การออกแบบและทดสอบกังหันลมอัดอากาศขนาด 5 kw
Design and Evaluation of a 5 kW Air Compressor Wind Turbine

วรเชษฐ์ แสงสีดา[1] วิรชัย โรยนรินทร์[2*] ไววิทย์ อุทัยเฉลิม[1] สิริศักดิ์ ปางวุฒิวณิชย์[1]
Worachate Sangsida[1] Wirachai Roynarin[2*] Waiwit Udayachalerm[1] and Sirisak Pangvuthivanich[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
[2] ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
[1]Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110
[2]Research and Service Energy Center RMUTT, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110

*Corresponding author: Tel.: 02-5493497. E-mail address: wirachai_r@rmutt.ac.th

Received: 16 September 2022, Revised: 24 October 2023, Accepted: 17 November 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

This article presents the design and testing of a 5 kW compressed air turbine prototype intended for managing compressed air through wind energy to replace the use of electrical energy from the compressed air system. The design specifications reveal a propeller diameter of 6.5 meters, featuring 4 propellers, with a height of 18 meters from the ground to the center of the propeller.

From the installation of the compressed air wind turbine, it was observed that the turbine produced an average pressure of 5.80 bars, generating an average flow rate of approximately 696.10 liters per minute. This translates to an estimated annual electricity cost savings of around 350,000 Baht. Utilizing wind energy harnessed by the specially designed compressed air turbine, this system is engineered to generate torque efficiently at low wind speeds within the country, serving as a power source for the compressed air system instead of relying on electrical energy from pump motors.

Keywords: Air Compressor Wind Turbine, Low wind speed Wind Turbines, Design of Wind Turbine

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและการทดสอบกังหันลมอัดอากาศขนาด 5 kw เพื่อเป็นต้นแบบในการจัดการระบบอัดอากาศโดยใช้พลังงานลมเป็นแหล่งต้นกำลัง เพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบอัดอากาศ ผลการออกแบบพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด 6.5 เมตร จำนวนใบพัด 4 ใบ ความสูงจากพื้นถึงจุดศูนย์กลางใบพัด 18 เมตร

จากการทดลองติดตั้งกังหันลมอัดอากาศ ทำให้ทราบว่ากังหันลมสามรถมารถสร้างแรงดันเฉลี่ยที่ 5.80 บาร์ สามารถผลิตอากาศอัดเฉลี่ยได้ประมาณ อัตราการไหล 696.10 ลิตร/นาทีคิดเป็นการประหยัดไฟฟ้าได้ ประมาณ 350,000 บาท/ปี การนำจากพลังงานลมที่ได้จากกังหันอัดอากาศซึ่งออกแบบมาเป็นพิเศษให้สามารถสร้างแรงบิดได้อย่างเหมาะสมกับความเร็วลมต่ำในประเทศมาใช้เป็นต้นกำลังในระบบอัดอากาศแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์ปั๊ม

คำสำคัญ: กังหันอัดอากาศ กังหันความเร็วต่ำ การออกแบบกังหันลม

บทนำ

พลังงานลม เป็นพลังงานธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ใช้แล้วไม่มีวันหมดไปจากโลก ซึ่งได้รับความสนใจและนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในขณะเดียวกันกังหันลมก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะในการผลิตกระแสไฟฟ้า และการสูบน้ำ ซึ่งได้นำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย [1, 2]

ปัจจุบันได้มีการออกแบบเพื่อนำกังหันลมที่ออกแบบมาพิเศษแทนการผลิตไฟฟ้า โดยการนำกังหันลมมาใช้ในใช้เป็นต้นกำลังในการการอัดอากาศเพื่อนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือใช้ในการบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานอุตสาหกรรม หรือเติมอากาศลงในบ่อน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ และเพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตในภาคอุตสาหกรรม โดยโรงงานอุตสาหกรรมจะมีระบบอัดอากาศและถังเก็บเดิมอยู่แล้วนำมาใช้ร่วมกันกับระบบอัดอากาศที่ได้จากกังหันลมร่วมกันได้ ดังนั้นกังหันลมอัดอากาศจะถูกนำมาใช้ในการผลิตอากาศอัดควบคู่กับระบบอัดอากาศเดิม โดยการต่อระบบอัดอากาศที่ได้จากกังหันลมอัดอากาศจะต่อขนานกับระบบอัดอากาศเดิม กังหันลมอัดอากาศจะมีการผลิตอากาศอัดค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังนั้นการใช้กังหันลมอัดอากาศจึงเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อขับมอเตอร์ปั๊มในการอัดอากาศเข้าสู่ระบบและถังเก็บ เพื่อเป็นการหาแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการอัดอากาศที่ใช้ภายในโรงงาน และช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตลมอัดของโรงงานอุตสาหกรรมได้ [3]

การออกแบบกังหันลมอัดอากาศใช้หลักการนำพลังงานลมส่งผ่านกำลังไปยังเพลาและส่งผ่านกำลังไปบิดเพลาข้อเหวี่ยงของปั๊มลม ทำให้ลูกสูบมีการเคลื่อนที่และทำการอัดอากาศ ส่งผ่านอากาศอัดเข้าภายในท่อซึ่งปลายท่อต่อกับอุปกรณ์ควบคุมระบบอัดอากาศ เช่น Pressure gauge, Check valve, Relief valve และ Ball vale เป็นต้น และสามารถต่อขนานเข้ากับระบบอัดอากาศเดิมภายในโรงงานอุตสาหกรรมหรือต่อเข้าถังลมภายในโรงงานได้ ในกรณีที่ต้องการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียสามารถนำอากาศอัดต่อขนานเข้ากับระบบบำบัดเดิมหรือต่อตรงเข้าบำบัดน้ำเสีย พื้นที่ที่สามารถติดตั้งกังหันอัดอากาศที่เหมาะสมควรมีความเร็วลมเริ่มต้น 2.5 เมตรต่อวินาที ถึง 30.0 เมตรต่อวินาที และจุดต่อเชื่อมระบบอัดอากาศไม่ควรเกิน 100 เมตรเพื่อลดการสูญเสียแรงดันในระบบอัดอากาศ

วิธีการวิจัย

การออกแบบและทดสอบกังหันอัดอากาศ ขนาด 5.0 kW [4-9]

ขั้นตอนการออกแบบกังหันอัดอากาศ ขนาด 5.0 kW. สามารถแบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

กำหนดเลือกลักษณะของใบกังหันลมเพื่อหา Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio เป็นจุดที่ใบกังหันหมุนทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด Tip Speed Ratio หรือความเร็วปลายใบ สามารถกำหนดได้จากการวิเคราะห์ Computational Fluid Dynamics (CFD) หรือสร้างและทดสอบจริง โดยค่า TSR ที่เหมาะสมเท่ากับ 7

กำหนด Cut in หรือจุดเริ่มต้นการหมุนของใบกังหันลม

โดยการกำหนด Cut-in ของกังหันนั้น จะมีผลอย่างมากต่อการออกแบบระบบส่งกำลังของกังหันอัดอากาศ โดยกังหันขนาดเล็กหรือกังหันความเร็วต่ำ กำหนดให้ Cut in มีความเร็วลม V = 2.5 เมตร/วินาที

กำหนดค่าพลังงานกังหันสูงสุดที่ต้องการออกแบบเพื่อหารัสมีใบกังหัน

ค่าที่ต้องการออกแบบเท่ากับ 5 kW ที่ความเร็วลมใดๆ ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของใบกังหันและประสิทธิภาพรวมของระบบทั้งหมด (C_P) เมื่อ $P = \frac{1}{2}\rho AV^3 C_P$ นั้นคือ C_P ต้องรวมการสูญเสียจากใบกังหันลม จากระบบส่งกำลัง ซึ่งสามารถหาได้จาก $C_{P\,total} = C_{pd} + C_{pd}$ หรือประมาณ 0.35

สามารถหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางกังหันลมได้ดังนี้

$$P = \frac{1}{2}\rho A V^3 C_p \qquad (1)$$

$$5000 = \frac{1}{2} \times 1.225 \times A \times V^3 C_p$$

$$5000 = 0.5 \times 1.255 \times (\pi r^2) \times 9^3 \times 0.35$$

ดังนั้น r คือรัศมีใบกังหันมีค่า r = 3.2 เมตร โดยให้ V = 9 เมตรต่อวินาที

คำนวณรอบการหมุนของกังหันขณะเริ่มหมุน

การคำนวณรอบการหมุนของกังหันขณะเริ่มหมุนสามารถคำนวณได้ดังนี้ [1]

กำหนด TSR = 7, V = 2.5 m/s, r = 3.2 m

$$TRS = \frac{U}{V} = \frac{r\Omega}{V} \quad (2)$$

TRS = อัตราส่วนความเร็วปลายใบ

Ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

R = รัศมีใบกังหัน (m)

V = ความเร็วลม (m/s)

$$7 = \frac{3.2 \times 2\pi N / 60}{2.5}$$
$$N = 52.25 rpm$$

ดังนั้นที่ความเร็วลม 30 เมตรต่อวินาทีจะได้ความเร็วรอบกังหันเท่ากับ

$$TRS = \frac{U}{V} = \frac{r\Omega}{V}$$
$$7 = \frac{3.2 \times 2\pi N / 60}{30.0}$$
$$N = 627 rpm$$

คำนวณปริมาณการจ่ายอากาศของเครื่องอัดอากาศ

สามารถหาขนาดเครื่องอัดอากาศ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

เมื่อ

$$V_{acture} = (\frac{\pi d^2}{4} \times L \times N \times n) \times \eta \quad (3)$$

d = 0.095 m.

L = 0.085 m.

N = 620 rpm.

n = 2 สูบ

η = 0.911

แทนค่า จะได้

$$V_{acture} = (\frac{\pi(0.095)^2}{4} \times 0.085 \times 620 \times 2) \times 0.72$$
$$V_{acture} = 545 \quad l/min$$

นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับปริมาณการอัดอากาศของหัวกังหันอัดอากาศ จะได้หัวกังหันอัดอากาศ SWAN รุ่น SVP 205 5.0 HP (3.75 kW) ที่ให้อัตราการไหล 545 ลิตรต่อนาที ที่ความเร็วรอบ 620 สัมพันธ์กับความเร็วรอบของเพลากังหันอัดอากาศ โดยการออกแบบทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปการออกแบบสามารถออกแบบกังหันอัดอากาศขนาด 5kW

การออกแบบสามารถออกแบบต้นแบบกังหันอัดอากาศขนาด 5kW		
รายการ	**ขนาด**	**หน่วย**
1.เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด	6.5	เมตร
2.จำนวนใบพัด	4	ใบ
3.ความสูงจากพื้นถึงจุดศูนย์กลางใบพัด	18	เมตร
4.เสาชนิดเสาเดี่ยวกลวงความสูง	18	เมตร
5.ขนาดเครื่องอัดอากาศ	5	แรงม้า
6.อัตราการไหลสูงสุด (ที่ความเร็ว 30 เมตร/วินาที)	545	ลิตร/นาที
7.แรงดันอากาศ	7-10	บาร์
8.รอบการทำงานสูงสุด	620	รอบ/นาที

การทดสอบกังหันอัดอากาศ ขนาด 5.0 kW

ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของกังหันลมอัดอากาศ

ทดสอบอัตราการไหลของลมอัด และความดัน ที่ลูกสูบของเครื่องอัดอากาศที่ขับด้วยกังหันลม

ตรวจสอบระบบหลังการติดตั้ง

ทดสอบระบบวาล์วความปลอดภัย (Safety valve)

วัดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้งานร่วมกับกังหันลมอัดอากาศ

วิเคราะห์ข้อมูลการประหยัดพลังงาน

ชุดเครื่องมือวัดผลในการทดสอบการทำงานของกังหันลมอัดอากาศ ดังแสดงใรภาพที่ 1-4

ชุดอุปกรณ์วัดความดัน

ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการไหล

ชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

ชุดอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ

ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์วัดความดัน

ภาพที่ 2 ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการไหล

ภาพที่ 3 ชุดอุปกรณ์อุณหภูมิ

ภาพที่ 4 ชุดอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

หลักการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าสู่ระบบควบคุมพลังงานและความเร็วรอบการหมุนมอเตอร์หมายเลข 1 หลังจากนั้นระบบไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่มอเตอร์หมายเลข 2 เพื่อเป็นต้นกำลังเปรียบเสมือนใบกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆที่แกนมอเตอร์ก็จะส่งกำลังไปขับกับจุดหัวอัดอากาศหมายเลข 3 เพื่อทำการทดสอบการทำงานของหัวอัดอากาศที่จะติดตั้งในแต่ละที่เพื่อมั่นใจในการทนแรงดันและสร้างอัตราการไหลตามที่ออกแบบไว้รวมทั้งปรับวาล์วความปลอดภัยในแต่ละชุดก่อนนำไปติดตั้งใช้งาน

ภาพที่ 5 ระบบการทำงานการอัดอากาศที่รอบทำงานต่างๆ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

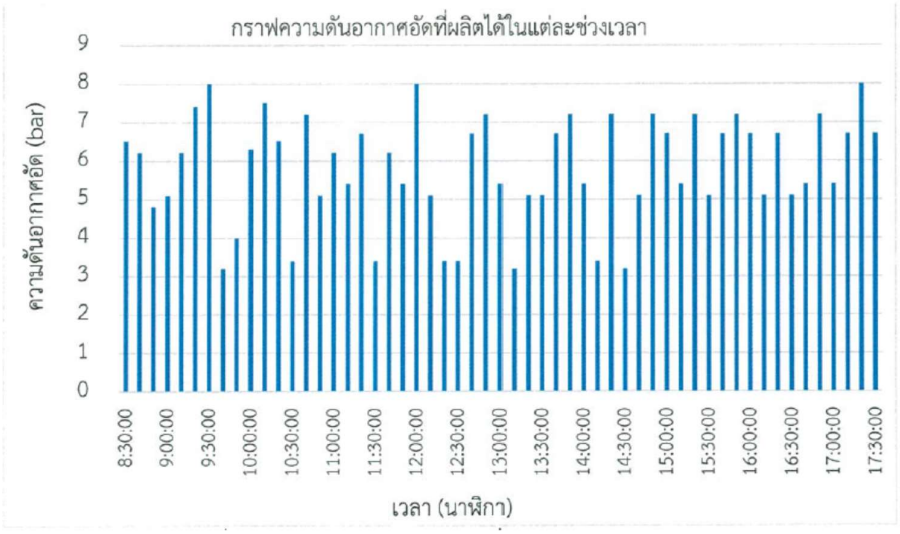
ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศผลทดสอบ พบว่า การทำงานรอบของมอเตอร์ที่สูงขึ้น ตั้งแต่ 100 – 700 rpm สามารถเปรียบเทียบความเร็วลมที่ 2.5 – 9 m/s สามารถสร้างแรงดัน ตั้งแต่ 3 – 5 bar อัตราการไหล 38 – 1654 ลิตร/นาที

ตารางที่ 2 การทำสอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

รอบการทำงานของมอเตอร์ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	แรงดัน (Bar) ระบบเปิด	อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที)	อุณหภูมิอากาศ C^0	กำลังไฟฟ้า (watt)
100	2.5	3.2	38	25.2	127.3
200	4	4.1	145	25.2	521.3
300	5	4.8	284	26.4	1016
400	6	5.1	490	27.1	1756.3
500	7	6.2	780	29.2	2788.9
600	8	7.4	1162	32.5	4163.2
700	9	8 safety release	1654	38.4	5925

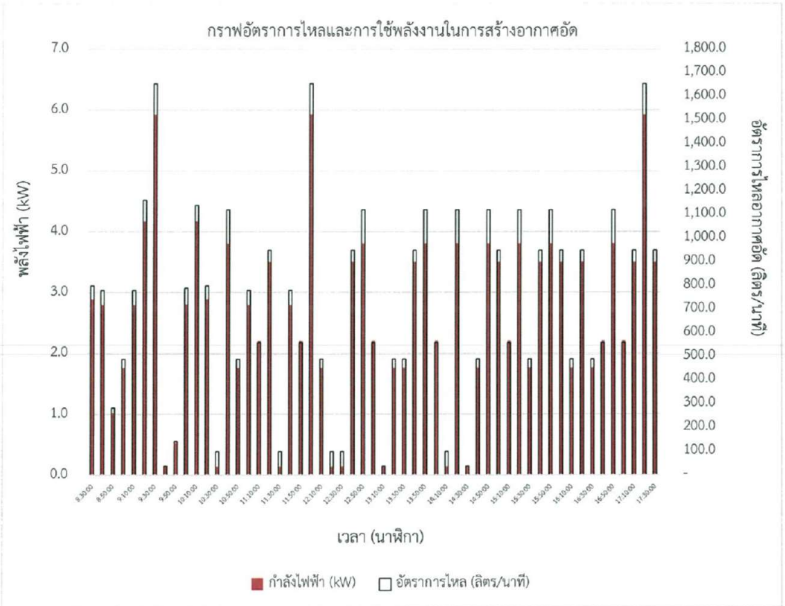
หมายเหตุ : การทำงานของใบกังหันลมที่นำมาเทียบรอบมอเตอร์ได้จากการออกแบบตามอัตราความเร็วปลายไป (TSR)



ภาพที่ 6 ความดันอากาศอัดที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา

การตรวจวิเคราะห์กังหันลมอัดอากาศ

การตรวจวิเคราะห์กังหันลมอัดอากาศที่ใช้งานจริง โดยทำการวัดปริมาณอากาศและความดัน อากาศอัดที่ผลิตได้ที่พื้นที่ติดตั้งจริง โดยการเปรียบเทียบความดันที่เกิดขึ้นและบันทึกค่าความดันในทุกๆ 10 นาที เพื่อทำการบันทึกค่าความดันเกจน์ ที่ติดตั้งบริเวณโคนเสากังหันลมในแต่ละต้นและนำมาเปรียบเทียบกับค่าความดันและอุณหภูมิของอากาศอัด เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับการใช้กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้เป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ทั้งนี้ความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ที่มีลมเฉลี่ยแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามการเก็บค่าเป็นการตัวเฉลี่ยจากความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จากข้อมูลลมเฉลี่ยในพื้นที่นั้นๆ มาวิเคราะห์ร่วมกัน [2]



ภาพที่ 7 อัตราการไหลของอากาศอัดและการใช้พลังงาน

จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นได้ว่ากังหันลมอัดอากาศสามารถสร้างอากาศอัดได้ตลอดเวลา ซึ่งแต่ละช่วงเวลานั้นจะผลิตได้ที่ความดันแตกต่างกันโดยที่ความดันสูงสุดที่ทำได้คือ 8 บาร์ และต่ำสุดที่ 3.2 บาร์ และมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 8.30 น. ถึง 17.30 น. ที่ความดัน 5.80 บาร์ และเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับอัตราการไหลไฟฟ้าและเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้า

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นได้ว่ากังหันลมอัดอากาศนี้สามารถสร้างอากาศอัดที่มีอัตราการผลิตได้ตลอดเวลา ซึ่งแต่ละช่วงเวลานั้นจะผลิตได้ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน โดยที่อัตราการไหลสูงสุดที่ทำได้คือ 1,654 ลิตร/นาที และต่ำสุดที่ 38 ลิตร/นาที และมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 8.30 น. ถึง 17.30 น. ที่อัตราการไหล 696.10 ลิตร/นาที

ผลการคำนวณผลประหยัดพลังงาน

ผลการทดสอบการใช้งานจริงทำให้เห็นว่าในเฉลี่ยแต่ละวันในการทดสอบและบันทึกค่าแรงดันเฉลี่ยทำงานที่ 5.8 บาร์ มีอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่การใช้งานจริงที่เฉลี่ย 0.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หากคิดการทำงานในระบบการผลิตอากาศอัด 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้ไฟฟ้าประมาณ 0.19 หน่วยไฟฟ้าดังนั้น หากการทำงานจริงในการวัดจะได้คิดเป็นค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาทตลอดโครงการจะได้การประหยัดไฟฟ้าดังนี้

อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่การใช้งานจริงที่เฉลี่ย = 0.7 m/min
ใช้ไฟฟ้าประมาณ = 0.19 kWh/m
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย = 5.0 บาท/kWh
จำนวนการทำงาน = 365 วัน/ปี
คิดเป็นการประหยัดไฟฟ้าได้ปี 0.7 m/min x 0.19 kWh/m x 60 min/hr x 24 hr/วัน x 5 บาท/kWh x 365 วัน/ปี คิดเป็นการประหยัดไฟฟ้าได้ปีละประมาณ = 350,000 บาท/ปี

ในการทำงานจริงกังหันสามารถทำงานได้ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืนซึ่งสามารถนำลมอัดเก็บไว้ในถังที่มีขนาดใหญ่และสามารถนำไปเติมออกซิเจนในบ่อบำบัดน้ำหรืองานอื่นได้ตามต้องการในการบริหารจัดการ ดังนั้นในการทำงานจริงในการบริหารที่ถูกต้องกังหันลมอัดอากาศสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า ช่วยลดการปล่อย CO_2 และยังช่วยยืดอายุการใช้งานของปั๊มลมไฟฟ้าอีกด้วย

จากการคำนวณผลประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นของกังหันลมอัดอากาศดังกล่าวพบว่าการผลิตอากาศอัดที่ความดัน 5.8 บาร์ ที่อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับอัตราการผลิตอากาศที่ 0.19 kWh/m ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี และกังหันลมอัดอากาศดังกล่าวสามารถประหยัดไฟฟ้าได้ปีละประมาณ 350,000 บาท/ปี ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสถาวะของอากาศในแต่ละวัน ซึ่งในการประมาณการนี้พิจารณาการทำงานของกังหันลมอัดอากาศได้ตลอดทั้งวัน

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบพบว่า การทำงานระบบกังหันลมอัดอากาศขนาด 5 กิโลวัตต์ สามารถสร้างความดันสูงสุด ได้ที่ 8 บาร์ (ทั้งนี้ตั้งระบบความปลอดภัยของวาล์วควบคุมไว้ที่ 8 บาร์) และมีอัตราการไหลของอากาศอัดสูงสุดได้ ที่ 1,654 ลิตร/นาที และเมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับเครื่องอัดอากาศที่ใช้กำลังไฟฟ้า โดยการเทียบการผลิต อากาศอัด 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้ไฟฟ้าประมาณ 0.19 หน่วยไฟฟ้า พบว่าการผลิตอากาศอัดที่ความดัน 5.8 บาร์ ที่อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับอัตราการผลิตอากาศที่ 0.19 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี และกังหันลมอัดอากาศดังกล่าว สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ปีละประมาณ 350,000 บาท/ปี ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสถาวะของมวลอากาศในแต่ละวัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบพระคุณบุคลากรทุกท่าน ในทีงานกังหันอัดอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญญบุรี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานในครั้งนี้ ให้สำเร็จไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กองพัฒนาพลังงานทดแทนฝ่ายพัฒนาและแผนโรงไฟฟ้า, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. **พลังงานลม** สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2565 จาก https://www.egat.co.th/home/renewables/

[2] Wirachai, Roynarin, PhD; (2005), **Wind Energy in Thailand, Potential, Current Status and Future**. RMUTT, Thailand, Retrieved on February 10, 2007. From http://stweb.ait.ac.th/~wind/seminar/julyseminar.php

[3] Wirachai Roynarin, (2011). "Wind Machine for Wastewater Treatment", **The Second TSME Confereence on Mechaniccal Engineering**. 19-21 October, 2011, Krabi

[4] Wirachai Roynarin, (2010). "Designing of 100 KW Micro Wind Farm for Low Wind Speed Zone", **The First TSME International Conference on Mechanical Engineering**. 20-22 October, 2010, Ubon Ratchathani

[5] วิรชัย โรยนรินทร์, สรพงษ์ ภวสุปรีย์, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. (2554). **การออกแบบและสร้างต้นแบบการผลิตแรงลมอัดด้วยกังหันลมความเร็วต่ำสำหรับบำบัดน้ำเสีย**, แบบเสนอโครงการวิจัย (Research Project) ประกอบการเสนอของบประมาณของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2554. สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.

[6] วิรชัย โรยนรินทร์, อภิชาต ไชยขันธ์ และ ภาณุ ประทุมนพรัตน์ (2556). "การออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 10 กิโลวัตต์เข้าสู่สายส่ง, Design of 10 kW Wind Machine fir Grid Connected System", ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9**, วันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556 ณ จังหวัดนครนายก.

[7] วิรชัย โรยนรินทร์, สว่าง ชาติทอง และ ศิลปชัย เพิ่มพูล. "กังหันลมชนิดผลิตไฟฟ้าชนิด 2 ชุดโรเตอร์บนเสาเดี่ยวขนาด 2 กิโลวัตต์", ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7**, วันที่ 3-5 พฤษภาคม 2554 ณ โรงแรม Phuket Orchid Resort and Spa จังหวัดภูเก็ต.

[8] วิรชัย โรยนรินทร์. (2548). การออกแบบกังหันลม. **วารสารวิศวกรรมราชมงคล**. 3 (5).

[9] สว่าง ชาติทอง, วิรชัย โรยนรินทร์. (2553). "การออกแบบระบบทางกลสำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์, Machanical Design Systems of 20 kW Wind Machine", ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6**, วันที่ 5-7 พฤษภาคม 2553 ณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.