เครื่องเติมอากาศในน้ำชนิดกังหันพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

The Aerator Water for Treatment Using Solar Cell Energy

ธวัชชัย สอนสนาม*, ประสิทธิ์ ภูสมมา, ประยุทธ นิสภกุล และ ชาลี อินทรชัย
Tawatchai Sonsanam*, Prasit Phoosomma, Prayut Nisapakul and Chalie Intarachai

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
Dhonburi Rajabhat University
*Corresponding author. E-mail: tawatchai.s@dru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนำเสนอเครื่องกลเติมอากาศชนิดกังหันในน้ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมสวิตช์รีเลย์เพื่อสั่งการทำงานของมอเตอร์ผ่านแอพพลิเคชันมาประยุกต์ใช้ร่วมกับกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบของเครื่องประกอบด้วยทุ่นลอยพลาสติกจำนวน 2 ชิ้น โดยใช้ดีซีมอเตอร์ขนาด 350 วัตต์ถูกติดตั้งกับใบพัดกังหันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 ซม. จำนวน 2 ใบเพื่อให้พลังงานขับเคลื่อนกังหันซึ่งระบบนี้จะช่วยบำบัดน้ำโดยหลักการเติมออกซิเจนในน้ำ จากการทดสอบพบว่าระบบนี้สามารถใช้งานได้จริงสามารถเปิด-ปิด มอเตอร์ได้จากระยะไกลโดยผ่านมือถือและเมื่อทดลองในบ่อปฏิบัติการเขตพื้นที่ชุมชนอำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ พบว่าระบบกังหันสามารถทำงาน 8 ชั่วโมง ได้อย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วรอบระหว่าง 250-350 รอบต่อนาที เมื่อทำการวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำรัศมีห่างจากตัวกังหัน 5 เมตรพบว่าสามารถเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้เฉลี่ยประมาณ 3.0 mg/L

คำสำคัญ: เครื่องเติมอากาศ เซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

The research presents an aerator for water treatment by using a microcontroller to control a relay switch to operate the motor through an application to apply with aerator. The system of the machine consists of 2 plastic floats measuring 30x129x30 cm. The 350 watts DC motor was used to drive the aerator solar cell energy, it installed on turbine blade diameter 60 cm. This system will help treat water by adding oxygen to the water. From the test, it was found that this system, can be turned on – off the motor by remotely controlled via mobile phone. The experiment is operated in land of community

area of Bang Phli District, Samut Prakan Province. It found that, the turbine system can run 8 hours continuously, the rotation speed is between 250-350 rpm. Then measure the amount of oxygen in the water, 5 meters away from the aerator, found that the oxygen in the water can be increased on average about 3.0 mg/L.

Keywords: Aerator, Solar Cell Energy

บทนำ

น้ำเป็นสิ่งที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทุกประเภทการดำรงชีวิตของมนุษย์ต่อการอุปโภคบริโภค โดยน้ำที่ถูกใช้แล้วจากชุมชนจะถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้มีลักษณะเป็นน้ำเสียซึ่งส่งผลทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติแม่น้ำลำคลองปรับสภาพไม่ทัน ปัญหาใหญ่ในเวลานี้ก็คือเกิดน้ำเสียมีมากมายจนทำให้สิ่งมีชีวิตหลายๆชนิดรวมถึงมนุษย์เองก็ไม่สามารถใช้น้ำได้จากแหล่งน้ำและเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคเชื้อแบคทีเรียที่เจือปนอยู่และสิ่งที่ทำให้น้ำคลองสกปรกสาเหตุมาจากขยะที่อยู่ในคลองโรงงานอุตสาหกรรมรมปล่อยของเสียลงสู่แม่น้ำและไม่มีเครื่องบำบัดน้ำเสียทำให้น้ำเน่าเสีย (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2563) โดยหลักการแล้วกังหันน้ำทำงานโดยการหมุนปั่นเพื่อเติมอากาศให้น้ำเสียกลายเป็นน้ำดี สามารถประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจากการอุปโภคของประชาชนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งเพิ่มออกซิเจนให้กับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทางการเกษตรตามทฤษฎีเครื่องกลเติมอากาศนับว่าการเติมอากาศหรือออกซิเจนเป็นหัวใจของระบบบำบัดน้ำเสีย เพราะถ้ามีออกซิเจนอยู่มากจุลินทรีย์ก็สามารถบำบัดน้ำได้ดีและบำบัดน้ำเสียได้มากขึ้นแต่ที่ความดันบรรยากาศซึ่งเป็นความดันที่ค่อนข้างต่ำ สำหรับออกซิเจนในการละลายน้ำจึงต้องมีการเพิ่มพื้นที่สัมผัส ระหว่างอากาศกับน้ำให้ได้มากที่สุด (การบำบัดน้ำเสีย, 2565) กระบวนการเพิ่มออกซิเจนเพื่อเพิ่มคุณภาพน้ำมีหลากหลายวิธีแต่ที่นิยมนำมาใช้ในประเทศไทยจะทำการเพิ่มออกซิเจนในน้ำโดยการใช้กังหันน้ำเติมอากาศและจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวหมุนใบพัดวิดน้ำในบ่อขึ้นมาให้เป็นละอองสัมผัสกับอากาศเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการกระจายตัวรับออกซิเจนในอากาศได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่จะมีปัญหาในพื้นที่ห่างไกลที่กระแสไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึงและพื้นที่ไม่มีแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงจึงมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานอื่น (ชัยยงค์ เสริมผล และคณะ, 2563)

ในศตวรรษที่ 21 มีการรับส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านสัญญาณอินเตอร์เน็ตที่มีการประยุกต์ใช้ในทุกภาคส่วนและมีเทคโนโลยีที่เรียกว่า IoT หรือ Internet of Things โดยมีการฝังตัวของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ เซ็นเซอร์ และการเชื่อมต่อกับเครือข่ายสามารถเก็บบันทึกและแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้อีกทั้งสามารถรับรู้สภาพแวดล้อมและถูกควบคุมได้จากระยะไกล ผ่านโครงสร้างพื้นฐานการเชื่อมต่อเข้ากับสมาร์ทโฟนเพื่อความสะดวกสบายยิ่งขึ้นในอุตสาหกรรมและงานด้านอื่น ๆ เพื่อเข้าสู่ยุคของการปฏิวัติอุตสาหกรรม 4.0 และ Smart City นำมาปรับใช้ร่วมกับโครงสร้างพื้นฐานและระบบต่างๆ

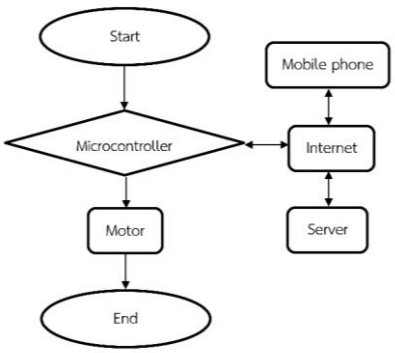
ของเมืองใน 4 ด้าน คือ ด้านการท่องเที่ยว ด้านความปลอดภัย ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐกิจ เพื่อใช้ตอบสนองและอำนวยความสะดวกในแต่ละด้านสิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี IoT รวมทั้งนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องอย่าง Blockchain, Big Data และระบบคมนาคมสื่อสารอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ IoT ในการผลิตสมาร์ทโฟนที่สามารถเชื่อมต่อกับบริการต่าง ๆ ได้อย่างครบวงจรไม่ว่าจะเป็น Cloud storage, Smart devices แม้การควบคุมการทำงานของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ (อาทิตย์ อรุณศิวกุล, 2564)

งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดเพื่อวัตถุประสงค์ประยุกต์ใช้กังหันมาบำบัดน้ำและนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นแหล่งพลังงานโดยควบคุมการทำงานของมอเตอร์กังหันใช้ระบบไร้สายในการควบคุมเพื่อความสะดวกในการควบคุมการเปิด-ปิด ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและต้นทุนด้านพลังงานในการบำบัดน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนในบ่อกุ้งและบ่อปลา ในเขตพื้นชุมชนอำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียโดยใช้วิธีเติมอากาศโดยอาศัยการออกแบบด้วยหลักพลศาสตร์เพื่อเลือกขนาดใบพัดที่เหมาะสมกับกำลังขับของมอเตอร์และพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (ภารดร ทองเสน และ ยอดชาย เตียเปี้น, 2563) และใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับมอเตอร์โดยการควบคุมเปิด-ปิดมอเตอร์ผ่านมือถือในการสั่งการทำงานผ่านอินเทอร์เน็ตโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ (เทพนิกร แก้วสุวรรณ และ วีระยุทธ สุดสมบูรณ์, 2558).

1. ศึกษาข้อมูลแล้วทำการออกแบบและสร้างกังหันบำบัดน้ำเสียโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์
2. ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการทำงานของระบบ
3. ทดสอบระบบการทำงานและปรับปรุงแก้ไข
4. เก็บผลและสรุปการทดลอง



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของระบบเครื่องเติมอากาศ

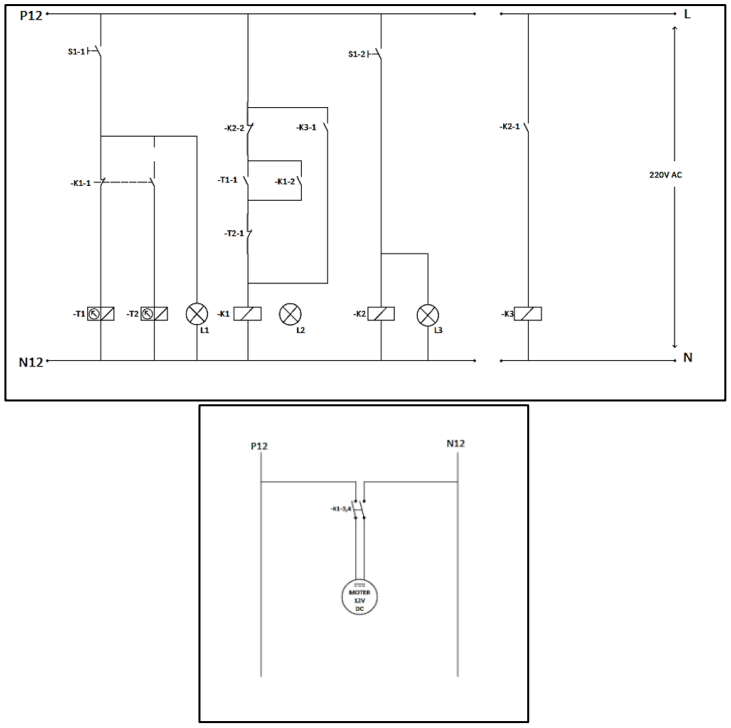
เริ่มต้นด้วยคำสั่งการทำงานผ่านมือถือและแอพพลิเคชันการทำงานจากนั้นเมื่อได้รับคำสั่งแล้ว รีเลย์จะทำการเปิดหรือปิด วงจรการทำงานโดยวงจรนั้นรับแหล่งจ่ายพลังงานมาจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงานหรือหยุดการทำงาน โดยระบบการสั่งทำงานจะสั่งผ่านแบบไร้สาย สามารถสั่งงานได้ทุกทีเมื่อมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยในการทดลองจะมีตัวแปรที่ได้ศึกษาเพื่อนำมาวิเคราะห์ คือ ค่าออกซิเจนในน้ำ ความเข้มแสงและกระแสของมอเตอร์

การออกแบบกังหัน

ชุดกังหันจะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 750 วัตต์ โดยแยกอิสระ ทุ่นลอยน้ำขนาด 7 นิ้วจำนวน 2 ตัว ใบกังหันตีบกบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 ซม. ข้างละ 1 ใบ เพลายาว 2 เมตร มอเตอร์ดีซีบัสเลส 350 วัตต์ และชุดควบคุมการเปิด-ปิด มอเตอร์โดยผ่านสมาร์ทโฟน (ทินกร มุสิกะ และคณะ, 2558)

ภาพที่ 2 กังหันน้ำเติมอากาศที่ได้ออกแบบสร้าง

ภาพที่ 3 การทดสอบการทำงานกังหันน้ำเติมอากาศ



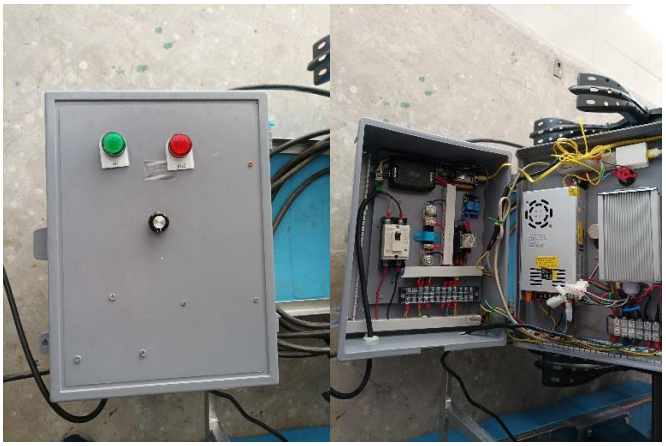
ภาพที่ 4 วงจรควบคุมการเปิด-ปิดมอเตอร์แบบ Manual

ชุดวงจรควบคุมมอเตอร์

หลักการการทำงานของวงจรมี 2 โหมดคือ โหมดที่ 1 สามารถเลือกให้มอเตอร์ทำงานและหยุดทำงานตามที่กำหนดอย่างต่อเนื่องและโหมดที่ 2 สามารถที่จะเลือกใช้โหมดให้ทำงานตามการเปิด-ปิดของคำสั่งรีเลย์ (Psptech, 2022) (Onsemi, 2022).

ชุดควบคุมการมอเตอร์กังหันระยะไกล

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการควบคุมการทำงานของมอเตอร์จะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้รีเลย์ทำงานเปิดหรือปิดตามคำสั่งผ่านสมาร์ทโฟนโดยใช้แอพพลิเคชั่น Blynk เพื่อขับเคลื่อนอุปกรณ์ให้ทำงานตามที่กำหนด (ศิริวรรณ ทำนุ และคณะ, 2561)

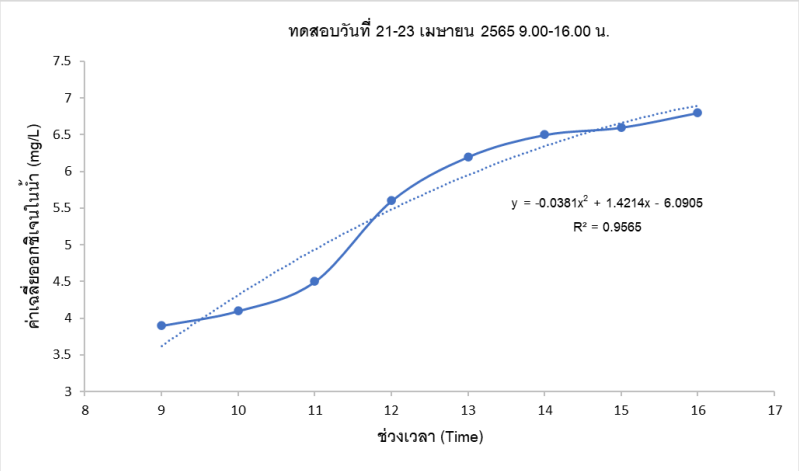


ภาพที่ 5 วงจรควบคุมการเปิด-ปิด มอเตอร์ (ESP 32, 2022) (ETTEAM, 2022)

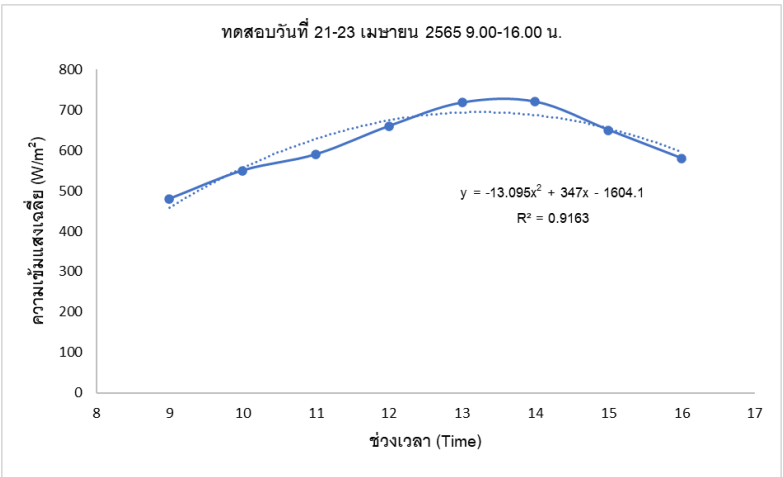
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากภาพที่ 6 การทดลองเป็นเวลา 3 วัน ตั้งแต่วันที่ 21-23 เมษายน 2565 ช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าค่าเฉลี่ยออกซิเจนในน้ำจะเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่กังหันน้ำทำงานตั้งแต่ 9.00-16.00 น.โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 3.9-6.8 mg/L ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบกังหันน้ำซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปตามสมการโพลิโนเมียล y = -0.0381x2 + 1.4214x - 6.0905 ค่าออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นแปรผันตามระยะเวลาที่ทำการทดลองเนื่องจากเมื่อกังหันปั่นน้ำเป็นระยะเวลานานทำให้น้ำได้แลกเปลี่ยนออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น และในภาวะทั่วไป เมื่อน้ำไม่มีแสงอาทิตย์ส่องถึงออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าต่ำสุดและจะเพิ่มสูงขึ้นในตอนกลางวันจนมีค่าสูงในช่วงตอนบ่ายผลเนื่องมาจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชในน้ำมีมากขึ้น จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-squared, R^2) มีค่า 0.9565 นั้นแสดงให้เห็นว่าว่าค่าเฉลี่ยออกซิเจนในน้ำและช่วงเวลามีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน

ผลการทดลองในภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลาที่ทำการทดสอบตั้งแต่ 9.00-16.00 น. ตั้งแต่วันที่ 21-23 เมษายน 2565 กับความเข้มแสงจะมีความสัมพันธ์กันโดยความเข้มแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 9.00-14.00 น. ซึ่งมีค่า 480-580 W/m^2 และจะมีค่าลดลงเหลือ650-580 W/m^2 ที่เวลา 14.00-16.00 น. ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเป็นไปตามสมการโพลิโนเมียล y = -13.095x2 + 347x - 1604.1 ซึ่งขณะที่ทำการทดสอบนั้นความเร็วรอบของมอเตอร์จะอยู่ในช่วง 250-300 rpm



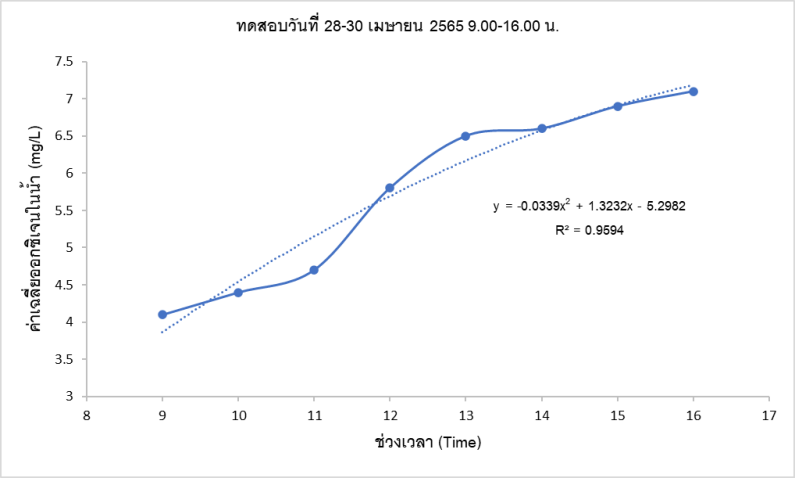
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนในน้ำและช่วงเวลาในการทดสอบ



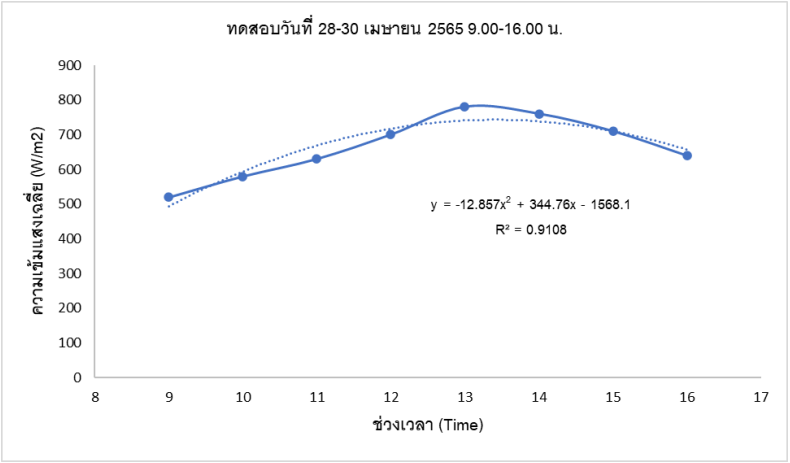
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและช่วงเวลาในการทดสอบ

จากภาพที่ 8 การทดลองเป็นเวลา 3 วัน ตั้งแต่วันที่ 28-30 เมษายน 2565 ช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าค่าออกซิเจนในน้ำจะเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่กังหันน้ำทำงานตั้งแต่ 9.00-16.00 น.โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4.1-7.1 mg/L ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบกังหันน้ำซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปตามสมการโพลิโนเมียล y = -0.0339x2 + 1.3232x - 5.2982 ค่าออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นแปรผันตามระยะเวลาที่ทำการทดลอง เนื่องจากเมื่อกังหันปั่นน้ำเป็นระยะเวลานานทำให้น้ำได้แลกเปลี่ยนออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้นและในภาวะทั่วไป เมื่อน้ำไม่มีแสงอาทิตย์ส่องถึงออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าต่ำสุดและจะเพิ่มสูงขึ้นในตอนกลางวันจนมีค่าสูงในช่วงตอนบ่ายผลเนื่องมาจากการสังเคราะห์แสงในน้ำมีมากขึ้น จากกราฟแสดงให้

เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-squared, R^2) มีค่า 0.9594 นั้นแสดงว่าออกซิเจนในน้ำและเวลามีความสัมพันธ์กันเชิงบวก



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนในน้ำและช่วงเวลาในการทดสอบ



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและช่วงเวลาในการทดสอบ

ผลการทดลองในภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลาที่ทำการทดสอบตั้งแต่ 9.00-16.00 น.ตั้งแต่วันที่ 28-30 เมษายน 2565 กับความเข้มแสงจะมีความสัมพันธ์กันโดยความเข้มแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 9.00-14.00 น. ซึ่งมีค่า 520-760 W/m^2 และจะมีค่าลดลงเหลือ 710-640 W/m^2 14.00-16.00 น. ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเป็นไปตามสมการโพลิโนเมียล y = -12.857x2 + 344.76x - 1568.1 ซึ่ง

ขณะที่ทำการทดสอบนั้นความเร็วรอบของมอเตอร์จะอยู่ในช่วง 335-350 RPM จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-squared, R^2) มีค่า 0.9108 นั้นแสดงให้เห็นว่าว่าความเข้มแสงเฉลี่ยและช่วงเวลามีความสัมพันธ์กันและมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันตลอดเวลาที่ทดลองทั้ง 3 วัน

จากการทดลองทั้งสองวันจะเห็นได้ว่าวันที่ 21 เมษายน 2565 มีค่าออกซิเจในน้ำเฉลี่ย 5.525 mg/L ซึ่งช่วงความเข้มแสงตลอดทั้งวันที่ทำการทดสอบจะมีค่าน้อยกว่าวันที่ 29 เมษายน 2565 ซึ่งมีค่าออกซิเจนในน้ำเฉลี่ย 5.762 mg/L จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงนั้นแปรผันตรงกับค่าออกซิเจนในน้ำและเมื่อความเข้มแสงตลอดทั้งวันที่มากกว่าจึงทำให้ช่วงความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ทำการปั่นน้ำขึ้นมาแลกเปลี่ยนออกซิเจนมีมากกว่า

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการควบคุมการทำงานของกังหันน้ำ

ลักษณะการใช้งาน	กังหันน้ำทั่วไป	กังหันน้ำประยุกต์ใช้กับแอพพลิเคชั่น
เปิด-ปิดระยะใกล้	ได้	ได้
เปิด-ปิดระยะไกลโดยใช้สาย	ได้	ได้
เปิด-ปิดระยะไกลแบบไร้สาย	ไม่ได้	ได้
ตรวจสอบการทำงานระยะไกลได้	ไม่ได้	ได้

สรุปผลและเสนอแนะ

เครื่องกลเติมอากาศชนิดกังหันในน้ำนี้สามารถสั่งงานระยะไกลและใช้งานได้จริงเมื่อทำการทดสอบเป็นเวลา 7 ชั่วโมง/วัน ทดลองทั้งหมด 3 วัน โดยสามารถเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้เฉลี่ยประมาณ 3 mg/L ที่รัศมี 5 เมตรจากตัวเครื่อง งานวิจัยนี้ได้ใช้แหล่งจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 750 วัตต์โดยผ่านแบตเตอรี่ทำให้ประหยัดค่าไฟและระบบไม่ซับซ้อนมากในการควบคุมระบบการทดลองนั้นได้ประยุกต์นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมสวิตช์รีเลย์สั่งเปิด-ปิดมอเตอร์หมุนกังหันผ่านสมาร์ทโฟนควบคุมโดยแอพพลิเคชั่น Blynk พบว่าสามารถใช้งานได้ดีทุกครั้งที่ทำการทดลองแต่มีการหน่วงของเวลาประมาณ 3-4 วินาทีในการส่งผ่านไวไฟ ซึ่งระบบนั้นยังสามารถนำไปต่อยอดใช้ในงานเกษตรด้านอื่น ๆ ได้ที่ต้องการเปิด-ปิดมอเตอร์ผ่านโทรศัพท์มือถือที่ซึ่งในสถานที่บางแห่งอาจไม่เอื้ออำนวยในการเดินเข้าไปสั่งงานมอเตอร์และสามรถนำไปพัฒนาระบบต่อให้มีประสิทธิภาพและการใช้งานที่ครอบคลุมยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรีที่ได้สนับสนุนแหล่งทุนและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

การบำบัดน้ำเสีย. (2565). *กระบวนการบำบัดน้ำเสีย* [Online]. https://il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter3/chapter3_water13.htm.

ชัยยงค์ เสริมผล, จิระเตช สังคะโห, และ พลวัฒน์ ศรีโยหะ. (2563). การพัฒนากังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านสัญญาณไร้สาย. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย,* 14(2).

ทินกร มุสิกะ, กิตติศักดิ์ ปลื้มอารมณ์, พีระพงศ์ โกศัยพัฒน์, ทินกร เขียวรี, และ นภัทร วัจนเทพินทร์. (2558). *กังหันน้ำเติมอากาศแบบสามทุ่นใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์*. การประชุมสัมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8.

เทพนิกร แก้วสุวรรณ และ วีระยุทธ สุดสมบูรณ์. (2558). *การออกแบบและพัฒนากังหันเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์*. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ครั้งที่ 5.

ภารดร ทองเสน และ ยอดชาย เตียเปี้น. (2563). เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 3(1).

ศิริวรรณ ทำนุ, ชวโรจน์ ใจสิน, ธงชัย มณีชูเกตุ, และ นรินทร์ ปิ่นแก้ว. (2561). *การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงปลานิล*. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2563). น้ำเสียชุมชน. *วารสารการอาชีวศึกษาภาคกลาง*, 4(1).

อาทิตย์ อรุณศิวกุล. (2564). เครื่องบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยการเพิ่มอากาศแบบหัวพ่นควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก*, 1(1).

ESP 32. (2022). *การประยุกต์ใช้ IoT สำหรับบุคคลทั่วไป.* [online]. http://ias.it.msu.ac.th/course/1201376-Unix-Linux/2-2561/BasicBook_ESP32.pdf

ETTEAM. (2022). *Blynk.* https://www.etteam.com/productI2C_RS485/ET-ESP8266-RS485/docs/ET-Demo_IoT_Blynk.pdf

Onsemi. (2022). *Semiconductor*. [online]. https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/tip140-d.pdf.

Psptech. (2022). *Transistor*. [online]. http://www.psptech.co.th.