



การศึกษาระบบผลิตออกซิเจนด้วยกังหันลมแบบหลายใบ โดยใช้หลักการเก็บพลังงานด้วยการอัดอากาศ

The Study of Oxygen Production System with Multi-Blades Wind Turbine Using the Energy Storage in Compressed Air

วสันต์ พลาชัย¹, พลากร พรหมเมศรี¹

Wasan Palasai¹, Palakorn Prommet¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาระบบอัดอากาศด้วยกังหันลมแบบหลายใบที่ความเร็วลมต่ำเพื่อใช้สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อหาความเร็วลมในพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับระบบอัดอากาศ, หาอัตราการไหลของอากาศภายในท่อขณะกำลังอัดอากาศและหาความดันของอากาศภายในถังอัดขณะที่มีการอัดอากาศ ในการทดลองระบบอัดอากาศจะมีต้นกำลังในการอัดอากาศจากคอมเพรสเซอร์ต่อเฟืองขับกังหันลมที่แกนใบ โดยการทดลองการอัดอากาศจะประกอบด้วยเครื่องมือวัด (1) Pressure Transmitter เพื่อบันทึกความดันในถังเก็บลม (2) Air Flow Transmitter เพื่อดูการไหลภายในท่อ (3) Anemometer เพื่อวัดความเร็วลมขณะทำการทดลอง (4) Data Logger เพื่อบันทึกข้อมูลแต่ละช่วงเวลา ผลจากการทดลองวัดความเร็วลมในพื้นที่จริงได้ค่าเฉลี่ยที่ 3 m/s, อัตราการไหลภายในท่อบริเวณสูงสุดไม่เกิน 3 m³/s และความดันภายในถัง 5 bar ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลที่ได้จากการทดลองนั้นเหมาะสำหรับการผลิตออกซิเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้กังหันลมแบบหลายใบ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกของการอนุรักษ์พลังงานที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากวิธีการแบบเดิมในการผลิตออกซิเจนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง, ระบบผลิตออกซิเจนโดยใช้กังหันลมแบบหลายใบสำหรับการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์เพื่ออัดอากาศเป็นต้นแบบสำหรับการนำไปใช้จริง เพื่อลดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนและรวมถึงสามารถนำความรู้และหลักการที่ได้เผยแพร่แก่ชุมชนหรือองค์กรต่างๆที่เกี่ยวข้องได้ต่อไป

คำสำคัญ: กังหันลมแบบหลายใบ อัดอากาศ ความเร็วลมต่ำ

Abstract

This study is working on compressed air systems for multiple wind turbines at low wind speeds for aquaculture pond to find the wind speed in the appropriate area for the compressed air system, flow rate of air inside and determine the pressure of the air inside the compressed air tank while compressed. In the compressed air system, compressed air is compressed from the compressor to the wind turbine sprocket. The compressed air test consists of (1) Pressure Transmitter to record the pressure in the air tank. (2) Air Flow Transmitter to monitor the flow inside the pipe. (3) Anemometer to measure wind speed while testing. (4) Data Logger to record each time period. The results of the actual wind speed measurements in the area were 3 m/s, maximum internal flow rate were 3 m³/s and the pressure within the tank was 5 bar. Which shows that the results of the experiments are suitable for the production of oxygen in multi-turbine aquaculture pond. This is another option of energy conservation that can save energy from the traditional way of producing oxygen

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹ Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

by using electric motors. Oxygen production system using multi-blade wind turbine to drive compressor for compressed air is a model for practical application to reduce the electricity bill each month and also to bring the knowledge and principles to the community or organizations concerned.

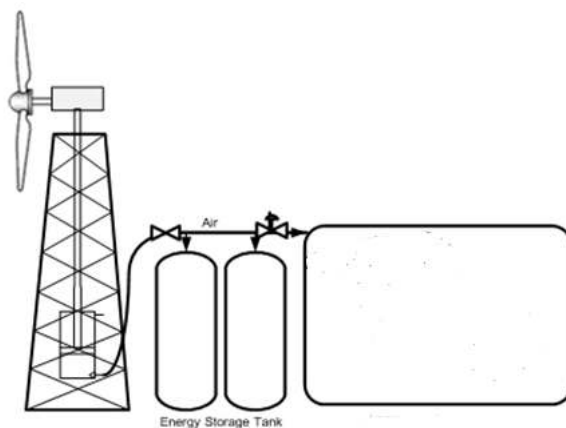
Keywords: Multi- blades wind turbine, Compressed air, Low wind speed

บทนำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยนั้นสามารถให้ผลผลิตสัตว์น้ำเศรษฐกิจสำคัญ เช่น กุ้งและปลา ได้ในปริมาณสูงและมีคุณภาพดี จนกลายเป็นสินค้าส่งออก ซึ่งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องคำนึงถึง และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำและการเติบโตของสัตว์น้ำบ่อเพาะเลี้ยง โดยที่ออกซิเจนจะถูกสัตว์น้ำนำไปใช้กระบวนการหายใจ และจุลินทรีย์ในกลุ่ม aerobic จะนำไปใช้ในกระบวนการย่อยของเสียอินทรีย์จึงส่งผลให้น้ำในบ่อมีคุณภาพดี

โดยทั่วไปแล้ว กระบวนการเติมอากาศจะเกิดขึ้นจากการแพร่หรือการใช้เครื่องเติมอากาศซึ่งการสัมผัสกันระหว่างน้ำ (ของเหลว) และอากาศ (ก๊าซ) Hongprasith et al., (2012) เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการถ่ายโอนออกซิเจนเพราะก๊าซจะสามารถถ่ายเทไปสู่ของเหลวได้ ดังนั้น ขนาดของฟองอากาศที่เติมเข้าไปสู่อบ่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำก็มีส่วนต่อประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน โดยที่ฟองอากาศขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสน้ำสูงกว่าฟองขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ยังมีอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเติมอากาศ เช่น แรงดันอากาศ (air pressure) แรงดันน้ำ (hydrostatical pressure) และความเค็ม (salt content) ธรรมชาติ ภาสบุตร และปฐมาภรณ์ ศรีผดุงธรรม, โครงสร้างและการทำงานของกังหันช่วยเติมอากาศแบบใบพัดที่ใช้ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำการทำงานของกังหันช่วยเติมอากาศแบบใบพัดจะมีข้อเสียในด้านพลังงานในขณะที่ต้องการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในบ่อ โดยต้องมีการเพิ่มจำนวนของใบพัดกังหันให้มากขึ้นหากต้องการปริมาณออกซิเจนในปริมาณสูง โดยจะส่งผลในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการเพิ่มปริมาณของใบพัดและพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องเพิ่มมากขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบวิธีการเติมอากาศภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยประยุกต์การทำงานของกังหันลมแบบหลายใบตามหลักการอากาศอัด โดยการทำงานเริ่มจากการอัดลมเข้าไปในถังอัดอากาศที่ได้รับอากาศอัดจากปั๊มกระบอกสูบชนิดลูกสูบจากตัวกังหันลมแบบหลายใบ จากนั้น นำลมที่ได้จากถังเก็บลมจ่ายตามท่อนำเข้าไปยังบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งความดันที่ได้จากถังอัดอากาศจะมีค่าความดันสูงสุดไม่เกิน 7 บาร์ วิธีการนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเติมอากาศภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบการเพิ่มออกซิเจนในน้ำด้วยพลังงานลมโดยหลักการอัดอากาศ



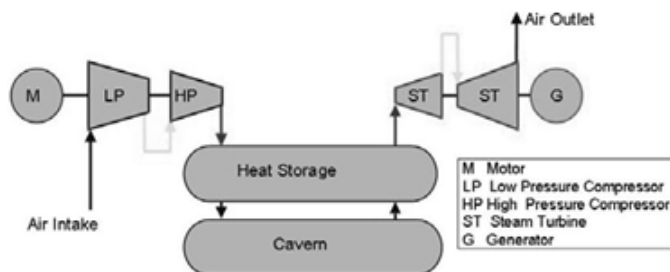
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างต้นแบบระบบผลิตออกซิเจนด้วยกังหันลมแบบหลายใบ โดยใช้หลักการเก็บพลังงานด้วยการอัดอากาศ

ระเบียบวิธีวิจัย

1. หลักการทำงานและการวิเคราะห์

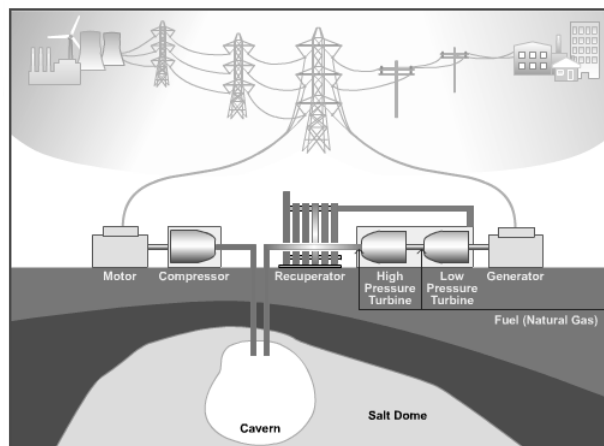
Zunft, Jakiel, Koller & Bullough (2006) นำเสนอแนวคิดการใช้ Adiabatic CAES ร่วมกับพลังงานลมโดยติดตั้งถังเก็บความร้อนไว้ระหว่างกระบวนการเก็บอากาศอัดและกระบวนการขยายตัวอากาศอัดเพื่อผลิตไฟฟ้า เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้การเผาไหม้ในระบบ แสดงดังภาพที่ 2 โดยระหว่างการอัดพลังงานความร้อนในอากาศอัดจะถูกดึงออกและเก็บสะสมไว้ที่ถังเก็บความร้อน เมื่อต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าอากาศอัดและความร้อนจะถูกผสมกันอีกครั้งและขยายตัวผ่านทาง Air Turbine ทำให้ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูง ถึง 70%



ภาพที่ 2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยการใช้ CAES ร่วมกับ พลังงานลม

Ridge & Grid (2005) ได้อธิบายระบบการผลิตไฟฟ้าโดยใช้หลักการการเก็บพลังงานในรูปอากาศอัด (Compressed Air Energy Storage System, CAES) แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นการปรับปรุงระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยการใช้แก๊สเทอร์ไบน์ร่วมกับการอัดอากาศ อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวยังต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้และ 2 ใน 3 ส่วนของพลังงานที่ผลิตออกไปจะถูกใช้สำหรับการอัดอากาศ การทำงานของระบบ CAES จะแยกกระบวนการสันดาปและการผลิตไฟฟ้าออกจากกระบวนการอัดอากาศ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าด้วย CAES นั้นจะเก็บพลังงานในรูปของอากาศอัดไว้ใต้ดินหรือในถ้ำหรืออุโมงค์ ซึ่งจะถูกอัดเก็บไว้ในช่วงออฟพีคและจะถูกนำมาใช้ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้ามากหรือช่วงพีคโหลดโดยการผลิตไฟฟ้าร่วมกันระหว่าง Turbo-Generator กับ Gas Turbine

อย่างไรก็ตามระบบนี้เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าในพิกัดกำลัง MW-GW และต้องการพื้นที่ที่เหมาะสมในการเก็บ เช่น ถ้ำใต้ดินหรือเหมืองเก่า ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ในการจัดสร้าง ซึ่งไม่เหมาะสำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับประเทศไทย



ภาพที่ 3 ระบบการเก็บพลังงานเพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยการ CAES

Joselin et al., (2007) ได้ทำการรวบรวมบทความและงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลม จำนวน 225 บทความ โดยได้ทำการศึกษเกี่ยวกับแบบจำลองการประเมินหาค่าศักยภาพพลังงานลม แบบจำลองการเลือกสถานที่ตั้ง แบบจำลองการประเมินหาความสำเร็จและความน่าเชื่อถือ อีกทั้งยังได้รวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบของกังหันลม เช่น ใบพัด ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลง นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาระบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายเทคนิคการออกแบบระบบ และ ปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งได้สรุปเป็นประเด็นที่สำคัญดังนี้

- ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณพลังงานที่ได้ คือ การเลือกสถานที่ตั้ง ความสูงของเสา การเลือกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความเร็วลม และศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งตัวแปรต่างๆเหล่านี้จะถูกนำมาเป็น Objective Function ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

- แบบจำลองของ Weibull, Rayleigh Distribution และ Markov Chain เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมในการทำนายข้อมูลความเร็วลมและข้อมูลที่ได้จากการวัดในแต่ละสถานที่ตั้งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- กระบวนการที่ได้จากการทดลองและทฤษฎี จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การสั่นของกังหันลม และใช้ Rain Flow Counting, linear Goodman Fit และ Minor Summation ในการทำนายอายุการใช้งานของใบพัด

- Aeroacoustic Test ใช้ในการหาสัญญาณรบกวนใน Aerofoil

- Computer-base Supervisory ใช้ในการควบคุมการทำงานของกังหันลม

- การชดเชยกำลังรีแอกทีฟเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบ และ Parato Analysis และ Simulation Model ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

- แบบจำลอง Wind Field เป็นแบบจำลองที่สำคัญในการวิเคราะห์โครงสร้างของกังหันลม

- ทฤษฎี Aerodynamic Modeling ของการเคลื่อนที่ของใบพัด เป็นเครื่องมือสำหรับการหา Aerodynamic Forces ที่กระทำกับใบพัดบนโรเตอร์

- การออกแบบระบบควบคุมควรพัฒนาไปพร้อมกับการปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตกังหันซึ่งจะต้องสอดคล้องกันกับพิกัดกำลังที่ผลิตได้ที่ราคาเหมาะสม



ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้อุตสาหกรรมการผลิตกังหันลมได้ใช้เป็นส่วนช่วยในการตัดสินใจพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตและขยายตลาด ทุกภาคส่วนจำเป็นจะต้องหาเทคนิคใหม่ในการช่วยประเมินหาความน่าเชื่อถือและเสถียรภาพของระบบฯ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ซึ่งข้อดีของระบบฯดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังนี้

- สามารถอัดอากาศได้ในทุกย่านของความเร็วลม (No Cut In Speed)
- การเก็บพลังงานลมในรูปแบบการอัดอากาศ มีต้นทุนของระบบการเก็บพลังงานที่ถูกกว่าและมีอายุการใช้งานที่นานกว่า ซึ่งมีอายุการใช้งาน 20-30 ปี ขณะที่ระบบที่ใช้พลังงานรูปแบบอื่นจะมีอายุการใช้งานอยู่ที่สั้นกว่าและมีราคาแพง
- ประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบการอัดอากาศในทางทฤษฎีมีค่าเกือบ 100% (Ideal Isothermal Process)
- ส่วนประกอบของระบบฯทุกส่วนสามารถจัดสร้างขึ้นเองโดยใช้เทคโนโลยีและจัดหาได้ภายในประเทศ ทำให้ต้นทุนในการผลิตมีราคาต่ำ ง่ายต่อการบำรุงรักษา

2. การวิเคราะห์ระบบอัดอากาศ

คอมเพรสเซอร์ให้ปริมาณของของเหลวที่มีความดันเฉพาะ คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบเป็นอุปกรณ์ที่ที่บีบอัด ลูกลูกเคลื่อนที่เข้าสู่ซึ่งยังมีความแข็งแรงช่วยให้อัตราของอากาศคงที่ ตามกฎของ Boyle ความดันของก๊าซมีสัดส่วนผกผันกับปริมาตร ดังนั้นการลดปริมาตรของอากาศจะเพิ่มความดันของก๊าซ อย่างไรก็ตามเพื่อเคลื่อนย้ายลูกสูบคอมเพรสเซอร์จะต้องได้รับการป้อนข้อมูลจากงาน ปริมาณของงานจำเป็นจะต้องเกี่ยวข้องกับแรงที่ลูกสูบและระยะทางที่เคลื่อนที่ ดังนั้นในขณะใดๆ ระหว่างการบีบอัดมวลหน่วยของก๊าซแสดง

$$W = \int PdV$$

เมื่อ dV คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรเล็ก ๆ ของกระบวนการบีบอัดทั้งหมด

การบีบอัดอย่างต่อเนื่องของการไหลผ่านของก๊าซทฤษฎีอุณหพลศาสตร์แสดงให้เห็นว่าสำหรับกระบวนการกลับภายในภายในงาน (w) ที่จำเป็นในการบีบอัดหน่วยมวลคงที่ของก๊าซจะได้นี้สมการ

$$W = \int_1^2 v dP$$

Where: w = specific work (kJ/kg)

$v = V/m$ = specific volume of the gas (m^3/kg)

P = pressure of the gas (N/m^2)

สมการแสดงให้เห็นงานที่ใช้ในการอัดก๊าซขึ้นอยู่กับปริมาตรที่เฉพาะเจาะจง ปริมาตรก๊าซเฉพาะที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้งานป้อนข้อมูลขั้นต่ำสำหรับการบีบอัดอุณหภูมิของก๊าซยังไม่เพิ่มขึ้น สามารถทำได้เฉพาะเมื่อความร้อนถูกดึงออกจากของเหลวตลอดเวลา

อุณหภูมิของก๊าซที่เพิ่มขึ้นการบีบอัดจำเป็นต้องใช้ปริมาณความร้อนที่ปล่อยก๊าซผ่านผนังกระบอกสูบ ในกรณีที่ถึงเป็นฉนวนที่สมบูรณ์แบบที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนและให้กระบวนการอะเดียแบติก สำหรับคอมเพรสเซอร์จริงส่วนใหญ่จะเป็นการถ่ายเทความร้อนบางส่วนและให้กระบวนการโพลีโทรปที่ต้องใช้กระบวนการทางความร้อน

$$m \int_1^2 v dP = mRT_1 \int \left(\frac{1}{P}\right) dP = mRT_1 \ln \left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

Mechanical Speed, Torque and Shaft Power Speed

Compressor Speed = 0.5 × Dynamometer Speed



$$N_c = \frac{ND}{2} \quad (1)$$

กำลังบิดและเพล

ไทรฟ์มอเตอร์ จะคำนวณและแสดงกำลังเพลทางกลที่เครื่องวัดการลั่นสะท้อน วัดแรงบิดและคูณด้วยความเร็วดังนี้

$$\text{Shaft power} = \text{Torque} \times \text{speed}$$

Where speed = radians per second, or

$$\text{Shaft power} = (\text{Torque} \times 2\pi \times \text{speed}) / 60$$

Where speed = Rev.min⁻¹

Airflow through the orifice - Volumetric Flow

ความกดดันด้านต้นและปลายด้านของแผ่นปากช่วยในการคำนวณ อัตราการไหลของอากาศผ่านคอมเพรสเซอร์ สมการที่ 2 ให้อัตราการไหลของอากาศเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (ปริมาตรไหล)

$$Q_v = C_d A_1 \left\{ \frac{2\Delta p_1}{\rho \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ความหนาแน่นของอากาศ

$$\rho = \frac{P_o}{R_{air} T_3} \quad (3)$$

Where P_o = pressure before orifice at temperature T_3 = (atmospheric + pressure drop across orifice) = $p_4 + \Delta_{p1}$

อัตราการไหลของมวลเพื่อคำนวณมวลส่วนใหญ่ของมวลอากาศ คือ การไหลปริมาตรคูณด้วยความหนาแน่นของอากาศ

$$Q_m = \rho Q_v \quad (4)$$

ประสิทธิภาพปริมาตร (η_v)

ปริมาตรอากาศเป็นอัตราส่วนของการไหลของอากาศที่แท้จริงของคอมเพรสเซอร์ที่ดันออกไปในช่วงเวลาหนึ่งๆ (หรือรอบ) กับปริมาตรทางทฤษฎีของอากาศที่ควรเคลื่อนย้าย

$$\eta_v = \frac{\text{Actual Volume}}{\text{Theoretical (Swept) Volume}} \quad (5)$$

$$\eta_v = \frac{Q_v}{N_c \times V_s} (\times 100)$$

Where: Q_v = litres per minute (because N_c is in rev. min⁻¹)

ประสิทธิภาพเชิงกลเป็นอัตราส่วนของกำลังที่แท้จริงที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในการบีบอัดอากาศกับกำลังเพาเวอร์แอ็คเชสพอยต์เข้าที่เข้ากับคอมเพรสเซอร์ จะช่วยให้การสูญเสียพลังงาน

$$\eta_m = \frac{\text{Shaft Power} - \text{Mechanical Power Losses}}{\text{Shaft Power}} (\times 100)$$

$$\eta_m = \frac{W_p - W_L}{W_p} (\times 100) \quad (6)$$



การสูญเสียพลังงานมีสองประการคือความสูญเสียทางกลไก

$$W_L = \text{Mechanical Power} + \text{Heat Losses} \quad (7)$$

แรงบิดสูญเสียทางกล (วัดเมื่อคอมเพรสเซอร์ไม่ทำงาน) และคูณด้วยความเร็วเพลาดิโนโมมิเตอร์ที่ทดสอบเพื่อหา
ค่าความสูญเสียทางกล

$$\text{Mechanical Power Losses} = \text{Mechanical Loss Torque} \times 2\pi \times N/60 \quad (8)$$

เป็นแรงบิดที่จำเป็นในการเอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดจากการลัดวงจรระหว่างการเคลื่อนไหวทางกล เป็นปัจจัยคงที่
ผ่านการทดสอบอย่างไรก็ตามการสูญเสียพลังงานโดยแรงบิดสูญเสียเชิงกลนี้เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเร็วเพิ่มขึ้น

$$(\text{power} = \text{torque} \times \text{speed}).$$

นี่คือการสูญเสียความร้อนจากอากาศอัดไปยังคอมเพรสเซอร์และออกไปรอบๆ เมื่อระบบมีเสถียรภาพ

$$W_h = Q_m c_v \left(T_1 \left(\frac{P_2 + P_4}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - T_2 \right)$$

อัตราส่วนความร้อน (γ) = 1.4, ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ปริมาตรคงที่ (c_v) คือ $718 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, ดัง
สมการ

$$W_h = Q_m \times 718 \left(T_1 \left(\frac{P_2 + P_4}{P_4} \right)^{0.286} - T_2 \right) \quad (9)$$

Isothermar Work Done (Power)

เป็นผลมาจากการไหลของอากาศคุณสมบัติเริ่มต้นและความดันเพิ่มขึ้น ไม่อนุญาตให้มีการเพิ่มพลังงานภายในของ
อากาศ ความดันเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับความดันบรรยากาศแน่นอน (P_4)

$$W_{iso} = Q_m R_{air} T_1 \times \ln \left(\frac{P_2 + P_4}{P_4} \right) \quad (10)$$

ประสิทธิภาพโดยรวมของ Isothermal ซึ่งเป็นตัววัดประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ในการเปลี่ยนกำลังรับเข้า
(เพลาลูกสูบ) เข้าสู่งานที่ทำขึ้นเพื่อบีบอัดอากาศ เป็นประสิทธิภาพโดยรวมของระบบรวมถึงความสูญเสียทั้งหมด

$$\eta_{iso} = \frac{\text{Isothermal Work Done (Power)}}{\text{Shaft Power}} (\times 100)$$

Or

$$\eta_{iso} = \frac{W_{iso}}{W_D} (\times 100) \quad (11)$$

Isothermal Efficiency มีความคล้ายคลึงกับสมรรถภาพทางความร้อนแบบรวม แต่ช่วยให้เกิดการสูญเสียทางกล เป็น
อัตราส่วนของงานที่ทำผ่านพลังงานที่แท้จริงที่ใช้ในการทำงาน ดังนั้นประสิทธิภาพของไอโซเทอร์มอลมักจะสูงกว่าประสิทธิภาพ
ของไอโซโทปโดยรวม

$$\eta_{iso} = \frac{\text{Isothermal Work Done (Power)}}{\text{Shaft Power} - \text{Power Losses}} (\times 100)$$

Or

$$\eta_{iso} = \frac{W_{iso}}{W_D - W_L} (\times 100) \quad (12)$$

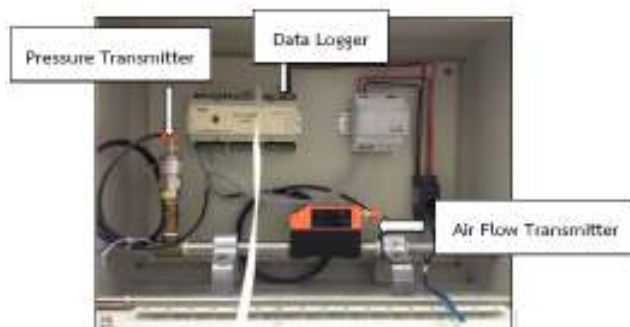
Or, as the power lossor (W_L) directly affect the mechanical efficiency (η_m) (following the equation 6):

$$\eta_{iso} = \frac{W_{iso}}{W_D - \eta_m} (\times 100) \quad (13)$$

ประเภทการอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ (Reciprocating Compressors) เครื่องอัดอากาศประเภทนี้ ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กใช้แหล่งกำลังต้นกำลังจากมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ขนาดเล็ก โดยมีสายพานเป็นอุปกรณ์ถ่ายทอดกำลังไปสู่เครื่องอัดเพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่อัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กลง และความกดดันของอากาศสูงขึ้น อากาศอัดจะถูกส่งไปเก็บไว้ในถังลมก่อนที่จะนำไปใช้งานต่อไป เครื่องอัดอากาศประเภทนี้ส่วนใหญ่จะระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังนั้นบริเวณรอบๆ ลูกสูบของเครื่องอัดจึงทำเป็นแผ่นครีป (Vane) เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อนให้มากยิ่งขึ้น การเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะอัดแต่ละครั้งจะทำให้อากาศหรือแก๊สเกิดการอัดตัวขึ้น และการไหลของอากาศอัดจะมีลักษณะเป็นแบบห้วงๆ (Pulsation) ไม่ต่อเนื่องกันซึ่งเป็นผลเสียต่อระบบท่อส่ง เพราะอาจทำให้เกิดความดันย้อนกลับ ณ จุดที่มีการหักเลี้ยวในระบบท่อส่งได้ ทำให้ท่อส่งได้รับความเสียหายในภายหลังเนื่องจากในอากาศมีความชื้น หรือน้ำมันและฝุ่นละอองปะปนอยู่ด้วยไม่มากนักน้อย ดังนั้นอากาศที่เข้าสู่เครื่องอัดอากาศจึงมีไอน้ำและฝุ่นละอองปะปนเข้าไปด้วย เมื่ออากาศถูกอัดตัว โมเลกุลของอากาศจะเกิดการเสียดสีกันทำให้อากาศที่ถูกอัดมีความร้อนสูง ดังนั้น อากาศที่ถูกอัดก่อนที่จะถูกนำไปใช้ ถึงอัดอากาศจึงต้องมีการระบายความร้อนออกเสียก่อน เพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อนซึ่งจะทำให้ ชิ้นส่วนภายในเครื่องอัดอากาศได้รับความเสียหายขึ้น อากาศอัดดังกล่าวเมื่อถูกนำไปเก็บในถังอัดอากาศก็ยังมีความร้อนเหลือบ้าง เมื่ออากาศอัดภายในถังอากาศเย็นตัวลง ก็จะทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำอยู่ในถังอัดอากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายได้ในขณะที่นำอากาศไปใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการระบายน้ำส่วนนี้ออกไปจากถังอัดอากาศ ก่อนที่จะมีการใช้งานอยู่เสมอทุกวัน

การทดสอบระบบอัดอากาศในการทดสอบระบบอัดอากาศ จะมีต้นกำลังในการอัดอากาศจากปั๊มกังหันลม โดยการทดสอบอัดอากาศจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ภาพที่ 4 คือ (1) Pressure Transmitter เพื่อบันทึกความดันในถังเก็บลม, (2) Air Flow Transmitter เพื่อดูการไหลภายในท่อ, (3) Data Logger เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลแต่ละช่วงเวลา โดยจะบันทึกค่าที่ทุกๆ 3 วินาที และ Anemometer วัดความเร็วลมและบันทึกค่า ดังภาพที่ 5 - 7



ภาพที่ 4 อุปกรณ์การเก็บผลการทดสอบ



ภาพที่ 5 วัดความเร็วลมและบันทึกค่า



ภาพที่ 6 ระบบอัดอากาศต่อเฟืองกังหันลม

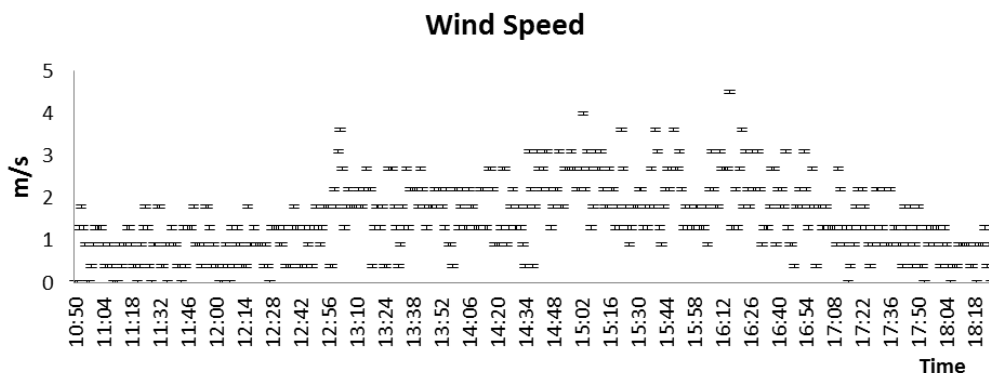


ภาพที่ 7 ประกอบกังหันลมแบบหลายใบสำหรับระบบอัดอากาศ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลจากความเร็วลม

ผลการทดสอบความดันในถังที่ได้จากการอัดอากาศ ณ สถานที่จริงก่อนปล่อยออกลงบ่อเพาะเลี้ยง ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบโดยบันทึกความดันในถังจากการอัดอากาศ การเก็บข้อมูลจะถูกบันทึกโดย Data Logger ซึ่งการอัดอากาศลงถัง จะสัมพันธ์กับข้อมูลในพื้นจริงที่ทดสอบ ดังภาพที่ 8



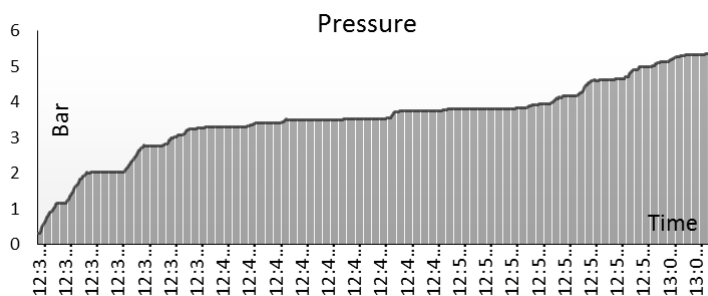
ภาพที่ 8 แสดงศักยภาพความเร็วลม ณ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีจังหวัดนราธิวาส

ผลจากการบันทึกตั้งแต่ช่วงเวลา 10.50-18.18 ที่ระดับความสูง 40 เมตร โดยทำการบันทึกผลทุกๆ 1 นาที จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ในช่วงการทดสอบความเร็วลมเฉลี่ยจะไม่เกิน 4 m/s เมื่อทราบความเร็วในพื้นที่ทดสอบ ทราบความดันภายในถังที่ได้จากการอัดอากาศ ซึ่งในการทดสอบนี้ กำหนด การบันทึกเวลาทุกๆ 1 นาที ดังภาพที่ 9, ภาพที่ 11 และภาพที่ 12 และแสดงเกจความดันที่ถัง ภาพที่10

ผลการทดสอบความดันในถังที่ได้จากการอัดอากาศ ณ สถานที่จริง (ระบบปิด)

ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบโดยบันทึกความดันในถังจากการอัดอากาศกำหนดเวลาไว้ 3 วินาที การเก็บข้อมูลจะถูกบันทึกโดย Data Logger ซึ่งการอัดอากาศลงถัง จะสัมพันธ์กับข้อมูลลมในพื้นที่จริงที่ที่ทดสอบ

การทดสอบระบบแบบปิด



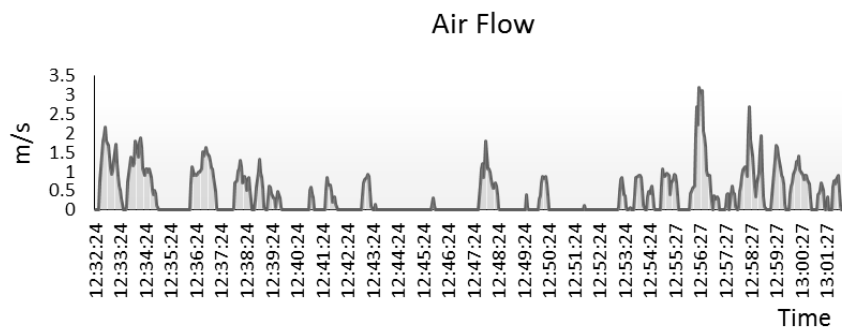
ภาพที่ 9 แสดงค่าคำนวณ pressure ภายในถังลม

ผลการทดลองจากภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่า การอัดลมภายในถังลมเริ่มต้นการอัดอากาศเมื่อคอมเพรสเซอร์อัดลมแล้วอัตราการไหลภายในท่อจะเกิดขึ้น ไหลเข้าไปเก็บในถัง ความดันภายในถังก็จะเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นถึง 5 บาร์ (จากการออกแบบการทดลอง)



ภาพที่ 10 แสดงความดันอากาศในถังลมในระบบปิด

ผลการทดลอง จากภาพที่ 10 คอมเพรสเซอร์อัดอากาศภายในถังได้ 5 บาร์ (จากการออกแบบการทดลอง)

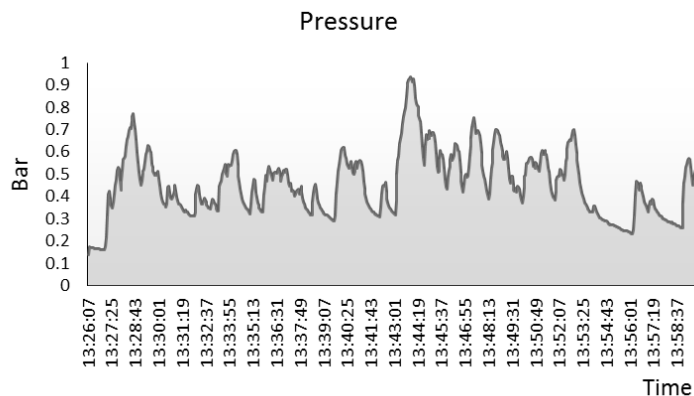


ภาพที่ 11 แสดงค่าคำนวณ air flow ภายในถังลม

ผลการทดสอบความดันในถังที่ได้จากการอัดอากาศ ณ สถานที่จริง (ระบบปิด)

ผลการทดลองจากภาพที่ 11 แสดงให้เห็นว่า อัตราการไหลที่เกิดขึ้นนั้นไม่มีความสม่ำเสมอ เนื่องจากความเร็วลมที่มากกระทำกับใบพัดของกังหันลมนั้นไม่สม่ำเสมอ ความเร็วลมมีค่ามากอัตราการไหลภายในท่อก็จะมากตามไปด้วย เมื่อความเร็วลมต่ำอัตราการไหลภายในท่อก็จะน้อยตาม

การทดสอบระบบแบบเปิด



ภาพที่ 12 แสดงค่าคำนวณ pressure ภายในถังลม

ผลการทดลองจากภาพที่ 12 แสดงให้เห็นว่า ความดันภายในถังลมมีปริมาณที่น้อยมาก เนื่องจากเป็นระบบเปิด เมื่อคอมเพรสเซอร์อัดลมแล้วอัตราการไหลภายในท่อจะเกิดขึ้น ไหลเข้าไปเก็บในถัง อากาศที่ไหลจะถูกดันผ่านถังเก็บอากาศออกสู่ชั้นบรรยากาศ



ภาพที่ 13 กังหันลมแบบหลายใบสำหรับอัดอากาศ

สรุป

ความเร็วลมที่วัดได้แสดงให้เห็นว่ามีความเร็วลมต่ำไม่เกิน 5 เมตร/วินาที และไม่มีความสัมพันธ์ด้วยหลักการอัดอากาศจะเก็บสะสมลมอัดในถังอากาศอัด เมื่อแรงดันในถังคงที่ 4.5 บาร์การปล่อยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีออกซิเจนที่จะคงที่ตามไปด้วย การปล่อยแรงดันจากถังอากาศอัดในระบบเปิดแรงดันสะสมจะน้อยมากไม่เกิน 1 บาร์และแรงดันจะคงที่แบบนี้ตลอดเวลา การปล่อยแรงดันในระบบปิดจะได้แรงดันที่สูงกว่าและแรงดันสะสมในถังอากาศอัดสูงกว่าโดยแรงดันระบบปิดขณะปล่อยออกสู่บ่อเพาะเลี้ยงอยู่ที่ 3 บาร์ และแรงดันการอัดอากาศจะขึ้นอยู่กับการเร็วลมก่อนการอัดอากาศลงถัง

ข้อเสนอแนะ

ระบบผลิตออกซิเจนด้วยกังหันลมแบบหลายใบ โดยใช้หลักการเก็บพลังงานด้วยการอัดอากาศเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ การบำรุงรักษาในแต่ละครั้งจะใช้เวลามากกว่าโครงสร้างขนาดเล็ก, การอัดอากาศจากกังหันลมที่แรงบิดสูงสามารถขยายปลายทางออกของออกซิเจนได้หลายทางมากขึ้น นั่นคือเหมาะที่จะใช้สำหรับบ่อที่มีขนาดใหญ่

รายการอ้างอิง (Reference)

- Hongprasith, N., Charoenpittaya, T., Fusamae, D., Tanaka, J., Hikiji, Y., Kutako, M., ... ,Painmanakul, P. (2012). Study of Alternative Aeration System Applied In aquaculture Ponds. *The 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment*, November 21st - 22nd.
- Joselin, G.M. et al., (2007) A review of wind energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1117-1146.
- Ridge, E.S. & Grid, L.P. (2005). *The Economic Impact of CAES on Wind in TX, OK, and NM*. Texas State Energy Conservation Office, June 27.
- Zunft S., Jakiel C., Koller M & Bullough C (2006). Adiabatic Compressed Air Energy Storage for the Grid Integration of Wind Power. *Sixth International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power and Transmission Networks for Offshore Windfarms*, 26-28 October, Delft, the Netherlands