล [2] หรือแม้แต่พลังงานลม [3] ที่สามารถหาได้ในประเทศไทย เพื่อพัฒนาไปสู่พลังงานทดแทนที่สะอาดได้ ซึ่งในปัจจุบันต่างประเทศมีการวิจัยและพัฒนาอย่างมากในด้านพลังงานลม แต่ในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย ซึ่งอาจเป็นเพราะประเทศไทย มีศักยภาพพลังงานลมในระดับผิวดินต่ำ [4] เทคโนโลยีกังหันลมในต่างประเทศส่วนใหญ่จะเป็นกังหันลมที่มีขนาดใหญ่ซึ่งไม่เหมาะกับประเทศไทยที่ผ่านมามีนักวิจัยศึกษาถึงพลังงานลมในประเทศไทย พบว่า ประเทศไทยมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยต่ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญของการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม [5] แต่อย่างไรก็ตามยังมีการทดสอบกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า แบบพรอเพลเลอร์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ติดตั้งที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต จ่ายไฟเข้าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ [6,7] ส่วนกังหันลมเพื่อการสูบน้ำที่มีจำหน่ายยังคงมีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ [8] มีบางพื้นที่ที่มีศักยภาพความเร็วลมเพียงพอสำหรับการติดตั้งกังหันลมได้

จากการศึกษารวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่มีการศึกษาและทดลองติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะในเขตจังหวัดนครพนม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพ ออกแบบ สร้าง และทดสอบหาประสิทธิภาพกังหันลม ในพื้นที่จริงซึ่งเป็นพื้นที่ตัวอย่างของจังหวัดนครพนม

2. ทฤษฎี

อากาศเมื่อมีการเคลื่อนที่จะมีพลังงานสะสมเกิดขึ้น นั่นคือ พลังงานลม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วลมยกกำลังสาม หรือเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 1 [9] [10]

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

เมื่อ W = กำลังลม (W)
 ρ = ความหนาแน่นของลม (kg/m^3)
 A = พื้นที่กวาดของใบพัด (m^2)
 V = ความเร็วลม (m/s)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันลม วิเคราะห์โดยใช้สมการที่ 2 [9,10]

$$C_p = \frac{P}{W} \quad (2)$$

เมื่อ C_p = ประสิทธิภาพกังหันลม
 P = กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้

ในส่วนของความน่าจะเป็นของความเร็วลม ในแต่ละช่วงสามารถดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการแจกแจงแบบไวบูลล์ [11,12,13] ซึ่งเป็นสมการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในเขตจังหวัดนครพนม โดยมีความสัมพันธ์

ดังสมการที่ (3)

$$p(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (3)$$

เมื่อ p = ความน่าจะเป็น
 k = พารามิเตอร์รูปร่าง
 c = พารามิเตอร์ระดับ
 V = ความเร็วลม

การประเมินศักยภาพพลังงานลม ซึ่งเป็นขั้นตอนการหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่นำจะผลิตได้จากพลังงานลม ในช่วงความเร็วลมต่าง ๆ โดยสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 4

$$P = \sum [A_i \times B_i] \quad (4)$$

เมื่อ P = พลังงานไฟฟ้าที่ได้ต่อปี (kWh/y)
 A_i = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงความเร็ว (W)
 B_i = ความต่อเนื่องของลมในแต่ละช่วงความเร็วตลอดทั้งปี (h/y)

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

กังหันลมที่ออกแบบ สร้าง และทดสอบ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ เป็นชนิดแกนนอน (HAWT) มีขนาดพิทช์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 800 วัตต์ ในการออกแบบกังหันลม ได้นำข้อมูลความเร็วลมจากอุตุวิทยานครพนม และจากการตรวจวัดในสถานที่ตัวอย่างมาทำการศึกษา เพื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างของกังหันลม โดยพิจารณาออกแบบโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่าย ราคาถูก วัสดุอุปกรณ์หาได้ในประเทศ สำหรับใบกังหัน ได้เลือกใบกังหันรูปแพนอากาศชนิด NACA 4415 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรับลมที่ความเร็วลมต่ำๆ มีค่า Tip speed ratio เท่ากับ 6 จำนวน 3 ใบ เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 2.80 เมตร โครงกังหันทำจากเหล็กที่มีความหนา 9 mm ออกแบบให้มีน้ำหนักเบา แข็งแรง และบำรุงรักษาง่าย ชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าใช้ลวดเบอร์ 17 พันจำนวน 120 รอบ จำนวน 6 ชุด ชุดแม่เหล็กใช้แม่เหล็กชนิด Neodrimime ขนาด 27x25x10 mm นำแม่เหล็กมาวางบนแผ่นเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 255 mm หนา 6 mm และมีชุดทางเสื่อที่ใช้ในการควบคุมกังหันเมื่อลมเปลี่ยนทิศทาง และตัดการทำงานเมื่อความเร็วลมเกิน 12 m/s เพื่อป้องกันความเสียหาย กังหันลมติดตั้งสูงจากพื้นดิน 14 m มีชุดควบคุมการชาร์จ DC ขนาด 24 Volt ชุดเก็บสะสมพลังงาน DC ขนาด 12 Volt 75 Ah 2 ลูก ชุดแปลงกระแสไฟฟ้า DC ขนาด 24 Volt เป็น AC 220 Volt ทำการติดตั้ง ณ โรงเรียนวังชนะเสวริทยา อำเภอปลาปาก จังหวัดนครพนม ดังแสดงในรูปที่ 1 ในการทดลองได้ใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลมพร้อมทั้งวัดทิศทางลม (WIND DATA ACQUISITION SYSTEM) บันทึกข้อมูลความเร็วลมตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีค่าความแม่นยำในการวัดความเร็วลม ± 0.3 m/s และค่าความแม่นยำในการวัดทิศทางลม $\pm 3^\circ$ นอกจากนี้ยังได้บันทึกกำลังไฟฟ้าที่

ผลิตได้ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพกังหันลมตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

การประเมินศักยภาพลมของจังหวัดนครพนม ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดความเร็วลมของอุตุนิยมวิทยาานครพนม ในช่วงระยะเวลา 1 ปี ย้อนหลัง ที่ความสูง 10 m จากนั้นจึงหาค่าความน่าจะเป็นของความเร็วลมที่ความสูง 14 m โดยใช้สมการของ Lysen [12] ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 5

$$\frac{V(z)}{V(z_1)} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} \quad (5)$$

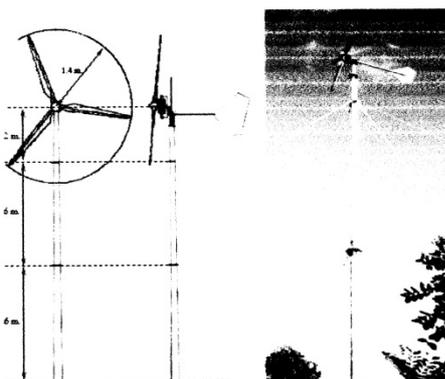
เมื่อ $V(z)$ = ความเร็ว ณ จุดตำแหน่งที่ต้องการหา

$V(z_1)$ = ความเร็ว ณ ตำแหน่งอ้างอิง

z = ระดับความสูง ณ ตำแหน่งที่ต้องการหาความเร็ว

z_0 = ระดับความสูงที่ความเร็วลมเป็นศูนย์

z_1 = ระดับความสูง ณ ตำแหน่งอ้างอิง

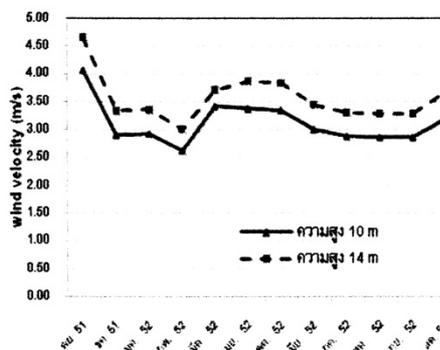


รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งกังหันลม

4. ผลและการวิจารณ์

4.1 ผลการประเมินศักยภาพและความน่าจะเป็น

รูปที่ 2 นำเสนอผลการวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับความสูง 14 m โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 m เป็นฐานในการประเมิน จากรูปที่ 2 พบว่าในเดือนพฤศจิกายนมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 4.1 m/s และในเดือนกุมภาพันธ์ ความเร็วลมต่ำที่สุดเท่ากับ 2.6 m/s ที่ความสูง 10 m และเมื่อหาความน่าจะเป็นที่ความสูง 14 m ในเดือนพฤศจิกายนจะมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 4.7 m/s และในเดือนกุมภาพันธ์จะมีความเร็วลมต่ำที่สุด เท่ากับ 3.0 m/s

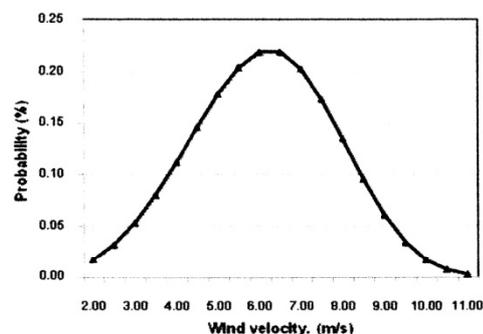


รูปที่ 2 ความเร็วลมเฉลี่ย 1 ปี

ตารางที่ 1 ไบบูร์ลพารามิเตอร์ของจังหวัดนครพนม

ความสูง (m)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	S.D. (m/s)	k	c	$\Gamma(x)$
14	3.57	1.02	3.90	6.74	0.42

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์หาไบบูร์ลพารามิเตอร์ของจังหวัดนครพนม ซึ่งใช้ข้อมูลที่ได้จากรูปที่ 2 เป็นฐานในการประมวลผล และจากข้อมูลในตารางที่ 1 สามารถนำไปวิเคราะห์หาการกระจายสถิติแบบไบบูร์ล [13] เพื่อหาความน่าจะเป็นของลมแต่ละช่วงในจังหวัดนครพนม ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การแจกแจงสมการไบบูร์ลความเร็วลมที่ความสูง 14 m

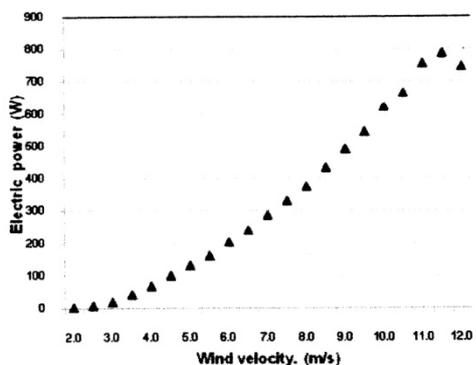
รูปที่ 3 แสดงการแจกแจงตามสมการของไบบูร์ลของความเร็วลมในแต่ละช่วง ผลการวิเคราะห์พบว่าช่วงความเร็วที่มีค่าความน่าจะเป็นสูงที่สุด คือ ช่วงความเร็วลม 6-7 m/s

4.2 ผลการทดสอบกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า

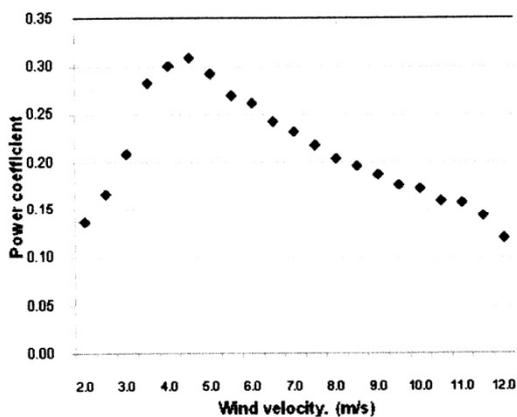
การทดสอบกังหันลมขณะใช้งานจริงในพื้นที่ตัวอย่างของจังหวัดนครพนม ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละความเร็ว มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4 จากข้อมูลพบว่างังหันลม

สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นและมีค่าลดลงเมื่อความเร็วลมเท่ากับ 12 m/s ทั้งนี้เนื่องจากได้ออกแบบระบบกังหันลมให้ตัดการทำงานที่ความเร็วลมเท่ากับ 12 m/s นอกจากนั้น ผลจากการทดลองยังพบว่า กังหันลมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุดเท่ากับ 785 W ที่ความเร็วลม 11.5 m/s

รูปที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพกังหันลม ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ในช่วงเริ่มต้นกังหันลมจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มลดลงที่ความเร็วลมเท่ากับ 5.0 m/s จากข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า กังหันลมมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 31% ที่ความเร็วลมเท่ากับ 4.5 m/s ซึ่งสอดคล้องกับการเลือกใบพัดของกังหันลมชนิด NACA 4415 ที่มีประสิทธิภาพการรับลมได้ดีในช่วงความเร็วลมต่ำ



รูปที่ 4 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพของกังหันลม

4.3 ผลการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ จากการประเมินพบว่า ในช่วงระยะเวลา 1 ปี กังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 2.36 MWh/y โดยในช่วงความเร็วลม 7-8 m/s สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดในรอบปี

ตารางที่ 2 ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมในรอบ

หนึ่งปีของจังหวัดนครพนม

ความเร็วลม (m/s)	ความน่าจะเป็น	ความต่อเนื่องของลม (hr.) [B]	Power (Watt) [A]	Energy (kWh) P=[A]x[B]
2.00-3.00	0.0809376	293.047	20.27	5.940
3.00-4.00	0.1169231	711.622	69.12	49.187
4.00-5.00	0.1409644	1273.624	131.47	167.443
5.00-6.00	0.1479629	1763.167	203.49	358.787
6.00-7.00	0.1375933	1880.478	285.84	537.516
7.00-8.00	0.1143174	1497.757	375.14	561.869
8.00-9.00	0.0851566	849.079	490.53	416.499
9.00-10.00	0.0568304	322.595	619.63	199.890
10.00-11.00	0.0341428	76.58	754.79	57.802
11.00-12.00	0.0183454	10.489	744.82	7.812
รวม				2,362.74

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ประเมินศักยภาพพลังงานลม ออกแบบ สร้าง และทดสอบกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเขตพื้นที่จังหวัดนครพนม โดยทำการติดตั้ง และทดสอบใช้งานจริง จากการศึกษาพบว่า ความเร็วลมในจังหวัดนครพนม เฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 3.57 m/s ที่ความสูง 14 m ในส่วนของการทดสอบกังหันลมพบว่า กังหันลมเริ่มหมุนที่ความเร็วลม 1.5 m/s และเริ่มผลิตกำลังไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2.0 m/s โดยสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุดเท่ากับ 785 W และมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 31% ที่ความเร็วลม 11.5 m/s และ 4.5 m/s ตามลำดับ นอกจากนั้น จากการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าพบว่า กังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 2.36 MWh/y

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนทุนการศึกษา และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, วารสารนโยบายพลังงาน, ฉบับที่ 80, 2551
- [2] นิพนธ์ เกตุจ้อย และอชิตพล ศศิธรานูวัฒน์, "เทคโนโลยีพลังงานลม," วารสารมหาวิทยาลัยนครพนม, หน้า 57-73. 2547.
- [3] Frank, R. Eldridge., "Wind Machine National Technology Information Service", Department of Commerce, 1975.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. โครงการจัดทำแผนที่แหล่งศักยภาพพลังงานลม, กระทรวงพลังงาน, 2546.
- [5] กังสาดล สกอลพงษ์มาลี, นโยบายด้านงานวิจัยพลังงานหมุนเวียน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- [6] กองพัฒนาพลังงานทดแทน, พลังงานลม, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
- [7] Siripuekpong, P., Limsawat, W., & Korjedee, T., "Large wind turbine generator 600 kW", International Conference

- on Village Power from Renewable Energy in Asia, Phitsanulok, 2002.]
- [8] ไกลวัลย์ คุชกุล, สมพลังงานยั่งยืนแห่งอนาคต, วารสารรักษ์พลังงาน : หน้า 12-15.
- [9] Reuss, R.L., Hoffman, M. J. and Gregorek, G.M., "Effects of Surface Roughness and Vortex Generators on the NACA 4415 Airfoil," The Ohio State University Columbus, Ohio, 1995.
- [10] ไกรพัฒน์ จินขจร, "พลังงานหมุนเวียน", พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: พิมพ์ดีดการพิมพ์ จำกัด, หน้า 85-86, 2551.
- [11] Gupta, B.K., "Weibull parameters for annual and monthly wind speed distributions for five locations in India", Solar Energy, Vol. 37, pp. 469-471, 1986.
- [12] Stevens, M.J.M. and Smulders, P.T., "The estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy utilization purposes". Wind Engineering, Vol. 3, pp. 132-145. 1979.
- [13] Rehman, S., Halawani, T.O. and Husain, T., "Weibull parameters for wind speed distribution in Saudi Arabia. Solar Energy, Vol. 53, pp. 473-479. 1994.
- [14] Lysen, E.H., "Introduction to Wind Energy", Amersfoort, Steering Committee Wind Energy Developing Countries", p. 310, 1982.