

เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์

Solar-Powered Turbine Aerator

ภารดร ทองเสน¹ และ ยอดชาย เตียเป็๋น²

Paradon Thongsen¹ and Yodchai Tiapel²

Received: April 23, 2020

Revised: May 29, 2020

Accepted: June 26, 2020

บทคัดย่อ

เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์แบบใต้ผิวน้ำแนวตั้ง อาศัยการออกแบบด้วยการจำลองพลศาสตร์ของไหล เพื่อเลือกขนาดใบพัดที่เหมาะสมกับกำลังขับของมอเตอร์และพลังงานที่ได้จากโซลาร์เซลล์ขนาด 600 วัตต์ โดยใบพัดมีลักษณะแบบซี่ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร จมน้ำลึก 0.6 เมตร มีแกนเพลากลางต่อตรงกับมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านขนาด 500 วัตต์ 1,000 รอบต่อนาที เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำความเร็วรอบสูงสุดประมาณ 850 รอบต่อนาที สามารถถ่ายเทปริมาณออกซิเจนได้ 2.48 kgO₂/kWh

คำสำคัญ: เครื่องเติมอากาศใบพัด พลังงานแสงอาทิตย์

¹ ช่างเทคนิคชำนาญการ คณะพาณิชยศาสตร์บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
Professional technician, International Maritime College, Kasetsart University Si Racha Campus
E-mail: paradon.t@ku.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพาณิชยศาสตร์บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
Assistant Professor, International Maritime College, Kasetsart University Si Racha Campus
E-mail: yodchai.ti@ku.th

Abstract

The solar-powered turbine aerator relied on the design with CFD to select the suitable rotor size for the motor power and 600 watts of solar power. The diameter of the propeller was 160 millimeter, submerged about 0.6 meter, assembled with a hollow shaft and directly connected with a brushless DC motor of 500 watts and 1,000 rpm. The solar-powered aerator can reach a maximum speed of 850 rpm. with oxygen transfer rate of 2.48 kgO₂/kWh.

Keywords: Aerator, CFD, Solar power

บทนำ

ปัจจุบันการเติมออกซิเจนให้กับน้ำทั้งทางด้านการเลี้ยงสัตว์น้ำ และการบำบัดน้ำเสีย ส่วนใหญ่ใช้พลังงานจากเครื่องยนต์ หรือไฟฟ้าขับเคลื่อนเพื่อเติมออกซิเจนให้กับน้ำ ส่งผลให้มีภาระค่าใช้จ่ายต้นทุนพลังงาน ในปัจจุบันมีการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้อย่างแพร่หลายในหลายๆ รูปแบบ เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ เป็นต้น พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพมากในประเทศไทยเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนประเภทอื่นๆ

แนวความคิดการพัฒนาเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และนำพลังงานไฟฟ้าเป็นต้นกำลังให้กับมอเตอร์ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศที่มีประสิทธิภาพ จะสามารถช่วยแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายพลังงานได้

บททวนวรรณกรรม

การเติมอากาศเป็นกลไกทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) [1] เพื่อขจัดก๊าซที่ปนอยู่ในน้ำ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ เหล็ก ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารอินทรีย์ระเหยง่าย การเติมออกซิเจนลงในน้ำจัดให้เป็นอุปกรณ์ aerator [2] สามารถแบ่งได้ตามกลไกการทำงาน คือ เครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำ เช่น กังหันน้ำชัยพัฒนา แสดงดังรูปที่ 1 ใช้วิธีการตักน้ำด้วยช่องน้ำที่เจาะรูน้ำพรุน เมื่อช่องน้ำหมุนจะตักยกน้ำขึ้นและน้ำจะไหลผ่านรูน้ำพรุน ทำให้น้ำสัมผัสกับอากาศก่อนที่จะตกลงด้านล่าง และ กังหันตีน้ำเป็นเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำแสดงดังรูปที่ 2 โดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนใบพัดให้หมุนเพื่อตีน้ำ ทำให้มีการเติมอากาศและน้ำไหล ซึ่งเหมาะสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งธรรมชาติ

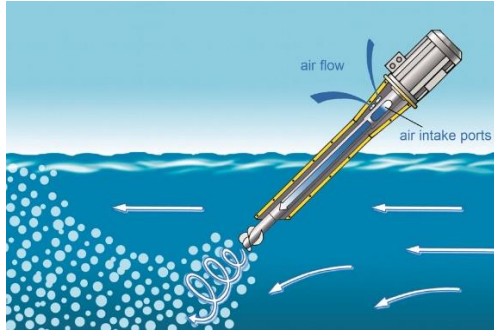


รูปที่ 1 กังหันน้ำชัยพัฒนา [3]



รูปที่ 2 กังหันตีน้ำ [4]

เครื่องเติมอากาศใต้น้ำแบบแวนอนแสดงดังรูปที่ 3 และแบบกังหันแกนตั้งแสดงดังรูปที่ 4 เครื่องเติมอากาศชนิดนี้อาศัยใบพัดหมุนใต้น้ำทำให้ความดันบริเวณท้ายใบพัดลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศ อากาศเหนือผิวน้ำจะถูกดูดผ่านเข้าแกนเพลลา ทำให้อากาศแตกเป็นฟองอากาศเล็กๆ สัมผัสกับน้ำ เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจน

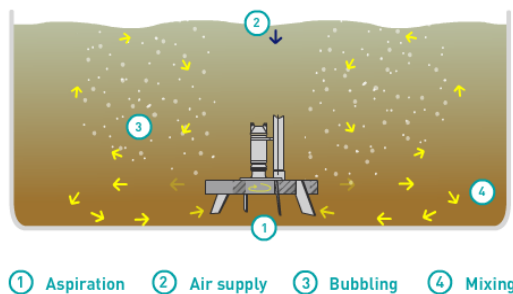


รูปที่ 3 เครื่องเติมอากาศใต้น้ำแบบแวนอน [5]



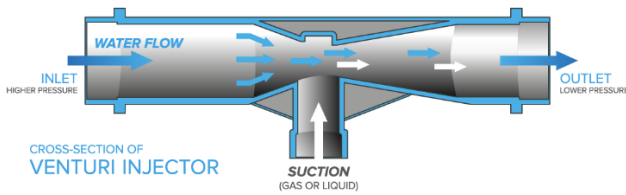
รูปที่ 4 เครื่องเติมอากาศใต้น้ำแบบแนวตั้ง [6]

เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำแสดงดังรูปที่ 5 มีลักษณะการทำงานผสมกันระหว่างระบบเป่าอากาศและระบบเครื่องเติมอากาศ กล่าวคือ อากาศหรือออกซิเจนจะถูกเป่ามาตามท่อ และจะถูกใบพัดเทอร์ไบน์ตีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายไปทั่ว เครื่องเติมอากาศชนิดนี้มีความสามารถในการให้ออกซิเจนสูง แต่มีราคาและการบำรุงรักษาสูงกว่าแบบอื่น



รูปที่ 5 ภาพการเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำ [7]

เครื่องเติมอากาศแบบเจ็ตมีด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบใช้หลักการการทำงานของ Venturi แสดงดังรูปที่ 6 ทำงานโดยอาศัยเครื่องสูบน้ำฉีดผ่านหัวฉีดเวนจูรี่ที่มีรูปร่างเป็นคอขวดเพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศลงมาผสมกับน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจนลงไปใต้น้ำ และ แบบ Water Jet Aerator แสดงดังรูปที่ 7 ใช้หลักการปั๊มน้ำผ่านระบบท่อหลักและแยกไปยังท่อย่อยๆ ที่มีปลายท่อเป็นรูปทรงหัวฉีด โดยภายในท่อจะมีท่ออากาศที่สามารถดึงอากาศให้เข้ามาผสมกับน้ำก่อนที่จะออกจากหัวฉีด



รูปที่ 6 เวนจูรี [8]



รูปที่ 7 การสูบน้ำลงบนผิว [9]

ค่ามาตรฐานประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศพื้นฐานแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1 [10] ซึ่งเครื่องเติมอากาศแบบ vertical pumps, pump sprayers, propeller aspirator pumps, paddle wheels และ diffused air นิยมใช้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด และ pure oxygen นิยมใช้ในบ่ออนุบาลปลาและกุ้ง [11]

ตารางที่ 1 มาตรฐานประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศพื้นฐาน

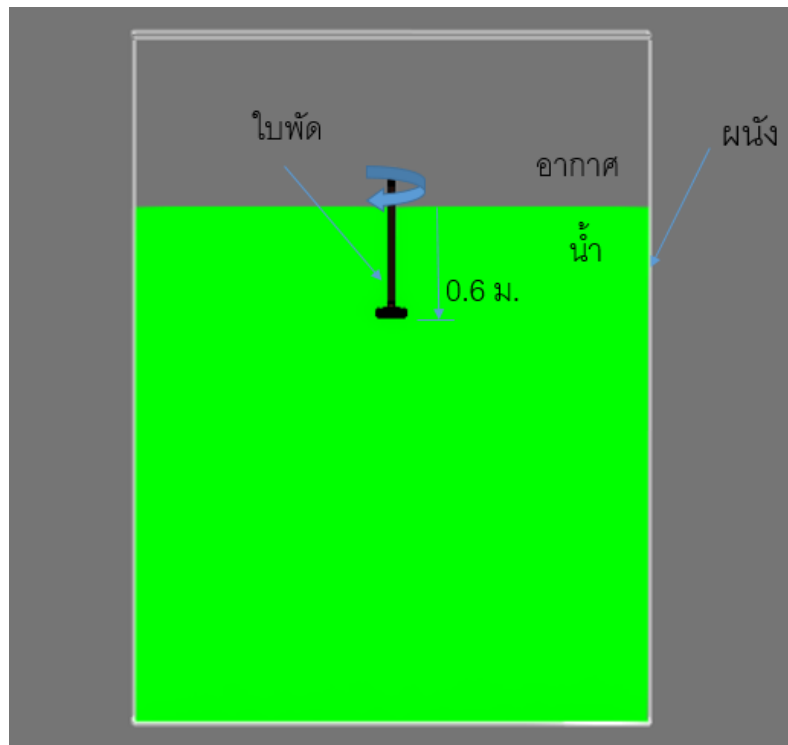
ชนิดของเครื่องเติมอากาศ	ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนเฉลี่ย (kgO ₂ /kWh)
Flexible link aerator with circle holes	2.7
Flexible link aerator without circle holes	1.84
Propeller aspirator pump	1.58
Vertical pump	1.28
Paddle wheel	1.29-2.75
Pump sprayer	0.9-1.9
Diffused air	0.7-1.2

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เลือกใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยอาศัยแผ่นโซลาร์เซลล์ในการแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นระบบที่มีพลังงานไฟฟ้าอย่างจำกัด การเลือกชนิดของเครื่องเติมอากาศที่เหมาะสมกับพลังงานไฟฟ้าที่มีจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง Kazi Faridul Hasan (2013) กล่าวว่าเครื่องเติมอากาศแบบใบพัดมีจุดเด่นคือ สามารถถ่ายเทออกซิเจนได้จำนวนมากแต่ใช้พลังงานน้อย อุปกรณ์ราคาไม่แพง ทนทานต่อการใช้งาน และบำรุงรักษาง่าย [12] การออกแบบจึงเลือกใช้ใบพัดใต้น้ำแบบแกนตั้ง โดยการติดตั้งใช้งานเป็นแบบทุ่นลอยติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์อยู่ด้านบน

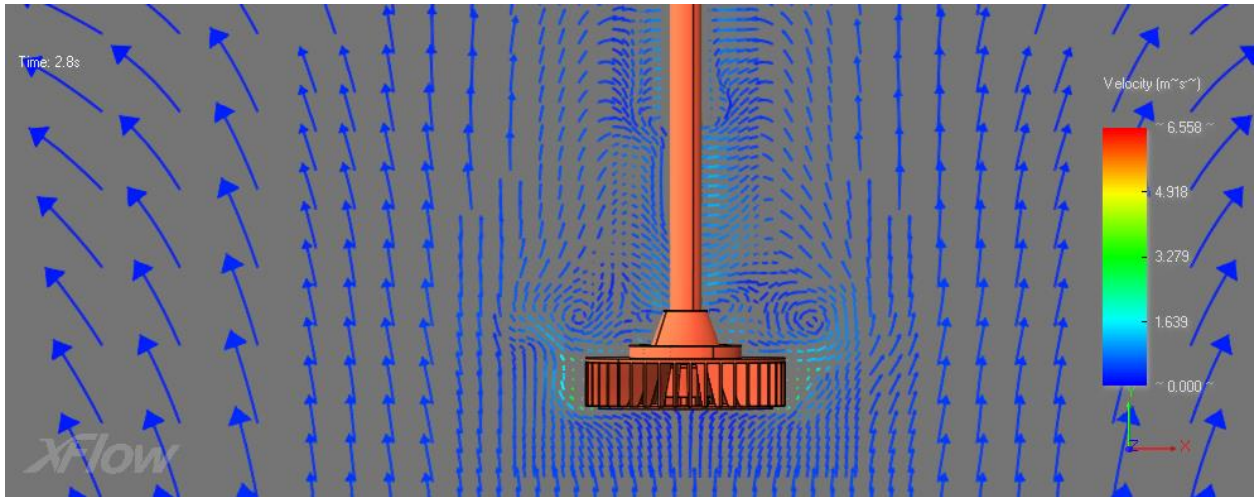
อาศัยการจำลอง CFD (Computational Fluid Dynamics) เพื่อหาขนาดใบพัดที่เหมาะสมกับขนาดกำลังมอเตอร์ที่จะนำมาใช้งาน โดยจะเลือกใช้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 2 แผ่น สามารถผลิตกำลังสูงสุดได้ 600 วัตต์ ในเบื้องต้นกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัดมีขนาด 160 มม. มีลักษณะเป็นแบบซี่ๆ จำนวน 40 แผ่น ต่อเข้ากับเพลากลวงขนาด 1 นิ้ว ยาว 828 มม. ใช้โปรแกรม CFD สำเร็จรูป

XFlow เลือกโมเดลการจำลองแบบ Free surface กำหนดให้ใบพัดจมน้ำระยะที่เหมาะสมที่ความลึก 0.6 เมตร เนื่องจากระดับความลึกมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานเนื่องจากค่าความดันสถิตที่เพิ่มมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 8 หมุนด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm 800 rpm 600 rpm และ 400 rpm เลือกขนาดเมส บริเวณรอบนอก (resolved scale) มีขนาดเท่ากับ 0.5 เมตร และบริเวณใกล้ใบพัด (target resolved scale) มีความละเอียดมากขึ้นเท่ากับ 0.0075 เมตร

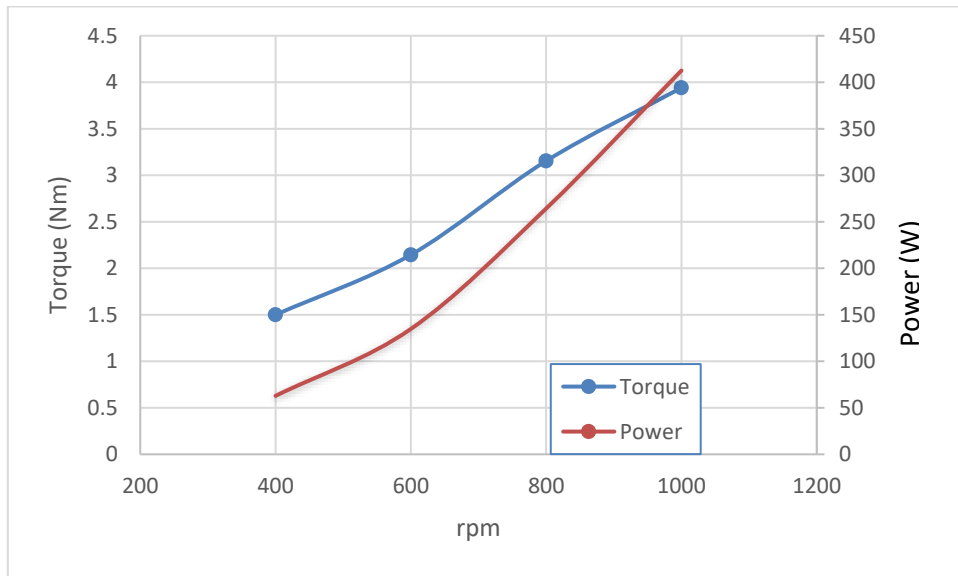


รูปที่ 8 โดเมนการจำลอง

ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นดังรูปที่ 9 แสดงเป็นเวกเตอร์ของความเร็วน้ำบริเวณรอบๆ ใบพัด และจากการปรับค่าความเร็วต่างๆ สามารถแสดงค่ากำลังขับที่ใช้แสดงในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่ากำลังขับที่ใช้ที่ความเร็วรอบสูงสุด 1,000 rpm ใช้กำลังขับประมาณ 412 วัตต์ ดังนั้นจึงเลือกใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร จมน้ำลึก 0.6 เมตร ติดกับเพลากลางขนาด 1 นิ้ว ยาว 0.828 เมตร เจาะรูบริเวณปลายด้ายบนสำหรับให้อากาศไหลผ่านจากบริเวณเหนือผิวน้ำไปยังบริเวณใบพัดที่มีความดันต่ำ ต่อตรงกับมอเตอร์ชนิด BLDC ขนาด 500 วัตต์ 1,000 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพ 84%

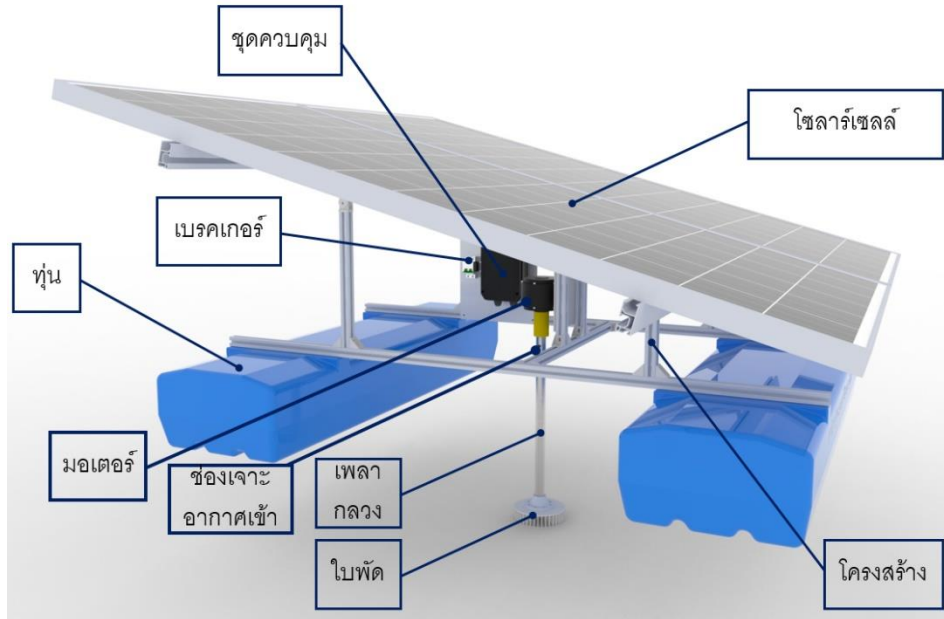


รูปที่ 9 เวกเตอร์ความเร็วน้ำรอบๆ ใบพัด

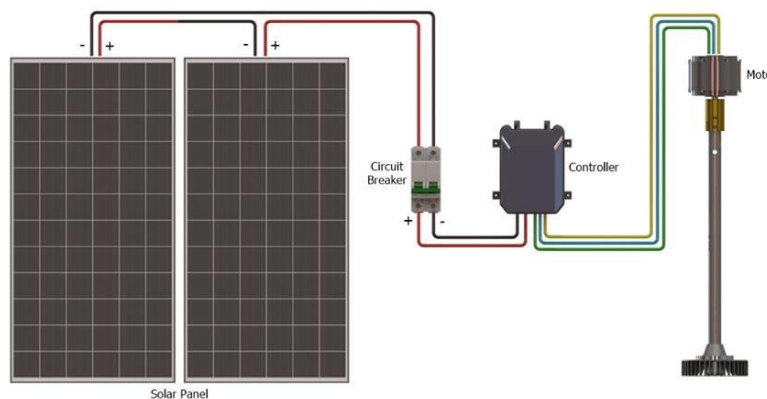


รูปที่ 10 ค่าแรงบิด และกำลังงาน เทียบกับความเร็วรอบ

กำหนดให้แผงโซลาร์เซลล์มีมุมเอียง 15.5° อาศัยหุ่นรูปทรงกระบอกจำนวน 2 หุ่น สำหรับรับน้ำหนัก โครงสร้างของชุดเครื่องเติมอากาศทั้งหมดในขณะติดตั้งอยู่ในน้ำ รายละเอียดชิ้นส่วนอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 11 มีการติดตั้งตัวควบคุม MPPT (Maximum Power Point Tracking) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมการผลิตไฟฟ้าให้ได้ สูงสุดจากแผงโซลาร์เซลล์ และติดตั้งตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ (Motor controller) อยู่ภายในกล่องควบคุม (Controller) วงจรไฟฟ้าเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 ชิ้นส่วนเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์



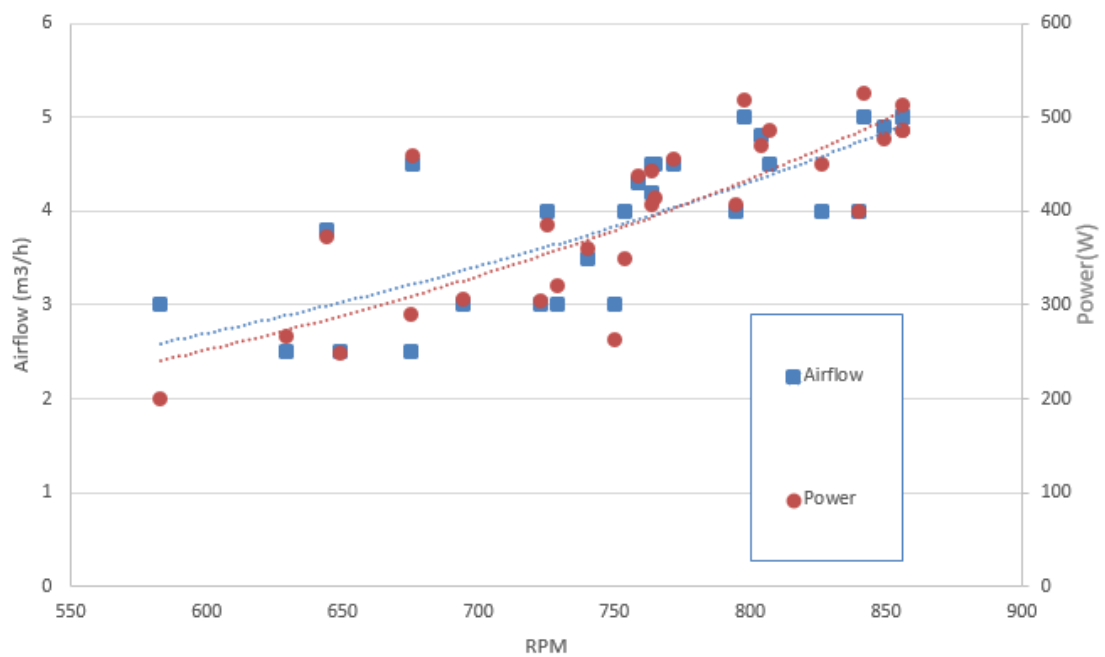
รูปที่ 12 วงจรไฟฟ้าเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการศึกษา

เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์ทดสอบในบ่อเลี้ยงปลาน้ำนิ่ง มีพื้นที่ขนาด 4,000 ตารางเมตร แสดงดังรูปที่ 13 มีแสงแดดตลอดทั้งวัน โดยหันหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงทิศใต้ กำหนดให้ชุดใบกังหันจมน้ำที่ระดับความลึก 0.6 เมตร และมีการติดตั้งอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลอากาศ (flow meter) ที่ติดตั้งครอบเพลากลวงของใบพัด โดยการทดสอบดำเนินการตรวจวัดค่าความเร็วรอบใบพัด ปริมาณอากาศของอากาศที่สามารถเติมให้กับน้ำ (m^3/h) กระแสไฟฟ้า (A) และแรงดันไฟฟ้า (V) การทดสอบดำเนินการตรวจวัดตั้งแต่เช้าถึงเย็นหลายๆ วัน เพื่อให้ได้คุณลักษณะการทำงานของเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์ จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 14 โดยค่ากำลังไฟฟ้านำมาคำนวณจากสมการ $Power=AV$ (watt) ซึ่งเส้นประคือค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ



รูปที่ 13 การติดตั้งทดสอบในบ่อน้ำ



รูปที่ 14 อัตราการไหลของอากาศและกำลังไฟฟ้าเทียบกับความเร็วรอบ

อริปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการพัฒนาเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนทุ่นลอย โดยอาศัยโซลาร์เซลล์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 2 แผง ต่อแบบอนุกรม ใช้มอเตอร์ชนิด BLDC ขนาด 500 วัตต์ 48 โวลต์ ต่อกับเพลลาที่ติดตั้งมีใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร อยู่ที่ตำแหน่งปลายเพลลา จมอยู่ใต้แนวน้ำที่ระดับความลึก 0.6 เมตร เพลลาใบพัดมีลักษณะกลวงเพื่อให้อากาศสามารถไหลจากเหนือผิวน้ำเข้าไปผสมกับน้ำในบริเวณใต้น้ำได้ ผลการทดสอบจะเห็นว่าเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำงานได้ดีตลอดทั้งวันที่มีแดด โดยสามารถทำงานได้เองอัตโนมัติเมื่อท้องฟ้าเริ่มมีแดด เครื่องทำงานได้ดีที่สุด (ความเร็วรอบสูงสุด) ในช่วงเวลาประมาณบ่ายโมงถึงบ่ายสองโมง และความเร็วรอบจะค่อยๆ ลดลง จนกระทั่งหยุดทำงานเมื่อแสงแดดหมดในช่วงตอนเย็น เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำความเร็วรอบสูงสุดประมาณ 850 rpm สามารถดึงอากาศลงไปผสมกับน้ำได้อัตราการไหลประมาณ $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ใช้กำลังงานประมาณ 0.518 กิโลวัตต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณออกซิเจนมาตรฐานของเครื่องเติมอากาศตามตารางที่ 1 ที่จัดอยู่ในประเภท Propeller aspirator มีค่าประมาณ $1.58 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ ซึ่งเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถถ่ายเทปริมาณออกซิเจน (21% ในอากาศ) เท่ากับ $5 \text{ m}^3/\text{h} \times 1.225 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0.21 \times 1/0.518 \text{ kW} = 2.48 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ ซึ่งสามารถถ่ายเทปริมาณออกซิเจนมากกว่า 1.569 เท่าเทียบกับค่ามาตรฐาน

เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีอุปกรณ์และหลักการการทำงานไม่ซับซ้อน และราคาไม่แพง สามารถถ่ายเทปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำได้ดี ที่สามารถนำไปใช้งานกับแหล่งน้ำต่างๆ เช่น บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือแหล่งน้ำคลองสาธารณะ ที่ต้องการบำบัดให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งหรือพลังงานจากเครื่องยนต์ที่มีการปล่อยมลพิษสู่บรรยากาศ มีความคุ้มค่าไม่ต้องจ่ายค่าต้นทุนค่าพลังงาน ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเชื้อเพลิง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ahmad and Boyd (1988), Ahmad, T., & Boyd, C. E. (1988). Design and performance of Paddle Wheel Aerators. *Aquacultural Engineering*, 7(1), 39-62.
- [2] Jayraj P., Subha M. Roy, C.K.Mukherjee and B.C.Mal (2017), Design characteristics of submersible aerator, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 18: 1017- 1023.
- [3] มูลนิธิชัยพัฒนา (2559), กังหันน้ำชัยพัฒนา, สืบค้นเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2563, จากเว็บไซต์ : https://www.chaipat.or.th/site_content/item/18-chaipattana-water-turbine-development.html
- [4] ทองสมายล์ (2560), เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2563, จากเว็บไซต์ : http://www.thongsmile.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539727699&Ntype=6#.Xp_VcgzblU
- [5] Aqua aerobic (2018), Oxystar Aspirating Aerator, Retrived March 15, 2019 from <https://www.aqua-aerobic.com/aeration-mixing/aspirating-aerators/>

- [6] Toring (2017), Floating turbine aerator : Retrived March 15, 2019 from <https://www.toring.com/en/toring-aerator>
- [7] Europelec (2018), Submerged low speed turbine, Retrived March 20, 2019 from <http://www.europelec.com/the-submerged-low-speed-turbine-sofie.html>
- [8] Wassertec (2017), Venturi injectors, Retrived March 20, 2019 from <https://www.wassertec.co.za/mazzei-venturi-injectors/>
- [9] Task (2018), Jet aeration systems, Retrived March 25, 2019 from <http://task.be/en/content/jet-aeration-subsurface-wastewater-aeration/>
- [10] Ayub. M. (2015). Design of Flexible Link Aerator System to Generate Dissolved Oxygen in Prawn Pond. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia: Tesis Sarjana Muda.
- [11] Claude E. Boyd (1998), Pond water aeration systems, *Aquacultural Engineering* 18 (1998) 9–40
- [12] Kazi Faridul Hasan (2013), Types & use of aerators in hatchery, Lecture, Retrived May 5, 2020 from https://www.slideshare.net/KaziFaridul/types-use-of-aerators-in-hatchery?from_action=save