



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2558

การพัฒนาระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำ  
สำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง

**System Development for Control and Monitoring  
Water Quality for Shrimp Farm**

นาย อภินัย ฤกษ์รัตน์

**มกราคม 2562**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2558

## การพัฒนาระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำ สำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง

### System Development for Control and Monitoring Water Quality for Shrimp Farm

นาย อภินัย ฤกษ์รัตน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สนับสนุนโดย สำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษาและ

พัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**ชื่อโครงการวิจัย**      การพัฒนาระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง  
**แหล่งเงิน**              โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ  
                                 สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา    ประจำปีงบประมาณ 2558  
                                 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 400,000.- บาท  
                                 ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี    ตั้งแต่ ตุลาคม 2557 ถึง กันยายน 2558

**ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ**      นาย อภินัย ฤกษ์รัตน์  
                                 ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
                                 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
                                 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520  
                                 โทรศัพท์ 02-329-8347 โทรสาร 02-329-8349  
                                 E-mail : apinai@yahoo.com

**ปีที่ทำการวิจัย**              พ.ศ. 2558

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยระบบที่พัฒนาขึ้นอาศัยพื้นฐานการสื่อสารไร้สายแบบ ZigBEE โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมาประกอบด้วย เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-เบส เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดีสามสายชนิด PT-1000 วงจรจ่ายกระแสคงที่ โมดูลการสื่อสารไร้สาย XBee สายอากาศอัตรายาย 5dBi ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino Uno R3 และ Raspberry Pi Board จากการทดสอบระบบที่สร้างขึ้นกับแหล่งน้ำต่างๆ ผลปรากฏว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมาสามารถแสดงค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) , ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) และค่าอุณหภูมิจากแหล่งน้ำต่างๆ ที่ทำการวัดได้อย่างถูกต้องและสามารถนำค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมาใช้ในการควบคุมระบบเติมออกซิเจนให้น้ำได้ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมาสามารถใช้ในการควบคุมและแสดงผลคุณภาพของน้ำที่ระยะทางสูงสุดประมาณ 500 เมตร

**คำสำคัญ :** บ่อเลี้ยงกุ้ง, การตรวจสอบคุณภาพน้ำ, การสื่อสารไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

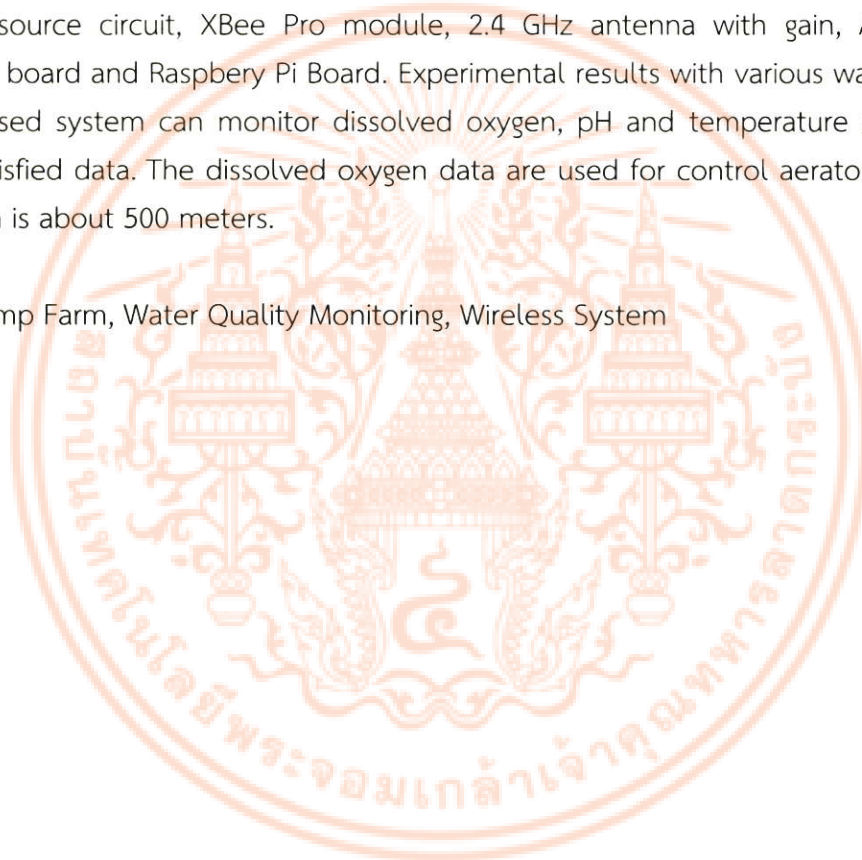
Forbidden to modify the content, and cite the Document when use.

Project Research : System Development for Control and Monitoring Water Quality for Shrimp Farm  
The Researcher : Mr. Apinai Rerkratn  
University : King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Year : 2015

## ABSTRACT

This research project presents system development for control and monitoring water quality for shrimp farm. This project is based on ZigBee technology. The proposed system consists of dissolved oxygen sensor, pH sensor, three wire resistance temperature device (RTD) type PT-1000, Current source circuit, XBee Pro module, 2.4 GHz antenna with gain, Arduino Uno R3 microcontroller board and Raspberry Pi Board. Experimental results with various water source show that the proposed system can monitor dissolved oxygen, pH and temperature of various water source with satisfied data. The dissolved oxygen data are used for control aerator. The maximum range of system is about 500 meters.

**Keywords :** Shrimp Farm, Water Quality Monitoring, Wireless System



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณในความช่วยเหลือเป็นอย่างมากจาก อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทั้งทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนคำแนะนำและเอื้อเฟื้อข้อมูลต่างๆ สำหรับใช้ในการเขียนรายงานโครงการวิจัย

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้แต่งและเอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่ผู้วิจัยนำมาใช้อ้างอิงเพื่อทำการวิจัยและเขียนรายงานโครงการวิจัย

ขอขอบคุณสำนักบริหารงานวิจัยและนวัตกรรมพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา และพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ทฤษฎี สมมติฐานหรือกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	6
1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย.....	7
1.7 วิธีการดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล.....	7
1.8 ระยะเวลาที่ทำการวิจัยและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย.....	8
1.9 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 อุณหภูมิของน้ำ.....	9
2.2 ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved Oxygen: DO).....	13
2.3 ค่า pH ของน้ำ.....	18
2.4 การวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen Measurement Method).....	20
2.4.1 เซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบออปติคัล (Optical Dissolved Oxygen Sensor).....	21
2.4.2 เซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบอิเล็กโทรเคมีคัล (Electrochemical Dissolved Oxygen Sensor) .....	23
2.4.3 การวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดสี (Colorimetric Method).....	25
2.4.4 การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยวิธีไตเตรท (Titrimetric Method) .....	26
2.5 การวัดค่า pH ในน้ำ (pH measurement method) .....	27
2.6 การวัดค่าอุณหภูมิของน้ำ.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ

	หน้า
2.6.1 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometers) .....	30
2.6.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน (Resistance sensor elements).....	32
2.6.2.1 เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) .....	32
2.6.2.2 อาร์ทีดี (RTD : Resistance Temperature Detector) .....	35
2.6.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) .....	37
2.7 บทสรุป.....	39
<b>บทที่ 3 ระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง.....</b>	<b>40</b>
3.1 ระบบควบคุมเซนเซอร์.....	40
3.1.1 เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen Sensor).....	42
3.1.2 เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส (pH Sensor) .....	44
3.1.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) .....	45
3.2 ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำ.....	46
3.3 คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบ.....	48
3.4 ระบบโซลาร์เซลล์.....	49
3.4.1 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cells).....	49
3.4.2 อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Controller).....	50
3.5 โปรแกรมสำหรับควบคุมระบบ.....	51
3.6 โปรแกรมสำหรับใช้ในการพัฒนาระบบ.....	52
3.6.1 โปรแกรม Arduino IDE.....	52
3.6.2 โปรแกรม XCTU.....	52
3.6.3 โปรแกรม Apache.....	53
3.6.4 โปรแกรม My SQL.....	53
3.6.5 โปรแกรม phpMyAdmin.....	54
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....</b>	<b>55</b>
4.1 การทดสอบหาระยะการใช้งานของระบบ.....	55
4.2 การทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen : DO).....	56
4.3 การทดสอบวัดค่า pH.....	59
4.4 การทดสอบวัดค่าอุณหภูมิ.....	63
<b>บทที่ 5 บทสรุป.....</b>	<b>64</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	65
เอกสารอ้างอิง.....	66
ภาคผนวก ก ระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง.....	68
ภาคผนวก ข บทความวิจัย.....	70
ภาคผนวก ค รายงานสรุปการเงินประจำปีงบประมาณ 2558.....	76
ภาคผนวก ง ข้อมูลประวัติผู้วิจัย.....	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาว.....	3
2.1 ตัวอย่างของค่าอัลบีโดของพื้นผิววัตถุประเภทต่าง.....	11
3.1 คุณสมบัติที่สำคัญของเซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ.....	43
3.2 คุณสมบัติที่สำคัญของเซนเซอร์วัดความเป็นกรดเบส.....	44
3.3 คุณสมบัติของบอร์ด Raspberry Pi 2 Model B 1GB.....	48
3.4 คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์.....	50
3.5 คุณสมบัติของอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ.....	51
4.1 ผลการทดสอบหาระยะการใช้งานของระบบ.....	55
4.2 ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากแหล่งน้ำตัวอย่าง.....	56
4.3 ผลการทดสอบวัดค่า pH จากแหล่งน้ำตัวอย่าง.....	60
4.4 ผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิเทียบกับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิมาตรฐานแบบดิจิตอล.....	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ระบบควบคุมเซนเซอร์.....	4
1.2	ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำ .....	5
1.3	คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบ.....	5
1.4	ระบบโซล่าเซลล์.....	6
2.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำและอัตราการเผาผลาญอาหารของสัตว์น้ำ..	10
2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ.....	10
2.3	ตัวอย่างของค่าอัลบีโดของพื้นผิวประเภทต่างๆ.....	12
2.4	น้ำที่มีความขุ่นระดับต่างๆ (ภาพด้านซ้ายคือน้ำที่มีความขุ่นสูง ขวามือคือน้ำที่มีความขุ่นต่ำ..	13
2.5	ตัวอย่างของค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์ ต่างๆ.....	14
2.6	การเพิ่มค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำผ่านสภาพบรรยากาศ.....	15
2.7	อุปกรณ์เติมอากาศบนผิวน้ำ (แบบใช้เครื่องยนต์) .....	16
2.8	อุปกรณ์เติมอากาศบนผิวน้ำ (แบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า) .....	16
2.9	ระบบเติมอากาศใต้น้ำ.....	17
2.10	การใช้งานระบบเติมอากาศใต้น้ำ.....	17
2.11	ตัวอย่างค่า pH ในสารละลายต่างๆ.....	18
2.12	ค่าปริมาณไฮโดรเจนไอออนและค่าไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายที่ค่า pH ต่างๆ.....	19
2.13	ระดับ pH ที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำประเภทต่างๆ.....	19
2.14	โครงสร้างของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบออปติคัล.....	21
2.15	ลักษณะของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบออปติคัล.....	22
2.16	โครงสร้างของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบอิเล็กทรอนิกส์.....	24
2.17	เซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบอิเล็กทรอนิกส์.....	24
2.18	การเปลี่ยนระดับสีของวิธีการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยวิธี Indico Carmine.....	25
2.19	การเปลี่ยนระดับสีของการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยวิธี Rhodazine.....	26
2.20	ขั้นตอนการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยวิธีไตเตรท.....	27
2.21	การเปลี่ยนสีของแผ่นทดสอบที่ระดับค่า pH ต่างๆ.....	27
2.22	ตัวอย่างแถบวัดค่า pH ที่ขายตามท้องตลาด.....	28
2.23	โครงสร้างของ pH Glass electrode.....	28
2.24	ลักษณะของหัววัด pH Glass electrode ที่ใช้งานจริง.....	29
2.25	ค่าแรงดันเอาต์พุทของ pH Glass electrode ที่ระดับค่า pH ต่างๆ.....	29
2.26	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และเอาต์พุทของ pH Glass electrode ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	29
2.27	ตัวอย่างของเทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว.....	31
2.28	ลักษณะโครงสร้างของเทอร์โมมิเตอร์แบบแถบโลหะคู่.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ทางปัญญาไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29	32
2.30	33
2.31	33
2.32	34
2.33	34
2.34	35
2.35	36
2.36	36
2.37	37
2.38	37
2.39	38
3.40	38
2.41	39
3.1	40
3.2	40
3.3	41
3.4	41
3.5	42
3.6	42
3.7	43
3.8	44
3.9	45
3.10	45
3.11	46
3.12	47
3.13	48
3.14	49
3.15	50
3.16	50
3.17	51
3.18	52
3.19	52
3.20	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	การทดสอบหาระยะการใช้งานของระบบ.....55
4.2	ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากบ่อน้ำหน้าตึกเรียน.....57
4.3	ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากบ่อน้ำหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์.....57
4.4	ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหาร.....58
4.5	ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากน้ำดื่มที่ผ่านเครื่องกรองน้ำ.....58
4.6	ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากน้ำประปา.....59
4.7	ผลการทดสอบวัดค่า pH จากบ่อน้ำหน้าอาคารเรียนรวม.....60
4.8	ผลการทดสอบวัดค่า pH จากบ่อน้ำหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์.....61
4.9	ผลการทดสอบวัดค่า pH จากบ่อน้ำหน้าโรงอาหาร.....61
4.10	ผลการทดสอบวัดค่า pH จากน้ำดื่มที่ผ่านเครื่องกรองน้ำ.....62
4.11	ผลการทดสอบวัดค่า pH จากน้ำประปา.....62
4.12	การทดสอบวัดค่าอุณหภูมิของระบบที่พัฒนาขึ้นมา.....63
1ก	ระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง (ภายนอก).....68
2ก	ระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง (ภายใน) .....69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งไปยังต่างประเทศเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท ซึ่งประเทศไทยถือเป็นผู้นำการผลิตกุ้ง และเป็นผู้ส่งออกกุ้งเป็นอันดับหนึ่งของโลก เริ่มต้นจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นหลัก ต่อมาเมื่อเลี้ยงกันมากขึ้นทำให้พ่อพันธุ์แม่พันธุ์จากธรรมชาติไม่เพียงพอต่อความต้องการ ประกอบกับขาดการพัฒนาสายพันธุ์ ส่งผลให้ผลผลิตกุ้งกุลาดำที่ได้มีขนาดเล็กลง โตช้า และมีต้นทุนการเลี้ยงสูงขึ้น ในขณะที่ราคากุ้งกลับถูกลง จนกระทั่งได้มีการนำกุ้งขาวแวนนาไมจากทวีปอเมริกาใต้ที่มีการพัฒนาสายพันธุ์เป็นอย่างดี เลี้ยงง่าย โตเร็ว ต้นทุนการผลิตต่ำกว่า และเสียค่าบริหารจัดการน้อย แต่ได้ผลผลิตสูง จึงทำให้คนไทยหันมาเลี้ยงกุ้งขาวกันมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งปัจจุบันประเทศไทยเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่สัดส่วนร้อยละ 99 และกุ้งกุลาดำเพียงร้อยละ 1 [1]

สำหรับสภาพการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งในปัจจุบันจะมีรูปแบบในการแปรรูปเพื่อการส่งออกที่สำคัญอยู่ 2 รูปแบบใหญ่ ๆ [2] คือ

1. กุ้งแช่เย็นแช่แข็ง(Frozen Fresh) คือ กุ้งสดที่ผ่านกรรมวิธีการล้างและการตัดแต่งก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง
2. กุ้งแปรรูป(Frozen Cook) คือ กุ้งสดที่ผ่านกรรมวิธีการล้าง การตัดแต่งและทำให้สุกหรือเพิ่มส่วนประกอบต่างๆ ก่อนนำไปแช่แข็ง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เช่น กุ้งชุบแป้งทอด กุ้งกึ่ง กุ้งเสียบไม้ กุ้งชุบเกล็ดขนมปัง กุ้งเผาเปียะ กุ้งซูชิ กุ้งบิงโกะ กุ้งโนบาชิ กุ้งคอกเทล เป็นต้น

จากรายงานแนวโน้มราคาสินค้าเกษตรสำคัญภาคใต้และรายงานราคาสินค้าเกษตรสำคัญของไทย ประจำเดือนกรกฎาคม 2556 [3-4] พบว่าราคากุ้งขาวมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผลผลิตที่ออกสู่ตลาดมีน้อยกว่าความต้องการของตลาดจากปัญหาโรคตายด่วนและการชะลอการเลี้ยงของเกษตรกร ทำให้ภาคการส่งออกยังมีปัญหาขาดแคลนวัตถุดิบในการส่งออก ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของประเทศผู้สั่งซื้อ ดังนั้นจึงควรมีการส่งเสริมและพัฒนาการทำบ่อเลี้ยงกุ้งสำหรับการส่งออกและบริโภค ซึ่งปัญหาใหญ่ของการเลี้ยงกุ้งในปัจจุบันก็คือโรคระบาด โดยจากการศึกษา [5] พบว่า ปัจจัยสภาพแวดล้อมในบ่อ (บ่อดิน) เป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของโรคระบาด เนื่องจากจากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการปล่อยกุ้งลงไปบ่อเลี้ยง ก่อนกุ้งจะแสดงอาการป่วยมักพบความแปรปรวนของสภาพอากาศและ/หรือเมื่อมีการเติมน้ำจากแหล่งน้ำ รวมถึงการจัดการในบ่อที่ไม่เหมาะสม เช่น ปล่อยลูกกุ้งหนาแน่นเกินไป และการเตรียมบ่อไม่ดี เป็นต้น รวมทั้งมีการระบาดของโรคอื่นๆ ตลอดจนการควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้ง

สำหรับการดูแลคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งถือว่าเป็นเรื่องสำคัญ [6-8] เพราะในปัจจุบันเราเลี้ยงกุ้งในปริมาณที่หนาแน่นมากกว่าเดิม ทำให้ต้องมีการให้อาหารปริมาณมาก สิ่งขี้ถ่ายของกุ้งมาก ต้องใช้ออกซิเจนและแร่ธาตุในขบวนการย่อยสลายมาก ดังนั้นหากเกิดความผิดพลาดเรื่องการดูแลคุณภาพน้ำก็จะส่งผลกระทบต่อ การเลี้ยงกุ้งได้ ตั้งแต่ระดับต่ำสุด คือ กุ้งเครียด โตช้า ทำให้ต้นทุนสูงกว่าที่ควร ไปจนถึงกุ้งอ่อนแอ เสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หรือที่เรียกว่ากึ่งน็อค จะต้องจับก่อนกำหนด สำหรับการรักษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งมีองค์ประกอบที่สำคัญ [6-8] ดังนี้

### 1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง ที่เหมาะสมสำหรับกุ้งที่สุดคืออยู่ในช่วง 7.5 - 8.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของกุ้งมากที่สุด เนื่องจากกุ้งจะสามารถกินอาหารได้ดี แต่อย่างไรก็ตามความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากการสะสมของของเสียที่กุ้งถ่ายออกมา รวมทั้งเศษอาหารที่ตกค้างในบ่อและซากพืชซากสัตว์ การสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ เป็นต้น จากสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้ต้องมีการถ่ายน้ำหรือใส่ปูนขาวเพื่อทำการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง ให้เหมาะสม

### 2. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการเลี้ยงกุ้ง เพราะปริมาณออกซิเจนส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง นั่นคือหากปริมาณออกซิเจนเพียงพอจะทำให้กุ้งมีความแข็งแรง กินอาหารดี ของเสียและสารอินทรีย์มีการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง สารเคมีที่เป็นพิษกับกุ้งจะเหลืออยู่น้อยที่สุด ดังนั้นจึงต้องรักษาระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้มีค่าเหมาะสม (มากกว่า 5 มก./ล. กรณีกุ้งขาว) ซึ่งหากระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำจะต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือเปิดเครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้เหมาะสม

### 3. อุณหภูมิของน้ำ

อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป อาจทำให้กุ้งอ่อนแอหรือตายได้ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งสูงหรือต่ำเกินไปจะต้องปรับอุณหภูมิของน้ำให้เหมาะสม เช่น ถ้าอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งสูงเกินไปแสดงว่าระดับน้ำต่ำเกินไปก็ต้องการเติมน้ำเข้าไปเพื่อให้ระดับน้ำสูงขึ้น หรือถ้าอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งต่ำเกินไป ก็ต้องการน้ำที่อุ่นกว่าเติมเข้าไปหรืออาจทำการลดระดับน้ำลงเพื่อให้แดดส่องทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

### 4. ความโปร่งแสงของน้ำ

ความโปร่งแสงของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญ น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งควรมีสีเขียวอมฟ้าและมีความโปร่งแสงพอเหมาะ ทั้งนี้เพื่อป้องกันแสงแดดไม่ให้ส่องถึงกันบ่อมากเกินไป เนื่องจากหากน้ำมีความโปร่งแสงมากเกินไปจะทำให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งหากมีมากเกินไปจะไปเกาะตัวกุ้งทำให้กุ้งไม่ลอกคราบ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งทำให้กุ้งโตช้า ดังนั้นในการเลี้ยงกุ้งต้องให้ความสำคัญกับความโปร่งของน้ำด้วย

โดยตัวอย่างของคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาวสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาว [8]

คุณภาพน้ำ	ค่าที่เหมาะสม
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28-32
ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	> 5
ความเป็นกรดเป็นด่าง	7.5-8.0
คาร์บอนไดออกไซด์ (มก./ล.)	< 20
ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	2-35
ความกระด้างของน้ำ (มก./ล. ของ CaCO <sub>3</sub> )	> 150
ค่าความเป็นด่าง (มก./ล. ของ CaCO <sub>3</sub> )	> 100
ความโปร่งแสงของน้ำ (เซนติเมตร)	20 – 40
แอมโมเนียอิสระ (มก./ล.)	< 0.1
ไนโตรเจน (มก./ล.)	< 200
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก./ล.)	< 0.002

จากองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการรักษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งดั่งที่กล่าวมาแล้วแต่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง ดังนั้นเกษตรกรจึงต้องมีการเฝ้าระวังและทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อที่จะสามารถจัดการและแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพน้ำอย่างทันทั่วถึง ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณการรอดชีวิตและอัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อใช้ในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งต่างๆ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นจะช่วยให้การเฝ้าระวัง ควบคุมและทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ระบบที่พัฒนาขึ้นยังสามารถเก็บข้อมูลของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาผลกระทบต่างๆ ต่อกุ้งเนื่องจากผลของสภาพน้ำลักษณะต่างๆ อันจะส่งผลต่อนักวิจัยและเกษตรกรผู้ใช้งาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. พัฒนาเทคนิคในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อประยุกต์ใช้งานในบ่อเลี้ยงกุ้ง
2. พัฒนาระบบในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อประยุกต์ใช้งานในบ่อเลี้ยงกุ้ง

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อประยุกต์ใช้งานในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง

## 1.4 ทฤษฎี สมมติฐานหรือกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ในโครงการวิจัยนี้กล่าวถึงการพัฒนาระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อใช้ในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งต่างๆ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นจะช่วยให้การเฝ้าระวัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ควบคุมและทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ระบบที่จะพัฒนาขึ้นยังสามารถเก็บข้อมูลของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาผลกระทบต่างๆ ต่อกุ้งเนื่องจากผลของสภาพน้ำลักษณะต่างๆ อันจะส่งผลดีทั้งนักวิจัยและเกษตรกรผู้ใช้งาน สำหรับระบบที่จะทำการพัฒนาขึ้นมาจะประกอบด้วย 4 ส่วนหลักคือ

### 1. ระบบควบคุมเซนเซอร์ (Sensor Control System)

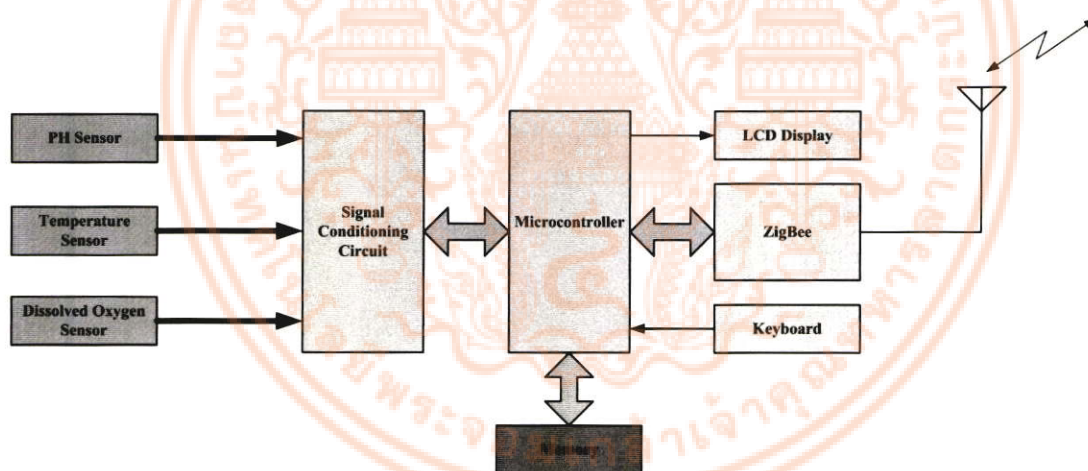
สำหรับวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ในส่วนขอระบบควบคุมเซนเซอร์ จะประกอบไปด้วย เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบต่างๆ ของน้ำเพื่อใช้ในการประเมินสภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งดังนี้

เซนเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (PH Sensor)

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)

เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen Sensor)

สำหรับเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้ง 3 แบบ ทางผู้วิจัยจะได้ทำการพัฒนาและออกแบบวงจรปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning Circuit) ให้เหมาะสมกับเซนเซอร์ที่ใช้งานแต่ละชนิด สัญญาณที่ได้จากวงจรปรับสภาพสัญญาณจะถูกส่งไปไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำหน้าที่บันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำ (Memory) และส่งผลค่าการตรวจวัดต่างๆ ไปยังคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย ZigBee [9-10] สำหรับโครงสร้างทั้งหมดของระบบควบคุมเซนเซอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ระบบควบคุมเซนเซอร์

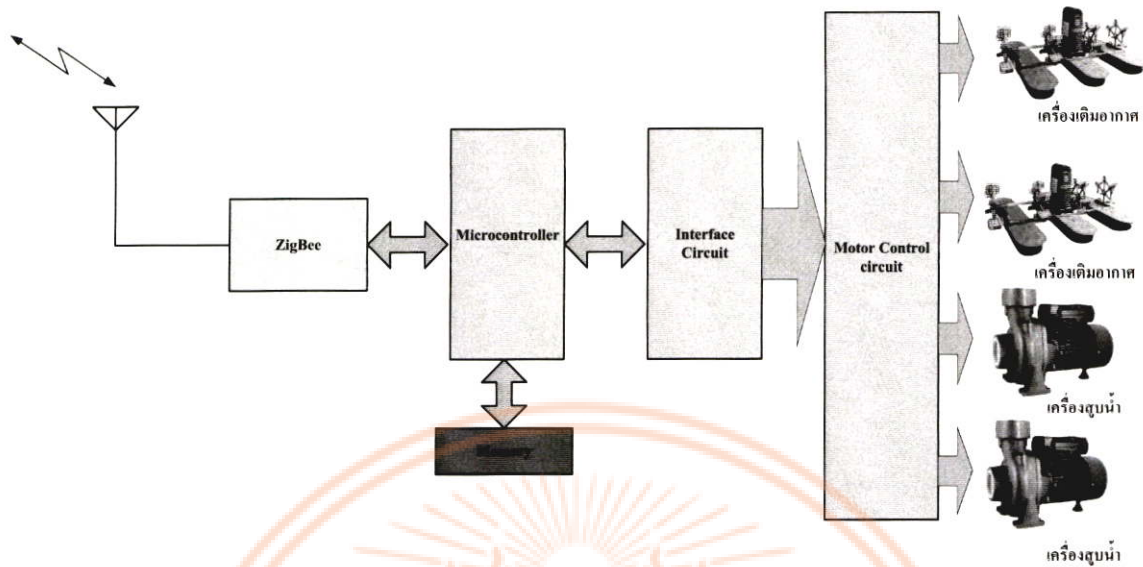
### 2. ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำ

สำหรับวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำโดยคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย ZigBee สำหรับโครงสร้างทั้งหมดของระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

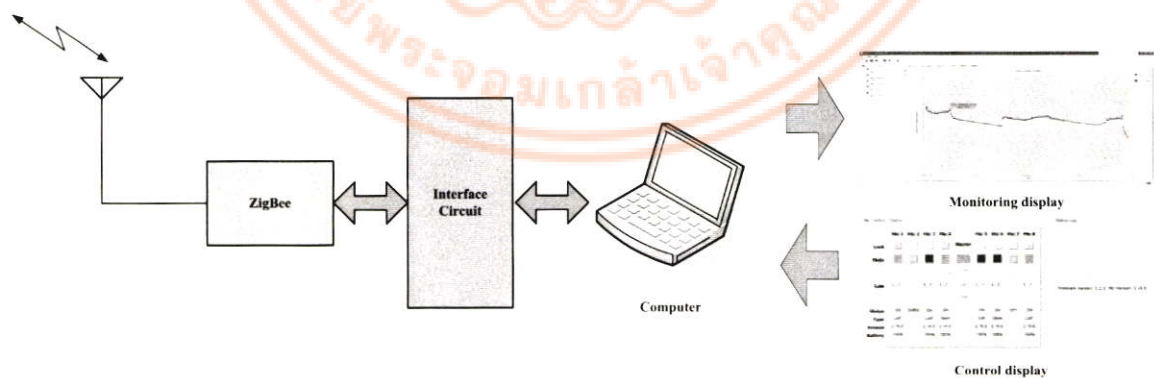
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 1.2 ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำ [11-12]

### 3. คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบ (Computer Control)

คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบจะทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งทั้งหมด โดยเริ่มตั้งแต่การรับค่าการตรวจวัดต่างๆ จากเซนเซอร์แต่ตัว จากนั้นคอมพิวเตอร์จะนำค่าที่วัดได้ไปทำการวิเคราะห์และประมวลผล ถ้าผลที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ก็จะมีการส่งสัญญาณเตือนหรือทำการส่งสัญญาณไปควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำโดยผ่านเครือข่ายไร้สาย ZigBee เพื่อทำการปรับสภาพน้ำทันทีเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดกับกุ้งที่เลี้ยง สำหรับส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบ [13-14]

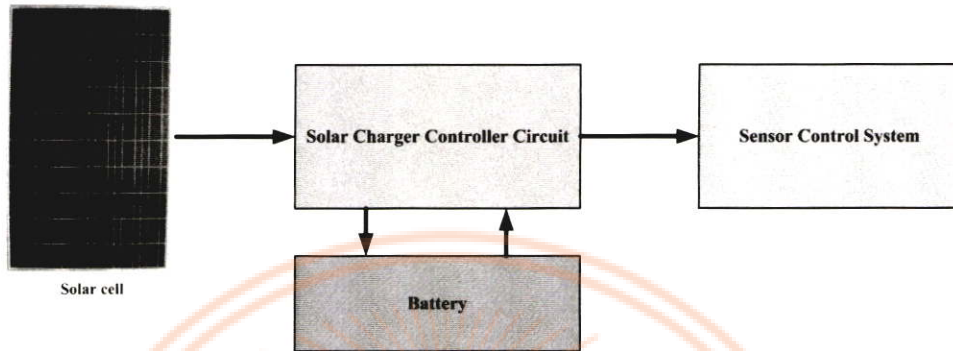
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4. ระบบโซลาร์เซลล์ (Solar cell system)

สำหรับระบบโซลาร์เซลล์จะทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานให้กับระบบควบคุมเซนเซอร์ เนื่องจากระบบควบคุมเซนเซอร์จะถูกติดตั้งอยู่ที่บริเวณจุดต่างๆ ของบ่อเลี้ยงกุ้ง สำหรับส่วนประกอบของระบบโซลาร์เซลล์ที่จะทำการสร้างขึ้นมาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ระบบโซลาร์เซลล์ [15]

จากส่วนประกอบของระบบทั้งหมดที่กล่าวมา ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เครือข่ายไร้สาย ZigBee มาใช้ในการสื่อสารและควบคุม ซึ่งสาเหตุที่ทางผู้วิจัยเลือกนำเอา ZigBee มาใช้งานเนื่องจาก [9-10]

- ระบบมีการใช้พลังงานต่ำ เหมาะสมกับระบบควบคุมเซนเซอร์ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ที่บริเวณจุดต่างๆ ของบ่อเลี้ยงกุ้ง ที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่และโซลาร์เซลล์ ซึ่งมีข้อจำกัดด้านพลังงาน
- ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย
- อัตรารับส่งข้อมูลอยู่ในช่วง 20-250 Kbps ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ของโมดูลที่ใช้งาน ซึ่งเพียงพอสำหรับการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง
- สามารถสร้างเครือข่ายในการสื่อสารแบบต่างๆ ในการใช้งาน ทำให้ระบบมีเสถียรภาพ
- มีระยะทางในการสื่อสารตั้งแต่ 5-1500 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของโมดูล ลักษณะของสายอากาศ และสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน แต่ด้วยลักษณะทั่วไปของบ่อเลี้ยงกุ้งซึ่งมีลักษณะโล่งเตียนไม่มีสิ่งกีดขวางจึงช่วยลดปัญหาการลดทอนสัญญาณในการทำงาน

จากข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวมาทางผู้วิจัยจึงได้เลือกนำเอา ZigBee มาใช้งานในระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำที่จะทำการพัฒนาขึ้นสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง เพื่อใช้ในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งต่างๆ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นจะช่วยในการเฝ้าระวัง ควบคุมและทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ระบบที่จะพัฒนาขึ้นยังสามารถเก็บข้อมูลของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาผลกระทบต่างๆ ต่อกุ้งเนื่องจากผลของสภาพน้ำลักษณะต่างๆ อันจะส่งผลดีทั้งนักวิจัยและเกษตรกรผู้ใช้งาน

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ได้เทคนิคในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อประยุกต์ใช้งานในบ่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the author when use.

2. กระตุ้นให้เกิดการทำวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคโนโลยีและวัสดุภายในประเทศ
3. ใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาผลกระทบต่างๆ ต่อผู้เนื่องจากผลของสภาพน้ำลักษณะต่างๆ อันจะส่งผลต่อนักวิจัยและเกษตรกรผู้ใช้งาน
4. สามารถนำข้อมูลคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ได้ไปใช้ในการวิจัยและพัฒนา รูปแบบของการเลี้ยงกุ้งให้เหมาะสมกับสภาพน้ำของแต่ละพื้นที่
5. ช่วยประหยัดแรงงานและเวลาที่ใช้ในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง
6. สามารถนำเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมาไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอื่นๆ

### 1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

นำเสนอรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ พร้อมทั้งนำเสนอบทความวิจัยในการประชุมวิชาการต่างๆ และถ่ายทอดเทคโนโลยีในการสร้างระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งแก่บุคคลและหน่วยงานต่างๆ ที่สนใจนำระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งไปใช้งานหรือพัฒนาต่อ เช่น

- นักศึกษา จากมหาวิทยาลัยหรือสถาบันต่างๆ
- นักวิจัยจากหน่วยงานต่างๆ
- หน่วยงานทางภาคเกษตรกรรม
- หน่วยงานทางภาคอุตสาหกรรม
- ผู้สนใจที่จะนำระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งไปประยุกต์ใช้งาน
- ฯลฯ

### 1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

เพื่อให้การวิจัยสร้างระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งสำเร็จรวดเร็วภายในระยะเวลาที่กำหนดประมาณ 12 เดือน จึงขอแบ่งวิธีการวิจัยดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปของเทคนิคในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำ
2. ศึกษาข้อมูลเทคนิคในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง
3. ออกแบบและสร้างระบบการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง
4. ทดสอบระบบการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง
5. ปรับปรุงคุณภาพของระบบการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งที่ได้ ออกแบบสร้างขึ้นมา
6. สร้างต้นแบบระบบการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง
7. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

สำหรับสถานที่ในการทำการทดลองและเก็บข้อมูลจะใช้สถานที่ของสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและ

ควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 1.8 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

เริ่มต้นตั้งแต่เดือนตุลาคม 2557 จนถึง กันยายน 2558 ซึ่งจะทำการวิจัยให้เสร็จภายในปีงบประมาณ 2558

#### แผนการดำเนินการตลอดโครงการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	งบประมาณปี 2558												
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปของเทคนิคในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำ	←→												
2. ศึกษาข้อมูลเทคนิคในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง		←→											
3. ออกแบบและสร้างระบบการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง			←→										
4. ทดสอบระบบการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง					←→								
5. ปรับปรุงคุณภาพของระบบการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นมา								←→					
6. สร้างต้นแบบระบบการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง										←→			
7. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์												←→	

### 1.9 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

1. อุปกรณ์, เครื่องมือวัด และเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วภายในสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
2. อุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทำวิจัยส่วนใหญ่สามารถหาซื้อและจัดทำภายในประเทศได้ โดยมีบางส่วนที่จะต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ เช่น ไอซีสำเร็จรูปต่างๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวัดคุณภาพน้ำรวมทั้งเทคนิคต่างๆ ในการวัดคุณภาพน้ำ[16] ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 2.1 อุณหภูมิของน้ำ

อุณหภูมิของน้ำเป็นคุณสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งที่ใช้แสดงความร้อนเย็นของน้ำ ซึ่งคุณสมบัติความร้อนเย็นของน้ำนี้สามารถใช้ในการวัดปริมาณพลังงานความร้อนของสสาร โดยพลังงานความร้อนนี้เป็นลักษณะของพลังงานจลน์ของอะตอมและโมเลกุลของสสารนั้น ดังนั้นค่าอุณหภูมิจะเป็นตัววัดค่าพลังงานจลน์ของอะตอมและโมเลกุลที่อยู่ในสสาร ซึ่งค่าพลังงานจลน์นี้สามารถที่จะแลกเปลี่ยนถ่ายเทกันระหว่างสสารโดยใช้สมการของการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ดังนั้นในสภาวะของบ่อเลี้ยงกุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ ผลจากสภาพอากาศ แสงแดด และคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ จะมีผลในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในบ่อ

อุณหภูมิของน้ำเป็นแฟกเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพของน้ำ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำล้วนส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำ ซึ่งท้ายสุดจะส่งผลถึงสัตว์น้ำที่เกษตรกรทำการเลี้ยง ซึ่งตัวอย่างผลกระทบเนื่องจากผลของอุณหภูมิของน้ำสามารถแสดงได้ดังนี้

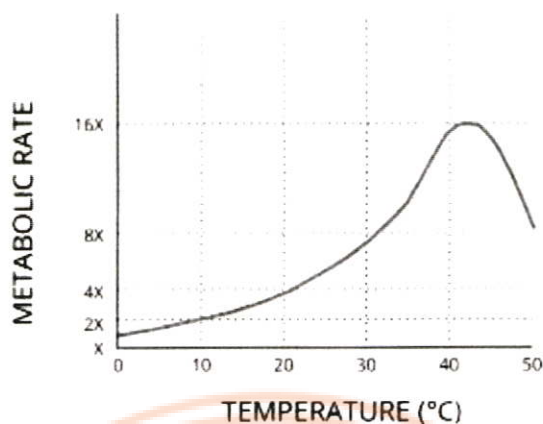
- อัตราการเผาผลาญอาหารของสัตว์น้ำ
- อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำ
- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ
- ความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ที่ละลายในน้ำ
- ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของน้ำ
- ค่าความเค็ม (Salinity) ของน้ำ
- ค่า Oxidation reduction potential (ORP) ของน้ำ
- ค่า pH ของน้ำ
- ค่าความหนาแน่นของน้ำ (Water density)

จากตัวอย่างของผลกระทบต่างๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำ ผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำที่มีต่ออัตราการเผาผลาญอาหารและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำต่างๆ นับว่ามีความสำคัญดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

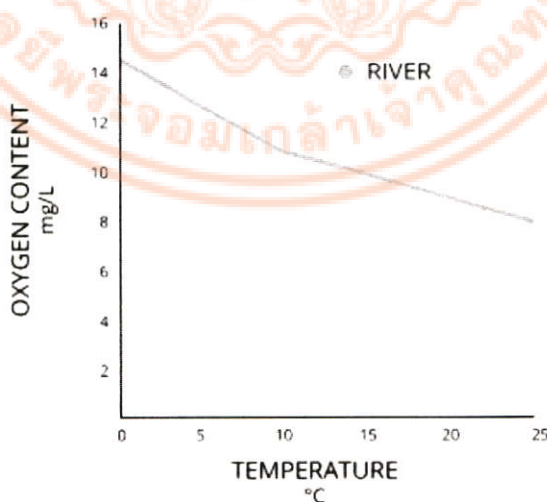


รูปที่ 2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำและอัตราการเผาผลาญอาหารของสัตว์น้ำ :

<http://www.fondriest.com/>

จากกราฟในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าอัตราการเผาผลาญพลังงานของสัตว์น้ำจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของน้ำ เนื่องจากเอนไซม์ (Enzymes) สามารถทำงานได้ดีในขณะที่มีอุณหภูมิสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์น้ำส่วนใหญ่ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจึงส่งผลให้อัตราการเผาผลาญพลังงานของสัตว์น้ำสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นถึงระดับหนึ่ง (ประมาณ 35 องศาเซลเซียส) ค่าอัตราการเผาผลาญอาหารของสัตว์น้ำจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว

ผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำนั้นคือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะมีค่าลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ :

<http://www.fondriest.com/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกราฟในรูปที่ 2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีค่าลดลงตามอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้น นั่นคือในบ่อเลี้ยงกุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ ที่มีอุณหภูมิของน้ำต่ำจะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงกว่าบ่อที่มีอุณหภูมิของน้ำสูง ดังนั้นหากบ่อเลี้ยงกุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีอุณหภูมิสูงเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำไม่เพียงพอที่จะทำให้กุ้งหรือสัตว์น้ำที่เลี้ยงสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการตายของกุ้งและสัตว์น้ำต่างๆ ได้

จากตัวอย่างผลกระทบจากอุณหภูมิของน้ำที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของกุ้งและสัตว์น้ำต่างๆ ที่ทำการเพาะเลี้ยง ดังนั้นเราจึงต้องหาวิธีการป้องกันแพกเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งอุณหภูมิของน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น แสงแดด สภาพบรรยากาศ ความชื้นของน้ำ สภาพการไหลของน้ำ เป็นต้น โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

#### - แสงแดด (Sunlight)

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนแหล่งใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิของน้ำที่อยู่ในบ่อเลี้ยงกุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ โดยพลังงานความร้อนที่น้ำในบ่อได้รับจะอยู่ในรูปแบบของแสงแดดหรือรังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งพลังงานเหล่านี้จะถูกส่งผ่านผิวน้ำลงไปสู่น้ำที่อยู่ในบ่อเลี้ยงกุ้งทำให้เกิดการสะสมความร้อนและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Reflection coefficient) ของน้ำ หรือเรียกอีกอย่างว่า ค่าอัลบิโด (Albedo) ของน้ำ ซึ่งค่าอัลบิโดเป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการสะท้อนหรือการดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์ของน้ำ โดยหากค่าอัลบิโดมีค่าต่ำหมายถึงน้ำในบ่อนั้นมีความสามารถในการดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้มากซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก แต่ถ้าหากค่าอัลบิโดมีค่าสูงแสดงว่าน้ำนั้นมีความสามารถในการดูดซับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้น้อย ซึ่งส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในบ่อมีค่าน้อย สำหรับตัวอย่างของค่าอัลบิโดของพื้นผิววัตถุประเภทต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.3

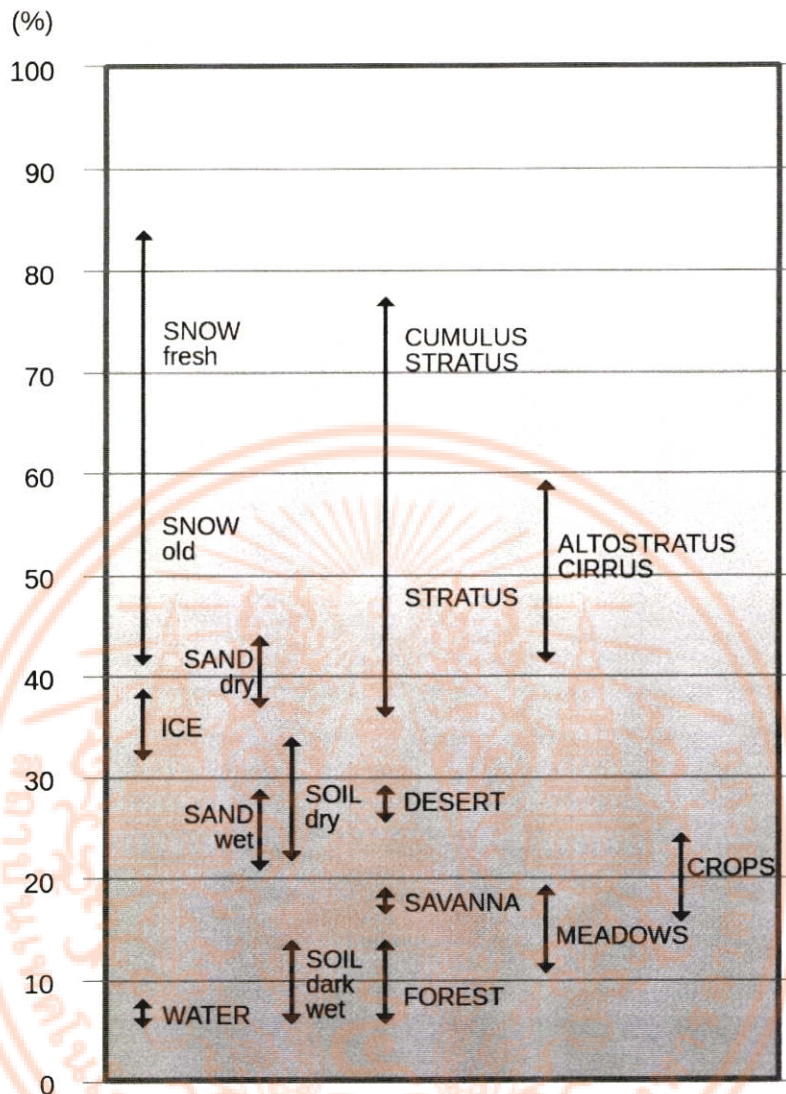
**ตารางที่ 2.1** ตัวอย่างของค่าอัลบิโดของพื้นผิววัตถุประเภทต่างๆ

Material	Albedo (%)
Fresh Snow	80-95
Thick Cloud	70-80
Old Snow	50-60
Light soil	25-45
Thin Cloud	20-30
Dry Soil	20-25
Wet Soil	15-25
Dark Soil	5-15
Asphalt	5-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของค่าอัลบิโดของพื้นผิวประเภทต่างๆ: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

- สภาพบรรยากาศ

สภาพบรรยากาศหรืออากาศจะส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกันระหว่างอุณหภูมิบนผิวน้ำกับอุณหภูมิของอากาศรอบๆ โดยอุณหภูมิจากที่สูงกว่าจะไหลไปยังพื้นที่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าทำให้เกิดการถ่ายเทอุณหภูมิและสร้างความผันผวนของอุณหภูมิ แต่การผันผวนของอุณหภูมิของน้ำจะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไปไม่เหมือนกับความเร็วผันผวนของอุณหภูมิในอากาศ

- ความขุ่นของน้ำ (Turbidity)

ค่าความขุ่นของน้ำเป็นบ่งบอกปริมาณสารแขวนลอย (Suspended solids) ที่อยู่ในน้ำ ซึ่งสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำนี้ส่งผลต่ออุณหภูมิของน้ำ นั่นคืออนุภาคของสารแขวนลอยเหล่านี้จะดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ส่งผลทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นตามปริมาณความขุ่นของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ โดยตัวอย่างลักษณะความขุ่นของน้ำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.4 น้ำที่มีความขุ่นระดับต่างๆ (ภาพด้านซ้ายคือน้ำที่มีความขุ่นสูง ขวามือคือน้ำที่มีความขุ่นต่ำ:

[www.stemsoup.files.wordpress.com](http://www.stemsoup.files.wordpress.com)

## 2.2 ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved Oxygen: DO)

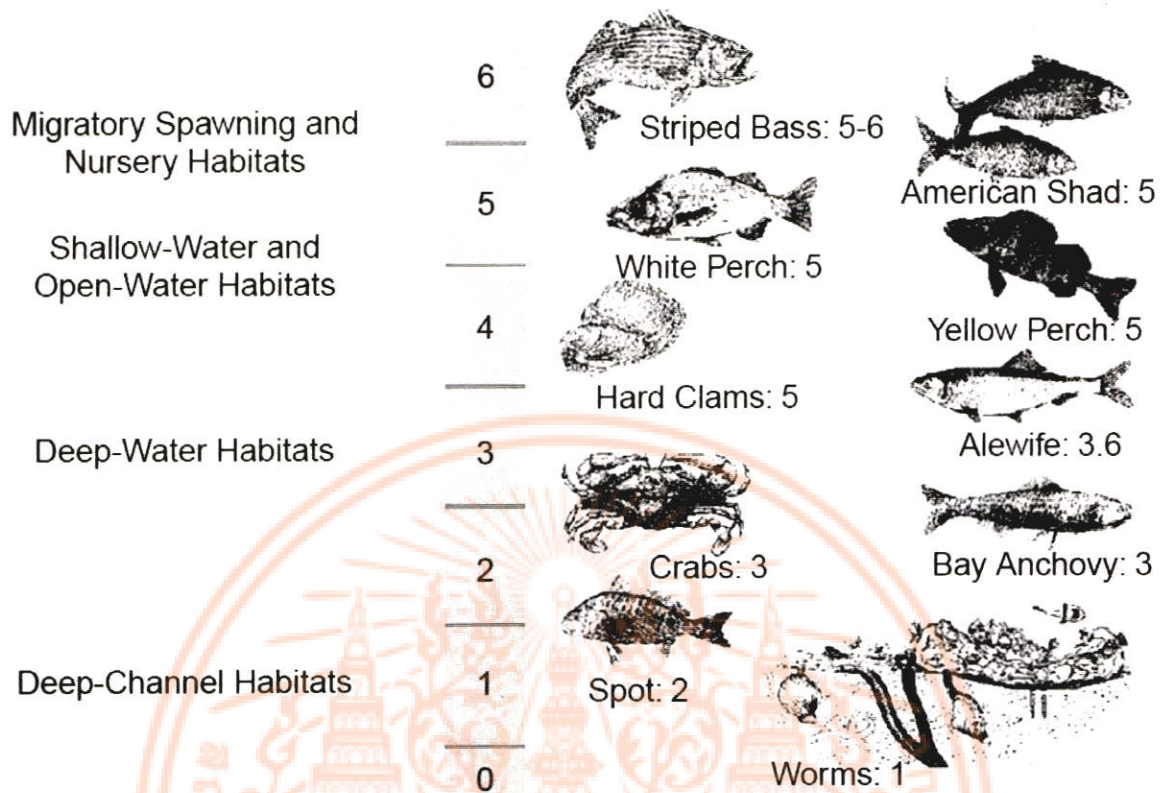
ค่าปริมาณค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ หมายถึงค่าปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในน้ำหรือของเหลวต่างๆ โดยไม่รวมปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในรูปสารประกอบต่างๆ ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการประเมินคุณภาพของน้ำ เพราะค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีอิทธิพลและความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ โดยค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่สูงหรือต่ำเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำนั้น

สำหรับในบ่อเลี้ยงกุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น กุ้ง หอย ปู ปลา รวมทั้งพืชน้ำและแบคทีเรียต่างๆ ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่กล่าวมานี้ใช้ออกซิเจนในการหายใจเหมือนกับสิ่งมีชีวิตบนบก โดยกุ้งและปลาต่างๆ ได้รับออกซิเจนจากน้ำสำหรับการหายใจผ่านเหงือก ในขณะที่สิ่งมีชีวิตจำพวกพืชต้องใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเพื่อหายใจขณะที่ไม่มีแสงสำหรับการสังเคราะห์แสง โดยค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ เช่น สิ่งมีชีวิตประเภท กุ้ง หอย ปู ที่อาศัยอยู่บริเวณน้ำลึกอาจต้องการค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำในช่วง 1-6 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าเป็นปลาน้ำจืดที่อาศัยอยู่บริเวณน้ำตื้นๆ อาจต้องการค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำช่วง 4-15 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยตัวอย่างของค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์ต่างๆ: [www.chesapeakebay.net](http://www.chesapeakebay.net)

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ ไม่ว่าจะเป็น กุ้ง หอย ปู ปลา และสัตว์น้ำต่างๆ ดังนั้นในบ่อเลี้ยงกุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ จึงต้องมีการควบคุมค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำต่างๆ สำหรับวิธีการในการเพิ่มค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำให้กับบ่อเลี้ยงกุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ มีหลายวิธีดังตัวอย่างต่อไปนี้

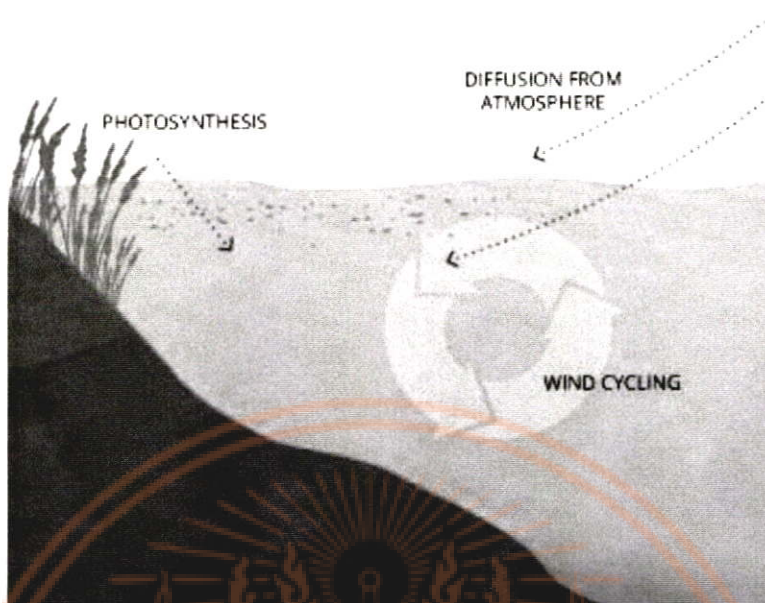
- การเพิ่มค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำผ่านสภาพบรรยากาศ

การเพิ่มค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำด้วยวิธีนี้อาศัยออกซิเจนที่อยู่ในบรรยากาศแพร่กระจายผสมลงไปใต้น้ำลงไปในน้ำอย่างช้าๆ โดยอาศัยธรรมชาติ ซึ่งค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเพียงใดจะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ผิวของบ่อเลี้ยงกุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ ความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรยากาศ ความเร็วของกระแสลมที่พัดผ่าน ตลอดจนค่าอุณหภูมิของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 การเพิ่มค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำผ่านสภาพบรรยากาศ: <http://www.fondriest.com/>

จากรูปที่ 2.6 แสดงการเพิ่มค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำผ่านสภาพบรรยากาศโดยรอบ นอกจากนี้ การที่น้ำมีการไหลผ่าน แก่ง ลำธาร หรือลมที่พัดผ่านยังช่วยในเพิ่มค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำด้วย นอกจากนี้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำยังสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการสังเคราะห์แสงของพืชที่อยู่ในน้ำ ซึ่งค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจากการสังเคราะห์แสงจากพืชที่อยู่ในน้ำจะมีมากโดยเฉพาะพืชน้ำตื้นและสาหร่ายที่แสงอาทิตย์สามารถส่องเข้าถึงพืชน้ำเหล่านั้นได้ ซึ่งความลึกของน้ำที่แสงอาทิตย์สามารถส่องลงไปถึงขึ้นอยู่กับความขุ่นของแหล่งน้ำนั้น โดยค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่ได้จากการสังเคราะห์แสงจากพืชใต้น้ำนี้มีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวันและลดลงในช่วงเวลากลางคืน

- การเพิ่มค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำโดยวิธีการใช้เครื่องเติมอากาศ (Aerator)

สำหรับการเพิ่มค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำโดยวิธีการใช้เครื่องเติมอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

- อุปกรณ์เติมอากาศบนผิวน้ำ (Surface aerator)

ระบบเติมอากาศแบบนี้อาศัยหลักการดึงน้ำขึ้นมาให้สัมผัสกับอากาศโดยใช้กังหันหรือใบพัดเพื่อทำการปั่นหรือตีน้ำให้เป็นฝอยเพื่อให้ออกซิเจนในอากาศเข้าไปผสมกับน้ำ ซึ่งลักษณะของอุปกรณ์เติมอากาศบนผิวน้ำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8

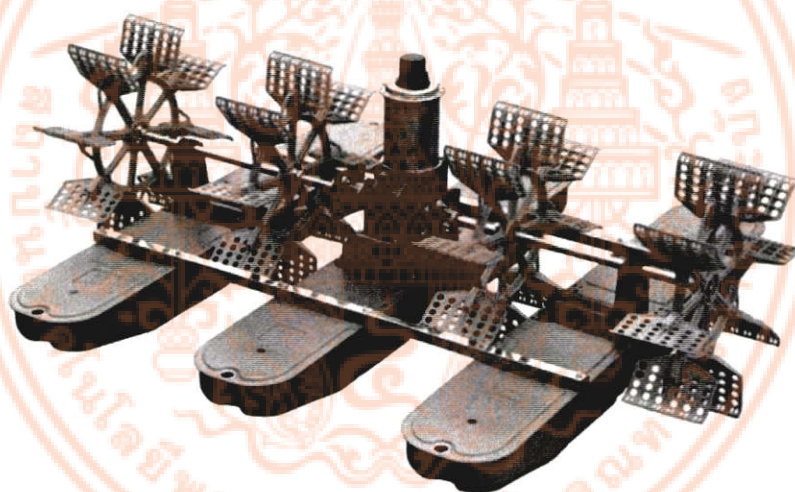
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์เติมอากาศบนผิวน้ำ (แบบใช้เครื่องยนต์) [www.aquaculture-product.com](http://www.aquaculture-product.com)



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์เติมอากาศบนผิวน้ำ (แบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า) [www.aeratorsupplier.com](http://www.aeratorsupplier.com)

จากรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์เติมอากาศบนผิวน้ำทั้งแบบที่ใช้เครื่องยนต์และแบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งทั้งสองแบบจะประกอบไปด้วย ชุดใบพัดหรือกังหัน และทุ่นลอย โดยใบพัดหรือกังหันใช้สำหรับการตีน้ำเพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างน้ำและอากาศ โดยอาศัยกำลังในการหมุนจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า

- อุปกรณ์เติมอากาศใต้น้ำ (Submerged aerator)

สำหรับระบบเติมอากาศแบบนี้อาศัยการเป่าอากาศลงไปใต้น้ำโดยตรงเพื่อเติมอากาศลงไปใต้น้ำ ซึ่งระบบเติมอากาศแบบนี้เหมาะสำหรับบ่อที่มีขนาดใหญ่และลึกได้ดี เนื่องจากการอัดอากาศลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไปในน้ำโดยตรงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง โดยลักษณะของระบบเติมอากาศใต้น้ำสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 ระบบเติมอากาศใต้น้ำ: [www.fc-excellent.com](http://www.fc-excellent.com)

รูปที่ 2.10 การใช้งานระบบเติมอากาศใต้น้ำ: [www.wa-teq.com](http://www.wa-teq.com)

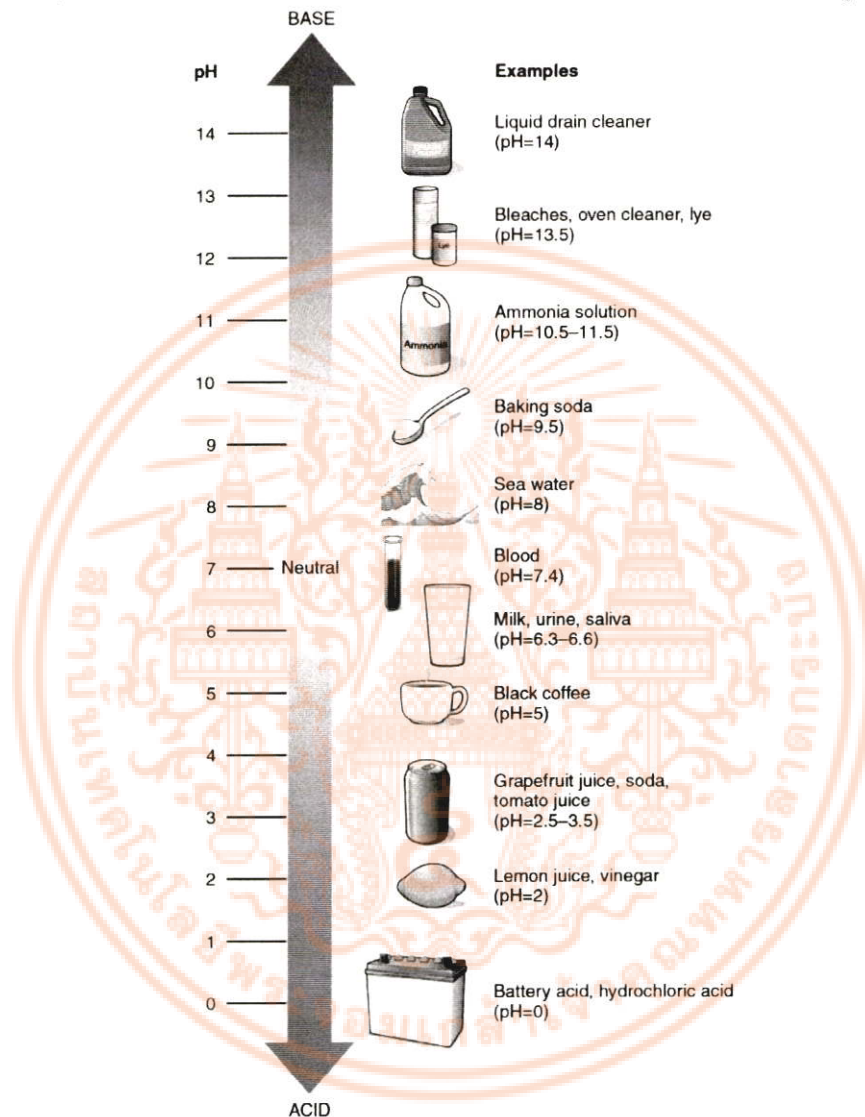
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.3 ค่า pH ของน้ำ

ค่า pH เป็นค่าที่ใช้แสดงความเป็นกรด-เบส ของสารละลายต่างๆ โดย pH ย่อมาจาก Potential of Hydrogen-ion : pH) ซึ่งถูกกำหนดในรูปแบบของตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 14 สำหรับน้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากสิ่งเจือปนจะมีค่า pH เท่ากับ 7 โดยตัวอย่างค่า pH ในสารละลายต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



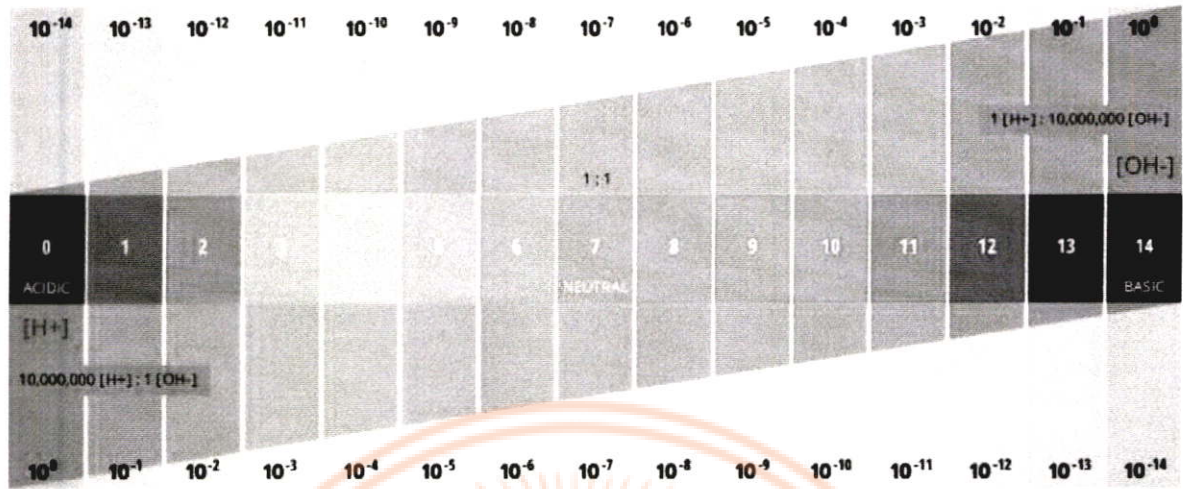
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างค่า pH ในสารละลายต่างๆ: [www.wikimedia.org](http://www.wikimedia.org)

จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นค่า pH ของสารละลายต่างๆ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของสารละลาย โดยองค์ประกอบของสารละลายที่ส่งผลต่อค่า pH คือ ไฮโดรเจนไอออน (Hydrogen ions:  $H^+$ ) และ ไฮดรอกไซด์ไอออน (Hydroxyl ions:  $OH^-$ ) โดยสารละลายที่มีไฮโดรเจนไอออนสูงจะส่งผลให้สารละลายนั้นมีค่าระดับ pH ต่ำ และสารละลายที่มีค่าไฮดรอกไซด์ไอออนสูงจะทำให้สารละลายนั้นมีค่าระดับ pH สูง สำหรับสารละลายที่มีสภาพเป็นกลาง เช่น น้ำบริสุทธิ์ (Pure water) จะมีค่าไฮโดรเจนไอออนและค่าไฮดรอกไซด์ไอออนเท่ากันคือ  $10^{-7}$  โมลต่อลิตร หรือมีค่า pH เท่ากับ 7 โดยค่าปริมาณไฮโดรเจนไอออนและค่าไฮดรอกไซด์ไอออนของ

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

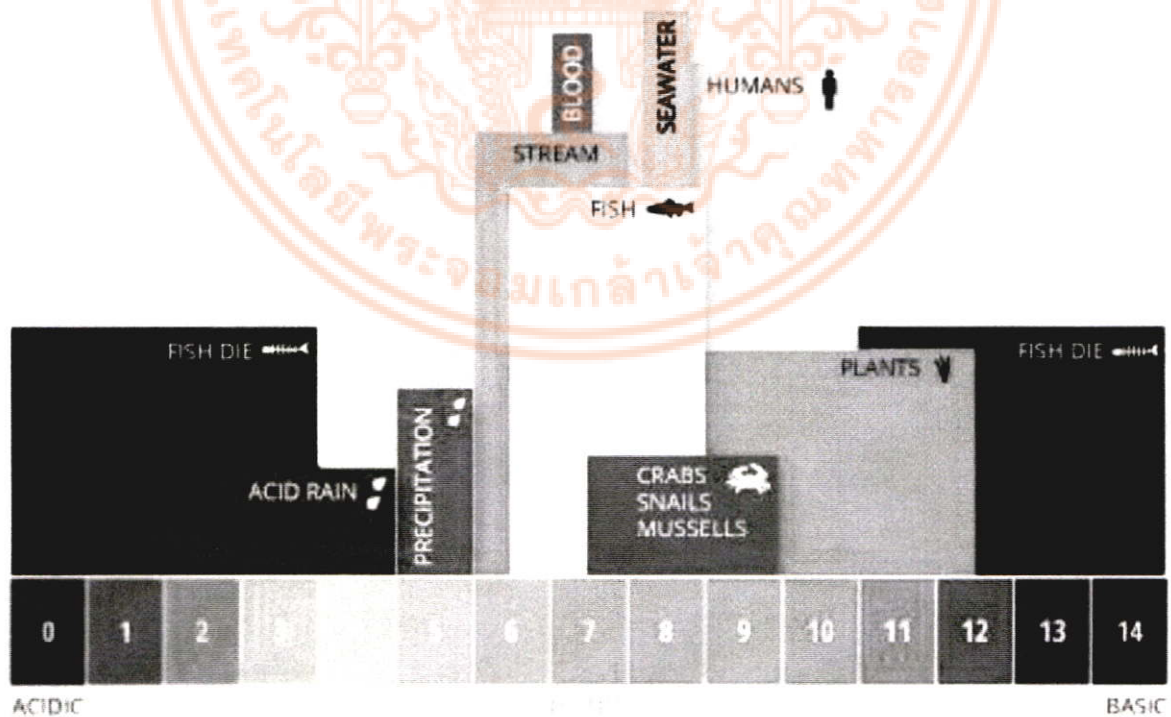
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.12 ค่าปริมาณไฮโดรเจนไอออนและค่าไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายที่ค่า pH ต่างๆ

[www.fondriest.com](http://www.fondriest.com)

จากรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่าสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด ( $pH < 7$ ) จะมีค่าไฮโดรเจนไอออนสูง และสารละลายที่มีสภาพเป็นเบส ( $pH > 7$ ) จะมีค่าไฮดรอกไซด์ไอออนสูง ซึ่งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง หอย ปู และปลานั้น ค่า pH ที่สูงหรือต่ำเกินไปของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งหรือสัตว์น้ำต่างๆ จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในน้ำ ซึ่งปกติแล้วสัตว์น้ำส่วนใหญ่ต้องการน้ำที่มีระดับ pH อยู่ในช่วง 6.5 – 9 ถึงแม้ว่าจะมีสัตว์น้ำบางชนิดที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้แม้ว่ามีค่าระดับ pH นอกจากช่วงนี้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ระดับ pH ที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำประเภทต่างๆ : [www.fondriest.com](http://www.fondriest.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำหรับสัตว์น้ำโดยทั่วไปแล้วหากค่า pH ของน้ำเปลี่ยนไปจากช่วงที่เหมาะสม ( $\text{pH} = 6.5 - 9$ ) จะส่งผลกระทบต่อการฟักเป็นตัวของสัตว์น้ำและอัตราการรอดชีวิตของตัวอ่อนสัตว์น้ำ ค่า pH ที่เหมาะสมยังทำให้สัตว์น้ำมีอัตราการรอดและเจริญเติบโตสูง แต่หากค่า pH ของน้ำที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำต่างไปจากค่าที่เหมาะสมจะส่งผลทำให้เกิดสารพิษและถูกดูดซึมโดยสัตว์น้ำมีค่าสูงทำให้เกิดการตายของสัตว์น้ำ การเปลี่ยนแปลงของระดับของ pH ยังส่งผลกระทบต่อการละลายของสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้ำซึ่งถ้ามีมากเกินไปจะทำให้พืชน้ำโตเร็วและขยายพันธุ์มากขึ้นทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนในน้ำมากขึ้นทำให้เกิดการขาดออกซิเจนในน้ำ (ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำลดลง) นอกจากนี้ค่า pH ที่สูงหรือต่ำเกินไปยังส่งผลกระทบต่อการเกิดสนิมและการสึกกร่อนของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการจัดการน้ำ เช่น ท่อ เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น จากเหตุผลดังกล่าวมาในบ่อเลี้ยงกุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ จึงต้องมีการควบคุม pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อกำจัดปัญหาต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น โดยสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

- ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon-dioxide)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรด ( $\text{pH} < 7$ ) ซึ่งสาเหตุที่สำคัญได้แก่การหายใจของสัตว์น้ำและพืชในน้ำ ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ทำให้เกิดความผันผวนของ pH ในน้ำเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำในรูปแบบของกรดคาร์บอนิก (Carbonic acid) โดยการปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรด

- ผลของมลพิษเนื่องจากมนุษย์

การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำเนื่องจากสภาพบรรยากาศมีสาเหตุมาจากการกระทำของมนุษย์เป็นหลักนั่นคือ ฝนกรดซึ่งเป็นผลมาจากมลพิษต่างๆ ที่มนุษย์สร้างขึ้นมาดังตัวอย่างเช่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide :  $\text{NO}_2$ ) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphurdioxide :  $\text{SO}_2$ ) และส่วนประกอบของสารที่เป็นกรดอื่นๆ มาทำปฏิกิริยาของน้ำเกิดเป็นฝนกรดซึ่งปกติจะมีค่า  $\text{pH} < 5$  ตกลงไปผสมกับน้ำในแหล่งน้ำ ทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรด ซึ่งสารเหล่านี้ส่วนใหญ่มาจาก การทำเหมืองแร่ การถลุงเหล็ก หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (ถ่านหินและน้ำมัน) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำยังมีสาเหตุอันเนื่องมาจากสารเคมีที่ทางเกษตรกรใช้ถูกชะล้างลงแหล่งน้ำต่างๆ การปล่อยของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ลงแหล่งน้ำ การปล่อยน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่มีการเจือปนของสารซักฟอกหรือสารซักล้างต่างๆ ซึ่งสาเหตุต่างๆ ดังที่กล่าวมาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในน้ำทั้งสิ้น

#### 2.4 การวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen Measurement Method)

การวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในปัจจุบันมีอยู่มากมายหลายวิธี ซึ่งในแต่ละวิธีจะให้ค่าความถูกต้องที่แตกต่างกันไป สำหรับในโครงการวิจัยนี้ขอเสนอเทคนิคการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้เซนเซอร์แบบต่างๆ เป็นหลัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สำหรับวิธีการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้เซนเซอร์ที่ออกแบบมาสำหรับวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันเนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็วในการวัด ในปัจจุบันเซนเซอร์รุ่นใหม่มีเอาต์พุตให้เลือกทั้งแบบอนาล็อกและแบบดิจิตอลทำให้สะดวกต่อผู้ใช้งานในการนำไปพัฒนาระบบในการวัดและเก็บข้อมูลทั้งในห้องแล็บและภาคสนามที่ต้องการการเก็บข้อมูลค่าปริมาณออกซิเจนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ที่ละลายในน้ำอย่างต่อเนื่อง ทำให้สะดวกในการนำข้อมูลที่วัดได้ไปวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ โดยปกติแล้วในการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ จะได้รับผลกระทบเนื่องจากค่าอุณหภูมิ ค่าความดัน (Pressure) และค่าความเค็ม (Salinity) ของน้ำที่ทำการวัด ทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาด ดังนั้นเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในปัจจุบันจึงบรรจุเซนเซอร์สำหรับวัดค่าอุณหภูมิ ค่าความดัน และค่าความเค็ม ไว้ด้วยเพื่อนำมาชดเชยผลกระทบต่อค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่วัดได้เพื่อให้ได้ผลการวัดที่ถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามการสอบเทียบค่ามาตรฐานยังจำเป็นสำหรับเครื่องมือวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องอยู่เสมอ สำหรับตัวอย่างของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบต่างๆสามารถแสดงได้ดังนี้

#### 2.4.1 เซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบออปติคัล (Optical Dissolved Oxygen Sensor)

สำหรับเซนเซอร์แบบนี้อาศัยผลการเกิดปฏิกิริยสัมพันธ์กันระหว่างออกซิเจนกับแสง นั่นคือเมื่อเราทำการฉายแสงสีน้ำเงิน (Blue light) ลงไปที่ทำการวัด แสงสีน้ำเงินจะไปกระตุ้นให้เกิดแสงฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescent) ขึ้นมา โดยระดับความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นจะแปรผกผันกับปริมาณของโมเลกุลของออกซิเจนที่ละลายอยู่ น้ำ สำหรับโครงสร้างของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบออปติคัลสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบออปติคัล:

[www.jfe-advantech.co.jp](http://www.jfe-advantech.co.jp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.15 ลักษณะของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบออปติคัล: [www.vernier.com](http://www.vernier.com)

จากรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบออปติคัลซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักคือหลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode) และ โฟโตดีเทกเตอร์ (Photo detector) โดยการทำงานของเซนเซอร์จะเริ่มจากหลอดแอลอีดีทำการฉายแสงสีน้ำเงินลงไปน้ำที่ผ่านเมมเบรน (Membrane) ทำให้เกิดปรากฏการณ์เปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ขึ้นมา ซึ่งปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์จะถูกตรวจวัดโดยโฟโตดีเทกเตอร์ ซึ่งค่าความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดได้จะแปรผกผันกับค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังแสดงในสมการที่ (2.1)

$$I_0 / I = 1 + k_q * t_0 * O_2 \quad (2.1)$$

เมื่อ

$I_0$  = Intensity or lifetime of dye luminescence without oxygen

$I$  = Intensity or lifetime of luminescence with oxygen present

$k_q$  = Quencher rate coefficient

$t_0$  = Luminescence lifetime of the dye

$O_2$  = oxygen concentration as a partial pressure

สำหรับค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) จะให้ค่าที่ถูกต้องในช่วงที่ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีค่าความเข้มข้นต่ำ แต่ถ้าค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีค่าสูง สมการที่ (1) จะให้ค่าที่ไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากผลของโพลีเมอร์ (Polymer) ที่ใช้เป็นวัสดุที่ใช้ในการสร้างเมมเบรน ดังนั้นเพื่อให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความถูกต้องดังนั้นต้องมีการปรับปรุงสมการที่ (1) เพื่อชดเชยผลกระทบ

จากโพลีเมอร์ที่ใช้ในการสร้างเมมเบรนดังสมการที่ (2.2)  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$I_0 / I = 1 + AO_2 + BO_2 / (1 + bO_2) \quad (2.2)$$

เมื่อ

$I_0$  = Intensity or lifetime of dye luminescence without oxygen

$I$  = Intensity or lifetime of luminescence with oxygen present

$A, B, b$  = Stern-Volmer and non-linear solubility model quenching constants

$O_2$  = oxygen concentration as a partial pressure

จากสมการที่ (2.2) ซึ่งได้มีการชดเชยผลกระทบจากโฟลิมเมอร์ที่ใช้ในการสร้างเมมเบรนที่ทำให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่วัดได้มีความถูกต้อง แม้ว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีค่าต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

เซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบออปติคอลลีนี้เหมาะสำหรับการวัดค่าแบบต่อเนื่อง ระยะเวลายาวนานเนื่องจากเซนเซอร์แบบนี้มีความต้องการบำรุงรักษาน้อย แต่ที่ระยะเวลาการใช้งานเซนเซอร์ต่อเนื่องเป็นเวลานานอาจจำเป็นต้องมีการสอบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อให้ได้ผลการวัดที่ถูกต้อง นอกจากนี้เซนเซอร์แบบนี้สามารถตอบสนองการวัดอย่างรวดเร็วไม่ต้องเสียเวลาในการอุ่นเครื่อง ทำให้สามารถวัดค่าได้อย่างรวดเร็ว

#### 2.4.2 เซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบอิเล็กโทรเคมีคอล (Electrochemical Dissolved Oxygen Sensor)

สำหรับเซนเซอร์แบบนี้เป็นเซนเซอร์ทางเคมีชนิดหนึ่งที่ใช้หลักการตรวจจับไอออนในสารละลายโดยใช้วิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า โดยรูปแบบของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบอิเล็กโทรเคมีคอลสามารถแยกเป็น 2 แบบคือ

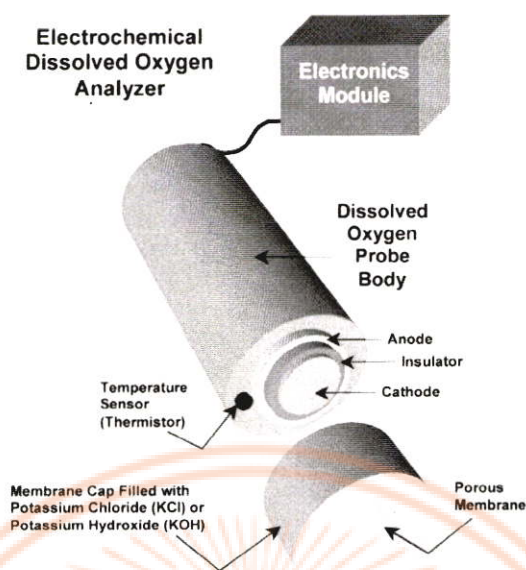
- Polarographic Dissolved Oxygen Sensors
- Galvanic Dissolved Oxygen Sensors

สำหรับโครงสร้างของเซนเซอร์แบบอิเล็กโทรเคมีคอลทั้งสองแบบจะมีลักษณะคล้ายกันคือประกอบไปด้วยอิเล็กโทรด 2 ขั้วคือขั้วแอโนด (Anode) และขั้วแคโทด (Cathode) โดยอิเล็กโทรดทั้งสองขั้วจะถูกกั้นกลางด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) โดยอิเล็กโทรดและสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะถูกบรรจุอยู่ในหลอดที่มีเมมเบรนกั้นระหว่างอิเล็กโทรดกับน้ำที่จะทำการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ซึ่งในการวัดนั้นโมเลกุลของออกซิเจนจะสามารถแพร่กระจายผ่านเมมเบรนเข้าไปยังขั้วอิเล็กโทรดทำให้กระแสที่ไหลผ่านระหว่างอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งโครงสร้างของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบอิเล็กโทรเคมีคอลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบอิเล็กโทรเคมีคอล:

[www.instrument.org](http://www.instrument.org)



รูปที่ 2.17 เซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบอิเล็กโทรเคมีคอล

[www.envirotech-online.com](http://www.envirotech-online.com)

จากรูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบอิเล็กโทรเคมีคอลจะประกอบไปด้วยขั้วอานอด ขั้วคาโธด โดยหัววัดจะถูกหุ้มด้วยเมมเบรน นอกจากนี้หัววัดยังบรรจุเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อใช้ในการชดเชยผลของอุณหภูมิต่อค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่วัดได้ โดยค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากชุดเซนเซอร์จะถูกส่งต่อไปยังวงจรรีเล็กทรอนิกส์ (Electronics module) เพื่อทำการปรับสภาพสัญญาณก่อนส่งไปทำการประมวลผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

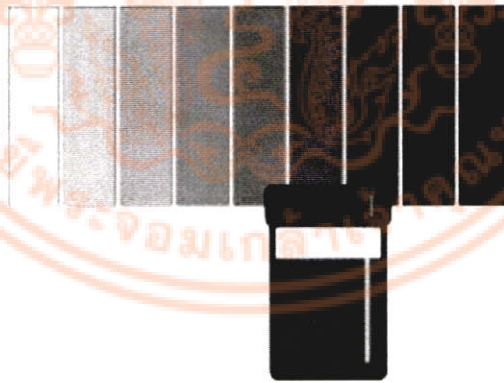
สำหรับเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบอิเล็กทรอนิกส์เคมีคอลบางแบบจะต้องมีการอุ่นเครื่องประมาณ 5 – 60 นาที ก่อนที่จะทำการวัดหรือสอบเทียบ นอกจากนี้เซนเซอร์จะต้องมีการเปลี่ยนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ในการทำงาน ดังนั้นผู้ใช้งานจะต้องศึกษาคู่มือการใช้งานให้ดีในการเลือกเซนเซอร์ประเภทนี้มาใช้งาน

#### 2.4.3 การวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดสี (Colorimetric Method)

สำหรับเทคนิคการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดสีจะมีอยู่สองวิธีด้วยกัน คือ วิธี Indico Carmine Method และ Rhodazine D Method ซึ่งทั้งสองวิธีมีหลักการคล้ายกันคืออาศัยผลตอบสนองของน้ำยาเคมีที่จะเปลี่ยนสีเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ โดยการลักษณะการเปลี่ยนสีจะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งรายละเอียดของแต่ละวิธีมีดังนี้

##### - วิธี Indico Carmine

สำหรับวิธีนี้เหมาะสำหรับการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่อยู่ในช่วงระหว่าง 0.2–15 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผลการทดสอบด้วยน้ำยาเคมีจะให้สีฟ้าที่มีระดับความเข้มแปรผันโดยตรงกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ สิ่งสำคัญในการทดสอบจะต้องวิเคราะห์และแปรผลภายใน 30 วินาทีเพื่อให้ได้ผลการวัดที่ถูกต้อง ซึ่งการทดสอบแบบนี้มีข้อดีคือ ค่าอุณหภูมิและความเค็มของน้ำไม่มีผลต่อการวัด แต่ค่าความขุ่นของน้ำอาจส่งผลต่อการแปรผลการวัดได้ สำหรับตัวอย่างการเปลี่ยนระดับสีของวิธีการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยวิธี Indico Carmine สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การเปลี่ยนระดับสีของวิธีการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยวิธี Indico Carmine:

[www.fondriest.com](http://www.fondriest.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- วิธี Rhodazine D

สำหรับวิธีเหมาะสำหรับการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่มีค่าต่ำๆ ในช่วง 1 ใน พันล้านส่วน (1 ppb) ซึ่งผลการทดสอบของน้ำยาชนิดนี้จะให้ผลเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในรูปแบบของความเข้มของสีชมพู โดยแปรผันตรงกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเช่นเดียวกับวิธี Indico Carmine โดย การทดสอบ วิเคราะห์และแปรผลภายใน 30 วินาที เพื่อให้ได้ค่าการแปรผลที่ถูกต้อง สำหรับค่าความคาด เคลื่อนของค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่วัดได้อาจเกิดจากความขุ่นของน้ำที่ทำให้การอ่านค่าสีผิดเพี้ยน ไป นอกจากนี้ผลของคลอรีนที่อยู่ในน้ำอาจส่งผลให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่วัดได้มีค่ามากกว่าค่า จริง สำหรับตัวอย่างลักษณะการเปลี่ยนระดับสีของการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยวิธี Rhodazine D สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะการเปลี่ยนระดับสีของการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยวิธี Rhodazine D :

[www.fondriest.com](http://www.fondriest.com)

#### 2.4.4 การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยวิธีไตเตรท (Titrimetric Method)

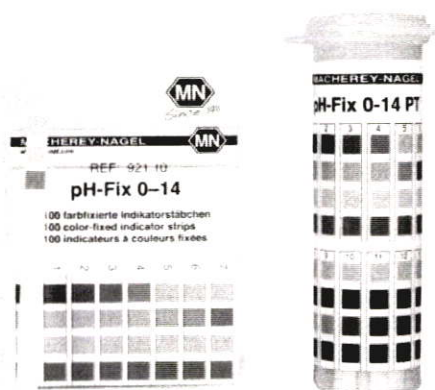
สำหรับวิธีการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำวิธีนี้เป็นที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย L. W. Winklev นักเคมี ชาวฮังการีในปี 1988 โดยวิธีนี้ถูกใช้เป็นมาตรฐานในการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมานานแล้ว เนื่องจากให้ค่าการวัดที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูง สำหรับขั้นตอนการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดย วิธีไตเตรทสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



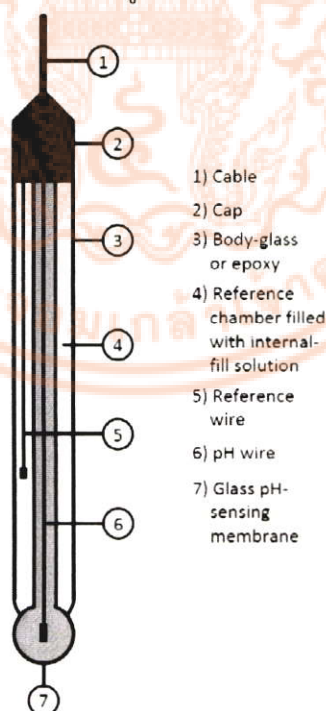


รูปที่ 2.22 ตัวอย่างแถบวัดค่า pH ที่ขายตามท้องตลาด: [www.labfriend.com.sg](http://www.labfriend.com.sg)

จากตัวอย่างของเทคนิคการวัดค่า pH ด้วยวิธี Colorimetric ที่แสดงในรูปที่ 2.21 และรูปที่ 2.22 สิ่งสำคัญคือการแปรผลค่าสีที่ได้จากแถบวัดค่า pH ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผู้อ่านค่าสีและแปรผล นอกจากนี้ยังมีผลของสภาพแวดล้อม เช่น แสง ซึ่งอาจส่งผลต่อการแปรผล ดังนั้นการวัดค่า pH ด้วยวิธีนี้จึงไม่เหมาะกับการวัดค่า pH ของน้ำหรือสารละลายที่ต้องการความละเอียดในการวัดสูง

- Potentiometric pH measurement

สำหรับวิธีการวัดค่า pH แบบนี้จะใช้อิเล็กโทรดที่ประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือ Glass electrode และ Reference electrode ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 โครงสร้างของ pH Glass electrode : AN-1852 Designing With pH Electrodes, Texas

Instruments Incorporated, SNOA529A, September 2008, Revised April 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้นกรณีอื่น มิฉะนั้นโปรดติดต่อขอสงวนลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

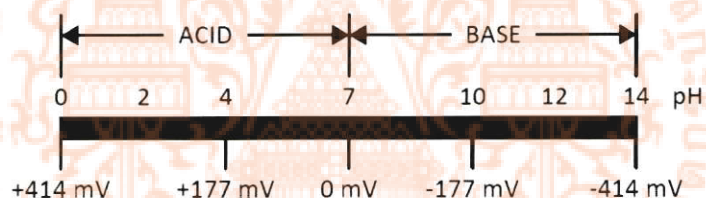
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

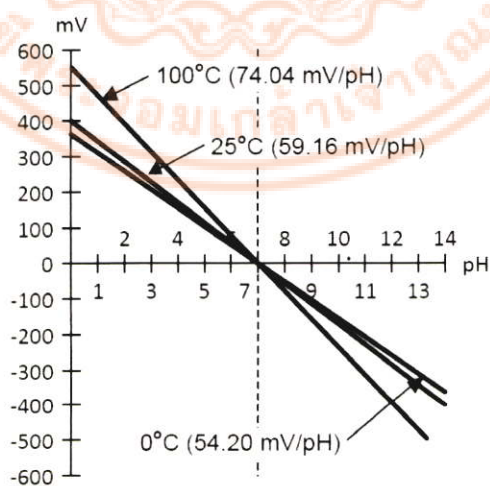


รูปที่ 2.24 ลักษณะของหัววัด pH Glass electrode ที่ใช้งานจริง : [www.fr.endress.com](http://www.fr.endress.com)

จากรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24 แสดงลักษณะโครงสร้างของอิเล็กโทรดสำหรับวัดค่า pH โดยจะใช้การวัดค่าความต่างศักย์ระหว่าง Glass electrode และ Reference electrode ซึ่งลักษณะของเซนเซอร์แบบนี้จะเป็นลักษณะของพาสซีฟเซนเซอร์ (Passive sensor) นั่นคือเซนเซอร์ที่ไม่ต้องการแหล่งจ่ายพลังงานเนื่องจากอิเล็กโทรดในตัวเซนเซอร์สามารถสร้างแรงดันค่าน้อยๆ ช่วงระดับมิลลิโวลต์ โดยค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากอิเล็กโทรดจะแปรผันตรงกับค่า pH ของน้ำหรือสารละลายที่นำมาวัด ดังแสดงในรูปที่ 2.25 และรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.25 ค่าแรงดันเอาต์พุตของ pH Glass electrode ที่ระดับค่า pH ต่างๆ: AN-1852 Designing With pH Electrodes, Texas Instruments Incorporated



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และเอาต์พุตของ pH Glass electrode ที่อุณหภูมิต่างๆ: AN-1852

Designing With pH Electrodes, Texas Instruments Incorporated  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีเงื่อนไขการใช้งานที่ห้ามมิให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 2.25 และรูปที่ 2.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันเอาต์พุตจาก pH Glass electrode โดยเราสามารถหาค่า pH ได้จากสมการที่ (2.3)

$$\text{pH (X)} = \text{pH (S)} + \frac{(E_S - E_X) F}{RT \ln(10)} \quad (2.3)$$

เมื่อ

pH(X) = pH of unknown solution(X)

pH(S) = pH of standard solution = 7

ES = Electric potential at reference or standard electrode

EX = Electric potential at pH-measuring electrode

F is the Faraday constant =  $9.6485309 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ ,

R is the universal gas constant =  $8.314510 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

T is the temperature in Kelvin

จากสมการที่ (3) จะเห็นว่าค่า pH ที่ได้จะแปรผันตามอุณหภูมิ ดังนั้นในการใช้งาน pH Glass electrode จะมีการบรรจุเซนเซอร์วัดอุณหภูมิไว้ในหัววัด pH เพื่อนำค่าอุณหภูมิที่วัดได้มาทำการชดเชยผลของอุณหภูมิต่อค่า pH ที่วัดได้

## 2.6 การวัดค่าอุณหภูมิของน้ำ

การวัดค่าอุณหภูมินับว่ามีความสำคัญทั้งในด้านการเกษตรและอุตสาหกรรม เนื่องจากค่าอุณหภูมิมิผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำต่างๆ ที่อาศัยในบ่อเพาะเลี้ยงหรือตามแหล่งน้ำต่างๆ ซึ่งตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคในการวัดอุณหภูมิแบบต่างๆ ขึ้นมามากมายซึ่งในแต่ละวิธีจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไปดังรายละเอียดต่อไปนี้

สำหรับการวัดอุณหภูมิแต่ละวิธีจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงช่วงอุณหภูมิในการวัด ค่าความละเอียดและความถูกต้องในการวัด ซึ่งเราสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ได้ดังนี้

### 2.6.1 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometers)

เทอร์โมมิเตอร์นับว่าเป็นวิธีการวัดอุณหภูมิที่มีการใช้งานกันมาอย่างยาวนานซึ่งมีรูปแบบและหลักการทำงานแตกต่างกันออกไป โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

- เทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว (Glass tube thermometer)

สำหรับเทอร์โมมิเตอร์แบบนี้นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยลักษณะของโครงสร้างจะประกอบด้วยหลอดแก้วบรรจุของเหลว เช่นปรอท (Mercury) ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ในปัจจุบันได้มีการนำสารอื่นมาใช้แทนปรอทที่เป็นอันตรายหากมีการรั่วไหลหรือแตกหักของเทอร์โมมิเตอร์ สำหรับลักษณะตัวอย่างของเทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

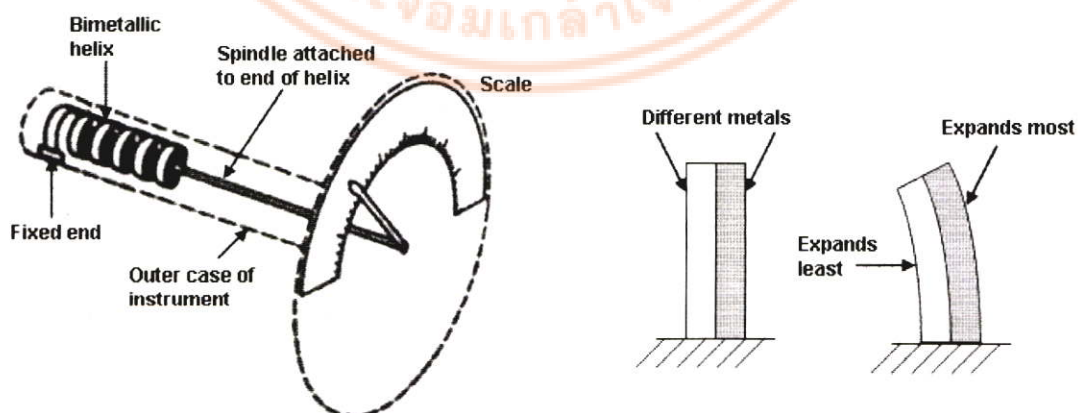


รูปที่ 2.27 ตัวอย่างของเทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว : [www.belart.com](http://www.belart.com)

จากรูปที่ 2.27 แสดงลักษณะของเทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว ซึ่งความละเอียดและความถูกต้องในการแสดงค่าอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับความยาวของหลอดแก้ว เช่น ถ้าต้องการความละเอียดของอุณหภูมิที่  $0.1^{\circ}\text{C}$  ที่ช่วงการวัด  $0-100^{\circ}\text{C}$  จะต้องการความยาวของหลอดแก้ว 600 มิลลิเมตร เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการสร้างเทอร์โมมิเตอร์ให้มีความยาวมากจะเสี่ยงต่อการแตกหักของหลอดแก้วได้

- เทอร์โมมิเตอร์แบบแถบโลหะคู่ (Bimetal thermometer)

สำหรับเทอร์โมมิเตอร์แบบนี้ถูกออกแบบมาให้มีความแข็งแรง ทนทานกว่าเทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้วถึงแม้ว่าจะมีความละเอียดและความถูกต้องไม่สูงนัก โดยลักษณะโครงสร้างของเทอร์มิเตอร์แบบนี้จะประกอบด้วยโลหะสองชนิดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่างกันประกบกันดังแสดงในรูปที่ 2.28



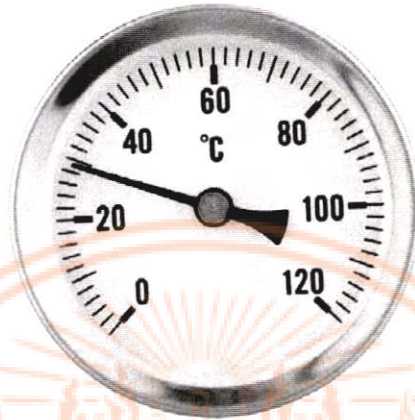
รูปที่ 2.28 ลักษณะโครงสร้างของเทอร์โมมิเตอร์แบบแถบโลหะคู่ : [www.qf-meter.com](http://www.qf-meter.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 2.28 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมมิเตอร์แบบแถบโลหะคู่ซึ่งประกอบด้วยโลหะสองชนิดประกบติดกัน ซึ่งโลหะแต่ละชนิดมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่างกัน ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะทำให้เกิดการบิดตัวของแผ่นโลหะทั้งสองที่ประกบติดกันอยู่ โดยผลของการบิดตัวจะถูกส่งไปยังเกจ(Gauge) หรือส่วนแสดงผลโดยผ่านการเชื่อมต่อทางกลดังตัวอย่างในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 เกจแสดงผลค่าอุณหภูมิที่ทำการวัด : [www.ae01.alicdn.com](http://www.ae01.alicdn.com)

## 2.6.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน (Resistance sensor elements)

เซนเซอร์อุณหภูมิชนิดความต้านทานนับว่าเป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบแรกที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามอุณหภูมิที่ทำการวัด โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและอุณหภูมิที่วัดสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.4)

$$\Delta R = K\Delta T \quad (2.4)$$

โดยเซนเซอร์ชนิดความต้านทานที่นิยมใช้มีด้วยกัน 2 แบบคือ

### 2.6.2.1 เทอร์มิสเตอร์ (Thermister)

เทอร์มิสเตอร์เป็นเซนเซอร์ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ ซึ่งลักษณะโครงสร้างของเทอร์มิสเตอร์ยุคแรกๆ จะใช้สายไฟต่อเป็นลูป(loop) แต่ในปัจจุบันจะใช้สารกึ่งตัวนำมาทำการสร้าง เนื่องจากเทอร์มิสเตอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำจะให้ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิที่สูงกว่า โดยเทอร์มิสเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

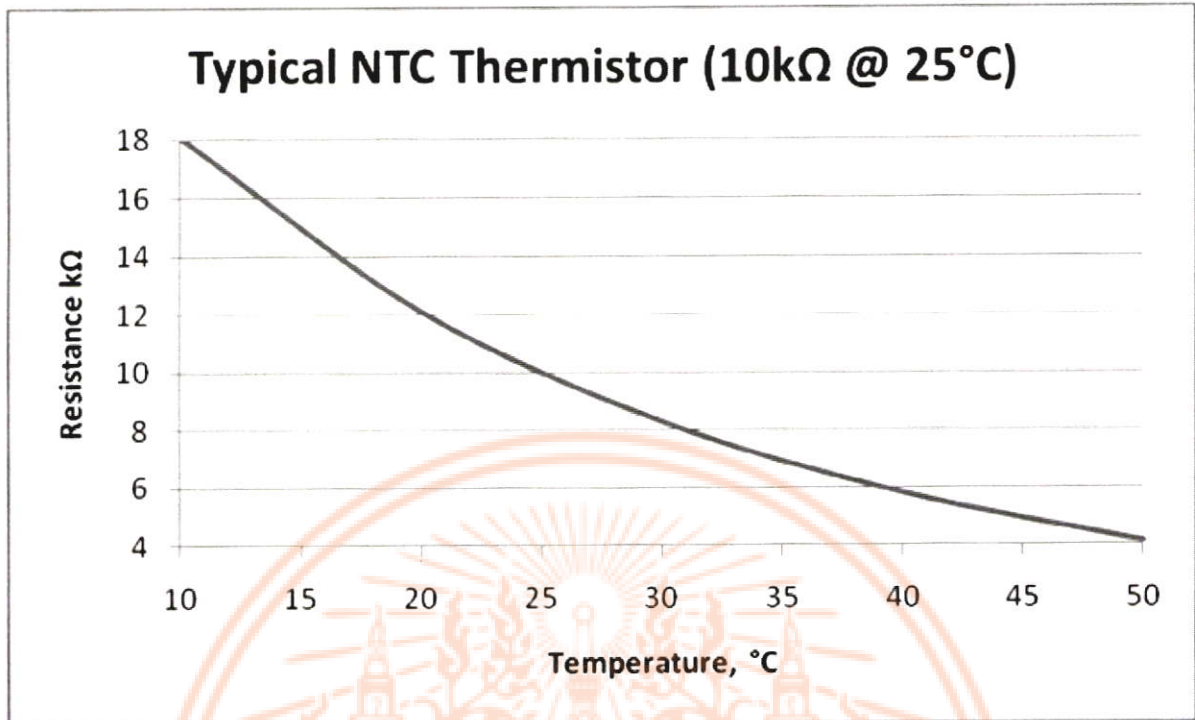
#### - เทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC (NTC Thermister)

เทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC เป็นเทอร์มิสเตอร์ที่มีค่าความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC สามารถแสดงได้กราฟที่แสดงในรูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

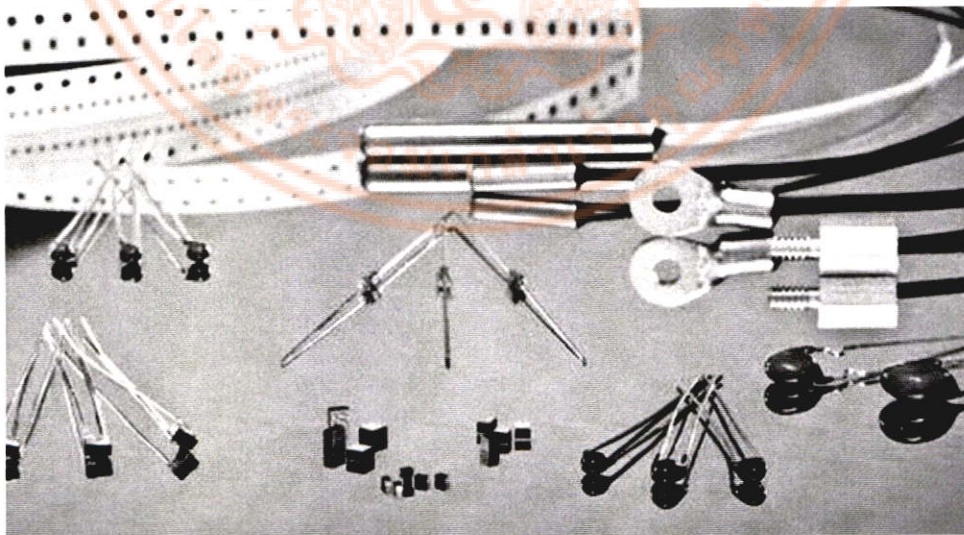
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC :

[www.medteq.info](http://www.medteq.info)

จากรูปที่ 2.30 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC ที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งโดยปกติแล้วเทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้จะสร้างมาจากสารกึ่งตัวนำโดยมีลักษณะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ตัวอย่างของเทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC แบบต่างๆ : [www.ametherm.com](http://www.ametherm.com)

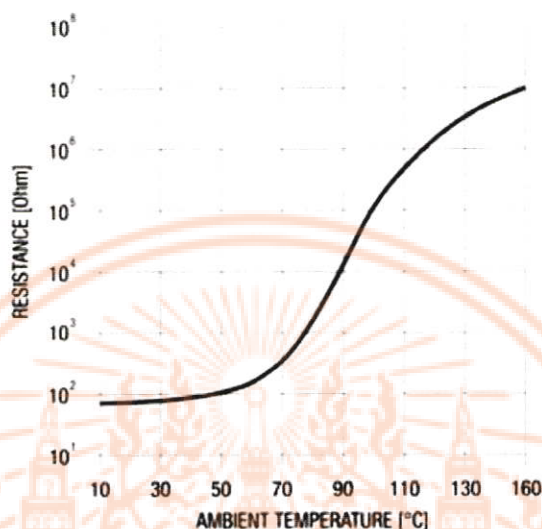
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- เทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC (PTC Thermister)

เทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC เป็นเทอร์มิสเตอร์ที่มีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC สามารถแสดงได้ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC :

[www.mouser.com](http://www.mouser.com)

จากรูปที่ 2.32 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC ซึ่งโดยปกติแล้วเทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้จะสร้างมาจากสารกึ่งตัวนำโดยมีลักษณะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประยุกต์ใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ตัวอย่างของเทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC แบบต่างๆ : [www.supplierlist.com](http://www.supplierlist.com)

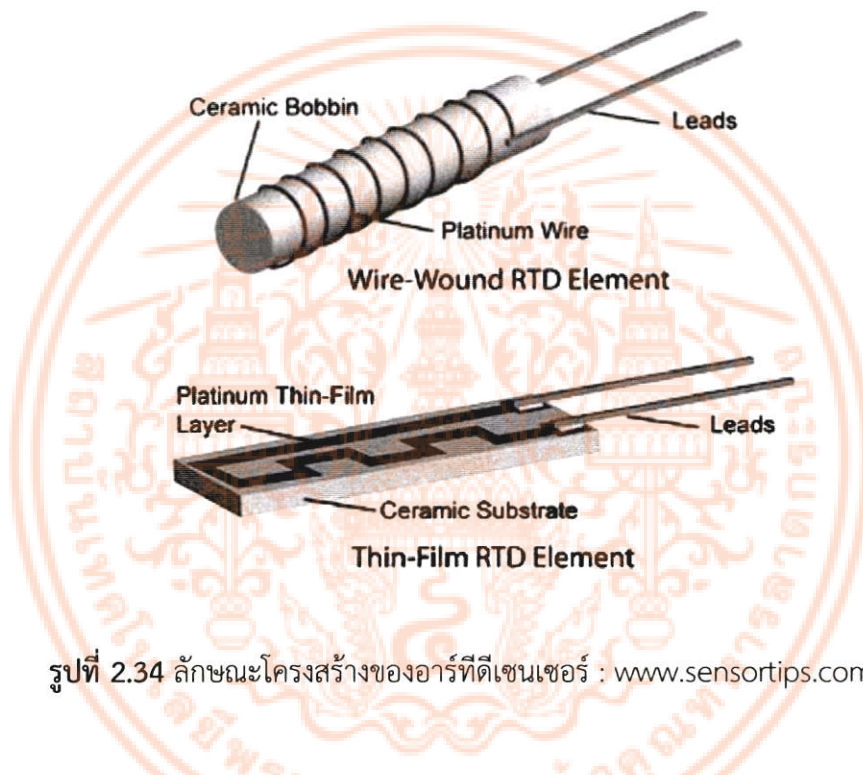
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.6.2.2 อาร์ทีดี (RTD : Resistance Temperature Detector)

อาร์ทีดีเป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหนึ่งที่ยอมรับใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม โดยลักษณะการทำงานของอาร์ทีดีจะเหมือนกับเทอร์มิสเตอร์นั่นคือ ค่าความต้านทานของอาร์ทีดีจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ทำการวัด แต่อย่างไรก็ตามวัสดุที่ใช้ในการสร้างอาร์ทีดีจะเป็นโลหะ เช่น แพลทตินัม(Platinum) นิกเกิล (Nickel) ทองแดง (Copper) เป็นต้น โดยการสร้างอาร์ทีดีจะมีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบแรกจะใช้เส้นลวดที่ผลิตจากโลหะที่กล่าวนมาพันรอบแกนเซรามิก (Ceramic) แล้วทำการต่อขั้วออกไปใช้งาน และแบบที่สอง จะทำการสร้างฟิล์มโลหะบนฐานรองที่เป็นเซรามิก (Ceramic Substrate) แล้วทำการต่อขั้วออกไปใช้งาน โดยลักษณะโครงสร้างของอาร์ทีดีเซนเซอร์ทั้งสองแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 ลักษณะโครงสร้างของอาร์ทีดีเซนเซอร์ : [www.sensortips.com](http://www.sensortips.com)

จากลักษณะโครงสร้างของอาร์ทีดีเซนเซอร์ในรูปที่ 2.34 โดยวัสดุที่ใช้ในการสร้างมักจะเป็นโลหะแพลทตินัม เนื่องจากสามารถใช้วัดอุณหภูมิได้ช่วงกว้างนั่นคือตั้งแต่  $-270^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+850^{\circ}\text{C}$  ซึ่งมีช่วงในการวัดกว้างกว่าเทอร์มิสเตอร์มาก โดยปกติแล้วอาร์ทีดีเซนเซอร์ประเภทที่สร้างจากโลหะแพลทตินัม (PT100) จะมีค่าความต้านทาน 100 โอห์ม ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และมีค่าสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิที่  $0.00385\ \Omega/^{\circ}\text{C}$  นั่นคือ ที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  อาร์ทีดีเซนเซอร์ PT100 จะมีค่าความต้านทาน  $138.5\ \Omega$  สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนของอาร์ทีดีเซนเซอร์จะแบ่งออกเป็นสองแบบคือ Class A และ Class B ดังแสดงในรูปที่ 2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

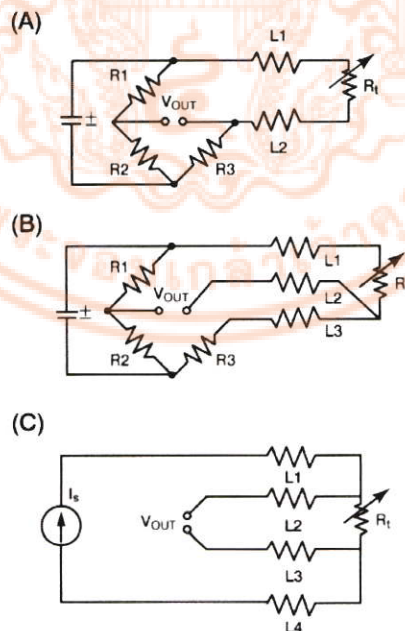
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

TOLERANCES FOR A 100Ω PLATINUM RTD PER IEC 751-95				
Temperature Deg (C)	Tolerance			
	Class B		Class A	
	(±C) <sup>(1)</sup>	(±0hm)	(±C) <sup>(2)</sup>	(±0hm)
-200	1.30	0.56	0.55	0.24
-100	0.80	0.32	0.35	0.14
0	0.30	0.12	0.15	0.06
100	0.80	0.30	0.35	0.13
200	1.30	0.48	0.55	0.20
300	1.80	0.64	0.75	0.27
400	2.30	0.79	0.95	0.33
500	2.80	0.93	1.15	0.38
600	3.30	1.06	1.35	0.43

Notes: (1)  $C = \pm(0.3 + 0.005 \cdot |t|)$  • (2)  $C = \pm(0.15 + 0.002 \cdot |t|)$

รูปที่ 2.35 ค่าความคลาดเคลื่อนของอาร์ทีดีเซนเซอร์ Class A และ Class B : [www.bearingsensor.com](http://www.bearingsensor.com)

นอกจากอาร์ทีดีเซนเซอร์ชนิด PT100 แล้ว ในท้องตลาดยังมีอาร์ทีดีเซนเซอร์ชนิด PT500 และ PT1000 ใช้งาน โดยจะมีค่าความต้านทาน 500 โอห์ม และ 1000 โอห์มที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างของอาร์ทีดีเซนเซอร์มีอยู่ 3 แบบ คือ สองสาย สามสาย และสี่สาย โดยลักษณะโครงสร้างของอาร์ทีดีเซนเซอร์แบบต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.36 และรูปที่ 2.37

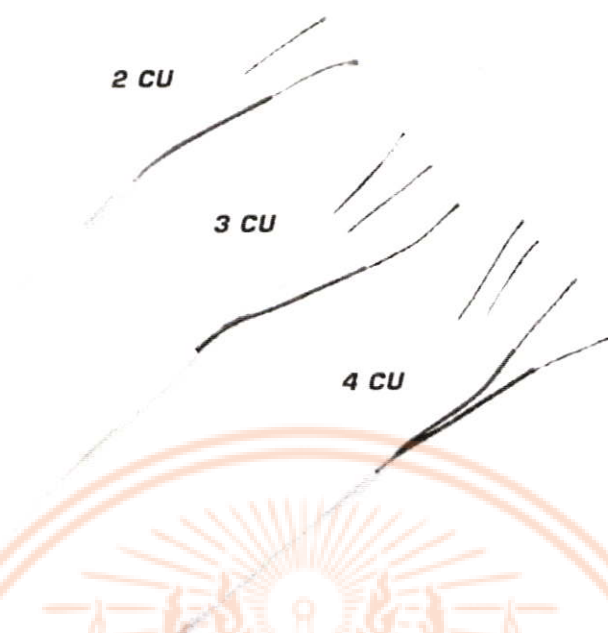


รูปที่ 2.36 โครงสร้างของอาร์ทีดีเซนเซอร์แบบ สองสาย สามสาย และสี่สาย : [www.rdfcorp.com](http://www.rdfcorp.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

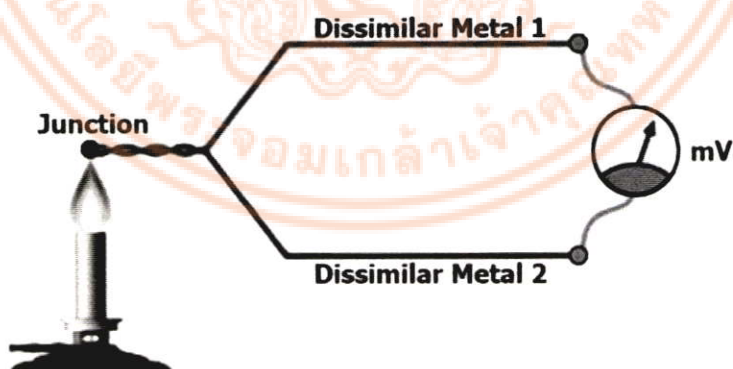
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.37 ลักษณะของอาร์ทีดีเซนเซอร์แบบ สองสาย สามสาย และสี่สาย : [www.omega.nl](http://www.omega.nl)

### 2.6.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิลจัดว่าเป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมเนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน และให้ค่าความถูกต้องของอุณหภูมิที่ทำการวัดสูง โดยลักษณะโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลจะประกอบไปด้วยโลหะสองชนิดเชื่อมต่อกัน ดังแสดงลักษณะในรูปที่ 2.38 และรูปที่ 2.39

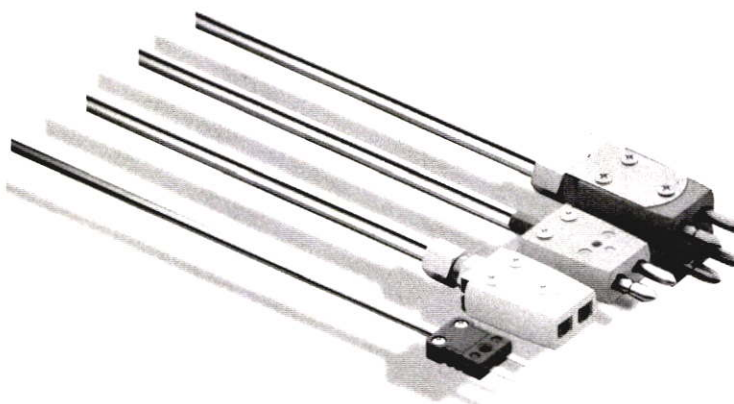


รูปที่ 2.38 โครงสร้างของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล : [www.sterlingsensors.co.uk](http://www.sterlingsensors.co.uk)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.39 ลักษณะของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลเปิด : [www.geocorpinc.com](http://www.geocorpinc.com)

จากรูปที่ 2.38 และรูปที่ 2.39 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลจะขึ้นอยู่กับโลหะสองชนิดที่นำมาสร้าง ซึ่งจะให้ค่าแรงดันเอาต์พุตและช่วงของอุณหภูมิที่ทำการวัดแตกต่างกันออกไป ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดชนิดของเทอร์โมคัปเปิล ดังแสดงในรูปที่ 2.40

TOLERANCE OF THERMOCOUPLES						
ANSI/ASTM	°C			°F		
	Temperature Range	Standard	Special	Temperature Range	Standard	Special
T	-200° to -67°	± 1.5% T	± 0.8% T*	-328° to -88°	± 1.5% (T - 32)	± 0.8% (T - 32)*
	-67° to -62°	± 1°	± 0.8% T*	-88° to -80°	± 1.8°	± 0.8% (T - 32)*
	-62° to 125°	± 1°	± 0.5°	-80° to 257°	± 1.8°	± 0.9°
	125° to 133°	± 1°	± 0.4% T	257° to 272°	± 1.8°	± 0.4% (T - 32)
	133° to 370°	± 0.75% T	± 0.4% T	272° to 700°	± 0.75% (T - 32)	± 0.4% (T - 32)
J	0° to 275°	± 2.2°	± 1.1°	32° to 527°	± 3.96°	± 1.98°
	275° to 293°	± 2.2°	± 0.4% T	527° to 560°	± 3.96°	± 0.4% (T - 32)
	293° to 760°	± 0.75% T	± 0.4% T	560° to 1400°	± 0.75% (T - 32)	± 0.4% (T - 32)
E	-200° to -170°	± 1% T	± 1°*	-328° to -274°	± 1% (T - 32)	± 1.8°*
	-170° to 250°	± 1.7°	± 1°*	-274° to 482°	± 3.06°	± 1.8°*
	250° to 340°	± 1.7°	± 0.4% T	482° to 644°	± 3.06°	± 0.4% (T - 32)
	340° to 870°	± 0.5% T	± 0.4% T	644° to 1600°	± 0.5% (T - 32)	± 0.4% (T - 32)
K	-200° to -110°	± 2% T	—	-328° to -166°	± 2% (T - 32)	—
	-100° to 0°	± 2.2°	—	-166° to 32°	± 3.96°	—
	0° to 275°	± 2.2°	± 1.1°	32° to 527°	± 3.96°	± 1.98°
	275° to 293°	± 2.2°	± 0.4% T	527° to 560°	± 3.96°	± 0.4% (T - 32)
	293° to 1260°	± 0.75% T	± 0.4% T	560° to 2300°	± 0.75% (T - 32)	± 0.4% (T - 32)
N	0° to 275°	± 2.2°	± 1.1°	32° to 527°	± 3.96°	± 1.98°
	275° to 293°	± 2.2°	± 0.4% T	527° to 560°	± 3.96°	± 0.4% (T - 32)
	293° to 1250°	± 0.75% T	± 0.4% T	560° to 2300°	± 0.75% (T - 32)	± 0.4% (T - 32)
R or S	0° to 1260°	± 1.5°	± 0.6°	32° to 1112°	± 2.7°	± 1.08°
	1260° to 1480°	± 0.25% T	± 0.1% T	1112° to 2700°	± 0.25% (T - 32)	± 0.1% (T - 32)
B	870° to 1700°	± 0.5% T	± 0.25%	1600° to 3100°	± 0.5% (T - 32)	± 0.25% (T - 32)
C**	0° to 426°	± 4.4°	—	32° to 800°	± 8°	—
	426° to 2315°	± 1% T	—	800° to 4200°	± 1% (T - 32)	—

รูปที่ 2.40 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่างๆ : [www.thermometricscorp.com](http://www.thermometricscorp.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 2.40 แสดงคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่างๆ โดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด J, T และ K จะนิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยชนิด J เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่นิยมใช้กันมากที่สุด สำหรับลักษณะของสายเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ จะใช้สีของสายในการแบ่งแยกชนิดของเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งโดยปกติแล้วสายที่มีฉนวนหุ้มสีแดง จะเป็นขั้วลบ โดยลักษณะสีของวัสดุหุ้มสายและสีของฉนวนหุ้มสายของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ ตามมาตรฐาน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.41

International Colour Codes							Comments Environment - Bare Wire
ANSI CODE	International IEC 584-3	International IEC 584-3 <i>Intrinsically Safe</i>	CZECH BRITISH to BS 1843	NETHERLANDS GERMAN to DIN 43710	JAPANESE to JIS C 1610-1981	FRENCH to NFC 42-324	
J							Reducing, Vacuum, Inert. Limited Use in Oxidising at High Temperatures Not Recommended for Low Temperatures
K							Clean Oxidising and Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Wide Temperature Range. Most Popular Calibration
T							Mild Oxidising, Reducing Vacuum or Inert. Good Where Moisture is Present. Low Temperature and Cryogenic Applications
E							Oxidising or Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Highest EMF Change per Degree
N				No Standard Use American Color Codes			Alternative To Type K More Stable at High Temps
R							Oxidising or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature
S							Oxidising or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature

รูปที่ 2.41 สีของวัสดุหุ้มสายและสีของฉนวนหุ้มสายของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ : [www.asbheat.com](http://www.asbheat.com)

## 2.7 บทสรุป

สำหรับในบทนี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดของเซนเซอร์แบบต่างๆ ที่ใช้ในระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำ ซึ่งผู้วิจัยจะได้นำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับปล่อยเลี้ยงกุ้งที่ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

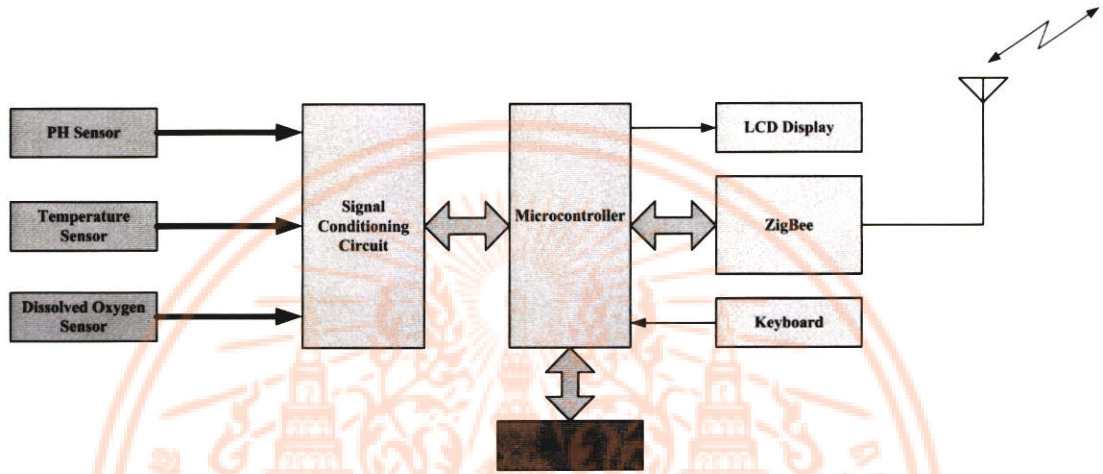
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

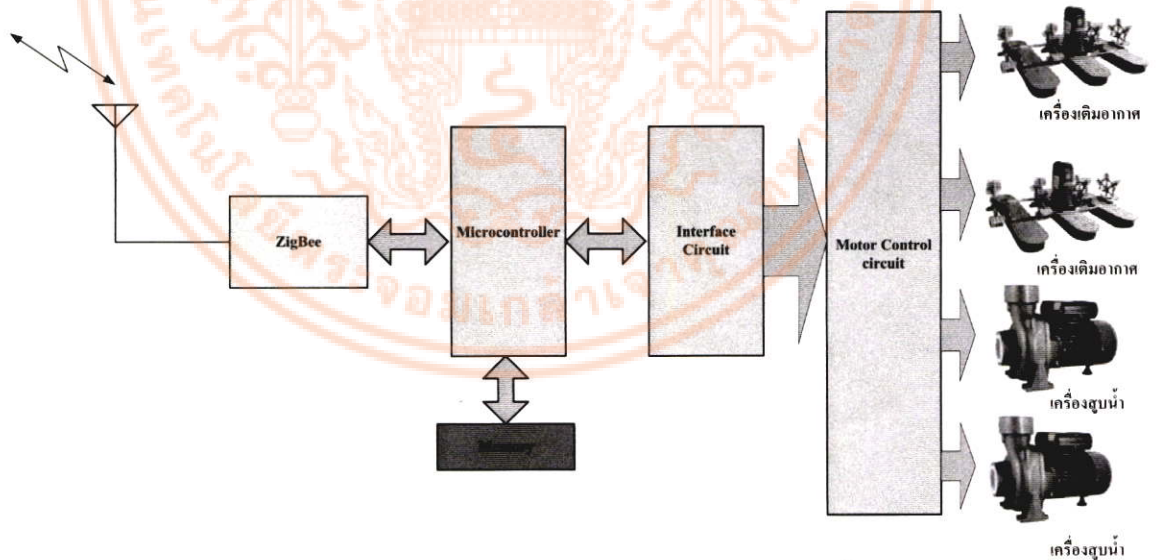
### บทที่ 3

## ระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง

สำหรับระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งที่พัฒนาขึ้นมาจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ ระบบควบคุมเซนเซอร์ ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำ คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบ และระบบโซล่าเซลล์ โดยโครงสร้างของระบบทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.1 ระบบควบคุมเซนเซอร์

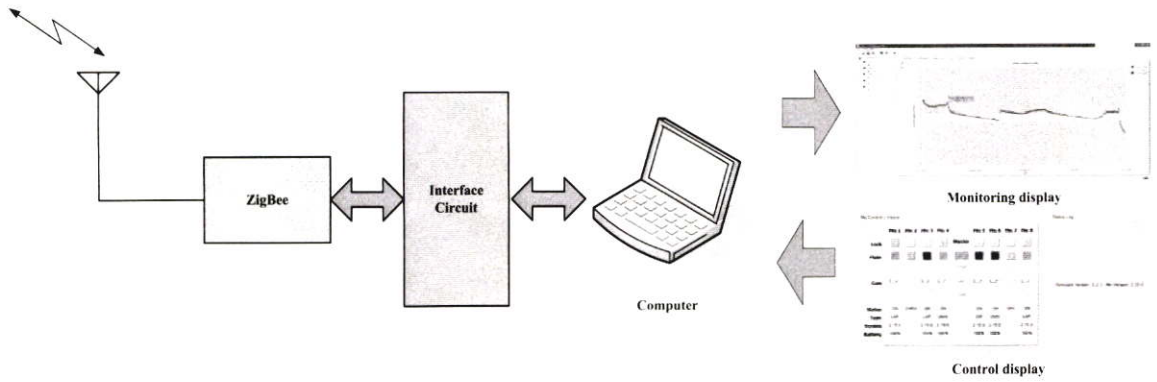


รูปที่ 3.2 ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำ

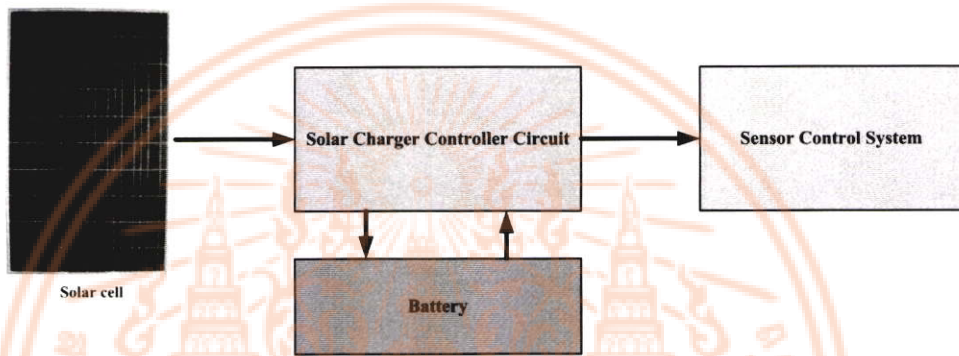
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบ



รูปที่ 3.4 ระบบโซลาร์เซลล์

จากรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำ สำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งที่พัฒนาขึ้นมาโดยรายละเอียดของส่วนต่างๆ ของระบบที่พัฒนาขึ้นมาสามารถอธิบายได้ดังนี้

**3.1 ระบบควบคุมเซนเซอร์**

สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนของระบบควบคุมเซนเซอร์ จะประกอบไปด้วย เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบต่างๆ ของน้ำเพื่อใช้ในการประเมินสภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง ดังนี้

- เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen Sensor)
- เซนเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (PH Sensor)
- เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)

สำหรับเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้ง 3 แบบ ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.1.1 เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen Sensor) [17]

สำหรับเซนเซอร์ออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะใช้หลักการวัดความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำว่ามีปริมาณมากหรือน้อย ใช้งานโดยการนำโพรบของเซนเซอร์ไปจุ่มในแหล่งน้ำที่ต้องการวัด โพรบของเซนเซอร์จะส่งสัญญาณมาที่ชุดวงจรประมวลผล และส่งข้อมูลผ่าน Serial Port (UART) เพื่อที่จะอ่านค่าการวัด เพียงส่งคำสั่งไปที่โมดูลโดยสามารถสอบเทียบเซนเซอร์โดยใช้สารละลายที่มีค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่างกัน

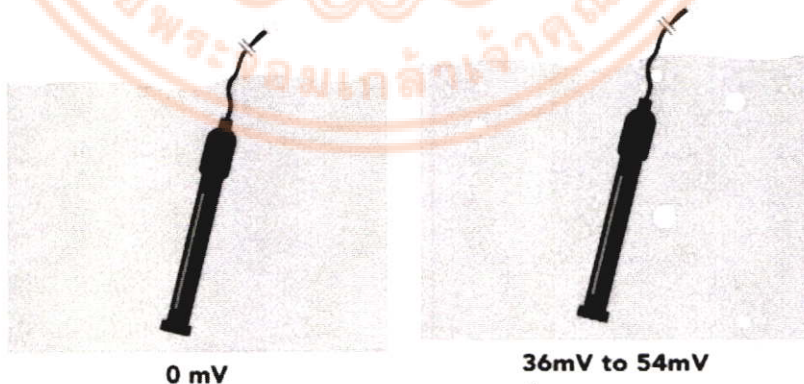


รูปที่ 3.5 การนำเซนเซอร์ไปใช้งาน [17]

เซนเซอร์ที่เลือกใช้นี้มีวงจรที่ซับซ้อน ซึ่งเป็นการนำอุณหภูมิ ความเค็ม และความดัน เพื่อให้ได้รับผลของการวัดแหล่งน้ำนั้นออกมาเป็นค่าออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ สัญญาณจะถูกส่งจากโพรบ HDPE ซึ่งมีการส่งค่าสัญญาณออกมาได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรงจากความต่างศักย์ไฟฟ้า 0 mV หมายถึง ไม่มีออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และความต่างศักย์จาก 36 mV – 54 mV หมายถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ (3.1)

$$\% \text{ saturation} = \frac{\text{mV in water}}{\text{mV in air}} \times 100 \quad (3.1)$$

การกำหนดค่าทำได้โดยการนำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ในน้ำ ทหารด้วยค่าความต่างศักย์ที่ปล่อยลอยในอากาศ จากนั้นนำค่าผลลัพธ์มาคูณกับ 100 จึงได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของการละลาย



รูปที่ 3.6 ค่าความต่างศักย์ขณะที่ทำการจุ่มโพรบ HDPE ในน้ำที่ไม่มีออกซิเจนและมีออกซิเจน [17]

จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบออกมาในหน่วยของ มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ซึ่งแสดงถึงค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ โดยคุณสมบัติที่สำคัญของเซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

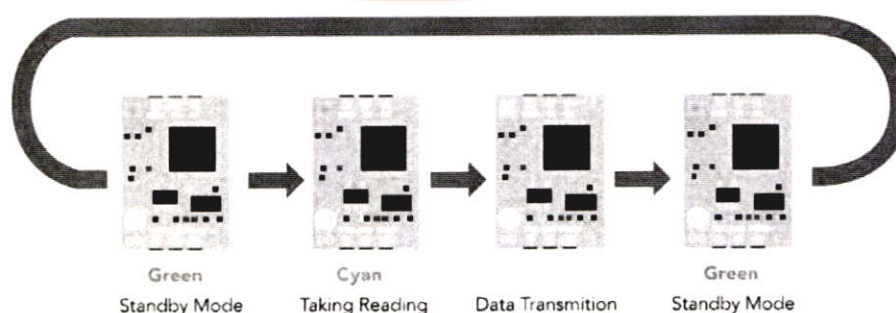
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติที่สำคัญของเซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

คุณสมบัติของเซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	
ช่วงการวัด (Range)	0.01 – 39.99 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (mg/L)
วัสดุของโพรบ (Probe Body Material)	อีพอกซี (Epoxy) และ โนริล (Noryl)
ค่าอุณหภูมิที่ทนได้สูงสุดของโพรบ	50 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )
ค่าความดันที่ทนได้สูงสุดของโพรบ	690 กิโลปาสคาล (100 PSI)
Full range D.O. readings	+/- 0.2
รูปแบบของข้อมูล	ASCII
ค่าทางไฟฟ้าขณะอยู่ในโหมดประหยัดพลังงาน	0.995 มิลลิแอมแปร์ (mA) ที่ 3.3 โวลต์ (V)
รูปแบบที่ส่งข้อมูล	UART และ โปรโตคอล I <sup>2</sup> C

โดยเซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำนี้สามารถวัดได้ที่น้ำสะอาด, น้ำเค็ม และน้ำกร่อย ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำของเซนเซอร์ชนิดนี้ประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์

1. อุณหภูมิ โดยปกติจะถูกตั้งค่าอยู่ที่  $20^{\circ}\text{C}$  ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น  $2^{\circ}\text{C}$  หรือ  $3^{\circ}\text{C}$  โพรบ HDPE จะส่งค่าไปที่ตัวอุปกรณ์
  2. ความเค็ม เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ แต่มีผลกระทบต่อค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำเล็กน้อย เมื่อค่าความนำของน้ำอยู่ที่  $2,500\ \mu\text{S}$  ค่าพารามิเตอร์นี้จะไม่นำมาพิจารณาและจะถูกมองข้าม แต่ถ้าค่าความนำของน้ำเป็นค่าคงที่ มันสามารถตั้งค่าได้ครั้งเดียวและสามารถปล่อยไว้ได้ เพราะนี่เป็นความผันผวนเล็กน้อยที่ความเค็มมีผลต่อการอ่านค่า
  3. ความดัน เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้น้อยที่สุด โดยปกติวงจรจะสันนิษฐานว่าโพรบวัดอยู่ที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งในการวัดจริงแล้วโพรบจะต้องอยู่ในน้ำ และไม่สามารถที่จะเป็นความดันบรรยากาศได้ แต่ความดันที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยจึงไม่มีผลต่อการวัด ควรจะใช้โพรบวัดที่ความลึกของน้ำไม่เกิน 10 เมตร หรือเชื่อมต่อในท่อความดันสูง
- ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดควรจะทำการสอบเทียบ 1 ครั้งต่อปี หรือจะทำการสอบเทียบบ่อยครั้งเพื่อผลการวัดที่แน่นอน และใช้เป็นบางกรณี



รูปที่ 3.7 ภาพการทำงานของวงจร DO Sensor [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

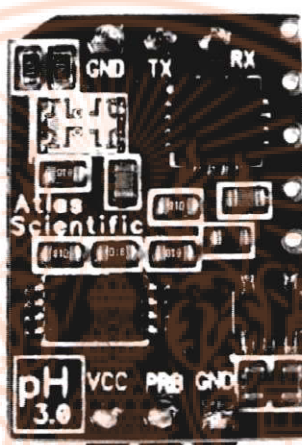
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.1.2 เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส (pH Sensor)[18]

เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส ใช้หลักการแตกตัวของประจุไฮโดรเจนที่อยู่ที่โพรบวัดของเซนเซอร์ ซึ่งจะแตกตัวให้ศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนเซนเซอร์จะใช้ศักย์ไฟฟ้าในการแปลงค่าแสดงเป็นค่าความเป็นกรดเบส (pH) การใช้งานจะต้องนำมาเปรียบเทียบกับปรับย่านการวัดกับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ค่าความกรดต่าง 4, 7 หรือ 10 อย่างน้อยสองค่าครอบคลุมในช่วงการวัดที่ต้องการวัด การใช้งานควรล้างโพรบเซนเซอร์ด้วยน้ำสะอาดปราศจากประจุ หรือน้ำกลั่น แล้วเช็ดออกด้วยกระดาษชำระ แล้วรีบนำไปจุ่มกับสารละลายที่ต้องการวัดค่าความเป็นกรดเบสอย่างรวดเร็ว

$$E = E^0 + \frac{RT}{F} \ln(\alpha_{H^+}) = E^0 - \frac{2.303RT}{F} pH \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.8 ภาพวงจรเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส [18]

โดยคุณสมบัติที่สำคัญของเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติที่สำคัญของเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส

คุณสมบัติของเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส	
ช่วงการวัด (Range)	0 – 14 (Na+ ความผิดพลาดที่ค่ามากกว่า 12.3 pH)
ความเร็วในการตอบสนอง (Speed Response)	95% ใน 1 วินาที
จุดอ้างอิง (Isopotential Point)	pH 7.0 (0 mV)
ค่าชดเชย (Offset)	+/- 0.2 pH
ค่าอัตราการส่งข้อมูล (Baud Rate)	9600 bps
ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการวัด (Standard Temp)	25 องศาเซลเซียส (°C)
รูปแบบของข้อมูล	ASCII
ค่าทางไฟฟ้าขณะอยู่ในโหมดประหยัดพลังงาน	0.995 มิลลิแอมแปร์ (mA) ที่ 3.3 โวลต์ (V)
รูปแบบที่ส่งข้อมูล	UART และ โปรโตคอล I2C

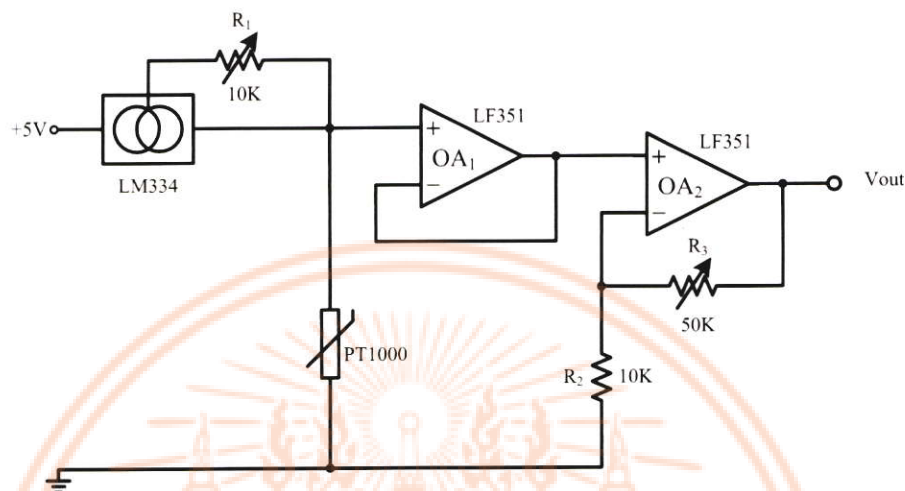
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.1.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)

ในส่วนของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิทางผู้วิจัยเลือกอาร์ทีดีเซนเซอร์ชนิด PT1000 มาใช้ในการวัดอุณหภูมิ ซึ่งในวงจรวัดอุณหภูมิจะประกอบด้วยวงจรจ่ายกระแสคงที่ 1 มิลลิแอมป์ และวงจรขยายสัญญาณ



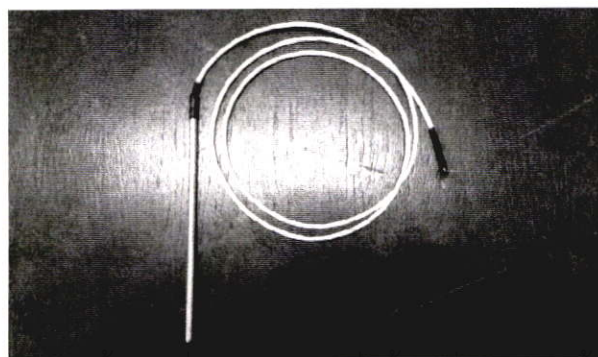
รูปที่ 3.9 วงจรวัดอุณหภูมิโดยใช้อาร์ทีดีเซนเซอร์ชนิด PT1000

โดยจากวงจรวัดอุณหภูมิโดยใช้อาร์ทีดีเซนเซอร์ชนิด PT1000 ในรูปที่ 3.9 ค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวอาร์ทีดีเซนเซอร์มีค่าดังสมการที่ (3.3) และค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรสามารถหาได้ดังสมการที่ (3.4)

$$V_{PT1000} = R_{PT1000} * 1 \text{ mA} \quad (3.3)$$

$$V_{out} = 3.61 * V_{PT100} \quad (3.4)$$

จากสมการที่ (3.3) และ (3.4) วงจรจะให้ค่าแรงดันเอาต์พุต 3.61 โวลต์ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และ 5 โวลต์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสซึ่งแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะถูกส่งไปยังบอร์ด Arduino MEGA 2560 ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลเพื่อแปลงค่าแรงดันที่ได้ให้เป็นค่าอุณหภูมิเพื่อใช้ในการควบคุมและแสดงผล



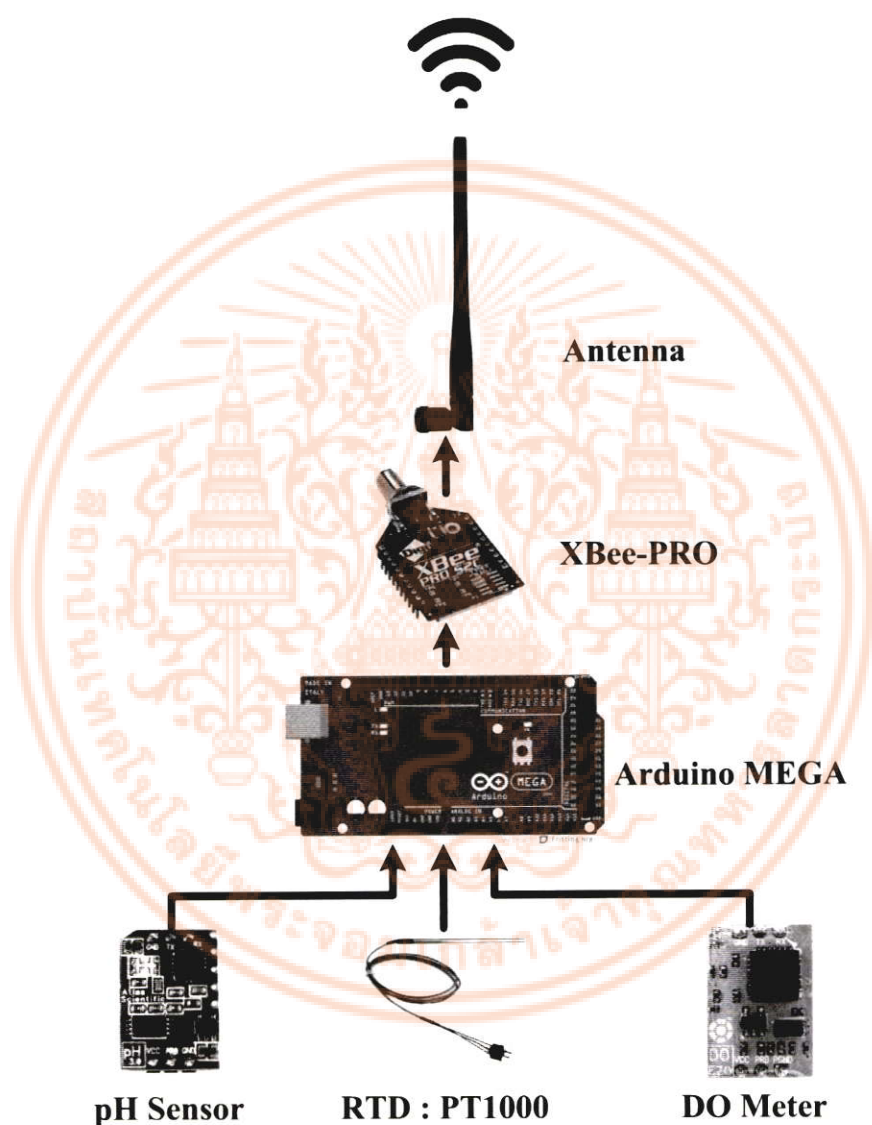
รูปที่ 3.10 อาร์ทีดีเซนเซอร์ชนิด PT1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

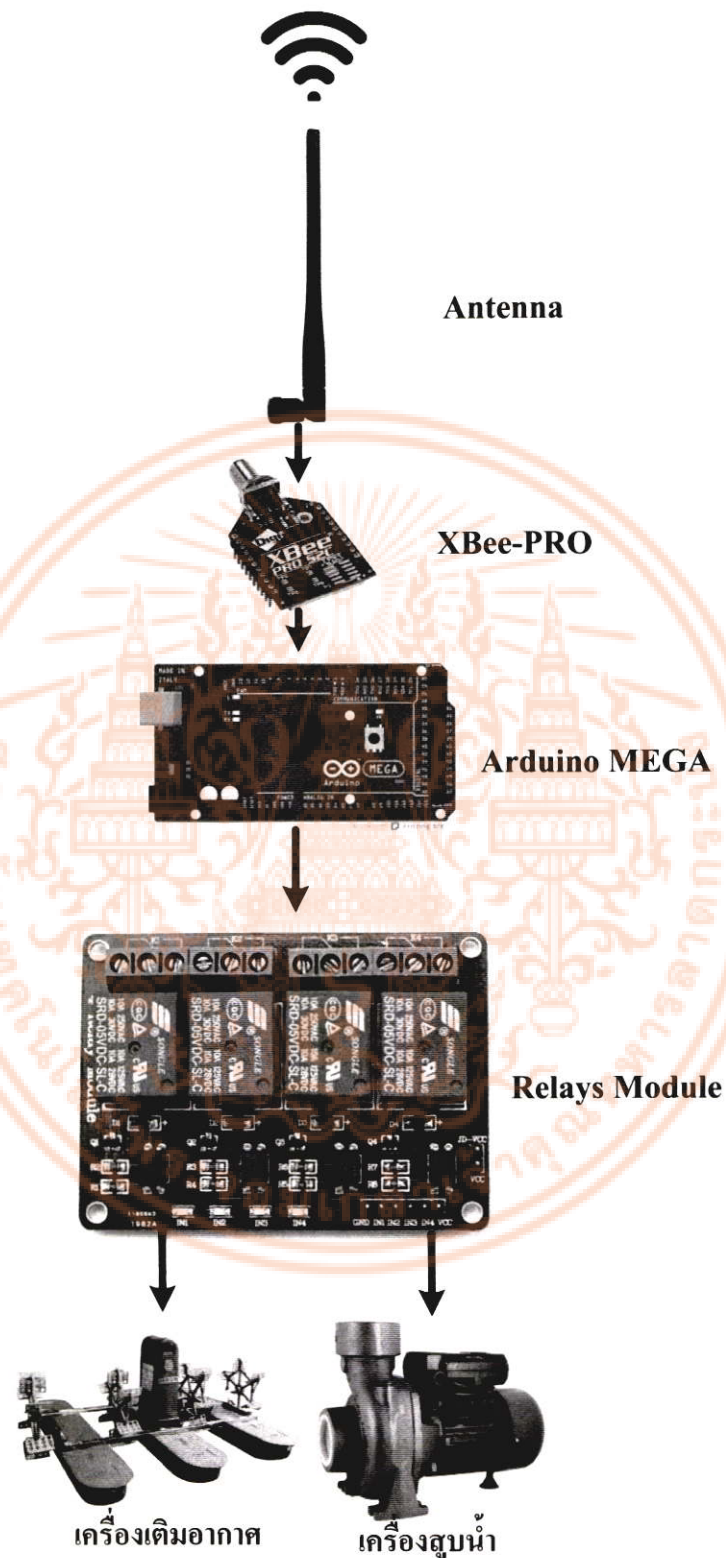
ทางผู้วิจัยจะได้ทำการพัฒนาและออกแบบวงจรปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning Circuit) ให้เหมาะสมกับเซนเซอร์ที่ใช้งานแต่ละชนิด สัญญาณที่ได้จากวงจรปรับสภาพสัญญาณจะถูกส่งไปไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำหน้าที่บันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำ (Memory) และส่งผลการตรวจวัดต่างๆ ไปยังคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย ZigBee [9-10] สำหรับโครงสร้างทั้งหมดของระบบควบคุมเซนเซอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 โครงสร้างทั้งหมดของระบบควบคุมเซนเซอร์

### 3.2 ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำ

สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำโดยคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย ZigBee สำหรับโครงสร้างทั้งหมดของระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำ

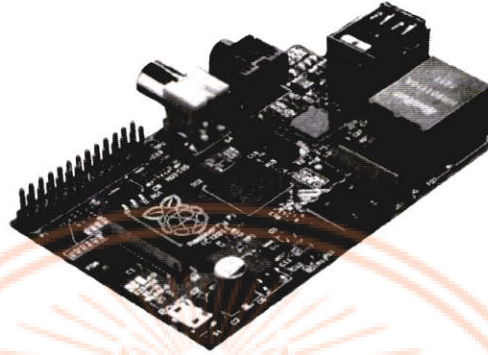
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3 คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบ

สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบในส่วนคอมพิวเตอร์ในการควบคุมระบบ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ บอร์ด Raspberry Pi 2 Model B 1GB ซึ่งเป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ เช่น จอคอมพิวเตอร์ คีย์บอร์ด เมาส์ เป็นต้น โดยลักษณะและคุณสมบัติของบอร์ด Raspberry Pi สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 และตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.13 บอร์ด Raspberry Pi : [www.amazon.ca](http://www.amazon.ca)

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของบอร์ด Raspberry Pi 2 Model B 1GB

หน่วยประมวลผลกลาง (CPU)	BCM2836 ARMv7 Quad-Core 900MHz
หน่วยความจำ (RAM)	LPDDR2 SDRAM 1GB @ 450MHz
หน่วยประมวลผลภาพ (GPU)	Video Core IV 3D Graphic Core 4
ช่องเสียบอุปกรณ์ (Port)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- USB 2.0 4 Port</li> <li>- Host port Stereo audio out and composite video out via 4-pole 3.5 mm jack (stereo can change to output over HDMI)</li> <li>- 1 x Micro SD Card slot</li> <li>- 1 x 10/100 Mbps Fast Ethernet via RJ-45</li> <li>- Full-size HDMI port</li> <li>- Camera interface (CSI)</li> <li>- Display interface (DSI)</li> <li>- 40-pin GPIO header (GPIO, UART, I2C, SPI, etc.)</li> </ul>
พลังงานขาเข้า (Power Input)	1.8 แอมแปร์ 5 โวลต์ ผ่านสาย Micro USB
ระบบปฏิบัติการ (OS)	Raspbian, Snappy Ubuntu Core, OpenELEC, RaspBMC, Pidora, RISC OS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

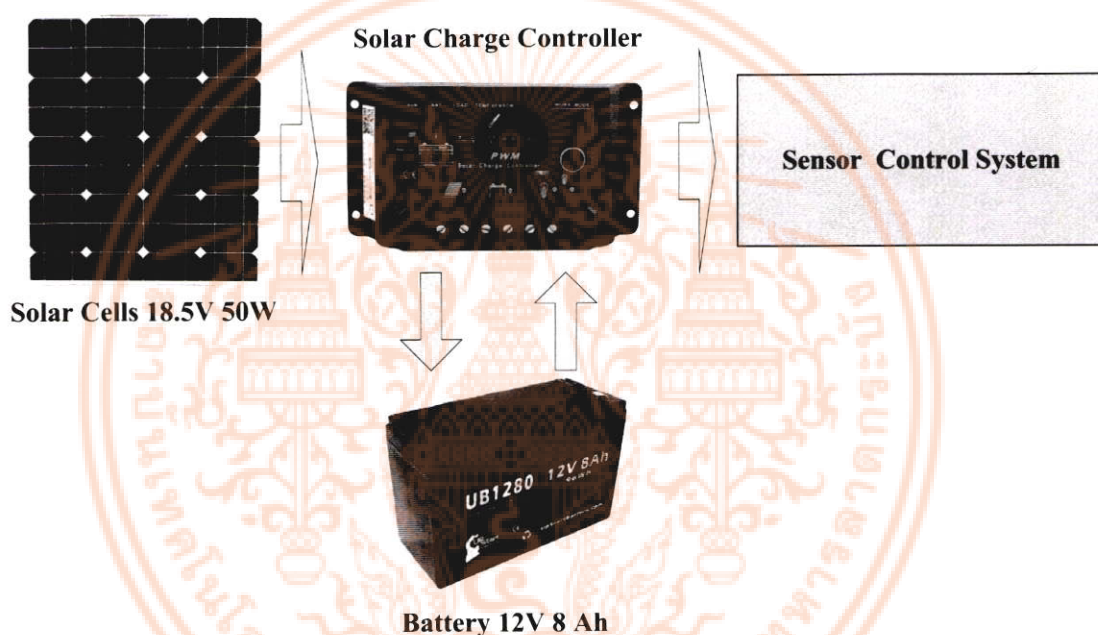
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในงานวิจัยนี้จะนำบอร์ด Raspberry Pi 2 Model B 1GB มาทำหน้าที่ในการควบคุมระบบที่พัฒนาขึ้นมา ตั้งแต่การเก็บข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ต่างๆ ผ่านเครือข่าย Zigbee การประมวลผลสัญญาณจากข้อมูลที่วัดได้ ส่งสัญญาณไปควบคุมระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องสูบน้ำ และนำค่าข้อมูลที่วัดได้ไปแสดงค่าผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยเชื่อมต่อกับเราเตอร์ ของผู้ใช้งานผ่านโปรโตคอล Ethernet/IP

### 3.4 ระบบโซล่าเซลล์

ระบบโซล่าเซลล์ทำหน้าที่ในจ่ายไฟเลี้ยงให้ระบบเซนเซอร์สำหรับการวัดคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย แผงโซลาร์เซลล์ อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ และแบตเตอรี่โดยโครงสร้างของระบบโซล่าเซลล์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ระบบโซล่าเซลล์

จากรูปที่ 3.14 สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆของระบบโซลาร์เซลล์ที่พัฒนาขึ้นมามีดังนี้

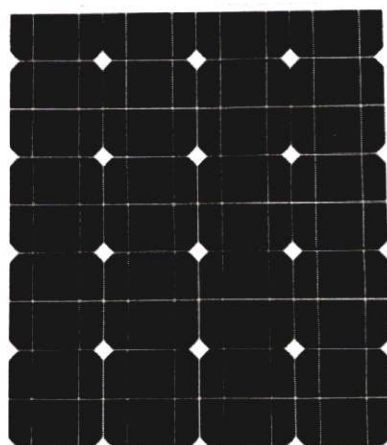
#### 3.4.1 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cells)

แผงโซลาร์เซลล์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยพลังงานที่ได้จะถูกส่งไปเก็บที่แบตเตอรี่ผ่านอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ โดยลักษณะและคุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ที่นำมาใช้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 และตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.15 แผงโซลาร์เซลล์

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์

ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์	ผลึกเดี่ยว
พลังงานสูงสุด	50 วัตต์
ความต่างศักย์สูงสุด	18.5 โวลต์
กระแสไฟฟ้าสูงสุด	2.7 แอมแปร์
อุณหภูมิใช้งาน	0 – 85 องศาเซลเซียส
ค่าความผิดพลาด	3 เปอร์เซ็นต์
ขนาด	54 x 63 เซนติเมตร

### 3.4.2 อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Controller)

อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่ส่งไปชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งลักษณะและคุณสมบัติของอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จที่นำมาใช้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 และตารางที่ 3.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.16 เครื่องควบคุมการชาร์จ: [www.thaisolarsystem.com](http://www.thaisolarsystem.com) ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

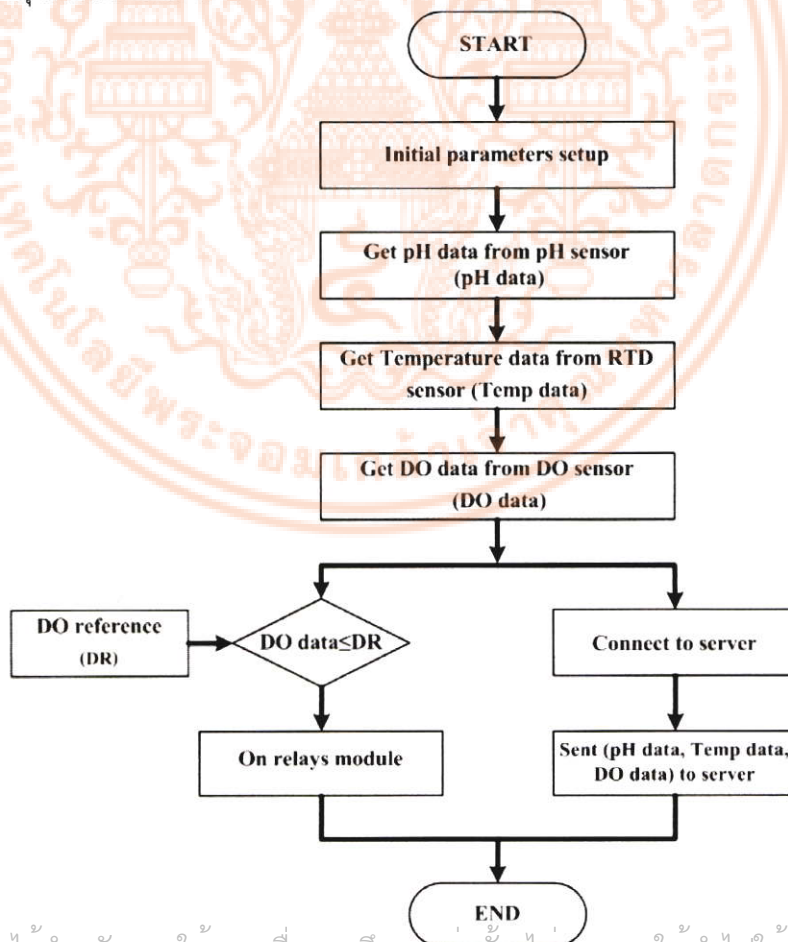
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ [19]

รุ่น	SCL – 10 A
ค่ากระแสไฟฟ้าในการชาร์จ	10 แอมแปร์
ค่าแรงดันใช้งาน	12 / 24 โวลต์
ค่าแรงดันสูญเสียขณะชาร์จ	น้อยกว่า เท่ากับ 0.26 โวลต์
ค่าแรงดันสูญเสียขณะต่อโหลด	น้อยกว่า เท่ากับ 0.15 โวลต์
วิธีการควบคุม	PWM Pulse-duration Modulation Charge Mode
อุณหภูมิใช้งาน	-35 ถึง 55 องศาเซลเซียส

### 3.5 โปรแกรมสำหรับควบคุมระบบ

สำหรับลักษณะการทำงานของโปรแกรมสำหรับระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำ สำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งที่พัฒนาขึ้นมาสามารถแสดงได้ดังโฟลวชาร์ต(Flowchart) ดังแสดงดังรูปที่ 3.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.17 โฟลวชาร์ตของโปรแกรมสำหรับระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

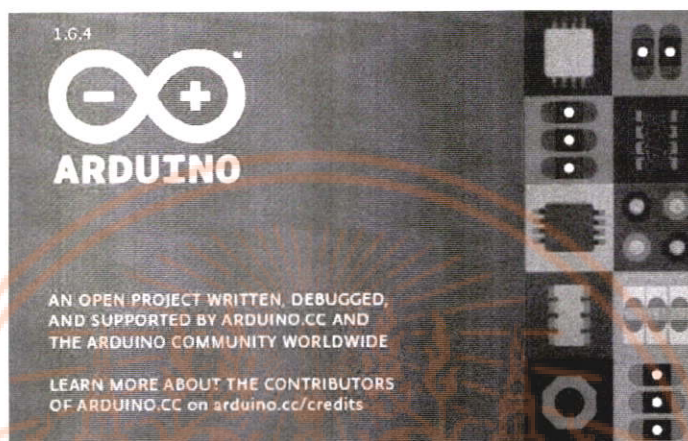
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.6 โปรแกรมสำหรับใช้ในการพัฒนาระบบ

#### 3.6.1 โปรแกรม Arduino IDE [20]

โปรแกรม Arduino Integrated Development Environment หรือ Arduino Software (IDE) ประกอบด้วยส่วนของพื้นที่แก้ไขข้อความสำหรับการเขียนโค้ด, พื้นที่แจ้งเตือน, แถบเครื่องมือกับปุ่มสำหรับฟังก์ชันพื้นฐาน และชุดของเมนู ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับ Arduino และ Genuino เพื่อลงโปรแกรมการทำงานและสื่อสารกับผู้ใช้

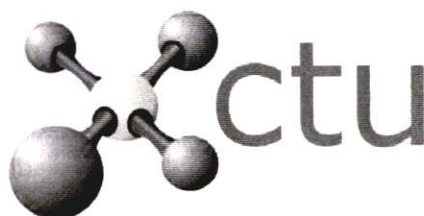


รูปที่ 3.18 โปรแกรม Arduino IDE [20]

#### 3.6.2 โปรแกรม XCTU [21]

โปรแกรม XCTU คือรูปแบบแอปพลิเคชันอิสระถูกออกแบบมาเพื่อพัฒนาปฏิสัมพันธ์กับ โมดูล Digi RF ผ่านหน้าจอกราฟิกที่ใช้งานง่าย มันรวมอุปกรณ์ที่ติดตั้งง่ายเข้าไปด้วยการแก้ไขและทดสอบ โมดูล XBee RF

โปรแกรม XCTU รวมทุกเครื่องที่ผู้พัฒนาต้องการใช้ได้รวดเร็วและใช้งานกับ XBee ลักษณะพิเศษเหมือนกับระบบกราฟิก ซึ่งกราฟิกหมายถึงเครือข่าย XBee พร้อมกับคุณภาพของสัญญาณแต่ละการเชื่อมต่อและกรอบ API ประกอบขึ้นเพื่อพัฒนารูปแบบ XBee ให้ใช้งานง่ายขึ้น



Configuration & Test Utility Software

A Digi International Inc. product

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.19 โปรแกรม XCTU [21] ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.6.3 โปรแกรม Apache [22]

Apache คือ Web server พัฒนามาจาก HTTPD Web Server โดยเจ้า Apache นี้จะทำหน้าที่ในการจัดเก็บ Homepage และส่ง Homepage ไปยัง Browser ที่มีการเรียกเข้า ยัง Web server ที่เก็บ Homepage นั้นอยู่ ซึ่งปัจจุบันจัดได้ว่าเป็น web server ที่มีความน่าเชื่อถือมาก เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลก อีกทั้งโปรแกรม Apache ยังเป็นซอฟต์แวร์ แบบ Open Source ที่เปิดให้บุคคลทั่วไปสามารถเข้ามาร่วมพัฒนาส่วนต่างๆ ของโปรแกรม Apache ได้ ซึ่งทำให้เกิดเป็นโมดูลที่เกิดประโยชน์มากมาย เช่น mod\_perl, mod\_python หรือ mod\_php และทำงานร่วมกับภาษาอื่นได้ แทนที่จะเป็นเพียงเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการเพียงแค่ HTML อย่างเดียว โดยสามารถหา Download ได้จาก website [www.apache.org](http://www.apache.org)

นอกจากนี้โปรแกรม Apache เองยังมีความสามารถอื่นๆ ด้วย เช่น การยืนยันตัวบุคคล (mod\_auth, mod\_access, mod\_digest) หรือเพิ่มความปลอดภัยในการสื่อสารผ่านโปรโตคอล https (mod\_ssl) และยังมีโมดูลอื่นๆ ที่ได้รับความนิยมใช้ เช่น mod\_vhost ทำให้สามารถสร้างโฮสต์เสมือน ภายในเครื่องเดียวกันได้ หรือ mod\_rewrite ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้ url ของเว็บนั้นอ่านง่ายขึ้น



รูปที่ 3.20 โปรแกรม Apache 2.2 [22]

### 3.6.4 โปรแกรม My SQL [23]

MySQL คือ โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล ที่พัฒนาโดยบริษัท MySQL AB มีหน้าที่เก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบรองรับคำสั่ง SQL เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องใช้ร่วมกับเครื่องมือหรือโปรแกรมอื่นอย่างบูรณาการ เพื่อให้ได้ระบบงานที่รองรับความต้องการของผู้ใช้ เช่น ทำงานร่วมกับเครื่องบริการเว็บ (Web Server) เพื่อให้บริการแก่ภาษาสคริปต์ที่ทำงานฝั่งเครื่องบริการ (Server-Side Script) เช่น ภาษา php ภาษา asp.net หรือภาษาเจเอสพี เป็นต้น หรือทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ (Application Program) เช่น ภาษา Visual Basic ภาษาจาวา หรือภาษา C# เป็นต้น โปรแกรมถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย และเป็นระบบฐานข้อมูลโอเพนซอร์ซ (Open Source) ที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด



รูปที่ 3.21 โปรแกรม My SQL [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.6.5 โปรแกรม phpMyAdmin [24]

phpMyAdmin คือโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยใช้ภาษา PHP เพื่อใช้ในการบริหารจัดการฐานข้อมูล MySQL แทนการคีย์คำสั่ง เนื่องจากถ้าเราจะใช้ฐานข้อมูลที่เป็น MySQL บางครั้งจะมีความลำบากและยุ่งยากในการใช้งาน ดังนั้นจึงมีเครื่องมือในการจัดการฐานข้อมูล MySQL ขึ้นมาเพื่อให้สามารถจัดการ ตัว DBMS ที่เป็น MySQL ได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น โดย phpMyAdmin ก็ถือเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งในการจัดการนั่นเอง

phpMyAdmin เป็นส่วนต่อประสานที่สร้างโดยภาษา php ซึ่งใช้จัดการฐานข้อมูล MySQL ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยสามารถที่จะทำการสร้างฐานข้อมูลใหม่ หรือทำการสร้าง TABLE ใหม่ๆ และยังมีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการทดสอบการ query ข้อมูลด้วยภาษา SQL พร้อมกันนั้น ยังสามารถทำการ insert delete update หรือแม้กระทั่งใช้ คำสั่งต่างๆ เหมือนกับกับการใช้ภาษา SQL ในการสร้างตารางข้อมูล

phpMyAdmin เป็นโปรแกรมประเภท MySQL Client ตัวหนึ่งที่ใช้ในการจัดการข้อมูล MySQL ผ่านweb browser ได้โดยตรง phpMyAdmin ตัวนี้จะทำงานบน Web Server เป็น PHP Application ที่ใช้ควบคุมจัดการ MySQL Server ความสามารถของ phpMyAdmin คือ

1. สร้างและลบ Database
2. สร้างและจัดการ Table เช่น แทรก record, ลบ record, แก้ไข record, ลบ Table, แก้ไข field
3. โหลดเท็กซ์ไฟล์เข้าไปเก็บเป็นข้อมูลในตารางได้
4. ทาผลสรุป (Query) ด้วยคำสั่ง SQL



รูปที่ 3.22 โปรแกรม phpMyAdmin [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

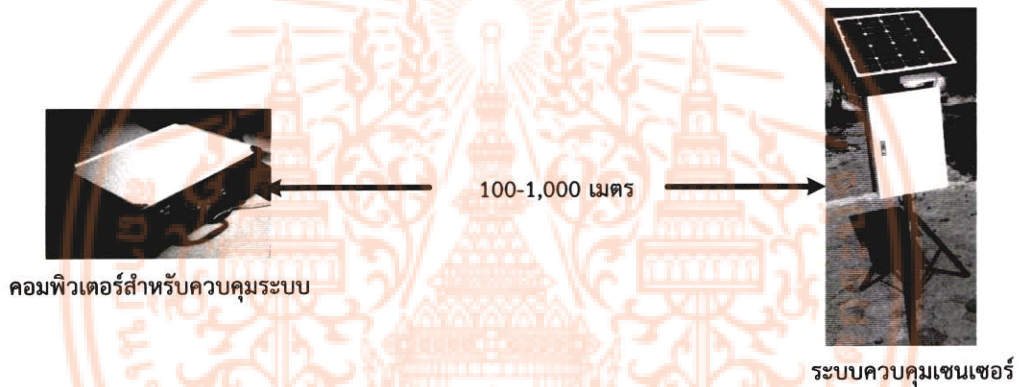
## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งที่พัฒนาขึ้น โดยแบ่งหัวข้อในการทดสอบดังต่อไปนี้

#### 4.1 การทดสอบหาระยะการใช้งานของระบบ

สำหรับการทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบระยะทางสูงสุดระหว่างคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบและระบบควบคุมเซนเซอร์ที่ระบบยังมีเสถียรภาพในการรับส่งข้อมูล โดยในการทดสอบจะทำการแปรค่าระยะห่างระหว่างคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบและระบบควบคุมเซนเซอร์ตั้งแต่ 100 เมตรจนถึง 1,000 เมตร แล้วทำการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ โดยรูปแสดงการทดสอบและผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดสอบหาระยะการใช้งานของระบบ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาระยะการใช้งานของระบบ

ระยะทาง (เมตร)	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3
100	Stable	Stable	Stable
200	Stable	Stable	Stable
300	Stable	Stable	Stable
400	Stable	Stable	Stable
500	Stable	Stable	Stable
600	Stable	Stable	Stable
700	Stable	Stable	Stable
800	Stable	Stable	Stable
900	Stable	Unstable	Unstable
1,000	Unstable	Unstable	Unstable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

the content, and cite the document when use.

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าที่ระยะห่างระหว่างคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบและระบบควบคุมเซนเซอร์ตั้งแต่ 900 เมตรขึ้นไป เสถียรภาพในการรับส่งข้อมูลจะไม่คงที่ (Unstable) ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นควรติดตั้งให้ระยะห่างระหว่างคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบและระบบควบคุมเซนเซอร์น้อยกว่า 900 เมตร เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพในการรับส่งข้อมูล (Stable)

#### 4.2 การทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen : DO)

สำหรับการทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นมาในการวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ การทดลองวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) จากแหล่งน้ำตัวอย่างจำนวน 5 แหล่งดังนี้

- บ่อน้ำหน้าอาคารเรียนรวม
- บ่อน้ำหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์
- บ่อน้ำหน้าโรงอาหาร
- น้ำดื่มที่ผ่านเครื่องกรองน้ำ
- น้ำประปา

สำหรับการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากแหล่งน้ำตัวอย่างที่กล่าวมา จะทำการตั้งค่าเวลาในการเก็บข้อมูลทุก 15 นาทีต่อครั้ง จำนวน 10 ค่าจากแหล่งน้ำตัวอย่าง ดังแสดงในตารางรูปที่ 4.2 จากนั้นจึงนำค่าที่ได้จากการวัดมาทำการพล็อตกราฟแสดงดังในรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.6

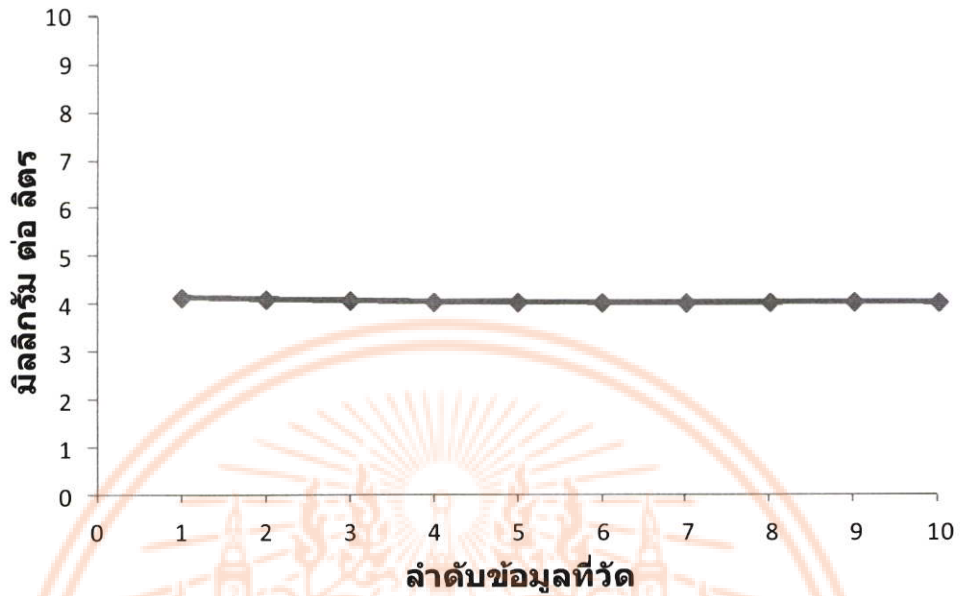
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากแหล่งน้ำตัวอย่าง

ครั้งที่ แหล่งน้ำตัวอย่าง	บ่อน้ำหน้าอาคาร เรียนรวม	บ่อน้ำหน้าคณะ วิศวกรรมศาสตร์	บ่อน้ำหน้าโรง อาหาร	น้ำดื่มที่ผ่าน เครื่องกรองน้ำ	น้ำประปา
1	4.13	4.11	2.56	4.35	5.16
2	4.09	4.10	2.53	4.34	5.16
3	4.07	4.13	2.51	4.36	5.20
4	4.04	4.14	2.48	4.33	5.19
5	4.03	4.16	2.44	4.32	5.16
6	4.02	4.21	2.39	4.37	5.11
7	4.01	4.21	2.35	4.36	5.14
8	4.02	4.21	2.30	4.35	5.14
9	4.03	4.24	2.30	4.33	5.12
10	4.02	4.21	2.30	4.34	5.13

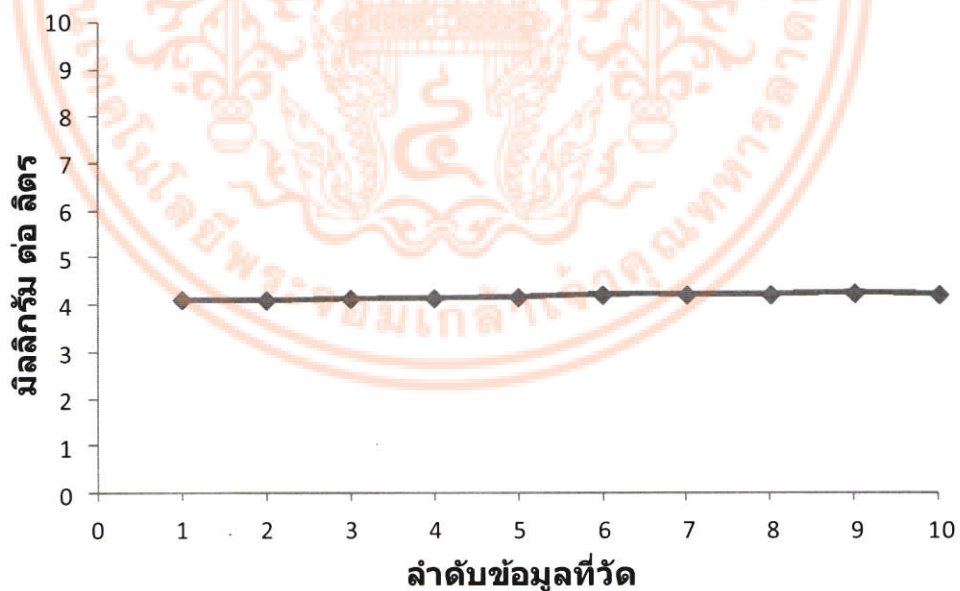
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากบ่อน้ำหน้าตึกเรียน

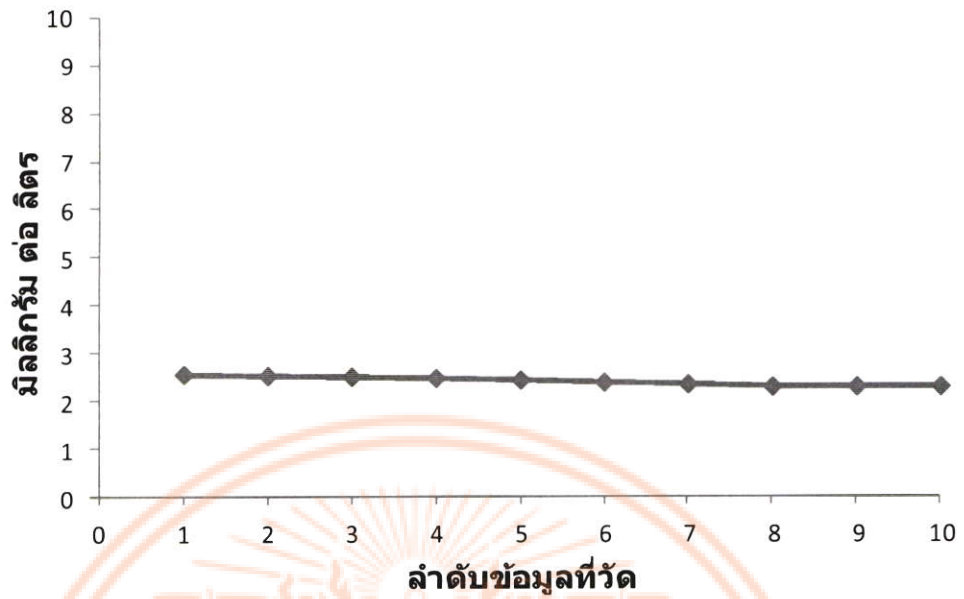


รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากบ่อน้ำหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์

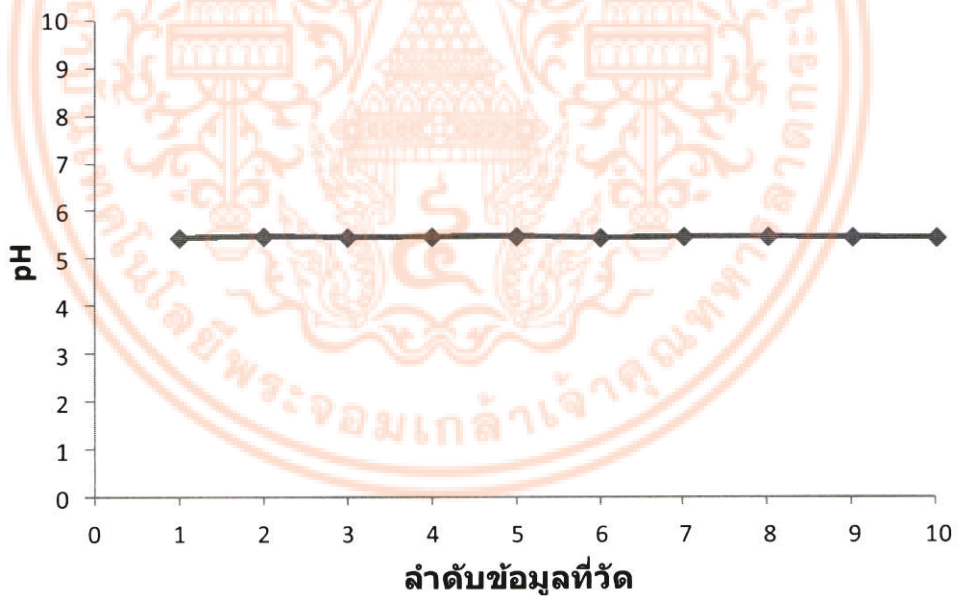
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากบ่อน้ำหน้าร้านอาหาร

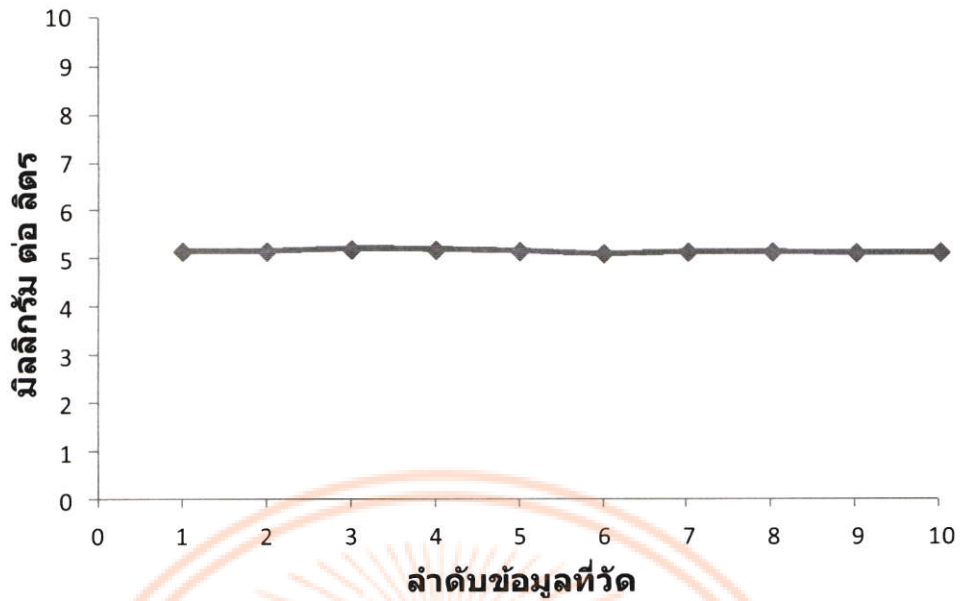


รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากน้ำดื่มที่ผ่านเครื่องกรองน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจากน้ำประปา

#### 4.3 การทดสอบวัดค่า pH

สำหรับการทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นมาในการวัดค่า pH จากแหล่งน้ำตัวอย่างจำนวน 5 แหล่งดังนี้

- บ่อน้ำหน้าอาคารเรียนรวม
- บ่อน้ำหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์
- บ่อน้ำหน้าโรงอาหาร
- น้ำดื่มที่ผ่านเครื่องกรองน้ำ
- น้ำประปา

สำหรับการทดสอบวัดค่า pH จากแหล่งน้ำตัวอย่างที่กล่าวมา จะทำการตั้งค่าเวลาในการเก็บข้อมูลทุก 15 นาทีต่อครั้ง จำนวน 10 ค่าจากแหล่งน้ำตัวอย่าง ดังแสดงในตารางรูปที่ 4.3 จากนั้นจึงนำค่าที่ได้จากการวัดมาทำการพล็อตกราฟแสดงดังในรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.11

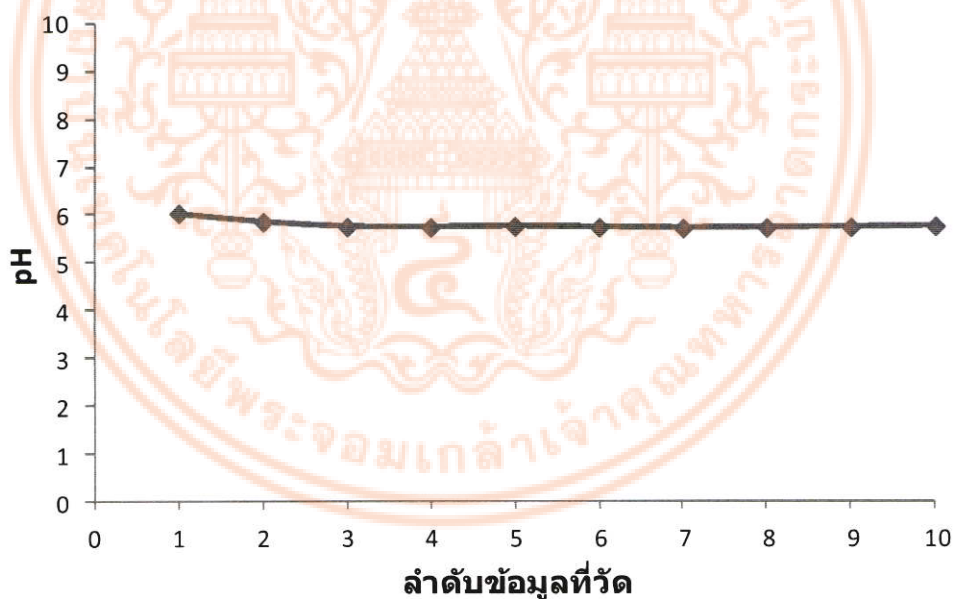
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบวัดค่า pH จากแหล่งน้ำตัวอย่าง

ครั้งที่ แหล่งน้ำตัวอย่าง	บ่อน้ำหน้าอาคาร เรียนรวม	บ่อน้ำหน้าคณะ วิศวกรรมศาสตร์	บ่อน้ำหน้าโรง อาหาร	น้ำดื่มที่ผ่าน เครื่องกรองน้ำ	น้ำประปา
1	6.03	5.46	5.42	5.44	4.80
2	5.85	5.44	5.41	5.47	4.79
3	5.74	5.45	5.39	5.45	4.79
4	5.73	5.44	5.39	5.46	4.78
5	5.75	5.46	5.41	5.47	4.79
6	5.73	5.44	5.39	5.44	4.81
7	5.71	5.43	5.38	5.46	4.78
8	5.72	5.45	5.39	5.46	4.79
9	5.73	5.44	5.40	5.45	4.78
10	5.75	5.44	5.39	5.44	4.77

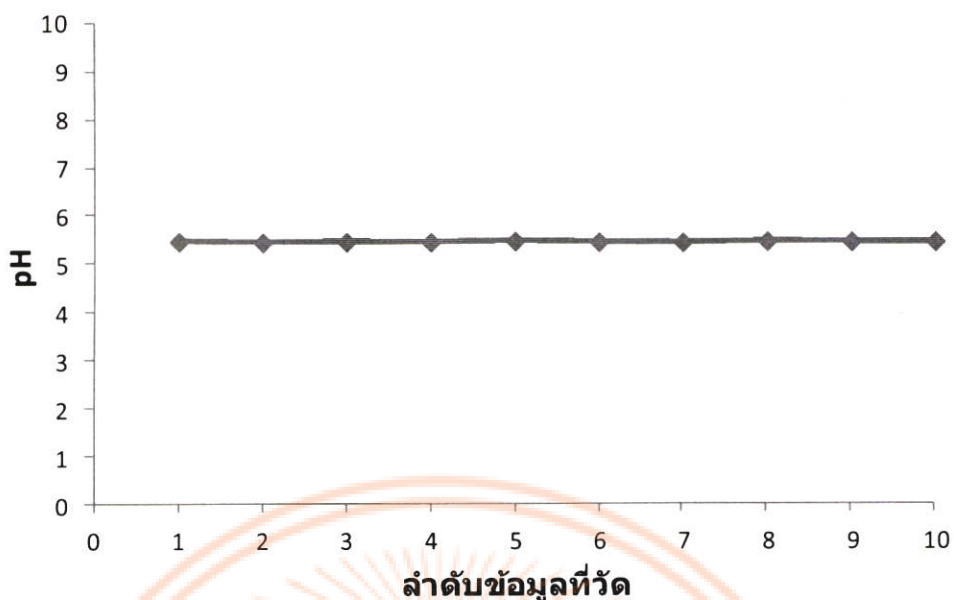


รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบวัดค่า pH จากบ่อน้ำหน้าอาคารเรียนรวม

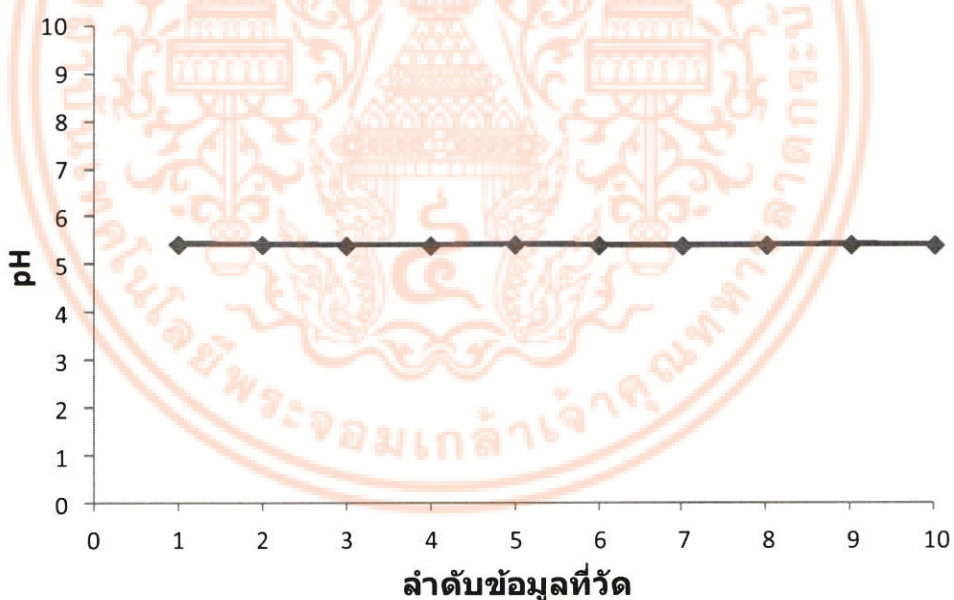
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบวัดค่า pH จากบ่อน้ำหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์

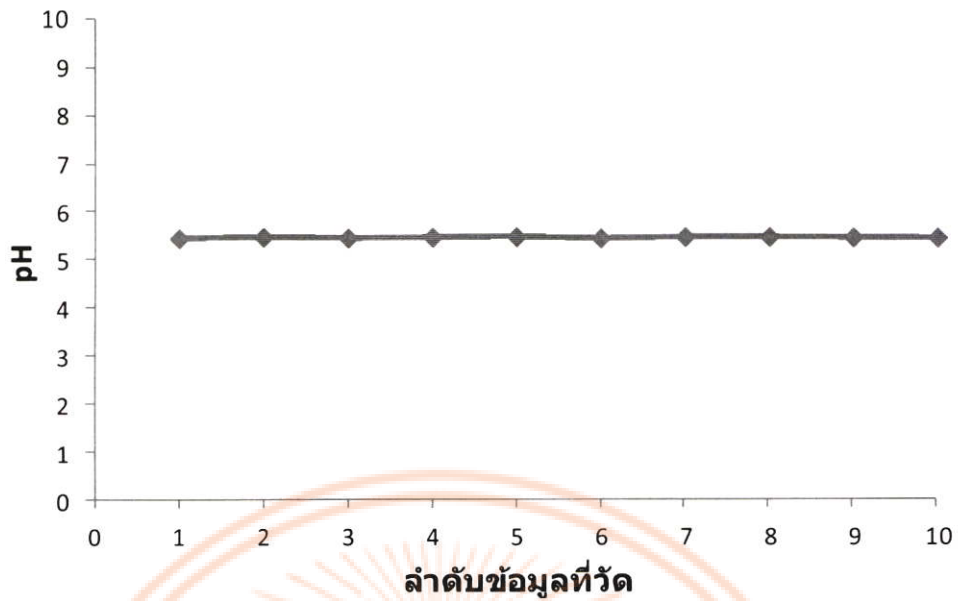


รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบวัดค่า pH จากบ่อน้ำหน้าโรงพยาบาล

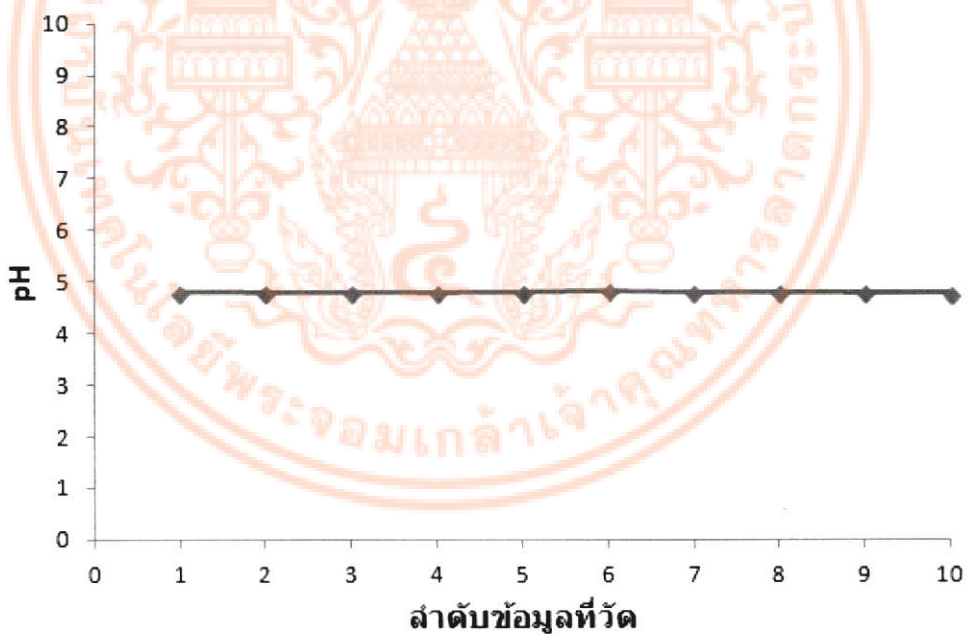
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบวัดค่า pH จากน้ำดื่มที่ผ่านเครื่องกรองน้ำ



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบวัดค่า pH จากน้ำประปา

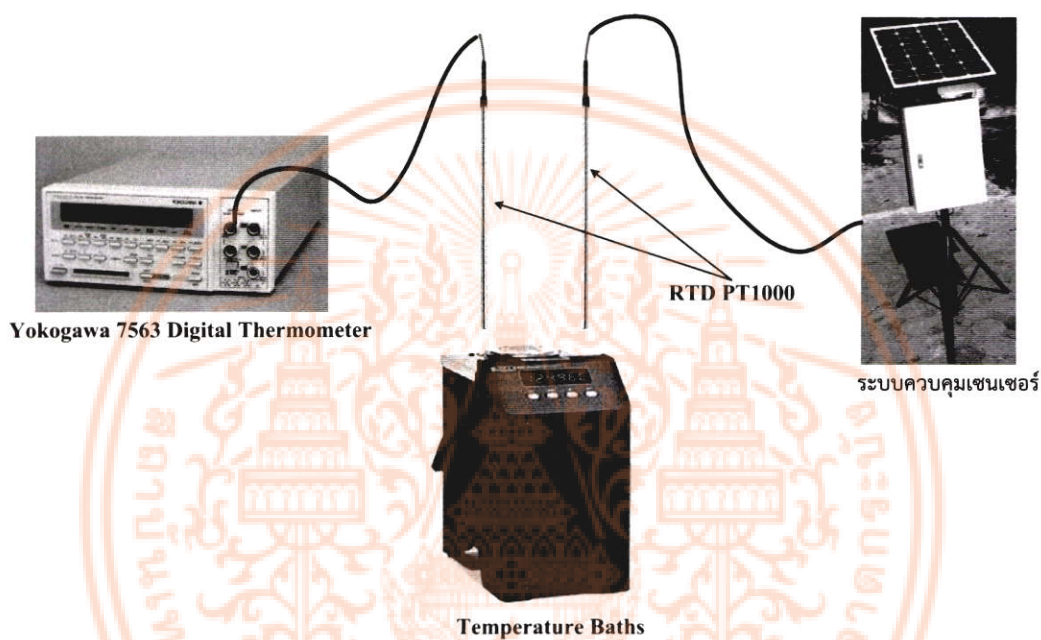
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.4 การทดสอบวัดค่าอุณหภูมิ

สำหรับการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิของระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยการทดสอบนี้เพื่อหาค่าความแม่นยำของการวัดอุณหภูมิของระบบที่พัฒนาขึ้นมา โดยในการทดสอบจะทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล Yokogawa 7563 digital thermometer โดยจะทำการปรับค่าอุณหภูมิของแพลนตควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 0-100 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจสอบว่าค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากระบบที่สร้างขึ้นมามีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิมาตรฐานแบบดิจิตอลเท่าไร โดยรูปแบบการทดสอบและผลการวัดที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 การทดสอบวัดค่าอุณหภูมิของระบบที่พัฒนาขึ้นมา

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิเทียบกับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิมาตรฐานแบบดิจิตอล

อุณหภูมิ (°C)	ระบบที่นำเสนอง (°C)	Yokogawa 7563 (°C)	ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่วัดได้
0	-0.08	0.00	-
25	24.9	25.5	-2.35 %
50	50.7	50.4	0.60 %
75	76.1	75.2	1.20 %
100	100	99.8	0.2 %

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการวัดอุณหภูมิเทียบกับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิมาตรฐานแบบดิจิตอล โดยเมื่อทำการคำนวณค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่วัดได้จากระบบที่สร้างขึ้นมาเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิมาตรฐานแบบดิจิตอลได้ จะมีค่าความผิดพลาดสูงสุดประมาณ -2.35 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5

### บทสรุป

จากการทดสอบระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งที่พัฒนาขึ้นมา ผลปรากฏว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถที่จะใช้ควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งได้ แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบระบบพบว่าระยะห่างระหว่างคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบและระบบควบคุมเซนเซอร์จะมีระยะทางสั้นลงหากฝนตกหรือมีสิ่งกีดขวางทางเดินของสัญญาณ ดังนั้นในการติดตั้งจริงต้องคำนึงถึงผลของสภาพแวดล้อมเหล่านี้ด้วย ซึ่งทางผู้วิจัยสามารถสรุปข้อแนะนำแก่ผู้สนใจที่จะนำระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งที่พัฒนาขึ้นมา ไปพัฒนาต่อดังนี้

1. จากปัญหาเรื่องระยะห่างระหว่างคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบและระบบควบคุมเซนเซอร์ สามารถแก้ไขโดยหาสายอากาศที่มีอัตราขยายเพิ่มมากขึ้น
2. ผู้สนใจสามารถนำเทคนิคที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์น้ำอื่นๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

จากผลการพัฒนาระบบในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อใช้ในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งต่างๆ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นจะช่วยให้การเฝ้าระวังควบคุมและทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง ทางผู้วิจัยได้ทำการนำเทคนิคและผลการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นมาทำการเขียนบทความและได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 15th International Conference on Control, Automation and Systems, ICCAS 2015, BEXCO Convention Hall Busan, South Korea, 13 October 13-16, 2015, pp. 428-431 ในหัวข้อเรื่อง “ZigBee based wireless temperature monitoring system for shrimp farm” ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## เอกสารอ้างอิง

- [1] “ทิศทางการส่งออกกุ้งไทย ปี 2554” ถนอมจิตร สิริภคพร เศรษฐกรอาวุโส ส่วนเศรษฐกิจภาคกรกฎาคม 2554
- [2] <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/4134>
- [3] รายงานแนวโน้มราคาสินค้าเกษตรสำคัญภาคใต้ กรกฎาคม 2556, ธนาคารแห่งประเทศไทย, <http://www.bot.or.th/>
- [4] รายงานราคาสินค้าเกษตรสำคัญของไทย เดือนกรกฎาคม 2556, ธนาคารแห่งประเทศไทย, <http://www.bot.or.th/>
- [5] แนวทางการแก้ไขปัญหาโรคกุ้งตายด่วน, สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล
- [6] การดูแลคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงกุ้งขาว, สพ.สุรศักดิ์ ดิลกเกียรติ,
- [7] การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม, กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งและกองส่งเสริมการประมง โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ
- [8] คู่มือการเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) แบบพัฒนา, สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, 2556
- [9] <http://www.zigbee.org/>
- [10] <http://www.thaieasyelec.com/>
- [11] <http://www.boomtools.net/>
- [12] [www.thaiscan.co.th](http://www.thaiscan.co.th)
- [13] <http://www.revolabs.com/>
- [14] <http://www.evidencia.biz/products/thermassurerf.htm>
- [15] <http://www.mechashop.com/>
- [16] <http://www.fondriest.com/>
- [17] “EZO DO sensor.” [online]. Available  
From : <http://www.atlas-scientific.com/dissolved-oxygen.html>
- [18] “EZO pH sensor.” [online]. Available  
From : <http://www.atlas-scientific.com/ph.html>
- [19] “Solar charger.” [online]. Available  
From : <http://www.thaisolarsystem.com/product/15>
- [20] “Arduino IDE.” [online]. Available  
From : <https://learn.adafruit.com/add-boards-arduino-v164/overview>
- [21] “XCTU.” [online]. Available  
from : <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>
- [22] “Apache 2.2.” [online]. Available  
From : <http://garywoodfine.com/install-apache-web-server-on-ubuntu-desktop/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[24] “phpMyAdmin.” [online]. Available  
from : <https://www.phpmyadmin.net/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

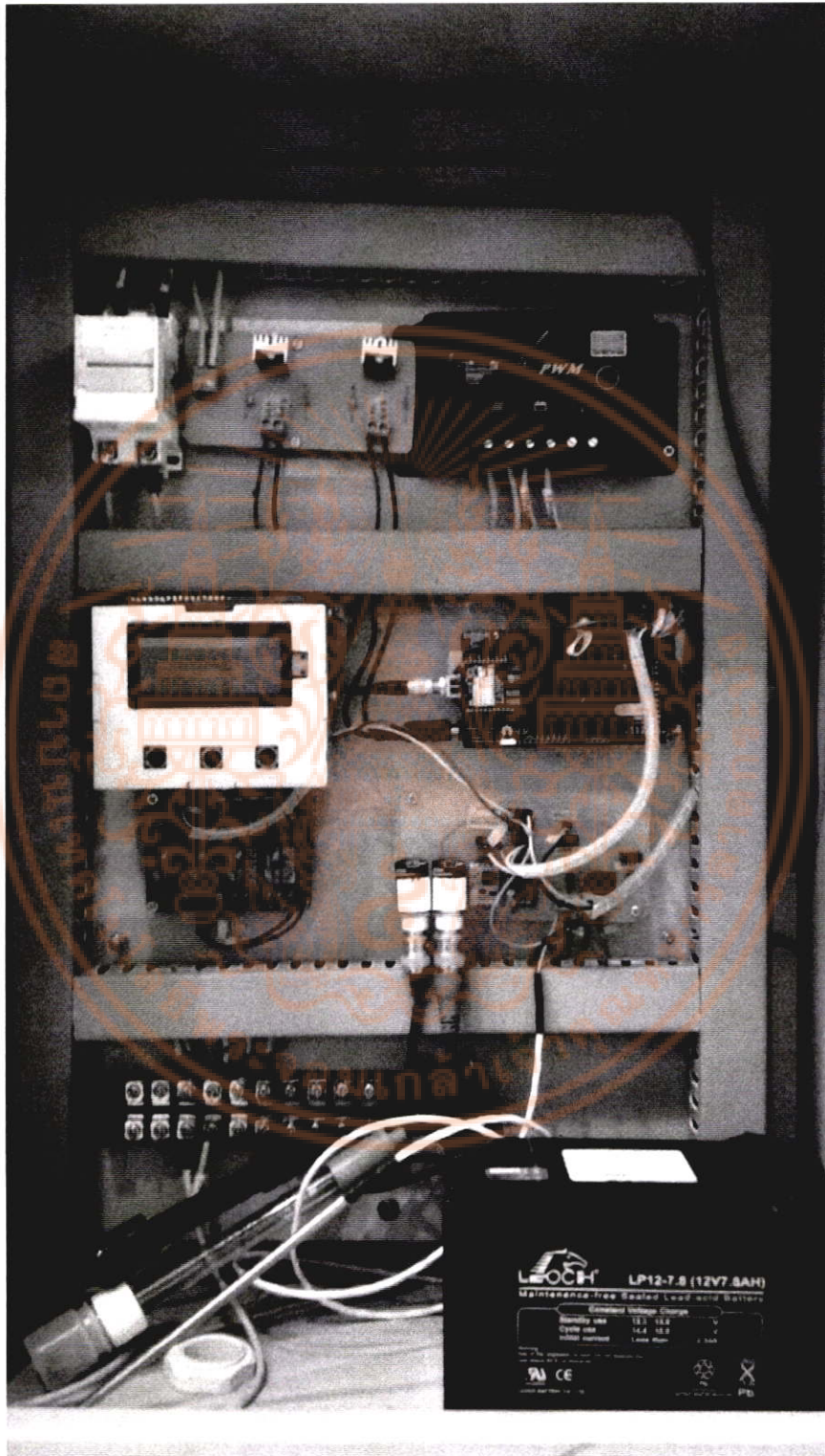
ระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 1ก ระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง (ภายนอก)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2ก ระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง (ภายใน) ระเบียบงานด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข  
บทความวิจัย

- [1] Apinai Rerkratn and Anucha Kaewppoonsuk. “ZigBee based wireless temperature monitoring system for shrimp farm” 15th International Conference on Control, Automation and Systems, ICCAS 2015, BEXCO Convention Hall Busan, South Korea, 13 October 13-16, 2015, pp. 428-431.

**ICROS**  
Institute of Control, Robotics and Systems

# ICCAS 2015

2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems → PROCEEDINGS

**October 13~16, 2015**  
BEXCO, Busan, Korea

IEEE Catalog Number: CFP1510D-USB  
ISBN: 978-89-93215-09-0  
ISSN: 2093-7121

<http://2015.iccas.org>

- Welcome Message
- Conference Organization
- Reviewers
- Conference Information
- Plenary Lectures & Special Sessions
- Table of Contents
- Author Index
- Financial Contribution
- E-proceeding Search
- Exit

Copyright © 2015 Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS)  
Tel: +82-32-234-5801 / Fax: +82-32-234-5807 / E-mail: [conference@icross.org](mailto:conference@icross.org)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**WB7 [Mini] Recent Advances in Control Theory and Industrial Applications II**

Tamna, 13:10~14:40

WB7-1	Distributed learning in a multi-agent potential game <i>Chuong Van Nguyen, Phuong Huu Hoang(Gwangju Institute of Science and Technology, Korea). Hong-Kyong Kim, Hyo-Sung Ahn(GIST, Korea)</i>	266
WB7-2	Electromagnetic Pump in Sodium Thermal-Hydraulic Test Facility: Design and Control Issues <i>Byeongyeon Kim, Jiyoung Jeong(Korea Atomic Energy Research Institute, Korea)</i>	272
WB7-3	Design and kinematic analysis of 5-DOF Stage using parallel mechanism <i>Sang-Chul Lee, Jongman Jeong, Jin-Gyu Kim(Korea Basic Science Institute (KBSI), Korea)</i>	276
WB7-4	A Brief Survey of Sensors for Detect, Sense, and Avoid Operations of Small Unmanned Aerial Vehicles <i>Ji-Hwan Son(ETRI, Korea)</i>	279
WB7-5	Consensus under Misaligned Orientations <i>Hyo-Sung Ahn, Minh Hoang Trinh, Byung-Hun Lee(GIST, Korea)</i>	283
WB7-6	A Practical Distributed Mobile Network Protocol and Its Application to Drone Formation Control <i>Junwoo Son, Soohee Han(Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Korea)</i>	289

**WB8 Sensors and Signal Processing II**

Halla, 13:10~14:40

WB8-1	3-D Shape Recovery from Image Focus Using no-reference sharpness metric based on inherent sharpness <i>Fahad Mahmood(National University of Sciences and Technology, Pakistan), Muhammad Tariq Mahmood(Korea University of Technology and Education, Korea), Javaid Iqbal(National University of Sciences and Technology, Pakistan)</i>	295
WB8-2	Saline Solution Concentration Measurement Based on Contact Angle Approach <i>Bhanupol Klongratog, Anupong Srongprapa, Padet Mannaramit(King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand), Mongkol Leelaphaiboon(Rajamangala University of Technology Isan, Thailand)</i>	301
WB8-3	Capacitive Measuring of Crude Palm Oil-Water Mixture <i>Pongsakun Sripant, Anupong Srongprapa, Bhanupol Klongratog(King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand)</i>	306
WB8-4	A Versatile Interface Circuit for Capacitive and Resistive Sensors <i>Wandee Petchmaneeumka, Pitsini Mano, Tanatat Wutikun, Vanchai Riewruja(Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand)</i>	310
WB8-5	Op-Amps Based Schmitt Trigger with Controllable Threshold Voltage and Its Application to Voltage-to-Period Converter <i>Apinai Rerkratn(King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand), Anucha Kaewpoonsuk(Naresuan University, Thailand)</i>	314
WB8-6	Improve Efficiency Multi-Turn Magnetic Encoder that uses Gear System <i>Jae Wan Park, Ha Xuan Nguyen, Thuong Ngoc-Cong Tran, Jae Wook Jeon(Sungkyunkwan University, Viet Nam)</i>	318

**WC1 Intelligent Systems**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ZigBee Based Wireless Temperature Monitoring System For Shrimp Farm

Apinai Rerkratn<sup>1\*</sup> and Anucha Kaewpoonsuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand  
(Tel : +66-81-3459-3161; E-mail: apinai@gmail.com)\* Corresponding author

<sup>2</sup> Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand  
(Tel : +66-2-326-4778; E-mail: anuchak@nu.ac.th)

**Abstract:** This paper proposes a design and implementation of wireless temperature monitoring system for shrimp farm based on ZigBee technology. The proposed system consists of three wire resistance temperature device (RTD) type PT-100, Current source circuit, XBee Pro module, 2.4 GHz antenna with gain 5dBi, Arduino Uno R3 microcontroller board and LabVIEW program for monitoring and control system. Experimental results with standard temperature bath show that the proposed system can monitor temperature with satisfied data. The maximum error of temperature is about 0.25 percents. The maximum range of system is about 500 meters.

**Keywords:** ZigBee, Temperature monitoring, Wireless monitoring

### 1. INTRODUCTION

ZigBee device is many used in home and industrial application, because this device is wireless, low-cost and low-power consumption. The transmission distances of ZigBee is about 10-1,500 meters, depending on power output, antenna and environmental characteristics. ZigBee can operate as coordinator mode, router mode or end device mode with user configuration. The maximum data transfer rates of ZigBee is about 250 kilobits per second. Many ZigBee modules consist of microcontroller, analog to digital converter (A/D converter), digital input, digital output and flash memory [1].

ZigBee is widely use in industrial monitoring and home automation such as home entertainment and Control, home smart lighting, home safety and security, wireless sensor networks, industrial control and monitoring, embedded sensing, medical data collection, smoke and intruder warning and building automation. Many researchers propose application of ZigBee in industrial monitoring and home automation [2-5]. Fariyah Shariff et al. presented Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system [2]. Xin Wang et al. presented online water monitoring system based on ZigBee and GPRS [3]. N.C. Batista et al. proposed wireless monitoring of urban wind turbines by ZigBee [4]. Woong Hee Kim et al. proposed real-time energy monitoring and controlling System based on ZigBee [5].

In this paper propose low cost wireless temperature monitoring system based on ZigBee technology for use in shrimp farm. Temperature is most important factor in shrimp farm because temperature changes can alter the growth, survival and feed conversion of shrimp. Continuous monitoring of temperature in water gives information to manage necessity for shrimp farm [6-7].

### 2. THE PROPOSED SYSTEM

The proposed system is shown in Fig. 1 and Fig. 2, which comprises the sensor measurement system and the monitoring system.

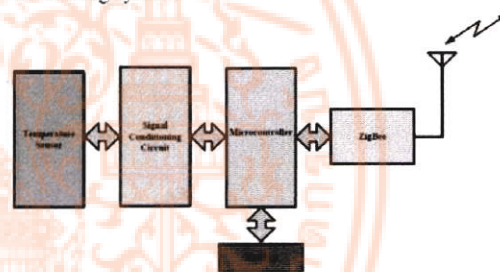


Fig. 1 Block diagram of sensor measurement system.

From Fig. 1 sensor measurement system consist of three wire resistance temperature device (RTD) type PT-100, current source and signal conditioning circuit, Arduino Uno R3 microcontroller, XBee Pro module and 2.4 GHz antenna with gain 5dBi. The circuit diagram of propose current source and signal conditioning circuit is shown in Fig. 2. We use lm334 3-terminal adjustable current sources for generate 1 mA constant current to PT-100 sensor. The output voltage is proportional to resistant value of PT-100. The output voltage of PT-100 is sent to amplifier circuit with gain 20. The output voltage of current source and signal conditioning circuit can be express in Eq. (1) and Eq. (2).

$$V_{PT100} = R_{PT100} * 1 \text{ mA} \quad (1)$$

$$V_{out} = 20 * V_{PT100} \quad (2)$$

The output voltage from amplifier circuit is sent to Arduino Uno R3 microcontroller to convert to digital data with 10 bits resolution before sent to monitoring system via XBee Pro module.

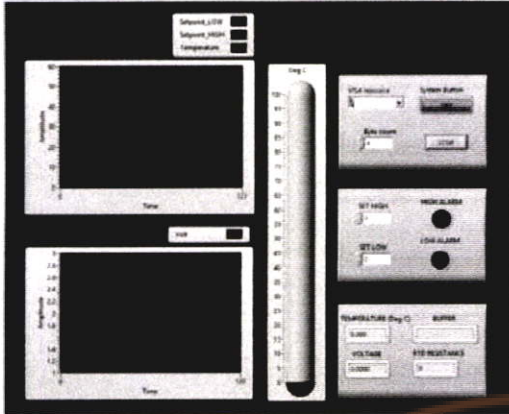


Fig. 8 The front panel of LabVIEW program.



Fig. 9 The proposed wireless temperature monitoring system.

**3. EXPERIMENTAL RESULTS**

From Fig. 9 is shown the proposed wireless temperature monitoring system. The experimental results are separated two parts. Fig. 10 shows experimental result with room temperature.

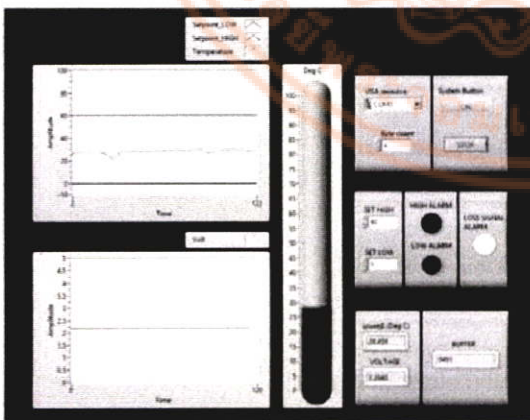


Fig. 10 The proposed wireless temperature monitoring

system shows room temperature in 120 minutes. From Fig. 10 show temperature graph of room temperature in 120 minutes. The green line, red line and blue line show temperature graph, high temperature alarm and low temperature alarm respectively. The high temperature alarm and low temperature alarm can define by user. Table 1 shows experimental result with change distance between sensor measurement system and monitoring system.

Table 1 Experimental result with change distance.

Distance (m)	Receive Signal
0	Stable
100	Stable
200	Stable
300	Stable
400	Stable
500	Stable
600	Unstable
700	Signal loss

**4. CONCLUSION**

This paper proposes a design and implementation of wireless temperature monitoring system for shrimp farm based on ZigBee technology. Experimental results with standard temperature bath show that the proposed system can monitor temperature with satisfied data. The maximum error of temperature is about 0.25 percents. The maximum range of system is about 500 meters.

**5. ACKNOWLEDGEMENT**

This work is supported by Higher Education Research Promotion (HERP).

**REFERENCES**

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [2] Farihah Shariff, Nasrudin Abd Rahi and Hew Wooi Ping, "Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system," *Expert Systems with Applications*, Vol. 42 pp. 1730-1742, 2015.
- [3] Xin Wang, Longquan Ma and Huizhong Yang, "Online Water Monitoring System Based on ZigBee and GPRS," *Procedia Engineering*, Vol. 15, pp. 2680 - 2684, 2011.
- [4] N.C. Batistaa, R. Melicio, V.M.F. Mendesa and J. Figueiredo, "Wireless Monitoring of Urban Wind Turbines by ZigBee Protocol: Support Application Software and Sensor Modules," *Procedia Engineering*, Vol. 17, pp. 461 - 470, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

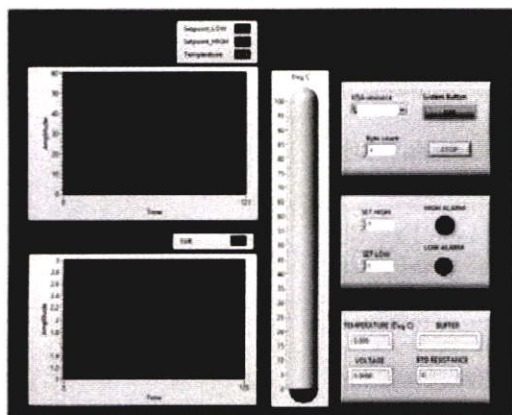


Fig. 8 The front panel of LabVIEW program



Fig. 9 The proposed wireless temperature monitoring system.

### 3. EXPERIMENTAL RESULTS

From Fig. 9 is shown the proposed wireless temperature monitoring system. The experimental results are separated two parts. Fig. 10 shows experimental result with room temperature.

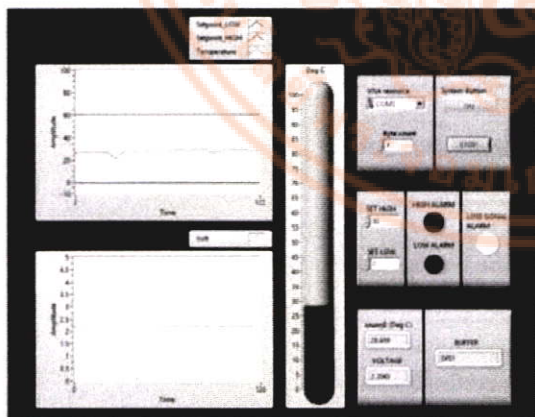


Fig. 10 The proposed wireless temperature monitoring

system shows room temperature in 120 minutes.

From Fig. 10 show temperature graph of room temperature in 120 minutes. The green line, red line and blue line show temperature graph, high temperature alarm and low temperature alarm respectively. The high temperature alarm and low temperature alarm can define by user. Table 1 shows experimental result with change distance between sensor measurement system and monitoring system.

Table 1 Experimental result with change distance.

Distance (m)	Receive Signal
0	Stable
100	Stable
200	Stable
300	Stable
400	Stable
500	Stable
600	Unstable
700	Signal loss

### 4. CONCLUSION

This paper proposes a design and implementation of wireless temperature monitoring system for shrimp farm based on ZigBee technology. Experimental results with standard temperature bath show that the proposed system can monitor temperature with satisfied data. The maximum error of temperature is about 0.25 percents. The maximum range of system is about 500 meters.

### 5. ACKNOWLEDGEMENT

This work is supported by Higher Education Research Promotion (HERP).

### REFERENCES

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [2] Fariyah Shariff, Nasrudin Abd Rahi and Hew Wooi Ping, "Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system," *Expert Systems with Applications*, Vol. 42 pp. 1730–1742, 2015.
- [3] Xin Wang, Longquan Ma and Huizhong Yang, "Online Water Monitoring System Based on ZigBee and GPRS," *Procedia Engineering*, Vol. 15, pp. 2680–2684, 2011.
- [4] N.C. Batistaa, R. Melicio, V.M.F. Mendesa and J. Figueiredo, "Wireless Monitoring of Urban Wind Turbines by ZigBee Protocol: Support Application Software and Sensor Modules," *Procedia Engineering*, Vol. 17, pp. 461–470, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [5] Woong Hee Kim, Sunyoung Lee and Jongwoon Hwang, "Real-time Energy Monitoring and Controlling System based on ZigBee Sensor Networks," *Procedia Computer Science*, Vol. 5, pp. 794-797, 2011.
- [6] James Wyban, William A. Walsh, David M. Godin, "Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*)", *Aquaculture*, 138, pp. 267-279, 1995.
- [7] Jesus Ponce-Palafox, Carlos A. Martinez-Palacios, Lindsay G. Ross, "The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931" *Aquaculture*, 157, pp. 107-115, 1997.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ค

รายงานสรุปการเงิน ประจำปีงบประมาณ 2558  
รหัสโครงการ สกอ.-2558A11862015  
โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ  
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

ชื่อมหาวิทยาลัย ..... สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ชื่อโครงการ (ไทย) ..... การพัฒนาระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง  
(อังกฤษ) ..... System Development for Control and Monitoring Water Quality for Shrimp Farm

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย ..... ดร.อภิษฎา ฤกษ์รัตน์  
รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ ..... 1 ตุลาคม 2557 ..... ถึงวันที่ ..... 25 ตุลาคม 2561  
ระยะเวลาดำเนินการ ..... 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ ..... 1 ตุลาคม 2557 ..... ถึงวันที่ ..... 30 กันยายน 2558

รายจ่าย

หมวด	งบประมาณรวมทั้งโครงการ (บาท)	ค่าใช้จ่าย งวดปัจจุบัน	คงเหลือ (หรือเกิน)
1. ค่าตอบแทน			
2. ค่าจ้าง			
3. ค่าวัสดุ	400,000	400,000	0
4. ค่าใช้สอยอื่นๆ (ไปรตระบุเป็นข้อย่อย)			
รวม	400,000	400,000	0

จำนวนเงินที่ได้รับและจำนวนเงินคงเหลือ

จำนวนเงินที่ได้รับ ..... 400,000  
งวดที่ 1 ..... 240,000 ..... บาท ..... เมื่อ 7/4/2558  
งวดที่ 2 ..... 160,000 ..... บาท ..... เมื่อ 10/6/2558  
รวม ..... 400,000 ..... บาท

.....  
ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

.....  
25 / ตุลาคม / 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ง  
ข้อมูลประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นาย อภินัย ฤกษ์รัตน์  
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Apinai Rerkratn

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัดและที่อยู่ติดต่อได้สะดวก

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-329-8347 โทรสาร 02-329-8349

E-mail : apinai@yahoo.com

4. ประวัติการศึกษา

วุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา
วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต วศ.ด. (วิศวกรรมไฟฟ้า)	2556	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า)	2545	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมโทรคมนาคม)	2541	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

ด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์, ระบบเครื่องมือวัดและควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.