การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6
5 - 7 พฤษภาคม 2553 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ศึกษาการออกแบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง

A Study on Designs of a Centrifugal Solar Aerator

นฤมล ดวงนามล พิสิษฏ์ มณีโชติ และ ประพิธาร์ ธนารักษ์
สาขาวิชาพลังงานทดแทน คณะวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
เขต ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10300 โทร 02-655-3700 โทรสาร 02-655-3699 E-mail: narumold.tang@gmail.com

Narumol Duangnamol* Pisit Maneechot and Prapita Thanarak
Program in Renewable Energy, School of Renewable Energy Technology, Naresuan University
Khet Pathum Wan, Bangkok 10300 Thailand Tel: 02-655-3700 Fax: 02-655-3699 E-mail: narumold.tang@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นการศึกษาการออกแบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง เพื่อเข้ามาช่วยในการจัดการคุณภาพน้ำ ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยว แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 35 แอมป์-ชั่วโมง เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ขนาด 12 โวลต์ 22 แอมป์ ยูล็ม จำนวน 4 ตัว ขนาดตัวละ 14.4 วัตต์ ที่สลับการทำงานครั้งละ 2 ตัว ต่อ 2.5 นาที ติดตั้งในระดับความสูงเหนือระดับผิวน้ำที่ 5 เซนติเมตร เป็นตัวสร้างละอองน้ำไปจับออกซิเจนในอากาศ แล้วถ่ายเทออกซิเจนจากบริเวณฟิล์มของก๊าซเข้าสู่บริเวณฟิล์มของของเหลว (ผิวน้ำ) ภายใต้สภาวะการทำงานจำนวน 10 ชั่วโมง ตั้งแต่ 8.00 - 18.00 น. และปั๊ม ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 1 ตัว ทำงาน 5 ชั่วโมง ทำหน้าที่สูบน้ำขึ้นไปเก็บในถังเก็บน้ำ ขนาด 3 ลิตร เกิดการถ่ายเทออกซิเจนจากชั้นฟิล์มของของเหลวเข้าสู่ชั้นของของเหลว ของน้ำ เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจากผลทดสอบการทำงานของเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง พบว่า มีประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน เท่ากับ 0.085 kgO_2/hr และประสิทธิภาพการเติมอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (SAE) เท่ากับ 0.085 kgO_2/kWh พร้อมทั้งมีประสิทธิภาพในการเติมอากาศของระบบ เท่ากับ 1.23 kgO_2/kWh

คำสำคัญ: การออกแบบเครื่องเติมอากาศ เครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง ประสิทธิภาพการเติมออกซิเจน

Abstract

This article explains a study on design of a 150-Watt photovoltaic powered aerator for improvement of water quality. This system comprises of single crystalline Silicon PV modules, a 12 volt 35 Amp-hour battery, a 12 volt 22 Amp charge controller, four urem of 14.4 Watt each working in pair switching in 2.5 minutes interval. It is installed at 5 centimetres above the water surface. It creates water mist which captures Oxygen in the air. Then the Oxygen is transferred from the film layer of gas into the film layer of liquid (water surface). The system operates 10 hours between 8.00-18.00 hrs. There is also a 36-Watt pump working for 5 hours siphoning water up into a 3-litre tank. This creates the transport of oxygen from the film layer of liquid into the liquid layer of water which is an efficient way to increase Oxygen in water resources.

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเครื่องเติมอากาศมาช่วยในการจัดการคุณภาพน้ำ ซึ่งระบบการเติมอากาศต้องใช้พลังงานการเผาไหม้จากน้ำมันอย่างมหาศาล และถูกยึดติดให้อยู่กับที่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเติมอากาศให้ทั่วบริเวณผิวน้ำจึงลดน้อยลง ดังนั้น งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในระบบเครื่องเติมอากาศ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และช่วยส่งเสริมให้เกิดการนำพลังงานทดแทนที่มีอยู่อย่างมหาศาลมาประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่มีอยู่แล้ว การออกแบบระบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยงเป็นการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับเครื่องเหวี่ยงน้ำละอองฝอยที่เรียกว่ายูเล็ม โดยการออกแบบอุปกรณ์ในแต่ละส่วนใช้หลักการทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ และทางด้านพลังงาน เข้ามาช่วยในการออกแบบ และเพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องบำบัดน้ำเสีย ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไป

2. ทฤษฎีการเติมอากาศ

2.1 เทคโนโลยีของระบบเครื่องเติมอากาศให้กับแหล่งน้ำเสีย

ระบบเครื่องเติมอากาศในปัจจุบัน ส่วนใหญ่แบ่งออกได้ 3 ปะเภท คือ แบบที่ 1 แบบตัวกระจายอากาศ (Diffused Aeration) อาศัยหลักการทำงาน คือ การให้อากาศที่เกิดจากเครื่องเป่าอากาศ หรือเครื่องดูดอากาศ ทำการพ่นหรือเป่าลงไปในน้ำเสีย โดยอาศัยตัวกระจายเป็นตัวจ่ายอากาศ แบบที่ 2 แบบตีน้ำ (Mechanical Aeration)

ใช้ในการเติมอากาศลงไปในน้ำ ในขณะเดียวกัน ตีกวนน้ำในบ่อหรือถังเติมอากาศด้วย และ แบบที่ 3 แบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (High-purity Oxygen) เป็นการเติมออกซิเจนบริสุทธิ์แทนการใช้อากาศเติมลงในน้ำที่ถังเติมอากาศ โดยระบบแบบนี้มีถังเติมอากาศซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 3 ถัง หรือ 3 ส่วน ด้วยแผ่นกั้นขวาง มีฝาปิดที่ถังเติมอากาศ เมื่อออกซิเจนบริสุทธิ์ถูกพ่นเข้าไปภายในถัง ก็จะเกิดการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ และภายในถังจะมีช่องระบายก๊าซออก ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน

2.2 การถ่ายเทออกซิเจน

2.2.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (K_La_T, h^{-1})

K_La_T เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิของน้ำขณะทำการทดลอง ซึ่งการคำนวณค่า K_La_T ให้เป็นค่าที่อุณหภูมิมาตรฐานจำเป็นต้องทำการคำนวณปรับค่าให้อยู่ในอุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 20 °C และความดันบรรยากาศ 10.33 m ของน้ำ หรือ 760 mmHg) โดยคำนวณตามสมการ (1)

$$K_La_{20} = K_La_T * 1.024^{(20-T)} \quad (1)$$

2.2.2 ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน ($SOTR_{20}$, kg-O_2.h^{-1})

SOTR คือ ปริมาณของการถ่ายเทออกซิเจนต่อชั่วโมง ที่สภาวะมาตรฐาน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$SOTR = K_La_{20} * C_{s,20} * V \quad (2)$$

2.2.3 การเติมอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (SAE, kgO_2/kWh)

ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$SAE = SOTR/Power \quad (3)$$

2.2.4 ประสิทธิภาพในการเติมอากาศ

ประสิทธิภาพในการเติมอากาศของเครื่องเติมอากาศ (Aeration Efficiency) สามารถคำนวณได้จากสมการ (4)

$$AE = \frac{OC}{KW} \quad (4)$$

เมื่อ : AE คือ ประสิทธิภาพในการเติมอากาศ (kgO_2/kWh)
KW คือ พลังงานที่ใช้ในการเติมอากาศ (kW)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

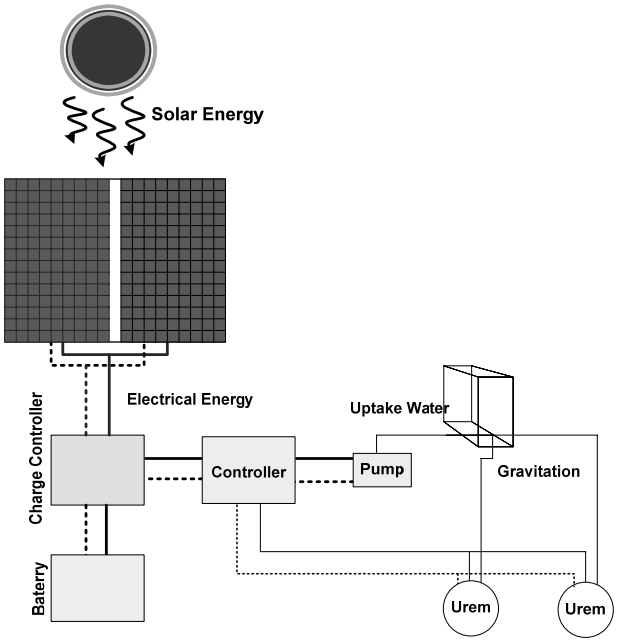
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

3.1.1 แนวคิดของระบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง

แนวคิดการออกแบบระบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง คือ การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์อีกรูปแบบหนึ่ง โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนระบบเหวี่ยงน้ำของยูเล็ม และการสูบน้ำของปั๊มจากด้านล่างของบ่อไปเก็บในถังขนาด 3 ลิตร โดยมีหลักการทำงาน คือ ช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 150 วัตต์ ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่ยูเล็ม และปั๊ม ผ่านชุดควบคุมการทำงานพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมๆ กัน ซึ่งระบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยงประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้ คือ

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์
- เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่
- แบตเตอรี่
- เครื่องควบคุมการทำงานของโหลด
- ปั๊ม DC
- ยูเล็ม
- สวิตช์ควบคุมระดับน้ำในถัง

ส่วนประกอบทั้งหมดของระบบ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงระบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง

3.1.2 ข้อกำหนดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 1 แสดงข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง ขนาด 150 วัตต์

รายการ	ข้อมูลทางเทคนิค		
ยูเล็ม	มอเตอร์ระบบ DC	12	โวลต์
	กระแสไฟฟ้า	1.2	แอมป์
	กำลังไฟฟ้า	14.4	วัตต์
	จำนวนชั่วโมง	10	ชั่วโมง
ปั๊มฉีดกระจกรถยนต์	มอเตอร์ระบบ DC	12	โวลต์
	กระแสไฟฟ้า	3	แอมป์
	กำลังไฟฟ้า	36	วัตต์
	จำนวนชั่วโมง	5	ชั่วโมง

3.1.3 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบต้องการใช้ทั้งหมด

ในการออกแบบระบบครั้งนี้กำหนดให้ระบบสามารถทำงานได้ โดยแบ่งเป็น ยูเล็มทำงาน 10 ชั่งโมง ปั๊มทำงานวันละ 5 ชั่วโมง จากข้อกำหนดดังกล่าวสามารถหาพลังงานไฟฟ้าที่ระบบต้องการได้จาก

$$E_{need} = P_{total} \times t_{use} \quad (5)$$

เมื่อ

E_{need} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ระบบต้องการใช้ทั้งหมด (kWh)

P_{total} คือ กำลังไฟฟ้าที่ระบบต้องการใช้ทั้งหมด (W)

t_{use} คือ เวลาที่ระบบใช้ทำงาน (hour)

*** จากสมการที่ 5 พลังงานไฟฟ้าที่ระบบ ฯ ต้องการใช้ทั้งหมดเท่ากับ 0.468 kWh/d

3.1.4 การคำนวณขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทราบขนาดของพลังงานไฟฟ้าที่ระบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยงต้องการแล้ว ในขั้นตอนต่อไปเป็นการคำนวณหาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบ การคำนวณหาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้จากสมการที่ 6

$$P_{PV} = \frac{E_{el} \cdot I_{STC}}{E_{glob} \cdot Q} \qquad (6)$$

เมื่อ

P_{PV} คือ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)

E_e คือ พลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้ทั้งหมด (0.468 kWh/d)

I_{STC} คือ แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่ 1 ตารางเมตร ภายใต้สภาวะมาตรฐาน (1000 W/m^2)

E_{glob} คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่ เป้าหมายเท่ากับ (4 kWh/day)

Q คือ Quality Factor (0.8)

**** จากสมการที่ 6 สามารถคำนวณหาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เท่ากับ 146 วัตต์ ซึ่งจะเลือกลักษณะขนาดแผงขนาด 75 วัตต์ จำนวน 2 แผง ต่อแบบขนานกัน

3.1.5 การคำนวณขนาดของแบตเตอรี่

การหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดของระบบ คือ 64.8 วัตต์-ชั่วโมง โดยเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ และสามารถหาความจุของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมได้ดังสมการที่ 7

$$C_B = \frac{L \cdot E}{DOD \cdot \eta_B}$$

C_B = ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Wh)

L = จำนวนวันที่ไม่มีแดด (3 day)

E = พลังงานที่ใช้ในระบบ (64.8 Wh)

DOD = อัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ (0.6)

η_B = ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ (0.85)

**** จากสมการที่ 7 สามารถหาความจุของแบตเตอรี่ที่จำเป็นต้องใช้ขนาด 381 Wh จึงเลือกใช้ขนาดของแบตเตอรี่ คือ 12 โวลต์ 35 แอมป์-ชั่วโมง

3.1.6 การเลือกขนาดของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

การเลือกขนาดของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ต้องคำนึงถึงกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ กระแสไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับการต่อขนานและอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เลือกใช้ในระบบ

$$A_B = \frac{P_{PV}}{V_{DC}} \qquad (8)$$

A_B คือ ขนาดของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่ต้องการใช้ (A)

P_{PV} คือ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (150 W)

V_{DC} คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของระบบ (12 V)

***จากสมการ (8) สามารถหาขนาดของกระแสไฟฟ้าของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ได้เท่ากับ 12.5 A เพราะฉะนั้นควรเลือกเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ขนาด 22 A แรงดันไฟฟ้าปกติขนาด 12 V

3.2 ขั้นการทดสอบทางเทคนิค

3.2.1 การทดสอบระบบการทำงานของเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง

เพื่อศึกษาลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในขณะที่มีการเติมอากาศ ซึ่งค่าการทำงานของเครื่องเติมอากาศจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา จะมีผลต่อการทำงานของเครื่องเติมอากาศ

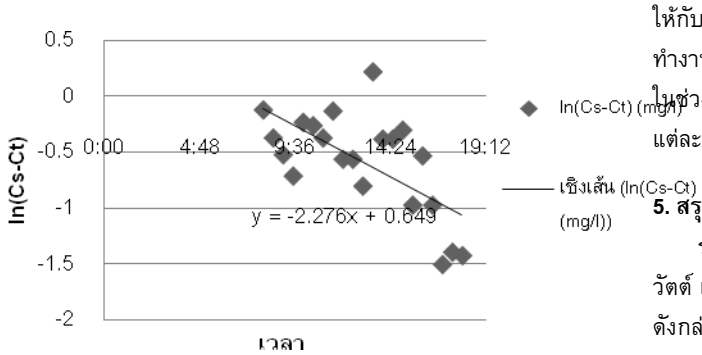
3.2.2 การเก็บข้อมูล

1. เก็บข้อมูลของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ที่มาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และภาระทางไฟฟ้า โดยทำการเก็บทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่ 8.00 – 18.00 น.
2. เก็บข้อมูลของค่าออกซิเจนละลายน้ำทุกๆ 30 นาที ตั้งแต่ 8.00 – 18.00 น.

4. ประเมินระบบเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง

4.1 ประสิทธิภาพของระบบการเติมอากาศ

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพการเติมอากาศของเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง แสดงดังภาพที่ 2 และตารางที่ 2 พบว่า การทดสอบในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 08.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นจำนวน 10 ชั่วโมง ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน เท่ากับ 0.085 kgO_2/hr และประสิทธิภาพการเติมอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (SAE) เท่ากับ 0.085 kgO_2/hr พร้อมทั้งมีประสิทธิภาพในการเติมอากาศของระบบ เท่ากับ 1.23 kgO_2/kWh



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับ $\ln(C_s-C_t)$

จากรูปที่ 2 เป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนของปริมาณออกซิเจน (C_s-C_t) ตั้งแต่ช่วงเวลา 8 .00 -18.00 น.เพื่อการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ (K_La) ณ จุดตำแหน่งวัดค่า DO ที่ความลึก 30 เซนติเมตร และยูเร็มอยู่เหนือระดับผิวน้ำ 5 เซนติเมตร ได้ค่าความชันของกราฟที่ -2.276 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ ผลการทดสอบระบบเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยงขนาด 150 วัตต์

รายการ		
1. ข้อมูลเบื้องต้น		
1.1 อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย (T)	34.24	^{0}C
1.2 ค่าการละลายอิ่มตัวของออกซิเจนที่อุณหภูมิน้ำ (C_s)	6.89	mg/l
1.3 ค่าการละลายออกซิเจนที่อุณหภูมิน้ำ 20	8.94	mg/l
1.4 ปริมาตรน้ำ	1.6	m^3
1.5 กำลังไฟฟ้าขาเข้า	0.0648	kW
2. ผลการวิเคราะห์		
2.1 ค่าความชันของกราฟเส้นตรง $\ln(C_s-C_t)$/Time	-2.276	min^{-1}
2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเชิงปริมาตร (K_La)	8.34	hr^{-1}
2.3 K_La ที่ 20	5.96	hr^{-1}
2.4 ความสามารถในการถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิของน้ำ 20 (OC 20)	0.09	kgO_2/hr
2.5 ความสามารถในการถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิของน้ำ (OC)	0.08	kgO_2/hr
2.6 ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน (SOTR)	0.085	kgO_2/hr
2.7 ประสิทธิภาพการเติมอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (SAE)	1.31	kgO_2/kWh
2.8 ประสิทธิภาพในการเติมอากาศของระบบ	1.23	kgO_2/kWh

จากตารางที่ 2 การประเมินลักษณะการใช้พลังงานใน 1 ชั่วโมงการทำของเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องกลเติมอากาศของเครื่องเติมอากาศที่ผิวแบบ Low speed (1.23-1.23-3.04 kgO_2/kWh ในสภาวะมาตรฐาน) ซึ่งขณะภาระทางไฟฟ้าทำงาน การจ่ายพลังงานให้กับระบบอยู่ในสภาวะเสถียรตั้งแต่ 8.00 -18.00 น. เครื่องเติมอากาศทำงานตลอดระยะเวลา 10 ชั่วโมง ซึ่งแบตเตอรี่จะจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดในช่วง 8.00 -9.00 น. และช่วง 17.00 -18.00 น เป็นช่วงที่ไม่มีแดดในแต่ละวันที่ทำการทดสอบ

5. สรุป

ระบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง ขนาด 150 วัตต์ เป็นเทคโนโลยีที่สามารถถ่ายเทออกซิเจนให้กับน้ำ ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าว ได้ประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ จากแนวความคิดดังกล่าวสามารถสรุปผล การออกระบบเครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบเหวี่ยง ขนาด 150 วัตต์ ได้ดังนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 75 วัตต์ 2 แผงต่อแบบขนานกัน แรงดันของแผง 24 โวลต์ แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 35 แอมป์-ชั่วโมง และเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ขนาด 22 แอมป์ แรงดันไฟฟ้าปกติขนาด 12 โวลต์ โดยแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์จะจ่ายไฟฟ้าให้กับ ปั๊ม จำนวน 1 ตัว ทำงาน 5 ชั่วโมง และยูเล็ม 4 ตัว สลับกันทำงานครั้งละ 2 ตัว จำนวน 10 ชั่วโมง ซึ่งการผลการทดสอบระบบดังกล่าว พบว่า มีประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน เท่ากับ 0.085 kgO_2/hr และประสิทธิภาพการเติมอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (SAE) เท่ากับ 0.085 kgO_2/hr พร้อมทั้งมีประสิทธิภาพในการเติมอากาศของระบบ เท่ากับ 1.23 kgO_2/kWh

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

1. American Society of Civil Engineers and The Water Pollution Control Federation. "Wastewater Treatment Plant Design". Headqarters of The Society. pp. 241-277, 1977.
2. Metcalf & Eddy. "Wastewater Engineering. Treatment Dispodal Reuse". Third Edition. McGraw-Hill, Inc. pp. 275-299, 1991.
3. U.S. Environmental Protection Agency Cicinnati. "Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. National Risk Management Research Laboratory". pp. 30-55, 2006.
4. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา.(2544). การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ.กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. วิรัช จิ๋วแหยม.(2544).ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเพาะ เลี้ยงสัตว์น้ำ กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์. (2549) เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เล่ม 1 รอบรู้เรื่องเซลล์แสงอาทิตย์. กรุงเทพมหานคร