

รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์  
ทุนอุดหนุนการวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดิน  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

เรื่อง เทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับการเลี้ยงกุ้ง  
Information technology for shrimp farming



หัวหน้าโครงการวิจัย  
ผศ. ดร. พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์  
ทุนอุดหนุนการวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดิน  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

เรื่อง เทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับการเลี้ยงกุ้ง  
Information technology for shrimp farming



หัวหน้าโครงการวิจัย  
ผศ. ดร. พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์

12697425

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้ภายในและใช้เฉพาะที่งานวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย .....	4
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย .....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล .....	6
1.7 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย.....	6
1.8 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้.....	9
2.1 การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (Litopenaeus vanamei).....	9
2.1.1 กุ้งขาวแวนนาไม (Litopenaeus vanamei).....	9
2.1.2 พฤติกรรมการดำรงชีวิตของกุ้งขาว แวนนาไม.....	10
2.1.3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง .....	10
2.2 การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen).....	11
2.3 การวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วย pH เซ็นเซอร์ชนิด ISFET.....	12
2.3.1 อุปกรณ์.....	12
2.3.2 วงจรอ่านค่าสำเร็จรูป.....	13
2.4 การวัดอุณหภูมิในน้ำด้วยไอซี DS1820 .....	13
2.4.1 คุณสมบัติเด่นของ DS1820 .....	14
2.4.2 บล็อกไดอะแกรมภายในของ DS1820 .....	14
2.4.3 การวัดอุณหภูมิ .....	16
2.4.4 การทำงานของสัญญาณเตือน .....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.5	บิตเลเซอร์รอม.....	17
2.4.6	สัญญาณ RESET.....	18
2.4.7	สัญญาณ READ/WRITE.....	18
2.4.8	การต่อแหล่งจ่ายไฟ.....	19
2.5	บอร์ด MAC-ENG v3.0.....	19
2.5.1	คุณสมบัติ.....	20
2.6	ไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A.....	21
2.6.1	คุณสมบัติ.....	21
2.6.2	องค์ประกอบของขาในไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A.....	22
2.7	บอร์ด ET-BASE PIC8722 (ICD2).....	24
2.7.1	คุณสมบัติของบอร์ด ET-BASE PIC8722 (ICD2).....	24
2.8	ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F8722.....	25
2.8.1	คุณสมบัติ.....	25
2.9	บอร์ด CP-PIC V3.0 (ICD2).....	27
2.10	ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877.....	28
2.10.1	คุณสมบัติ.....	28
2.11	เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell).....	30
2.11.1	ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์.....	30
2.11.2	วัสดุการทำเซลล์แสงอาทิตย์.....	31
2.11.3	การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	31
2.12	ไอซีแปลงไฟ 74LCX245.....	32
2.13	รีเลย์ควบคุม (Control Relay).....	33
2.13.1	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของรีเลย์.....	33
2.13.2	หลักการทำงานของรีเลย์.....	34
2.14	แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor).....	35
2.14.1	ส่วนประกอบของคอนแทคเตอร์ที่สำคัญ.....	36
2.14.2	หลักการทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์.....	38
2.15	โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload Relay).....	42
2.15.1	หลักการทำงานของโอเวอร์โหลดรีเลย์.....	43
2.15.2	การนำโอเวอร์โหลดรีเลย์มาใช้งาน.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.16	มาตรฐาน IEEE 802.15.4 (WPANs).....	46
2.16.1	สถาปัตยกรรม IEEE 802.15.4.....	46
2.16.2	คุณสมบัติในชั้น Physical Layer.....	47
2.16.3	คุณสมบัติในชั้น Medium Access Layer.....	47
2.16.4	องค์ประกอบของเครือข่าย IEEE 802.15.4 WPAN .....	48
2.17	มาตรฐานโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี (ZigBee Module Standard).....	53
2.17.1	หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ในเครือข่าย (Machine Functional).....	55
2.17.2	ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสื่อสารในโมดูลไร้สายซิกบี (API Mode Command) .....	56
2.17.3	การสื่อสาร broadcast และ multicast (Broadcast & Multicast Communication) .....	57
2.17.4	การรักษาข้อมูลสำคัญ (Persistent Data).....	57
2.18	การสื่อสารแบบไคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์ (Client-Server Communication).....	57
2.19	แรงลอยตัว (Buoyant Force).....	58
2.20	มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232.....	60
2.20.1	หน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232.....	61
2.20.2	การเชื่อมต่อสาย DB9.....	62
2.20.3	ระดับสัญญาณของ RS232 .....	63
2.20.4	อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate).....	63
2.21	การสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านโมดูล UART.....	63
2.22	โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay).....	65
2.22.1	ภาพรวมของโซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay).....	65
2.22.2	องค์ประกอบและวงจรพื้นฐานของโซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay) .....	66
บทที่ 3	การออกแบบและพัฒนาระบบ .....	68
3.1	องค์ประกอบของระบบ.....	68
3.1.1	ส่วนอินพุตของระบบ.....	69
3.1.2	ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล.....	70
3.1.3	ส่วนเอาต์พุตของระบบ.....	72
3.2	การออกแบบฮาร์ดแวร์ .....	73
3.2.1	ส่วนอินพุตของระบบ.....	73
3.2.2	ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 ส่วนเอาต์พุตของระบบ.....	82
3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์.....	87
3.3.1 ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล.....	87
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองระบบ .....</b>	<b>97</b>
4.1 การทดลองรับค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์แสดงผลผ่านหน้าเว็บไซต์.....	97
4.2 การทดลองแสดงและบันทึกค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์และ log ของระบบผ่านหน้าเว็บไซต์.....	102
4.2.1 การแสดงค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์.....	102
4.2.2 การแสดงค่า log ของระบบ.....	103
4.3 การทดลองการส่งค่า Sample Time ไปที่ส่วนอินพุตของระบบ.....	104
4.4 การทดลองสั่งงานแมกเนติกคอนแทคเตอร์โดยใช้ไฟแรงดัน 380 โวลต์.....	106
4.5 การทดลองสั่งงานมอเตอร์ใบพัดตีน้ำ.....	113
4.5.1 ทำงานแบบอัตโนมัติ.....	114
4.5.2 ทำงานแบบกำหนดเองโดยผู้ใช้.....	119
4.6 การทดลองการกลับไปใช้วงจรสวิตช์ควบคุมปกติของฟาร์มระบบ.....	123
<b>บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล.....</b>	<b>128</b>
5.1 บทสรุปผลการดำเนินงาน.....	128
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการพัฒนา.....	128
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ.....	128
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>129</b>

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแสดงระยะเวลาในการดำเนินงาน .....	6
2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต .....	17
2.2 ตารางแสดงรายละเอียดของขาในไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A ชนิด PDIP40 .....	23
2.3 ตารางแสดงรายละเอียดของขาในไอซี 74LCX245 .....	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องเติมอากาศที่ใช้ไบโพัด.....	2
1.2 เครื่องเติมอากาศที่ใช้ไบโพัด (อีกมุมหนึ่ง).....	3
1.3 บล็อกไดอะแกรมระบบการจัดการฟาร์มกุ้งโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ.....	5
2.1 กุ้งขาวแวนนาไม (Litopenaeus vanamei).....	9
2.2 ลักษณะการทำงานของ pH เซ็นเซอร์ชนิด ISFET.....	12
2.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ pH เซ็นเซอร์ชนิด ISFET ที่ต่อกับวงจรอ่านค่าสำเร็จรูป.....	13
2.4 โครงสร้างและขาการใช้งานของ DS1820.....	13
2.5 บล็อกไดอะแกรมภายในของ DS1820.....	15
2.6 วงจรการวัดค่าอุณหภูมิ.....	16
2.7 สัญญาณ RESET DS1820.....	18
2.8 สัญญาณ READ/WRITE DS1820.....	18
2.9 การจัดแหล่งจ่ายไฟภายนอกและการอินเทอร์เฟสร่วมของ DS1820 หลายตัวบนบัส 1-Wire.....	19
2.10 บอร์ด MAC-ENG v3.0.....	19
2.11 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A ชนิด PDIP40.....	22
2.12 บอร์ด ET-BASE PIC8722 (ICD2).....	24
2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F8722.....	25
2.14 บอร์ด CP-PIC V3.0 (ICD2).....	27
2.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877.....	28
2.16 แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell Panel).....	30
2.17 ไอซีแปลงไฟ 74LCX245.....	32
2.18 สัญลักษณ์ของรีเลย์.....	33
2.19 ตำแหน่งขาของรีเลย์แบบ 5 ขา.....	34
2.20 การเปลี่ยนแปลงหน้าสัมผัสของรีเลย์.....	35
2.21 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor).....	35
2.22 แกนเหล็กอยู่กับที่ (Fixed Core).....	36
2.23 แกนเหล็กเคลื่อนที่ (Stationary Core) และสปริง (Spring).....	36
2.24 ขดลวด (Coil) และแกนล้อ (Bobbin).....	37
2.25 การเปลี่ยนแปลงหน้าสัมผัสของคอนแทคเตอร์.....	38
2.26 การเปรียบเทียบกำลังไฟในการต่อมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส.....	38
2.27 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ในวงจรมอเตอร์.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 สวิตช์รูปแบบต่างๆ ในวงจรมอเตอร์	39
2.29 คอนแทกรูปแบบต่างๆ ในวงจรมอเตอร์	40
2.30 การอธิบายวงจรมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส	41
2.31 ขั้นตอนการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสและคอนแทคเตอร์	41
2.32 โอเวอร์โวลต์รีเลย์ (Overload Relay)	42
2.33 ขั้นตอนการทำงานของโอเวอร์โวลต์รีเลย์	43
2.34 การอธิบายวงจรโอเวอร์โวลต์รีเลย์	44
2.35 ขั้นตอนการทำงานของโอเวอร์โวลต์รีเลย์	45
2.36 สถาปัตยกรรมของอุปกรณ์ LR-WPAN	46
2.37 โทโพโลยีแบบ star และ โทโพโลยีแบบ peer-to-peer	48
2.38 เครือข่าย Cluster	49
2.39 มุมมองแผนผังของ PPDU	50
2.40 OSI Model และ ZigBee Protocol Stack	54
2.41 โทโพโลยีแบบ Star	54
2.42 โทโพโลยีแบบเครือข่าย Tree	55
2.43 โทโพโลยีแบบ Mesh	55
2.44 องค์ประกอบเฟรมข้อมูลที่ใช้ส่งในโมดูลไร้สายซิกบี	56
2.45 องค์ประกอบเฟรมข้อมูลที่รับได้ในโมดูลไร้สายซิกบี	56
2.46 ตารางแสดงการกำหนด Destination Address ในการสื่อสารแบบบรอดแคสต์	57
2.47 ตารางแสดงการกำหนด Destination Address ในการสื่อสารแบบมัลติแคสต์	57
2.48 การทำงานระหว่าง Client - Server	58
2.49 การชั่งวัตถุในอากาศ	58
2.50 วัตถุลอยอยู่ในของเหลว	59
2.51 วัตถุจมอยู่ในของเหลว	59
2.52 พอร์ตอนุกรม RS-232 to USB	60
2.53 DB9 ด้านชายคือตัวผู้ (Male) และด้านขาคือตัวเมีย (Female)	61
2.54 DB9 ตัวผู้ด้านหลัง	61
2.55 รูปแบบการเชื่อมต่อสาย DB9	62
2.56 ระดับสัญญาณของ TTL และระดับสัญญาณของ RS232	63
2.57 การรับส่งข้อมูลแบบ Asynchronous	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา VII และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.58 รีเลย์แบบไฟฟ้า-กล (Electromechanical Relay).....	65
2.59 การเปรียบเทียบวงจรระหว่างอาร์เมเจอร์รีเลย์และโซลิดสเตตรีเลย์.....	65
2.60 วงจรพื้นฐานของโซลิดสเตตรีเลย์แบบ Non Zero Crossing Type.....	66
2.61 แรงดันไฟฟ้าของโซลิดสเตตรีเลย์แบบ Non Zero Crossing Type.....	66
2.62 วงจรพื้นฐานของโซลิดสเตตรีเลย์แบบ Zero Crossing Type.....	66
2.63 รายละเอียดของรุ่นต่างๆ ของโซลิดสเตตรีเลย์แบบ Zero Crossing Type.....	67
2.64 แรงดันไฟฟ้าของโซลิดสเตตรีเลย์แบบ Zero Crossing Type.....	67
3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบการจัดการฟาร์มกึ่งโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ.....	68
3.2 บล็อกไดอะแกรมในส่วนอินพุตของระบบ.....	69
3.3 บล็อกไดอะแกรมในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล.....	70
3.4 บล็อกไดอะแกรมในส่วนเอาต์พุตของระบบ.....	72
3.5 องค์ประกอบทั้งหมดของระบบในส่วนอินพุตของระบบ.....	73
3.6 ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในส่วนอินพุตของระบบ.....	74
3.7 วงจรการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MAC-ENG v3.0.....	76
3.8 วงจรภายในของเครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller).....	77
3.9 ลำดับการทำงานของโปรแกรมในหน่วยประมวลผลที่ 1.....	79
3.10 ส่วนกลไกหน้าสัมผัสบนและล่างของลูกลอยอิเล็กทรอนิกส์.....	80
3.11 ถังพักน้ำและส่วนลูกลอยอิเล็กทรอนิกส์.....	80
3.12 ส่วนอินพุตของระบบลอยอยู่ตรงกลางของบ่อเลี้ยงกุ้ง.....	81
3.13 องค์ประกอบทั้งหมดของระบบในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล.....	81
3.14 องค์ประกอบทั้งหมดของระบบในส่วนเอาต์พุต.....	82
3.15 การติดตั้งระบบส่วนเอาต์พุตในการนำใช้งานจริง.....	84
3.16 วงจรระบบส่วนเอาต์พุตซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F8772.....	84
3.17 วงจรระบบส่วนเอาต์พุตซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877.....	85
3.18 ลำดับการทำงานของโปรแกรมในหน่วยประมวลผลที่ 2 (MCU2).....	86
3.19 วงจรการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-PIC V3/458/877 (ICD2).....	87
3.20 องค์ประกอบทั้งหมดของระบบในส่วนเอาต์พุตของระบบ (1).....	87
3.21 องค์ประกอบทั้งหมดของระบบในส่วนเอาต์พุตของระบบ (2).....	88
3.22 หน้าเว็บไซต์แรกก่อนการล็อกอิน.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 หน้าเว็บไซต์แรกหลังการล็อกอิน	90
3.24 หน้าเว็บไซต์แสดงการตั้งค่าของเซ็นเซอร์	90
3.25 หน้าเว็บไซต์แสดงการตั้งค่ามอเตอร์ใบพัดติน้ำซึ่งสัมพันธ์กับเซ็นเซอร์ออกซิเจน	91
3.26 หน้าเว็บไซต์แสดงการตั้งค่าควบคุมมอเตอร์ใบพัดติน้ำ	92
3.27 หน้าเว็บไซต์แสดงข้อมูลของเซ็นเซอร์จากฐานข้อมูล	92
3.28 หน้าเว็บไซต์แสดงบันทึกของระบบ (Systems Logs)	93
3.29 หน้าเว็บไซต์แสดงแผนภูมิข้อมูลของเซ็นเซอร์จากฐานข้อมูล	93
3.30 แผนภาพ Use Case ของระบบ	94
3.31 แผนภาพ Sequence Diagram แสดงข้อมูลของระบบ	94
3.32 แผนภาพ Sequence Diagram การตั้งค่ามาตรฐานของระบบ	95
3.33 แผนภาพ Sequence Diagram การล็อกอินของระบบ	95
3.34 แบบจำลอง ORM เกี่ยวกับระบบในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล	96
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองส่วนอินพุตของระบบ	97
4.2 โพรบของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 เซ็นเซอร์ถูกใส่ไว้ในบ่อพัก	98
4.3 โมดูลสื่อสารไร้สายจิกปีตัวรับที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	98
4.4 หน้าแรกของเว็บไซต์	99
4.5 หน้าเว็บไซต์แสดงการตั้งค่าการทำงานของเซ็นเซอร์	99
4.6 หน้าเว็บไซต์ก่อนข้อมูลถูกส่งมา	100
4.7 หน้าเว็บไซต์หลังข้อมูลถูกส่งมา	101
4.8 หน้า Data Monitoring หลังจากมีข้อมูล	102
4.9 หน้า System Logs หลังจากมีข้อมูล	103
4.10 การตั้งค่า Sample Time ในหน้า System Setting	104
4.11 ข้อมูลที่ติดต่อกันในการเปลี่ยน Sample time	105
4.12 วงจรของส่วนเอาต์พุตของระบบที่ต่อกับแมกเนติกคอนแทคเตอร์	106
4.13 ส่วนเอาต์พุตของระบบต่อเข้ากับแมกเนติกคอนแทคเตอร์และแหล่งจ่ายไฟ	107
4.14 แหล่งจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์	108
4.15 วงจรในส่วนเอาต์พุตของระบบ	108
4.16 กระแสไฟแรงดัน 380 โวลต์จากแหล่งจ่ายไฟ	109
4.17 ก่อนเปิดวงจรส่วนเอาต์พุตของระบบ	109
4.18 ก่อนหมุนสวิตช์ลูกศร	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 ก่อนมีกระแสไหลผ่านแมกเนติกคอนแทคเตอร์.....	110
4.20 หมุนสวิตช์ลูกศรไปทางขวา.....	111
4.21 หลังกระแสไหลผ่านแมกเนติกคอนแทคเตอร์.....	111
4.22 หมุนสวิตช์ลูกศรกลับจุดเริ่มต้น.....	112
4.23 เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านแมกเนติกคอนแทคเตอร์.....	112
4.24 วงจรภายในส่วนเอาต์พุตของระบบ.....	113
4.25 ภายนอกส่วนเอาต์พุตของระบบ.....	113
4.26 การติดตั้งส่วนเอาต์พุตของระบบตัวที่ 1.....	115
4.27 การติดตั้งส่วนเอาต์พุตของระบบตัวที่ 2.....	115
4.28 วงจรภายในส่วนเอาต์พุตของระบบ.....	115
4.29 ส่วนเอาต์พุตของระบบต่อกับแหล่งจ่าย 380 โวลต์.....	116
4.30 มอเตอร์ใบพัดตีน้ำไฟฟ้าสามเฟส.....	116
4.31 หน้า System Setting ของเว็บไซต์.....	117
4.32 การตั้งค่าช่วงออกซิเจนที่ละลายในน้ำชั้นที่ 1 ถึง 5.....	117
4.33 การตั้งค่าแผนของมอเตอร์หน้า System Setting.....	118
4.34 การสั่งงานควบคุมมอเตอร์และแสดง system log เมื่อค่าออกซิเจนอยู่ในชั้นที่ 3.....	118
4.35 มอเตอร์ใบพัดตีน้ำตัวที่ 1 ปิด และมอเตอร์ใบพัดตีน้ำตัวที่ 2 เปิด.....	118
4.36 หน้า Advance Motor ของเว็บไซต์.....	120
4.37 ตั้งค่าหน้าแรกของเว็บไซต์ให้เปิดมอเตอร์ 1 และ 2.....	120
4.38 คำสั่งเปิดมอเตอร์ทั้งสองตัว.....	121
4.39 มอเตอร์ใบพัดตีน้ำเปิดทั้งสองตัว.....	121
4.40 ตั้งค่าหน้าแรกของเว็บไซต์ให้ปิดมอเตอร์ 1 และ 2.....	121
4.41 คำสั่งปิดมอเตอร์ทั้งสองตัว.....	122
4.42 มอเตอร์ใบพัดตีน้ำปิดทั้งสองตัว.....	122
4.43 การติดตั้งส่วนเอาต์พุตของระบบตัวที่ 1.....	123
4.44 การติดตั้งส่วนเอาต์พุตของระบบตัวที่ 2.....	124
4.45 ผู้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดตีน้ำ.....	124
4.46 ส่วนเอาต์พุตของระบบต่อกับแหล่งจ่าย 380 โวลต์.....	125
4.47 มอเตอร์ใบพัดตีน้ำไฟฟ้าสามเฟส.....	125
4.48 หมุนสวิตช์ลูกศรไปทางซ้าย.....	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.49 ทำการเปิดมอเตอร์ทั้งสองตัวที่ตู้ควบคุมมอเตอร์ .....	126
4.50 มอเตอร์ใบพัดตีน้ำเปิดทั้งสองตัว .....	127
4.51 ทำการปิดมอเตอร์ทั้งสองตัวที่ตู้ควบคุมมอเตอร์ .....	127
4.52 มอเตอร์ใบพัดตีน้ำปิดทั้งสองตัว .....	127



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา X ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากข้อมูลของกรมประมง ประเทศไทยได้เลี้ยงกุ้งเพื่อการส่งออกมาเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 20 ปี โดยเริ่มจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาเพียงชนิดเดียว แต่ปัญหาของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำคือกุ้งกุลาดำนั้นโตช้า จึงไม่สามารถผลิตได้ทันความต้องการของตลาด ดังนั้นตั้งแต่ทศวรรษที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน เกษตรกรได้มีการนำกุ้งขาวแวนนาไมเข้ามาเลี้ยงแทนกุ้งกุลาดำครอบคลุมเกือบทุกพื้นที่ การเลี้ยงกุ้งทั้งหมด (ไม่น้อยกว่า 90% ของพื้นที่เลี้ยงทั้งหมดที่ยังคงมีการเลี้ยงกุ้ง) กุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งทะเลสายพันธุ์แปซิฟิก มีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้เร็ว ปรับตัวให้เข้ากับน้ำเค็มในช่วงกว้าง กินอาหารได้หลายประเภท จึงเจริญเติบโตและปรับตัวให้เข้ากับกรเลี้ยงแบบพัฒนาหนาแน่นในสภาพของบ่อที่เสื่อมโทรมได้ดีกว่ากุ้งกุลาดำ แต่เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมมีเคลื่อนที่เร็วและว่ายน้ำอยู่ตลอดเวลา จึงต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตสูงกว่ากุ้งกุลาดำ ดังนั้นจำเป็นต้องมีระบบการให้อากาศในการเลี้ยงกุ้งขาวอย่างเพียงพอ

เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งแต่ละราย มีการนำความรู้และประสบการณ์จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำมาใช้ร่วมกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม แต่เนื่องจากลักษณะของกุ้งทั้งสองประเภทไม่เหมือนกัน เกษตรกรจึงต้องปรับปรุงวิธีการในการเลี้ยงให้เป็นที่ไปตามหลักองค์ความรู้สำหรับการเลี้ยงกุ้งขาว แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าองค์ความรู้ทางวิชาการในการเลี้ยงกุ้งขาวจะเป็นหลักเดียวกัน แต่ในทางปฏิบัติ วิธีการเลี้ยงในแต่ละฟาร์มนั้นอาจจะไม่เหมือนกัน ขึ้นกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในฟาร์ม ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นกับผู้บริโภคในเรื่องของมาตรฐานในการผลิต รวมทั้งเป็นกลยุทธ์ในการพัฒนาสินค้าการเกษตรเพื่อการส่งออกนารายได้เข้าสู่ประเทศ กรมประมงจึงได้กำหนดหลักการเลี้ยงกุ้งทะเลด้วยวิธีการปฏิบัติที่ดีขึ้นมา ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อการเลี้ยงกุ้งระบบจีเอพี นอกจากนี้ ภาคเอกชนและฟาร์มเลี้ยงกุ้งขนาดใหญ่ก็ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการเลี้ยงกุ้ง เพื่อเพิ่มผลผลิต แต่เทคโนโลยีดังกล่าวมักจะเป็นเทคโนโลยีทางการเกษตร ตั้งแต่การพัฒนาสายพันธุ์ลูกกุ้ง การเตรียมบ่อเลี้ยง การจัดการการเลี้ยง การควบคุมโรคระบาด จนถึงเทคโนโลยีในการเก็บผลผลิต เป็นต้น ยังมีส่วนน้อยมากในการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยสนับสนุนการเลี้ยงกุ้ง ดังนั้นผู้วิจัยมีแนวความคิดว่าหากมีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาประยุกต์กับการเลี้ยงกุ้ง จะทำให้แต่ละขั้นตอนในการทำงานคล่องตัวขึ้น สามารถตอบสนองต่อปัญหาและแก้ไขได้ทันที่ และท้ายที่สุด จะช่วยทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้นั่นเอง

เนื่องจากกระบวนการเลี้ยงกุ้งตั้งแต่การเพาะลูกกุ้ง จนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิตมีอยู่หลายขั้นตอนมาก ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอเสนอเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับสนับสนุนขั้นตอนการจัดการการเลี้ยง เป็นลำดับแรก เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ต้องให้ความสำคัญดูแลอย่างใกล้ชิด

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการเลี้ยงกุ้ง ต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิด เนื่องจากกุ้งมีความอ่อนไหวต่อปัจจัยต่างๆ มากมายโดยเฉพาะสภาวะของน้ำภายในบ่อเลี้ยงกุ้ง พารามิเตอร์ของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งคือค่าความเค็มของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำ ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในน้ำ อุณหภูมิ น้ำ ต้องมีการวัดและควบคุมค่าเหล่านี้ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกุ้งอย่างมาก

ในปัจจุบันการแก้ไขปัญหาของการลดลงของระดับออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้ง สามารถทำได้ โดยการเพิ่มออกซิเจนในบ่อ ซึ่ง บางครั้งจะเรียกว่าการเติมอากาศในบ่อ ซึ่งวิธีการที่ดีที่สุดคือ การใช้เครื่องเติมอากาศ เพื่อช่วยเพิ่มออกซิเจนในบ่อให้เพียงพอต่อการหายใจของกุ้ง และการหายใจของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่อยู่ในบ่อโดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน การเลี้ยงกุ้งจะได้ผลผลิตสูงถ้ามีการให้อาหารและปัจจัยการผลิตอย่างถูกต้อง ควบคุมให้มีอาหารและปัจจัยการผลิตส่วนเกินน้อย กล่าวคือ ควบคุมอาหารที่กุ้งไม่ได้กินหรือกินแล้วถ่ายออกมาให้น้อยลง อย่างไรก็ตามอาหารและปัจจัยการผลิตส่วนเกินในบ่อเหล่านี้เป็นตัวการสำคัญที่เพิ่มการใช้ออกซิเจนทั้งสิ้น ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในน้ำจะลดลงตามลำดับเมื่อมีปัจจัยการผลิตส่วนเกินเหล่านี้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยปกติในช่วงเช้ามีแดดหรือช่วงที่อากาศปิด ปริมาณออกซิเจนในบ่อจะต่ำลง เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชยังคงใช้ออกซิเจนในการหายใจอยู่ และเมื่อออกซิเจนต่ำกว่า 3 หรือ 4 มิลลิกรัม/ลิตร สัตว์น้ำที่เลี้ยงอยู่จะมีความเครียด ทำให้อยากอาหารลดลง ถ้าหากปล่อยให้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำนานไปเรื่อย ๆ ก็จะทำให้กุ้งเกิดโรคได้ง่ายและอาจนำไปสู่ภาวะโรคระบาดและตายได้ ดังนั้นเป้าหมายของการเติมอากาศคือ

1. เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ซึ่งจะมีปริมาณสูงสุดเมื่อถึงจุดอิ่มตัว
2. ทำให้น้ำในบ่อเกิดการหมุนเวียน ออกซิเจนก็จะเกิดการผสมผสานไปกับมวลน้ำอย่างทั่วถึงกันทั้งบ่อ

เครื่องเติมอากาศในบ่อกุ้ง ในปัจจุบันมีสองแบบใหญ่ ๆ คือ

1. เครื่องเติมอากาศที่ใช้ใบพัด (Paddle-wheel) จะใช้หลักการทำให้น้ำกระจายไปสู่อากาศเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการซึมผ่านของออกซิเจนได้มากขึ้น (แสดงได้ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2)
  2. เครื่องพ่นน้ำ (Jet-type) จะใช้หลักการทำให้เกิดฟองอากาศลงสู่ น้ำ เพื่อให้มีพื้นที่ระหว่างฟองอากาศกับน้ำเกิดขึ้น ออกซิเจนจากฟองอากาศจะแตกออกและซึมผ่านลงสู่ น้ำ
- (ข้อมูลจาก คู่มือการปฏิบัติที่ดีที่สุดสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งไทย)



รูปที่ 1.1 เครื่องเติมอากาศที่ใช้ใบพัด



รูปที่ 1.2 เครื่องเดิมอากาศที่ใช้ใบพัด (อีกมุมหนึ่ง)

เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ น้ำ และปริมาณออกซิเจน เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว และส่งผลกระทบต่อกุ้งในทันที ดังนั้นผู้ดูแลฟาร์มจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการวัดและตอบสนองค่าเหล่านี้เป็นอย่างมาก แต่ในบางสถานการณ์อาจไม่สามารถวัดค่าได้อย่างสะดวก เช่นในช่วงเวลากลางคืน ในสภาวะฝนตกหนัก หรือในขณะที่ผู้ดูแลไม่อยู่ในบริเวณฟาร์ม นอกจากนี้ในปัจจุบัน การขาดแคลนแรงงานก็เป็นปัญหาใหญ่ในอุตสาหกรรมกุ้งด้วยเช่นกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดว่าหากมีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยดูแลจัดการงานเหล่านี้ได้ จะทำให้สามารถลดแรงงานคนได้เป็นจำนวนมาก รวมถึงสามารถตอบสนองและแก้ปัญหาต่างๆ ได้ทันที่ที่ ดังนั้นจึงได้คิดค้นระบบการจัดการฟาร์มกุ้งโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการเลี้ยงกุ้งด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ
- เพื่อช่วยวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการจัดการการเลี้ยงกุ้ง
- เพื่อลดการใช้แรงงานคน
- เพื่อเพิ่มผลผลิตกุ้ง
- เพื่อพัฒนาความรู้และประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและไมโครคอนโทรลเลอร์
- เพื่อศึกษาและออกแบบฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) ในส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (Graphic User Interface: GUI)

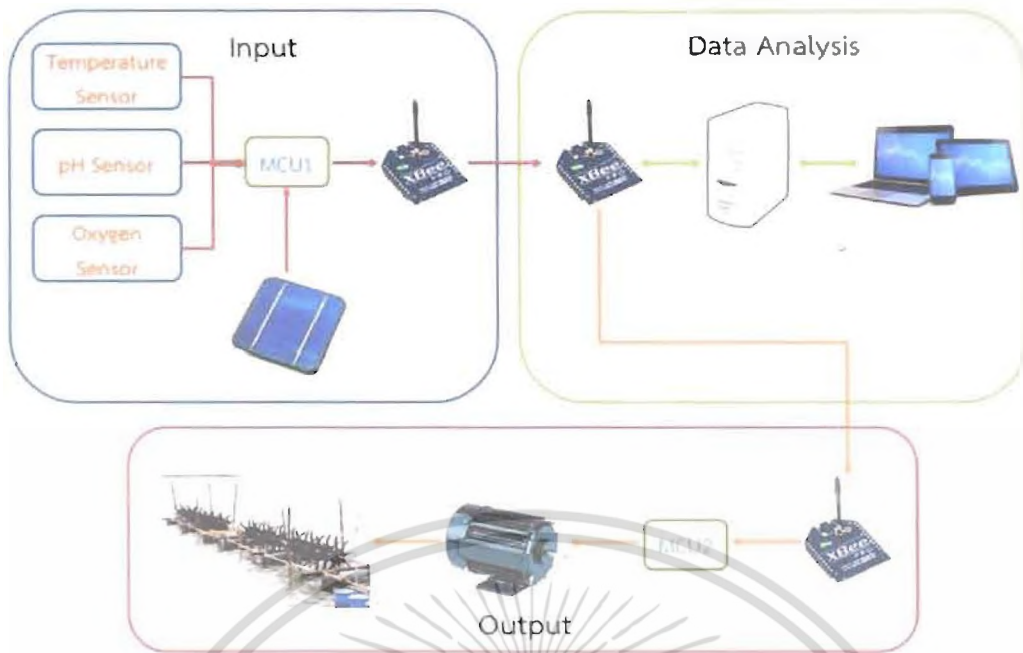
### 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- ระบบสามารถส่งค่าต่างๆ ที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ ผ่านเครือข่ายไร้สายมาแสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่ไร้สาย และ/หรือโทรศัพท์มือถือ เพื่อแสดงผลค่าต่างๆ ให้ผู้ดูแลระบบ ผ่าน GUI ได้
- ระบบมีกลไกของการตัดพิกน้ำเข้ามายังส่วนบรรจุเซ็นเซอร์ชั่วคราว เพื่อให้เซ็นเซอร์วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำได้ โดยไม่จำเป็นต้องแช่เซ็นเซอร์ทิ้งไว้ในน้ำ เนื่องจากเซ็นเซอร์ไม่สามารถแช่น้ำได้ตลอดเวลา
- ระบบในส่วนของวงจรเซ็นเซอร์ สามารถรับไฟเลี้ยงได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell) เนื่องจากส่วนนี้ต้องอยู่กลางแจ้ง ซึ่งลำบากในการใช้สายไฟ
- ระบบสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับมาได้ว่าควรปรับสมดุลสภาพน้ำอย่างไรบ้าง โดยแสดงผ่าน GUI
- ระบบสามารถควบคุมเครื่องเติมออกซิเจนในน้ำอัตโนมัติ เมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด
- ผู้ดูแลระบบสามารถควบคุมหรือสั่งให้เครื่องเติมออกซิเจนในน้ำทำงานได้แบบ Manual ได้ผ่านทาง GUI

### 1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ระบบจะได้รับการออกแบบโดยให้มีเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ น้ำ และปริมาณออกซิเจน แล้วทำการส่งค่าผ่านทางเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาที่เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่ไร้สาย และ/หรือโทรศัพท์มือถือ เพื่อแสดงผลค่าต่างๆ ให้ผู้ดูแลฟาร์มทราบผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟิก (GUI) บนอุปกรณ์เหล่านั้น ซึ่งถ้าผู้ดูแลฟาร์มพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ น้ำ และปริมาณออกซิเจนในน้ำ มีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ระบบจะทำการส่งคำสั่งผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่ควบคุมเครื่องเติมออกซิเจนในน้ำให้ทำงานโดยอัตโนมัติ โดยสามารถโปรแกรมได้ว่าจะให้เครื่องเติมออกซิเจนทำงานเป็นเวลานานเท่าใด นอกจากนี้ระบบยังมีโหมดควบคุมการเปิดปิดการทำงานของเครื่องเติมออกซิเจนในน้ำโดยผู้ดูแลฟาร์ม ผ่าน GUI อีกด้วย

บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบสนับสนุนการเลี้ยงกุ้งด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ แสดงได้ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมระบบสารสนเทศสำหรับการเลี้ยงกุ้ง

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ประโยชน์ด้านวิชาการ ผลการวิจัยนี้สามารถเผยแพร่ในวารสารวิชาการได้ และมีความเป็นไปได้ในการนำจดสิทธิบัตร
- 1.5.2 ประโยชน์ด้านนโยบาย โครงการวิจัยนี้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 1555-2559) ด้านยุทธศาสตร์ความเข้มแข็งภาคเกษตร ความมั่นคงของอาหารและพลังงาน โดยสอดคล้องกับเป้าประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพและศักยภาพการผลิตภาคการเกษตร โดยเน้นในเรื่องของการลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสินค้าเกษตร นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) ในยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาทางเศรษฐกิจ ในกลยุทธ์การวิจัยที่ 7 เพิ่มสมรรถนะและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร แผนงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เพื่อการแข่งขันและลดต้นทุน รวมทั้งรองรับนโยบายเสรีทางการค้า นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับนโยบายระยะการบริหารราชการ 4 ปี ของรัฐบาล ด้านนโยบายวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี การวิจัยและนวัตกรรมอีกด้วย
- 1.5.3 ประโยชน์ด้านเศรษฐกิจ ระบบที่พัฒนาขึ้น สามารถนำไปใช้ในการสนับสนุนการเลี้ยงกุ้งได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนในการจ้างแรงงานคนได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในระยะยาว

## 1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

- 1.6.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง \*
- 1.6.2 เก็บข้อมูลความต้องการพื้นฐานในการพัฒนาระบบจากเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งกลุ่ม ตัวอย่าง \*\*
- 1.6.3 ศึกษาและจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง \*
- 1.6.4 เข้าอบรม/สัมมนาการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สอดคล้องกับโครงการวิจัย \*\*\*
- 1.6.5 ออกแบบระบบการทำงานโดยรวม \*
- 1.6.6 ออกแบบและสร้างฮาร์ดแวร์บนพื้นฐานของต้นทุนที่ต่ำ โดยเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่เหมาะสม \*
- 1.6.7 ออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ \*
- 1.6.8 ทดลองระบบทั้งส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ \*
- 1.6.9 ติดตั้งระบบ และทำการทดสอบการใช้งานทั้งหมด \*
- 1.6.10 จัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งกลุ่มตัวอย่าง \*\*
- 1.6.11 ติดตามผลการทำงานของระบบ วิเคราะห์และแก้ไขข้อผิดพลาดจากการทดสอบการใช้งาน โดยนำข้อเสนอจากเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งกลุ่มตัวอย่างมาทำการปรับปรุง แล้วทำการทดสอบใหม่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ค่าความผิดพลาดที่ต่ำกว่าค่าใดค่าหนึ่งที่น้อยที่สุด
- 1.6.12 ประเมินผลโครงการ และจัดทำรายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

หมายเหตุ

สถานที่ทำการวิจัย

\* ทำวิจัยที่ห้องปฏิบัติการทดลอง Wireless Information Networks (WINS Lab) อาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

\*\* ทำวิจัยที่ฟาร์มกุ้ง อ.ท่าชนะ จ. สุราษฎร์ธานี

## 1.7 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา												หมายเหตุ
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←→												
2. เก็บข้อมูลจากเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้ง		←→											
3. ศึกษาและจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง			←→										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดำเนินงาน	ระยะเวลา											หมายเหตุ	
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.		ก.ย.
4. เข้าอบรม/สัมมนาการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สอดคล้องกับโครงการวิจัย			↔										
5. ออกแบบระบบการทำงานโดยรวม			↔										
6. ออกแบบและสร้างฮาร์ดแวร์บนพื้นฐานของต้นทุนที่ต่ำ โดยเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่เหมาะสม					↔								
7. ออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อกับผู้ใช้							↔						
8. ทดลองระบบทั้งส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์								↔					
9. ติดตั้งระบบ และทำการทดสอบการใช้งานทั้งหมด									↔				
10. จัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงกิ้งกุ่มตัวอย่าง										↔			
11. ติดตามผลการทำงานของระบบวิเคราะห์และแก้ไขข้อผิดพลาดจากการทดสอบการใช้งานแล้วทำการทดสอบใหม่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ค่าความผิดพลาดที่ลู่น้อยที่สุด											↔		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดำเนินงาน	ระยะเวลา												หมายเหตุ	
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.		
12. ประเมินผล โครงการ และจัดทำ รายงานโครงการ ฉบับสมบูรณ์													↔	

## 1.8 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย โครงสร้างพื้นฐาน ฯลฯ)

### อุปกรณ์วิจัย

- 1) โหนดเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
- 2) โมดูลรับส่งคลื่นวิทยุไร้สาย
- 3) ไมโครคอนโทรลเลอร์
- 4) เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์
- 5) อุปกรณ์สื่อสารพหุพาไร้สาย
- 6) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ
- 7) เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำ
- 8) เซ็นเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำ
- 9) ใบพัดตีน้ำพร้อมมอเตอร์
- 10) วัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อสร้างวงจรควบคุม
- 11) แผงพลังงานแสงอาทิตย์
- 12) ฟันลอยน้ำ
- 13) ท่อน้ำ
- 14) อุปกรณ์สำนักงานพื้นฐานและเครื่องเขียน
- 15) ซอร์ฟแวร์ที่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้

### 2.1 การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vanamei*)



รูปที่ 2.1 กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vanamei*) [3]

#### 2.1.1 กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vanamei*)

กุ้งขาว ลิโทพีเนียส แวนนาไม เป็นสายพันธุ์กุ้งทะเลในกลุ่มกุ้งขาวแปซิฟิก กุ้งขาวแวนนาไม หรือ ลิโทพีเนียสแวนนาไม ถูกค้นพบโดย Boome ในปี ค.ศ. 1931 มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Litopenaeus vanamei* ชื่อสามัญที่ F.A.O. รับรองและใช้เรียกกันทั่วโลกคือ Whiteleg Shrimp กุ้งขาวที่ทำการเพาะเลี้ยงกันอยู่ใน ปัจจุบันนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามสภาพภูมิศาสตร์ของโลกได้แก่ กุ้งขาวตะวันตก คือ กุ้งขาวลิโทพีเนียส แวนนาไม กุ้งสีน้ำเงิน และกุ้งขาวตะวันออกคือ กุ้งแซบวีย กุ้งขาวจีน กุ้งขาวอินเดีย

ประเทศไทยเริ่มนำกุ้งขาวมาเลี้ยงในปี 2541 ซึ่งเป็นช่วงแรกของการทดลองเลี้ยงจึงไม่ค่อยได้รับความสนใจเท่าที่ควร ประกอบกับการจัดหาพันธุ์กุ้งขณะนั้นมีความยากลำบากและมีราคาแพง ปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งกุลาดำประสบปัญหา ผู้เลี้ยงกุ้งจึงหันมาเลี้ยงกุ้งขาวกันมากขึ้น

## 2.1.2 พฤติกรรมการดำรงชีวิตของกุ้งขาว แวนนาไม

- กุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งที่มีความสามารถในการปรับตัวสูง จึงสามารถอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง เช่น ความเค็ม กุ้งขาวแวนนาไมสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีระดับความเค็มตั้งแต่ 0 - 35 ส่วนในพันส่วน (part per thousand : ppt หรือ พีพีที) แต่ไม่ควรต่ำกว่า 3 พีพีที ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง
- กุ้งขาวมีการเจริญเติบโตที่เร็ว และมีการลอกคราบบ่อยๆ กุ้งขาวจึงต้องการแร่ธาตุสูงโดยเฉพาะ แมกนีเซียมและแคลเซียม ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความกระด้าง และสภาพต่างของน้ำ (Alkalinity)
- กุ้งขาวแวนนาไม มีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้เร็วและว่ายน้ำอยู่ตลอดเวลาจึงต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตสูงกว่ากุ้งกุลาดำ ระบบการให้อากาศในการเลี้ยงกุ้งขาวจึงต้องเพียงพอ กุ้งขาวแม้ว่าจะว่ายน้ำเป็นฝูงแต่ไม่ใช่สัตว์สังคมจึงมีนิสัยก้าวร้าวและทำร้ายกุ้งตัวอื่น
- กุ้งขาวมีความสามารถในการกินอาหารได้หลายชนิดตั้งแต่อาหารเม็ดสำเร็จรูป ซากแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ แต่อาหารที่สำคัญที่สุดคืออาหารที่มีปริมาณโปรตีน วิตามินและแร่ธาตุอย่างครบถ้วนไม่ใช่ซากแพลงก์ตอนหรือซีแดด หากเราพบกุ้งกินซีแดดหรือซากแพลงก์ตอนเต็มลำลำนั้นแสดงว่าเราให้อาหารแก่กุ้งไม่เพียงพอ

## 2.1.3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง

### ➤ อุณหภูมิ

ทฤษฎี : อุณหภูมิเป็นตัวควบคุมปฏิกิริยาเคมีรวมทั้งในบ่อกุ้ง รวมทั้งกระบวนการเผาผลาญและดูดซึมอาหารของสิ่งมีชีวิตในบ่อกุ้ง

การจัดการที่ดี : ควบคุมความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด จึงควรทำบ่อให้ลึกดีกว่าบ่อตื้น (ความลึกของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งทั่วไปโดยเฉลี่ย 1.5 เมตร) เนื่องจากบ่อที่มีความลึกมากกว่าจะควบคุมอุณหภูมิให้เปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ และสามารถเก็บความเค็มของน้ำไว้ได้นานในช่วงหน้าฝน

ข้อควรแนะนำ : ช่วงที่เหมาะสมของอุณหภูมิในบ่อกุ้งควรอยู่ระหว่าง 28 – 32 องศาเซลเซียส

### ➤ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

ทฤษฎี : ปริมาณ DO เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการเลี้ยงกุ้ง สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำไม่ใช่มีแต่กุ้งอย่างเดียว แต่จะมีทั้งแพลงก์ตอน แบคทีเรีย และสิ่งมีชีวิตอื่นๆอีกมากมายที่ต้องการใช้ออกซิเจน กุ้งต้องการใช้ออกซิเจนเพียง 5 - 15% ในการหายใจ เพื่อไปเผาผลาญ และดูดซึมอาหารไปเลี้ยงร่างกายให้เจริญเติบโต ส่วนออกซิเจนที่เหลืออีกประมาณ 85 - 95% จะถูกใช้ไปโดยสิ่งมีชีวิตอื่นๆ รวมทั้งแบคทีเรียที่ช่วยในการย่อยสลายของเสียในบ่อกุ้ง ดังนั้นเมื่อมีของเสียเกิดขึ้นมาก ออกซิเจนจะถูกแย่งไปใช้ในปริมาณมากขึ้นเช่นกัน กุ้งจะอยู่ได้โดยปกติสุขโดยอาศัยระดับความอิ่มตัวของปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนที่เหมาะสม โดยระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเค็ม และความกดอากาศ ดังนั้นการเพิ่มออกซิเจนในบ่อกุ้ง ระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้เครื่องเติมอากาศทำงานได้ผลถึง 100% และประสิทธิภาพจะลดลงตามลำดับเมื่อออกซิเจนที่ละลายในน้ำใกล้ถึงจุดอิ่มตัว ดังนั้น ถ้าต้องการประหยัดพลังงาน เกษตรกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณินใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรเปิดเครื่องเติมอากาศให้ระดับออกซิเจนในน้ำอยู่ในระดับที่ 70% ของจุดอิ่มตัวเท่านั้น ทั้งนี้ อุณหภูมิในบ่อกุ้งควรอยู่ระหว่าง 28 – 32 องศาเซลเซียส

**การจัดการที่ดี :** การให้อากาศอย่างเพียงพอและเหมาะสม ต้องให้แน่ใจว่าเปิดเครื่องเติมอากาศนี้ น้ำให้เกิดการหมุนเวียน และคลุกเคล้าผสมผสานกันอย่างทั่วถึง จนปริมาณออกซิเจนส่งผ่านถึงตัวกุ้ง และตะกอนเลน โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน และควรลดพื้นที่ที่มีออกซิเจนต่ำในบริเวณกลางบ่อ โดยการจัดติดตั้งเครื่องเติมอากาศในตำแหน่งที่เหมาะสม

**ข้อแนะนำ :** ค่าต่ำสุดของออกซิเจนในบ่อกุ้ง โดยเฉลี่ย 70% ของจุดอิ่มตัวของออกซิเจน ณ สภาพนั้นๆ แต่ทั้งนี้ไม่ควรต่ำกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร (mg/L) หรือ 4 ส่วนในล้านส่วน (part per million : ppm)

#### ➤ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

**การจัดการที่ดี :** ควรมีการตรวจสอบค่า pH อย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง ในช่วงเช้าระหว่าง 6.00 น. และในช่วงบ่าย 15.00 น. อาจเพิ่มการตรวจเวลา 21.00 น. ด้วย จะได้ว่ารู้ว่าการหมักหมมในบ่อ ผิดปกติหรือไม่ โดยในช่วงเช้า pH อยู่ระหว่าง 7.5 - 7.8 และช่วงบ่าย 15.00 น. ควรไม่ให้เกิน 8.3

**ข้อแนะนำ :** ควรควบคุม pH โดยใส่ปูนขาวหรือวัสดุอื่นๆ แต่ต้องระวังอย่าให้ pH มีค่าเกิน 8.3

## 2.2 การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen)

หลักการนี้ใช้สำหรับการวัดแก๊สออกซิเจนแบบโพลารोगราฟิอิลิกโทรด (Polarographic) เป็นการวัดค่าโดยอาศัยการสลายตัวของออกซิเจน (การลดออกซิเจน) ที่เกิดขึ้นที่แคโทดซึ่งเป็นโลหะ ออกซิเจนที่อยู่ในกลุ่มแก๊สที่ต้องการวัดจะถูกทำให้ผ่านเนื้อเยื่อ เพื่อทำให้มันไปอยู่ในรูปของเซลล์  $O_2$  ที่อิเล็กโทรด หลังจากนั้นมันจะซึมเข้าไปอยู่ในเนื้อเยื่อชั่วระยะเวลาหนึ่งจนสามารถอ่านค่าได้ การวัดแบบนี้ต้องป้อนศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่งเข้าไปในโพลารोगราฟิอิลิกโทรด เพื่อทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้จะเปลี่ยนการนำไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ศักย์ไฟฟ้าบริเวณดังกล่าวจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเฉพาะกับออกซิเจน เกิดกระแสไฟฟ้าที่ไหลแปรผันตรงกับปริมาณออกซิเจนในสารละลายนั้น ในการวัดแบบโพลารोगราฟิอิลิกดังกล่าว จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนเอาต์พุตคงที่ออกมาค่าหนึ่งอันเนื่องจากอิเล็กโทรด DO ที่หมักซึ่งจัดเป็นกระบวนการสเตอริไลซ์ (Sterilization) แล้วทำให้เกิดค่าความร้อนและกลายเป็นค่าความต้านทานไปในที่สุด

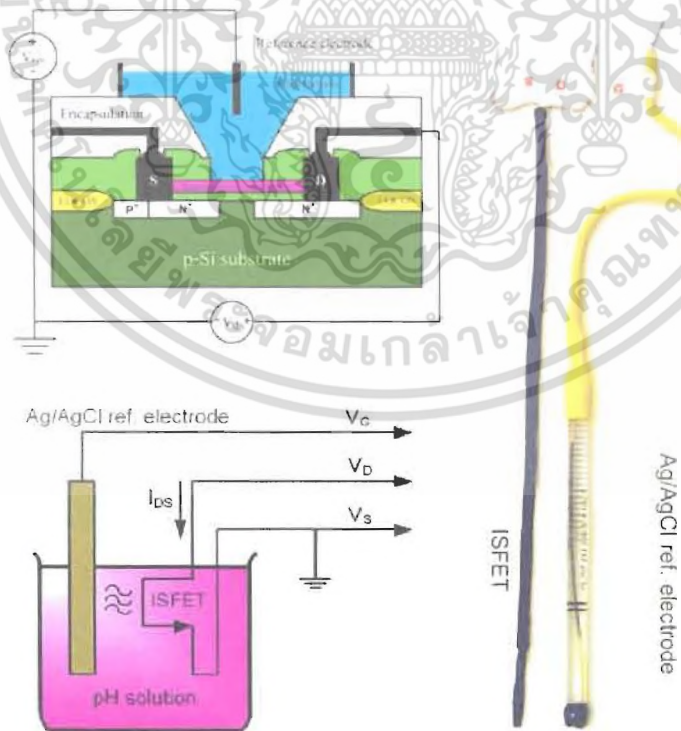
## 2.3 การวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วย pH เซ็นเซอร์ชนิด ISFET

การวัดค่า pH นั้นมีได้หลายซึ่ง pH เซ็นเซอร์ชนิด ISFET นี้สามารถนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปเชื่อมต่อกับ A/D ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย

### 2.3.1 อุปกรณ์

Ion Sensitive Field-Effect Transistor (ISFET) เป็นการประยุกต์ใช้งานทรานซิสเตอร์รูปแบบหนึ่ง โดยเปิดช่องบริเวณขาคัดให้สัมผัสกับสารละลายที่ต้องการวัดค่า pH หลักการทำงานง่ายๆ ของอุปกรณ์ชนิดนี้คืออิทธิพลจากไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ในสารละลาย ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้ซิลิคอนไนไตรต์ ( $Si_3N_4$ ) เป็นเกตออกไซด์ทำหน้าที่เลือกจับเฉพาะไฮโดรเจนไอออนหรือการตรวจวัดค่า pH ดังรูปที่ 2.2 ISFET จึงเป็นอุปกรณ์ 3 ขา ประกอบไปด้วย

- ขาคัด (G) ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl (Ag/AgCl ref. electrode) ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิดนี้ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวัด ทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมระหว่างขาคัดและขาซอส เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนสุทธิในสารละลายเพียงอย่างเดียว
- ขาซอส (S) เป็นขาสัญญาณบนอุปกรณ์ pH เซ็นเซอร์ชนิด ISFET ขั้วไฟฟ้านี้ ออกแบบให้เชื่อมต่อทางไฟฟ้ากับฐานรองรับของตัวอุปกรณ์
- ขาเดรน (D) เป็นขาสัญญาณบนอุปกรณ์ pH เซ็นเซอร์ชนิด ISFET

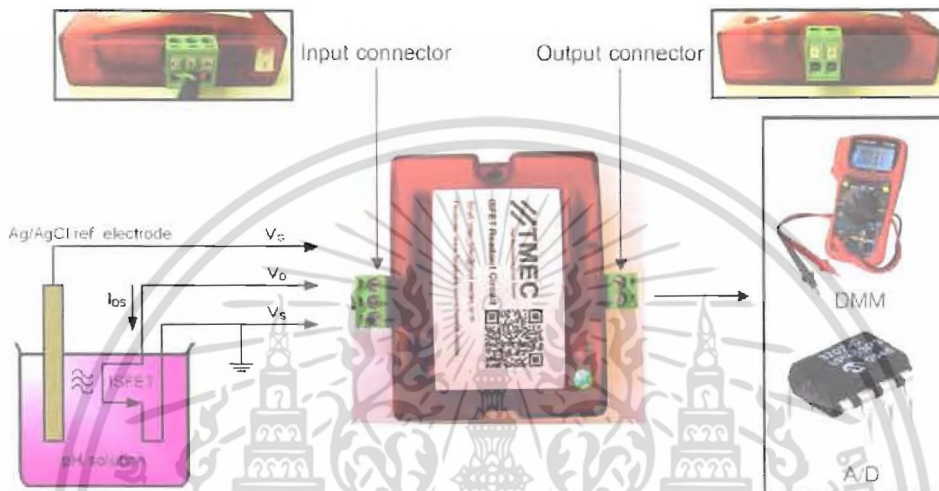


รูปที่ 2.2 ลักษณะการทำงานของ pH เซ็นเซอร์ชนิด ISFET [4]

### 2.3.2 วงจรอ่านค่าสำเร็จรูป

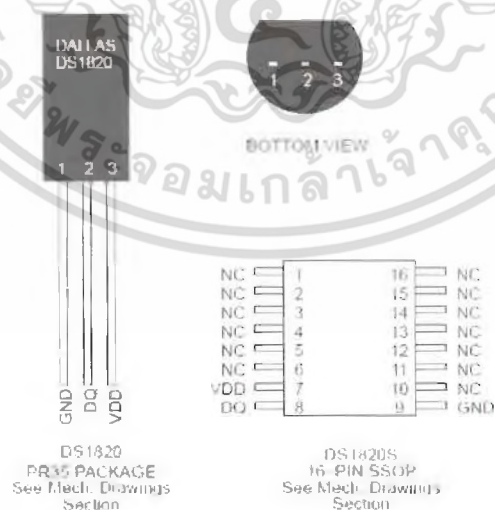
มีด้วยกัน 2 ส่วนแสดงดังรูปที่ 2.3 ดังนี้

- สัญญาณขาเข้า (Input) ต่อเข้ากับ pH เซ็นเซอร์ชนิด ISFET และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl (3 ขา S,D,G)
- สัญญาณขาออก (Output) เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (2 ขาคือ +,-) สามารถใช้มิเตอร์ตรวจวัด หรือนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปเชื่อมต่อกับ A/D ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ pH เซ็นเซอร์ชนิด ISFET ที่ต่อกับวงจรอ่านค่าสำเร็จรูป [4]

### 2.4 การวัดอุณหภูมิในน้ำด้วยไอซี DS1820



รูปที่ 2.4 โครงสร้างและขาการใช้งานของ DS1820 [5]

จากรูปที่ 2.4 ไอซี DS1820 เป็นไอซีที่มีระบบการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบ 1 สาย ซึ่งถือได้ว่าเป็นระบบที่มีความชาญฉลาดและใช้จำนวนสายสัญญาณเพียง 1 เส้นเท่านั้น โดยไม่ต้องมีสายสัญญาณ Clock มาควบคุมการถ่ายทอดข้อมูล เหมือนกับระบบสื่อสารข้อมูลอนุกรมในแบบอื่นๆ สายข้อมูลจะทำหน้าที่เสมือนเป็นสัญญาณ Clock ในตัว ส่วนค่าของข้อมูลจะพิจารณาจากลักษณะของรูปสัญญาณ ที่ปรากฏบนสายสัญญาณ ในแต่ละช่องของเวลา ซึ่งเรียกว่า “Time-Slot” โดยคาบเวลาดำสุดและสูงสุดของสถานะต่างๆ ในการสื่อสารข้อมูลในแต่ละ Time-Slot มีการกำหนดขอบเขตไว้อย่างชัดเจน การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นในแต่ละ Time-Slot นั้น รูปแบบการถ่ายทอดข้อมูลจะเป็นแบบ Asynchronous ในระดับบิต ไม่มีการกำหนดความยาวของข้อมูลเป็นระดับไบต์ระบบสื่อสารแบบนี้เหมาะที่จะใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างไอซีบนแผงวงจรเดียวกัน

#### 2.4.1 คุณสมบัติเด่นของ DS1820

- อินเทอร์เฟซสัญญาณผ่านขาเอาต์พุตเพียงพอร์ตเดียวแบบ 1 สายข้อมูล (1-Wire™ TM)
- ขยายจุดตรวจจับอุณหภูมิได้หลายๆ จุดบนสายข้อมูลเพียง 1 สายข้อมูล
- ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ภายนอกมาต่อรวม
- สามารถควบคุมการทำงานเพาเวอร์ออนได้ผ่านทางสายข้อมูล
- เพาเวอร์ขณะสแตนด์บายเป็นศูนย์
- ย่านการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ -55 องศาเซลเซียสถึง +125 องศาเซลเซียสที่ 0.5 องศาต่อสแต็ป หรือตั้งแต่ย่าน -67 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง +257 องศาฟาเรนไฮต์ที่ 0.9 องศาฟาเรนไฮต์ต่อสแต็ป
- อุณหภูมิจะถูกอ่านออกมาเป็นค่าทางดิจิทัล 9 บิต
- อัตราความเร็วในการแปลงจากอุณหภูมิมาเป็นค่าตัวเลขทางดิจิทัลเท่ากับ 200 มิลลิวินาที
- ผู้ใช้งานสามารถกำหนดการเซตค่าเตือนย่านอุณหภูมิได้ในแบบ non – volatile
- การเตือนย่านอุณหภูมินั้นสามารถกำหนดรหัสผ่านการสั่งการ และแอดเดรสของอุปกรณ์ได้จากภายนอกพื้นที่ตรวจวัดอุณหภูมิผ่านทางโปรแกรมภายนอก
- เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานตรวจวัดอุณหภูมิ และติดตั้งไว้ในอุปกรณ์ควบคุมเทอร์โมสแตติก ระบบโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ เทอร์โมมิเตอร์หรือระบบอื่นๆ ที่มีส่วนตรวจจับอุณหภูมิทำงานร่วมอยู่

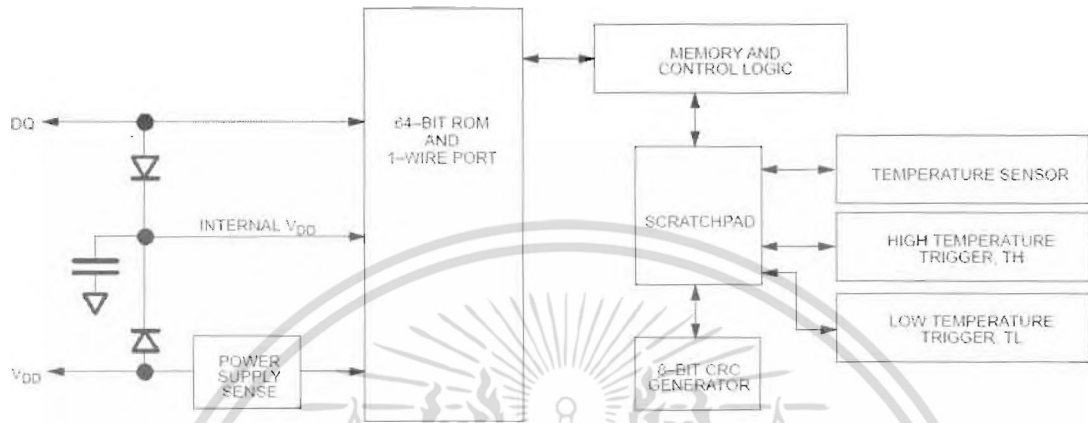
#### 2.4.2 บล็อกไดอะแกรมภายในของ DS1820

ในรูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบของการทำงานต่างๆ ภายในตัว DS1820 มีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วนด้วยกันคือ หน่วยความจำเลเซอร์รอมขนาด 64 บิต, ส่วนเซ็นเซอร์อุณหภูมิ และส่วนกระตุ้นเตือนอุณหภูมิแบบ non-volatile (TH และ TL) โดยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมินี้จะถูกควบคุมสถานะการเปิด และปิดจากไลน์ข้อมูลเพียง 1 สายข้อมูล จากการเก็บรักษากำลังงานสำรองไว้ในตัวเก็บประจุภายในในช่วงระหว่างคาบเวลาเมื่อสัญญาณภายในไลน์มีสถานะเป็น high และจะทำงานต่อเนื่องไปเรื่อยๆ และการหยุดการทำงานก็จะเกิดขึ้นจากการหยุดจ่ายแหล่งจ่ายในช่วงระหว่างค่านั้นเป็น low ของไลน์ข้อมูลและจะหยุดอยู่เช่นนั้นจนกว่าขาไลน์ข้อมูลจะกลับมาเป็น high อีกครั้ง และแหล่งจ่ายไฟหลักนี้ก็จะได้จากแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญต์เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดต่อข้อมูลกับ DS1820 จะติดต่อผ่านพอร์ตเพียงพอร์ตเดียวคือ 1-Wire ภายในพอร์ต 1-Wire นี้ในส่วนของหน่วยความจำและควบคุมฟังก์ชันโปรโตคอลของรอมจะถูกทำการเซตค่าเสียก่อน ในส่วนสำคัญของการทำงานฟังก์ชันอันดับแรกซึ่งเป็นหนึ่งในห้าลำดับของการสั่งการฟังก์ชันในรอมก็คือ การอ่านหน่วยความจำรอม ทำการแมตซ์รอม ค้นหารอม กระโดดข้ามรอม และเตือนการค้นหา



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมภายในของ DS1820 [5]

ซึ่งการทำงานของระบบการสั่งการนี้จะทำงานบนพื้นที่หน่วยความจำเลเซอร์รอมขนาด 64 บิต ผ่านพอร์ตไอซีแต่ละตัวและสามารถให้เอาต์พุตเดี่ยวเพื่อกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมินี้หลายๆ ตัวก็ทำได้โดยสั่งการผ่านไลน์ข้อมูล 1-wire นี้ หลังจากฟังก์ชันในรอมถูกลำดับการทำงานแล้ว ก็พร้อมที่จะถูกใช้งาน และสามารถที่จะเข้าถึงการทำงานภายในตัวไอซีได้ทั้งหมด หน่วยความจำและส่วนควบคุมฟังก์ชันก็จะถูกเข้าถึงการทำงานได้ และส่วนจัดเก็บค่าที่เซตไว้สามารถหรืออาจจะถูกเก็บไว้ในพื้นที่ 1 ส่วนจากทั้งหมด 6 ส่วนของหน่วยความจำและส่วนควบคุมฟังก์ชันการสั่งการ

ส่วนควบคุมฟังก์ชันการสั่งการหนึ่งส่วนจะถูกกำหนดคุณสมบัติของ DS1820 ให้อยู่ในรูปแบบของการวัดค่าของอุณหภูมิซึ่งผลของการวัดนั้นจะถูกบันทึกไว้ใน DS1820 ในส่วนของหน่วยความจำส่วนหนึ่ง (scratchpad) และบางครั้งก็จะอ่านออกมาได้จากตารางสารบัญของหน่วยความจำฟังก์ชันการสั่งการซึ่งเป็นการอ่านออกมาเฉพาะหัวข้อที่ถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ scratchpad สัญญาณกระตุ้นเตือนค่าอุณหภูมิต่ำเกินและต่ำเกิน (TH และ TL) จะประกอบด้วย 1 ไบต์ EEPROM ถ้าสัญญาณการเตือนการค้นหาไม่ถูกจ่ายเข้าไปยัง DS1820 รีจิสเตอร์เหล่านี้บางครั้งจะถูกใช้ได้อย่างทั่วๆ ไปจากหน่วยความจำที่ผู้อ่านกำหนดได้ และการเขียนเข้าไปในส่วนของการเตือน TH และ TL จะไม่ใช่หน่วยความจำฟังก์ชันการสั่งการและการเข้าไปถึงรีจิสเตอร์นี้จะอ่านผ่านหน่วยความจำ scratchpad และข้อมูลอื่นๆ ที่ต้องการอ่านและเขียนจะกระทำได้ในบิตแรกของ LSB



MSB	1		1	1	0	0	1	1	1	0	LSB
-----	---	--	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

= -25 °C

ที่ MSB บิตเป็นคู่เปรียบเทียบกับทุกบิตใน MSB สูงสุดของรีจิสเตอร์อุณหภูมิขนาด 2 ไบต์ ในหน่วยความจำซึ่งการอ่านค่าอุณหภูมิแบบ 16 บิต ในลักษณะสำคัญต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต

ค่าอุณหภูมิ	ดิจิทัลเอาต์พุต (Binary)	ดิจิทัลเอาต์พุต (Hex)
+ 125 °C	00000000 11111010	00FAh
+ 25 °C	00000000 00110010	0032h
+ 1/2 °C	00000000 00000001	0001h
+0 °C	00000000 00000000	0000h
- 1/2 °C	11111111 11111111	FFFFh
- 25 °C	11111111 11001110	FFCEh
-55 °C	11111111 10010010	FF92h

#### 2.4.4 การทำงานของสัญญาณเตือน

หลังจากที่ DS1820 มีการตรวจวัดอุณหภูมิเกิดขึ้นแล้วค่าของอุณหภูมิก็จะทำการเปรียบเทียบเพื่อทำเป็นสัญญาณกระตุ้น การเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิจะเปรียบเทียบกับค่าที่ถูกบันทึกหรือกำหนดไว้ของค่าอุณหภูมิสูงสุด (TH) และค่าอุณหภูมิต่ำสุด (TL) ตลอดย่านอุณหภูมิที่วัดได้ โดยจะใช้พื้นที่รีจิสเตอร์ 8 บิต สำหรับการทำงานนี้ใน MSB ของ TH หรือ TL ที่ตรงกันก็จะถูกส่งไปยัง SB ของรีจิสเตอร์อุณหภูมิขนาด 16 บิต ถ้าผลของการวัดอุณหภูมิมีค่าสูงเกินกว่า TH หรือต่ำกว่า TL ลำดับสัญญาณเตือนภายในอุปกรณ์ก็จะถูกเซต ซึ่งลำดับของสัญญาณเตือนนี้จะถูกอัปเดตทุกครั้งที่มีการวัดค่าอุณหภูมิ เมื่อลำดับสัญญาณเตือนถูกเซต DS1820 จะมีการตอบสนองนำไปสู่การค้นหาสัญญาณเตือนการส่งการและจะยอมให้ทำการต่อ DS1820 ในลักษณะขนานกันหลายตัวได้ เพื่อทำการจำลองการวัดค่าอุณหภูมิแล้วนำมาเฉลี่ยค่าของการวัดในครั้งนั้นอีกขั้นตอนหนึ่ง

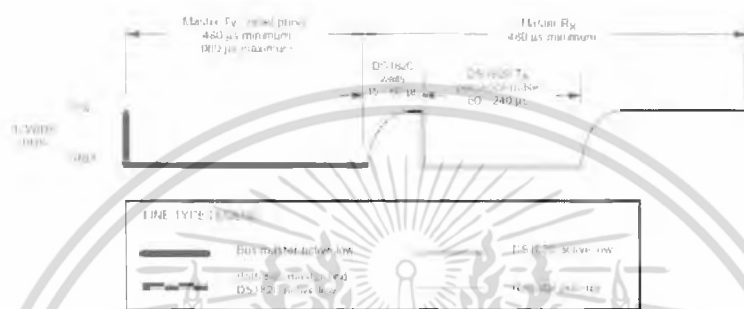
#### 2.4.5 บิตเลเซอร์รอม

ใน DS1820 นั้นจะประกอบด้วยส่วนของรหัสหน่วยความจำรอมที่มีความยาวถึง 64 บิต โดยใน 8 บิตแรกจะเป็นรหัสตระกูล (family code) 1-Wire ของ DS1820 (DS1820 มีรหัสเป็น 10h) และอีก 48 บิตต่อมาเป็นส่วนระบุนุกรมตัวเลข (serial number) และอีก 8 บิตสุดท้ายคือส่วนบันทึก CRC ของ 56 บิตแรก หน่วยความจำรอมขนาด 64 บิต และส่วนควบคุมฟังก์ชันรอมนี้จะยอมให้ DS1820 สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์อินเตอร์เฟสแบบ 1-Wire ได้ และมีรายละเอียดตามโปรโตคอลของระบบบัส 1-Wire ซึ่งฟังก์ชันและส่วนควบคุมต่างๆใน DS1820 จะยังไม่สามารถทำงานหรือเข้าถึงได้จนกว่าจะมีการเซตอัปเดตโปรโตคอลฟังก์ชันในหน่วยความจำรอมเสียก่อน โดยใน

การอินเตอร์เฟสในส่วนหลักของฟังก์ชัน การสั่งการในหน่วยความจำรวมจะต้องมีลำดับฟังก์ชัน หลังจากที่มีการเซตลำดับฟังก์ชันรอมดั่งข้างต้นเสร็จแล้ว ฟังก์ชันต่างๆ ของ DS1820 ก็จะสามารถเข้าถึงได้

### 2.4.6 สัญญาณ RESET

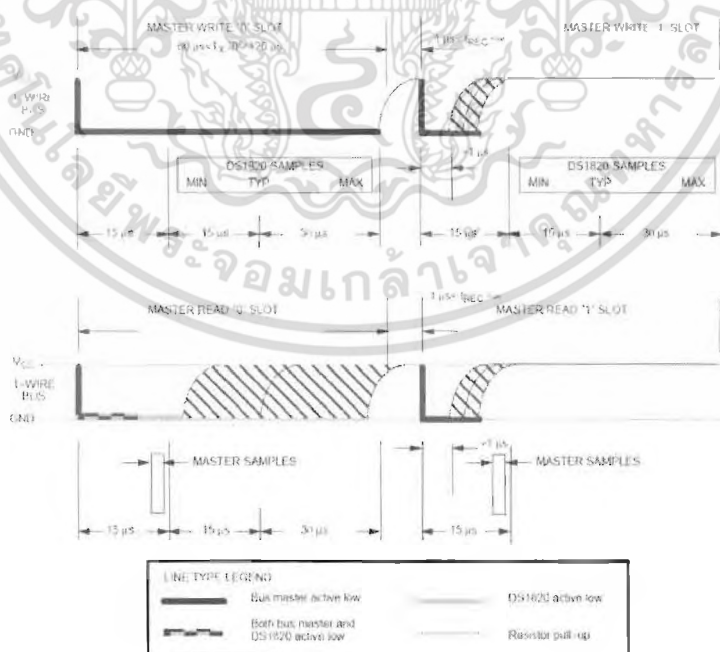
ในการเริ่มติดต่อกับ DS1820 จะต้องเริ่มด้วยสัญญาณ RESET ก่อนทุกครั้ง จากรูป 2.7 เส้นสีดำคือสัญญาณ RESET จากตัว MCU ครั้น ส่วนสีเทาคือ สัญญาณที่ DS1820 จะ RESPONSE กลับมา ความกว้างของสัญญาณต้องทำให้แม่นยำโดยปรับ Delay times หลายครั้งเพราะภาษา C มักจะมีปัญหาเรื่องความแม่นยำของ Delay times ที่เป็นช่วงสั้นมาก



รูปที่ 2.7 สัญญาณ RESET DS1820 [5]

### 2.4.7 สัญญาณ READ/WRITE

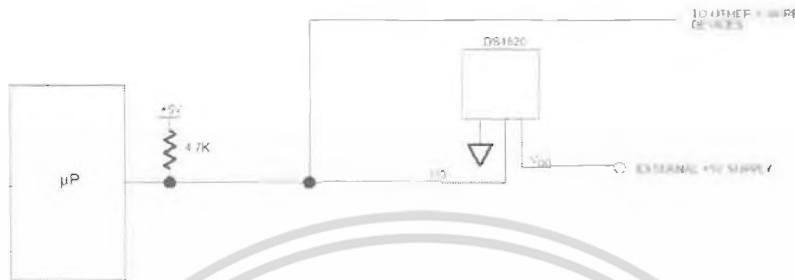
รูปแบบของสัญญาณ READ/WRITE ก็จะเป็นดังรูปที่ 2.8 โดย MIN และ MAX time ของ DS1820 SAMPLES นั่นคือเวลาที่ DS1820 ต้องใช้ในการอ่านข้อมูลบิตเมื่อมีการส่งค่าให้



รูปที่ 2.8 สัญญาณ READ/WRITE DS1820 [5]

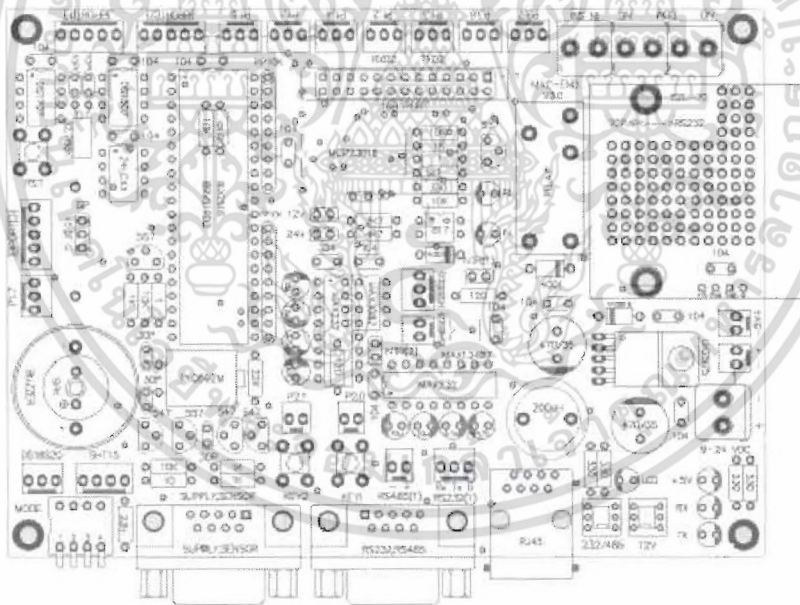
#### 2.4.8 การต่อแหล่งจ่ายไฟ

ในรูปที่ 2.9 เป็นการจัดแหล่งจ่ายไฟภายนอกให้กับ DS1820 ณ จุดที่ติดตั้งใช้งาน และการส่งการจากไมโครโปรเซสเซอร์ยังทำงานได้เหมือนเดิมและสามารถที่จะต่อ DS1820 ขนานกันโดยใช้การอินเทอร์เฟซผ่านบัส 1-Wire เดียวกันได้หลายตัว จึงเหมาะกับการตรวจวัดอุณหภูมิหลายจุดที่ควบคุมได้จากระยะไกลผ่านระบบไมโครโปรเซสเซอร์



รูปที่ 2.9 การจัดแหล่งจ่ายไฟภายนอกและการอินเทอร์เฟซร่วมของ DS1820 หลายตัวบนบัส 1-Wire [5]

#### 2.5 บอร์ด MAC-ENG v3.0



รูปที่ 2.10 บอร์ด MAC-ENG v3.0 [7]

จากรูปที่ 2.10 MAC-ENG เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เอนกประสงค์ ที่เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งาน โดยใช้ชิพเบอร์ MPC82G516A ของ MEGAWIN ในตระกูล MCS-51 ซึ่งมีเครื่องมือต่างๆ ในการพัฒนาโปรแกรม มีพอร์ตต่างๆ สำหรับรองรับการใช้งานได้หลายรูปแบบ สามารถขยายเพิ่มเติมได้ง่าย และสามารถใช้ภาคจ่ายไฟได้หลายรูปแบบ

### 2.5.1 คุณสมบัติ

- MCU เบอร์ 82G516A ของ megawin ซึ่งมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวน และมีขั้ว ISP(3-Pin) สำหรับโหลดโปรแกรมลงบนชิพ MCU ของ megawin
- มี Relay Output และ DC Opto Input อย่างละ 1 ตัวบนบอร์ด โดยในส่วนของ DC Opto Input จะต่อผ่านขั้ว DB9 ตัวเมีย
- มีปุ่มกด Key1 และ Key2 ซึ่งต่อเข้ากับ CPU โดยตรง มีพอร์ตสื่อสาร RS232 (Com1) หรือ RS485 (Com1) สามารถกดเลือกได้ด้วย Switch บนบอร์ด ต่อผ่านขั้ว 3-Pin, 2-Pin หรือผ่านขั้ว DB9 ตัวผู้ก็ได้
- มีพอร์ตสื่อสาร RS232 (Com2) หรือ RS485 (Com2) โดยต่อผ่านขั้ว 3-Pin และ 2-Pin ตามลำดับ
- มีขั้ว I/O อีthernet แบบ 5-Pin (3B Port) จำนวน 3 ชุด เป็น I/O ที่ต่อตรงกับตัว MCU
- มีขั้ว I/O อีthernet แบบ 3-Pin (I/O Port) จำนวน 8 ชุด เป็น I/O ที่ต่อตรงกับตัว MCU
- มีขั้ว I/O อีthernet แบบ 26-Pin (16B Port) จำนวน 1 ชุด เป็น I/O ที่ต่อจากตัวชิพเบอร์ MCP23016
- มี Dip Switch แบบ 4 ช่อง โดยต่อตรงกับ MCU สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ตามต้องการ
- มี Buzzer 1 ตัวบนบอร์ด ส่งเสียงเตือนต่างๆได้ตามต้องการ ควบคุมด้วยการเขียนโปรแกรม
- มีวงจรตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น เลือกได้ 2 เบอร์คือ SHT15 (T,H) หรือ DS18B20 (T) โดยต่อผ่านขั้ว 3-Pin, 4-Pin หรือต่อผ่านขั้ว DB9 ตัวเมียก็ได้ สามารถต่อสายได้ยาวถึง 100เมตร
- ภาควัดจ่ายไฟรองรับ 5VDC หรือ 12VDC ต่อผ่านขั้ว 2-Pin หรือผ่านขั้ว Terminal แบบขันน็อตก็ได้

## 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A

MPC82G516A เป็นชิปเดี่ยวที่มีพื้นฐานจากหน่วยประมวลผล 80C51 ในสถาปัตยกรรม 1-T ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถประมวลผลได้ใน 1-7 รอบสัญญาณนาฬิกา (มาตรฐานของอุปกรณ์ 8051 คือประมาณ 6-7 ครั้ง) และมีชุดคำสั่งที่ทำงานร่วมกับ 8051 ดังนั้นประสิทธิภาพการทำงานจะเหมือนกับมาตรฐานของ 8051 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A สามารถทำงานในระดับความเร็วต่างๆ ได้ จึงช่วยลดการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก

MPC82G516A มีหน่วยความจำแบบแฟลชขนาด 64 กิโลไบต์ สำหรับการเขียนโปรแกรมและข้อมูล หน่วยความจำแบบแฟลชนี้สามารถเขียนโปรแกรมได้ทั้งแบบขนาน (Parallel) และแบบอนุกรม (Serial) ด้วยวิธีการโปรแกรมแบบ In-System Programming (ISP) และ In-Circuit Programming (ICP)

### 2.6.1 คุณสมบัติ

- ฟังก์ชันโดยทั่วไปของ 8051
  - ชุดคำสั่งที่ทำงานร่วมกับ 8051
  - หน่วยความจำชั่วคราวภายในขนาด 256 ไบต์
  - หน่วยความจำข้อมูลภายนอกขนาด 64 กิโลไบต์
  - พอร์ต I/O แบบสองทิศทาง 8 บิต 4 พอร์ต
  - ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ แบบ 16 บิต 3 พอร์ต
  - พอร์ต UART แบบ Full-Duplex
  - ตัวกำเนิดอินเทอร์รัพท์ 14 ตัวด้วยระดับความสำคัญ 4 ระดับ
  - โหมดประหยัดพลังงาน : โหมดเตรียมทำงาน และ โหมดลดพลังงาน
- หน่วยประมวลผล 80C51 ในสถาปัตยกรรม 1-T ที่มีประสิทธิภาพสูง
- หน่วยความจำแบบแฟลชขนาด 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำเพิ่มเติมขนาด 1024 ไบต์
- พอร์ต I/O ที่เพิ่ม Bit-addressable, P4
- การปรับเปลี่ยนชนิดของพอร์ต I/O
  - เอาต์พุตแบบ Quasi-bidirectional
  - เอาต์พุตแบบ Open-drain
  - อินพุตอย่างเดียว
  - เอาต์พุตแบบ Push-pull
- ตัวอินเทอร์รัพท์ภายนอก /INT2 และ /INT3
- Timer2 สามารถนับถอยหลังได้
- ฟังก์ชัน UART เพิ่มเติม
  - การตรวจสอบความผิดพลาดของเฟรม
  - การจำตำแหน่งอัตโนมัติ
- ใช้ UART พอร์ตที่สองด้วยเครื่องกำเนิดอัตราการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ PCA (Programmable Counter Array) กับ 6 โมดูล
  - โหมดตรวจจับ
  - โหมดโปรแกรมไทม์เมอร์ 16 บิต
  - โหมดเอาต์พุตความเร็วสูง
  - โหมด PWM (Pulse Width Modulator)
- มีอินเตอร์เฟส SPI (โหมด Master/Slave)
- ใช้ ADC 10 บิต กับ อินพุตมัลติเพล็กซ์อนาล็อก 8 อินพุต
- ใช้อินเตอร์รัพท์แบบปุ่มกดได้ 8 อินพุต
- เริ่มการทำงานในโหมดลดพลังงานโดยอินเตอร์รัพท์ภายนอก
- เอาต์พุตโปรแกรมนาฬิกา 3 เอาต์พุต
- เปิดการใช้งานตัวนับเวลาเพียง 1 ครั้ง
- มี DPTR 2 ตัว
- การปรับเปลี่ยนระบบนาฬิกาเพื่อลดการใช้พลังงาน
- ใช้ ISP และ ICP ในการอัปเดตโปรแกรม
- มีอินเตอร์เฟส OCD (On-Chip Debug) สำหรับ ICE
- ความทนทานในการแฟลช : 20,000 รอบในการลบ/การเขียน
- ความถี่ในการใช้งาน : เพิ่มได้ถึง 24 เมกะเฮิร์ตซ์
- แหล่งจ่ายไฟ : 2.4-3.6V (สำหรับระบบ 3.3V) หรือ 2.7-5.5V (สำหรับระบบ 5V)
- ช่วงอุณหภูมิในการใช้งาน : -40 ถึง +85 °C

## 2.6.2 องค์ประกอบของขาในไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A มีหลายรูปแบบ ชนิดที่ใช้คือ PDIP มีจำนวน 40 ขา ดังรูปที่ 2.11 และอธิบายรายละเอียดในแต่ละขา ดังตารางที่ 2.2

T2CKO/AIN0/T2/P1 0	1	40	VDD
ECVAIN1/T2EX/P1 1	2	39	P0 0/AD0
CEX0/S2RXD/AIN2/P1 2	3	38	P0 1/AD1
CEX1/S2TXD/AIN3/P1 3	4	37	P0 2/AD2
CEX2/SS/AIN4/P1 4	5	36	P0 3/AD3
CEX3/MOS/AIN5/P1 5	6	35	P0 4/AD4
CEX4/MISO/AIN6/P1 6	7	34	P0 5/AD5
CEX5/SPICLK/AIN7/P1 7	8	33	P0 6/AD6
RST	9	32	P0 7/AD7
RXD/P3 0	10	31	V30
TXD/P3 1	11	30	OCD_SDA
INT0/P3 2	12	29	OCD_SCL
INT1/P3 3	13	28	P2 7/A15/KB7
TOCK0/TD/P3 4	14	27	P2 6/A14/KB6
S2CKO/ALE/T1/P3 5	15	26	P2 5/A13/KB5
WR/P3 6	16	25	P2 4/A12/KB4
RD/P3 7	17	24	P2 3/A11/KB3
XTAL2	18	23	P2 2/A10/KB2
XTAL1	19	22	P2 1/A9/KB1
VSS	20	21	P2 0/A8/KB0

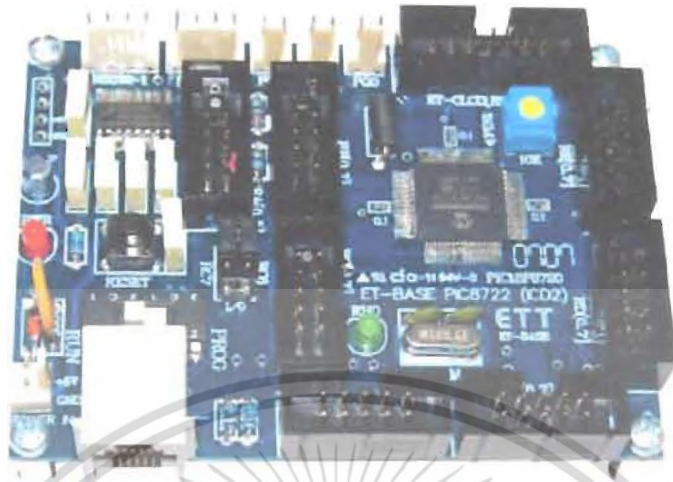
รูปที่ 2.11 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A ชนิด PDIP40 [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงรายละเอียดของขาในไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A ชนิด PDIP40

ขา	พอร์ต	รายละเอียด
1-8	P1.0-P1.7	AIN0-AIN7 : อินพุตอนาล็อกแบบ ADC (Analog-to-Digital) T2 : อินพุตภายนอกไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 T2EX : ควบคุมไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 S2RXD : พอร์ตอินพุตอนุกรมของ UART ที่สอง S2TXD : พอร์ตเอาต์พุตอนุกรมของ UART ที่สอง
9	RST	รีเซ็ตอุปกรณ์
10	P3.0	RXD : พอร์ตอินพุตอนุกรม
11	P3.1	TXD : พอร์ตเอาต์พุตอนุกรม
12	P3.2	/INT0 : อินพุตอินเตอร์รัพท์ 0 ภายนอก
13	P3.3	/INT1 : อินพุตอินเตอร์รัพท์ 1 ภายนอก
14	P3.4	T0 : อินพุตภายนอกไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0
15	P3.5	T1 : อินพุตภายนอกไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1
16	P3.6	/WR : เขียนข้อมูล
17	P3.7	/RD : อ่านข้อมูล
18	XTAL2	Crystal2 : เอาต์พุตจากวงจรขยายกลับขั้วสัญญาณ
19	XTAL1	Crystal1 : อินพุตที่เข้าไปที่วงจขยายกลับขั้วสัญญาณและสัญญาณนาฬิกาภายใน
20	VSS	สายดิน, จุดอ้างอิง 0 V
21-28	P2.0-P2.7	A8-A15 : เอาต์พุต KBIO-KBI7 : อินพุตปุ่มกด
29	OCD_SDA	อินเตอร์เฟส On-Chip Debug , ข้อมูลอนุกรม
30	OCD_SCL	อินเตอร์เฟส On-Chip Debug , นาฬิกาอนุกรม
31	V30	เอาต์พุตของ LDO (Low Drop-Out voltage regulator) ภายใน
32-39	P0.0-P0.7	AD0-AD7 : การรวมสัญญาณ
40	VDD	แหล่งกำเนิดไฟ สำหรับคำสั่งการทำงานแบบปกติ เตรียมพร้อมทำงานและลดพลังงาน

## 2.7 บอร์ด ET-BASE PIC8722 (ICD2)



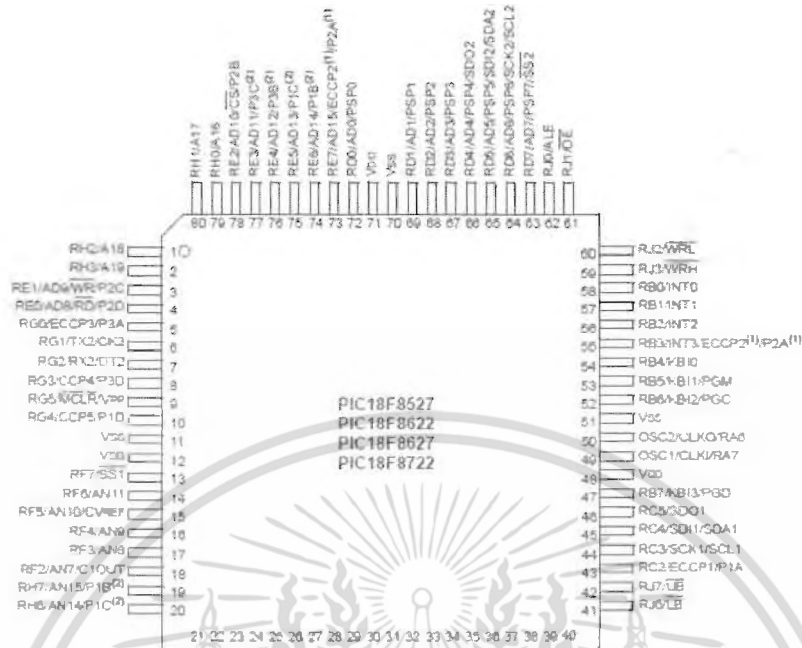
รูปที่ 2.12 บอร์ด ET-BASE PIC8722 (ICD2) [9]

ET-BASE PIC8722 (ICD2) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC ของบริษัท Microchip ซึ่งในเวอร์ชันนี้ได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC18F8722 ขนาด 80-Pin แบบ TQFP มาจัดวางใช้งานให้มีขนาดกะทัดรัด

### 2.7.1 คุณสมบัติของบอร์ด ET-BASE PIC8722 (ICD2)

- รองรับการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 80-Pin คือ PIC18F8722
- สัญญาณนาฬิกาคริสตอลอสซิลเลเตอร์ขนาด 10 MHz สำหรับ PIC18F8722 (สามารถใช้ x4 จาก PLL ได้ 40 MHz)
- I/O Port ขนาด 10-Pin (จัดเรียงตามมาตรฐานของ อีทีที) จำนวน 7 พอร์ต
- I/O Port ขนาด 2-Pin จำนวน 3 พอร์ต
- ชุดวงจรไดร์เวอร์ RS232 จำนวน 2 พอร์ต
- พอร์ตสำหรับต่อ LCD เรียงตามมาตรฐานของ อีทีที (ET-CLCD) จำนวน 1 พอร์ต
- พอร์ตดาวน์โหลดแบบ ICD2 รองรับเครื่องโปรแกรมภายนอก (ET-PGM PIC USB)
- ขั้วต่อแรงดันไฟ VCC และ GND

## 2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F8722



รูปที่ 2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F8722 [10]

### 2.8.1 คุณสมบัติ

คุณสมบัติการจัดการพลังงาน :

- สภาวะ Run : CPU เปิด อุปกรณ์ต่อพ่วง เปิด
- สภาวะ Idle : CPU ปิด อุปกรณ์ต่อพ่วง เปิด
- สภาวะ Sleep : CPU ปิด อุปกรณ์ต่อพ่วง ปิด
- อินพุตใช้พลังงานต่ำแค่ 50 nA
- สภาวะ Run ใช้พลังงานโดยทั่วไป 25  $\mu$ A
- สภาวะ Idle ใช้พลังงานโดยทั่วไป 6.8  $\mu$ A
- สภาวะ Sleep ใช้พลังงานโดยทั่วไป 120 nA
- เครื่องกำเนิดสัญญาณไทม์เมอร์ 1: 900 nA , 32 kHz, 2V
- ไทม์เมอร์ Watchdog : โดยทั่วไป 1.6  $\mu$ A , 2V
- เครื่องกำเนิดสัญญาณแบบสองความเร็วถูกติดตั้งแล้ว

โครงสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณที่หีดหุ่ย่น :

- ซี โหมตคริสตัล ใช้งานได้ถึง 40 MHz
- 4x Phase Lock Loop (PLL) สามารถใช้งานได้สำหรับคริสตัลและเครื่อง

กำเนิดสัญญาณภายใน

- บล็อกของเครื่องกำเนิดสัญญาณภายใน
  - กลับมาทำงานได้รวดเร็วจากโหมด Sleep และ Idle โดยทั่วไป 1  $\mu$ s
  - สามารถใช้งานขอบเขตความเร็วของนาฬิกาได้สมบูรณ์จาก 31 kHz ถึง 32 MHz เมื่อใช้กับ PLL
  - ผู้ใช้สามารถปรับชดเชยเพื่อความถี่ที่ผิดพลาดไปได้
- เครื่องกำเนิดสัญญาณที่สองใช้โหมดเมอร์ 1 ที่ 32 kHz
- จอมอนิเตอร์นาฬิกาแบบผิดพลาด-ปลอดภัย
  - อนุญาตสำหรับการปิดแบบปลอดภัย ถ้านาฬิกาอุปกรณ์ต่อพ่วงหยุดทำงาน

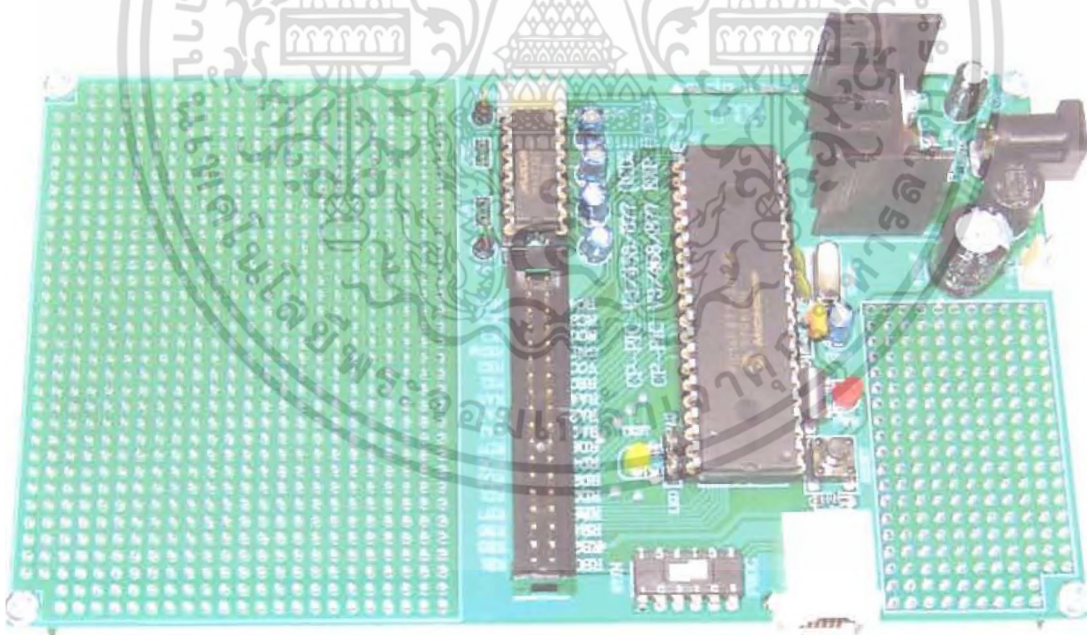
อุปกรณ์ต่อพ่วงที่โดดเด่น :

- กระแสไฟสูงของตัวระบายความร้อน/แหล่งกำเนิด 25mA/25mA
- สามอินเทอร์รัพท์ภายนอกที่โปรแกรมได้
- ซีอินเทอร์รัพท์ที่เปลี่ยนอินพุต
- การทำให้ไมดูล (แค่อุปกรณ์ 40/44 ขา) การตรวจจับ/การเปรียบเทียบ/PWM (ECCP) ดีขึ้น
  - หนึ่ง สอง หรือสี่ เอ็ดพุต PWM
  - เวลาดับที่โปรแกรมได้
  - ปิดเครื่องอัตโนมัติ หรือรีสตาร์ทอัตโนมัติ
- เพิ่มได้ถึง 2 สำหรับโมดูลการตรวจจับ/การเปรียบเทียบ/PWM (CCP) , หนึ่งของการปิดเครื่องอัตโนมัติ (อุปกรณ์ 28 ขา)
- โมดูล Master Synchronous Serial Port (MSSP) สนับสนุน 3-Wire SPI (ทั้ง 4 โหมด) และ I<sup>2</sup>C โหมด Master และ Slave
- โมดูล USART ที่มีที่อยู่ดีขึ้น
  - สนับสนุน RS-485, RS-232 และ LIN/J2602
  - RS-232 ทำงานโดยใช้บล็อกของเครื่องกำเนิดสัญญาณภายใน (ไม่ต้องการคริสตัลภายนอก)
- 10 บิต เพิ่มได้ถึง 13 ช่องสัญญาณ โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกพุตดิจิตอล (A/D)
  - การแปลงนั้นทำได้ในช่วงโหมด Sleep
- ตัวเปรียบเทียบอนาล็อกแบบคู่กับการมัลติเพล็กซ์อินพุต
- การตรวจจับ 16 โมดูลแรงดันไฟสูง/ต่ำ (HLVD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สถาปัตยกรรมคอมไพเลอร์ ภาษาซี
- หน่วยความสามารถโดยทั่วไป ลบ/เขียนได้ 100,000 ครั้ง
- EEPROM ข้อมูลสามารถถูก ลบ/เขียนโดยทั่วไป 1,000,000 ครั้ง
- การแฟลช/ข้อมูลของ EEPROM เก็บรักษาได้โดยปกติ 100 ปี
- เขียนโปรแกรมในตัวเองได้ภายใต้การควบคุมจากซอฟต์แวร์
- ระดับความสำคัญสำหรับการอินเตอร์รัพท์
- 8 x 8 มัลติไพเลอร์ฮาร์ดแวร์ไซเคิลเดียว
- ไทม์เมอร์ Watchdog ที่เพิ่มเติม (WDT):
  - ช่วงเวลาที่โปรแกรมได้ 4 ms ถึง 131 s
- แหล่งจ่ายไฟ 5V ของ In-Circuit Serial Programming (ICSP) ผ่านสองขา
- In-Circuit Debug (ICD) ผ่านสองขา
- ขอบเขตแรงดันขณะทำงานกว้าง : 2.0V ถึง 5.5V
- Brown-out Reset (BOR) ที่โปรแกรมได้กับส่วนเพิ่มเติมของซอฟต์แวร์ที่ถูกเปิดใช้งาน

## 2.9 บอร์ด CP-PIC V3.0 (ICD2)



รูปที่ 2.14 บอร์ด CP-PIC V3.0 (ICD2) [11]

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-PIC V3.0&V4.0 ที่ได้ออกแบบนี้ เป็นบอร์ดที่ออกแบบไว้ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC โดยจะสามารถใช้ได้ กับเบอร์ 16F877-20P , 18F442 และ 18F458 หรือเบอร์อื่นๆ ที่มีโครงสร้างและตำแหน่งขาสัญญาณเหมือนกันโดย CPU แต่ละเบอร์ก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

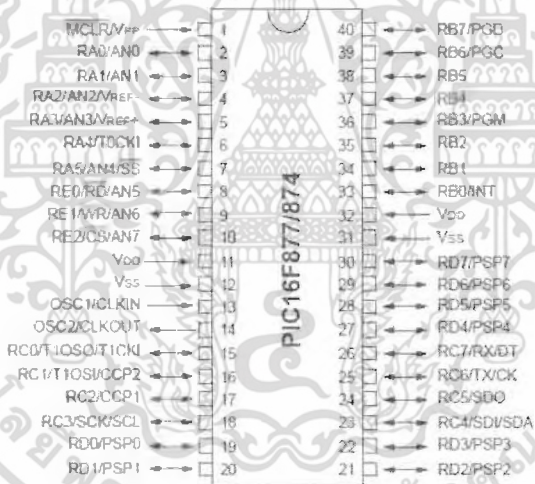
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CPU ดังกล่าวจะบรรจุอยู่ในตัวถังแบบ DIP ขนาด 40 ขา และมีทรัพยากรต่างๆบรรจุไว้ภายในตัว CPU อย่างครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็น ADC/TIMER/COUNTER/PWM หรือ PORT I/O ต่างๆ ซึ่งมีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

- CP-PIC V3.0 (ICD2) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งออกแบบวงจรเฉพาะส่วนพื้นฐานที่จำเป็น เช่น แหล่งจ่ายไฟ วงจรรีเซ็ต วงจรกำเนิดความถี่สัญญาณนาฬิกา พอร์ตสำหรับ Download โปรแกรม และวงจรสื่อสารอนุกรม ส่วนวงจร I/O ภายนอกนั้น จะไม่ได้จัดเตรียมไว้ให้ด้วย แต่จะทำการต่อสัญญาณ I/O ต่างๆจาก CPU มาไว้ยังขั้วต่อ Connector สำหรับให้ผู้ใช้นำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ I/O ภายนอกได้โดยง่าย และยังมีพื้นที่เอนกประสงค์สำหรับให้ผู้ใช้ออกแบบวงจร I/O และต่อวงจร I/O เพิ่มเติมได้ ซึ่งในบอร์ดจะประกอบด้วย

- RS - 232 1 แชนแนล
- ETT CON 34-Pin (ET BUS I/O 34-Pin)
- 5 Volt Regulator On Board

## 2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877



รูปที่ 2.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 [12]

### 2.10.1 คุณสมบัติ

คุณสมบัติของคอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ :

- CPU แบบ RISC มีประสิทธิภาพสูง
- มีแค่ 35 คำสั่งในการเรียนรู้
- คำสั่งของไซเคิลเดียวทั้งหมดคาดหวังให้สำหรับกรโปรแกรมเป็นกลุ่มย่อยๆ ที่เป็นสองไซเคิล
- ความเร็วในการปฏิบัติการ : DC - 20 MHz อินพุตนาฬิกา  
DC - 20 ns ไซเคิลคำสั่ง

- เพิ่มได้ถึง 8 พัน x 14 คำของหน่วยความจำแฟลชโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพิ่มได้ถึง 368 x 8 ไบต์ของหน่วยความจำข้อมูล (RAM)
- เพิ่มได้ถึง 256 x 8 ไบต์ของ EEPROM หน่วยความจำข้อมูล
- ขาดความสามารถรองรับ PIC16C73B/74B/76/77
- ความจุอินเทอร์รัพท์มาก (เพิ่มได้ถึง 14 แหล่งกำเนิด)
- แปรระดับของความลึกฮาร์ดแวร์ที่ซ้อนกัน
- มีทิศทาง ไม่มีทิศทางและโหมดหาที่อยู่สัมพัทธ์กัน
- รีเซตการเปิด (POR)
- ตัวจับเวลาเปิด (PWRT) และตัวจับเวลาเครื่องกำเนิดสัญญาณเริ่มต้น (OST)
- ตัวจับเวลา Watchdog (WDT) กับเครื่องกำเนิดสัญญาณในชิปของตัวเอง สำหรับการงานที่เชื่อถือได้
- การป้องกันโค้ดที่สามารถโปรแกรมได้
- โหมดประหยัดพลังงาน SLEEP
- ส่วนเสริมเครื่องกำเนิดสัญญาณที่เลือกได้
- เทคโนโลยี CMOS FLASH/EEPROM พลังงานต่ำ ความเร็วสูง
- การออกแบบที่คงที่แน่นอน
- In-Circuit Serial Programming (ICSP) ผ่านสองขา
- แหล่งจ่ายไฟ 5V ของ In-Circuit Serial Programming
- In-Circuit Debugging ผ่านสองขา
- หน่วยประมวลผล อ่าน/เขียนถึงในหน่วยความจำโปรแกรม
- ขอบเขตแรงดันขณะทำงานกว้าง : 2.0V ถึง 5.5V
- กระแสไฟสูงของตัวระบายความร้อน/แหล่งกำเนิด : 25mA
- ทางการค้า ทางการอุตสาหกรรมและขอบเขตของอุณหภูมิกว้างขึ้น
- อัตราการใช้พลังงานต่ำ :
  - < 0.6 mA โดยทั่วไป @ 3V , 4 MHz
  - 20  $\mu$ A โดยทั่วไป @ 3V , 32 kHz
  - < 1  $\mu$ A โดยทั่วไปกระแสเริ่มทำงาน

คุณสมบัติของอุปกรณ์ต่อพ่วง :

- ตัวจับเวลา 1 : 16 บิต ตัวจับเวลา/ตัวนับเวลา กับก่อนวัดสามารถเพิ่มขึ้นในช่วง SLEEP ผ่านคริสตัล/นาฬิกาภายนอก
- ตัวจับเวลา 2 : 8 บิต ตัวจับเวลา/ตัวนับเวลาการบันทึกช่วงเวลา 8 บิตก่อนวัดและหลังวัด
- การตรวจจับ การเปรียบเทียบ โมดูล PWM
  - การตรวจจับคือ 16 บิต ความละเอียดสูงสุดคือ 12.5 ns
  - การเปรียบเทียบคือ 16 บิต ความละเอียดสูงสุดคือ 200 ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 10 บิตของช่องสัญญาณ ตัวแปลงอนาล็อกทูลิจิตอล
- พอร์ตอนุกรมการเข้าจังหวะ (SSP) กับ SPI (Master mode) และ I<sup>2</sup>C (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) กับ การตรวจพบที่อยู่ 9 บิต
- พอร์ต Slave แบบขนาน (PSP) 8 บิตกว้าง กับ การควบคุม RD , WR และ CS ภายนอก
- การตรวจจับวงจรไฟฟ้า Brown-out Reset สำหรับ Brown-out Reset (BOR)

## 2.11 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell)



รูปที่ 2.16 แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell Panel) [14]

Photovoltaic หมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ซึ่งวัสดุดังกล่าวคือ สารกึ่งตัวนำ ซึ่งเมื่อนำสารกึ่งตัวนำมาผลิตอุปกรณ์ จะเรียกว่า "Solar Photovoltaic" หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

### 2.11.1 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

ประเด็นสำคัญของการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ นั่นก็คือประโยชน์ที่ได้รับคือ การลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล ซึ่งยังช่วยลดปัญหาการสะสมมลพิษต่างๆ ในบรรยากาศ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และก๊าซไฮโดรคาร์บอน ซึ่งล้วนเป็นก๊าซที่ทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจก ที่เป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น นอกจากนี้คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นนอกจากแสงอาทิตย์ รวมถึงไม่มีการเผาไหม้ที่ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อให้เกิดมลภาวะด้านน้ำ อากาศ และของเสีย และลักษณะการเคลื่อนไหวที่ไม่ทำให้เกิดเสียง ดังนั้นจึงไม่เกิดมลภาวะทางเสียงเช่นกัน

### 2.11.2 วัสดุการทำเซลล์แสงอาทิตย์

วัสดุสำคัญที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สารกึ่งตัวนำประเภท สารซิลิคอน ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีพิษ มีราคาถูก คงทน อย่างไรก็ตามยังมีสารที่ทดแทนสารซิลิคอนได้ เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์ , แคดเมียม เทลเลอไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไตเซลไนด์ ซึ่งมีราคาสูง ไม่นิยมนำมาใช้งานบนพื้นโลก ส่วนใหญ่จะใช้งานในระบบดาวเทียมและระบบรวมแสง ในส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารซิลิคอน สามารถแบ่งตามผลึกของสารซิลิคอนที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline)
- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Polycrystalline)
- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดที่ไม่เป็นรูปผลึกหรืออะมอร์ฟัส (Amorphous) หรือเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell)

### 2.11.3 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

คุณสมบัติของซิลิคอนบริสุทธิ์จะเป็นสารตัวนำไฟฟ้าที่ต่ำมาก เนื่องจากไม่มีการเคลื่อนที่ในพันธะ แต่เมื่อผ่านกระบวนการโด๊ปिंग โดยนำสารโบรอนมาเป็นตัวพาประจุบวก คือไม่มีอิเล็กตรอน และมีช่องว่างที่เรียกว่า โฮล ซึ่งอิเล็กตรอนจะมาจับคู่ด้วยในโครงสร้างผลึก เมื่อสารซิลิคอนผ่านกระบวนการนี้ จะมีความเป็นตัวนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและเรียกซิลิคอนนี้ว่า "P-type" ส่วนสารซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการโด๊ปिंग โดยใช้สารฟอสฟอรัส จะเรียกว่า "N-type" สารซิลิคอนส่วนใหญ่ในเซลล์แสงอาทิตย์ จะเป็นแบบ P-type แต่บางส่วนเป็น N-type ได้แก่ ผิวส่วนหน้าของเซลล์ด้านที่มีแสงตกกระทบส่วนรอยต่อระหว่างชั้นทั้ง 2 ชั้น เรียกว่า PN junction ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดในเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีประจุอิสระเคลื่อนที่ผ่าน และทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างรอยต่อ เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุบวกและประจุลบขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้าง PN junction จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วทั้งสอง เมื่อต่อไฟฟ้าครบวงจรจะเกิดกระแสไหลขึ้น

ถ้าต้องการได้กระแสไฟฟ้ามากๆ จากเซลล์แสงอาทิตย์ทำได้โดยการนำเซลล์มาต่อขนานกัน หรือถ้าต้องการได้แรงดันไฟฟ้าสูงๆ ทำได้โดยการนำเซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น หากต้องการนำไปใช้กับกระแสสลับหรือเก็บพลังงานสะสมไว้ใช้ต่อไป จะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งมีอุปกรณ์ที่สำคัญๆ ดังนี้

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ทำหน้าที่ เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า
- เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) ทำหน้าที่ ประจุกระแสไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เข้าสู่แบตเตอรี่ และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเหมาะสม

กับแบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ด้วย

- แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่ เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำหน้าที่ แปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นกระแสสลับ (AC) เพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับตามบ้านเรือนได้
- ระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection) ทำหน้าที่ ป้องกันความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อฟ้าผ่าหรือเกิดการเหนี่ยวนำทำให้ความต่างศักย์สูง

## 2.12 ไอซีแปลงไฟ 74LCX245



รูปที่ 2.17 ไอซีแปลงไฟ 74LCX245 [15]

จากรูปที่ 2.17 ไอซีแปลงไฟ 74LCX245 ประกอบไปด้วย บัฟเฟอร์ไม่กลับเฟสสองทิศทาง 8 ช่องสัญญาณ (non-inverting bidirectional buffers) ที่เชื่อมต่อกับเอาต์พุต 3-STATE และไว้ใช้สำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ไอซีตัวนี้ออกแบบมาเพื่ออุปกรณ์ที่แรงดันไฟฟ้าน้อย (2.5V และ 3.3V) กับความสามารถที่เชื่อมต่อกับสัญญาณภายนอกแรงดันไฟ 5V ได้ ขา T/R กำหนดทิศทางของไหลของวงจรในอุปกรณ์ ขา OE ปิดการใช้งานของทั้งพอร์ต A และพอร์ต B โดยการให้พอร์ตอยู่ในสถานะที่อิมพีแดนซ์สูง

ไอซีแปลงไฟ 74LCX245 นั้น ถูกคิดค้นในเทคโนโลยี CMOS ขั้นสูงที่ทำให้คำสั่งความเร็วสูงสำเร็จขณะที่ CMOS ใช้พลังงานต่ำ

รายละเอียดของแต่ละขาในไอซี 74LCX245 แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงรายละเอียดของขาไอซี 74LCX245

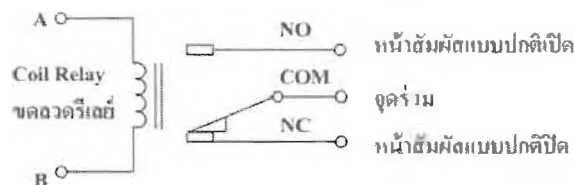
ขา	พอร์ต	รายละเอียด
1	T/R	อินพุต สัญญาณส่ง/สัญญาณรับ
2-9	A <sub>0</sub> -A <sub>7</sub>	อินพุต A หรือเอาต์พุต 3-STATE
10	GND	สายดิน
11-18	B <sub>0</sub> -B <sub>7</sub>	อินพุต B หรือเอาต์พุต 3-STATE
19	OE	อินพุตเปิดการใช้งานเอาต์พุต
20	V <sub>CC</sub>	แหล่งกำเนิดไฟ สำหรับคำสั่งการทำงานแบบปกติ เตรียมพร้อมทำงาน และลดพลังงาน

### 2.13 รีเลย์ควบคุม (Control Relay)

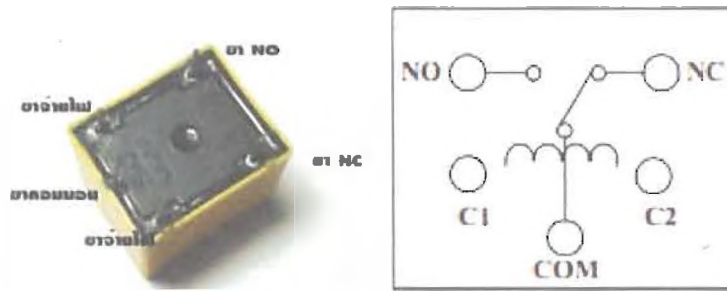
รีเลย์ควบคุม (Control Relay) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ ตัด-ต่อวงจร คล้ายกับ สวิตช์ โดยอาศัยหลักการของอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงของหน้าสัมผัสรีเลย์ มีความหมายในแบบของนักอิเล็กทรอนิกส์ว่า “ตัวถ่ายทอดกำลัง” เพราะการป้อนกำลังงานไฟฟ้าให้แก่รีเลย์เพียงเล็กน้อยก็สามารถควบคุมวงจรกำลังงานสูงๆ ที่ต่อกับหน้าสัมผัสของรีเลย์ได้ของ รีเลย์ได้ โดยเมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดรีเลย์ (Coil) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบขดลวด ซึ่งอำนาจแม่เหล็กชั่วคราวที่เกิดขึ้น ต้องมีค่าเพียงพอที่จะเอาชนะแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่หน้าสัมผัส รีเลย์ควบคุมมีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนัก เพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทคเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุมโดยทั่วไปเรียกก่ายๆว่า รีเลย์

#### 2.13.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของรีเลย์

โครงภายในโครงสร้างของรีเลย์จะประกอบไปด้วยขดลวด 1 ชุด และหน้าสัมผัสซึ่งในหน้าสัมผัส 1 ชุด ซึ่งจะประกอบไปด้วย หน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Close หรือ NC) และหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open หรือ NO) ในสภาวะปกติขานี้จะต่ออยู่ NC นี้จะต่อกับ ขาร่วม (Common หรือ COM) และเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่เพียงพอเข้าที่ขดลวด รีเลย์หรือมีแรงดันตกคร่อมขดลวด จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่หน้าสัมผัสทำให้จุด COM ต่อกับหน้าสัมผัส NO ในรีเลย์ 1 ตัวอาจมีหน้าสัมผัสมากกว่า 1 ชุด ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ผลิต สัญลักษณ์แสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์ของรีเลย์ [16]



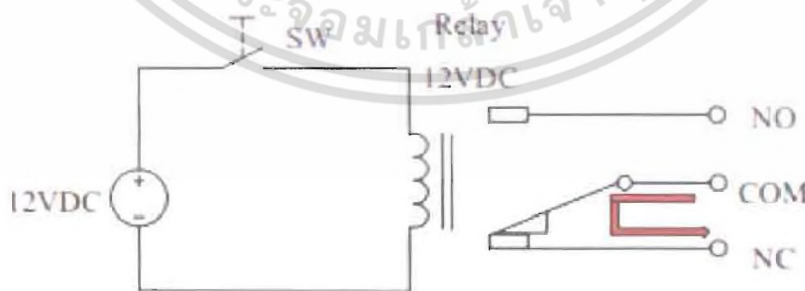
รูปที่ 2.19 ตำแหน่งขาของรีเลย์แบบ 5 ขา [16]

จากรูปที่ 2.19 ขาของรีเลย์จะประกอบไปด้วยตำแหน่งต่างๆดังนี้

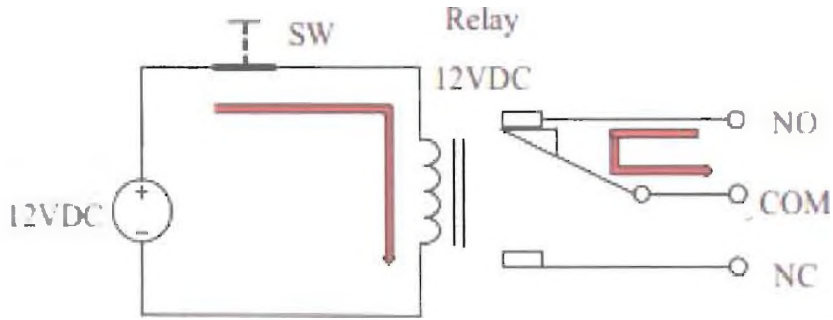
- ขาจ่ายแรงดันควบคุม ซึ่งจะมียู่ 2 ขา จากรูปจะเห็นสัญลักษณ์ขดลวดแสดงตำแหน่งขา coil หรือขาต่อแรงดันใช้งาน (C1 และ C2)
- ขา COM หรือ ขาคอมมอน จะเป็นขาต่อระหว่าง NO และ NC
- ขา NO (Normally opened หรือ ปกติเปิด) โดยปกติขานี้ จะไม่เชื่อมต่อกับขาใดๆ เมื่อเราป้อนแรงดันควบคุม หน้าสัมผัสของ COM และ NO จะต่อถึงกัน ซึ่งเราสามารถนำจุดเชื่อมต่อนี้ไปประยุกต์ใช้งานในวงจรต่อไปให้รีเลย์
- ขา NC (Normally closed หรือ ปกติปิด) โดยปกติขานี้จะต่อกับขา COM ในกรณีที่เรายังไม่จ่ายแรงดัน หน้าสัมผัสของ COM และ NC จะต่อถึงกัน

### 2.13.2 หลักการทำงานของรีเลย์

จากรูปที่ 2.20 (ก) เมื่อไม่จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดรีเลย์ทำให้จุดร่วมต่ออยู่กับหน้าสัมผัสแบบปกติปิด (NC) แต่เมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดรีเลย์ (Coil) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบขดลวด ซึ่งอำนาจแม่เหล็กชั่วคราวที่เกิดขึ้นมีค่าเพียงพอที่จะชนะแรงสปริง เกิดการเปลี่ยนแปลงที่หน้าสัมผัสทำให้จุดร่วมต่ออยู่กับหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (NO) ดังแสดงในรูปที่ 2.20 (ข) และเมื่อไม่ได้จ่ายกระแสไฟฟ้า สปริงจะดึงหน้าสัมผัสกลับมาต่อกับหน้าสัมผัสแบบปกติปิด (NC) อีกครั้งหนึ่ง



(ก) ขณะที่ไม่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดรีเลย์



(ข) ขณะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดรีเลย์

รูปที่ 2.20 การเปลี่ยนแปลงหน้าสัมผัสของรีเลย์ [16]

## 2.14 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)



รูปที่ 2.21 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) [17]

แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) คือสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยในการเปิด-ปิดหน้าสัมผัส ในการตัด-ต่อวงจรกำลัง

แรงดันไฟฟ้าและความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้สำหรับจ่ายคอยล์เพื่อให้คอนแทคเตอร์ทำงานแรงได้ดังนี้

- แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 50/60 เฮิร์ตซ์ เช่น 24, 48, 110, 230, 400 โวลต์
- แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 60 เฮิร์ตซ์ เช่น 24, 48, 120, 230, 460, 575 โวลต์
- แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เช่น 12, 24, 48, 60, 110, 125, 220 โวลต์

### 2.14.1 ส่วนประกอบของคอนแทคเตอร์ที่สำคัญ

#### 1. แกนเหล็ก (Core) แบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

- แกนเหล็กอยู่กับที่ (Fixed Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกันเป็นแกนจะมีลักษณะเป็นรูปตัว E ดังรูปที่ 2.22 ขาทั้งสองข้างของแกนเหล็ก มีลวดทองแดงเส้นใหญ่ต่อลวดวงจรไว้เป็นรูปวงแหวน เรียกวงแหวนนี้ว่าเซตเด็ตริ่ง (Shaded Ring) เป็นวงแหวนฝังอยู่ที่ผิวหน้าของแกนเหล็ก เพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือนของแกนเหล็ก อันเนื่องมาจากไฟฟ้ากระแสสลับ

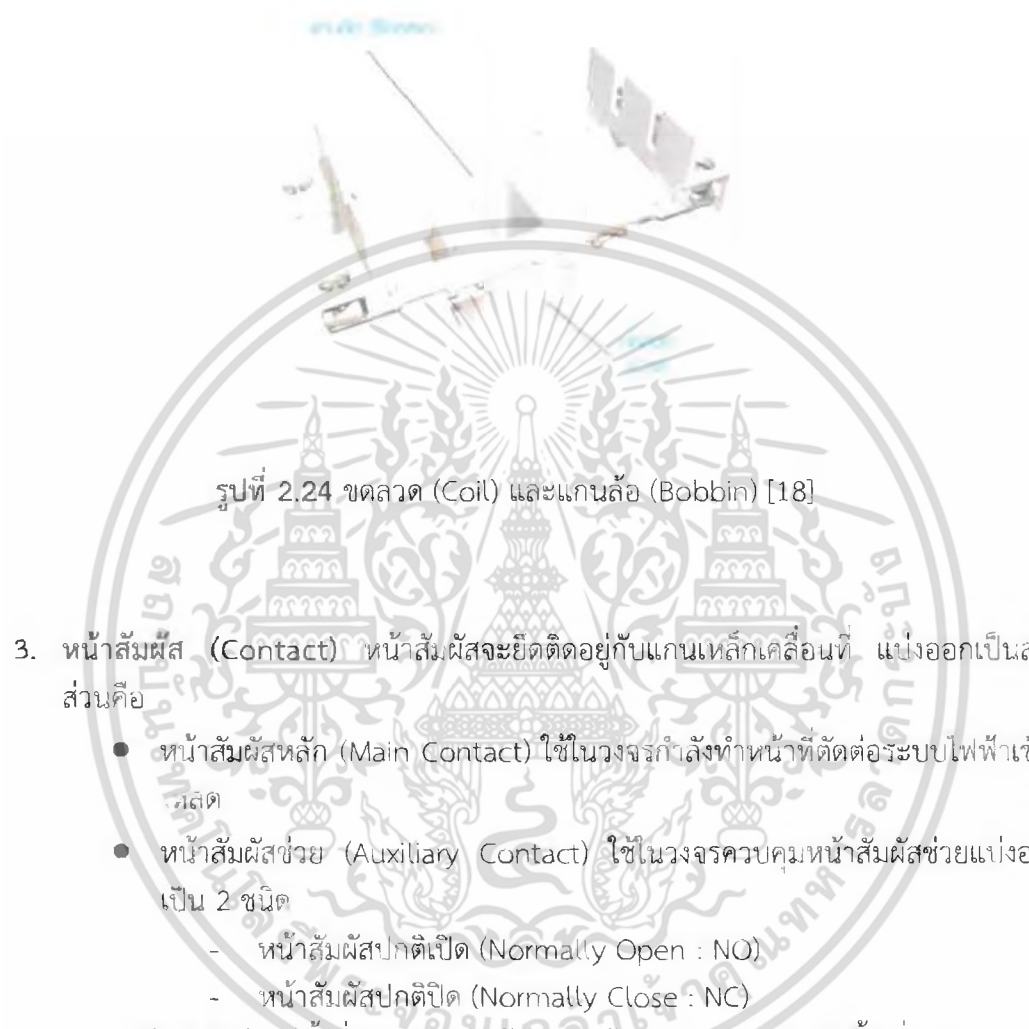


รูปที่ 2.22 แกนเหล็กอยู่กับที่ (Fixed Core) [18]

- แกนเหล็กเคลื่อนที่ (Stationary Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกันเป็นแกน และมีชุดหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ (Moving Contact) ยึดติดอยู่ ดังรูปที่ 2.23

รูปที่ 2.23 แกนเหล็กเคลื่อนที่ (Stationary Core) และสปริง (Spring) [18]

2. ขดลวด (Coil) ขดลวดหรือคอยล์ ทำมาจากลวดทองแดงพันอยู่รอบแกนล่อพันขดลวด (Bobbin) สวมที่ขากลางของแกนเหล็กอยู่กับที่ ดังรูปที่ 2.24 ขดลวดชุดนี้ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาเพื่อให้หน้าคอนแทคทำงาน มีขั้วต่อเพื่อจ่ายไฟเข้า โดยทั่วไปใช้สัญลักษณ์อักษรกำกับ คือ A1- A2 หรือ a-b



รูปที่ 2.24 ขดลวด (Coil) และแกนล่อ (Bobbin) [18]

3. หน้าสัมผัส (Contact) หน้าสัมผัสจะยึดติดอยู่กับแกนเหล็กเคลื่อนที่ แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

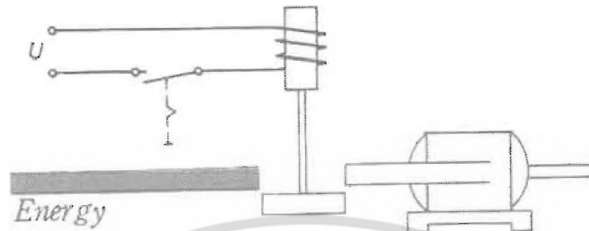
- หน้าสัมผัสหลัก (Main Contact) ใช้ในวงจรกำลังทำหน้าที่ตัดต่อระบบไฟฟ้าเข้าสู่โหลด
- หน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contact) ใช้ในวงจรควบคุมหน้าสัมผัสช่วยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด
  - หน้าสัมผัสปกติเปิด (Normally Open : NO)
  - หน้าสัมผัสปกติปิด (Normally Close : NC)

หน้าสัมผัสช่วยมีทั้งที่ประกอบมาพร้อมกับหน้าสัมผัสหลัก หรือติดตั้งเพิ่มเติมภายนอกทำงานโดย อาศัยอำนาจในการเปิด-ปิดหน้าสัมผัสหลัก ต่างกันตรงที่หน้าสัมผัสช่วยจะทนกระแสได้ต่ำกว่า หน้าสัมผัสหลัก จำนวนหน้าสัมผัสและชนิดของหน้าสัมผัสขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตและการนำไปใช้งาน

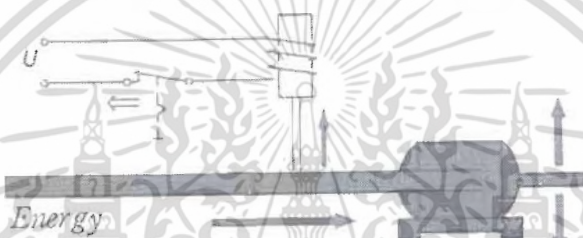
4. สปริง (Spring) ทำหน้าที่ไม่ให้น้ำคอนแทคสัมผัสกัน ก่อนป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าคอยล์ ดังรูปที่ 2.23

### 2.14.2 หลักการทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์

เมื่อไม่มีกระแสไฟไหลผ่าน คอยล์ของคอนแทคเตอร์ จะไม่มีพลังจากสนามแม่เหล็กในการดูดเหล็กให้ต่อไฟฟ้าได้ครบวงจรตามรูปที่ 2.25 (ก) เมื่อมีกระแสไฟไหลผ่าน คอยล์ของคอนแทคเตอร์จะทำให้คอยล์ของคอนแทคเตอร์มีพลังจากสนามแม่เหล็กในการดูดเหล็กให้ต่อไฟฟ้าได้ครบวงจรและทำให้มอเตอร์ทำงานได้ ตามรูปที่ 2.25 (ข)



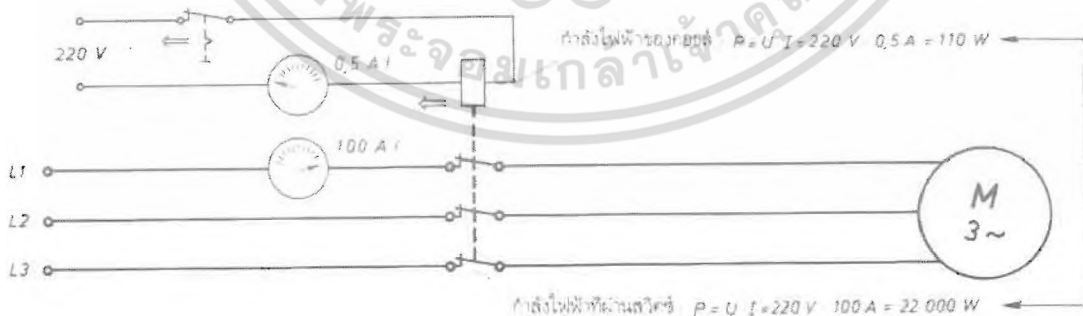
(ก) ไม่มีกระแสไฟไหลผ่าน คอยล์ของคอนแทคเตอร์



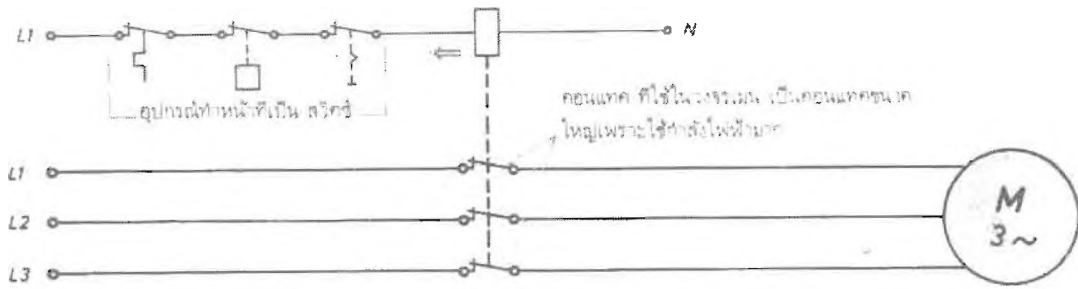
(ข) มีกระแสไฟไหลผ่าน คอยล์ของคอนแทคเตอร์

รูปที่ 2.25 การเปลี่ยนแปลงหน้าสัมผัสของคอนแทคเตอร์ [19]

คอยล์ของคอนแทคเตอร์ นั้นใช้กำลังไฟฟ้าน้อย เพื่อให้คอนแทคทำงาน ต่างจากคอนแทคที่ต่อวงจรไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส ซึ่งจะต้องใหญ่พอที่จะทนกระแสที่ไหลผ่านไปยังมอเตอร์ได้



รูปที่ 2.26 การเปรียบเทียบกำลังไฟในการต่อมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส [19]



รูปที่ 2.27 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ในวงจรมอเตอร์ [19]

จากรูปที่ 2.27 จะเห็นได้ว่าสวิตซ์ต่างๆที่นำมาควบคุมคอนแทคเตอร์จะมีขนาดเล็กเพราะใช้กระแสน้อย ดังรูปที่ 2.26 ต่างจากคอนแทคที่ต่อวงจรไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะทนกระแสที่ไหลผ่านไปยังมอเตอร์ได้เช่นเดียวกัน

- การควบคุมมอเตอร์ มีด้วยกัน 2 วิธี
  - ควบคุมด้วยสวิตซ์รูปแบบต่างๆ



รูปที่ 2.28 สวิตซ์รูปแบบต่างๆ ในวงจรมอเตอร์ [19]

สวิตซ์ในรูปที่ 2.28 (ก) จะทำงานเมื่อกดอยู่ สวิตซ์จะกลับมาอยู่ตำแหน่งเดิมเมื่อถูกปล่อย  
 สวิตซ์ในรูปที่ 2.28 (ข) จะทำงานด้วยกลไกทางแมคคานิค เช่นความร้อน เมื่ออุณหภูมิถึงขีดกำหนด จะทำให้คอนแทคเตอร์ทำงาน

สวิตซ์ในรูปที่ 2.28 (ค) จะทำงานเมื่อสวิตซ์ถูกกดให้ปิด และหยุดทำงานเมื่อสวิตซ์เปิดออก  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตช์ในรูปที่ 2.28 (ง) จะทำงานได้นานเท่ากับ Limit Switch ถูกชนด้วยเพลาลูกเบี้ยว

→ ควบคุมด้วยการใช้คอนแทคของตัวเองช่วย



(ก) ลักษณะทั่วไป

(ข) ลักษณะโดยการกดสวิตช์



(ค) ต่อคอนแทคช่วยขนานเข้ากับสวิตช์

(ง) ต่อคอนแทคช่วยขนานเข้ากับสวิตช์โดยการ  
เพิ่มสวิตช์เปิด-ปิดวงจร

รูปที่ 2.29 คอนแทครูปแบบต่างๆ ในวงจรมอเตอร์ [19]

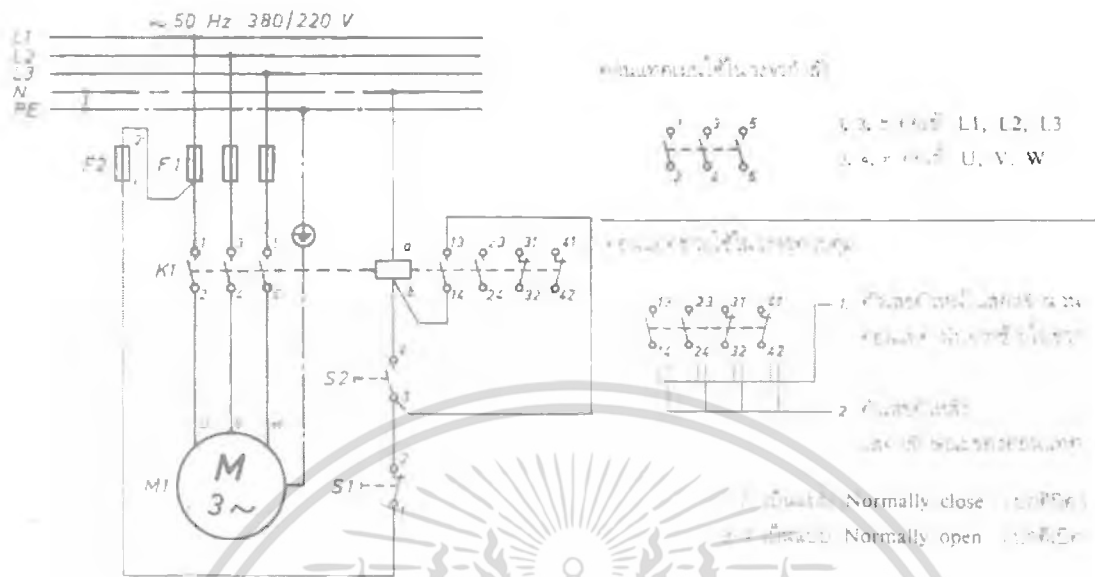
จากรูปที่ 2.29 (ก) ที่ตัวคอนแทคเตอร์ปกติจะมีทั้งคอนแทคเมน และคอนแทคช่วย เป็นลักษณะปกติ

จากรูปที่ 2.29 (ข) จะทำงานเมื่อสวิตช์ถูกกด ทำให้คอนแทคเตอร์ทำงาน คอนแทคจะเปลี่ยนตำแหน่งเป็นปิด

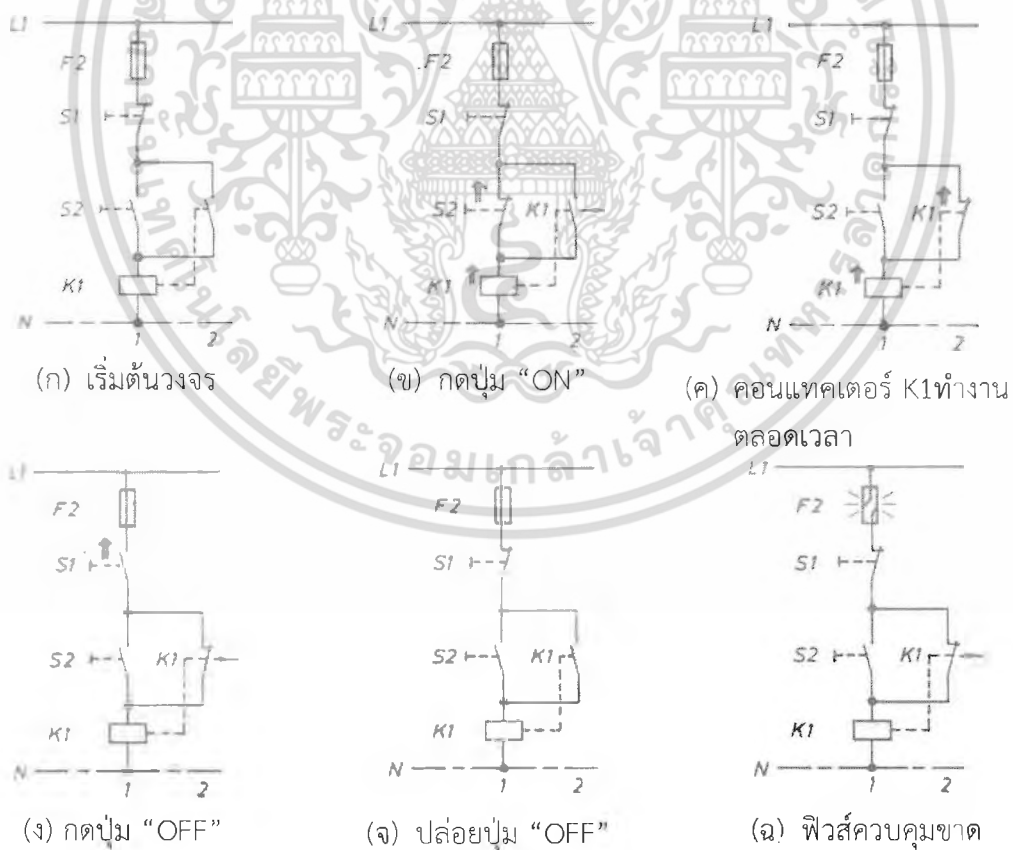
จากรูปที่ 2.29 (ค) ต่อคอนแทคช่วยขนานเข้ากับสวิตช์ปุ่มกด คอนแทคเตอร์จะทำงานตลอดเวลาหลังจากปล่อยมือแล้ว

จากรูปที่ 2.29 (ง) เมื่อเราใส่สวิตช์ไว้ก่อนจะถึงวงจรที่เชื่อมต่อระหว่าง คอนแทคช่วยและสวิตช์จะทำให้ เราสามารถเปิด-ปิดวงจรได้ตามต้องการ

- ขั้นตอนการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสและคอนแทคเตอร์



รูปที่ 2.30 การอธิบายวงจรมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส [19]



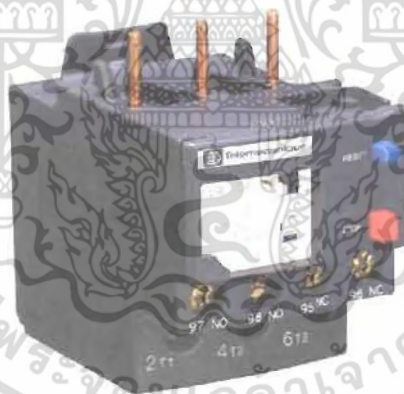
รูปที่ 2.31 ขั้นตอนการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสและคอนแทคเตอร์ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.31 มีขั้นตอนการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสและคอนแทคเตอร์ดังนี้

1. คอนแทคเตอร์ K1 ยังไม่ทำงาน เพราะ Push Button S2 ยังไม่ถูกกดให้ต่อวงจรมายัง K1 ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไหลผ่านในแฉวที่ 1 ดังรูปที่ 2.31 (ก)
2. เมื่อ Push Button S2 ถูกกดให้ต่อวงจรจะทำให้คอนแทคเตอร์ K1 ทำงาน คอนแทคปกติเปิด (NO) ของ K1 ในแฉวที่ 2 ต่อวงจรให้ตัวเองทำงานตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.31 (ข)
3. เมื่อ คอนแทคปกติเปิด (NO) ของ K1 ในแฉวที่ 2 ต่อวงจรเรียบร้อยแล้ว S2 ก็ปล่อยออกได้ ขณะที่คอนแทคเตอร์ K1 ทำงานตลอด คอนแทคเมน ต่อวงจรให้หมุนตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.31 (ค)
4. ถ้าต้องการให้มอเตอร์หยุดทำงานให้กด S1 เพื่อตัดกระแสไฟฟ้าไม่ให้ไหลผ่านคอยล์ของ K1 ผลก็คือคอนแทคเตอร์ K1 หยุดทำงานและคอนแทคต่างๆ ก็จะกลับมาอยู่ที่เดิม ทำให้มอเตอร์ถูกตัดวงจรออกไปด้วย ดังรูปที่ 2.31 (ง)
5. หลังจากปล่อย S1 แล้ว คอนแทคของ S1 ก็จะต่อวงจรอีกครั้งหนึ่ง อย่างไรก็ตาม คอนแทคเตอร์ K1 ยังไม่สามารถทำงานได้ เพราะ S2 ปิดวงจรอยู่ ดังรูปที่ 2.31 (จ)
6. มอเตอร์จะหยุดทำงานถ้าหากฟิวส์วงจรควบคุมขาด เนื่องจากเกิดผิดปกติ ทำให้คอนแทคเตอร์ K1 หยุดทำงาน มอเตอร์จึงหยุดทำงานด้วย ดังรูปที่ 2.31 (ฉ)

## 2.15 โอเวอร์โวลต์รีเลย์ (Overload Relay)



รูปที่ 2.32 โอเวอร์โวลต์รีเลย์ (Overload Relay) [20]

โอเวอร์โวลต์รีเลย์ (Overload Relay) คืออุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าเกินกำลังหรือป้องกันมอเตอร์ ไม่ให้เกิดการเสียหาย เมื่อมีกระแสไหลเกินพิกัด ส่วนใหญ่ใช้กับอุปกรณ์ที่มีไฟฟ้ากำลังสูงมาก โดยมีส่วนประกอบภายนอกที่สำคัญ ของโอเวอร์โวลต์รีเลย์ ดังนี้

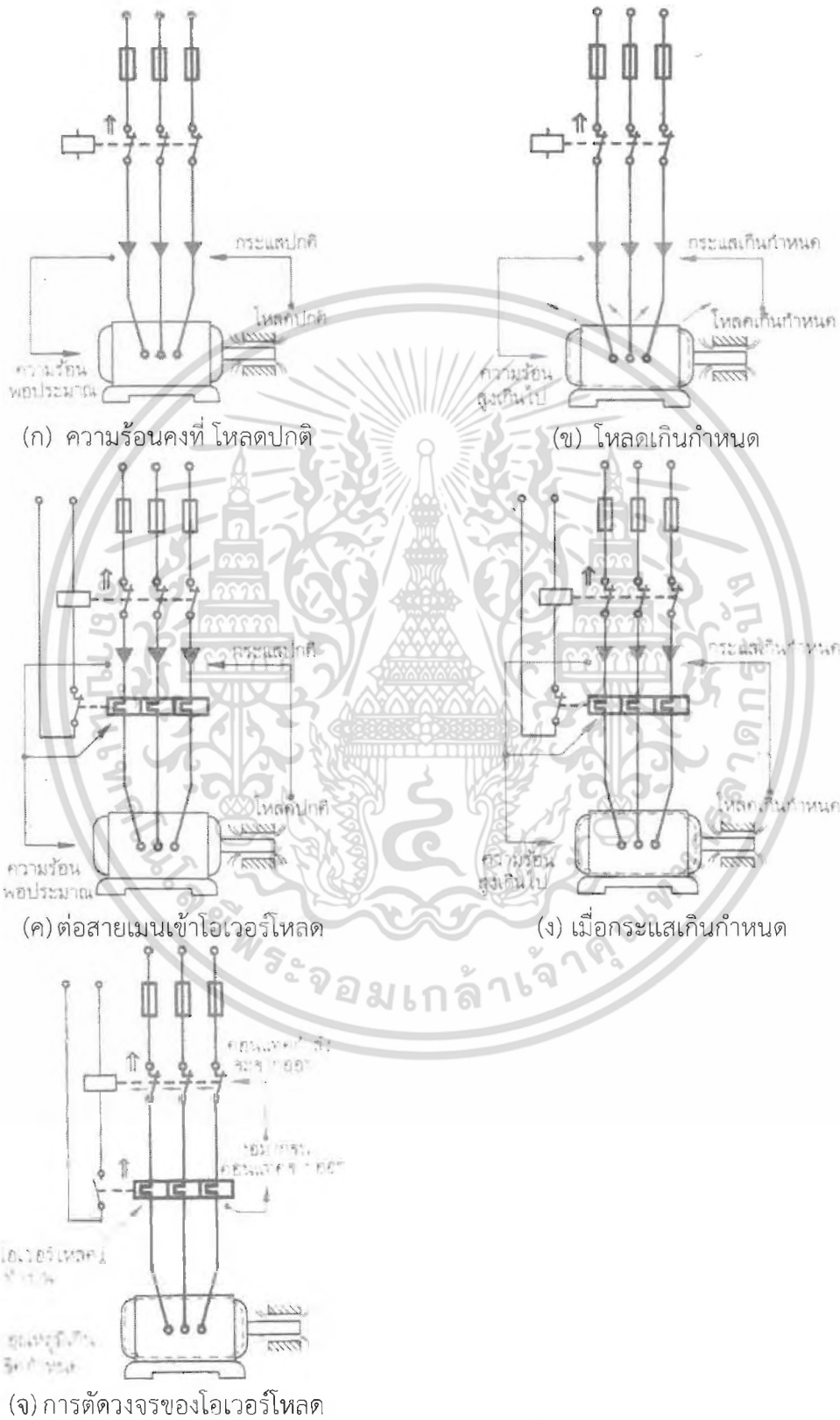
- ปุ่มปรับกระแส (RC.A)
- ปุ่มทริพ (TRIP)
- ปุ่มรีเซ็ต(RESET)
- จุดต่อไฟเข้าเมนไทม์ทอล
- จุดต่อไฟออกจากเมนไทม์ทอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน้าสัมผัสช่วยปกติปิด(N.O.)
- หน้าสัมผัสช่วยปกติเปิด(N.C.)

2.15.1 หลักการทำงานของโอเวอร์โวลต์รีเลย์



รูปที่ 2.33 ขั้นตอนการทำงานของโอเวอร์โวลต์รีเลย์ [19]

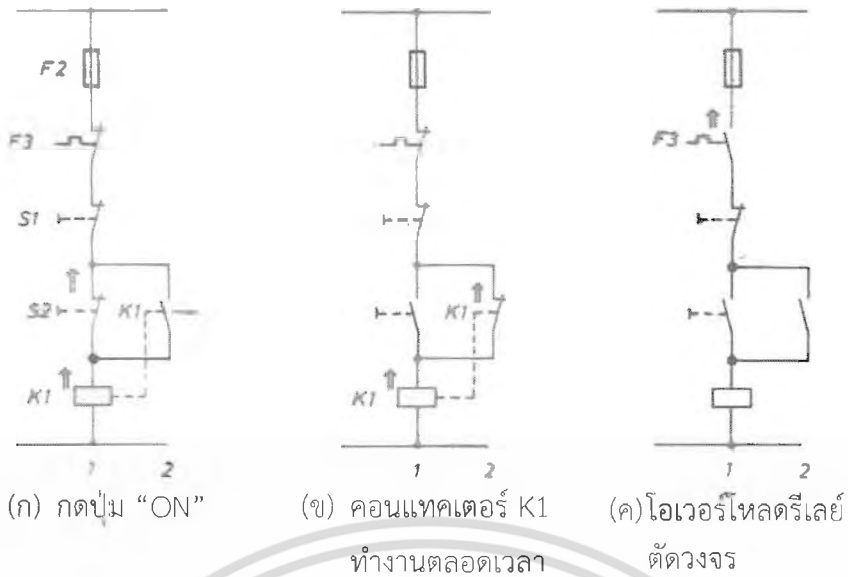
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.33 โอเวอร์โวลต์รีเลย์มีหลักการทำงานดังนี้

1. เมื่อมีโหลด หรือการใช้ไฟฟ้าปกติ ความร้อนจะคงที่ ดังรูปที่ 2.33 (ก)
2. เมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้มอเตอร์ใช้กระแสเพิ่มขึ้น ความร้อนสูงเกินกำหนด ทำให้มอเตอร์เสียหาย ดังรูปที่ 2.33 (ข)
3. การต่อสายเมน เข้ากับมอเตอร์ โดยต่อผ่านคอนแทคเตอร์ หรือมีโอเวอร์โวลต์ ดังรูปที่ 2.33 (ค)
4. เมื่อมีกระแสเกินกำหนด โอเวอร์โวลต์รีเลย์ จะตัดวงจรออกก่อนที่มอเตอร์ไหม้ ดังรูปที่ 2.33 (ง) และ (จ)

### 2.15.2 การนำโอเวอร์โวลต์รีเลย์มาใช้งาน





รูปที่ 2.35 ขั้นตอนการทำงานของโอเวอร์โวลต์รีเลย์ [19]

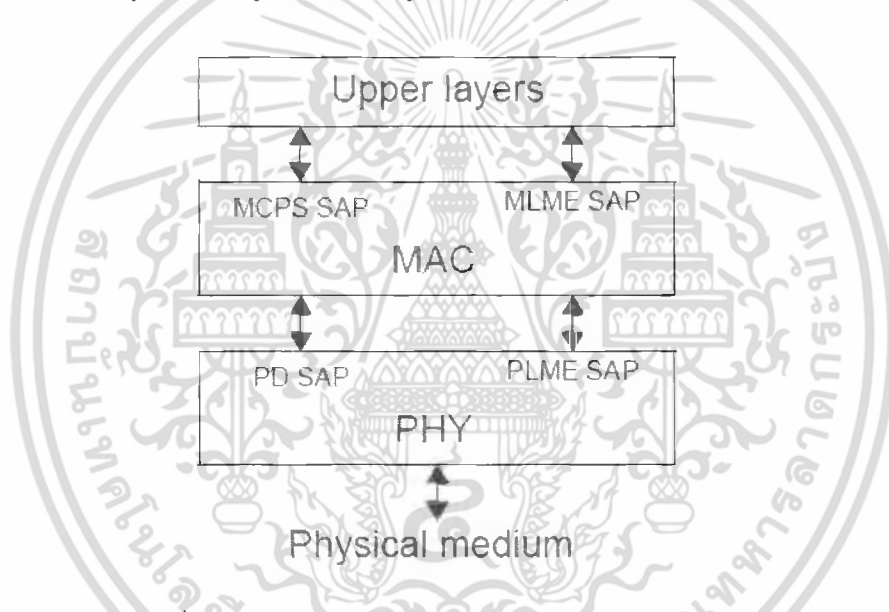
- จากรูปที่ 2.35 มีขั้นตอนการทำงานของโอเวอร์โวลต์รีเลย์ ดังนี้
1. เมื่อกด Push Button S2 "ON" คอนแทคเตอร์ K1 ทำงาน ดังรูปที่ 2.35 (ก)
  2. เมื่อปล่อย S2 คอนแทคเตอร์ K1 ยังคงทำงานตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.35 (ข)
  3. โอเวอร์โวลต์รีเลย์ ทำงานตัดวงจร ดังรูปที่ 2.35 (ค)
  4. กด Push Button S1 "OFF" ดังรูปที่ 2.35 (ง)
  5. ฟิวส์ควบคุมขาด วงจรจะหยุดทำงาน ดังรูปที่ 2.35 (จ)

## 2.16 มาตรฐาน IEEE 802.15.4 (WPANs)

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 Wireless personal area networks (WPANs) คือรูปแบบมาตรฐานที่ถูกใช้ในการสื่อสารและถ่ายโอนข้อมูลไร้สายในระยะทางสั้นๆ ระหว่างอุปกรณ์สื่อสารชนิดต่างๆ โดยรูปแบบมาตรฐาน IEEE 802.15.4 จะกล่าวถึงรายละเอียดในการสื่อสารชั้น Physical Layer และชั้น Medium Access Layer ซึ่งแต่ละอุปกรณ์ที่ทำการสื่อสารโดยใช้มาตรฐานนี้จะต้องมีคุณสมบัติดังกล่าว อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อกันผ่าน WPANs นั้นจะถูกออกแบบโครงสร้างให้มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงซึ่งจะใช้ในการทำงานที่แตกต่างจาก IEEE 802.11 (WLANs)

### 2.16.1 สถาปัตยกรรม IEEE 802.15.4

สถาปัตยกรรมของ IEEE 802.15.4 สามารถอธิบายในรูปของจำนวนในบล็อกได้ดังรูปที่ 2.36 บล็อกเหล่านี้ถูกเรียกว่าชั้น (layer) แต่ละชั้นจะมีหน้าที่แตกต่างกันไป และบล็อกชั้นที่อยู่ต่ำกว่าจะถูกบล็อกชั้นที่สูงเรียกใช้งานอุปกรณ์ใน WPAN ประกอบด้วย



รูปที่ 2.36 สถาปัตยกรรมของอุปกรณ์ LR-WPAN [21]

- ชั้น Physical Layer  
คุณสมบัติของ Physical Layer คือการส่งการทำงานและการส่งหยุดการทำงานของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ (radio transceiver) , ED , LQI , การเลือกช่องสัญญาณและการประเมินช่องสัญญาณที่ว่าง
- ชั้นย่อย Medium Access Layer  
คุณสมบัติของชั้น Medium Access Layer คือ การจัดการการเตือนภัย (beacon management) การเข้าถึงช่องสัญญาณ การตรวจสอบเฟรม การส่งเฟรมตอบกลับ (acknowledged frame delivery) การทำงานร่วมกันและการไม่ทำงานร่วมกัน นอกจากนี้ชั้น Medium Access Layer ยังกำหนดกลไกความปลอดภัยระหว่างการทำงานที่เหมาะสมด้วย

## 2.16.2 คุณสมบัติในชั้น Physical Layer

อุปกรณ์ที่ใช้งานมาตรฐานนี้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ย่านความถี่ของอุปกรณ์ที่อนุญาตให้ใช้ฟรี : 868-868.6 MHz , 902-928 MHz และ 2400-2483.5 MHz
- ในประเทศจีนมีมาตรฐานย่านความถี่ของอุปกรณ์ : 314-316 MHz , 430-434 MHz และ 779-787 MHz และประเทศญี่ปุ่นจะใช้ความถี่ช่วง 950-956 MHz

สำหรับอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่เราศึกษาจะใช้ความถี่ช่วง 2.4 GHz โดยอัตราการส่งข้อมูลของอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ แหล่งพลังงานที่จ่ายแก่อุปกรณ์ที่มีจำกัด และการใช้พลังงานของอุปกรณ์

การออกแบบอุปกรณ์จะมีความซับซ้อนน้อย ค่าใช้จ่ายต่ำและลดอัตราการใช้พลังงาน เพื่อให้ได้อัตราการส่งข้อมูลไร้สายที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยอัตราการส่งในระดับคุณภาพข้อมูลต่ำๆ อยู่ที่ (250 kb/s) อัตราการส่งในระดับคุณภาพข้อมูลสูงจะอยู่ที่ (20 kb/s) สำหรับการนำไปใช้ในงานควบคุมระบบเซ็นเซอร์และการทำงานอัตโนมัติต้องการอัตราการส่งที่น้อยกว่า (20 kb/s) ดังนั้นมาตรฐาน IEEE 802.15.4 จึงเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานควบคุมต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

## 2.16.3 คุณสมบัติในชั้น Medium Access Layer

ความสามารถในชั้น Medium Access ตามมาตรฐานมีดังนี้:

- การทำงานโทโพลีแบบ peer-to-peer หรือแบบ star
- IEEE Address ขนาด 64 บิต หรือ Network Address ขนาด 16 บิต
- การเชื่อมต่อกับสัญญาณคลื่นพาห์ด้วยวิธี Collision Avoidance (CSMA-CA)
- การเข้าถึงช่องสัญญาณไร้สายด้วยวิธี ALOHA channel access
- การตรวจจับพลังงานได้ (ED)
- การแสดงคุณภาพการเชื่อมต่อได้ (LQI)

ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

- full-function device (FFD) : อุปกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่สื่อสารและให้บริการรับส่งหรือกระจายข้อมูลสู่อุปกรณ์ตัวอื่นๆในเครือข่ายได้อย่างสมบูรณ์
- reduce-function device (RFD) : อุปกรณ์จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลน้อยๆ มีการทำงานที่ง่ายไม่ซับซ้อน โดยจะทำงานร่วมกับ FFD

#### 2.16.4 องค์ประกอบของเครือข่าย IEEE 802.15.4 WPAN

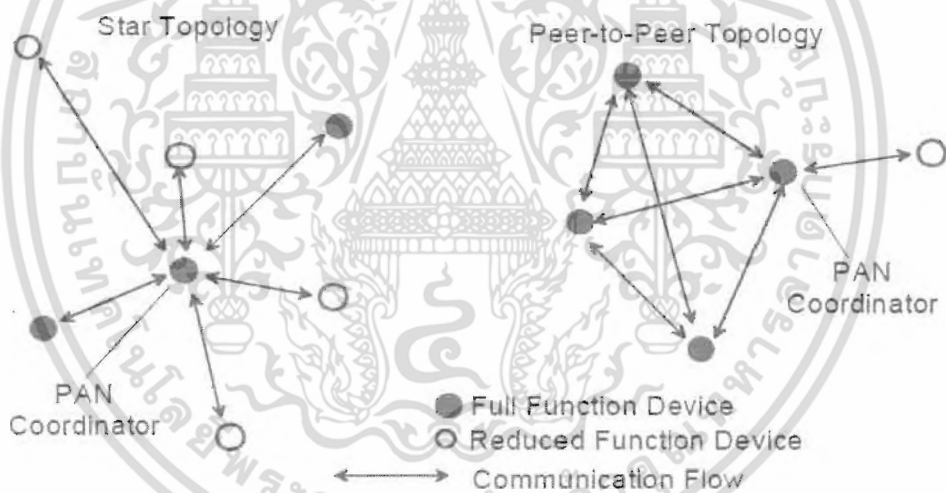
องค์ประกอบของเครือข่าย IEEE 802.15.4 จะประกอบด้วยอุปกรณ์อย่างน้อยสองตัวขึ้นไป ติดต่อสื่อสารไร้สายผ่านช่องสัญญาณเดียวกัน โดยจะต้องประกอบด้วย FFD อย่างน้อยหนึ่งตัว ที่ทำงานเป็นอุปกรณ์สื่อสารตัวกลาง

##### 2.16.4.1 โทโพโลยีเครือข่าย

การทำงานของ IEEE 802.15.4 LR-WPAN สามารถทำงานได้อย่างใดอย่างหนึ่งใน 2 ลักษณะดังนี้

###### - โทโพโลยีแบบ Star

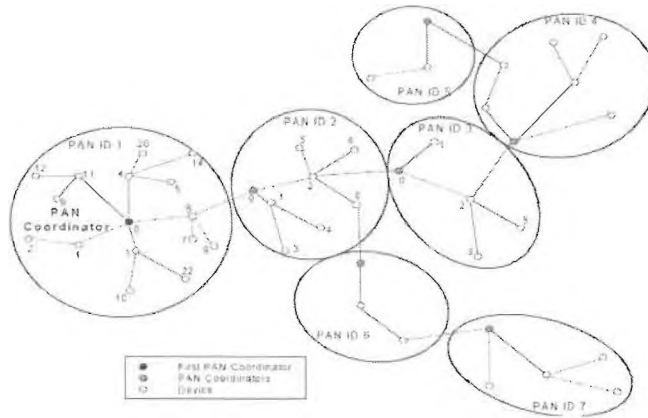
โทโพโลยีแบบ Star ดังที่แสดงในรูปที่ 2.20 ลักษณะการสื่อสารได้ถูกสร้างขึ้นระหว่างอุปกรณ์และคอนโทรลเลอร์ศูนย์กลางหนึ่งตัว เรียกว่า Coordinator แบบ PAN (Personal Area Network) โดยอุปกรณ์จะเริ่มต้นการทำงาน และสิ้นสุดการทำงานโดยผ่านตัว Coordinator ทั้งหมด ซึ่งอุปกรณ์ทุกตัวจะมีค่า Address สำหรับการสื่อสารโดยตรงร่วมกันใน P หรือใช้ Short Address ที่ถูกจัดสรรโดย Coordinator



รูปที่ 2.37 โทโพโลยีแบบ star และ โทโพโลยีแบบ peer-to-peer [21]

###### - โทโพโลยีแบบ peer-to-peer

จากรูปที่ 2.37 เห็นได้ว่าโทโพโลยีแบบ peer-to-peer จะแตกต่างกับโทโพโลยีแบบ star ตรงที่ ทุกๆ อุปกรณ์สามารถสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้อย่างอิสระ โทโพโลยีแบบ peer-to-peer อาจมีความซับซ้อนของรูปแบบเครือข่ายมาก เช่น โทโพโลยีเครือข่ายแบบ mesh โทโพโลยีเครือข่ายแบบ cluster tree ลักษณะคล้ายต้นไม้โดยจะมี FFD และ RFD ตัวหนึ่งในวงเครือข่าวนั้นๆ เชื่อมต่อกับเครือข่าย cluster tree ที่อยู่วงภายนอกคล้ายกับใบไม้ที่ปลายกิ่ง ดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 เครือข่าย Cluster [21]

#### 2.16.4.2 ฟังก์ชันการทำงานโดยภาพรวม

- **แบบจำลองการถ่ายโอนข้อมูล**

วิธีถ่ายโอนข้อมูลมีทั้งหมด 3 วิธี คือ

- **การถ่ายโอนข้อมูลไปที่ coordinator**

เมื่ออุปกรณ์ต้องการถ่ายโอนข้อมูลไปที่ coordinator ในเครือข่ายที่เปิดใช้งานการแจ้งเตือน อุปกรณ์จะทำการตรวจสอบ Super Frame หากพร้อมก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปในเวลาที่เหมาะสมไปยัง coordinator และตัว coordinator จะส่งข้อมูลตอบกลับว่าข้อมูลที่ได้รับถูกต้อง

เมื่ออุปกรณ์ต้องการถ่ายโอนข้อมูลไปที่ coordinator ใน PAN ที่ปิดใช้งานการแจ้งเตือน อุปกรณ์นั้นสามารถที่จะส่งเฟรมข้อมูลไปที่ตัว coordinator ได้เลย และตัว coordinator จะส่งข้อมูลตอบกลับว่าข้อมูลที่ได้รับถูกต้อง จึงเสร็จการทำงาน

- **การถ่ายโอนข้อมูลจาก coordinator**

เมื่อ coordinator ต้องการถ่ายโอนข้อมูลไปที่อุปกรณ์ในเครือข่ายที่เปิดใช้งานการแจ้งเตือน ก็จะมีการแจ้งในเครือข่ายว่าการส่งข้อมูลยังไม่เสร็จสิ้น อุปกรณ์ต่างๆจะรับรู้การแจ้งเตือนนั้น คำสั่งการส่งของ Medium Access Layer จะร้องขอข้อมูล และตัว coordinator ก็ส่งข้อมูลตอบกลับว่าได้รับการแจ้งการต้องการข้อมูลแล้ว เฟรมข้อมูลที่ส่งไม่เสร็จสิ้นจะถูกส่งโดย coordinator อีกครั้ง ตัวอุปกรณ์ส่งข้อมูลตอบกลับว่าข้อมูลที่ได้รับถูกต้อง ถ้ามีการร้องขอ การทำงานเสร็จสิ้นแล้ว ในเวลา que การทำงานเสร็จสิ้น ข้อความจะถูกลบจากรายชื่อของข้อมูลที่ยังส่งไม่เสร็จสิ้นในการแจ้งเตือน

เมื่อ coordinator ต้องการถ่ายโอนข้อมูลไปที่อุปกรณ์ใน PAN ที่ปิดใช้งานการแจ้งเตือน coordinator จะเก็บข้อมูลไว้เพื่ออุปกรณ์ที่

เหมาะสมในการสร้างการติดต่อและการร้องขอข้อมูล อุปกรณ์ร้องขอข้อมูลโดยคำสั่งการส่งของ MAC ตัว coordinator ส่งข้อมูลตอบกลับว่าได้รับการแจ้งการต้องการข้อมูลแล้ว ถ้าการส่งเฟรมข้อมูลยังไม่เสร็จสิ้น coordinator จะส่งเฟรมข้อมูล ถ้าการส่งเฟรมข้อมูลเสร็จสิ้น coordinator จะแสดงข้อเท็จจริงในเฟรมตอบกลับตามที่ได้มีการร้องขอข้อมูลหรือในเฟรมข้อมูลที่บรรจุข้อมูลไม่พออย่างใดอย่างหนึ่ง

- การถ่ายโอนข้อมูลแบบ peer-to-peer

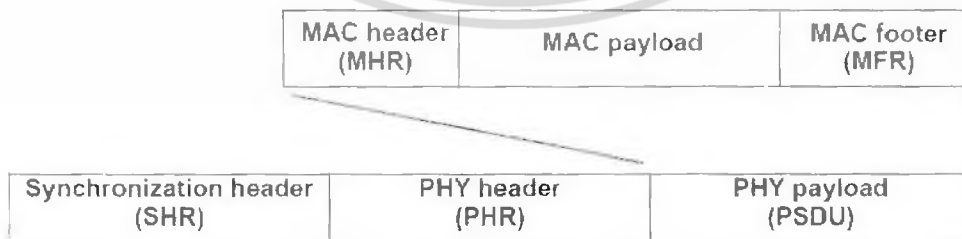
ในเครือข่ายแบบ peer-to-peer ทุกๆ อุปกรณ์จะสื่อสารกันโดยตรงในช่วงการสื่อสารของวิทยุ เพื่อที่จะส่งให้มีประสิทธิภาพ อุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารจำเป็นที่จะรับข้อมูลคงที่หรือเข้าจังหวะกับอีกตัวหนึ่งอย่างใดอย่างหนึ่ง ในกรณีแรก อุปกรณ์สามารถส่งข้อมูลได้อย่างง่าย และอีกกรณีขนาดอื่นๆ จำเป็นที่จะเก็บเพื่อที่การเข้าจังหวะจะสำเร็จ ขนาดดังกล่าวอยู่นอกเหนือขอบเขตของมาตรฐานนี้

• โครงสร้างเฟรม

โครงสร้างเฟรมถูกออกแบบเพื่อให้ความซับซ้อนน้อยที่สุด และมีความทนทานพอที่จะส่งข้อมูลในช่องสัญญาณที่มีคลื่นรบกวนมากๆ ชั้นโปรโตคอลที่ต่อเนื่องกันเพิ่มโครงสร้างส่วนหัวและส่วนท้าย โดยกำหนดโครงสร้างเฟรมทั้งหมด 4 แบบ ได้แก่

- เฟรมแจ้งเตือน : ถูกใช้โดยตัว coordinator ที่ส่งไปที่ตัวแจ้งเตือน
- เฟรมข้อมูล : ถูกใช้สำหรับการถ่ายโอนข้อมูลทั้งหมด
- เฟรมตอบกลับ : ถูกใช้สำหรับการยืนยันการส่งข้อมูลสำเร็จ
- เฟรมคำสั่ง : MAC ถูกใช้สำหรับการควบคุมทุกการถ่ายโอนข้อมูลของลูกข่าย peer ใน MAC

เฟรมข้อมูลจากชั้น Medium Access Layer จะหุ้มด้วย Physical Header และ Synchronization Header แสดงดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 มุมมองแผนผังของ PPDU [21]

- ความน่าจะเป็นในการเพิ่มการส่งข้อมูลให้มีความสำเร็จมากขึ้น  
IEEE 802.15.4 LR-WPAN ได้ใช้กลไกที่หลากหลายในการเพิ่มความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลที่มีการส่งสำเร็จ กลไกต่างๆ ได้ถูกอธิบายไว้ดังนี้

#### - กลไก CSMA-CA

IEEE 802.15.4 LR-WPAN ใช้กลไกการเข้าถึงข้อมูล 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าของเครือข่าย PAN ที่เปิดใช้งานการแจ้งเตือนใช้กลไกการเข้าถึงข้อมูลแบบ unslotted CSMA-CA เมื่ออุปกรณ์ต้องการส่งเฟรมข้อมูลหรือใช้คำสั่ง MAC จะรอเวลาแบบสุ่ม ถ้าช่องสัญญาณอยู่ในสภาพพร้อมทำงาน จะทำงานตามการสุ่ม backoff และส่งข้อมูลออกไป ถ้าช่องสัญญาณอยู่ในสภาพไม่พร้อมทำงาน จะทำงานตาม random backoff และอุปกรณ์จะรอเพื่อสุ่มช่วงเวลาอื่นก่อนจะลองเข้าช่องสัญญาณอีกครั้ง เฟรมแจ้งการตอบกลับถูกส่งโดยไม่ต้องใช้กลไก CSMA-CA

PAN ที่เปิดใช้งานการแจ้งเตือนใช้กลไกการเข้าถึงข้อมูลแบบ slotted CSMA-CA ที่ช่วงเวลา backoff สอดคล้องกับจุดเริ่มต้นของการส่งการแจ้งเตือน ช่วงเวลา backoff ของอุปกรณ์ทุกตัวรวมถึง PAN สอดคล้องกับตัว coordinator แบบ PAN เมื่ออุปกรณ์ต้องการส่งเฟรมข้อมูลในระหว่างที่ CAP มันจะค้นหาขอบเขตของช่วง backoff ถัดไปแล้วจะรอเพื่อสุ่มตัวเลขของช่วง backoff ถ้าช่องสัญญาณไม่ว่าง ตามการสุ่ม backoff นี้ อุปกรณ์จะรอเพื่อสุ่มตัวเลขอื่นๆ ของช่วง backoff ก่อนจะลองเข้าช่องสัญญาณอีกครั้ง ถ้าช่องสัญญาณอยู่ในสภาพพร้อมทำงานอุปกรณ์จะเริ่มส่งบนขอบเขตของช่วง backoff ที่ส่งได้ถัดไป เฟรมแจ้งการตอบกลับและเฟรมการแจ้งเตือนถูกส่งโดยไม่ต้องใช้กลไก CSMA-CA

#### - กลไก ALOHA

ในโปรโตคอล ALOHA อุปกรณ์ส่งโดยไม่มีการตรวจสอบและการรอเวลา กลไก ALOHA เหมาะกับเครือข่ายที่มีการถ่ายโอนข้อมูลน้อยตั้งแต่ความน่าจะเป็นของการผิดพลาดน้อย ถ้าความน่าจะเป็นของการช่องสัญญาณที่ว่างมีขนาดใหญ่พอ

#### - เฟรมการแจ้งเตือนตอบกลับ

การรับและการตรวจสอบที่สำเร็จของข้อมูลหรือเฟรมคำสั่ง MAC ที่ได้รับการยืนยันกับการแจ้งเตือนตอบกลับ

ถ้าตัวเริ่มไม่ได้รับการแจ้งเตือนตอบกลับหลังจากช่วงเวลาหนึ่ง มันจะคิดว่าการส่งนั้นไม่สำเร็จและลองส่งเฟรมใหม่ ถ้ายังไม่ได้รับการแจ้งเตือนตอบกลับหลังจากส่งใหม่อีกหลายครั้ง ตัวเริ่มสามารถเลือกได้ทั้งการยุติการดำเนินการ หรือลองใหม่อีกครั้ง อย่างไรก็ตามหนึ่ง เมื่อการแจ้งเตือนตอบกลับไม่ถูกร้องขอ ตัวเริ่มจะคิดว่าการส่งประสบความสำเร็จ

## การตรวจสอบข้อมูล

Cyclic redundancy check (CRC) ถูกใช้ในการตรวจจุดผิดพลาดใน PSDU ทั้งหมด

### ● การพิจารณาการสิ้นเปลืองพลังงาน

ในหลายๆ การใช้งานที่ใช้มาตรฐานนี้ อุปกรณ์จะมีพลังงานแบตเตอรี่ในการเคลื่อนหรือการชาร์จแบตเตอรี่ จะมีช่วงสั้นๆที่ใช้งานไม่ได้ ดังนั้นการสิ้นเปลืองพลังงานเป็นสิ่งที่น่าเป็นกังวลอย่างมาก มาตรฐานนี้ถูกพัฒนาพร้อมกับแหล่งจ่ายไฟจำกัดที่ใช้งานได้ในความคิด อย่างไรก็ตามการทำงานทางกายภาพของมาตรฐานนี้ต้องการเพิ่มการพิจารณาการจัดการพลังงานที่กำลังเป็นขอบเขตของมาตรฐานนี้

โปรโตคอลมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่มีพลังงานแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริง อุปกรณ์บางตัวสามารถที่จะมีพลังงานหลัก อุปกรณ์ที่มีพลังงานแบตเตอรี่จะต้องการที่จะลดการสิ้นเปลืองพลังงาน อุปกรณ์เหล่านี้จะใช้พลังงานมากที่สุดของชีวิตการทำงานในสภาวะหลัก อย่างไรก็ตามอุปกรณ์แต่ละตัวจะฟังช่องสัญญาณความถี่วิทยุเป็นระยะๆ เพื่อที่จะตัดสินใจในการส่งข้อความที่ยังไม่เสร็จสิ้น กลไกที่ใช้ผู้ออกแบบการใช้งานในการตัดสินใจบนความสมดุลระหว่างการสิ้นเปลืองพลังงานและความหน่วงของการส่งข้อความ อุปกรณ์ที่มีพลังงานสูงกว่ามีทางเลือกของการที่จะรับช่องสัญญาณความถี่ต่อไป

มากกว่านั้นคุณสมบัติการประหยัดพลังงานของระบบ LR-WPAN UWB PHY ได้กำหนดการมอดูเลตแบบผสมที่เป็นการทำงานที่ง่ายมาก สถาปัตยกรรมตัวรับที่ไม่มีมีการเชื่อมโยงกันที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดและความซับซ้อนของการทำงาน

### ● ความปลอดภัย

จากมุมมองความปลอดภัย เครือข่ายไร้สายแบบ ad hoc ไม่แตกต่างจากเครือข่ายไร้สายอื่นๆ มักจะถูกการโจมตีจากการถูกดักฟังและการแก้ไขข้อมูลเพิ่มข้อมูลเพราะการเข้าถึงทาง Physical ดังนั้นเครือข่ายเหล่านี้การรักษาความปลอดภัยทำได้ค่อนข้างยาก ข้อจำกัดเหล่านี้ได้จำกัดการเลือกอัลกอริทึมในการเข้ารหัสลับและโปรโตคอล ซึ่งมีอิทธิพลต่อการออกแบบของสถาปัตยกรรม

กลไกการเข้ารหัสลับในมาตรฐานนี้มีพื้นฐานมาจากการเข้ารหัสแบบ symmetric-key และใช้ key ที่ถูกกำหนดโดยการประมวลผลของชั้นที่สูงขึ้นไป (ZigBee Standard) การสร้างและการบำรุงรักษาของ key เหล่านี้อยู่นอกขอบเขตของมาตรฐานนี้

กลไกการเข้ารหัสลับถูกกำหนดรวมอยู่ในการบริการด้านความปลอดภัยดังนี้

- ความลับของข้อมูล : รับประกันได้ว่าข้อมูลที่ส่งไปจะเปิดเผยได้เฉพาะกับบุคคลที่เกี่ยวข้องเท่านั้น
- ความถูกต้องของข้อมูล : รับประกันแหล่งที่มาของข้อมูลที่ส่ง (ข้อมูลไม่ได้ถูกแก้ไขในการขนส่ง)
- การป้องกันความซ้ำซ้อน : รับประกันได้ว่าข้อมูลที่ซ้ำกันมีการตรวจพบ

#### ■ การถูกดักฟัง

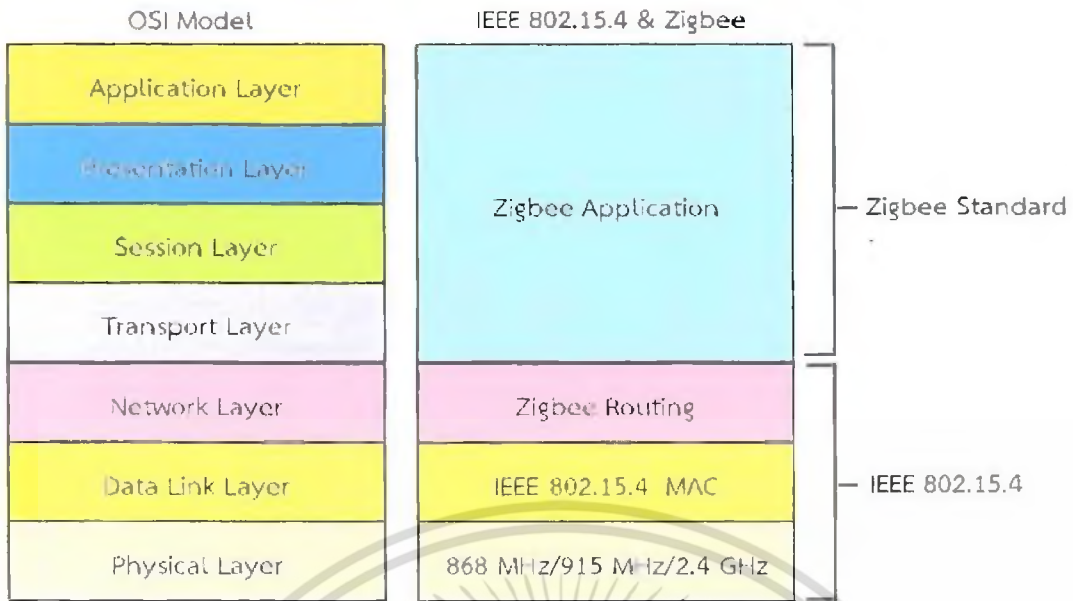
การป้องกันเฟรมที่เกิดขึ้นจริงถูกกำหนดให้สามารถดัดแปลงได้บนพื้นฐานของเฟรมต่อเฟรมและช่วยให้ระดับที่แตกต่างกันในความถูกต้องของข้อมูล (การรักษาความปลอดภัยที่น้อยที่สุดเหนือกว่าในเฟรมที่ถูกส่งตามที่กำหนด) และตัวเลือกความลับของข้อมูล เมื่อการป้องกันที่ไม่เพียงพอจึงต้องมีการป้องกันซ้ำๆ เสมอ

#### ■ การแก้ไขดัดแปลงข้อมูล

การป้องกันเฟรม การเข้ารหัสลับจะใช้ key ร่วมกันระหว่างสองอุปกรณ์ (link key) หรือ key ที่ใช้ร่วมกันในกลุ่มของอุปกรณ์ (group key) อย่างใดอย่างหนึ่ง จึงช่วยให้มีความยืดหยุ่นและความสมดุลในการใช้งานเฉพาะทางระหว่างการจัดเก็บข้อมูลและค่าบำรุงรักษา key เมื่อเทียบกับการป้องกันการเข้ารหัสลับ ถ้า group key ถูกนำมาใช้สำหรับสื่อสารแบบ peer-to-peer การป้องกันมีใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ภายนอกและไม่ได้เป็นอุปกรณ์ที่อันตรายที่อาจเกิดขึ้นในกลุ่มที่ใช้ key ร่วมกัน

## 2.17 มาตรฐานโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี (ZigBee Module Standard)

มาตรฐานโมดูลการสื่อสารไร้สายซิกบี ได้กำหนดชุดโครงสร้างโปรโตคอลเพื่อใช้ในการสื่อสาร โดยเริ่มจาก OSI Model Layer 3 ขึ้นไป ซึ่งจะประกอบด้วย การกำหนดรูปแบบโทโพโลยีในการสื่อสาร การยืนยันตัวตน (Authentication) การเข้ารหัสการสื่อสาร (Encryption) รวมไปถึงให้บริการแก่ Layer ชั้นบนถัดไป สำหรับตั้งแต่ OSI Layer 2 ลงมาจะใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นตัวกำหนดมาตรฐานในการสื่อสาร ดังที่ได้แสดงรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 OSI Model และ ZigBee Protocol Stack

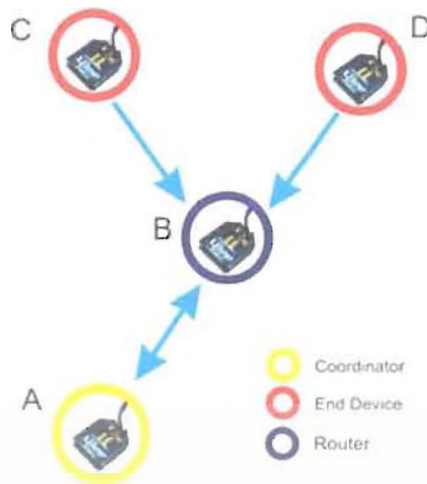
โปรโตคอล ZigBee ชั้น Network Layer กำหนดรูปแบบโทโพโลยีที่ใช้ในการสื่อสาร ดังนี้

- Star Topologies : จะมีอุปกรณ์ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นจุดศูนย์กลางคอยให้บริการการสื่อสารในระบบเครือข่ายเรียกว่า “Coordinator” ซึ่งอุปกรณ์ตัวอื่นๆ ที่เชื่อมต่ออยู่กับ Coordinator จะเรียกว่า “End Device” ดังรูปที่ 2.41



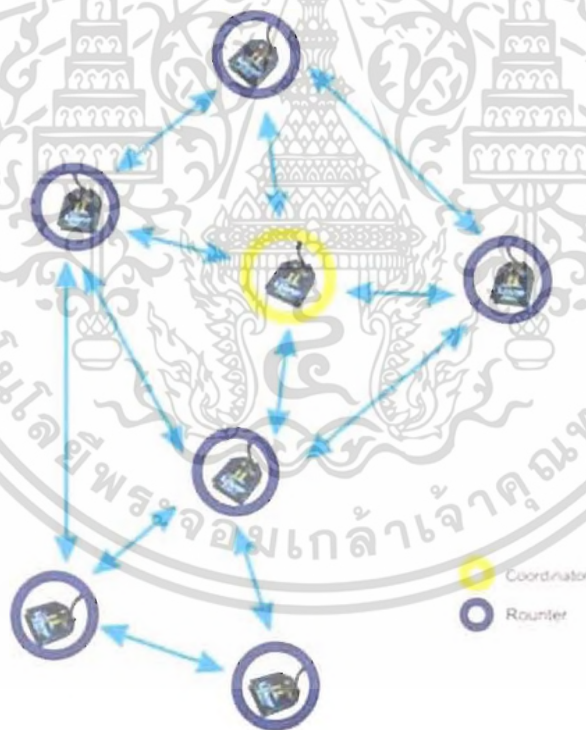
รูปที่ 2.41 โทโพโลยีแบบ Star [22]

- Tree Network Topologies : อุปกรณ์มีการเชื่อมต่อเป็นลำดับชั้นโดย Coordinator อยู่ชั้นบน มีอุปกรณ์ที่เรียกว่า “Router” ทำหน้าที่เชื่อมต่อการสื่อสารระหว่างชั้น Coordinator และ End Device ดังรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 โทโพโลยีแบบเครือข่าย Tree [22]

○ Mesh Topologies : อุปกรณ์ภายในเครือข่ายสามารถเชื่อมต่อถึงกันได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องผ่านตัวกลางใด ดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 โทโพโลยีแบบ Mesh [22]

### 2.17.1 หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ในเครือข่าย (Machine Functional)

อุปกรณ์ที่หน้าที่ต่างๆ แต่ละรูปแบบในระบบเครือข่าย ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์จะแตกต่างกันออกไป สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ

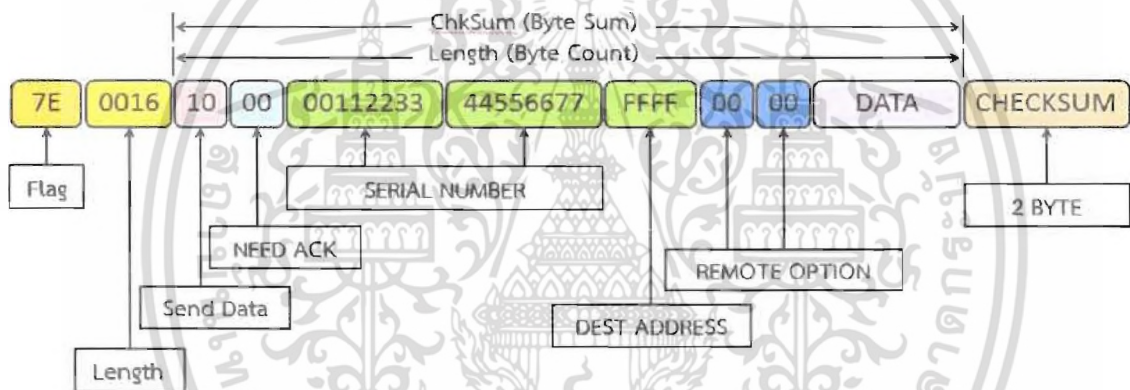
- Coordinator : ทำหน้าที่ตอบสนองการค้นหา หรือร้องขอบริการต่างๆ จากอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับตัวเองซึ่งอยู่ภายในเครือข่าย (PAN ID) เดียวกัน และทำหน้าที่เป็นตัวแทนในการตอบรับและจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญในการสื่อสาร

- Router : เริ่มทำงานโดยทำการลงทะเบียนเพื่อเข้าสู่เครือข่ายนั้นๆ และทำหน้าที่ที่ตอบสนองการร้องขอบริการต่างๆ จากอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับตัวเอง และทำหน้าที่เป็นตัวแทนในการตอบรับและจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญในการสื่อสาร

- End Device : เริ่มทำงานโดยทำการลงทะเบียนเพื่อเข้าสู่เครือข่ายนั้นๆ จะทำการรับข้อมูลการสื่อสารจากอุปกรณ์อื่นๆ โดยตรวจสอบจากที่อยู่ของอุปกรณ์ (Address) ซึ่งจะต้องอยู่ในเครือข่าย (PAN ID) เดียวกัน จึงจะทำการรับข้อมูลมาประมวลผล

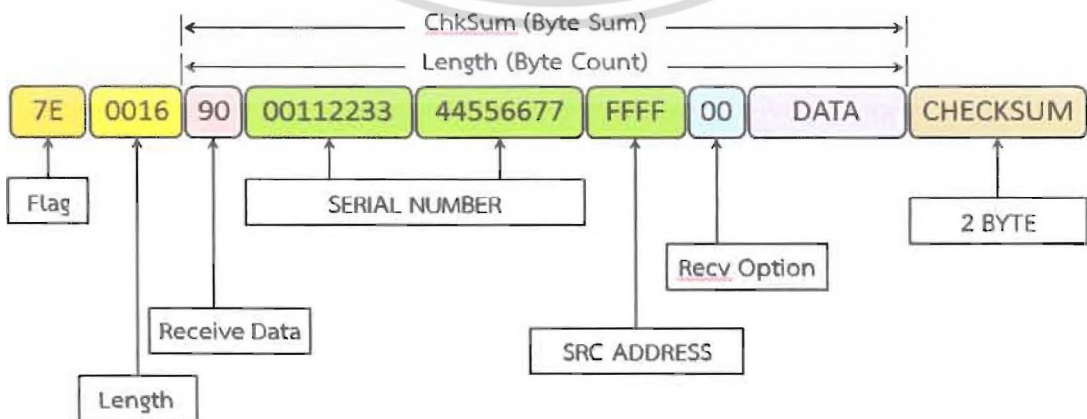
### 2.17.2 ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสื่อสารในโมดูลไร้สายซิกบี (API Mode Command)

ในการสื่อสารในระบบเครือข่ายสื่อสารของโมดูลซิกบี สามารถทำได้โดยการส่งชุดคำสั่งซึ่งเรียกว่า "API Command" เข้าที่ขา Rx ของโมดูลซิกบี โดยรูปแบบชุดคำสั่งจะต้องทำการสร้างเฟรมข้อมูลที่มอดุ้ประกอบอย่างสมบูรณ์โมดูลไร้สายซิกบีจึงจะทำการส่งข้อมูลได้ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 องค์ประกอบเฟรมข้อมูลที่ใช้ส่งในโมดูลไร้สายซิกบี

ในกรณีโมดูลไร้สายซิกบีได้รับข้อมูลเข้ามาจากเครือข่ายอุปกรณ์จะทำการตรวจสอบค่าแอดเดรสของเฟรมข้อมูลและค่าที่ตรวจสอบความผิดพลาด (Checksum) ที่รับได้ ซึ่งจะต้องมีลักษณะดังรูป ที่ 2.45 จึงจะนำมาประมวลผล



รูปที่ 2.45 องค์ประกอบเฟรมข้อมูลที่รับได้ในโมดูลไร้สายซิกบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
56

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.17.3 การสื่อสารบรอดแคสต์และมัลติแคสต์ (Broadcast & Multicast Communication)

- การสื่อสารแบบบรอดแคสต์ : จะต้องทำการกำหนด Destination Address ให้มีค่าเป็น 0xFFFF ดังตารางรูปที่ 2.46

Broadcast Address	Destination Group
0xffff	All devices in PAN
0xffffe	Reserved
0xffffd	<i>macRxOnWhenIdle</i> = TRUE

รูปที่ 2.46 ตารางแสดงการกำหนด Destination Address ในการสื่อสารแบบบรอดแคสต์ [23]

- การสื่อสารแบบมัลติแคสต์ : จะต้องทำการกำหนด Destination Address ให้มีค่าเป็น 0xFFFC ดังตารางรูปที่ 2.47

Broadcast Address	Destination Group
0xfffc	All routers and coordinator
0xffffb	Low power routers only
0xffff8 - 0xffffa	Reserved

รูปที่ 2.47 ตารางแสดงการกำหนด Destination Address ในการสื่อสารแบบมัลติแคสต์ [23]

### 2.17.4 การรักษาข้อมูลสำคัญ (Persistent Data)

ในขณะที่อุปกรณ์ทำงานอยู่ในระบบงานจริง หากเกิดกรณีที่การตั้งค่าต่างๆ ถูกรีเซ็ตด้วยจุดประสงค์ที่ถูกต้องหรืออุบัติเหตุก็ตาม ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการทำงานของอุปกรณ์จะถูกเก็บรักษาเอาไว้และไม่สูญหายไปหลังจากถูกค่ารีเซ็ต ซึ่งประกอบด้วย PAN ID, Extend PAN ID, 16-bit network address, 64-bit IEEE address และ parent device 16-bit network address (สำหรับ End Device)

## 2.18 การสื่อสารแบบไคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์ (Client-Server Communication)

รูปแบบการสื่อสารแบบไคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์ คือ การสื่อสารในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เป็นการสื่อสารที่มีการจัดการภาระงาน การจัดสรรทรัพยากรที่มีในระบบ และการให้บริการข้อมูลต่างๆ แก่อุปกรณ์ในเครือข่าย ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การสื่อสารจะถูกกำหนดให้เครื่องคอมพิวเตอร์ต้องใช้ภาษาในการสื่อสารแบบเดียวกัน

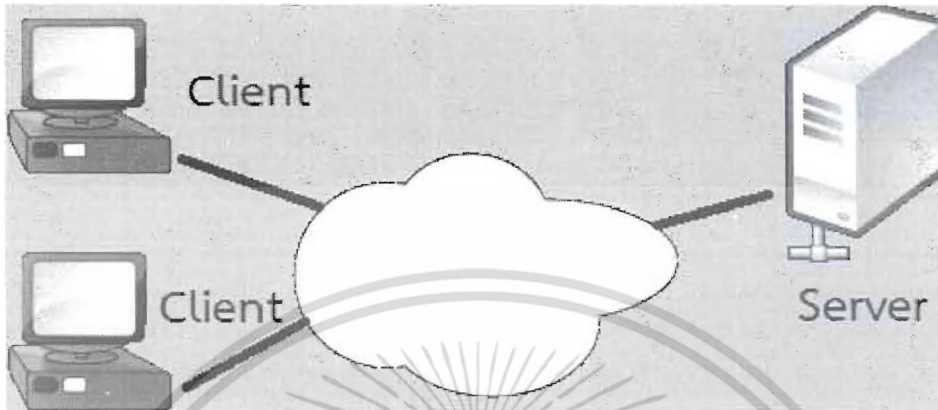
เรียกว่า "Protocol" โดยการทำงานจะเริ่มต้นที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ทำการรันซอฟต์แวร์โปรแกรม เพื่อ

เอกสารนั้นเป็นเอกสารที่ส่งวนเวลาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญูเตเห็นาเบไซประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้บริการทรัพยากรต่างๆ แก่ไคลเอนต์ หลังจากนั้นไคลเอนต์จะทำการร้องขอการเชื่อมต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ และรอการตอบกลับพร้อมการให้บริการตามที่ร้องขอ ดังรูปที่ 2.48

ปัจจุบันการใช้งานการสื่อสารแบบไคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์เป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น เวิลด์ไวด์เว็บ (www) อีเมล (E-mail) รวมไปถึงการแบ่งปันไฟล์ข้อมูลและเครื่องพิมพ์ (Resource Share)



รูปที่ 2.48 การทำงานระหว่าง Client - Server

### 2.19 แรงลอยตัว (Buoyant Force)

แรงลอยตัว (buoyant force) ของของเหลวที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในของเหลว จึงทำให้วัตถุลอยอยู่ได้ เพราะแรงลอยตัวที่กระทำต่อวัตถุนั้นมีค่าเพียงพอที่จะต้านน้ำหนักของวัตถุที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้ แต่สำหรับวัตถุที่จมลงในน้ำ แสดงว่าแรงลอยตัวที่กระทำต่อวัตถุนั้นมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักของวัตถุ

การที่จะทำให้วัตถุ หรือในที่นี้เรียกว่า “ฟูน” ลอยตัวอยู่ในน้ำได้ จึงต้องการวัตถุที่สามารถลอยตัวอยู่ในน้ำได้มาประกอบเข้าไปในฟูน ส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์ที่ทำมาจากพลาสติก ไม่ว่าจะเป็นกล่องน้ำพลาสติก ถังน้ำพลาสติก เนื่องจากพลาสติกนั้นมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ซึ่งความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ( $1 \text{ g/cm}^3$ ) หรือ 1 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ( $1 \text{ kg/cm}^3$ ) จึงทำให้วัสดุที่ทำมาจากพลาสติกนั้นสามารถลอยตัวอยู่ได้ สามารถแบ่งกรณีได้ดังนี้

- เมื่อวัตถุลอยอยู่ในอากาศ



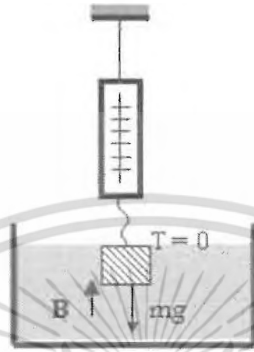
รูปที่ 2.49 การชั่งวัตถุในอากาศ [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.49 เมื่อชั่งวัตถุในอากาศ วัตถุจะตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะวัดค่าจากตราชั่งได้จากแรงดึงเชือก ตามสมการด้านล่างนี้

$$T = mg$$

- เมื่อวัตถุลอยอยู่ในของเหลว

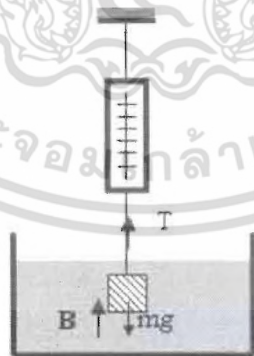


รูปที่ 2.50 วัตถุลอยอยู่ในของเหลว [24]

จากรูปที่ 2.50 เมื่อชั่งวัตถุในน้ำ วัตถุจะตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อวัตถุจมลงไป และแรงดึงเชือกของวัตถุเท่ากับ 0 จะมีแรงลอยตัวตามมา ซึ่งจะวัดค่าแรงลอยตัวได้ ซึ่งแรงลอยตัว จะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของเหลวในส่วนของวัตถุที่จมลงไป ตามสมการด้านล่างนี้

$$B = mg$$

- เมื่อวัตถุจมอยู่ในของเหลว



รูปที่ 2.51 วัตถุจมอยู่ในของเหลว [24]

จากรูปที่ 2.51 เมื่อชั่งวัตถุในน้ำ วัตถุจะตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อวัตถุจมลงไป จะมีแรงลอยตัวตามมาและมีค่าจากแรงดึงเชือก แสดงว่าวัตถุนั้นได้จมลงไปทั้งหมดแล้ว จึงมีค่าเท่ากับน้ำหนักของเหลว เท่ากับแรงทั้งสองที่มาช่วยยกวัตถุให้ลอยขึ้น ตามสมการด้านล่างนี้

$$T+B = mg$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.20 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232



รูปที่ 2.52 พอร์ตอนุกรม RS-232 to USB [25]

จากรูปที่ 2.52 RS-232 ย่อมาจาก recommended Standard - 232 เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Port) สามารถรับและส่งข้อมูลได้ พร้อมกัน (Full-duplex) ใช้ในการสื่อสารระหว่างจุดสองจุด กำหนดโดย สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association: EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเนคเตอร์เป็นแบบ DB-25 มีค่าระดับสัญญาณตั้งแต่ -3 ถึง -12 V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และค่าระดับสัญญาณ +3 ถึง +12 V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

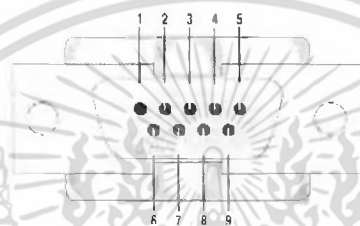
มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating: DCE) ไว้ว่า DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์แบบ DCE จะทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดย การส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะผ่านมาตรฐาน RS - 232 ข้อแตกต่างระหว่างอุปกรณ์ DTE และ DCE คือ คอนเนคเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเนคเตอร์ที่อยู่ที่ไม่เต็มจะเป็นแบบ DCE

มาตรฐาน RS-232 จำกัดการส่งข้อมูลที่ระยะ 50 ฟุต (ประมาณ 15 เมตร) ขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายสัญญาณ ระยะทาง และปริมาณสัญญาณ รบกวนและอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดไม่เกิน 20 kbps มีแบบ 9-Pin (DB9) และแบบ 25-Pin (DB25) เนื่องจากปริมาณพินนี้ใช้ DB9 ในที่นี้จึงขอกล่าวถึง DB9 เพียงอย่างเดียว แสดงในรูปที่ 2.53 และ 2.54



รูปที่ 2.53 DB9 ด้านชายคือตัวผู้ (Male) และด้านขวาคือตัวเมีย (Female) [26]

- พอร์ตอนุกรมของ PC (DTE) จะเป็นคอนเนคเตอร์แบบ DB9 ตัวผู้ (Male)
- พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก (DCE) จะเป็นคอนเนคเตอร์แบบ DB9 ตัวเมีย (Female)



รูปที่ 2.54 DB9 ตัวผู้ด้านหลัง [27]

Pin	Description	Type
1	Data Carrier Detect (DCD)	Input
2	Received Data (RXD)	Input
3	Transmitted Data (TXD)	Output
4	Data Terminal Ready (DTR)	Output
5	Signal Ground (GND)	Input
6	Data Set Ready (DSR)	Input
7	Requests to Send (RTS)	Output
8	Clear to Send (CTS)	Input
9	Ring Indicator (RI)	Input

### 2.20.1 หน้าทีการทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232

- DCD หรืออาจจะเรียกว่า Carrier Detect: CD ขานี้จะ active เมื่อมีการส่งสัญญาณพาร์ชาจากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเช่นโมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ถูกใช้งานมากนัก
- RXD ขานี้ใช้รับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- TXD ใช้ส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป
- DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ ว่า ต้องการติดต่อด้วยโดยขา DTR นี้ต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของ

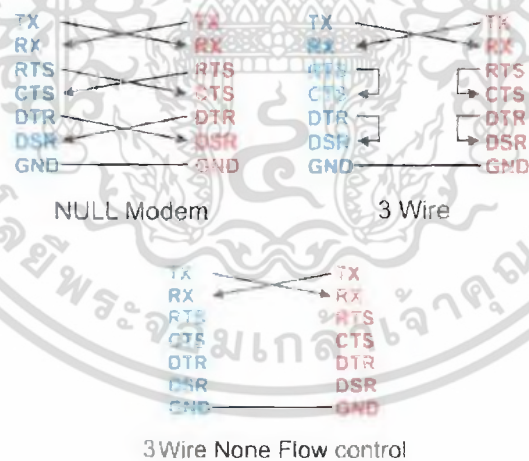
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ทางต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อเป็นแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจสอบสัญญาณพาท

- GND สายดินของระบบ
- DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันของคอมพิวเตอร์ กับอุปกรณ์ปลายทางซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR
- RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมาทางคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกันเพื่อจะให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ข้อมูลที่ขา TXD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่
- RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็ม และโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

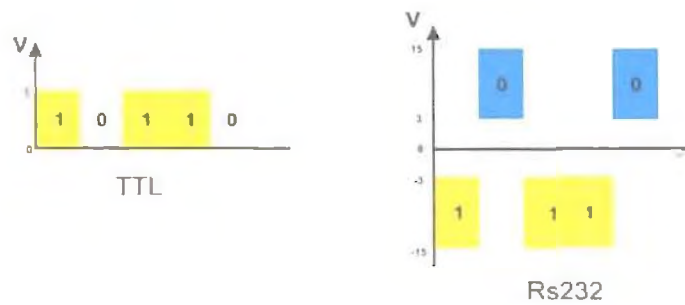
### 2.20.2 การเชื่อมต่อสาย DB9

การเชื่อมต่อสาย DB9 โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 แบบดังรูปที่ 2.55



รูปที่ 2.55 รูปแบบการเชื่อมต่อสาย DB9 [28]

### 2.20.3 ระดับสัญญาณของ RS232



รูปที่ 2.56 ระดับสัญญาณของ TTL และระดับสัญญาณของ RS232 [28]

จากรูปที่ 2.56 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ในสายนำสัญญาณ มักจะมีแรงดันเป็นบวก เมื่อเทียบกับกราวด์ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนนี้ จึงออกแบบแรงดัน ของโลจิก "1" เป็นลบ คืออยู่ในช่วง  $-3V$  ถึง  $-15V$  ส่วนแรงดัน ของโลจิก "0" อยู่ในช่วง  $+3V$  ถึง  $+15V$  และเหตุที่ระดับสัญญาณของ RS232 อยู่ในช่วง  $+15V$  ถึง  $-15V$  ก็เพื่อให้ต่อสายสัญญาณไปได้ไกลขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันของ RS232 มาเป็นระดับแรงดันของ TTL

### 2.20.4 อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate)

- อัตราการส่งข้อมูลคือความเร็วของการรับ-ส่งข้อมูล เป็นจำนวนบิตต่อวินาที (bps) เช่น 300, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600, 14,400, 19,200, 38,400, 56,000 เป็นต้น
- การเลือกอัตราการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายสัญญาณ, ระยะทาง และ ปริมาณสัญญาณรบกวน

## 2.21 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านโมดูล UART

UART ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการสื่อสารอนุกรม แบบ Asynchronous

การสื่อสารอนุกรมแบบ Asynchronous เป็นการส่งข้อมูลที่ไม่ต้องใช้สัญญาณ Clock มาเป็นตัวกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลแต่ ใช้วิธีกำหนด รูปแบบ Format การรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับและส่งที่เท่ากันทั้งฝั่งรับและฝั่งส่ง ข้อดีของการใช้ Asynchronous คือสามารถสื่อสารแบบ Full Duplex คือการรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน แต่ Asynchronous มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายขณะรับส่งข้อมูล หรือ รับส่งข้อมูลผิดพลาดได้มากกว่าแบบ Synchronous

สรุปกล่าวคือ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) หมายถึง รูปแบบการส่งข้อมูล ที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้รับส่งข้อมูลแบบ Asynchronous โดยมีรูปแบบดังรูปที่ 2.57



รูปที่ 2.57 การรับส่งข้อมูลแบบ Asynchronous [28]

เริ่มต้นจาก Start Bit เป็น Logic 0 จากนั้นจะตามด้วย Data ที่เราส่ง แล้วจะถูกปิดด้วย STOP Bit เป็น Logic 1

หน้าที่หลักของ UART คือ ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Serial) แล้วส่งออกไป และทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าคอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังทำการแจ้งข้อมูลอื่นๆ ให้คอมพิวเตอร์ทราบด้วย เช่น อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล รูปแบบการส่งข้อมูลและความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ระหว่างการถ่ายถอดข้อมูล (ผิดพลาดจากแพริตี เฟรมข้อมูล โอเวอร์รัน) เป็นต้น

ภายใน UART จะมีส่วนของวงจรสร้างอัตราการถ่ายถอดข้อมูลแบบโปรแกรมได้ (Programmable Baud Rate Generator) โดยการกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้มีขนาด 16 บิต ดังนั้นจึงกำหนดตัวหารให้อยู่ในช่วง 10 – 65,535

UART สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งแบบ Half Duplex และ Full Duplex โดยการส่งแบบ Half Duplex ในการส่งแบบทิศทางเดียว ส่วนการส่งแบบ Full Duplex นั้นสามารถรับและส่งข้อมูลได้ในคราวเดียวกัน

ในการสื่อสารผ่านโมเด็ม จะเป็นการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial) คือ โมเด็มจัดส่งข้อมูลออกไปทีละบิต หัวใจสำคัญอยู่ที่ชิป UART ซึ่งจะแปลงข้อมูลขนาด 8 บิต ที่มีอยู่ ให้ส่งออกไปทีละบิต (อนุกรม) และสามารถส่งผ่านสายโทรศัพท์ได้ โดยอาศัยการแปลงสัญญาณ ด้วยโมเด็มนั่นเอง ในคอมพิวเตอร์ จะมีพอร์ต อนุกรม ที่เรียกว่า RS-232 ก็จะมีชิป UART คอยควบคุมการรับส่งข้อมูลอยู่แล้ว เช่น เมาส์ (Mouse) ในอดีตก็เชื่อมกับคอมพิวเตอร์ ทางพอร์ตอนุกรม โดยมี UART คอยกำกับดูแลอยู่ แต่ UART ที่อยู่กับ I/O card มักจะเป็น UART เบอร์ 8250 หรือ 16540 ซึ่งไม่เหมาะ ที่จะใช้กับโมเด็มที่มีความเร็วสูง ๆ เนื่องจากไม่มีบัฟเฟอร์ ของข้อมูล แต่ถ้าคุณใช้โมเด็มแบบติดตั้งภายใน (Internal Modem) จะไม่มีปัญหาเรื่องชิป UART เพราะโมเด็มแบบติดตั้งภายใน จะมีชิป UART ของตัวมันเองอยู่แล้วระบบการเชื่อมโยงข้อมูลจะถูกส่งออกจาก ขาส่งสัญญาณ TXD ของ UART เป็นลำดับไปด้วยความเร็วที่กำหนดค่าไว้ล่วงหน้า สัญญาณที่ส่งเสียงออกไปจะมีค่าเป็นศูนย์หรือหนึ่ง ขารับสัญญาณ RXD จะมีหน้าที่คอยตรวจสอบว่ามีสัญญาณส่งมาให้ที่ความเร็วเดียวกับขาส่งสัญญาณ ข้อมูลจะถูกส่งออกไปหนึ่งไบต์ในแต่ละครั้ง อันนี้เป็นการส่งสัญญาณทางเดียว ในการส่งสัญญาณทางคู่ เราจะต้องติดตั้งวงจรแบบเดียวกันที่จุดตรงข้าม การส่งและรับสัญญาณจะต้องทำบนวงจรที่แยกจากกัน และเชื่อมโยงทำงานติดต่อกันโดยอิสระไม่ขึ้นต่อกัน ในแต่ละฟากจะสามารถรับหรือส่งสัญญาณไปให้อีกฝ่ายได้พร้อมในเวลาเดียวกัน

## 2.22 เซลลิตสเตรรีเลย์ (Solid State Relay)

### 2.22.1 ภาพรวมของโซลิตสเตรรีเลย์ (Solid State Relay)

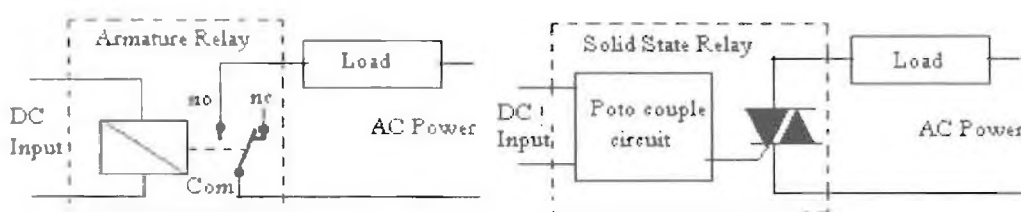
การใช้รีเลย์ขับโหลดปกติอาจทำให้เกิดปัญหาหลายๆ อย่างตามมา เช่น การกระชากของไฟรุนแรงเกินไป ตอบสนองช้า สัญญาณรบกวน อุปกรณ์ที่สามารถแก้ปัญหาสิ่งเหล่านี้ได้ก็คือ Solid State Relay (โซลิตสเตรรีเลย์) แนวคิดสำคัญของโซลิตสเตรรีเลย์ คือ การใช้ทรานซิสเตอร์ BTA41600 ซึ่งเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง นิยมนำมาใช้งานในระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งสามารถทำงานในความเร็วสูงๆ ได้ดี และทนกระแสเช่นเดียวกับรีเลย์ทั่วไป และมีการนำไอซี MOC3041 เข้ามาควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่หนึ่ง ซึ่งสามารถรับแรงดันไฟต่ำๆ เพื่อการนำไปควบคุมส่วนระบบไฟกำลังให้ทำงานได้

Solid State Relay หรือเรียกกันอย่างย่อๆว่า SSR ทำหน้าที่เป็น สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่นเดียวกับรีเลย์ทั่วไปที่ แต่แตกต่างกับรีเลย์ปกติจะมีการทำงานแบบไฟฟ้ากล และการทำงานเชิงกล (Electromechanical) สำหรับ SSR จะใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดในการทำงาน

รูปที่ 2.58 รีเลย์แบบไฟฟ้า-กล (Electromechanical Relay) [30]

SSR ใช้เทคโนโลยีของ Semiconductor ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนของอุปกรณ์ใดๆที่เคลื่อนที่ จึงปราศจากเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับรีเลย์แบบหน้าสัมผัส และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระยะยาว

โซลิตสเตรรีเลย์ (Solid state Relay) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างภาคควบคุม (Control) ซึ่งเป็นส่วนวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ กับวงจรรภาคไฟฟ้ากำลัง (Power) โดยที่ภาคทั้งสองจะมีระบบกราวด์ (Ground) ที่แยกออกจากกันทำให้สามารถป้องกันการลัดวงจร (Short circuit) และการรบกวนซึ่งกันและกันได้ อาจถือได้ว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้แทนอาร์เมเจอร์รีเลย์ (Armature Relay) แต่มีข้อดีก็คือ มีขนาดเล็กกว่า ความไวในการทำงานที่สูงกว่า และอายุการทำงานนานกว่า มีการเปรียบเทียบวงจรระหว่างอาร์เมเจอร์รีเลย์และโซลิตสเตรรีเลย์ดังรูปที่ 2.59



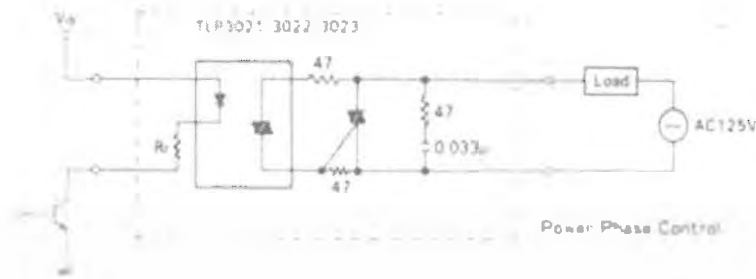
รูปที่ 2.59 การเปรียบเทียบวงจรระหว่างอาร์เมเจอร์รีเลย์และโซลิตสเตรรีเลย์ [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## 2.22.2 องค์ประกอบและวงจรพื้นฐานของโซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay)

โซลิดสเตตรีเลย์ นั้นมีด้วยกัน 2 แบบ ดังนี้

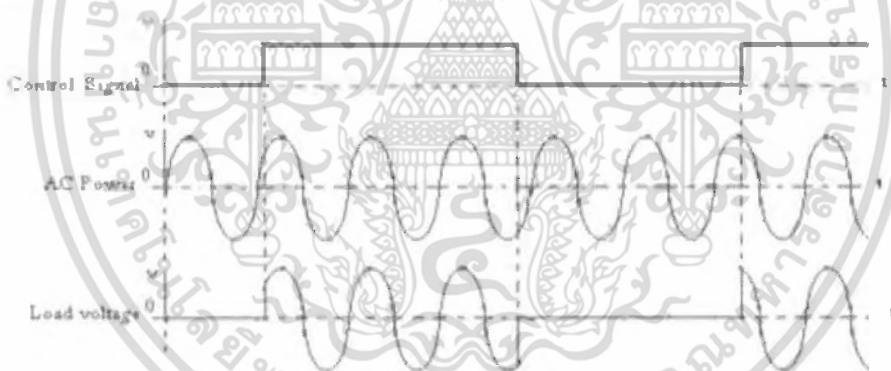
- แบบ Non Zero Crossing Type



รูปที่ 2.60 วงจรพื้นฐานของโซลิดสเตตรีเลย์แบบ Non Zero Crossing Type [30]

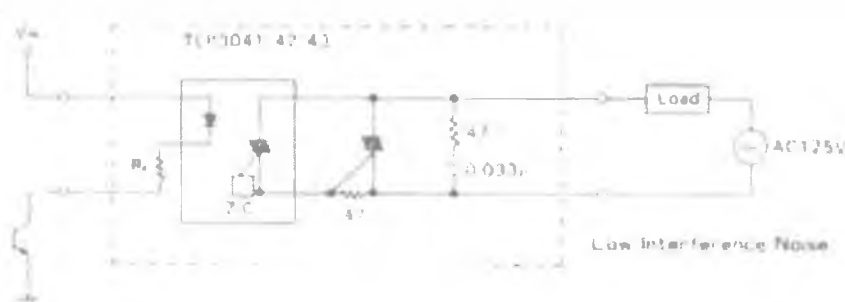
จากรูปที่ 2.60 จะเห็นได้ว่าโซลิดสเตตรีเลย์แบบ Non Zero Crossing Type มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ Photo Couple, Main Triac และ Snubber circuit

การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้จาก กราฟรูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ ในวงจรตามรูปที่ 2.61 ซึ่งกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่ตกคร่อมโหลดจะปรากฏทันทีที่สัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าเป็นบวก



รูปที่ 2.61 แรงดันไฟฟ้าของโซลิดสเตตรีเลย์แบบ Non Zero Crossing Type [30]

- แบบ Zero Crossing Type



รูปที่ 2.62 วงจรพื้นฐานของโซลิดสเตตรีเลย์แบบ Zero Crossing Type [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

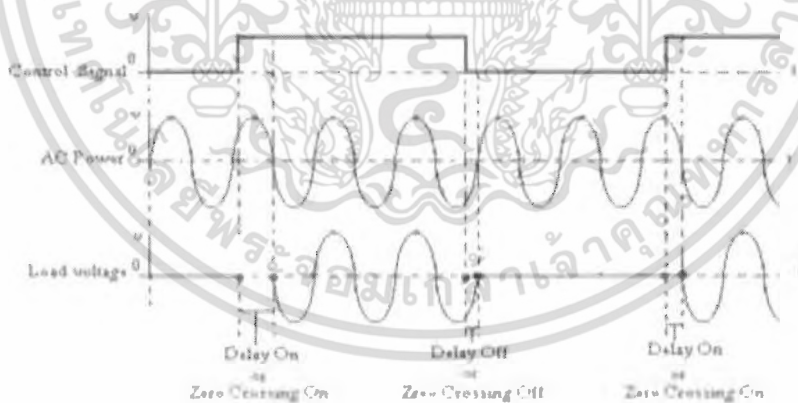
Recommended R<sub>s</sub> Value

Type	Recommended R <sub>s</sub> (Power Rating:W)		
	V <sub>in</sub> = 5V	V <sub>in</sub> = 12V	V <sub>in</sub> = 32V
TLP3021 TLP3041	120Ω (1/2)	390Ω (1/2)	1.2KΩ (2)
TLP3022 TLP3042	180Ω (1/4)	560Ω (1/2)	1.8KΩ (1)
TLP3023 TLP3043	360Ω (1/8)	1.2KΩ (1/4)	3.6KΩ (1/2)

รูปที่ 2.63 รายละเอียดของรุ่นต่างๆ ของโซลิตสเตทรีเลย์แบบ Zero Crossing Type [30]

จากรูปที่ 2.62 จะเห็นได้ว่าโซลิตสเตทรีเลย์แบบนี้ มีองค์ประกอบ ที่สำคัญคือ Photo Couple ที่เป็นแบบ Zero Crossing Circuit, Main Triac และ Snubber circuit และจากรูปที่ 2.63 จะทราบถึงรายละเอียดของรุ่นต่างๆ ของโซลิตสเตทรีเลย์แบบ Zero Crossing Type

การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้จาก กราฟรูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่างๆ ในวงจรตามรูปที่ 2.64 ซึ่งกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ตัดคร่อมโหลดจะไม่ปรากฏทันทีที่สัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าเป็นบวก แต่จะหน่วงไปจนถึงจุดที่แรงดัน AC power เป็นศูนย์จึงจะให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจรโหลด (ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Zero Crossing On) และเมื่อสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าเป็นศูนย์ก็ยังไม่ตัดกระแสไฟฟ้าในวงจรโหลดทันทีแต่จะหน่วงไปจนถึงจุดที่แรงดัน AC power เป็นศูนย์จึงจะตัดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรโหลด (ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Zero Crossing Off)



รูปที่ 2.64 แรงดันไฟฟ้าของโซลิตสเตทรีเลย์แบบ Zero Crossing Type [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

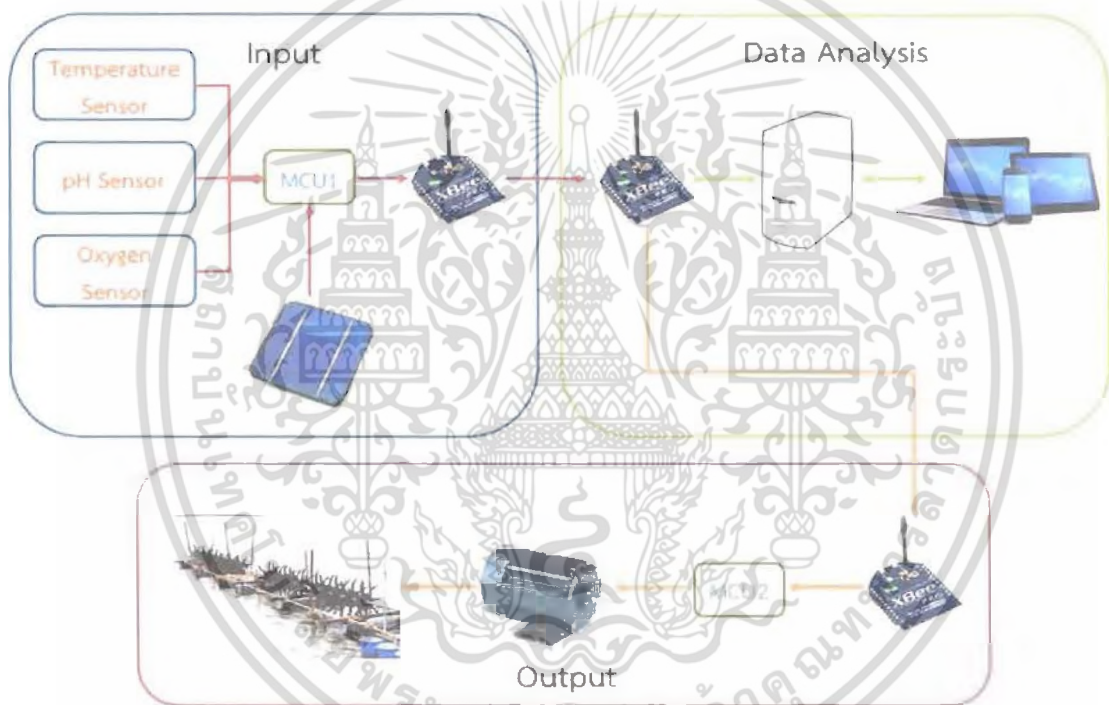
## บทที่ 3

### การออกแบบและพัฒนาระบบ

การออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการเลี้ยงกุ้ง จะนำทฤษฎีจากบทที่ 2 มาใช้สำหรับออกแบบและพัฒนาระบบ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวมของระบบ และอธิบายรายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในการออกแบบและพัฒนาระบบ

#### 3.1 องค์ประกอบของระบบ

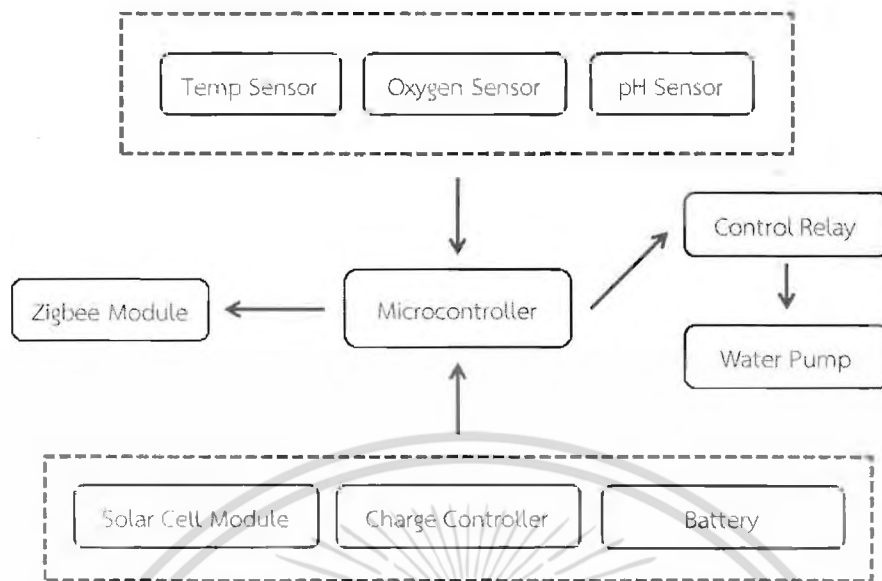
การออกแบบระบบนั้นมีองค์ประกอบโดยรวมแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบสารสนเทศสำหรับการเลี้ยงกุ้ง

จากรูปแสดงองค์ประกอบภาพรวมของระบบในการจัดการฟาร์มกุ้งโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนที่สำคัญดังนี้

### 3.1.1 ส่วนอินพุตของระบบ



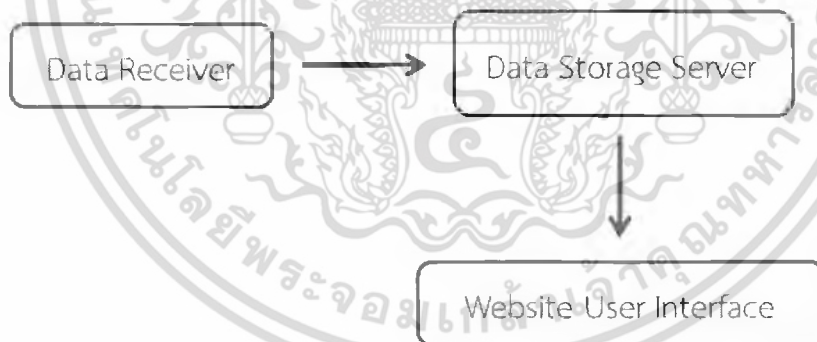
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมในส่วนอินพุตของระบบ

จากรูปที่ 3.2 ส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการควบคุมอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดค่าต่างๆ ในน้ำ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยรวบรวมข้อมูลทั้งหมดส่งต่อไปที่ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลต่อไป ซึ่งอุปกรณ์ในส่วนอินพุตของระบบประกอบด้วย

- หน่วยประมวลผลที่ 1 (MCU1) : เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้งสามส่วนนั่นคือ ค่าอุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่าง และทำหน้าที่ควบคุมการรับ-ส่งข้อมูลของโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี
- เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) : รอรับคำสั่งการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิในน้ำ และทำการส่งค่าอุณหภูมิที่วัดได้เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์
- เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH Sensor) : ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำโดยอัตโนมัติเมื่อเปิดเครื่องเซ็นเซอร์ และทำการส่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์
- เซ็นเซอร์วัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen Sensor) : ทำการวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยอัตโนมัติเมื่อเปิดเครื่องเซ็นเซอร์ แล้วจึงทำการส่งค่าข้อมูลที่วัดได้เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์
- โมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี (ZigBee Module) : ทำหน้าที่ในส่วนของการรับส่งข้อมูลไปยังส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล โดยจะมีกระบวนการทำงานดังนี้
  - การส่งข้อมูล : รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ส่งข้อมูลสู่โมดูลซิกบีที่ติดตั้งอยู่ในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

- การรับข้อมูล : รวบรวมข้อมูลจากโมดูลเซนเซอร์ในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล แล้วนำข้อมูลส่งต่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผลและใช้ควบคุมการทำงาน
- แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell Module) : ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า
- เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) : ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าแบตเตอรี่ และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเหมาะสมกับแบตเตอรี่ รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่
- แบตเตอรี่ (Battery) : ทำหน้าที่เก็บไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- รีเลย์ควบคุม (Control Relay) : ทำหน้าที่ควบคุมการเปิด-ปิดปั๊มน้ำที่สูบน้ำจากบ่อ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรม
- มอเตอร์ปั๊มน้ำกระแสตรง (Water Pump DC Motor) : ทำหน้าที่สูบน้ำเข้า-สูบน้ำออก บ่อพักที่เตรียมไว้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมผ่านรีเลย์
- ถังน้ำพลาสติก (Barrel) : ทำหน้าที่พียงช่วยให้หุ่นลอยอยู่เหนือผิวน้ำ ตามหลักการของแรงลอยตัว
- ท่อ PVC (Plastic Pipework) : ทำหน้าที่เป็นท่อน เพื่อล่อยน้ำ มีการสร้างโครงสร้างเพื่อให้วางอุปกรณ์ทุกส่วนที่มีอยู่ในส่วนของอินพุตทั้งหมดลอยอยู่บนผิวน้ำให้ได้

### 3.1.2 ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

จากรูปที่ 3.3 ในส่วนของ Data Receiver จะทำหน้าที่ในการรับข้อมูลจากส่วนอินพุตของระบบซึ่งเป็นค่าข้อมูลคุณภาพน้ำจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าออกซิเจน และค่าความเป็นกรด-ด่าง เก็บบันทึกข้อมูลลงสู่ส่วน Data Storage แล้วจึงทำการแสดงผลข้อมูลที่ได้ผ่านทางหน้าเว็บไซต์ ระบบจะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับโดยลักษณะการทำงานเป็นดังนี้

- ค่าอุณหภูมิ: ระบบจะกำหนดช่วงค่ามาตรฐานโดยมีขอบเขตที่ถูกจำกัดโดยค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดเพื่อใช้เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ได้รับ กรณีข้อมูลอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ หรือกรณีค่าอยู่นอกช่วงค่ามาตรฐาน ระบบจะทำการแสดงผลฟังก์ชันการเปรียบเทียบค่าข้อมูลต่อผู้ใช้
- ค่าออกซิเจน: เปรียบเทียบตามค่าออกซิเจนมาตรฐานโดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ซึ่งในแต่ละระดับจะต้องมีการจำกัดขอบเขตโดยค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดเสมอ หากค่าออกซิเจนที่ได้รับอยู่ในระดับขั้นออกซิเจนใด ระบบจะนำหมายเลขระดับขั้นขึ้นแสดงผลต่อผู้ใช้
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง: ระบบจะกำหนดช่วงค่ามาตรฐานโดยมีขอบเขตที่ถูกจำกัดโดยค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดเพื่อใช้เปรียบเทียบค่าเช่นเดียวกับค่าอุณหภูมิ

การทำงานในลำดับถัดมาคือ การตรวจสอบโหมดการทำงานเพื่อควบคุมมอเตอร์กังหันตีน้ำ โดยระบบจะรองรับการทำงาน 2 รูปแบบดังนี้

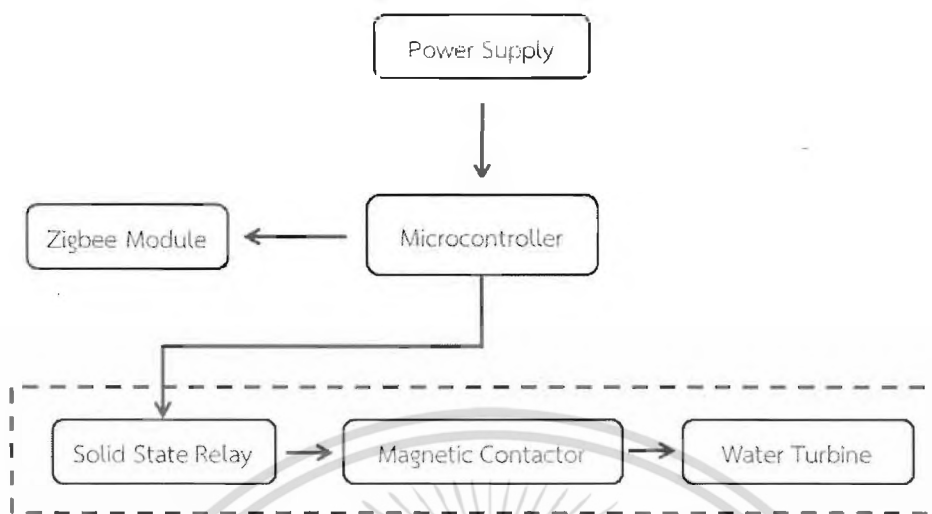
1) การควบคุมโดยอัตโนมัติ : ระบบจะตรวจสอบระดับขั้นของค่าออกซิเจนในปัจจุบันแล้วจะทำการควบคุมเปิด-ปิดมอเตอร์ตามแผนการควบคุมที่ถูกกำหนดไว้สำหรับระดับขั้นออกซิเจนนั้นๆ โดยแผนการควบคุม 1 แผน ผู้ใช้จะต้องทำการตั้งค่าการเปิด-ปิดมอเตอร์สำหรับระดับออกซิเจนทั้งหมด 5 ระดับให้ถูกต้อง

2) การควบคุมโดยตรงจากผู้ใช้ : ระบบจะรองรับคำสั่งควบคุมการเปิด-ปิดโดยตรงจากผู้ใช้ โดยติดต่อผู้ใช้ผ่านทางหน้าเว็บไซต์

ซึ่งอุปกรณ์ในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลมีดังนี้

- ส่วนรับข้อมูลจากระบบอินพุต (Data Receiver) : ทำหน้าที่รองรับข้อมูลที่ส่งมาจากโมดูลสื่อสารไร้สายจิบเก็บลงฐานข้อมูล เช่น ค่าอุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่าง แล้วทำการส่งต่อข้อมูลไปเก็บบันทึกยังส่วนเซิร์ฟเวอร์เก็บข้อมูล
- ส่วนเซิร์ฟเวอร์เก็บข้อมูล (Data Storage Server) : ทำหน้าที่จัดการข้อมูลที่ส่งมาจากส่วนรับข้อมูลโดยทำการบันทึกเข้าสู่ฐานข้อมูล และทำหน้าที่ให้บริการข้อมูลแก่ผู้ใช้ในการเรียกดูข้อมูลต่างๆ เช่น ค่าอุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่างได้ ผ่านทางหน้าเว็บไซต์
- ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ (Website) : เป็นส่วนของหน้าเว็บไซต์ซึ่งจะทำงานติดต่อระหว่างผู้ใช้กับเครื่องเซิร์ฟเวอร์เก็บข้อมูลโดยผู้ใช้สามารถเรียกดูข้อมูลต่างๆ เช่น ค่าอุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่างได้ และสามารถสั่งการทำงานไปยังส่วนเอาต์พุตของระบบ เพื่อสั่งการทำงานไปยังมอเตอร์ใบพัดตีน้ำให้ทำงานตามต้องการ

### 3.1.3 ส่วนเอาต์พุตของระบบ



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมในส่วนเอาต์พุตของระบบ

จากรูปที่ 3.4 ระบบจะทำหน้าที่รับคำสั่งการควบคุมมอเตอร์จากส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล แล้วระบบจะทำการตรวจสอบและสั่งการทำงานไปยังมอเตอร์ใบพัดดีน้ำให้ทำงานตามต้องการ ในส่วนเอาต์พุตของระบบจะสามารถสั่งงานมอเตอร์ใบพัดดีน้ำได้ชุดละ 1 ตัว หากต้องการสั่งงานมอเตอร์ใบพัดดีน้ำมากกว่า 1 ตัว จำเป็นต้องเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ให้ครบตามจำนวนที่ต้องการต่อ 1 ชุด ซึ่งอุปกรณ์ในส่วนเอาต์พุตของระบบมีดังนี้

- หน่วยประมวลผลที่ 2 (MCU2) : เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการรับ-ส่งข้อมูลของโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี ซึ่งเป็นข้อมูลคำสั่งควบคุมมอเตอร์โดยถูกส่งมาจากส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบคำสั่งที่ได้รับและดำเนินการเปิด-ปิดกั้นน้ำต่อไป
- โมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี (ZigBee Module) : ทำหน้าที่ในส่วนของการรับ-ส่งข้อมูลไปยังส่วนอินพุตของระบบ โดยจะมีกระบวนการทำงานดังนี้
  - การส่งข้อมูล : การส่งข้อมูล Acknowledge กลับไปยังส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล ให้ทราบว่ามอเตอร์ใบพัดดีน้ำได้ทำงานแล้ว
  - การรับข้อมูล : รอรับข้อมูลจากโมดูลซิกบีจากส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล แล้วนำข้อมูลส่งต่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อการสั่งงานไปยังมอเตอร์ใบพัดดีน้ำต่อไป
- โซลิดสเตทรีเลย์ (Solid State Relay) : ทำหน้าที่การเปิด-ปิดการทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรม
- แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) : ทำหน้าที่เปิด-ปิดมอเตอร์ ใบพัดดีน้ำ มีหลักการที่ใช้อำนาจของแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมผ่านโซลิดสเตทรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- มอเตอร์ใบพัดตึกน้ำ (Water Turbine Motor) : ทำหน้าที่ขับเคลื่อนใบพัดให้ทำการหมุน หมุนตึกน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจน โดยผ่านแมกเนติกคองแทคเตอร์ที่เป็นตัวควบคุม
- หม้อแปลง (Power Supply) : เป็นอุปกรณ์จ่ายพลังงานแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ภายในส่วนของเอาต์พุตของระบบทำงานได้

### 3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

ในส่วนของการออกแบบฮาร์ดแวร์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนอินพุตของระบบ ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลและส่วนเอาต์พุตของระบบ ซึ่งจะมีรายละเอียดของฮาร์ดแวร์ดังนี้

#### 3.2.1 ส่วนอินพุตของระบบ



รูปที่ 3.5 องค์ประกอบทั้งหมดของระบบในส่วนอินพุตของระบบ

ส่วนระบบอินพุตนี้จะถูกนำมาติดตั้งอยู่บนทุ่นลอยน้ำ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ดังรูปที่ 3.5 คือ

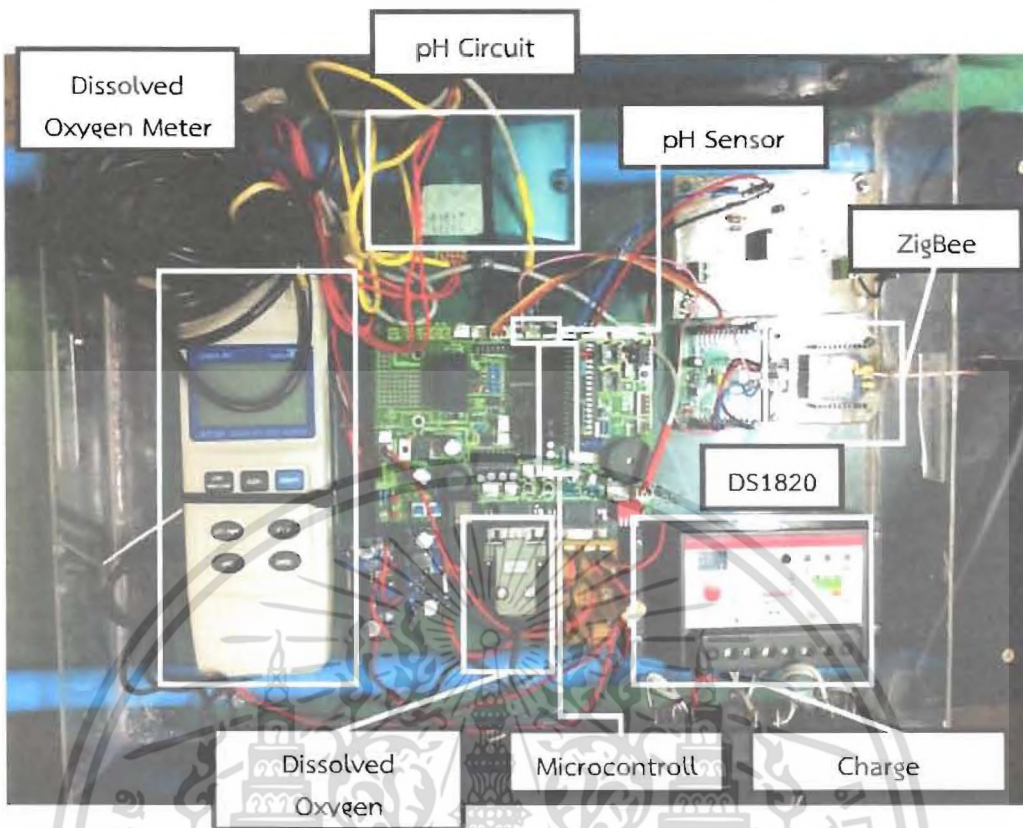
#### 1) แหล่งสร้างพลังงานของระบบ (Power Source)

แหล่งสร้างพลังงานของระบบทำหน้าที่ในการสร้างแหล่งพลังงานสำหรับส่วนต่างๆ ในระบบอินพุตทั้งหมด จะประกอบด้วย

- แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell Module) : ใช้ขนาด 40 วัตต์ เพื่อให้เพียงพอในการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ภายใน 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) วงจรอิเล็กทรอนิกส์และเซ็นเซอร์ (Electronics Circuit and Sensor Module)



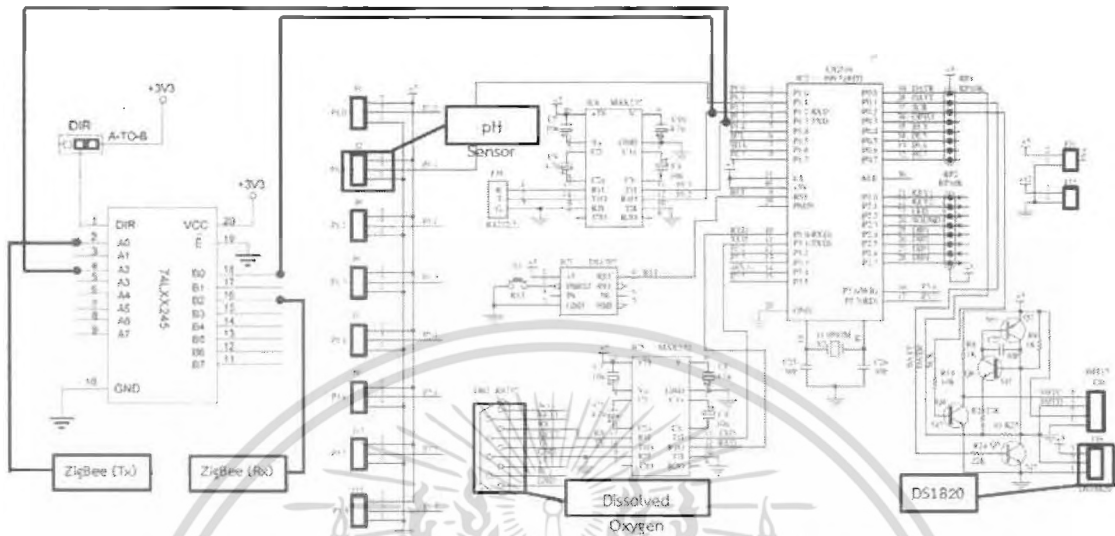
รูปที่ 3.6 องค์ประกอบทั้งหมดของระบบในส่วนอินพุตของระบบ

จากรูปที่ 3.6 วงจรอิเล็กทรอนิกส์และเซ็นเซอร์ทำหน้าที่ในการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำซึ่งกระบวนการจะเป็นการสูบน้ำเข้าในบ่อพักน้ำ จากนั้นทำการวัดค่าคุณภาพน้ำด้วยเซ็นเซอร์ นำค่าข้อมูลส่งออกไปสู่ส่วนอินพุตของระบบ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานของส่วนนี้ประกอบด้วย

- หน่วยประมวลผลที่ 1 (MCU1) : ได้เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MAC-ENG v3.0 ซึ่งใช้ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ MPC82G516A ของ MEGAWIN ตระกูล MCS-51 ขนาด 40-Pin โดยการออกแบบและพัฒนาโดยใช้ภาษา C ในการควบคุมด้วยโปรแกรม Keil  $\mu$ Vision3 และเขียนลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้โปรแกรม ISP ICP Programmer โปรแกรมจะทำหน้าที่รับค่าจากเซ็นเซอร์ทั้งหมด และติดต่อกับโมดูลไร้สายซิกบี
- เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) : ใช้ไอซี DS1820 ซึ่งเป็นไอซีแบบดิจิทัล เนื่องจากให้ค่าความแม่นยำมากกว่าเซ็นเซอร์วัดแบบอนาล็อก และทำการส่งข้อมูลการวัดโดยนำมาเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MAC-ENG ผ่านพอร์ต DS18S20 ซึ่งมีวงจรและชิพที่จำเป็นในการเชื่อมต่อกับไอซี DS1820 แล้ว

- เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH Sensor) : ได้เลือกใช้ชนิด pH-ISFET KIT ของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National Electronics and Computer Technology Center : NECTEC) โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่วัดได้จะแสดงออกในรูปของแรงดันไฟฟ้า (Volt) การส่งข้อมูลค่า pH ที่วัดได้จะนำไปเชื่อมต่อกับพอร์ตอนาล็อกทูดีจิตอล ( A/D Port ) บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MAC-ENG ได้
- เซ็นเซอร์วัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen Sensor) : เลือกใช้ Dissolved Oxygen meter รุ่น YK-22DO ซึ่งสามารถส่งข้อมูลค่า DO ไปสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MAC-ENG ได้โดยผ่านพอร์ต RS232
- โมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี (ZigBee Module) : ใช้ XBee รุ่น Series 2 Pro 50 mW เสถียรอากาศชนิด U.FL Connection ซึ่งมีกำลังส่งที่ไกลถึง 2 ไมล์ (3.2 กิโลเมตร) และสามารถต่อสายของเสาสัญญาณเพื่อใช้จัดการขยายขอบเขตพื้นที่รับสัญญาณได้อย่างอิสระ ในส่วนของการรับส่งข้อมูล จะมีกระบวนการทำงานดังนี้
  - การส่งข้อมูล : รับคำสั่งจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MAC-ENG ผ่านพอร์ต RS232 (2) ส่งข้อมูลสู่โมดูลซิกบีในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล
  - การรับข้อมูล : ทำงานโดยรอรับข้อมูลจากโมดูลซิกบีในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล แล้วจึงนำข้อมูลส่งต่อไปที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MAC-ENG ผ่านพอร์ต RS232 (2) เพื่อนำข้อมูลมาประมวลและใช้ควบคุมการทำงาน
- วงจรแปลงไฟ : นำ ET-MINI LOGIC LEVEL SHIFTER มาใช้งานซึ่งประกอบด้วย ไอซี 74LCX245 ทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณไฟจาก 5V ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น 3.3V เพื่อใช้ในการสื่อสารกับโมดูลซิกบี
- เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) : ได้เลือกใช้ขนาด 10 แอมป์ เพื่อให้เพียงพอต่อกระแสไฟที่เข้ามาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- รีเลย์ควบคุม (Control Relay) : เลือกใช้ขนาดแรงดันอินพุตและเอาต์พุต 24 โวลต์โดยผ่านวงจรเพิ่มแรงดันไฟ เพื่อให้มอเตอร์ปั้มน้ำทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

● การเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์และระบบเซ็นเซอร์

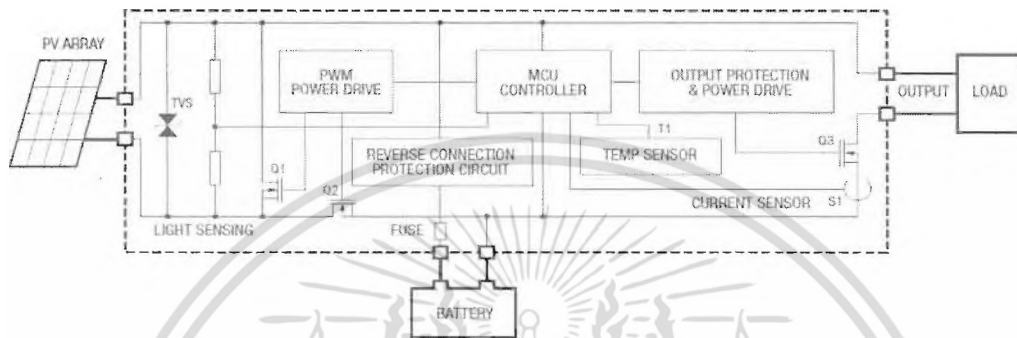


รูปที่ 3.7 วงจรการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MAC-ENG v3.0

- DO เซ็นเซอร์วัดออกซิเจนต่อเข้ากับพอร์ต RS-232 (DB9) ซึ่งต่อกับไอซี MAX232 เพื่อแปลงสัญญาณลอจิกให้สื่อสารกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ผ่านขา 10 (RXD) และ 11 (TXD) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
- DS1820 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิไอซี DS1820 ต่อเข้ากับพอร์ต DS18S20 ที่มีมาให้ ซึ่งวงจรได้ผ่านจากขา 1 ของไอซีไปที่กราวด์ ขา 2 ของไอซีไปที่ขา 39 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นขารับข้อมูล และขา 3 ของไอซีต่อกับไฟ 5V
- pH Sensor เซ็นเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง ต่อสายสัญญาณข้อมูลจากเซ็นเซอร์เข้ากับพอร์ต P1.1 ซึ่งทำการรับข้อมูลแบบอนาล็อกชุดดิจิทัล (A/D Port) และสายกราวด์ของเซ็นเซอร์ต่อเข้ากราวด์ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- ZigBee (Rx) โมดูลชิปขาส่งต่อเข้ากับขา 16 ของไอซี 74LCX245 เพื่อรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์
- ZigBee (Tx) โมดูลชิปขารับต่อเข้ากับขา 2 ของไอซี 74LCX245 เพื่อส่งข้อมูลเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์

- วงจรเครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller)

เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) ทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ และเก็บพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ ทั้งยังสามารถต่อเอาต์พุตไปยังอุปกรณ์เพิ่มเติมภายนอกได้อีกด้วย



รูปที่ 3.8 วงจรภายในของเครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) [33]

จากรูปที่ 3.8 ภายในเครื่องควบคุมการประจุจะมีวงจรซึ่งทำหน้าที่รับพลังงานจากแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าระดับ 17-18 โวลต์ ทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าลดลงเหลือ 12 โวลต์เพื่อให้สามารถเก็บพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ได้ และยังสามารถต่ออุปกรณ์เพิ่มเติมภายนอก ที่มีแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ได้ ซึ่งภายในวงจรนี้จะมีการตรวจสอบว่าแบตเตอรี่นั้นมีพลังงานเหลืออยู่เล็กน้อยเพียงใด ถ้าแบตเตอรี่เต็มจะมีสัญญาณไฟจากหลอด LED ที่ช่องแบตเตอรี่เป็นสีเขียว และแบตเตอรี่ต่ำจะมีสัญญาณไฟเป็นสีแดง ในส่วนของสัญญาณจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ถ้ากำลังประจุไฟเข้าสู่แบตเตอรี่จะมีสัญญาณไฟจากหลอด LED ที่ช่องเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นสีแดง ซึ่งจะกระพริบวิบวิบ เมื่อสัญญาณไฟจากหลอด LED ติดค้าง แสดงว่าได้ประจุไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ จนเกือบเต็มแล้ว โดยโครงงานนี้ใช้โหมดการทำงานในแบบที่ตัดวงจรเมื่อประจุไฟเข้าแบตเตอรี่เต็มแล้ว และสามารถต่อวงจรเอาต์พุตภายนอกได้ตลอดเวลา

### 3) อุปกรณ์สนับสนุนการทำงานของระบบ (Accessory Equipment)

ส่วนอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ภายใต้การออกคำสั่งควบคุมของส่วนระบบอิเล็กทรอนิกส์ และเซ็นเซอร์ ซึ่งประกอบด้วย

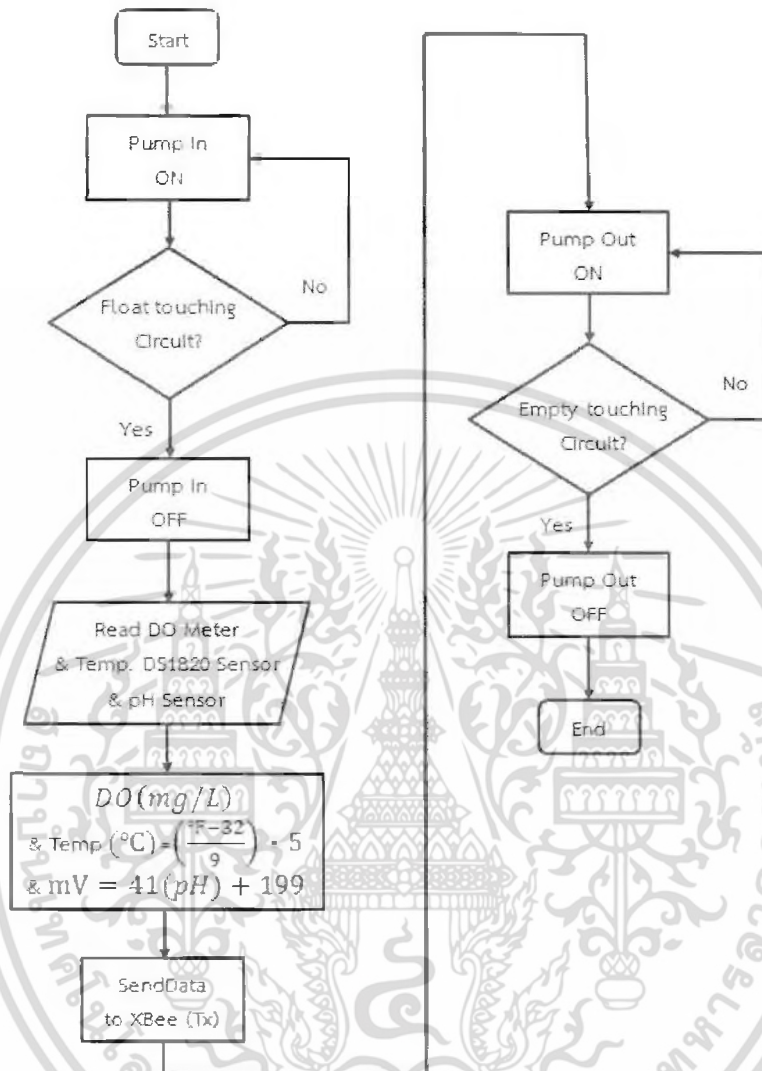
- แบตเตอรี่ (Battery) : ทำหน้าที่เก็บไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- มอเตอร์ปั้มน้ำกระแสตรง (Water Pump DC Motor) : ทำหน้าที่สูบน้ำเข้า-สูบน้ำออก ถึงพักที่เตรียมไว้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมผ่านรีเลย์

### 4) ส่วนโครงสร้างทุ่นและการลอยตัว (Buoyant Equipment)

ส่วนโครงสร้างทุ่นและการลอยตัวสร้างความแข็งแรงของตัวทุ่นลอยน้ำ ทำหน้าที่รับน้ำหนักและช่วยในการพยุงตัวขณะลอยอยู่ในน้ำ ประกอบด้วย

- ถังน้ำพลาสติก (Bucket) : ทำหน้าที่พยุงช่วยให้ทุ่นลอยอยู่เหนือผิวน้ำ ตามหลักของแรงลอยตัว
- ท่อ PVC (Plastic Pipework) : ทำหน้าที่เป็นทุ่น เพื่อลอยน้ำ มีการสร้างโครงสร้างเพื่อให้อุปกรณ์ทุกส่วนที่มีอยู่ในส่วนของอินพุตทั้งหมดลอยอยู่บนผิวน้ำให้ได้

แผนภาพลำดับการทำงานของฮาร์ดแวร์ในหน่วยประมวลผลที่ 1 (MCU1) เป็นดังนี้



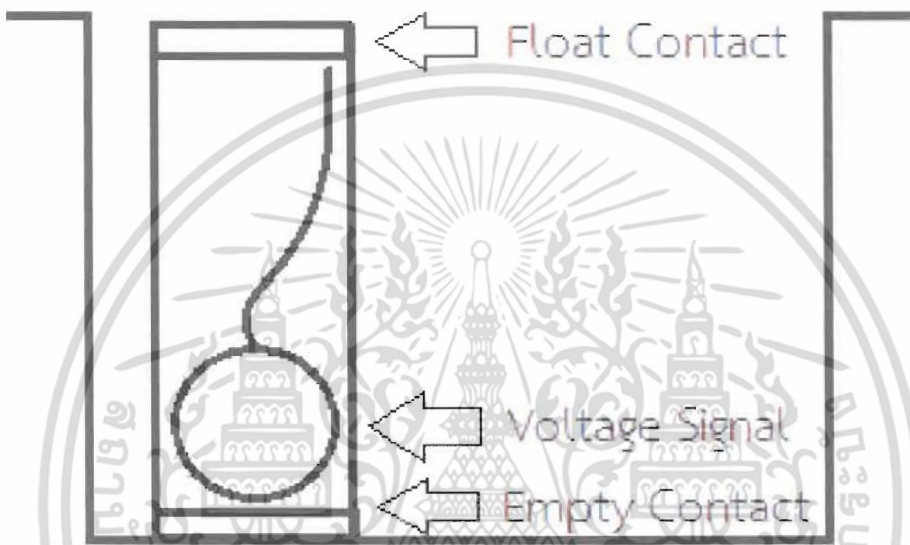
รูปที่ 3.9 ลำดับการทำงานของโปรแกรมในหน่วยประมวลผลที่ 1

ลำดับการทำงานของระบบอัตโนมัติสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 : เปิดมอเตอร์ปั้มน้ำเพื่อสูบน้ำเข้าสู่ถังพักน้ำ
- ขั้นตอนที่ 2 : เข้าสู่การวนซ้ำเพื่อตรวจสอบจนกว่าระดับน้ำในถังพักจะสูงถึงขีดที่กำหนด
- ขั้นตอนที่ 3 : ปิดมอเตอร์ปั้มน้ำเพื่อหยุดการสูบน้ำเข้าสู่ถังพักน้ำ
- ขั้นตอนที่ 4 : อ่านค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ต่างๆ และประมวลผลข้อมูลที่ได้ออกมา
- ขั้นตอนที่ 5 : ส่งข้อมูลการวัดเข้าสู่ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล
- ขั้นตอนที่ 6 : เปิดมอเตอร์ปั้มน้ำเพื่อสูบน้ำออกจากถังพักน้ำ
- ขั้นตอนที่ 7 : เข้าสู่การวนซ้ำเพื่อตรวจสอบจนกว่าระดับน้ำในถังพักจะต่ำถึงขีดที่กำหนด
- ขั้นตอนที่ 8 : ปิดมอเตอร์ปั้มน้ำเพื่อสูบน้ำออกจากถังพักน้ำ

เพิ่มเติมในส่วนของกลไกการสูบน้ำเข้าและการสูบน้ำออกจากถังพักอาศัยหลักการคือ ระบบจะทำการตรวจสอบสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับจากลูกลอยอิเล็กทรอนิกส์โดยแบ่งเป็น 2 เหตุการณ์ (แสดงได้ดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11) คือ

1. ระดับน้ำสูงถึงขีดที่กำหนด (สูบน้ำเข้า) : เกิดขึ้นเมื่อลูกลอยแตะหน้าสัมผัสด้านบนถึง
2. ระดับน้ำลดถึงขีดที่กำหนด (สูบน้ำออก) : เกิดขึ้นเมื่อลูกลอยแตะหน้าสัมผัสด้านล่างถึง



รูปที่ 3.10 ส่วนกลไกหน้าสัมผัสบนและล่างของลูกลอยอิเล็กทรอนิกส์



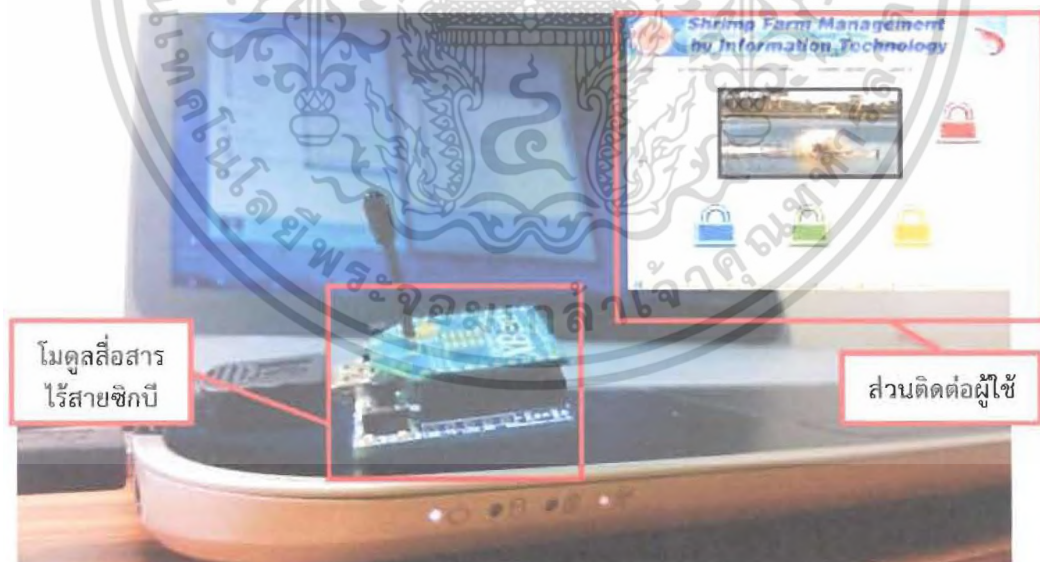
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำส่วนอินพุตของระบบไปลอยอยู่ตรงกลางบ่อเลี้ยงกุ้ง (แสดงได้ดังรูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 ส่วนอินพุตของระบบลอยอยู่ตรงกลางของบ่อเลี้ยงกุ้ง

### 3.2.2 ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล



โมดูลสื่อสาร  
ไร้สายซิกบี

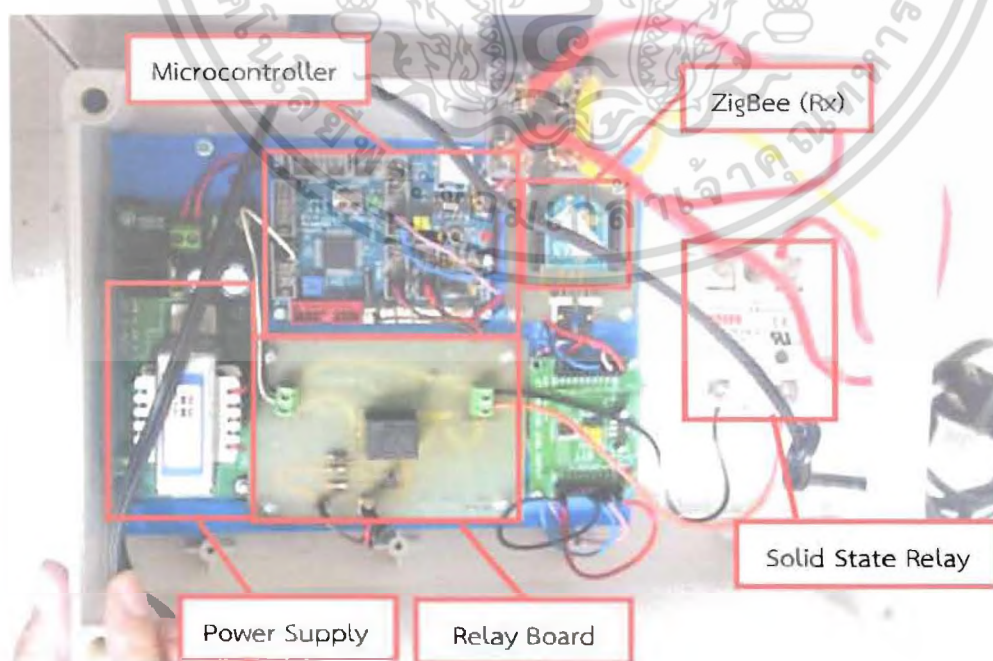
ส่วนติดต่อผู้ใช้

รูปที่ 3.13 องค์ประกอบทั้งหมดของระบบในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

จากรูปที่ 3.13 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักคือ

- โมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี (ZigBee Module) : ใช้ XBee รุ่น Series 2 Pro 50 mW เส้าอากาศชนิด U.FL Connection เช่นเดียวกับส่วนอินพุตของระบบ ซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการแปลงสัญญาณให้เข้ากับคอมพิวเตอร์ โดยสามารถใช้พอร์ต USB เป็นตัวรับสัญญาณได้ ในส่วนของการรับส่งข้อมูล จะมีกระบวนการทำงานดังนี้
  - การส่งข้อมูล : รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ ผ่านทางพอร์ต USB ให้ส่งข้อมูลต่างๆ ไปยังโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบีที่ติดตั้งอยู่ในส่วนอินพุตของระบบ และส่วนเอาต์พุตของระบบ
  - การรับข้อมูล : รอรับข้อมูลจากโมดูลซิกบีในส่วนอินพุตของระบบและส่วนเอาต์พุตของระบบ ผ่านทาง พอร์ต USB แล้วนำข้อมูลส่งต่อให้คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ เพื่อการวิเคราะห์และจัดเก็บข้อมูล
- ส่วนเซิร์ฟเวอร์เก็บข้อมูล (Data Storage Server) : เครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์สามารถเลือกใช้ตัวเครื่องแบบใดก็ได้ ที่ทำการติดตั้งระบบปฏิบัติการ Windows และมีพอร์ต USB ที่สามารถต่อกับโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบีได้
- ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ (Website) : เนื่องจากพื้นที่ในฟาร์มไม่สามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ จึงต้องใช้บริการเช่าเครือข่ายแบบ โครงข่ายคอมพิวเตอร์เฉพาะบริเวณ (Local Area Network) ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งส่วนเซิร์ฟเวอร์เก็บข้อมูลโดยตรง

### 3.2.3 ส่วนเอาต์พุตของระบบ



รูปที่ 3.14 องค์ประกอบทั้งหมดของระบบในส่วนเอาต์พุต

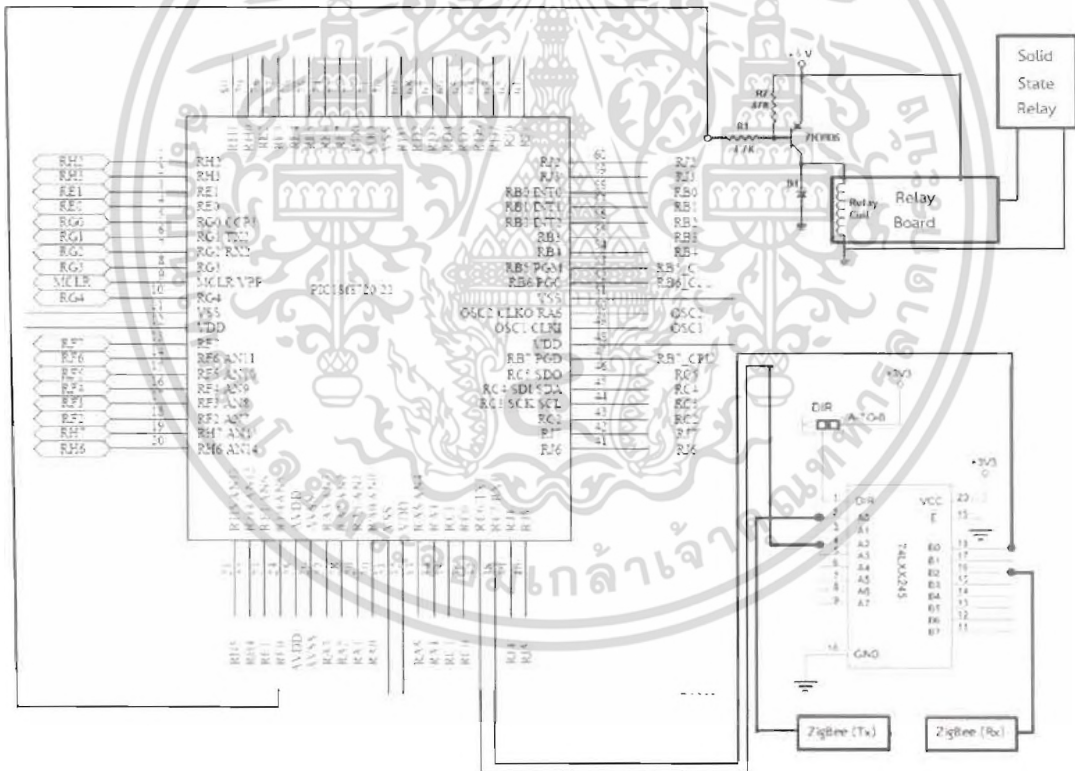
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จากที่กล่าวไปข้างต้น การทำงานกับมอเตอร์ใบพัดน้ำ 1 ตัวนั้นจะต้องใช้อุปกรณ์ 1 ชุด ในโครงการนี้ได้ทดลองกับมอเตอร์ใบพัดน้ำ 2 ตัว จึงต้องมีอุปกรณ์ต่างๆ ตามรายละเอียดข้างล่าง จำนวนทั้งหมด 2 ชุดด้วยกัน ดังนี้

- หน่วยประมวลผลที่ 2 (MCU2) : ได้เลือกใช้บอร์ด ET-BASE PIC8722(ICD2) ซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F8772 และบอร์ด CP-PIC V3/458/877 (ICD2) ซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ เขียนโปรแกรมผ่านโปรแกรม PIC C Compiler และเขียนลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโปรแกรม PICkit 2 บอร์ดทั้ง 2 นี้ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ใบพัดน้ำซึ่ง ส่งการทำงานผ่านหน้าเว็บไซต์ โดยติดต่อกับโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบีผ่านทางขา ส่งข้อมูล (RC6) และขา รับข้อมูล (RC7)
- โมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี (ZigBee Module) : ได้เลือกใช้ XBee รุ่น Series 2 ซึ่งมีกำลังส่งประมาณ 100 เมตร จำนวน 2 ตัว
  - การส่งข้อมูล : ส่งข้อมูลไปที่ขา RC7 ของทั้ง 2 บอร์ด ซึ่งเป็นการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และรับข้อมูลต่างๆ จากส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลเพื่อการจัดเก็บข้อมูล โดยผ่านวงจรแปลงไฟ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเท่ากัน
  - การรับข้อมูล : รับข้อมูลที่ส่งมาจากส่วนโมดูลซิกบีในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลที่ส่งการทำงานจากหน้าเว็บไซต์
- วงจรแปลงไฟ : นำ ET-MINI LOGIC LEVEL SHIFTER มาใช้งานซึ่งประกอบด้วยไอซี 74LCX245 ทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณไฟจาก 5V ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น 3.3V เพื่อใช้ในการสื่อสารกับโมดูลซิกบี เช่นเดียวกับส่วนอินพุตของระบบ
- โซลิดสเตทรีเลย์ (Solid State Relay) : ได้เลือกใช้ยี่ห้อ FOTEK รุ่น SSR-25DA-H ซึ่งมีกระแสเอาต์พุต 25 แอมป์ โดยอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และเอาต์พุต เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 380 โวลต์
- แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) : ใช้คอยล์แบบไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 380 โวลต์
- มอเตอร์ใบพัดน้ำ (Paddle Wheel Motor) : ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 380 โวลต์ เนื่องจากมอเตอร์ใบพัดมีขนาด 2 แรงม้า จึงต้องใช้แรงดันไฟฟ้าสูง
- หม้อแปลง (Power Supply) : ใช้หม้อแปลงที่แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 220 โวลต์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์



รูปที่ 3.15 การติดตั้งระบบส่วนเอาต์พุตในการนำใช้งานจริง

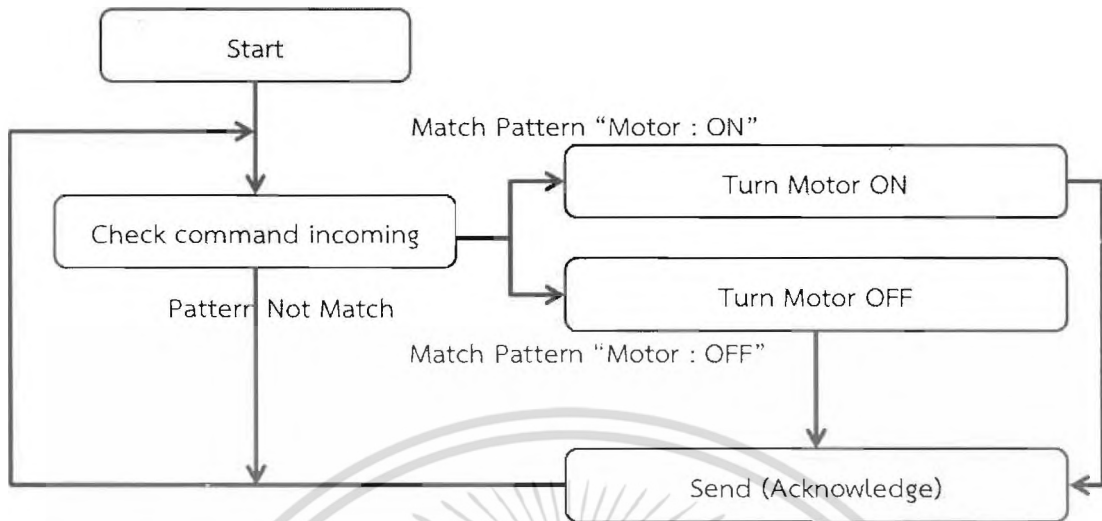


รูปที่ 3.16 วงจรระบบส่วนเอาต์พุตที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F8722

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภาพลำดับการทำงานของฮาร์ดแวร์ในหน่วยประมวลผลที่ 2 (MCU2)



รูปที่ 3.18 ลำดับการทำงานของโปรแกรมในหน่วยประมวลผลที่ 2 (MCU2)

จากรูปที่ 3.18 ลำดับการทำงานของระบบสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 : เมื่อมีสัญญาณข้อมูลเข้า ให้ทำการรับและตรวจสอบประเภทคำสั่ง
- ขั้นตอนที่ 2 : กรณีที่คำสั่งเป็นรูปแบบคำสั่งเปิดมอเตอร์จะทำการสั่งรีเลย์บอร์ดทำงาน  
กรณีที่คำสั่งเป็นรูปแบบคำสั่งปิดมอเตอร์จะทำการสั่งรีเลย์บอร์ดหยุดทำงาน
- ขั้นตอนที่ 3 : ส่งข้อความตอบกลับ (Acknowledgement) ไปยังส่วนระบบวิเคราะห์ข้อมูล  
และประมวลผล
- ขั้นตอนที่ 4 : การทำงานจะทำซ้ำๆ เช่นนี้ตลอดการทำงาน

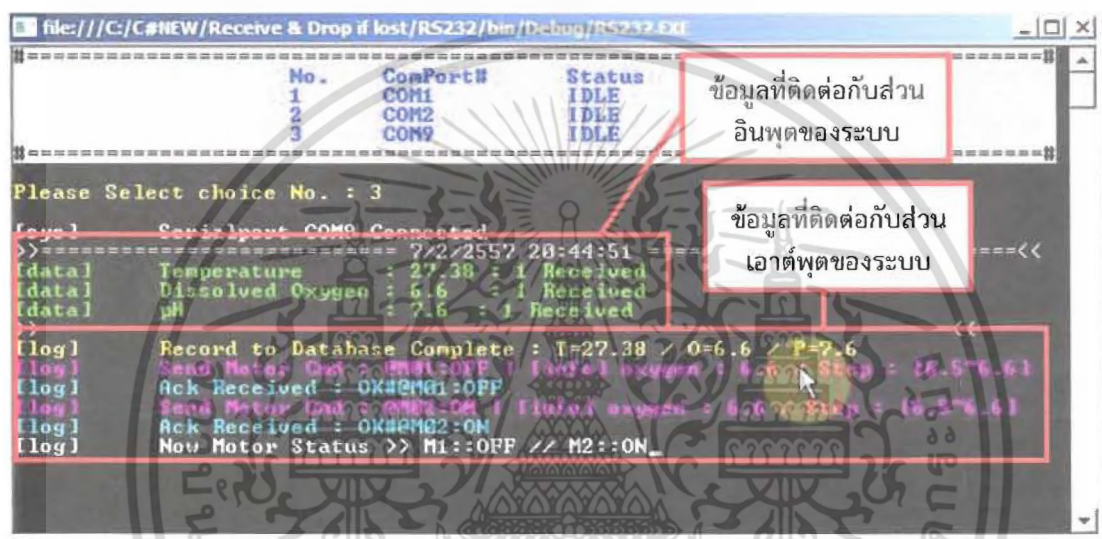
### 3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

#### 3.3.1 ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

ซอฟต์แวร์ในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ส่วนซอฟต์แวร์รับค่าข้อมูลเซ็นเซอร์และออกคำสั่งควบคุมมอเตอร์

ส่วนนี้จะเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารจะทำการรับข้อมูลมาจากส่วนฮาร์ดแวร์ของระบบ โดยใช้โปรแกรมซึ่งพัฒนาโดยภาษาซีชาร์ป (C#) รอรับข้อมูลผ่านทาง RS232 ซึ่งติดต่อกับโมดูลไร้สายซิกบีเอไอวี นำมาเก็บลงในฐานข้อมูลในเครื่อง และทำหน้าที่ให้บริการฐานข้อมูลและบริการเว็บไซต์แก่ผู้ใช้ โดยจะเลือกใช้โปรแกรม Appserv ในการสร้างเว็บไซต์เวอร์และให้บริการฐานข้อมูลได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.19 และ รูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 โปรแกรมรับข้อมูลจาก RS232 เข้าสู่ฐานข้อมูล

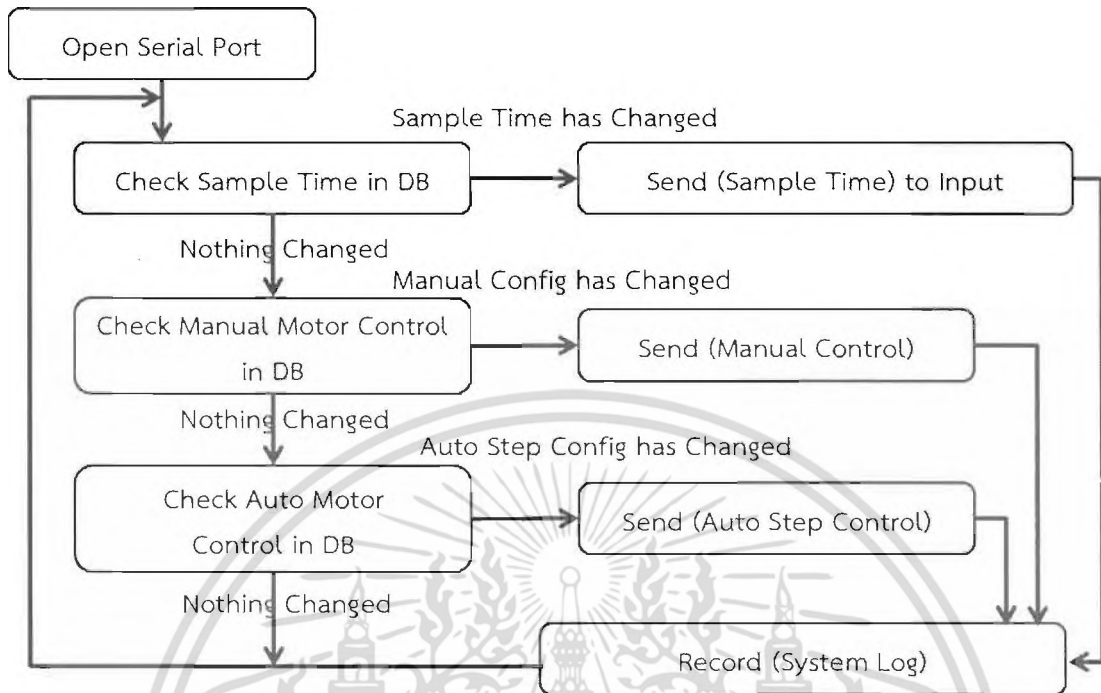


รูปที่ 3.20 ข้อมูลในฐานข้อมูลที่ได้รับได้จาก RS232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
87

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพลำดับการทำงานของโปรแกรมรับข้อมูลและออกคำสั่งควบคุมมอเตอร์เป็นดังนี้



รูปที่ 3.21 ลำดับการทำงานของโปรแกรมในส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล  
จากรูปที่ 3.21 ลำดับการทำงานของระบบสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : เปิดการเชื่อมต่อเพื่อรับข้อมูลจากพอร์ต Serial ซึ่งทำการเชื่อมต่ออยู่กับ โมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี

ขั้นตอนที่ 2 : ทำการตรวจสอบการตั้งค่าการเปลี่ยนรอบไซเคิลการทำงานของระบบอินพุต โดยกรณีที่มีการตั้งค่าถูกเปลี่ยนแปลงโดยผู้ใช้งานจะทำการส่งคำสั่งเปลี่ยนค่ารอบไซเคิลการทำงานไปยังส่วนอินพุต หรือในกรณีที่การตั้งค่าไม่ถูกเปลี่ยนแปลงก็จะข้ามไปทำงานในขั้นถัดไป

ขั้นตอนที่ 3 : ทำการตรวจสอบการตั้งค่าการควบคุมมอเตอร์ที่ระบบเอาต์พุตโดยตรงจาก ผู้ใช้ ซึ่งกรณีที่มีการตั้งค่าถูกเปลี่ยนแปลงโปรแกรมจะทำการส่งคำสั่งเปิด-ปิดไปยังส่วนเอาต์พุต หรือในกรณีที่การตั้งค่าไม่ถูกเปลี่ยนแปลงก็จะข้ามไปทำงานในขั้นถัดไป

ขั้นตอนที่ 4 : ทำการตรวจสอบการตั้งค่าควบคุมมอเตอร์ที่ระบบเอาต์พุตโดยอัตโนมัติโดยคำนวณจากแผนการทำงานที่ระดับค่าออกซิเจนในชั้นต่างๆกรณีที่การตั้งค่าถูกเปลี่ยนแปลง โปรแกรมจะทำการส่งคำสั่งเปิด-ปิดไปยังส่วนเอาต์พุตหรือในกรณีที่การตั้งค่าไม่ถูกเปลี่ยนแปลงก็จะข้ามไปทำงานกลับไปสู่จุดเริ่มต้นพร้อมทำงานในรอบถัดไป

## 2) ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ผ่านเว็บไซต์

ในการออกแบบส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ผ่านเว็บไซต์ ได้มีการพัฒนาโดยใช้ภาษา HTML JavaScript JQuery และ PHP ในการพัฒนาและออกแบบส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ ซึ่งประกอบไปด้วยหน้าแรกซึ่งต้องมีการล็อกอิน (Login) เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 3.22



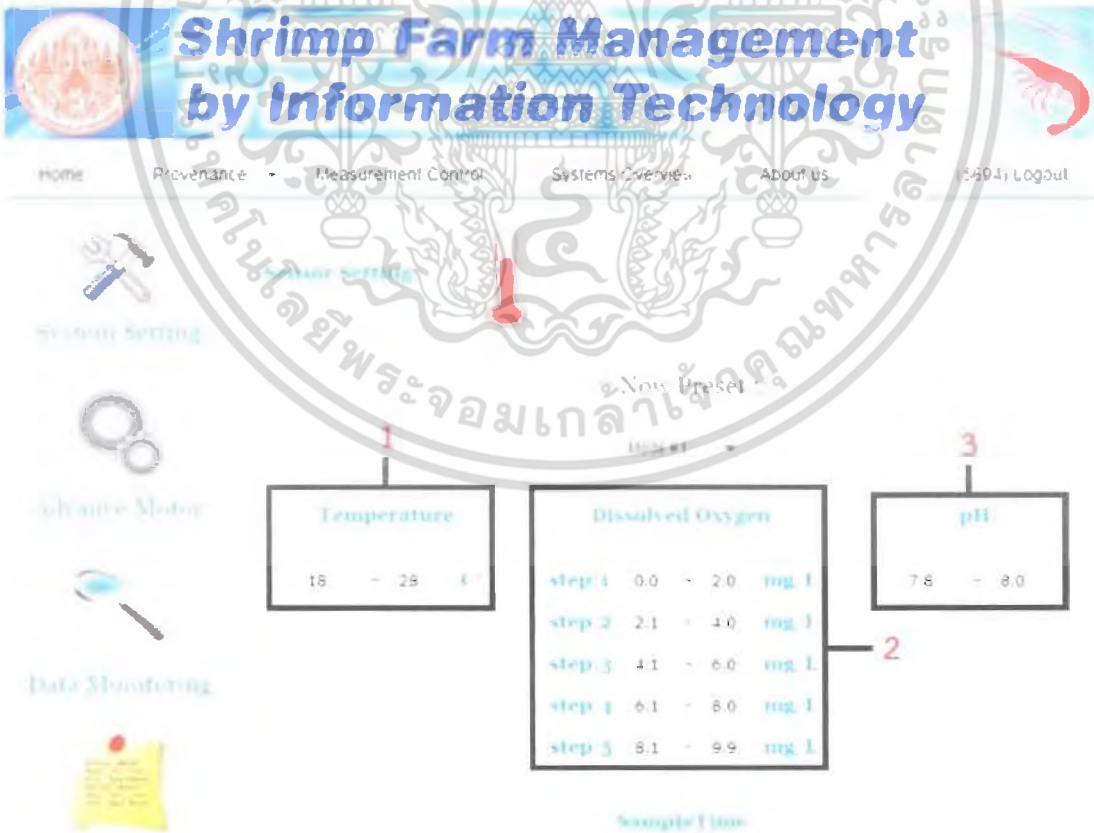
รูปที่ 3.22 หน้าเว็บไซต์แรกก่อนการล็อกอิน

ในส่วนต่อไปจะเป็นส่วนที่แสดงค่าที่ส่งมาจากส่วนอินพุตของระบบ โดยมีการแสดงค่าต่างๆ ได้แก่ แสดงค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ (ดังหมายเลข 1 ของรูปที่ 3.23) รวมทั้งการแจ้งเตือนผู้ใช้ (ดังหมายเลข 2 ของรูปที่ 3.23) เพื่อเป็นการบอกคุณภาพน้ำของฟาร์มกุ้ง ซึ่งจะต้องทำการ Login ก่อน และมีแท็บจัดการสั่งงานมอเตอร์ใบบัดตีน้ำเพื่อให้ผู้ใช้สั่งงานได้สะดวก (ดังหมายเลข 3 ของรูปที่ 3.23)



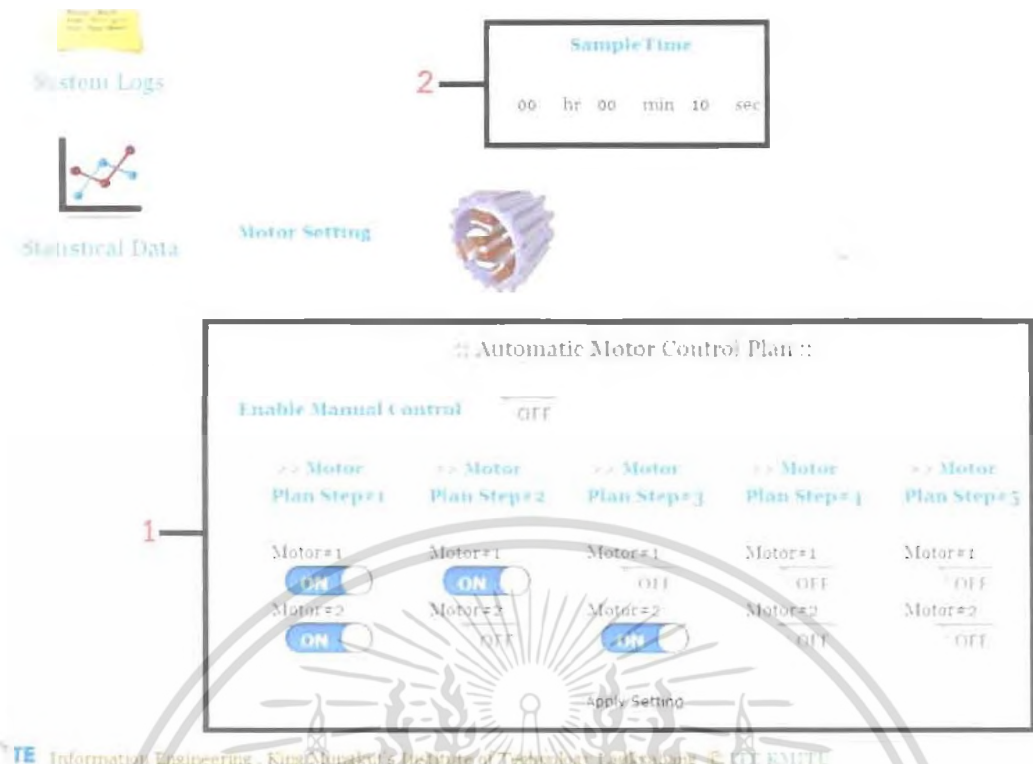
รูปที่ 3.23 หน้าเว็บไซต์แรกหลังการล็อกอิน

ถัดไปเป็นหน้าเว็บไซต์การตั้งค่ามาตรฐาน (Threshold) ของผู้ใช้



รูปที่ 3.24 หน้าเว็บไซต์แสดงการตั้งค่าของเซ็นเซอร์

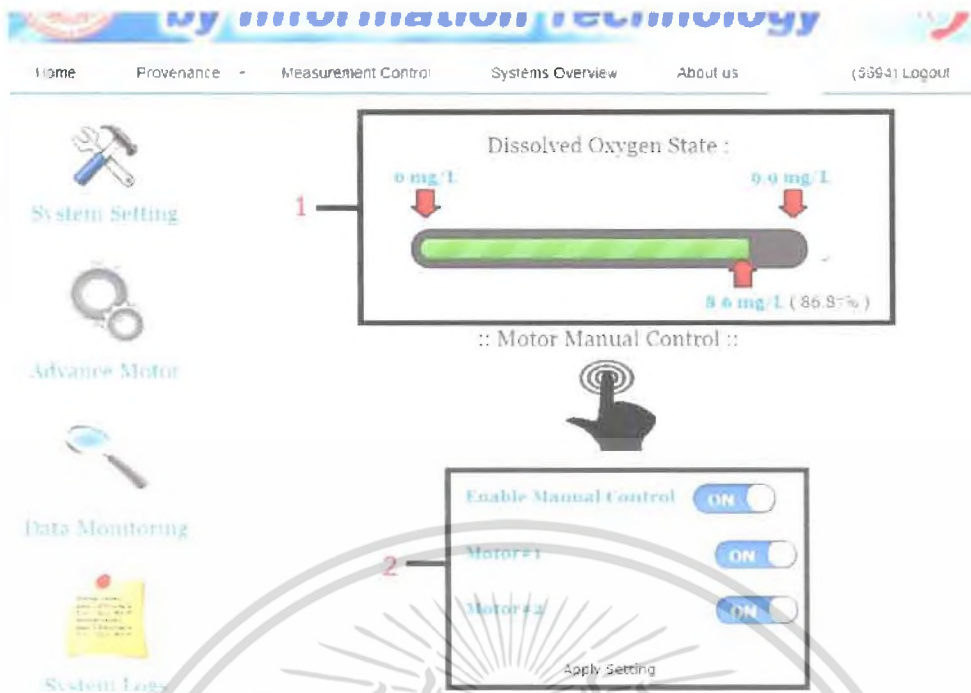
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 90  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 หน้าเว็บไซต์แสดงการตั้งค่ามอเตอร์ใบบัดน้ำซึ่งสัมพันธ์กับเซ็นเซอร์ออกซิเจน

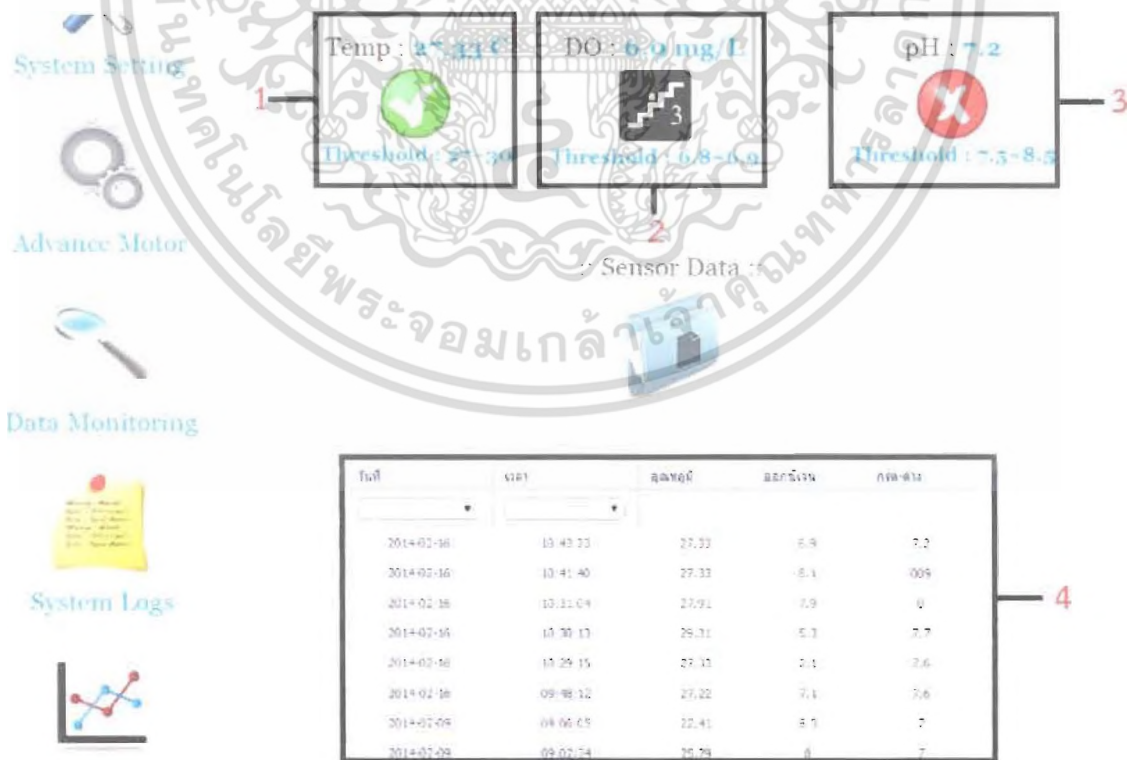
โดยจะสามารถตั้งค่า ค่าต่ำสุด(min) และค่าสูงสุด(max) ของเซ็นเซอร์อุณหภูมิ เซ็นเซอร์ออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เป็นช่วงตามแต่ผู้ใช้ต้องการและเซ็นเซอร์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (ตั้งหมายเลข 1-3 ของรูปที่ 3.24 ตามลำดับ) และสั่งงานมอเตอร์ใบบัดน้ำตามช่วงที่ผู้ใช้สั่งงาน (ตั้งหมายเลข 1 ของรูปที่ 3.25) อีกทั้งสามารถตั้งเวลารอบการทำงานถัดไปได้อีกด้วย (ตั้งหมายเลข 2 ของรูปที่ 3.25)

หน้าถัดไปแสดงถึงการควบคุมมอเตอร์ใบบัดน้ำแบบกำหนดเอง (Manual) โดยจะมีแถบแสดงขีดของค่าของเซ็นเซอร์ออกซิเจนที่ละลายในน้ำปัจจุบันและแสดงเปอร์เซ็นต์ เพื่อบอกผู้ใช้ (ตั้งหมายเลข 1 ของรูปที่ 3.26) และมีปุ่มกดให้ผู้ใช้กด เพื่อสั่งงานไปที่มอเตอร์ใบบัดได้ทันที (ตั้งหมายเลข 2 ของรูปที่ 3.26)



รูปที่ 3.26 หน้าเว็บไซต์แสดงการตั้งค่าควบคุมมอเตอร์ใบพัดตีน้ำ

หน้าถัดไปแสดงค่าจากเซ็นเซอร์ที่ได้ทั้ง 3 เซ็นเซอร์ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่าง (ดังหมายเลข 1-3 ของรูปที่ 3.27 ตามลำดับ) รวมถึงวันที่และเวลาที่มีการบันทึกลงในฐานข้อมูล (ดังหมายเลข 4 ของรูปที่ 3.27)

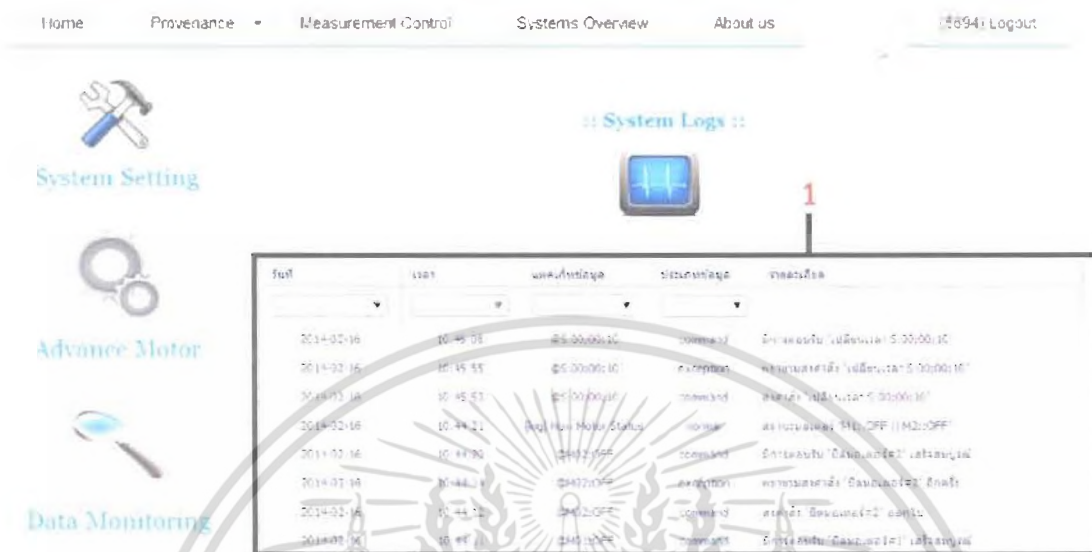


รูปที่ 3.27 หน้าเว็บไซต์แสดงข้อมูลของเซ็นเซอร์จากฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

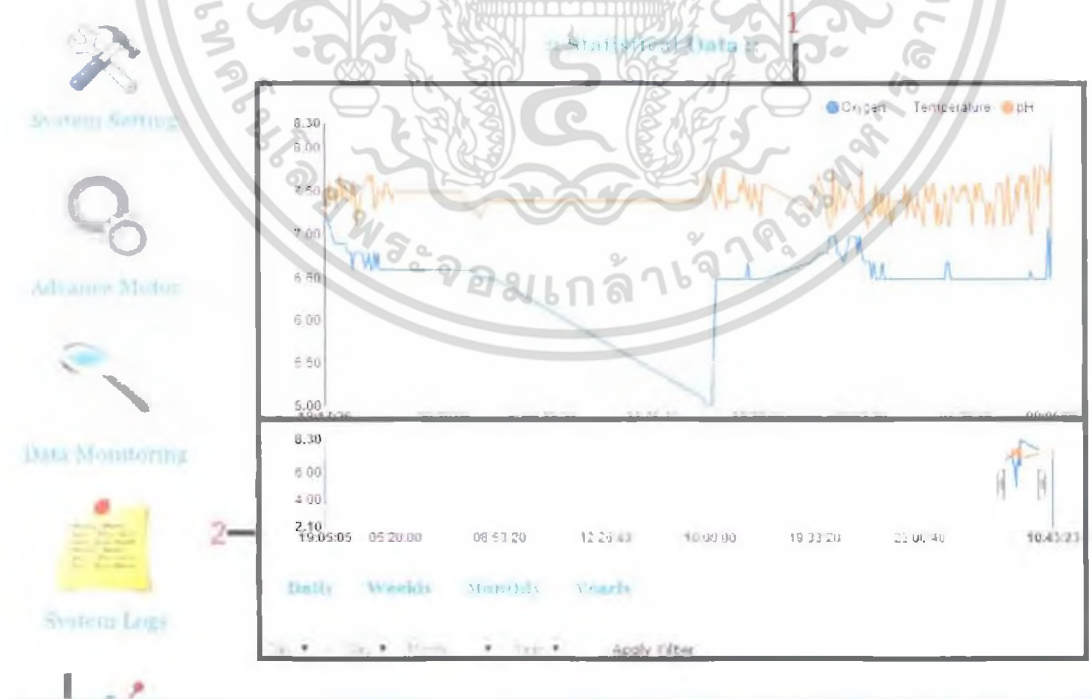
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าถัดไปแสดงบันทึกต่างๆ (Logs) ทั้งจากส่วนอินพุตของระบบ และจากส่วนเอาต์พุตของระบบ ซึ่งจะมีทั้งวันที่และเวลา บันทึก ประเภทของบันทึกและรายละเอียด (ดังหมายเลข 1 ของรูปที่ 3.28)



รูปที่ 3.28 หน้าเว็บไซต์แสดงบันทึกของระบบ (Systems Logs)

หน้าถัดไปแสดงแผนภูมิจากเซ็นเซอร์ที่ได้ทั้ง 3 เซ็นเซอร์ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่าง (ดังหมายเลข 1 ของรูปที่ 3.29) โดยสามารถเลือกดูเฉพาะวันที่และเวลาได้ตามแต่ผู้ใช้ต้องการ (ดังหมายเลข 2 ของรูปที่ 3.29)



รูปที่ 3.29 หน้าเว็บไซต์แสดงแผนภูมิข้อมูลของเซ็นเซอร์จากฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

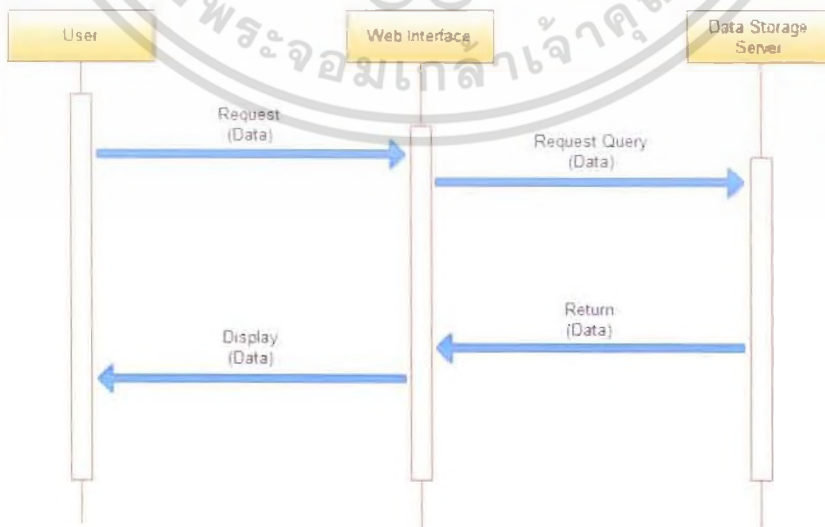
ในส่วนของการออกแบบฐานข้อมูลเพื่อทำงานในระบบวิเคราะห์ข้อมูลจะประกอบด้วย

1. ส่วนการรับค่าจากเซ็นเซอร์
2. ส่วนเก็บค่ามาตรฐาน (Threshold) เพื่อนำไปใช้การแจ้งเตือนในกรณีที่ค่าตัวกว่าหรือเกินจากมาตรฐาน
3. ส่วนเก็บข้อมูลชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านในการยืนยันตนก่อนเข้าใช้งานเว็บไซต์โดยมีการใช้ Use Case, Sequence Diagram และแบบจำลอง ORM ในการสร้างฐานข้อมูล ดังรูปที่ 3.30 - รูปที่ 3.34



รูปที่ 3.30 แผนภาพ Use Case ของระบบ

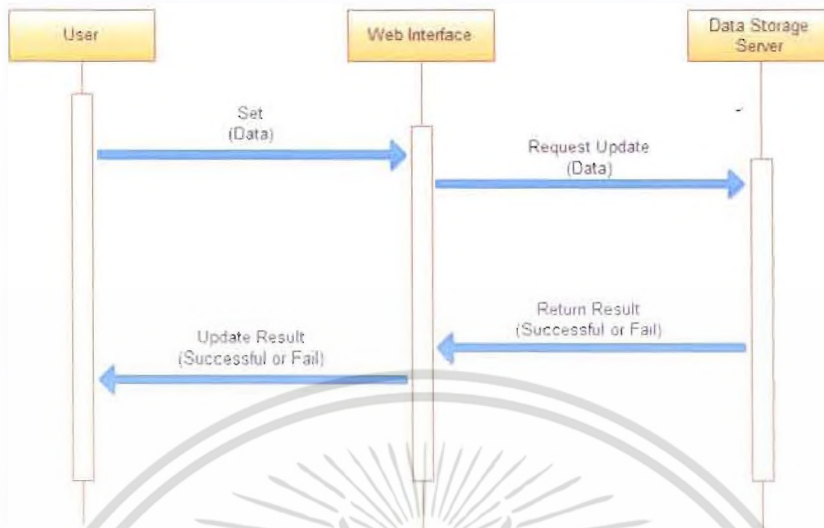
## Sequence Diagram : Display Data



รูปที่ 3.31 แผนภาพ Sequence Diagram แสดงข้อมูลของระบบ

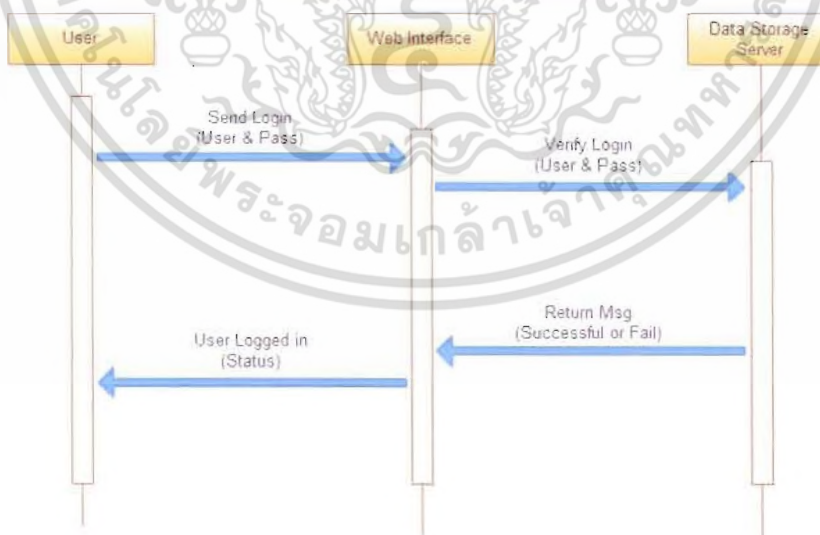
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Sequence Diagram : Threshold Setting

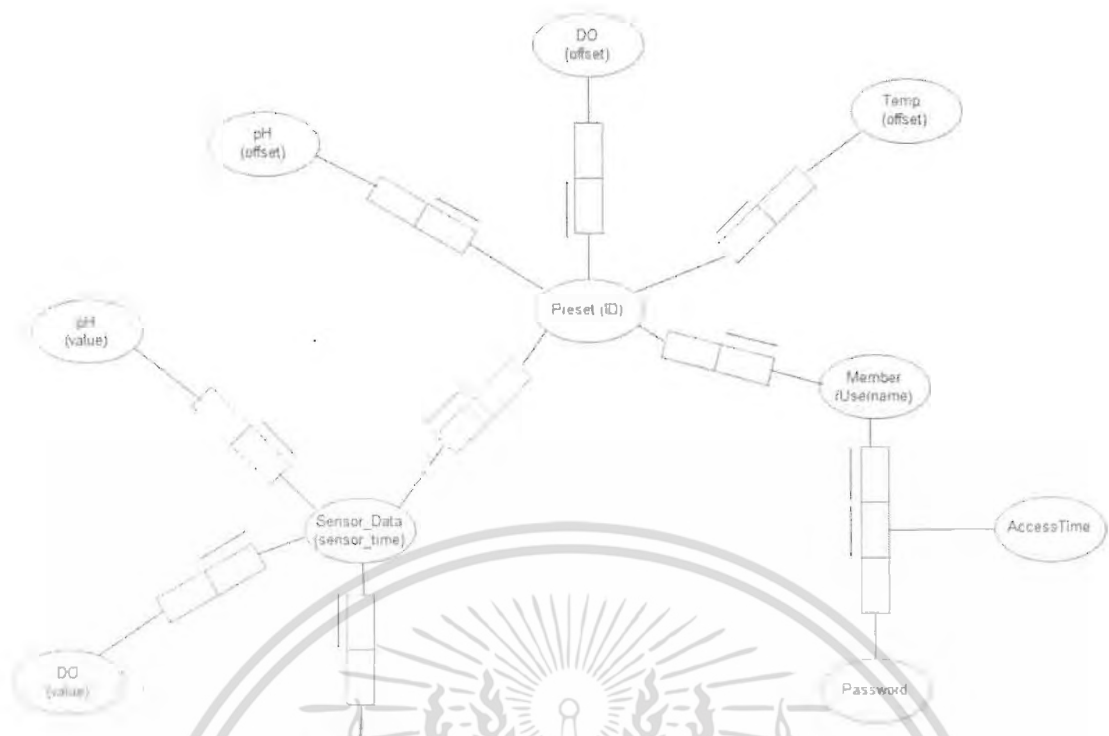


รูปที่ 3.32 แผนภาพ Sequence Diagram การตั้งค่ามาตรฐานของระบบ

## Sequence Diagram : Login



รูปที่ 3.33 แผนภาพ Sequence Diagram การล็อกอินของระบบ



รูปที่ 3.34 แบบจำลอง ORM เกี่ยวกับระบบในสำนักวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลองระบบ

#### 4.1 การทดลองรับค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์แสดงผลผ่านหน้าเว็บไซต์

##### จุดประสงค์

- เพื่อทดสอบการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล
- เพื่อทดสอบการเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลแสดงผลผ่านหน้าเว็บไซต์แบบ Real-time ทันทีที่รับค่า

##### อุปกรณ์

อุปกรณ์ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนฮาร์ดแวร์ของระบบและส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล ดังรูปที่ 4.1 – รูปที่ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองส่วนฮาร์ดแวร์ของระบบ

## วิธีการทดลอง

1. เปิดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต่อกับโมดูลสื่อสารไร้สายชิปตัวส่งและเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชนิด
2. นำหุ่นไปวางกลางบ่อเลี้ยงกุ้ง (ดังรูปที่ 4.1)
3. เชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สายชิปตัวรับกับคอมพิวเตอร์ (ดังรูปที่ 4.3)
4. เปิดหน้าเว็บไซต์และโปรแกรม C# เพื่อรอรับค่าข้อมูล (ดังรูปที่ 4.4)
5. รอเวลาการทำงานตามค่าไซเคิลที่ตั้งไว้ในหน้าเว็บไซต์ (ดังรูปที่ 4.5)
6. สังเกตเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.3 โมดูลสื่อสารไร้สายชิปตัวรับที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงตัวอย่าง  
การแจ้งเตือน

Preset: Mode #1

Enable AI

Motor #1

Motor #2

Apply Setting




แสดงตัวอย่าง  
ค่าคุณภาพน้ำ

แสดงตัวอย่างการแจ้งเตือน



รูปที่ 4.4 หน้าแรกของเว็บไซต์

Statistical Data



แสดงตัวอย่าง  
การตั้งเวลา

Motor Settings

Automatic Motor Control Plan

Enable Manual Control

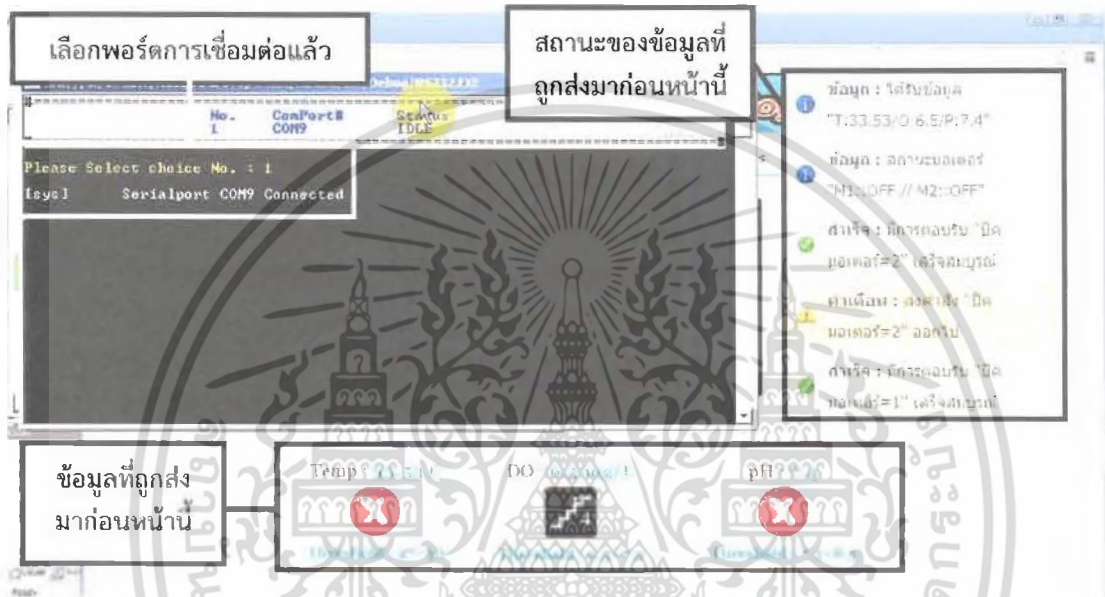
Motor Plan Step 1      Motor Plan Step 2      Motor Plan Step 3      Motor Plan Step 4

รูปที่ 4.5 หน้าเว็บไซต์แสดงการตั้งค่าการทำงานของเซ็นเซอร์



## ผลการทดลอง

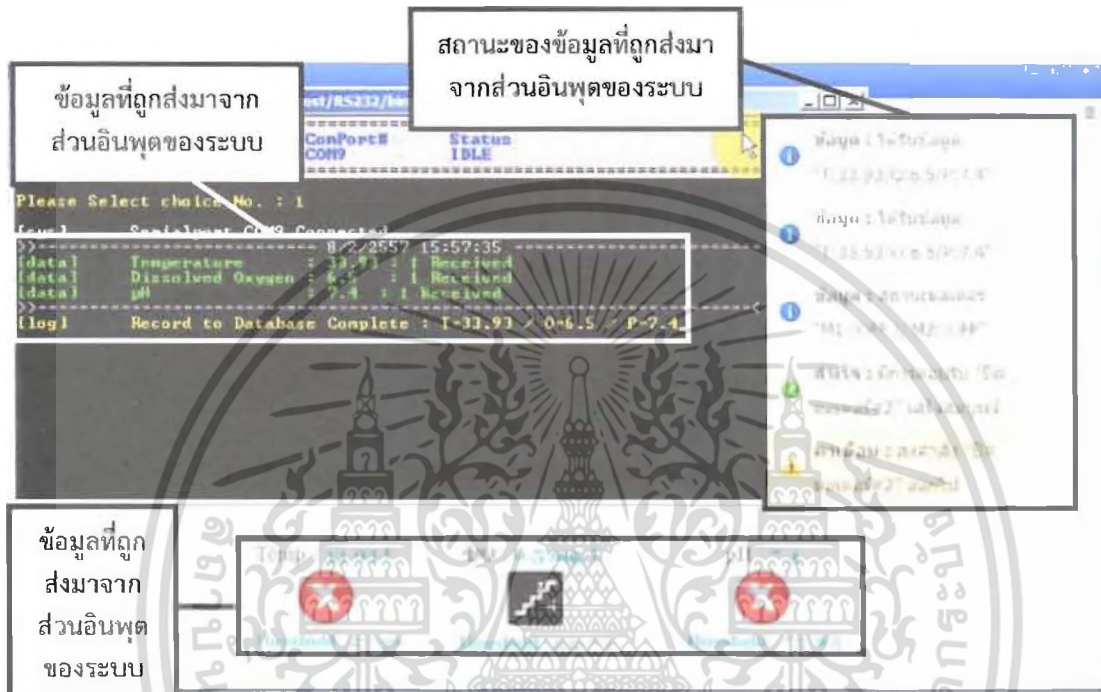
จากการทดลองส่งค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชนิด ผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบีได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

- หน้าเว็บไซต์ก่อนข้อมูลจากส่วนอินพุตของระบบส่งมา แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อทำการเลือกลำดับพอร์ตการเชื่อมต่อให้ตรงกับพอร์ตของโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี โปรแกรมจะแสดงว่าได้เชื่อมต่อแล้วและหน้าเว็บไซต์แสดงค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ก่อนหน้า



รูปที่ 4.6 หน้าเว็บไซต์ก่อนข้อมูลถูกส่งมา

- หน้าเว็บไซต์หลังจากได้รับข้อมูลจากส่วนอินพุตของระบบ ซึ่งจากรูปที่ 4.7 จะพบว่าค่าอุณหภูมิ และค่า pH อยู่นอกขอบเขตของค่ามาตรฐาน จึงมีการแสดงสัญลักษณ์  เพื่อให้ผู้ใช้งานสังเกตได้ชัดเจน ส่วนค่าของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 6.5 mg/L จะอยู่ในช่วงขั้นที่ 4 จึงมีการแสดงสัญลักษณ์  เพื่อให้ผู้ใช้งานสังเกตได้ชัดเจนเช่นกัน



รูปที่ 4.7 หน้าเว็บไซต์หลังข้อมูลถูกส่งมา

## 4.2 การทดลองแสดงค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์และ log ของระบบผ่านหน้าเว็บไซต์

ในการทดลองนี้จะแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อยด้วยกันคือแสดงค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์และ log ของระบบ

### 4.2.1 การแสดงค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์

#### จุดประสงค์

- เพื่อทดสอบการเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลแสดงผลผ่านหน้าเว็บไซต์

#### อุปกรณ์

ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล ดังรูปที่ 4.3

#### วิธีการทดลอง

1. จากการทดลองหัวข้อ 4.1 หลังจากได้รับค่าจากเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชนิดแล้ว ทำการเลือกหน้า Data Monitoring จากหน้า Measurement Control (หมายเลข 1 ของรูปที่ 4.8)
2. เลือกดูข้อมูลและวันเวลาที่ต้องการ (หมายเลข 2 ของรูปที่ 4.8)

#### ผลการทดลอง

จากการทดลองแสดงค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์และบันทึกค่าดังกล่าวของระบบเป็นดังนี้

- เมื่อเลือกที่หน้า Data Monitoring จะแสดงตารางข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 หน้า Data Monitoring หลังจากมีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
102

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 4.3 การทดลองการตั้งค่า Sample Time ไปที่ส่วนอินพุตของระบบ

#### จุดประสงค์

- เพื่อทดสอบการส่งงานเวลาการรับค่าในรอบถัดไปผ่านหน้าเว็บไซต์
- เพื่อทดสอบการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล

#### อุปกรณ์

อุปกรณ์ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนอินพุตของระบบ และส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล ดังรูปที่ 4.1 รูปที่ 4.3 ตามลำดับ

#### วิธีการทดลอง

1. เปิดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต่อกับโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบีติวส่งและเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชนิด
2. เชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบีติวรับกับคอมพิวเตอร์
3. เปิดเว็บไซต์หน้า System Setting
4. เปลี่ยนค่า Sample Time (ตั้งหมายเลข 1 ของรูปที่ 4.10)
5. สังเกตผลการทดลองที่เกิดขึ้น

#### ผลการทดลอง

เมื่อทำการตั้งค่า Sample Time ในหน้า System Setting ใหม่ ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งจะเป็นการกำหนดการเก็บค่าที่รับได้จากเซ็นเซอร์ทุก 15 วินาที

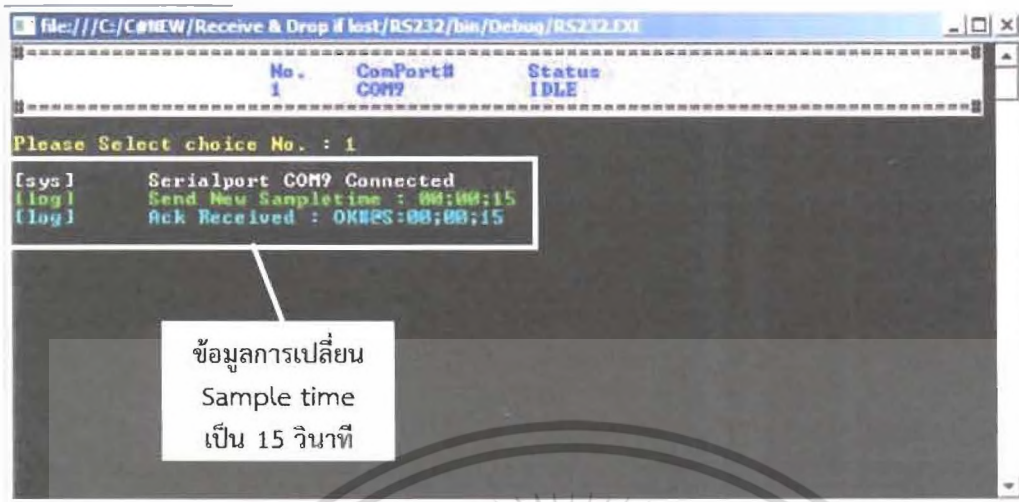


รูปที่ 4.10 การตั้งค่า Sample Time ในหน้า System Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
104

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ที่ส่งไปหาส่วนอินพุตของระบบ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ข้อมูลที่ติดต่อกันในการเปลี่ยน Sample time



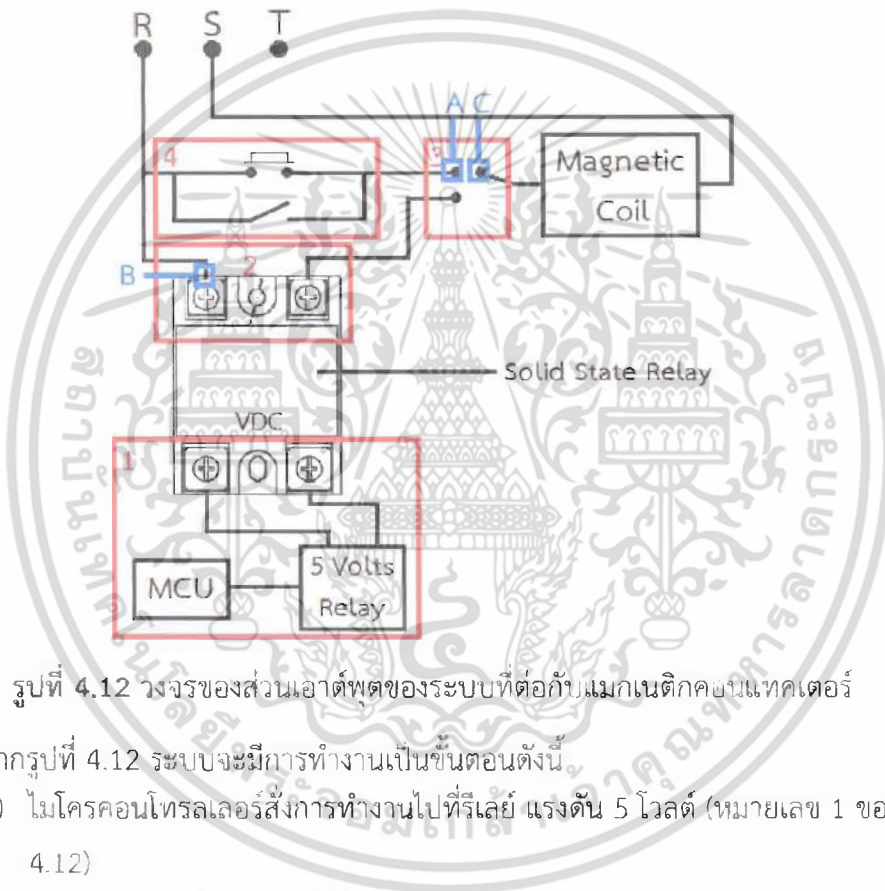
#### 4.4 การทดลองสั่งงานแมกเนติกคอนแทคเตอร์โดยใช้ไฟแรงดัน 380 โวลต์

##### จุดประสงค์

- เพื่อทดสอบการสั่งงานรีเลย์ควบคุมการเปิด-ปิดแมกเนติกคอนแทคเตอร์ที่ใช้ไฟแรงดัน 380 โวลต์ ในห้องปฏิบัติการก่อนนำไปใช้ที่ฟาร์มกุ้งจริง

##### ทฤษฎี

การสั่งงานแมกเนติกคอนแทคเตอร์โดยใช้ไฟแรงดัน 380 โวลต์ ในการทดลองนี้ จะมีวงจรในการต่อไฟสามเฟส แรงดัน 380 โวลต์กับส่วนเอาต์พุตของระบบ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 วงจรของส่วนเอาต์พุตของระบบที่ต่อกับแมกเนติกคอนแทคเตอร์

จากรูปที่ 4.12 ระบบจะมีความทำงานเป็นขั้นตอนดังนี้

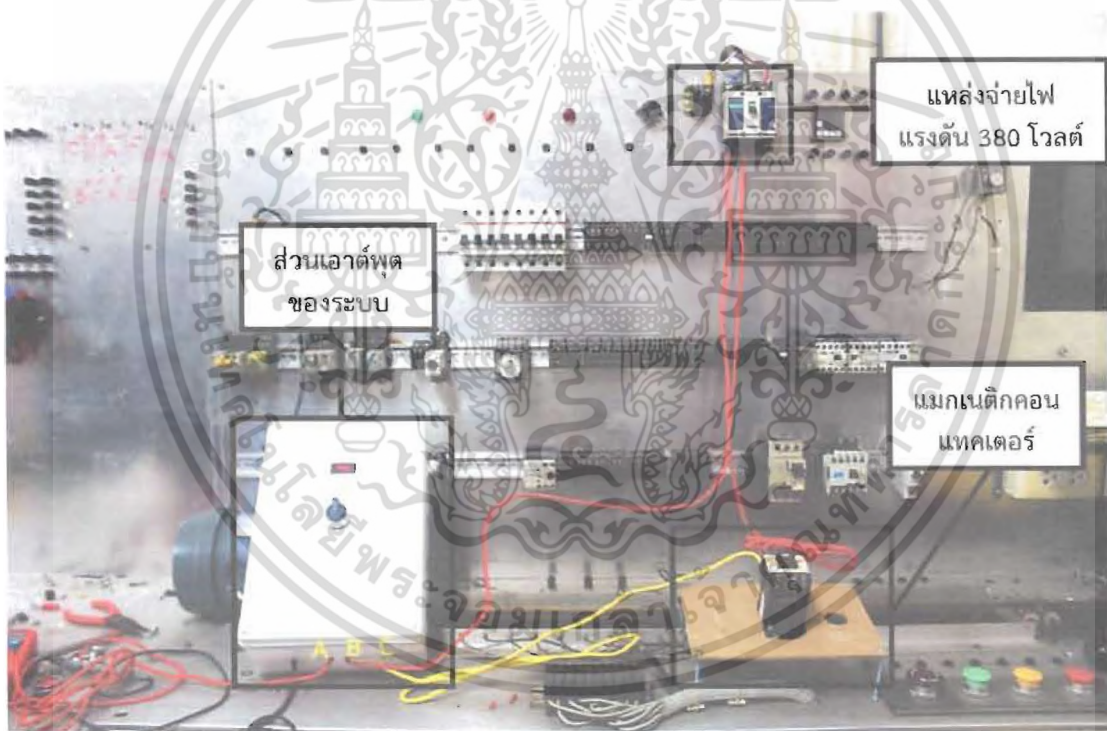
- 1) ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งการทำงานไปที่รีเลย์ แรงดัน 5 โวลต์ (หมายเลข 1 ของรูปที่ 4.12)
- 2) โซลิตสเตทรีเลย์จ่ายไฟจากขั้ว R ของแหล่งจ่ายไฟออกไปที่คอยล์ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ (หมายเลข 2 ของรูปที่ 4.12)
- 3) เมื่อเลือกสวิตช์ลูกศรไปทางขวา จะเป็นการเชื่อมต่อกับวงส่วนเอาต์พุตของระบบ (หมายเลข 3 ของรูปที่ 4.12)
- 4) เมื่อเลือกสวิตช์ลูกศรไปทางซ้าย จะเป็นการทำงานของระบบเดิมของฟาร์ม (หมายเลข 4 ของรูปที่ 4.12)

## อุปกรณ์

ส่วนเอาต์พุตของระบบ แมกเนติกคอนแทคเตอร์ และแหล่งจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์ ดังรูปที่ 4.13

## วิธีการทดลอง

1. ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟ
2. ต่ออุปกรณ์ส่วนเอาต์พุตของระบบเข้ากับแมกเนติกคอนแทคเตอร์และแหล่งจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์ (ดังรูปที่ 4.13 – รูปที่ 4.15)
3. ทำการจ่ายแรงดันไฟ 5 โวลต์ ให้แก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้รีเลย์ทำการเชื่อมต่อวงจรด้านไฟฟ้าแรงดันสูงไว้พร้อมสำหรับการทดลองจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์ โดยทำการเปิดสวิตช์ที่กล่องส่วนเอาต์พุตของระบบ
4. ทำการหมุนสวิตช์ลูกศรไปทางขวา ซึ่งเชื่อมต่อวงจรกับแมกเนติกคอนแทคเตอร์
5. สังเกตผลการทดลองที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.13 ส่วนเอาต์พุตของระบบต่อเข้ากับแมกเนติกคอนแทคเตอร์และแหล่งจ่ายไฟ

ตำแหน่งสายไฟที่ต่อจากส่วนเอาต์พุตของระบบ (แสดงดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13) มีดังต่อไปนี้

ตำแหน่ง A สายไฟต่อเข้ากับการทำงานระบบเดิมของฟาร์ม

ตำแหน่ง B สายไฟต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟชั่วคราว R

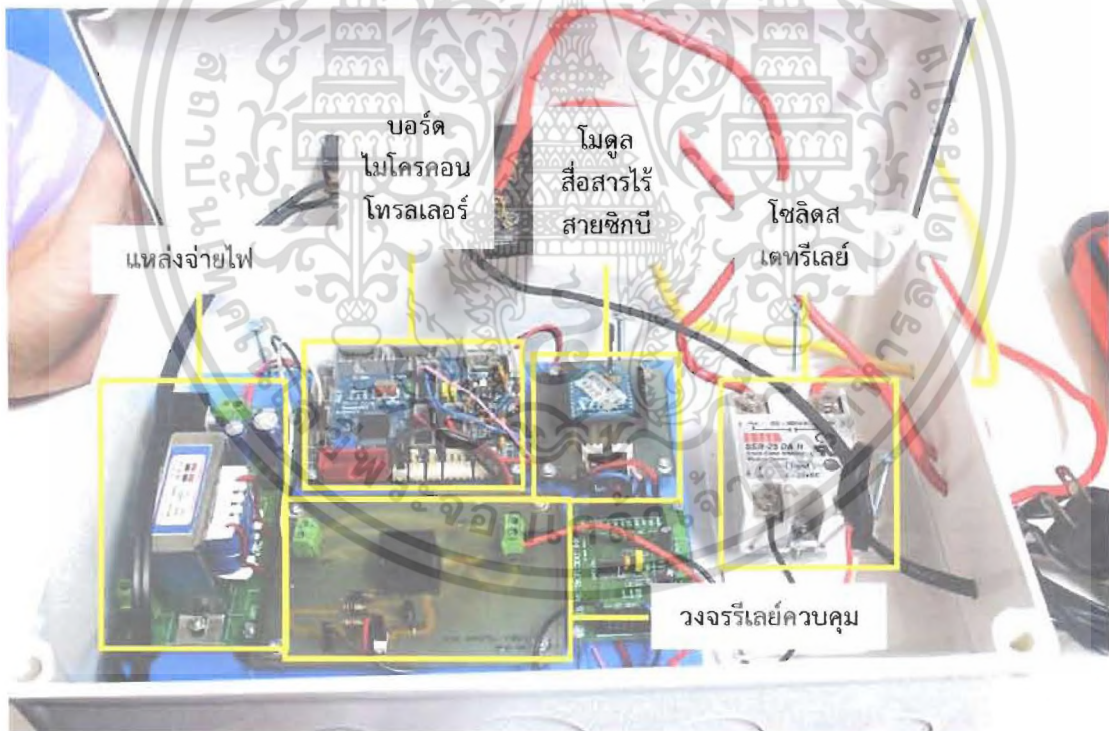
ตำแหน่ง C สายไฟต่อเข้ากับคอยล์ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
107

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แหล่งจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์

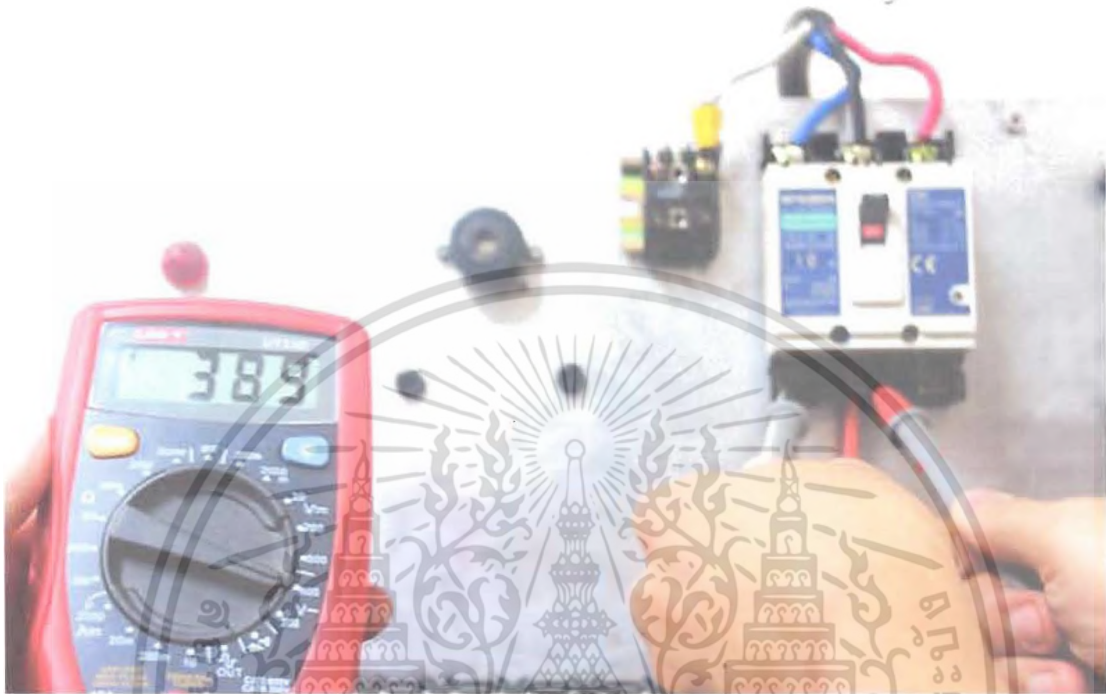


รูปที่ 4.15 วงจรในส่วนเอาต์พุตของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 108  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

จากการทดลองวัดแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ 380 โวลต์ จะพบว่าโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าได้มีค่าประมาณ 389 โวลต์ ซึ่งอยู่ในช่วงของระบบไฟฟ้าสามเฟส (แสดงดังรูปที่ 4.16)



รูปที่ 4.16 กระแสไฟแรงดัน 380 โวลต์จากแหล่งจ่ายไฟ

เมื่อทำการต่ออุปกรณ์ส่วนเอาต์พุตของระบบเข้ากับแมกเนติกคอนแทคเตอร์แล้ว ทำการกดปุ่มเพื่อเปิดวงจรส่วนเอาต์พุตของระบบ (แสดงดังรูปที่ 4.17)



รูปที่ 4.17 ก่อนเปิดวงจรส่วนเอาต์พุตของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปิดสวิตช์ที่ส่วนเอาต์พุตของระบบ ก่อนทำการหมุนสวิตช์ลูกศรเพื่อเลือกการทำงานในส่วนเอาต์พุตของระบบ (แสดงดังรูปที่ 4.18) หน้าสัมผัสของแมกเนติกคอนแทคเตอร์จะไม่ถูกแรงแม่เหล็กดูดลงไป จึงยังไม่สามารถทำงานได้ (แสดงดังรูปที่ 4.19)



รูปที่ 4.19 ก่อนมีกระแสไหลผ่านแมกเนติกคอนแทคเตอร์

หลังจากนั้นทำการหมุนสวิตช์ลูกศรไปทางขวา (แสดงดังรูปที่ 4.20) เพื่อเลือกการทำงานไปที่ส่วนเอาต์พุตของระบบ หน้าสัมผัสของแมกเนติกคอนแทคเตอร์จะมีกระแสไหลผ่านและถูกแรงแม่เหล็กดูดลงไปและทำงานได้ (แสดงดังรูปที่ 4.21)



รูปที่ 4.21 หลังกระแสไหลผ่านแมกเนติกคอนแทคเตอร์

เมื่อทำการหมุนสวิตช์ลูกศรไปทางซ้ายกลับมาจุดเริ่มต้น (แสดงดังรูปที่ 4.22) แมกเนติกคอนแทคเตอร์จะไม่มีกระแสไหลผ่านจึงไม่ทำงาน (แสดงดังรูปที่ 4.23)



รูปที่ 4.22 หมุนสวิตช์ลูกศรกลับจุดเริ่มต้น



รูปที่ 4.23 เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านแมกเนติกคอนแทคเตอร์

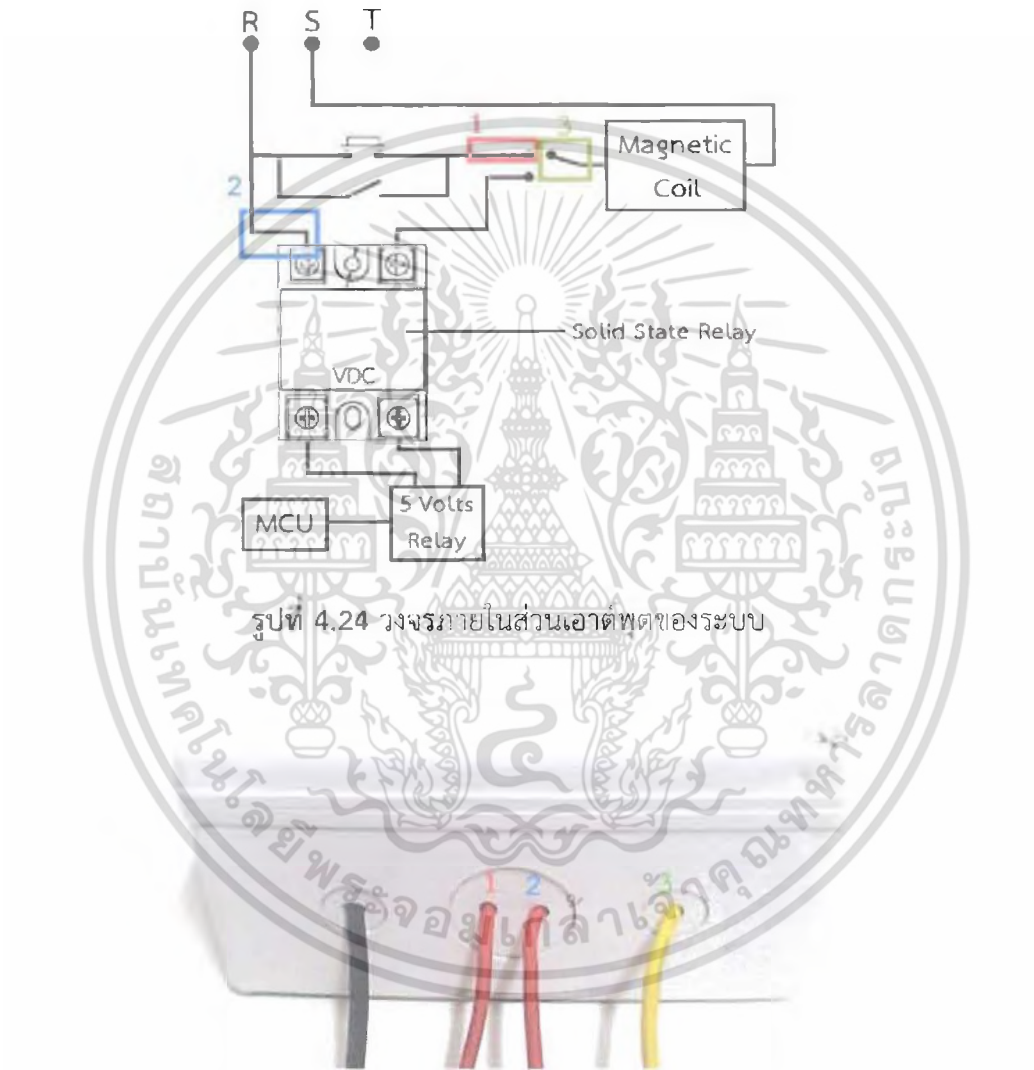
จึงสรุปได้ว่า อุปกรณ์ส่วนเอาต์พุตของระบบนั้น สามารถใช้งานร่วมกับ ไฟฟ้า 3 เฟส แรงดัน 380 โวลต์ได้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การทดลองสั่งงานมอเตอร์ใบพัดตีน้ำ

ในการทดลองนี้จะแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อยด้วยกันคือทำงานแบบอัตโนมัติและทำงานแบบกำหนดเองโดยผู้ใช้

##### ทฤษฎี

การต่อวงจรแมกเนติกคอนแทคเตอร์เข้ากับระบบเดิมของฟาร์ม



รูปที่ 4.25 ภายนอกส่วนเอาต์พุตของระบบ

วงจรการทำงานจะมีการต่อสายไฟ (แสดงดังรูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.25) ดังนี้

- หมายเลข 1 สายไฟต่อเข้ากับระบบการทำงานเดิมของฟาร์ม
- หมายเลข 2 สายไฟต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟชั่วคราว R
- หมายเลข 3 สายไฟต่อเข้ากับคอยล์ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
113

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.1 ทำงานแบบอัตโนมัติ

##### จุดประสงค์

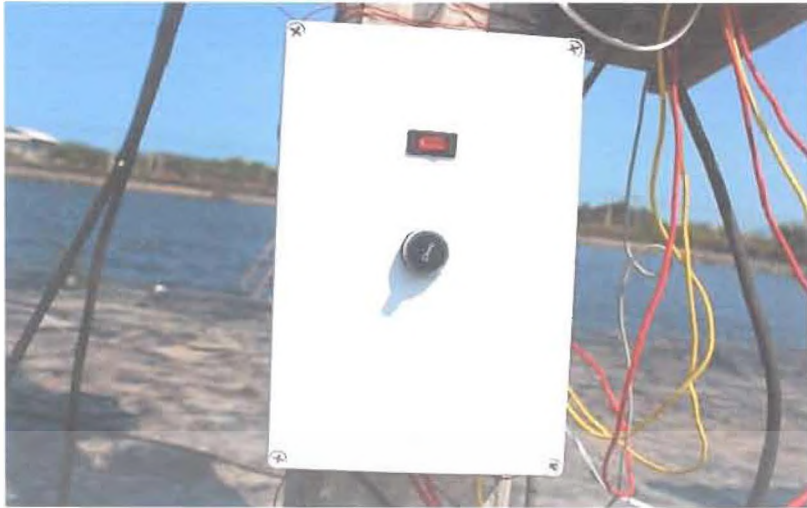
- เพื่อทดสอบการควบคุมมอเตอร์ใบพัดตีน้ำแบบอัตโนมัติ ตามแผนการทำงานซึ่งถูกกำหนดด้วยระดับของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 5 ระดับ ผ่านหน้าเว็บไซต์
- เพื่อทดสอบการรับค่าจากเซ็นเซอร์ส่วนอินพุตของระบบ
- เพื่อทดสอบการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล

##### อุปกรณ์

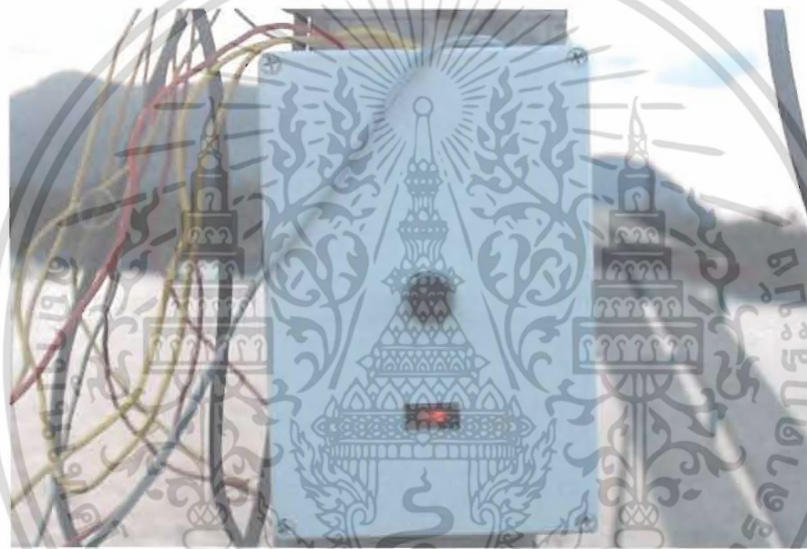
อุปกรณ์ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนอินพุตของระบบ ดังรูปที่ 4.1 ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล ดังรูปที่ 4.3 ส่วนเอาต์พุตของระบบ 2 ตัว ดังรูปที่ 4.26 - รูปที่ 4.28 แมกเนติกคอนแทคเตอร์และแหล่งจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์ ดังรูปที่ 4.29 และมอเตอร์ใบพัดตีน้ำไฟฟ้าสามเฟสแรงดัน 380 โวลต์ ดังรูปที่ 4.30

##### วิธีการทดลอง

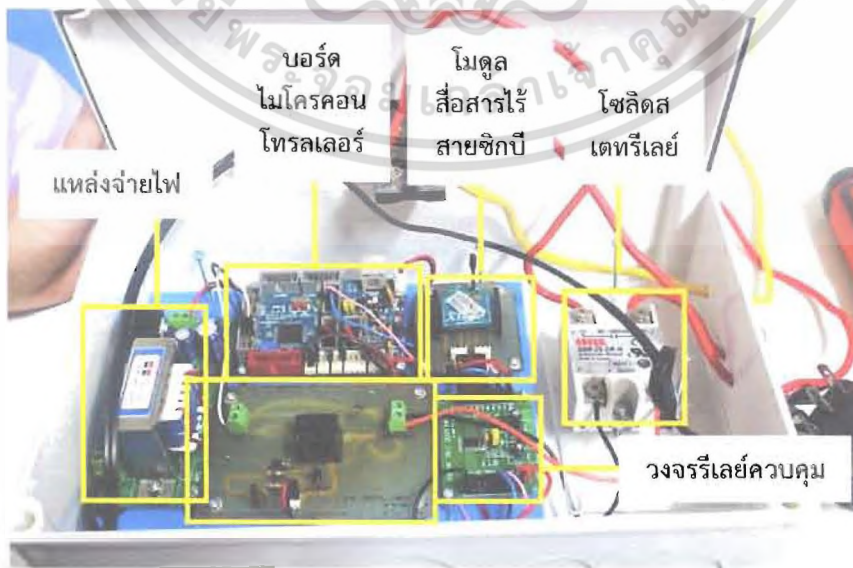
1. เปิดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต่อกับโมดูลสื่อสารไร้สายชิปบีตัวส่งและเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชนิด
2. นำหุ่นไปวางกลางบ่อเลี้ยงกุ้ง
3. เชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สายชิปบีตัวรับกับคอมพิวเตอร์
4. ตัดไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ 380 โวลต์
5. ต่ออุปกรณ์ส่วนเอาต์พุตของระบบเข้ากับแมกเนติกคอนแทคเตอร์และแหล่งจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์ (ดังรูปที่ 4.26 - รูปที่ 4.30) แล้วเปิดไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ 380 โวลต์
6. ทำการเปิดสวิทช์ที่กล่องส่วนเอาต์พุตของระบบ
7. ทำการหมุนสวิทช์ลูกศรไปทางขวา ซึ่งเชื่อมต่อวงจรกับแมกเนติกคอนแทคเตอร์
8. ตั้งค่ามาตรฐานโดยกำหนดเป็นช่วง ในหน้า System Setting จากหน้า Measurement Control ของเว็บไซต์ (ดังหมายเลข 1 2 และ 3 ตามลำดับของรูปที่ 4.31)
9. ตั้งค่าการทำงานของมอเตอร์ใบพัดตีน้ำและกด Apply Setting (ดังรูปที่ 4.33)
10. เปิดหน้าเว็บไซต์และโปรแกรม C# เพื่อรอรับค่าข้อมูล
11. สังเกตผลการทดลองที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.26 การติดตั้งส่วนเอาต์พุตของระบบตัวที่ 1

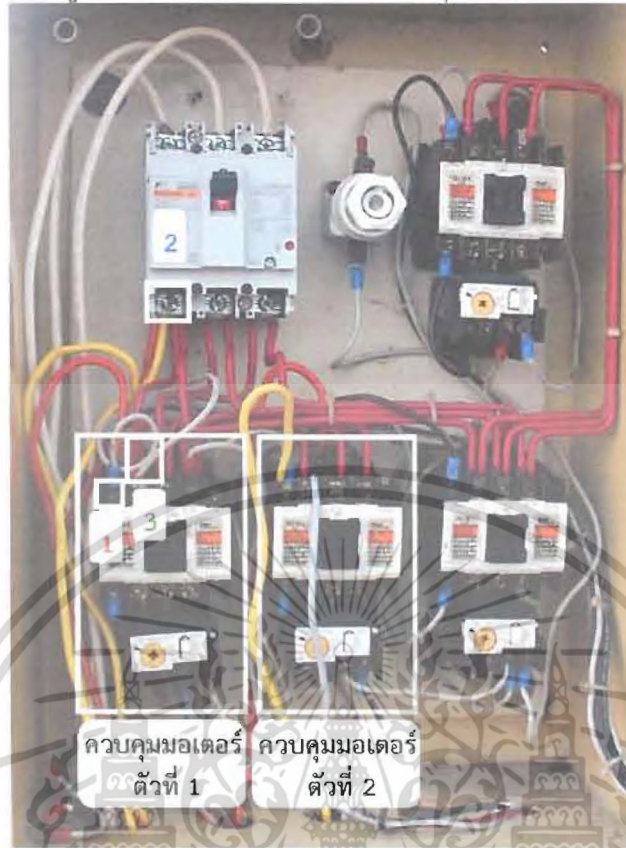


รูปที่ 4.27 การติดตั้งส่วนเอาต์พุตของระบบตัวที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.28 วงจรภายในส่วนเอาต์พุตของระบบ



รูปที่ 4.29 ส่วนเอาต์พุตของระบบต่อกับแหล่งจ่าย 380 โวลต์

จากรูปที่ 4.29 การต่อวงจรเข้ากับระบบการทำงานเดิมของฟาร์ม อังอิงส่วนเอาต์พุตของระบบจากรูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.25 ทำการต่อสายไฟดังนี้

หมายเลข 1 ของรูปที่ 4.25 เข้ากับขั้ว NO ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ (ตั้งหมายเลข 1 ของรูปที่ 4.29)

หมายเลข 2 ของรูปที่ 4.25 เข้ากับขั้ว R ของแหล่งจ่ายไฟ (ตั้งหมายเลข 2 ของรูปที่ 4.29)

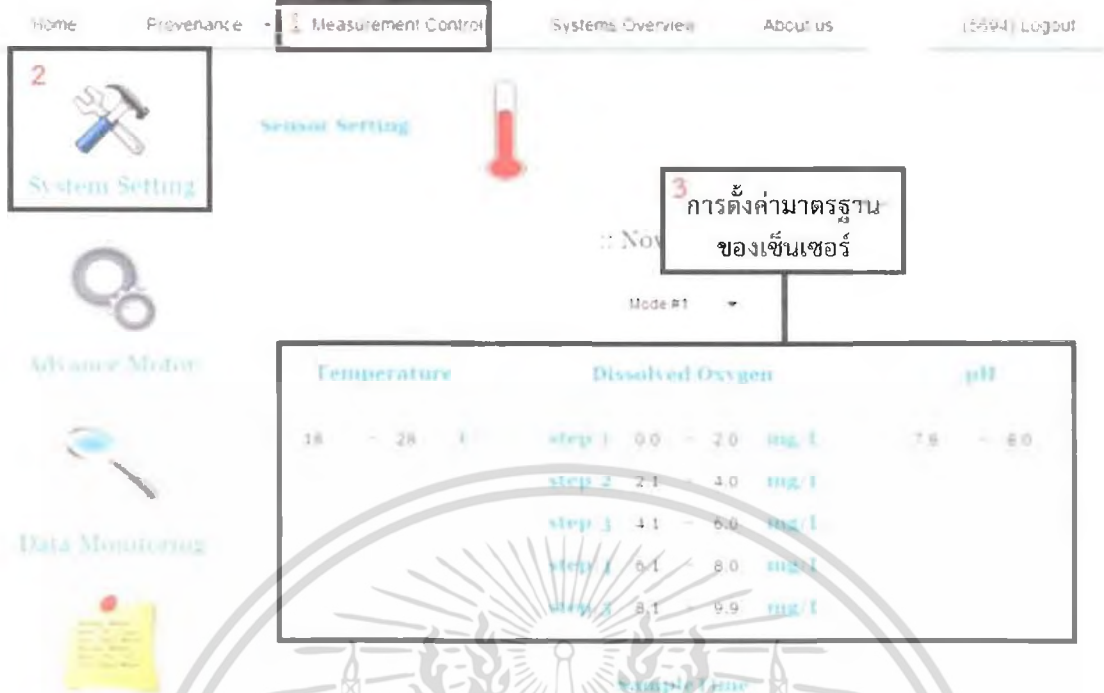
หมายเลข 3 ของรูปที่ 4.25 เข้ากับคอยล์ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ (ตั้งหมายเลข 3 ของรูปที่ 4.29)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
116

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

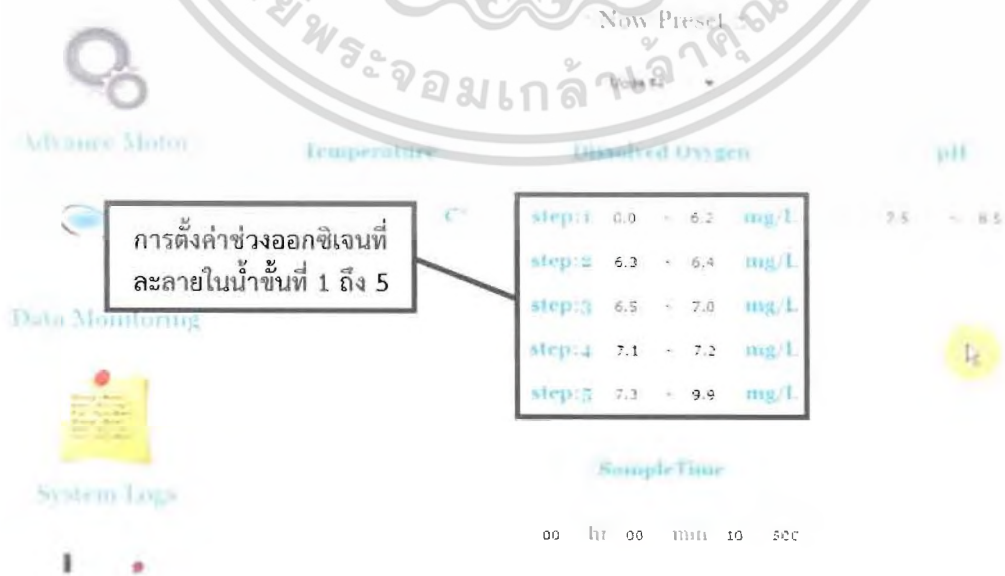
รูปที่ 4.30 มอเตอร์บำบัดน้ำไฟฟ้าสามเฟส



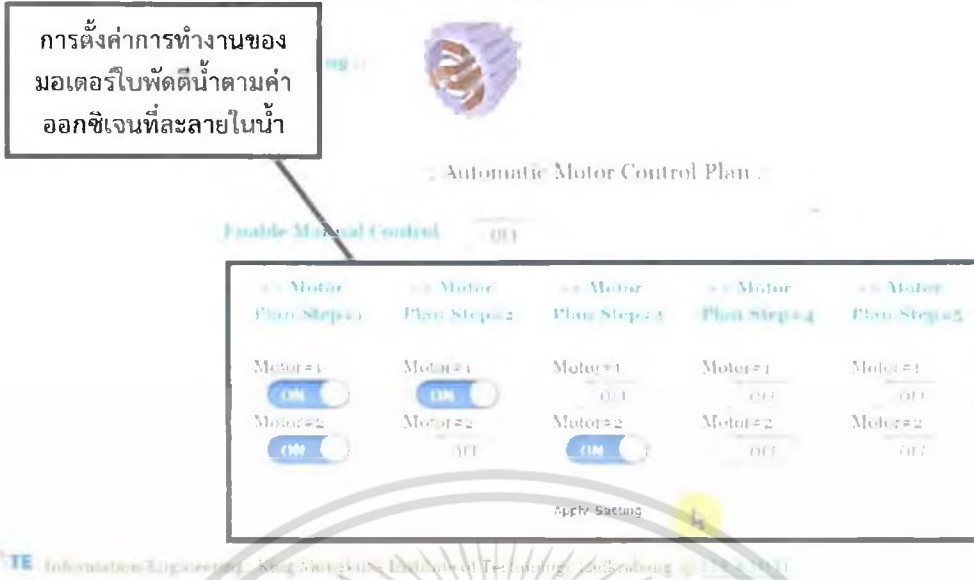
รูปที่ 4.31 หน้า System Setting ของเว็บไซต์

ผลการทดลอง

เมื่อทำการตั้งค่ามาตรฐานในหน้า System Setting ซึ่งต้องตั้งค่ามาตรฐานออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นช่วงๆ ตั้งแต่ขั้นที่ 1 ถึงขั้นที่ 5 (ดังรูปที่ 4.32) เพื่อให้สอดคล้องกับการกำหนดจำนวนของมอเตอร์บำบัดน้ำที่จะเปิดให้ทำงาน และทำการปรับแผนการทำงานของมอเตอร์บำบัดน้ำ เพื่อให้มอเตอร์บำบัดน้ำทำงานตามแผนที่วางไว้ (ดังรูปที่ 4.33) และเปิดโปรแกรม C# รับค่าข้อมูล (ดังรูปที่ 4.34)



รูปที่ 4.32 การตั้งค่าช่วงออกซิเจนที่ละลายในน้ำขั้นที่ 1 ถึง 5



รูปที่ 4.33 การตั้งค่าแผนของมอเตอร์หน้า System Setting

เมื่อปรับค่าจากหน้า System Setting แล้ว หลังจากเซ็นเซอร์วัดค่าคุณภาพน้ำส่งมายัง ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ 6.5 mg/L โดยค่าจะอยู่ในขั้นที่ 3 โปรแกรม C# และเว็บไซต์จะปรับการเปิด-ปิดมอเตอร์ (ตั้งหมายเลข 1 และ 2 ของรูปที่ 4.34) มอเตอร์ใบพัดตัวที่ 1 จะปิด และมอเตอร์ใบพัดตัวที่ 2 จะเปิด (ตั้งรูปที่ 4.35)



รูปที่ 4.34 การสั่งงานควบคุมมอเตอร์และแสดง system log เมื่อค่าออกซิเจนอยู่ในขั้นที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.35 มอเตอร์ใบพัดตีน้ำตัวที่ 1 ปิด และมอเตอร์ใบพัดตีน้ำตัวที่ 2 เปิด  
4.5.2 ทำงานแบบกำหนดเองโดยผู้ใช้

#### จุดประสงค์

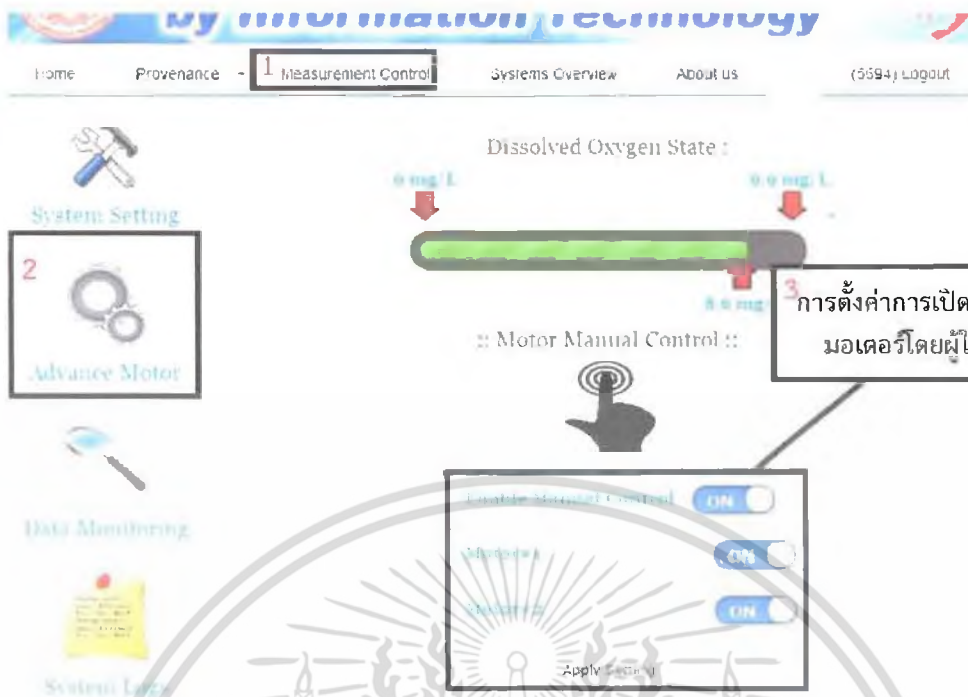
- เพื่อทดสอบการควบคุมมอเตอร์ใบพัดตีน้ำแบบกำหนดเองโดยผู้ใช้ สามารถสั่งงานได้ผ่านหน้าเว็บไซต์
- เพื่อทดสอบการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล

#### อุปกรณ์

อุปกรณ์ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนอินพุตของระบบ ดังรูปที่ 4.1 ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล ดังรูปที่ 4.3 ส่วนเอาต์พุตของระบบ 2 ตัว ดังรูปที่ 4.26 - รูปที่ 4.28 แมกเนติกคอนแทคเตอร์และแหล่งจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์ ดังรูปที่ 4.29 และมอเตอร์ใบพัดตีน้ำไฟฟ้าสามเฟสแรงดัน 380 โวลต์ ดังรูปที่ 4.30

#### วิธีการทดลอง

1. เปิดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต่อกับโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบีตัวส่งและเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชนิด
2. นำหุ่นไปวางกลางบ่อเลี้ยงกุ้ง
3. เชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบีตัวรับกับคอมพิวเตอร์
4. ตัดไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ 380 โวลต์
5. ต่ออุปกรณ์ส่วนเอาต์พุตของระบบเข้ากับแมกเนติกคอนแทคเตอร์และแหล่งจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์ (ดังรูปที่ 4.26 - รูปที่ 4.30) แล้วเปิดไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ 380 โวลต์
6. ทำการเปิดสวิทช์ที่กล่องส่วนเอาต์พุตของระบบ
7. ทำการหมุนสวิทช์ลูกศรรูปทางขวา ซึ่งเชื่อมต่อวงจรกับแมกเนติกคอนแทคเตอร์
8. เปิดเว็บไซต์ซึ่งทำได้ 2 วิธี
  - หน้า Advance Motor (ดังหมายเลข 1 2 และ 3 ตามลำดับของรูปที่ 4.36)
  - หน้าแรกของเว็บไซต์ (ดังหมายเลข 1 ของรูปที่ 4.37)
9. ตั้งค่าโดยกำหนดเลือก Enable Motor
10. ตั้งค่าการเปิด-ปิดมอเตอร์ตามต้องการและกด Apply Setting
11. เปิดหน้าเว็บไซต์และโปรแกรม C# เพื่อรอรับค่าข้อมูล
12. สังเกตผลการทดลองที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.36 หน้า Advance Motor บนเว็บไซต์

ผลการทดลอง

เมื่อทำการตั้งค่าจากหน้าแรกของเว็บไซต์ให้เปิดมอเตอร์ 1 และ 2 (แสดงดังรูปที่ 4.37)

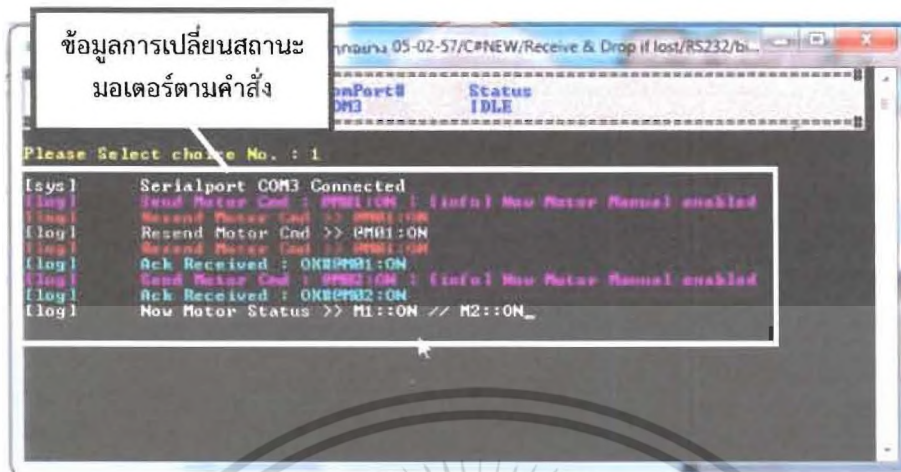


รูปที่ 4.37 ตั้งค่าหน้าแรกของเว็บไซต์ให้เปิดมอเตอร์ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
120

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม C# ผลลัพธ์ที่ส่งไปหาส่วนเอาต์พุตของระบบ (แสดงดังรูปที่ 4.38) และมอเตอร์ใบบัตตน้ำตัวที่ 1 และตัวที่ 2 เปิดทั้งคู่ (แสดงดังรูปที่ 4.39)



รูปที่ 4.38 คำสั่งเปิดมอเตอร์ทั้งสองตัว



รูปที่ 4.39 มอเตอร์ใบบัตตน้ำเปิดทั้งสองตัว

เมื่อทำการตั้งค่าจากหน้าแรกของเว็บไซต์ให้ปิดมอเตอร์ 1 และ 2 (แสดงดังรูปที่ 4.40)



รูปที่ 4.40 ตั้งค่าหน้าแรกของเว็บไซต์ให้ปิดมอเตอร์ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม C# ผลลัพธ์ที่ส่งไปหาส่วนเอาต์พุตของระบบ (แสดงดังรูปที่ 4.41) และมอเตอร์ไบพัดติน้ำตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ปิดทั้งคู่ (แสดงดังรูปที่ 4.42)

**ข้อมูลการเปลี่ยนสถานะมอเตอร์ตามคำสั่ง**

```

Please Select choice No. : 1
[sys] Serialport COM3 Connected
[log] Send Motor Cmd : PMM1:ON : [info] New Motor Manual enabled
[log] Resend Motor Cmd : PMM1:ON
[log] Resend Motor Cmd : PMM1:ON
[log] Ack Received : OK#PMM1:ON
[log] Send Motor Cmd : PMM2:ON : [info] New Motor Manual enabled
[log] Ack Received : OK#PMM2:ON
[log] New Motor Status >> M1::ON // M2::ON
[log] Send Motor Cmd : PMM1:OFF : [info] New Motor Manual enabled
[log] Ack Received : OK#PMM1:OFF
[log] Send Motor Cmd : PMM2:OFF : [info] New Motor Manual enabled
[log] Ack Received : OK#PMM2:OFF
[log] New Motor Status >> M1::OFF // M2::OFF
    
```

รูปที่ 4.41 คำสั่งปิดมอเตอร์ทั้งสองตัว



รูปที่ 4.42 มอเตอร์ไบพัดติน้ำปิดทั้งสองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 การทดลองการกลับไปใช้วงจรสวิตช์ควบคุมปกติของระบบฟาร์ม

### จุดประสงค์

- ทำการทดลองในกรณีผู้ใช้ต้องการยกเลิกการควบคุมผ่านระบบโครงงานนี้ ต้องการกลับไปใช้ปุ่มเปิด-ปิด เต็มที่ผู้ควบคุมมือต่อ

### อุปกรณ์

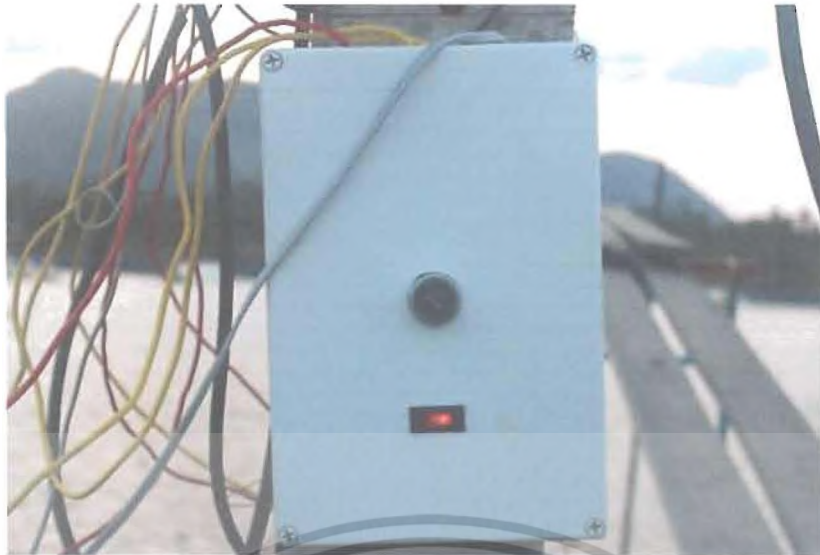
ส่วนเอาต์พุตของระบบ 2 ตัว ดังรูปที่ 4.43 - รูปที่ 4.45 แมกเนติกคอนแทคเตอร์และแหล่งจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์ ดังรูปที่ 4.46 และมอเตอร์ใบพัดตีน้ำไฟฟ้าสามเฟสแรงดัน 380 โวลต์ ดังรูปที่ 4.47

### วิธีการทดลอง

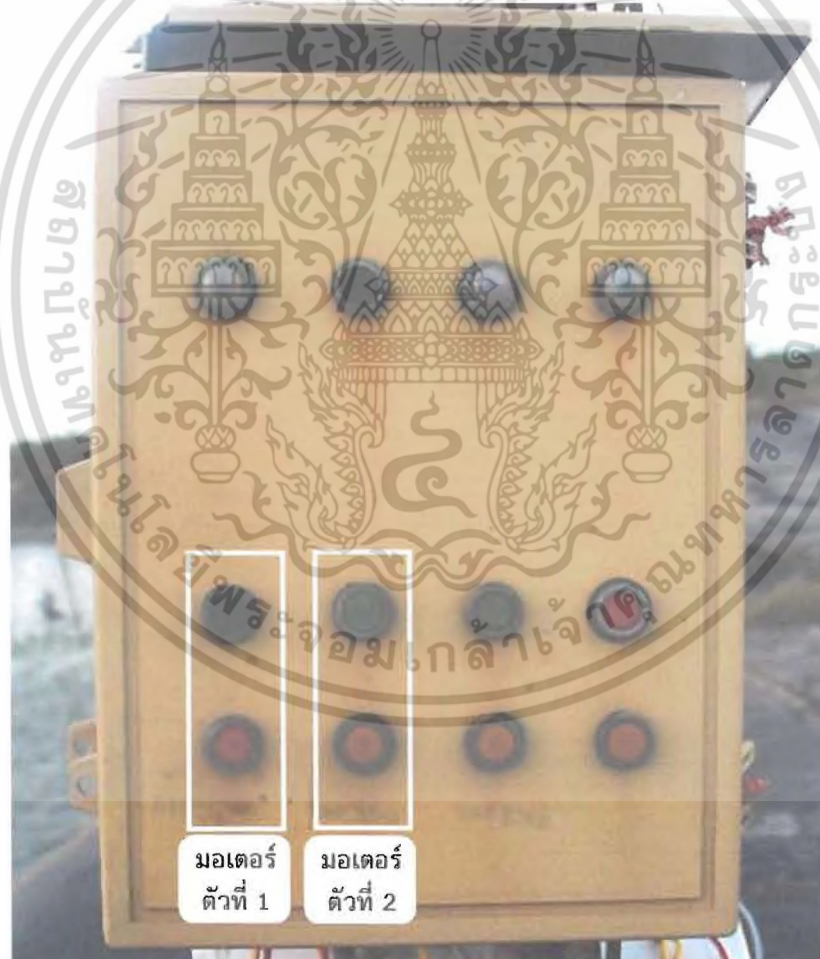
1. ตัดไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ 380 โวลต์
2. ต่ออุปกรณ์ส่วนเอาต์พุตของระบบเข้ากับแมกเนติกคอนแทคเตอร์และแหล่งจ่ายไฟแรงดัน 380 โวลต์ (ดังรูปที่ 4.43 - รูปที่ 4.44) แล้วเปิดไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ 380 โวลต์
3. ทำการปิดสวิตช์ที่กล่องส่วนเอาต์พุตของระบบ
4. ทำการหมุนสวิตช์ลูกศรไปทางซ้าย ซึ่งเชื่อมต่อวงจรกับระบบของฟาร์ม
5. ทำการกดปุ่มบนตู้ควบคุมมอเตอร์ (ดังรูปที่ 4.45)
6. สังเกตผลการทดลองที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.43 การติดตั้งส่วนเอาต์พุตของระบบตัวที่ 1



รูปที่ 4.44 การติดตั้งส่วนเอาต์พุตของระบบตัวที่ 2



รูปที่ 4.45 ตู้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดตีน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้