การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15

The 15th Electrical Engineering Network 2023

1-3 พฤษภาคม 2566 ณ โรงแรมฟอร์จูน ริเวอร์วิว นครพนม

ยานยนต์ไฟฟ้าและรถไฟฟ้าระบบราง อนาคตการเดินทางใหม่ของประเทศไทย
Next Generation of Electric Vehicles and Railway Transit in Thailand

Abstract

Conference Topic

1. Electrical Power (PW)
   ไฟฟ้ากำลัง
2. Electronics, Circuit and Communication (EC)
   อิเล็กทรอนิกส์ วงจรและสื่อสาร
3. Power Electronics (PE)
   อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
4. Computer and Information Technology (CP)
   คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
5. Control Systems and Instrumentation (CT)
   ระบบควบคุมและการวัด
6. Digital Signal Processing (DS)
   ระบบประมวลผลสัญญาณดิจิทัล
7. Energy and Conservation of Energy (ES)
   พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน
8. Innovation and Invention (IN)
   นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์
9. General Electrical Engineering (GN)
   งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า
10. Special Session on Electric Vehicles and Railway Transit (SS)
    หัวข้อพิเศษทางยานยนต์และรถไฟฟ้าระบบราง

STC MEDIA & MARKETING
VENUS SUPPLY
Automation EE Engineering and equipment Co.,ltd.
SIIK Technology บริษัท เอสทูเค เทคโนโลยี จำกัด
AppliCAD Public Company Limited
บริษัท นีโอ ไดแด็กติค จำกัด NEO DIDACTIC CO.,LTD.
SEATEK®
GW ADVANCE ENGINEERING SOLUTIONS SPECIALIST
ANS
iRCT
PK GOAL TECHNOLOGY PK GOAL TECHNOLOGY COMPANY LIMITED
dio innovation
กฟผ.
ALL INSTRUMENT SOLUTION CO.,LTD.
PTS combination

บทความวิจัย
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15
15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)

การออกแบบและสร้างเครื่องกังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

Design and Construction of Solar Aerator Water Turbines

จักรกฤษณ์ จันทร์เขียว[1] สุทธิเกียรติ ชลลาภ[1] สุดาพร อร่ามรุณ[2] และประสิทธิ์ ภูสมมา[3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
เลขที่ 38 ถนนเพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10160 โทรศัพท์ 02-4570068 E-mail: jrukkrit@siam.edu
[2]หลักสูตรการบริหารเศรษฐกิจสาธารณะสำหรับนักบริหารระดับสูง สถาบันพระปกเกล้า
เลขที่ 120 หมู่ที่ 3 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210 โทรศัพท์ 02-1419600 E-mail: nong_mppt@yahoo.com
[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
เลขที่ 172 ถนนอิสรภาพ แขวงวัดกัลยา เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10600 โทรศัพท์ 02-8901801 E-mail: prasit.p@dru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ให้เหมาะสมกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ เครื่องกังหันน้ำฯ ที่นำเสนอใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์พิกัดแรงดันไฟฟ้า 18.8 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 170 วัตต์ จำนวน 2 แผง เป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประเภทไร้แปรงถ่านขนาด 350 วัตต์เป็นตัวต้นกำลังทางกล และส่งกำลังทางกลด้วยโซ่เพื่อหมุนขับใบกังหันน้ำแบบ 8 แฉกจำนวน 4 ชุด อุปกรณ์ทั้งหมดถูกติดตั้งบนทุ่นลอยน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง จำนวน 3 ใบ รับน้ำหนักได้สูงสุด 180 กิโลกรัม ผลการทดสอบการทำงานพบว่า เครื่องกังหันน้ำฯ ที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ความเร็วรอบของใบกังหันน้ำสามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างอัตโนมัติตามพลังงานไฟฟ้าที่แผงพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้ ระดับออกซิเจนละลายน้ำมีปริมาณที่สูงขึ้น และทุ่นลอยน้ำมีระยะการกินน้ำลึกเพียงพอต่อการทำงานอย่างเหมาะสม และมีความปลอดภัยสูงต่อการลอยตัว

คำสำคัญ: แผงพลังงานแสงอาทิตย์, เครื่องกังหันน้ำเติมอากาศ, ออกซิเจนละลายน้ำ

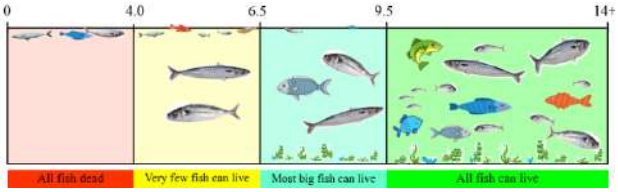
Abstract

This research aims to desing and build a solar aerator water turbine that can control the motor speed to suit the electrical power produced. Water turbine presented uses 2 solar panels, rated voltage 18.8 volts, power 170 watts. Solar panels are the source of electrical energy. It uses a 350 watt brushless DC motor as the mechanical power source and transmits mechanical power by a rotating chain to drive four 8-point turbine blades. The whole set is mounted on three high-density polyethylene buoys with a maximum weight of 180 kg. The results of the test showed that the water turbine can work very well. The rotational speed of the water turbine can be adjusted automatically according to the electrical power generated by the solar panel. Dissolved oxygen levels are higher. The buoyancy has a sufficient depth of draft for proper functioning and has high safety to float.

Keywords: solar panel, aerator, dissolved oxygen

1. บทนำ

ทรัพยากรน้ำเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์และพืชทุกชนิด โดยในปัจจุบันพบว่าแหล่งน้ำในหลายพื้นที่ได้ใช้และขาดการเอาใจใส่ถึงคุณภาพน้ำหลังการใช้ ส่งผลให้เกิดการเน่าเสียจนคุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่ต่ำ ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำค่าหนึ่งที่บ่งชี้คือ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) ซึ่งมีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น ปลา สัตว์น้ำขนาดเล็ก แบคทีเรีย และพืชน้ำ สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ต้องการใช้ออกซิเจนในการหายใจเช่นเดียวกันกับสิ่งมีชีวิตบนบก



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำกับสัตว์น้ำ

ความต้องการปริมาณออกซิเจนในน้ำของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์น้ำ บริเวณพื้นล่างของแหล่งน้ำ สัตว์น้ำจำพวกปู หอยนางรม ต้องการออกซิเจนในปริมาณ 1-4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาน้ำตื้นต้องการในปริมาณ 4-8 มิลลิกรัมต่อลิตร และปลาขนาดใหญ่มีความคงทนต่อปริมาณออกซิเจนต่ำได้ดีกว่า [1]

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องกังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ให้สามารถเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำกับแหล่งน้ำได้

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำจะทำให้น้ำมีคุณภาพที่สูงขึ้น ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น ปลา แบคทีเรียและพืชน้ำ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และทำให้แหล่งน้ำนั้นมีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างเครื่องกังหันน้ำฯ มีดังนี้ [2]

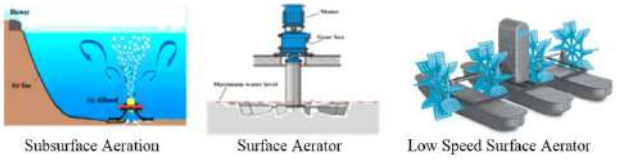
3.1 ประเภทการเพิ่มออกซิเจนให้น้ำด้วยการเติมอากาศ

วิธีการเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำเพื่อเพิ่มคุณภาพน้ำ มีดังนี้

⊙ เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Subsurface Aeration) เป็นการเติมออกซิเจนโดยอัดอากาศผ่านท่อป้อนเข้าสู่แผ่นกระจายอากาศที่ติดตั้งพื้นท้องน้ำ ออกซิเจนกับน้ำจะผสมกันและทำให้เกิดฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ และเกิดการเติมอากาศเกิดขึ้น [3]

⊙ เครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (Surface Aerator) มอเตอร์ถูกติดตั้งให้ลอยอยู่เหนือผิวน้ำ เพลามอเตอร์ถูกต่อเข้ากับใบกังหันน้ำในแนวนอนและขับด้วยความเร็วรอบที่สูงเพื่อตีน้ำ น้ำที่ถูกตีจะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กระจายออกในแนวรัศมีและทำให้อากาศโดยรอบถูกดูดเข้ามาที่จุดศูนย์กลางใบกังหันและเกิดการเติมอากาศให้น้ำเกิดขึ้น [3]

⊙ เครื่องเติมอากาศผิวน้ำความเร็วรอบต่ำ (Low Speed Surface Aerator) ใช้มอเตอร์ส่งกำลังขับใบกังหันน้ำในแนวตั้ง เมื่อใบกังหันหมุนตีน้ำและกวักน้ำขึ้นไปในอากาศจะเกิดละอองน้ำผสมกับอากาศและเกิดการเติมอากาศให้น้ำเกิดขึ้น [3] ข้อดี คือ การสร้าง ติดตั้งและบำรุงรักษาง่าย การเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้น้ำมีประสิทธิภาพสูง



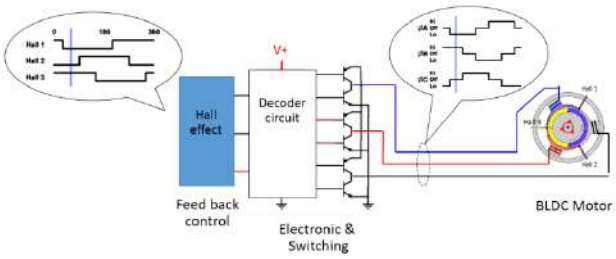
รูปที่ 2 ประเภทของเครื่องเติมอากาศ

3.2 ระบบทางไฟฟ้า

⊙ แผงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell) พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีปริมาณมหาศาลและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมีการใช้งานเป็นจำนวนมาก แผงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวกลางในการเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า จึงเหมาะต่อการใช้กับงานในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าปกติเข้าถึงได้ยาก โดยแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

⊙ มอเตอร์และเครื่องควบคุม มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประเภทไร้แปรงถ่าน (Brushless DC motor: BLDC) ทำงานโดยอาศัยชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่ตัดต่อกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์แทนชุดคอมมิวเตเตอร์ โดยสร้างชุดสนามแม่เหล็กให้หมุนคล้องกับตัวหมุนและฉุดดึงตามกัน นอกจากนี้ ชุดควบคุมยังควบคุมกระแสไฟฟ้าเพื่อควบคุมแรงบิด (Torque) ความถี่ไฟฟ้าเพื่อควบคุมความเร็วรอบ (Speed) และทิศทางการหมุน (Direction of Rotation) [4]

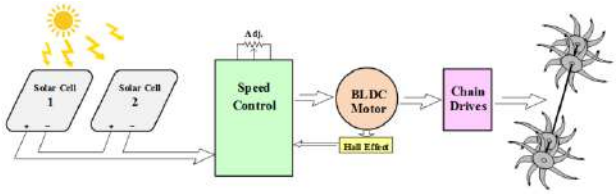
การควบคุมโดยทั่วไปจะเป็นการทำงานแบบลูปปิด (Closed Loop Control) โดยอาศัยตัวตรวจจับที่เรียกว่า Hall Effect Sensor เป็นอุปกรณ์ป้อนกลับเพื่อตรวจสอบตำแหน่งของตัวหมุนให้ระบบควบคุมได้รับทราบ เพื่อจะได้ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์ให้สัมพันธ์กับตำแหน่งของตัวหมุนที่อยู่ ณ ขณะนั้น



รูปที่ 3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประเภทไร้แปรงถ่าน

4. การส่งถ่ายพลังงานเครื่องกังหันน้ำฯ (Power Flow)

เครื่องกังหันน้ำฯ ถูกออกแบบให้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ และส่งเข้าเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านประเภทมีเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งตัวหมุน จากนั้น ป้อนเข้ามอเตอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ที่ปลายเพลามอเตอร์ถูกเชื่อมต่อกับระบบส่งกำลังทางกลด้วยโซ่ในอัตราทด 1:2.85 เพื่อเพิ่มแรงบิดขับให้สูงขึ้น ต่อจากนั้นจึงถ่ายทอดพลังงานกลไปที่เพลาขับใบกังหันน้ำทั้ง 4 ชุดเพื่อหมุนตีน้ำให้เกิดการผสมอากาศกับน้ำต่อไป



รูปที่ 4 การส่งถ่ายพลังงาน

5. การคำนวณประกอบการออกแบบและสร้าง

โดยมีสูตรที่ใช้ประกอบ ดังนี้ [5]

⊙ การหาน้ำหนักบรรทุกที่ปลอดภัย เพื่อหาปริมาตรทุ่นที่สามารถรับน้ำหนักอุปกรณ์ทั้งหมด

$$mg = \rho gv \quad (1)$$

เมื่อ m คือ น้ำหนักรวมของอุปกรณ์เติมอากาศ (kg)
g คือ อัตราเร่งแรงดึงดูดของโลก (9.81m/s^2)
ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1,000kg/m^3)
v คือ ปริมาตรของทุ่น (m^3)

⊙ การหากำลังงานที่ใช้ขับใบพัด

$$P = (2\pi nT)/60 \quad (2)$$

เมื่อ P คือ กำลังงานที่ใช้ขับใบกังหันน้ำ (W)
n คือ ความเร็วรอบใบกังหันน้ำ (rpm)
T คือ แรงบิดเพลาขับใบกังหันน้ำ (N-m)

⊙ การหาประสิทธิภาพ

$$\eta = (Pout/Pin)x100\% \quad (3)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า (%)
Pout คือ กำลังงานที่ได้จากมอเตอร์ (W)
Pin คือ พลังงานเฉลี่ยที่ได้จากแผงฯ (W)

6. อุปกรณ์การสร้างที่สำคัญ

⊙โครงสร้าง มีขนาดประมาณ 2,000 x 1,960 x 1,050 mm (กxยxส) ใช้อลูมิเนียมเป็นหลัก

⊙ แผงพลังงานแสงอาทิตย์ ประเภทโมโนคริสตัลไลน์ Vmp 18.8 Volt, Pmax 170 Watt 10.68 kg มีหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อป้อนจ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า ใช้จำนวน 2 แผง

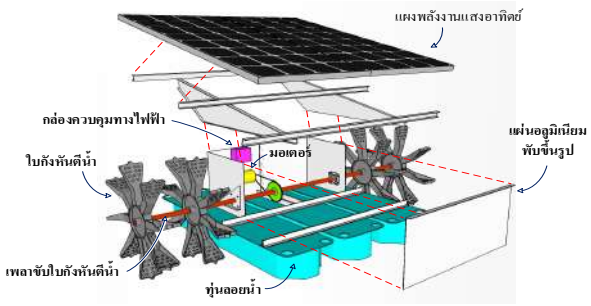
⊙ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประเภทไร้แปรงถ่าน Vin 24 Volt, Pout 350 วัตต์ 500 rpm ประเภท Brushless DC Motor Using Hall-Effect Sensors มีหน้าที่ผลิตพลังงานกลหมุนขับเพลาใบกังหันน้ำ

⊙ เครื่องควบคุมมอเตอร์ Vin 22-40 โวลต์ Pmax 350 Watt มีหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสจ่ายให้กับมอเตอร์

⊙ ใบกังหันตีน้ำ วัสดุ HDPE ใบกังหันเป็นแบบตีนเป็ด มี 8 แฉก Ø 720 mm. กว้าง 90 mm. ทำหน้าที่ตีน้ำหรือวักน้ำ ใช้จำนวน 4 ชุด

⊙ ทุ่นลอยน้ำ วัสดุ HDPE ขนาดทุ่น (ไม่รวมปีกจับยึด) 290 x 1,100 x 200 mm (กxยxส) ใช้จำนวน 3ใบ

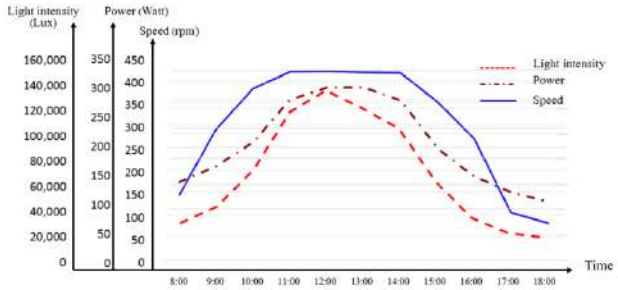
รูปที่ 5 อุปกรณ์การสร้างที่สำคัญ



รูปที่ 6 การประกอบเครื่องกังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

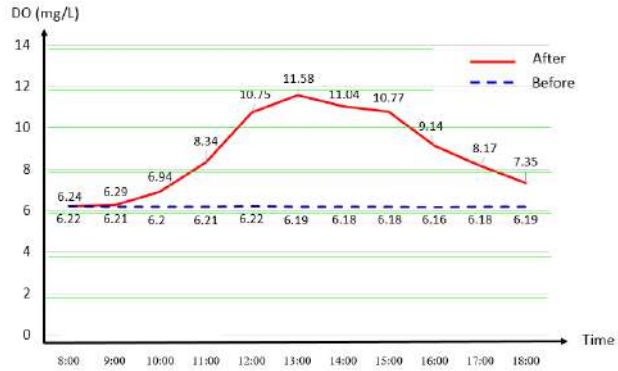
7. การทดสอบ

⊙การหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเทียบกับปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบแผง และความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าในขณะทำงานแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มแสง พลังงานไฟฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์และความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้า

⊙ การตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 8 ผลการตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

⊙ การหาค่าการบรรทุกสูงสุดของทุ่นจำนวน 3 ใบ [6]

v = (290 x 1,100 x 200 mm) x 3 ใบ
= 0.18183 m^3 (เมื่อน้ำ 1 m^3 =1,000kg)
Wmax = 181.83 kg (คิดเป็น 100%)

⊙ การหาระยะกินน้ำลึกของทุ่นทั้ง 3 ใบ

น้ำหนักรวมอุปกรณ์ทั้งหมดและทุ่น 3 ใบได้ = 98.14 kg

หา % เมื่อทุ่นรับน้ำหนัก = (98.14kg x 100%)/181.83kg

= 53.97%

ดังนั้น ทุ่นกินน้ำลึก = 53.97% x 200mm

= 107.94mm

พบว่า ทุ่นมีระยะเหลือ 92.06 mm ซึ่งเผื่อไว้กรณีเจอคลื่นน้ำจากเรือสัญจรทั่วไปหรืออื่นๆ เพื่อป้องกันเครื่องกังหันน้ำฯ พลิกคว่ำได้

รูปที่ 9 เครื่องกังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

8. สรุปผลการวิจัย

การวิจัย ออกแบบและสร้างเครื่องกังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างในการจัดสร้างสำหรับผู้ที่สนใจทั่วไป สรุปผลการออกแบบ สร้าง และทดสอบ ได้ดังนี้

⊙ **ด้านงานโครงสร้าง** ส่วนใหญ่ใช้วัสดุต้านทานการกัดกร่อน เช่น อลูมิเนียม สแตนเลส (น๊อต) และวัสดุในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก (ทุ่นลอยน้ำ ใบกังหัน) มีอายุการใช้งานที่สูง แต่อาจมีบางส่วนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่เป็นโลหะ เช่น เพลามอเตอร์ ระบบโซ่ ตลับลูกปืน และเพลาขับใบกังหัน ซึ่งแก้ไขได้โดยทำการเคลือบด้วยจาระบีเพื่อแยกการสัมผัสของโลหะกับน้ำหรืออากาศ

⊙ **ด้านงานระบบไฟฟ้า** ใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายนำไปติดตั้งในสถานที่ต่างๆ ได้สะดวก มอเตอร์เป็นประเภทไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านซึ่งมีการบำรุงรักษาที่ต่ำ ประกอบกับใช้เครื่องควบคุมมอเตอร์แบบวงจรปิด (Close Loop Control) ซึ่งมีระบบตรวจสอบพลังงานร่วมด้วย ทำให้สามารถจ่ายพลังงานได้สูงสุดเท่าที่พลังงานจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้

⊙ **ด้านผลการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ** จากการทดสอบเครื่องกังหันน้ำฯ ในแหล่งน้ำที่มีอัตราการไหลเวียนปานกลาง สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจน (DO) ได้ในขณะที่เครื่องทำงานได้เป็นอย่างดี

9. ข้อเสนอแนะ

การดำเนินโครงการวิจัยนี้ได้สำเร็จตามที่มุ่งหวังทุกประการ นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะเพื่อพิจารณาร่วม ดังนี้

⊙ **ความเร็วรอบของใบพัดกังหันน้ำ** ที่มีค่าสูง ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นจากมอเตอร์ที่ต้องผลิตรอบมากขึ้น การสึกหรอทางกลสูง น้ำเกิดการแตกกระจายตัวสูงและมีผลต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยตรง แต่เพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำมากขึ้นจากการระเหยของน้ำ

⊙ **ระยะกินน้ำลึกของใบกังหันน้ำ** ที่มีค่าสูง มีผลต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในระดับความลึกของน้ำโดยตรง แต่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นจากมอเตอร์ที่ต้องผลิตแรงบิดมากขึ้น การสึกหรอทางกลสูง

⊙ **ระยะกินน้ำลึกของทุ่นลอยน้ำ** ไม่ควรเกิน 60-70 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของทุ่น เพื่อป้องกันเครื่องกังหันฯ พลิกคว่ำในกรณีที่เจอลมพัดกระโชกแรงหรือปะทะคลื่นน้ำที่เกิดจากการเดินเรือสัญจรทั่วไป

⊙ **มุมการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์** ควรเอียงทำมุมเท่ากับมุมละติจูดของตำแหน่งที่ติดตั้ง (ประมาณ 15-20 องศา) และหันหน้าไปทางทิศใต้ (สำหรับประเทศไทย)

⊙ **การติดตั้ง** เครื่องกังหันน้ำฯ ควรยึดตรึงในลักษณะที่ไม่สามารถเกิดการหมุนได้ เพื่อต้องการคงทิศการรับพลังงานแสงอาทิตย์ แต่สามารถเลื่อนขึ้นลงในแนวดิ่งได้ตามระดับน้ำที่ขึ้นลง

⊙ **อุปสรรค** ระวัง ป้องกันวัชพืชน้ำ ขยะชิ้นใหญ่ประเภทต่างๆ ที่อาจลอยน้ำมา ที่จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของใบพัดกังหันน้ำได้

เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท นีโอนิคส์ จำกัด. *ความสำคัญออกซิเจนในน้ำ,* จาก https://www.neonics.biz/do/dissolved-oxygen

[2] บริษัท นีโอนิคส์ จำกัด. (2022). *สร้างออกซิเจนในน้ำ,* จาก https://www.tools.in.th/dissolved-oxygen/increase-oxygen-in-water/

[3] บริษัท ย่งฮง เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด จำกัด. (2018). *ประเภทของเครื่องเติมอากาศมีอะไรบ้าง,* จาก https://www.yonghong.co.th

[4] สุชิน เสือช้อย. *Brushless DC motor หรือ BLDC คืออะไร,* จาก http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=2606

[5] อุทัย ผ่องรัศมี, เสนีย์ ศิริไชย, จักรกฤษณ์ ขันทอง, ภาสกร ผ่องรัศมี และ ช่วงชัย ชุปวา. (2563). การออกแบบและสร้างอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำชนิดใบพัดแบบหนามทุเรียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิทยาศาสตร์*, 17(2), จาก http://sciencejournal.pbru.ac.th/phocadownloadpap/2020_2/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B276-87.pdf

[6] *การคำนวณหาแรงลอยตัวของวัตถุในน้ำ.* (2011), จาก http://www.benzowner.net/forum/showthread.php?t=45701