

ระบบรายงานผลออกซิเจนในน้ำแบบอัตโนมัติสำหรับเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ An Automatic Reporting System Of Dissolved Oxygen for Surface Aerator

ปรีชา มหาไม้^{1*} สมบัติ สันักวาน² และยงยุทธ ภูสีนา³

^{1*,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
41/1 ต.ไม้งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000 โทร 055-515900 โทรสาร 055-511833 E-mail: nung_honda@hotmail.com

Corresponding author: nung_honda@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบไร้สายแบบอัตโนมัติของเครื่องเติมออกซิเจนที่ผิวน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงปลาเพื่อป้องกันการขาดออกซิเจนแบบเฉียบพลัน ในช่วงเวลากลางคืน โดยที่ระบบสามารถวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยตัวตรวจวัด (DO Sensors) ได้ในช่วง 0-10 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถกำหนดเวลาการรายงานผลปริมาณออกซิเจนแบบเวลาจริงได้ การทำงานของระบบ เมื่อปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ชุดควบคุมจะส่งสัญญาณให้เครื่องหมุนใบกังหัน เพื่อเติมออกซิเจนลงสู่ผิวน้ำ จนกว่าจะมีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอตามที่กำหนดเครื่องจะหยุดการทำงานทันทีเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ตัวเครื่องใช้พลังงานหลักจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 วัตต์ ผ่านชุดประจุด้วยวงจรแปลงผันแรงดันแบบทอนระดับ ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 32 แอมแปร์ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถทำงานเป็นแบบอัตโนมัติสามารถวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบเวลาจริงแล้วส่งค่ากลับมาแสดงผลยังคอมพิวเตอร์แบบพกพาโดยผ่านเครือข่ายแบบไร้สาย ประสิทธิภาพของชุดประจุแบตเตอรี่โดยเฉลี่ยร้อยละ 80 และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นอัตราเฉลี่ย 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง

คำสำคัญ: เครื่องเติมอากาศผิวน้ำ, เซนเซอร์ออกซิเจนในน้ำ, วงจรแปลงผันกำลังแบบทอนระดับ

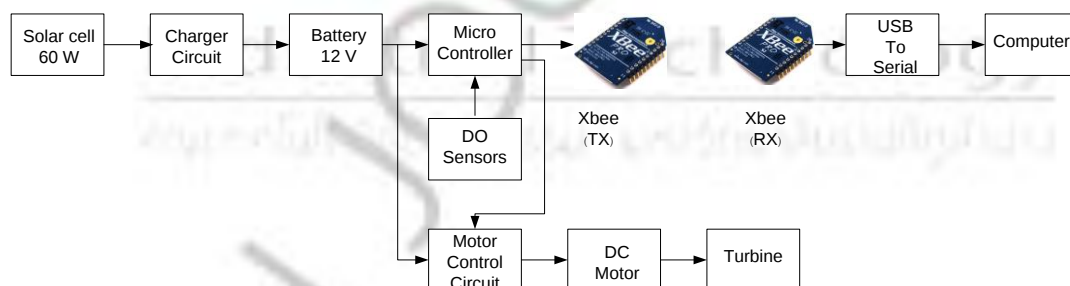
Abstract

This article presents measurements of dissolved oxygen taken by automatic wireless sensors in a fish pound. The system can measure the amount of dissolved oxygen in ranges from 0-10 mg per liter with DO sensors and schedule real-time reporting, including remote logging on a portable computer which is updated via a wireless connection. The system functions when the oxygen content is lower than a set point. At that time, the control unit will send a signal to rotate turbine blades until the required amount of oxygen is measured in the water. At that point, to save energy, the blades will stop rotating. The primary energy source of energy is a 60 watt solar panel which charges a 12-volt battery at 32 ampere hours with a buck converter. The experiment shows that the system can operate automatically to measure dissolved oxygen in real time and that the efficiency of the battery charger averages 80 percent and dissolved oxygen was discovered to increase at a rate of 0.33 mg per liter per hour.

Keywords: Surface aerator, DO sensors, Buck converter

1. บทนำ

ในปัจจุบันน้ำเสียในชุมชนมาจาก 2 แหล่ง คือธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ (สุชาติ บรรจง และโสภณ ธรรมย์, 2552.) ทำให้เกิดปัญหาการเน่าเสียของแหล่งน้ำเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเกิดการปนเปื้อนของ โลหะหนัก สารแขวนลอยสิ่งมีชีวิตไม่สามารถอาศัยอยู่ได้เนื่องจากน้ำมีสภาวะการขาดออกซิเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง ต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ รวมถึงเกษตรกรผู้ประกอบอาชีพเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การป้องกันไม่ให้เกิดสภาวะการขาดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการอย่างถูกต้อง และทัน่วงที่ก่อนที่จะเกิดความเสียหายแก่ผลผลิต งานวิจัยนี้จึงเสนอการสร้างเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำแบบอัตโนมัติเพื่ออำนวยความสะดวกแก่เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำและแก้ปัญหาการขาดออกซิเจนแบบเฉียบพลันของสัตว์น้ำจากอาหารและสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากการถ่ายของเสียของสัตว์น้ำตลอดจนภาวะช็อกจากน้ำที่ไม่สะอาดไหลทะลักเข้ามาในบ่อโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานต้นกำลัง โดยที่ระบบสามารถรายงานผลการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ ตามคาบเวลาที่สามารถกำหนด เช่น 15 20 25 หรือ 30 นาที และสามารถตั้งค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการได้ในช่วง 0 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร การทำงานเมื่อพบว่าปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า ที่กำหนดไว้ ระบบจะสั่งให้เครื่องหมุนใบกังหันเพื่อเติมอากาศลงสู่ผิวน้ำ จนกว่าจะมีปริมาณที่เพียงพอตามที่กำหนดไว้ ระบบจะสั่งให้เครื่องหยุดทำงานและจะทำงานอีกครั้งเมื่อตรวจพบปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ และสามารถวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแล้วส่งค่ากลับมาแสดงผลโดยผ่านเครือข่ายไร้สาย เพื่อความสะดวกในการอ่านค่าจากคอมพิวเตอร์แบบพกพาโครงสร้างการทำงานตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

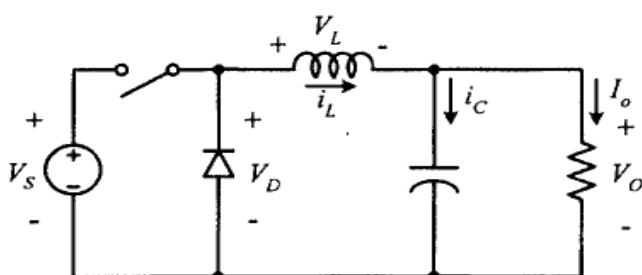
2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อแก้ปัญหาการขาดออกซิเจนในน้ำแบบเฉียบพลันสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำ
- 2.2 นำไปใช้ได้จริงกับแหล่งน้ำที่ต้องการบำบัด
- 2.3 นำพลังงานทดแทนมาใช้ให้เกิดประโยชน์และผสมผสานเทคโนโลยีเพื่อสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่ยกระดับคุณภาพชีวิตของชุมชน

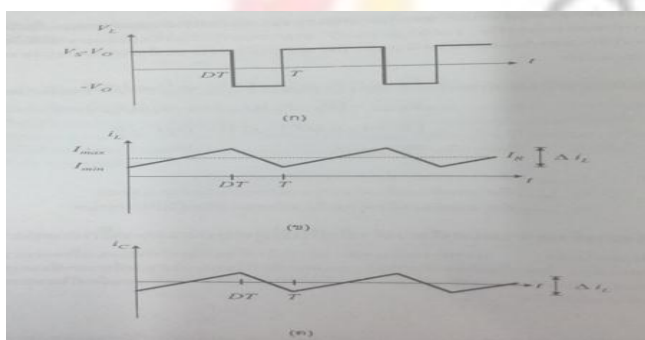
3.วิธีการวิจัย

3.1 การออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่จากวงจรทอนระดับแรงดัน

การออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่จากวงจรทอนระดับแรงดัน (Buck Converter) (วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์, 2550.) โดยวงจรถูกออกแบบให้กระแสที่ไหลในตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องเพื่อออกแบบให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ตามที่ต้องการจากเงื่อนไขที่แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นสามารถหาค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้จากวงจรแปลงผันระดับแรงดันแบบทอนระดับ (ภาพที่ 2) โดยกราฟการทำงานวงจรในโหมดกระแสไหลที่ตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 วงจรแปลงผันแบบทอนระดับแรงดัน



ภาพที่ 3 รูปคลื่นการทำงานของวงจรแปลงผันแบบทอนระดับแรงดัน ก) แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

โดยพิกัดการทำงานของวงจรดังนี้ $V_s = 21 \text{ V}$, $I_s = 3.45 \text{ A}$, $V_o = 14 \text{ V}$, $I_o = 5 \text{ A}$, $f_s = 10 \text{ KHz}$ กำหนดให้

V_s	คือ แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า
I_s	คือ กระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า
V_o	คือ แรงดันไฟฟ้าทางด้านออก
I_o	คือ กระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า
f_s	คือ ความถี่การสวิตชิง

1) คำนวณค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดการโอนถ่ายกำลังงานสูงสุด

$$\begin{aligned} R &= \frac{V_o}{I_o} \\ &= \frac{14V}{5.175A} \\ &= 2.7\Omega \end{aligned} \quad (1)$$

2) คำนวณวัฏจักรงาน(Duty Cycle)

$$\begin{aligned} D &= \frac{V_o}{V_s} \\ &= \frac{14V}{21V} \\ &= 0.67 \end{aligned} \quad (2)$$

3) คำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำ(L_{min})

$$\begin{aligned} L_{min} &= \frac{(1-D)R}{2f} \\ &= \frac{(1-0.67)(2.7\Omega)}{(2)(10 \times 10^3 \text{ Hz})} \\ &= 44.55\mu H \end{aligned} \quad (3)$$

เลือกใช้ค่าความเหนี่ยวนำที่ 100 μH

4) คำนวณค่าตัวเก็บประจุกรองแรงดันด้านออกโดยกำหนดอัตราการสั่นของแรงดันด้านออก($\Delta V_o / V_o$)เท่ากับ 1%

$$\begin{aligned} C &= \frac{(1-D)}{8L \frac{\Delta V_o}{V_o} f^2} \\ &= \frac{1-0.67}{(8)(44.55 \times 10^{-6} \text{ H})(0.01)(10 \times 10^3 \text{ Hz})^2} \\ &= 925.9\mu F \end{aligned} \quad (4)$$

เลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุให้เท่ากับ 1,000 μF

5) ออกแบบวงจรควบคุม

วงจรควบคุมการทำงานทำหน้าที่สร้างสัญญาณคาบเวลาเพื่อใช้เป็นวัฏจักรงานให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในการควบคุมการประจุของวงจรแปลงผันแบบทอนระดับแรงดันลักษณะการควบคุมแบบระบบเปิดประกอบเป็นวงจร Astable Multivibrator (ภาพที่ 4) ซึ่งความถี่ที่เลือกใช้คือ 10kHz มีคาบเวลา 100us และ วัฏจักรงาน คือ 0.67 ดังนั้น จึงกำหนดให้ $T_1 = 67\mu s$ และ $T_2 = 33\mu s$ กำหนดให้ $C = 0.01\mu F$ คำนวณค่า R_A และ R_B

$$R_B = \frac{T_2}{0.693C} \quad (5)$$

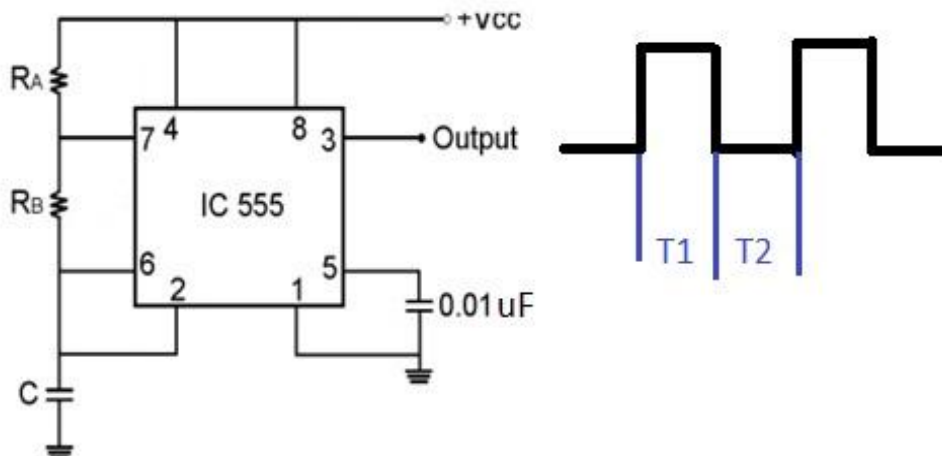
$$= \frac{33 \times 10^{-6} s}{(0.693)(0.01 \times 10^{-6} F)}$$

$$= 4.76 k\Omega$$

$$R_A = \frac{T_1}{0.693C} - R_B \quad (6)$$

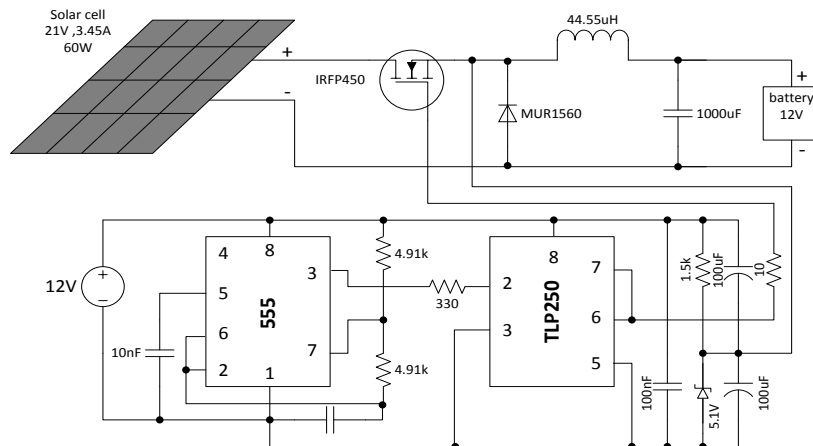
$$= \frac{67 \times 10^{-6} s}{(0.693)(0.01 \times 10^{-6} F)} - 4.76 \times 10^3 \Omega$$

$$= 4.91 k\Omega$$

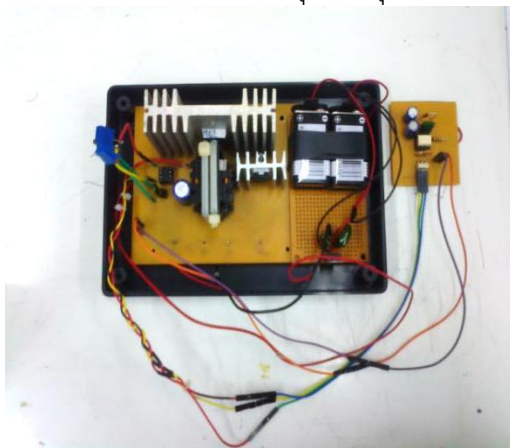


ภาพที่ 4 วงจร Astable multivibrator

มีการแยกสัญญาณด้วย TLP 250 ตามโครงสร้าง (ภาพที่ 5) ชุดประจุแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์ (ภาพที่ 6)



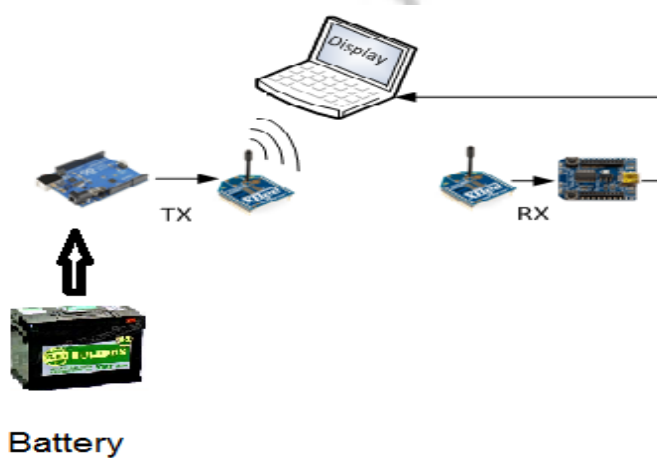
ภาพที่ 5 โครงสร้างวงจรของชุดประจุแบตเตอรี่



ภาพที่ 6 ชุดประจุแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์

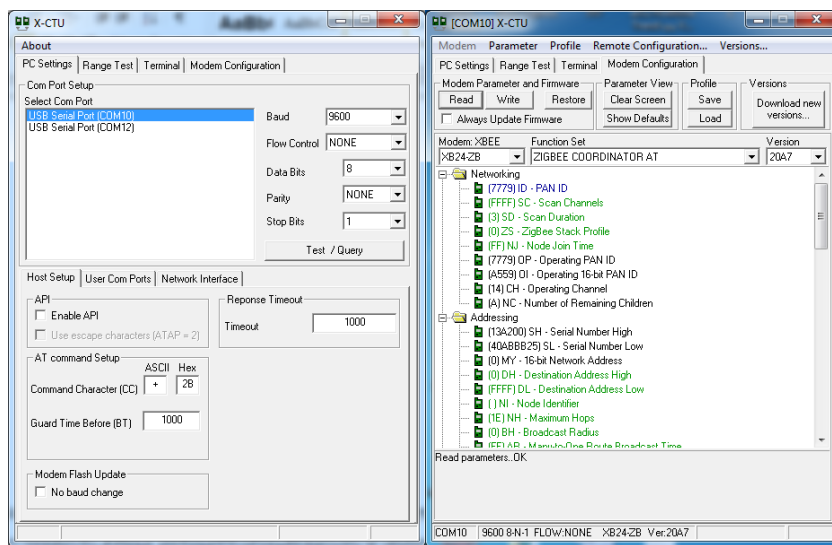
3.2 การออกแบบการส่ง-รับข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายและการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

1) ออกแบบการส่ง - รับข้อมูล (Wireless Sensors)



ภาพที่ 7 การทดสอบส่ง - รับข้อมูลแบบไร้สาย

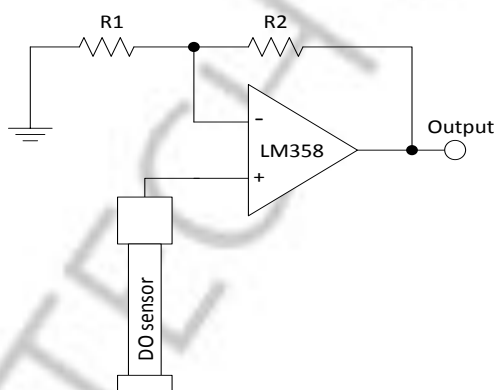
การทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลโดยผ่านเครือข่ายไร้สายใช้โมดูล Zigbee (ภาพที่ 7) โดยตัวส่งข้อมูลจะประกอบด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ADU 842 (ศุภวุฒิ ฝากา และคณะ, 2557.) ร่วมกับโมดูล Xbee อย่างละชุด ชุดส่งข้อมูลจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เป็นตัวให้พลังงาน ส่วนทางด้าน RX ประกอบด้วย Xbee กับ Mini Xbee USB Dongle ซึ่ง Mini Xbee USB Dongle ทำหน้าที่เป็นตัวแปลง Serial to USB เพื่อส่งข้อมูลไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมที่ชื่อว่า X-CTU (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 การตั้งค่าให้กับ Xbee โดยใช้โปรแกรม X-CTU

2) ออกแบบการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO Sensors)

การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยตัวตรวจวัด (Dissolved Oxygen Sensors: DO Sensors) โดยตัวตรวจวัดจะให้เอาท์พุทในรูปของปริมาณแรงดันไฟฟ้าขนาดสัญญาณต่ำ (มิลลิโวลต์) ดังนั้นจึงต้องมีการขยายสัญญาณแรงดันให้มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยออปแอมป์ LM 358 ด้วยอัตราขยายแรงดัน 91 เท่ากำหนดจากค่า R1 และ R2 โดยแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทของวงจรขยายจะอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์เท่านั้นเพื่อส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผล (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 วงจรขยายสัญญาณของตัวตรวจวัด

เนื่องจากตัวตรวจจับสนำได้ให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำออกมาโดยตรง แต่ให้ค่าเป็นแรงดันไฟฟ้า จึงต้องทำการสอบเทียบหรือแปลงค่าแรงดันที่วัดได้จากชุดตรวจจับสนำเทียบกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่วัดโดย DO มิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ (ภาพที่ 10)



(ก) ชุดตรวจวัดที่นำเสนอและใช้ในงานวิจัย

(ข) ชุดตรวจวัดมาตรฐาน

ภาพที่ 10 ชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

จากนั้นทำการสอบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน (ภาพที่ 11)



(ก) ใช้ตัวตรวจวัด

(ข) ใช้เครื่องมือมาตรฐาน

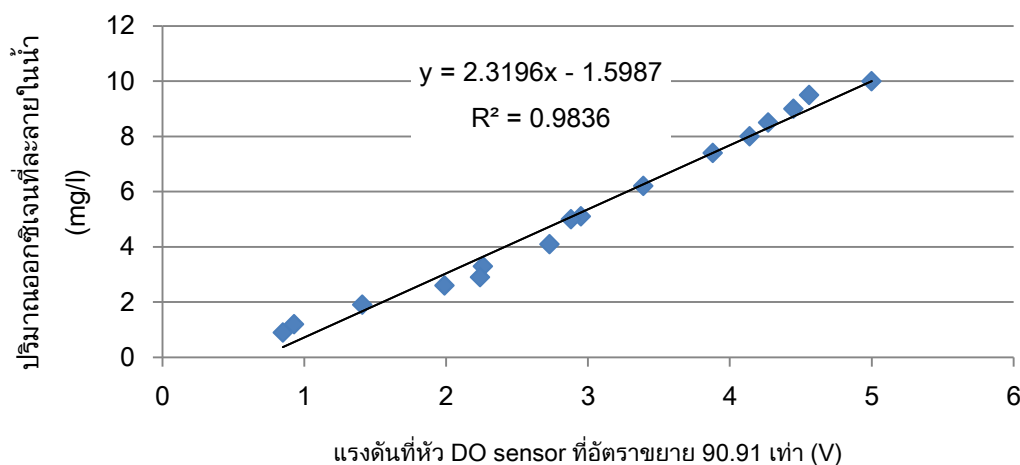
ภาพที่ 11 การสอบเทียบปริมาณออกซิเจนจากน้ำตัวอย่าง

จากนั้นนำค่าที่ทดสอบได้มาสร้างกราฟการกระจายข้อมูลและสร้างสมการด้วยวิธีการ Least squares เพื่อหาสมการจากข้อมูลที่ทดสอบแล้วหาสมการของกราฟนั้นออกมาเพื่อที่จะได้ทำการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าจากตัวตรวจวัดให้ออกมาเป็นค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ตามสมการที่ 7 และกราฟการประมาณค่าข้อมูล (ภาพที่ 12)

$$y = 2.3196x - 1.5987 \quad (7)$$

กำหนดให้

- | | |
|---|---|
| x | คือ แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากตัวตรวจวัด (โวลต์) |
| y | คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(มิลลิกรัม/ลิตร) |

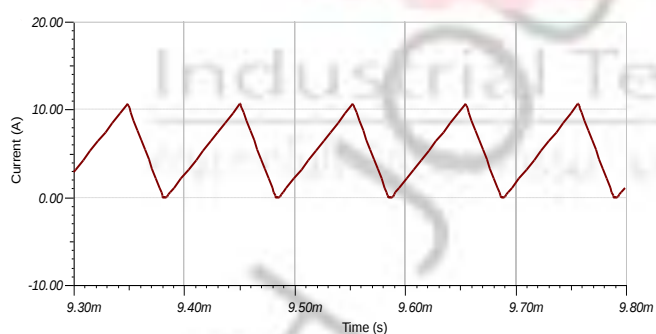


ภาพที่ 12 กราฟเส้นตรงที่ได้จากการประมาณค่าของข้อมูล

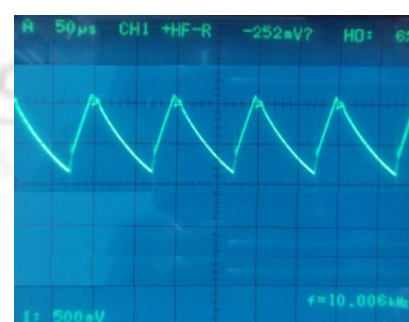
4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาการประจุแบตเตอรี่จากวงจรทอนระดับแรงดัน(Buck Converter)

การทดสอบในการใช้งานจริงใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีโพลีซิลิคอนขนาด 60 W เป็นแหล่งพลังงานวงจรทอนระดับแรงดันถูกออกแบบให้ทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าไหลแบบต่อเนื่องที่พิกัดดังการออกแบบใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 32 แอมแปร์-ชั่วโมง ผลการทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันแบบทอนระดับแรงดันวงจรทำงานเป็นไปตามที่ออกแบบและทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลแบบต่อเนื่อง (ภาพที่ 13) และผลทดสอบการประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (ภาพที่ 14)

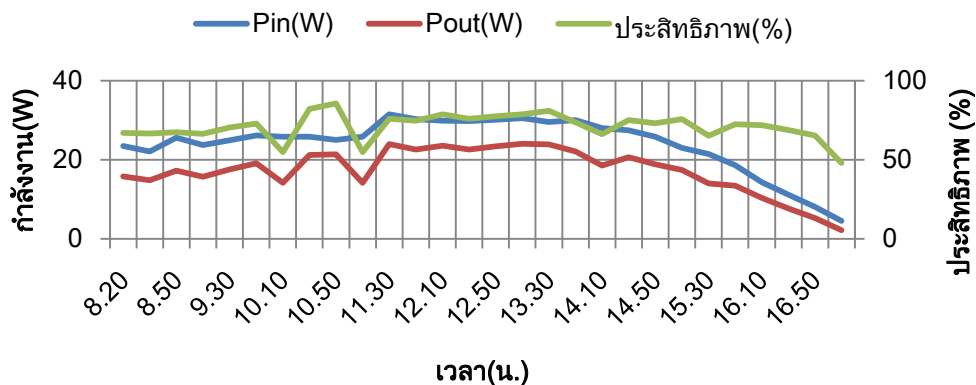


(ก) ผลจากการจำลองการทำงาน



(ข) ผลจากการทดสอบวงจรต้นแบบ

ภาพที่ 13 กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง

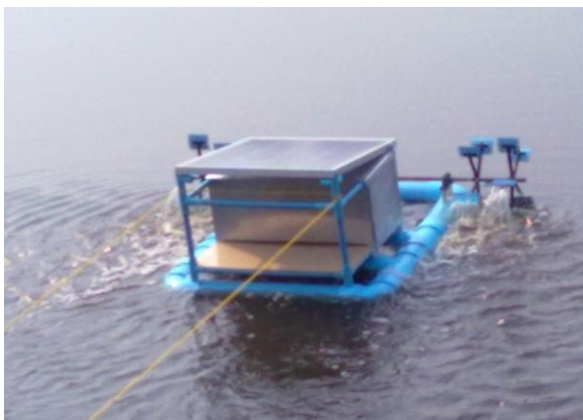


ภาพที่ 14 ผลการทดสอบและประสิทธิภาพการประจุแบตเตอรี่

ผลการทดสอบการประจุแบตเตอรี่จากกราฟ (ภาพที่ 14) พบว่าประสิทธิภาพวงจรประจุโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 80 การประจุแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพสูงอยู่ในช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 13.00 น. เนื่องจากว่าเป็นช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์มีความเข้มแสงสูงมีผลโดยตรงต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และพบว่าประสิทธิภาพที่ลดลงเป็นบางช่วงเวลาคือเป็นผลมาจากสภาวะของอากาศ ในขณะที่มีเมฆบดบังทำให้ประสิทธิภาพการประจุลดลงทั้งนี้ประสิทธิภาพการประจุยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย

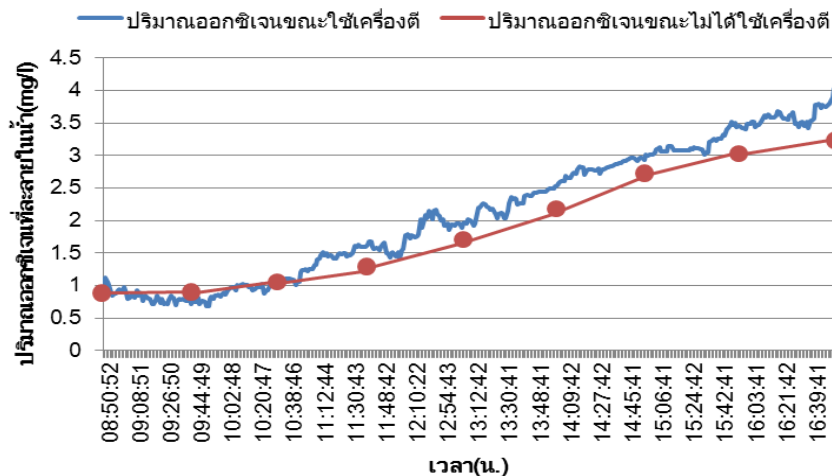
4.2 ผลการศึกษาการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ การแสดงผล และสถานะการทำงานของเครื่องแบบอัตโนมัติ

การทดสอบการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากชุดตรวจวัดที่ติดตั้งบนเครื่องเติมอากาศและส่งค่าปริมาณออกซิเจนผ่านเครือข่ายแบบไร้สายเพื่อมาแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์แบบพกพาเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดด้วยเครื่องมือมาตรฐาน (DO Meter) วิธีการวัดด้วยเครื่องมือมาตรฐานจะวัดจากมุมบ่ออนุบาลทั้ง 4 จุด แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยการทดสอบใช้งานจริงบริเวณบ่ออนุบาลปลาภายในสถานีประมงน้ำจืดจังหวัดตาก (ภาพที่ 15)



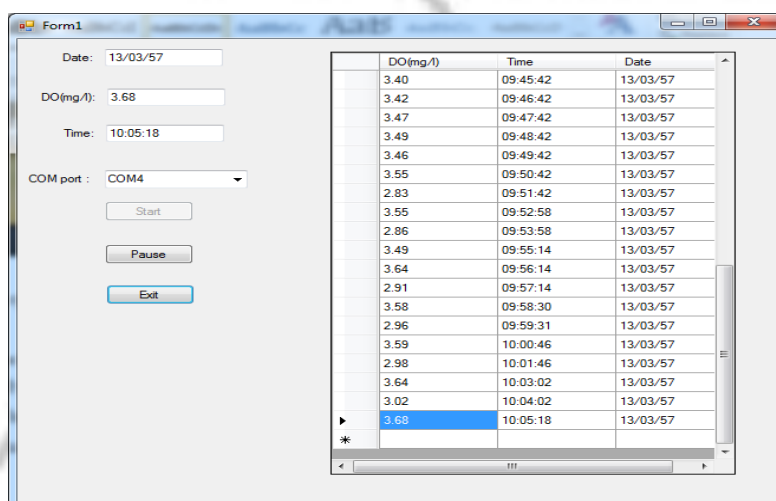
ภาพที่ 15 การทดสอบเครื่องเติมอากาศในบ่ออนุบาลปลา ณ สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดตาก

ขนาดบ่อกว้าง 4 เมตร ยาว 5 เมตร ลึก 1.5 เมตร โดยปริมาตร 30 ลูกบาศก์เมตรทดสอบเป็นเวลา 9 ชั่วโมงทำงานแบบต่อเนื่องตั้งแต่เวลา 8.50 น. ถึง 16.40 น. ผลการทดสอบ (ภาพที่ 16)



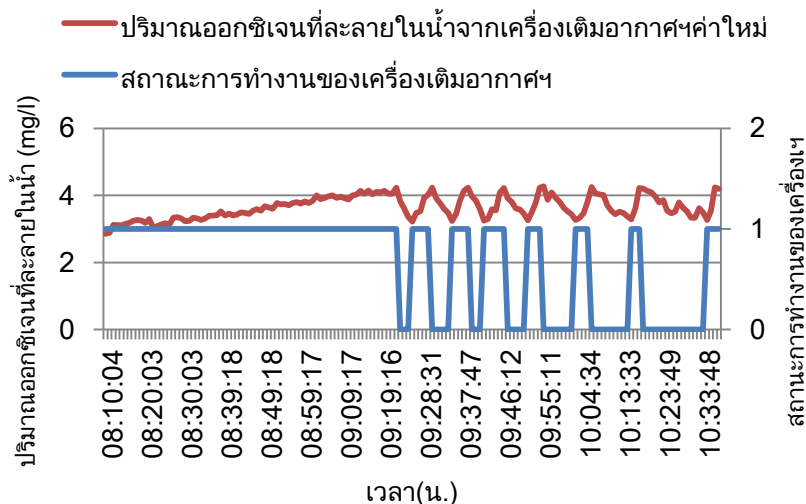
ภาพที่ 16 แสดงกราฟปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่วัดจากตัวตรวจวัดผ่านเครือข่ายแบบไร้สาย

กราฟปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่วัดได้จากตัวตรวจวัดผ่านเครือข่ายแบบไร้สายโดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่วัดได้จากเครื่องเติมอากาศจะถูกส่งผ่านเครือข่ายแบบไร้สายมาแสดงผลยังคอมพิวเตอร์แบบพกพาตามเวลาที่กำหนดไว้จากการทดสอบนี้จะกำหนดให้มีการส่งสัญญาณแบบเวลาจริงทุก ๆ 1 นาที เปรียบเทียบกับบ่ออนุบาลที่ไม่ได้ใช้เครื่องเติมอากาศที่มีการตรวจวัดจากเครื่องมือมาตรฐาน (DO Meter) ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ผลการทดสอบจะเห็นว่าบ่ออนุบาลที่ใช้เครื่องเติมอากาศสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้จริงแต่จะมีช่วงเวลาที่ปริมาณออกซิเจนยังต่ำเป็นผลมาจากสภาวะเริ่มต้นที่เครื่องกำลังทำงานและปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมเนื่องจากเป็นพื้นที่เปิดพารามิเตอร์บางตัวทางธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่วัดได้จะแสดงผลผ่านทางจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์แบบพกพา (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 การแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์แบบพกพา

ในส่วนการทดสอบสถานะการทำงานของเครื่องเติมอากาศให้ทำงานแบบอัตโนมัติทดสอบ โดยตั้งปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้เครื่องเริ่มทำงานที่ 3.2 mg/l และหยุดทำงานที่ 4.2 mg/l แสดงตามรูปกราฟ (ภาพที่ 18) เส้นสีน้ำเงินคือสถานะการทำงานของเครื่องเติมอากาศ โดยถ้ากราฟเปลี่ยนระดับจาก 0 ไปอยู่ที่ระดับ 1 แสดงว่าเครื่องเติมอากาศอยู่ในสภาวะทำงาน แต่ถ้ากราฟเปลี่ยนระดับจาก 1 ลงไปอยู่ที่ระดับ 0 แสดงว่าเครื่องเติมอากาศอยู่ในสภาวะหยุดทำงาน



ภาพที่ 18 สถานะการทำงานแบบอัตโนมัติของเครื่องเติมอากาศ

ผลการทดสอบจากกราฟภาพที่ 16 พบว่า ช่วงเริ่มต้นการทำงานเวลาตั้งแต่ 8.50 น. ถึง 10.40 น. การเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนค่อนข้างน้อยเนื่องจากการเป็นช่วงเวลาตอนเช้าแสงอาทิตย์มีน้อย อุณหภูมิผิวน้ำต่ำจุลินทรีย์ยังไม่สามารถย่อยสลายสิ่งปฏิกูลในน้ำได้ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้การเติมออกซิเจนให้สอดคล้องในน้ำเป็นไปได้ช้าแต่หลังจากเวลา 11.40 น. เป็นต้นไปการเติมออกซิเจนให้สอดคล้องไปที่ผิวน้ำก็จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากปริมาณแสงอาทิตย์มีความเข้มสูงอุณหภูมิผิวน้ำสูงขึ้นทำให้จุลินทรีย์ในน้ำย่อยสลายได้ดีซึ่งจะทำให้ น้ำมีคุณภาพดีขึ้นตามลำดับโดยเฉลี่ย 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงแต่มีบางช่วงเวลาผลการทดสอบมีการแกว่งของสัญญาณเนื่องจากการทดสอบในสถานที่เปิด ไม่สามารถควบคุมตัวแปรลมธรรมชาติได้ทำให้เกิดการแกว่งของสัญญาณ

ผลการทดสอบจากภาพที่ 17 พบว่าชุดวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสามารถรายงานผลผ่านเครือข่ายแบบไร้สายมาแสดงผลที่คอมพิวเตอร์แบบพกพาได้โดยระยะที่เหมาะสมที่สุดไม่เกิน 50 เมตรในพื้นที่โล่ง

ผลการทดสอบจากภาพที่ 18 พบว่าเครื่องเติมออกซิเจนที่ผิวน้ำสามารถทำงานได้จริงตามการตั้งค่าปริมาณออกซิเจนที่กำหนดได้แบบอัตโนมัติ

5. สรุปและอภิปรายผล

เครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติตามวัตถุประสงค์ และยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากพลังงานที่ใช้เป็นพลังงานสะอาดเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับช่วยแก้ปัญหาระบบน้ำเสียนำไปใช้ได้หลายวัตถุประสงค์ระบบประจุแบตเตอรี่ใช้วิธีการแปลงผันพลังงานแบบทอนระดับแรงดันการควบคุมเป็นแบบระบบเปิดใช้เทคนิคการควบคุมแบบ PWM จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงานของวงจรเฉลี่ยร้อยละ 80 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงานงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และสภาพภูมิอากาศด้วย

ระบบรายงานผลผ่านเครือข่ายแบบไร้สายสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์โดยระยะการส่งสัญญาณที่เหมาะสมที่สุดจะไม่เกิน 50 เมตร หากเกินกว่านั้นสัญญาณจะมีการผิดเพี้ยนเนื่องจากการทดสอบในพื้นที่โล่งมีตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้คือลมธรรมชาติ ทำให้ตัวเซนเซอร์ไม่มีเสถียรภาพ สัญญาณที่ได้เกิดการแกว่งทำให้ค่าที่ได้เกิดความผิดพลาด การทำงานของเครื่องเติมออกซิเจนสามารถกำหนดช่วงปริมาณออกซิเจนที่ต้องการได้ตั้งแต่ 0-10 มิลลิกรัมต่อลิตรและทำงานได้แบบอัตโนมัติจากการทดสอบสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้เฉลี่ย 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นเครื่องต้นแบบหากนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ควรต้องปรับปรุงส่วนการประจุพลังงานและส่วนพลังงานต้นกำลังให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ปรับปรุงระยะการส่งข้อมูลให้ไกลยิ่งขึ้นเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงงบประมาณที่เพิ่มขึ้นด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนประเภททุน HRM จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภายใต้โครงการ "ยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัย งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน" และขอขอบคุณ สถาบันประมงน้ำจืดจังหวัดตากที่อนุเคราะห์สถานที่ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- สุชาติ บรรจงการและโสภณ ณะมัย. (2552). องค์ความรู้การบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ได้จากการสืบค้นด้วยเทคนิคทางสิ่งแวดล้อม, *วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ*, หน้า 110-117.
- วีระเชษฐ์ ชันเงินและวุฒิพล ธาราธิระเชษฐ์. (2550). *อิเล็กทรอนิกส์กำลัง*. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินติ้ง.
- ศุภวุฒิ สันติ วงศ์ใหญ่และอดิสร ฤมยา. (2557). การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง, *วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, หน้า 58-69.