

ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ
โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ



ศิริวรรณ ทำนุ

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2561

ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ
โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ



ศิริวรรณ ทำนุ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ
โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

ศิริวรรณ ทำนุ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มณีชูเกตุ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารุช พลวงษ์ศรี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะโดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ
ชื่อผู้เขียน	นางสาวศิริวรรณ ทำนุ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ งานถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก การศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม รวมถึงระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ พร้อมส่งข้อมูลค่าการตรวจวัดไปยังระบบ Cloud server ส่วนที่ 2 การศึกษาและออกแบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนที่ 3 การพัฒนาระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบท่อนลอยน้ำ และออกแบบเทคนิคการจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจน โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแบ่งปัน ส่วนที่ 4 แสดงและบันทึกข้อมูลทางกายภาพผ่านระบบ Cloud server เช่น ข้อมูลตรวจวัดจากระบบควบคุมสำหรับเครื่องเติมอากาศ และข้อมูลระบบตรวจวัดออกซิเจน จะแสดงข้อมูลต่างๆ ผ่านระบบ Cloud server ของ Anto และข้อมูลจะบันทึกไว้ Thingspeak และส่วนสุดท้าย การออกแบบระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัจฉริยะ อาศัยค่าปริมาณออกซิเจนออกซิเจนละลายในน้ำจากระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบท่อนลอยน้ำ มาเป็นปัจจัยในการตัดสินใจเปิดหรือปิด ระบบเครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลา นอกจากนี้ยังได้มีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในงานนี้ด้วย ผลการวิจัย พบว่า ระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบท่อนลอยน้ำสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องเติมอากาศแบบอัจฉริยะ เพื่อสั่งการเปิดหรือปิดเครื่องเติมอากาศ ตามผู้ใช้งานกำหนดระดับออกซิเจนละลายในน้ำไว้ที่ 3 mg/L นอกจากนี้ข้อมูลสภาพแวดล้อม ข้อมูลพลังงานไฟฟ้า และข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ สามารถแสดงข้อมูลการตรวจวัดผ่านระบบ Cloud server ของ Anto.io แบบ Real time และบันทึกข้อมูลบนฐานข้อมูลของ Thingspeak ในกรณีการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงปลา พบว่า ผลประหยัดทางพลังงานในช่วงเวลากลางวันที่ใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เจ้าของบ่อเป็นผู้กำหนดเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ สามารถลดการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศลงได้เฉลี่ย 47.65% มีระยะเวลา

คืนทุนอยู่ที่ 6.69 ปี และในช่วงเวลากลางคืนที่ใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศ อาศัยระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศเข้ามาจัดการ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานและไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศ สามารถประหยัดพลังงานของระบบเติมอากาศได้เฉลี่ย 36.84% มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 1.84 ปี

คำสำคัญ : ตัวควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ ระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบหุ่นลอยน้ำ ระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ เทคนิคการแบ่งปันพลังงาน บ่อเลี้ยงปลาชนิด



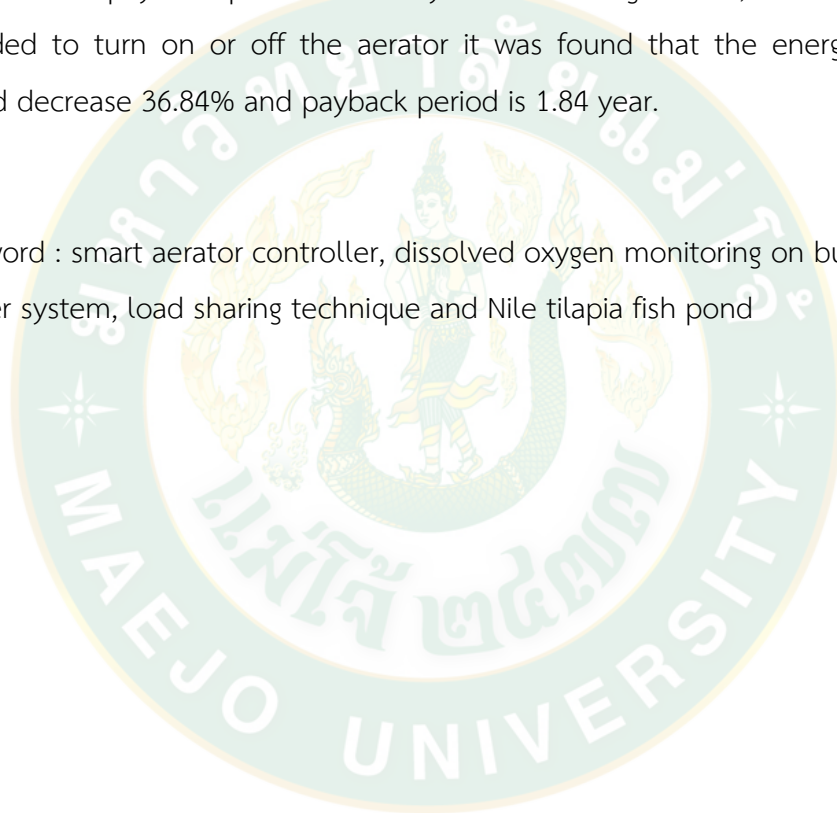
Title	SMART ENVIRONMENTAL MONITORING AND AERATOR CONTROL SYSTEM BY SHARING ENERGY SOURCE IN AN AQUATIC ANIMAL POND
Author	Miss Siriwan Thamnu
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Chawaroj Jaisin

ABSTRACT

This research aims to develop the environmental monitoring system and smart aerator controller that consumes energy from a load sharing power system. The study is divided into 5 parts; first part is studying and designing an environmental monitoring system such as irradiant monitoring, temperature monitoring and humidity monitoring as well as electrical consumption of aerator system. These acquired data is also delivered to the cloud server. Second part is studying and designing a power distribution system applies to smart aerator by using the utility grid system and the solar cell system working together. Third part is development of a dissolved oxygen monitoring on buoy and developing of a power distribution system by using load sharing technique between solar cell system and utility grid system to applied to smart aerator. Forth is the data recording and monitoring on cloud server system. The electrical data of the aerator and dissolved oxygen data are recorded and displayed on cloud server of Anto (Anto.io) and Thingspeak (Thingspeak.com). The last part is designing the smart aerator controller by using a level of dissolved oxygen (DO) from dissolved oxygen monitoring on buoy. The level of DO is used in deciding to switch on or off the aerator in animal pond. In addition, the economics of this system were also analyzed to evaluate the effectiveness of this system as well as economic analysis was evaluated. The results show that the dissolved oxygen monitoring on buoy could deliver the dissolved oxygen data to MCU to evaluate oxygen level in order to switch on or off the aerator by program setting. In this case,

the user sets the level of dissolved oxygen at 3 mg/liter. This means that if the dissolved oxygen is lower than 3 mg/liter, the aerator will start automatically. Furthermore, both of electrical data and dissolved oxygen data could be real time recorded on the cloud server of anto and thingspeak. In the case of using the electrical energy from utility grid system with solar cell system for aerator system it was found that the energy saving in day time, whereby the owner sets the time of turning on or off the aerator by himself, the energy consumption could decrease 47.65% and payback period is 6.69 year. In the night time, the DO level is also decided to turn on or off the aerator it was found that the energy consumption could decrease 36.84% and payback period is 1.84 year.

Keyword : smart aerator controller, dissolved oxygen monitoring on buoy, cloud server system, load sharing technique and Nile tilapia fish pond



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้การเอื้อเฟื้อข้อมูล ความรู้ ความเข้าใจที่เป็นประโยชน์ และความร่วมมือต่างๆ ของหลายท่าน ซึ่งให้การสนับสนุนผู้วิจัยตั้งแต่เริ่มต้นงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้งบประมาณสนับสนุนการทำโครงการวิจัยภายใต้โครงการวิจัยท้าทายไทย ประจำปีงบประมาณ 2559 ภายใต้กรอบการวิจัยการพัฒนาพลังงานทดแทน และการประยุกต์ใช้งานจริงเพื่อนำไปสู่ชุมชนสีเขียว

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ คำแนะนำและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริสุข จินดารักษ์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มณีชูเกตุ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ได้สละเวลาอันมีค่า ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ ตลอดจนให้ความดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มอบทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ผ่าน “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบคุณ คุณรณชิต สมมิตร เจ้าของบ่อเลี้ยงปลา ชุมชนบ้านทุ่งยาว ตำบลสันทรายหลวง อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงสำเร็จไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้ความรัก กำลังใจ การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนด้านการศึกษาอย่างดียิ่งโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

ศิริวรรณ ทำนุ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
สารบัญตารางภาคผนวก.....	ณ
สารบัญภาพผนวก.....	ด
อักษรย่อ และสัญลักษณ์.....	ต
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญ.....	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	3
ขอบเขตงานวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจสอบเอกสาร.....	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.....	4
การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำ.....	12
การเติมอากาศ.....	17
เครื่องมือการวัด.....	20
ระบบควบคุม.....	31

ระบบแสดงผลข้อมูลผ่าน Cloud Server	36
เศรษฐศาสตร์การลงทุน	37
การตรวจเอกสาร	38
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	45
ศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม และระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบ เติมอากาศ.....	47
1. ศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม	47
2. ศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ	49
การจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ	51
ระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ	53
1. การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ.....	53
2. การออกแบบเทคนิคการจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ	62
การแสดงผลทางกายภาพผ่านระบบ Cloud server	63
การออกแบบระบบควบคุมสำหรับการเติมอากาศ.....	64
วิเคราะห์ทางพลังงานและวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์	65
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	67
ผลศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม และระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับ ระบบเติมอากาศ.....	67
1 ผลการศึกษาระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม	67
2. ผลศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ	68
ผลการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ.....	70
ผลระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ.....	74
1. ผลการออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ	74
2. ผลการออกแบบเทคนิคการจ่ายพลังงานให้กับระบบออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ	82

ผลแสดงข้อมูลทางกายภาพผ่านระบบ Cloud server.....	86
ผลการออกแบบระบบควบคุมสำหรับการเติมอากาศ	90
ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ.....	91
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	98
บรรณานุกรม.....	100
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก. วิธีการคำนวณ	104
ภาคผนวก ข. ข้อมูลจากการทดสอบ	106
ภาคผนวก ค. คู่มือการใช้งานระบบ Solar PV สำหรับมอเตอร์เติมอากาศ	119
ภาคผนวก ง. คู่มือการใช้ระบบการวัด แสดงผล และบันทึกข้อมูล พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในระบบ Solar Hybrid Inverter	124
ภาคผนวก จ. การแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Line.....	132
ภาคผนวก ฉ. ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	136
ประวัติผู้วิจัย.....	150

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การแก้ไขเมื่อเกิดเหตุการณ์ออกซิเจนละลายในน้ำลดลง	15
ตารางที่ 2 ระดับต่ำสุดของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่ทำให้ปลาตาย.....	15
ตารางที่ 3 แสดงความสามารถในการละลายออกซิเจนในน้ำที่อุณหภูมิ ณ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ 16	
ตารางที่ 4 ความสามารถในการละลายออกซิเจนในน้ำที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ ความดัน 1 บรรยากาศ	20
ตารางที่ 5 สัญลักษณ์ที่ใช้กับงานควบคุมมอเตอร์	30
ตารางที่ 6 ข้อมูลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน ร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	69
ตารางที่ 7 ใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 18 สิงหาคม 2561	72
ตารางที่ 8 ใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 20 สิงหาคม 2561	74
ตารางที่ 9 ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและความเป็นกรด-ด่าง.....	77
ตารางที่ 10 ค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ทดสอบด้วยสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์และค่า ความผิดพลาด	80
ตารางที่ 11 แสดงระดับ pH ที่ทดสอบด้วยสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์และค่าความผิดพลาด	82
ตารางที่ 12 ข้อมูลการทดสอบพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ	85
ตารางที่ 13 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบเติมอากาศ ช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน.....	93
ตารางที่ 14 ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์	94
ตารางที่ 15 ผลประหยัดที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้กับระบบเติม ออกซิเจน และระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ	97

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แผงโซลาเซลล์แบบ Mono Crystalline.....	5
ภาพที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Poly Crystalline.....	5
ภาพที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous.....	6
ภาพที่ 4 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
ภาพที่ 5 ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
ภาพที่ 6 solar hybrid inverter	10
ภาพที่ 7 ตัวอย่างของคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์.....	11
ภาพที่ 8 โครงสร้างทั่วไปของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า	12
ภาพที่ 9 ลักษณะอินเวอร์เตอร์.....	12
ภาพที่ 10 การแปรผันในรอบวันของออกซิเจนในบ่อปลา.....	14
ภาพที่ 11 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลอากาศสู่ฟิล์มของเหลว	18
ภาพที่ 12 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนและวัดเป็นความมรด-ต่าง Lutron รุ่น WA-2017SD.....	22
ภาพที่ 13 การควบคุมด้วยมือ (Manual control).....	24
ภาพที่ 14 การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic control).....	25
ภาพที่ 15 การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control).....	25
ภาพที่ 16 แมกเนติกคอนแทกเตอร์.....	26
ภาพที่ 17 ลักษณะโครงสร้างภายในของแมกเนติกคอนแทกเตอร์	26
ภาพที่ 18 หน้าสัมผัสหลักและหน้าสัมผัสช่วย	27
ภาพที่ 19 รีเลย์ตั้งเวลา	28
ภาพที่ 20 โอเวอร์โวลตรีเลย์.....	29
ภาพที่ 21 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	32
ภาพที่ 22 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3.....	33

ภาพที่ 23 NodeMcu ESP8266.....	35
ภาพที่ 24 โครงสร้างเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์	38
ภาพที่ 25 ระบบควบคุมการเติมออกซิเจนแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยใช้พลังงานทดแทน รวม	39
ภาพที่ 26 โครงสร้างของตัวเครื่องรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์	40
ภาพที่ 27 ไดอะแกรมระบบเครื่องเติมอากาศจากพลังงานแสงอาทิตย์	40
ภาพที่ 28 ออกซิเจนสำหรับบ่อน้ำแบบที่ 1 (CP) (ก) และแบบที่ 2 (SP) (ข)	41
ภาพที่ 29 ไดอะแกรมการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	43
ภาพที่ 30 ไดอะแกรมโครงสร้างระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ปั๊มสูบน้ำ.....	43
ภาพที่ 31 แผนผังการดำเนินงานวิจัย	45
ภาพที่ 32 ไดอะแกรมภาพรวมของระบบ	46
ภาพที่ 33 ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม ณ บ่อเลี้ยงปลา	48
ภาพที่ 34 ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าให้กับกังหันสำหรับเติมอากาศ	50
ภาพที่ 35 ระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ.....	53
ภาพที่ 36 แผงเซลล์แสงอาทิตย์	54
ภาพที่ 37 Solar Charge Controller	54
ภาพที่ 38 แบตเตอรี่.....	55
ภาพที่ 39 ปั๊มน้ำดีซีแบบจุ่ม.....	55
ภาพที่ 40 เซนเซอร์วัดออกซิเจน Atlas Scientific รุ่น EVN-04-DO.....	56
ภาพที่ 41 เซนเซอร์พีเอช รุ่น E-201	56
ภาพที่ 42 บอร์ด NodeMCU ESP8266	56
ภาพที่ 43 ปั๊มสเปร์รี่ชำระล้างหัววัด	57
ภาพที่ 44 โครงสร้างระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบหุ่นลอยน้ำ.....	58
ภาพที่ 45 วงจรตรวจวัดค่า Ambient air, pH, DO, และ water temp	59

ภาพที่ 46 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	59
ภาพที่ 47 โฟร์ชาร์ตการทำงานของระบบตรวจวัด	61
ภาพที่ 48 วงจรผลิตและควบคุมไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน.....	62
ภาพที่ 49 ลักษณะ TDM แบ่งเวลาการจ่ายจากแหล่งพลังงานทั้งสอง ที่เกิดจากไมโครคอนโทรลเลอร์	63
ภาพที่ 50 ไดอะแกรมรับข้อมูลค่าออกซิเจน จากระบบ Cloud.....	64
ภาพที่ 51 วงจรควบคุมเปิด-ปิด เครื่องเติมอากาศ.....	65
ภาพที่ 52 ข้อมูลการตรวจวัดสภาพแวดล้อม	67
ภาพที่ 53 ข้อมูลจากระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ	69
ภาพที่ 54 ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ	71
ภาพที่ 55 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 18 สิงหาคม 2561	72
ภาพที่ 56 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 20 สิงหาคม 2561	73
ภาพที่ 57 ระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ.....	75
ภาพที่ 58 ข้อมูลการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำและความเป็นกรด-ด่าง.....	76
ภาพที่ 59 เอ้าท์พุทของสัญญาณหัววัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ผ่านการขยายสัญญาณ	79
ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ของตัวแปร n_0 ในช่วงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 26 และสูงกว่า 26 °C	79
ภาพที่ 61 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดันเอ้าท์พุทกับระดับ pH.....	81
ภาพที่ 62 ระบบจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ	83
ภาพที่ 63 พลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ	85
ภาพที่ 64 หน้าต่างแสดงผลการตรวจวัดผ่าน Cloud server (Anto.io)	87
ภาพที่ 65 หน้าต่างเก็บบันทึกผลการตรวจวัดบน Thingspeak.com.....	89
ภาพที่ 66 การแจ้งเตือนโดยใช้แอปพลิเคชัน LINE	90
ภาพที่ 67 ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ ณ บ่อเลี้ยงปลา.....	91

ภาพที่ 68 สัดส่วนการพลังงานไฟฟ้าในระบบเดิมอากาศ ช่วงเวลากลางวัน (ก) และช่วงเวลากลางคืน (ข)..... 92

ภาพที่ 69 ผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเดิมอากาศในรอบ 1 ปี..... 95

ภาพที่ 70 ผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบควบคุมเครื่องเดิมอากาศอัจฉริยะในรอบ 1 ปี.. 96



สารบัญตารางภาคผนวก

	หน้า
ตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและความเป็นกรด-ด่าง	107
ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงข้อมูลพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ.....	108
ตารางภาคผนวกที่ 3 พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกังหันสำหรับเติมอากาศ กรณีแดดดี	115
ตารางภาคผนวกที่ 4 พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกังหันสำหรับเติมอากาศ กรณีวันที่ฝนตกและไม่มี แสงแดด	117



สารบัญภาพผนวก

	หน้า
ภาคผนวกที่ 1 วงจรการวัดค่าทางไฟฟ้าระบบ 1 phase 2 เส้น	127
ภาคผนวกที่ 2 วงจรการวัดค่าทางไฟฟ้าระบบ 3 phase 4 เส้น	127
ภาคผนวกที่ 3 QR-Code เพื่อสมัคร Line notification.....	133
ภาคผนวกที่ 4 หน้าต่างเข้าสู่แอปพลิเคชัน Line	133
ภาคผนวกที่ 5 หน้าต่างออก Token สำหรับใช้เป็นรหัสส่งข้อความผ่านแอปพลิเคชัน Line	134
ภาคผนวกที่ 6 ตั้งชื่อ Token และเลือกกลุ่มหรือบุคคลเพื่อส่งข้อความ	134
ภาคผนวกที่ 7 ออกรหัส Token.....	135



อักษรย่อ และสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์	m ²
AC	ไฟฟ้ากระแสสลับ	V
DC	ไฟฟ้ากระแสตรง	V
DO	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	mg/L
G	ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์	W/m ²
I	กระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	A
I _m	กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	A
I _{sc}	ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการทดสอบลัดวงจร	A
NC	ตำแหน่ง Normally Closed	-
NO	ตำแหน่ง Normally Open	-
pH	ระดับความเป็นกรด-ด่าง	-
T	อุณหภูมิในน้ำ	°C
V	แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	V
V _{Batt}	แรงดันที่แบตเตอรี่	V
V _{in}	สัญญาณอินพุต	-
V _m	แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	V
V _o	สัญญาณเอาต์พุต	-
V _{oc}	แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เปิดวงจร	V

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านการเลี้ยงสัตว์น้ำมีการขยายตัวอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากที่สุด โดยในปี พ.ศ. 2559 มีจำนวนสัตว์น้ำที่ผลิตได้อยู่ 276,328 ตัน (สถิติการประมง, 2559) และมีแนวโน้มที่จะการเพิ่มปริมาณการผลิตและการส่งออก สัตว์น้ำออกต่างประเทศ จากการขยายตัวของตลาดส่งผลโดยตรงกับปริมาณการเลี้ยงสัตว์น้ำต่อขนาด บ่อของเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมาตรวจสอบปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำที่ผลิตได้ในปี พ.ศ. 2559 จะเห็นได้ว่าน้อยกว่าปริมาณผลผลิตในปี พ.ศ. 2558 ที่ผลิตได้อยู่ที่ 326,210 ตัน (สถิติการ ประมง, 2559) ซึ่งมีสาเหตุจากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ปัญหาด้านคุณภาพน้ำ ปัญหาโรคระบาด เป็นต้น ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำของประเทศไทย โดยปัญหาที่สำคัญหลักๆ คือ ปัญหาด้านคุณภาพน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ

ตัวชี้วัดคุณภาพน้ำที่สำคัญอย่างหนึ่งในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (dissolved oxygen: DO) ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในรอบ วัน ในเวลากลางวันปริมาณออกซิเจนจะมีปริมาณมาก แต่ในเวลากลางคืนปริมาณออกซิเจนในบ่อ เลี้ยงสัตว์น้ำจะลดลง (Boyd, 1979) การที่ปริมาณออกซิเจนมีปริมาณมากในช่วงเวลากลางวันนั้น เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของพืชและแพลงตอน และในช่วงเวลากลางคืนจึงมีความเสี่ยงที่จะเกิด สภาวะขาดออกซิเจนในน้ำได้ง่ายกว่าช่วงเวลากลางวัน นอกจากนี้ในช่วงเวลากลางคืนที่ทำให้ปริมาณ ออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ยังมีอีกหลายปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง เช่น วันที่ไม่มีลมพัดผ่าน ท้องฟ้าไม่มีแสงแดด ครึ้มฟ้าครึ้มฝน วันที่ฝนตกหนัก เป็นต้น เมื่อเรามองว่า การเติมออกซิเจนในน้ำมีความสำคัญ แต่ปัญหาหนึ่งที่สำคัญไม่น้อยไปกว่ากันที่จะตามมานั้นก็คือ ปัญหาด้านพลังงานที่ต้องใช้ในการเติมออกซิเจนในน้ำ โดยเฉพาะพื้นที่ที่ห่างไกลไฟฟ้าหรือไฟฟ้าเข้าไม่ถึง จึงทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำหันไปใช้เครื่องจักรเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับการเติม ออกซิเจนละลายในน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันนี้น้ำมันมีราคา แพง และน้ำมันยังส่งผลต่อความสะอาดของบ่อที่อาจมีน้ำมันปนเปื้อนลงในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอีกด้วย และยังส่งผลให้เกษตรกรต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น

จากสาเหตุดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลงมากที่สุดพบในช่วงเวลากลางคืน โดยเฉพาะช่วงเวลากลางคืนที่เย็นเกินไปจนถึงเวลาหกโมงเช้า ประกอบกับเป็นช่วงเวลาที่เกษตรกรพักผ่อน จึงทำให้การตรวจสอบและควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ยากและทำให้ไม่สะดวก อีกทั้งการเติมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำตลอดทั้งวัน โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายให้กับเครื่องเติมอากาศเพียงอย่างเดียวนั้นส่งผลให้เกษตรกรเสียค่าใช้จ่ายสูงในการเลี้ยงสัตว์น้ำ จากปัญหาดังกล่าว มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกรณีของ (Boyd, 1979) ที่ได้นำหลักการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อพัฒนาระบบเครื่องเติมอากาศ เช่น ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และเติมอากาศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยการออกแบบระบบตรวจวัดสภาพน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ ออกแบบวงจรตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ รวมไปถึงการออกแบบระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศ คือ ควบคุมการเปิด-ปิด เครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังได้มีการประยุกต์ใช้ระบบพลังงานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อจ่ายให้กับต้นกำลังของระบบเติมออกซิเจนในบ่อเลี้ยง โดยในที่นี้เป็นกรณีศึกษาการใช้พลังงานร่วมระหว่างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน โดยมีอุปกรณ์ Solar Hybrid Inverter ทำหน้าที่ตัดสินใจเลือกใช้แหล่งพลังงาน เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานและภาระโหลด ซึ่งจะช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังได้ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมเพื่อบันทึกข้อมูลไปยังระบบ Cloud server โดยอุปกรณ์ทุกส่วนนั้นจะถูกเชื่อมโยงเข้าหากันผ่านทางบริการของระบบ Cloud service ไม่ว่าจะเป็นระบบการตรวจวัดสภาพแวดล้อม ต้นกำลังไฟฟ้า และระบบควบคุมต่างๆ การส่งผ่านข้อมูลหรือพารามิเตอร์ที่สำคัญตามการร้องขอของผู้ใช้งาน ระบบแสดงผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และกำลังไฟฟ้าของระบบเติมอากาศ โดยตัวแปรดังกล่าวจะถูกประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่งข้อมูลของการตรวจวัดผ่านทางชิพประมวลผล ESP8266 ซึ่งเป็นโมดูลสำหรับส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย (WiFi) ไปยังระบบ Cloud ที่ได้ขอรับบริการ ซึ่งทางด้านผู้ใช้สามารถเลือกดูการแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์จากคอมพิวเตอร์ หรือสมาร์ตดีไวส์ (Smart device) ต่างๆ โดยผ่านทาง Web Operator เช่น Chrome, Firefox Internet Explore และ Safari เป็นต้น

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม และควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ
2. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ขอบเขตงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างระบบเฝ้าตรวจวัด และแจ้งเตือนการตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ค่า pH ค่าอุณหภูมิ และความเข้มแสงอาทิตย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบอัจฉริยะ
2. ออกแบบและสร้างระบบควบคุมการเปิด-ปิด เครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติ
3. ใช้เทคนิคการจ่ายพลังงานจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแบ่งปัน
4. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแบ่งปัน

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ได้ต้นแบบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม และควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่เป็นระบบต้นแบบของระบบตรวจวัดออกซิเจนในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา
2. ทราบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

การศึกษาทฤษฎีและการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ งานวิจัยนี้ได้แบ่งทฤษฎีและการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์

แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เป็นพลังงานสะอาดและมีอยู่ทั่วไป แต่การนำมาใช้ประโยชน์อาจยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เนื่องจากแสงอาทิตย์มีเฉพาะในตอนกลางวัน ตลอดจนมีความเข้มของแสงที่ไม่แน่นอน เพราะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและฤดูกาลที่เปลี่ยนไป พลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุดของโลก และเป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ อันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ มนุษย์เราจึงได้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ อาจจำแนกเป็น 2 รูปแบบ โดยคำนึงถึงประโยชน์ที่ได้รับ คือ เทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และเทคโนโลยีการผลิตพลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

1. โซลาร์เซลล์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells) คือ สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดไฟ) เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง และไฟฟ้าที่ได้ นั้นจะเป็นกระแสตรง (Direct Current) จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆ ขณะใช้งาน (สมชัย, 2551) เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon) แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide) อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide) แคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้ (สมพล, 2554)

1.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ (สมชัย, 2551) สามารถแบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ

- Single Crystalline Silicon Solar Cell
- Polycrystalline Silicon Solar Cell
- Amorphous Silicon Solar Cell

1.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกกรว (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผงโซลาร์เซลล์แบบ Mono Crystalline

ที่มา: สมพล (2554)

1.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง $0.5 \mu\text{m}$ (0.0005 mm) น้หนักเบาและประสิทธิภาพเพียง 5-10% ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Poly Crystalline

ที่มา: สมพล (2554)

1.1.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์ แคดเมียม เทลเลอไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25% ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous

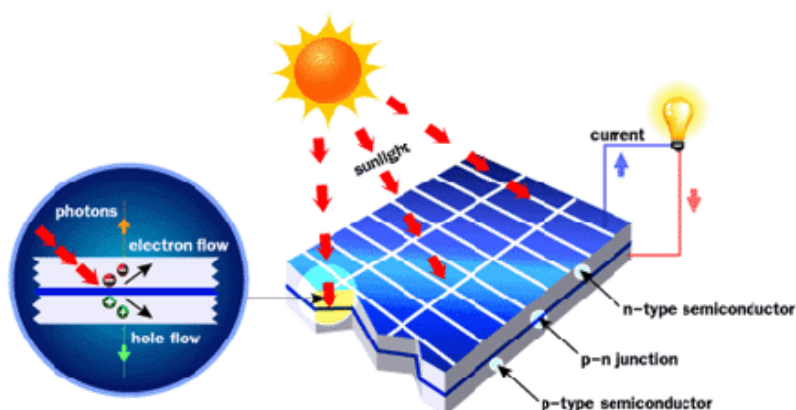
ที่มา: สมพล (2554)

1.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุด และมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถูกลง และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปน เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 μm (0.2-0.4 mm) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าทีรับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

1.3 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: สมพล (2554)

1.4 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

- ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ

- เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่มีวันหมดไปจากโลกนี้

- สามารถนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้โดยตรง

- ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์ รวมถึงไม่มีการเผาไหม้จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ

- ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม

- ไม่เกิดเสียงและไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่เกิดมลภาวะด้านเสียง

- เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และไม่มีชิ้นส่วนใดที่มีการเคลื่อนไหวขณะทำงานจึงไม่เกิดการสึกหรอ

- ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมาก

- อายุการใช้งานยืนยาวและประสิทธิภาพคงที่

- มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว

- เนื่องจากมีลักษณะเป็นโมดูล จึงสามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ

- ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ

1.5 อุปกรณ์สำคัญของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง จึงนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น หากต้องการนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเก็บสะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไปจะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ อีกโดยรวมเข้าเป็นระบบที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์อุปกรณ์สำคัญๆ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: สมพล (2554)

1.5.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและมีหน่วยเป็นวัตต์ (W) มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นแถวหรือเป็นชุด (Solar Array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าใช้งานตามที่ต้องการ โดยการต่อกันแบบอนุกรม จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและการต่อกันแบบขนาน จะเพิ่มพลังงานไฟฟ้า หากสถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์แตกต่างกัน ก็จะมีผลให้ปริมาณของค่าเฉลี่ยพลังงานสูงสุดในหนึ่งวันไม่เท่ากันด้วย รวมถึงอุณหภูมิก็มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า หากอุณหภูมิสูงขึ้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง

1.5.2 เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเหมาะสมกับแบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ด้วย ดังนั้น การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ คือ เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มแล้ว จะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้า (และมักจะมีคุณสมบัติในการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า กรณีแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงด้วย) ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เท่านั้น

1.5.3 แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้เวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เวลากลางคืนหรือนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ แบตเตอรี่มีหลายชนิดและหลายขนาดให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม

1.5.4 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ Pure Sine Wave Inverter ใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับทุกชนิด และ Modified Sine Wave Inverter ใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่มีส่วนประกอบของมอเตอร์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เป็น Electronic ballast

1.5.5 ระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection) ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อฟ้าผ่า หรือเกิดการเหนี่ยวนำทำให้ความต่างศักย์สูง ในระบบทั่วไปมักไม่ใช้อุปกรณ์นี้ จะใช้สำหรับระบบขนาดใหญ่และมีความสำคัญเท่านั้น รวมถึงต้องมีระบบสายดินที่มีประสิทธิภาพด้วย

2. อุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์

สภาพอากาศเย็นจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าและทำงานได้ดีกว่าในสถานะที่อุณหภูมิสูงหรืออากาศร้อน สาเหตุคือเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ กลไกการทำงานบางอย่างไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงานในสถานะอากาศที่อุณหภูมิสูง สำหรับในฤดูหนาวซึ่งสภาพอากาศเย็น แต่เซลล์แสงอาทิตย์กลับสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยกว่าในฤดูร้อน ทั้งนี้เพราะช่วงเวลากลางวันสั้นกว่าดวงอาทิตย์ทำมุมต่ำกว่าและมีเมฆปกคลุมบดบังแสงอาทิตย์มากกว่าฤดูร้อน

3. ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นกับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น หรือเรียกว่า “ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์” (global radiation) มีหน่วยทางด้านพลังงานเป็น เมกกะจูลต่อตารางเมตร (MJ/m^2) โดยบริเวณที่ได้รับรังสีแสงอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะเป็นไปตามพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี กล่าวคือ ในพื้นที่หนึ่งๆ ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยงวัน และลดต่ำลงจนถึงช่วงเย็น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศ (Air Mass) รังสีแสงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลกและผลจากมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตั้งแต่เช้าจนถึงเย็นสำหรับการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เป็นผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาโดยมีเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญ

4. ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจเรียกสั้นๆ ว่า ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

$$\eta = \frac{V \times I}{G \times A}$$

สมการที่ 1

โดย G คือ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)

A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

5. อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรือเรียกย่อๆว่า VSD (Variable Speed Drive) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ให้ได้ตามความเร็วรอบที่ต้องการ ซึ่งหลักการทำงานภายในคือจะมีวงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่แปลงจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และก็แปลงกลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับอีกที เป็นเพราะว่าเนื่องจากการแปลงจาก AC ไปเป็น AC โดยตรงเลยนั้น ความถี่ทางด้านเอาต์พุตจะได้สูงสุดไม่เกินความถี่ทางด้านอินพุต เช่น ไฟฟ้าความถี่ที่ 50 Hz จะปรับความถี่ได้ไม่เกิน 50 Hz เช่นกัน แต่ถ้าแปลงจาก AC ไปเป็น DC และแปลงกลับมาเป็น AC อีกครั้งจะทำให้อินเวอร์เตอร์สามารถสร้างความถี่ได้สูงกว่าความถี่เดิมทางด้านอินพุต ขึ้นอยู่กับสเปคของอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 6



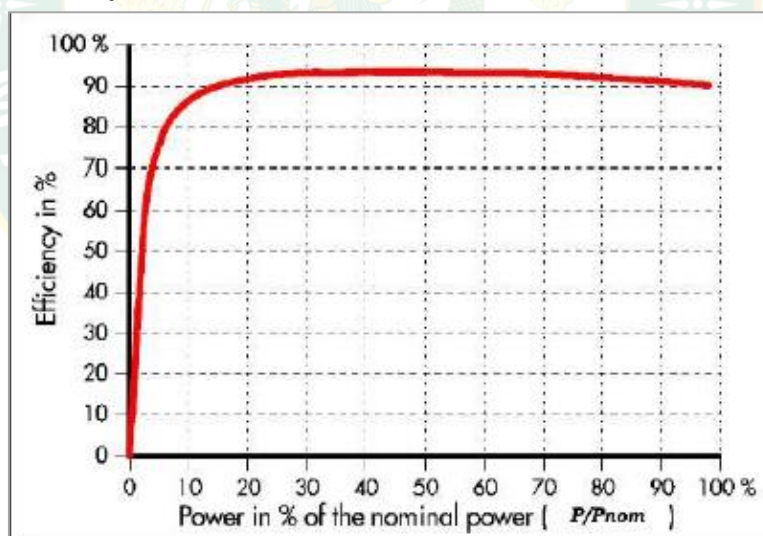
ภาพที่ 6 solar hybrid inverter

หลักการทำงานของระบบ Solar hybrid inverter ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่เป็นตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า บางกรณีมีแบตเตอรี่ในระบบ Solar hybrid ทำหน้าที่เก็บพลังงานประจุไฟฟ้าจากการชาร์จประจุด้วยโซล่าชาร์จเจอร์ หรือชาร์จเจอร์คอนโทรลเลอร์

Hybrid inverter แบ่งออกเป็น 3 โหมด ดังนี้

- 1) Grid-tie with backup คือ พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์สามารถจ่ายเข้าร่วมกับระบบการไฟฟ้าและถูกชาร์ตประจุเข้าแบตเตอรี่
- 2) Grid-tie คือ พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์จ่ายเข้ากับระบบการไฟฟ้าทันที
- 3) Off-Grid คือ พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์จ่ายให้กับโหลดและส่วนที่เหลือชาร์ตประจุเข้าแบตเตอรี่ หรือที่เรียกว่าระบบ Stand alone

การใช้งานสำหรับระบบเดี่ยว รูปคลื่นเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์มีความสำคัญมาก ค่าความคลาดเคลื่อนจากรูปคลื่นจากรูปคลื่นแรงดันในอุดมคติต้องเป็นแบบปกติ สำหรับจ่ายกำลังงานคุณภาพสูงรูปคลื่นแรงดันที่ยอมรับได้ต้องไม่ผิดเพี้ยนเกิน 5% (สมพล, 2554) จึงจะสามารถยอมรับได้ ลำดับรองลงมาที่มีความสำคัญอีกอย่างหนึ่งของระบบแบบเดี่ยว เช่น การตอบสนองต่อระบบไฟฟ้าของโหลด เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า การออกแบบอินเวอร์เตอร์ด้วยมือ จะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดความสามารถและประเภทของโหลด ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของอินเวอร์เตอร์ มีหน่วยเป็นกิโลโวลต์แอมป์ (kVA) แทนหน่วยกิโลวัตต์ (kW) โดยที่พลังงานจะถูกเก็บไว้ส่วนหนึ่งจ่ายไปยังโหลด พลังงานที่เก็บไว้จะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวเก็บประจุ ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์โดยค่ากำลังไฟฟ้าระดับต่ำจนถึงดีจะอยู่ที่ 80-90% ขึ้นอยู่กับประเภทของอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 7



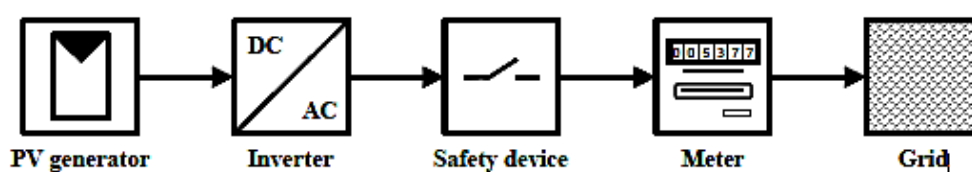
ภาพที่ 7 ตัวอย่างของคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

ที่มา: สมพล (2554)

วิธีลดปัญหาประสิทธิภาพที่ต่ำลงคือการเพิ่มระดับการทำงานทางด้านเอาต์พุต การปรับปรุงอย่างหนึ่งที่ควรตระหนัก คือ อินเวอร์เตอร์บางตัวประกอบด้วยจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) และ MPPT นี้ใช้เพื่อเพิ่มกำลังเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีกำลังสูงสุดในทันทีทันใด และ MPPT ยังสามารถช่วยให้ระบบพลังงานทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

มากขึ้น (คมกฤตย์, 2554) ดังนั้นผู้ใช้จึงมีการพัฒนาให้เหมาะสมกับแรงดันไฟตรง DC ที่ประยุกต์ไปใช้กับระบบของ PV ได้

5.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ PV Inverter เนื่องจากราคาผลผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) มีราคาสูงกว่าพลังงานไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงในด้านคุณภาพจึงกลายเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ในภาพที่ 8 จะแสดงโครงสร้างทั่วไปของการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย แผงกำเนิดไฟฟ้า (PV Generator) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) อุปกรณ์ป้องกัน (Safety Devices) และมิเตอร์ไฟฟ้า (Meter)

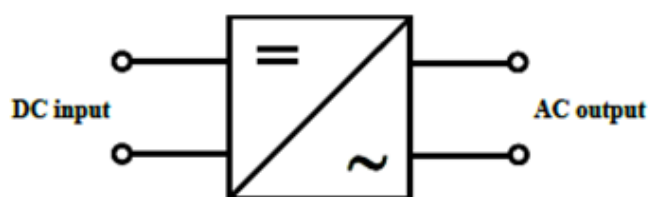


ภาพที่ 8 โครงสร้างทั่วไปของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า

ที่มา: คมกฤตย์ (2554)

พลังงานของแผงกำเนิดไฟฟ้า (PV Generator) ที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Grid) จะเพิ่มขึ้นตามประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์ โดยไม่คิดค่าสูญเสียในอุปกรณ์ป้องกันและในมิเตอร์ อย่างไรก็ตาม ในการเชื่อมต่อระหว่างระบบเซลล์แสงอาทิตย์นี้ยังเกิดค่าสูญเสียอยู่ระหว่าง 1-2 เปอร์เซ็นต์

5.2 องค์ประกอบของอินเวอร์เตอร์ (Invertors Principles) ลักษณะของอินเวอร์เตอร์ได้ถูกแสดงไว้ดังภาพที่ 9 ซึ่งเป็นลักษณะของการแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) รูปคลื่นที่ได้จะเป็นสัญญาณไซน์



ภาพที่ 9 ลักษณะอินเวอร์เตอร์

ที่มา: คมกฤตย์ (2554)

การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำ

น้ำประกอบด้วยไฮโดรเจน (H) 2 อะตอม และออกซิเจน (O) 1 อะตอม หรือที่รู้จัก คือ H_2O ซึ่งยึดเกาะกันโดยแรงร่วม (พันธะ Covalent bonding) น้ำจะมีอยู่ 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว

ผ่านก๊าซ และเปลี่ยนหมุนเวียนกัน น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีแร่ธาตุปนอยู่ด้วยเนื่องจากน้ำฝนไหลดินและสะสมแร่ธาตุระหว่างการไหลลงบ่อ การสะสมมี 2 ขบวนการ คือขบวนการที่หนึ่งคือขบวนการทางเคมี คือการที่น้ำทำให้ดินและหินเปียกแล้วอ่อนตัว (Hydration) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ระหว่างแร่ธาตุในน้ำกับธาตุในดิน ส่วนขบวนการที่สองคือขบวนการทางฟิสิกส์ คือเปลี่ยนจากของแข็งเป็นของเหลว ของเหลวเป็นของแข็งและการแยกตัวของผิวดินและหินในทางการประมงนั้นน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะทำการวิเคราะห์ 3 ประเภท คือ

ทางกายภาพ (Physical) เช่น สี (color) อุณหภูมิ ความขุ่น และสารแขวนลอย

ทางเคมีภาพ (Chemical) เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) คาร์บอนไดออกไซด์ ความเค็ม (Salinity) และไนเตรท (Nitrate, NO_3)

ทางด้านชีวภาพ (Biological) เช่น แพลงตอนพืชและสัตว์ (Planton) แบคทีเรีย (Bacteria) พืชน้ำ (Aquatic macrophytes) และเชื้อโรค (Pathogens)

การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำจะคำนึงถึงวัตถุประสงค์โดยการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อตามวัตถุประสงค์ คือ การวิเคราะห์ด้านคุณภาพ เพื่อหาชนิดของสารประกอบที่อยู่ในน้ำ และการวิเคราะห์ด้านปริมาณ เพื่อหาปริมาณของสารประกอบที่ผสมอยู่ในน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ การวิเคราะห์ด้านปริมาณนี้มีอยู่ 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์น้ำหนัก (Gravimetric analysis) คือคือน้ำหนักสารประกอบที่ผสมอยู่ในน้ำ

การวิเคราะห์ทางปริมาตร (Volumetric analysis) โดยการเทียบกับปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน ที่ทราบความเข้มข้น เมื่อปฏิกิริยาสมบูรณ์ เรียกว่า ไตเตรท (Titration) เช่นการวัดค่า pH และค่า DO ซึ่งในการวิจัยใช้วิธีนี้เพื่อหาค่าแรงดันที่ได้จากหัววัดออกซิเจนละลายในน้ำที่ค่าออกซิเจนต่าง ๆ

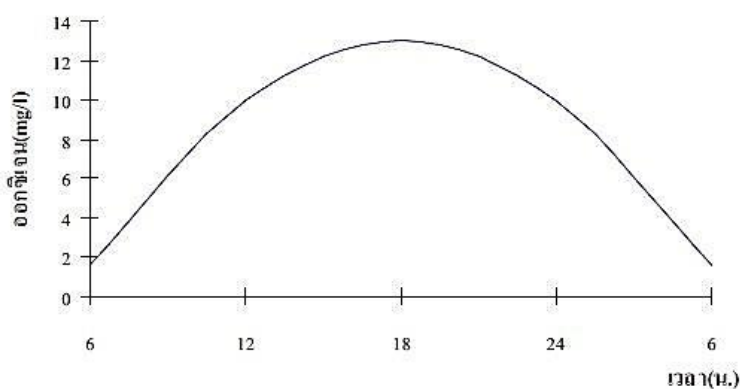
การวิเคราะห์โดยการเทียบสี (Colorimetric analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่สะดวก รวดเร็ว และประหยัด ใช้หลักการ คือ ทำให้เกิดสีในสารละลายตัวอย่าง ซึ่งเป็นสัดส่วนกับสารประกอบที่อยู่ในสารละลายโดยใช้ Spectrophotometer

1. ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำ ได้น้อยมากส่วนมากจะขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศ ความเค็มและอุณหภูมิของน้ำที่อุณหภูมิต่ำความสามารถในการละลายของออกซิเจนจะดีกว่าขณะที่อุณหภูมิสูงดังนี้ ที่ 0°C จะมีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วงระหว่าง 14.6 mg/L ที่ 32°C จะมีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วงระหว่าง 7.32 mg/L และที่ 35°C จะมีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วงระหว่าง 7.04 mg/L (ประพนธ์, 2545) และที่ความดันบรรยากาศปกติอัตราการละลายของออกซิเจนจะลดลง ถ้าความเค็มเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปปริมาณของออกซิเจนที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะมีจุดอิ่มตัว (Saturated) ถ้าปริมาณ

ออกซิเจนเท่ากับปริมาณออกซิเจนมาตรฐาน แต่ถ้ามีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าปริมาณออกซิเจนมาตรฐานเรียกว่า ออกซิเจนต่ำกว่าจุดอิ่มตัว (Under Saturated) และถ้ามีปริมาณออกซิเจนสูงกว่าปริมาณออกซิเจนมาตรฐาน เรียกว่า ออกซิเจนสูงกว่าจุดอิ่มตัว (Super Saturated) อุณหภูมิค่อนข้างจะมีผลต่อปริมาณออกซิเจนมาก โดยเฉพาะในน้ำร้อน จะมีปริมาณออกซิเจนต่ำและขณะเดียวกันก็ต้องการออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลาย และปฏิกิริยาต่างๆก็ทำให้เกิดการขาดออกซิเจน จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างน้ำกับอากาศ ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่างโดยเฉพาะ กรณีที่สัตว์น้ำใช้ออกซิเจนในการหายใจในเวลากลางวันและกลางคืน ส่วนพืชน้ำจะให้ออกซิเจนในเวลากลางวันโดยการสังเคราะห์แสง และในเวลากลางคืนพืชไม่มีการสังเคราะห์แสงแต่ก็ยังใช้ออกซิเจน ทำให้ปริมาณออกซิเจนค่อย ๆ ลดลงจนถึงรุ่งเช้าหากมีพืชน้ำมาก ออกซิเจนก็จะขาดแคลนและหมดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนในช่วงบ่ายก็จะมีออกซิเจนเพิ่มขึ้นมาก เพราะการสังเคราะห์แสงของพืชจะให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นดังภาพที่

10



ภาพที่ 10 การแปรผันในรอบวันของออกซิเจนในบ่อปลา

ที่มา: ประพนธ์ (2545)

2. ออกซิเจนกับสัตว์น้ำ

ออกซิเจนจะมีผลกับสัตว์น้ำ เช่น กุ้งก้ามกรามและกุ้งกุลาดำบ่อกุ้ง ควรใช้ออกซิเจน 4 mg/L กุ้งเล็กต้องการออกซิเจนมากกว่ากุ้งใหญ่ เช่น กุ้งขนาดน้ำหนัก 0.1-0.5 g ต้องใช้ออกซิเจนชั่วโมงละ 0.1-0.2 mg/L กุ้งขนาดน้ำหนัก 10-20 g ใช้ออกซิเจนชั่วโมงละ 0.3 mg/L เมื่อปริมาณออกซิเจนลดลงเกษตรกรต้องทำการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ดังแสดงในตารางที่ 1 การแก้ไขเมื่อเกิดเหตุการณ์ออกซิเจนละลายในน้ำลดลง

ตารางที่ 1 การแก้ไขเมื่อเกิดเหตุการณ์ออกซิเจนละลายในน้ำลดลง

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	วิธีการแก้ไข
น้อยกว่า 4 mg/L	เปิดเครื่องตีน้ำ
น้อยกว่า 3 mg/L	งดอาหาร 20-70%
น้อยกว่า 2 mg/L	งดอาหาร รอจนกว่าออกซิเจนน้อยกว่า 3 mg/L

ในช่วงเช้าออกซิเจนจะลดต่ำลงมากกรณีที่เลี้ยงกุ้งหนาแน่นมาก ถ้ามีเครื่องตีน้ำไม่เพียงพอ กุ้งอาจลอยมาบนผิวน้ำตั้งแต่หลังเที่ยงคืนจนถึงเช้ามืดเมื่อออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 2-3 mg/L ถ้าออกซิเจนสูงกว่านี้กุ้งจะไม่ลอย แต่ถ้าออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 4 mg/L กุ้งจะไม่แข็งแรง กินอาหารน้อย และถ้าออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำ ขณะที่กุ้งลอกคราบกุ้งจะตาย (ประพนธ์, 2545) ดังนั้นควรวัดค่าปริมาณออกซิเจนอย่างสม่ำเสมอในช่วงเช้าและกลางคืน หรือวันละหลายครั้ง สำหรับในบ่อที่เลี้ยงอย่างหนาแน่นและกุ้งขนาดใหญ่ ควรใช้เครื่องมือ ช่วยตรวจสอบปริมาณออกซิเจน นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำก็มีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของปลาในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การเจริญเติบโต การเผาผลาญอาหาร การกินอาหารความต้านทานต่อโรค พฤติกรรมของปลา ปลาขนาดเล็กใช้ออกซิเจนต่อหน่วยน้ำหนักมากกว่าปลาขนาดใหญ่ และอัตราการใช้ออกซิเจนของปลาที่เคลื่อนไหวจะใช้ออกซิเจนสูงกว่าปลาที่อยู่นิ่ง ส่วนกรณีที่ปลากินอาหาร ก็จะมีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงกว่าปลาที่ยังไม่ได้กินอาหารเนื่องจากปลาต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อกระบวนการย่อยอาหาร เมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำลดต่ำลงจะมีผลให้ปลากินอาหารน้อยลง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปลาเจริญเติบโตช้า จากที่กล่าวมานั้นจะเห็นว่าออกซิเจนที่ละลายน้ำมีผลต่อสัตว์น้ำดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับต่ำสุดของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่ทำให้ปลาตาย

ชนิดปลา	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/L)
ปลาทอง	0.1-2.0
ปลาฉลาม	0.2-0.6
ปลาไน	0.2-0.8
ปลาลิ้น	0.3-1.1
ปลาสลิด	1.6-3.8
ปลานิล	0.8-1.2
ปลาตะเพียนขาว	0.4-1.1

3. ปัจจัยที่มีผลต่อออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (กองจัดการคุณภาพน้ำ, 2558) การละลายน้ำของออกซิเจนในระยะเวลาใดเวลาหนึ่งนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง คือ อุณหภูมิของน้ำ ความกดอากาศและความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ

3.1 อุณหภูมิของน้ำ

ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งเป็นไปในทางตรงกันข้ามกับสารละลายประเภทอื่นๆ เช่น น้ำตาลหรือเกลือที่ปริมาณการละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่กรณีของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลง

ตารางที่ 3 แสดงความสามารถในการละลายออกซิเจนในน้ำที่อุณหภูมิ ณ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

อุณหภูมิ (°C)	ออกซิเจนที่ละลาย (mg/L)	อุณหภูมิ (°C)	ออกซิเจนที่ละลาย (mg/L)
0	14.6	26	8.2
1	14.2	27	8.1
2	13.9	28	7.9
3	13.5	29	7.8
4	13.2	30	7.7
5	12.8	31	7.5
6	12.5	32	7.4
7	12.2	33	7.3
8	11.9	34	7.2
9	11.9	35	7.1
10	11.3	36	7.0
11	11.1	37	6.8
12	10.8	38	6.7
13	10.6	39	6.6
14	10.4	40	6.5
15	10.2	41	6.4
16	9.9	42	6.3
17	9.7	43	6.2

อุณหภูมิ (°C)	ออกซิเจนที่ละลาย (mg/L)	อุณหภูมิ (°C)	ออกซิเจนที่ละลาย (mg/L)
18	9.5	44	6.1
19	9.3	45	6.0
20	9.2	46	5.9
21	9.0	47	6.0
22	8.8	48	5.8
23	8.7	49	5.7
24	8.5	50	5.6

3.2 ความกดอากาศหรือความดันบรรยากาศ

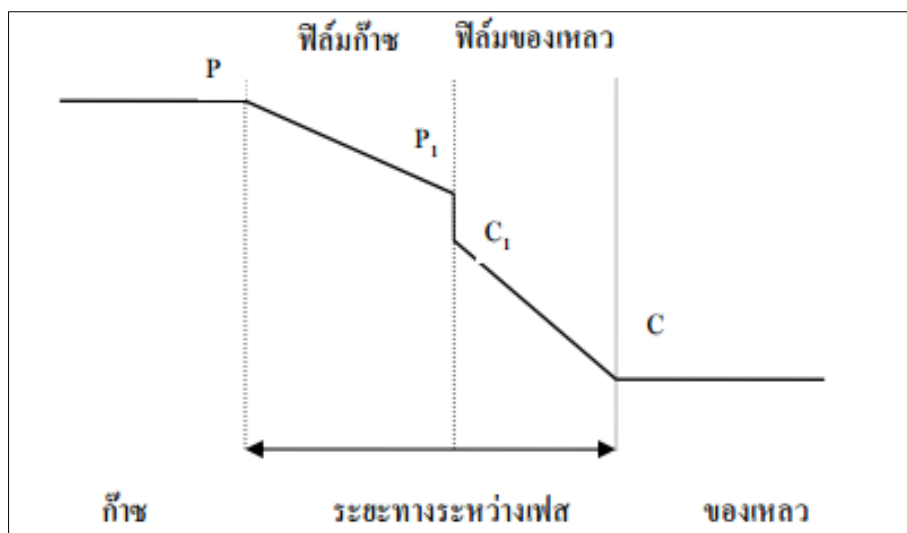
ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำจะแปรผันตรงกับความดันบรรยากาศ กรณีที่ความดันบรรยากาศเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำมากขึ้น นั่นแสดงให้เห็น ว่ายิ่งความลึกของบ่อเลี้ยงปลาความสามารถในการละลายออกซิเจนในน้ำก็จะมากตามไป

3.2 ความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ

ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำ จะแปรผกผันกับความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ ถ้าความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำสูงความสามารถในการละลายออกซิเจนในน้ำก็จะลดลง ออกซิเจน เป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยมากความเข้มข้นอิมตัวของออกซิเจนในน้ำทิ้งหรือความเข้มข้นสุดที่ ออกซิเจนละลายอยู่ได้

การเติมอากาศ

การเติมอากาศ (ประพนธ์, 2545) เป็นกระบวนการทางกายภาพเป็นการนำอากาศเข้าไปสู่มวลของน้ำโดยการทำให้ น้ำสัมผัสกับอากาศ ทฤษฎีของการเติมอากาศได้ถูกศึกษามากมายลักษณะโดย Lewis และ Whitman ได้อธิบายด้วยทฤษฎีการถ่ายเทมวลโดยพิจารณาเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นของเหลวและชั้นก๊าซดังแสดงในภาพที่ 11 โดยก๊าซจะซึมผ่านชั้นก๊าซและชั้นของเหลวจนกระทั่งเข้าถึงระดับลึกของของเหลว ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซจะค่อยๆ ลดลงขณะที่ก๊าซได้ซึมผ่านชั้นก๊าซและชั้นของเหลว



ภาพที่ 11 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลอากาศสู่ฟิล์มของเหลว

ที่มา: ประพนธ์ (2545)

1. ขั้นตอนของการเติมอากาศ

กระบวนการเติมอากาศสามารถทำได้ 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.1 การทำให้มีการสัมผัสระหว่างน้ำให้ฟองอากาศอยู่ในน้ำซึ่งจะทำให้มีการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากฟองอากาศผ่านเข้าสู่ชั้นฟิล์มของน้ำ หรืออีกวิธีก็คือทำให้หยดน้ำกระเด็นขึ้นบน โดยวิธีนี้จะเป็นการทำให้ออกซิเจนในอากาศเคลื่อนย้ายผ่านสู่ชั้นฟิล์มของหยดน้ำที่พ่นขึ้นไป จากทั้งสองวิธีการนี้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ ดังนั้นการทำให้ฟองอากาศหรือละอองน้ำยังมีขนาดเล็กยิ่ง ทำให้การถ่ายเทมวลได้มาก

1.2 การทำให้โมเลกุลของก๊าซในอากาศเคลื่อนย้ายผ่านฟิล์มบางๆ บนผิวน้ำเข้าไปในน้ำ แรงขับเคลื่อนที่ทำให้มีการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลของออกซิเจน คือความแตกต่างระหว่างออกซิเจนที่มีความเข้มข้นสูงในอากาศและออกซิเจนที่มีความเข้มข้นต่ำในน้ำ ซึ่งฟิล์มบางๆ บนผิวน้ำจะเป็นอุปสรรคต่อการถ่ายเทมวลอากาศไปสู่ใต้น้ำอย่างมาก โดยถ้ามีการทำให้ผิวน้ำเกิดความปั่นป่วนก็จะทำให้ชั้นฟิล์มของน้ำแตกออกและมีการถ่ายเทออกซิเจนสู่น้ำมากขึ้น

1.3 การแพร่กระจายของโมเลกุลน้ำ โมเลกุลของออกซิเจนจะแพร่กระจายด้วยการเคลื่อนที่ของน้ำบริเวณใต้ฟิล์มไปสู่จุดอื่นๆ ของน้ำ วิธีทำให้มีการแพร่กระจายทำได้โดยการกวนน้ำ ซึ่งจะช่วยให้ค่าความเข้มข้นของการละลายเท่ากันหมดทุกส่วนของน้ำ แต่ถ้าไม่มีการกวนค่าความเข้มข้นจะมีความแตกต่างกันตามระดับความลึกของน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปยิ่งน้ำลึกเท่าใด ค่าความเข้มข้นจะยิ่งลดน้อยลงไปเรื่อยๆ จนถึงสภาวะสมดุล

2. สภาวะสมดุล

โดยปกติแล้วปริมาณก๊าซชนิดต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำนั้นจะวัดในรูปของความเข้มข้นเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร และสภาวะอุณหภูมิและความดันคงที่ ณ จุดหนึ่ง ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายจะมีค่าเท่ากับค่าการละลายอิ่มตัว (Saturation Value) ที่จุดนั้น เรียกจุดนี้ว่า สภาวะสมดุล ซึ่งที่สภาวะสมดุลค่าการละลายของก๊าซจะมีเพียงค่าเดียว คือ ค่าการละลายอิ่มตัว เช่น อุณหภูมิ 20 °C และภายใต้ความดันบรรยากาศ การละลายอิ่มตัวของออกซิเจนละลายน้ำบริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 9.2 mg/L (ตามตารางที่ 4 การละลายออกซิเจนในน้ำที่ความเข้มข้นต่างๆ) การที่ก๊าซละลายน้ำได้มากน้อยไม่เท่ากันนั้นขึ้นอยู่กับความดันย่อยในมวลก๊าซรวม ยิ่งความดันย่อยมีค่าสูงขึ้นเท่าใด ความสามารถในการละลายน้ำก็ยิ่งมีค่าสูงขึ้นเท่านั้น และที่ความดันย่อยคงที่ หากมีการเพิ่มอุณหภูมิความสามารถในการละลายน้ำหรือค่าการละลายอิ่มตัวก็จะลดลง นอกจากนี้ถ้าหากในน้ำมีสิ่งละลายเจือปน (Dissolved Solids) มาก เช่น ในน้ำทะเลก็จะมีพวกคลอไรด์ สิ่งเจือปนเหล่านี้ก็จะทำให้ความสามารถในการละลายลดลง สภาวะสมดุลเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการเติมอากาศ ทั้งนี้เพราะแรงขับที่จะทำให้ก๊าซระเหยไปในน้ำหรือดูดซับเข้ามาในน้ำนั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างค่าความละลายอิ่มตัวกับความเข้มข้นจริงที่ละลายอยู่ในน้ำ ถ้าความแตกต่างมีค่าสูงก็จะทำให้มีแรงขับสูงและปฏิกิริยาที่จะเกิดได้รวดเร็ว เช่น กรณีที่น้ำมี ออกซิเจนน้อยกว่าความเข้มข้นของการละลายอิ่มตัว เมื่อได้รับการสัมผัสกับอากาศน้ำก็จะดูดซับออกซิเจนจากอากาศไว้ ปฏิกิริยาแห่งความสมดุลจะเป็นไปในลักษณะที่เรียกว่า การขาดออกซิเจน (Oxygen Deficiency) ถ้ายืดเวลาการสัมผัสให้นานออกไปท้ายที่สุดความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำก็จะมีค่าเท่ากับค่าการละลายอิ่มตัวในที่สุด แต่ในทางตรงข้ามน้ำที่มีออกซิเจนสูง การสัมผัสอากาศจะทำให้ ออกซิเจนระเหยออกไปจากน้ำ ปฏิกิริยาแห่งความสมดุลจะเป็นไปในลักษณะที่เรียกว่า การเกินอิ่มตัว (Super Saturation) ฟิล์มหรือผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศก็เป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทของก๊าซทั้งฟิล์มของน้ำและก๊าซ ฟิล์มของน้ำและก๊าซจะเป็นตัวต้านทานการหรือทำให้อัตราการถ่ายเทก๊าซให้ช้าลง โดยสภาพการสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศและอุณหภูมิจะมีผลมาก ถ้าค่าทั้งคู่สูงก็จะทำให้อัตราการถ่ายเทมวลระหว่างอากาศกับน้ำเป็นไปด้วยดีเพราะความปั่นป่วนจากการทำให้มีการสัมผัสเพิ่มจะช่วยลดความหนาของชั้นฟิล์มลง นอกจากนี้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นยังช่วยเร่งอัตราการแพร่เชิงโมเลกุลมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4 ความสามารถในการละลายออกซิเจนในน้ำที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ ความดัน 1 บรรยากาศ

Temperature In (°C)	Chloride Concentration in Water (mg/l)					Difference per 100 mg Chloride
	0	5000	10000	15000	20000	
	Dissolved Oxygen (mg/l)					
0	14.6	13.8	13.0	12.1	11.3	0.017
1	14.2	13.4	12.6	11.8	11.0	0.016
2	13.8	13.1	12.3	11.5	10.8	0.015
3	13.5	12.7	12	11.2	10.5	0.015
4	13.1	12.4	11.7	11.0	10.3	0.014

เครื่องมือการวัด

การแบ่งหน้าที่การทำงานของระบบการวัดค่า (Functional Elements of Measurement System) อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ในระบบ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์พื้นฐานของระบบการวัดค่าทั้งหมดซึ่งประกอบด้วย

1. เซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์ (kittisak, ม.ป.ป.) คือ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณหรือปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ เสียง แสง การสัมผัส เป็นต้น ปัจจุบันมีการนำระบบเซ็นเซอร์ สามารถนำมาใช้บนโทรศัพท์มือถือในหลายรูปแบบ เช่น

- G-sensor ระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว
- Accelerometer Sensor ระบบหมุนภาพ อัตโนมัติ
- Orientation Sensor เซ็นเซอร์ปรับมุมมองหน้าจอ
- Sound Sensor เซ็นเซอร์ตรวจจับระดับเสียง
- Magnetic Sensor ตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็ก
- Light Sensor ตรวจจับแสงสว่างสำหรับการปรับแสงบนหน้าจออัตโนมัติ
- Proximity Sensor ระบบเปิด/ปิดหน้าจออัตโนมัติขณะสนทนาแบบหู

1.1 เซ็นเซอร์แบบแสง เป็นเซ็นเซอร์ที่นิยมใช้ในเครื่องพิมพ์ทุกระบบ เช่น ดอตแมทริกซ์ อิงค์เจ็ท และเลเซอร์ ซึ่งจะมีข้อดี-ข้อเสียของเซ็นเซอร์แบบหน้าสัมผัส เซ็นเซอร์แสงจะมีอุปกรณ์ 2 ตัว คือ

1.1.1 ตัวส่งแสง จะใช้ LED (Light Emitting Diode) ซึ่งเป็นไดโอดเปล่งแสงประเภทหนึ่ง (in fared) จะมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

1.2.2 ตัวรับแสง จะใช้ Photo Transistor ซึ่งจะทำงานเป็น สวิตช์ปิดหรือเปิด กล่าวคือ ถ้าได้รับแสงจากไดโอด สวิตช์ปิด และในทางตรงกันข้ามถ้า Photo ไม่ได้รับแสง (ถูกบังแสง) สวิตช์เปิด อีกนัยหนึ่งเสมือนว่า Photo Transistor เป็น สวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์ จึงไม่เกิดหน้าสัมผัสสกปรก หรือ Bad Contact แต่จะมีข้อเสียคือ ผุ่นละอองบังที่หน้าเลนส์แทน ทำให้มีปัญหาในการทำงานของเครื่องพิมพ์ได้

1.2 เซนเซอร์แบบอุณหภูมิหรืออาร์ทีดี คือ อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของลวดโลหะไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ลวดโลหะที่นำมาผลิตอาร์ทีดีมีหลายชนิด เช่น ทองแดง ทังสเตน นิเกิล และแพลตทินัม เป็นต้น เนื่องจากอาร์ทีดีแบบแพลตทินัม 100 Ω เป็นที่นิยมสูงสุดเนื่องจากความเป็นลิเนียร์ที่ดี จึงถูกกำหนดให้เป็นแบบมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไปอาร์ทีดีแบบแพลตทินัม 100 Ω จะเปลี่ยนค่าความต้านทานโดยเฉลี่ย 0.385 Ω ต่อ 1 $^{\circ}\text{C}$ การใช้งานปกติจะมีแหล่งจ่ายกระแสคงที่ 1 mA ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 $^{\circ}\text{C}$ แรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนไป 0.385 mV ซึ่งมากกว่า Thermocouple ถึง 10 เท่า เหมาะสำหรับวัดค่าอุณหภูมิที่ต้องการความละเอียดสูงและอุณหภูมิต่ำจนถึงติดลบ

1.3 อุปกรณ์ขยายสัญญาณหมายถึงอุปกรณ์ที่เพิ่มขนาดของสัญญาณ ปกติอุปกรณ์ขยายสัญญาณดังกล่าวนี้ จะอยู่ร่วมกับอุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณ อุปกรณ์ขยายสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งใช้วงจรทรานซิสเตอร์และไอซี

$$\text{การขยายสัญญาณ} = \frac{V_{in}}{V_0} \quad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่ V_{in} : สัญญาณอินพุต
 V_0 : สัญญาณเอาต์พุต

1.4 อุปกรณ์กรองสัญญาณ อุปกรณ์กรองทางไฟฟ้า เพื่อกำจัดการค้างอยู่ของสัญญาณไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น วงจร R-C อย่างง่าย หรือวงจรกรองทางไฟฟ้าใด ๆ ที่มีความเหมาะสม

1.5 อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาปรับแต่งคุณภาพของสัญญาณที่ได้มาจากเซนเซอร์เพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมกับการไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ซึ่งมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้ อุปกรณ์ชดเชยสัญญาณ หรืออุปกรณ์ทำให้สัญญาณเป็นเชิงเส้น อุปกรณ์ดิฟเฟอเรนเชียล หรืออินทิเกรชัน อุปกรณ์แปลงสัญญาณ จากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณ หรืออุปกรณ์สุ่มสัญญาณ เป็นต้น

2. การสอบเทียบค่าที่ต้องการ

การสอบเทียบค่าที่ต้องการ (Calibration) (ประพนธ์, 2549) เป็นการกระทำเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องของการเปรียบเทียบจำนวน ระหว่างจำนวนที่เราทราบกับค่ามาตรฐานที่เราทราบ และ

เอาต์พุตของระบบการวัดเมื่อวัดจำนวนเดียวกัน ถ้าผลตอบสนองของเอาต์พุต และอินพุตของระบบมีค่าเป็นเชิงเส้นแล้วการสอบเทียบแบบจุดเดียว (single-point) ก็เพียงพอ นั่นคือเพียงแต่ทราบค่ามาตรฐานของอินพุตอย่างเดียวก็น่าเพียงพอ ถ้าระบบไม่เป็นเชิงเส้น เราจำเป็นต้องใช้จุดของค่ามาตรฐานทางด้านอินพุตในการวัดระบบ เพื่อสอบเทียบค่าทางด้านเอาต์พุตให้ถูกต้องซึ่งมีลำดับขั้นดังนี้

2.1 การสอบเทียบขั้นปฐมภูมิ (Primary Calibration) เมื่ออุปกรณ์หรือระบบถูกสอบเทียบในขั้นปฐมภูมิ กระบวนการดังกล่าวก็จะถูกจัดอยู่ในเทอมของการสอบเทียบขั้นปฐมภูมิหลังจากการสอบเทียบปฐมภูมิแล้ว อุปกรณ์ดังกล่าวก็จะถูกนำไปใช้เป็นอุปกรณ์สอบเทียบขั้นทุติยภูมิ

2.2 การสอบเทียบขั้นทุติยภูมิ (Secondary Calibration) เมื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบขั้นทุติยภูมิถูกใช้ต่อไปในการสอบเทียบอุปกรณ์อื่น จะทำให้ความแน่นอนลดน้อยลงไป การสอบเทียบในขั้นนี้ใช้งานกันอย่างกว้างขวางในการปฏิบัติงานของห้องทดลองทั่วไปในงานอุตสาหกรรม

2.3 การสอบเทียบโดยตรง เมื่อทราบค่าทางด้านอินพุต การสอบเทียบโดยตรงเมื่อรู้ค่าทางด้านอินพุต มีลักษณะเหมือนกับความแน่นอนของการสอบเทียบแบบทุติยภูมิ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ถูกสอบเทียบโดยตรงจึงใช้เป็นอุปกรณ์สอบเทียบในขั้นทุติยภูมิด้วย

3. เครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และความเป็นกรด-ด่าง

ปริมาณออกซิเจนในน้ำเป็นดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญซึ่งบ่งชี้ถึงระดับคุณภาพของน้ำที่นำมาใช้ประโยชน์ เพราะออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ การวัดค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำทำได้ทั้งวิธีทางเคมีและการใช้เครื่องมือวัด (เลกะ, ม.ป.ป.) คือ เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และวัดเป็นความกรด-ด่าง (pH) ด้วย Lutron รุ่น WA-2017SD โดยเครื่องมือนี้ใช้ในการวัดปริมาณออกซิเจน เมื่อทราบถึงปริมาณออกซิเจนแล้วจะทำให้รู้คุณภาพของน้ำ ว่าเหมาะสมสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้หรือไม่ ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนและวัดเป็นความกรด-ด่าง Lutron รุ่น WA-2017SD
ที่มา: เลกะ (ม.ป.ป.)

3.1 รายละเอียดเครื่องวัด Lutron รุ่น WA-2017SD สามารถวัด pH และช่วงการวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

- เครื่องวัดสามารถวัดค่าได้หลากหลาย เช่น pH/ORP, CD/TDS, Dissolved Oxygen, Salt

- ชนิดบันทึกข้อมูลด้วย SD Card
- สามารถสำรองรับ SD Card ได้ตั้งแต่ 1-16 GB
- ไม่จำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์ในการดาวน์โหลดข้อมูล
- สามารถดูข้อมูลในรูปแบบไฟล์ Excel ได้โดยนำ SD Card ไปเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

3.2 ช่วงการวัด pH

- ฟังก์ชันชดเชยอุณหภูมิ เมื่อใช้งานร่วมกับ โพรบวัดอุณหภูมิรุ่น TP-07 (0-60 °C)
- ฟังก์ชัน mV สำหรับเช็คคุณภาพโพรบวัด pH
- ช่วงการวัด: 0 to 14pH
- Resolution: 0.01pH
- Accuracy: $\pm (0.02\text{pH} + 2\text{d})$

3.3 ช่วงการวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen)

- ฟังก์ชันชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติ หน้าจอแสดงค่าออกซิเจนในน้ำ mg/L และอุณหภูมิ
- ช่วงการวัด: 0 ถึง 20.0 mg/L
- Resolution: 0.1 mg/L
- Accuracy: $\pm 0.4\% \text{ mg/L}$

4. วงจรควบคุมมอเตอร์

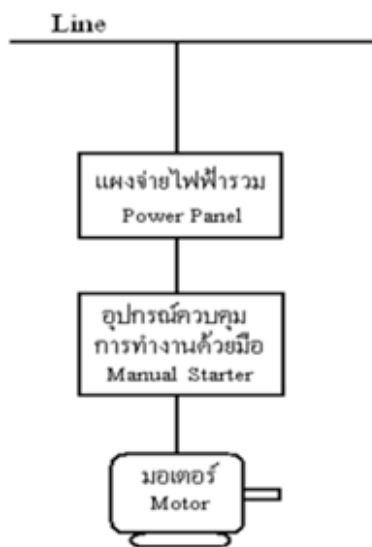
การควบคุมมอเตอร์ (ไครสตร, 2551) หมายถึง การทำให้มอเตอร์ทำงานตามคำสั่ง และทำให้เกิดความปลอดภัยต่อตัวมอเตอร์ และอุปกรณ์เครื่องจักรที่ต่อกับมอเตอร์ รวมถึงทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานด้วย

จุดประสงค์ของการควบคุมมอเตอร์ เพื่อการเริ่มเดินมอเตอร์ (Starting) เพื่อการหยุดมอเตอร์ (Stopping) เพื่อการกลับทางหมุน (Reversing) เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (Running) เพื่อควบคุมความเร็ว (Speed control) เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน (Safety of operator) เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์และระบบ (Protection damage) และเพื่อบำรุงรักษาอุปกรณ์เริ่มเดินมอเตอร์ (Maintenance of starting requirement)

4.1 ประเภทของการควบคุมมอเตอร์

แบ่งตามลักษณะการสั่งอุปกรณ์ควบคุมให้มอเตอร์ทำงานเป็น 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

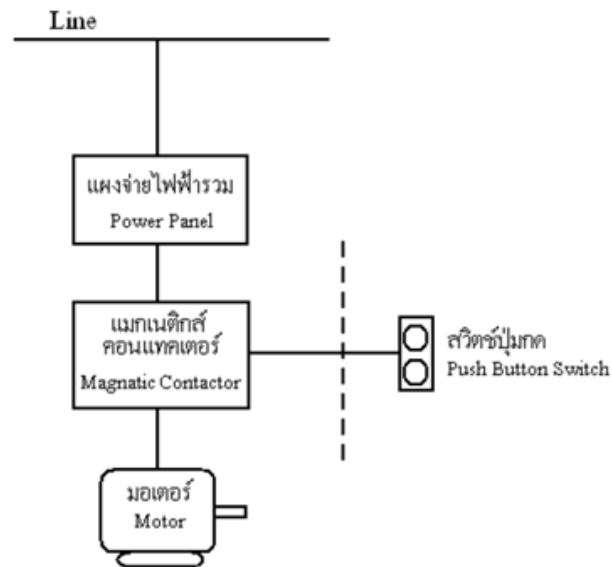
4.1.1 การควบคุมด้วยมือ (Manual control) เป็นการสั่งงานให้อุปกรณ์ควบคุมทำงานโดยผู้ปฏิบัติงาน ควบคุมให้ระบบกลไกทางกลทำงาน ซึ่งการสั่งงานให้ระบบกลไกทำงานนี้โดยส่วนมากจะใช้คนเป็นผู้สั่งงานแทบทั้งสิ้น ซึ่งมอเตอร์จะถูกควบคุมจากการสั่งงานดังแสดงภาพที่ 13 ด้วยมือโดยการควบคุมผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ท็อกเกิ้ลสวิตช์ (Toggle switch) เซฟตี้สวิตช์ (Safety switch) ดรัมสวิตช์ (Drumswitch) เป็นต้น



ภาพที่ 13 การควบคุมด้วยมือ (Manual control)

ที่มา: ไกรสร (2551)

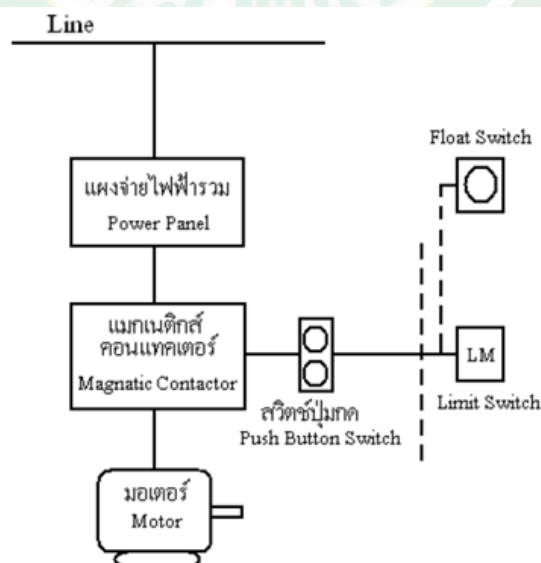
4.1.2 การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic control) โดยการใช้สวิตช์ปุ่มกดที่สามารถควบคุมระยะไกลได้ ซึ่งมักจะต่อร่วมกับแมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic contactor) ที่ใช้จ่ายกระแสให้กับมอเตอร์แทนสวิตช์ธรรมดาซึ่งสวิตช์แม่เหล็กนี้อาศัยผลการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้าวงจรการควบคุมมอเตอร์กึ่งอัตโนมัตินี้ต้องอาศัยคนคอยกดสวิตช์จ่ายไฟให้กับสวิตช์แม่เหล็ก สวิตช์ แม่เหล็กจะดูดให้หน้าสัมผัสมาแตะกันและจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ และถ้าต้องการหยุดมอเตอร์ก็จะต้องอาศัยคนคอยกดสวิตช์ปุ่มกดอีกเช่นเดิม จึงเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมกึ่งอัตโนมัติดังแสดงภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic control)

ที่มา: ไกรสร (2551)

4.1.3 การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control) การควบคุมแบบนี้จะอาศัยอุปกรณ์ ชี้นำ (Pilot device) คอยตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่าง ๆ เช่น สวิตช์ลูกลอยทำหน้าที่ตรวจวัด ระดับน้ำในถัง คอยสั่งให้มอเตอร์ปั๊มทำงานเมื่อน้ำหมดถัง และสั่งให้มอเตอร์หยุดเมื่อน้ำเต็มถัง สวิตช์ ความดันทำหน้าที่ตรวจจับความดันลมเพื่อสั่งให้ปั๊มลมทำงาน เทอร์โมสแตททำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้า ตามอุณหภูมิสูงหรือต่ำ เป็นต้น วงจรการควบคุมมอเตอร์แบบนี้เพียงแต่ใช้คนกดปุ่มเริ่มเดินมอเตอร์ใน ครั้งแรกเท่านั้น ต่อไปวงจรก็จะทำงานเองโดยอัตโนมัติตลอดเวลา ดังแสดงภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control)

ที่มา: ไกรสร (2551)

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมมอเตอร์

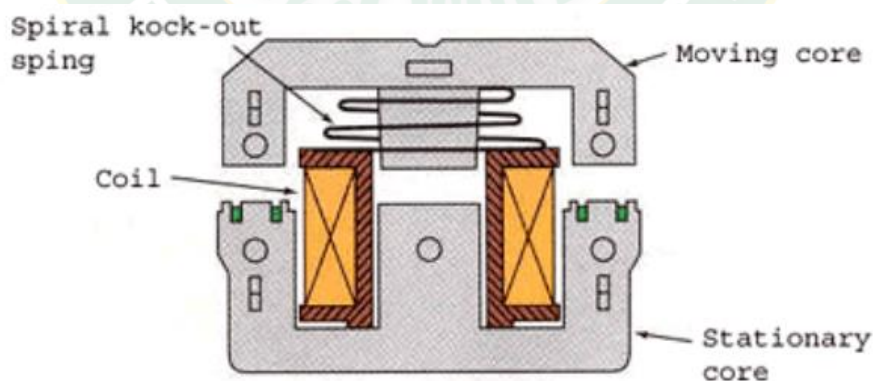
การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้านั้น มีอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมมอเตอร์อย่างมากมายอุปกรณ์ที่ใช้ในงานนั้นต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานในการควบคุม อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมที่เป็นพื้นฐานหลักมีดังแสดงภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แมกเนติกคอนแทคเตอร์

ที่มา: ไกรสร (2551)

แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการทำงานโดยใช้อำนาจแม่เหล็ก ในการเปิด-ปิดหน้าสัมผัส เพื่อควบคุมวงจรมอเตอร์หรือเรียกว่า สวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch) หรือ คอนแทคเตอร์ (Contactor) ก็ได้ แมกเนติกคอนแทคเตอร์มีโครงสร้างที่สำคัญดังแสดงภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ลักษณะโครงสร้างภายในของแมกเนติกคอนแทคเตอร์

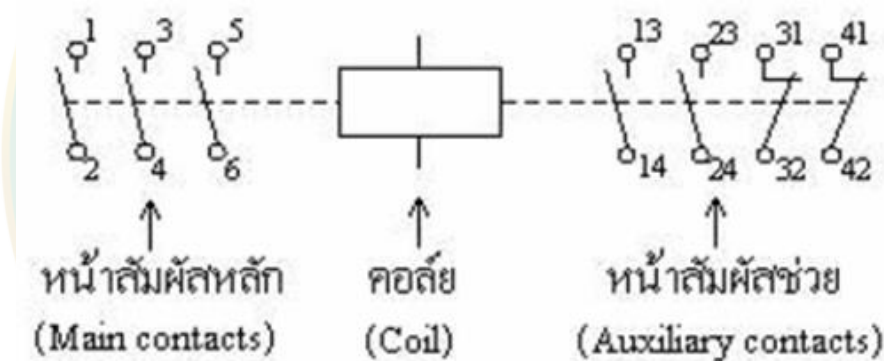
ที่มา: ไกรสร (2551)

4.2.1 แกนเหล็ก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แกนเหล็กอยู่กับที่ (Stationary core) ที่ขาทั้งสองข้างของแกนเหล็กจะมีลวดทองแดงเส้นใหญ่ต่อลัดอยู่ เป็นรูปวงแหวน ฝังอยู่ที่ผิวหน้าของแกน เพื่อลดการสั่นสะเทือนของแกนเหล็ก อันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกวงแหวน

นี้ว่า Shadedring และแกนเหล็กเคลื่อนที่ (Moving core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกันเป็นแกน จะมีชุดหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ (Moving Contact) ยึดติดอยู่

4.2.2 ขดลวด (Coil) ทำมาจากลวดทองแดงพันอยู่รอบบ๊อบบี้ตรงกลางขาตัววีของแกนเหล็กที่อยู่กับที่ ขดลวดทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กเพื่อทำให้หน้าสัมผัสเปลี่ยนสถานะ

4.2.3 หน้าสัมผัส (Contact) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน้าสัมผัสหลัก (Main Contacts) โดยปกติแล้วหน้าสัมผัสหลักมี 3 อัน สำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 3 เฟสเข้าไปสู่มอเตอร์ หรือโหลดที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส หน้าสัมผัสหลักของคอนแทคเตอร์มีขนาดใหญ่ สามารถทนแรงดันและกระแสได้สูง หน้าสัมผัสหลักเป็นชนิดปกติเปิด (Normally open) และหน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contacts) หน้าสัมผัสชนิดนี้ติดตั้งอยู่ด้านข้างทั้งสองด้านของตัวคอนแทคเตอร์มีขนาดเล็กทนกระแสได้ต่ำ ทำหน้าที่ช่วยการทำงานของวงจร เช่น เป็นหน้าสัมผัสที่ทำให้คอนคอนแทคเตอร์ทำงานได้ตลอดเวลา หรือเรียกว่า holding หรือ maintaining contact หน้าสัมผัสช่วยนี้จะเป็นหน้าสัมผัสแบบโยกได้สองทาง โดยจะถูกดึงขึ้น-ลง ไปตามจังหวะการดูด-ปล่อยของคอนแทคเตอร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 หน้าสัมผัสหลักและหน้าสัมผัสช่วย

ที่มา: ไกรสร, 2551

4.3 หลักการทำงาน

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็ก ที่อยู่ขากกลางของแกนเหล็กขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กที่มีแรงสนามแม่เหล็กขณะแรงสปริง ดึงให้แกนเหล็กเคลื่อนที่ เคลื่อนที่ลงมาในสภาวะนี้คอนแทคทั้งสองชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงาน คือ คอนแทคปกติปิดจะเปิดวงจรจุดสัมผัสออก และคอนแทคปกติเปิดจะต่อวงจรของจุดสัมผัส เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กคอนแทคทั้งสองชุดจะกลับไปสู่สภาวะเดิม

4.3.1 รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay) หรือรีเลย์หน่วงเวลา ดังแสดงภาพที่ 19 เป็นรีเลย์ควบคุมที่หน้าสัมผัสจะเปิดหรือปิดหลังจากช่วงเวลาที่ตั้งเอาไว้ผ่านไป ซึ่งจะต่างจากแบบทำงานทันที

ซึ่งจะเปิดหรือปิดโดยทันทีช่วงเวลาหนึ่งอาจจะเริ่มต้นจากการเปิดหรือปิดวงจรของแม่เหล็กก็ได้ขึ้นอยู่กับการทำงานของวงจรจำแนกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้



ภาพที่ 19 รีเลย์ตั้งเวลา

ที่มา: ไกรสร (2551)

1) หน่วงเวลาเมื่อมีไฟเข้า (Time Delay on Energisation หรือ On-Delay) หน้าสัมผัสของรีเลย์หน่วงเวลาชนิดนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อมีไฟเข้าที่ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงเวลาหน่วงตามที่ได้ตั้งเอาไว้ โดยที่หน้าสัมผัสจะเปลี่ยนสถานะ ณ จุดสิ้นสุดของช่วงเวลาหน่วงนั้นๆ และเมื่อตัดไฟออกไปแล้วหน้าสัมผัสจะกลับสู่สถานะปกติทันที

2) หน่วงเวลาเมื่อตัดไฟออก (Time Delay on De-Energization หรือ Off -Delay) หน้าสัมผัสของรีเลย์หน่วงเวลาชนิดนี้จะทำงานทันทีที่มีไฟจ่ายเข้ามาและเมื่อตัดไฟออกจากวงจรเป็นระยะเวลาหนึ่งตามที่ตั้งไว้แล้วหน้าสัมผัสจึงจะกลับสู่สถานะปกติ

3) หน่วงเวลาทั้งเมื่อมีไฟเข้าและตัดไฟออก (On-Delay and Off-Delay Timing Relay) หน้าสัมผัสของรีเลย์หน่วงเวลาชนิดนี้จะทำงานเมื่อ มีไฟเข้าที่ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าในช่วงเวลาหน่วงที่ตั้งเอาไว้ และเมื่อตัดไฟออกไปแล้วหน้าสัมผัสจะกลับสู่สถานะปกติหลังจากเวลาที่ได้ตั้งเอาไว้เช่นกัน ซึ่งรีเลย์ประเภทนี้ก็คือเป็นการรวมกันระหว่างรีเลย์หน่วงเวลา 2 ประเภทแรกนั่นเอง

4.3.2 รีเลย์ป้องกันโหลดเกินหรือโอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload Relay) รีเลย์ป้องกันโหลดเกินนั้นมีหลายชนิด โดยในที่นี้จะกล่าวถึงรีเลย์ความร้อนเกินแบบโลหะคู่ (Bimetallic Thermal Overload Relay) ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด และมีระดับการป้องกันสูงต่อสภาวะโหลดเกินที่ยาวนานหรือต่ำ ซึ่งมีใช้ทั้งระบบไฟกระแสสลับและกระแสตรง ดังแสดงภาพที่ 20 มีลักษณะสมบัติทั่วไปดังนี้



ภาพที่ 20 โอเวอร์โวลต์รีเลย์

ที่มา: ไกรศร (2551)

การทำงานและการป้องกันเป็นแบบ 3 ขั้ว มีการชดเชยอุณหภูมิอากาศแวดล้อมดังนั้นการแกว่งของอุณหภูมิจะไม่มีผลต่อการทำงาน และมีการป้องกันในแต่ละเฟส เพื่อป้องกันมอเตอร์ในกรณี que ทำงานแบบเฟสเดียวสามารถปรับตั้งใหม่ได้ด้วยมือหรืออัตโนมัติ



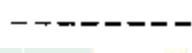
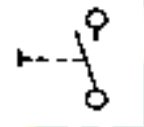
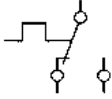
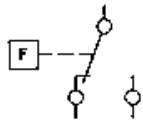
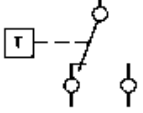
4.3.2 รีเลย์ความร้อนแบบโลหะคู่จะมีโลหะคนละชนิด 2 แถบ เชื่อมติดเข้าด้วยกันโดยต้องเลือกโลหะที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวแตกต่างกัน เมื่อโลหะได้รับความร้อน แผ่นโลหะก็จะมีการโค้งงอในทิศทางที่ถูกกำหนดรีเลย์ชนิดนี้จะมีแผ่นโลหะคู่ 3 ชุด แต่ละชุดจะถูกพันรอบด้วยขดลวดทำความร้อนที่มีการไหลของกระแสในแต่ละเฟส ขณะที่มอเตอร์มีการดึงกระแส ผลของความร้อนจะถูกวัดได้โดยโลหะคู่และมันจะเริ่มโค้ง ปริมาณการโค้งจะขึ้นกับขนาดของกระแสโลหะคู่จึงถูกใช้ในการควบคุมและตัดกลไกการทำงาน ถ้ากระแสถูกดึงโดยโหลดเกินค่าที่ตั้งไว้โลหะคู่จะโค้งจนถึงจุดตัดทำให้หน้าสัมผัสช่วยเปิดและอีกอันปิดหน้าสัมผัสที่เปิดปกติแล้วจะถูกต่อกับวงจรขดลวดคอนแทคเตอร์ และเมื่อน้ำสัมผัสเปิดก็จะเป็นการหยุดการทำงานของมอเตอร์ส่วนหน้าสัมผัสที่ปิดจะใช้ควบคุมหลอดไฟชี้นำ (Pilot Lamp) เพื่อส่งสัญญาณเตือนว่ามีการตัดวงเวลา (Time Delay Fuse) ฟิวส์กำลังที่เหมาะสมสำหรับการป้องกันมอเตอร์จะเป็น

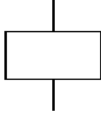

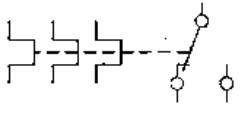


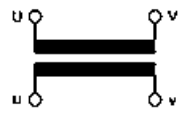
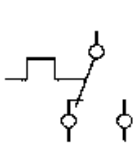
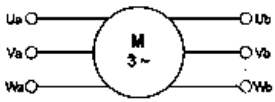
4.3.4 ฟิวส์ (Fuse) มี 2 ประเภท คือ ชนิดมาตรฐานทำงานทันที (Non Time Delay Fuse) และชนิดหน่วงเวลา (Time Delay Fuse) ฟิวส์กำลังที่เหมาะสมสำหรับการป้องกันมอเตอร์จะเป็นฟิวส์ชนิดหน่วงเวลา เนื่องจากกระแสเริ่มแรกในขณะสตาร์ทมอเตอร์มีค่าสูงกว่ากระแสปกติประมาณ 5-8 เท่า ฟิวส์ตามมาตรฐาน IEC (International Electro technical Commission) มีขนาดเป็นแอมแปร์ (A) ดังนี้ 6, 10, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400

4.4 สัญลักษณ์ที่ใช้กับงานควบคุมมอเตอร์

สัญลักษณ์ที่ใช้กับงานควบคุมมอเตอร์จำเป็นที่จะต้องเขียนสัญลักษณ์แทนของจริง ซึ่งแสดงในตารางที่ 5 ที่ใช้ในงานควบคุมมอเตอร์ ซึ่งในที่นี้จะใช้สัญลักษณ์การควบคุมมอเตอร์ตามมาตรฐานการออกแบบของ IEC (International Electro technical Commission)

ตารางที่ 5 สัญลักษณ์ที่ใช้กับงานควบคุมมอเตอร์

สัญลักษณ์	ความหมาย
	หน้าสัมผัสปกติเปิด (Normally Open : NO)
	หน้าสัมผัสปกติปิด (Normally Close : NC)
	ทำงานร่วมแกนเดียวกัน
	สวิตช์ปุ่มกด หน้าสัมผัสปกติเปิด (Push Button Switch – Normally Open)
	หน้าสัมผัสตัดวงจรด้วยแรงอุณหภูมิที่มีตัวรับอุณหภูมิรับมา
	สวิตช์ลูกลอย (Floating Switch)
	สวิตช์ทำงานด้วยอุณหภูมิ (Temperature Switch)

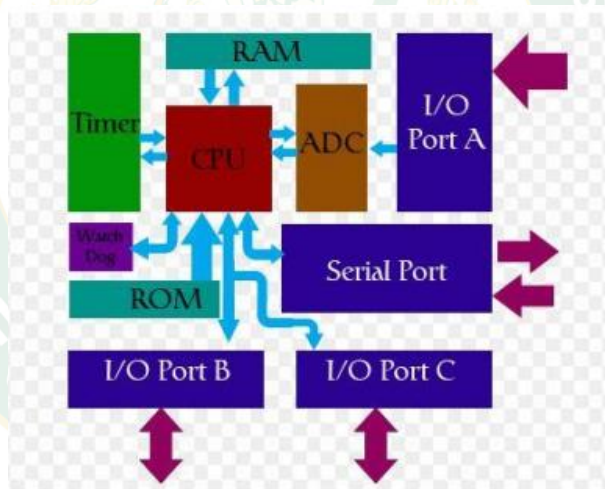
สัญลักษณ์	ความหมาย
	ขดลวดของสวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Contactor Coil)
	ฟิวส์ (Fuse)
	สวิตช์แม่เหล็กป้องกันโหลดเกิน (Overload Relay)
	หลอดไฟสัญญาณ (Signal Lamp)
	สัญญาณเตือน (Alarm)
	หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage Transformer)
	หน้าสัมผัสตัดวงจรด้วยแรงอุณหภูมิที่มีตัวรับ อุณหภูมิรับมา
	มอเตอร์สองความเร็ว (Two Speed Motor)

ระบบควบคุม

ระบบควบคุม (Controller) คือ กระบวนการ (Process) ที่ใช้การควบคุมเอาต์พุตของกระบวนการที่ต้องการควบคุม เช่น เครื่องปรับอากาศจะมีกระบวนการที่ใช้ปรับความเย็นของเครื่องปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิของห้องคงที่ในช่วงที่ผู้ใช้ต้องการ เป็นต้น

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ทันพงษ์, ม.ป.ป.) (อังกฤษ: Microcontroller มักย่อว่า μC , uC หรือ MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียูหน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ถ้าแปลความหมายแบบตรงตัวก็คือ ระบบคอนโทรลขนาดเล็กเรียกอีกอย่าง หนึ่งคือเป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยผ่านการออกแบบ วงจรให้เหมาะกับงานต่างๆ และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขาอินพุตหรือเอาต์พุต เพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้อีกด้วย ซึ่งก็นับว่าเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ทั้งทางด้าน Digital และ Analog ยกตัวอย่างเช่น ระบบสัญญาณตอบรับอัตโนมัติ ระบบบัตรคิว ระบบตอกบัตรพนักงานและอื่นๆ ยิ่งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อกับระบบ Network ของคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้อีกด้วย โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงในภาพที่ 21

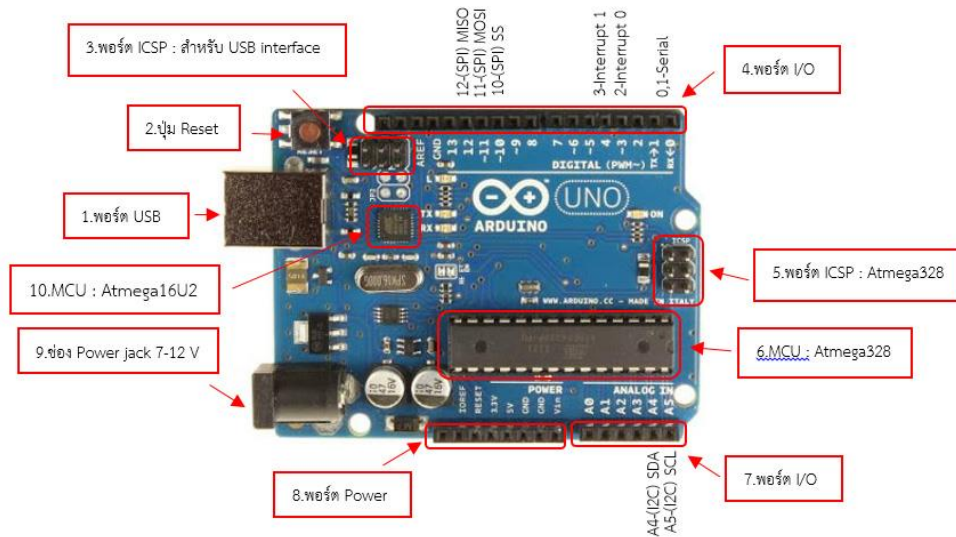


ภาพที่ 21 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

ที่มา: ทันพงษ์ (ม.ป.ป.)

โดย Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino รุ่นแรกๆ ที่ผลิตออกมามีขนาดประมาณ 68.6x53.4 mm เป็นบอร์ดมาตรฐานที่นิยมใช้งานมากที่สุด เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ ที่ออกแบบมา เฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิพไอซี เป็นแบบ SMD เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง และส่วนใหญ่โปรเจกต์ และ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็น

หลัก และข้อดีอีกอย่างคือกรณีที่ MCU เสียผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย Arduino Uno R3 มี MCU ที่เป็น Package DIP



ภาพที่ 22 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

ที่มา: ทันทพงษ์ (ม.ป.ป.)

1.1 รายละเอียดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

1. USB Port: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. อินพุตหรือเอาต์พุต Port: Digital อินพุตหรือเอาต์พุต ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital อินพุตหรือเอาต์พุตแล้วยังเปลี่ยนเป็นช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3V, +5V, GND, V_{in}
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

1.2 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

1.2.1 ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นมี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแรง

1.2.2 Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน

1.2.3 ราคาไม่แพง

1.2.4 Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

2. โมดูล ESP8266

โมดูล SP8266 คือ โมดูล WiFi ภายในมีเฟิร์มแวร์ทำงานในลักษณะ Serial-to-WiFi ที่ช่วยให้อุปกรณ์อื่นๆ เช่น MCU สามารถต่อเข้ากับ internet ได้โดยใช้ port serial (ขา Tx, ขา Rx) และใช้คำสั่ง AT ในการควบคุมการทำงาน

ปัจจุบันมีการพัฒนาเฟิร์มแวร์ที่มีชื่อว่า NodeMCU และจะช่วยให้ในนักพัฒนาสามารถเขียนโค้ดโดยใช้ภาษา Lua เพื่อควบคุมการทำงานของโมดูล ESP8266 ได้ เช่น สามารถใช้งาน GPIO, I2C, SPI, PWM, One-Wire, ADC, WiFi รวมถึงมีการพัฒนาไลบรารี (Libraries) เพิ่มมากขึ้นตามลำดับให้ใช้งานกับอุปกรณ์อื่นๆได้ เช่น DS18B20, DHT11, WS2812 RGB LED, OLED Display เป็นต้น

โมดูล ESP8266 (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ม.ป.ป.) ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.3 - 3.6 V การนำไปใช้งานร่วมกับเซ็นเซอร์อื่นๆ ที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 V ต้องใช้วงจรแบ่งแรงดันมาช่วยเพื่อไม่ให้โมดูลพังเสียหายกระแสที่โมดูลใช้งานสูงสุดคือ 200 mA ความถี่คริสตอล 40 MHz ทำให้เมื่อนำไปใช้งานอุปกรณ์ที่ทำงานรวดเร็วตามความถี่ เช่น LCD ทำให้การแสดงผลข้อมูลรวดเร็วกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ยอดนิยม Arduino มาก ขาของโมดูล ESP8266 แบ่งได้ดังนี้

2.1 ขาของโมดูล ESP8266 ประกอบด้วย

2.1.1 VCC เป็นขาสำหรับจ่ายไปเข้าเพื่อให้โมดูลทำงานได้ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานได้ คือ 3.3 -3.6 V

2.1.2 GND

2.1.3 Reset และ CH_PD (หรือ EN) เป็นขาที่ต้องต่อเข้าไฟบวก เพื่อให้โมดูลสามารถทำงานได้ 2 ขา สามารถนำมาใช้รีเซ็ตโมดูลได้เหมือนกันแต่ต่างตรงที่ขารีเซ็ตสามารถลอยไว้ได้แต่ขา CH_PD (หรือ EN) จำเป็นต้องเข้าไปเท่านั้นเมื่อขานี้ไม่ต่อเข้าไฟ และโมดูลจะไม่ทำงานทันที

2.1.4 GPIO เป็นขาติจิตอลอินพุต และเอาต์พุตทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.3 V

2.1.5 GPIO15 เป็นขาที่ต้องลง GND เท่านั้นเพื่อให้โมดูลทำงานได้

2.1.6 GPIO0 เป็นขาสำหรับการเลือกโหมดทำงานหากนำขานี้ลง GND จะเข้าโหมดโปรแกรมหากลอยไว้หรือนำเข้าไฟร่วมกับจะเข้าโหมดการทำงานปกติ

2.1.7 ADC เป็นขานาล็อกอินพุต รับแรงดันได้สูงสุดที่ 1 V ขนาด 10 Bit การนำไปใช้งานกับแรงดันที่สูงกว่าต้องใช้วงจรแบ่งแรงดันเข้าช่วย



ภาพที่ 23 NodeMcu ESP8266

ที่มา: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ม.ป.ป.

2.2 ข้อดีของ NodeMCU (Firmware)

2.2.1 ใช้ทรัพยากรของโมดูล ESP8266 ได้คุ้มค่ามากกว่าเดิม ผู้ใช้สามารถใช้งานในรูปแบบอื่นๆ นอกเหนือจากการใช้งานเพื่อเชื่อมต่อแบบ Serial-to-WiFi เท่านั้น

2.2.2 สามารถเขียนโค้ดโดยใช้ภาษา Lua (NodeMCU v0.9.5 รองรับ Lua 5.1.x แต่ไม่ครบทุกโมดูล) ซึ่งเป็นภาษาประเภท Scripting Language แม้ว่าจะไม่ได้รับความนิยมเทียบเท่าภาษาอย่างเช่น C หรือ C++ และ Python แต่ก็สามารถเรียนรู้ได้ไม่ยาก

2.2.3 การใช้งานภาษา Lua สำหรับชิพ ESP8266 ช่วยในการเรียนรู้และพัฒนาโค้ดได้เร็วกว่า การใช้ภาษา C หรือ C++

2.2.4 มีการพัฒนาซอฟต์แวร์รองรับการใช้งาน เช่น ESPLorer ทำหน้าที่เป็น Code Editor หรือ IDE (ใช้ได้กับ Windows, Mac OS, Linux) และสามารถอัปโหลดไปยังโมดูลได้เลย สามารถเขียนโค้ดและสร้างเป็นไฟล์ .lua แยกเก็บไว้ภายในหน่วยความจำของโมดูล ESP8266 ได้

2.2.5 ซอฟต์แวร์และเฟิร์มแวร์ เป็น Opensource และมี Sourcecode อยู่บน Github.com

2.2.6 มีฮาร์ดแวร์ หรือบอร์ดที่ใช้โมดูล ESP8266 ที่ใช้งานได้ง่าย เช่น NodeMCU DevKit สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์ได้ มีขาอินพุตหรือเอาต์พุตที่ใช้งานกับเบรตบอร์ดได้ ราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับบอร์ด Arduino ทั่วไป

2.2.7 โมดูล ESP8266 ภายในมี CPU ขนาด 32 Bit ฆาลอจิกทำงาน ที่แรงดันไฟฟ้า +3.3V ดังนั้น ถ้าเปรียบเทียบกับบอร์ด Arduino Due ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 Bit +3.3V การใช้บอร์ด NodeMCU DevKit มีต้นทุนที่ต่ำกว่ามาก

2.2.8 มีอุปกรณ์หลายๆ ประเภทที่ใช้งานที่แรงดัน +3.3V เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นโมดูล ESP8266 จึงสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เหล่านี้ได้โดยตรง

2.2.9 แม้ว่าจะมีขาอินพุตหรือเอาต์พุตให้ใช้งานไม่มาก (น้อยกว่า Arduino) แต่โมดูล ESP8266 ก็เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ โดยใช้ GPIO, SPI, I2C, ADC ได้

ระบบแสดงผลข้อมูลผ่าน Cloud Server

Cloud Storage (Ninetechno, ม.ป.ป.) คือ บริการพื้นที่สำหรับเก็บไฟล์ ส่วนใหญ่จะให้พื้นที่สำหรับฝากไฟล์จำนวนหนึ่ง เช่น 2 GB 5 GB หรือ 15 GB เป็น บริการ Cloud Storage จะเน้นในเรื่องของพื้นที่เป็นพิเศษ เพราะจุดมุ่งหมายของบริการนี้คือบริการพื้นที่สำหรับเก็บไฟล์จำนวนมาก โดยจะมีโปรแกรมสำหรับบริหารจัดการ หรือใช้ร่วมกับการบริหารพื้นที่เหล่านั้นในลักษณะของ Website Application บนแท็บเล็ตและสมาร์ตโฟน

1. ประโยชน์ของ Cloud Server

1.1 ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้าน Hardware เช่น เครื่อง Server และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพราะผู้ให้บริการเตรียมพร้อมให้อยู่แล้ว ที่สำคัญคือไม่ต้องเสียเวลาดูแลอุปกรณ์เหล่านั้น เนื่องจากผู้ให้บริการจะคอยดูแลแทน

1.2 สามารถทำงานที่หนักก็ได้ที่มีอินเทอร์เน็ต โดยเฉพาะปัจจุบันนี้อินเทอร์เน็ตมีอยู่ทุกหนทุกแห่ง และมีความเร็วเพียงพอที่จะสามารถใช้งาน Cloud Server ได้อย่างสบาย

1.3 ทำงานได้บนอุปกรณ์ที่มีความแตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นตัวเครื่อง หรือระบบปฏิบัติการ

2. การเรียกใช้บริการ Cloud Server

Cloud Server เป็นการทํางานร่วมกันของเซิร์ฟเวอร์จำนวนมาก โดยแบ่งชั้นการประมวลผลออกจากชั้นเก็บข้อมูล เป็นการร่วมกันทํางานของเซิร์ฟเวอร์ หลายเครื่อง ผลดี คือแม้จะมีเซิร์ฟเวอร์ใดเกิดเสียหายขึ้นก็จะมีผลกับการใช้งานของผู้ใช้บริการ เพราะระบบจะสวิตซ์การประมวลผลไปยังเซิร์ฟเวอร์ตัวอื่นแทนโดยอัตโนมัติในทันที การเรียกใช้บริการ Cloud Server ในที่นี้สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1 การขอรับบริการผู้ให้บริการ Anto.io การขอรับบริการผู้ให้บริการ Anto.io เป็นการทํางานแบบเรียลไทม์ หรือการทํางานแบบทันทีทันใด และทํางานตลอดเวลา สามารถทํางานผ่านหน้าต่างเว็บไซต์ หน้าต่างควบคุม Anto.io เปรียบเสมือนเครื่องมือที่ทําน้ำที่อ่านค่าตัวแปรจากเครื่องมือวัด เช่น ค่ากำลังไฟฟ้า ความเข้มข้นแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น หรือส่งค่าไปยัง

ปลายทางเพื่อควบคุมอุปกรณ์ การขอรับบริการผู้ให้บริการ Anto.io นั้นสามารถสมัครเพื่อขอใช้บริการฟรี โดยเข้าที่เว็บ www.anto.io

2.2 การใช้บริการล็อกเกอร์จาก Thingspeak เนื่องจากผู้ให้บริการ Anto.io ไม่มีการรองรับบันทึกข้อมูลหรือล็อกเกอร์ จึงเลือกใช้บริการ Thingspeak เพื่อบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ข้อดีของ Thingspeak คือสามารถบันทึกข้อมูลได้จำนวนมาก และข้อเสีย คือ ไม่สามารถทำงานแบบเรียมตาม และไม่เหมาะสมกับการใช้ในการควบคุมข้อมูล นอกจากนี้แล้วการขอรับใช้บริการ Thingspeak ยังสมัครใช้บริการฟรี โดยเข้าไปที่เว็บ https://thingspeak.com/users/sign_up

เศรษฐศาสตร์การลงทุน

การวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการ (จุฬารัตน์, 2559) การวิเคราะห์โครงการเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ก่อนการตัดสินใจในการลงทุน โดยการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) เป็นการช่วยให้การพิจารณา ตัดสินใจจะรับหรือปฏิเสธโครงการเพื่อการลงทุนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีการบ่งชี้ถึงความสมเหตุ สมผลและความคุ้มค่าในการลงทุนนั้นๆ

1. ระยะเวลาการคืนทุน

ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period: PB) คือ ระยะเวลาการดำเนินงานที่มีผลทำให้ผลตอบแทนสุทธิจากโครงการสามารถชดเชยเงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ วิธีการหาระยะเวลา คืนทุนหรือหาจำนวนปีที่จะทำให้ได้รับผลตอบแทนคุ้มกับเงินที่ลงทุนนี้สามารถคำนวณได้ดังนี้

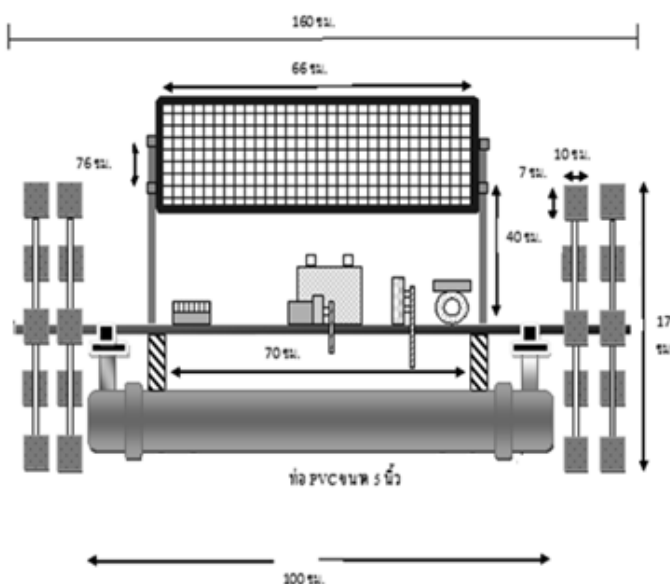
$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (PB)} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมด}}{\text{ผลประโยชน์ที่ได้}}$$

สมการที่ 3

การตรวจเอกสาร

1. ระบบเครื่องเติมอากาศ

ปรีชา และคณะ (2557) ได้ออกแบบสร้างเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำแบบกึ่ง軒ขนาดเล็ก สำหรับเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำไปใช้กับบ่อเลี้ยงปลาที่เป็นบ่อดินขนาด 20 m^2 แสดงดัง ภาพที่ 24 พบว่า จุดเด่นของเครื่องเติมอากาศ คือ ใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์และ ไฟฟ้าที่เปลี่ยนจากพลังงานกลที่หมุนใบก軒軒 ใช้เวลาในการทดสอบเป็นเวลา 8 ชั่วโมง และวัด ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเฉลี่ยต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้น 1.537 mg/L กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ แสงอาทิตย์เฉลี่ย 51 W กำลังไฟฟ้าที่ได้จากชุดแปรผันกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 4.9 W

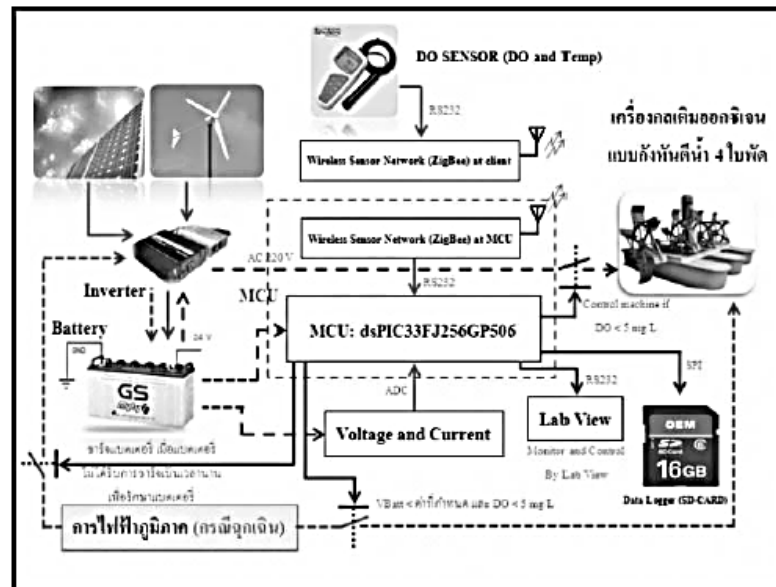


ภาพที่ 24 โครงสร้างเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: ปรีชา และคณะ (2557)

กิริติษ (2557) ได้ออกแบบระบบควบคุมการเติมออกซิเจนแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยใช้พลังงานทดแทนร่วม (พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลม) ดังแสดงภาพที่ 25 โดย ระบบถูกแบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ บอร์ดควบคุมการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายใน น้ำ และบอร์ดประมวลผลหลัก โดยทั้งสองส่วนจะเชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย บอร์ด ควบคุมการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะทำหน้าที่วัดข้อมูลปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แล้วส่งข้อมูลที่วัดได้ให้กับบอร์ดประมวลผลหลักผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ทุกๆ 10 นาที โดย บอร์ดประมวลผลหลักจะแบ่งหน้าที่การทำงานออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งทำหน้าที่อ่านค่า กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทนร่วม และค่าแรงดันแบตเตอรี่ จากเซนเซอร์วัดกำลังไฟฟ้า

ส่วนที่สองทำหน้าที่รับข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และอุณหภูมิของน้ำจากบอร์ดควบคุมการวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ส่วนที่สามทำหน้าที่เก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ ของระบบ และส่วนสุดท้ายทำหน้าที่เชื่อมต่อกับเครื่องกลเติมอากาศสำหรับการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ



ภาพที่ 25 ระบบควบคุมการเติมออกซิเจนแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยใช้พลังงานทดแทนร่วม

ที่มา: กิริดิช (2557)

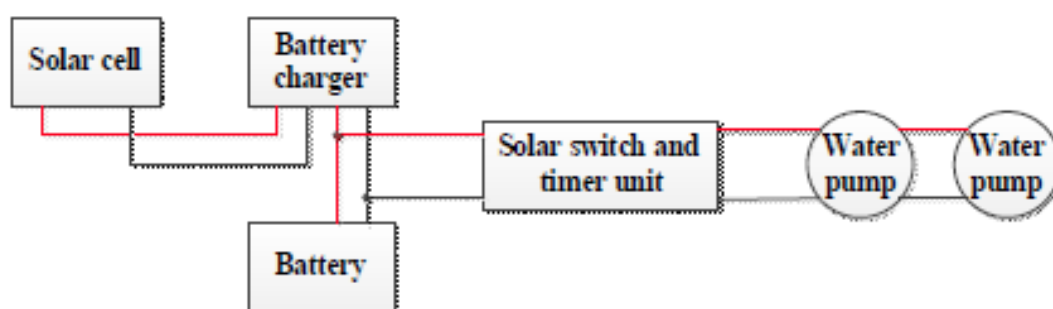
เฉลิมเกียรติ และคณะ (2558) ได้พัฒนาเครื่องเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเพาะพันธุ์ปลา แสดงดังภาพที่ 26 โดยได้สร้างและออกแบบเครื่องเติมอากาศในน้ำให้มีประสิทธิภาพในการเติมปริมาณอากาศได้มากยิ่งขึ้นและสามารถใช้งานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้ทำการพัฒนาและออกแบบใบพัดให้มีลักษณะเป็นทรงครึ่งวงกลม 4 แฉก เพื่อให้เกิดการกระจายตัวบนผิวน้ำ การทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องเติมอากาศในน้ำโดยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเพาะพันธุ์ปลาดำเนินการทดสอบ 2 ลักษณะ คือ การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศในน้ำโดยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเพาะพันธุ์ปลา และทดสอบหาปริมาณอากาศที่เพิ่มขึ้นด้วยของเครื่องเติมอากาศในน้ำโดยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเพาะพันธุ์ปลา พบว่า เมื่อเกิดโหลดขึ้นขณะเครื่องกำลังทำงานอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์สามารถตัดไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ได้ตามคุณสมบัติที่ตั้งไว้ โดยที่อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์จะสั่งการตัดไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์เฉลี่ยที่ 25.32 A และการทำงานของเครื่องเติมอากาศในน้ำโดยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเพาะพันธุ์ปลาสามารถเพิ่มปริมาณอากาศละลายในน้ำ (DO) ได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 8.29-9.2 mg/L/day



ภาพที่ 26 โครงสร้างของตัวเครื่องรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: เฉลิมเกียรติ และคณะ (2558)

Chonmapat et al. (2016) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเติมอากาศ โดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องเติมอากาศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง ได้ออกแบบชุดกำเนิดไฟฟ้าและแบตเตอรี่ ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 V 80 W เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ 12 V 40 Ah และแบตเตอรี่ 12 V 40 Ah เพื่อเก็บไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนที่สอง ชุดควบคุมเครื่องเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งใช้สวิทช์ที่ทำงานด้วยแสงและชุดจับเวลา เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องเติมอากาศ และส่วนที่สาม ใช้ชุดปั๊มน้ำขนาด 12 V 25 W สำหรับการสูบน้ำไปขับเคลื่อนใบพัดในการปั่นน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำ แสดงดังไดอะแกรมภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ไดอะแกรมระบบเครื่องเติมอากาศจากพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: Chonmapat et al. (2016)

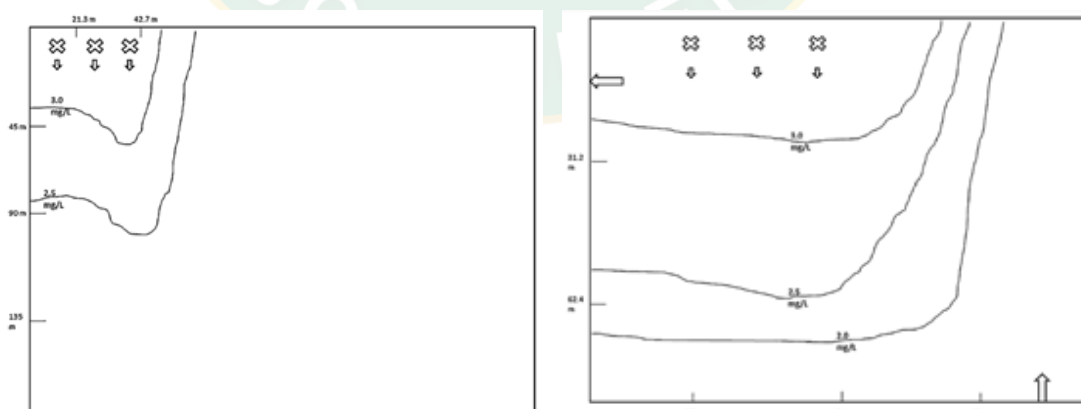
2. ออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

Dominic (2014) ได้ออกแบบพัฒนาระบบเซ็นเซอร์วัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำขนาดเล็ก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 m และมีความลึกประมาณ 7 m ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ระบบเซ็นเซอร์วัดค่าออกซิเจนและส่งข้อมูลทางไกล โดยส่งค่าการกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิ ซึ่งจะส่งค่า

ข้อมูลที่ได้ทุกๆ 30 นาที ค่าที่ได้จากการวัดจะถูกส่งผ่านทาง SMS ไปยังเซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลบนเว็บ (Cloud server) ซึ่งเกษตรกรสามารถเข้าถึงหรือตรวจสอบปริมาณออกซิเจนได้ นอกจากนี้ระบบยังมีระบบเครื่องเติมอากาศที่ทำงานแบบอัตโนมัติในเวลาช่วงเย็น และยังสามารถเปิดนอกช่วงเวลานี้ที่กำหนดไว้ได้

ประพนธ์ (2549) ระบบเตือนภัยการขาดออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งการทำงานของเครื่องมือนี้จะทำงานเป็นระบบอัตโนมัติวัดค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำทุก 30 นาที สามารถตั้งค่าเตือนการขาดออกซิเจนได้ตั้งแต่ 1-9 mg/L และยังสามารถแสดงค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำที่วัดมาได้ผ่านจอ LCD ในการเตือนการขาดออกซิเจนนั้นเครื่องมือจะทำการเตือนเมื่อปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าปริมาณออกซิเจนที่ตั้งไว้ ที่สำคัญเครื่องมือทั้งระบบนี้ใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ขนาด 12 V 65 Ah ซึ่งรับพลังงานไฟฟ้ามาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 80 W ทำให้สามารถทำงานได้ทุกสถานที่ และยังเป็นการประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในงานด้านต่างๆ อีกด้วย

John et al. (2016) ได้ศึกษาโซนออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาแบบธรรมดาและแบบแยกดินในรัฐอาร์คันซอ ซึ่งบริเวณจุดออกซิเจน (โซนออกซิเจนที่กำหนดไว้ในบริเวณที่มีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำถึง 2.5 mg/L หรือมากกว่า) ในบ่อดินธรรมดา (CP) และแบบแยก (SP) ได้กำหนดและเปรียบเทียบในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคม 2556 ข้อมูลจาก Hach Hydrolab โดยเก็บข้อมูลในบ่อและวัดความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำ ช่วงเวลา 9.00-21.00 น. พบว่า มีความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำทั้งสองบ่อเฉลี่ยเท่ากับ 5.28 และ 4.56 mg/L บริเวณจุดออกซิเจนบ่อดินธรรมดา (CP) และแบบแยก (SP) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทั้งสองระบบแสดงดังภาพที่ 28



(ก) ออกซิเจนสำหรับบ่อน้ำแบบที่ 1 (CP) (ข) ออกซิเจนสำหรับบ่อน้ำแบบที่ 2 (SP)

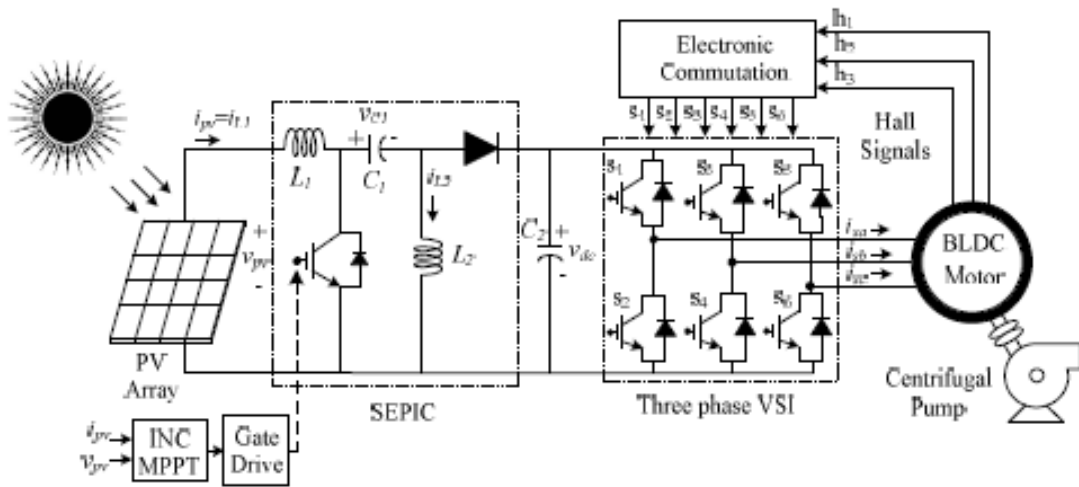
ภาพที่ 28 ออกซิเจนสำหรับบ่อน้ำแบบที่ 1 (CP) (ก) และแบบที่ 2 (SP) (ข)

ที่มา: John et al. (2016)

ศุภวรรณ (2548) ศึกษาการเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาด้วยอีเจคเตอร์และปั้มน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์ การทดลองเติมออกซิเจนด้วยอีเจคเตอร์จะทำให้ถึงเก็บน้ำแทนบ่อเลี้ยงปลาจริง อีเจคเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลองมีทั้งหมด 4 ชุด จะถูกเติมลงไปใต้น้ำในถังเก็บน้ำที่มีความจุขนาด 702 L เพื่อลดออกซิเจนละลายน้ำให้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ก่อนเริ่มทำการทดลอง ในการทดลองจะปั้มน้ำไหลผ่านอีเจคเตอร์ด้วยอัตราการไหลเชิงปริมาตร 3 อัตรา (15 20 และ 25 L/s) จากการทดลองพบว่า อัตราการเติมออกซิเจนจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหล และจากการเปรียบเทียบผลการทดลองอีเจคเตอร์ชุดต่างๆ พบว่าอีเจคเตอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปากทางออกของน็อตเซิล 6 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อผสม 12.5 mm ความยาว 62.5 mm ท่อเพิ่มความดันทำมุม 5 กับแนวนอน ยาว 100 mm ให้อัตราการเพิ่มออกซิเจนได้สูงสุด โดยอัตราการไหล 20 L/s เป็นอัตราการไหลที่เหมาะสม และเมื่อวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (ใช้มูลค่าปัจจุบัน) ของระบบเติมอากาศร่วมกับชุดเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ระบบ คือระบบต่อตรงไม่มีแบตเตอรี่ ระบบมีแบตเตอรี่ทำงาน 16 ชั่วโมง และระบบมีแบตเตอรี่ทำงาน 24 ชั่วโมง ผลจากการศึกษาดังกล่าว พบว่า ระบบที่มีแบตเตอรี่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ใช้ต้นทุนการเติมออกซิเจนของระบบต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 0.00023 Baht/mg

3. ระบบสูบน้ำ

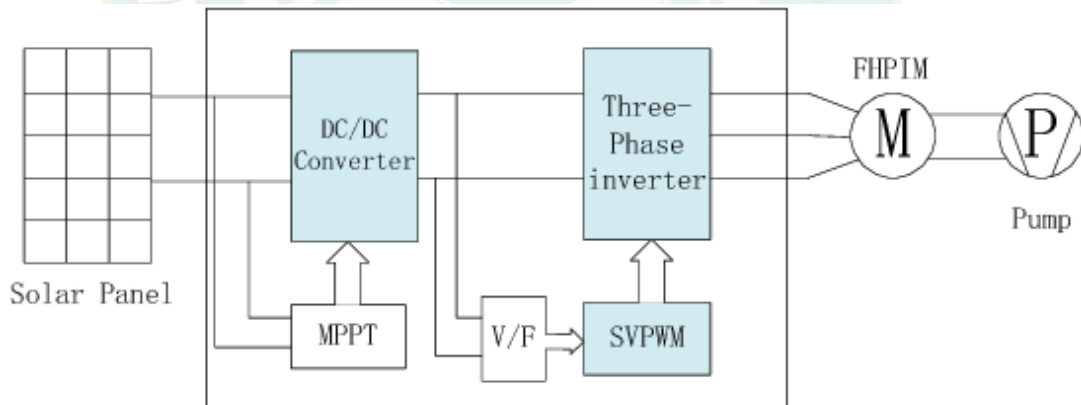
Rajan (2016) ได้ประยุกต์ใช้วงจรแปลงผันแบบซีพิก (SEPIC) ในระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC motor: BLDC) โดยการใช้โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ (INC-MPPT) ในการควบคุม IGBT (Insulated gate bipolar transistor) การควบคุมการทำงานให้กับมอเตอร์กระแสตรง 3 เฟส ซึ่งจะมีเซ็นเซอร์ระบุตำแหน่งของแกนมอเตอร์ (Rotor) เพื่อให้การทำงานของ IGBT ทำการสลับไฟอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการใช้ปั้มน้ำขนาด 2.89 kW ใช้เป็นแหล่ง ผลิตพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 280 W แรงดันไฟฟ้า 39.5 Voc, 31.2 mV และกระแสไฟฟ้าขนาด 9.71 Ash, 9.07 mA ดังแสดงในไดอะแกรมภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ไดอะแกรมการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: Rajan (2016)

Farrelly et al. (2016) ได้ใช้ทฤษฎีการควบคุมอนุกรมอิเล็กทรอนิกส์ในการจ่ายสัญญาณแบบ PWM (Pulse Width Modulation) ไปที่มอสเฟสทำให้เกิดสัญญาณตัดต่อกำลังไฟฟ้าที่มอสเฟส (Mofset) เพื่อควบคุมความเร็วการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส กระแสสลับ 220 VAC โดยการทำงานของวงจรควบคุมใช้วงจร DC-DC Converter และ DC-AC Converter ในการขับมอเตอร์ที่ต่อพ่วงกำลังกับปั้มนสูบน้ำสามารถแสดงดังไดอะแกรมภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ไดอะแกรมโครงสร้างระบบขับมอเตอร์ปั้มนสูบน้ำ

ที่มา: Chuanlin et al. (2011)

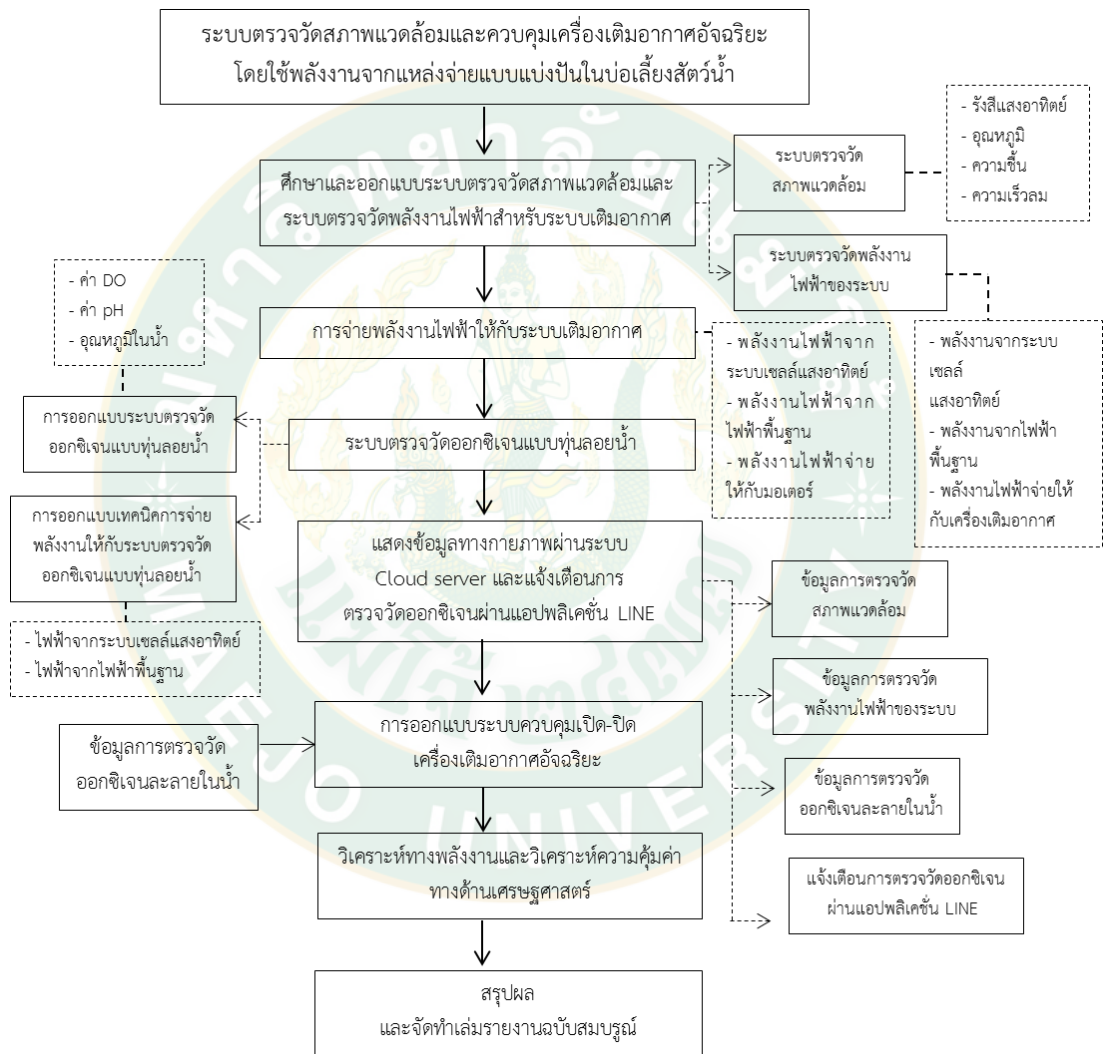
สมมติฐานการวิจัย

จากทฤษฎีเบื้องต้นที่ได้ทำการศึกษาในแต่ละส่วนประกอบของงานวิจัยเรื่องระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ สามารถสรุปและนำไปเป็นสมมติฐานในงานวิจัยได้ดังนี้

1. ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ เซนเซอร์ความเร็วลม เซนเซอร์ความชื้นและเซนเซอร์อุณหภูมิแวดล้อม
2. ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของระบบ ประกอบด้วย พลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเครื่องเติมอากาศ
3. การเก็บข้อมูลและการบันทึกข้อมูลค่าทางกายภาพผ่านระบบ Cloud server เป็นการแสดงผลผ่านบริการของ Anto.io ซึ่งแสดงผลเป็นแบบ Real time และเก็บข้อมูลแบบระยะยาวใน Cloud server ชื่อ Thingspeak ซึ่งเป็นผู้ให้บริการแบบ Free cloud server ประกอบด้วย ข้อมูลการตรวจวัดออกซิเจนในน้ำแบบทุ่นลอยน้ำ และข้อมูลควบคุมสำหรับเติมอากาศ
4. ระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนในน้ำ และการออกแบบเทคนิคจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ
5. การพัฒนาระบบควบคุมการเปิด-ปิด เครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติ อาศัยข้อมูลการตรวจวัดออกซิเจนมาเป็นปัจจัยในการตัดสินใจเปิดหรือปิด เครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ
6. วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานและวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศ โดยใช้พลังงานแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

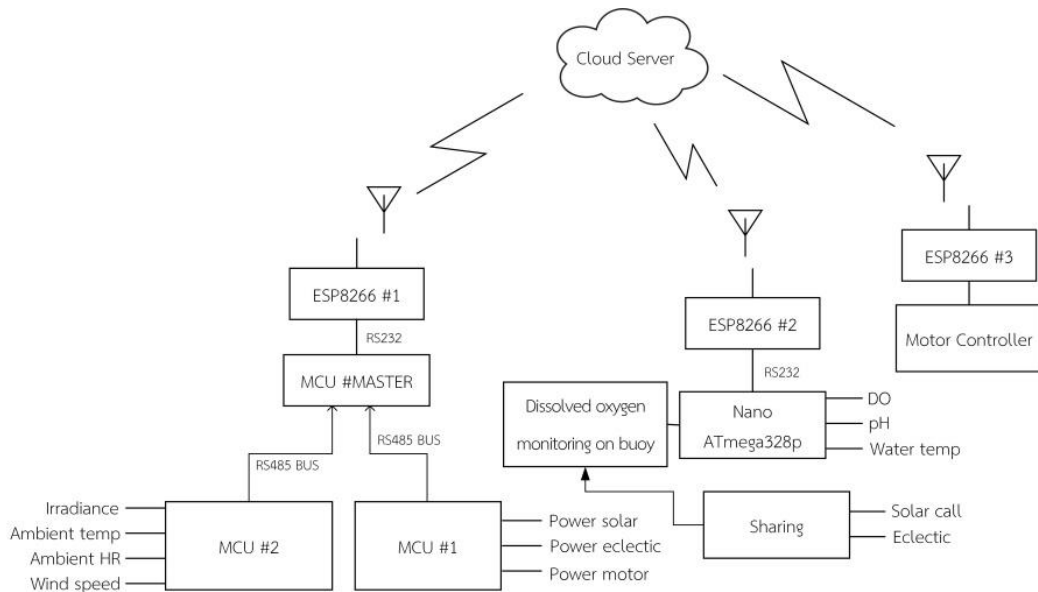
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ มีวิธีดำเนินงานวิจัยแสดงในภาพที่ 31 รายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 31 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานในส่วนต่างๆ ของการวิจัยแสดงดังไดอะแกรมภาพรวมในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ไดอะแกรมภาพรวมของระบบ

จากภาพที่ 32 แสดงภาพรวมของระบบ รายละเอียดการดำเนินงาน ประกอบด้วย การดำเนินงาน ทั้งหมด 5 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม และระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า สำหรับระบบเติมอากาศ ประกอบด้วย ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม เช่น ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อม ความเร็วลม และระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ เช่น พลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกังหันสำหรับเติมอากาศ

ส่วนที่ 2 การจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ ประกอบด้วย แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน และพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกังหันสำหรับเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลา

ส่วนที่ 3 ระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบฟุ้งลอยน้ำ ประกอบด้วย การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบฟุ้งลอยน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ pH อุณหภูมิในน้ำ และการออกแบบเทคนิคการจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบฟุ้งลอยน้ำ เช่น พลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ส่วนที่ 4 การแสดงข้อมูลทางกายภาพผ่านระบบ Cloud server เป็นการแสดงข้อมูลผ่านบริการของ Antio.io ซึ่งแสดงผลเป็นแบบ Real time และเก็บข้อมูลแบบระยะยาวใน Cloud server ชื่อ Thingspeak ซึ่งเป็นผู้ให้บริการแบบ Free cloud server ประกอบด้วย ข้อมูลระบบตรวจวัด

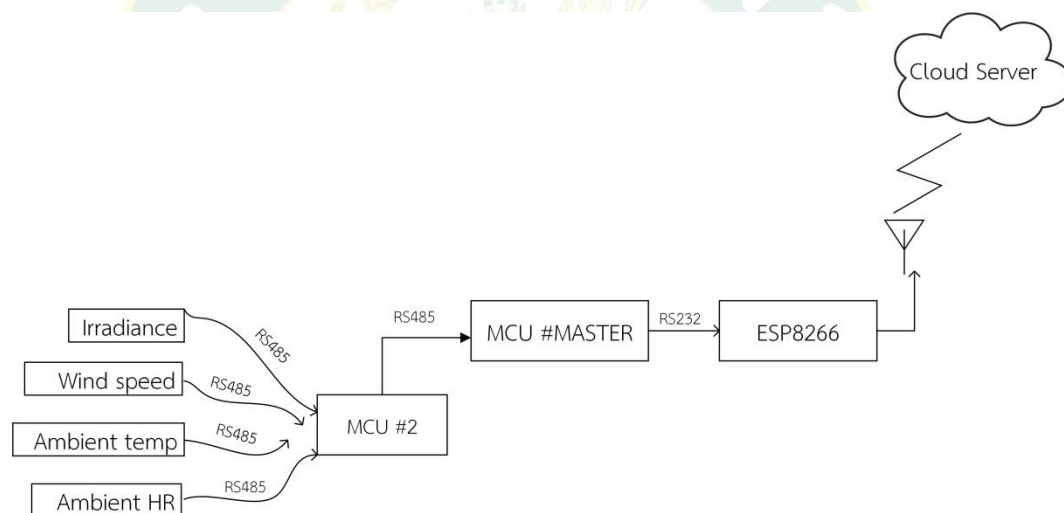
สภาพแวดล้อม ข้อมูลตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าระบบเติมอากาศ และข้อมูลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ รวมถึงแจ้งเตือนการตรวจวัดออกซิเจนผ่านแอปพลิเคชัน LINE

ส่วนที่ 5 การออกแบบระบบควบคุมการเปิด-ปิด เครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ อาศัยค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจากระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำมาเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจเปิดหรือปิดระบบเครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

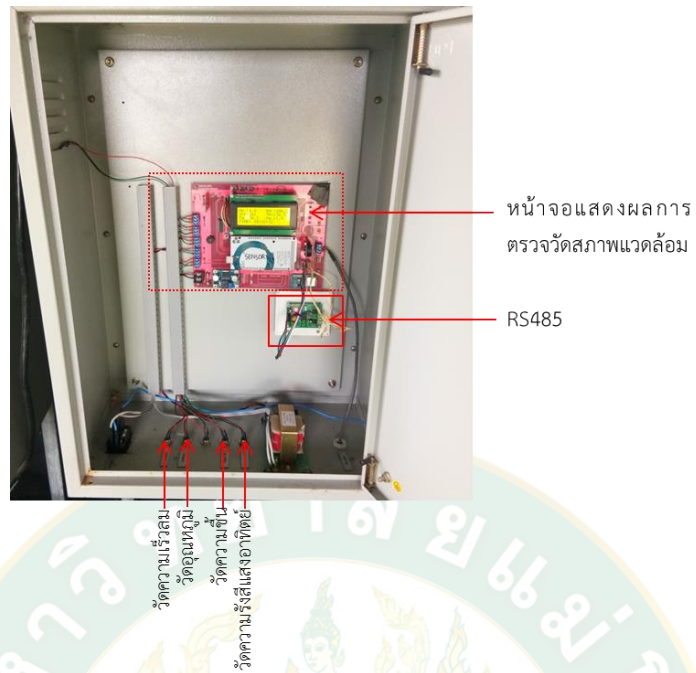
ศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม และระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ

1. ศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม

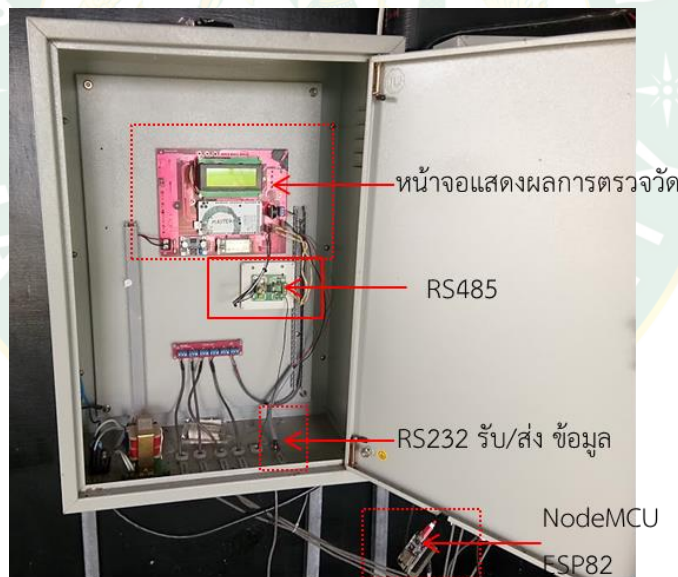
งานวิจัยส่วนนี้ได้ออกแบบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมแสดงในภาพที่ 33 ไดอะแกรมการทำงานระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม สามารถอธิบายได้ดังนี้



(ก) ไดอะแกรมการทำงานระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม



(ข) ตู้ควบคุม MCU#2 ใช้ตรวจวัดสภาพแวดล้อม



(ค) ตู้ควบคุม MCU#MASTER ใช้รวบรวมค่าตรวจวัด บันทึก และส่งข้อมูลไปยังระบบ Cloud

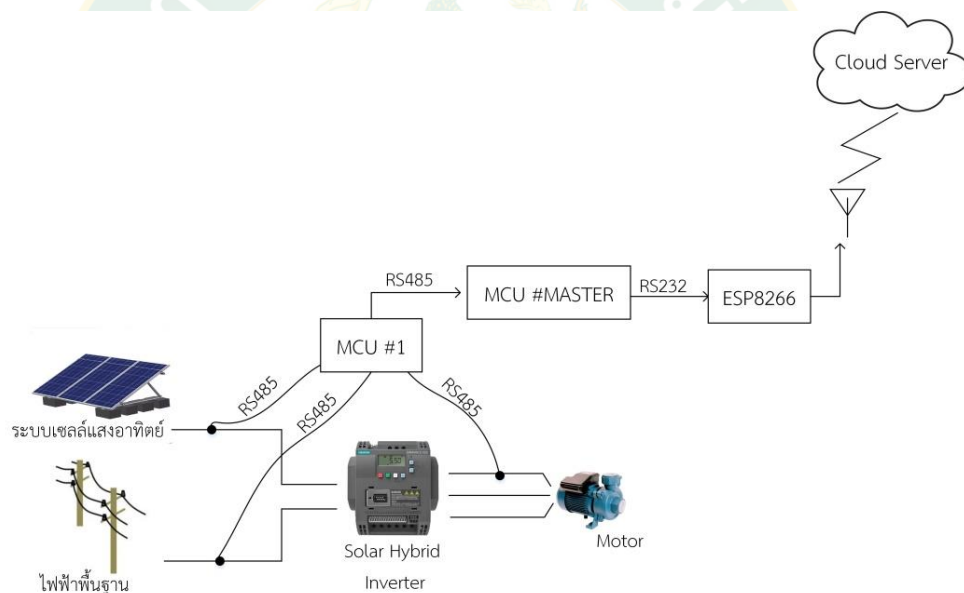
ภาพที่ 33 ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม ณ บ่อเลี้ยงปลา

จากภาพที่ 33 (ก) ไดอะแกรมการทำงานระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ Pyranometer ยี่ห้อ hukseflux รุ่น SR-05 เซนเซอร์วัดความเร็วลมแบบถ้วย เซนเซอร์อุณหภูมิและเซนเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อม DHT22 โดยถูกบันทึกค่าการ

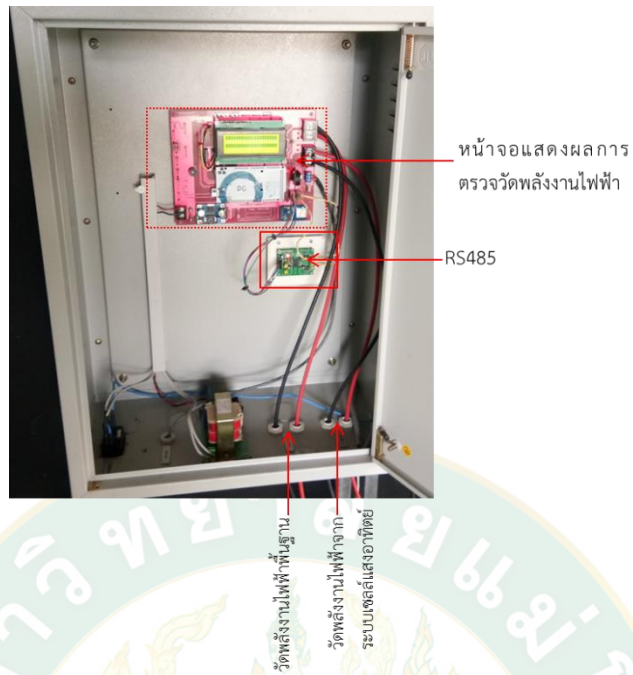
ตรวจวัดด้วยระบบตรวจวัดที่ติดตั้งไว้ในตู้ควบคุม MCU#2 แสดงในภาพที่ 33 (ข) และข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดดังกล่าวจะถูกรวมไว้ที่ตู้ควบคุม MCU#MASTER ดังแสดงในภาพที่ 33 (ค) ซึ่งเป็นตู้ที่ใช้รวบรวมค่าตรวจวัดต่างๆ การสื่อสารของเซนเซอร์และการบันทึกข้อมูลจะสื่อสารผ่านระบบสื่อสารแบบอนุกรม “RS485” ขณะที่การส่งผลข้อมูลการตรวจวัด จะอาศัยชิพประมวลผล ESP8266 ติดต่อกับระบบควบคุมที่ติดตั้งในตู้ควบคุม MCU#MASTER ผ่านช่องทางสื่อสารอนุกรมแบบ RS232 ดังแสดงในภาพที่ 33 (ค) สำหรับส่งข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ไปยังระบบ Cloud

2. ศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ

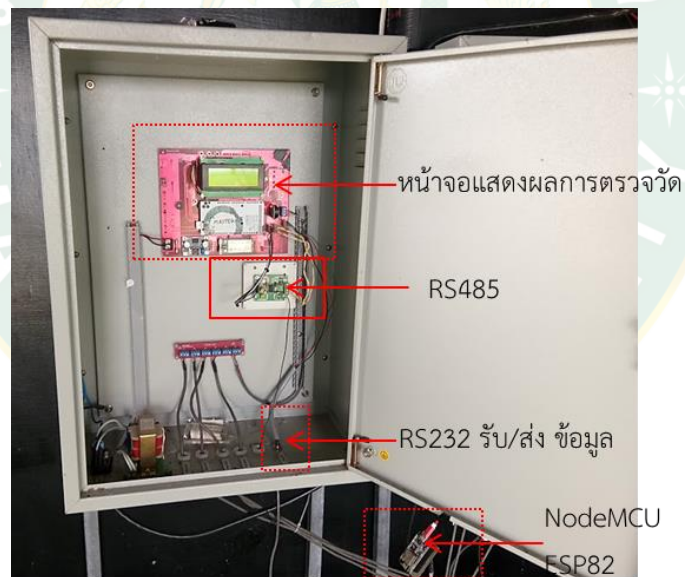
งานวิจัยส่วนนี้ได้ออกแบบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลา โดยใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับระบบเติมอากาศ ซึ่งอธิบายดังไดอะแกรมการทำงานภาพที่ 34



(ก) ไดอะแกรมการทำงานระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า



(ข) ตัวควบคุม MCU#1 ใช้ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า



(ค) ตัวควบคุม MCU#MASTER ใช้รวบรวมค่าตรวจวัด บันทึก และส่งข้อมูลไปยังระบบ Cloud

ภาพที่ 34 ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าให้กับกังหันสำหรับเติมอากาศ

จากภาพที่ 34 (ก) ไดอะแกรมการทำงานระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน Solar hybrid inverter ยี่ห้อ Siemens รุ่น SINAMICS V20 Solar hybrid inverter สามารถทำงานได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถทำงานร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน 220 VAC ได้อัตโนมัติ เมื่อพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง หรือมีน้อย ก็จะสามารถสวิตช์อัตโนมัติไปเลือกแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน และมอเตอร์ กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขนาด 3 Hp หรือ 2.2 kW สำหรับเติมอากาศ

หลักการการทำงานระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงาน แสงอาทิตย์ก็แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แล้วส่งต่อมายัง Hybrid Inverter ซึ่ง Hybrid inverter ก็แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับไฟฟ้าพื้นฐาน และอีกขั้วหนึ่งต่อไฟฟ้าไป ใช้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ ในเวลากลางวันเมื่อผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบก็จะ นำไฟฟ้าที่ผลิตได้มาจ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ แต่หากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอ Hybrid inverter ทำหน้าที่ดึงไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานมาจ่ายให้กับมอเตอร์ได้อัตโนมัติ และในเวลา กลางคืนที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ Hybrid inverter จะทำหน้าที่ดึงไฟฟ้าจาก ไฟฟ้าพื้นฐานมาจ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ การตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์ แสงอาทิตย์ ค่าพลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน และพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ โดย ถูกบันทึกค่าการตรวจวัดด้วยระบบตรวจวัดที่ติดตั้งไว้ในตู้ควบคุม MCU#2 แสดงในภาพที่ 34 (ข) และข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดดังกล่าวจะถูกรวมไว้ที่ตู้ควบคุม MCU#MASTER แสดงในภาพที่ 34 (ค) ซึ่งเป็นตู้ที่ใช้รวบรวมค่าตรวจวัดต่างๆ การสื่อสารของเซนเซอร์และการบันทึกข้อมูลจะสื่อสารผ่าน ระบบสื่อสารแบบอนุกรม “RS485” ขณะที่การส่งผลข้อมูลการตรวจวัด จะอาศัยชิพประมวลผล ESP8266 ติดต่อกับระบบควบคุมที่ติดตั้งในตู้ควบคุม MCU#MASTER ผ่านช่องทางสื่อสารอนุกรม แบบ RS232 ดังแสดงในภาพที่ 34 (ค) สำหรับส่งข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานไปยังระบบ Cloud

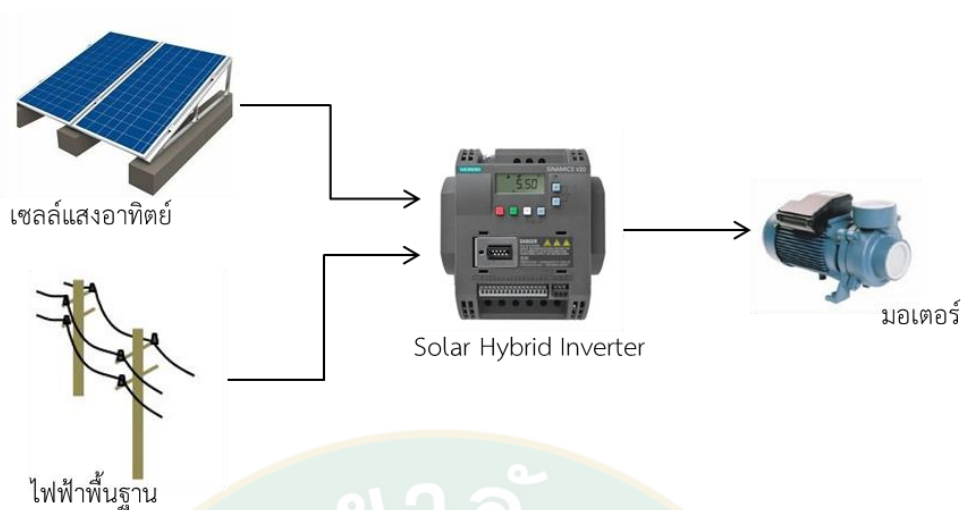
การจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ

การจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ใช้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ ระบบเติมอากาศจะทำงานตามเงื่อนไขเจ้าของบ่อกำหนด เช่น เวลา เปิดใช้งานระบบ และเวลาปิดพักระบบ สมมุติฐาน คือ กำลังของมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ ขนาด 3 Hp หรือ 2.2 kW และแรงดันไฟฟ้าในการเริ่มทำงาน Inverter ของบริษัท Siemens รุ่น Sinamics V20 มีแรงดันไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 280 V ในงานวิจัยนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 315 W จำนวน 9 แผง ต่อแบบอนุกรม ซึ่งมีกำลังไฟฟารวม 2,835 W

หลักการทำงานของระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ก็แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แล้วส่งต่อมายัง Hybrid Inverter ซึ่ง Hybrid inverter ก็แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับไฟฟ้าพื้นฐาน และอีกขั้วหนึ่งต่อไฟฟ้าไปใช้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ ในเวลากลางวันเมื่อผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบก็จะนำไฟฟ้าที่ผลิตได้มาจ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ แต่หากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอ Hybrid inverter ทำหน้าที่ดึงไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานมาจ่ายให้กับมอเตอร์ได้อัตโนมัติ และในเวลากลางคืนที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ Hybrid inverter จะทำหน้าที่ดึงไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานมาจ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศดังแสดงในภาพที่ 35

คุณสมบัติของ Solar hybrid inverter สามารถปรับความถี่หรือความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ และการทำงาน ประกอบด้วย 3 โหมด ดังนี้

1. โหมดไฟฟ้าพื้นฐานอย่างเดียว โหมดนี้จะใช้ไฟฟ้าพื้นฐานเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักในการจ่ายไฟฟ้าไปยังมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ
2. โหมด Hybrid inverter โหมดนี้จะใช้แหล่งจ่ายพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน Hybrid inverter จะทำหน้าที่เลือกแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งสองแหล่งมาจ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ เมื่อผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้น้อยกว่า 280 V Hybrid inverter ทำหน้าที่ดึงไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานมาจ่ายให้กับมอเตอร์ได้อัตโนมัติ ถ้าผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงกว่า 280 V Hybrid inverter ทำหน้าที่ Sharing พลังงานไฟฟ้าตามความเหมาะสมที่ต้องการจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ
3. โหมดไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเดียว โหมดนี้จะใช้แหล่งจ่ายพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งไฟฟ้าหลักในการจ่ายไฟฟ้าไปยังมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ เมื่อแหล่งจ่ายพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอ หรือวันที่ท้องฟ้าเปิด Inverter ทำหน้าที่ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ในการหมุนกังหันสำหรับเติมอากาศได้อัตโนมัติตามที่ผู้ใช้งานกำหนด หากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอ หรือวันที่มีฝนตก Inverter จะถูกปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ในการหมุนกังหันได้ช้าลงสำหรับเติมอากาศ



ภาพที่ 35 ระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ

ระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ

ระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ และการออกแบบเทคนิคการจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ

การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำแบบทุ่นลอยน้ำ ประกอบด้วย การออกแบบและสร้างทุ่นตรวจวัดออกซิเจน การออกแบบระบบควบคุมการทำงานระบบตรวจวัดออกซิเจน การพัฒนาโปรแกรมการทำงานระบบ วงจรขยายสัญญาณ และการสอบเทียบอุปกรณ์เครื่องมือวัด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 การออกแบบและสร้างทุ่นตรวจวัดออกซิเจน

การออกแบบและสร้างทุ่นตรวจวัดออกซิเจน มีอุปกรณ์และวิธีการวิจัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell) ได้มีการออกแบบแหล่งจ่ายพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนในน้ำดังแสดงในภาพที่ 36 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกัน 4 แผง ขนาด 10 W ต่อแบบขนาน จะทำให้ได้ค่ากระแสของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามจำนวนของแผงที่ต่อร่วมกัน การประเมินภาระแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอ้างอิงจากสเปคปั๊มสูบน้ำที่กำลังไฟฟ้า 36 W แรงดันไฟฟ้า 12 V และกระแสไฟฟ้า 3 A ในข้อ 1.1.4 งานวิจัยนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ (V_m) เท่ากับ 17.5 V

ค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (I_m) เท่ากับ 0.57 A ค่ากระแสไฟฟ้าวงจร (I_{sc}) เท่ากับ 0.62 A และค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ไม่ได้จ่ายโหลด (V_{oc}) เท่ากับ 21.6 V



ภาพที่ 36 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

1.1.2 Solar Charge Controller สำหรับควบคุมการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ สามารถแสดงการคำนวณขนาด Solar Charge Controller ในภาคผนวก ก. โดยจากผลการคำนวณได้ขนาด Solar Charge Controller เท่ากับ 3.33 A แต่เนื่องจาก Solar Charge Controller ไม่มีขนาดนี้จึงได้เลือกใช้ขนาด 5 A แรงดันไฟฟ้า 12 V ดังแสดงในภาพที่ 38



ภาพที่ 37 Solar Charge Controller

1.1.3 แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อสำรองไฟฟ้าไว้ใช้ให้เพียงพอทั้งวัน ในงานวิจัยนี้ประเมินการใช้พลังงานในหุ่นตรวจวัดออกซิเจนในน้ำสามารถประเมินได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ปั๊มสูบน้ำ 1 วัน ทำงาน 24 ครั้งๆ ละ 2 นาที} &= 48 \text{ min} \times 36 \text{ W} \\ &= \frac{1,728}{60} = 28.8 \text{ Wh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปั๊มสเปรย์ 1 วัน ทำงาน 24 ครั้งๆ ละ 20 วินาที} &= 6 \text{ min} \times 18 \text{ W} \end{aligned}$$

$$= \frac{108}{60} = 1.8 \text{ Wh}$$

พลังงานรวมปั๊มสูบน้ำและปั๊มสเปรย์ เท่ากับ 30.6 Wh

สามารถแสดงการคำนวณของแบตเตอรี่ในภาคผนวก ก. โดยจากผลการคำนวณได้ แบตเตอรี่ขนาด 2.55 Ah เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานมากกว่า 4 วันจึงใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 Ah มีแรงดันไฟฟ้า 12 V ดังแสดงในภาพที่ 38



ภาพที่ 38 แบตเตอรี่

1.1.4 ปั๊มสูบน้ำ ใช้สำหรับสูบน้ำขึ้นจากบ่อเลี้ยงปลา เพื่อตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ในงานวิจัยเลือกใช้ปั๊มน้ำดีซีแบบจุ่ม ยี่ห้อ Seaflo รุ่น 1100 มีกำลังไฟฟ้า 36 W และกระแสไฟฟ้า 12 V ดังแสดงในภาพที่ 39



ภาพที่ 39 ปั๊มน้ำดีซีแบบจุ่ม

1.1.5 เซนเซอร์วัดออกซิเจน เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ เพื่อป้องกันคุณภาพของน้ำ ที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลา ในงานวิจัยเลือกใช้หัววัดออกซิเจน ยี่ห้อ Atlas Scientific รุ่น EVN-04-DO ช่วงการวัดค่าออกซิเจนในน้ำ 0 ถึง 100 mg/L ช่วงของการตอบสนอง ~0.3 mg/L/sec และช่วงอุณหภูมิ 1-50 °C ดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 เซนเซอร์วัดออกซิเจน Atlas Scientific รุ่น EVN-04-DO

1.1.6 เซนเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Electrode) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำ รุ่น E-201 โดยค่าที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 0-14 pH เอาท์พุทเป็นแบบ Analog (0-1023) ใช้ไฟเลี้ยง 5 V ภาพที่ 41



ภาพที่ 41 เซนเซอร์พีเอช รุ่น E-201

1.1.7 โมดูล ESP8266 เป็นโมดูล Wi-Fi สำหรับการส่งข้อมูลการตรวจวัดออกซิเจนไปยังระบบ Cloud เพื่อแสดงผลได้จากกระยะไกล อาศัยโมดูล ESP8266 ในการเชื่อมต่อ WiFi แล้วส่งข้อมูลค่าการตรวจวัดออกซิเจนไปยังระบบ Cloud server ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ NodeMCU ESP8266 แสดงในภาพที่ 42 ในการส่งชุดข้อมูลของการตรวจวัดออกซิเจนไปยังระบบ Cloud



ภาพที่ 42 บอร์ด NodeMCU ESP8266

1.1.8 ป้อนสเปรย์ชำระล้างหัววัด เป็นปั๊มน้ำดีซีแบบพ่น ยี่ห้อ SEAFLO รุ่น SFDP-21 แรงดันไฟฟ้า 12 V กระแสไฟฟ้า 1.6 A ใช้สำหรับสเปรย์น้ำเพื่อชำระล้างหัววัดออกซิเจนหลังการที่ได้ทำการอ่านค่าตรวจวัดออกซิเจนในน้ำแล้ว แสดงดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 ป้อนสเปรย์ชำระล้างหัววัด

การออกแบบหุ่นลอยน้ำ มีลักษณะโครงสร้างดังภาพที่ 44 ถูกออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ ย้ายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องมีความสามารถลอยในน้ำหรือบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งส่วนประกอบต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

หมายเลข 1 หุ่นลอยน้ำไฟเบอร์ ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับลอยน้ำ

หมายเลข 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 10 W จำนวน 4 แผง กำลังผลิตไฟฟ้า 40 W ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบตรวจวัด

หมายเลข 3 แท่นวางโครงสร้างของระบบทั้งหมด มีขนาดความกว้าง 98 cm ความยาว 110 cm และความสูง 18 cm ด้านข้างของโครงสร้างถูกทำให้เป็นสโลปเอียง เพื่อให้สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หมายเลข 4 แบตเตอรี่ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกชาร์จและเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับป้อนให้กับระบบทั้งหมด

หมายเลข 5 กล่องควบคุม การควบคุมระบบตรวจวัดเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328p ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผล โดยวงจรควบคุมถูกติดตั้งไว้ในกล่องควบคุม ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการตรวจวัดและการส่งข้อมูลไปยังระบบ Cloud server

หมายเลข 6 ปั๊มน้ำ ทำหน้าที่สูบน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาขึ้นมาเก็บไว้ในถังพักน้ำ

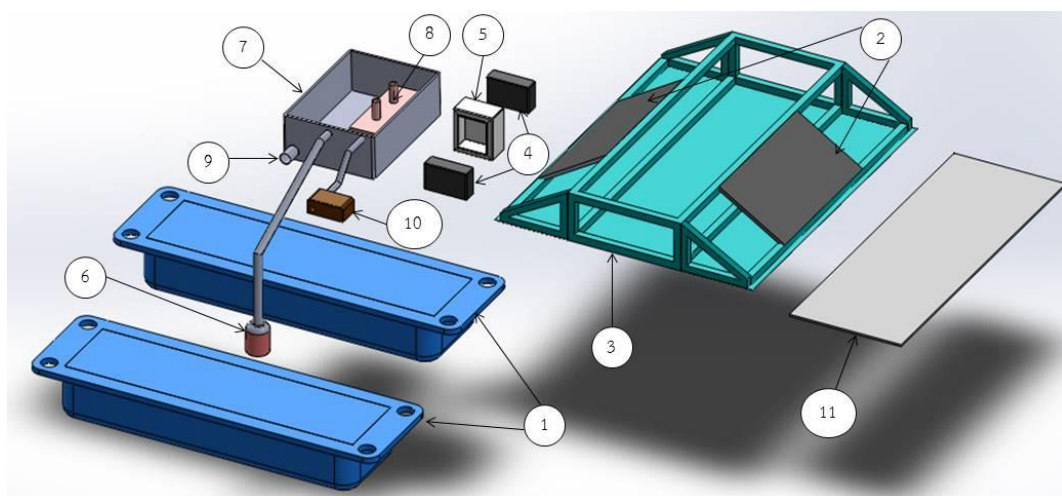
หมายเลข 7 ถังพักน้ำ ทำหน้าที่เก็บน้ำเพื่อรอการตรวจวัดค่า

หมายเลข 8 ตัวตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ทำหน้าที่อ่านค่าจากตัวตรวจวัดและประมวลผลการวัด จากนั้นจึงส่งค่าที่ตรวจวัดได้ไปเก็บไว้ยังระบบ Cloud server ด้วยโมดูล ESP8266

หมายเลข 9 ระบายน้ำออก เมื่อตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำเรียบร้อยแล้ว น้ำภายในถังจะถูกปล่อยออกมาทางรูระบายขนาดเล็ก เพื่อลดระดับน้ำลงและจะเริ่มทำการตรวจวัดใหม่

หมายเลข 10 สเปรย์ชำระล้างหัววัด เมื่อตัวตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำลอยอยู่เหนือระดับน้ำแล้ว สเปรย์ฉีดน้ำเริ่มทำงานโดยการฉีดน้ำไปยังตัวตรวจวัด เพื่อล้างคราบและสิ่งสกปรกให้ออกจากตัวตรวจวัด

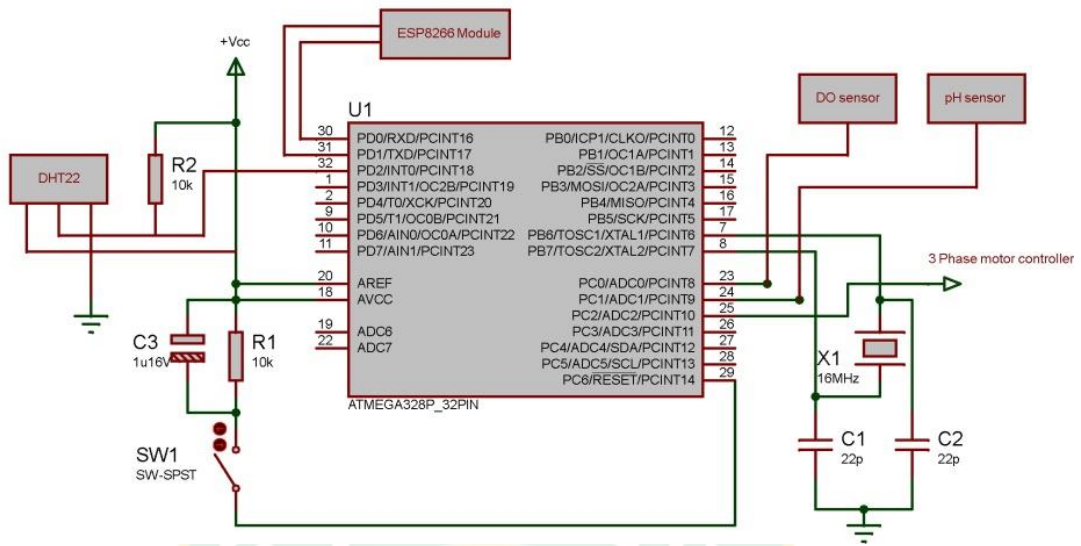
หมายเลข 11 ฝาครอบอะคริลิก ทำหน้าที่ป้องกันฝุ่นละออง ซึ่งจะวางครอบปิดโครงสร้าง (หมายเลข 3)



ภาพที่ 44 โครงสร้างระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ

1.2 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของระบบตรวจวัดออกซิเจน

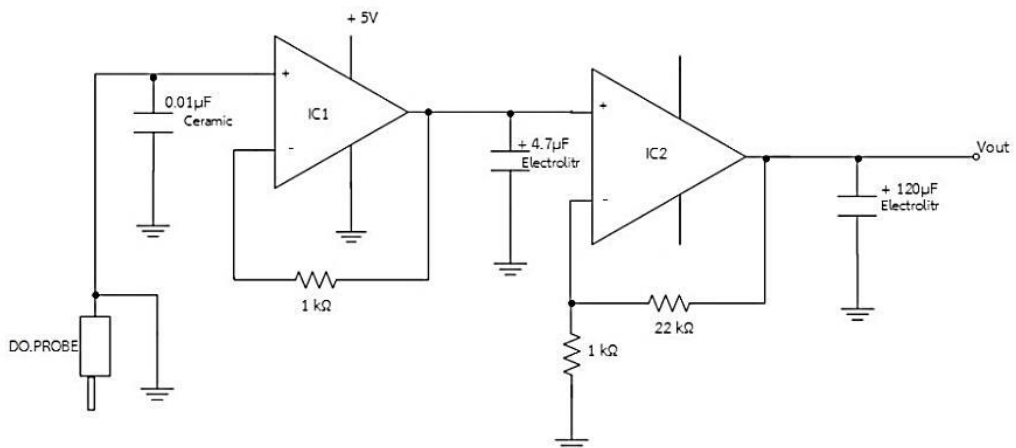
การสร้างวงจรควบคุมการทำงานของระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ มีการออกแบบระบบควบคุม โดยใช้เซนเซอร์และตัวควบคุม ได้แก่ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล Arduino รุ่น Nano ATmega328p เชื่อมต่อเข้ากับโมดูลเซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ยี่ห้อ Atlas scientific รุ่น EVN-40-DO สามารถวัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ได้อยู่ในช่วง 0-32 mg/L ช่วงของการตอบสนอง ~0.3 mg/L/s ขณะที่ค่า pH ได้เลือกใช้หัววัดรุ่น E-201 มีช่วงการวัดอยู่ที่ 1-14 pH เซนเซอร์ทั้งสองให้ค่าเอาต์พุตเป็นแบบอนาลอก จึงเลือกต่อเข้ากับพอร์ตอนาลอกของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย A0 ต่อเข้าหัววัดปริมาณออกซิเจน ส่วน A1 ต่อเข้ากับหัววัด pH เซนเซอร์ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วยังได้เลือกเซนเซอร์ DHT22 (D2) เป็นเซนเซอร์ที่สามารถวัดได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสำหรับสภาพอากาศแวดล้อม ส่วนการส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์ เพื่อแสดงผลได้จากระยะไกลนั้นได้อาศัยโมดูล ESP8266 ที่ต่อร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางช่องทางสื่อสารแบบอนุกรมเทียม (D0 และ D1) เพื่อทำหน้าที่ในการส่งชุดข้อมูลของการตรวจวัดนั้นๆ ดังแสดงในภาพที่



ภาพที่ 45 วงจรตรวจวัดค่า Ambient air, pH, DO, และ water temp

1.3 วงจรขยายสัญญาณ

เนื่องจากเอาต์พุตของหัววัดออกซิเจน มีการตอบสนองในอัตราที่ค่อนข้างต่ำเพียง 40 mV ในวินาทีจึงได้มีการออกแบบและสร้างวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting amplifier) เพื่อใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณอินพุตของค่าออกซิเจน ให้มีขนาดที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน การออกแบบวงจรขยายดังแสดงภาพที่ 46 อัตราการขยายภาคเอาต์พุตเป็น 22 เท่า



ภาพที่ 46 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

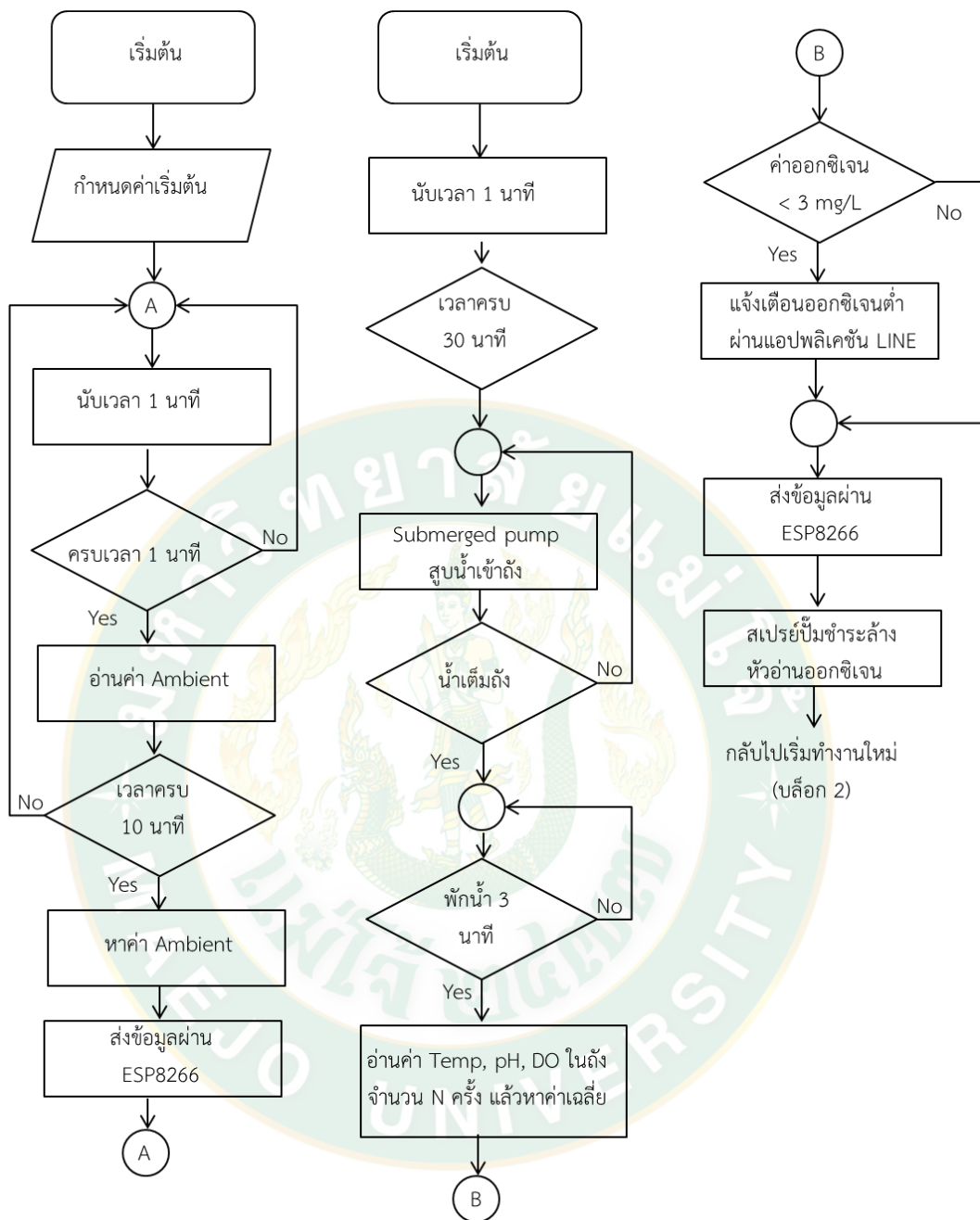
1.4 การพัฒนาโปรแกรมการทำงานระบบ

การพัฒนาโปรแกรมการทำงานระบบ โดยเริ่มต้นด้วยการกำหนดตัวแปรเริ่มต้นให้กับระบบ เช่น อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความชื้นอากาศแวดล้อม ค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ อุณหภูมิในน้ำ และค่า pH โดยตัวแปรทุกตัวจะทำงานตามระบบฐานเวลาที่ได้สร้างขึ้น สามารถอธิบายได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การอ่านค่า Ambient air จะอ่านค่าทุกๆ 1 นาที จำนวน 10 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อส่งข้อมูลผ่านโมดูล ESP8266 ไปเก็บไว้ยังระบบ Cloud server ปลายทาง ในงานวิจัยเลือกใช้ Anto.io สำหรับแสดงผลข้อมูลแบบ Real time และ Thingspeak สำหรับเก็บเป็นฐานข้อมูลระยะยาว

การอ่านค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ค่า pH และค่าอุณหภูมิในน้ำ จะเกิดขึ้นทุกๆ 30 นาที ภายหลังจากมีการสูบน้ำจากบ่อขึ้นมาเก็บไว้ในถังพัก เมื่อน้ำอยู่ในระดับที่ต้องการแล้วจะมีการปล่อยให้พักตัวประมาณ 3 นาที จากนั้นจึงเริ่มวัดค่า ทุกๆ 10 วินาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วหาค่าเฉลี่ยก่อนแล้วส่งข้อมูลผ่านโมดูล ESP8266 ขึ้นไปเก็บไว้ยังระบบ Cloud server ปลายทาง หลังจากนั้นจะรอระดับน้ำลดต่ำลง จะได้มีการสั่งงานให้ปั๊มสเปรย์ เริ่มทำงานโดยการฉีดน้ำไปยังตัวตรวจวัด เพื่อล้างคราบและสิ่งสกปรกให้ออกจากตัวตรวจวัด

หากค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ที่ทำการวัดมีค่าต่ำกว่า 3 mg/L ตามที่กำหนด ระบบจะมีการตรวจสอบและทำการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลผ่านแอปพลิเคชัน Line เพื่อแจ้งเตือนการทำงานของระบบสามารถเขียนเป็นโฟรเวิร์ดแสดงในภาพที่ 47



ภาพที่ 47 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบตรวจวัด

1.5 การสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัด

ขั้นตอนสำหรับการวางแผนการทดสอบระบบ การสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัด และการบันทึกผลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผล โดยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการวางแผนเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

1.5.1 การทดสอบอุปกรณ์วัดออกซิเจนละลายในน้ำ พร้อมกับวงจรที่ได้พัฒนาขึ้นมา โดยเปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดออกซิเจนละลายในน้ำ ที่เป็นเครื่องมืออ้างอิง ยี่ห้อ Lutron-2017SD ใช้

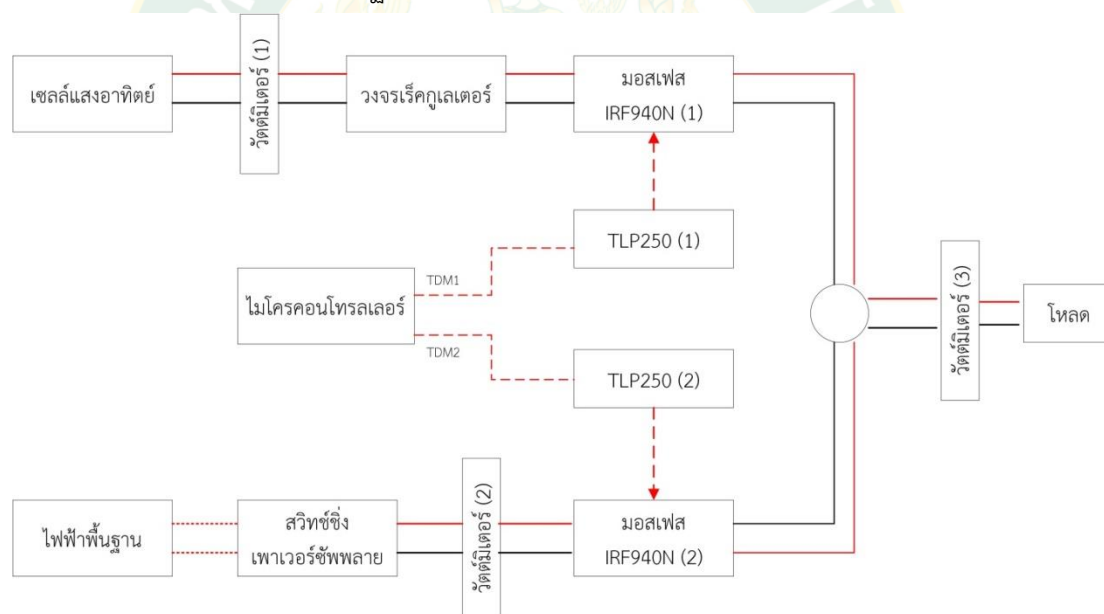
หัววัดออกซิเจนละลายในน้ำ รุ่น OXB-11 มีการทดสอบที่ระดับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ระหว่าง 0-8 mg/L และระดับอุณหภูมิในน้ำ 20-32 °C

1.5.2 การสอบเทียบอุปกรณ์วัด pH ที่ต่อเข้ากับโมดูลแปลงสัญญาณ ยี่ห้อ DM รุ่น PH-4502C โดยมีการเปรียบเทียบผลการวัดกับเครื่องมือวัด pH อ้างอิง ยี่ห้อ Lutron-2017SD ทดสอบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH ที่ระดับ 4-7 และ 10 รวมถึงสารละลายบัฟเฟอร์ pH ที่ถูกเจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้มีค่าระหว่าง pH ในช่วงค่า 4-7 และ 7-10

1.5.3 สร้างสมการสอบเทียบทั้งปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และ pH เพื่อนำไปเขียนโปรแกรมต่อไป

2. การออกแบบเทคนิคการจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ

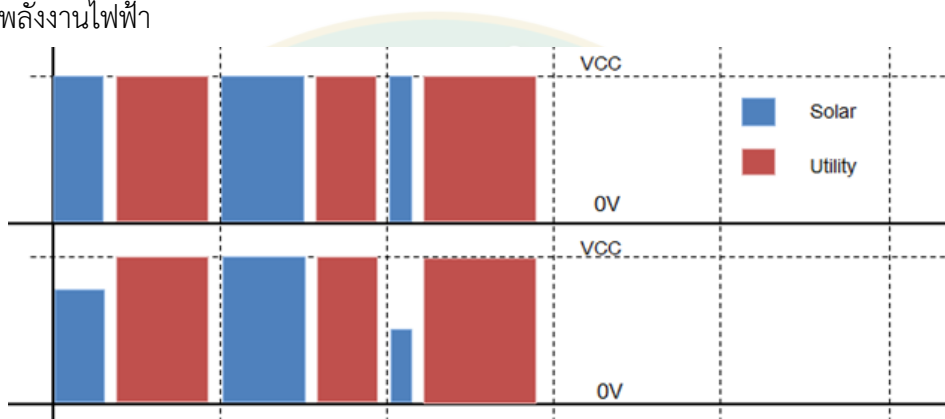
ในส่วนการออกแบบเทคนิคการจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ ได้นำงานวิจัยของ ธนวัฒน์ (ธนวัฒน์, 2558) มาประยุกต์ใช้ คือ วงจรผลิตและควบคุมไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน แสดงในภาพที่ 48 ดังรายละเอียดต่อไปนี้



ภาพที่ 48 วงจรผลิตและควบคุมไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน
ที่มา: ธนวัฒน์ (2558)

จากภาพที่ 48 อธิบายหลักการทำงาน แบ่งตามการจ่ายพลังงานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อาศัยวงจรเรกติเคเตอร์เป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน (Regulator) ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ขนาดแรงดันในระดับที่เหมาะสม ให้มอสเฟต IRF950N(1) ซึ่งถูกควบคุมการทำงาน (สวิตซ์เปิดหรือปิด) ด้วยอุปกรณ์ขับมอสเฟต TLP250(1) เพื่อสวิตซ์จ่ายพลังงานให้กับโหลด ขณะส่วนที่สอง อาศัยระบบไฟฟ้าพื้นฐาน 220 VAC แปลง

สัญญาณไฟฟ้าจากกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงด้วยสวิทช์ซึ่งเพาเวอร์เวอร์ซัพพลาย รุ่น spasunm-04 จ่ายให้กับมอสเฟต IRF950N(2) ควบคุมการทำงาน (สวิทช์เปิดหรือปิด) ด้วยอุปกรณ์ขับมอสเฟต TLP250(2) สวิตช์จ่ายพลังงานให้กับโหลด การสลับจ่ายพลังงานจากแหล่งพลังงานทั้งเซลล์แสงอาทิตย์และไฟฟ้าพื้นฐาน อาศัยหลักการ TDM (Time-Division Multiplexing) แสดงในภาพที่ 49 แบ่งเวลาการจ่ายจากแหล่งพลังงานทั้งสอง และการวัดพลังงานไฟฟ้าได้ใช้วัตต์มิเตอร์ติดตั้งไว้ 3 จุด ได้แก่ วัตต์มิเตอร์ (1) วัดพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ วัตต์มิเตอร์ (2) วัดพลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน และวัตต์มิเตอร์ (3) วัดพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลด สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้าและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 49 ลักษณะ TDM แบ่งเวลาการจ่ายจากแหล่งพลังงานทั้งสอง
ที่เกิดจากไมโครคอนโทรลเลอร์

ที่มา: ธนวัฒน์ (2558)

การแสดงผลทางกายภาพผ่านระบบ Cloud server

การออกแบบเพื่อบันทึกข้อมูลที่วัดได้จากระบบตรวจวัดต่างๆ และอัปโหลดข้อมูลการตรวจวัดไปยังระบบ Cloud server ส่วนนี้ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญของระบบ เพราะเป็นส่วนที่อุปกรณ์ทุกส่วนจะถูกเชื่อมโยงเข้าหากันโดยผ่านทางบริการของระบบ Cloud server การแสดงผลทางกายภาพผ่านระบบ Cloud server สามารถแบ่งกลุ่มแสดงผลข้อมูลเป็น 4 กลุ่ม และรวมไปถึงการแจ้งเตือนการตรวจวัดออกซิเจนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การแสดงผลทางกายภาพผ่านระบบ Cloud server

1.1 การตรวจวัดสภาพแวดล้อม เช่น ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม

1.2 การตรวจออกซิเจนในน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิในน้ำ

1.3 การแจ้งเตือนของระบบควบคุมกังหันเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลา และการแสดงสถานะการทำงานของบ่อเลี้ยงปลา เช่น กำลังเติมอากาศ หยุดเติมอากาศ หรือมีข้อบกพร่องของเครื่องเติมอากาศ

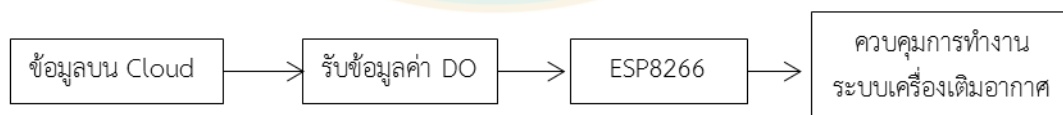
1.4 การตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของระบบ เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน

2. การแจ้งเตือนการตรวจวัดออกซิเจนผ่านแอปพลิเคชัน LINE

สำหรับการแจ้งเตือนสถานะที่สำคัญของระบบ เช่น ปริมาณออกซิเจนในน้ำ สถานการณ์เปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศ จะอาศัยแอปพลิเคชัน LINE เป็นช่องทางสำหรับการแจ้งเตือนสถานะผ่านรูปแบบของข้อความแจ้งเตือน โดยแอปพลิเคชัน LINE จะมีระบบ Bot หรือคล้ายกับหุ่นยนต์ทำหน้าที่ควบคุมช่องทางการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังปลายทางที่ถูกกำหนดเอาไว้ ลักษณะของการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE จะมีโครงสร้างการทำงานที่คล้ายกับระบบส่งข้อมูลผ่าน Cloud การเริ่มต้นส่งข้อมูลอาศัยการประมวลผลปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจากโมดูลประมวลผล ESP8266 ดังอธิบายไว้ในหัวข้อข้างต้น หากปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเป็นไปตามเงื่อนไขที่ถูกตั้งเอาไว้ โมดูลประมวลผล ESP8266 จะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยัง LINE Cloud เพื่อให้ LINE Bot จัดช่องทางสำหรับส่งข้อความดังกล่าวไปยังปลายทาง

การออกแบบระบบควบคุมสำหรับการเติมอากาศ

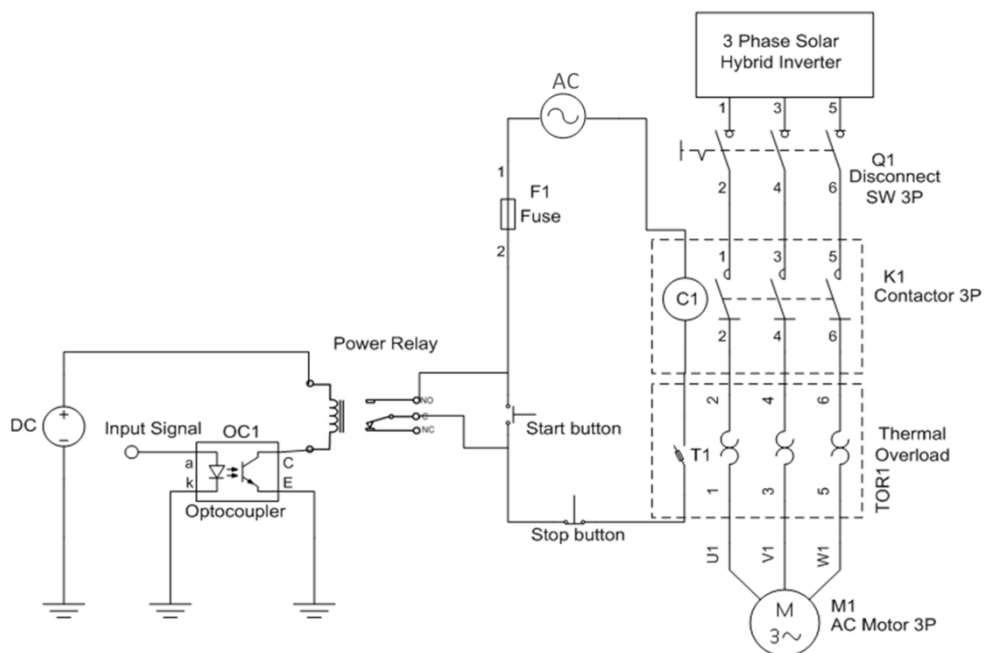
งานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรควบคุมเปิด-ปิด สำหรับเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ มาเป็นปัจจัยในการสั่งการทำงานของระบบเครื่องเติมอากาศแสดงในภาพที่ 50 มีการรับข้อมูลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจากระบบ Cloud ผ่านโมดูลประมวลผล ESP8266 เพื่อประเมินระดับออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องเติมอากาศ



ภาพที่ 50 ไดอะแกรมรับข้อมูลค่าออกซิเจน จากระบบ Cloud

ตัวควบคุมเครื่องเติมอากาศมีหลักการทำงาน โดยอาศัยออปโตคัปเปอร์ (Optocoupler: OC1) ให้ทำหน้าที่เริ่มนำหรือหยุดนำกระแสให้กับพาวเวอร์รีเลย์ (Power relay) เมื่อพาวเวอร์รีเลย์เริ่มนำกระแสหน้าสัมผัสของพาวเวอร์รีเลย์จะสลับตำแหน่งของหน้าสัมผัสไปเป็นปกติเปิด (NO) เพื่อต่อวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ 3 เฟส หรือทำหน้าที่แทนอุปกรณ์ Start button ในการเชื่อมต่อวงจร โดยเมื่อวงจรถูกเชื่อมต่อทำให้คอลย์ของคอนแทคเตอร์ (C1) ได้รับการกระตุ้นจาก

แหล่งจ่ายไฟ จนเกิดการเหนี่ยวนำและเชื่อมต่อหน้าสัมผัสของคอนแทคเตอร์ (K1) เพื่อเป็นสะพานไฟ ให้แหล่งจ่ายไฟจาก 3 Phase solar hybrid inverter สามารถจ่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้ ผ่านไปยังมอเตอร์ 3 เฟส (M1) เพื่อขับเคลื่อนกังหันเติมอากาศของบ่อเลี้ยงปลาได้ หลักการทำงานแสดงในภาพที่ 51 หากต้องการหยุดการทำงานของมอเตอร์ 3 เฟส ก็ให้หยุดจ่ายสัญญาณควบคุมไปยังออฟโตคัปเปอร์ ซึ่งเมื่อออฟโตคัปเปอร์ขาดสัญญาณควบคุม จะทำให้พาวเวอร์รีเลย์หยุดนำกระแส หน้าสัมผัสของพาวเวอร์รีเลย์จะคืนตำแหน่งของหน้าสัมผัสปกติปิด (NC) ทำให้คอยล์ของคอนแทคเตอร์หยุดการเหนี่ยวนำ ส่งผลให้หน้าสัมผัสของคอนแทคเตอร์ขาดออกจากกัน วงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส จึงถูกตัดการทำงาน



ภาพที่ 51 วงจรควบคุมเปิด-ปิด เครื่องเติมอากาศ

วิเคราะห์ทางพลังงานและวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ผลทางพลังงานของระบบเติมอากาศ สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ กลางวันและกลางคืน โดยช่วงเวลากลางวันจะพิจารณาการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศ ตั้งแต่เวลา 10:00-18:00 น. ตามที่เจ้าของบ่อเป็นผู้กำหนดการเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ ซึ่งมีการวิเคราะห์การใช้พลังงานทั้งจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนช่วงเวลากลางคืนจะพิจารณาการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศ ตั้งแต่เวลา 18:00-6:00 น. โดยอาศัยปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเปิดหรือปิดระบบเติมอากาศ ทั้งสองเงื่อนไขมีการทดสอบในช่วงเดือนสิงหาคม 2561 รวมเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อหาประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมระบบ สำหรับใช้ในการประเมินภาพรวมของการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งปี เพื่อ

ใช้ใน การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบเติมอากาศที่เจ้าของบ่อเป็นผู้กำหนด เปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ และกรณีเป็นระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ ที่อาศัยค่าปริมาณ ออกซิเจนละลายในน้ำจากระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบฟูลอยน้ำ มาเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจเปิด หรือปิดระบบเครื่องเติมอากาศ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมด}}{\text{ผลประโยชน์ที่ได้}}$$

สมการที่ 4



บทที่ 4

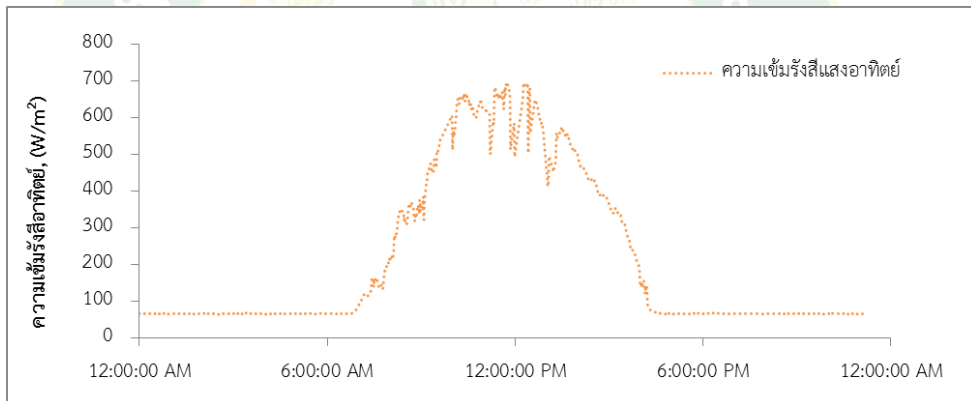
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยในบทนี้นำเสนอในส่วนผลการทดสอบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังต่อไปนี้

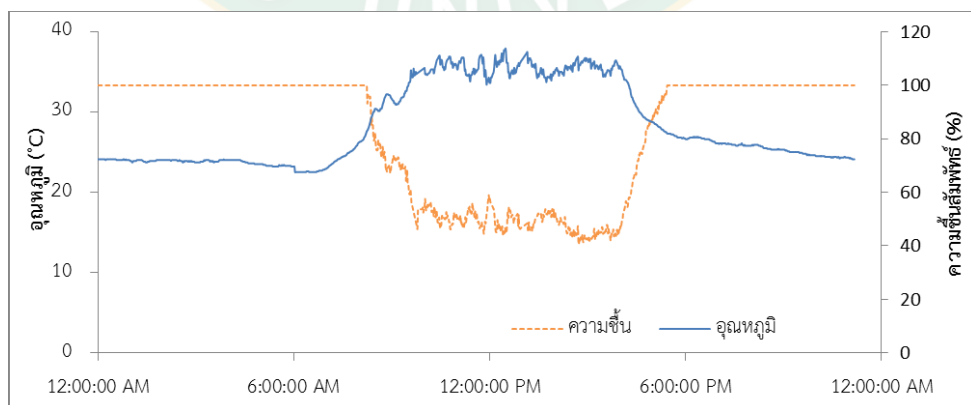
ผลศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม และระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ

1 ผลการศึกษาระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม

ผลการศึกษาระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย ความเร็วลม ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นแวดล้อม โดยทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 20 เดือนพฤศจิกายน 2560 แสดงผลในช่วงเวลาตั้งแต่ 00:00–23:00 น. แสดงในภาพที่ 52



(ก) ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์



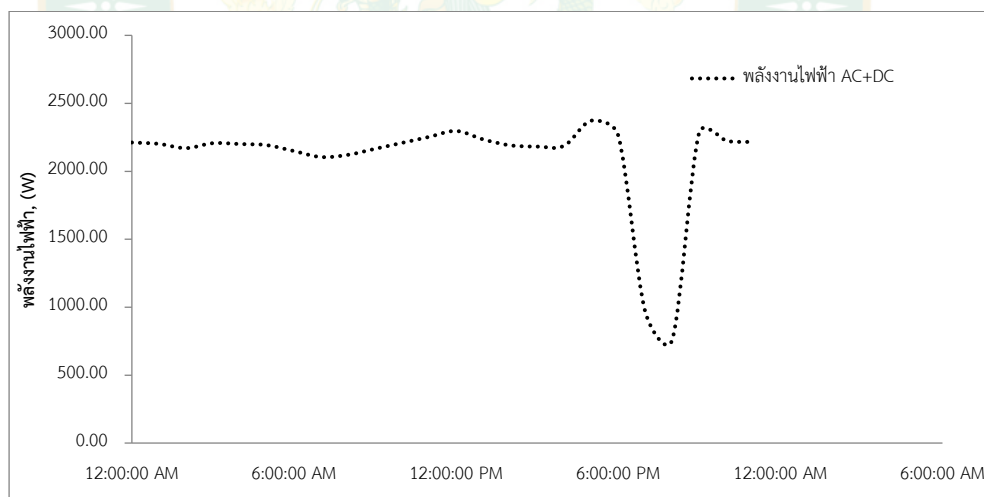
(ข) อุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์

ภาพที่ 52 ข้อมูลการตรวจวัดสภาพแวดล้อม

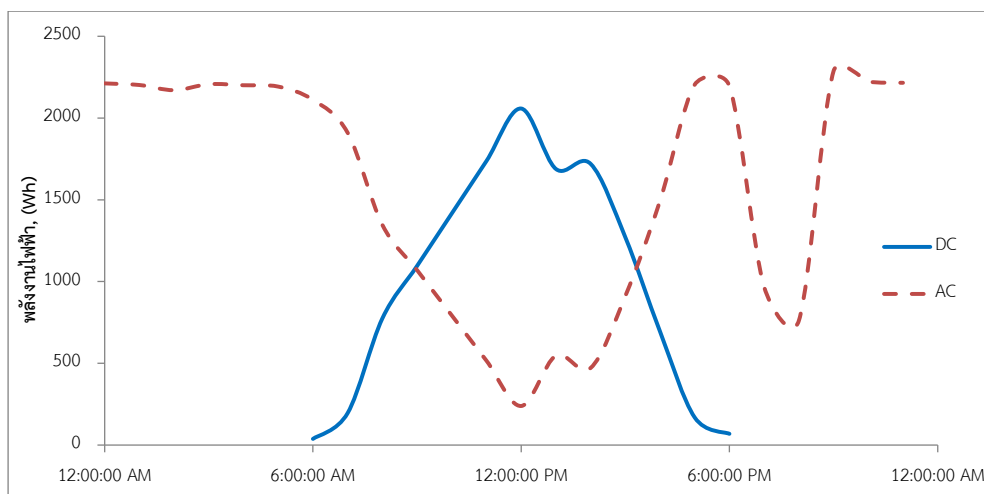
จากภาพที่ 52 (ก) แสดงค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ทำการเก็บข้อมูลเป็นวันที่มีแสงแดดค่อนข้างดี แต่ค่ารังสีแสงอาทิตย์จะแกว่งตัวเล็กน้อยในช่วงบ่ายเนื่องจากมีเมฆบดบังเล็กน้อย พบว่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดในช่วงกลางวันตั้งแต่ 11:00-13:00 น. จากนั้นความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ก็จะค่อยๆ ลดลง มีค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุด 695 W/m^2 และค่ารังสีอาทิตย์ต่ำสุด 64 W/m^2 ขณะที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมดังแสดงในภาพที่ 52 (ข) พบว่า อุณหภูมิต่ำในตอนเช้า แล้วค่อยๆ สูงขึ้นในตอนบ่าย มีอุณหภูมิแวดล้อมต่ำสุด $22.5 \text{ }^\circ\text{C}$ และสูงสุด $37.9 \text{ }^\circ\text{C}$ คิดเป็นอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย $23.99 \text{ }^\circ\text{C}$ และความชื้นตอนเช้ากับตอนกลางวันมีความชื้นสูง แล้วในตอนกลางวันความชื้นจะต่ำ มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด 40.6% และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด 99.9% คิดเป็นความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 82.82%

2. ผลศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ

ผลการศึกษาาระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานเพื่อจ่ายพลังงานให้กับระบบเติมอากาศ ประกอบด้วย ค่ากำลังไฟฟ้าพื้นฐาน ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และกำลังไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 20 เดือนพฤศจิกายน 2560 แสดงผลในช่วงเวลาตั้งแต่ 00:00–23:00 น. เป็นวันที่แดดดี ไม่มีเมฆบดบัง สามารถแสดงในภาพที่ 53



(ก) กำลังไฟฟ้ารวมจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และไฟฟ้าพื้นฐาน



(ข) พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และไฟฟ้าพื้นฐาน

ภาพที่ 53 ข้อมูลจากระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ

จากภาพที่ 53 การตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน สามารถแสดงข้อมูลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 6 พบว่า ระบบเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลา ใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 50,380.58 kWh/day แบ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน เท่ากับ 12,827.47 kWh/day และ 36,717.19 kWh/day ตามลำดับ

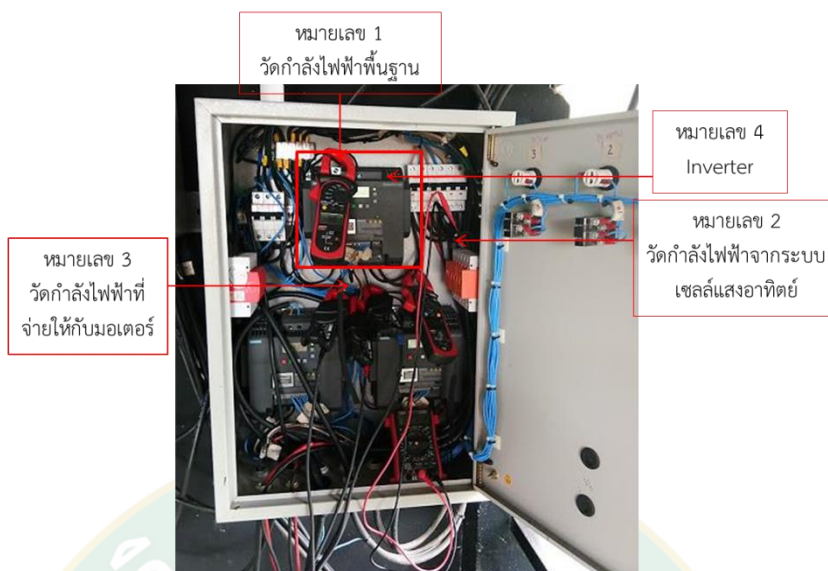
ตารางที่ 6 ข้อมูลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เวลา	กำลังไฟฟ้าจากระบบ	กำลังไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์
	เซลล์แสงอาทิตย์ (W)	จากไฟฟ้าพื้นฐาน (W)	แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน (W)
00:00:00	Null	2,212.36	2,212.36
01:00:00	Null	2,202.48	2,202.48
02:00:00	Null	2,170.83	2,170.83
03:00:00	Null	2,207.43	2,207.43
04:00:00	Null	2,201.02	2,201.02
05:00:00	Null	2,192.76	2,192.76
06:00:00	37.56	2,111.91	2,149.48
07:00:00	195.09	1,910.46	2,105.55
08:00:00	774.40	1,347.29	2,121.69
09:00:00	1,095.44	1,070.17	2,165.61

เวลา	กำลังไฟฟ้าจากระบบ เซลล์แสงอาทิตย์ (W)	กำลังไฟฟ้า จากไฟฟ้าพื้นฐาน (W)	กำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์ แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน (W)
10:00:00	1,416.47	793.05	2,209.52
11:00:00	1,737.51	515.93	2,253.44
12:00:00	2,058.55	238.81	2,297.36
13:00:00	1,688.99	546.41	2,235.40
14:00:00	1,720.30	471.28	2,191.58
15:00:00	1,271.46	911.04	2,182.50
16:00:00	694.61	1,493.81	2,188.42
17:00:00	168.55	2,204.72	2,373.27
18:00:00	68.55	2,195.99	2,264.54
19:00:00	Null	967.87	967.87
20:00:00	Null	760.25	760.25
21:00:00	Null	2,287.29	2,287.29
22:00:00	Null	2,223.98	2,223.98
23:00:00	Null	2,215.96	2,215.96
พลังงานรวม	12,827.47 (kWh/day)	37,453.10 (kWh/day)	50,380.58 (kWh/day)

ผลการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ

ผลการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน และ Inverter ทำหน้าที่เลือกแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งสองแหล่งจ่าย เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ ในงานวิจัยนี้ใช้แคลมป์มิเตอร์ (หมายเลข1) วัดกำลังไฟฟ้าพื้นฐาน แคลมป์มิเตอร์ (หมายเลข2) วัดกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับวัดกำลังไฟฟ้าขาเข้า ส่วนกำลังไฟฟ้าขาออกที่จ่ายให้กับมอเตอร์ใช้เครื่อง Power meter (หมายเลข3) วัดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศแสดงในภาพที่ 54 (ก)



(ก) ตรวจสอบวัดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ

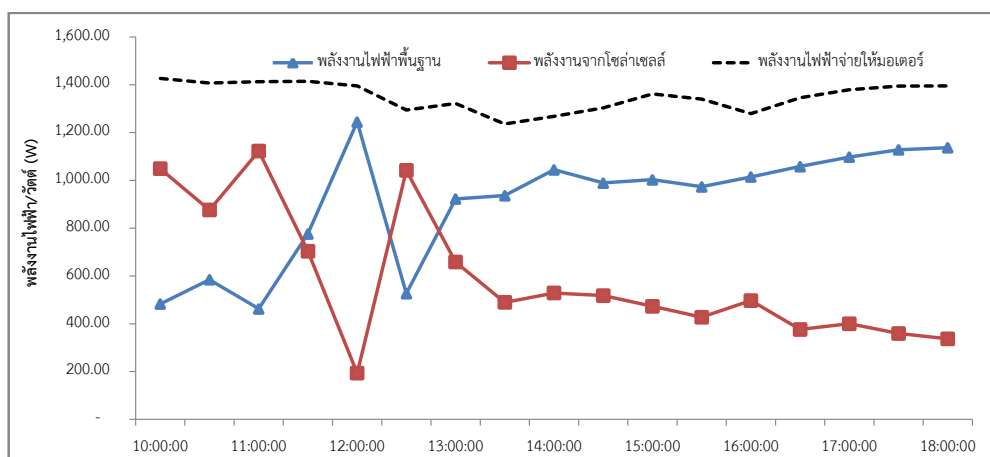


(ข) ภาพรวมการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศ

ภาพที่ 54 ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ

การวิเคราะห์ผลทางค่าพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบเติมอากาศ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเติมอากาศจะทำงานตามเวลาที่เจ้าของบ่อกำหนด เช่น การเปิดใช้ระบบ และการปิดพักระบบ เงื่อนไขที่เจ้าของบ่อกำหนดเวลาเปิด-ปิดระบบเติมอากาศ ตั้งแต่เวลา 10:00-18:00 น. ผลการบันทึกข้อมูลระหว่างวันที่ 18-24 สิงหาคม 2561 รวมเป็นระยะเวลา 7 วัน สภาพอากาศในช่วงเก็บข้อมูลประกอบด้วยวันที่ท้องฟ้าเปิด วันที่มีเมฆ และวันที่มีฝนตก

ในงานวิจัยนี้เลือกวิเคราะห์ผลทางค่าพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ 2 วัน คือ วันที่ 18 สิงหาคม 2561 แสดงในภาพที่ 55 เป็นวันที่มีเมฆ มีฝนตก และวันที่ 20 สิงหาคม 2561 แสดงในภาพที่ 56 เป็นวันที่มีแสงแดด



ภาพที่ 55 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

วันที่ 18 สิงหาคม 2561

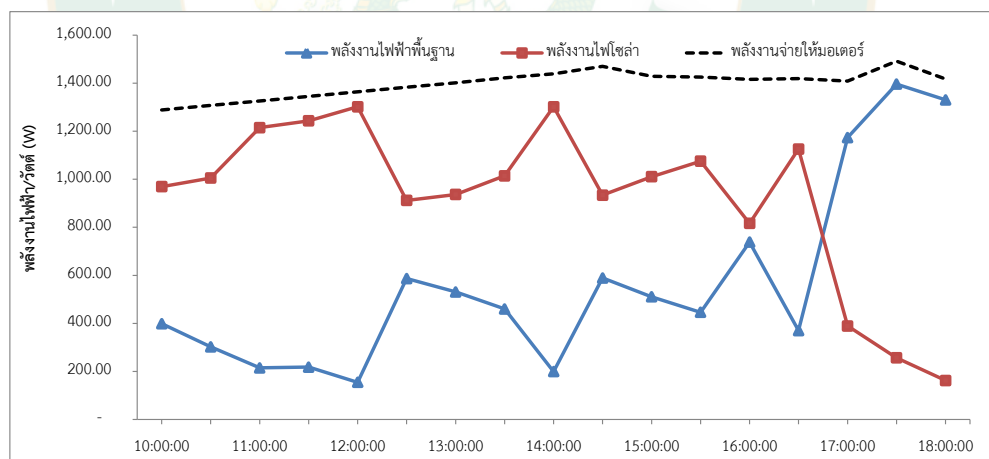
จากภาพที่ 55 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 18 สิงหาคม 2561 เป็นวันที่มีเมฆและมีฝนตก สามารถแสดงข้อมูลการใช้พลังงานในตารางที่ 7 พบว่า ระบบเติมอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานเท่ากับ 11,483.60 kWh แบ่งใช้จากไฟฟ้าพื้นฐาน (AC) และใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (DC) เท่ากับ 7,689.07 kWh และ 5,024.75 kWh ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ 90.32%

ตารางที่ 7 ใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 18 สิงหาคม 2561

Time	AC		DC		Motor		Power	Power	Power	η
	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	AC (Wh)	DC (Wh)	Motor (Wh)	
10:00:00	2.11	229	3.45	304	7.7	192.7	483.19	1,048.80	1425.78	93.07
10:30:00	2.52	232	2.89	303	7.0	167.7	584.64	875.67	1406.52	96.32
11:00:00	2.02	229	3.62	310	7.2	161.6	462.58	1,122.20	1412.81	89.15
11:30:00	3.36	231	2.36	298	7.3	159.2	776.16	703.28	1414.12	95.58
12:00:00	5.34	233	0.66	293	7.7	147.6	1,244.22	193.38	1394.68	97.01
12:30:00	2.29	230	3.36	310	7.4	154.9	526.70	1,041.60	1293.81	82.50
13:00:00	4.01	230	2.18	302	7.1	165.6	922.30	658.36	1321.05	83.58
13:30:00	4.07	230	1.62	302	7.4	158.5	936.10	489.24	1235.93	86.71

Time	AC		DC		Motor		Power	Power	Power	η (%)
	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	AC (Wh)	DC (Wh)	Motor (Wh)	
14:00:00	4.52	231	1.75	302	7.9	142.8	1,044.12	528.50	1267.31	80.59
14:30:00	4.3	230	1.72	301	7.2	155.7	989.00	517.72	1302.59	86.45
15:00:00	4.34	231	1.62	292	7.7	147.1	1,002.54	473.04	1361.07	92.24
15:30:00	4.23	230	1.42	301	6.2	159.7	972.90	427.42	1339.34	95.65
16:00:00	4.39	231	1.64	303	6.6	166.6	1,014.09	496.92	1278.65	84.62
16:30:00	4.56	232	1.28	294	6.8	167.9	1,057.92	376.32	1345.69	93.83
17:00:00	4.71	233	1.33	301	7.0	161.5	1,097.43	400.33	1378.68	92.05
17:30:00	4.84	233	1.24	290	6.9	160.6	1,127.72	359.60	1394.30	93.75
18:00:00	4.92	231	1.12	301	6.8	173.5	1,136.52	337.12	1394.87	94.65
พลังงานรวม							7,689.07 (kWh)	5,024.75 (kWh)	11,483.60 (kWh)	90.32

วิเคราะห์ผลทางค่าพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเติมอากาศ วันที่ 20 สิงหาคม 2561 เป็นวันที่มีแสงแดด แสดงในภาพที่ 56



ภาพที่ 56 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

วันที่ 20 สิงหาคม 2561

จากภาพที่ 56 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 20 สิงหาคม 2561 เป็นวันที่มีแสงแดด สามารถแสดงข้อมูลการใช้พลังงานในตารางที่ 8 พบว่า ระบบเติมอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานเท่ากับ 11,876.61 kWh แบ่งใช้จากไฟฟ้า

พื้นฐาน (AC) และใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (DC) เท่ากับ 4,811.24 kWh และ 7,835.3 kWh ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ 93.91%

ตารางที่ 8 ใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 20 สิงหาคม 2561

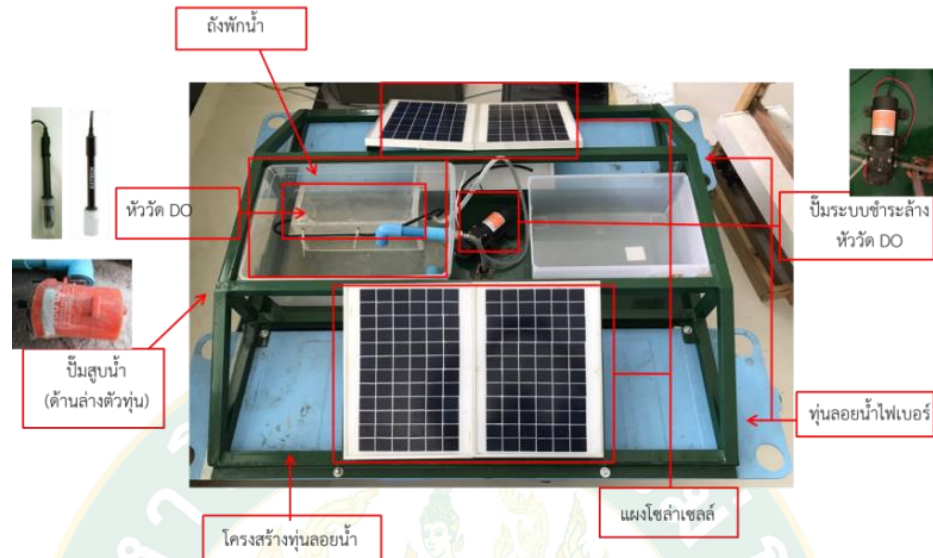
Time	AC		DC		Motor		Power	Power	Power	η	
	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	AC (Wh)	DC (Wh)	Motor (Wh)		
10:00:00	1.72	232	3.21	302	7.5	146.1	399.04	969.42	1288.43	94.15	
10:30:00	1.31	231	3.34	301	7.4	140.5	302.61	1,005.34	1307.33	99.95	
11:00:00	0.93	231	4.01	303	7.2	151.9	214.83	1,215.03	1326.24	92.75	
11:30:00	0.94	232	4.13	301	7.4	147.8	218.08	1,243.13	1345.14	92.06	
12:00:00	0.67	231	4.31	302	7.5	146.1	154.77	1,301.62	1364.05	93.66	
12:30:00	2.53	232	3.01	303	7.5	144.5	586.96	912.03	1382.95	92.26	
13:00:00	2.33	228	3.23	290	7.4	147.8	531.24	936.70	1401.32	95.46	
13:30:00	2.01	229	3.51	289	6.8	165.6	460.29	1,014.39	1421.84	96.42	
14:00:00	0.86	232	4.52	288	6.9	171.1	199.52	1,301.76	1439.13	95.86	
14:30:00	2.54	232	3.21	291	7.0	181.7	589.28	934.11	1470.01	96.50	
15:00:00	2.22	230	3.45	293	7.0	165.4	510.60	1,010.85	1428.42	93.89	
15:30:00	1.94	230	3.56	302	6.9	172.1	446.20	1,075.12	1425.79	93.72	
16:00:00	3.17	233	2.74	298	7.3	151.5	738.61	816.52	1415.53	91.02	
16:30:00	1.61	230	3.74	301	7.1	158.2	370.30	1,125.74	1419.26	94.87	
17:00:00	5.08	231	1.32	295	7.8	142.7	1,173.48	389.40	1408.8	90.14	
17:30:00	6.07	230	0.88	292	7.1	181.5	1,396.10	256.96	1491.15	90.21	
18:00:00	5.76	231	0.54	301	7.9	140.7	1,330.56	162.54	1417.82	94.96	
	พลังงานรวม						4,811.24	7,835.3	11,876.61		
							(kWh)	(kWh)	(kWh)		93.91

ผลระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ

1. ผลการออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ

การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ ได้ต้นแบบโครงสร้างทุ่นตรวจวัดออกซิเจนสำหรับวางโครงสร้างของระบบทั้งหมด โดยมีรายละเอียดการออกแบบดังกล่าวไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 1.1 มีขนาดความกว้าง 98 cm ความยาว 110 cm และความสูง 18 cm ดังแสดงในภาพที่ 57

ขณะที่สามารถนำไปใช้ในงานจริงและได้นำไปทดสอบที่บ่อเลี้ยงปลาชุมชนบ้านทุ่งยาว อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่



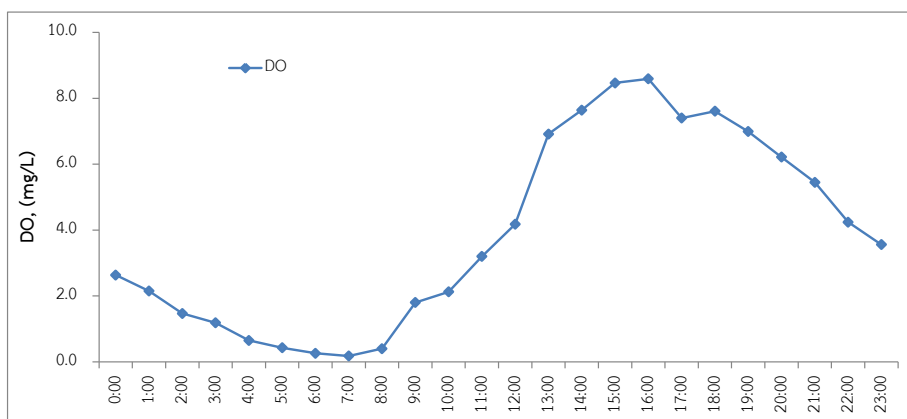
(ก) ต้นแบบโครงสร้างทุ่นตรวจวัดและการประกอบเครื่องมือ



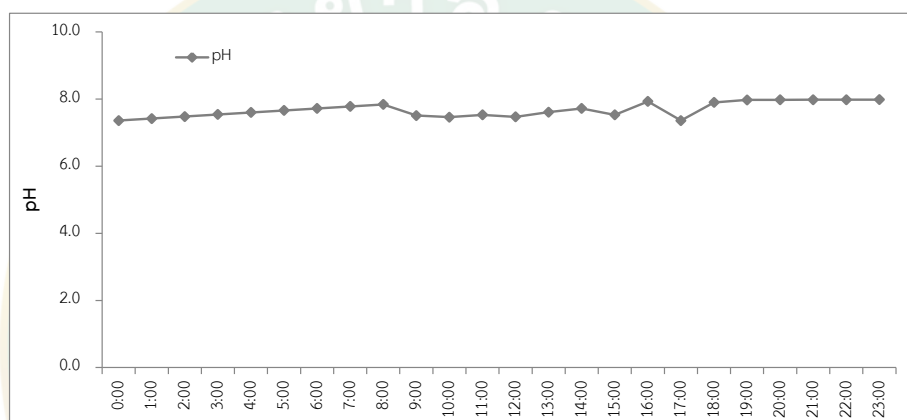
(ข) ระบบตรวจวัดฯ ณ บ่อเลี้ยงปลาบ้านทุ่งยาว

ภาพที่ 57 ระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ

ผลการทดสอบจากระบบตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำ และความเป็นกรด-ด่าง แสดงในภาพที่ 58 งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 20 เดือนสิงหาคม 2561 ช่วงเวลาตั้งแต่ 00:00-23:00 น.



(ก) ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO)



(ข) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ภาพที่ 58 ข้อมูลการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำและความเป็นกรด-ด่าง

จากภาพที่ 58 ผลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและความเป็นกรด-ด่าง ของบ่อเลี้ยงปลา และแสดงข้อมูลในตารางที่ 9 ข้อมูลการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำและความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำช่วงเวลาเช้ามีค่านอนดวงอาทิตย์ขึ้นออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าต่ำสุดเฉลี่ย 1.4 mg/L แล้วค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นในตอนกลางวันจนมีค่าสูงสุดในตอนบ่ายเฉลี่ย 7.3 mg/L และในช่วงเวลากลางคืนทำให้ออกซิเจนค่อยๆ ลดลงอีกครั้งเฉลี่ย 4.9 mg/L ส่วนปริมาณความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อเลี้ยงปลาตลอด 24 ชั่วโมง คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.7

ตารางที่ 9 ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและความเป็นกรด-ด่าง

เวลา	ออกซิเจนละลายในน้ำ (DO)		ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	
	อุณหภูมิ (°C)	DO (mg/L)	อุณหภูมิ (°C)	pH
00:00:00	30	2.6	28.5	7.4
01:00:00	30	2.2	28.2	7.4
02:00:00	30	1.5	27.4	7.5
03:00:00	30	1.2	27.3	7.5
04:00:00	30	0.7	27.2	7.6
05:00:00	29	0.4	27.1	7.7
06:00:00	29	0.3	27.2	7.7
07:00:00	29	0.2	27	7.8
08:00:00	29	0.4	28.1	7.8
09:00:00	30	1.8	27.3	7.5
10:00:00	30	2.1	27.6	7.5
11:00:00	30	3.2	27.1	7.5
12:00:00	30	4.2	30.5	7.5
13:00:00	31	6.9	31	7.6
14:00:00	31	7.6	31.3	7.7
15:00:00	29	8.5	31.1	7.5
16:00:00	28	8.6	30.2	7.9
17:00:00	29	7.4	30.4	7.4
18:00:00	30	7.6	29.5	7.9
19:00:00	29	7.0	29.2	8.0
20:00:00	28	6.2	28.1	8.0
21:00:00	28	5.5	27.9	8.0
22:00:00	29	4.2	28	8.0
23:00:00	29	3.6	28.3	8.0

2. การสอบเทียบอุปกรณ์เครื่องมือวัด

2.1 การสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำ

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบตรวจวัด ได้แก่ หัววัดออกซิเจนที่แผ่นเมนบอร์ด ซึ่งมีคุณสมบัติให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ง่ายไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอื่น ๆ โมเลกุลของน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ และที่สำคัญต้องทำปฏิกิริยาหรือมีผลอื่น ๆ ใดกับสารละลายที่ต้องการวัดและมีความแข็งแรงคงทน

(ประพนธ์, 2549) งานวิจัยนี้ใช้หัววัดออกซิเจนของ Atlas scientific รุ่น EVN-40-DO ต่อเข้ากับ วงจรขยายสัญญาณ เพื่อปรับขนาดสัญญาณให้เหมาะสม เนื่องจากผลการตอบสนองค่าแรงดันไฟฟ้า ต่อปริมาณออกซิเจนของหัววัดออกซิเจน ต่อหนึ่งระดับมีค่าเพียง 40 mV แล้วทำการสอบเทียบด้วย เครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำยี่ห้อ Lutron WA-2017SD ซึ่งแสดงได้ทั้งค่าอุณหภูมิและปริมาณ ออกซิเจนละลายในน้ำ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากหัววัดกับค่าออกซิเจน ละลายในน้ำ กรณีที่อุณหภูมิต่างกัน โดยในการทดสอบได้ตั้งสมมติฐานของการวัดในบ่อน้ำไว้ คือ อุณหภูมิ 20-32 °C และปริมาณออกซิเจนในน้ำอยู่ระหว่าง 2-8 mg/L

ในงานวิจัยนี้ได้การออกแบบและสร้างวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting amplifier) เพื่อใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณอินพุตของค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ให้มีขนาดที่เหมาะสม ต่อการนำไปใช้งาน การออกแบบวงจรขยายที่อัตราขยายภาคเอาต์พุตเป็น 22 เท่า ได้ผล การตอบสนองของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ต่อแรงดันไฟฟ้าในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-32 °C ดังแสดงในภาพที่ 59 ซึ่งเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ พบว่า ได้ ความสัมพันธ์ของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ต่อแรงดันไฟฟ้าเป็นแบบลีนีเยอร์รีเกรสชัน (Linear regression) ที่มีค่าความสัมพันธ์ที่ดี (R^2) แต่ละช่วงของอุณหภูมิที่ได้ทดสอบใกล้เคียง 1 ดังนี้

$$DO = (n1 * V) - n0 \quad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ DO คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)
V คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วย เป็น V

ขณะที่ n1 และ n0 หาได้จากสมการ

$$n1 = -0.0043 * (T2) + (0.1452 * T) + 1.9863 \quad \text{สมการที่ 6}$$

กรณี n0 สามารถพิจารณาได้สองกรณี คือ ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 26 °C และช่วงที่เท่ากับหรือ มากกว่า 26 °C แสดงในภาพที่ 60 เนื่องจากว่า ความสัมพันธ์ของทั้งสองช่วงอุณหภูมิมิมีค่าค่อนข้าง แตกต่างกัน จึงต้องแยกการพิจารณา เพื่อให้ได้ค่าความผิดพลาดจากการประเมินน้อยที่สุด สามารถ ประเมินค่า n0 ได้ดังได้ดังนี้

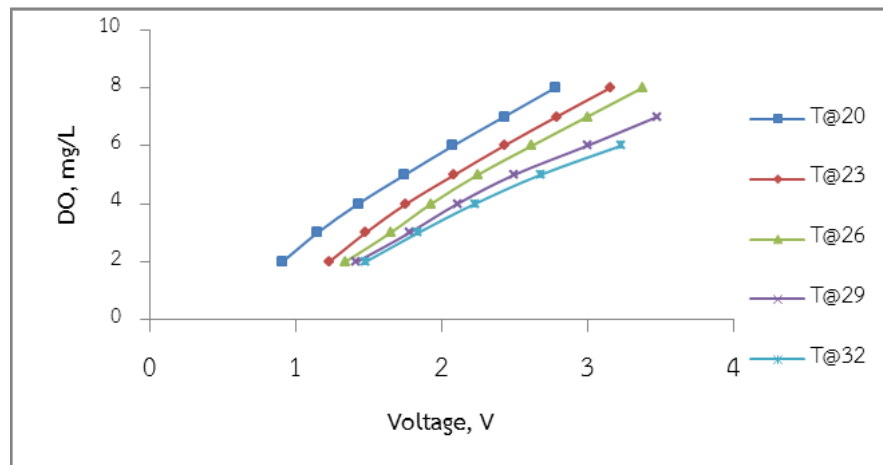
กรณีที่ 1 ความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียล เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 26 °C

$$n0 = -0.0371 * (T^2) + (1.8937 * T) - 22.364 \quad \text{สมการที่ 7}$$

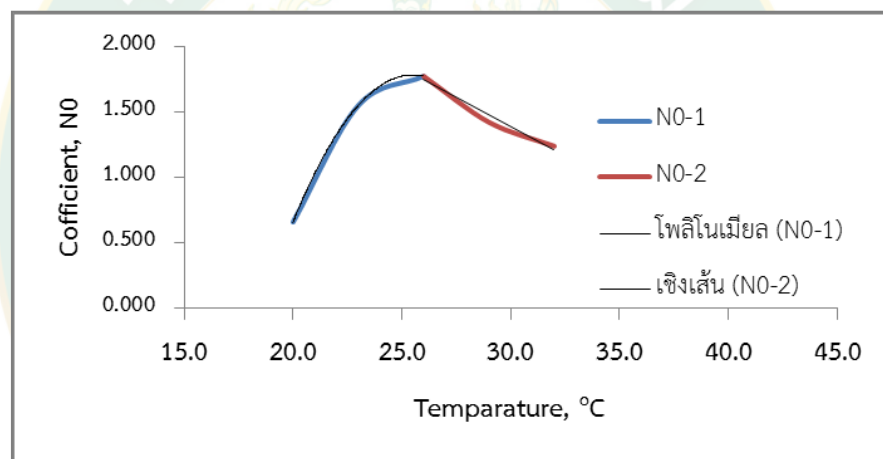
กรณีที่ 2 ความสัมพันธ์แบบลีนีเยอร์รีเกรสชัน เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 26 °C

$$n0 = (-0.0893 * T) + 4.0698 \quad \text{สมการที่ 8}$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิในน้ำ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)



ภาพที่ 59 เอาร์ทพุตของสัญญาณหัววัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ผ่านการขยายสัญญาณ



ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ของตัวแปร n_0 ในช่วงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 26 และสูงกว่า 26 $^{\circ}\text{C}$

จากการหาความสัมพันธ์ของปริมาณค่าออกซิเจนละลายในน้ำต่อแรงดันไฟฟ้าที่กล่าวมาดังสมการที่ 7 และสมการที่ 8 ได้ทดสอบสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการทดสอบ กำหนดขอบเขตของการทดสอบการวัดปริมาณค่าออกซิเจนละลายในน้ำโดยที่อุณหภูมิ 20 $^{\circ}\text{C}$ และ 23 $^{\circ}\text{C}$ จะทดสอบด้วยสมการที่ 7 ขณะที่ช่วงอุณหภูมิ 26 $^{\circ}\text{C}$ 29 $^{\circ}\text{C}$ และ 32 $^{\circ}\text{C}$ จะใช้สมการที่ 8 ในการทดสอบ ส่วนระดับปริมาณค่าออกซิเจนละลายในน้ำที่ใช้ในการทดสอบจะอยู่ในช่วง 2 3 4 5 6 7 และ 8 mg/L ผลการทดสอบสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้น ได้ผลของการประมาณค่าออกซิเจนละลายในน้ำดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ทดสอบด้วยสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์และค่าความผิดพลาด

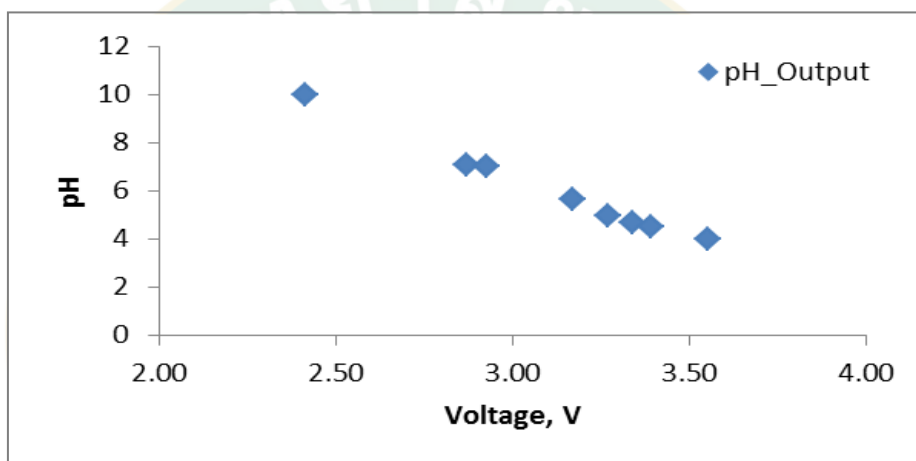
ปริมาณ DO (mg/L)	ค่า DO ที่ทดสอบสมการด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์ ที่อุณหภูมิต่างๆ									
	20°C		23°C		26°C		29°C		32°C	
	ค่าวัด ได้	% ผิดพลาด	ค่าวัด ได้	% ผิดพลาด	ค่าวัด ได้	% ผิดพลาด	ค่าวัดได้	% ผิดพลาด	ค่าวัด ได้	% ผิดพลาด
8	8.14	1.69	8.02	0.30	7.90	1.21	NA	NA	NA	NA
7	7.03	0.36	6.86	1.93	6.82	2.60	7.35	4.95	NA	NA
6	5.92	1.40	5.86	2.38	5.73	4.44	6.37	6.09	5.99	0.18
5	4.87	2.61	4.82	3.60	4.68	6.46	4.97	0.56	4.76	4.74
4	3.86	3.62	3.81	4.67	3.74	6.62	3.97	0.87	3.76	6.01
3	2.97	1.08	2.93	2.39	2.94	1.14	3.11	3.79	2.89	3.66
2	2.21	10.33	2.20	9.80	2.05	2.54	2.18	9.23	2.09	4.37
ค่าเฉลี่ย	-	3.01	-	3.58	-	3.72	-	4.25	-	3.79

จากการทดสอบผลทางสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น พบว่า มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงที่ได้กำหนด มีค่าความผิดพลาดตลอดของช่วงอุณหภูมิ 20 °C ถึง 32 °C เฉลี่ยน้อยกว่า 5% ซึ่งถือว่าสามารถยอมรับได้ โดยการนำไปใช้งานจริงสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์จะถูกโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ซึ่งจะถูกอ่านเป็นค่าสัญญาณนอกผ่านวงจรรขยาย แล้วนำมาคำนวณด้วยสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว

ข้อสังเกตประการหนึ่งพบว่า อุณหภูมิในน้ำที่สูง ความสามารถของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีค่าน้อย ต่ำกว่าอุณหภูมิในน้ำที่ต่ำ ทำให้บางช่วงของการทดลองสำหรับการสร้างสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ ไม่สามารถจำลองปริมาณออกซิเจนในช่วงอุณหภูมิในน้ำที่สูงดังกล่าวได้ นอกจากนั้น ช่วงปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ปริมาณต่ำ จะมีค่าความผิดพลาดในการอ่านค่ามาก เนื่องจากเอาท์พุทของหัววัด ไม่ได้มีความสัมพันธ์หรือมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันตลอดทั้งช่วง ทำให้เมื่อสร้างสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาจึงมีบางช่วงของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่มีความสัมพันธ์น้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงด้านต่ำ

2.2 การสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัด ความเป็นกรด-ด่าง

ขณะที่การตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง อาศัยชุดโมดูลหัวโพรบวัด pH รุ่น BN-201 ที่มีความสามารถวัดค่าความเป็นกรด-ด่างได้ตั้งแต่ 1-14 ระดับ ให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตแบบอนาล็อกอยู่ระหว่าง 0.5-4.5 V ในการสอบเทียบชุดหัวโพรบได้เลือกใช้สารละลายบัฟเฟอร์ ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างที่ 4-7 และ 10 รวมถึงสารละลายบัฟเฟอร์ pH ที่ถูกเจือจางด้วยน้ำกลั่น มีค่าระหว่าง pH ค่า 4-7 และ 7-10 มาใช้ทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันเอาต์พุตไฟฟ้าต่อระดับความเป็นกรด-ด่าง โดยค่าที่อ่านได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิงระดับความเป็นกรด-ด่าง ยี่ห้อ Lutron-2017SD ที่ใช้หัววัด pH รุ่น BN-201 เป็นหัวโพรบตรวจวัด ผลการสอบเทียบแสดงในภาพที่ 61



ภาพที่ 61 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดันเอาต์พุตกับระดับ pH

จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตไฟฟ้าต่อระดับ pH พบว่า ได้ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ดี โดยมีค่าความสัมพันธ์ดังสมการที่ 9

$$\text{pH} = -5.3946 * V + 22.8 \quad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ pH คือ ระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH)
V คือ แรงดันเอาต์พุตไฟฟ้าของหัวโพรบ (V)

จากการหาความสัมพันธ์ของระดับ pH ต่อแรงดันเอาต์พุตไฟฟ้าข้างต้น งานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการทดสอบ ซึ่งกำหนดขอบเขตของการทดสอบระดับ pH ที่ 4-10 เป็นช่วงที่ได้ใช้ในการสร้างสมการสอบเทียบ ผลการทดสอบสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ได้ผลของระดับ pH ดังแสดงในตารางที่ 11

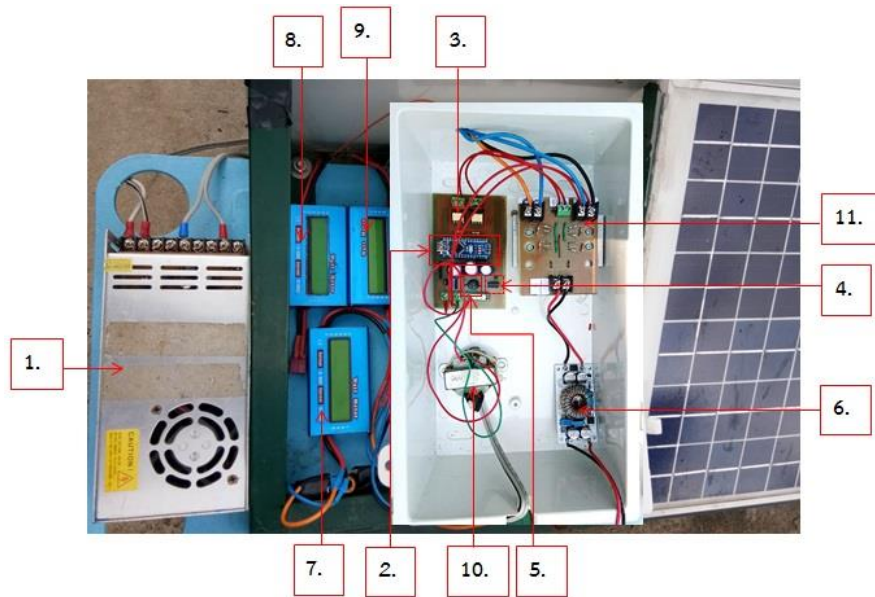
ผลการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง หรือค่า pH จากสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น ดังสมการที่ 9 พบว่า มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงที่ได้กำหนด โดยมีค่าความผิดพลาดตลอดช่วง ระดับการวัดเฉลี่ยค่อนข้างน้อยเฉลี่ย 2.71% อย่างไรก็ตามที่ระดับค่า pH ต่ำ อาจมีค่าความผิดพลาดสูงเนื่องจากเกือบจะเป็นช่วงบริเวณของการประมาณนอกช่วงหรือ Extrapolate แต่ในภาพรวมถือว่า ความผิดพลาดยังค่อนข้างต่ำ ข้อสังเกตอีกประการหนึ่ง พบว่า การวัดระดับ pH สำหรับบริเวณบ่อเลี้ยงปลายังไม่ค่อยมีความจำเป็นมากนัก เนื่องจากสภาพความเป็นกรด-ด่างของบริเวณบ่อน้ำโดยรวมค่อนข้างมีการเปลี่ยนแปลงน้อย การวัดคุณภาพน้ำจึงมุ่งเน้นการวัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเป็นหลัก

ตารางที่ 11 แสดงระดับ pH ที่ทดสอบด้วยสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์และค่าความผิดพลาด

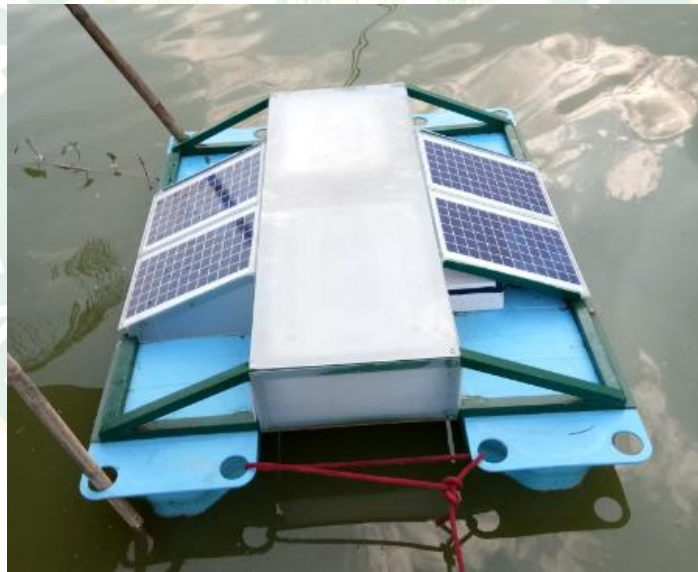
ระดับ pH	แรงดันเอาต์พุตไฟฟ้า (Voltage)	ค่าที่ อ่านได้	ค่าความผิดพลาด (%)
4.0	3.55	3.65	8.77
4.5	3.45	4.19	6.92
5.0	3.33	4.84	3.28
5.5	3.22	5.43	1.28
6.0	3.19	5.59	6.81
6.5	3.01	6.56	0.96
7.0	2.92	7.05	0.68
7.5	2.82	7.59	1.16
8.0	2.74	8.02	0.23
8.5	2.64	8.56	0.69
9.0	2.54	9.10	1.09
9.5	2.46	9.53	0.31
10.0	2.43	9.69	3.09
ค่าเฉลี่ย			2.71

2. ผลการออกแบบเทคนิคการจ่ายพลังงานให้กับระบบออกซิเจนแบบฟุนลอยน้ำ

จากการออกแบบเทคนิคการจ่ายพลังงานให้กับระบบออกซิเจนแบบฟุนลอยน้ำ โดยมีโครงสร้างต้นแบบและส่วนประกอบหลักๆ ดังแสดงในภาพที่ 62



(ก) การประกอบเครื่องมือแหล่งจ่ายพลังงานให้กับทุ่นตรวจวัดฯ



(ข) ติดตั้งระบบจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนได้ในตัวทุ่นตรวจวัดฯ

ภาพที่ 62 ระบบจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ

จากภาพที่ 62 (ก) อธิบายส่วนประกอบต่างๆ ระบบจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

หมายเลข 1 สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย ขนาด 12 V จ่ายกระแสสูงสุดที่ 30 A ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานส่วนของระบบไฟฟ้าพื้นฐานให้กับระบบ โดยจะถูกแปลงจาก 220 VAC เป็น 12 VAC

หมายเลข 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino รุ่น Micro ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับโหลด โดยการสร้างสัญญาณพัลส์ให้ขั้ววงจรขับมอสเฟต

หมายเลข 3 IC TIP250 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ใหญ่ขึ้น เพื่อไปขับมอสเฟตให้ทำงาน

หมายเลข 4 IC มอสเฟต เบอร์ IRF9540N ทำหน้าที่เลือกแหล่งจ่ายระหว่าง 2 แหล่งจ่าย เช่น ระบบไฟฟ้าพื้นฐาน และระบบเซลล์แสงอาทิตย์

หมายเลข 5 ไดโอดขนาด 20 A ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายอีกฝั่งขณะที่กำลังทำงาน

หมายเลข 6 วงจรควบคุมแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น XL4015 ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับโหลด

หมายเลข 7 วัดต์มิเตอร์ รุ่น 0 – 60 V 100 A ทำหน้าที่วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

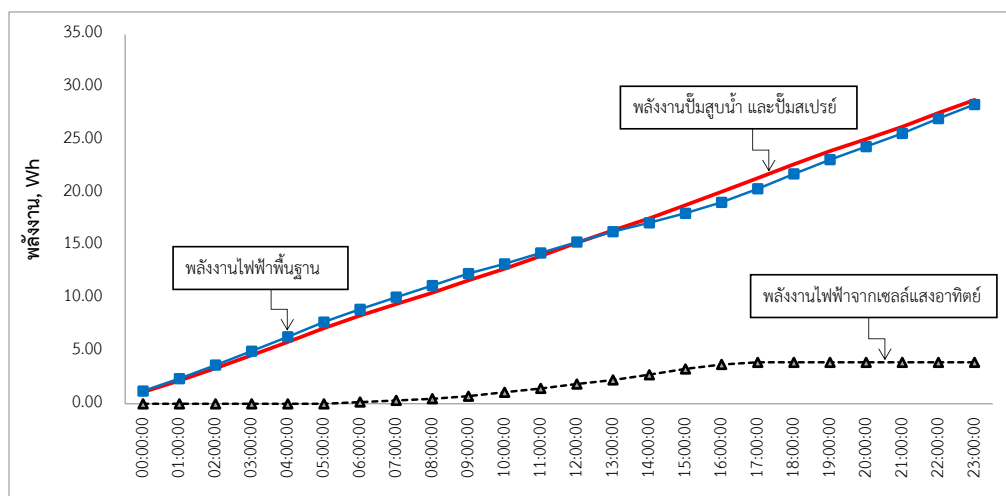
หมายเลข 8 วัดต์มิเตอร์ รุ่น 0 – 60 V 100 A ทำหน้าที่วัดค่ากำลังไฟฟ้าพื้นฐาน

หมายเลข 9 วัดต์มิเตอร์ รุ่น 0 – 60 V 100 A ทำหน้าที่วัดค่ากำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

หมายเลข 10 หม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 6-0-6 VAC ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานในการเลี้ยงวงจรขับมอสเฟต

หมายเลข 11 วงจรวงจรเรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าจากหม้อแปลงให้เป็นกระแสตรงเพื่อใช้ในวงจรขับมอสเฟต

จากการทดสอบจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยแสดงในภาพที่ 63 ประกอบด้วย ภาชนะทางไฟฟ้า ได้แก่ บั๊มสูบน้ำ บั๊มสเปรย์ พลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน และพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีการทดสอบในช่วงเดือนสิงหาคม 2561 ซึ่งจะทำงานตลอด 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 63 พลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบฟูลลอยน้ำ

จากภาพที่ 63 ผลการทดสอบจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบฟูลลอย โดยระบบตรวจวัดจะทำงานทุกๆ 30 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง พบว่า พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบฟูลลอยน้ำ ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากปั้มน้ำและปั้มน้ำสเปรย์เท่ากับ 355.03 kWh แบ่งใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานและใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 353.12 kWh และ 45.66 kWh ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการจ่ายพลังงานให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนเท่ากับ 89.03% ซึ่งสามารถผลการทดสอบในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ข้อมูลการทดสอบพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบฟูลลอยน้ำ

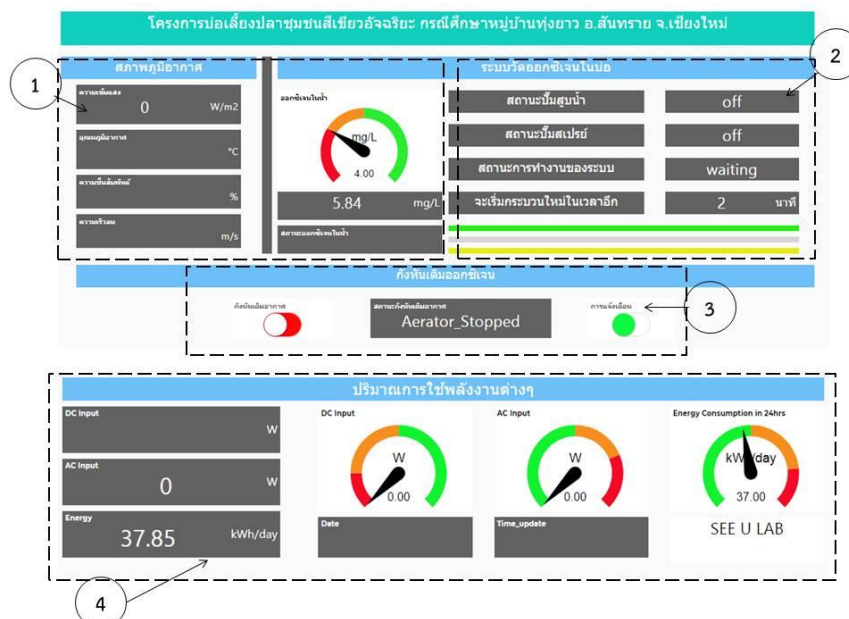
เวลา	พลังงานไฟฟ้ารวม ปั้มน้ำและปั้มน้ำ สเปรย์ (Wh)	พลังงาน ไฟฟ้าพื้นฐาน (Wh)	พลังงาน ไฟฟ้าเซลล์ แสงอาทิตย์ (Wh)	ประสิทธิภาพ การจ่ายพลังงาน ให้กับฟูลฯ (%)
00:00:00	1.11	1.21	0.00	91.95
01:00:00	2.19	2.38	0.00	91.84
02:00:00	3.37	3.66	0.00	92.04
03:00:00	4.60	4.99	0.00	92.21
04:00:00	5.86	6.34	0.00	92.34
05:00:00	7.16	7.74	0.00	92.47
06:00:00	8.35	8.96	0.17	91.48
07:00:00	9.45	10.11	0.32	90.68
08:00:00	10.52	11.21	0.48	90.02
09:00:00	11.71	12.35	0.72	89.58
10:00:00	12.80	13.26	1.09	89.16

เวลา	พลังงานไฟฟ้ารวม ปั๊มสูบน้ำ และปั๊ม สเปรย์ (Wh)	พลังงาน ไฟฟ้าพื้นฐาน (Wh)	พลังงาน ไฟฟ้าเซลล์ แสงอาทิตย์ (Wh)	ประสิทธิภาพ การจ่ายพลังงาน ให้กับพุ่มฯ (%)
11:00:00	14.00	14.30	1.45	88.89
12:00:00	15.26	15.33	1.88	88.70
13:00:00	16.44	16.32	2.26	88.48
14:00:00	17.58	17.16	2.75	88.28
15:00:00	18.83	18.06	3.30	88.17
16:00:00	20.09	19.09	3.73	88.07
17:00:00	21.38	20.37	3.93	87.99
18:00:00	22.70	21.78	3.93	88.28
19:00:00	23.95	23.13	3.93	88.50
20:00:00	25.09	24.37	3.93	88.66
21:00:00	26.25	25.62	3.93	88.81
22:00:00	27.56	27.03	3.93	89.01
23:00:00	28.79	28.37	3.93	89.16
ผลรวมพลังงาน	355.03 (kWh)	353.12 (kWh)	45.66 (kWh)	89.03

ผลแสดงข้อมูลทางกายภาพผ่านระบบ Cloud server

1. ผลแสดงข้อมูลทางกายภาพผ่านระบบ Cloud server

ผลการศึกษาในส่วนนี้แสดงถึงข้อมูลระบบเดิมออกซิเจนต้นแบบผ่านการควบคุมการทำงาน ของระบบควบคุมอัจฉริยะที่สร้างขึ้น ประกอบด้วย ข้อมูลตรวจวัดจากระบบควบคุมการใช้พลังงาน ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน และข้อมูลจาก ระบบตรวจวัดออกซิเจน ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในระบบ Cloud server ของ Anto.io ซึ่ง แสดงผลเป็นแบบ Real time ดังแสดงในภาพที่ 64



ภาพที่ 64 หน้าต่างแสดงผลการตรวจวัดผ่าน Cloud server (Anto.io)

จากภาพที่ 64 หน้าต่างแสดงผลการตรวจวัดผ่าน Cloud server (Anto.io) สามารถอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

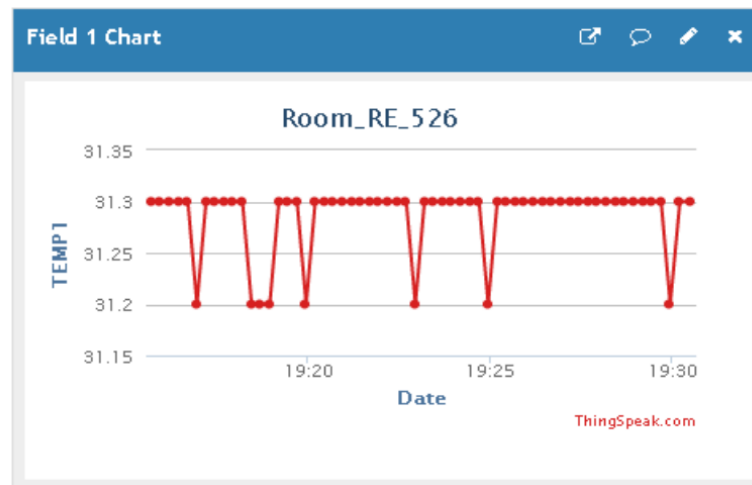
หมายเลข 1 การแสดงผลสภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย ความเข้มรังสีอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม

หมายเลข 2 แสดงค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ได้จากการตรวจวัดผ่านหัววัดและระบบที่พัฒนาขึ้น และสถานะการทำงานของระบบตรวจวัดออกซิเจน สถานะของปั้มน้ำทั้งปั้มนุดน้ำ (Submersed pump) และปั้มน้ำทำความสะอาดหัววัด (Spray pump)

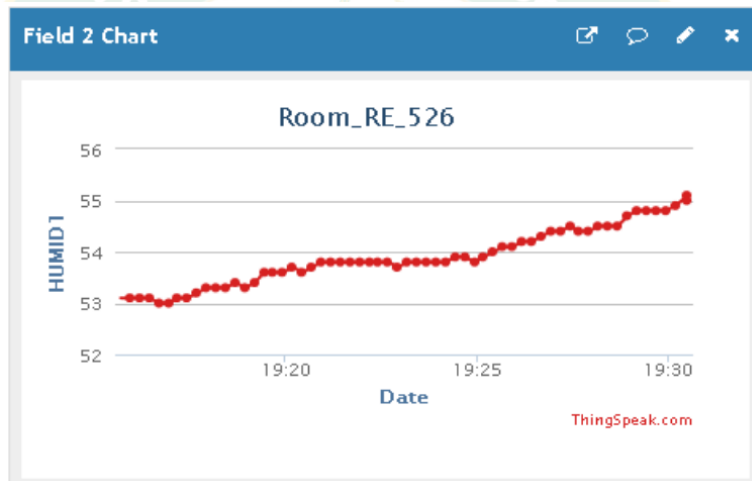
หมายเลข 3 แสดงการแจ้งเตือนของระบบควบคุมกังหันเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลา และแสดงสถานะการทำงานของบ่อเลี้ยงปลา เช่น กำลังเติมอากาศ หยุดเติมอากาศ หรือมีข้อบกพร่องของเครื่องเติมอากาศ

หมายเลข 4 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของบ่อเลี้ยงปลาจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐาน

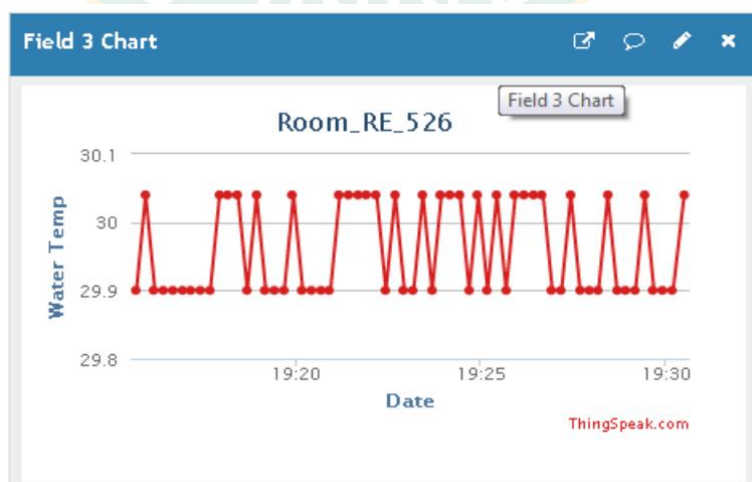
และเก็บข้อมูลแบบระยะยาวในระบบ Cloud ชื่อ Thingspeak ซึ่งเป็นผู้ให้บริการแบบ Free cloud server ทุกๆ 1 นาที ข้อมูลต่างๆ ที่ถูกบันทึกข้อมูลดังภาพที่ 65



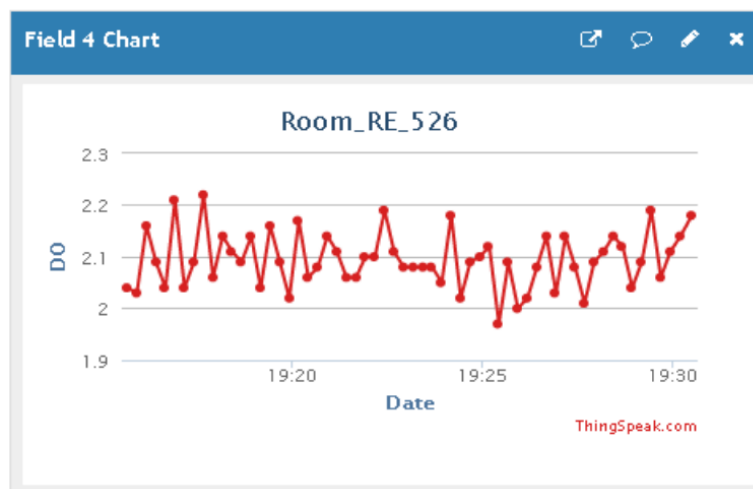
(ก) ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิแวดล้อม



(ข) ข้อมูลการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อม



(ค) ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิในน้ำ



(ง) ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ
ภาพที่ 65 หน้าต่างเก็บบันทึกผลการตรวจวัดบน Thingspeak.com

จากภาพที่ 65 หน้าต่างเก็บบันทึกผลการตรวจวัดบน Thingspeak ประกอบด้วย ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิแวดล้อมแสดงในภาพที่ 65 (ก) ข้อมูลการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อมแสดงในภาพที่ 65 (ข) ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิในน้ำแสดงในภาพที่ 65 (ค) และแสดงข้อมูลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำแสดงในภาพที่ 65 (ง)

2. ผลการแจ้งเตือนการตรวจวัดออกซิเจนผ่านแอปพลิเคชัน LINE

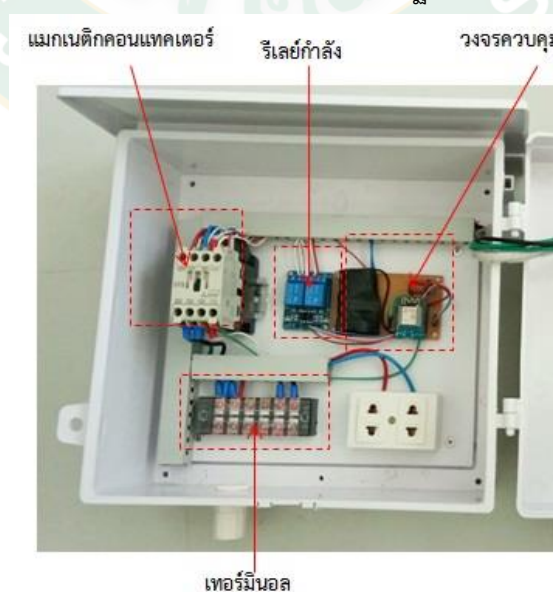
ผลการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE แสดงในภาพที่ 66 โดยเมื่อทำการร้องรับบริการผ่านระบบ LINE Bot เรียบร้อยแล้ว ระบบจะแจ้งเตือนผ่านทาง LINE User และ LINE ID ที่ร้องขอรับบริการไว้ ได้ถูกอนุญาตให้เชื่อมต่อกับ LINE Bot เพื่อสามารถจัดส่งข้อความไปยังปลายทางผู้ใช้ได้ และเมื่อระบบตรวจวัด ทำการตรวจวัดและประมวลผลได้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้งานกำหนดให้ระบบมีการแจ้งเตือนสถานะ LINE Bot จะทำหน้าที่จัดส่งข้อความแจ้งเตือนไปยัง LINE Notify ซึ่งเป็นช่องทางแบบ Official ของแอปพลิเคชัน LINE สำหรับส่งข้อความจากผู้ให้บริการ LINE ไปยังปลายทาง เช่น การแจ้งเตือนเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่ำกว่าปกติ หรือการแจ้งเตือนเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำกลับสู่ภาวะปกติ ซึ่งแสดงถึงระบบควบคุมอัจฉริยะสามารถสั่งการให้กักหน้ในในระบบเติมออกซิเจนทำงาน



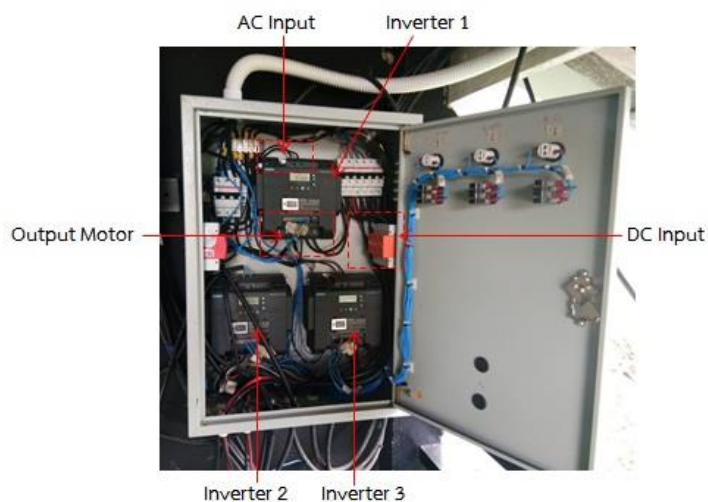
ภาพที่ 66 การแจ้งเตือนโดยใช้แอปพลิเคชัน LINE

ผลการออกแบบระบบควบคุมสำหรับการเติมอากาศ

ผลการออกแบบระบบควบคุมเปิด-ปิด เครื่องเติมอากาศแบบอัจฉริยะ ประกอบด้วย วงจรควบคุม โดยทำหน้าที่รับข้อมูลของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำผ่าน Cloud server เพื่อใช้ในการตัดสินใจเปิดหรือปิด รีเลย์กำลังสำหรับป้อนแรงดันไฟเลี้ยงไปยังชุดแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ผ่านทางจุดเชื่อมต่อเทอร์มินอลแสดงผลในภาพที่ 67 (ก) กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ระบบเติมอากาศจะถูกควบคุมด้วยระบบจ่ายไฟฟ้าสำหรับเครื่องเติมอากาศ ซึ่งอาศัยอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แบ่งปันกำลังไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และไฟฟ้าพื้นฐานแสดงดังภาพที่ 67 (ข)



(ก) ทางจุดเชื่อมต่อเทอร์มินอลวงจรควบคุมเปิด-ปิด



(ข) จ่ายไฟฟ้าให้เครื่องเติมอากาศ

ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัตโนมัติ ระบบจ่ายไฟให้เครื่องเติมอากาศ



(ค) ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะและระบบจ่ายไฟฟ้าสำหรับเครื่องเติมอากาศ

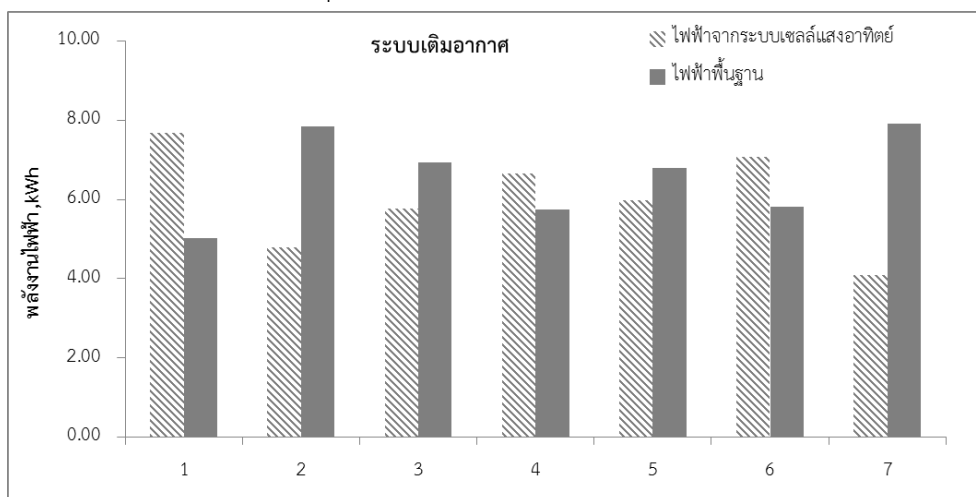
ภาพที่ 67 ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ ณ บ่อเลี้ยงปลา

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ

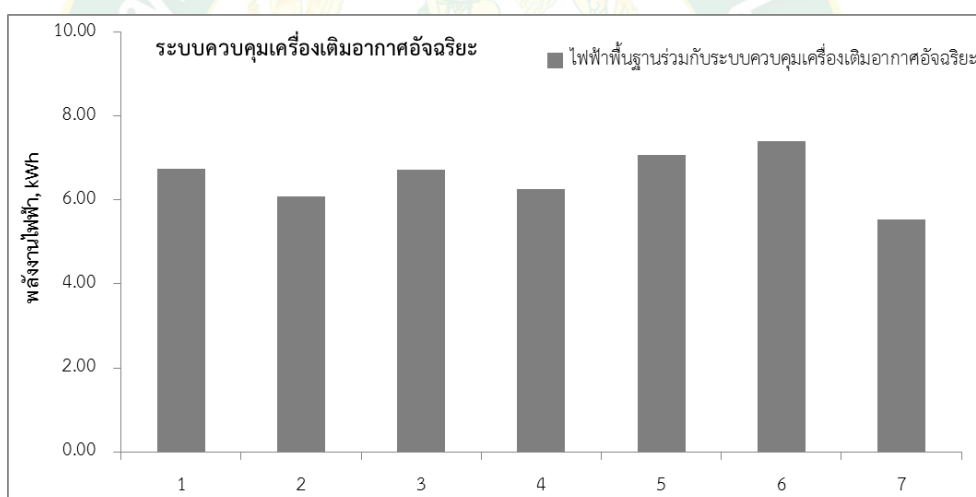
การวิเคราะห์ผลทางพลังงานของระบบเติมอากาศ ทดสอบในเดือนสิงหาคม 2561 รวมระยะ 7 วัน โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ กลางวันและกลางคืน ดังต่อไปนี้

ช่วงเวลากลางวัน จะพิจารณาการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศ ตั้งแต่เวลา 10:00-18:00 น. ที่เจ้าของบ่อเป็นผู้กำหนดเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ มีการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า พื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในภาพที่ 68 (ก) ส่วนช่วงเวลากลางคืน จะพิจารณาการ

ใช้พลังงานของระบบเติมอากาศ ตั้งแต่เวลา 18:00-6:00 น. มีการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานที่ทำงานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะแสดงในภาพที่ 68 (ข)



(ก) สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าในระบบเติมอากาศ เวลากลางวัน



(ข) สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าในระบบเติมอากาศ เวลากลางคืน

ภาพที่ 68 สัดส่วนการพลังงานไฟฟ้าในระบบเติมอากาศ ช่วงเวลากลางวัน (ก) และช่วงเวลากลางคืน (ข)

จากภาพที่ 68 ช่วงเวลากลางวันใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบเติมอากาศ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานเท่ากับ 6.01 และ 6.58 kWh ตามลำดับ สามารถลดการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศลงได้เฉลี่ย 47.65% ส่วนในช่วงเวลากลางคืนใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบเติมอากาศ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ พบว่า ใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานและพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศเท่ากับ 6.55 และ

11.23 kWh ตามลำดับ สามารถประหยัดการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศลงได้เฉลี่ย 36.84% ซึ่งสามารถผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบเติมอากาศในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบเติมอากาศ ช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน

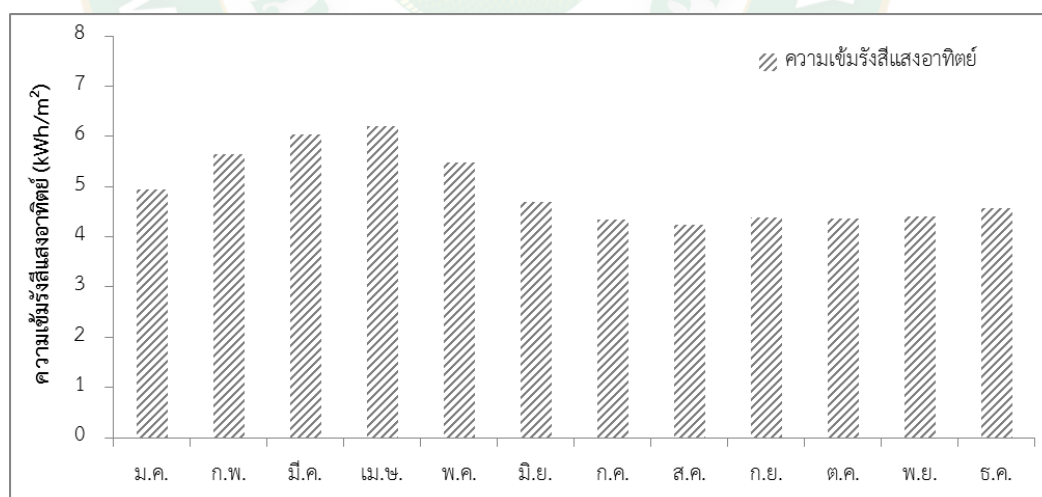
Date	Day time			Night time		
	DC	AC	DCAC	AC	AC + DO Sensor	ACDO Sensor
	(kWh)	(kWh)	Ratio %	(kWh)	(kWh)	Ratio %
1	7.69	5.02	60.48	11.55	6.74	36.84
2	4.81	7.84	38.04	10.42	6.08	36.84
3	5.78	6.93	45.50	11.53	6.73	36.84
4	6.66	5.75	53.66	10.75	6.27	36.84
5	5.98	6.79	46.85	12.14	7.08	36.84
6	7.08	5.80	54.96	12.71	7.41	36.84
7	4.09	7.92	34.08	9.51	5.55	36.84
Ave.	6.01	6.58	47.65	11.23	6.55	36.84

หมายเหตุ: AC DO Sensor คือ พิจารณาเริ่มใช้เมื่อปริมาณออกซิเจนที่ต่ำกว่า 3 mg/L หรือเวลา 23:00-06:00 น.

เนื่องจากระยะเวลา 7 วันที่ได้เก็บข้อมูลนั้นไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ทางผู้วิจัยจึงได้ประเมินผลเป็นแบบรายปี โดยอาศัยข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงในตารางที่ 14 เป็นการจำลองสถานการณ์การใช้พลังงานระบบเติมอากาศแบบรายปี โดยแบบจำลองจะอาศัยค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีที่เก็บโดยองค์การ NASA (Surface meteorology and Solar Energy database) ดังแสดงในภาพที่ 69 (ก) และมีพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 m² ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์สำหรับเติมอากาศรายวัน จากนั้นนำมาหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อได้ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนำไปประเมินผลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเติมอากาศแบบรายปี สำหรับใช้ในกรณีที่เจ้าของบ่อเป็นผู้กำหนดเวลาเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ

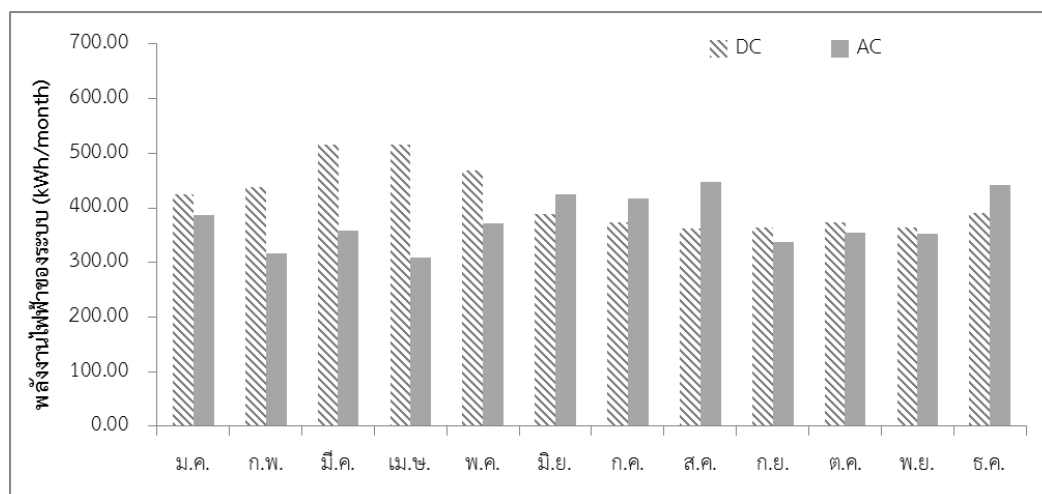
ตารางที่ 14 ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เดือน	ความเข้ม	ระบบเติมอากาศ			
	รังสี	พลังงาน	พลังงาน	พลังงาน	พลังงาน
	แสงอาทิตย์ kWh/m ²	DC kWh/day	DC kWh/month	AC kWh/day	AC kWh/month
ม.ค.	4.95	13.69	424.29	12.46	386.15
ก.พ.	5.65	15.62	437.42	11.33	317.27
มี.ค.	6.03	16.67	516.86	11.57	358.65
เม.ษ.	6.21	17.17	515.12	10.32	309.62
พ.ค.	5.47	15.12	468.86	11.96	370.85
มิ.ย.	4.69	12.97	389.04	14.16	424.91
ก.ค.	4.35	12.03	372.86	13.49	418.13
ส.ค.	4.23	11.70	362.57	14.46	448.15
ก.ย.	4.38	12.11	363.32	11.23	336.93
ต.ค.	4.37	12.08	374.58	11.47	355.55
พ.ย.	4.4	12.17	364.98	11.76	352.89
ธ.ค.	4.57	12.64	391.72	14.26	442.17



(ก) ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือน

แหล่งที่มา: NASA: Surface meteorology and Solar Energy database



(ข) ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเติมอากาศในแต่ละเดือน

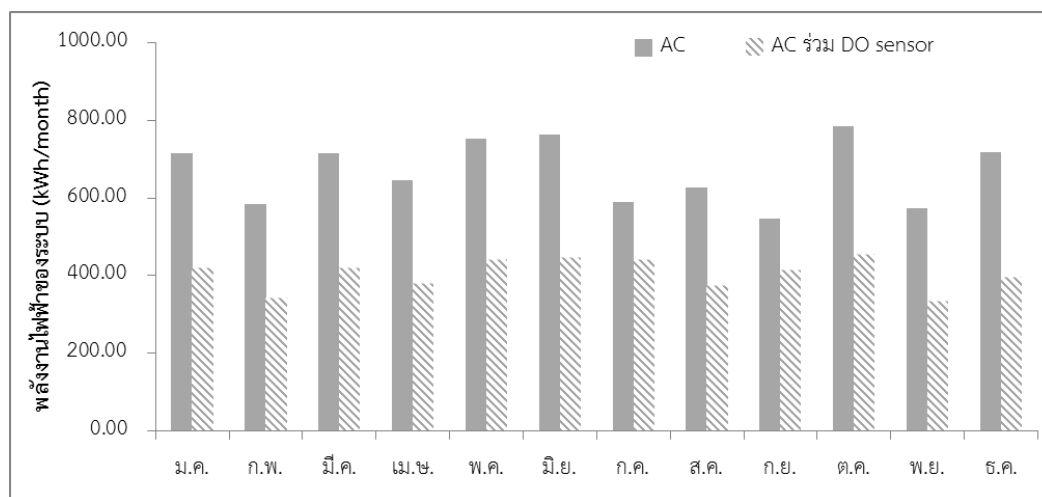
ภาพที่ 69 ผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเติมอากาศในรอบ 1 ปี

จากการประเมินการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อาศัยฐานข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์จากองค์การ NASA แล้วสร้างแบบจำลองของระบบเติมอากาศขึ้นมา โดยพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 m^2 พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 17% จากนั้นนำมาประเมินผลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเติมอากาศแบบรายปี กรณีที่เจ้าของบ่อเป็นผู้กำหนดเวลาเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ สามารถแสดงในภาพที่ 69 (ข) การจำลองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเติมอากาศ พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 810.44 kWh/month โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 424.29 kWh/month และใช้พลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานเฉลี่ย 386.15 kWh/month โดยในเดือนเมษายนจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์อาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 515.12 kWh/month และใช้พลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานต่ำสุดเท่ากับ 309.62 kWh/month จากการวิเคราะห์พบว่า ระบบเติมอากาศมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 62% เนื่องจากเดือนเมษายนมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รวมค่อนข้างสูงเนื่องจากเป็นฤดูร้อน ไม่มีเมฆปกคลุมในภาพที่ 69 (ก) ในขณะที่เดือนเดือนกรกฎาคม-สิงหาคมจะเป็นช่วงที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ต่ำที่สุด เนื่องจากเดือนกรกฎาคม-สิงหาคมอยู่ในช่วงฤดูฝน มีเมฆปกคลุมในพื้นที่ จึงทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ำสุดมีค่าประมาณ 372.86 kWh/month และใช้พลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานประมาณ 418.13 kWh/month

เมื่อพิจารณาระบบเติมอากาศที่เจ้าของบ่อเป็นผู้กำหนดเวลาเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี พบว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบเติมอากาศเท่ากับ $4,981.62 \text{ kWh/year}$ ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4.5 Baht คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า $22,417.31 \text{ Baht/year}$ มีการลงทุน

ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 150,000 บาท และคิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 6.69 ปี โดยมีรายละเอียดสรุปดังตารางที่ 15

ส่วนระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ อาศัยค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจากระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบทุ่นลอยน้ำ มาเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจสั่งเปิดหรือปิดเครื่องเติมอากาศ สามารถแสดงการจำลองพลังงานไฟฟ้าในระบบเติมอากาศในภาพที่ 70



ภาพที่ 70 ผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะในรอบ 1 ปี

จากภาพที่ 70 แสดงการจำลองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะพบว่า สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานในระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 417.75 kWh/month โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานเฉลี่ย 716.15 kWh/month และเมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานในระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะตลอดทั้งปีพบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานในเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะเท่ากับ 4,837.14 kWh/year คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 21,767.12 Baht/year ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะมีงบลงทุนเท่ากับ 40,000 บาท สามารถคิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 1.84 ปี โดยมีรายละเอียดสรุปดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลประหยัดที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้กับระบบเติมออกซิเจน และระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ

ระบบ	พลังงานไฟฟ้าจาก ระบบไฟฟ้า พื้นฐาน (kWh/year)	พลังงานไฟฟ้าจาก ระบบเซลล์ แสงอาทิตย์ (kWh/year)	พลังงานไฟฟ้า จากระบบไฟฟ้า พื้นฐานร่วม ระบบควบคุม เครื่องเติมอากาศ อัจฉริยะ (kWh/year)	คิดเป็นเงินที่ ประหยัดได้ (Baht/year)	เงิน ลงทุน (Baht)	ระยะเวลา คืนทุน (ปี)
ระบบเติมอากาศ	4,521.27	4,981.62		22,417.31	100,000	6.69
ระบบควบคุมเครื่อง เติมอากาศอัจฉริยะ	8,014.81	-	4,837.12	21,767.12	40,000	1.84

หมายเหตุ: คิดค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.5 Baht/unit

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. ผลการพัฒนาาระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม สามารถตรวจวัดค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นแวดล้อม รวมถึงผลการตรวจค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 11:00–13:00 น. จากนั้น ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะค่อยๆ ลดลง อุณหภูมิแวดล้อม พบว่ามีอุณหภูมิต่ำในตอนเช้า และมีอุณหภูมิสูงตอนบ่าย ความชื้นสูงในตอนเช้ากับกลางคืน และความชื้นต่ำในตอนกลางวัน ส่วนปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ พบว่าช่วงเวลาเช้ามีค่าก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าต่ำ แล้วค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นในตอนกลางวันจนมีค่าสูงสุดในตอนบ่าย และในช่วงเวลากลางคืนทำให้ออกซิเจนค่อยๆ ลดลงอีกครั้ง และความเป็นกรด-ด่างในบ่อเลี้ยงสัตว์ปลาตลอด 24 ชั่วโมง คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.7

ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ พบว่า ผลประหยัดทางพลังงานในช่วงเวลากลางวันที่ใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เจ้าของบ่อเป็นผู้กำหนดเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ มีการใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และไฟฟ้าพื้นฐานเท่ากับ 6.01 และ 6.58 kWh สามารถลดการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศลงได้เฉลี่ย 47.65% และในช่วงเวลากลางคืนที่ใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศ ที่อาศัยระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศเข้ามาจัดการ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานและไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศ เท่ากับ 11.23 และ 6.55 kWh สามารถประหยัดพลังงานของระบบเติมอากาศได้เฉลี่ย 36.84%

2. ผลวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ระบบเติมอากาศ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 6.69 ปี และระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ โดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติ มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 1.84 ปี

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบฟูลอยน้ำ ในส่วนการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ เนื่องจากสัญญาณรบกวน 50 Hz ในน้ำจากเครื่องกักกันสำหรับเติมอากาศในบ่อปลา จึงขอเสนอแนะอุปกรณ์เครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนที่ควรมีการออกแบบและสร้างวงจรป้องกันสัญญาณที่มารบกวนระบบตรวจวัดออกซิเจน เพื่อจะได้ผลการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2. การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา ในช่วงกลางวันมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูง ดังนั้นไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานจ่ายให้กับระบบเติมอากาศ ขอเสนอแนะควรที่จะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวสำหรับจ่ายพลังงานให้กับเครื่องเติมอากาศ เพื่อลดการใช้พลังงานจากไฟฟ้าพื้นฐาน

3. ระบบควบคุมการเปิด-ปิด เครื่องเติมอากาศอัจฉริยะ อาศัยข้อมูลการตรวจวัดออกซิเจนแบบฟูลอยน้ำมาเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจเปิดหรือปิด เครื่องเติมอากาศ เพื่อเป็นทางเลือกให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา สามารถใช้ระบบควบคุมการเปิด-ปิด เครื่องเติมอากาศมาช่วยในการสั่งการทำงาน ของระบบเครื่องเติมอากาศได้อัตโนมัติ

บรรณานุกรม

- กองจัดการคุณภาพน้ำ. (2558). **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย**. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. หน้า 39.
- กীরดิษ สายพัทลุง. (2557). **ระบบควบคุมการเติมออกซิเจนแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้พลังงานทดแทนร่วม**. สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ไกรสร มิ่งฉาย, จักรพงษ์ ทักษะอาด และมณูญ เพชรอ้อด. (2551). **แผงทดลองการควบคุมมอเตอร์**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- คมกฤตย์ ชมสุวรรณ. (2554). **อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ควบคุมการทำงานด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลซึ่งให้ค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ต่ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จุฑาภรณ์ ชนะถาวร. (2559). **การพัฒนาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชนอย่างยั่งยืน**. พิมพ์ครั้งที่ 1/2559.วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- เฉลิมเกียรติ วงษ์เกย, สุริยันต์ มุขสิทธิ์, อติศักดิ์ วงสิงห์ และวิรงรอง แสงเดือน. (2558). **เครื่องเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเพาะพันธุ์ปลา**. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8, 4-6 พฤศจิกายน 2558, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ทันพงษ์ ภูรักษา. (ม.ป.ป.). **เอกสารประกอบการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น**. ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf (13 กุมภาพันธ์ 2560).
- ประพนธ์ ฝักอินทร์. (2549). **ระบบเตือนภัยการขาดออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า), สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรีชา มหาไม้, วรวิมล วิริยะ และพิสุทธิ์ เพชรสุวรรณ. (2557). **เครื่องเติมอากาศแบบกังหันใช้แสงพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานย้อนกลับสำหรับบ่อปลา**. วารสารนเรศวรพะเยา ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 พ.ค.-ส.ค. 2557, 142-150.
- มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (ม.ป.ป.). **ประกอบการเรียนการสอนวิชา อฟ.444 ไมโครโปรเซสเซอร์ใน**

- ระบบอัตโนมัติ. Arduino ESP8266 (Node MCU). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://narong.ece.engr.tu.ac.th/ei444/document/ESP8266.pdf> (14 กุมภาพันธ์ 2560).
- เลกะ คอร์ปอเรชั่น. (ม.ป.ป.). คู่มือการใช้งานเครื่องวัดคุณภาพน้ำ Lutron รุ่น WA-2017SD. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://legatool.com/media/wysiwyg/Manual-thai/Lutron/_Lutron_WA_2017SD_.pdf (14 กุมภาพันธ์ 2560).
- ศุภวรรณ สงวนรัตน์. (2548). การเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้พลังงานรังสีอาทิตย์. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมชัย หิรัญวโรดม. (2551). เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการประยุกต์ใช้งานระบบโพลีโวลตาอิก. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สมพล โคศรี. (2554). ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ทกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบเดี่ยวจากพลังงานทดแทน. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สถิติการประมง. (2559). สถิติการประมง ปี พ.ศ.2559. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.fishmarket.co.th/index.php/2015-09-29-03-11-01/693-2559> (15 กุมภาพันธ์ 60).
- ชนวัฒน์ นิลขาว. (2559). การออกแบบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้เทคนิคการแบ่งเวลาเพื่อชดเชยพลังงานภายในระบบ. สาขาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- Boyd, C. E. (1979). **Water Quality in Warmwater Fish Ponds**. Agriculture Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama.
- Chonmapat torasa, Ratchasak sannok, Weera chtithammarn, Somkiat korbuakaew and Nichanant sermsri. (2016). Solar Energy Aerator. **Proceedings of the IRES International Conference**, Seoul, South Korea, 30th-31st December 2016, ISBN: 978-93-86291-71-4.
- Chuanlin Jin, Bingxing Wang, Dongliu Jiang and Wei Jiang. (2011). Energy Conversion Stage Design of Solar Water Pump in a Nanofiltration System. **Energy Procedia** 12, 1049-1056.
- Dominic B. Solpico, Nathaniel J. C. Libatique, Gregory L. Tangonan, Paul M. Cabacungan,

- Guillaume Girardot, Ramon M. Macaraig, Teresita R. Perez and Andrea Teran. (2014). Solar-Powered Field Server and Aerator Development for Lake Palakpakin. **Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics**. Vol.18 No.5, 755-763.
- John C. Farrelly, Yushun Chena,b and Christopher Laskodia. (2016). Oxygenation zones in conventional and split earthen catfish ponds in eastern Arkansas. **Aquacultural Engineering** 75, 14–21.
- kittisak thuaprakon. (2556). **เซนเซอร์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://kittisakthuaprakon.blogspot.com/2013/07/sensor-sensor-g-sensor-accelerometer.html>. (14 กุมภาพันธ์ 2560).
- Ninetechno. (ม.ป.ป.) **Cloud service คืออะไร**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.ninetechno.com/a/website/1173-cloud-service-คืออะไร.html> (14 กุมภาพันธ์ 2560).
- Rajan Kumar. (2016). Solar PV Array Fed Water Pumping System Using SEPIC Converter Based BLDC Motor Drive. **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS**, VOL. 52, NO.3, 948-952.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.
วิธีการคำนวณ

วิธีการคำนวณ

1. การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบฟูลอยน้ำ

1.1 คำนวณขนาด solar charge controller

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของ solar charge} &= \frac{PV}{V_{\text{Battery}}} \\ &= \frac{40 \text{ W}}{12 \text{ V}} \\ &= 3.33 \text{ A} \end{aligned}$$

1.2 คำนวณแบตเตอรี่

การประเมินการใช้พลังงานในฟูลอยน้ำสามารถประเมินได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ปั๊มสูบน้ำ 1 วัน ทำงาน 24 ครั้งๆ ละ 2 นาที} &= 48 \text{ s} \times 36 \text{ W} \\ &= \frac{1,728}{60} = 28.8 \text{ Wh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปั๊มสเปรย์ 1 วัน ทำงาน 24 ครั้งๆ ละ 20 วินาที} &= 6 \text{ s} \times 18 \text{ W} \\ &= \frac{108}{60} = 1.8 \text{ Wh} \end{aligned}$$

พลังงานรวม ปั๊มสูบน้ำและปั๊มสเปรย์ เท่ากับ 30.6 Wh

$$\begin{aligned} \text{คำนวณแบตเตอรี่} &= \frac{\text{Total Energy (Wh)}}{V_{\text{Battery}}} \\ &= \frac{30.6 \text{ (Wh)}}{12 \text{ V}} \\ &= 2.55 \text{ Ah} \end{aligned}$$



ภาคผนวก ข.
ข้อมูลจากการทดสอบ

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและค่า pH

ตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและความเป็นกรด-ด่าง

เวลา	ออกซิเจนละลายในน้ำ		ความเป็นกรด-ด่าง	
	อุณหภูมิ (°C)	DO (mg/L)	อุณหภูมิ (°C)	pH
00:00:00	30	2.6	28.5	7.4
01:00:00	30	2.2	28.2	7.4
02:00:00	30	1.5	27.4	7.5
03:00:00	30	1.2	27.3	7.5
04:00:00	30	0.7	27.2	7.6
05:00:00	29	0.4	27.1	7.7
06:00:00	29	0.3	27.2	7.7
07:00:00	29	0.2	27	7.8
08:00:00	29	0.4	28.1	7.8
09:00:00	30	1.8	27.3	7.5
10:00:00	30	2.1	27.6	7.5
11:00:00	30	3.2	27.1	7.5
12:00:00	30	4.2	30.5	7.5
13:00:00	31	6.9	31	7.6
14:00:00	31	7.6	31.3	7.7
15:00:00	29	8.5	31.1	7.5
16:00:00	28	8.6	30.2	7.9
17:00:00	29	7.4	30.4	7.4
18:00:00	30	7.6	29.5	7.9
19:00:00	29	7.0	29.2	8.0
20:00:00	28	6.2	28.1	8.0
21:00:00	28	5.5	27.9	8.0
22:00:00	29	4.2	28	8.0
23:00:00	29	3.6	28.3	8.0

พลังงานไฟฟ้าให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบพุนลอยน้ำ
 ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงข้อมูลพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบพุนลอยน้ำ

วันที่	เวลา	กำลัง		ระยะเวลา		กำลังไฟฟ้า		ระยะเวลา		กำลัง		สัดส่วน		ไฟฟ้า	
		ไฟฟ้าปั๊ม	สูบน้ำ	ทำงาน	พักงาน	ปั๊มชำระ	หัววัด	ทำงาน	พักงาน	ไฟฟ้ารวม	ไฟฟ้าพื้นฐาน	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า
		(W)	(W)	(min)	(S)	(W)	(S)	(W)	(S)	(W)	(W)	(%)	(%)	(W)	(W)
	0:00	36.2		2	20	15.4	20	1.305				100	0	1.402	0.000
	1:00	35.8		2	20	12.8	20	1.277				100	0	1.374	0.000
	2:00	32.4		2	20	11.9	20	1.157				100	0	1.255	0.000
	3:00	32.4		2	20	14.6	20	1.173				100	0	1.270	0.000
	4:00	30.5		2	20	13.7	20	1.104				100	0	1.201	0.000
	5:00	32.9		2	20	19.4	20	1.216				100	0	1.314	0.000
	6:00	30.4		2	20	14.8	20	1.106				94	6	1.137	0.164
1	7:00	29.4		2	20	12.6	20	1.060				91	9	1.062	0.193
	8:00	32.6		2	20	13.4	20	1.173				85	15	1.094	0.273
	9:00	34.5		2	20	15.3	20	1.247				78	22	1.070	0.372
	10:00	35.2		2	20	15.2	20	1.270				68	32	0.961	0.504
	11:00	36.4		2	20	15.7	20	1.313				61	39	0.898	0.609
	12:00	30.5		2	20	16.4	20	1.119				58	42	0.746	0.567
	13:00	32.9		2	20	14.8	20	1.191				52	48	0.716	0.669
	14:00	30.4		2	20	12.5	20	1.094				58	42	0.731	0.556

วันที่	เวลา	กำลังไฟฟ้า		ระยะเวลา	กำลังไฟฟ้า ปั๊มชำระ	กำลัง	ระยะเวลา	สัดส่วน	สัดส่วน	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า
		กำลัง	ไฟฟ้า								
		กำลัง	ปั๊มชำระ	ทำงาน	หัววัด	ทำงาน	กำลัง	สัดส่วน	สัดส่วน	พื้นฐาน	โซล่า
		(W)	(W)	(min)	(W)	(S)	(W)	(%)	(%)	(W)	(W)
1	15:00	29.4	14.3	2	14.3	20	1.070	67	33	0.814	0.450
	16:00	32.6	14.5	2	14.5	20	1.179	84	16	1.087	0.286
	17:00	30.4	15.2	2	15.2	20	1.109	92	8	1.117	0.186
	18:00	29.4	15.4	2	15.4	20	1.076	97	3	1.141	0.130
	19:00	32.6	15.4	2	15.4	20	1.184	100	0	1.281	0.000
	20:00	34.5	12.9	2	12.9	20	1.234	100	0	1.331	0.000
	21:00	35.2	14.7	2	14.7	20	1.267	100	0	1.365	0.000
	22:00	36.4	14.5	2	14.5	20	1.307	100	0	1.404	0.000
	23:00	34.7	14.8	2	14.8	20	1.251	100	0	1.348	0.000
	2	0:00	30.4	15.6	2	15.6	20	1.111	100	0	1.208
1:00		29.4	15.4	2	15.4	20	1.076	100	0	1.173	0.000
2:00		32.6	15.3	2	15.3	20	1.183	100	0	1.280	0.000
3:00		34.5	12.4	2	12.4	20	1.231	100	0	1.328	0.000
4:00		35.2	12.9	2	12.9	20	1.257	100	0	1.355	0.000
5:00		36.4	13.4	2	13.4	20	1.301	100	0	1.398	0.000
6:00		32.9	14.8	2	14.8	20	1.191	94	6	1.216	0.169
7:00		30.4	14.5	2	14.5	20	1.105	95	5	1.147	0.152
8:00	29.4	14.2	2	14.2	20	1.069	94	6	1.102	0.161	

วันที่	เวลา	กำลัง ไฟฟ้าปั๊ม สูบน้ำ (W)	ระยะเวลา ทำงาน (min)	กำลังไฟฟ้า ปั๊มชำระ		กำลัง ไฟฟ้ารวม (W)	สัดส่วน ไฟฟ้าพื้นฐาน (%)	สัดส่วน ไฟโซล่า (%)	ไฟฟ้า พื้นฐาน (W)	ไฟฟ้า โซล่า (W)
				ทำงาน (min)	หัววัด (W)					
2	9:00	32.6	2	15.3	20	1.183	88	12	1.139	0.239
	10:00	30.4	2	11.9	20	1.090	75	25	0.915	0.370
	11:00	32.8	2	17.6	20	1.203	78	22	1.035	0.362
	12:00	34.9	2	15.2	20	1.260	74	26	1.030	0.425
	13:00	32.6	2	13.9	20	1.175	76	24	0.991	0.379
	14:00	31.5	2	14.5	20	1.142	65	35	0.839	0.497
	15:00	34.8	2	14.6	20	1.253	64	36	0.899	0.548
	16:00	35.1	2	14.7	20	1.264	74	26	1.033	0.426
	17:00	35.6	2	15.2	20	1.284	92	8	1.278	0.200
	18:00	36.8	2	14.2	20	1.318	100	0	1.416	0.000
	19:00	34.6	2	15.3	20	1.251	100	0	1.348	0.000
	20:00	31.9	2	11.9	20	1.141	100	0	1.238	0.000
	21:00	31.5	2	17.6	20	1.159	100	0	1.256	0.000
	22:00	36.4	2	15.2	20	1.311	100	0	1.408	0.000
23:00	34.4	2	13.9	20	1.236	100	0	1.333	0.000	
3	0:00	34.2	2	15.4	20	1.238	100	0	1.335	0.000
	1:00	34.9	2	12.8	20	1.247	100	0	1.344	0.000
	2:00	34.8	2	15.4	20	1.258	100	0	1.355	0.000

วันที่	เวลา	กำลังไฟฟ้าปั๊ม สูบน้ำ (W)	ระยะเวลา		กำลังไฟฟ้า ปั๊มชำระ หัววัด (W)	ระยะเวลา ทำงาน (min)	ระยะเวลา ทำงาน (s)	กำลัง ไฟฟ้ารวม (W)	สัดส่วน ไฟพื้นฐาน (%)	สัดส่วน ไฟโซล่า (%)	ไฟฟ้า พื้นฐาน (W)	ไฟฟ้า โซล่า (W)
			กำลัง	ระยะเวลา								
3	3:00	34.1	2	14.6	20	1.230	100	0	1.327	0.000	0.000	0.000
	4:00	36.1	2	13.7	20	1.292	100	0	1.389	0.000	0.000	0.000
	5:00	34.8	2	19.4	20	1.280	100	0	1.378	0.000	0.000	0.000
	6:00	34.6	2	14.8	20	1.248	94	6	1.270	0.172	0.172	0.172
	7:00	34.7	2	12.6	20	1.239	91	9	1.225	0.209	0.209	0.209
	8:00	34.5	2	13.4	20	1.237	85	15	1.148	0.283	0.283	0.283
	9:00	34.5	2	15.3	20	1.247	78	22	1.070	0.372	0.372	0.372
	10:00	35.2	2	15.2	20	1.270	68	32	0.961	0.504	0.504	0.504
	11:00	36.4	2	15.7	20	1.313	54	46	0.806	0.701	0.701	0.701
	12:00	33.4	2	16.4	20	1.216	48	52	0.681	0.730	0.730	0.730
	13:00	36.1	2	14.8	20	1.298	49	51	0.733	0.759	0.759	0.759
	14:00	34.5	2	12.5	20	1.232	48	52	0.688	0.738	0.738	0.738
	15:00	35.1	2	14.3	20	1.262	67	33	0.943	0.514	0.514	0.514
	16:00	33.9	2	14.5	20	1.223	84	16	1.124	0.293	0.293	0.293
	17:00	33.6	2	15.2	20	1.216	92	8	1.216	0.195	0.195	0.195
	18:00	35.4	2	15.4	20	1.278	95	5	1.311	0.161	0.161	0.161
19:00	36.4	2	15.4	20	1.312	100	0	1.409	0.000	0.000	0.000	
20:00	36.1	2	14.8	20	1.298	100	0	1.396	0.000	0.000	0.000	

วันที่	เวลา	กำลังไฟฟ้า		ระยะเวลา	กำลังไฟฟ้า ปั๊มชำระ	ระยะเวลา ทำงาน	กำลังไฟฟ้า ปั๊มชำระ	กำลัง	สัดส่วน ไฟฟ้าพื้นฐาน	สัดส่วน ไฟฟ้า	ไฟฟ้า
		กำลัง สูบน้ำ	กำลัง ทำงาน								
3	21:00	36.7	2	14.6	20	1.317	100	0	1.415	0.000	
	22:00	36.7	2	14.8	20	1.318	100	0	1.416	0.000	
	23:00	34.2	2	15.1	20	1.236	100	0	1.333	0.000	
4	0:00	31.5	2	15.4	20	1.147	100	0	1.244	0.000	
	1:00	34.8	2	14.5	20	1.253	100	0	1.350	0.000	
	2:00	35.1	2	15.2	20	1.267	100	0	1.364	0.000	
	3:00	35.6	2	15.4	20	1.285	100	0	1.382	0.000	
	4:00	36.8	2	15.4	20	1.325	100	0	1.422	0.000	
	5:00	34.6	2	14.8	20	1.248	100	0	1.345	0.000	
	6:00	31.9	2	14.8	20	1.157	96	4	1.208	0.143	
	7:00	31.5	2	12.6	20	1.131	90	10	1.115	0.210	
	8:00	36.4	2	13.4	20	1.301	87	13	1.229	0.266	
	9:00	34.5	2	15.4	20	1.248	76	24	1.046	0.397	
	10:00	34.7	2	15.4	20	1.255	68	32	0.950	0.499	
11:00	34.5	2	14.8	20	1.244	57	43	0.807	0.632		
12:00	34.5	2	14.8	20	1.244	55	45	0.782	0.657		
13:00	35.2	2	14.8	20	1.268	52	48	0.757	0.706		
14:00	36.4	2	12.5	20	1.295	51	49	0.758	0.732		

วันที่	เวลา	กำลังไฟฟ้า		ระยะเวลา	กำลังไฟฟ้า ปั๊มชำระ	ระยะเวลา ทำงาน	กำลังไฟฟ้า หัววัด	ระยะเวลา ทำงาน	กำลังรวม	สัดส่วน ไฟพื้นฐาน (%)	สัดส่วน ไฟโหลด (%)	ไฟฟ้า พื้นฐาน (W)	ไฟฟ้า โหลด (W)
		กำลัง สูบน้ำ (W)	กำลัง สูบน้ำ (min)										
4	15:00	33.4	2	14.3	20	1.205	83	17	1.097	0.302	0.302	0.302	0.302
	16:00	36.1	2	13.7	20	1.292	91	9	1.273	0.214	0.214	0.214	0.214
	17:00	30.4	2	19.4	20	1.132	92	8	1.139	0.188	0.188	0.188	0.188
	18:00	29.4	2	14.8	20	1.073	97	3	1.138	0.129	0.129	0.129	0.129
	19:00	32.6	2	12.6	20	1.168	100	0	1.265	0.000	0.000	0.000	0.000
	20:00	34.5	2	13.4	20	1.237	100	0	1.334	0.000	0.000	0.000	0.000
	21:00	35.2	2	15.3	20	1.271	100	0	1.368	0.000	0.000	0.000	0.000
	22:00	36.4	2	14.5	20	1.307	100	0	1.404	0.000	0.000	0.000	0.000
	23:00	34.7	2	14.8	20	1.251	100	0	1.348	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0:00	29.4	2	14.8	20	1.073	100	0	1.170	0.000	0.000	0.000	0.000
	1:00	32.6	2	12.6	20	1.168	100	0	1.265	0.000	0.000	0.000	0.000
	2:00	30.4	2	13.4	20	1.099	100	0	1.196	0.000	0.000	0.000	0.000
	3:00	29.4	2	15.3	20	1.076	100	0	1.173	0.000	0.000	0.000	0.000
	4:00	32.6	2	15.2	20	1.183	100	0	1.280	0.000	0.000	0.000	0.000
	5:00	34.5	2	15.7	20	1.249	100	0	1.347	0.000	0.000	0.000	0.000
	6:00	35.2	2	16.4	20	1.277	94	6	1.298	0.174	0.174	0.174	0.174
	7:00	36.4	2	14.8	20	1.308	91	9	1.288	0.215	0.215	0.215	0.215
8:00	36.4	2	12.5	20	1.295	85	15	1.198	0.292	0.292	0.292	0.292	

วันที่	เวลา	กำลังไฟฟ้า		ระยะเวลา	กำลังไฟฟ้า ปั๊มชำระ	สัดส่วน ทำงาน	กำลังไฟฟ้า ปั๊มชำระ	กำลัง	สัดส่วน	สัดส่วน	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า
		กำลัง	ระยะเวลา									
		กำลัง สูบน้ำ (W)	ทำงาน (min)	กำลัง ปั๊มชำระ (W)	ทำงาน (S)	กำลัง ไฟฟ้ารวม (W)	สัดส่วน (%)	สัดส่วน (%)	สัดส่วน (%)	ไฟฟ้า พื้นฐาน (W)	ไฟฟ้า โซล่า (W)	
	9:00	30.5	2	14.3	20	1.107	78	22	0.961	0.341		
	10:00	35.2	2	14.5	20	1.266	75	25	1.047	0.414		
	11:00	36.4	2	15.7	20	1.313	74	26	1.069	0.439		
	12:00	30.5	2	16.4	20	1.119	68	32	0.858	0.455		
	13:00	35.2	2	14.8	20	1.268	74	26	1.036	0.427		
	14:00	36.4	2	14.8	20	1.308	73	27	1.052	0.450		
5	15:00	32.9	2	12.6	20	1.178	78	22	1.016	0.356		
	16:00	30.4	2	13.4	20	1.099	84	16	1.020	0.273		
	17:00	29.4	2	15.4	20	1.076	92	8	1.087	0.183		
	18:00	32.6	2	15.4	20	1.184	95	5	1.222	0.156		
	19:00	30.4	2	14.8	20	1.106	100	0	1.204	0.000		
	20:00	32.8	2	14.8	20	1.187	100	0	1.284	0.000		
	21:00	34.9	2	14.8	20	1.258	100	0	1.355	0.000		
	22:00	32.6	2	12.5	20	1.168	100	0	1.265	0.000		
	23:00	34.7	2	14.8	20	1.251	100	0	1.348	0.000		

พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกังหันสำหรับเติมอากาศ

ตารางภาคผนวกที่ 3 พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกังหันสำหรับเติมอากาศ วันที่ 18 สิงหาคม 2561

Time	Σ PF	Output Motor									Motor Total (W)
		U1	U2	U3	V1	V2	V3	A1	A2	A3	
		RMS (V)	RMS (V)	RMS (V)	RMS (V)	RMS (V)	RMS (V)	RMS (A)	RMS (A)	RMS (A)	
10:00	0.65	152.8	145.9	147.7	97.7	92	87	7.9	7.8	7.9	1425.8
10:30	0.67	168.3	162.1	163.8	104.7	99.8	95.5	7	6.9	7	1406.5
11:00	0.66	154.7	147.1	149	99.3	93.2	87.6	7.6	7.5	7.6	1412.8
11:30	0.68	151.6	144.6	146.4	96.7	91.2	86	7.6	7.5	7.6	1414.1
12:00	0.68	60.4	64.3	68.3	19.5	20	20.7	7.6	7.1	6.2	1394.7
12:30	0.63	175.6	169.2	171	109	103.9	99.4	6.5	6.5	6.5	1293.8
13:00	0.63	185.6	181	182.4	112.1	108.5	105.3	7	6.8	6.9	1421.1
13:30	0.65	168	162.5	164.1	103.6	99.2	95.3	6.4	6.3	6.4	1235.9
14:00	0.64	174.5	169.4	170.9	106.6	102.6	99	6.5	6.4	6.4	1267.3
14:30	0.61	182.2	177.9	179.3	109.8	106.4	103.4	6.6	6.5	6.6	1302.6
15:00	0.68	155	148.9	150.6	97.3	92.4	87.9	7.3	7.2	7.3	1361.1
15:30	0.67	162.5	156.9	158.5	100.7	96.2	92.1	6.8	6.8	6.8	1339.3
16:00	0.65	169.2	163.8	165.4	104.1	99.7	95.7	6.6	6.5	6.5	1278.7
16:30	0.67	162.6	156.7	158.4	101.2	96.4	91.9	6.9	6.8	6.9	1345.7
17:00	0.68	161.1	154.9	156.7	100.8	95.7	91.0	7.0	7.0	7.0	1378.7
17:30	0.68	152.5	146.0	147.8	96.6	91.3	86.2	7.4	7.4	7.4	1394.3
18:00	0.69	148.8	142.3	144.1	94.6	89.2	84.2	7.6	7.5	7.6	1394.9

Time	Input AC and CD							Efficiency (%)
	Input AC (V)	Input AC (A)	Input Out (A)	input AC (W)	Input DC (V)	Input DC (A)	input DC (W)	
	10:00	229	2.07	7.41	474.03	304	3.27	
10:30	232	2.52	6.78	584.64	303	2.89	875.67	96.32
11:00	229	0.02	7.24	4.58	310	4.62	1,432.20	98.33
11:30	231	3.36	7.46	776.16	298	2.36	703.28	95.58
12:00	233	5.34	6.35	1,244.22	293	0.66	193.38	97.01
12:30	230	0.29	6.29	66.70	310	4.36	1,351.60	91.22
13:00	230	4.01	6.83	922.30	293	2.18	638.74	91.03
13:30	230	5.07	6.24	1,166.10	290	0.62	179.80	91.83
14:00	231	5.52	6.31	1,275.12	287	0.75	215.25	85.03
14:30	230	5.3	6.23	1,219.00	289	0.72	208.08	91.28
15:00	231	4.34	7.58	1,002.54	292	1.62	473.04	92.24
15:30	230	4.23	6.61	972.90	286	1.42	406.12	97.12
16:00	231	4.39	6.48	1,014.09	288	1.64	472.32	86.02
16:30	232	4.66	6.76	1,081.12	294	1.28	376.32	92.33
17:00	233	4.43	6.81	1,032.19	293	1.33	389.69	96.96
17:30	233	4.94	6.84	1,151.02	290	1.04	301.60	95.99
18:00	231	5.92	6.86	1,367.52	290	0.53	153.70	91.69

ตารางภาคผนวกที่ 4 พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกังหันสำหรับเติมอากาศ วันที่ 20 สิงหาคม 2561

Time	Σ PF	Output Motor									Motor Total (W)
		U1	U2	U3	V1	V2	V3	A1	A2	A3	
		RMS (V)	RMS (V)	RMS (V)	RMS (V)	RMS (V)	RMS (V)	RMS (A)	RMS (A)	RMS (A)	
10:00	0.70	149.9	143.4	145.1	94.4	89.2	85	7.5	7.4	7.5	1288.4
10:30	0.66	144.8	140.6	136.2	88.4	89.8	81.3	7.5	7.5	7.3	1307.3
11:00	0.68	155.8	149.1	150.8	97.5	92.3	88.1	7.2	7.2	7.2	1326.2
11:30	0.69	151.6	145	146.7	95.1	89.9	85.7	7.4	7.3	7.4	1345.1
12:00	0.61	149.9	143.4	145.1	94.4	89.2	85	7.5	7.4	7.5	1364.0
12:30	0.64	148.2	141.8	143.5	93.7	88.5	84.3	7.5	7.4	7.5	1383.0
13:00	0.70	151.6	145	146.7	95.1	89.9	85.7	7.4	7.3	7.4	1401.3
13:30	0.70	168.7	163.2	164.8	103.4	99.1	95.7	6.8	6.8	6.8	1421.8
14:00	0.68	174.3	168.8	170.3	106.1	101.9	98.6	6.9	6.8	6.9	1439.1
14:30	0.65	184.3	179.7	181.1	110.7	107.2	104.5	7	6.9	7	1470.0
15:00	0.68	168.7	163	164.6	103.3	98.9	95.5	7	6.9	7	1428.4
15:30	0.66	176.4	169	170.8	109.8	104.1	99.5	6.9	6.8	6.9	1425.8
16:00	0.69	155.4	148.7	150.5	97.6	92.4	88.1	7.3	7.3	7.3	1415.5
16:30	0.69	162.3	155.3	157	101.1	95.8	91.5	7.1	7	7.1	1419.3
17:00	0.69	146.8	139.8	141.5	92.8	87.3	82.9	7.8	7.7	7.8	1408.8
17:30	0.65	184.3	179.4	180.9	111	107.3	104.4	7.2	7	7.1	1491.2
18:00	0.68	144.8	137.7	139.5	92.3	86.7	82.1	7.9	7.9	7.9	1417.8

Time	Input AC and CD							Efficiency (%)
	Input AC (V)	Input AC (A)	Input Out (A)	input AC (W)	Input DC (V)	Input DC (A)	input DC (W)	
	10:00	232	1.72	6.32	399.04	302	4.05	
10:30	231	0.31	7.26	71.61	301	4.71	1,417.71	87.78
11:00	231	0.01	7.37	2.31	303	4.65	1,408.95	93.98
11:30	232	0.94	7.34	218.08	301	4.43	1,333.43	86.70
12:00	231	0.05	6.53	11.55	302	4.68	1,413.36	95.73
12:30	232	6.73	2.57	1,561.36	300	0.5	150.00	80.81
13:00	228	3.33	7.02	759.24	290	2.48	719.20	94.78
13:30	229	4.27	6.57	977.83	289	2.11	609.79	89.56
14:00	232	0.86	6.46	199.52	288	4.52	1,301.76	95.86
14:30	232	4.73	6.97	1,097.36	291	1.78	517.98	91.00
15:00	230	4.52	6.86	1,039.60	293	1.89	553.77	89.65
15:30	230	0.54	6.9	124.20	302	4.7	1,419.40	92.37
16:00	233	3.17	6.82	738.61	298	2.74	816.52	91.02
16:30	230	1.61	6.6	370.30	301	3.74	1,125.74	94.87
17:00	231	5.08	7.43	1,173.48	295	1.32	389.40	90.14
17:30	230	6.07	7.19	1,396.10	292	0.88	256.96	90.21
18:00	231	5.76	7.27	1,330.56	301	0.54	162.54	94.96



ภาคผนวก ค.

คู่มือการใช้งานระบบ Solar PV สำหรับมอเตอร์เติมอากาศ

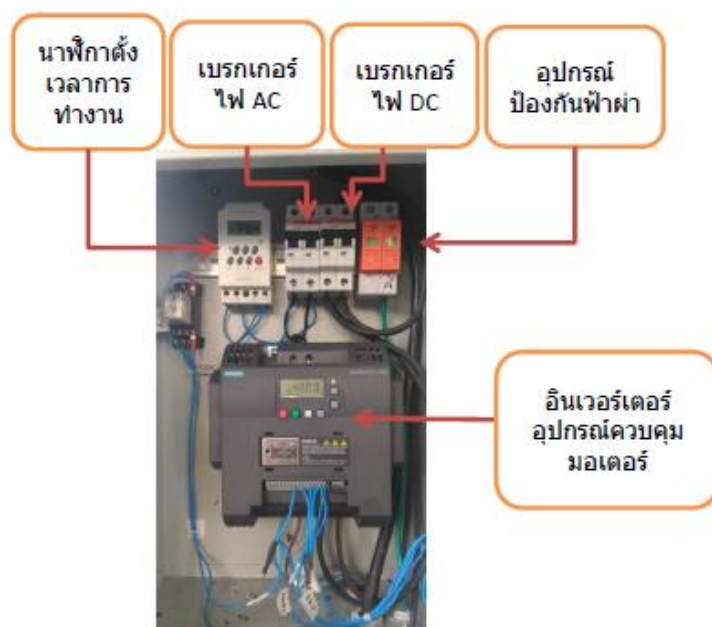
คู่มือการใช้งานระบบโซลาร์เซลล์สำหรับมอเตอร์เติมอากาศ

ส่วนประกอบของตู้ควบคุม

ภายนอก



ภายใน



การตรวจสอบข้อมูลการทำงานของอินเวอร์เตอร์

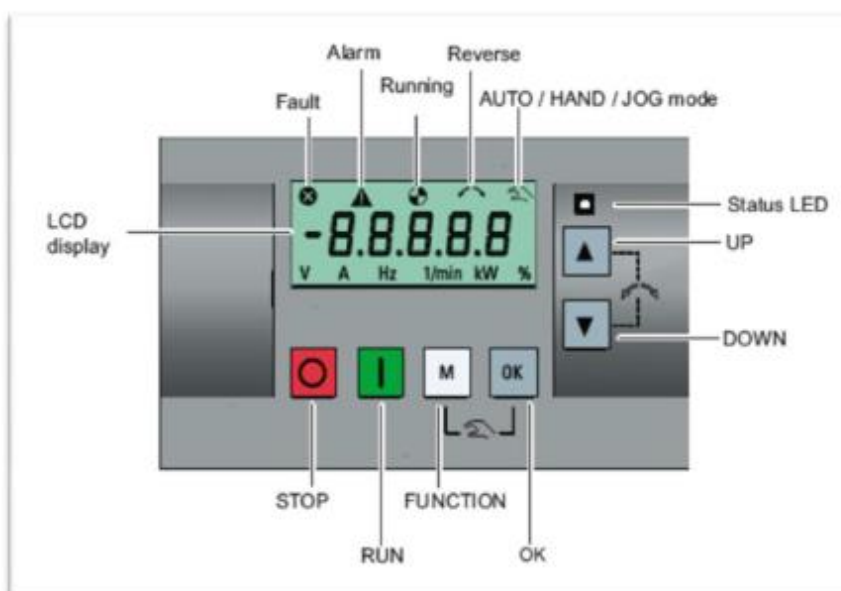
กดปุ่ม **OK** เพื่อตรวจสอบข้อมูล

กดครั้งที่1 ตรวจสอบความถี่ที่จ่ายให้มอเตอร์
หน้าจอ XX.XX Hz

กดครั้งที่2 ตรวจสอบแรงดันไฟที่จ่ายให้มอเตอร์
หน้าจอ XX.XX VAC

กดครั้งที่3 ตรวจสอบกระแสไฟที่มอเตอร์ใช้งาน
หน้าจอ XX.XX A

กดครั้งที่4 ตรวจสอบแรงดันไฟจากแผงโซล่าเซลล์
หน้าจอ XX.XX VDC




รูปแสดงหน้าจออินเวอร์เตอร์

ข้อความแจ้งเตือนการทำงานผิดปกติ

- 1) F1 = มอเตอร์กินกระแสสูงเกิน
- 2) F2 = แรงดันไฟที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์สูงเกิน
- 3) F3 = แรงดันไฟที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์ต่ำเกิน

ข้อแนะนำในการใช้งาน

- 1) ในช่วงเวลาที่มีแสงแดดเต็มที่ควรปิดเบรกเกอร์ไฟ AC เพื่อใช้ไฟ DC จากแผงโซลาร์เซลล์ และเป็นการประหยัดการใช้ไฟฟ้า
- 2) หากมีการเปลี่ยนมอเตอร์
 - 2.1 ควรต่อสายไฟให้ตรงตามตำแหน่งเดิม
 - 2.2 ซิ่งมอเตอร์ที่จะนำมาใช้งานต้องมีขนาดไม่เกิน 3 แรงม้า และสามารถต่อแรงดันไฟได้ทั้ง 220 V, 3 เฟส และ 380 V, 3 เฟส
 - 2.3 ต้องต่อใช้งานแบบ เดลต้า เท่านั้น
- 3) ไม่ควร กดปุ่มควบคุมอินเวอร์เตอร์อื่น นอกจาก ปุ่ม  เท่านั้น
- 4) ควรทำความสะอาดครีบบระบายความร้อนด้านหลังของอินเวอร์เตอร์ (ด้านหลังตู้) และป้องกันไม่ให้มีแมลงหรือสัตว์อื่นเข้าภายในตู้ควบคุม เช่น จิ้งจก หรือ มด เป็นต้น
- 5) เมื่อไม่มีการใช้งานเป็นเวลานานควรปิดเบรกเกอร์ภายในตู้ควบคุมทั้งไฟ AC และ DC

ขั้นตอนการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องอินเวอร์เตอร์

1. กด = 1 วินาที (หากกด 2 วินาที จะเข้าสู่โปรแกรมอื่น, ให้กด เพื่อกลับสู่หน้าจอหลักเพื่อเริ่มเข้าโปรแกรมใหม่)
2. หน้าจอจะเริ่มที่
3. กด หรือ เพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการ
ในกรณีที่ต้องการค้นหาอย่างรวดเร็วให้กด หรือ ค้าง
4. เข้า แล้วกด : 2 ครั้ง เพื่อตั้งค่าความถี่สูงสุดที่จ่ายให้มอเตอร์
ความถี่สูง = รอบเร็ว , ความถี่ต่ำ = รอบช้า โดยดูค่ากระแสไฟมอเตอร์ประกอบ
ไม่ควรให้ค่ากระแสเกิน 8 แอมป์ (ดูจากหน้าจอขณะใช้งาน)
กด หรือ เพื่อตั้งค่าความถี่
กด = 1 วินาที 1 ครั้ง เพื่อบันทึกค่าความถี่
กด ค้าง 2 วินาที เพื่อออกสู่หน้าจอปกติ
5. เข้า แล้วกด 1 ครั้ง เพื่อตั้งค่า 1 หรือ 3
 - ตั้งค่าเป็น จะทำให้อินเวอร์เตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบตามค่าที่ตั้งใน เมื่อมีความเข้มของแสงอาทิตย์เพียงพอ หากแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงาน และจะกลับมาทำงานเมื่อแสงอาทิตย์เพียงพอโดยอัตโนมัติ
 - ตั้งค่าเป็น อินเวอร์เตอร์จะปรับความถี่ให้มอเตอร์อัตโนมัติตามความเข้มของแสงอาทิตย์ แต่จะไม่เกินค่าสูงสุดตาม โดยมอเตอร์จะหยุดด้วยความเร็วไม่คงที่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์และจะหยุดหมุนก็ต่อเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์
 - เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้ว กด = 1 วินาที 1 ครั้ง เพื่อบันทึก และ กด ค้าง = 2 วินาที เพื่อออกสู่หน้าจอปกติ
6. ข้อควรระวัง
 - ไม่ควรตั้งค่าในพารามิเตอร์อื่น นอกจากนี้ เพราะจะทำให้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ผิดปกติ
 - หากเข้าผิดโปรแกรม หรือ กดค่าผิดพลาด ให้กด ค้าง เพื่อออกสู่หน้าจอปกติ แล้วจึงเริ่มเข้า พารามิเตอร์ใหม่



ภาคผนวก ง.

คู่มือการใช้ระบบการวัด แสดงผล และบันทึกข้อมูล
พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในระบบ Solar Hybrid Inverter

ห้างหุ้นส่วนจำกัด แอดวานซ์ ไอเดีย เมคคาทรอนิกส์
Advanced idea Mechatronics Limited Partnership

การวัด แสดงผล และบันทึกข้อมูลพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในระบบ Solar Hybrid Inverter ประกอบด้วย

1. ผู้ควบคุม Slave#1 เป็นผู้ที่ใช้การวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าทางด้าน INPUT ในระบบ Solar Hybrid Inverter จากไฟฟ้า Single phase โดยวัดพารามิเตอร์ดังนี้
 - AC input Line to Neutral (V)
 - AC current input (A)
 - Frequency AC input (Hz)
 - Power factor AC input
 - Phase1 L/N volts THD input (%) ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม L1/N
 - Phase1 Current THD input (%) ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม L1/N
2. ผู้ควบคุม Slave#2 เป็นผู้ที่ใช้การวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าทางด้าน OUTPUT ในระบบ Solar Hybrid Inverter จากไฟฟ้า 3 phase โดยวัดพารามิเตอร์ดังนี้
 - AC output L1-L2 volt (V)
 - AC output L1-L2 volt (V)
 - AC output L3-L1 volt (V)
 - Average line to line (V)
 - AC output L1 current (A)
 - AC output L2 current (A)
 - AC output L3 current (A)
 - Average line current output (A)
 - Frequency AC output (Hz)
 - Total system power factor output
 - L1 to L2 volts THD. (%) ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม L1/L2
 - L2 to L3 volts THD. (%) ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม L2/L3
 - L3 to L1 volts THD. (%) ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม L3/L1
 - Phase 1 Current THD output (%) ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม L1/L2
 - Phase 2 Current THD output (%) ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม L2/L3
 - Phase 3 Current THD output (%) ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม L3/L1

3. ตัวควบคุม MCU#1 เป็นตัวที่ใช้การวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าทางด้าน INPUT ในระบบ Solar Hybrid Inverter จากแผง Solar cell โดยวัดพารามิเตอร์ดังนี้

- DC input (V)
- DC input (A)
- DC input (W)

4. ตัวควบคุม MCU#2 เป็นตัวที่ใช้การวัดพารามิเตอร์ทางสภาพแวดล้อม โดยวัดพารามิเตอร์ดังนี้

- Irradiance (W/m^2)
- PV module temp. ($^{\circ}C$)
- Ambient temp. ($^{\circ}C$)
- Ambient RH (%)
- Wind speed (m/s)
- Wind direction (degree)

5. ตัวควบคุม MCU#MASTER เป็นตัวที่ใช้รวบรวมค่าพารามิเตอร์ บันทึกลง เป็นไฟล์ฐานข้อมูลใน SD CARD เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

รายละเอียดทาง Sensor

1. Power Meter (แบบราง DIN) รุ่น KP-630D ยี่ห้อ KEPLER รุ่น KP-630D

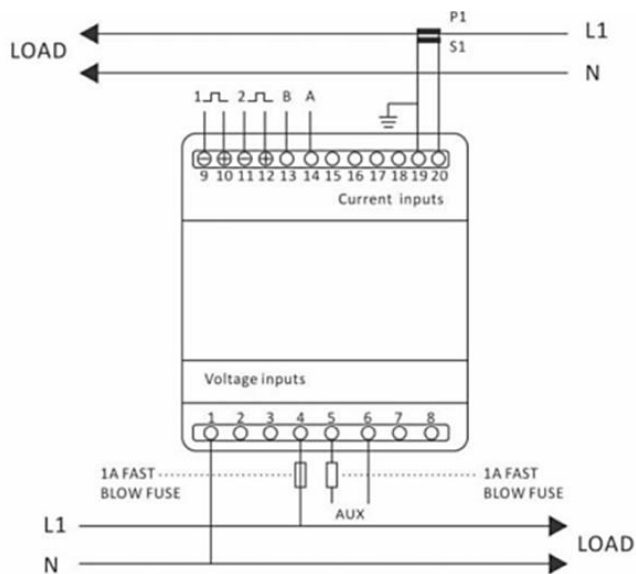
- Class 0.5 ความแม่นยำในการวัดสูง
- วัดค่าทางไฟฟ้าได้มากถึง 52 พารามิเตอร์ เช่น V, A, W, VA, Var, PF, Hz, Wh, Varh
- วิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์รวม (Total Harmonic Distortion)
- แสดงผลการวัดพารามิเตอร์ RMS แบบเรียลไทม์
- วัดค่า Peak Demand ของกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้
- อินเตอร์เฟส RS-485 Modbus RTU Protocol ด้วยความเร็ว 2400 bps~38400 bps

เป็นต้น

สามารถนำไป

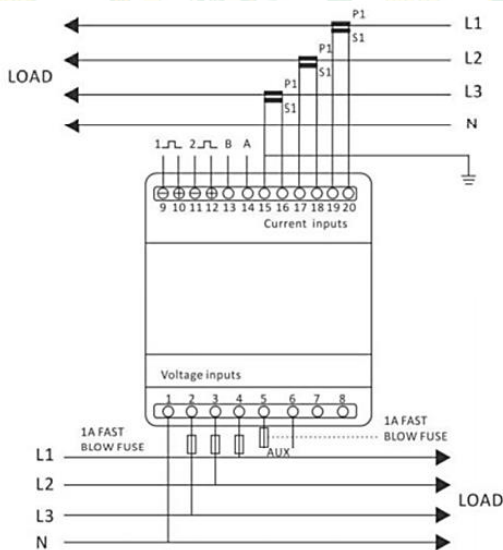
- มีเอาต์พุตพัลส์รีเลย์ 2 ชุด สำหรับนำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้นับค่าพลังงานไฟฟ้า
- จอแสดงผล LCD 4 หลัก 3 แถว สามารถมองเห็นได้จากทุกมุมมอง
- แบบติดตั้งขนาดมาตรฐาน 96x96 mm ติดตั้งง่าย

วงจรการวัดค่าทางไฟฟ้าระบบ 1 phase 2 เส้น



ภาคผนวกที่ 1 วงจรการวัดค่าทางไฟฟ้าระบบ 1 phase 2 เส้น

วงจรการวัดค่าทางไฟฟ้าระบบ 3 phase 4 เส้น



ภาคผนวกที่ 2 วงจรการวัดค่าทางไฟฟ้าระบบ 3 phase 4 เส้น

2. ตัวแปลงกระแส แบบถอดประกอบ 100/5A Class 1 ยี่ห้อ KEPLER รุ่น KCTS-23 เป็นตัวแปลงกระแสรุ่นใหม่ที่ไม่จำเป็นต้องปลดสายหรือถอด Bus-bar ออก โดยมีการออกแบบให้มีตัวล็อกแบบบานพับอยู่ด้านข้าง ทำให้สะดวกต่อการนำไปคล้องกับสายเดิมที่ติดตั้งไว้แล้ว โดยไม่ต้องถอดน๊อตออก เหมาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ที่จำกัด และต้องการทำงานอย่างรวดเร็วเพราะเป็นไฟฟ้า Main

SPECIFICATIONS

- Rated Frequency 50/60Hz
- Rated test voltage 3kV AC. (1 min)
- Rated short-time thermal current (I_{th}) 60In
- Rated dynamic current, (I_{dyn}) 2.5I_{th}
- Rated voltage, (U_m) 0.72Kv AC
- Continuous overload, (I_d) 1.2In
- Operating temperature -10 °C ~50 °C
- Housing self-extinguishing class VO
- Safety factor FS 5
- Class 1

3. เซนเซอร์วัดกระแส IC เบอร์ ACS712-20

โมดูลวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ให้สัญญาณออกมาเป็น Analog ใช้ต่อร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ พิกัดกระแส 20 ADC ความละเอียดในการอ่านสัญญาณ Analog 12 Bit

4. วงจรวัด DC Voltage

DC Voltage ใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง พิกัด 1000 VDC: 5 VDC ความละเอียดในการอ่านสัญญาณ Analog 12 Bit

5. เซนเซอร์วัด อุณหภูมิและความชื้น DHT22

- Accuracy humidity $\pm 2\%RH$ (Max $\pm 5\%RH$); temperature ± 0.2 Celsius
- Resolution or sensitivity humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
- Repeatability humidity $\pm 1\%RH$; temperature ± 0.2 Celsius
- Humidity hysteresis $\pm 0.3\%RH$
- Long-term Stability $\pm 0.5\%RH/year$
- Sensing period Average: 2s
- Interchangeability fully interchangeable

6. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแผงเซลล์อาทิตย์

DS18B20 เป็น IC วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล ของ Dallas Semiconductor สามารถวัดอุณหภูมิเป็นหน่วยองศา °C ในช่วง -55 °C ถึง 125 °C ที่ความละเอียด 12 Bit ในช่วง -10 °C ถึง 85 °C ในกรณีที่เป็นตัวถังแบบ TO-92

7. Pyranometer ใช้ ยี่ห้อ hukseflux รุ่น SR-05

- Measured hemispherical solar radiation ISO classification

- Second class pyranometer
- Calibration uncertainty < 1.8 % (k = 2)
- Calibration traceability to WRR
- Spectral range 285 to 3000 x 10⁻⁹ m
- Rated operating temperature range -40 °C to +80 °C
- Standard cable length 3 m
- Rated operating voltage 5 to 30 VDC range
- Levelling ball levelling (optional)
- Analogue output 4-20 mA current loop
- Transmitted range 0-1600 W/m²

8. เซนเซอร์วัดความเร็วลม

รายละเอียดของเครื่องวัดความเร็วลม :

- เซนเซอร์วัดลม เครื่องวัดความเร็วลม แบบถ้วย 3 ถ้วยสำหรับวัดลม ผลิตจาก
อลูมิเนียมอัลลอยคุณภาพ

- สัญญาณเอาต์พุต 0-5 V
- ใช้ไฟอินพุต 12-24 V
- เครื่องวัดความเร็วลม พร้อมสายเคเบิลยาว 2 m

ข้อมูลทางเทคนิค เครื่องวัดความเร็วลม

- Signal output way: 0 - 5 V
- Input voltage: 12-24 V
- Response time: < 1 S
- Transmission distance: > 1 km
- Measurement range (meters / sec): 0 ~ 30 M/S
- Measurement accuracy: Plus or minus 3%
- Start wind speed: < 0.6 M/S
- Environment temperature: E: -35 ~ 85 °C (often-used) L: -55 to 150 °C
- Level position: + 80 Rotation, with a hammer, automatically adjust the horizontal position
- Potential lead: Three wire

- Material: Aluminum alloy, the surface waterproof, prevents corrosion treatment.

Features

- Small easy to carry, simple to install, attractive appearance;
- Strong corrosion resistance and weather resistance;
- High accuracy, wide measuring range, good stability;
- Low power consumption, strong anti-interference ability, long-term stability;
- Power adaptation range is wide, good linearity of data, long distance signals transmission;

9. เซนเซอร์วัดทิศทางลม

- ใช้ไฟอินพุต 7-24 V
- เซนเซอร์ทิศทางลม พร้อมสายเคเบิลยาว 40 cm ข้อมูลทางเทคนิค เซนเซอร์ทิศทางลม
- Measuring range: 0-360 degrees
- Current type: Input voltage: 12V-24V DC
- The output signal 4-20 mA
- Wind direction value = (Output current -4) / 16 x 360

การตั้งค่า เวลา และวันที่ในการบันทึกข้อมูล

1. กดสวิตช์ RESET แล้วกดสวิตช์ SW-ENTER ค้างไว้จนกว่าหน้าจอจะเข้าสู่เมนูในการตั้งค่า
2. ทำการกดสวิตช์ SW-UP สำหรับเพิ่มค่าหรือกดสวิตช์ SW-DOWN สำหรับลดค่า
3. เมื่อได้ค่าที่ต้องการให้ทำการกด สวิตช์ SW-ENTER เพื่อทำการบันทึกค่าไว้ในโปรแกรม พร้อมกับเลื่อนสู่การตั้งค่าในส่วนอื่นๆ ต่อไป โดยการตั้งค่าจะเริ่มด้วยค่า ชั่วโมง, นาที, วัน, เดือน, ปี ค.ศ.
4. เมื่อตั้งค่า เวลา และวันที่ เสร็จแล้วโปรแกรมจะทำการ Restart ขึ้นมาใหม่ เพื่อเข้าสู่โหมดการอ่านค่าพารามิเตอร์ ต่าง ๆ และบันทึกค่าต่าง ๆ ลง SD CARD ทุก ๆ 1 นาที

ข้อมูลใน SD CARD

ข้อมูลใน SD CARD จะเป็นข้อมูลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้จากระบบ บันทึกลงตาราง MS EXCEL ใช้นามสกุลไฟล์ .CSV โดยมีชื่อไฟล์เป็นวัน เดือน ปี ที่ทำการบันทึกข้อมูล

การนำข้อมูลออกจาก SD CARD

1. ถอด SD CARD จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ออกมาใส่ช่องอ่าน SD CARD ที่ติดตั้งไว้กับคอมพิวเตอร์ทั่วไป
2. สามารถอ่านข้อมูลใน SD CARD ด้วยโปรแกรม WINSCP



ภาคผนวก จ.

การแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Line

การแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Line

การแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Line สำหรับตัวแปรที่ค่อนข้างเข้มงวดหรือจำเป็นต้องมีการแจ้งเตือนทันที โดยขั้นตอนการขอรับบริการสำหรับผู้ใช้งาน เริ่มต้นด้วยการเพิ่ม Line notification เป็นเพื่อนโดยสแกน QR code ดังแสดงในภาคผนวกที่ 3



ภาคผนวกที่ 3 QR-Code เพื่อสมัคร Line notification

(ที่มา: <https://notify-bot.line.me/th/>)

จากนั้นเข้าสู่หน้าเว็บล็อกอินของแอปพลิเคชัน Line ด้วย <https://notify-bot.line.me/my/> ดังแสดงในภาคผนวกที่ 4 แล้วทำการกรอกข้อมูลส่วนตัวเพื่อเข้าสู่ระบบ

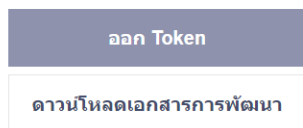


ภาคผนวกที่ 4 หน้าต่างเข้าสู่แอปพลิเคชัน Line

เมื่อล็อกอินเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว ให้เลื่อนหากล่องข้อความ “ออก Token” เพื่อขอรับรหัสสำหรับส่งข้อความผ่าน Line notification โดยการคลิกไปที่ ออก Token ดังแสดงในภาคผนวกที่ 5

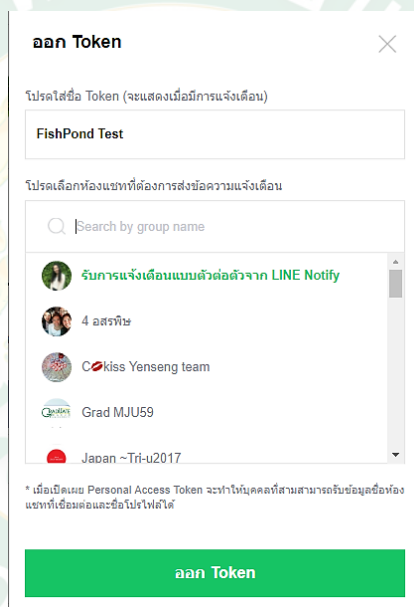
ออก Access Token (สำหรับผู้พัฒนา)

เมื่อใช้ Access Token แบบบุคคล จะสามารถตั้งค่าการแจ้งเตือนได้โดยไม่ต้องลงทะเบียนกับเว็บเซอร์วิส



ภาคผนวกที่ 5 หน้าต่างออก Token สำหรับใช้ป้อนรหัสส่งข้อความผ่านแอปพลิเคชัน Line

เมื่อคลิก ออก Token แล้วจะปรากฏหน้าต่างในภาคผนวกที่ 6 ให้พิมพ์ข้อความ เพื่อกำหนดเป็นชื่อของ Token สามารถตั้งชื่อหรือข้อความอะไรก็ได้ จากนั้นเลือกกลุ่มหรือบุคคลสำหรับส่งข้อความจากรายชื่อที่ปรากฏ



ภาคผนวกที่ 6 ตั้งชื่อ Token และเลือกกลุ่มหรือบุคคลเพื่อส่งข้อความ

จากนั้นคลิกที่ ออก Token จะได้รับรหัสสำหรับ Token นั้นๆ ซึ่งจะปรากฏแค่ครั้งเดียว ดังแสดงในภาคผนวกที่ 7 ควรบันทึกสำรองไว้ แต่หากสูญหายก็สามารถขอออก Token ได้ใหม่ รหัส Token จะถูกนำไปป้อนในโปรแกรมเพื่อให้สามารถส่งข้อความไปยังกลุ่มหรือบุคคลที่ได้ขออนุญาตไว้ตั้งต้น โดยตัวแปรที่สนใจเป็นพิเศษในกรณีศึกษาครั้งนี้ คือ ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของปลาในบ่อเลี้ยงปลา

Token ที่ออก

WJImqOkRCr14W3yF5F4LJV3omX1fqC3jWmtFu

ถ้าออกจากหน้านี้ ระบบจะไม่แสดง Token ที่ออกใหม่อีกต่อไป โปรดคัดลอก Token ก่อนออกจากหน้านี้

คัดลอก

ปิด

ภาคผนวกที่ 7 ออกรหัส Token





ในส่วนของการเผยแพร่งานวิจัย ได้นำเสนอบทความทางวิชาการ จำนวน 2 บทความรายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

บทความที่ 1 เรื่อง: ระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลานิล

ชื่องานประชุม: การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10

วันที่จัดงาน: วันที่ 29-30 พฤศจิกายน -1 ธันวาคม 2560

สถานที่จัดงาน: หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

บทความที่ 2 เรื่อง: การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงปลานิล

ชื่องานประชุม: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 19

วันที่จัดงาน: วันที่ 26-27 เมษายน 2561

สถานที่จัดงาน: ศูนย์ประชุมนานาชาติจุฬารกรณ์ และวรวณา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์





ระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลานิล
Dissolved Oxygen Monitoring System in Nile Tilapia Fish Pond

ศิริวรรณ ทั่วหนู¹, ชวโรจน์ ใจสิน^{1*}, ธงชัย มณีชูเกตุ¹ และนรินทร์ ปิ่นแก้ว¹

^{1,1*} สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลานิล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก คือ การออกแบบหุ่นตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ ส่วนที่สอง คือ ระบบตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ หุ่นตรวจวัดออกซิเจน มีขนาดกว้าง 98 cm ยาว 110 cm และสูง 18 cm ออกแบบสำหรับวางโครงสร้างทั้งหมดของระบบ ส่วนระบบตรวจวัดออกซิเจนสามารถส่งข้อมูลหรือผลการตรวจวัดผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สาย โดยแสดงค่าปริมาณ DO บนเวปคลาวด์ของ Anto.io ที่ www.anto.io ผลวิจัยประกอบด้วยการทดสอบวัดค่า DO ที่อุณหภูมิ 20°C 23°C และ 26°C ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยค่า DO ทดสอบคือ 2 3 4 5 6 7 และ 8 mgL⁻¹ พบว่า มีค่าที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าของเครื่องมือวัดอ้างอิง โดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยจากการวัดอุณหภูมิที่ 20°C 23°C และ 26°C มีความผิดพลาด 2.87% 1.71% และ 2.17 % ซึ่งถือว่าสามารถยอมรับได้ ขณะที่การส่งข้อมูลและอ่านค่า DO ที่วัดได้ผ่านเวปคลาวด์สามารถให้ผลตอบสนองได้ทันเวลา

คำสำคัญ: หุ่นตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ, เวปคลาวด์, ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

*Corresponding author: Tel.: 089-1536823. E-mail address: chawaroj@mju.ac.th, njaisin@hotmail.com

บทนำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen : DO) คือ ตัวแปรบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำที่สำคัญอย่างหนึ่งในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในรอบวัน โดยทั่วไปสาเหตุที่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีปริมาณลดลง [1] เนื่องจากสภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้น ช่วงเวลากลางคืนจนถึงรุ่งสาง วันที่ฟ้ามีครึ้มไม่มีแสงแดด วันที่ไม่มีลมพัดผ่าน หรือมีการให้อาหารหรือการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปเป็นต้น เป็นต้น เมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำมีระดับที่ลดลงเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะใช้วิธีการสังเกตจากสีของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปหรือพฤติกรรมของสัตว์น้ำที่แสดงออกมา เช่น การกินอาหารลดลง และการลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่บริเวณผิวน้ำเพื่อรับออกซิเจน [2] ถ้าสังเกตพบความผิดปกติดังกล่าวจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไขด้วยการเปิดเครื่องเติมอากาศในน้ำให้ทำงานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือเปิดตลอดเวลาจนกว่าจะไม่พบความผิดปกติและระดับปริมาณออกซิเจนในน้ำเข้าสู่สภาวะปกติปกติ โดยปกติการเติมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ [3,4] วิเคราะห์ปริมาณออกซิเจน หรือสารต่างๆ เน้นประสิทธิภาพของการวัดและอำนวยความสะดวกต่อการใช้งาน [5] ข้อดีของเซ็นเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ คือ สามารถวัดปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างน้ำโดยไม่ทำลายหรือทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไป และสามารถนำตัวอย่างน้ำนี้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบ หรือดัชนีคุณภาพอื่นต่อไปได้เหมาะสมสำหรับเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในแม่น้ำ ลำธาร และในแหล่งน้ำอื่นๆ

จากที่กล่าวมานั้น การเฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะๆ ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลากลางคืนนั้น ทำให้ไม่สะดวก หรือไม่สามารถทำได้นั้นอาจทำให้การแก้ไขปัญหาล่าช้าจนเกินไป ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงไว้ [2] การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยจึงเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา และเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะเลี้ยงปลาของเกษตรกรได้

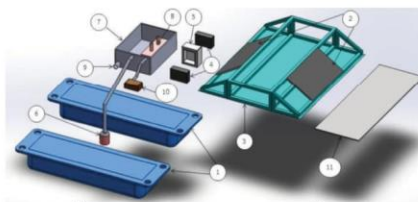
งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ ระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อปลาชนิดที่สามารถรายงานผลได้แบบอัตโนมัติ โดยได้ออกแบบเป็นหุ่นยนต์น้ำ ที่มีทั้งระบบตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำและแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ พร้อมกับมีระบบส่งข้อมูลหรือผลการตรวจวัดผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สาย เพื่อทำหน้าที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถติดตามระดับออกซิเจนในน้ำได้ตลอดเวลา ระบบตรวจออกซิเจนสามารถเปิดตามช่วงเวลาที่ใช้กำหนดได้ และยังสามารถวางแผนรับมือกับสภาวะการขาดออกซิเจนได้ รวมทั้งลดการใช้พลังงานและลดภาระค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าลงได้อีกทาง

วิธีการวิจัย

ระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาชนิด แบ่งวิธีการดำเนินการออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) การออกแบบหุ่นตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ 2) การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 3) การออกแบบระบบตรวจวัดและแสดงผลข้อมูลผ่านระบบ Internet of Thing (IoT)

1. การออกแบบหุ่นตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำ

การออกแบบหุ่นลอยน้ำ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างดังภาพที่ 1 ถูกออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ด้วยตัวเองได้อย่างดี โดยจะต้องมีความสามารถลอยในน้ำหรือบ่อเลี้ยงปลาได้ ประกอบด้วย (1) หุ่นลอยน้ำไฟเบอร์ ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับลอยน้ำ ถูกยึดติดกับแท่นวางโครงสร้างของระบบทั้งหมด (3) มีขนาดกว้าง 98 cm ยาว 110 cm และสูง 18 cm ด้านข้างของโครงสร้างถูกทำให้เป็นสโลปเอียง เพื่อให้สามารถติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ (2) ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 4 แผง ซึ่งจะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ โดยพลังงานไฟฟ้าจะถูกชาร์จและเก็บไว้ในแบตเตอรี่ (4) เพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับป้อนใช้กับระบบทั้งหมด การควบคุมระบบตรวจวัดเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328p ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผล โดยวงจรควบคุมถูกติดตั้งไว้ในกล่องควบคุม (5) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมทั้งการตรวจวัด การส่งข้อมูลแบบระยะไกลของระบบตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ การทำงานของส่วนควบคุมเริ่มต้นด้วยการส่งการให้ปั้มน้ำ (6) สูบน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาขึ้นมาเก็บไว้ในถังพัก (7) จนกระทั่งถึงระดับของตัวตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ (8) ปั้มน้ำก็จะหยุดทำงาน ระบบจึงทำการอ่านค่าจากตัวตรวจวัด และประมวลผลการวัด จากนั้นจึงส่งค่าที่ตรวจวัดได้ไปเก็บไว้ยังระบบ Cloud server ด้วยชีพ ESP8266 ขณะที่น้ำภายในถังจะถูกปล่อยออกมาทางรูระบายขนาดเล็ก (9) เพื่อลดระดับน้ำลงมาจนกระทั่งต่ำกว่าจุดต่ำสุดของหัววัด เมื่อตัวตรวจวัด DO ลอยอยู่เหนือระดับน้ำแล้ว ระบบชำระล้าง (10) จะเริ่มทำงานโดยการฉีดน้ำไปยังตัวตรวจวัด เพื่อล้างคราบและสิ่งสกปรกให้ออกจากตัวตรวจวัด ซึ่งระบบจะมีการทำงานเป็นแบบช่วงเวลาขึ้นอยู่กับเวลาที่ผู้ใช้กำหนดไว้ และหมายเลขที่ 11 เป็นฝาครอบอะคริลิกออกแบบไว้สำหรับป้องกันฝุ่นละออง ซึ่งจะวางครอบปิดบนฐานโครงสร้าง (3)



ภาพที่ 1 โครงสร้างหุ่นตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำ

2. การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

2.1 การสอบเทียบค่าหัววัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนี้ได้แก่ หัววัดออกซิเจน ที่แผ่นเมมเบรน มีคุณสมบัติให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ง่ายไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอื่น ๆ โมเลกุลของน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ที่สำคัญต้องทำปฏิกิริยาหรือมีผลอื่นๆได้กับสารละลายที่ต้องการวัดและมีความแข็งแรงคงทน [6]

ในงานวิจัยนี้ใช้หัววัดออกซิเจนของ Atlas scientific ต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณ เพื่อปรับขนาดสัญญาณให้เหมาะสม เนื่องจากผลการตอบสนองค่าแรงดันไฟฟ้าต่อปริมาณ DO ของหัววัด DO ต่อหนึ่งระดับมีค่าเพียง 40 mV ทำการสอบเทียบด้วยเครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำยี่ห้อ Lutron WA-2017SD ซึ่งแสดงได้ทั้งค่าอุณหภูมิและปริมาณ DO เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากหัววัดกับค่า DO กรณีที่อุณหภูมิต่างกัน โดยในการทดสอบได้ตั้งสมมติฐานของการวัดในบ่อน้ำไว้ คือ อุณหภูมิ 20-26 °C และปริมาณออกซิเจนในน้ำอยู่ระหว่าง 2-8 mgL⁻¹



2.2 การสร้างวงจรรขยายสัญญาณ

ในวิจัยนี้ได้มีการออกแบบและสร้างวงจรรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting amplifier) เพื่อใช้เป็นวงจรรขยายสัญญาณอินพุตของค่า DO ให้มีขนาดที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน การออกแบบวงจรรขยายดังแสดงภาพที่ 2 (ก) อัตราการขยายภาคเอาต์พุตเป็น 22 เท่า ได้ผลการตอบสนองของปริมาณ DO ต่อแรงดันไฟฟ้าในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-26 °C ดังแสดงในภาพที่ 2 (ข) ซึ่งเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ พบว่าได้ความสัมพันธ์ของปริมาณ DO ต่อแรงดันไฟฟ้าเป็นแบบโพลิโนเมียลที่มีค่า R² ของเท่ากับ 1 ดังนี้

$$DO = -n2*(Voltage)^2 + (n1* Voltage)-n0 \tag{1}$$

เมื่อ DO คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มีหน่วยเป็น mgL⁻¹
Voltage คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วย เป็น V

ขณะที่ n2, n1 และ n0 หาได้จากสมการ

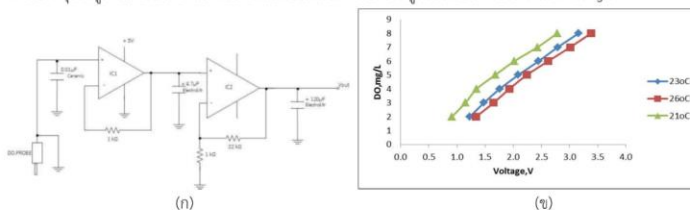
$$n2 = 0.0137*(temp2) - (0.6834* temp) +8.7794 \tag{2}$$

$$n1 = 0.0386*(temp2) -1.9471* temp +28.867 \tag{3}$$

$$n0 = -0.02*(temp^2) + (1.0833*temp) -11.331 \tag{4}$$

เมื่อ Temp คือ อุณหภูมิ มีหน่วยเป็น °C

จากการหาความสัมพันธ์ของปริมาณค่า DO ต่อแรงดันไฟฟ้าที่กล่าวมาในข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม Excel ในการทดสอบ กำหนดขอบเขตของการทดสอบการวัดปริมาณค่า DO ที่อุณหภูมิ 20 °C 23 °C และ 26 °C และปริมาณค่า DO จะอยู่ในช่วง 2 3 4 5 6 7 และ 8 mgL⁻¹



ภาพที่ 2 วงจรรขยายแบบไม่กลับเฟส (ก) และเอาต์พุต (ข) ของสัญญาณหัววัดปริมาณ DO ที่ผ่านการขยายสัญญาณ



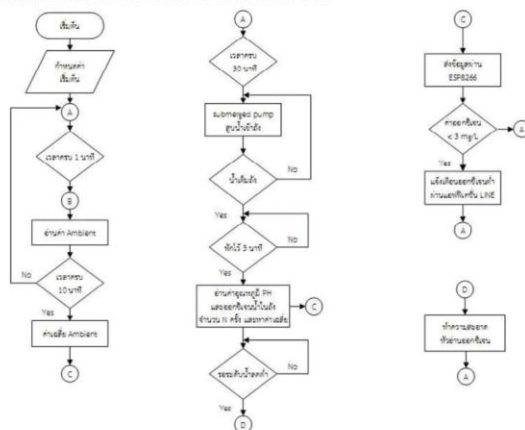
3. การออกแบบระบบตรวจวัดและแสดงผลข้อมูลผ่านระบบ Internet of Thing (IoT)

การทำงานของระบบเริ่มต้นด้วยการกำหนดตัวแปร เช่น อุณหภูมิและความชื้นแวดล้อม (Ambient air) ค่าปริมาณ DO และอุณหภูมิในน้ำโดยตัวแปรทุกตัวจะทำงานตามระบบฐานเวลาที่ได้สร้างขึ้น แบ่งออกดังนี้

การอ่านค่า Ambient air จะอ่านค่าทุกๆ 1 นาที จำนวน 10 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อส่งข้อมูลผ่านโมดูล ESP8266 ขึ้นไปเก็บไว้ยัง Cloud Server ในงานวิจัยใช้ Anto.io สำหรับแสดงผลแบบ Real time

การอ่านค่าปริมาณ DO และอุณหภูมิในน้ำจะเกิดขึ้นทุกๆ 30 นาที ภายหลังจากการสุบจากบ่อขึ้นมาเก็บไว้ในถังพักน้ำ เมื่อน้ำอยู่ในระดับที่ต้องการแล้วจะมีการปล่อยให้พักตัว 3 นาที จากนั้นจึงเริ่มทำการวัดค่าทุกๆ 10 วินาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยก่อนส่งข้อมูลผ่านโมดูล ESP8266 ขึ้นไปเก็บไว้ยัง Cloud Server จากนั้นจะระระดับน้ำลดต่ำลง จึงจะมีการสั่งงานให้ Spray pump ทำการสเปรย์น้ำเพื่อชำระล้างหัววัด

หากปริมาณค่า DO ที่ทำการวัดมีค่าต่ำกว่า 3 mgL^{-1} ระบบจะมีการตรวจสอบและทำการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลผ่านแอปพลิเคชัน Line ซึ่งการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 3

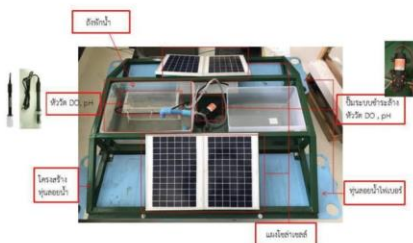


ภาพที่ 3 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการสร้างต้นแบบโครงสร้างหุ่นตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำ

ต้นแบบโครงสร้างหุ่นตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำ สำหรับวางโครงสร้างของระบบทั้งหมด ซึ่งมีขนาดกว้าง 98 cm ยาว 110 cm และสูง 18 cm ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ต้นแบบโครงสร้างทุ่นตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำ

2. ผลการออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้น โดยกำหนดขอบเขตของการทดสอบการวัดค่า DO ที่อุณหภูมิ 20 °C 23 °C และ 26 °C และขณะที่ช่วงของค่า DO จะอยู่ในช่วง 2 3 4 5 6 7 และ 8 mgL⁻¹ ได้ผลของค่า DO ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าปริมาณ DO ที่ทดสอบด้วยสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์และค่าความผิดพลาด

ค่า DO (mgL ⁻¹) อ้างอิง	ค่า DO ที่ทดสอบสมการด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์					
	อุณหภูมิ 20 °C		อุณหภูมิ 23 °C		อุณหภูมิ 26 °C	
	ค่าวัดได้	%ผิดพลาด	ค่าวัดได้	%ผิดพลาด	ค่าวัดได้	%ผิดพลาด
2	2.06	2.87	2.07	3.36	2.01	0.33
3	3.05	1.75	2.98	0.54	3.10	3.28
4	4.13	3.19	3.96	0.88	4.04	0.99
5	5.24	4.85	5.06	1.18	5.06	1.26
6	6.27	4.43	6.12	1.93	6.08	2.95
7	7.21	3.00	7.16	2.25	7.24	3.48
8	8.01	0.11	8.14	1.80	8.23	2.89
เฉลี่ยค่าผิดพลาด		2.87		1.71		2.17

จากการทดสอบผลทางสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น พบว่า มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงที่ได้กำหนด โดยมีค่าความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 20 °C 23 °C และ 26 °C เฉลี่ยเป็น 2.87% 1.71% และ 2.17% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าสามารถยอมรับได้ และเมื่อนำไปใช้ในการวัดค่า DO จริงซึ่งจะถูกรัดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้โปรแกรมสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ลงไปแล้วนั้น พบว่า มีความผิดพลาดเกิดขึ้น ส่วนหนึ่งเกิดจากระดับแรงดันไฟเลี้ยงวงจรไม่นิ่ง และอีกส่วนหนึ่ง คือ ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิการตรวจวัดให้คงที่ได้จึงส่งผลให้ค่าปริมาณ DO ที่วัดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีความผิดพลาดอยู่บ้าง

3. ผลการออกแบบการแสดงผลข้อมูลผ่าน Cloud Server

การแสดงผลของระบบตรวจวัดเป็นการแสดงผลแบบ Real Time ประกอบด้วยการแสดงผลค่าอุณหภูมิ (1) แสดงผลปริมาณค่า DO (2) การปิด-เปิด ปั๊มสูบน้ำให้กับระบบ (3) การปิด-เปิด สเปร์ย์ฉีดชำระล้างหัววัด (4) สถานะปิด-เปิด ปั๊มสูบน้ำ (5) และการแสดงผลสถานะปิด-เปิด สเปร์ย์ฉีดชำระล้างหัววัด (6) ซึ่งการแสดงผลทั้งหมดจะถูกนำไปแสดงที่ Anto.io [7] ซึ่งเป็น Free Cloud Server ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 หน้าต่างแสดงผลการตรวจวัดบน Anto.io

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบวัดปริมาณค่า DO ที่อุณหภูมิ 20 °C 23 °C และ 26 °C ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยค่าปริมาณ DO ทดสอบที่ 2 3 4 5 6 7 และ 8 mgL⁻¹ พบว่า มีค่าที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าของเครื่องมือวัดอ้างอิง โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการวัดอุณหภูมิที่ 20 °C 23 °C และ 26 °C มีค่าความผิดพลาด 2.87% 1.71% และ 2.17% ซึ่งถือว่าสามารถยอมรับได้ และการส่งข้อมูลและอ่านค่า DO ที่วัดได้ผ่านเวปคลาวด์ www.anto.io สามารถแสดงผลตอบสนองได้ทันเวลา

แนวทางการพัฒนาต่อไป คือ ทำการทดสอบเพิ่มเติมที่ค่าอุณหภูมิอื่นๆ เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้ระบบตรวจวัดค่า DO ได้ถูกต้องยิ่งขึ้นแล้วนำไปทดสอบใช้งานจริงในบ่อเลี้ยงปลา การติดตั้งระบบควบคุมการเติมอากาศแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงปลา และระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมทั้งระบบส่งข้อมูลหรือผลการตรวจวัดผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สายเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบทั้งหมด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาโครงการผลิตและพัฒนาศึกษานิเทศก์ทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559 และขอขอบคุณโครงการชุมชนต้นแบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะสีเขียว เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล กรณีศึกษาชุมชนบ้านทุ่งยาว อ.สันทราย จ.เชียงใหม่



เอกสารอ้างอิง

- [1] ธรรมพันธุ์ ภาสบุตร, ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม. 2557. ระบบเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] เฉิดฉิน อมาตยกุล, วัฒนะ สีสากิทร, สุรางค์ สุมโนจิตรา ภรณ์. 2538. การเลี้ยงสัตว์น้ำ. กองประมงน้ำจืด. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- [3] Mohd Adam Mohd Noor, Nora'zah Abd Rashid, Khairom Nizam Atan ,Dr. Gunnawan Witjaksono, Dr.Suhairi Saharudin. 2015. Characterization of Optical Fiber Dissolved Oxygen Sensor for aquaculture sensing and monitoring. Procedia Chemistry 20(2016) 8-11.
- [4] ชนิศันนท์ สูงาม และอัจฉนา วงศ์ชัยสุวัฒน์. 2557. เซ็นเซอร์สำหรับวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [5] Choi, M. F. M. & D. Xiao. (1999). Single standard calibration for an optical oxygen sensor based on luminescence quenching of a ruthenium complex. Analytica Chimica Act, 403, 57-65
- [6] ประพนธ์ พิภอินทร์. 2548. ระบบเตือนภัยการขาดออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้งานจากเซลล์แสงอาทิตย์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [7] Anto (ม.ป.ป.). Anto. (Online), แหล่งที่มา: <http://www.Anto.io>. (20 สิงหาคม 2560).

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

Available online at www.tsae.asia

การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงปลานิล

Development of Automatic Aerator Control System in Nile Tilapia Fish Pond

ศิริวรรณ ธานี¹, ขวโรจน์ ใจสิน^{1*}, ธงชัย มณีชูเกตุ¹, นรินทร์ ปิ่นแก้ว¹

Sirivan Thamnu¹, Chawaraj Jaisin^{1*}, Thongchai Maneechukate¹, Narin pinkeaw¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่, 50290

¹School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand

*Corresponding author: Tel: 089-1536823. E-mail address: chawaraj@mju.ac.th, njaisin@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงปลานิล และเพื่อวิเคราะห์ผลประหยัดทางพลังงาน กรณีศึกษาการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบเติมอากาศ การพัฒนาระบบควบคุมการเติมอากาศแบบอัตโนมัติ อาศัยค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำจากระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบหุ่นยนต์ลอยน้ำ มาเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจเปิดหรือปิดระบบเครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลานิล ขณะที่การวิเคราะห์เพื่อหาผลประหยัดทางพลังงาน สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ กลางวันและกลางคืน โดยช่วงเวลากลางวันจะพิจารณาการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศตั้งแต่เวลา 6:01-18:00 น. ซึ่งมีการวิเคราะห์การใช้พลังงานทั้งจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานและระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกัน ส่วนช่วงเวลากลางคืนจะพิจารณาการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศตั้งแต่เวลา 18:01-6:00 น. โดยมีการวิเคราะห์การใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานที่ทำงานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติ การทดสอบมีขึ้นในเดือน พฤศจิกายน 2560 ผลการทดสอบพบว่า ระบบควบคุมการเติมอากาศแบบอัตโนมัติสามารถควบคุมการเปิดหรือปิดตามเงื่อนไขของเจ้าของบ่อเลี้ยงปลาหรือมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำน้อยกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ผลประหยัดทางพลังงาน สามารถลดการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศในช่วงเวลากลางวันลงได้เฉลี่ย 38.98 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงเวลากลางคืนลงได้เฉลี่ย 18.93 เปอร์เซ็นต์ คำสำคัญ: ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัตโนมัติ, แหล่งจ่ายพลังงานร่วม, บ่อเลี้ยงปลานิล

Abstract

This research aim to develop an automatic fish pond aerator system and to analyze the energy saving on the study case of using a hybrid source (electric utility and solar cell system) for supplying energy to fish pond aerator system. The automatic fish pond aerator system uses dissolved oxygen (DO) sensor which installed on dissolved oxygen level measuring with floatation device to make a decision between turnings on or off the fish pond aerator system. While, analyzing the energy saving is divided into 2 parts. The first part is analyzing the energy saving of the fish pond aerator system on day time (6:01 a.m.-6:00 p.m.) and second part is analyzing the energy saving of the fish pond aerator system on night time (6:01 p.m.-6:00 a.m.). The energy consumption between electric utility and solar cell system is analyzed on the former while only one source (electric utility) working with automatic aerator control system is analyzed on the latter. The data are recorded on November 2017. The results show that automatic fish pond aerator system works by conditional instructions or DO is lower than 3 mg/liter. The energy saving is decreased by 38.98% on the day time and 18.93% on the night time, respectively.

Keywords: Automatic aerator control system, hybrid power source, Nile tilapia fish pond

1 บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศแห่งการเกษตรกรรม ซึ่งเกษตรกรรมมีการเลี้ยงปลากันอย่างแพร่หลาย อาจจะมีเลี้ยงในเชิงพาณิชย์หรือเลี้ยงไว้เพื่อบริโภคภายในครัวเรือน และปัจจัยในการเลี้ยงปลานั้นขึ้นอยู่กับหลายๆ อย่าง เพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตที่ดีมีคุณภาพ โดยปริมาณออกซิเจนในน้ำนั้นถือว่าเป็น

ปัจจัยสำคัญอย่างมากที่บ่งบอกถึงคุณภาพของแหล่งน้ำ ในกรณีบ่อเลี้ยงปลาที่มีปริมาณออกซิเจนที่น้อยจะส่งผลให้สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำมีปริมาณสูงและทำให้ค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำมีปริมาณลดลง และในที่สุดจะทำให้เกิดสภาวะที่ไร้ออกซิเจน จึงส่งผลเสียต่อปลาหรือสัตว์ต่างๆ ที่อยู่ในน้ำทำให้อยู่ในสภาวะที่ขาดออกซิเจนและตายในที่สุด ดังนั้นจำเป็นต้องเติมออกซิเจนใน

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

บ่อเลี้ยงปลาตลอดทั้งวัน (อรทัย, 2545) และ (เฉลิมเกียรติ และ คมชะ, 2558)

การเติมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาตลอดทั้งวัน โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายให้กับเครื่องเติมอากาศเพียงอย่างเดียววันส่งผลให้เกษตรกรเสียค่าใช้จ่ายสูงในการเลี้ยงปลา จากปัญหาดังกล่าว มีหลายๆ งานวิจัย (Agus et al.(2013), (Chonmapat et al.(2016), (Iqib et al.(1993), and (Mohammad et al.(2016) ได้นำหลักการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อพัฒนาระบบเครื่องเติมอากาศ เช่น ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และเติมอากาศในบ่อ เป็นต้น งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติ โดยเครื่องเติมอากาศด้วยระบบ Hybrid inverter นี้อาศัยค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำจากระบบตรวจวัดออกซิเจนแบบหุ่นยนต์ นำมาเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจเปิดหรือปิดระบบเครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลานิล รวมถึงการวิเคราะห์ผลประหยัดทางพลังงาน กรณีศึกษาการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบเติมอากาศ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

การพัฒนาควบคุมการเติมอากาศแบบอัตโนมัติ แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การพัฒนาระบบควบคุมการเติมอากาศแบบอัตโนมัติ และวิเคราะห์ผลประหยัดทางพลังงาน กรณีศึกษาการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบเติมอากาศ

2.1 การพัฒนาระบบควบคุมการเติมอากาศแบบอัตโนมัติ

ในงานวิจัยได้ออกแบบวงจรควบคุมเปิด-ปิด สำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหุ่นยนต์ โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดปริมาณ

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) มาเป็นปัจจัยในการสั่งการทำงาน ของระบบเครื่องเติมอากาศตั้งโต๊ะแกรม Figure 1 ซึ่งสามารถอธิบายดังนี้ คือ มีการรับข้อมูลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากคลาวด์ จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกส่งผ่านโมดูลประมวลผล รุ่น ESP8266 เพื่อมาควบคุมการทำงานของเครื่องเติมอากาศ

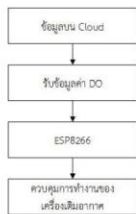


Figure 1 Getting dissolved oxygen (DO) from cloud server to ESP8266.

การควบคุมเครื่องเติมอากาศมีหลักการทำงาน คือ การทำงานอาศัยออปโตคัปเลอร์ (Optocoupler; OC1) ให้ทำหน้าที่เริ่มนำหรือหยุดนำกระแสให้กับพาวเวอร์รีเลย์ (Power Relay) เมื่อพาวเวอร์รีเลย์เริ่มนำกระแสหน้าสัมผัสของพาวเวอร์รีเลย์จะสลับตำแหน่งของหน้าสัมผัสไปเป็นปกติเปิด (NO) เพื่อต่อวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ 3 เฟส หรือทำหน้าที่แทนอุปกรณ์ Start button ในการเชื่อมต่อวงจร โดยเมื่อวงจรถูกเชื่อมต่อทำให้คอลย์ของคอนแทคเตอร์ (C1) ได้รับการกระตุ้นจากแหล่งจ่ายไฟเกิดการเหนี่ยวนำและเชื่อมต่อน้ำสัมผัสของคอนแทคเตอร์ (K1) เพื่อเป็นสะพานไฟให้แหล่งจ่ายไฟจาก 3 Phase solar hybrid inverter สามารถจ่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้ ผ่านไปยังมอเตอร์ 3 เฟส (M1) เพื่อขับเคลื่อนกังหันปั่นน้ำเติมอากาศของบ่อเลี้ยงปลาได้ ดังแสดงใน Figure 2 หากต้องการหยุดการทำงานของมอเตอร์ 3 เฟส ก็ให้หยุดจ่ายสัญญาณควบคุมไปยังออปโตคัปเลอร์ ซึ่งเมื่อออปโตคัปเลอร์ขาดสัญญาณควบคุม จะทำให้พาวเวอร์รีเลย์หยุดนำกระแส หน้าสัมผัสของพาวเวอร์รีเลย์จะคืนตำแหน่งของหน้าสัมผัสปกติปิด (NC) แทนทำให้คอลย์ของคอนแทคเตอร์หยุดการเหนี่ยวนำ ส่งผลให้หน้าสัมผัสของคอนแทคเตอร์ขาดออกจากกัน วงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟสจึงถูกตัดการทำงาน

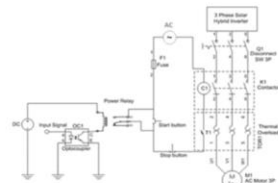


Figure 2 Diagram of control circuit of the automatic aerator control system.

2.2 การวิเคราะห์ผลประหยัดทางพลังงาน กรณีศึกษาการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบเติมอากาศ

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ผลประหยัดทางพลังงาน ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ผลประหยัดออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ กลางวันและกลางคืน ดังแสดงบล็อกไดอะแกรม Figure 3 โดยช่วงเวลากลางวันจะพิจารณาการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศตั้งโต๊ะเวลา 6:01-18:00 น. ซึ่งมีกรณีวิเคราะห์การใช้พลังงานทั้งจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานและระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกัน ส่วนช่วงเวลากลางคืนจะพิจารณาการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศตั้งโต๊ะเวลา 18:01-6:00 น. โดยมีการวิเคราะห์การใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐาน ที่ทำงานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติ การทดสอบมีขึ้นในเดือน พฤศจิกายน 2560 รวมเป็นระยะ 10 วัน

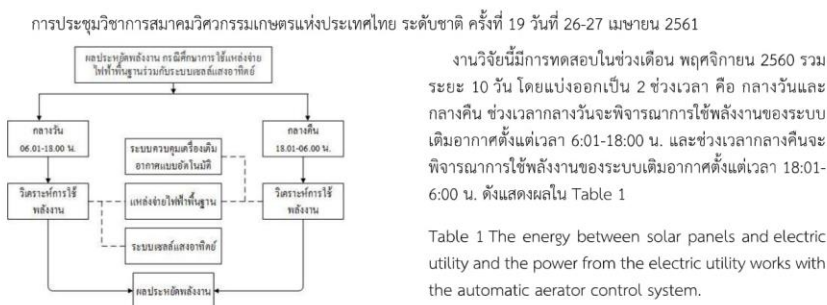


Figure 3 Block diagram of energy saving.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการพัฒนา ระบบควบคุมการเติมอากาศแบบอัตโนมัติ

ผลการพัฒนา ระบบควบคุมการเติมอากาศแบบอัตโนมัติ สำหรับบ่อเลี้ยงปลานิลแสดงผลดัง Figure 4 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- หมายเลข 1 หน้าจอแสดงการวัดปริมาณทางไฟฟ้าของระบบ
- หมายเลข 2 แสดงสถานะการทำงานของระบบ
- หมายเลข 3 สวิตช์ปุ่มกด ON (Manual)
- หมายเลข 4 สวิตช์ปุ่มกด OFF (Manual)
- หมายเลข 5 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้า เพื่อเปิด-ปิดหน้าสัมผัส (Contact) ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยในการเปิด-ปิดหน้าสัมผัส ในการตัด-ต่อวงจรไฟฟ้า เช่น เปิด-ปิด การทำงานของมอเตอร์
- หมายเลข 6 เต้าเสียบปลั๊กไฟ 220VAC
- หมายเลข 7 Terminal block เชื่อมต่อไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์และเอาต์พุตภายนอก
- หมายเลข 8 NodeMCU ESP8266 เชื่อมต่อ WiFi
- หมายเลข 9 Power Relay ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์จ่ายกระแสไฟให้กับสวิตช์ปุ่มเปิดหรือปิด

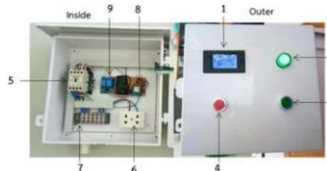


Figure 4 Control box on-off of the automatic aerator control system.

3.2 วิเคราะห์ผลประหยัดทางพลังงาน กรณีศึกษาการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบเติมอากาศ

Date	Day time			Night time
	DC (Wh)	AC (Wh)	DCAC Ratio %	AC (Wh)
1	7,546.39	12,067.57	38.47	23,101.54
2	6,464.93	13,082.27	33.07	20,847.71
3	4,851.86	9,248.87	34.41	15,129.44
4	3,912.74	17,607.75	18.18	23,063.21
5	5,142.49	17,128.24	23.09	21,498.32
6	7,419.36	12,610.95	37.04	24,283.45
7	2,208.61	10,526.30	17.34	25,415.84
8	1,668.87	9,132.25	15.45	15,012.22
9	10,085.3	9,353.92	51.88	19,012.38
10	5,819.13	9,094.11	39.02	18,755.43

การใช้พลังงานร่วมระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และไฟฟ้าพื้นฐานในวันที่แดดดี วันที่ไม่มีเมฆหรือบางส่วน และฝนไม่ตก ดังแสดงผลใน Figure 5(a) และส่วนการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานที่ทำงานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติ ดังแสดงผลใน Figure 5(b)

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

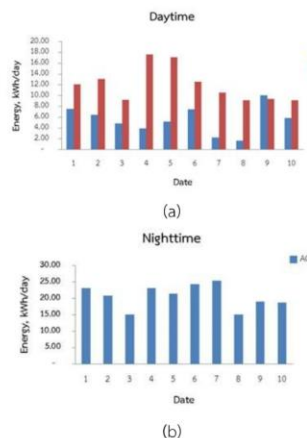


Figure 5 The proportion of energy used in the electrical system daytime (a) and nighttime (b).

จากการทดสอบในช่วงเวลาที่กำหนด พบว่า ผลประหยัดทางพลังงาน ในช่วงเวลากลางวันที่ใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถลดการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศลงได้เฉลี่ย 38.98 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงเวลากลางคืนที่ใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติ สามารถประหยัดพลังงานของระบบเติมอากาศได้เฉลี่ย 18.93 เปอร์เซ็นต์

4 สรุป

ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงปลานิล สามารถควบคุมการเปิดหรือปิดตามเงื่อนไขของเจ้าของบ่อเลี้ยงปลา หรือมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำน้อยกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร และผลประหยัดทางพลังงานสามารถลดการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศในช่วงเวลากลางวันลงได้เฉลี่ย 38.98 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงเวลากลางคืนลงได้เฉลี่ย 18.93 เปอร์เซ็นต์

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้สนับสนุนการศึกษาโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559 และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ในชุมชนสีเขียว

6 เอกสารอ้างอิง

เฉลิมเกียรติ วงษ์เกษ, สุรียันต์ มุจสิทธิ, อุดศักดิ์ วงสิงห์, วิรงรอง แสงเดือน. 2558. เครื่องเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเพาะพันธุ์ปลา. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8

ประจำปี 2558, 283-285. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 4 - 6 พฤศจิกายน 2558, ปทุมธานี.

อรทัย ชาวลาภฤทธิ. 2545. คู่มือการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: คณะกรรมการวิชาการ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยแห่งชาติ.

Agus Setiawan and Ahmad Agus Setiawan. 2013. Community development in solar energy utilization to support fish farming in Sendangsari village. Energy Procedia 32, 39-46.

Chonmapat Torasa, Patchaak Sannok, Weera Chittithamporn, Somkiat Korbuakaew and Nichanant Sermstri. 2016. SOLAR ENERGY AERATOR. Proceedings of 55th the IRES International Conference, Seoul, South Korea, 30th-31st December 2016, ISBN: 978-93-86291-71-4.

Igib Prasetyaningsari, Agus Setiawan and Ahmad Agus Setiawan. 2013. Design optimization of solar powered aeration system for fish pond in Sleman Regency, Yogyakarta by HOMER software. Energy Procedia 32, 90-98.

Mohammad Tanveer and Sivakumar Mayilsamy. 2016. A CONCEPTUAL APPROACH FOR DEVELOPMENT OF SOLAR POWERED AERATION SYSTEM IN AQUACULTURE FARMS. International Journal of Science, Environment and Technology, Vol. 5, No 5, 2016, 2921 - 2925.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวศิริวรรณ ทำนุ
เกิดเมื่อ	2 เมษายน 2536
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2558 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี พ.ศ. 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนปทุมราชวงศา อำนาจเจริญ
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2558-2559 ครูธุรการโรงเรียนบ้านโคกพระวินัยดี อำนาจเจริญ

