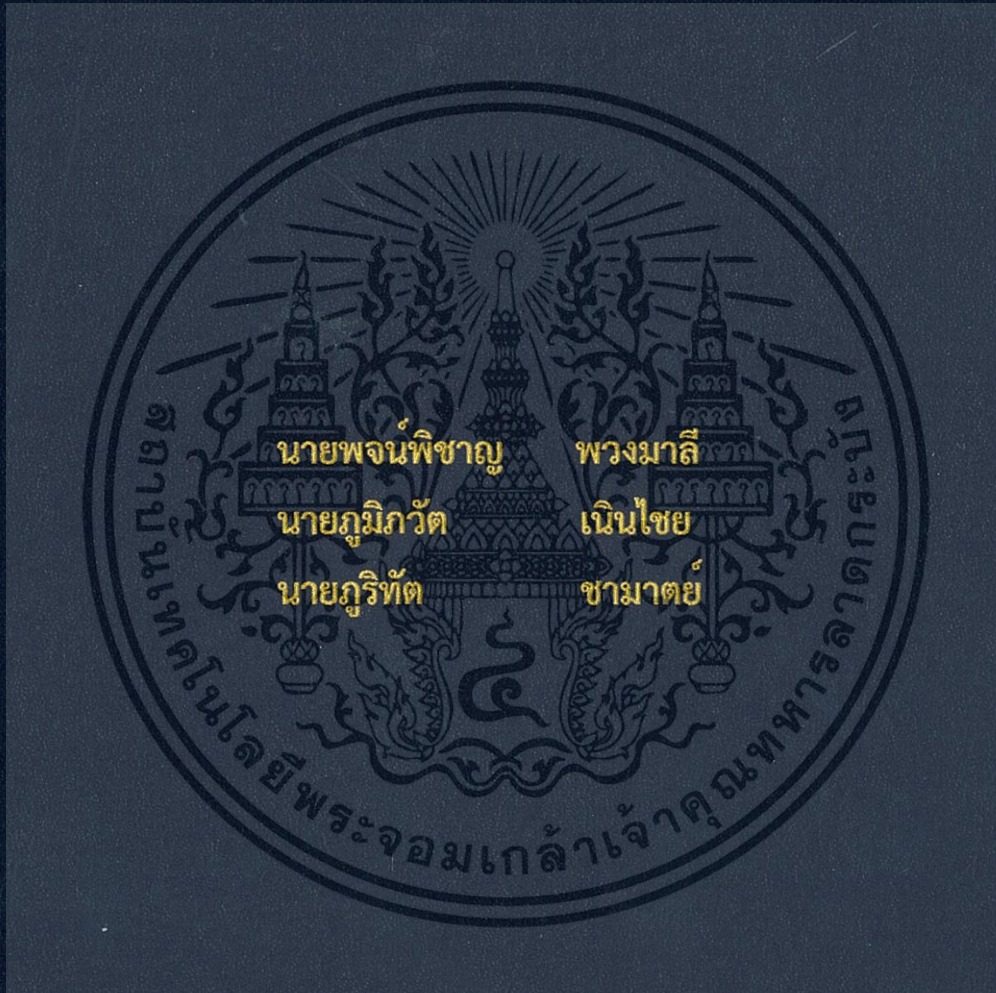


ระบบตรวจวัดค่าแบบเวลาจริง โดยใช้ ZigBee สำหรับการติดตั้งใช้งานใน
สภาพแวดล้อมกลางแจ้ง

REAL-TIME MONITORING SYSTEM USING ZIGBEE
FOR OUTDOOR ENVIRONMENT INSTALLATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบตรวจวัดค่าแบบเวลาจริง โดยใช้ ZigBee สำหรับการติดตั้งใช้งานใน
สภาพแวดล้อมกลางแจ้ง

REAL-TIME MONITORING SYSTEM USING ZIGBEE
FOR OUTDOOR ENVIRONMENT INSTALLATION



T143949



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 143949
วันเดือนปี 04 ต.ค. 2559

b. 128091572
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REAL-TIME MONITORING SYSTEM USING ZIGBEE
FOR OUTDOOR ENVIRONMENT INSTALLATION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบตรวจวัดค่าแบบเวลาจริง โดยใช้ ZigBee สำหรับการติดตั้งใช้งาน
ในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง

REAL-TIME MONITORING SYSTEM USING ZIGBEE
FOR OUTDOOR ENVIRONMENT INSTALLATION

นักศึกษาผู้จัดทำ นายพจน์พิชาญ พวงมาลี รหัสนักศึกษา 55010806
นายภูมิภวัต เนินไชย รหัสนักศึกษา 55010962
นายภูริทัต ชามาตย์ รหัสนักศึกษา 55010967

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ
ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร. อภินัย ฤกษ์รัตน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ระบบตรวจวัดค่าแบบเวลาจริง โดยใช้ ZigBee สำหรับการติดตั้งใช้งานใน
สภาพแวดล้อมกลางแจ้ง
REAL-TIME MONITORING SYSTEM USING ZIGBEE
OUTDOOR ENVIRONMENT INSTALLATION

นักศึกษาผู้จัดทำ	นายพจน์พิชาญ พวงมาลี	รหัสนักศึกษา	55010806
	นายภูมิภวัต เนินไชย	รหัสนักศึกษา	55010962
	นายภูริทัต ชามาตย์	รหัสนักศึกษา	55010967
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อภิณัย ฤกษ์รัตน์		
ปีการศึกษา	2558		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบตรวจวัดค่าแบบเวลาจริง สำหรับการติดตั้งใช้งานในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ระบบที่นำเสนอขึ้นประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ หน่วยควบคุมหลัก (Master Terminal Unit : MTU) และหน่วยควบคุมระยะไกล (Remote Terminal Unit : RTU) ในการสร้างหน่วยควบคุมหลักได้ใช้บอร์ด Raspberry Pi เป็นตัวประมวลผลหลักและฐานข้อมูลเพื่อบันทึกค่าที่ได้จากการวัด อีกทั้งเป็นส่วนที่พัฒนาเว็บเบราว์เซอร์เพื่อใช้เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface : GUI) สำหรับการตรวจวัดค่าที่ได้จากการวัด ส่วนถัดมาคือ หน่วยควบคุมระยะไกลจะประกอบไปด้วยเซนเซอร์สามชนิดเพื่อตรวจสอบค่าตัวแปรที่สนใจ และได้ใช้บอร์ด Arduino MEGA 2560 เพื่อเป็นตัวประมวลผลค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ ซึ่งเซนเซอร์ที่เลือกใช้ทั้งสามชนิดได้แก่ เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส และเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดีแบบสามสาย เพื่อทราบค่าการวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรดเบส และค่าอุณหภูมิตามลำดับ นอกจากนี้ได้มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนให้กับหน่วยควบคุมระยะไกลอีกด้วย ซึ่งการส่งข้อมูลแบบไร้สายระหว่างหน่วยควบคุมหลัก และหน่วยควบคุมระยะไกลอยู่บนพื้นฐานการใช้เทคโนโลยีสื่อสาร ZigBee ผลจากการทดลองยืนยันว่าการทำงานของระบบตรวจวัดค่าที่นำเสนอขึ้นทำงานได้เป็นอย่างดี โดยระยะการสื่อสารสูงสุดระหว่างหน่วยควบคุมหลักและหน่วยควบคุมระยะไกลคือ 500 เมตรโดยประมาณ อนึ่งระบบที่นำเสนอขึ้นสามารถนำไปพัฒนาเพื่อจัดทำระบบตรวจวัดค่าทางสิ่งแวดล้อมอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis title	REAL-TIME MONITORING SYSTEM USING ZIGBEE FOR OUTDOOR ENVIRONMENT INSTALLATION	
Authors	Mr.Pojpichan	Poungmalee
	Mr.Poompawat	Nernchai
	Mr.Puritat	Chamart
Thesis Advisor	Dr. Apinai	Rerkratn
Academic Year	2015	

ABSTRACT

This thesis proposes a design and implementation of real-time monitoring system suitable for outdoor environment installation. The proposed system consists of two major parts; master terminal unit (MTU) and remote terminal unit (RTU). For implementing the MTU, the Raspberry Pi board is used as the main processor and data server for recording the measured results, while the web browser is developed to use as the graphic user interface (GUI) for monitoring the measured results. The RTU is composed of three sensors for sensing interested parameters and the Arduino MEGA 2560 board for processing the sensor outputs. The sensors used are dissolved oxygen sensor (DO sensor), pH sensor, and three-wire resistance temperature detector (RTD) for water dissolved oxygen, pH, and temperature measurements. In addition, the solar electric system is installed for supplying renewable energy to the RTU. The wireless data transmission between the MTU and RTU is based on the use of ZigBee communication technology. Experimental results confirm that the proposed monitoring system functions correctly. The maximum communication range between the MTU and RTU in experiments is about 500 metres. Moreover, the proposed system can be further developed for building environmental monitoring system.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากด้วยความอนุเคราะห์และความกรุณาจากคณาจารย์และบุคคลดังต่อไปนี้ ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกคือ ดร.อภิณีย์ ฤกษ์รัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ท่านที่สองคือ รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ ในการให้คำแนะนำการทำงาน การออกแบบ การทดลอง และการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์นี้ เพื่อให้มีความถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์ และท่านที่สามคือ นายสุรชัย เอี่ยมสุขวงษ์ ผู้ที่ให้คำแนะนำในการออกแบบเสาสัญญาณ ที่สามารถใช้งานได้จริง และมีความมั่นคงในการติดตั้ง

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาชั้นปีที่สี่ สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติทุกคนที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการทำปริญญาานิพนธ์นี้ ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญาานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 แนวคิดและเงื่อนไขในการออกแบบระบบที่นำเสนอ.....	5
2.3 หลักการของฮาร์ดแวร์ที่เลือกใช้.....	7
2.3.1 เซนเซอร์.....	7
2.3.2 บอร์ด Arduino.....	10
2.3.3 หลักการทำงานของ XBee และเสาสัญญาณ.....	10
2.3.3.1 XBee Topology.....	10
2.3.3.2 แบบของสายอากาศ.....	12
2.3.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.3.4.1 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
2.3.4.2 ตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	16
2.3.5 หลักการของแบตเตอรี่.....	17
2.4 การส่งข้อมูลของระบบ.....	18
2.4.1 โพรโทคอล ZigBee.....	18
2.4.1.1 IEEE 802.15.4.....	19
2.4.1.2 โทโพลยีของเครือข่าย LR-WPAN.....	20
2.4.1.3 ZigBee Device Types.....	21
2.4.1.4 ZigBee Stack Architecture.....	21
2.4.2 โพรโทคอล Ethernet/IP.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ **IV** การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและโปรแกรมการทำงาน	24
3.1 การออกแบบหน่วยควบคุมระยะไกล.....	24
3.1.1 ส่วนของระบบไฟฟ้า.....	25
3.1.2 ส่วนของระบบการวัดค่า	27
3.2 การออกแบบหน่วยควบคุมหลัก	36
3.3 รายละเอียดส่วนของซอฟต์แวร์	37
3.3.1 การทำงานของหน่วยควบคุมระยะไกล.....	37
3.3.2 การทำงานของหน่วยควบคุมหลัก	40
3.4 รายละเอียดการเขียนโปรแกรม	43
3.4.1 โปรแกรมในส่วนของการสื่อสาร.....	43
3.4.2 โปรแกรมในส่วนของหน่วยควบคุมระยะไกล.....	46
3.4.3 โปรแกรมในส่วนของหน่วยควบคุมหลัก	49
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	52
4.1 กล่าวนำ.....	52
4.2 สรุปผลการทดลอง	53
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	54
5.1 บทสรุป	54
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	54
5.3 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	3
2.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สาย	19
3.1 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์.....	26
3.2 คุณลักษณะของเครื่องควบคุมการชาร์จ.....	26
3.3 คุณลักษณะของบอร์ด Arduino MEGA 2560	28
3.4 คุณลักษณะของเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ.....	29
3.5 คุณลักษณะของเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส.....	31
3.6 คุณลักษณะของบอร์ด Raspberry Pi 2	36
4.1 ผลการทดลองการส่งข้อมูลที่ระยะต่างกัน.....	52



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 System Architecture.....	6
2.2 ค่าความต่างศักย์ขณะทำการจุ่มโพรบ HDPE ในน้ำที่ไม่มีออกซิเจน.....	8
2.3 ภาพวงจรเซนเซอร์วัดความเป็นกรดเบส.....	8
2.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านทานของวัสดุต่างชนิดกัน.....	9
2.5 ไอซีที่ใช้ในบอร์ด Arduino.....	10
2.6 Star (Broadcast) Network.....	11
2.7 Cluster (Tree) Network.....	11
2.8 Mesh Network.....	12
2.9 XBee แบบมีสายอากาศในตัว.....	12
2.10 XBee แบบต่อสายอากาศได้.....	13
2.11 หลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ (ก).....	13
2.12 หลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ (ข).....	14
2.13 หลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ (ค).....	14
2.14 หลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ (ง).....	14
2.15 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ.....	15
2.16 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย.....	15
2.17 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน.....	16
2.18 หลักการทำงานของแบตเตอรี่.....	18
2.19 โทโพลยีของเครือข่าย LR-WPAN.....	20
2.20 ZigBee Stack Architecture.....	21
2.21 เครือข่ายของ Ethernet/IP.....	22
2.22 TCP Data Package.....	23
2.23 โทโพลยีของ Ethernet/IP.....	23
3.1 หน่วยควบคุมระยะไกลที่ออกแบบ.....	24
3.2 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า.....	25
3.3 เครื่องควบคุมการชาร์จ.....	26
3.4 บอร์ด Arduino MEGA 2560.....	28
3.5 การนำเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำไปใช้งาน.....	29
3.6 ภาพการทำงานของวงจร DO Sensor.....	30
3.7 ภาพวงจรเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 การสอบเทียบทั้ง 3 ประเภท.....	31
3.9 ภาพแสดงการไม่สอบเทียบ (No Calibration).....	31
3.10 การสอบเทียบหนึ่งค่า.....	32
3.11 การสอบเทียบสองค่า.....	32
3.12 การสอบเทียบสามค่า.....	32
3.13 RTD 3 สาย.....	33
3.14 รูปแบบการส่งข้อมูลของหน้าจอบแบบ I2C.....	33
3.15 การเชื่อมต่อสายไฟระหว่างหน้าจอกับตัวประมวลผล.....	34
3.16 วงจรรีเลย์.....	35
3.17 การเชื่อมต่อของส่วนวัดค่า.....	35
3.18 บอร์ด Raspberry Pi.....	37
3.19 Flowchart Diagram แสดงการทำงานของ Arduino.....	38
3.20 โปรแกรม Arduino IDE.....	39
3.21 โปรแกรม XCTU.....	39
3.22 Flowchart Diagram แสดงโปรแกรมการทำงานของหน่วยควบคุมหลัก.....	40
3.23 โปรแกรม Apache 2.2.....	41
3.24 โปรแกรม My SQL.....	41
3.25 โปรแกรม phpMyAdmin.....	42
3.26 หน้าต่างเว็บเบราว์เซอร์ของโปรแกรม XCTU.....	43
3.27 หน้าต่างของโปรแกรม XCTU.....	43
3.28 การต่อ XBee เพื่อเตรียมการแก้ไขข้อมูล.....	44
3.29 ขั้นตอนที่ 4.....	44
3.30 ขั้นตอนที่ 5.....	44
3.31 ขั้นตอนที่ 6.....	45
3.32 หน้าต่างขณะเลือก ZigBee Coordinator สำเร็จ.....	45
3.33 ทำการแก้ไขข้อมูลของ XBee Module.....	46
3.34 ตั้งค่า Serial Interfacing.....	46
3.35 ตำแหน่งการดาวน์โหลดเอกสารประกอบการใช้งาน.....	46
3.36 การออกแบบวงจรรวมเซนเซอร์.....	47
3.37 การติดตั้ง XBee Module.....	47
3.38 การเชื่อมต่อขาสัญญาณ Tx และ Rx.....	47
3.39 Relay Module ขนาด 4 ช่องสัญญาณ.....	48
3.40 หน้าต่างการเขียนคำสั่งให้กับ Arduino ด้วยโปรแกรม Arduino IDE.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.41 Flowchart Diagram แสดงการทำงานของหน่วยควบคุมระยะไกล	49
3.42 โปรแกรม phpMyAdmin ขณะทำงาน	50
3.43 โปรแกรม Xampp ขณะทำงาน	50
3.44 Shortcut และหน้าต่างขณะทำงานของโปรแกรม Atom.....	51
3.45 หน้าต่างการอธิบายการทำงานข้อ 7.....	51



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีประเภทนี้ออกไปเป็นอย่างมาก เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในหลายด้าน อาทิเช่น ในด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม ด้านการปศุสัตว์ เป็นต้น เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายมีหลากหลายชนิดตามความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น พลังงานต่ำ เป็นต้น ระบบการสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้พลังงานต่ำนั้นมีหลากหลายชนิด อาทิเช่น Bluetooth Infrared Wi-Fi และ ZigBee เป็นต้น เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลในระยะไกลได้ โดยใช้พลังงานต่ำ อุปกรณ์ที่ปริญญานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอนั้นคือ ZigBee ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ง่าย ติดตั้งได้ง่ายกว่าแบบใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟถาวร เพราะ ZigBee นั้นนิยมใช้งานกับแบตเตอรี่

ระบบที่นำเสนอนั้นเป็นระบบการวัดค่าตัวแปร จากนั้นส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยใช้ ZigBee เป็นโปรโตคอลในการสื่อสาร จากหน่วยควบคุมระยะไกล (Remote Terminal Unit : RTU) ไปยังหน่วยควบคุมหลัก (Master Terminal Unit : MTU) โดยหน่วยควบคุมระยะไกลนั้นเป็นเสาส่งสัญญาณที่ประกอบไปด้วย เซนเซอร์ และใช้บอร์ด Arduino เป็นตัวควบคุม เป็นหลัก โดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือก และ หน่วยควบคุมหลัก ใช้ Raspberry Pi เป็นตัวประมวลผลเพื่อรับค่าการวัดจาก หน่วยควบคุมระยะไกล ที่สื่อสารแบบ ZigBee มาเก็บค่าและแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อสะดวกกับผู้ใช้งานที่ต้องการวัดค่าตัวแปรในสถานที่กลางแจ้ง และไกลจากผู้ใช้งาน หรือสถานที่ที่มีการเข้าถึงเพื่อทำการวัดค่าตัวแปรยาก โดยระบบที่นำเสนอนั้นเลือกเซนเซอร์การวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรดเบส และค่าอุณหภูมิ เพื่อจำลองระบบการวัดค่าและส่งค่าผ่าน ZigBee ในสถานที่กลางแจ้ง ยกตัวอย่างเช่น แหล่งน้ำตามธรรมชาติ หรือบ่อน้ำสำหรับการเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น เพื่อให้ผู้ใช้งานได้สามารถใช้งานเพื่อความสะดวกรวดเร็ว และสามารถนำผลของการวัดไปทำการระบวนการที่ผู้ใช้งานต้องการ ต่อไป

แหล่งน้ำตามธรรมชาติหรือแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้นประสบปัญหาเรื่องน้ำที่อยู่ในแหล่งน้ำนั้น ออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเกษตร การปศุสัตว์ การใช้ในครัวเรือนหรือการใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ อันเนื่องจากหลายสาเหตุ ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาแสงแดดไม่เพียงพอ ปัญหาผักตบชวาซึ่งเป็นพืชน้ำล้นลูกกำจัดได้ยาก และมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วตามแหล่งน้ำชุมชน ปัญหาการทิ้งขยะลงในแหล่งน้ำ เป็นต้น ปัญหาที่ยกตัวอย่างขึ้นมานั้นเป็นเหตุทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย เนื่องจากทำให้น้ำในแหล่งน้ำมีออกซิเจนที่ละลายในน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการดังที่กล่าวไว้ และปัญหาการเจริญเติบโตของจุลชีพในน้ำ ซึ่งจุลชีพในน้ำจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำในการย่อยสลายสารอินทรีย์

ดังนั้นผู้จัดทำโครงการจึงมีแนวคิดที่จะสร้างระบบตรวจวัดค่าแบบเวลาจริงโดยใช้ ZigBee สำหรับการติดตั้งใช้งานในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง เพื่อจะตอบสนองความต้องการควบคุมค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำของผู้ใช้งาน และพัฒนาให้ทันสมัยมากขึ้นโดยใช้ระบบไร้สาย ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานได้ใช้งานได้อย่างสะดวก และสามารถดูค่าการวัดได้แบบเวลาจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ออกแบบและสร้างระบบตรวจวัดค่าแบบเวลาจริง โดยใช้ ZigBee
2. ระบบที่ออกแบบมีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งใช้งานในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง เพื่อใช้ เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทางเลือก
3. มีการแสดงผลค่าที่วัดได้ ผ่านเว็บเบราว์เซอร์

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ในระบบการตรวจวัดค่าที่นำเสนอ มีการติดตั้งเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดค่าออกซิเจนที่ละลายใน น้ำ ค่าความเป็นกรดเบส ค่าอุณหภูมิ และใช้บอร์ด Arduino ในการควบคุมการทำงาน
2. มีการติดตั้งใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 50 วัตต์ เป็นพลังงานทางเลือก สำหรับระบบที่ตรวจวัด
3. มีการแสดงผลค่าที่ตรวจวัดได้บนเว็บเบราว์เซอร์แบบเวลาจริง โดยใช้ Raspberry Pi เป็นตัวเก็บ ข้อมูลหลัก

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในการวางแผนการดำเนินงานเริ่มต้นจากการศึกษารายละเอียดที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การศึกษา ข้อมูลการทำงานของเซนเซอร์ การสื่อสารแบบไร้สายของ ZigBee การเขียนเว็บเบราว์เซอร์เพื่อ แสดงผลการวัด การจัดเก็บฐานข้อมูล การใช้งานภาษา Python เพื่อเขียนคำสั่งกับ Raspberry Pi การศึกษาคุณภาพของน้ำ และวิธีการเติมออกซิเจนในน้ำ และจัดทำฮาร์ดแวร์ สุดท้ายทำการทดสอบ การส่งสัญญาณ และทำการทดสอบระบบการทำงานว่าค่าการที่ หน่วยควบคุมระยะไกล ต่างจากค่า การวัดที่อ่านผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งผ่านการส่งสัญญาณด้วย ZigBee นั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนมาก น้อยเพียงใด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำระบบที่นำเสนอไปพัฒนาเพื่อสร้างระบบตรวจวัดค่าและตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบไร้สายได้
2. สามารถนำระบบที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับการตรวจวัดค่าคุณภาพของอากาศ หรือการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม แต่ทั้งนี้ต้องมีการเลือกใช้เซนเซอร์ให้ตรงกับความต้องการในการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

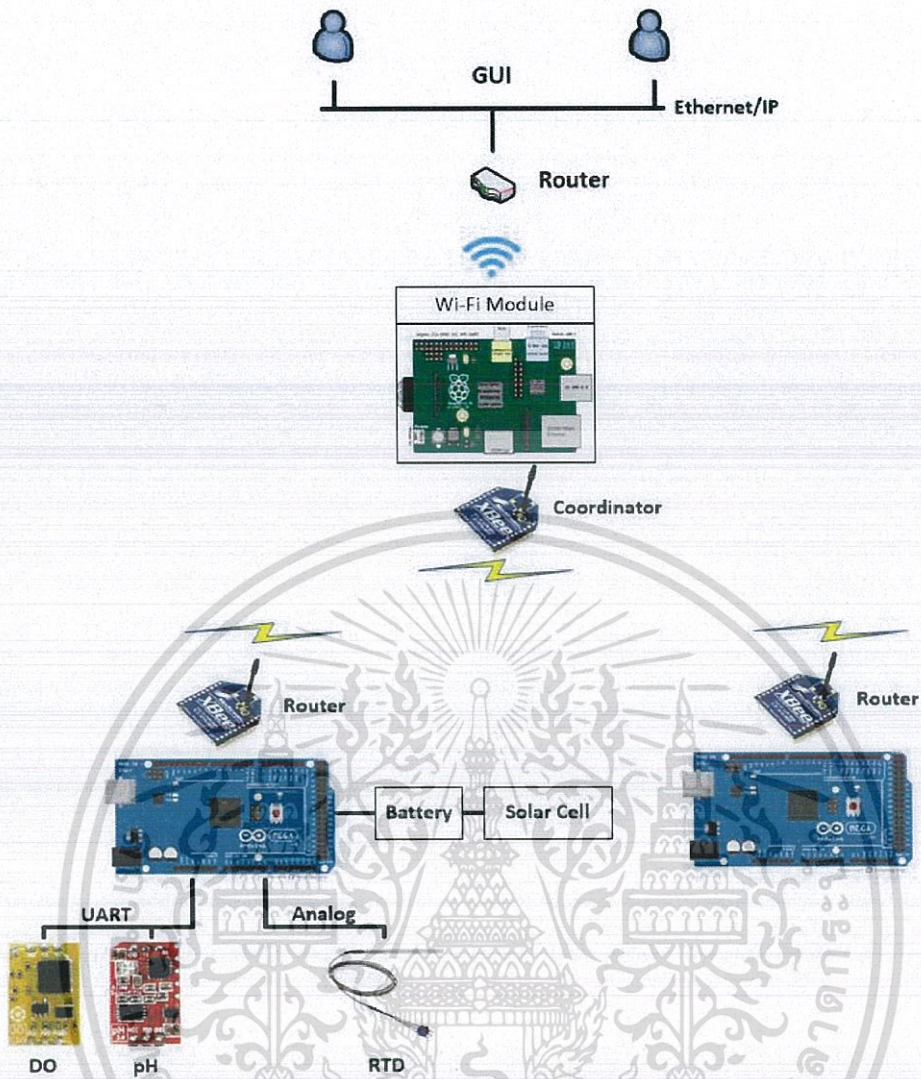
2.1 กล่าวนำ

ระบบที่นำเสนอนี้เป็นระบบที่วัดค่าตัวแปรและส่งสัญญาณแบบไร้สาย เพื่อใช้ในพื้นที่กลางแจ้งหรือในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยาก ไกลห่างจากแหล่งพักอาศัย โดยสามารถดูค่าได้แบบเวลาจริงและมีการแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ หน่วยควบคุมระยะไกลสามารถติดตั้งอยู่ได้โดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ จึงไม่เป็นภาระของผู้ใช้งาน โดยระบบที่นำเสนอนี้สามารถพัฒนาเพื่อตรวจสอบค่าคุณภาพน้ำแบบไร้สายได้ หากติดตั้งเซนเซอร์เพื่อวัดค่าตัวแปรเพิ่ม เพื่อใช้ในอุตสาหกรรม การเกษตร การปศุสัตว์ เป็นต้น โดยการสื่อสารแบบไร้สายนั้นเป็นอุปกรณ์ ZigBee ที่ใช้พลังงานต่ำและติดตั้งง่ายเหมาะสมกับระบบที่นำเสนอ อีกทั้งยังมีความเสถียรของข้อมูลที่ถูกส่ง และรับค่า

2.2 แนวคิดและเงื่อนไขในการออกแบบระบบที่นำเสนอ

ระบบที่นำเสนอใช้ ZigBee ในการส่งข้อมูลระหว่างหน่วยควบคุมหลักกับหน่วยควบคุมระยะไกล ในส่วนของหน่วยควบคุมระยะไกล ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียน และเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่เพื่อให้พลังงานกับตัวประมวลผล บอร์ด Arduino MEGA 2560 เซนเซอร์ที่ใช้ประกอบไปด้วย 3 ชนิด เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ RTD ในส่วนของหน่วยควบคุมหลัก ใช้ Raspberry Pi เป็นตัวประมวลผล ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลค่าการวัดที่ส่งมาจากหน่วยควบคุมระยะไกล และเชื่อมต่อกับ Router ด้วย โมดูล Wi-Fi โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าดูหน้าจอแสดงผลโดยเชื่อมต่อกับวง LAN เดียวกันกับ Raspberry Pi

เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส ส่งข้อมูลไปยังบอร์ดตัวประมวลผลด้วยโปรโตคอล UART และ RTD ส่งค่าการวัดออกมาเป็นสัญญาณแอนนาลอก 0-5 โวลต์ เพื่ออ่านค่า 0 – 50 องศา จากนั้น ZigBee ทำการส่งข้อมูลเป็น Serial ไปยังหน่วยควบคุมหลัก เพื่อเก็บค่าการวัดจาก 3 เซนเซอร์ และให้แสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยใช้โปรโตคอล Ethernet/IP ในการเชื่อมต่อกับ Router



รูปที่ 2.1 System Architecture

การออกแบบสถาปัตยกรรมในระบบนี้ประกอบไปด้วยการทำงาน 2 ส่วน สื่อสารกันแบบไร้สายด้วย ZigBee ระหว่างตัวเก็บข้อมูลหลักและตัวประมวลผล ตัวเก็บข้อมูลหลักนั้นทำหน้าที่เป็นหน่วยควบคุมให้กับระบบ เช่น ค่าของการวัดจากเซนเซอร์ทั้ง 3 เซนเซอร์ ซึ่งเป็นข้อมูลในการสั่งค่ามอเตอร์ให้ทำงานหรือหยุดทำงาน และเป็นฐานข้อมูล สำหรับการดึงข้อมูลไปใช้ในการแสดงผลผ่านเว็บไซต์ โดยการแสดงผลเว็บไซต์สามารถดูข้อมูลการวัดของเซนเซอร์ได้ทุกอันสามารถสั่งค่าการทำงานของมอเตอร์เพื่อเพิ่มออกซิเจนในแหล่งน้ำที่ต้องการ โดยมีรูปแบบของเว็บไซต์ที่สั่งการทำงานได้ง่ายเหมาะสมกับผู้ใช้งานที่ไม่มีความรู้ทางด้านวิศวกรรม หรือผู้ที่มีความรู้ทางด้านวิศวกรรมจะสามารถเข้าใจการทำงานของระบบได้มากยิ่งขึ้น และอีกส่วนหนึ่งคือตัวประมวลผล Arduino ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนของหน่วยควบคุมระยะไกล ที่สามารถทำงานโดยวัดค่าของเซนเซอร์ และสั่งการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งสามารถทำงานได้แม้หน่วยควบคุมหลัก จะไม่ทำงาน เพราะการทำงานของมอเตอร์ไม่ขึ้นอยู่กับหน่วยควบคุมหลักที่เป็นการเก็บข้อมูลค่าการวัดและการสั่งงานเท่านั้น

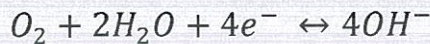
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบ

2.3.1 เซนเซอร์

1. หลักการเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen Sensor) [1]

โพรบของเซนเซอร์จะตอบรับความดันย่อยของออกซิเจนในของเหลว หรือออกซิเจนในอากาศที่ถูกวัดเป็นการวัดในรูปของค่าความดันมากกว่าความเข้มข้นออกซิเจนทั้งหมดที่แพร่ผ่านเมมเบรนนั้นจะถูกใช้ไปที่แคโทดซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า โดยจะถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูป hydroxyl ion ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าภายในโพรบ ตามดุลสมการ

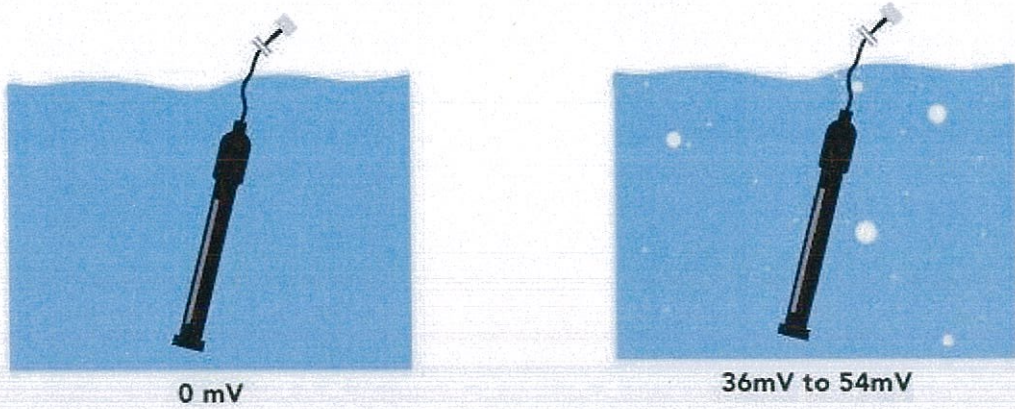


เพราะว่าออกซิเจนที่ถูกใช้ไปทั้งหมดนั้นถูกใช้ไปในทางเคมี และความดันย่อยของออกซิเจนในอิเล็กโทรไลต์นั้นเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงเกิดความชันของความดันย่อยจากออกซิเจนชั้นที่เมมเบรนและอัตราที่ ออกซิเจน Oxygen ผ่านโพรบนั้นก็เป็ผลจากความดันย่อยของออกซิเจนในอากาศ หรือ ออกซิเจนในของเหลว ที่กำลังวัดเมื่อโพรบ (Electrode) ถูกจุ่มในน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ ความเค็มของน้ำ อย่างไรก็ตามในส่วนองค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำนั้นจะแปรผันตามอุณหภูมิ ค่าความเค็มของน้ำ เนื่องจากการรายงานผลค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายนั้นจะถูกดัดแปลงที่สุดเมื่อได้รับการชดเชยตามอุณหภูมิ, ค่าความเค็ม และค่าความดันบรรยากาศ ณ ขณะนั้น ถ้ารายงานค่า DO ในรูปของค่าความดันย่อยของออกซิเจน การชดเชยค่าจากอุณหภูมิหรือค่าความเค็มจะไม่จำเป็นอีกต่อไป เนื่องจากโดยส่วนใหญ่แล้วโพรบ (Electrode) จะมีระบบชดเชยอุณหภูมิอยู่แล้ว ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเครื่องแปลงค่าจากการวัดค่าความดันย่อยของ ออกซิเจน ไปสู่ค่า DO ในหน่วย mg/L ณ อุณหภูมิขณะนั้นจึงจำเป็นต้องป้อนค่าความเค็ม และค่าความดันบรรยากาศเพื่อการชดเชยค่าที่จะทำให้เกิดความถูกต้องสูงสุดในการวัด

เซนเซอร์ที่เลือกใช้นี้มีวงจรมีขั้วที่ซับซ้อน ซึ่งเป็นการนำอุณหภูมิ ความเค็ม และความดันเพื่อให้ได้รับผลของการวัดแหล่งน้ำนั้นออกมาเป็นค่าออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ สัญญาณจะถูกส่งจากโพรบ HDPE ซึ่งมีการส่งค่าสัญญาณออกมาได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรงจากความต่างศักย์ไฟฟ้า 0 mV หมายถึง ไม่มีออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และความต่างศักย์จาก 36 mV – 54 mV หมายถึง 100 เปอร์เซ็นต์

$$\% \text{ saturation} = \frac{\text{mV in water}}{\text{mV in air}} \times 100 \quad [2]$$

การกำหนดค่าทำได้โดยการนำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ในน้ำ ทารด้วยค่าความต่างศักย์ที่ปล่อยลอยในอากาศ จากนั้นนำค่าผลลัพธ์มาคูณกับ 100 จึงได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของการละลาย



รูปที่ 2.2 ค่าความต่างศักย์ขณะที่ทำการจุ่มโพรบ HDPE ในน้ำที่ไม่มีออกซิเจนและมีออกซิเจน

2. หลักการเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส (pH Sensor) [3]

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

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

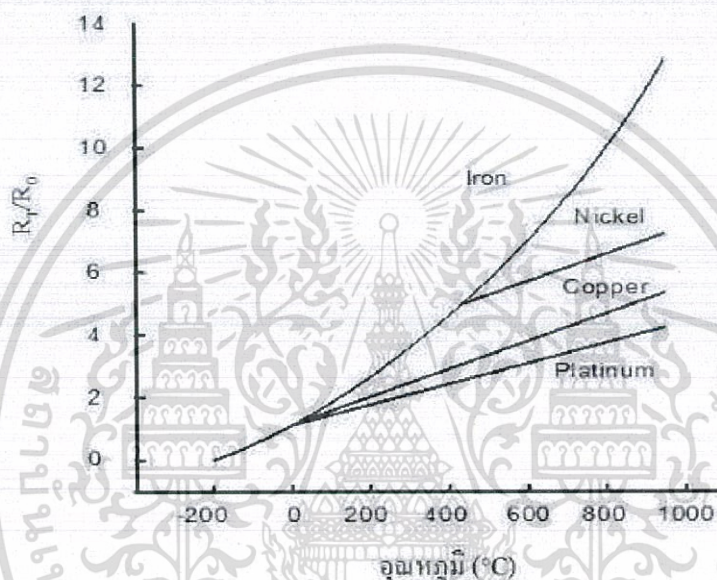


รูปที่ 2.3 ภาพวงจรเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลักการทำงานของเซนเซอร์อุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะ (Resistance Temperature Detectors: RTD) [4]

อาร์ทีดีเป็นทรานสดิวเซอร์ (transducer) วัดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ จัดเป็นทรานสดิวเซอร์ประเภทพาสซีฟ (passive transducer) การทำงานต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกป้อนให้กับวงจร โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุและอุณหภูมิแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานของโลหะจะมีค่าสูงขึ้นเรียกว่า “สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก” (Positive Temperature Coefficient ; PTC) ในการใช้งานควรเลือกใช้วัสดุที่ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานสูง เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปเพียงเล็กน้อยค่าความต้านทานของโลหะจะเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน



รูปที่ 2.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านทานของวัสดุต่างชนิดกัน [5]

1. แพลทินัม เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด เขียนบอกไว้เป็น PT ได้แก่ PT-10 , PT-100, PT-1000 มี Repeatability สูง แต่ Sensitivity น้อย ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับนิเกิลซึ่งมี Repeatability น้อย แต่ Sensitivity มาก และราคาถูกกว่า

2. ทังสเตนมีค่าความต้านทานจำเพาะสัมพันธ์สูง มักจะใช้กับการวัดอุณหภูมิที่มีค่าสูง เพราะหากใช้ที่อุณหภูมิปกติจะมีความเปราะและยากต่อการใช้งาน

3. นิเกิล ใช้กับย่านวัดอุณหภูมิสูง ๆ มีความเป็นเชิงเส้นต่ำ ทำให้เกิดค่าดริฟต์ กับเวลา นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ทำอาร์ทีดีได้แก่ เหล็ก เป็นต้น

จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์พบว่าค่าความต้านทานของลวดโลหะจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังสมการ

$$dR_t / dT = \mu \quad \text{หรือ} \quad R_t = R_0 (1 + \mu T) \quad [6]$$

R_t = ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส

R_0 = ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

μ = สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส (W / W / °C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 บอร์ด Arduino [7]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC : Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีชิพหน่วยความจำ, port อยู่ในชิพเพียงตัวเดียวซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดียว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU : Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรด้านงานควบคุม

[8] Arduino คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ open source คือ เปิดเผยทั้ง software และ hardware Arduino นั้นได้ใช้ชิป AVR เป็นหลักใน Arduino แทบรุ่น สาเหตุมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ของตระกูล AVR นั้นมีความทันสมัย ในชิปบางตัวสามารถเชื่อมต่อผ่าน USB ได้โดยตรง สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี และในไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR ยังมีส่วนของโปรแกรมพิเศษที่เรียกว่า Bootloader อยู่ในระดับต่ำกว่าส่วนโปรแกรมปกติ ซึ่งจะเป็นส่วนโปรแกรมที่จะถูกเรียกขึ้นมาก่อนการเรียกโปรแกรมปกติ ทำให้สามารถเขียนสั่งให้ทำงานใดๆก็ได้ ก่อนการเรียกโปรแกรมปกติ ทำให้ Arduino นั้นอาศัยส่วนโปรแกรมพิเศษนี้ในการทำให้ชิปสามารถโปรแกรมผ่านพอร์ตอนุกรมชนิด UART ได้ จึงทำให้การเขียนโปรแกรมลงไปในชิปโดยใช้เพียง USB to UART ก็เพียงพอแล้ว แต่การโปรแกรมด้วยการใช้โปรโตคอล UART ก็มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้เวลาในการบูตเข้าโปรแกรมปกติประมาณ 1 – 2 วินาที



รูปที่ 2.5 ไอซีที่ใช้ในบอร์ด Arduino [9]

2.3.3 หลักการทำงานของ XBee และเสาสัญญาณ [10]

XBee เป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ และ RF IC อยู่ภายในตัว ทาหน้าที่เป็นอุปกรณ์ transceiver (อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ) แบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 GHz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ ใช้งานง่าย มี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับ XBee เป็น UART (TTL) ซึ่งสำหรับทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถนำขาที่ใช้ติดต่อสื่อสาร UART ของ XBee ต่อเข้ากับ UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย

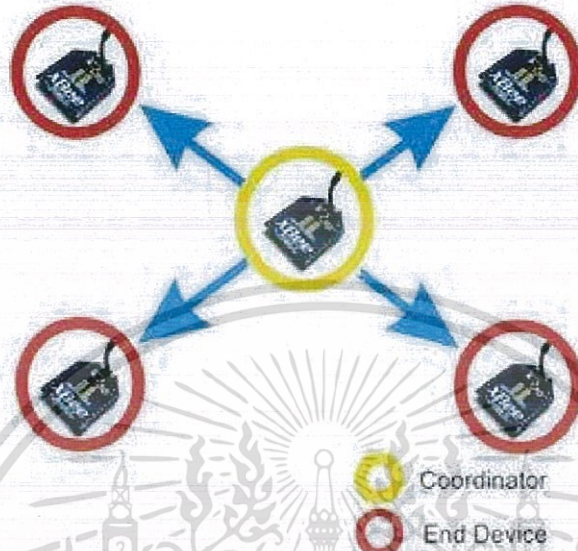
2.3.3.1 XBee Topology

ในการสร้างโครงข่ายไร้สายของ ZigBee นั้น จะต้องประกอบด้วย Node จำนวนอย่างน้อยที่สุด 2 ชนิด คือ Coordinator node และ node ลูกข่าย ชนิดใดชนิดหนึ่ง (Router/End device) จึงจะสามารถสื่อสารและทำงานในรูปแบบของ PAN (Personal area network) ได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

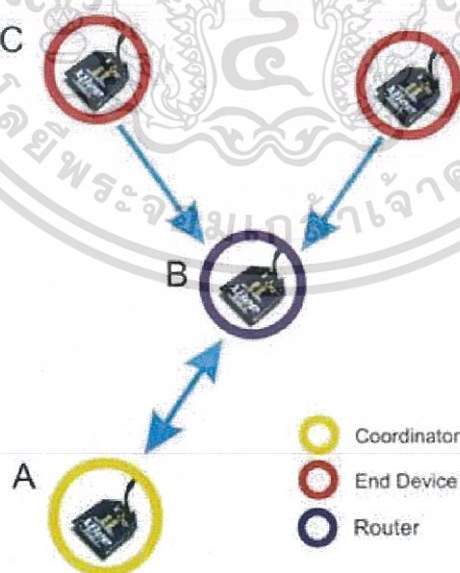
ZigBee สามารถแบ่งรูปแบบ เครือข่ายได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. Star (Broadcast) การเชื่อมต่อแบบ Star หรือ แบบ Broadcast เป็นการรับส่งข้อมูลแบบไม่เฉพาะเจาะจง จุดหมายปลายทาง หรือ XBee ทุกตัวที่อยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกันสามารถรับข้อมูลทุกข้อมูลได้ทุกตัว



รูปที่ 2.6 Star (Broadcast) Network

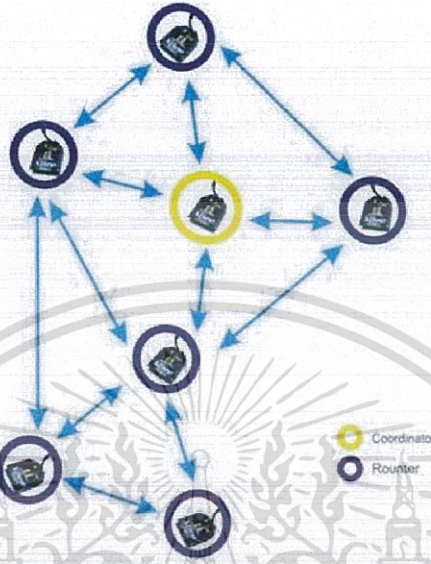
2. Cluster Tree (Tree) Network เป็นการรับส่งข้อมูลแบบส่งผ่าน เช่น A ต้องการติดต่อกับ C แต่ C อยู่ไกลจาก A จน A ไม่สามารถติดต่อกับ C ได้ แต่พอดีมี B ที่อยู่ระหว่าง A กับ C ดังนั้น Cluster Tree จะใช้ B เป็นเหมือนตัวกลางเชื่อมการติดต่อ (Repeater) ระหว่าง A กับ C



รูปที่ 2.7 Cluster (Tree) Network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Mesh การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Mesh นี้ เป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจาก ข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายเส้นทาง ทำให้ระบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางได้ แม้จะเกิดความเสียหายของระบบในบางส่วนก็ตาม (ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบของผู้ใช้ด้วย) ระบบนี้จึงเป็นระบบที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก



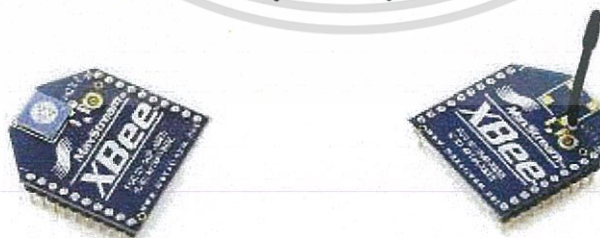
รูปที่ 2.8 Mesh Network

2.3.3.2 แบบของสายอากาศ

ระยะทางที่ XBee รับส่งข้อมูลได้จะขึ้นกับสายอากาศ ซึ่ง XBee ที่มีขายอยู่ทั่วไปจะมีสายอากาศ 4 แบบคือ Whip, Chip U.FL และ SMA Antenna

Chip Antenna เหมาะกับการใช้งานใน โครงการที่ต้องการขนาดเล็ก เพราะการใช้สายอากาศแบบนี้ สายอากาศไม่เกะกะ หนีไปใส่กล่องได้ แต่ได้เฉพาะกล่องพลาสติก ไม่สามารถใช้กล่องเหล็กได้ เนื่องจากใส่กล่องเหล็กสัญญาณจะไม่สามารถส่งออกมาจากกล่องเหล็กได้ หากต้องใช้กล่องเหล็ก ควรเลือกใช้สายอากาศที่ต่อออกมาจากกล่องเหล็ก

Wire Antenna สามารถส่งได้ไกลกว่าแบบ Chip Antenna แต่หากนำไปประกอบใส่กล่องจะมีข้อเสียตรงที่ไม่สามารถใส่กล่องเล็กๆ ได้เพราะจะต้องเหลือที่ให้สายอากาศ และด้วยสายอากาศที่ยื่นออกมาลักษณะนี้ บางทีผู้ใช้อาจจะรู้สึกเกะกะ ทำให้ใส่กล่องที่ออกแบบมาไม่ได้



(ก) Chip Antenna

(ข) Whip Antenna

รูปที่ 2.9 XBee แบบมีสายอากาศในตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UFL Antenna เหมาะสำหรับงานที่ออกแบบใส่ในกล่อง และต้องการให้สายอากาศยื่นออกมานอกกล่อง และเนื่องจากการที่ต้องต่อสาย UFL to SMA (Sub Miniature version A) ออกมาเพิ่มเติม ตรงจุดนี้จะทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณบ้าง แต่ก็จะมีการขยายสัญญาณที่สายอากาศอีกที จึงต้องไปพิจารณาอัตราขยายที่สายอากาศต่อด้วย (อัตราขยาย เรียกว่า Gain มีหน่วยเป็น dB หรือ dBi)

SMA Antenna ในการต่อการใช้งานจริงการออกแบบกล่องใส่ XBee ที่ใช้เสาอากาศแบบนี้จะต้องออกแบบให้มีตำแหน่งของ XBee อยู่ใกล้กับรูเจาะเพื่อให้สามารถต่อสายอากาศให้ออกมานอกกล่องได้ เมื่อต่อใช้งานร่วมกับสายอากาศจะมีการขยายสัญญาณที่สายอากาศอีกที



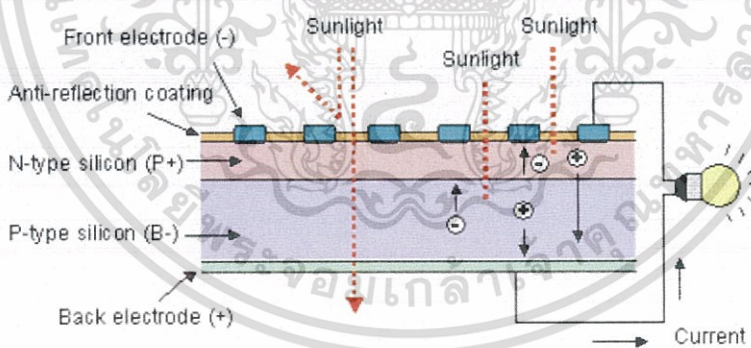
(ก) U.FL Antenna

(ข) SMA Antenna

รูปที่ 2.10 XBee แบบต่อสายอากาศได้

2.3.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [11]

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้่าดังกล่าวไปใช้งานได้

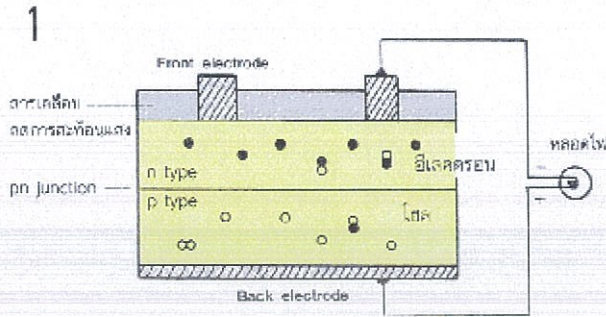


รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (ก)

1. n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโด๊ปกับด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้การโด๊ปกับด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมี

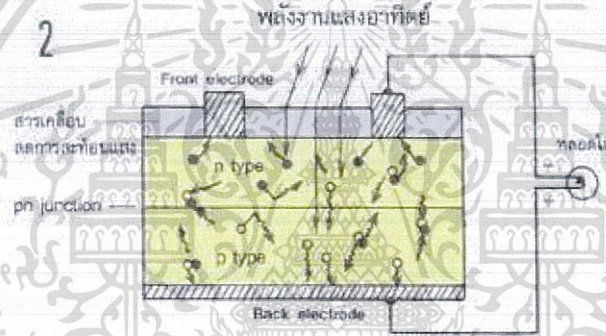
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



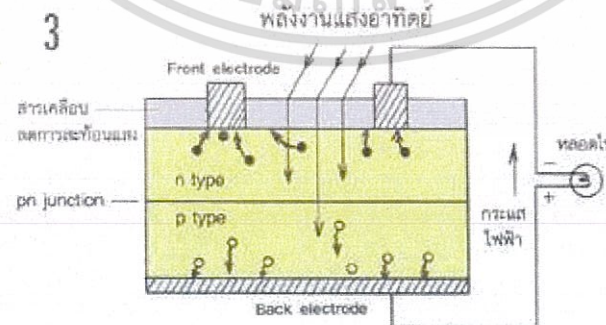
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (ข)

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type



รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (ค)

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลเคลื่อนที่ไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน



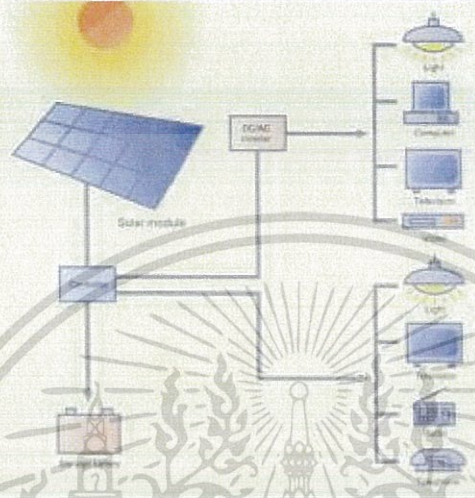
รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.1 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

1. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Standalone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ

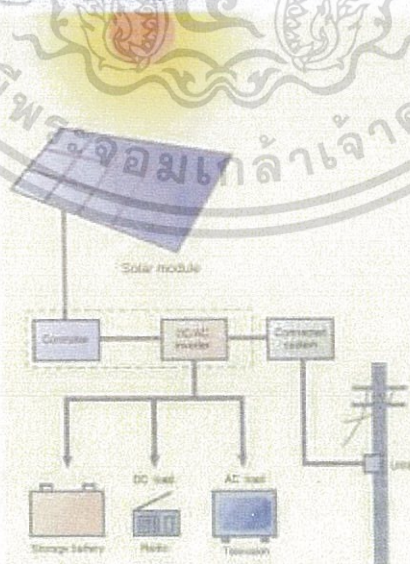
Stand-Alone System



รูปที่ 2.15 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

2. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

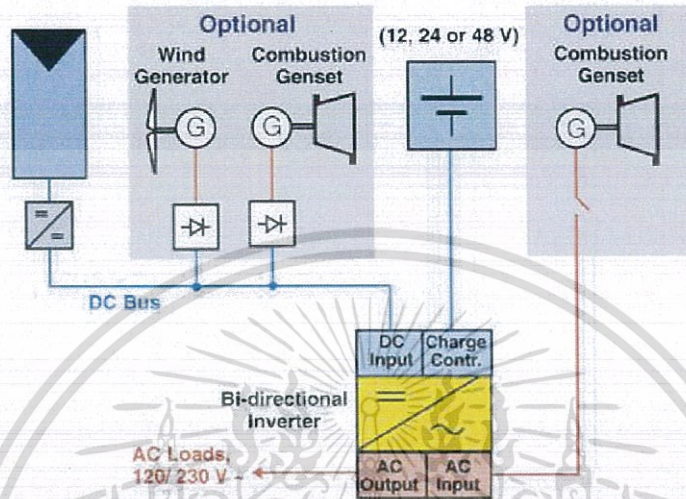
Grid Connected System



รูปที่ 2.16 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรอกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ



รูปที่ 2.17 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

2.3.4.2 ตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์ ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลก ความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 มิลลิวัตต์ ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2. อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 °C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 °C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 °C เช่น อุณหภูมิ 30 °C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 V ($21 \text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V ($21\text{V} - 0.525\text{V}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

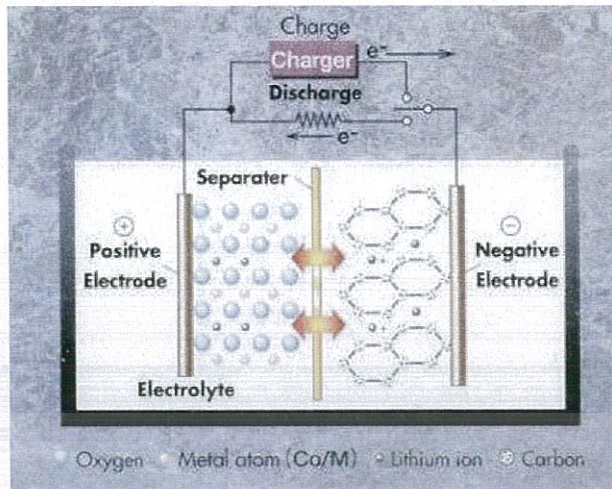
จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 W ต่อ ตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 20 °C ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 W ต่อ ตารางเมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 °C แล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 W จะให้กำลังไฟฟ้ต่ำกว่่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

2.3.5 หลักการของแบตเตอรี่ [12]

แบตเตอรี่ (Battery) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์ หรือมากกว่าก็ได้ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (recharge) ได้หลายครั้งและประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ/จ่ายประจุนั่นเอง

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ประกอบด้วยเซลล์หรือหมู่ของเซลล์ต่อเข้าด้วยกัน ในหมู่ของเซลล์ประกอบขึ้นด้วยกลุ่มของแผ่นธาตุทั้งแผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งแผ่นธาตุทั้งบวกและลบทำจากโลหะต่างชนิดกันกันด้วยฉนวน เรียกว่า “แผ่นกั้น” โดยนำมาจุ่มไว้ใน “ELECTROLYTE” หรือที่เรียกว่า “น้ำกรดผสม” (Sulfuric Acid) น้ำกรดผสมจะทำปฏิกิริยากับแผ่นธาตุในเชิงเคมีเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า และแต่ละเซลล์สามารถจ่ายประจุไฟฟ้าได้ประมาณ 2 โวลต์ เซลล์ของแบตเตอรี่ส่วนมากจะถูกนำมาต่อเข้ากับ “แบบอนุกรม” (Series) ซึ่งจะเพิ่มโวลต์หรือแรงดันขึ้นเรื่อยๆ เช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จะต้องใช้จำนวนเซลล์ 6 เซลล์

การเกิดพลังงานไฟฟ้า แผ่นธาตุสองชนิด แผ่นบวก คือ LEAD DIOXIDE และ แผ่นลบ คือ SPONGE LEAD ถูกนำมาจุ่มลงในกรดผสม แรงดัน (Volt) ก็จะถูกสร้างขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อระบบแบตเตอรี่ครบวงจร กระแสก็จะไหลทันทีเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้าในกรณีนี้เรียกว่า การคายประจุไฟ (Discharge) ซึ่งตัวกรดในน้ำกรดผสมจะวิ่งเข้าทำปฏิกิริยาต่อแผ่นธาตุทั้งทางบวกและลบโดยจะค่อยๆ เปลี่ยนสภาพของแผ่นธาตุทั้งสองชนิดให้กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulfate) เมื่อแผ่นธาตุทั้งบวกและลบเปลี่ยนสภาพไปเป็นโลหะชนิดเดียวกัน คือ ตะกั่วซัลเฟต แบตเตอรี่ก็จะไม่มีสภาพของความแตกต่างทางแรงดันกระแส ก็จะทำให้กระแสหยุดไหลหรือไฟหมด



รูปที่ 2.18 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ [13]

2.4 การส่งข้อมูลของระบบ

2.4.1 โพรโทคอล ZigBee [10]

ZigBee เป็นมาตรฐานโพรโทคอลการสื่อสารไร้สายสำหรับเครือข่ายไม่ต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลสูง กำหนดโดยองค์กร ZigBee Alliance ซึ่งออกแบบขึ้นสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดย ZigBee ได้อ้างอิงตามมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงาน มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ส่วนชื่อของ ZigBee นั้นได้มาจากพฤติกรรมการสื่อสารของผึ้ง โดยผึ้งจะบินแบบซิกแซก เพื่อให้ข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกันเกี่ยวกับทิศทางและระยะทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่

ZigBee กำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 GHz, ย่าน 915 MHz และย่าน 868 MHz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง, 10 ช่อง และ 1 ช่องตามลำดับ ส่วน อัตรารับส่งข้อมูลจะอยู่ที่ 250 kbps, 40 kbps, 20 kbps ตามลำดับเช่นกัน โดยความถี่ย่าน 868 MHz จะใช้ในทวีปยุโรป ความถี่ย่าน 915 MHz ใช้ได้ในประเทศสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย และความถี่ 2.4 GHz สามารถใช้ได้ทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยตามกฎหมายกระทรวง เรื่อง กำหนดให้เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมบางประเภทได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.1 IEEE 802.15.4

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับเครือข่ายแบบไร้สายระยะใกล้ ความเร็วต่ำโดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำกว่าหรือเท่ากับ 250 kbps ใช้กำลังไฟน้อย ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้มาตรฐานนี้ในปัจจุบันคือ ZigBee และเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ถูกพัฒนาให้มีจุดเด่นกว่าเทคโนโลยีไร้สายแบบอื่นๆ ในเรื่อง ราคาต่ำ ใช้พลังงานน้อย สามารถติดตั้งไว้ได้นานและสามารถสร้างเครือข่ายได้ ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานด้านเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุ ตรวจสอบสภาพแวดล้อม ตาราง 2.1 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สายแบบต่างๆ ทำให้เห็นข้อดีข้อเสียอย่างเช่น GSM/CDMA นั้นสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่า ZigBee และระยะทางในการส่งไกลกว่าแต่ข้อเสียคือ Battery นั้นมีอายุการใช้งานต่ำ และต้นทุนสูง ดังนั้นมาตรฐาน ZigBee จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการต้นทุนต่ำและเชื่อถือได้

ตาราง 2.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สาย

	ZigBee และ IEEE 802.15.4	Bluetooth	Wi-Fi IEEE 802.11	GSM/CDMA
Application Focus	Monitoring & Control	Cable Replacement	Web, Video, E-mail	WAN, Voice/DATA
System Resource	4kB – 32kB	250 kB+	1 MB	16 MB+
Battery Life (Days)	1 ปี	1 สัปดาห์	1 สัปดาห์	1 สัปดาห์
Node Per Network	255/65 k+	720 kbps	Up to 54 Mbps	Up to 2 Mbps
Bandwidth	250 kbps	720 kbps	Up to 54 Mbps	Up to 2 Mbps
Range	100+ เมตร	10 - 100 เมตร	50 – 100 เมตร	หลายกิโลเมตร
Key Attributes	Reliable, Low power, Cost Efficient	Cost, Convenience	Speed, Flexibility	Reach, Quality

โดยมาตรฐานนี้กำหนดขึ้นสำหรับการรับส่งข้อมูลเบื้องต้น ในวงจรเครื่องรับส่งวิทยุ (Physical Layer) และการควบคุมการรับส่ง (Link Layer) ใช้การผสมสัญญาณ (modulation) แบบ Offset Quadrature Phase Shift Keying (Offset-QPSK) และใช้การแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนแบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ที่มีอัตราการ Spreading 2 ล้าน chip/sec ซึ่งจะควบคุมการรับส่งข้อมูล โดยใช้โปรโตคอลแบบ Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)

ตามมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 ได้กำหนดคุณสมบัติของเครือข่ายไร้สาย ส่วน บุคคลแบบอัตราส่งต่ำ LR-WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) ไว้ 2 ชั้น คือ ชั้นกายภาพ (Physical Layer) และชั้นรองของแมค (Medium Access Control Sub Layers) มีการกำหนดส่วนสนับสนุนของอุปกรณ์แบบง่าย 2 ชนิดคือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ได้เต็มที่ FFD (Full Function Device) และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ได้บางส่วน RFD (Reduced Function Device) ตามมาตรฐาน อุปกรณ์แบบ FFD จะสนับสนุนการทำงานพื้นฐานทางกายภาพรวม 49 อย่าง แต่อุปกรณ์แบบ RFD จะสนับสนุนแค่ 38 อย่าง การติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์ FFD จะติดต่อกับอุปกรณ์ FFD ตัวอื่นๆ และอุปกรณ์ RFD ได้โดยอุปกรณ์ FFD จะทำงานได้ 3 ลักษณะคือ

1. ตัวประสานงานเครือข่ายส่วนบุคคล (PAN Coordinator)
2. ตัวประสานงาน (Coordinator)
3. อุปกรณ์ (Device)

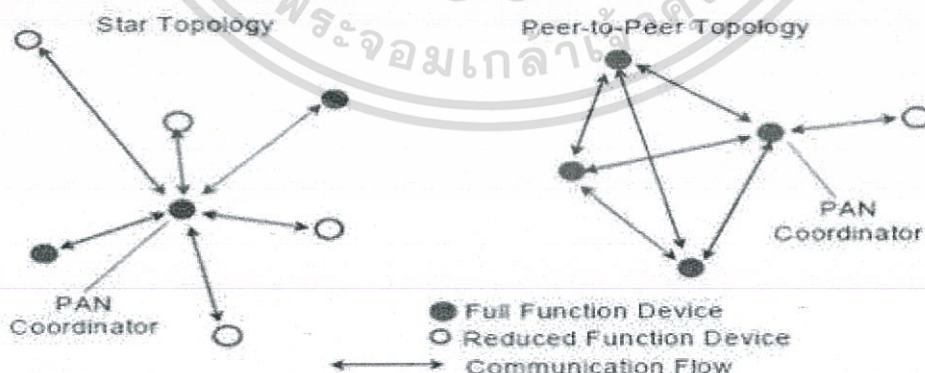
อุปกรณ์แบบ RFD จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ อย่างเดียว การเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่าง Node มี 3 ลักษณะคือ

1. จากอุปกรณ์ไปตัวประสานงาน (Device to a coordinator)
2. จากตัวประสานงานไปอุปกรณ์ (Coordinator to device)
3. ระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ในระดับเดียวกัน (Peer to peer)

2.4.1.2 โทโปโลยีของเครือข่าย LR-WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) มี 2 ลักษณะคือ

1. แบบดาว (Star Topology) และแบบระดับเดียวกัน (Peer to peer Topology) ในรูปแบบดาวจะมีการติดต่อสื่อสารระหว่าง PAN Coordinator กับอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดในเครือข่าย จะมีตำแหน่งแบบขยาย (Extended Address) และสามารถเปลี่ยนตำแหน่งเป็นแบบสั้น (Short Address) โดย PAN Coordinator ในขณะที่ทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์กันระหว่างอุปกรณ์ (Device Associate)

2. แบบ Peer to peer มี PAN Coordinator เหมือนแบบที่ 1 แต่อุปกรณ์แต่ละตัวสามารถติดต่อกันได้ ในระยะการติดต่อของแต่ละอุปกรณ์ โทโปโลยีนี้สามารถนำมาสร้างเป็นเครือข่ายที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้



รูปที่ 2.19 โทโปโลยีของเครือข่าย LR-WPAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.3 ZigBee Device Types

อุปกรณ์ในเครือข่ายไร้สายของ ZigBee สามารถทำงานได้ 3 แบบ คือ Coordinator, End Device และ Router ซึ่งแต่ละแบบมีการทำงานดังนี้

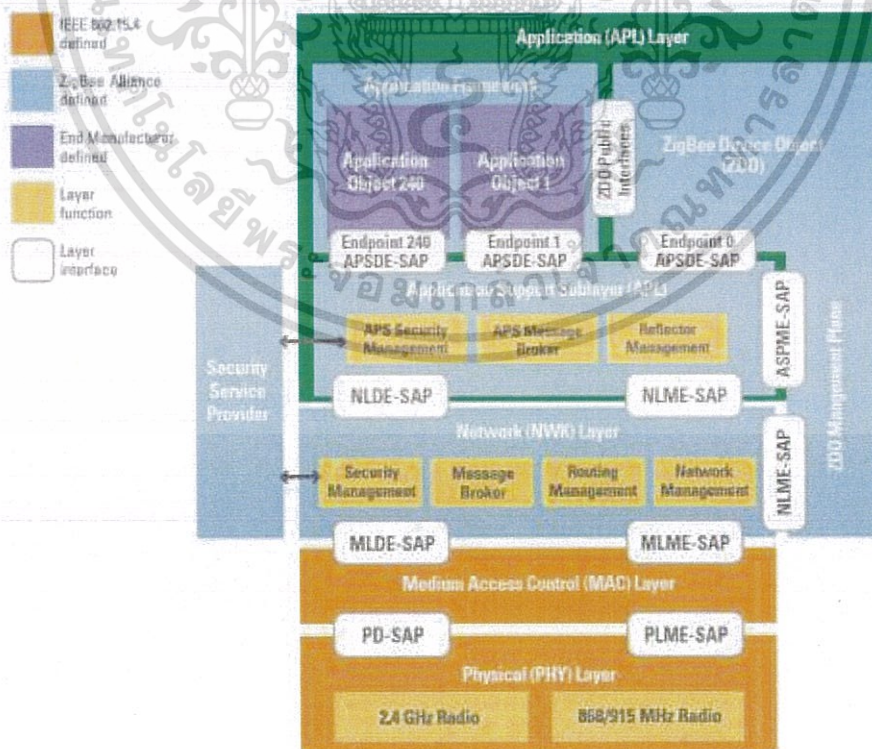
1. Coordinator เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD (Full Function Device) มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinatorด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่าย ไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ routing เส้นทาง

2. End Device เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD (Full Function Device) หรือ RFD (Reduced Function Device) เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ที่ปลายทางและควบคุมการทำงานต่างๆ

3. Router เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD (Full Function Device) มีหน้าที่รับส่งข้อมูลในเส้นทางต่าง ๆ เพิ่มระยะทาง สามารถตรวจสอบและควบคุมการทำงานต่างๆ ได้เหมือนกับ End Device

2.4.1.4 ZigBee Stack Architecture

สถาปัตยกรรมของ ZigBee stack ดังภาพที่ 2.6 จะเป็นไปตาม OSI seven-layer model โดยในชั้นของ Physical layer (PHY) และ Medium Access Control sub-layer (MAC) จะกำหนดตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ส่วนในชั้น Network layer (NWK) และ Application layer ซึ่งมี Application Framework, Application support sub-layer (APS), ZigBee device objects (ZDO) จะกำหนดตามมาตรฐานของ ZigBee ซึ่งกำหนดโดยองค์กร ZigBee Alliance แต่ในส่วนของ Application ที่อยู่ใน Application Framework โรงงานที่ผลิตจะเป็นผู้กำหนดเอง

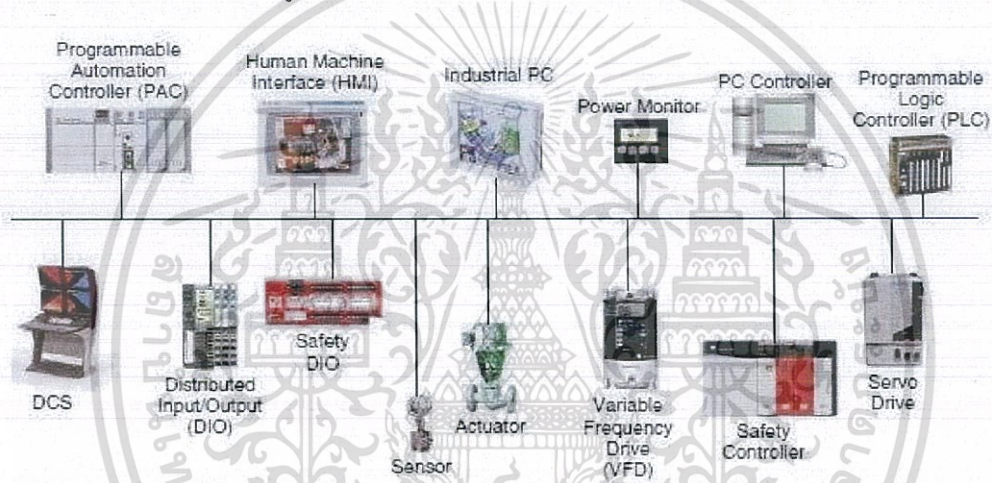


รูปที่ 2.20 ZigBee Stack Architecture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 โพรโทคอล Ethernet/IP [14]

เป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่พัฒนามาจากโครงสร้างการเชื่อมต่อแบบสายสัญญาณร่วมที่เรียกว่า บัส (bus) คอมพิวเตอร์ทุกเครื่องต่อเชื่อมเข้ากับสายสัญญาณเส้นเดียวกัน ข้อมูลสามารถสื่อสารจากเครื่องหนึ่งไปยังเครื่องใดก็ได้ โดยสื่อสารผ่านบัสนี้ แต่หากมีสัญญาณข้อมูลที่ส่งมาพร้อมกันมากกว่าหนึ่งสถานีและเกิดการชนกันข้อมูลชุดที่ส่งช้ากว่าจะได้รับการยกเลิกและจะต้องส่งข้อมูลชุดนั้นมาใหม่ การเชื่อมต่อแบบอีเธอร์เน็ตในยุคแรกใช้สายสัญญาณแบบแกนร่วมเรียกว่าสายโคแอกเซียล (coaxial cable) ต่อมาเมื่อผู้พัฒนาระบบการรับส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์กลางที่เรียกว่า ฮับ (hub) และเรียกระบบใหม่นี้ว่า เทนเบสที (10BASE-T) โดยใช้สายสัญญาณที่มีขนาดเล็กและราคาถูกที่เรียกว่า สายยูทีพีภายในฮับมีลักษณะเป็นบัสที่เชื่อมสายทุกเส้นเข้าด้วยกัน ดังนั้นการใช้ฮับและบัสจะมีระบบการส่งข้อมูลแบบเดียวกันและมีการพัฒนาให้เป็นมาตรฐาน กำหนดชื่อมาตรฐานนี้ว่า IEEE 802.3 ความเร็วของการรับส่งสัญญาณตามมาตรฐานนี้กำหนดไว้ที่ 10, 100 และ 1,000 ล้านบิตต่อวินาที และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอีก



รูปที่ 2.21 เครือข่ายของ Ethernet/IP [15]

EtherNet/IP สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. Explicit message ใช้กับข้อมูลที่ไม่ต้องสนใจเรื่องเป็นเวลา (time critical) ข้อมูลจะถูกส่งผ่านTCP/IP แบบ Unscheduled ตามการร้องขอของ Client/Server เช่น คำสั่ง MSG TCP ย่อมาจาก Transmission Control Protocol เป็นวิธีการส่งข้อมูลผ่าน Connection ระหว่างอุปกรณ์ (host) โดยมีการตรวจสอบสถานะและความถูกต้องของแพคเกจข้อมูล ทำให้วิธีนี้มีความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลสูง หลังจากส่งข้อมูลเสร็จแล้ว Connection จะถูกยกเลิกใช้งาน

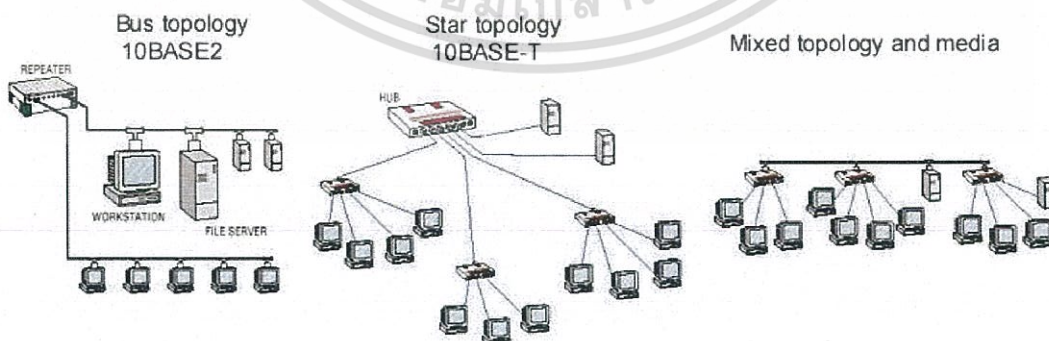
Source Port (16)		Destination Port (16)	
Sequence Number (32)			
Acknowledgement Number (32)			
Data offset	Reserved (6)	Flags (6)	Window (16)
Checksum (16)		Urgent (16)	
Options and Padding			
Data (Varies)			

รูปที่ 2.22 TCP Data Package

2) Implicit message หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า I/O message เพราะใช้สำหรับส่งข้อมูลของ I/O ที่ให้ความสำคัญเรื่องเวลาในการรับ-ส่งข้อมูลเป็นอย่างมาก ข้อมูลจะถูกส่งผ่าน UDP/IP แบบ Scheduled ตามช่วงเวลาของค่า RPI ที่กำหนด เช่น Produce-Consumed Tag หรือ อุปกรณ์ที่ติดต่อกับ Controller ผ่าน Ethernet Module Profile

UDP ย่อมาจาก User Datagram Protocol เป็นวิธีการส่งข้อมูลแบบง่ายๆ โดยไม่ใช้ Connection แพคเกจข้อมูลจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทางในทันที วิธีนี้มีความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลต่ำกว่าแบบ TCP แต่มีประสิทธิภาพและความเร็วในการส่งข้อมูลดีกว่า

อุปกรณ์ทุกตัวบน Ethernet network มีหมายเลขระบุตัวตนที่ไม่ซ้ำกัน เรียกว่า "IP address" ซึ่งประกอบไปด้วยหมายเลขทั้งหมด 32 บิต แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 บิต แต่ละชุดขึ้นด้วยจุด (.) เพื่อให้อ่านง่ายขึ้นจึงเปลี่ยนจากเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบแทน ทำให้ค่าตัวเลขในแต่ละกลุ่มมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 (8 bits) หมายเลขทั้ง 4 กลุ่มนี้ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หมายเลขเครือข่าย(Network) และ หมายเลขอุปกรณ์ (Host) ซึ่งทาง InterNIC ซึ่งเป็นผู้จัดสรร IP ทั่วโลกได้แบ่ง IP ออกเป็น 5 Class การเชื่อมต่อของ Ethernet สามารถเชื่อมต่อได้หลายแบบ เช่น การเชื่อมต่อแบบ Star topology คือ สวิตช์ย่อยหลายๆตัวเชื่อมต่อเข้ากับสวิตช์หลัก แบบ Bus topology คือ จะเป็นการต่อสายแบบอนุกรม เป็นต้น โดยแต่ละแบบก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป



รูปที่ 2.23 โทโปโลยีของ Ethernet/IP [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและรายละเอียดของระบบ

3.1 การออกแบบหน่วยควบคุมระยะไกล

การออกแบบตู้ไฟฟ้าในการส่งสัญญาณการวัด ออกแบบเพื่อการป้องกันน้ำและฝุ่นผงทุกทิศทาง ด้วยมาตรฐาน IP55 เพราะระบบทำงานจะต้องถูกติดตั้งอยู่ในพื้นที่กลางแจ้ง ซึ่งมีโอกาสโดนฝุ่นและโดนน้ำฝน ตู้ไฟฟ้าสามารถทำงานได้โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่แห่งขนาด 7.8 แอมแปร์ชั่วโมง และมีเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้ามาเก็บในแบตเตอรี่ การเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์นั้นเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด ไม่มีมลพิษในการผลิตกระแสไฟฟ้า และการทำงานของระบบ ถ้าต้องเชื่อมต่อพลังงานจากภายนอกด้วยสายไฟจะทำให้เกิดความยากลำบาก พลังงานแสงอาทิตย์จึงเหมาะสมสำหรับระบบการทำงาน แสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้น มีความเข้มแสงเพียงพอตลอดปี แต่การเลือกใช้แบตเตอรี่นั้น สามารถทำงานได้นานติดต่อกันประมาณ 48 ชั่วโมง ซึ่งเพียงพอต่อการขาดแสงอาทิตย์ภายในเวลา 2 วัน

การเลือกตู้ไฟฟ้านั้นควรมีน้ำหนักและขนาดเหมาะสมกับการตั้งเสาควบคุม ขนาดของตู้ไฟฟ้ามีขนาดให้เลือกสรรมากมายและหลากหลายประเภทในการใช้งาน เช่น ผลิตด้วยวัสดุพลาสติก ผลิตด้วยวัสดุเหล็ก ซึ่งตู้ไฟฟ้านั้นต้องติดตั้งอยู่บนเสาควบคุมที่ปรับขนาดของความสูงได้ น้ำหนักของตู้ไฟฟ้าจึงจำเป็นที่จะต้องเหมาะสมกับเสาควบคุมเพื่อป้องกันการไม่มั่นคงของเสา หรือน้ำหนักไม่ทำให้โดนลมพัดแล้วน้ำหนักของเสาควบคุมไม่สมดุลและเสาควบคุมเกิดความเสียหายจากการล้ม



รูปที่ 3.1 หน่วยควบคุมระยะไกลที่ออกแบบ

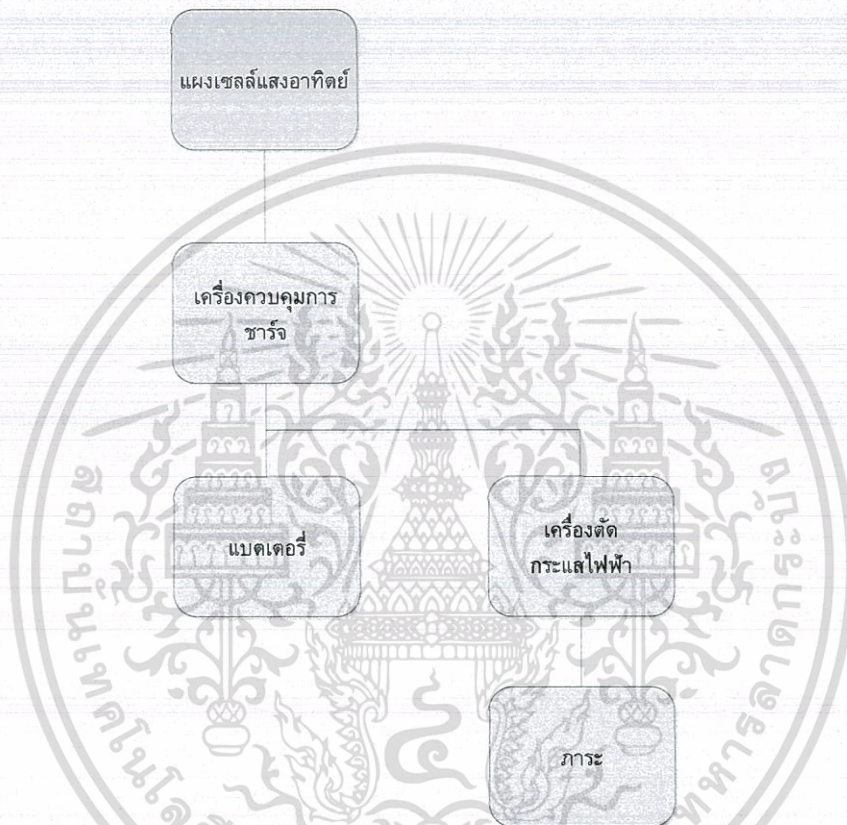
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของหน่วยควบคุมระยะไกลประกอบไปด้วย 2 ส่วนประกอบคือ

1. ส่วนของระบบไฟฟ้า
2. ส่วนของระบบการวัดค่า

3.1.1 ส่วนของระบบไฟฟ้า

ส่วนของระบบไฟฟ้าประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดการด้านพลังงานในการให้พลังงานกับระบบ พลังงานหลักที่ให้กับระบบคือพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ และระบบจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในการทำงาน



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells)

แหล่งผลิตพลังงานจากความเข้มแสงเป็นกระแสไฟฟ้า ขนาด 54 x 63 เซนติเมตร ผลิตกระแสไฟฟ้า 2.7 แอมแปร์ ความต่างศักย์ 18.5 โวลต์ กำลัง 50 วัตต์ ถูกต่อเข้ากับเครื่องควบคุมการชาร์จเพื่อปรับระดับการเก็บกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

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

2. เครื่องควบคุมการชาร์จ (Charger Controller)

อุปกรณ์จัดการการชาร์จกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ เชื่อมต่ออยู่ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ การทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้เพื่อถนอมการทำงานของแบตเตอรี่ จัดการการเก็บกระแสไฟฟ้าตามปริมาณการใช้งานของภาระ และการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของเครื่องควบคุมการชาร์จ [13]

ประเภท	SCL – 10 A
อัตราการเก็บกระแสไฟฟ้า	10 แอมแปร์
ความต่างศักย์ที่ใช้งาน	12 / 24 โวลต์
ค่าความต่างศักย์สูญเสียขณะเก็บประจุไฟฟ้า	น้อยกว่า เท่ากับ 0.26 โวลต์
ค่าความต่างศักย์สูญเสียขณะต่อภาระ	น้อยกว่า เท่ากับ 0.15 โวลต์
วิธีการควบคุม	PWM Pulse-duration Modulation Charge Mode
อุณหภูมิที่สามารถทำงานได้	-35 ถึง 55 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.3 เครื่องควบคุมการชาร์จ [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบตเตอรี่ (Battery)

แหล่งจ่ายพลังงานให้กับเสาควบคุมทั้งหมด มีขนาด 8 แอมแปร์ชั่วโมง มีความต่างศักย์ 12 โวลต์ การเลือกขนาดค่าทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีความจำเป็นเมื่อต้องการจ่ายพลังงานให้กับเสาควบคุมเป็นระยะเวลานานโดยปราศจากการเติมกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ เช่น ในวันฟ้ามีด ความเข้มแสงจะไม่เพียงพอในการเก็บกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งแบตเตอรี่ขนาดดังกล่าวมีความสามารถในการให้พลังงานกับระบบได้เป็นเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง เมื่อปราศจากการเติมกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่

4. เครื่องตัดกระแสไฟฟ้า (Circuit Breaker)

อุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้าเกินขนาด ขนาด 15 แอมแปร์ 2 ขั้ว อยู่ระหว่างแบตเตอรี่และภาระ เพื่อป้องกันการจ่ายกระแสเกินให้กับภาระ ซึ่งเป็นส่วนควบคุมการระบบ การทำงานของระบบจะหยุดลง

5. ภาระ (Load)

ภาระของระบบคือ ส่วนของการควบคุม ประกอบไปด้วย Arduino, เซนเซอร์ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, เซนเซอร์ pH, เซนเซอร์อุณหภูมิ RTD ชนิด pt1000

3.1.2 ส่วนของระบบการวัดค่า

ส่วนของระบบควบคุมคือส่วนที่จำเป็นของระบบอย่างสูง ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวควบคุม เซนเซอร์ หน้าจอแสดงผล วงจรรีเลย์ และตัวส่งสัญญาณ การทำงานในส่วนของระบบควบคุมนั้นได้รับพลังงานมาจากแบตเตอรี่ โดยมีการป้องกันความเสียหายโดยเครื่องตัดกระแสไฟฟ้าก่อนจะต่อสายไฟพลังงานให้กับตัวประมวลผล Arduino MEGA 2560 ส่วนประกอบของระบบควบคุมประกอบไปด้วย 5 อุปกรณ์ ดังนี้

1 ตัวควบคุม (Controller)

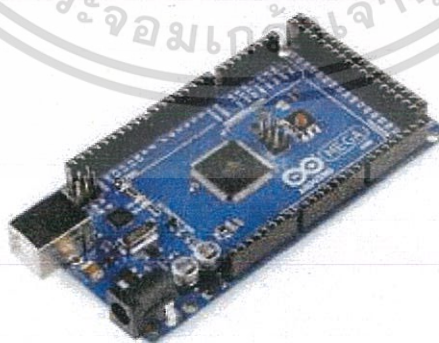
ตัวควบคุมที่รับค่าและประมวลผลของระบบ คือ Arduino MEGA 2560 ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลและสามารถเขียนคำสั่งให้กับระบบในส่วนของเสาควบคุม ค่าที่ส่งการเป็นผลมาจากการวัดค่าของเซนเซอร์ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์ค่า pH และ เซนเซอร์อุณหภูมิ ซึ่งส่งควบคุมมอเตอร์เพื่อเติมออกซิเจนให้กับน้ำ

MEGA 2560 คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีต้นแบบมาจาก ATMEGA2560 มี 54 ช่องสัญญาณ input และ output (15 ช่องสัญญาณสามารถใช้ในระบบ PWM outputs ได้) 16 ช่องรับสัญญาณอนาล็อก, 4 UARTs สำหรับการทำ serial ports, 16 เมกะเฮิร์ต, สามารถเชื่อมต่อ USB, สายพลังงาน, หัว ICSP (In Circuit Serial Programming และปุ่มเริ่มใหม่ บอร์ดนี้บรรจุสิ่งที่จำเป็นทุกอย่างเพื่อรองรับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพียงเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย USB หรือสายพลังงานผ่านตัวแปลง AC-to-DC หรือแบตเตอรี่เพื่อเริ่มทำงาน MEGA2560 เป็นสิ่งที่ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับ shields มากขึ้นจาก Uno และบอร์ดเก่า Duemilanove หรือ Diecimila

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของบอร์ด Arduino MEGA 2560 [17]

ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega2560
ความตํ่าศักย์ที่ใช้งาน	5 โวลต์
ความตํ่าศักย์ขาเข้า (แนะนำ)	7 – 12 โวลต์
ความตํ่าศักย์ขาเข้า (จำกัด)	6 – 20 โวลต์
ขารับสัญญาณดิจิทัล	54 ขา (15 ขาสามารถจ่ายเป็น PWM ได้)
ขารับสัญญาณอนาล็อก	16 ขา
กระแสไฟฟ้า ต่อขาสัญญาณ	20 มิลลิแอมแปร์ (กระแสตรง)
กระแสไฟฟ้าที่ขา 3.3 โวลต์	50 มิลลิแอมแปร์ (กระแสตรง)
ที่เก็บข้อมูล	256 กิโลไบต์
SRAM	8 กิโลไบต์
EEPROM	4 กิโลไบต์
ความเร็วนาฬิกา	16 เมกะเฮิรต์
ความยาว	101.52 มิลลิเมตร
ความกว้าง	53.3 มิลลิเมตร
น้ำหนัก	37 กรัม

MEGA 2560 สามารถใช้พลังงานผ่านการเชื่อมต่อสาย USB หรือใช้พลังงานภายนอกจากแหล่งจ่ายพลังงาน ที่มาของพลังงานจะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ พลังงานภายนอก (ไม่ผ่าน USB) พลังงานสามารถเข้ามาได้ทั้งผ่านหัวแปลง AC-to-DC หรือแบตเตอรี่ หัวแปลงสามารถเชื่อมต่อโดยใช้ปลั๊กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.1 มิลลิเมตรเสียบไปที่ช่องเสียบพลังงานของบอร์ด ตะกั่วจากแบตเตอรี่สามารถหาได้ใน GND และ ขารับสัญญาณ Vin ของตัวต่อพลังงาน บอร์ดสามารถรองรับแหล่งจ่ายภายนอก 6 – 20 โวลต์ ถ้าแหล่งจ่ายน้อยกว่า 7 โวลต์ อย่างไรก็ตาม ขาสัญญาณ 5 โวลต์ อาจจ่ายพลังงานน้อยกว่า 5 โวลต์เล็กน้อย และอาจทำให้บอร์ดไม่เสถียร ถ้าใช้พลังงานมากกว่า 12 โวลต์ ตัวกรองความตํ่าศักย์อาจจะร้อนและเกิดความเสียหายกับบอร์ดได้ ช่วงที่แนะนำคือ 7 – 12 โวลต์



รูปที่ 3.4 บอร์ด Arduino MEGA 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เซนเซอร์ (Sensor)

เซนเซอร์ที่ใช้งานมี 3 ชนิด คือ เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส และเซนเซอร์อุณหภูมิ ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งสัญญาณไปที่ตัวควบคุมเพื่อประมวลผลและส่งการมอเตอร์ต่อไป เซนเซอร์ทุกชนิดจะถูกลากสายออกจากตู้ไฟฟ้า และจุ่มอยู่ในน้ำ

1. เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ [2]

เซนเซอร์ออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะใช้หลักการวัดความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำว่ามีปริมาณมากหรือน้อย ใช้งานโดยการนำโพรบของเซนเซอร์ไปจุ่มในแหล่งน้ำที่ต้องการวัด โพรบของเซนเซอร์จะส่งสัญญาณมาที่ชุดวงจรประมวลผล และส่งข้อมูลผ่าน Serial Port (UART) เพื่อที่จะอ่านค่าการวัด เพียงส่งคำสั่งไปที่ไมโคร โดยสามารถสอบเทียบเซนเซอร์โดยใช้สารละลายที่มีค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่างกัน



รูปที่ 3.5 การนำเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำไปใช้งาน

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ช่วงการวัด (Range)	0.01 – 39.99 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (mg/L)
วัสดุของโพรบ (Probe Body Material)	อีพอกซี (Epoxy) และ โนริล (Noryl)
ค่าอุณหภูมิที่ทนได้สูงสุดของโพรบ	50 องศาเซลเซียส (°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 ² C

ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำของเซนเซอร์ชนิดนี้ ประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์

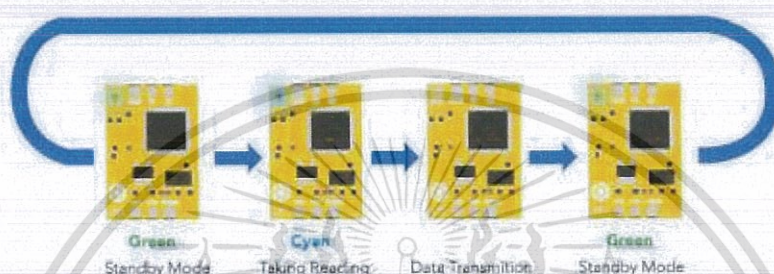
- อุณหภูมิ โดยปกติจะถูกตั้งค่าอยู่ที่ 20 °C ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น 2 °C หรือ 3 °C โพรบ HDPE จะส่งค่าไปที่ตัวอุปกรณ์
- ความเค็ม เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ แต่มีผลกระทบต่อค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำเล็กน้อย เมื่อค่าความนำของน้ำอยู่ที่ 2,500 μS ค่าพารามิเตอร์นี้จะไม่นำมาพิจารณา และจะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มองข้าม แต่ถ้าค่าความนำของน้ำเป็นค่าคงที่ มันสามารถตั้งค่าได้ครั้งเดียวและสามารถปล่อยไว้ได้ เพราะนี่เป็นความผันผวนเล็กน้อยที่ความเค็มมีผลต่อการอ่านค่า

- ความดัน เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้น้อยที่สุด โดยปกติวงจรจะสันนิษฐานว่าโพรบวัดอยู่ที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งในการวัดจริงแล้วโพรบจะต้องอยู่ในน้ำ และไม่สามารถที่จะเป็นความดันบรรยากาศได้ แต่ความดันที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยจึงไม่มีผลต่อการวัด ควรจะใช้โพรบวัดที่ความลึกของน้ำไม่เกิน 10 เมตร หรือเชื่อมต่อในท่อความดันสูง

ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดควรจะทำการสอบเทียบ 1 ครั้งต่อปี หรือจะทำการสอบเทียบบ่อยครั้งเพื่อผลการวัดที่แน่นอน และใช้เป็นบางกรณี



รูปที่ 3.6 ภาพการทำงานของวงจร DO Sensor

2. เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส (pH Sensor) [3]

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



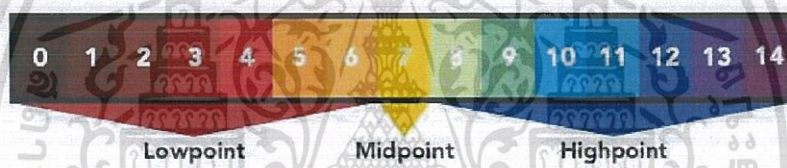
รูปที่ 3.7 ภาพวงจรเซนเซอร์วัดความเป็นกรดเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส

ช่วงการวัด (Range)	0 – 14 (Na+ ความผิดพลาดที่ค่ามากกว่า 12.3 pH)
ค่าการตอบสนอง (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 I ² C

การสอบเทียบเซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรดเบสชนิดนี้ มีความยืดหยุ่นในการสอบเทียบทั้งหมด 3 ประเภท



รูปที่ 3.8 การสอบเทียบทั้ง 3 ประเภท

การใช้การสอบเทียบที่ค่า pH 7 จะไม่ได้ค่าที่ถูกต้องคือ pH 7.00 แต่ถ้าได้ค่า pH 7.01 ก็ไม่เป็นปัญหา เพราะค่าการสอบเทียบความเป็นกรดเบส จะเปลี่ยนแปลงเมื่อไม่ได้อยู่ในอุณหภูมิมาตรฐาน (25°C) ทุกค่าการวัดสามารถเป็นดังเช่นที่ pH 7.00

ในทางปกติไม่แนะนำให้ตั้งค่าการวัดที่ pH 7.00 (การสอบเทียบค่ากลาง) สำหรับค่าที่แตกต่าง ควรจะใช้ต่อเมื่อถ้าอุณหภูมิของน้ำที่ต้องการวัดจะต่อเนื่องที่อากาศเย็นมาก (<10°C) หรือ ร้อนมาก (>45°C)



รูปที่ 3.9 ภาพแสดงการไม่สอบเทียบ (No Calibration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสอบเทียบแบบ Midpoint



Midpoint

รูปที่ 3.10 การสอบเทียบหนึ่งค่า

- การสอบเทียบสองค่า

การสอบเทียบสองค่าจะจัดเตรียมสำหรับการหาค่าความแม่นยำสูงระหว่าง pH 7 และจุดที่แตกต่างอีกหนึ่งจุดเพื่อการสอบเทียบ เช่น pH 4



Lowpoint

Midpoint

รูปที่ 3.11 การสอบเทียบสองค่า

- การสอบเทียบสามค่า

การสอบเทียบสามค่านี้จะจัดเตรียมให้สำหรับค่าการวัดที่ได้มีระยะ สามค่าที่ใช้ในการสอบเทียบคือ pH 4, pH 7 และ pH 10 ซึ่งจะถูกพิจารณาตามค่ามาตรฐาน



Lowpoint

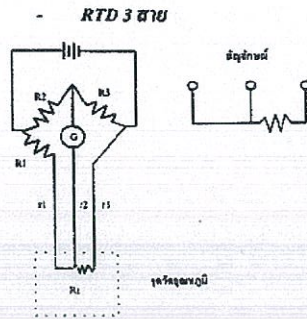
Midpoint

Highpoint

รูปที่ 3.12 การสอบเทียบสามค่า

การสอบเทียบที่ค่า pH 7 เป็นสิ่งจำเป็น ค่าสอบที่ค่าอื่นๆ สามารถทำได้ เพื่อเพิ่มความแม่นยำให้การวัด

3. เซนเซอร์อุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะ (Resistance Temperature Detectors: RTD) [18]



รูปที่ 3.13 RTD 3 สาย

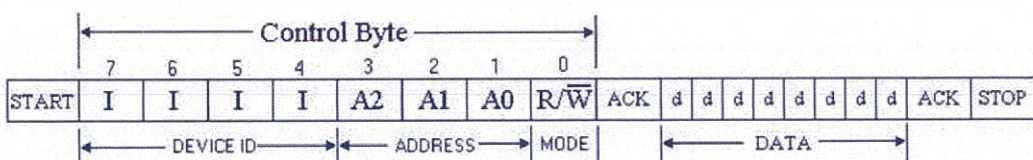
RTD 3 สาย เป็นที่นิยมใช้ที่สุดในอุตสาหกรรม โดยสายทั้ง 3 เป็นแบบที่นิยมใช้ที่สุดในอุตสาหกรรมโดยสายทั้ง 3 ที่อยู่ระหว่างจุดที่วัดกับวงจร จะต้องมีความยาวเท่ากัน และอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอดเพื่อให้ค่าความต้านทาน R_1 , R_2 และ R_3 เปลี่ยนไปในทิศทางเดียวกันด้วยขนาดที่เท่ากัน นั่นคือ

$$\frac{R_T + r_3}{R_3} = \frac{R_1 + r_1}{R_2}$$

เนื่องจาก r_1 เท่ากับ r_3 เพราะฉะนั้นอุณหภูมิที่วัดจึงขึ้นอยู่กับ R_T เพียงตัวเดียว ทำให้ RTD 3 สายมีความถูกต้องสูงกว่า RTD แบบ 2 สาย

4. หน้าจอแสดงผล (LCD Monitor) [19]

การรับ-ส่งข้อมูลแบบ I2C BUS MCU จะทำการส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) เพื่อแสดงการขอใช้บัส แล้วตามด้วย รหัสควบคุม (Control Byte) ซึ่งประกอบด้วย รหัส ประจำตัวอุปกรณ์ Device ID, Device Address และ Mode ในการเขียนหรืออ่านข้อมูล เมื่ออุปกรณ์รับทราบว่า MCU ต้องการจะติดต่อบัส ก็ต้องส่งสถานะรับรู้ (Acknowledge) หรือแจ้งให้ MCU รับรู้ว่าข้อมูลที่ได้ส่งมามีความถูกต้อง และเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่งสถานะสิ้นสุด (STOP Conditions) เพื่อบอกกับอุปกรณ์ว่า สิ้นสุดการใช้บัส



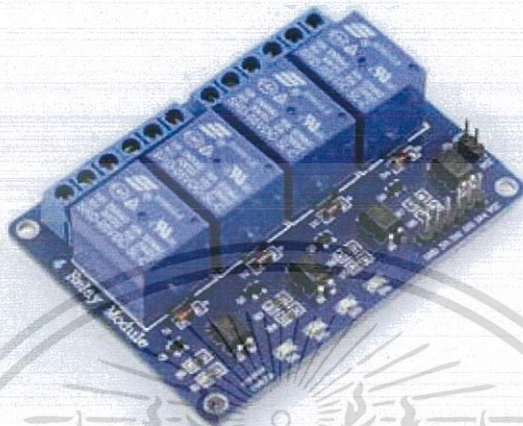
รูปที่ 3.14 รูปแบบการส่งข้อมูลของหน้าจอแบบ I2C

การเชื่อมต่อระหว่าง Microcontroller กับ LCD (I2C) สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง Microcontroller กับ LCD ที่มีบอร์ด I2C อยู่แล้วนั้น การส่งข้อมูลจาก Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วงจรรีเลย์ (Relay Module)

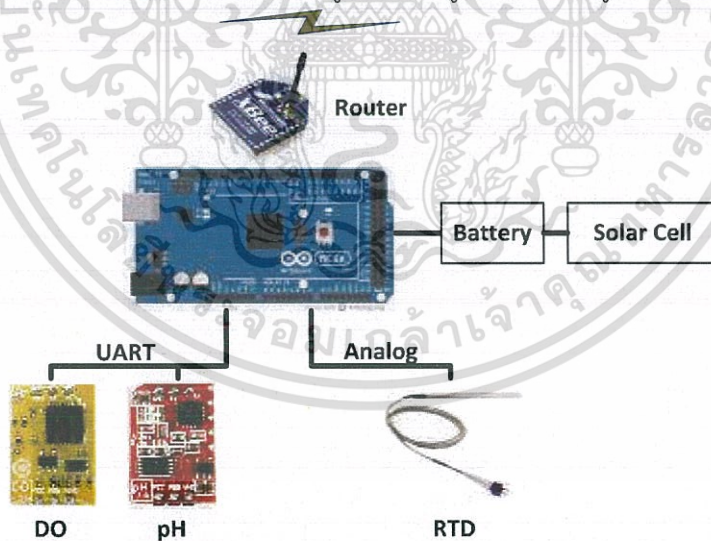
วงจรรีเลย์ที่หน้าทีสำหรับการสั่งการเปิด - ปิด อุปกรณ์ต่างๆที่กำหนด ในระบบ กำหนดให้วงจรรีเลย์ทำงานเป็นอุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปิดหน้าจอสถงผล และสั่งงาน การทำงานของมอเตอร์เพื่อเติมออกซิเจนในน้ำ วงจรรีเลย์นั้นใช้พลังงานจาก Arduino และรับ สัญญาณจากขาปล่อยสัญญาณของ Arduino สามารถทำงานได้ 4 วงจรทำงาน



รูปที่ 3.16 วงจรรีเลย์ [20]

6. XBee

ZigBee เป็นการส่งสัญญาณไร้สาย ในระบบนั้นอุปกรณ์ชนิดนี้เสียบอยู่ทางด้านบน ของตัวควบคุม Arduino ที่ถูกเรียกว่า XBee Shield จะมีเสาส่งสัญญาณเพื่อใช้ในการส่งสัญญาณไป ให้ XBee อีกอัน เพื่อรับคำสั่งสัญญาณและเก็บข้อมูล ซึ่งต่ออยู่กับตัวเก็บข้อมูลหลัก (หน่วยควบคุมหลัก)



รูปที่ 3.17 การเชื่อมต่อของส่วนวัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบหน่วยควบคุมหลัก

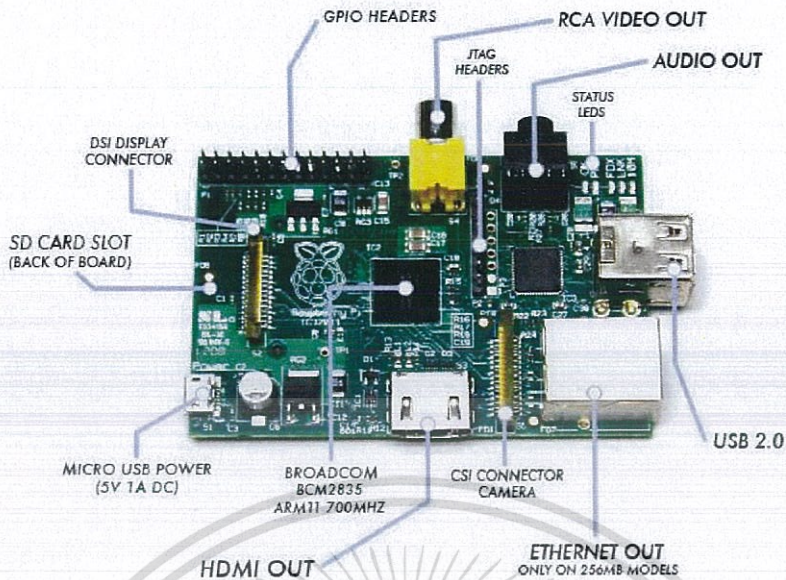
การออกแบบในส่วนของหน่วยควบคุมหลัก นั้น ถูกออกแบบให้เป็นส่วนกลางในการเชื่อมต่อของวงรีข่าย ZigBee เพื่อใช้ในการเก็บค่าการวัดจากหน่วยควบคุมระยะไกล เป็นตัวเก็บข้อมูลหลักเพื่อนำค่าการวัดไปแสดงค่าผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยเชื่อมต่อกับ Router ของผู้ใช้งานผ่านโปรโตคอล Ethernet/IP

ตัวประมวลผลของหน่วยควบคุมหลัก เพื่อเก็บข้อมูลนั้น ใช้ Raspberry Pi บอร์ด Raspberry Pi 2 Model B 1GB เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Single Board Computer: SBC) สามารถเชื่อมต่อกับหน้าจอคอมพิวเตอร์หรือโทรทัศน์ผ่านพอร์ต HDMI เชื่อมต่อกับ USB Mouse/Keyboard เพื่อใช้งานได้เหมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ใช้ทำงานเอกสาร Word Processing, Spreadsheet ใช้เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย Web Browser สามารถเล่นไฟล์มัลติมีเดียต่างๆ ทั้ง Audio และ Video รองรับระบบปฏิบัติการ Linux ต่างๆ เช่น Raspbian (พื้นฐานมาจาก Debian) Snappy Ubuntu Core OpenELEC RaspBMC Pidora (พื้นฐานมาจาก Fedora) RISC OS เป็นต้น [21]

ตารางที่ 3.6 ค่าคุณลักษณะของ บอร์ด Raspberry Pi 2

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"> - USB 2.0 4 Port - Host port Stereo audio out and composite video out via 4-pole 3.5 mm jack (stereo can change to output over HDMI) - 1 x Micro SD Card slot - 1 x 10/100 Mbps Fast Ethernet via RJ-45 - Full-size HDMI port - Camera interface (CSI) - Display interface (DSI) - 40-pin GPIO header (GPIO, UART, I2C, SPI, etc.)
พลังงานขาเข้า (Power Input)	1.8 แอมแปร์ 5 โวลต์ ผ่านสาย Micro USB
ระบบปฏิบัติการ (OS)	Raspbian, Snappy Ubuntu Core, OpenELEC, RaspBMC, Pidora, RISC OS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

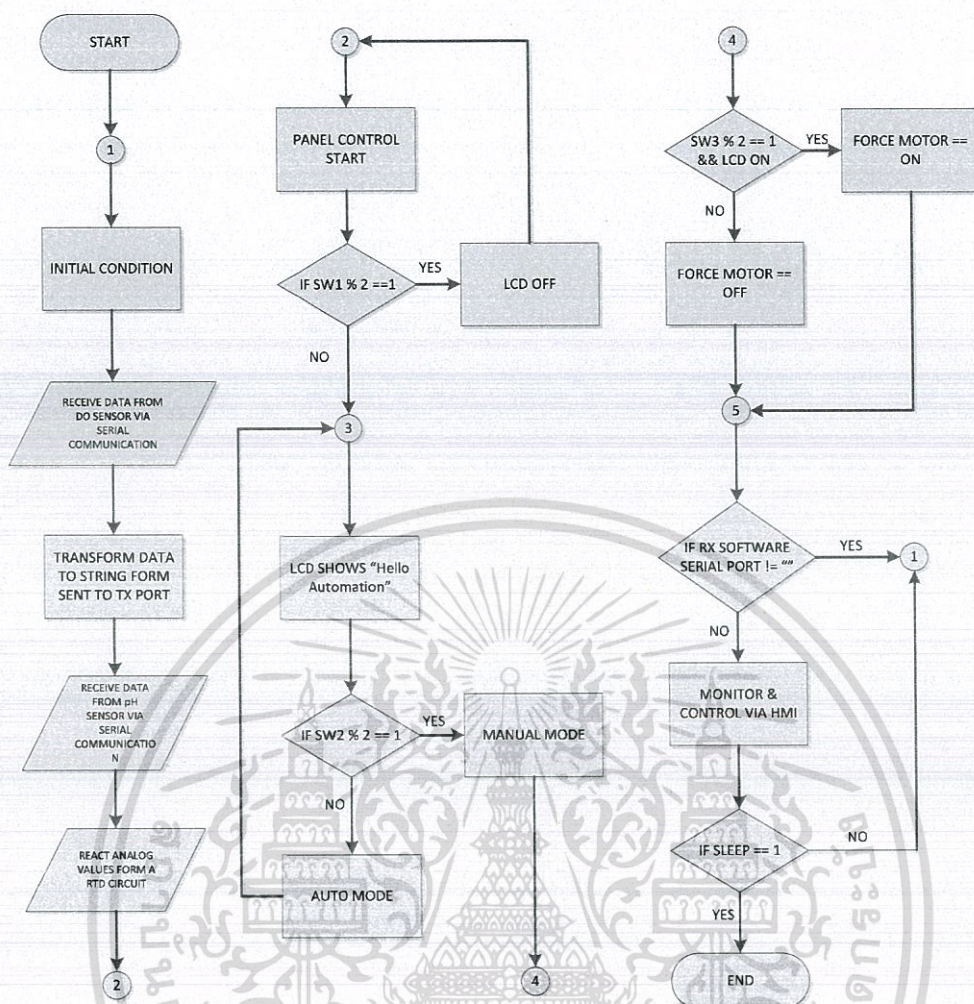


รูปที่ 3.18 บอร์ด Raspberry Pi [22]

3.3 รายละเอียดส่วนของซอฟต์แวร์การทำงานของหน่วยควบคุมระยะไกล

3.3.1 การทำงานของหน่วยควบคุมระยะไกล

การเขียนโปรแกรมการทำงานให้กับ Arduino ต้องมีลำดับขั้นตอนในการทำงาน การอธิบายโปรแกรมการทำงานนั้นนิยมเขียนในรูปของ Flowchart Diagram เนื่องจาก Flowchart Diagram นั้น เป็นผังงานรูปภาพ หรือสัญลักษณ์ที่ใช้อธิบายขั้นตอนในกระบวนการทำงาน แทนคำพูด หรือข้อความ เพราะการนำเสนอขั้นตอนของงานให้เข้าใจตรงกัน ระหว่างผู้เกี่ยวข้อง ด้วยคำพูด หรือข้อความทำได้ยากกว่า



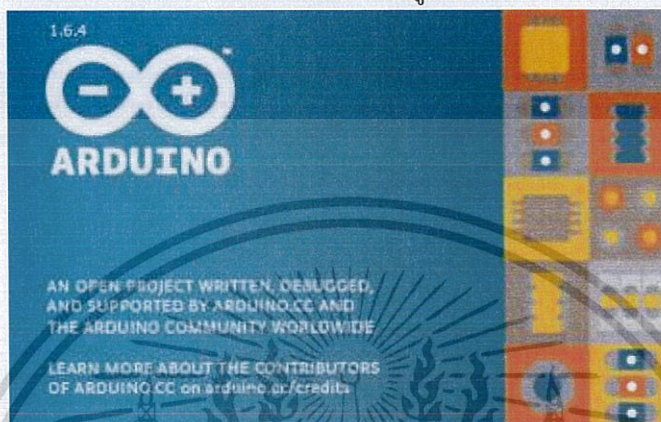
รูปที่ 3.19 Flowchart Diagram แสดงการทำงานของ Arduino

จากรูปที่ 3.4 กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากเข้าสู่เงื่อนไขของกระบวนการจากนั้นระบบจะรับค่าจากการวัดของเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ข้อมูลที่รับมาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบ String และส่งไปที่ขาสัญญาณ Tx จากนั้นรับข้อมูลที่รับมาจากเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบสและค่าอุณหภูมิจาก RTD แผงควบคุมเริ่มทำงาน จากนั้นเข้าสู่เงื่อนไข ถ้าเหตุการณ์การของ SW1 ด้วย 2 มีค่าเท่ากับ 1 ใช่ ให้ปิดหน้าจอแล้วรอการทำงานของแผงควบคุมใหม่ ไม่ใช่ให้แผงควบคุมแสดงคำว่า “Hello Automation” จากนั้นเข้าสู่เงื่อนไข ถ้าเหตุการณ์การของ SW2 มีค่าเท่ากับ 1 ไม่ใช่ให้แผงควบคุมเลือก Auto Mode ใช่ระบบจะเลือกการทำงานเป็น Manual Mode จากนั้นให้หน้าจอแสดงผลทำงาน และเข้าสู่เงื่อนไข ถ้าเหตุการณ์การของ SW3 ด้วย 2 มีค่าเท่ากับ 1 ใช่ ให้มอเตอร์ทำงาน ไม่ใช่ ให้มอเตอร์หยุดทำงาน จากนั้นเข้าสู่เงื่อนไข ถ้าขาสัญญาณ Rx ไม่เท่ากับ “ ” ใช่ให้แผงควบคุมเริ่มทำงานและทำตามกระบวนการต่อมา ไม่ใช่ แสดงค่าการทำงานและควบคุมผ่าน HMI จากนั้นเข้าสู่เงื่อนไขสุดท้าย ถ้าตัวแปร SLEEP มีค่าเท่ากับ 1 ไม่ใช่ ให้เริ่มกระบวนการและทำตามกระบวนการต่อมา ใช่ ให้จบการทำงาน

3.3.1.1 โปรแกรมที่ใช้ในหน่วยควบคุมระยะไกล

1. โปรแกรม Arduino IDE [23]

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

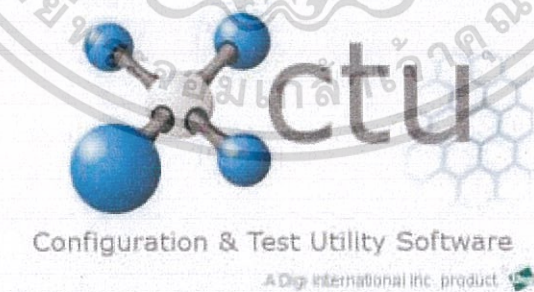


รูปที่ 3.20 โปรแกรม Arduino IDE

2. โปรแกรม XCTU [24]

โปรแกรม XCTU คือรูปแบบแอปพลิเคชันอิสระถูกออกแบบมาเพื่อพัฒนาปฏิสัมพันธ์กับ โมดูล Digi RF ผ่านหน้าจอกราฟิกที่ใช้งานง่าย มันรวมอุปกรณ์ที่ติดตั้งง่ายเข้าไปด้วยการแก้ไขและทดสอบ โมดูล XBee RF

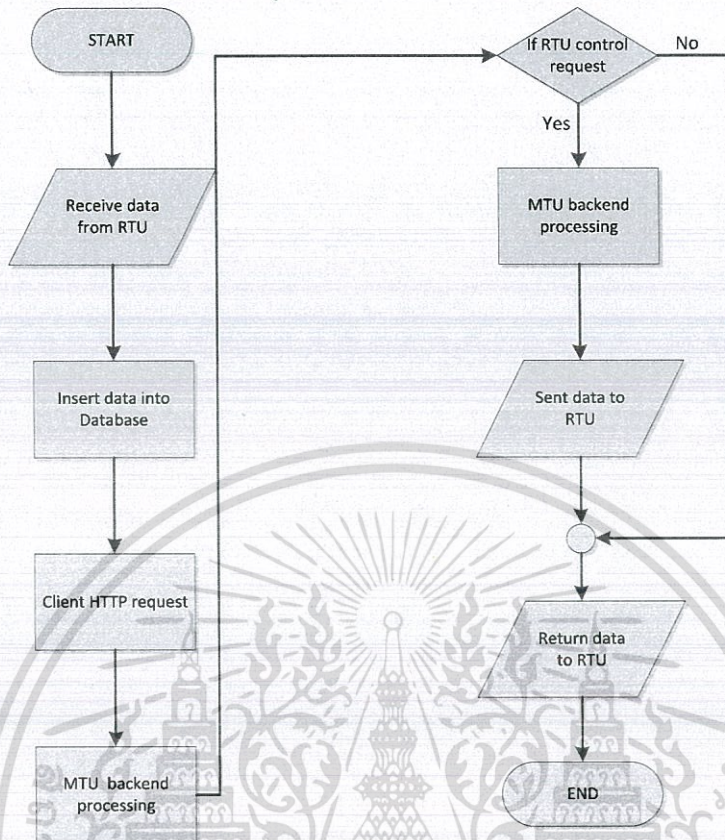
โปรแกรม XCTU รวมทุกเครื่องที่ผู้พัฒนาต้องการใช้ได้รวดเร็วและใช้งานกับ XBee ลักษณะพิเศษเหมือนกับระบบกราฟิก ซึ่งกราฟิกหมายถึงเครือข่าย XBee พร้อมกับคุณภาพของสัญญาณแต่ละการเชื่อมต่อและกรอบ API ประกอบขึ้นเพื่อพัฒนารูปแบบ XBee ให้ใช้งานง่ายขึ้น



รูปที่ 3.21 โปรแกรม XCTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทำงานของหน่วยควบคุมหลัก



รูปที่ 3.22 Flowchart Diagram แสดงโปรแกรมการทำงานของหน่วยควบคุมหลัก

จากรูปที่ 3.21 กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากรับข้อมูลจากผู้ควบคุมส่งเข้ามาที่ฐานข้อมูล จากนั้นเมื่อมีการร้องขอข้อมูลจากผู้ใช้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ตัว Raspberry Pi ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลหลักของหน่วยควบคุมหลัก จะทำการประมวลผลว่า ถ้าผู้ใช้ต้องการควบคุมสัญญาณส่งค่า Output ระบบจะส่งค่าไป หน่วยควบคุมระยะไกล ถ้าไม่ใช่ให้ระบบแสดงค่าข้อมูลต่างๆ ให้กับผู้ใช้ จากนั้นจบการทำงาน

3.3.2.1 โปรแกรมทำงานส่วนของหน่วยควบคุมหลัก

1. โปรแกรม Apache [25]

Apache คือ Web หน่วยควบคุมหลัก พัฒนามาจาก HTTPD Web หน่วยควบคุมหลัก โดยเจ้า Apache นี้จะทำหน้าที่ในการจัดเก็บ Homepage และส่ง Homepage ไปยัง Browser ที่มีการเรียกเข้า ยัง Web หน่วยควบคุมหลัก ที่เก็บ Homepage นั้นอยู่ ซึ่งปัจจุบันจัดได้ว่า เป็น web หน่วยควบคุมหลัก ที่มี ความน่าเชื่อถือมาก เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลก อีกทั้ง โปรแกรม Apache ยังเป็นซอฟต์แวร์ แบบ Open Source ที่เปิดให้บุคคลทั่วไปสามารถเข้ามาร่วมพัฒนาส่วนต่างๆ ของโปรแกรม Apache ได้ ซึ่งทำให้เกิดเป็นโมดูลที่เกิดประโยชน์มากมาย เช่น mod_perl, mod_python หรือ mod_php และทำงานร่วมกับภาษาอื่นได้ แทนที่จะเป็นเพียง เซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการเพียงแค่ HTML อย่างเดียว โดยสามารถหา Download ได้จาก website www.apache.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้โปรแกรม Apache เองยังมีความสามารถอื่นๆ ด้วย เช่น การยืนยันตัวตนบุคคล (mod_auth, mod_access, mod_digest) หรือเพิ่มความปลอดภัยในการสื่อสารผ่าน โพรโตคอล https (mod_ssl) และยังมีโมดูลอื่นๆ ที่ได้รับความนิยมใช้ เช่น mod_vhost ทำให้สามารถสร้างโฮสเสมือน ภายในเครื่องเดียวกันได้ หรือ mod_rewrite ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้ url ของเว็บนั้นอ่านง่ายขึ้น

APACHE 2.2



รูปที่ 3.23 โปรแกรม Apache 2.2

2. โปรแกรม My SQL [26]

MySQL คือ โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล ที่พัฒนาโดยบริษัท MySQL AB มีหน้าที่เก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบรองรับคำสั่ง SQL เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องใช้ร่วมกับเครื่องมือหรือโปรแกรมอื่นอย่างบูรณาการ เพื่อให้ได้ระบบงานที่รองรับความต้องการของผู้ใช้ เช่นทำงานร่วมกับเครื่องบริการเว็บ (Web หน่วยควบคุมหลัก) เพื่อให้บริการแก่ภาษาสคริปต์ที่ทำงานฝั่งเครื่องบริการ (หน่วยควบคุมหลัก-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 3.24 โปรแกรม My SQL

3. โปรแกรม phpMyAdmin [27]

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

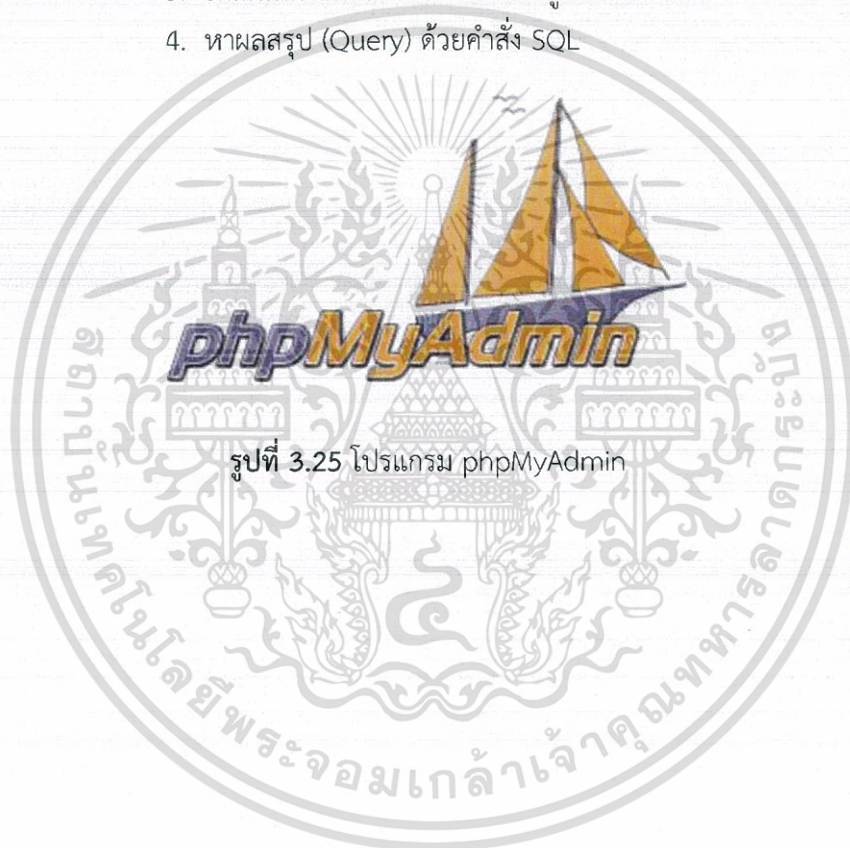
phpMyAdmin เป็นส่วนต่อประสานที่สร้างโดยภาษา php ซึ่งใช้จัดการฐานข้อมูล MySQL ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยสามารถที่จะทำการสร้างฐานข้อมูลใหม่ หรือทำการสร้าง TABLE ใหม่ๆ และยังมีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการทดสอบการ query ข้อมูลด้วยภาษา SQL พร้อมกันนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังสามารถทำการ insert delete update หรือแม้กระทั่งใช้ คำสั่งต่างๆ เหมือนกับกับการใช้ภาษา SQL ในการสร้างตารางข้อมูล

phpMyAdmin เป็นโปรแกรมประเภท MySQL Client ตัวหนึ่งที่ใช้ในการจัดการข้อมูล MySQL ผ่านweb browser ได้โดยตรง phpMyAdmin ตัวนี้จะทำงานบน Web หน่วยควบคุมหลัก เป็น PHP Application ที่ใช้ควบคุมจัดการ MySQL หน่วยควบคุมหลัก 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 3.25 โปรแกรม phpMyAdmin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

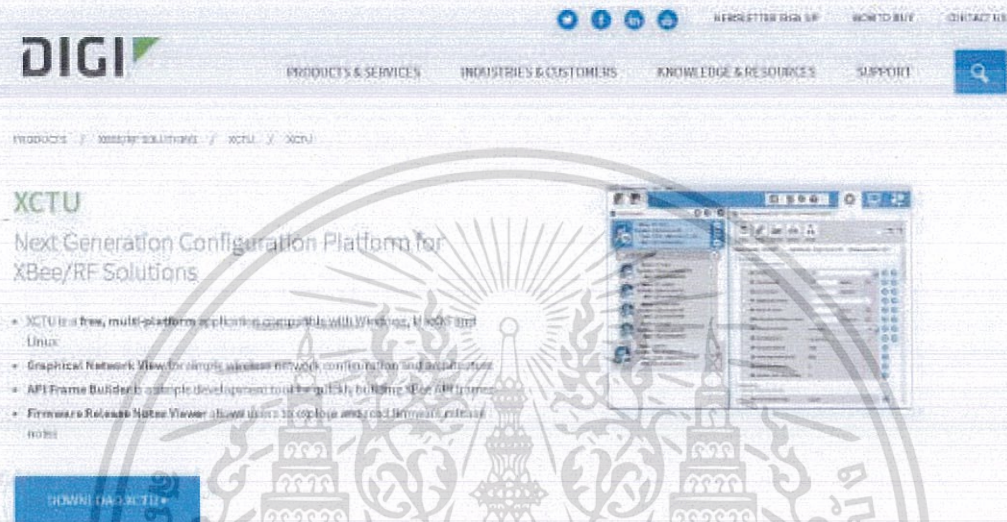
3.4 รายละเอียดการเขียนโปรแกรม

3.4.1 โปรแกรมในส่วนของการสื่อสาร

โปรแกรมการสื่อสารจะศึกษาในส่วนของ ZigBee ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักในระบบที่ใช้ส่งสัญญาณระหว่าง หน่วยควบคุมหลัก และ หน่วยควบคุมระยะไกล

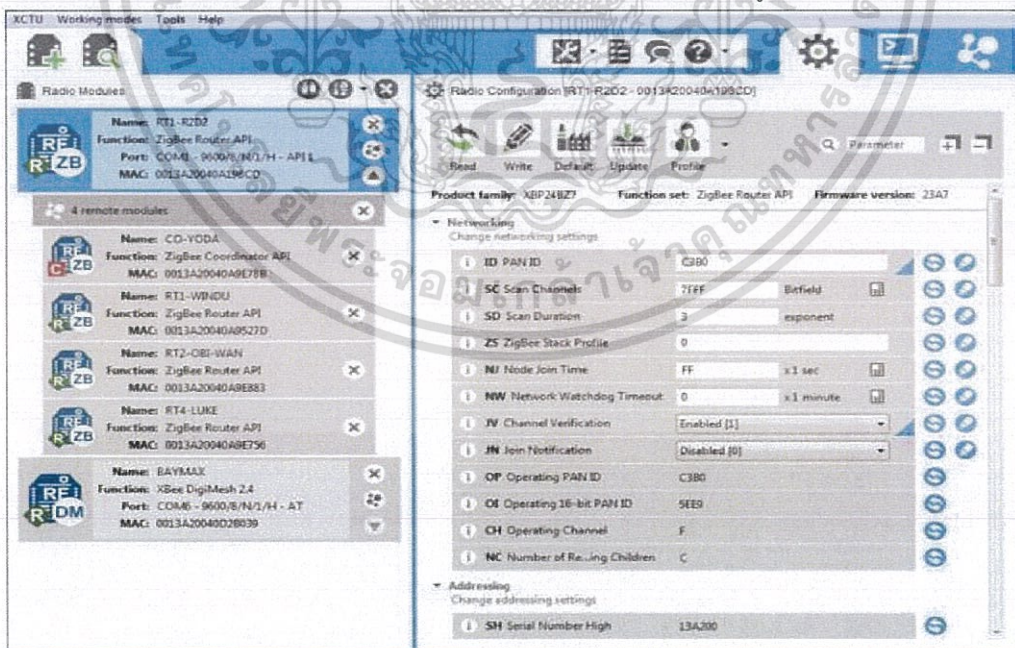
1. ศึกษากระบวนการสื่อสารและทำการตั้งค่าเครือข่ายด้วยโปรแกรม XCTU ซึ่งสามารถ download check!!!

ได้ที่ <http://www.digi.com/products/XBee-rf-solutions/xctu-software/xctu>



รูปที่ 3.26 หน้าต่างเว็บเบราว์เซอร์ของโปรแกรม XCTU

2. เข้าโปรแกรม XCTU เมื่อทำการดาวน์โหลด และติดตั้งสมบูรณ์



รูปที่ 3.27 หน้าต่างของโปรแกรม XCTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำ XBee Module ต่อเข้ากับ XBee USB Dongle



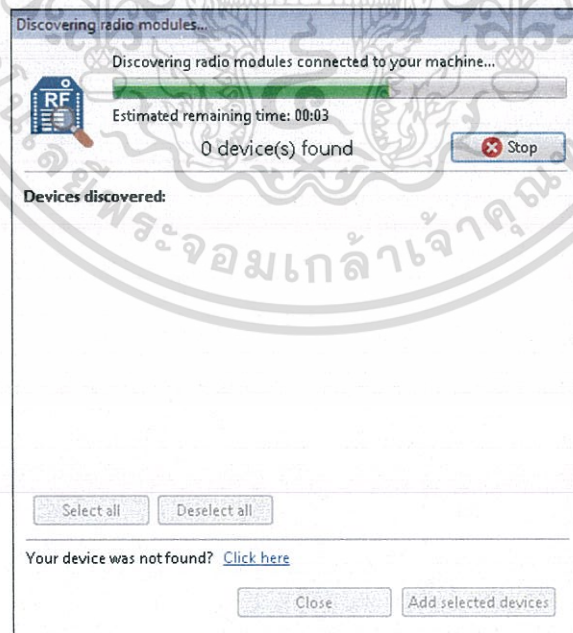
รูปที่ 3.28 การต่อ XBee เพื่อเตรียมการแก้ไขข้อมูล [28]

4. คลิกที่ Add devices หรือ Discover devices เพื่อทำการค้นหา XBee Module



รูปที่ 3.29 ขั้นตอนที่ 4.

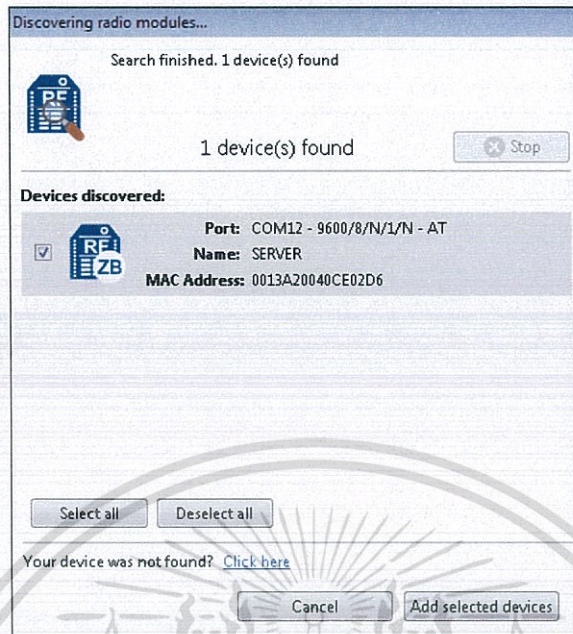
5. เมื่อการค้นหา XBee Module แล้ว กด Next เพื่อทำงานต่อ



รูปที่ 3.30 ขั้นตอนที่ 5.

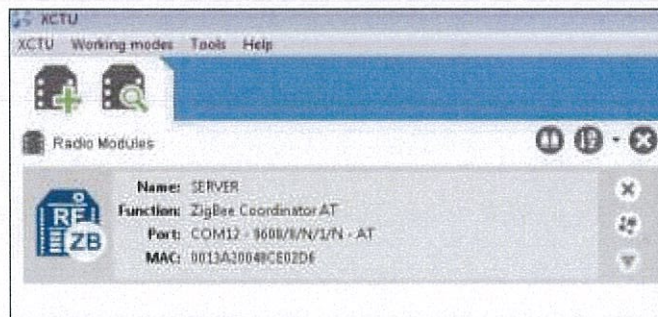
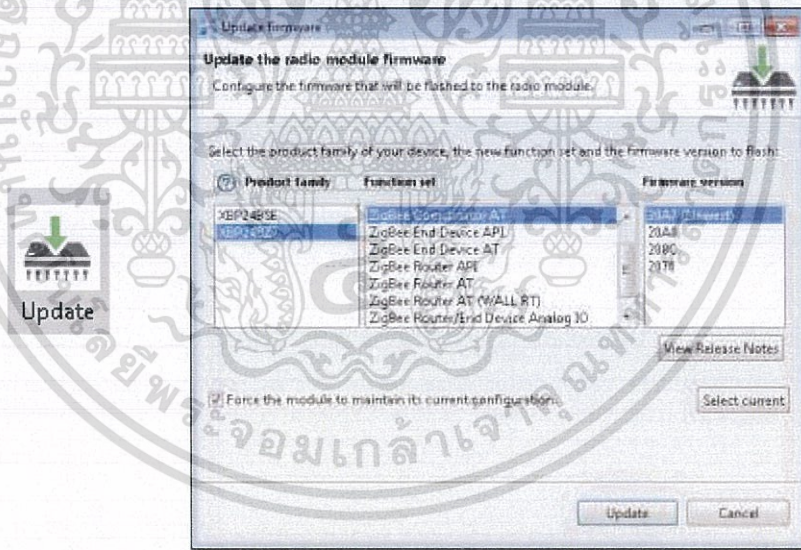
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อพบ XBee Module แล้ว จากนั้นกด Add Selected Devices



รูปที่ 3.31 ขั้นตอนที่ 6.

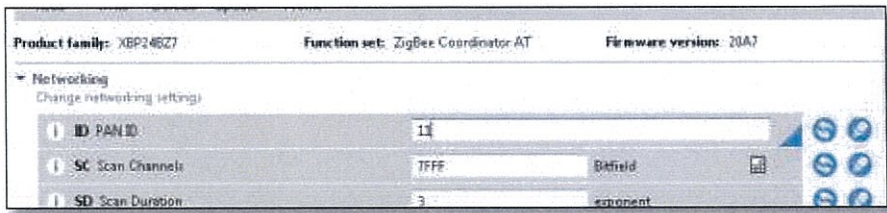
7. กดที่ Update ในตัวแรกจะตั้งค่าให้เป็น Coordinator



รูปที่ 3.32 หน้าต่างขณะเลือก ZigBee Coordinator สำเร็จ

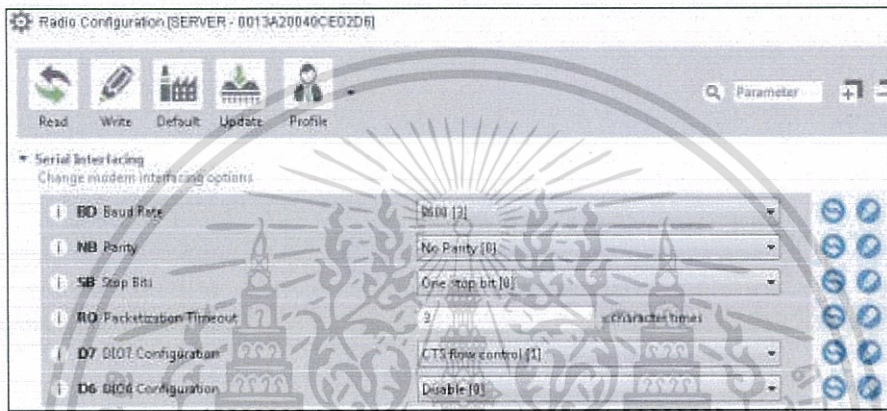
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการตั้งค่า PAN ID ให้ตรงกันทุกตัว ในกรณีที่ใช้ XBee Module หลายตัว



รูปที่ 3.33 ทำการแก้ไขข้อมูลของ XBee Module

9. โดยปกติการตั้งค่า Serial Interfacing ก็เพียงพอต่อการทำงานของระบบเครือข่ายส่วนบุคคล



รูปที่ 3.34 ตั้งค่า Serial Interfacing

3.4.2 โปรแกรมในส่วนของหน่วยควบคุมระยะไกล

โปรแกรมการทำงานของ หน่วยควบคุมระยะไกล ใช้ระบบปฏิบัติการ Window ส่วนใหญ่จะใช้งานเพื่อควบคุมคำสั่งไปที่ Arduino ซึ่งเป็นตัวควบคุมให้กับระบบ

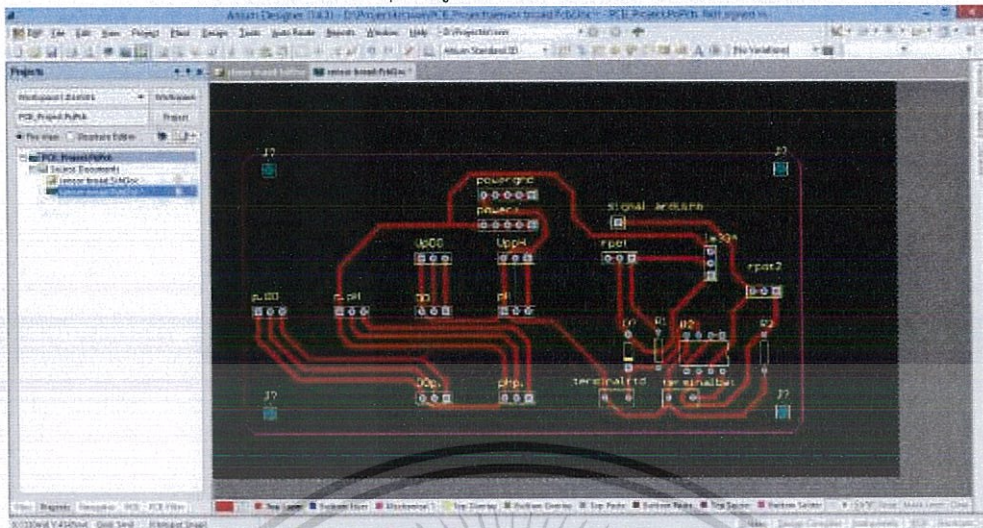
1. เขียน Flowchart Diagram (อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.1.3)
2. ศึกษาข้อมูลของเซนเซอร์จากเอกสารประกอบการใช้งาน



รูปที่ 3.35 ตำแหน่งการดาวน์โหลดเอกสารประกอบการใช้งาน [2], [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

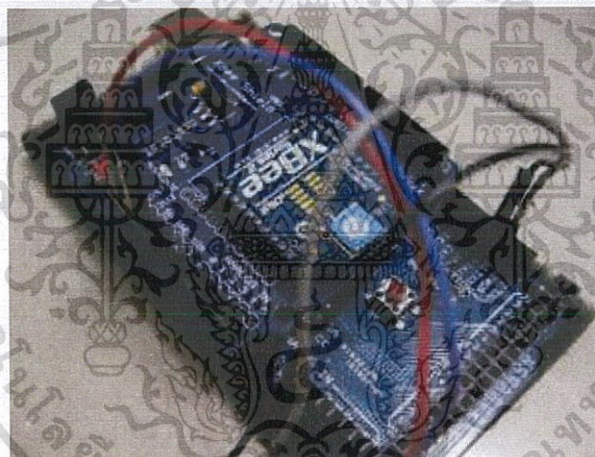
3. ออกแบบวงจรเซนเซอร์อุณหภูมิ (RTD : pt1000) และทำแผ่น pcb



รูปที่ 3.36 การออกแบบวงจรรวมเซนเซอร์

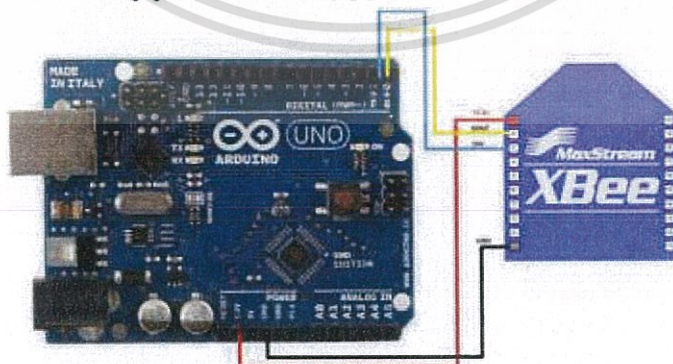
4. นำ XBee Module ที่ได้ทำการตั้งค่าข้อมูลไว้ มาเชื่อมต่อกับ MCU ผ่าน XBee

Shield



รูปที่ 3.37 การติดตั้ง XBee Module [29]

5. การเลือกขาสัญญาณ Tx และ Rx ตามข้อกำหนดของ XBee Shield

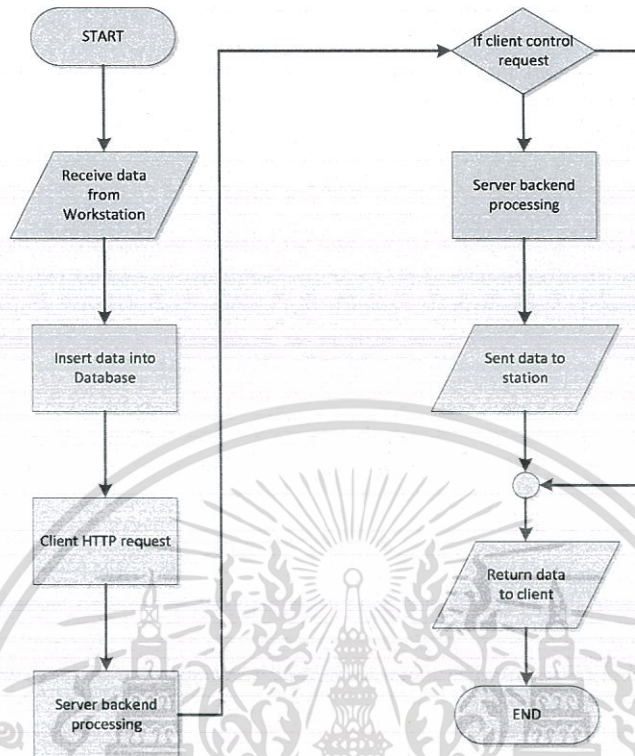


รูปที่ 3.38 การเชื่อมต่อขาสัญญาณ Tx และ Rx [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 โปรแกรมในส่วนของหน่วยควบคุมหลัก

1. เขียน Flowchart Diagram

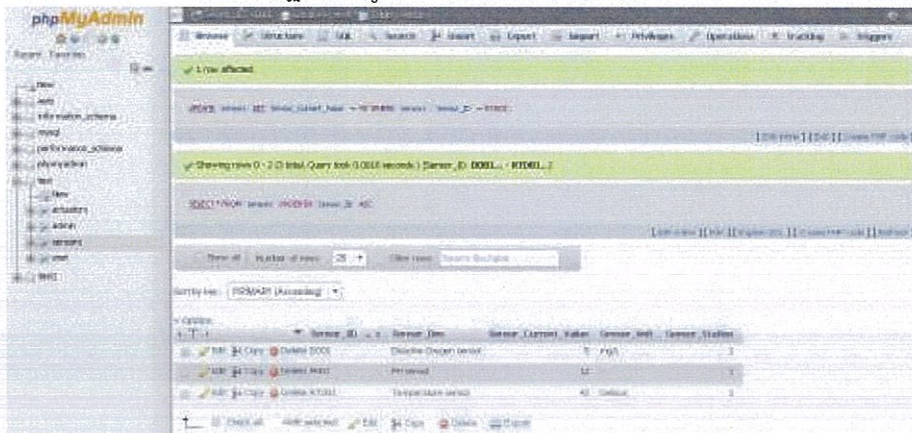


รูปที่ 3.41 Flowchart Diagram แสดงการทำงานของหน่วยควบคุมหลัก

จากรูปที่ 3.25 กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากแต่ละหน่วยควบคุมระยะไกลทำงาน ให้ส่งข้อมูลไปที่หน่วยควบคุมหลัก ผ่าน IEEE 802.15.4 โดย ZigBee และเก็บข้อมูลใน Raspberry Pi เมื่อเก็บข้อมูลแล้ว สามารถที่จะเข้าชมข้อมูลการวัด และสามารถควบคุมระบบการเปิดปิดการเติมออกซิเจนในน้ำได้ จบกระบวนการ

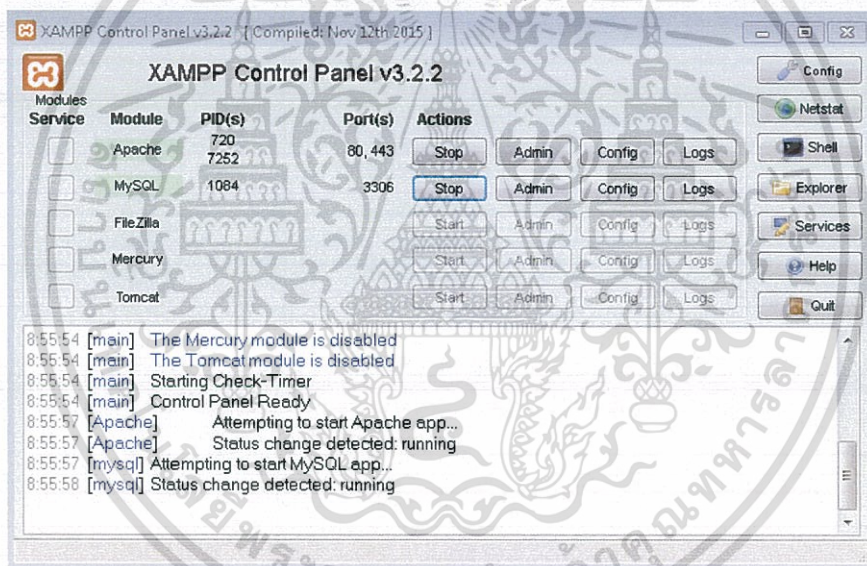
2. สร้าง ER Model เพื่อเป็นแบบแผนในการเก็บข้อมูล
3. ศึกษาข้อมูลการเขียนภาษา Python

4. ทำการสร้างระบบฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม phpMyAdmin เพื่อจัดการกับ MySQL



รูปที่ 3.42 โปรแกรม phpMyAdmin ขณะทำงาน

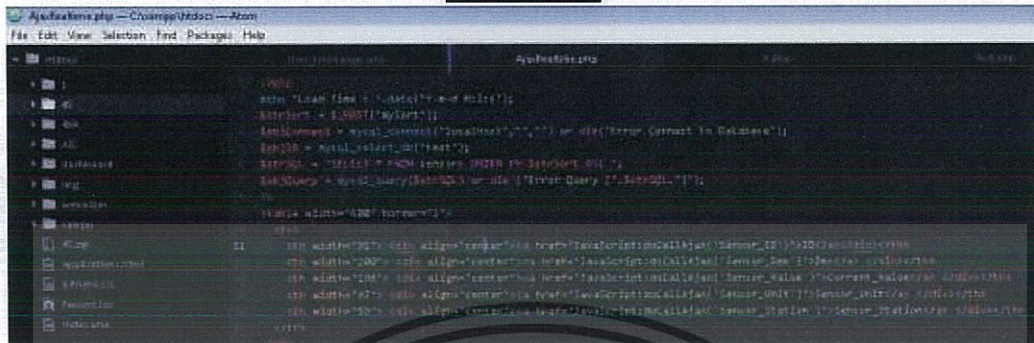
5. ใช้โปรแกรม Xampp ในการจำลองหน่วยควบคุมหลัก เพื่อใช้ในการเขียนเว็บไซต์ สำหรับให้ client เข้าถึงนั้นใช้ Windows PC เป็นตัวช่วยเขียนเพราะสะดวกกว่าเขียนใน Linux



รูปที่ 3.43 โปรแกรม Xampp ขณะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ใช้โปรแกรม Atom เป็นเครื่องมือแก้ไขข้อความ



รูปที่ 3.44 Shortcut และหน้าต่างขณะทำงานของโปรแกรม Atom

7. นำไฟล์สำหรับเว็บไซต์ หน่วยควบคุมหลัก ย้ายไปที่ Raspberry Pi ในโฟลเดอร์ Root Directory/var/www/html และทำการกำหนดสิทธิ์ของไฟล์ให้เรียบร้อย ด้วยคำสั่ง `chmod +rx` ตามด้วยชื่อและนามสกุลไฟล์



รูปที่ 3.45 หน้าต่างการอธิบายการทำงานข้อ 7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะทำการทดลองการส่งข้อมูลของระบบ การส่งค่าการวัดจากเซนเซอร์ 3 ชนิด ประกอบไปด้วย เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเบส เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ชนิด RTD จากหน่วยควบคุมระยะไกล ไปยังหน่วยควบคุมหลัก โดยใช้การสื่อสารผ่านโปรโตคอล ZigBee การทดลองดังกล่าวเป็นการทดสอบการทำงานของระบบว่าระบบที่นำเสนอนั้น มีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลในระยะไกลสูงสุดเท่าใดในพื้นที่กลางแจ้ง

4.1.1 วิธีการทำการทดลอง

นำหน่วยควบคุมหลัก ที่ออกแบบติดตั้งอยู่ในพื้นที่ที่กำหนด จากนั้นนำหน่วยควบคุมระยะไกล ไปติดตั้งในพื้นที่กลางแจ้งที่ระยะต่างกัน โดยเริ่มต้นที่ 100 เมตร จนถึงระยะที่ไกลที่สุดที่ระบบไม่สามารถทำงานได้ และเก็บข้อมูลในการทดลองว่าที่ระยะต่าง ๆ นั้น มีความเสถียรของระบบหรือไม่ โดยเพิ่มระยะครั้งละ 100 เมตร ค่าการวัดที่ได้นั้นจะเปรียบเทียบระหว่างหน่วยควบคุมระยะไกล และหน่วยควบคุมหลัก

ระยะทางที่วัดใช้การประมาณ คลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 เมตร และเป็นระยะทางกระจัด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการส่งข้อมูลที่ระยะต่างกัน

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

4.2 สรุปผลการทดลอง

การส่งข้อมูลของระบบมีความเสถียรในการส่งข้อมูลระยะไกลมากที่สุด 800 เมตรโดยประมาณ ในระยะที่ทำการทดลองนั้น เป็นพื้นที่โล่งไม่มีวัตถุขนาดใหญ่ หรือมีความหนาแน่นมากมาบดบังการส่งสัญญาณของ ZigBee ทำให้ระบบนั้นสามารถใช้งานได้ดีในพื้นที่โล่ง และกลางแจ้งตามการออกแบบที่ต้องการ สัญญาณของข้อมูลในระยะที่ไกลนั้นจะมีความช้ามากกว่าการส่งข้อมูลในระยะใกล้ เนื่องจาก ZigBee เป็นการใช้คลื่นวิทยุในการส่งข้อมูล ระยะทางและความถี่ในการส่งและรับข้อมูลจึงมีผลต่อระบบ

จากผลการทดลองการนำระบบไปใช้งานในพื้นที่กลางแจ้งนั้น สามารถส่งข้อมูลได้ที่ระยะไกลสุด 800 เมตรระหว่างหน่วยควบคุมระยะไกล กับหน่วยควบคุมหลัก ระยะที่แนะนำในการนำระบบไปใช้งานคือที่ระยะ 500 เมตร เนื่องจากเป็นระยะที่ไกล และมีความถี่เสถียรในการส่งข้อมูล ระยะที่เกิน 800 เมตรไปนั้น การส่งข้อมูลของ ZigBee จะขาดหายไป ดังนั้นไม่ควรนำระบบไปใช้งานในระยะดังกล่าว



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การทำปฏิญาณนิพนธ์นี้ต้องมีความรู้หลายด้านประกอบกัน ได้แก่ การใช้โปรแกรม Arduino, ZigBee, Raspberry pi และ ความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงความรู้ในการทำฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการทำระบบตรวจวัดค่าแบบเวลาจริง โดยใช้ ZigBee สำหรับการติดตั้งใช้งานในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่า ระบบที่นำเสนอสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ โดยระยะการสื่อสารสูงสุดอยู่ที่ระยะประมาณ 500 เมตร

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. สายส่งสัญญาณที่มีข้อจำกัดของความยาว ทำให้การวัดค่ามีข้อจำกัดในการส่งสัญญาณ
2. อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการทำงานและจากปัจจัยภายนอก ส่งผลให้ตัวควบคุมมีความร้อนที่มากเกินไป และอาจทำให้ตัวควบคุมทำงานล้มเหลวได้
3. การแสดงข้อมูลระหว่างค่าที่วัดได้กับการแสดงผลไม่มี HMI โดยตรงจึงต้อง สร้าง HMI ขึ้นมาเองโดยดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาใช้งานทำให้หน้าเว็บไซต์
4. เมื่อรวมระบบเข้าด้วยกันทำให้เกิดปัญหาโดยรวม ส่งผลให้มีค่าผิดพลาดและการทำงานเพิ่มขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มเสาที่ 2 เพื่อใช้ในการวัดค่าในสถานที่ทำการทดลองได้อย่างทั่วถึงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
2. สามารถดูค่าการวัดย้อนหลังได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์
3. ข้อจำกัดทางด้านความจำของ Raspberry Pi ที่ใช้เป็นตัวเก็บข้อมูล ที่ไม่สามารถเก็บค่าการวัดแบบต่อเนื่องได้ยาวนาน เนื่องจากหน่วยความจำที่น้อย สามารถเลือกใช้ตัวประมวลผลอื่น หรือใช้อัฒราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม
4. เพิ่มค่าการสั่ง Output ไปยังระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] “การวัดค่าออกซิเจน.” [online]. Available
from : <http://www.scienceanalys.com/index.php?lite=article&qid=41934738>
- [2] “EZO DO sensor.” [online]. Available
from : <http://www.atlas-scientific.com/dissolved-oxygen.html>
- [3] “EZO pH sensor.” [online]. Available
from : <http://www.atlas-scientific.com/ph.html>
- [4] “หลักการการทำงานของ RTD.” [online]. Available
from : <http://ins-rayong.blogspot.com/2010/09/resistance-temperature-detectors-rtd.html>
- [5] “RTD.” [online]. Available
from : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4260/rtd-อาร์ทีดี>
- [6] “สมการ RTD.” [online]. Available
from : <http://www.tic.co.th/index.php?op=tips-detail&id=131>
- [7] “ไมโครโปรเซสเซอร์.” [online]. Available
from : http://www.kknic.ac.th/~kkvisart_poon/Webpage/wachira/htdoc/less_1/Micro%20and%20prosess.pdf
- [8] “หลักการของ Arduino.” [online]. Available
from : <http://www.ioxhop.com/article/arduino-ตอนที่-1-arduino-คืออะไร>
- [9] “หลักการของ Arduino.” [online]. Available
from : <http://www.123microcontroller.com/Basic-Microcontroller-Programming/Comparison-Arduino-Plateform-with-other-MCU>
- [10] วณพันธ์ วิญูฒิ “ระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างผ่านเครือข่ายไร้สายอัตราต่ำ.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- [11] “เซลล์แสงอาทิตย์.” [online]. Available
from : <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>
- [12] “หลักการของแบตเตอรี่.” [online]. Available
from : [http://www.diy-solarcell.com/สาระน่ารู้พลังงาน\(ความหมายของพลังงาน\)แบตเตอรี่\(Battery\).html](http://www.diy-solarcell.com/สาระน่ารู้พลังงาน(ความหมายของพลังงาน)แบตเตอรี่(Battery).html)
- [13] “หลักการของแบตเตอรี่.” [online]. Available
from : <http://forum.munkonggadget.com/detail.php?id=9698>
- [14] “Ethernet Protocol.” [online]. Available
from : <https://thaicontrol.wordpress.com/2014/04/27/ethernet-network/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] “Ethernet Topology.” [online]. Available
from : <http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/Tik110.551/1999/papers/07ATMvsEthernet/iworkpaper.html>
- [16] “Solar charger.” [online]. Available
from : <http://www.thaisolarsystem.com/product/15/>
- [17] “Arduino MEGA 2560.” [online]. Available
from : <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- [18] “RTD 3 สาย.” [online]. Available
from : <https://www.pololu.com/product/1699>
- [19] “หลักการ LCD I2C.” [online]. Available
from : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/การใช้งาน-character-lcd-display-กับ-arduino-ตอนที่2-รูปแบบการเชื่อมต่อแบบ-i2c.html>
- [20] “relay module.” [online]. Available
from : <http://www.arduitronics.com/product/140/4-channel-relay>
- [21] “Raspberry Pi.” [online]. Available
from : <http://thaieasyelec.com/products/development-boards/raspberry-pi-2-model-b-detail.html>
- [22] “Raspberry Pi.” [online]. Available
from : <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2407058,00.asp>
- [23] “Arduino IDE.” [online]. Available
from : <https://learn.adafruit.com/add-boards-arduino-v164/overview>
- [24] “XCTU.” [online]. Available
from : <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>
- [25] “Apache 2.2.” [online]. Available
from : <http://garywoodfine.com/install-apache-web-server-on-ubuntu-desktop/>
- [26] “My SQL.” [online]. Available
from : <https://en.wikipedia.org/wiki/File:MySQL.svg>
- [27] “phpMyAdmin.” [online]. Available
from : <https://www.phpmyadmin.net/>
- [28] “XBee Connection.” [online]. Available
from : <http://www.roocketscream.com/blog/product/xbee-explorer-usb/>
- [29] “XBee Wiring.” [online]. Available
from : http://sinocgtchen.blogspot.com/2011_11_01_archive.html

- [30] “XBee to Arduino Wiring.” [online]. Available from : <https://github.com/ibr-alg/wiselib/wiki/Example-MQTTSN-network-%28Raspberry-Pi-and-Arduino%29>
- [31] J. Amphawan. **Electronic Circuit 2**. Bangkok : King Mongkut's institute of technology Ladkrabang publisher.
- [32] S. Charnchai. **Create Application PHP MySQL + AJAX jQuery**. Bangkok : reviva.



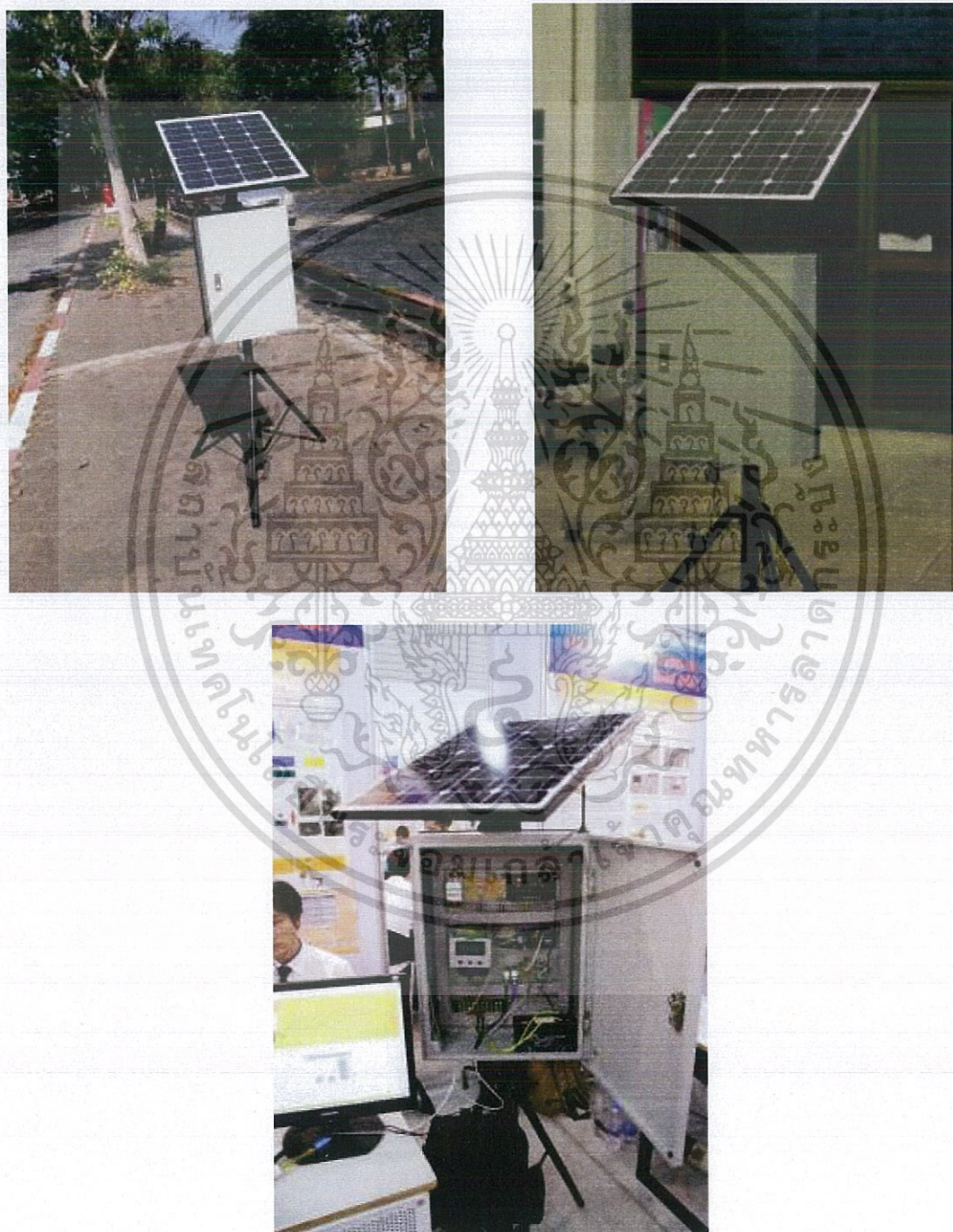
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก - ก.
ส่วนประกอบของระบบ

1. Workstation



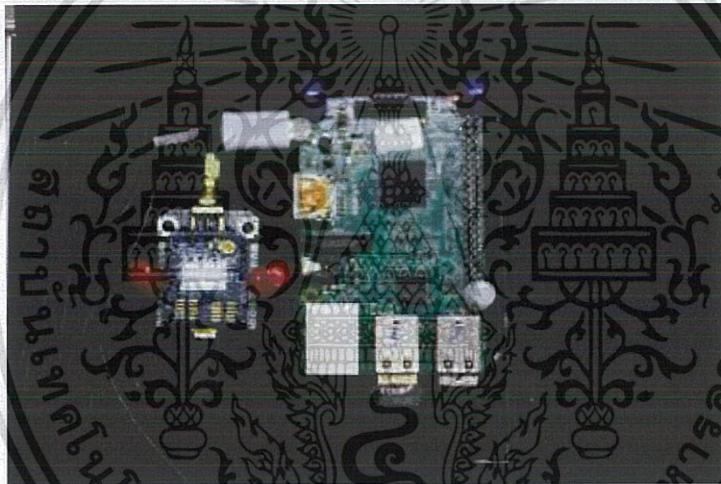
รูปที่ 1 Workstation และภาพภายใน Workstation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Server



รูปที่ 3 Server ขณะทำงาน




รูปที่ 4 ภายในกล่อง Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก - ข.

เอกสารประกอบอุปกรณ์ (Datasheet)

1. Dissolved Oxygen



AtlasScientific™

Environmental Robotics

Dissolved Oxygen Circuit

EZO™

EZO™ class embedded Dissolved Oxygen circuit

Features

Reads

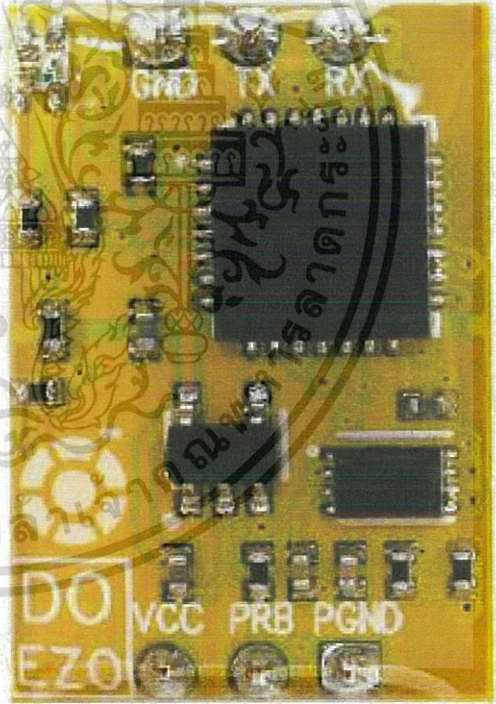
- Full range dissolved oxygen readings from 0.01 to +35.99 mg/L
- Accurate dissolved oxygen readings down to the hundredths place (+/- 0.2)
- Temperature compensation
- Salinity compensation
- Pressure compensation
- Flexible calibration protocol supports one point or two calibration
- Calibration required only once per year with an Atlas Scientific™ D.O. probe
- Single reading or continuous reading modes
- **Data format is ASCII**


Two data protocols

- UART asynchronous serial connectivity (RX/TX voltage swing 0-VCC)
- I²C (default I²C address 0x61)
- Compatible with any microprocessor that supports UART, or I²C protocol
- Operating voltage: 3.3V to 5V
- Works with any off-the-shelf galvanic HDPE dissolved oxygen probe

Sleep mode power consumption


- 0.995mA at 3.3V





Description

The Atlas Scientific™ EZO™ class embedded D.O. circuit, is our 6th generation embedded dissolved oxygen circuit. This EZO class D.O. circuit, offers the highest level of stability and accuracy. With proper configuration the EZO class D.O. circuit, can meet, or exceed the accuracy and precision found in most bench top laboratory grade dissolved oxygen meters. The EZO™ D.O. circuit, can work with any off-the-shelf galvanic HDPE dissolved oxygen probe/sensor/electrode. This device reads the D.O. from a D.O. probe/sensor/electrode. This device does not include a D.O. probe/sensor/electrode.



Atlas-Scientific.com

Copyright © Atlas Scientific LLC All Rights Reserved 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. pH Sensor

AtlasScientific
Biology • Technology

ph Stamp

Hardware V3.0

Firmware V3.4

Micro footprint pH monitoring subsystem

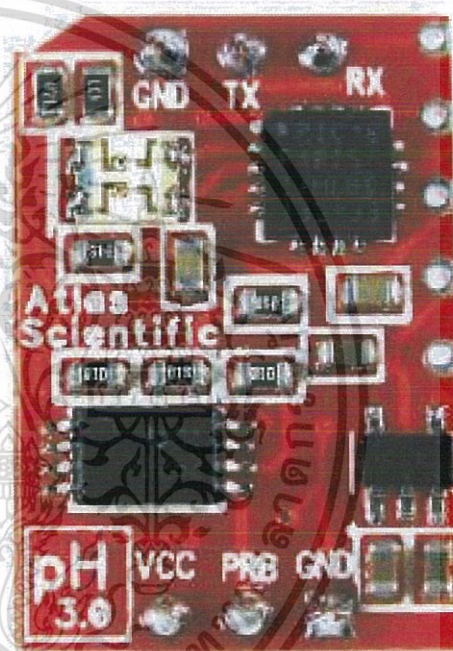
Features

- Full range pH reading from .01 to 14.00
- Accuracy within two significant figures (XX.XX)
- Single reading or continuous reading modes
- Temperature dependent or independent readings
- Simple calibration protocol
- Simple RS-232 connectivity (voltage swing 0-VCC)
- Simple instruction set consisting of only 11 commands
- Micro footprint circuitry
- Debugging LED's
- 2.5V to 5.5V operational voltage
- Low power consumption

1.6 mA at 3.3V in active mode*

0.7 mA at 3.3V in quiescent mode*

*LED's off



Description

The pH-Stamp is a highly compact pH monitoring system that fits into any breadboard. This design configuration allows the user to accurately monitor pH without having to add any additional circuitry or components to your design. Communication with the pH-Stamp is done using only 11 simple commands. The pH-Stamp provides scientific grade readings to any embedded system that has an RS232 connection interface (voltage swing 0-VCC, not +/- 12 volts).

3. RTD

Platinum resistance temperature sensors Pt100 (Pt1000)



KONGSBERG

Relation Temperature vs. Resistance According to IEC751 / ITS-90

°C ITS-90	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-200	18.52										
-190	22.83	22.40	21.97	21.54	21.11	20.68	20.25	19.82	19.39	18.96	18.52
-180	27.10	26.67	26.24	25.82	25.39	24.97	24.54	24.11	23.68	23.25	22.83
-170	31.34	30.91	30.49	30.07	29.64	29.22	28.80	28.37	27.95	27.52	27.10
-160	35.54	35.12	34.70	34.28	33.86	33.44	33.02	32.60	32.18	31.76	31.34
-150	39.72	39.31	38.89	38.47	38.05	37.64	37.22	36.80	36.38	35.96	35.54
-140	43.88	43.46	43.05	42.63	42.22	41.80	41.39	40.97	40.56	40.14	39.72
-130	48.00	47.59	47.18	46.77	46.36	45.94	45.53	45.12	44.70	44.29	43.88
-120	52.11	51.70	51.29	50.88	50.47	50.06	49.65	49.24	48.83	48.42	48.00
-110	56.19	55.79	55.38	54.97	54.56	54.15	53.75	53.34	52.93	52.52	52.11
-100	60.26	59.85	59.44	59.04	58.63	58.23	57.82	57.41	57.01	56.60	56.19
-90	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.88	61.47	61.07	60.66	60.26
-80	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.70	64.30
-70	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73	68.33
-60	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73	72.33
-50	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.12	76.73	76.33
-40	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70	80.31
-30	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67	84.27
-20	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62	88.22
-10	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.56	92.16
0	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	96.09
10	103.50	103.11	102.72	102.33	101.94	101.55	101.16	100.77	100.38	99.99	99.60
20	107.00	106.61	106.22	105.83	105.44	105.05	104.66	104.27	103.88	103.49	103.10
30	110.50	110.11	109.72	109.33	108.94	108.55	108.16	107.77	107.38	106.99	106.60
40	114.00	113.61	113.22	112.83	112.44	112.05	111.66	111.27	110.88	110.49	110.10
50	117.50	117.11	116.72	116.33	115.94	115.55	115.16	114.77	114.38	113.99	113.60
60	121.00	120.61	120.22	119.83	119.44	119.05	118.66	118.27	117.88	117.49	117.10
70	124.50	124.11	123.72	123.33	122.94	122.55	122.16	121.77	121.38	120.99	120.60
80	128.00	127.61	127.22	126.83	126.44	126.05	125.66	125.27	124.88	124.49	124.10
90	131.50	131.11	130.72	130.33	129.94	129.55	129.16	128.77	128.38	127.99	127.60
100	135.00	134.61	134.22	133.83	133.44	133.05	132.66	132.27	131.88	131.49	131.10
110	138.50	138.11	137.72	137.33	136.94	136.55	136.16	135.77	135.38	134.99	134.60
120	142.00	141.61	141.22	140.83	140.44	140.05	139.66	139.27	138.88	138.49	138.10
130	145.50	145.11	144.72	144.33	143.94	143.55	143.16	142.77	142.38	141.99	141.60
140	149.00	148.61	148.22	147.83	147.44	147.05	146.66	146.27	145.88	145.49	145.10
150	152.50	152.11	151.72	151.33	150.94	150.55	150.16	149.77	149.38	148.99	148.60
160	156.00	155.61	155.22	154.83	154.44	154.05	153.66	153.27	152.88	152.49	152.10
170	159.50	159.11	158.72	158.33	157.94	157.55	157.16	156.77	156.38	155.99	155.60
180	163.00	162.61	162.22	161.83	161.44	161.05	160.66	160.27	159.88	159.49	159.10
190	166.50	166.11	165.72	165.33	164.94	164.55	164.16	163.77	163.38	162.99	162.60
200	170.00	169.61	169.22	168.83	168.44	168.05	167.66	167.27	166.88	166.49	166.10
210	173.50	173.11	172.72	172.33	171.94	171.55	171.16	170.77	170.38	169.99	169.60
220	177.00	176.61	176.22	175.83	175.44	175.05	174.66	174.27	173.88	173.49	173.10
230	180.50	180.11	179.72	179.33	178.94	178.55	178.16	177.77	177.38	176.99	176.60
240	184.00	183.61	183.22	182.83	182.44	182.05	181.66	181.27	180.88	180.49	180.10
250	187.50	187.11	186.72	186.33	185.94	185.55	185.16	184.77	184.38	183.99	183.60
260	191.00	190.61	190.22	189.83	189.44	189.05	188.66	188.27	187.88	187.49	187.10
270	194.50	194.11	193.72	193.33	192.94	192.55	192.16	191.77	191.38	190.99	190.60
280	198.00	197.61	197.22	196.83	196.44	196.05	195.66	195.27	194.88	194.49	194.10
290	201.50	201.11	200.72	200.33	199.94	199.55	199.16	198.77	198.38	197.99	197.60
300	205.00	204.61	204.22	203.83	203.44	203.05	202.66	202.27	201.88	201.49	201.10

Pt1000 = Pt100 x 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Arduino MEGA 2560

Technical specs

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ตู้คอนโทรล

ตู้ไฟลวิกซ์บอร์ดแบบกันน้ำไม่มีหลังคา รุ่น **KBSN Series**

Standard

Wall Mounting Cabinet

A⁴

KBSN Series

“ป้องกันทุกหยดน้ำ
คุ้มค่ากับการใช้งาน...”

ตู้ไฟลวิกซ์บอร์ดไซร้มาตรฐาน
แบบกันน้ำไม่มีหลังคา รุ่น **KBSN Series**

- ความสูงตัวเพื่อการติดตั้งใช้งาน
ที่ต้องสับพลาท์
- ขนาดตู้มาตรฐาน 9 ขนาด IP 55
ความหนาเหล็กมาตรฐาน 0.8-1.0 mm.
สีคัพนัทรี (Epoxy Light Grey)
พูนดิโอสระบบ Epoxy Powder (สีฟลู)
ติดตั้งได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร
- Technical Features
Suitable for indoor & outdoor installation
Materials
Wall Mounting Cabinet Body and Plate
0.8-1.0 mm. steel sheet
- Finished Surface
Powder coated in Epoxy Light Grey (KJ89328Y)
MADE TO ORDER *งานสั่งผลิตพิเศษ

Steel Sheet Thickness (mm.)	Hot Dipped Galvanized Epoxy Powder Coated Stainless Steel
1.0 / 1.2 / 1.6 / 2.0	

12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้