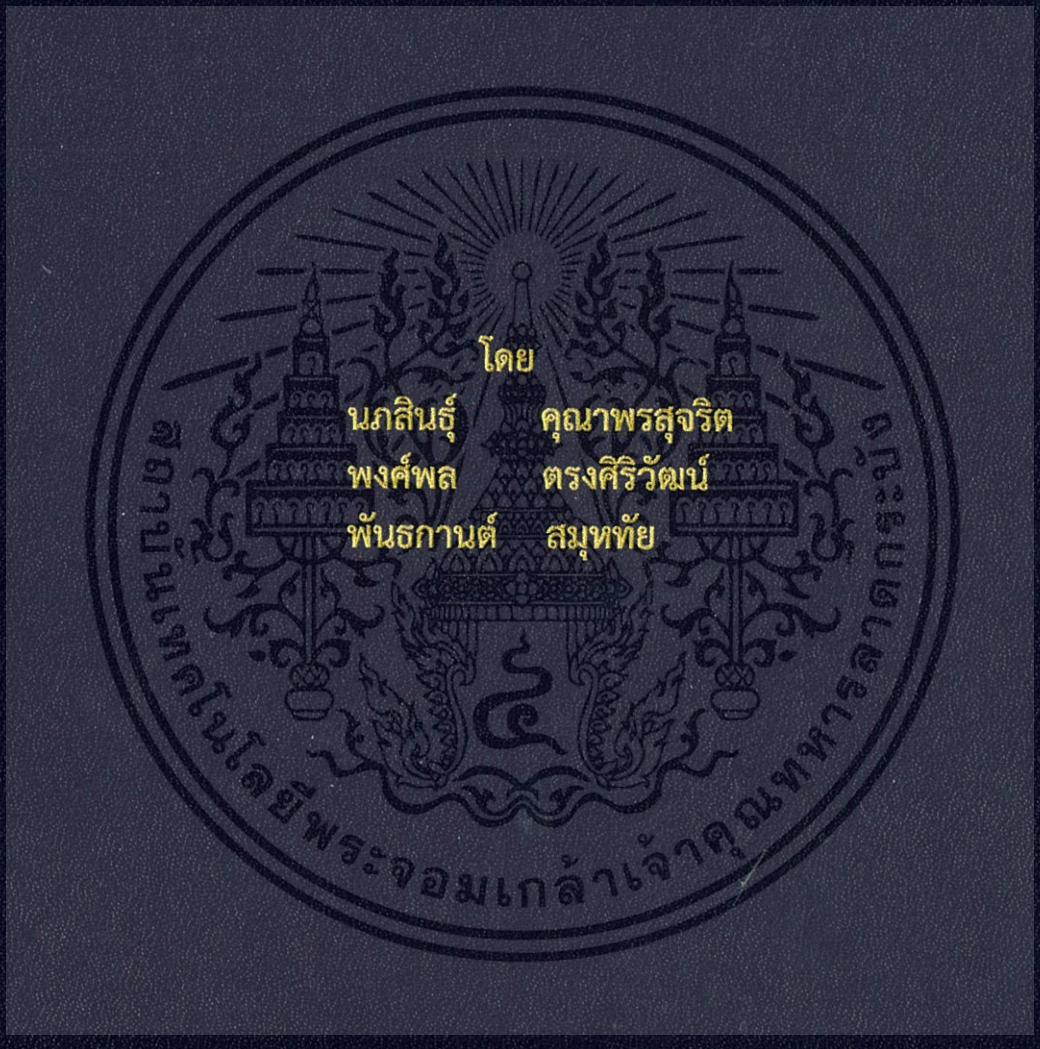
ชุดอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่
NEXT GENERATION GARDEN KIT



โดย

นภสินธุ์ คุณาพรสุจริต

พงศ์พล ตรงศิริวัฒน์

พันธกานต์ สมุทัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

ชุดอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่

NEXT GENERATION GARDEN KIT

โดย

นภสินธุ์ คุณาพรสุจริต

พงศ์พล ตรงศิริวัฒน์

พันธกานต์ สมุหทัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่
NEXT GENERATION GARDEN KIT

โดย

นภสินธุ์	คุณาพรสุจริต	56010644
พงศ์พล	ตรงศิริวัฒน์	56010785
พันธกานต์	สมุหทัย	56010839

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ศรวัฒน์ ชิวปรีชา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

22/5/60

KMITL วิศวกรรมโทรคมนาคม Telecommunications Engineering

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(.....)

กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

23/5/60

KMITL วิศวกรรมโทรคมนาคม Telecommunications Engineering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่

NEXT GENERATION GARDEN KIT

ผู้จัดทำ

1. นภสินธุ์ คุณาพรสุจริต 56010644
2. พงศ์พล ตรงศิริวัฒน์ 56010785
3. พันธกานต์ สมุทหัย 56010839

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ศรวัฒน์ ชิวปรีชา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคลากรหลายท่านซึ่งผู้มีพระคุณที่ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านแรกคือ ผศ.ดร.ศรวัฒน์ ชิวปรีชา อาจารย์ผู้สอนให้ความรู้แนะแนวการทำปริญญานิพนธ์และให้คำปรึกษา รวมไปถึงตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ในหลายๆ ขั้นตอน เพื่อให้ปริญญานิพนธ์นี้สมบูรณ์มากที่สุด กลุ่มบุคลากรที่สองคือ ผู้ให้คำปรึกษาในเพจเฟสบุ๊ค “NETPIE” ซึ่งให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปริญญานิพนธ์ซึ่งหากไม่มีบุคลากรดังกล่าวปริญญานิพนธ์นี้จะทำให้ยากลำบากขึ้นมาก ต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ต้องใคร่ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ชั้นปีที่สี่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่ช่วยให้คำปรึกษาและแบ่งปันข้อมูลช่วยกันศึกษาจนปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่ได้ให้เงินสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณผู้ปกครองทุกท่านที่ให้การสนับสนุนเบื้องหลังและให้กำลังใจตลอดมา

นภสินธุ์ คุณาพรสุจริต
พงศ์พล ตรงศิริวัฒน์
พันธกานต์ สมุหทัย
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่

NEXT GENERATION GARDEN KIT

โดย นภสินธุ์ คุณาพรสุจริต 56010644

พงศ์พล ตรงศิริวัฒน์ 56010785

พันธกานต์ สมุหทัย 56010839

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ศรวัฒน์ ชิวปรีชา

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ต้องการพัฒนาความสามารถของชุดอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ด้วยการนำเซนเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความสามารถในการปลูกพืชและสวนประดับ โดยมีการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ความเข้มแสง และปริมาณน้ำในแท้งค์ รวมทั้งยังมีการใช้งานเทคโนโลยีสมัยใหม่ (IoT) ประกอบกับ Mobile Application มาใช้แสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์และสามารถควบคุมในส่วนของช่วงเวลาการให้น้ำและแสง รวมไปถึงการปรับระดับความเข้มแสงที่ให้ได้อีกด้วย ซึ่งชุดอุปกรณ์นี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปลูกพืชและสวนยุคใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACT

This thesis objective is to develop the Next Generation Garden Kit performance with sensors and microcontroller to implement and improve observing and analyzing whether air humidity, light intensity, soil moisture and water level in the tank. Also this thesis contain various modern technology such as mobile application and internet of things (IoT), which allow user capable to control and check every parameters and also user can control the water pump and led light whether how much water pump per day and light intensity too. This next generation garden kit was built to improve how user can easily plant using new technology to help and improve planting performance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		I
บทคัดย่อ		II
สารบัญ		III
สารบัญรูป		VI
สารบัญตาราง		IX
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 ฮาร์ดแวร์	4
	2.1.1 NODEMCU	4
	2.1.2 เซนเซอร์	7
	2.1.3 รีเลย์	13
	2.1.4 แหล่งจ่ายพลังงาน	14
	2.2 โปรโตคอลที่เกี่ยวข้องกับการรับ-ส่งข้อมูล	15
	2.2.1 MQTT PROTOCOL	15
	2.2.2 NETPIE DISTRIBUTED MQTT BROKER	23
	2.3 MOBILE APPLICATION	31
	2.3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของ HTML5	31
	2.3.2 CSS	33
	2.3.3 การเขียนแอพพลิเคชันด้วยโปรแกรม PHONEGAP	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.3.4 โปรแกรม ARDUINO IDE	35
	2.4 เทคนิคอื่นๆ ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์	36
	2.4.1 การปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์	36
	2.4.2 แสงกับการเจริญเติบโตของพืช	38
บทที่ 3	การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	40
	3.1 การออกแบบ	40
	3.1.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์	40
	3.1.2 การออกแบบซอฟต์แวร์	50
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	53
	3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองส่วนฮาร์ดแวร์	53
	3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองส่วนซอร์ฟแวร์	54
	3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	54
บทที่ 4	ผลการทดลอง	55
	4.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนของฮาร์ดแวร์	55
	4.1.1 รูปแบบการส่งมูลของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ	55
	4.1.2 รูปแบบการส่งมูลของเซนเซอร์ SOIL MOISTURE SENSOR	58
	4.1.3 รูปแบบการส่งมูลของเซนเซอร์ LIGHT DIGITAL SENSOR	59
	4.1.4 รูปแบบการส่งมูลของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค	60
	4.1.5 โมเดลจำลองของโครงงาน	63
	4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนของซอฟต์แวร์	65
	4.2.1 ผลการทดลองการตรวจจับแพ็กเกตข้อมูลที่ถูกส่งจากอุปกรณ์ด้วยโปรแกรม WIRESHARK	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	4.2.2 ผลการทดลองการทำงานของโมบายแอพพลิเคชัน	69
บทที่ 5	**สรุปผลและข้อเสนอแนะ**	**73**
	5.1 สรุปผล	73
	5.1.1 ฮาร์ดแวร์	73
	5.1.2 ซอฟต์แวร์	74
	5.1.3 การทดลองปลูกพืชจริง	74
	5.2 ข้อเสนอแนะ	76
บรรณานุกรม		**77**
ภาคผนวก		**78**
	ภาคผนวก ก โค้ดโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ NODEMCU	78
	ภาคผนวก ข ตารางการทดสอบเซนเซอร์	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	NODEMCU V2	5
2.2	ตำแหน่งของขาต่างๆ บนบอร์ด NODEMCU V2	6
2.3	เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ	8
2.4	การส่งสัญญาณของ DHT 22	9
2.5	เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน	10
2.6	SCHEMATIC ของ SOIL MOISTURE SENSOR	10
2.7	เซนเซอร์วัดความเข้มแสง	12
2.8	เซนเซอร์วัดระยะห่างด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค	13
2.9	รีเลย์ 5V ชนิด SPDT (SINGLE POLE DOUBLE THROW)	14
2.10	โมเดลการสื่อสารของโปรโทคอล MQTT	16
2.11	ผังการรับส่งข้อความสั่งเสียสุดท้าย LAST WILL MESSAGE	20
2.12	ผังการสื่อสารเพื่อ PUBLISH ข้อความด้วย QOS0	22
2.13	ผังการสื่อสารเพื่อ PUBLISH ข้อความด้วย QOS1	22
2.14	ผังการสื่อสารเพื่อ PUBLISH ข้อความด้วย QOS2	23
2.15	วิธีการสื่อสารของอุปกรณ์ในเครือข่าย	24
2.16	NETPIE AUTHORIZATION ในกรณี PRE-APPROVED KEY	26
2.17	NETPIE AUTHORIZATION ในกรณี THIRD-PARTY KEY	26
2.18	ลำดับการเรียกฟังก์ชั่นพื้นฐานของ MICROGEAR	31
2.19	การทำงาน PHONEGAP BUILD	34
2.20	หน้าต่างของโปรแกรม ARDUINO IDE	35
2.21	ระบบไฮโดรโปรนิกส์แบบ NFT	37
2.22	ระบบไฮโดรโปรนิกส์แบบ DFT	37
2.23	ระบบไฮโดรโปรนิกส์แบบ DRFT	38
2.24	แถบรังสีช่วงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ดี	39
3.1	ภาพรวมการทำงานของระบบ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.2	ระบบหมุนเวียนของน้ำ	42
3.3	กล่องใส่ชุดอุปกรณ์เซนเซอร์	42
3.4	ชุดอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์, รีเลย์และวงจรแปลงไฟ	42
3.5	ชิ้นงานส่วนที่ 1 (TOP VIEW)	43
3.6	ชิ้นงานส่วนที่ 2 (TOP VIEW)	43
3.7	ชิ้นงานส่วนที่ 3 (SIDE VIEW)	44
3.8	FLOW CHART กระบวนการทำงานของ NODEMCU	45
3.9	โมเดลจำลองการวัดระดับน้ำของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค	46
3.10	SCHEMETIC วงจรแบ่งแรงดัน	47
3.11	PCB วงจรแบ่งแรงดันและแสดงลายทองแดงกับการกำหนดตำแหน่งการวางอุปกรณ์	48
3.12	SCHEMETIC บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อเข้ากับเซนเซอร์ชนิดต่างๆ	49
3.13	PCB การกำหนดตำแหน่งการวางไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ต่างๆ	49
3.14	FLOWCHART การทำงานของโมบายแอพพลิเคชัน	52
4.1	ข้อมูลจากเซนเซอร์ DHT22	55
4.2	วิธีการคำนวณหาค่าความชื้นในอากาศจากข้อมูล 16 บิตแรก	56
4.3	วิธีการคำนวณหาค่าอุณหภูมิในอากาศจากข้อมูลบิตที่ 17-32	56
4.4	วิธีการคำนวณหาค่า PARITY BIT เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งมา	57
4.5	กราฟ LINEAR REGRESSION อุณหภูมิในอากาศ	57
4.6	กราฟ LINEAR REGRESSION ความชื้นในอากาศ	58
4.7	ข้อมูลที่ส่งมาจาก LIGHT DIGITAL SENSOR	60
4.8	วิธีการคำนวณข้อมูลที่วัดได้จาก LIGHT DIGITAL SENSOR	60
4.9	ข้อมูลที่ส่งมาจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10	วิธีการคำนวณข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค	61
4.11	การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค	62
4.12	การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคเมื่อนำไปติดตั้งใน โมเดลอุปกรณ์	62 63
4.13	โมเดลจำลองของโครงงาน	64
4.14	โมเดลทดลองปรับระดับแสงไฟทั้ง 6 ระดับ	64
4.15	โมเดลทดลองการเปิดระบบน้ำ	65
4.16	การทำ THREE WAY HANDSHAKE ของ CLIENT และ SERVER	65
4.17	การรีเควสโทเคนและ GET MQTT PROTOCOL	66
4.18	ลักษณะของ PACKET ข้อมูลที่ถูกส่ง	67
4.19	รายละเอียดของเฟรมข้อมูล	67
4.20	ข้อมูลที่ถูกส่งจาก NODEMCU ที่ถูกเข้ารหัส	68
4.21	การทำการจบการเชื่อมต่อ	68
4.22	หน้าแอพพลิเคชันของแพลตฟอร์ม IOS และ ANDROID	69
4.23	การรายงานค่าพารามิเตอร์บนหน้าแอพพลิเคชัน	70
4.24	ตัวเลือกในการควบคุมผ่านแอพพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งานในโหมด อัตโนมัติ	71
4.25	ตัวเลือกการควบคุมโดยผู้ใช้งานบนหน้าแอพพลิเคชัน	71
4.26	การรายงานสถิติผ่านแอพพลิเคชัน	72
5.1	การเปรียบเทียบระหว่างต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกด้วยอุปกรณ์ปลูกพืช และสวนยุคใหม่ (ขวา) กับต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกโดยไม่ใช้อุปกรณ์ ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ (ซ้าย)	75
5.2	การเปรียบเทียบระหว่างต้นกรีนคอสที่ปลูกด้วยอุปกรณ์ปลูกพืชและสวน ยุคใหม่ (ขวา) กับต้นกรีนคอสที่ปลูกโดยไม่ใช้อุปกรณ์ปลูกพืชและสวน ยุคใหม่ (ซ้าย)	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดของแพ็กเกตควบคุมในโปรโตคอล MQTT	18
2.2	รงควัตถุและการตอบสนองต่อแสงในพืชต่างๆ	39
4.1	แรงดันที่วัดได้จากออสซิลโลสโคปเทียบกับวัสดุปลูกแห้ง	59
4.2	แรงดันที่วัดได้จากออสซิลโลสโคปเทียบกับวัสดุปลูกเปียกเต็มที่	59
4.3	การหาค่าความผิดพลาดของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค	63
4.4	การ CALIBRATE และทดสอบกับอุปกรณ์	53
4.5	ขั้นตอนการทำ THREE WAY HANDSHAKE	66
ข-1	การทดสอบคุณภูมิจาก DHT22	94
ข-2	การทดสอบความชื้นจาก DHT22	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยนั้นถือว่าเป็นประเทศหนึ่งที่มีภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ที่เหมาะแก่การเพาะปลูก แต่ในปัจจุบันยกตัวอย่างเช่นกรุงเทพมหานครมีปริมาณพื้นที่สีเขียวในตัวเมืองคิดเป็น 3.49 ตารางเมตรต่อประชากรหนึ่งคน เปรียบเทียบกับประเทศสิงคโปร์ที่มีมากถึง 20 ตารางเมตรต่อประชากรหนึ่งคน เนื่องจากกรุงเทพมหานครนั้นเป็นเมืองที่เต็มไปด้วยตึก, อาคาร, สิ่งก่อสร้างและคอนโดมิเนียม ถ้าหากต้องการสร้างพื้นที่สีเขียวภายในกรุงเทพมหานครคงจะเป็นเรื่องยากเพราะพื้นที่ว่างในตัวเมืองนั้นเหลือน้อยลงทุกที จากการวิจัยถ้าหากขาดพื้นที่สีเขียวไปจะทำให้เกิดผลกระทบต่างๆ มากมายตามมาไม่ว่าจะเป็นผลกระทบทางอากาศหรือผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและผลที่จะเกิดขึ้นตามมาก็คือ อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น, โอกาสที่จะเป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจเพิ่มมากขึ้น, พัฒนาการของสมองของเยาวชนช้าลง หรือที่รุนแรงที่สุดก็คือมีโอกาสที่จะเกิดการเสียชีวิตเฉียบพลันจากผลของมลพิษ ดังนั้นถ้าหากมีอุปกรณ์ที่ช่วยให้คนเมืองที่อาศัยอยู่ตามคอนโดมิเนียมสามารถสร้างพื้นที่สีเขียว ไม่ว่าจะเป็น การปลูกผักปลอดสารพิษ สมุนไพร หรือจะเป็นการปลูกไม้ดอกไม้ประดับเพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับตนเองนั้นเป็นเรื่องที่ง่ายและไม่เสียเวลาจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียวได้โดยเริ่มจากในที่พักโดยเริ่มจากภายในที่พักอาศัยของตนเอง

โดยปกติแล้วผู้คนที่อยากจะปลูกพืชนั้นอาจจะต้องคำนึงถึงการใช้พื้นที่ในการปลูกหรือคำนึงถึงการให้เวลาแก่การปลูกพืชซึ่งมีความยุ่งยาก ทั้งเวลาที่ต้องเสียไปในการดูแล พื้นที่ที่เสียไปในการปลูกต้นไม้ที่ซึ่งมีพื้นที่อย่างจำกัด ถ้าหากมีอุปกรณ์นี้จะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถปลูกพืชได้ในพื้นที่อาศัยเพียงผู้ใช้งานมีพื้นที่เล็กๆ ภายในที่พักอาศัยก็สามารถที่จะปลูกพืชได้ นอกจากนั้นการนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่ไม่ว่าจะเป็น Internet of Things (IoT) และ Mobile Application เข้ามาใช้ควบคู่กับการใช้ชีวิตจะทำให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกสบายสามารถปลูกพืชได้โดยที่การปลูกพืชนั้นไม่ส่งผลกระทบเรื่องเวลาของการใช้ชีวิตของผู้ใช้งาน และการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับโลกนั้นถือเป็นเรื่องสำคัญที่ทุกคนควรตระหนักถึง อุปกรณ์นี้จะเป็นอีกหนึ่งส่วนที่จะสามารถรณรงค์ให้ประชากรนั้นมีแนวโน้มที่จะสร้างพื้นที่สีเขียวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัญหานี้สอดคล้องกับปริญญานิพนธ์ที่ได้ดำเนินการในครึ่งการศึกษาแรก (ระบบสังเกตการณ์และควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนปิดด้วยเทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IoT ผ่าน Mobile Application) นำระบบเก่ามาย่อส่วนลงเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กลงแต่ใช้ระบบเดิมในการทำงานและทำการปรับปรุงให้สอดคล้องกับปัญหาที่ได้กล่าวไปข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนาความสามารถในการปลูกพืชด้วยการนำเซนเซอร์มาวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ความเข้มแสง และระดับน้ำ ประกอบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประโยชน์ในการวัดและควบคุมมาประยุกต์ใช้งาน

2) เพื่อพัฒนาชุดปลูกพืชและสวนยุคใหม่ด้วยการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ไม่ว่าจะเป็น Internet of Thing (IoT) และ Mobile Application มาใช้งานเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการสังเกตการณ์และควบคุมสภาพแวดล้อมในอุปกรณ์

3) เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความสามารถในการปลูกพืชหรือสวนประดับด้วยอุปกรณ์ชุดปลูกพืชและสวนยุคใหม่

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1) การสังเกตการณ์ค่าพารามิเตอร์ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ความเข้มแสง และระดับน้ำ โดยสามารถสังเกตการณ์ค่าที่วัดจาก Microcontroller มาแสดงผลบนหน้า Mobile Application ได้ ทั้งแบบ Real-Time และเลือกค่าเก่าจากการเก็บบนฐานข้อมูลมาแสดงได้

2) การใช้งาน Mobile Application เพื่อควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ LED, การเปิดปิดปั๊มน้ำ, การตั้งค่าระดับความเข้มแสง, การตั้งค่าช่วงเวลาเปิด - ปิดหลอดไฟ LED และปั๊มน้ำ รวมไปถึงการสั่งการให้ชุดอุปกรณ์ทำการควบคุมการทำงานดังกล่าวไว้ข้างต้นแบบอัตโนมัติ โดยสามารถเลือกโหมดการทำงานผ่านทาง Mobile Application ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากปริญญานิพนธ์

1) สามารถนำเซนเซอร์มาปรับเทียบกับเครื่องมือวัดแบบมาตรฐาน เพื่อหาค่าความผิดพลาดในการวัด แล้วนำไป Calibrate ก่อนที่จะนำไปใช้งานในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง และระดับน้ำ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สามารถนำเอาเทคโนโลยี Mobile Application มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกสบายในการควบคุมอุปกรณ์ ไม่ว่าจะเป็นการเปิดปิดหลอดไฟ LED, การเปิดปิดปั๊มน้ำ, การตั้งค่าระดับความเข้มแสง, การตั้งค่าช่วงเวลาเปิด - ปิดหลอดไฟ LED และปั๊มน้ำ หรือสังเกตการณ์ค่าพารามิเตอร์ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ความเข้มแสง และระดับน้ำ

3) สามารถบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้เพื่อเก็บเป็นข้อมูลสถิติและสามารถนำไปวิเคราะห์สภาพแวดล้อมที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ ได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและโครงงานที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเรื่อง ระบบสังเกตการณ์ และจัดเก็บข้อมูลทางการเกษตรผ่านโมบายแอพพลิเคชัน ผู้ศึกษาได้ศึกษาเอกสาร และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อประกอบการวิจัย โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) ฮาร์ดแวร์ 2) โปรโทคอลที่เกี่ยวข้องในการรับส่งข้อมูล 3) โมบายแอพพลิเคชัน 4) ข้อมูลทางเทคนิคในการปลูกพืช ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ฮาร์ดแวร์

2.1.1 NodeMCU

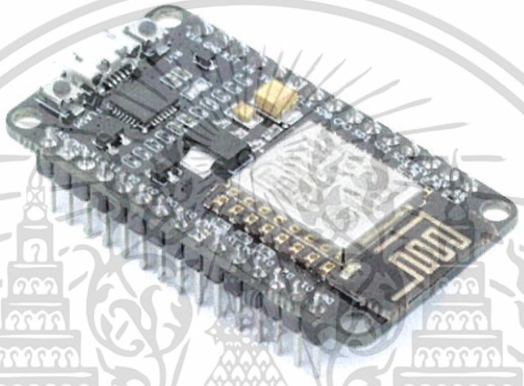
NodeMCU คือ แพลตฟอร์มหนึ่งที่ใช้ช่วยในการสร้างโครงงาน Internet of Things (IoT) ที่ประกอบไปด้วย ตัวบอร์ด (Development Kit) และ ซอร์ฟแวร์บนบอร์ด (Firmware) ที่เป็น Open Source สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lua ได้ ทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น มีโมดูล WiFi (ESP8266) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการใช้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ตัวโมดูล ESP8266 มีอยู่ด้วยกันหลายรุ่นมาก ตั้งแต่รุ่นแรกที่เป็น ESP-01 ไล่ไปเรื่อยๆจนปัจจุบันมีถึง ESP-12 และที่ฝังอยู่ใน NodeMCU รุ่นแรกนั้นก็เป็น ESP-12 แต่ใน รุ่นที่ 2 นั้นจะใช้เป็น ESP-12E แทน ซึ่งการใช้งานโดยรวมก็ไม่แตกต่างกันมากนัก NodeMCU นั้นมีลักษณะคล้ายกับ Arduino ตรงที่มีพอร์ต Input Output built in มาในตัว สามารถเขียนโปรแกรมคอนโทรลอุปกรณ์ I/O ได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์อื่นๆ NodeMCU มีความสามารถหลายอย่างมากโดยเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับ IoT เช่น การทำ Web Server ขนาดเล็ก การควบคุมการเปิดปิดไฟผ่าน WiFi และอื่นๆ อีกมากมาย

2.1.1.1 NodeMCU V2

NodeMCU Development Kit Version 2 เป็นตัวที่พัฒนาจาก NodeMCU เวอร์ชันเดิม โดยเป็นโมดูลที่ประกอบด้วย ESP8266-12E มีเสาอากาศแบบ PCB Antenna เชื่อมต่อเฮดเดอร์สำหรับขาสัญญาณต่างๆ ได้แก่ GPIO, PWM, I2C, 1-wire, ADC และ มี SPI เพิ่มขึ้นมาจากเวอร์ชันเดิม มีส่วนของ USB-to-TTL และพอร์ต Micro USB ซึ่งใช้ชิพ USB to Serial ของ Silicon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

lab cp2102 เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อพัฒนาโปรแกรม รูปร่างลักษณะของ NodeMCU V2 จะแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยเราสามารถติดตั้งเฟิร์มแวร์ NodeMCU ได้และยังมีขนาดของ PCB ที่เล็กลงสามารถใช้งานกับเบรดบอร์ดได้ ผู้ใช้งานสามารถเลือกพัฒนาด้วยสคริปต์ Lau โดยใช้เฟิร์มแวร์ NodeMCU หรือใช้เป็นชุดพัฒนาด้วยโมดูล ESP8266 ก็ได้ซึ่งสามารถเขียนด้วย Arduino IDE ได้ โมดูลมี GPIO ให้ใช้ถึง 10 พอร์ต สามารถนำมาพัฒนาโครงงานทางด้าน Internet of Things (IoT) เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้ตามต้องการ



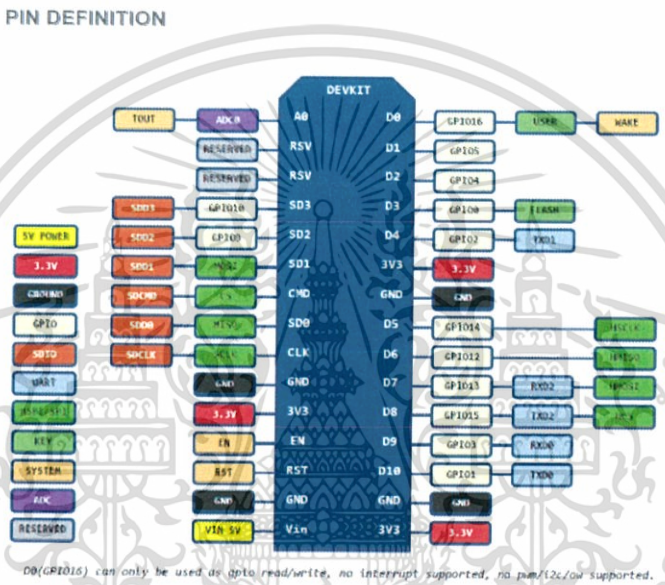
รูปที่ 2.1 NodeMCU V2

2.1.1.2 คุณลักษณะสำคัญของ NodeMCU V2

ใช้โมดูล ESP-12E (ESP8266 SoC Chip) ของบริษัท AI Thinker ใช้ชิป Flash ความจุ 32 เมกกะไบท์ มีขนาดแคบกว่า NodeMCU V1 ดังนั้นเมื่อเสียบขาลงบนเบรดบอร์ด จะมีช่องเหลือด้านข้าง ทำให้สะดวกในการต่อวงจรบนเบรดบอร์ด มีวงจรควบคุมแรงดัน 3.3 V บนบอร์ดใช้ไอซีที่จ่ายกระแสได้มากกว่าบอร์ด NodeMCU V1 ใช้ชิป CP2102 ของ Silabs ทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมต่อ USB-to-Serial มีขาสำหรับ SPI สำหรับต่อกับการ์ด SD (เพิ่มจากเดิมที่มีขาสำหรับ HSPI) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 มีขา GPIO3/RXD0 และ GPIO1/TXD0 ที่ต่อกับขา TXD และ RXD ของชิป CP2102 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 มีขา GPIO13/RXD2 และ GPIO15/TXD2 (ใช้เป็นพอร์ต Serial เพิ่มอีกหนึ่งชุด) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ใช้คอนเนกเตอร์แบบ micro-USB สำหรับจ่ายแรงดันไฟเลี้ยง (VUSB) เท่ากับ +5V และสำหรับดาวน์โหลดเฟิร์มแวร์ (แรงดัน VUSB ต่อผ่าน Schottky

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Diode 1N5819 ไปยัง VDD5V) สามารถจ่ายแรงดันไฟเลี้ยง +5V จากภายนอกได้ (ต่อเข้าที่ขา VDD5V) มีปุ่มกด RST (รีเซตการทำงาน) และ Flash (สำหรับโปรแกรมเฟิร์มแวร์ใหม่) มีขา A0 รับอินพุตแรงดันแบบแอนะล็อกสำหรับวงจร ADC (ขนาด 10 บิต) ที่อยู่ภายในชิป ผ่านวงจรแบ่งแรงดันด้วยตัวต้านทาน 100k / 220k (ลดแรงดันอินพุตจาก 0-3.3V ลงมา ให้อยู่ในช่วง 0V-1V) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของขาต่างๆ บนบอร์ด NodeMCU V2

2.1.1.3 ข้อดีของ NodeMCU

ใช้ทรัพยากรของชิป ESP8266 ได้คุ้มค่ามากกว่าเดิม ผู้ใช้สามารถใช้งานในรูปแบบอื่นๆ นอกเหนือจากการใช้งานเพื่อเชื่อมต่อแบบ Serial-to-WiFi เท่านั้นสามารถเขียนโค้ดโดยใช้ภาษา Lua (NodeMCU v0.9.5 รองรับ Lua 5.1.x แต่ไม่ครบทุกโมดูล) ซึ่งเป็นภาษาประเภท Scripting Language การใช้งานภาษา Lua สำหรับชิป ESP8266 อาจช่วยในการเรียนรู้และพัฒนาโค้ดได้เร็วกว่า การใช้ภาษา C/C++ มีการพัฒนาซอฟต์แวร์มารองรับการใช้งาน อย่างเช่น ESPlorer ทำหน้าที่เป็น Code Editor / IDE (ใช้ได้กับ Windows, Mac OS, Linux) และสามารถอัพโหลดไปยังโมดูลได้เลย สามารถเขียนโค้ดและสร้างเป็นไฟล์ .lua แยกเก็บไว้ภายในหน่วยความจำของโมดูล ESP8266 ได้ ซอฟต์แวร์ และเฟิร์มแวร์ เป็น Open Source และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sourcecode อยู่บน Github.com มีฮาร์ดแวร์หรือบอร์ดที่ใช้ชิป ESP8266 ที่ใช้งานได้ง่าย เช่น NodeMCU DevKit สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์ได้ มีขา I/O ที่ใช้งานกับเบรดบอร์ดได้ ราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับบอร์ด Arduino ทั่วไป ชิป ESP8266 ภายในมี CPU ขนาด 32 บิต ขาลอจิกทำงาน ที่แรงดัน +3.3V ดังนั้น ถ้าเปรียบเทียบกับบอร์ด Arduino Due ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต +3.3V การใช้บอร์ด NodeMCU DevKit มีต้นทุนที่ต่ำกว่ามาก มีอุปกรณ์หลายๆ ประเภทที่ใช้งานที่แรงดัน +3.3V เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น ESP8266 จึงสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เหล่านี้ได้โดยตรง แม้ว่าจะมีขา I/O ให้ใช้งานไม่มาก แต่ ESP8266 ก็เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ โดยใช้ GPIO, SPI, I2C, ADC ได้

2.1.2 เซนเซอร์

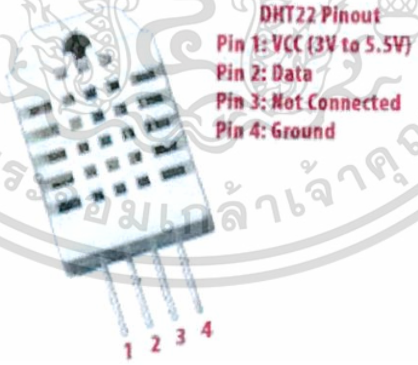
เซนเซอร์ คือ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณหรือปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ เสียง แสง การสัมผัส เป็นต้น ปัจจุบันมีการนำระบบเซนเซอร์มาใช้บนโทรศัพท์มือถือ ในหลายรูปแบบ เช่น G-sensor ระบบตรวจจับความเลื่อนไหว, Accelerometer Sensor ระบบหมุนภาพอัตโนมัติ, Orientation Sensor เซนเซอร์ปรับมุมมองหน้าจอ, Sound Sensor เซนเซอร์ตรวจวัดระดับเสียง, Magnetic Sensor ตรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก, Light Sensor ตรวจจับแสงสว่างสำหรับการปรับแสงบนหน้าจออัตโนมัติ และ Proximity Sensor ระบบเปิดหรือปิดหน้าจออัตโนมัติขณะสนทนาแนบหู เป็นต้น ซึ่งเรามักพบคุณสมบัติเหล่านี้ได้กับโทรศัพท์มือถือ แบบ Smartphone ทั้งในระบบ iOs และ Android OS

2.1.2.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ (DHT22)

โมดูลวัดความชื้นและอุณหภูมิ มีรูปร่างลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.3 โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้ มีย่านวัดความชื้น 0 - 100% RH โดยมีค่าความแม่นยำ +- 5% RH ความละเอียดในการวัด 1 % แสดงผลแบบ 8 บิต มีย่านวัดอุณหภูมิ - 40 ถึง 80 องศาเซลเซียส มีค่าความแม่นยำ +- 2 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการวัด 0.5 องศาเซลเซียส แสดงผลแบบ 8 บิต มีพิน 4 ขาประกอบด้วย ขาแหล่งจ่าย (VDD), ขาข้อมูล (Data), ขาว่าง (NC), ขากราวด์ (GND) ใช้กระแส 0.5 - 2.5 mA ที่ระดับแรงดัน 3 - 5.5 VDC อ่านค่าสัญญาณ (Sample Rate) ทุก 1 วินาที หลักการทำงานวิธีการส่งข้อมูลของ DHT22 คือ ใช้การสื่อสารกับ Microcontroller Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(MCU) โดยจะแสดงดังรูปที่ 2.4 เป็นการส่งแบบ Single-wire Two-way Serial interface คือ เป็นการสื่อสารอนุกรมสองทางโดยใช้สายเส้นเดียว (การสื่อสารแบบนี้จะใช้สายสื่อสารเพียงเส้นเดียวและส่งข้อมูลได้ทั้งจาก MCU ไปที่ตัว DHT22 และในทางกลับกันก็ได้) เราจะเรียก DHT22 ว่า Slave และ NodeMCU ว่า Master การใช้ Pull up resistor นั้นหมายถึงเราต้องการให้เวลาทำงานปกติในขณะที่ไม่มีอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับสายสื่อสารของเรา ระดับแรงดันของสัญญาณในสาย Data คือแรงดันระดับ "สูง" และจะมีแรงดันในระดับต่ำเมื่อมีอุปกรณ์ (จะเป็น Master หรือ Slave ก็ได้) ดึงสัญญาณลงในระดับ "ต่ำ" ดังนั้นหากเรามี Scope วัดระดับสัญญาณได้เป็น "สูง" ตลอดเวลา ก็หมายความว่าอุปกรณ์ของเราอาจจะผิดปกติ ในการสื่อสารโดยใช้สายเส้นเดียวนั้น จำเป็นต้องใช้โปรโทคอลที่ตกลงกันไว้ระหว่างตัว MCU และอุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารด้วย (Slave) อันดับแรก Master หรือ Arduino จะส่ง Start signal ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำอย่างน้อย 18 ไมโครวินาที ไปที่ Slave เพื่อให้ Slave เข้าใจว่าจะเริ่มส่งแล้ว แล้วรอไป 20 - 40 ไมโครวินาที เพื่อรอ Slave ตอบกลับ ทีนี้เพื่อให้ Master รู้ว่า Slave ก็พร้อม Slave จะส่งแรงดันระดับต่ำกลับไปบ้าง การส่งแรงดันจาก Slave กลับไปจะนาน 80 ไมโครวินาที จากนั้นจะรออีก 80 ไมโครวินาที ก่อนที่จะส่งข้อมูลบิตแรกมาบอกว่าพร้อมจะส่งแล้ว



รูปที่ 2.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ

สำหรับการส่งบิตเป็น "0" ตัวSlave จะดึงระดับแรงดันลงต่ำนาน 50 ไมโครวินาที และปล่อยเป็นระดับ "สูง" นาน 26 - 28 ไมโครวินาที (ดูช่วง Sending 0) แต่ถ้าเป็นการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น "1" ตัวส่งจะดึงสายสัญญาณลงระดับต่ำ 50 ไมโครวินาที และปล่อยให้เป็นระดับสูงนาน 70 ไมโครวินาที (ดูช่วง Sending 1 โดยจะมีข้อมูลส่งมาทั้งหมด 40 bit สามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆดังนี้

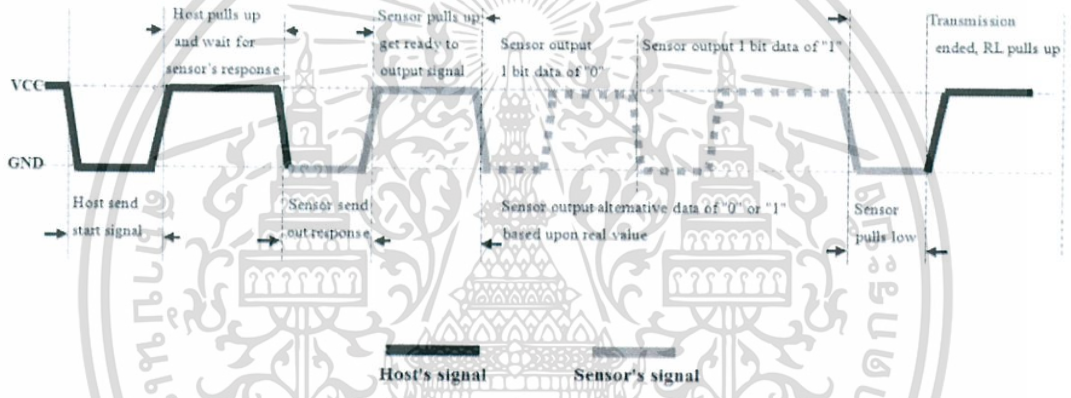
8 bit แรก เป็นข้อมูล ของความชื้น

bit ที่ 9 - 16 คือ ข้อมูล ความชื้นที่เป็นหน่วยทศนิยม

bit ที่ 17 - 24 คือ ข้อมูล อุณหภูมิ

bit ที่ 25 - 32 คือ ข้อมูล อุณหภูมิที่เป็นหน่วยทศนิยม

bit ที่ 33 - 40 คือ Bit เช็คข้อมูล โดยการเอา 8 bit 4 ชุดมาบวกกัน

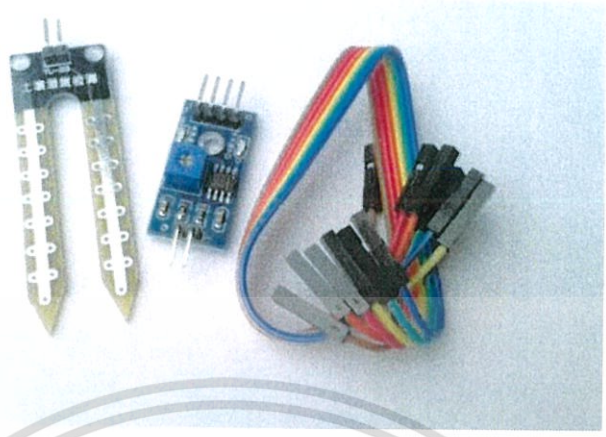


รูปที่ 2.4 การส่งสัญญาณของ DHT 22

2.1.2.2 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

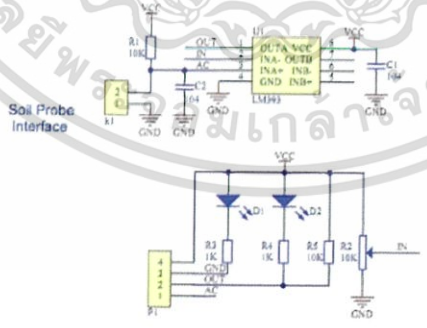
ใช้ในการวัดความชื้นในดินหรือวัสดุที่มีการอุ้มน้ำ สามารถต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้อะแนล็อกอินพุตอ่านค่าความชื้น หรือเลือกใช้สัญญาณดิจิทัลที่ส่งมาจากโมดูล สามารถปรับความไวได้ด้วยการปรับ Trim pot มีรูปร่างลักษณะแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์ดังนี้ ไฟเลี้ยงโมดูล VCC = 3.3V - 5V มีพิน DO คือ Digital Output Interface (0 and 1) AO pin คือ Analog Output Interface GND pin คือ Ground ขนาด 60 x 20 x 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

หลักการใช้งาน คือ จะต้องเสียบแผ่น PCB สำหรับวัดลงดิน เพื่อให้วงจรแบ่งแรงดันทำงานได้ครบวงจร โดยวงจรจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 จากนั้นจึงใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันโดยใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM393 เพื่อวัดแรงดันเปรียบเทียบกันระหว่างแรงดันที่วัดได้จากความชื้นในดินกับแรงดันที่วัดได้จากวงจรแบ่งแรงดัน ปรับค่าโดยใช้ Trim pot หากแรงดันที่วัดได้จากความชื้นของดินมีมากกว่า ก็จะทำให้วงจรปล่อยลอจิก 1 ไปที่ขา D0 แต่หากความชื้นในดินมีน้อย ลอจิก 0 จะถูกปล่อยไปที่ขา D0 ขา A0 เป็นขาที่ต้องโดยตรงกับวงจรความชื้นในดิน ซึ่งให้ค่าแรงดันออกมาตั้งแต่ 0 - 5V (ในทางอุดมคติ) โดยหากความชื้นในดินมีมาก แรงดันที่ปล่อยออกไปก็จะน้อยตามไปด้วย ในลักษณะของการแปรผันกลับ



รูปที่ 2.6 Schematic ของ Soil moisture sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง

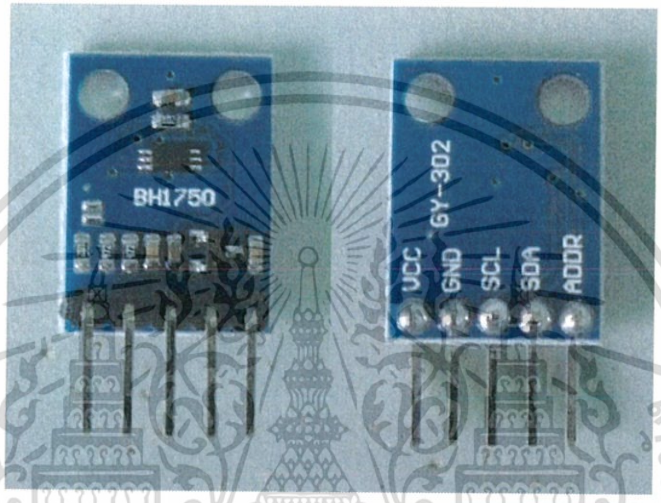
คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ดวัดความเข้มแสง BH1750 ติดตั้งตัวตรวจจับแสงเบอร์ BH1750 บนบอร์ดดังแสดงในรูปที่ 2.7 ภายในมีตัวรับแสงเป็นโฟโต้ไดโอดต่อร่วมกับวงจรขยายสัญญาณ, วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล และวงจรเชื่อมต่อระบบบัส I2C มีตัวต้านทานต่อพูลอัปที่ขาเชื่อมต่อบัส I2C ไว้พร้อม ทำให้เมื่อนำไปเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือ Raspberry Pi ทำงานได้ทันที โดยไม่ต้องต่อตัวต้านทานเพิ่ม ใช้ไฟเลี้ยง +3 ถึง +5 VDC กินกระแสไฟฟ้าต่ำมาก ประมาณ 200 μA เท่านั้น ย่านวัดความเข้มแสงวัดได้ 1 ถึง 65,535 ลักซ์ มีค่าความผิดพลาด 20% มีขนาด 21 x 16 มิลลิเมตร

หลักการทำงานเป็นการสื่อสารผ่านบัส I2C เป็นการสื่อสารแบบ Synchronous & Serial (หมายถึงการส่งข้อมูลทีละบิต และใช้สัญญาณ Clock ในการกำหนดจังหวะการส่งข้อมูล) ข้อดีของการสื่อสารข้อมูลแบบบัส I2C คือ ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น คือ SCL (สายสัญญาณ Serial Clock) และ SDA (สายสัญญาณข้อมูล Serial Data) และเป็นสัญญาณแบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional) มีวงจรภายในสำหรับ I/O แบบ Open-Drain/Open-Collector (เวลาใช้งานต้องมีตัวต้านทานแบบ Pull-up Resistors ต่ออยู่ด้วย)

การสื่อสารข้อมูลตามรูปแบบของบัส I2C โดยฝ่ายหนึ่งจะทำหน้าที่ตามบทบาทที่เรียกว่า I2C Master ซึ่งจะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ และอีกฝ่ายหนึ่งจะเป็น I2C Slave คือ เซนเซอร์วัดแสงของเรา อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น I2C Master จะเป็นฝ่ายเริ่มการสื่อสารข้อมูล และสร้างสัญญาณ SCL มาควบคุมจังหวะ มีอัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ 100kHz และ 400kHz (บางกรณีได้สูงกว่า 1MHz) เมื่อไม่มีการสื่อสารใดๆ สถานะลอจิกของ SCL และ SDA จะเป็น 1 หรือ HIGH เมื่อบัส I2C เริ่มต้นสื่อสาร อุปกรณ์ I2C Master จะส่งบิต Start (หรือเรียกว่า Start Condition) ตามด้วยการส่งไบต์ควบคุม (Control Byte) ออกไปก่อน ซึ่งจะเป็นการระบุหมายเลขของอุปกรณ์ Slave ที่อุปกรณ์ Master ต้องการจะสื่อสารด้วย และในไบต์ดังกล่าวจะมีบิตที่เรียกว่า Read/Write (R/W) Bit สำหรับระบุว่า จะเป็นการเขียนหรืออ่านข้อมูลต่อจากนั้น ถ้าเป็นบิตเขียน (R/W Bit = 0) อุปกรณ์ Master จะส่งข้อมูลไบต์ไปยังอุปกรณ์ Slave เท่านั้น แต่ถ้าเป็นบิตอ่าน (R/W Bit = 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปจะเป็นการรับข้อมูลไบต์จากอุปกรณ์ Slave เพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นในการรับส่งข้อมูลแต่ละไบต์ ฝ่ายรับจะต้องทำการส่งบิตที่เรียกว่า ACK (Acknowledge) Bit ซึ่งจะต้องเป็นลอจิก 0 (ดึงสัญญาณ SDA ลง GND) เมื่อ SCL เป็น 1 เพื่อแจ้งให้ฝ่ายส่งทราบว่าได้รับข้อมูลไบต์แล้ว และพร้อมจะทำงานต่อไป ถ้าจบการสื่อสารก็จะต้องส่งบิต Stop (หรือเรียกว่า Stop Condition)



รูปที่ 2.7 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง BH1750

2.1.2.4 เซนเซอร์วัดระยะห่างด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค

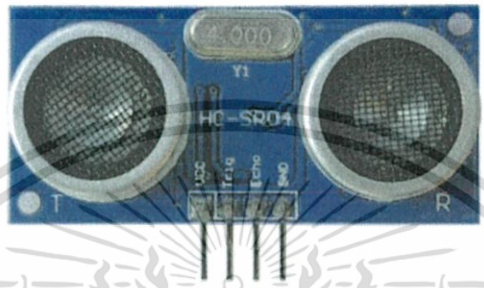
ในปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเซนเซอร์วัดระยะห่างด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคมาประยุกต์ใช้หาระยะความสูงของน้ำภายในแท้งค์ ซึ่งมีข้อมูลเชิงเทคนิคดังนี้

1) ใช้แรงดัน +5 Volt
2) ใช้กระแส 15 mA
3) ความกว้างเชิงมุมในการวัด 15 องศา
4) ความกว้างของสัญญาณ Pulse สำหรับ Trigger 10 ไมโครเซค
5) ระดับแรงดันลอจิกสำหรับขา TRIG กับ ECHO 5V TTL

หลักการทำงานของของโมดูลวัดระยะห่างด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค คือ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดระยะห่างด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค (ใช้คลื่นเสียงความถี่ ประมาณ 40kHz) มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองส่วนหลักคือ ตัวส่งคลื่นที่ทำหน้าที่สร้างคลื่นเสียงออกไปในการวัดระยะแต่ละครั้ง ("Ping") แล้วเมื่อไปกระทบวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง คลื่นเสียงถูกสะท้อนกลับมายังตัวรับแล้วประมวลผลด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในโมดูล ถ้าจับเวลาในการเดินทางของคลื่นเสียงในทิศทางไปและกลับ และถ้าทราบความเร็วเสียงในอากาศ ก็จะสามารถคำนวณระยะห่างจากวัตถุกีดขวางได้



รูปที่ 2.8 เซนเซอร์วัดระยะห่างด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค (HC-SR04)

จากรูปที่ 2.8 โมดูล HC-SR04 ทำงานที่แรงดันประมาณ +5V (4.5V ถึง +5.5V) โดยป้อนให้ขา VCC และ GND โมดูลนี้ มีขาสัญญาณดิจิทัล TRIG (อินพุต) และ ECHO (เอาต์พุต) ที่นำไปเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ อย่างเช่น Arduino ในการวัดระยะห่างแต่ละครั้ง จะต้องสร้างสัญญาณแบบ Pulse ที่มีความกว้าง (Pulse Width) อย่างน้อย 10 ไมโครเซค ป้อนให้ขา TRIG และหลังจากนั้นให้วัดความกว้างของสัญญาณช่วง HIGH จากขา ECHO ถ้าวัตถุอยู่ใกล้ ความกว้างของสัญญาณ Pulse ที่ได้ก็จะน้อย แต่ถ้าวัตถุอยู่ไกลออกไป ก็จะได้ค่าความกว้างของสัญญาณ Pulse ที่มากขึ้น

2.1.3 รีเลย์

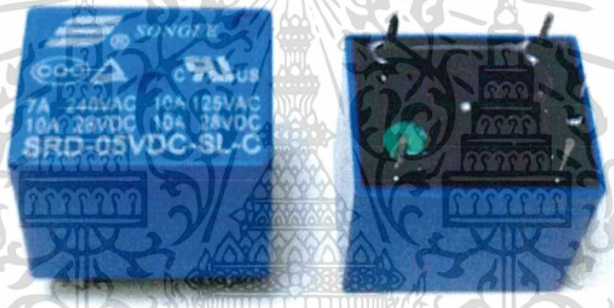
เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสภาวะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ ในการควบคุมวงจรต่างๆ หลักการทำงานของรีเลย์ รีเลย์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนหลักก็คือ

1) ส่วนของขดลวด (Coil) เหนี่ยวนำกระแสต่ำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แกนโลหะไปกระทุ้งให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากภายนอกต่อคร่อมที่ขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนี่ยวนำนี้ เมื่อขดลวดได้รับแรงดัน (ค่าแรงดันที่รีเลย์ต้องการขึ้นกับชนิดและรุ่นตามที่ผู้ผลิตกำหนด) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้แกนโลหะด้านในไปกระทุ้งให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน

2) ส่วนของหน้าสัมผัส (Contact) ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์จ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์ที่เราต้องการนั่นเองจุดต่อใช้งานมาตรฐาน ประกอบด้วย จุดต่อ NC ย่อมาจาก Normal Close หมายความว่าปกติปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา จุดต่อ NO ย่อมาจาก Normal Open หมายความว่าปกติเปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิด จุดต่อ C ย่อมากจาก Common คือ จุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 2.9 รีเลย์ 5V เป็นแบบ SPDT (Single Pole Double Throw)

จากรูปที่ 2.9 เป็นรีเลย์สวิตช์แบบสองทาง เปลี่ยนสลับการต่อเพื่อให้กระแสไหลผ่านได้ไปทางตำแหน่งที่เลือก สวิตช์สองทางบางแบบจะมีสามตำแหน่ง โดยตำแหน่งกลางไม่ต่อ (Off) ตำแหน่งจึงเป็น เปิด - ปิด - เปิด (On - Off - On)

2.1.4 แหล่งจ่ายพลังงาน

แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้า ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากรูปแบบหนึ่ง ไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง แม้ว่ามันจะยังอาจหมายถึง อุปกรณ์ที่แปลงพลังงานรูปแบบหนึ่ง (เช่นพลังงานกล, พลังงานเคมี, พลังงานแสงอาทิตย์) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แหล่งจ่ายไฟแบบควบคุมได้ (Regulated Power Supply) สามารถควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันหรือกระแสเอาต์พุตให้มีค่าที่คงที่แน่นอน แม้ว่าโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่พลังงานที่อินพุทก็ตาม แหล่งจ่ายไฟทุกตัวต้องได้รับพลังงานจากแหล่งพลังงานภายนอกเพื่อจ่ายให้โหลดและการบริโภคพลังงานของตัวมันเองในขณะที่ปฏิบัติงาน แหล่งพลังงานภายนอกจะขึ้นอยู่กับการออกแบบ แหล่งจ่ายไฟอาจจะได้รับพลังงาน จาก

1) ระบบสายส่งพลังงานไฟฟ้า อาจเป็นกระแสสลับ หรือกระแสตรงที่ได้จากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับให้เป็นกระแสตรง
2) อุปกรณ์จัดเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ และเซลล์เชื้อเพลิง
3) ระยะเวลาการใช้งานได้นานเท่าใดโดยไม่ต้องเติมเชื้อเพลิงหรือชาร์จประจุใหม่

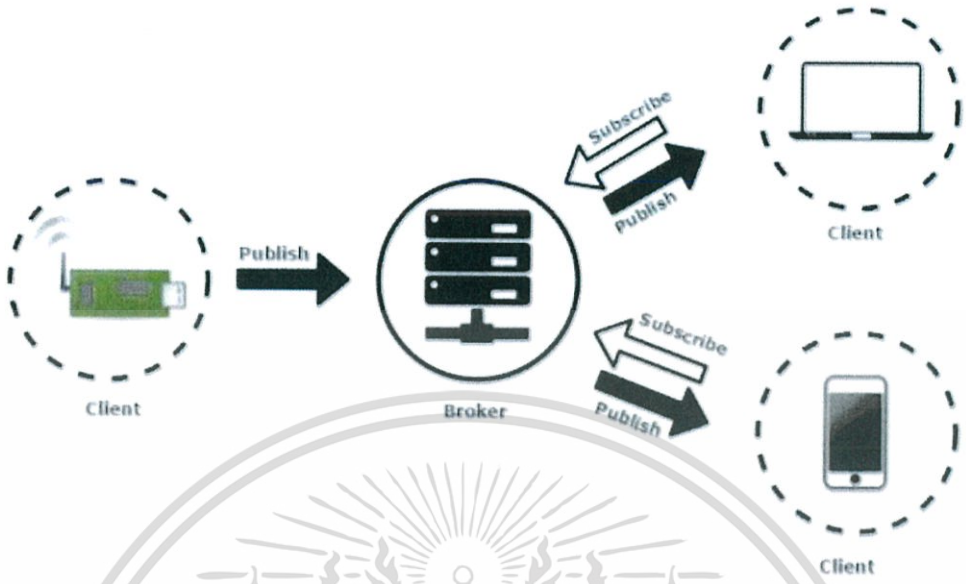
2.2 โปรโทคอลที่เกี่ยวข้องกับการรับ-ส่งข้อมูล

ในการรับส่งของข้อมูลในโครงงานนี้เลือกใช้งานโปรโทคอลตามความเหมาะสมของการรับส่งข้อมูล ณ ที่นี้เลือกใช้งานโปรโทคอลที่มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและใช้พลังงานต่ำ รวมไปถึงการใช้แบนด์วิดธ์อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

2.2.1 MQTT Protocol

MQTT เป็นโพรโทคอลสื่อสารชั้นแอปพลิเคชันที่รันบน TCP/IP ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1999 โดย IBM และ Eurotech สำหรับการมอนิเตอร์สถานะท่อส่งน้ำมันส่วนที่วางผ่านเขตทะเลทราย ด้วยการออกแบบให้เป็น การรับส่งข้อความที่มีน้ำหนักเบามากและเป็นโพรโทคอลเปิด ทำให้ในปัจจุบัน MQTT ถูกนำมาใช้ แพร่หลายในการสื่อสารแบบ M2M หรือ IoT เพราะเหมาะสมกับอุปกรณ์ปลายทางที่มีขนาดเล็ก พลังงานจำกัด หรือในการสื่อสารระยะไกลที่ต้องการการใช้งานแบนด์วิดธ์อย่างมีประสิทธิภาพ โมเดลการสื่อสารของโพรโทคอลแสดงดังรูปที่ 2.10 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ไคลเอนต์ และโบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 โมเดลการสื่อสารของโปรโทคอล MQTT

โบรกเกอร์ เป็นจุดศูนย์กลางในการรับส่งข้อความระหว่างไคลเอนต์ วิธีการกำหนดเส้นทาง (Routing) กระทำผ่าน Topic โดยไคลเอนต์ Subscribe ใน Topic ที่ตนต้องการ จากนั้นโบรกเกอร์จะส่งข้อความทั้งหมดที่ถูก Publish ใน Topic นั้นๆ ไปให้ ดังนั้นไคลเอนต์จึงสื่อสารกันได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้จักกัน ช่วยลดความเกี่ยวพันระหว่างผู้สร้างข้อมูล และผู้ใช้ข้อมูล ส่งผลให้การขยายตัวของเครือข่ายทำได้ง่าย นอกจากนี้หน้าที่ที่สำคัญอีกประการของโบรกเกอร์ คือการรักษาความปลอดภัยของไคลเอนต์ (Authorization, Authentication) ซึ่งในส่วนนี้สามารถขยายเพิ่มเติมหรือนำไปเชื่อมกับกลไกความปลอดภัยของระบบหลังบ้านที่มีอยู่แล้วได้ ช่วยให้นำโบรกเกอร์เข้าไปใช้งานเป็นส่วนหนึ่งของระบบอื่นๆ ได้ ส่วน Authorization ของ NETPIE ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไปในหัวข้อที่ 2.2.2 ก็ถือเป็นตัวอย่างหนึ่งของการขยาย เพิ่มเติมการรักษาความปลอดภัยของโบรกเกอร์ ใน MQTT ปัจจุบันมีโบรกเกอร์ MQTT ที่เปิดให้ดาวน์โหลด ไปใช้หรือดัดแปลงอยู่หลายรายได้แก่ Mosquitto, RabbitMQ, Erlang, VerneMQ ฯลฯ

ไคลเอนต์จะเป็นได้ทั้ง Publisher หรือ Subscriber หรือ Publisher/Subscriber พร้อมๆ กัน และจะเป็นอุปกรณ์ใดๆ ก็ได้ที่สามารถรัน MQTT Client Library บน TCP/IP Stack การที่ MQTT ใช้โมเดล Publish/Subscribe ตรรกะส่วนใหญ่จึงไปตกอยู่ในฝั่งโบรกเกอร์ ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Library มีขนาดเล็ก ติดตั้งได้ง่าย ใช้งานได้กับอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด ไคลเอนต์จำเป็นต้องเปิดการเชื่อมต่อ TCP ไว้ตลอดเพื่อที่โบรกเกอร์ จะสามารถผลักข้อความไปให้ได้ หากการเชื่อมต่อถูกตัดขาด โบรกเกอร์จะเก็บข้อความทั้งหมดที่เข้ามาไว้ จนกว่าไคลเอนต์จะกลับมาออนไลน์อีกครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบโปรโทคอล MQTT กับ HTTP (REST) ที่มีสถาปัตยกรรมแบบ Request/Response จะพบว่า MQTT มีความได้เปรียบที่โบรกเกอร์สามารถผลัก (Push) ข้อความไปยังไคลเอนต์ได้ตามเหตุการณ์ (Eventdriven) ในขณะที่เมื่อใช้ HTTP ฝั่งไคลเอนต์ต้องคอยโพลข้อมูลเป็นระยะๆ และต้องตั้งค่าคาบเวลาการโพล ไว้ก่อนล่วงหน้า โดยแต่ละครั้งต้องมีการสร้างการเชื่อมต่อขึ้นใหม่ และอาจจะไม่มีข้อมูลใหม่ใดๆ ให้อัพเดท ดังนั้นหากต้องการให้ระบบทำงานแบบ Real Time หรือใกล้เคียง ย่อมหมายถึงต้องตั้งคาบเวลาการโพลให้สั้น และความสิ้นเปลืองของการใช้ช่องสัญญาณที่ไม่จำเป็นที่ตามมา นี่จึงเป็นอีกเหตุผลสำคัญที่ทำให้ MQTT ได้รับความนิยมเหนือ REST สำหรับการใช้งานแบบ M2M นอกเหนือจากการมีน้ำหนักเบา

MQTT Topic เป็น UTF-8 String ในลักษณะเดียวกับ File Path คือสามารถจัดเป็นลำดับชั้นได้ด้วย การขั้นด้วย “/” ตัวอย่างเช่น myhome/floor-one/room-c/temperature ไคลเอนต์สามารถเลือก Publish หรือ Subscribe เฉพาะ Topic หรือ Subscribe หลาย Topic พร้อมๆ กันโดยใช้ Single-Level Wildcard (+) เช่น myhome/floor-one/+/temperature หมายถึงการขอเขียนหรือรับข้อความ temperature จากทุกๆ ห้องของ myhome/floor-one หรือ Multi-Level Wildcard (#) เช่น myhome/floor-one/# หมายถึงการขอ เขียนหรือรับข้อความทั้งหมดที่มี Topic ขึ้นต้นด้วย myhome/floor-one เป็นต้น

แพ็กเกตควบคุม (Control Packets) ทั้งหมดที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างโบรกเกอร์กับไคลเอนต์ใน MQTT มีทั้งสิ้น 14 ชนิด แสดงไว้ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ชนิดของแพ็กเกตควบคุมในโพรโทคอล MQTT

แพ็กเกตควบคุม	ผู้ส่ง		อธิบาย
	โบรคเกอร์	ไคลเอนต์	
CONNECT		X	ขอเชื่อมต่อ
CONNACK	X		รับทราบการขอเชื่อมต่อ
PUBLISH	X	X	ข้อความที่จะขอ Publish
PUBACK	X	X	แจ้งว่าได้ Publishแล้ว (QoS Level 1)
PUREC	X	X	แจ้งว่าได้ Publishแล้ว (QoS Level 2)
PUBREL	X	X	รับทราบว่าข้อความถูก Publish แล้ว และลบให้อีกผู้รับลบค่าสถานะได้ (QoS Level 2)
PUBCOM	X	X	แจ้งว่า Publish เสร็จสิ้นและสถานะถูก ลบ (QoS Level 2)
SUBSCIRBE		X	ขอ Subscribe
SUBACK	X		รับทราบการขอ Subscribe
UNSCUBSCRIBE		X	ขอยกเลิก Subscribe
UNSUBACK	X		รับทราบการขอยกเลิก Subscribe
PINGREQ		X	PING Request
PINGRESP	X		PING Response
DISCONNECT		X	ขอยกเลิกการเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อ MQTT จะเริ่มต้นจากฝั่งไคลเอนต์ส่งแพ็กเกตควบคุม CONNECT ไปยังโบรกเกอร์ โบรกเกอร์จะตอบรับด้วยแพ็กเกตควบคุม CONNACK วิธีนี้ช่วยแก้ปัญหาไคลเอนต์ที่ติดตั้งอยู่หลังเราท์เตอร์ หรือไม่มีเลขไอพีสาธารณะ เพราะโบรกเกอร์มีเลขไอพีสาธารณะ และจะรักษาการเชื่อมต่อสองทางไว้ตลอด หลังจากได้รับแพ็กเกตควบคุม CONNECT หากโบรกเกอร์พบว่าแพ็กเกต CONNECT ที่ได้รับไม่ถูกต้อง หรือไคลเอนต์ใช้เวลานานเกินไปนับตั้งแต่เปิดซ็อกเก็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกระทั่งเริ่มส่งแพ็กเกต โบรกเกอร์จะปิดการเชื่อมต่อ เพื่อป้องกันไคลเอนต์ไม่ประสงค์ดีที่ต้องการถ่วงการทำงานของโบรกเกอร์

ไคลเอนต์จะเป็นผู้ระบุค่าการเชื่อมต่อในแพ็กเกตควบคุม CONNECT ค่าเหล่านี้ได้แก่

1) Client ID เพื่อให้โบรกเกอร์ใช้ระบุตัวตนของไคลเอนต์ และเก็บค่าสถานะเซสชันได้แก่ Subscriptions และข้อความทั้งหมดที่ไคลเอนต์ยังไม่ได้รับไว้ให้ (ส่วนนี้เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าระดับ QoS ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป) ดังนั้น Client ID จึงจำเป็นที่จะต้องไม่ซ้ำกัน แต่หากไม่ต้องการให้โบรกเกอร์เก็บค่าสถานะไคลเอนต์ สามารถเว้นส่วนนี้ว่างไว้ได้

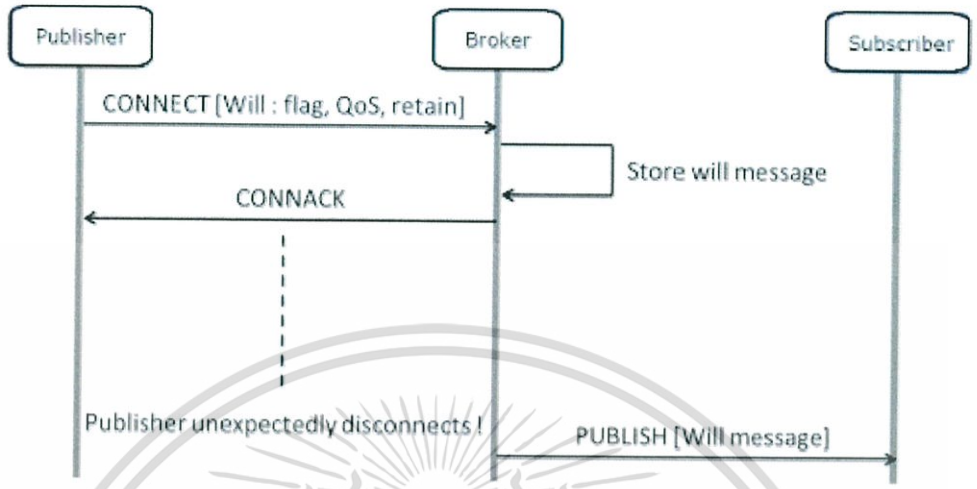
2) Clean Session มีค่า True หรือ False เพื่อระบุว่าไคลเอนต์ต้องการให้โบรกเกอร์รักษาค่า สถานะของเซสชันไว้ให้หรือไม่ หากต้องการ ให้ระบุค่าเป็น False หากไม่ ให้ระบุค่าเป็น True ดังนั้นหากไคลเอนต์ไม่ระบุค่า Client ID ในแพ็กเกต CONNECT จะต้องระบุ Clean Session เป็น True ด้วย มิฉะนั้นโบรกเกอร์จะไม่รับการเชื่อมต่อ

3) Username และ Password เพื่อให้โบรกเกอร์ใช้ในการ Authentication และ Authorization ซึ่งตามมาตรฐานปัจจุบัน (MQTT 3.1.1) โปรโทคอล MQTT เองไม่มีการเข้ารหัสหรือแฮช ในส่วนนี้กล่าวคือ Username/Password จะถูกส่งเป็น Plaintext ดังนั้นจึงมีข้อควรระวังในการ ใช้ MQTT หากไม่มีชั้นความปลอดภัยเพิ่มเติมเช่น TLS ในชั้นทรานสปอร์ต

4) Last Will Topic, Last Will QoS และ Last Will Message มีไว้ให้โบรกเกอร์ Publish ข้อความสั่งเสียสุดท้าย (Last Will Message) ไปยัง Topic ที่ระบุ (Last Will Topic) เพื่อให้ไคลเอนต์อื่นรับรู้ในกรณีการเชื่อมต่อของไคลเอนต์รายนี้ขาดลงแบบไม่เจตนาโดยแสดงผังการรับส่งข้อมูลได้ดังรูปที่ 2.11

5) Keep Alive เป็นค่าตัวเลขคาบเวลาที่ไคลเอนต์ตกลงกับโบรกเกอร์ว่าจะส่งแพ็กเกตควบคุม PINGREQ มาเป็นระยะๆ ซึ่งโบรกเกอร์จะตอบด้วยแพ็กเกต PINGRESP เพื่อให้ทั้งสองฝ่าย รับรู้ว่าการเชื่อมต่อยังคงอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ผังการรับส่งข้อความสั่งเสียสุดท้าย Last Will Message

ไคลเอนต์ Publish ข้อความ โดยบรรจุลงในส่วน Payload ของแพ็กเกตควบคุม PUBLISH ซึ่งจะต้อง ระบุ Packet ID, ชื่อ Topic, ระดับของ QoS, Duplicate Flag และ Retain Flag โบรกเกอร์จะตอบกลับด้วยแพ็กเกต PUBACK หรือ PUBREC ขึ้นอยู่กับระดับ QoS ที่ระบุในแพ็กเกต PUBLISH ในทางกลับกันเมื่อต้องการรับข้อมูล ไคลเอนต์ส่งแพ็กเกตควบคุม SUBSCRIBE ไปยังโบรกเกอร์ โดยระบุรายชื่อ Topic ที่ ต้องการ ซึ่งอาจมีได้มากกว่าหนึ่ง และสามารถเลือกตั้งค่าระดับ QoS ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละ Topic และโบรกเกอร์จะตอบด้วยแพ็กเกต SUBACK โดยยืนยันค่าระดับ QoS ของแต่ละ Topic ที่ไคลเอนต์ขอ Subscribe กลับมาอีกครั้ง หาก Topic ใดที่ไม่อนุญาตหรือไม่ปรากฏบนโบรกเกอร์ โบรกเกอร์จะตอบกลับด้วยค่า 128 แทนที่ค่าระดับ QoS

เมื่อไคลเอนต์ต้องการยกเลิกการรับข้อมูล ทำได้โดยการส่งแพ็กเกตควบคุม UNSCRIBE ไปยังโบรกเกอร์ โดยระบุรายชื่อ Topic ที่ต้องการบอกเลิกในคราวเดียวกันได้มากกว่าหนึ่ง โบรกเกอร์จะยืนยันการยกเลิกด้วยแพ็กเกต UNSUBACK

เมื่อไคลเอนต์ต้องการเลิกการเชื่อมต่อ ทำได้โดยการส่งแพ็กเกตควบคุม DISCONNECT ไปยังโบรกเกอร์ หากไคลเอนต์ CONNECT โดยตั้งค่า Clean Session เป็น True โบรกเกอร์จะยกเลิก Subscription ทั้งหมดของไคลเอนต์ให้เองโดยอัตโนมัติ ในทางกลับกันหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Clean Session เป็น False โบรกเกอร์จะยังคง เก็บค่าต่างๆ ของเซสชันไว้ เมื่อไคลเอนต์เชื่อมต่อเข้ามาใหม่ด้วย Client ID เดิม จึงไม่จำเป็นต้องเริ่ม Subscribe ใหม่อีกครั้ง

MQTT Quality of Service (QoS) ไคลเอนต์จะเป็นผู้กำหนดระดับของบริการส่งและรับข้อความหรือ QoS ที่ตนต้องการในแต่ละ Topic ในแพ็กเกต PUBLISH หรือ SUBSCRIBE และโบรกเกอร์จะตอบสนองด้วย QoS ระดับเดียวกันสำหรับ Topic นั้นๆ

QoS ใน MQTT แบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ

1) อย่างมากหนึ่งครั้ง (At Most Once) แทนด้วยโค้ด 0

QoS 0 เป็นระดับบริการที่ต่ำที่สุด กล่าวคือไม่รับประกันว่าข้อความจะถูกส่งถึงผู้รับใดๆ เลยหรือไม่ หากไคลเอนต์ Publish ข้อความด้วย QoS 0 โบรกเกอร์จะไม่มีการตอบรับใดๆ ว่าได้ Publish ต่อไปให้ผู้รับ รายอื่นหรือไม่ หากไม่มีผู้รับข้อความ โบรกเกอร์อาจเก็บข้อความไว้หรือลบทิ้งก็ได้ ขึ้นอยู่กับนโยบายของผู้ให้บริการเซิร์ฟเวอร์ ในทางกลับกันหากไคลเอนต์ที่เป็นผู้รับ Subscribe ไว้ด้วย QoS 0 เมื่อได้รับข้อความจากโบรกเกอร์ก็ไม่ต้องส่งข้อความตอบรับใดๆ กลับ ทำให้การส่งข้อความแบบนี้รวดเร็วที่สุด เพราะไม่มีโอเวอร์เฮดในการตอบรับ ขณะเดียวกันหากข้อความถูกส่งไม่ถึงก็ไม่มีทางทราบได้เช่นกัน โดยแสดงผังการสื่อสารในรูปแบบ QoS 0 ได้ดังรูปที่ 2.12

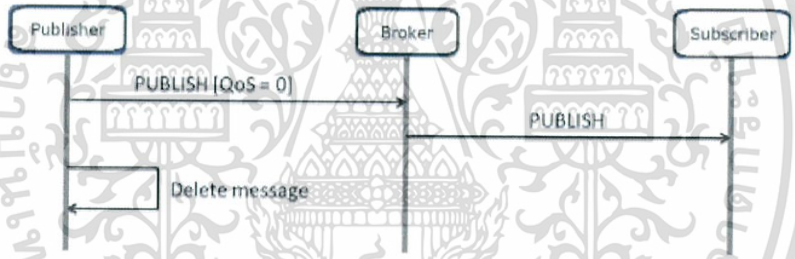
2) อย่างน้อยหนึ่งครั้ง (At Least Once) แทนด้วยโค้ด 1

QoS 1 รับประกันว่าข้อความจะถูกส่งถึงผู้รับอย่างน้อยหนึ่งครั้ง การส่งลักษณะนี้ ผู้ส่งจะเก็บข้อความเอาไว้ จนกว่าจะได้รับแพ็กเกต PUBACK จากผู้รับ ในกรณีไคลเอนต์ขอ Publish ผู้รับข้อความซึ่งเป็นโบรกเกอร์จะต้อง Publish ต่อไปยังไคลเอนต์ที่ Subscribe ไว้อย่างน้อยหนึ่งครั้ง จึงจะสามารถส่งแพ็กเกตตอบรับไปกลับยังผู้ส่ง ในกรณี Subscribe ผู้ส่งซึ่งก็คือโบรกเกอร์จะต้องเก็บข้อความไว้จนกว่า ไคลเอนต์ที่ตนส่งข้อความไปให้จะยืนยันตอบรับ ดังนั้นแพ็กเกต PUBACK จึงต้องมีหมายเลขไอดีเดียวกับแพ็กเกต PUBLISH เพื่อให้ผู้ส่งทราบว่าข้อความใดถูกส่งถึงแล้ว และสามารถลบออกได้โดยแสดงผังการสื่อสารในรูปแบบ QoS 1 ได้ดังรูปที่ 2.13

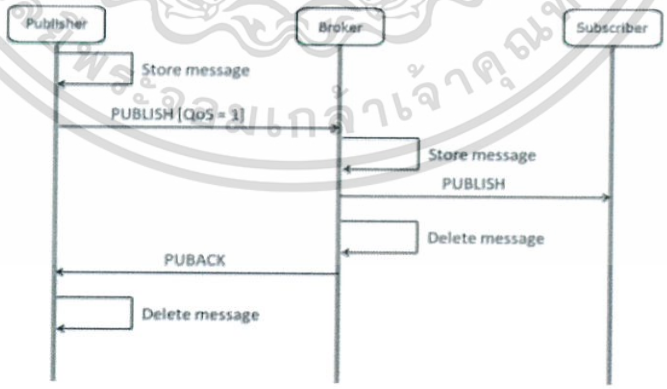
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) หนึ่งครั้งเท่านั้น (Exactly Once) แทนด้วยโค้ด 2

QoS 2 รับประกันว่าแต่ละข้อความจะถูกส่งถึงผู้รับเพียงหนึ่งครั้งเท่านั้น เป็นบริการที่ปลอดภัยที่สุด และช้าที่สุดของโปรโทคอล MQTT เนื่องจากผู้รับและผู้ส่งต้องส่งแพ็กเกตควบคุมไปกลับถึงสองรอบ เริ่มต้นด้วยผู้ส่งส่งข้อความไปในแพ็กเกต PUBLISH เมื่อผู้รับได้รับข้อความจะเก็บแพ็กเกตไว้และยืนยันกลับไปยังผู้ส่งด้วยแพ็กเกต PUBREC ผู้ส่งจึงสามารถลบข้อความนั้นของจากหน่วยเก็บข้อมูลของตนได้ และส่งแพ็กเกต PUBREL ไปยังผู้รับเพื่อให้ผู้รับสามารถลบสถานะการส่งข้อความนี้ออกได้ หากผู้รับเป็นไคลเอนต์ ปลายทางที่ Subscribe ข้อความเอาไว้ ผู้รับจะส่งแพ็กเกต PUBCOM เพื่อยืนยันว่าข้อความถูกส่งถึงแล้วเรียบร้อยหนึ่งครั้ง หากผู้รับเป็นโบรกเกอร์ ทันทีที่ได้ Publish ข้อความต่อไปยังไคลเอนต์ปลายทางหนึ่งครั้ง จึงจะลบข้อความนั้นออก และปิดเซสชันด้วยการส่งแพ็กเกต PUBCOM กลับไปยังผู้ส่ง โดยแสดงผังการสื่อสารในรูปแบบ QoS 2 ได้ดังรูปที่ 2.14

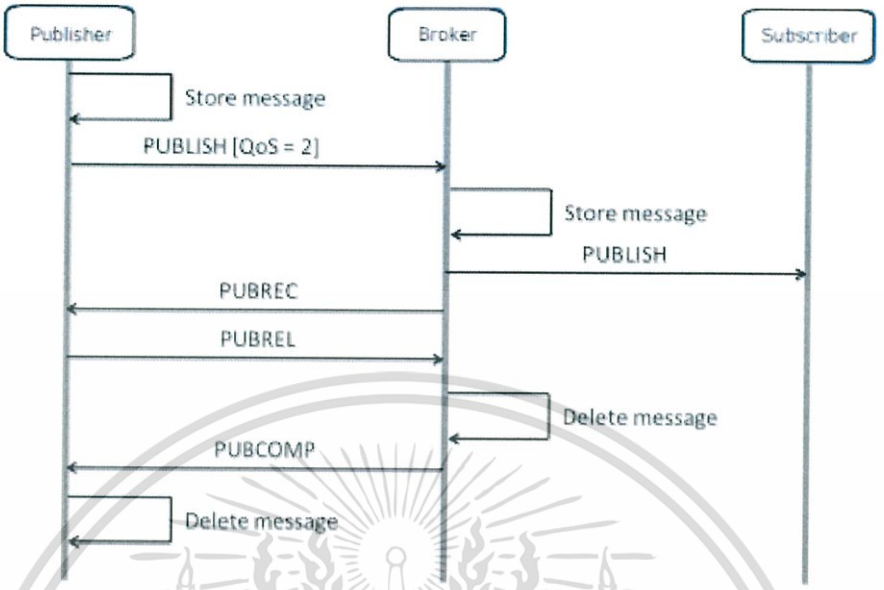


รูปที่ 2.12 ผังการสื่อสารเพื่อ Publish ข้อความด้วย QoS 0



รูปที่ 2.13 ผังการสื่อสารเพื่อ Publish ข้อความด้วย QoS 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ผังการสื่อสารเพื่อ Publish ข้อความด้วย QoS 2

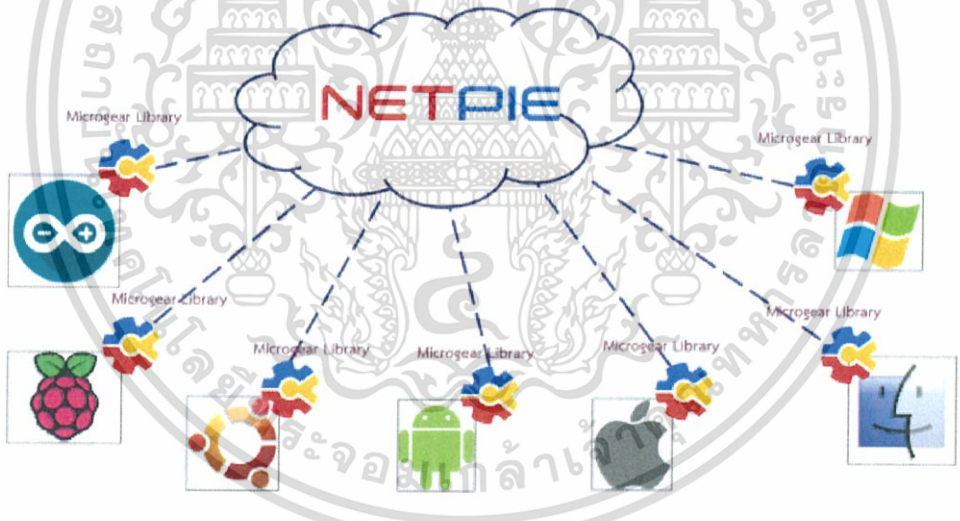
Retained Messages เมื่อไคลเอนต์ Publish ข้อความแบบ Retained Message โดยการตั้ง Retain Flag เป็น True จะทำให้โบรกเกอร์เก็บข้อความนั้นไว้ใน Topic ที่ระบุอย่างถาวร จนกว่าจะมี Retained Message อื่นที่ถูก Publish ภายหลังมาเก็บแทนที่ โดยโบรกเกอร์จะเก็บ Retained Message ไว้ให้เพียง Topic ละหนึ่งข้อความ ดังนั้นทุกครั้งที่มีไคลเอนต์ Subscribe เข้ามาใหม่ ก็จะได้รับ Retained Message ทันที ไม่ต้องรอจนกว่าจะมี Publication ใหม่เกิดขึ้น จึงมองได้ว่า Retained Message คือข้อมูลสุดท้ายที่ Subscriber ทุกรายควรต้องทราบ ดังนั้น Retained Message จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับการอัพเดทสถานะ หากไคลเอนต์ต้องการลบ Retained Message ใน Topic ใดๆ ก็สามารถทำได้ไม่ยากด้วยการส่งแพ็กเกต PUBLISH ที่ไม่มี Payload และตั้ง Retain Flag เป็น True ไปยัง Topic นั้นๆ หรือหากมีข้อมูลจะอัพเดท ก็ไม่มีความจำเป็นต้องลบ Retained Message เก่าออกก่อน แต่สามารถส่ง Retained Message เข้าไปเขียนทับได้เลย

2.2.2 NETPIE Distributed MQTT Broker

NETPIE เป็น IoT (Internet of Things) Cloud Platform ที่พัฒนาขึ้นมาโดยทีมงานวิจัย NECTEC และเปิดให้บุคคลทั่วไปใช้งานโดยมี Web Portal ที่ให้สามารถลงทะเบียนและจัดการตัวตนและสิทธิของแอปพลิเคชัน และอุปกรณ์ได้ที่เว็บไซต์ https://netpie.io ตั้งแต่เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันยายน 2558 เป็นต้นมา NETPIE เป็น Middleware ที่มีหัวใจหลัก (นอกเหนือจากส่วนอื่นๆ) เป็น Distributed MQTT brokers ซึ่งเป็นเสมือนจุดนัดพบให้สิ่งต่างๆ (Things) มาติดต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันผ่านวิธีการส่งข้อความแบบ Publish/Subscribe NETPIE มีโครงสร้างสถาปัตยกรรมเป็นคลาวด์อย่างแท้จริงในทุกองค์ประกอบ ทำให้สามารถขยายตัวได้อย่างอัตโนมัติ (Auto-scale) สามารถดูแล และซ่อมแซมตัวเองได้อัตโนมัติเมื่อส่วนหนึ่งส่วนใดในระบบมีปัญหา (Self-healing, Self-recovery) โดยไม่ต้องพึ่งผู้ดูแลระบบ การบริหารจัดการระบบเป็นแบบ Plugand - Play ไม่ต้อง Configure หรือปรับแต่งในฝั่งอุปกรณ์ NETPIE มี Client Library หรือที่เรียกว่า Microgear ซึ่งทำหน้าที่สร้างและดูแลช่องทางสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับ NETPIE รวมไปถึงรักษาความปลอดภัยในการส่งข้อมูล Microgear เป็น Open Source และสามารถดาวน์โหลดได้จาก https://github.com/netpieio โดย ณ ปัจจุบันมี Microgear สำหรับ OS และ Embedded Board หลักๆ ที่เป็นที่นิยมในหมู่นักพัฒนาเกือบทุกชนิดโมเดลการสื่อสารของ NETPIE แสดงไว้ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วิธีการสื่อสารของอุปกรณ์ในเครือข่าย

NETPIE มีศูนย์กลางการสื่อสารเป็น Distributed MQTT Broker ความปลอดภัยจึงขึ้นตรงกับการเข้าถึงโบรกเกอร์ของอุปกรณ์ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่ามาตรฐาน MQTT ระบุให้ใช้เพียง Username และ Password ในการพิสูจน์ตัวตน (Authentication) ของไคลเอนท์ โดยสามารถกำหนดสิทธิการเข้าถึงโบรกเกอร์ของไคลเอนต์แต่ละรายด้วยการผูกเป็นรายการ (List) เข้ากับ Username บนโบรกเกอร์ ในขณะที่ NETPIE นั้น มีการแยกสิทธิออกมาจากตัวตนอย่างเด็ดขาดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของ Token ซึ่งจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการการเข้าถึงโบรกเกอร์ของอุปกรณ์ให้มีความละเอียด, ความยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นข้อมูลประจำตัว (Credentials) ของอุปกรณ์ที่จะมาขอเชื่อมต่อกับ NETPIE จะประกอบด้วยสองส่วนคือ Key แทนตัวตนของอุปกรณ์ และ Token ในการแทนสิทธิของอุปกรณ์

อุปกรณ์จะได้มาซึ่งข้อมูลประจำตัวจากการขออนุญาตสิทธิ (Authorization) ซึ่งประกอบด้วย ผู้เกี่ยวข้อง 3 ฝ่ายคือ

1) อุปกรณ์ (Device) ที่จะมาเชื่อมต่อสื่อสารกันให้เกิดแอปพลิเคชันในที่นี้รวมถึงทั้งอุปกรณ์กายภาพ และอุปกรณ์เสมือน (Object)

2) ผู้ใช้ (User) ซึ่งเป็นเจ้าของแอปพลิเคชัน และเป็นผู้กำหนดว่าอุปกรณ์ใดมีสิทธิหรือไม่ มากน้อยเพียงใดในแอปพลิเคชันของตน

3) NETPIE ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการขออนุญาตสิทธิระหว่างผู้ใช้ และอุปกรณ์

กระบวนการทั้งหมดมีขั้นตอนคือ

1) ผู้ใช้ลงทะเบียนกับ NETPIE Web Portal และสร้างแอปพลิเคชัน

2) ผู้ใช้เพิ่มอุปกรณ์ภายใต้แอปพลิเคชันนั้นๆ และได้รับ Key และ Key Secret เพื่อนำมาใส่ลงในโค้ด ของ Microgear ในอุปกรณ์

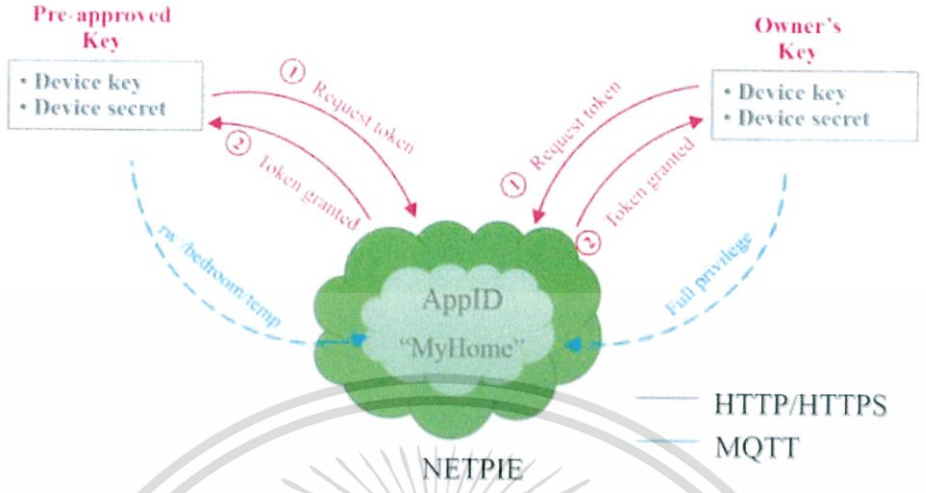
3) เมื่ออุปกรณ์ถูกเปิดใช้งาน Microgear จะเชื่อมต่อเข้ามายัง NETPIE โดยอัตโนมัติ และพิสูจน์ตัวตนด้วย Key และ Key Secret ที่ได้รับในการขอ Token เพื่อเชื่อมต่อและสื่อสารผ่าน NETPIE

4) ในขั้นตอนนี้ NETPIE มีทางเลือกสองทางเพื่อความสะดวกของผู้ใช้

ทางเลือกที่ 1: Pre-approved Key กล่าวคือผู้ใช้สามารถกำหนดไว้ก่อนล่วงหน้าว่า Key ใดบ้างจะได้รับการอนุญาตสิทธิแบบอัตโนมัติ ดังนั้นทันทีที่อุปกรณ์ต่อเข้ามาจะได้รับ Token ทันที นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดระดับของสิทธิไว้ก่อนได้เช่นกัน เช่น อุปกรณ์ของผู้ใช้เองให้สิทธิแบบเต็ม อุปกรณ์ของคนอื่นให้สิทธิบางส่วน เป็นต้น โดยแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 2.16

ทางเลือกที่ 2: Third-Party Key ซึ่งเหมาะกับกรณีที่ผู้ใช้ให้สิทธิอุปกรณ์ของบุคคลอื่นเข้ามาร่วมใช้แอปพลิเคชัน เมื่ออุปกรณ์ร้องขอ Token เข้ามา NETPIE AUTH Server จะติดต่อไปยังผู้ใช้ ให้เข้ามาอนุญาตสิทธิโดยสามารถกำหนดระดับของสิทธิ และ NETPIE จะทำการออก Token ให้กับอุปกรณ์ และบันทึกระดับของสิทธิที่ได้รับอนุญาตเอาไว้ โดยแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 NETPIE Authorization ในกรณี Pre-approved Key



รูปที่ 2.17 NETPIE Authorization ในกรณี Third-party Key

เมื่ออุปกรณ์ได้ชุดข้อมูลส่วนตัวครบแล้ว จะนำทั้งหมดซึ่งประกอบไปด้วย Key, Key Secret, Token, Token Secret ไปสร้าง Client ID, Username และ Password ในการพิสูจน์ตัวตนเข้าใช้ NETPIE ตามโปรโทคอล MQTT โดยวิธีการสร้างจะทำให้ Username กับ Password

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งในแต่ละเซสชัน มีการแฮช การเข้ารหัส ซึ่งจะช่วยป้องกันการดักฟัง และการทำซ้ำ

ชนิดของ Key

NETPIE รองรับอุปกรณ์ที่หลากหลายนอกจากอุปกรณ์กายภาพ เช่น บอร์ดฮาร์ดแวร์ต่างๆ แล้วยังรองรับอุปกรณ์เสมือน เช่น แอปพลิเคชันต่างๆ ซึ่งรวมไปถึงแอปพลิเคชันที่เขียนด้วย HTML5 ที่สามารถรันได้บนเบราเซอร์ ในกรณีเช่นนี้ การเชื่อมต่อไม่สามารถเป็นแบบ Persistent ได้ เนื่องจากต้องมีการปิดเปิดเบราเซอร์ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อให้การจัดการ Key และ Token ให้มีประสิทธิภาพเพื่อหลีกเลี่ยงการสร้าง Token ทิ้งไว้โดยไม่ได้ใช้งาน NETPIE จึงออกแบบให้มี Key อยู่ 2 ชนิดคือ

1) Device Key

เมื่ออุปกรณ์ได้รับการติดตั้ง Device Key และร้องขอ Token มายัง NETPIE หากได้รับการอนุญาตสิทธิอุปกรณ์จะได้รับ Token ที่ใช้ได้ตลอดไป ไม่มีการหมดอายุ ดังนั้นตราบใดที่ไม่มีการเพิกถอนสิทธิอุปกรณ์สามารถใช้ Token เดิมไปได้ตลอดโดยไม่ต้องเข้าสู่กระบวนการ Authorization ใหม่ Device Key จึงเหมาะกับอุปกรณ์กายภาพที่สามารถรักษาช่องการเชื่อมต่อกับ NETPIE ไว้ได้โดยตลอด

2) Session Key

อุปกรณ์ที่ได้รับการติดตั้ง Session Key จะได้รับ Token ที่ใช้ได้เพียงครั้งเดียว (One - time Token) หากอุปกรณ์ยกเลิกการเชื่อมต่อไป และต่อกลับมาใหม่จะต้องมีการนำ Session Key ไปขอ Token ใหม่ทุกครั้ง Session Key จึงเหมาะกับการใช้งานแอปพลิเคชันที่รันบนเบราเซอร์ที่ต้องมีการปิดเปิดอยู่เรื่อยๆ เพราะหากใช้ Device Key ทุกครั้งที่เบราเซอร์ถูกเปิดขึ้นจะมีการร้องขอ Token ใหม่ และเมื่อเบราเซอร์ถูกปิดไป Token ที่ได้จะค้างอยู่เช่นนั้นโดยไม่ได้ใช้งานอีก ส่งผลให้ภายใต้ Key เดียวกัน มี Token ทั้งที่ใช้งาน และไม่ได้ใช้งานแล้วผูกอยู่เป็นจำนวนมาก สร้างความสับสนซับซ้อนที่ไม่จำเป็นให้กับผู้ใช้ จึงขอเน้นย้ำเป็นอย่างยิ่งว่าไม่ควรใช้ Device Key กับแอปพลิเคชันที่รันบนเบราเซอร์ (HTML5) โดยเด็ดขาด

ขอบเขตของสิทธิ (Scope) ในการเข้าถึง NETPIE MQTT Broker ชื่อผู้ใช้อนุญาตสิทธิให้กับอุปกรณ์จะสามารถระบุขอบเขตของสิทธิหรือที่เราเรียกว่า Scope ได้ว่ามากน้อยเพียงใด โดย Scope นี้จะผูกอยู่กับ Token ที่อุปกรณ์จะได้รับ และถูกเก็บไว้ที่ NETPIE รูปแบบของ Scope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Identifier เกี่ยวพันโดยตรงกับโครงสร้างการสื่อสารแบบ Publish/Subscribe ไปยัง Topic ที่อยู่บนโบรกเกอร์ MQTT มีได้ 3 ลักษณะคือ

1) rw:/topic เช่น rw:/home/bedroom/temperature หมายถึง มีสิทธิอ่าน (Subscribe) และเขียน (Publish) ใน home/bedroom/temperature

2) r:/topic เช่น r:/home/# หมายถึง มีสิทธิอ่าน (Subscribe) ทุก Topic ที่ขึ้นต้นด้วย home

3) w:/topic เช่น w:/home/+/temperature หมายถึง มีสิทธิเขียน (Publish) ไปยัง Topic ชื่อ temperature ของทุกๆ ห้องใน home

การกำหนด Scope ที่เกี่ยวข้องกับหลาย Topic นอกจากใช้ Wildcard ดังที่ได้แสดงไปแล้ว สามารถทำได้โดยการเรียง Scope Identifier เข้าด้วยกันแล้วคั่นด้วยเครื่องหมาย Bar "|" ตัวอย่างเช่น rw:/home/bedroom/temperature|r:/home/#|w:/home/+/temperature

2.2.2.1 ประโยชน์ของ NETPIE

1) ช่วยลดการใช้ทรัพยากรของการเชื่อมต่อ NETPIE ช่วยให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารกันได้โดยผู้ใช้ไม่ต้องกังวลว่าอุปกรณ์นั้นจะอยู่ที่ใดเพียงแค่นำ Microgear Library ไปติดตั้งในอุปกรณ์ NETPIE จะรับหน้าที่ดูแลเชื่อมต่อให้ทั้งหมด ไม่ว่าอุปกรณ์นั้นจะอยู่ในเครือข่ายชนิดใดลักษณะใด หรือแม้กระทั่งเคลื่อนย้ายไปอยู่ที่ใด ผู้ใช้สามารถตัดปัญหาในการเข้าถึงอุปกรณ์จากระยะไกล (Remote Access) ด้วยวิธีการแบบเดิมๆ เช่น การใช้ Fixed Public IP Address หรือการตั้ง Port Forwarding ในเราท์เตอร์ และการต้องไปลงทะเบียนกับผู้ให้บริการ Dynamic DNS ซึ่งทั้งหมดล้วนมีความยุ่งยาก ลดความยืดหยุ่นของระบบ ไม่เพียงเท่านั้น NETPIE ยังช่วยให้การเริ่มต้นใช้งานเป็นไปโดยง่าย โดยออกแบบให้อุปกรณ์ถูกค้นพบ และเข้าสู่บริการโดยอัตโนมัติ (Automatic Discovery, Plug - and - Play)

2) ช่วยลดภาระด้านความปลอดภัยของข้อมูล NETPIE ถูกออกแบบให้มีระดับและสิทธิในการเข้าถึงในระดับ Fine Grain กล่าวคือผู้ใช้สามารถออกแบบได้เองทั้งหมดว่าสิ่งใดมีสิทธิคุยกับสิ่งใด สิ่งใดมีสิทธิหรือไม่เพียงใดในการอ่านหรือเขียนข้อมูล และสิทธิเหล่านี้จะมีอายุการใช้งานนานเท่าใด หรือจะถูกเพิกถอนภายใต้เงื่อนไขใด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ยืดหยุ่นต่อการขยายระบบ NETPIE มีสถาปัตยกรรมเป็นคลาวด์เซิร์ฟเวอร์อย่างแท้จริงในทุกองค์ประกอบของระบบ ทำให้เกิดความยืดหยุ่น และคล่องตัวสูงในการขยายตัว นอกจากนี้โมดูลต่างๆ ยังถูกออกแบบให้ทำงานแยกจากกัน เพื่อให้เกิดสภาวะ Loose Coupling และสื่อสารกันด้วยวิธี Asynchronous Messaging ช่วยให้แพลตฟอร์มมีความน่าเชื่อถือได้สูง นำไปใช้ซ้ำ และพัฒนาต่อได้ง่าย ดังนั้นผู้พัฒนาไม่จำเป็นต้องกังวลกับการขยายตัว เพื่อรับโหลดที่เพิ่มขึ้นในระบบอีกต่อไป

2.2.2.2 Microgear Library

Microgear คือซอฟต์แวร์ไลบรารี่ของ NETPIE ที่ติดตั้งอยู่บนอุปกรณ์ที่ต้องการเชื่อมต่อสื่อสารผ่านคลาวด์ของ NETPIE Microgear เปรียบเสมือนตัวกลางเป็นผู้ช่วยในการสร้างและดูแลการเชื่อมต่อ ให้มีความเสถียร ปลอดภัย ให้การสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เป็นไปอย่างราบรื่น บทบาทหน้าที่ของ Microgear สามารถแบ่งออกเป็น 4 ด้าน คือ

1) ด้านการสื่อสาร (Communication) Microgear จะเป็นผู้ช่วยในการสร้างการเชื่อมต่อ (Connection) ไปยังคลาวด์ของ NETPIE และคอยตรวจสอบสถานะของการเชื่อมต่อ หากการเชื่อมต่อมีปัญหา Microgear สามารถช่วยเชื่อมต่อให้ใหม่เพื่อให้การสื่อสารเป็นไปได้อย่างราบรื่น นอกจากนี้ Microgear ยังช่วยอำนวยความสะดวกในการสร้างช่องทางการสื่อสารแบบเข้ารหัสในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการ ส่วนการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง Microgear และคลาวด์ของ NETPIE จะใช้โปรโทคอล MQTT ในการสื่อสาร

2) ด้านการยืนยันตัวตน (Authentication) ในขั้นตอนการสร้างการเชื่อมต่อ Microgear จะช่วยยืนยันตัวตนของอุปกรณ์กับคลาวด์ของ NETPIE โดยการพิสูจน์ตัวตน (Identity) ของอุปกรณ์จะใช้ข้อมูลประกอบกันสามส่วนคือ AppID, App Key และ Token

3) ด้านการขออนุญาตสิทธิ (Authorization) การขออนุญาตสิทธิในการสื่อสารจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างการเชื่อมต่อ ควบคู่กับการยืนยันตัวตนคลาวด์ของ NETPIE จะเป็นผู้ออกใบอนุญาต (Token) ที่ระบุว่าอุปกรณ์ตัวนี้ สามารถสื่อสารได้กับอุปกรณ์ตัวใดบ้าง ในกรณีปกติอุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้กลุ่ม AppID เดียวกันเท่านั้น จึงจะมีสิทธิสื่อสารกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ด้านการประสานงาน (Coordination) Microgear มีฟังก์ชันที่ช่วยให้อุปกรณ์ต่างๆ ภายในกลุ่ม AppID เดียวกันทราบสถานะของกันและกัน เช่น ทราบว่ามีอุปกรณ์ใดออนไลน์เข้ามาใหม่ในกลุ่ม หรือมีอุปกรณ์ใดออกไปจากกลุ่ม รวมถึงทราบการเปลี่ยนแปลงสถานะของอุปกรณ์ที่สนใจ ติดตามจากข้อมูลดังกล่าวผู้ใช้สามารถกำหนดบทบาทหน้าที่ให้อุปกรณ์ในกลุ่มตามสถานะของอุปกรณ์อื่นๆ ในกลุ่ม เช่น หากเป็นอุปกรณ์ตัวแรกในกลุ่มให้ทำหน้าที่เป็นหัวหน้ากลุ่ม เป็นต้น

Microgear Library ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ทำงานได้กับอุปกรณ์ที่หลากหลาย ในส่วนของซอฟต์แวร์มี Microgear ให้เลือกใช้กับ Programming Language ที่หลากหลาย อาทิเช่น Node.js Python HTML5 Java (อยู่ระหว่างการทดสอบ) Android (อยู่ระหว่างการทดสอบ) สำหรับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ประเภทไมโครคอนโทรลเลอร์ Microgear เปรียบเสมือน Firmware ซึ่งมี Microgear ที่รองรับ Arduino with Ethernet Shield (ใช้ได้กับ Arduino Mega) และ Microgear สำหรับ Wi-Fi ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 Microgear Library ที่พัฒนาขึ้นทั้งหมดถูกรวบรวมไว้ที่ https://github.com/netpieio โดยมีสัญญาอนุญาตให้ใช้สิทธิแบบเปิดประเภท ISC License ซึ่งอนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง และส่งต่อไลบรารี่นี้ได้ ทั้งในการใช้งานเชิงสาธารณประโยชน์และเชิงพาณิชย์

ฟังก์ชันหลักของ Microgear แต่ละชนิดอาจมีชื่อและชนิดของฟังก์ชันแตกต่างกันตามลักษณะของการเขียนโปรแกรมในภาษานั้นๆ ในที่นี้ขอยกตัวอย่างฟังก์ชันที่มีใช้ทั่วไปในหลาย Microgear โดยขออ้างอิงชื่อฟังก์ชันจาก HTML5 Microgear โดยลำดับการเรียกฟังก์ชันพื้นฐานของ Microgear นั้น จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.18

- Create สร้าง Microgear เพื่อเริ่มต้นใช้งาน
- Connect เชื่อมต่อ Microgear เข้ากับคลาวด์ของ NETPIE
- SetAlias กำหนดชื่อเล่นของอุปกรณ์เพื่อใช้ระบุตัวตนของอุปกรณ์ภายใน NETPIE
- Chat ส่งข้อความแบบเจาะจงผู้รับ
- Publish ส่งข้อความแบบไม่เจาะจงผู้รับไปยังหัวข้อสนทนาที่กำหนด
- Subscribe ระบุความสนใจในหัวข้อสนทนา บอกรับข้อความที่เกิดบนหัวข้อนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Unsubscribe ยกเลิกการบอกรับข้อความในหัวข้อสนทนาที่เคย Subscribe ไว้
- ResetToken ยกเลิกใบอนุญาต และลบใบอนุญาตออกจาก Cache บนอุปกรณ์
- UseTLS ระบุว่าต้องการสร้างการเชื่อมต่อแบบเข้ารหัสระหว่าง Microgear กับคลาวด์ของ NETPIE
- On ตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่สนใจผ่านการเรียก Callback Function



รูปที่ 2.18 ลำดับการเรียกฟังก์ชันพื้นฐานของ Microgear

2.3 Mobile Application

ในปริญญานิพนธ์นี้จะใช้เทคโนโลยี Phonegap ในการสร้างโมบายแอพพลิเคชันซึ่งจะทำงานร่วมกับภาษา HTML, CSS และ JavaScript ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของ HTML5

HTML5 คือ ภาษามาร์กอัปที่ใช้สำหรับเขียนเว็บไซต์ ซึ่ง HTML5 นี้เป็นภาษาที่ถูกพัฒนาต่อมาจากภาษา HTML และพัฒนาขึ้นมาโดย WHATWG (The Web Hypertext Application Technology Working Group) โดยได้มีการปรับเพิ่ม Feature หลายๆ อย่างเข้ามาเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ง่ายมากยิ่งขึ้น

2.3.1.1 คุณลักษณะของโปรแกรม HTML5

1) New Form Input เพิ่มอินพุท (Input) ชนิดใหม่ๆ เข้ามามากมายเพื่อรับข้อมูลรูปแบบนั้นๆ โดยตรง เช่น email, number, date time เป็นต้น นอกจากจะช่วยให้เราได้รับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ถูกต้องแล้วยังลดขั้นตอนของการเขียนสคริปต์ (JavaScript หรือ PHP) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

2) Audio/Video Support ใน HTML5 จะรองรับมัลติมีเดียได้อย่างเต็มรูปแบบหรือสมบูรณ์มากขึ้น โดยได้เพิ่มแท็กสำหรับการแสดงภาพและเสียงโดยตรง

3) Semantic Markup Page Layout จัดเป็นกลุ่มแท็กที่ใช้ในการจัดโครงสร้างของเพจที่สื่อความหมายของส่วนต่างๆ เช่น <header>, <nav>, <article>, <section>, <aside> และ <footer>

4) Canvas Graphics จะช่วยให้เราวาดรูปกราฟฟิกรูปแบบต่าง ๆ ตามที่เราต้องการบนหน้าเว็บเพจได้ง่ายและสะดวกขึ้น

5) Drag & Drop ใน HTML5 นั้นรองรับการ Drag & Drop ออบเจ็กต์บนหน้าเว็บโดยใช้คำสั่ง จาวาสคริป (JavaScript) ควบคุมกระบวนการ

6) Web Storage เป็นกลไกการจัดเก็บข้อมูลฝั่งเบราเซอร์ แบบใหม่ ซึ่งสามารถจัดเก็บข้อมูลแบบซับซ้อนได้ดีกว่าเดิมที่จัดเก็บแบบคุกกี้

7) Geolocation เป็นการหาค่าละติจูด และลองติจูดเพื่อระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

2.3.1.2 ข้อดีของภาษา HTML5

เว็บไซต์ที่สร้างได้จากภาษา HTML5 สามารถแสดงผลได้กับทุก Web Browser HTML5 จะช่วยลดการใช้พวกปลั๊กอินพิเศษอย่างพวก Adobe Flash, Microsoft Silverlight, Apache Pivot สนับสนุน วิดีโอ และองค์ประกอบเสียง รวมทั้งสื่อมัลติมีเดียต่างๆ มากขึ้น โดยไม่ต้องใช้ Flash การจัดการข้อผิดพลาดที่ดีขึ้น สคริปต์ใหม่ที่จะมาแทนที่สคริปต์เดิม (เขียนโค้ดสั้นลง) HTML5 มีความเป็นอิสระสูง (คล้ายๆ กับ XML) HTML5 ทำงานควบคู่กับ CSS3 ได้ดี ช่วยให้สามารถเพิ่มลูกเล่นต่างๆ บนเว็บไซต์ได้สวยงามมากยิ่งขึ้น (CSS คือส่วนแสดงผลที่นักออกแบบสามารถกำหนดสีสัน ตำแหน่ง ลักษณะในหน้าเว็บไซต์ ให้ชิดซ้ายชิดขวาได้)

2.3.1.3 ข้อเสียของภาษา HTML5

Tag ในบาง Tag และความสามารถบางอย่างยังไม่สามารถใช้งานได้กับทุกบราวเซอร์ ยังอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนา ยังไม่มีความสมบูรณ์ 100% และยังไม่เป็นที่รู้จักเท่าที่ควร แม้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HTML 5 จะสามารถนำมาสร้าง Web หรือ Application และมีการทำกราฟิกได้เพิ่มมากขึ้น แต่การพัฒนา Application ยังไม่สามารถเทียบเท่า Application แบบ Native ได้

2.3.2 CSS

CSS ย่อมาจาก Cascading Style Sheet มักเรียกโดยย่อว่า “สไตล์ชีท” คือภาษาที่ใช้เป็นส่วนของการจัดรูปแบบการแสดงผลเอกสาร HTML โดยที่ CSS กำหนดกฎเกณฑ์ในการระบุรูปแบบ (หรือ “Style”) ของเนื้อหาในเอกสารอันได้แก่ สีของข้อความ สีพื้นหลัง ประเภทตัวอักษร และการจัดวางข้อความ ซึ่งการกำหนดรูปแบบ หรือ Style นี้ใช้หลักการของการแยกเนื้อหาเอกสาร HTML ออกจากคำสั่งที่ใช้ในการจัดรูปแบบการแสดงผล กำหนดให้รูปแบบของการแสดงผลเอกสารไม่ขึ้นอยู่กับเนื้อหาของเอกสาร เพื่อให้ง่ายต่อการจัดรูปแบบการแสดงผลลัพธ์ของเอกสาร HTML โดยเฉพาะในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาเอกสารบ่อยครั้ง หรือต้องการควบคุมให้รูปแบบการแสดงผลเอกสาร HTML มีลักษณะของความสม่ำเสมอทั่วกันทุกหน้าเอกสารภายในเว็บไซต์เดียวกัน โดยกฎเกณฑ์ในการกำหนดรูปแบบ (Style) เอกสาร HTML ถูกเพิ่มเข้ามาครั้งแรกใน HTML 4.0 เมื่อปี พ.ศ. 2539 ในรูปแบบของ CSS level 1 Recommendations ที่กำหนดโดย องค์กร World Wide Web Consortium หรือ W3C

2.3.2.1 ประโยชน์ของ CSS

CSS มีคุณสมบัติมากกว่า Tag ของ HTML เช่น การกำหนดกรอบให้ข้อความ รวมทั้งสี รูปแบบของข้อความที่กล่าวมาแล้ว CSS นั้นกำหนดที่ต้นของไฟล์ html หรือตำแหน่งอื่นๆ ก็ได้ และสามารถมีผลกับเอกสารทั้งหมด หมายถึงกำหนดครั้งเดียวจุดเดียวก็มีผลกับการแสดงผลทั้งหมด ทำให้เวลาแก้ไขหรือปรับปรุงทำได้สะดวก ไม่ต้องไล่ตามแก้ Tag ต่างๆ ทั่วทั้งเอกสาร CSS สามารถกำหนดแยกไว้ต่างหากจากไฟล์เอกสาร HTML และสามารถนำมาใช้ร่วมกับเอกสารหลายไฟล์ได้ การแก้ไขก็แก้เพียงจุดเดียวก็มีผลกับเอกสารทั้งหมด CSS กับ HTML / XHTML นั้นทำหน้าที่คนละอย่างกัน โดย HTML / XHTML จะทำหน้าที่ในการวางโครงร่างเอกสารอย่างเป็นรูปแบบถูกต้อง เข้าใจง่ายไม่เกี่ยวข้องกับการแสดงผล ส่วน CSS จะทำหน้าที่ในการตกแต่งเอกสารให้สวยงาม เรียกได้ว่า HTML /XHTML คือส่วน Coding ส่วน CSS คือส่วน Design

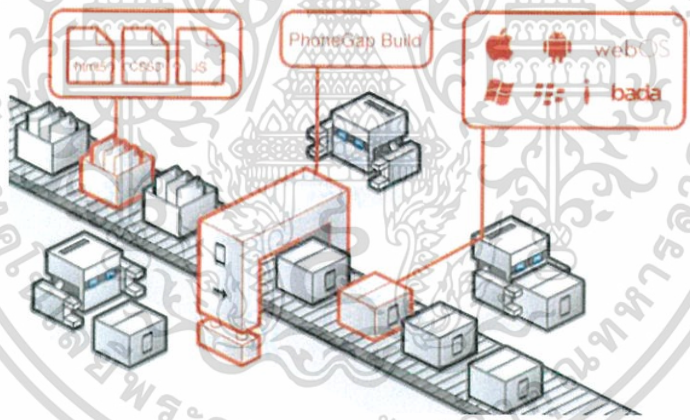
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การเขียนแอพลิเคชันด้วยโปรแกรม Phonegap

สามารถสร้าง Application บนมือถือได้อย่างง่าย โดยใช้ภาษา HTML หรือ HTML5 หรือ JavaScript แล้วสามารถทำการแปลงให้เป็น Mobile Application ได้หลากหลาย Platform อาทิเช่น iOS, Android, WindowsPhone

2.3.3.1 หลักการทำงานของโปรแกรม Phonegap

Phonegap Build เป็น Cloud - Based Build Service โดยแสดงได้ดังรูปที่ 2.19 สามารถให้บริการคอมไฟล์ Application ผ่าน Internet โดยที่ผู้ใช้บริการไม่จำเป็นต้องติดตั้งตัว SDK ของ Platform ใดๆ เลย ทำให้สามารถลดความยุ่งยาก และขั้นตอนของการสร้าง Application ที่ Support ในทุกๆ Platform เพียงแค่ทำการ Upload ไฟล์ HTML CSS ขึ้นไปบนเว็บไซต์ https://build.phonegap.com/plans



รูปที่ 2.19 การทำงาน Phonegap Build

2.3.3.2 ข้อดีของโปรแกรม Phonegap

โปรแกรม Phonegap พัฒนาง่าย และรวดเร็ว เพราะใช้ภาษา HTML ที่เข้าใจง่ายและเป็นภาษาที่รู้จักกันทั่วไป นักพัฒนาสามารถเข้าไปเขียน Plugin เสริมได้เรื่อยๆ ทำให้มีอะไรใหม่ๆ ให้พัฒนาตลอดเวลา

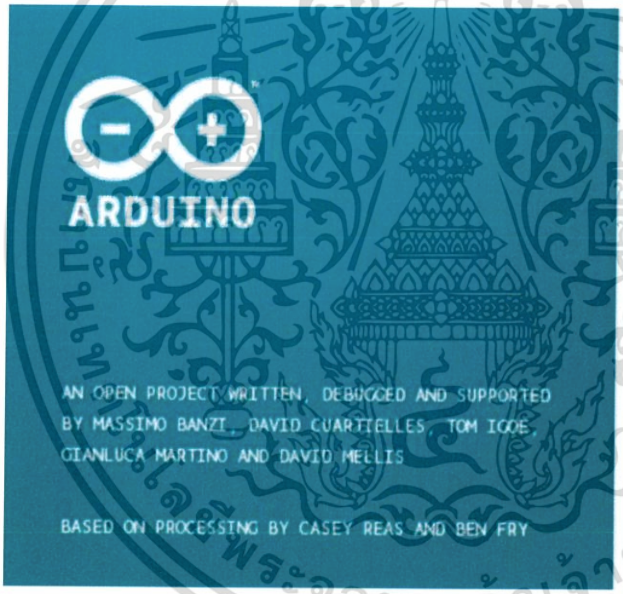
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.3 ข้อเสียของโปรแกรม Phonegap

Phonegap ไม่ใช่ Native Application เต็มตัวจึงทำให้ไม่สามารถเรียกความสามารถบางอย่างมาใช้ไม่ได้ เช่น User Interface หรือ System Function บางอย่าง Phonegap ไม่ได้รันบน Server เพราะฉะนั้น Server Side Script อย่าง PHP และ ASP ไม่สามารถใช้ได้

2.3.4 โปรแกรม Arduino IDE

เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อควบคุมการทำงานของบอร์ด Arduino หรือสามารถโหลด library ของอุปกรณ์ชนิดอื่นเพื่อมาใช้งานกับร่วมโปรแกรมนี้ได้ โดยจะมีหน้าตาของตัวโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 หน้าต่างของโปรแกรม Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เทคนิคอื่นๆ ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

2.4.1 การปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์

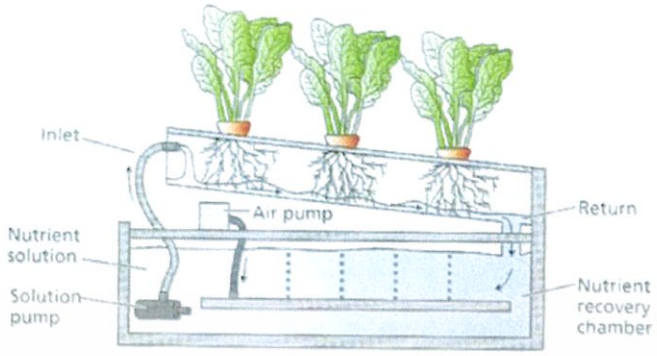
คือ การปลูกพืชในน้ำที่มีธาตุอาหารพืชละลายอยู่ หรือการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืช ทดแทนการปลูกพืชในดินที่ใช้ในการปลูกพืชในการเกษตรทั่วไป คำว่าไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) เป็นคำผสมระหว่างคำ 3 คำ คือ ไฮโดร (Hydro) หมายถึงน้ำ โปโนส (Ponos) เป็นคำที่มาจากภาษากรีก หมายถึงการทำงาน และอิกส์ (Ics) หมายถึงศาสตร์หรือศิลปะ ซึ่งเมื่อรวมคำทั้ง 3 คำเข้าด้วยกันจึงมีความหมายตามรูปศัพท์ว่าศาสตร์หรือศิลปะว่าด้วยการทำงานของน้ำ

ปัจจุบันการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์มีเทคนิคที่คิดค้นใหม่ๆ หลากหลายรูปแบบมิได้จำกัดอยู่เฉพาะการปลูกพืชในน้ำ (Water Culture) เท่านั้น บางกรณีมีการใช้วัสดุปลูก (Substrate) ทดแทนดินทั้งหมดและรดด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งเรามักเรียกว่า ซับส์เทรต คัลเจอร์ (Substrate Culture) หรือมีเดีย คัลเจอร์ (Media Culture) หรือแอกกรีเกตไฮโดรโปนิกส์ (Aggregate Hydroponics) เทคนิคดังกล่าวนิยมเรียกว่า การปลูกโดยไม่ใช้ดิน หรือการปลูกพืชไร้ดิน (Soilless Culture) ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าเทคนิคการปลูกพืชในน้ำก็ดี หรือการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์รูปแบบอื่นๆก็ดี บางครั้งอาจเรียกรวมๆว่า Soilless Culture แทนคำว่า Hydroponics ก็ได้

2.4.1.1 ประเภทของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

1) NFT (Nutrient Film Technique) คือ การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ เหมือนแผ่นฟิล์มบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (หนาประมาณ 2 - 3 มิลลิเมตร) ในลำรางปลูกพืชกว้างตั้งแต่ 5 - 35 เซนติเมตร ขึ้นกับชนิดของพืชที่ปลูก ลำรางสูงประมาณ 5 เซนติเมตร ความยาวของรางตั้งแต่ 5 - 20 เมตร แต่โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 10 เมตร เพราะจะทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนระหว่างหัวและท้ายรางได้ โดยการปลูกแบบ NFT สามารถแสดงระบบการทำงานได้ดังรูปที่ 2.21

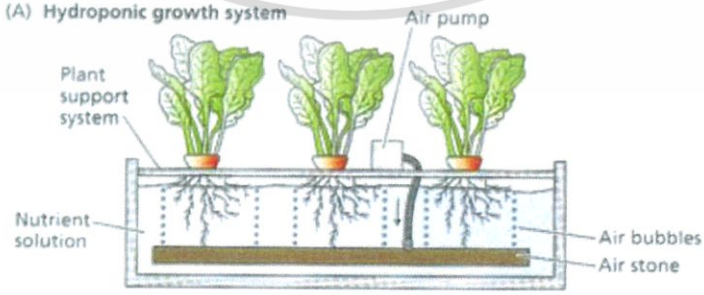
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT

2) NFLT (Nutrient Flow Technique) คือ การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชแบบแผ่นหนาบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง ระดับความลึกของสารละลายประมาณ 5 - 10 มิลลิเมตร รากพืชจะได้รับออกซิเจนขณะน้ำไหลผ่าน

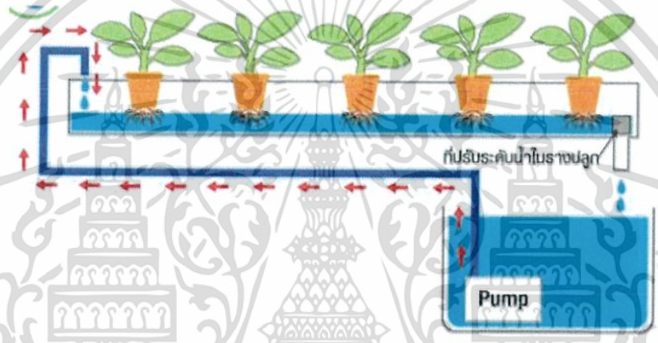
3) DFT (Deep Flow Technique) คือ เป็นระบบที่ปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายลึกประมาณ 15 - 20 เซนติเมตร โดยจะมีการปลูกพืชบนแผ่นโฟมหรือวัสดุที่ลอยน้ำ ได้เพื่อยึดลำต้นแต่จะปล่อยให้รากเป็นอิสระในนำระบบนี้ไม่มีความลาดเอียง เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายโดยการใช้ปั๊มดูดสารละลายจากถังพักขึ้นมาใช้ใหม่ในระบบ เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับระบบน้ำที่ใช้ในการผลิตผัก ระบบนี้อาจมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบไฮโดรโปนิคส์ลอยน้ำ (Floating Hydroponic Systems) การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในภาชนะหรือรางปลูกในระดับลึก คือ น้ำจะมีมากกว่า NFT โดยการปลูกแบบ DFT สามารถแสดงระบบการทำงานได้ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) DRFT (Dynamic Root Floating Technique) คือ การปลูกพืชโดยให้รากแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง และให้อากาศไหลวนผ่านรากพืชอย่างต่อเนื่องที่ระดับความลึกประมาณ 4 เซนติเมตร โดยที่สารละลายธาตุอาหารจะไหลลงสู่ถังบรรจุ จากนั้นจึงไหลเวียนขึ้นไปในถาดปลูกด้วยปั๊มน้ำ ขณะที่สารละลายไหลเวียนขึ้นไปด้านหัวถาดปลูกจะผ่านหัวพ่นอากาศเพื่อเติมอากาศให้สารละลาย และไหลผ่านรากพืชตามถาดปลูกมาสู่ด้านท้ายถาดปลูกจะผ่านสะดือปรับน้ำ (Nutrient Level Adjust) ซึ่งทำหน้าที่ปรับระดับความสูงต่ำของสารละลายในถาดปลูก โดยการปลูกแบบ DRFT สามารถแสดงระบบการทำงานได้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT

5) FAD (Food and Drain) คือ การปลูกพืชที่มีรูปแบบผสมผสานระว่าง NFT และ DFT เป็นการให้สารละลายธาตุอาหารพืชท่วมภาชนะปลูกและรากพืชอยู่ระยะเวลาหนึ่ง แล้วค่อยๆ ระบายออกระยะเวลาหนึ่ง แล้วจึงให้สารละลายท่วมภาชนะอีกครั้งสลับเช่นนี้เป็นระยะๆ อย่างต่อเนื่อง

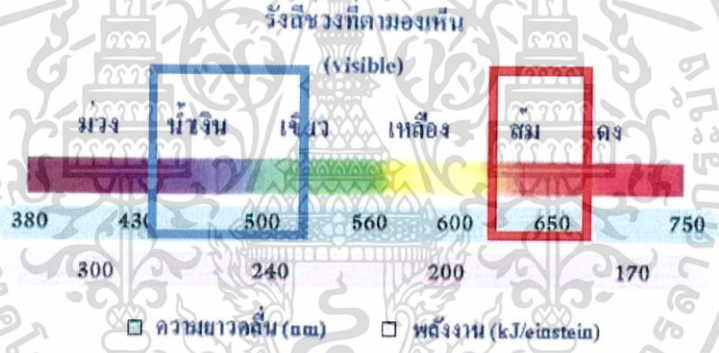
2.4.2 แสงกับการเจริญเติบโตของพืช

ในส่วนของการศึกษาข้อมูลพบว่าการให้แสงกับพืชเป็นไปตามตารางที่ 2.2 รงควัตถุที่ปรากฏอยู่ในพืช จากการสืบค้นพบว่ารงควัตถุในพืชจะตอบสนองต่อช่วงแสงระหว่าง 420 – 480 นาโนเมตร และ 640 - 660 นาโนเมตร เท่านั้น และช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวคือแสงสีน้ำเงิน และแสงสีส้มไปถึงแดงเท่านั้น เพราะฉะนั้นการให้แสงกับพืชในปริญญานิพนธ์นี้จะใช้เป็น LED จำนวน 3 สีคือ 1) แสงสีแดง 2) แสงสีน้ำเงิน 3) แสงสีขาว โดยมีจำนวนหลอด LED จำนวนทั้งหมด 5 หลอด แบ่งเป็นสัดส่วน คือ 3:1:1 ตามลำดับ โดยสามารถสังเกตช่วงของแถบรังสีได้ดังรูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 รงควัตถุและการการตอบสนองต่อแสงในพืชต่างๆ

ชนิดของรงควัตถุ	ช่วงแสงที่ดูดกลืนแสง(nm)	ชนิดของพืช
คลอโรฟิลล์ เอ	420, 660	พืชชั้นสูงทุกชนิดและ
คลอโรฟิลล์ บี	435, 643	พืชชั้นสูงทุกชนิดและ
คาร์โรทีนอยด์ เบตา คาร์โรทีน	425, 450, 480	พืชชั้นสูงและสาหร่ายส่วน
คาร์โรทีนอยด์ แอลฟา คาร์โรทีน	420, 440, 470	พืชส่วนใหญ่และสาหร่าย
คาร์โรทีนอยด์ ไวโอลาแซนธอล	425, 450, 475	พืชชั้นสูง



รูปที่ 2.24 แถบรังสีช่วงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

ในบทนี้จะมีรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างระบบทั้งหมด โดยจะมีการประยุกต์เอาความรู้ทางด้านการเขียนโปรแกรม และการออกแบบด้วยซอฟต์แวร์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นตัวชิ้นงาน, วงจรไฟฟ้าที่ใช้ และองค์ความรู้ที่ศึกษามาจากบทที่สอง โดยจะนำเอาทฤษฎีเข้ามาออกแบบละปรับปรุงเพื่อทำให้เกิดความถูกต้องและเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

3.1 การออกแบบ

การออกแบบในปริญญานิพนธ์นี้สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆ ก็คือ 1) ฮาร์ดแวร์ 2) ซอฟต์แวร์ โดยมีเป้าหมายให้อุปกรณ์สามารถดูแลพืชได้อัตโนมัติ และสามารถสั่งการไม่ว่าจะเป็นการควบคุมการทำงานของไฟหรือให้การให้น้ำหรือสังเกตการณ์ค่าจากโทรศัพท์มือถือได้ โดยมีภาพรวมการทำงานตามรูปที่ 3.1

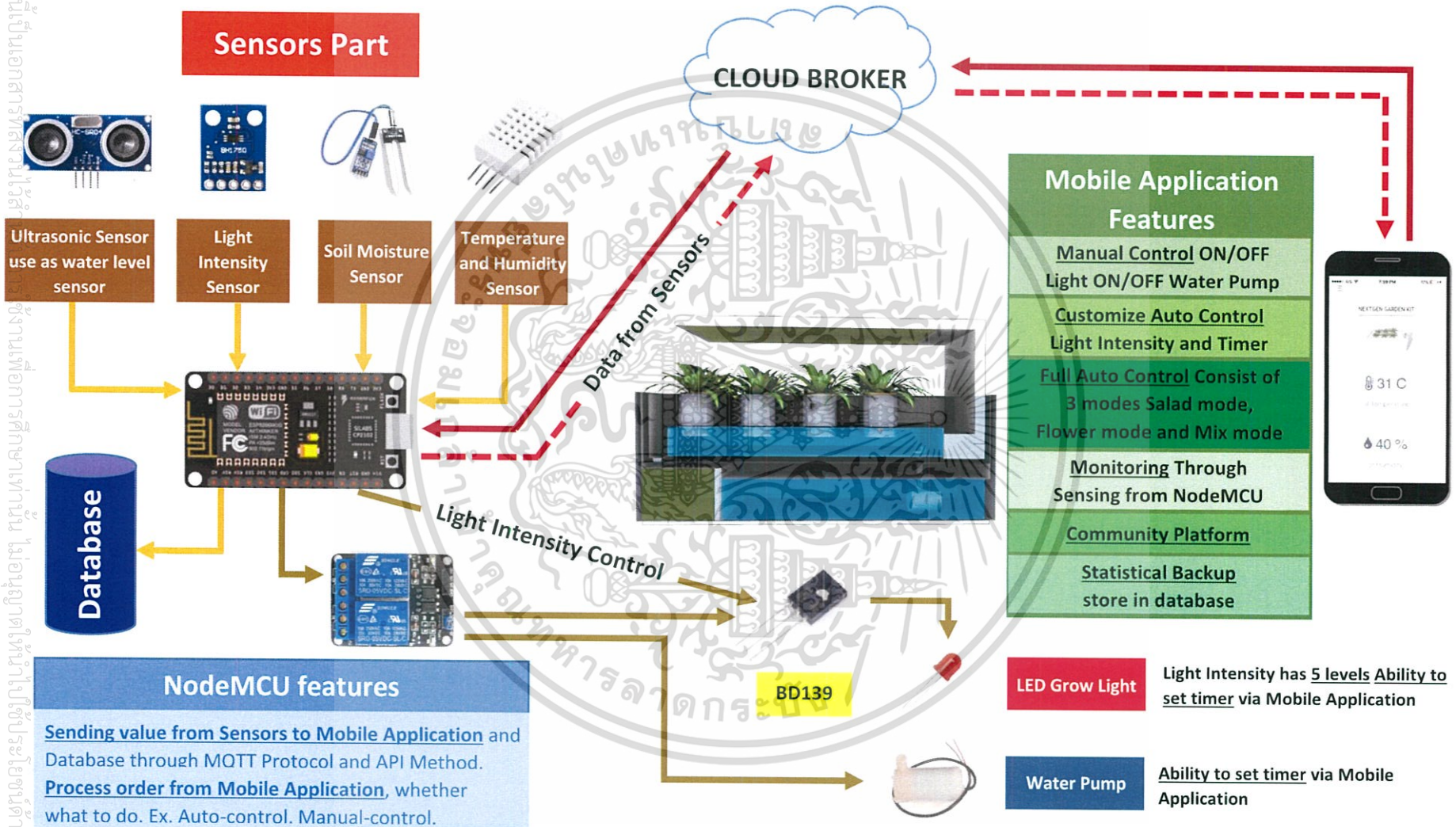
3.1.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์

ในส่วนของการออกแบบฮาร์ดแวร์นั้นจะใช้การทำงานร่วมกันของสามส่วนคือ 1) ชิ้นงาน 2) Microcontroller 3) Sensor โดยจะอธิบายรายละเอียดตามหัวข้อดังนี้

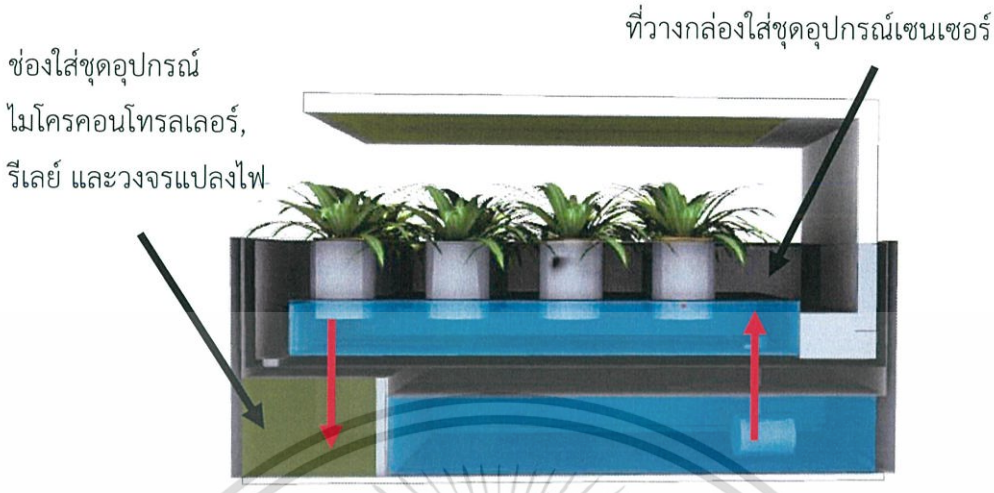
3.1.1.1 ชิ้นงาน

ในส่วนของชิ้นงานทำการออกแบบให้ระบบมีการถ่ายเทน้ำแบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique) โดยใช้โปรแกรม Sketch Up เป็นโปรแกรมสำหรับออกแบบอุปกรณ์แบบสามมิติก่อนจะนำไปสร้างด้วยวัสดุอะคลิลิค โดยจะแบ่งออกเป็นสามชิ้นด้วยกัน โดยมีหลักการทำงานคือ การวนน้ำให้มีการไหลเวียนตลอดเวลาตามลูกศรสีแดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นสารละลายที่พืชต้องการ แล้วให้น้ำวนไปเรื่อยๆ โดยจะมี Microcontroller เป็นตัวกำหนดการทำงานของปั๊มน้ำ ในชิ้นฐานจะประกอบไปด้วยแท่นกักเก็บน้ำ และช่องใส่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อาทิ Microcontroller, Relay, วงจรแปลงไฟ, Sensor ต่างๆ ในส่วนที่สองจะเจาะรู เพื่อใส่ Pot (กระถางสำหรับปลูกพืช) เพื่อเป็นตัวดูดซับน้ำขึ้นมาให้พืชและเป็นพื้นที่ให้รากของพืชเจริญเติบโต อีกทั้งยังมี Stopper เพื่อทำการกำหนดระดับของน้ำในชั้นที่สอง และในส่วนที่สามคือส่วนรองรับไฟที่ให้กับพืชโดยประกอบด้วย ชิ้นฐาน ชิ้นรองรับพืช และชิ้นรองรับส่วนการให้ไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

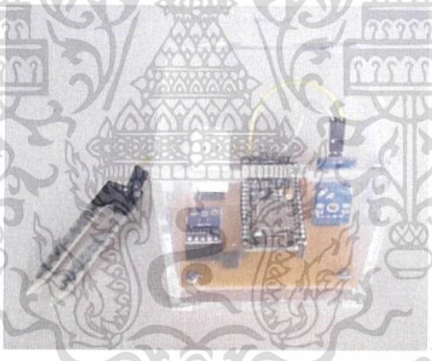


รูปที่ 3.1 ภาพรวมการทำงานของระบบ

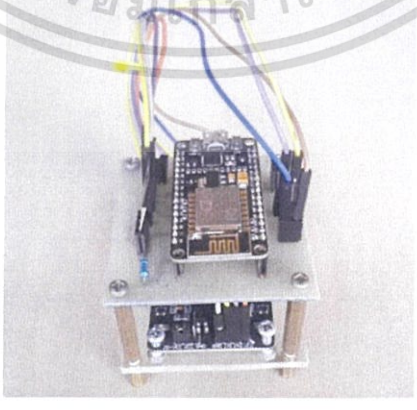


รูปที่ 3.2 ระบบหมุนเวียนของน้ำและตำแหน่งวางอุปกรณ์

จากรูปที่ 3.2 จะมีการวางอุปกรณ์ 2 ชุดเข้าไปในโมเดล คือ กล่องใส่ชุดอุปกรณ์เซนเซอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.3 และช่องใส่ชุดอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์, รีเลย์และวงจรแปลงไฟ โดยอุปกรณ์ทั้งสองจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

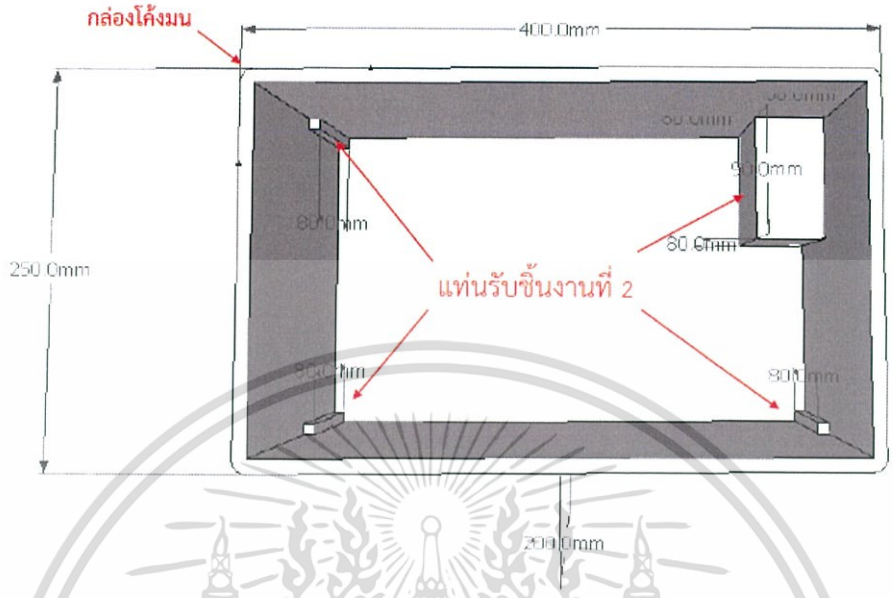


รูปที่ 3.3 กล่องใส่ชุดอุปกรณ์เซนเซอร์



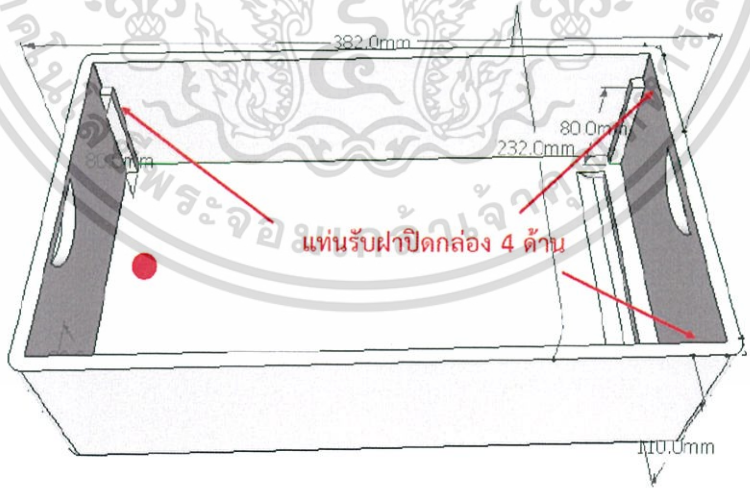
รูปที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์, รีเลย์และวงจรแปลงไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานส่วนที่ 1 (Top View)

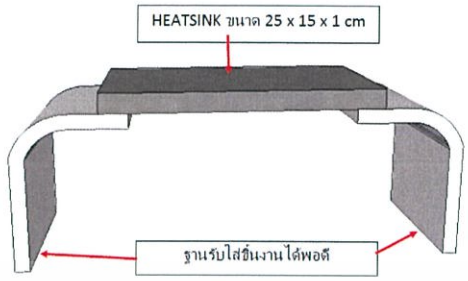
จากรูปที่ 3.5 ชิ้นงานส่วนที่ 1 ใช้สำหรับเก็บกักน้ำและมีกล่องไว้ใส่อุปกรณ์ต่างๆ เช่น Microcontroller, Relayและวงจรแปลงไฟ ซึ่งมีขนาดความกว้าง 25 x 40 x 20 เซนติเมตร



รูปที่ 3.6 ชิ้นงานส่วนที่ 2 (Top View)

จากรูปที่ 3.6 ชิ้นงานส่วนที่ 2 ใช้สำหรับปลูกพืช ซึ่งมีขนาดความกว้าง 25 x 40 x 11 เซนติเมตร โดยมีขนาดเล็กกว่าชิ้นงานที่ 1 เพื่อให้สามารถวางซ้อนเข้าไปในชิ้นที่ 1 ที่เป็นชิ้นฐานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ชิ้นงานส่วนที่ 3 (Side View)

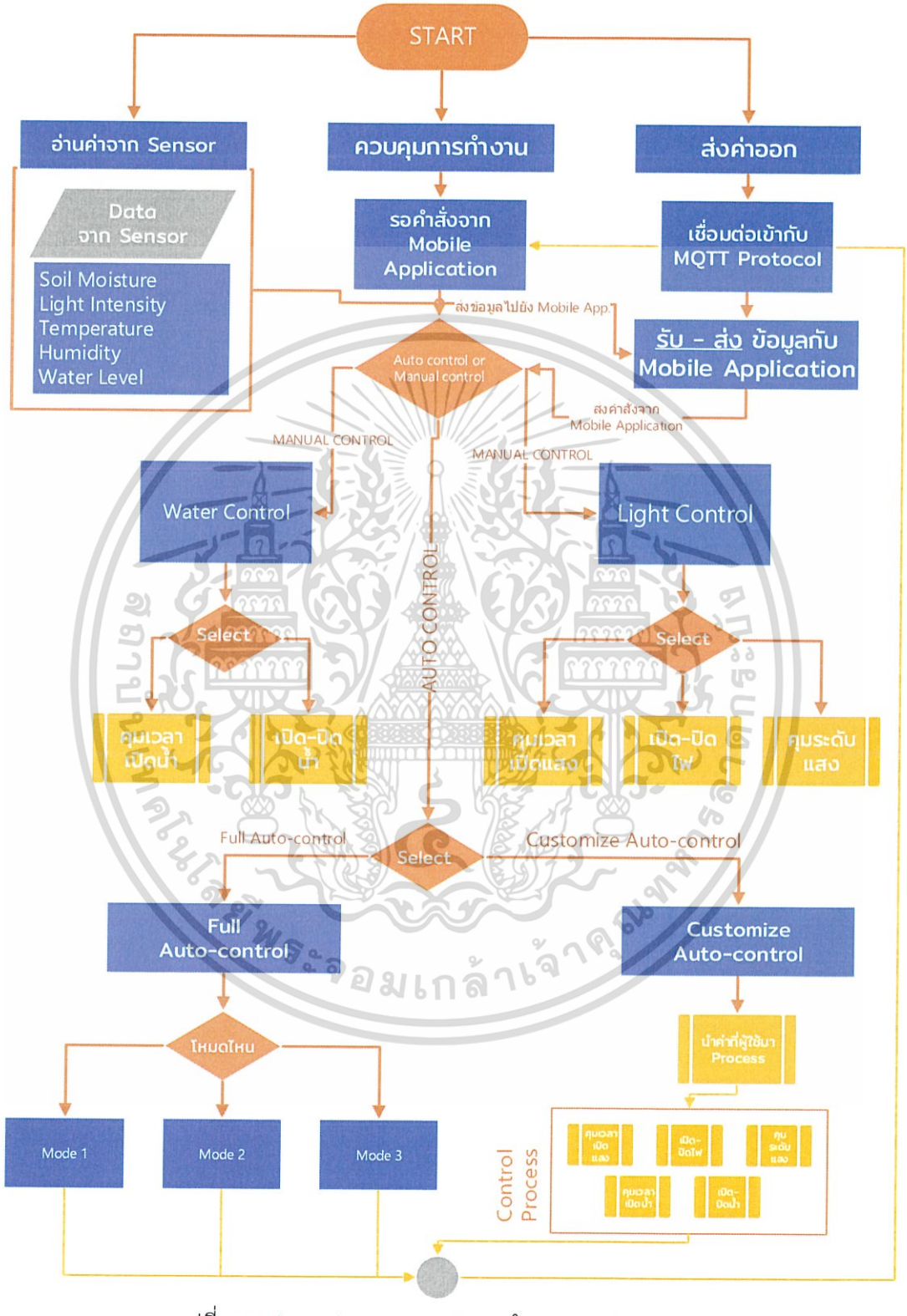
จากรูปที่ 3.7 ชิ้นงานส่วนที่ 3 เป็นส่วนสำหรับวางหลอดไฟ LED Stripped สีแดงและสีน้ำเงิน โดยชิ้นงานมีขนาด 25 x 25 x 1 เซนติเมตร

3.1.1.2 Microcontroller

ในปริญญานิพนธ์นี้จะใช้ NodeMCU เป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุม และอ่านค่าจากเซนเซอร์ โดยในส่วนของการควบคุมจะมีการควบคุมทั้งหมดสองแบบ คือ การควบคุมระบบน้ำและควบคุมระบบไฟ โดยสามารถเลือกการทำงานแบ่งออกเป็นสองโหมดคือ Auto Controlling และ Manual Controlling โดยในส่วนแรกคือ Auto Controlling โดยสามารถเลือกชนิดการทำงานได้จาก Mobile Application โดยแบ่งออกเป็นสี่โหมดในเบื้องต้นคือ 1) โหมดผักสลัด 2) โหมดพืชดอก 3) โหมดผสมผสาน โดยจะทำการโปรแกรมภายใน NodeMCU เพื่อทำการควบคุมการให้น้ำและแสงทั้งความเข้มแสง และประมาณน้ำที่ให้กับพืชให้เหมาะสมกับชนิดของพืชที่ผู้ใช้งานทำการปลูก

ระบบ Manual Control ผู้ใช้งานจะสามารถเปิด – ปิดไฟ และปั๊มน้ำได้ผ่าน Mobile Application และผู้ใช้งานยังสามารถใช้ระบบ Customize Auto - control เพื่อเลือกค่าที่จะควบคุมไม่ว่าจะเป็นระดับความเข้มแสง, เวลาที่จะเปิด - ปิดไฟ และปั๊มน้ำ โดยระบบนี้จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกค่าได้ด้วยตนเองผ่าน Mobile Application หลังจากการป้อนค่าในระบบ Customize Control แล้วระบบจะทำการควบคุมให้กับผู้ใช้งานตามค่าที่ผู้ใช้งานป้อนไว้ในระบบ และ NodeMCU ยังสามารถส่งข้อมูลที่รับมาได้จากเซนเซอร์ส่งไปยังฐานข้อมูลได้อีกด้วย โดย NodeMCU มีกระบวนการทำงานแสดงได้ตามรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 Flow chart กระบวนการทำงานของ NodeMCU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.3 การทำงานของเซนเซอร์

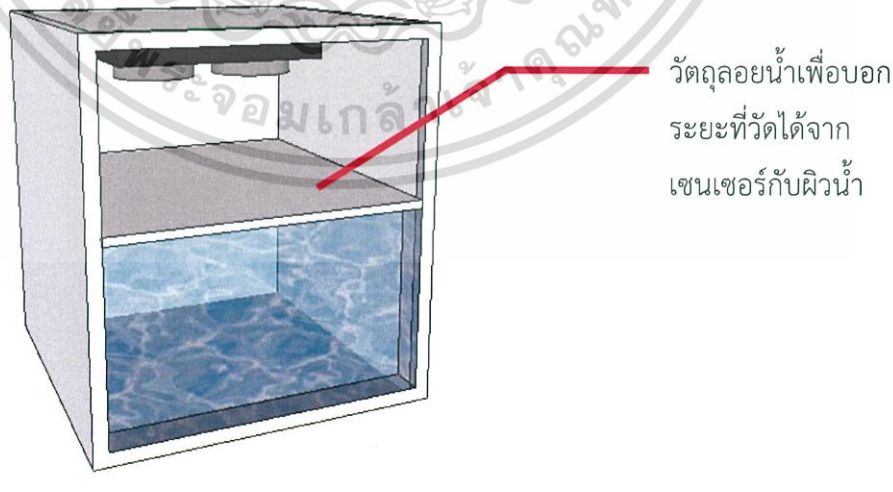
ในปริญญานิพนธ์นี้มีการทำงานของเซนเซอร์ทั้งหมด 4 ชนิด คือ

1) เซนเซอร์วัดความชื้นในวัสดุปลูก ที่เลือกใช้เซนเซอร์ตัวนี้เพื่อวัดความชื้นในวัสดุปลูก เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้มาควบคุมปั๊มน้ำ เมื่อความชื้นในวัสดุปลูกที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าอ้างอิงที่เราได้โปรแกรมไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้ปั๊มน้ำทำงาน โดยเมื่อค่าความชื้นในวัสดุปลูกมีค่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมแล้ว ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จึงจะสั่งให้ปั๊มน้ำหยุดทำงาน

2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ที่เลือกใช้เซนเซอร์ตัวนี้ ข้อดีของมันคือสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ได้ 2 ค่า ภายในตัวเซนเซอร์แค่ตัวเดียว คือความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ โดยเราสามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้มาวิเคราะห์หาข้อมูลว่าช่วงอุณหภูมิหรือความชื้นใดที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี

3) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง ที่เลือกใช้เซนเซอร์ตัวนี้เพื่อวัดความเข้มแสงที่ส่องสว่างมาจากหลอดไฟ LED ที่ได้ทำการติดตั้งไว้ในตัวอุปกรณ์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้นี้เราจะนำมาใช้ควบคุมระดับความสว่างของแสงไฟ โดยเราสามารถเลือกระดับความสว่างของหลอดไฟ LED เนื่องจากพืชที่ปลูก อาจมีความต้องการแสงสว่างที่ไม่เท่ากัน

4) เซนเซอร์วัดระยะทางโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค ที่เลือกใช้เซนเซอร์ตัวนี้ เนื่องจากเราต้องการวัดระดับน้ำภายในตัวอุปกรณ์ เราจึงนำเซนเซอร์ชนิดนี้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อวัดระดับน้ำ เมื่อน้ำในแท้งค์ใกล้หมดดังรูปที่ 3.9 ระบบจะทำส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานโดยผ่านโมบายแอพพลิเคชัน



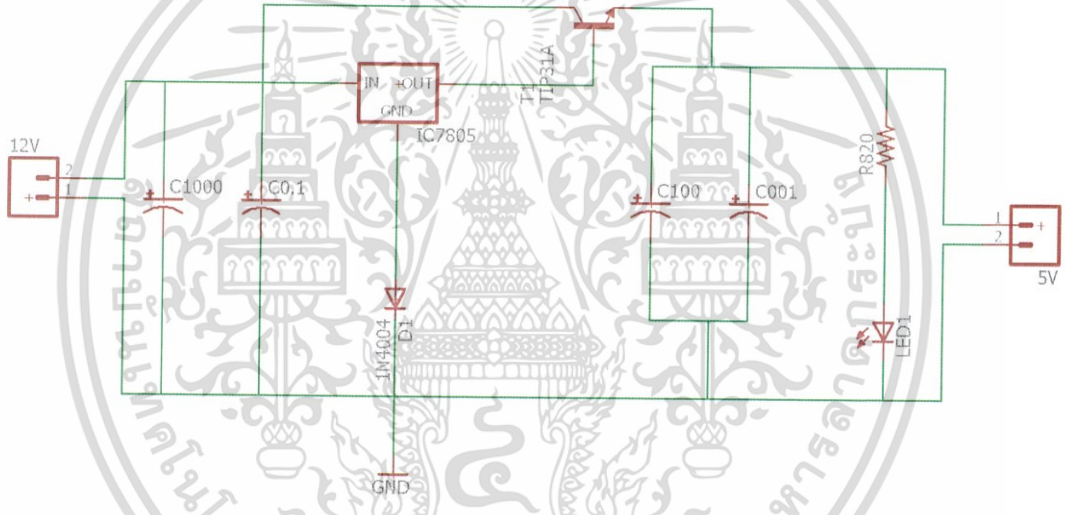
รูปที่ 3.9 โมเดลจำลองการวัดระดับน้ำของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.4 แบบ Schematic และการออกแบบวงจรที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

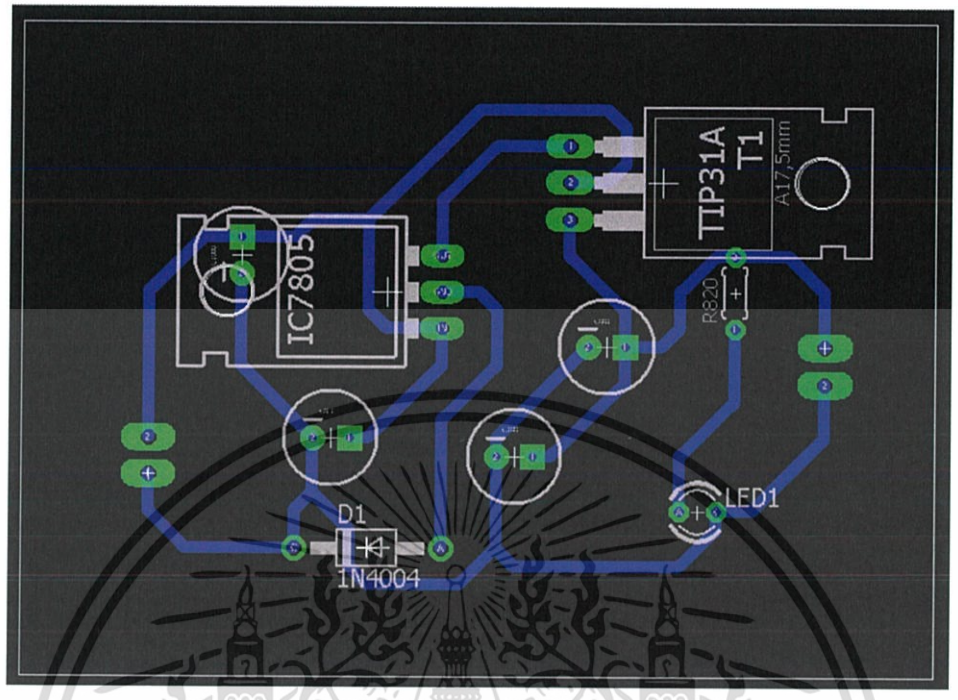
สำหรับ Power Supply ที่ให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ปริญญานิพนธ์นั้นจะมีสองค่าแรงดันคือ 12 โวลต์ คือไฟ LED และ 5 โวลต์คือ Microcontroller และ ปั๊มน้ำ จึงต้องทำการสร้างวงจรแบ่งแรงดันและลดกระแสสำหรับนำมาใช้เป็น Power Supply ให้กับ Microcontroller และอุปกรณ์อื่นๆ

1) การออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจาก 12V เปลี่ยนไป 5V เพื่อนำไปเป็นแหล่งจ่ายให้กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ และเซนเซอร์ต่างๆ ซึ่งออกแบบ Schematic ได้ดังรูปที่ 3.10 และ PCB ดังรูปที่ 3.11 โดยมีทรานซิสเตอร์สองชนิดคือ



รูปที่ 3.10 Schematic วงจรแบ่งแรงดัน

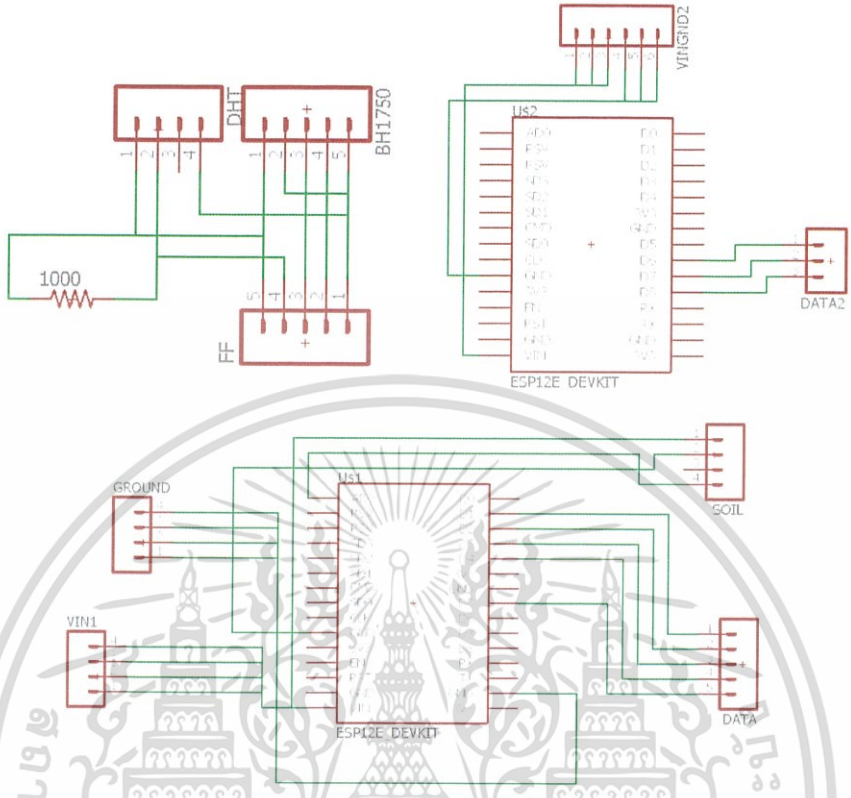
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



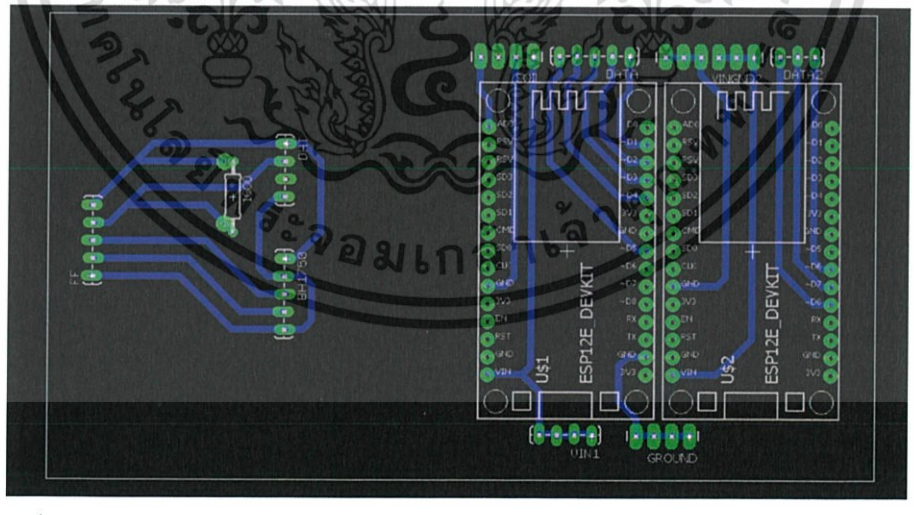
รูปที่ 3.11 PCB ของวงจรแบ่งแรงดันแสดงลายทองแดงกับการกำหนดตำแหน่งการวางอุปกรณ์

2) การออกแบบบอร์ดสำหรับเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซนเซอร์ต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Eagle ในการออกแบบ Schematic ดังรูปที่ 3.12 และ PCB ดังรูปที่ 3.13 โดยมีการทำงานร่วมกันของไมโครคอนโทรลเลอร์และทรานซิสเตอร์ BD139 ในการควบคุมความเข้มของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 Schematic บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อเข้ากับเซนเซอร์ต่างๆ



รูปที่ 3.13 PCB การกำหนดตำแหน่งการวางไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

ในการออกแบบซอฟต์แวร์ในปริญญานิพนธ์นี้ มีประเด็นหลักคือการออกแบบโมบายแอพพลิเคชัน และการโปรแกรม Microcontroller โดยการโปรแกรม Microcontroller ได้กล่าวถึงไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้

3.1.2.1 การออกแบบโมบายแอพพลิเคชัน

การทำงานของแอพพลิเคชันนั้นใช้เทคโนโลยี Phonegap ในการสร้างแอพพลิเคชัน เนื่องจากจะสามารถทำให้ใช้งานแอพพลิเคชันได้ในหลายแพลตฟอร์มเช่น iOS, Android เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องพัฒนาการเขียนแอพพลิเคชันทีละแพลตฟอร์มซึ่งมีภาษาที่ใช้ในการพัฒนาแตกต่างกัน โดยเทคโนโลยี Phonegap นั้นเป็นเฟรมเวิร์คที่จะทำให้สามารถที่จะรันภาษา HTML ได้โดยที่ไม่ต้องเปิดเว็บเบราเซอร์ ฉะนั้นผู้จัดทำจึงทำการพัฒนาแอพพลิเคชันโดยการโปรแกรมด้วยภาษา HTML ซึ่งจะทำงานควบคู่กับภาษา CSS และภาษา JavaScript โดยการทำงานหลักของแอพพลิเคชันนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ 1) การทำงานในส่วนของการแสดงผล 2) การทำงานในส่วนของการสั่งการควบคุม และ 3) ส่วนของการแสดงสถิติ ซึ่ง Flowchart การทำงานของแอพพลิเคชันจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.14

1) ส่วนของการแสดงผลของแอพพลิเคชันนั้นจะทำการรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จาก NodeMCU และแสดงค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นขึ้นมาบนหน้าหลักของแอพพลิเคชันโดยจะแสดงเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในวัสดุปลูก ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิในอากาศ ปริมาณความเข้มแสง และปริมาณน้ำในแท้งค์

2) ส่วนการควบคุมการทำงาน

การทำงานของแอพพลิเคชันในส่วนของการควบคุมนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ๆ ได้แก่ การควบคุมแบบอัตโนมัติ และการควบคุมโดยผู้ใช้งาน

การควบคุมแบบอัตโนมัตินั้นผู้ใช้งานจะสามารถเลือกการทำงานของอุปกรณ์ให้เหมาะสำหรับการปลูกพืชใน 3 รูปแบบได้แก่ การปลูกผักสลัด, การปลูกพืชดอก และการปลูกแบบผสมผสาน ซึ่งเมื่อผู้ใช้งานทำการเลือกการทำงานแต่ละแบบนั้นจะทำการส่งข้อมูลไปยัง NodeMCU ในรูปแบบที่ต่างกันซึ่งแอพพลิเคชันนั้นจะส่งข้อความไปยัง NodeMCU เพื่อสั่งการทำงานของ NodeMCU ซึ่งจะนำเอาข้อความนั้นไปประมวลผลต่ออีกครั้ง โดยแต่ละรูปแบบจะมีความแตกต่างกันคือความเข้มแสงของ LED และปริมาณน้ำที่ให้กับพืช รวมไปถึงระยะเวลาที่ให้น้ำแก่พืชของแต่ละโหมดจะแตกต่างกันออกไป

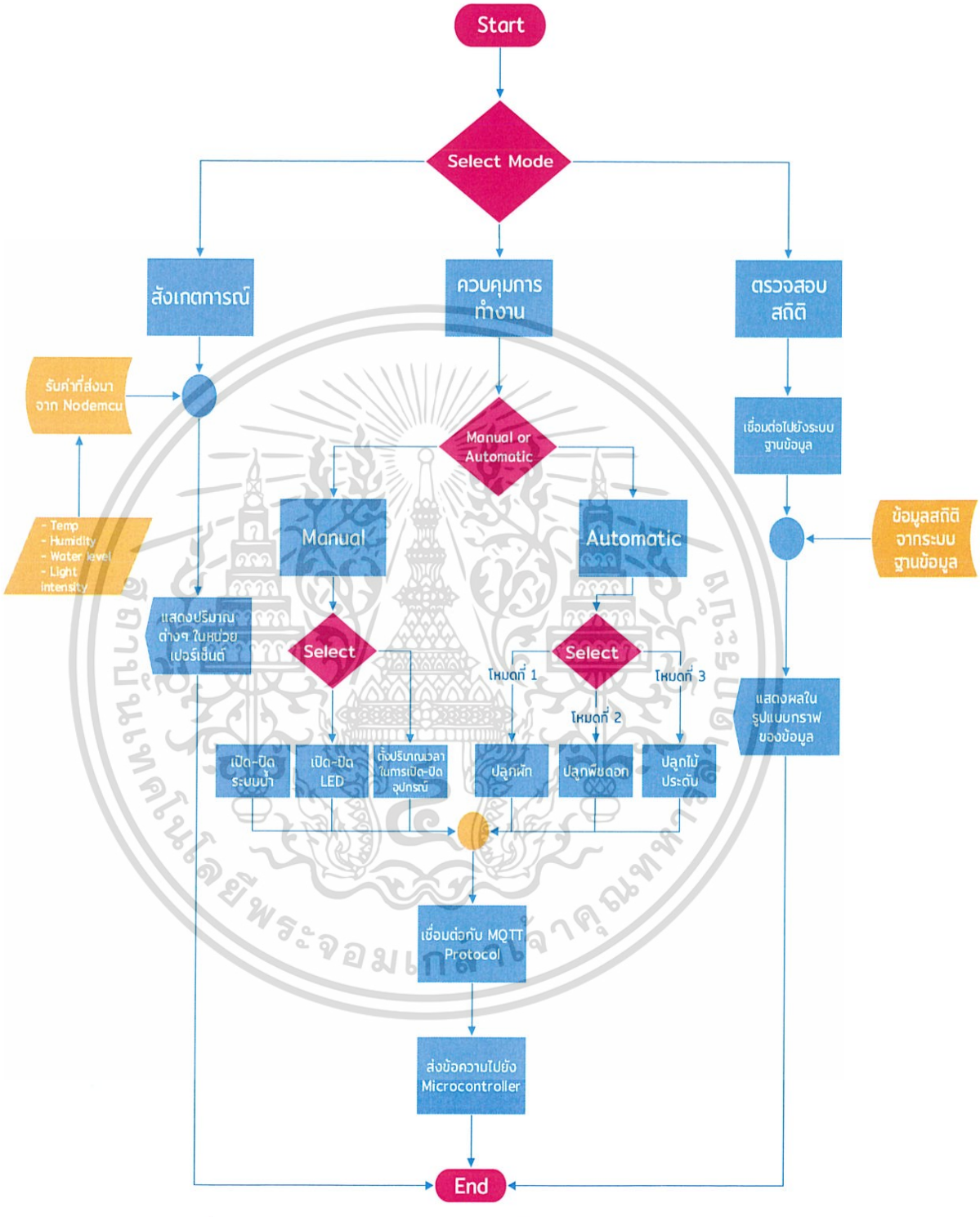
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมโดยผู้ใช้งานจะมี 5 รูปแบบให้ผู้ใช้งานเลือกการทำงานได้แก่ การเปิด - ปิดมอเตอร์เพื่อควบคุมระบบน้ำ, การเปิด - ปิดหลอด LED, การปรับระดับความเข้มแสง, การตั้งช่วงเวลาการเปิดระบบน้ำ และการตั้งช่วงเวลาการเปิดหลอด LED

3) ส่วนการแสดงผลสถิติ

การทำงานในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของ NodeMCU นั้นนอกจากจะแสดงในแบบ Real - time แล้วยังมีการส่งข้อมูลเพื่อไปเก็บไปบนระบบฐานข้อมูล ซึ่งแอพพลิเคชันก็จะสามารถเข้าไปยังระบบเซิฟเวอร์ และแสดงผลข้อมูลทางสถิติบนแอพพลิเคชันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 Flowchart การทำงานของโมบายแอพพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือในการทดลองนั้นสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือ เครื่องฝั่งฮาร์ดแวร์ และเครื่องมือที่ใช้ในฝั่งซอฟต์แวร์ โดยฮาร์ดแวร์นั้นจะเป็นการสร้างชิ้นงานขึ้นมา และนำเซนเซอร์มาวัดค่าเพื่อตรวจสอบและควบคุมค่า รวมไปถึงการทดสอบเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดค่าความถูกต้องของเซนเซอร์แต่ละชนิด และฝั่งซอฟต์แวร์จะเป็นการเชื่อมต่อเพื่อส่งข้อมูลให้แต่ละอุปกรณ์ได้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้รวมไปถึงเครื่องมือในการออกแบบชิ้นงาน ลายวงจร และเครื่องมือในการตรวจวัดแพ็กเก็ตที่ส่งถึงกันเพื่อนำมาวิเคราะห์อีกด้วย

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองส่วนฮาร์ดแวร์

3.2.1.1 เครื่องมือวัดต่างๆ เพื่อวัดความถูกต้องของเซนเซอร์

1) เทอร์โมมิเตอร์

2) ไม้บรรทัด

3) Lux Meter

4) Hygrometer

5) Oscilloscope

3.2.1.2 อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน

1) NodeMCU 2 ชิ้น

2) เซนเซอร์ 4 ชนิด อาทิ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ (DHT22), เซนเซอร์วัดความชื้นในวัสดุปลูก (Soil Moisture Sensor), เซนเซอร์วัดความเข้มแสง (Light Intensity Digital Sensor), เซนเซอร์วัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Sensor)

3) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ในการสร้างวงจร อาทิ คาพาซิเตอร์, ทรานซิสเตอร์, ตัวต้านทาน, ไดโอด, Switching Adapter, สายไฟ, Relay

4) Acrylic หนา 8 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองส่วนซอฟต์แวร์

3.2.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1) Sketchup Make 3

2) Eagle

3) Proteous 8

3.2.2.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ออกแบบโมบายแอพพลิเคชั่น

1) Sublime Text 3

2) Phonegap Developer

3) Google Chrome

3.2.2.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบการรับ - ส่งข้อมูล

1) WireShark

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

ในการจัดเก็บผลการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 4 อย่างด้วยกันคือ

1) ความถูกต้องของเซนเซอร์ เพื่อทำการปรับค่าให้ตรงกับความเป็นจริง

2) การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างร่วมกับ Microcontroller

3) การใช้งาน Mobile Application ในการควบคุมดูแลการทำงานของอุปกรณ์

4) การปลูกพืชจริงๆ ว่าอุปกรณ์มีความสามารถในการปลูกพืชมากน้อยเพียงใด สามารถปลูกพืชชนิดไหนได้บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

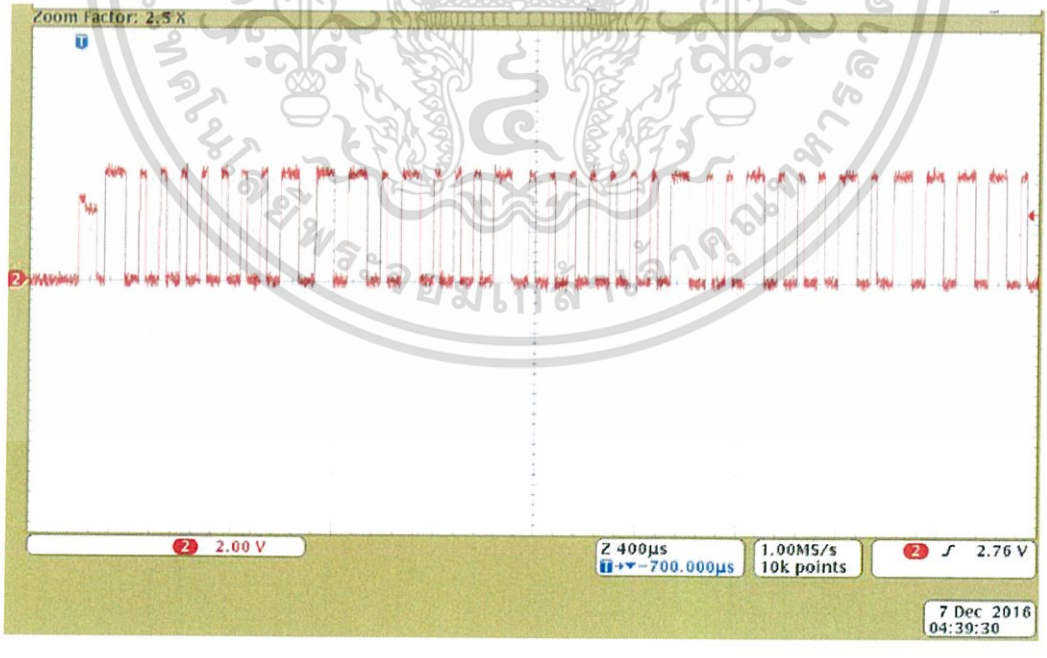
ผลการทดลองของโครงงานสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ และส่วนของซอฟต์แวร์ โดยส่วนของฮาร์ดแวร์จะแสดงถึงการแสดงค่าจากอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเซนเซอร์ และการจัดรูปแบบของอุปกรณ์ อีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนของซอฟต์แวร์จะเป็นการแสดงผลโมบายแอพพลิเคชั่นที่ได้ทำการสร้าง และรวมไปถึงแพ็กเกจควบคุมที่ทำการส่งเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ

4.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนของฮาร์ดแวร์

ในส่วนนี้จะทำการอภิปรายผลแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การแสดงผลของเซนเซอร์ต่างๆ และส่วนของการสร้างอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้งานในโรงเรือน

4.1.1 รูปแบบการส่งข้อมูลของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ

สัญญาณที่ส่งมาจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ (DHT22) โดยใช้ออสซิลโลสโคปในการตรวจวัด แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 โดยสามารถแจกแจงออกมาตามดาต้าชีทได้



รูปที่ 4.1 ข้อมูลจากเซนเซอร์ DHT22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ส่งมากจาก DHT22 จะเป็นข้อมูล 40 bit โดย

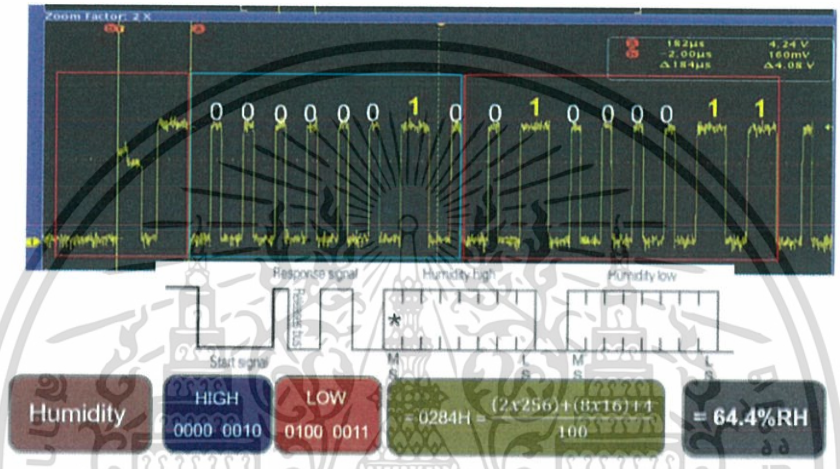
8 bit แรก คือ ข้อมูลของความชื้น

bit ที่ 9 - 16 คือ ข้อมูลความชื้นที่เป็นหน่วยทศนิยม

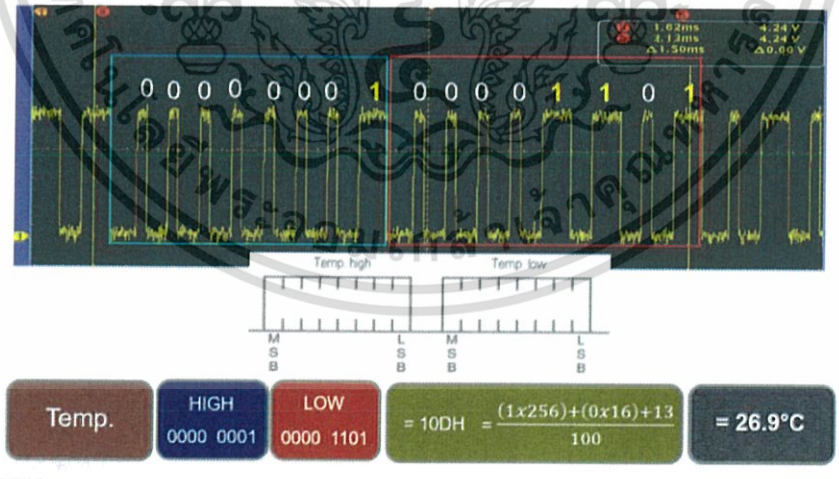
bit ที่ 17 - 24 คือ ข้อมูลอุณหภูมิ

bit ที่ 25 - 32 คือ ข้อมูลอุณหภูมิที่เป็นหน่วยทศนิยม

bit ที่ 33 - 40 คือ bit เช็คข้อมูล โดยการเอา 8 bit 4 ชุดมาบวกกัน

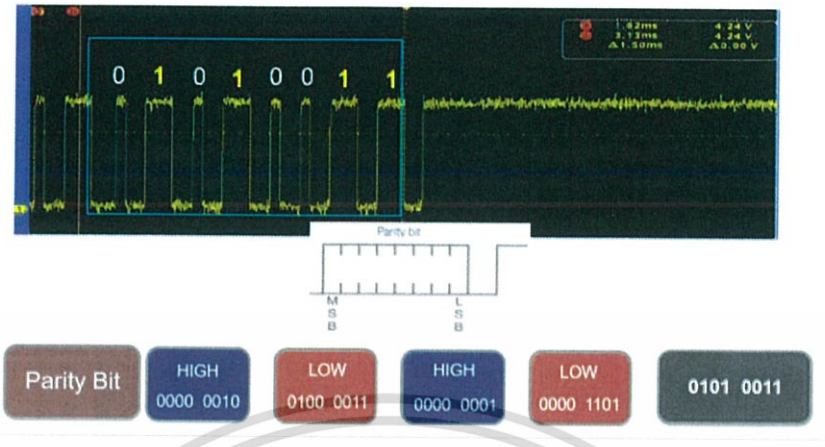


รูปที่ 4.2 วิธีการคำนวณหาค่าความชื้นในอากาศจากข้อมูล 16 บิตแรก



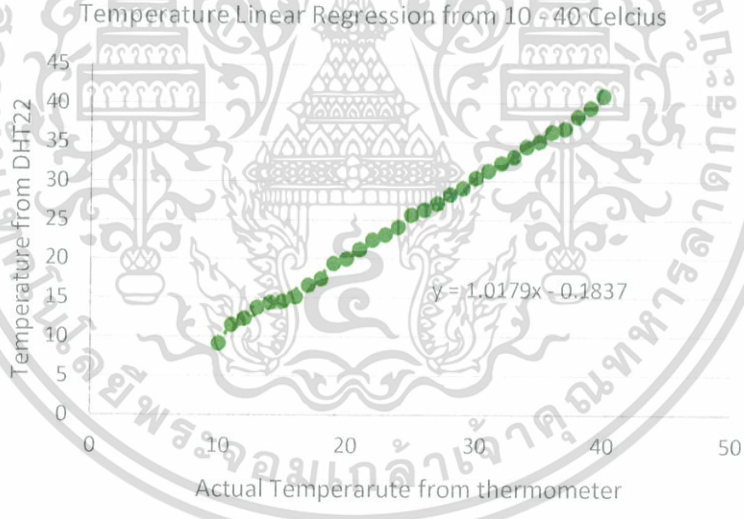
รูปที่ 4.3 วิธีการคำนวณหาค่าอุณหภูมิในอากาศจากข้อมูลบิตที่ 17-32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 วิธีการคำนวณหาค่า Parity bit เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งมา

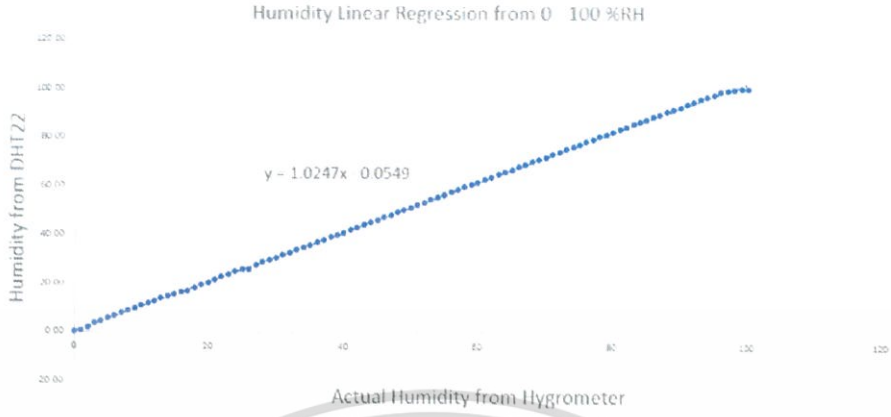
จากรูปที่ 4.2 - 4.4 เป็นการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ข้อมูลที่ส่งมาจากเซนเซอร์ DHT22 เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งมาจากบิตก่อนหน้านี้



รูปที่ 4.5 กราฟ Linear Regression อุณหภูมิในอากาศ

จากรูปที่ 4.5 เป็นการทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่วัดได้เซนเซอร์ DHT22 กับเทอร์โมมิเตอร์ ในช่วงอุณหภูมิ 10 – 40 องศาเซลเซียส ซึ่งได้สมการ Linear Regression ออกมาเป็น y = 1.0179x - 0.1837 เพื่อนำไป Calibrate เซนเซอร์ให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด (ผลการทดลองที่ ภาคผนวก ค-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟ Linear Regression ความชื้นในอากาศ

จากรูปที่ 4.6 เป็นการทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่วัดได้เซนเซอร์ DHT22 กับไฮโกรมิเตอร์ ในช่วงความชื้น 0 – 100 %RH ซึ่งจะได้สมการ Linear Regression ออกมาเป็น y = 1.0247x - 0.0549 เพื่อนำไป Calibrate เซนเซอร์ให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด (ผลการทดลองที่ภาคผนวก ค-2)

4.1.2 รูปแบบการส่งข้อมูลของเซนเซอร์ Soil Moisture Sensor

จะทำการเชื่อมต่อขาอะแนล็อกของตัวเซนเซอร์เข้ากับออสซิลโลสโคป โดยที่ขาอะแนล็อกจะต่อตรงกับวงจรภายในตัวเซนเซอร์ ซึ่งให้ค่าแรงดันออกมาตั้งแต่ 0 - 5V โดยหากความชื้นในดินมีมาก แรงดันที่ปล่อยออกไปก็จะน้อยตามไปด้วย ในลักษณะของการแปรผันกลับ หลักการทำงานของเซนเซอร์ตัวนี้คือจะวัดค่าการนำไฟฟ้าระหว่างสองแท่ง ถ้ามีการนำไฟฟ้าที่ดีแสดงว่าดินมีความชื้น เพราะน้ำเป็นตัวนำไฟฟ้า แต่ถ้ามีการนำไฟฟ้าที่ไม่ดี แสดงว่าดินแห้ง ทำให้ประจุไฟฟ้าวิ่งผ่านได้ยาก หรือมีความต้านทานสูงนั่นเอง โดยในปริญญานิพนธ์นี้จะแบ่งระดับความชื้นในดิน 0 – 5 โวลต์ ด้วยความชื้นของวัสดุปลูกตั้งแต่ระดับชื้นที่สุดถึงแห้งที่สุด เมื่อวัสดุปลูกมีความชื้นสูงที่สุดจะมีปริมาณความชื้นในดิน ประมาณ 300 กรัม วัดได้จาก

ความชื้นในดิน (gram) = มวลของวัสดุปลูกที่เปียกเต็มที่ – มวลวัสดุปลูกแห้ง

จากนั้นใช้ซอฟท์แวร์เพื่อทำการ Calibrate ค่าจาก Soil Moisture Sensor คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่างค่าความชื้นของวัสดุปลูกขณะแห้งและมวลของวัสดุปลูกขณะเปียกเต็มที่โดยสามารถเขียนเป็นตารางที่ 4.1 และ 4.2 ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แรงดันที่วัดได้จากออสซิลโลสโคปเทียบกับวัสดุปลูกแห้ง

ครั้งที่	แรงดันที่วัดได้จาก Oscilloscope (V)	คิดเป็นร้อยละ (%)
1	0	
2	0	
เฉลี่ย	0	0

ตารางที่ 4.2 แรงดันที่วัดได้จากออสซิลโลสโคปเทียบกับวัสดุปลูกเปียกเต็มที่

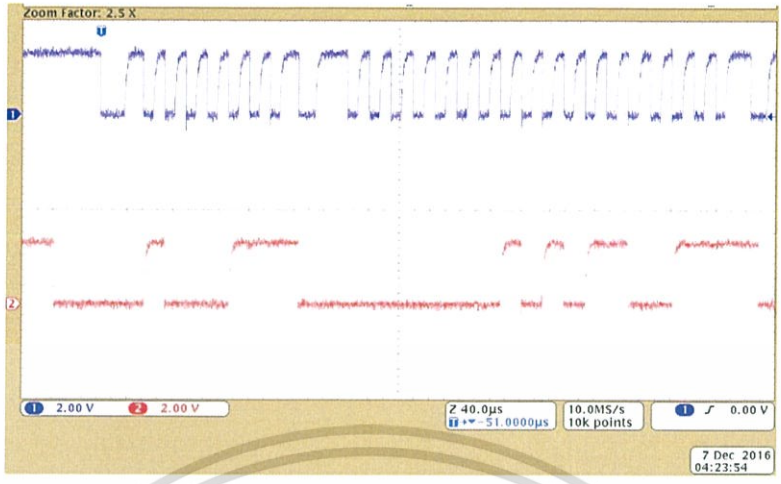
ครั้งที่	แรงดันที่วัดได้จาก Oscilloscope (V)	คิดเป็นร้อยละ (%)
1	4.88	
2	4.79	
3	4.89	
4	4.88	
5	4.92	
เฉลี่ย	4.872	100

เพราะฉะนั้นการ Calibrate ของ Soil Moisture Sensor ที่นำมาใช้ในปริญญานิพนธ์นี้จะคิดเป็นอัตราตามการทดลองที่ทำตามตาราง 4.1 – 4.2 โดยมีค่าความชื้นในดินสูงสุดเมื่อวัดค่าแรงดันได้ระหว่าง 4.872 – 5 โวลต์ โดยจะคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชื้นในดินต่ำที่สุดเมื่อวัดค่าแรงดันได้ 0 โวลต์ และทำการสร้างสมการเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเปอร์เซ็นต์ที่วัดได้จาก Soil Moisture Sensor

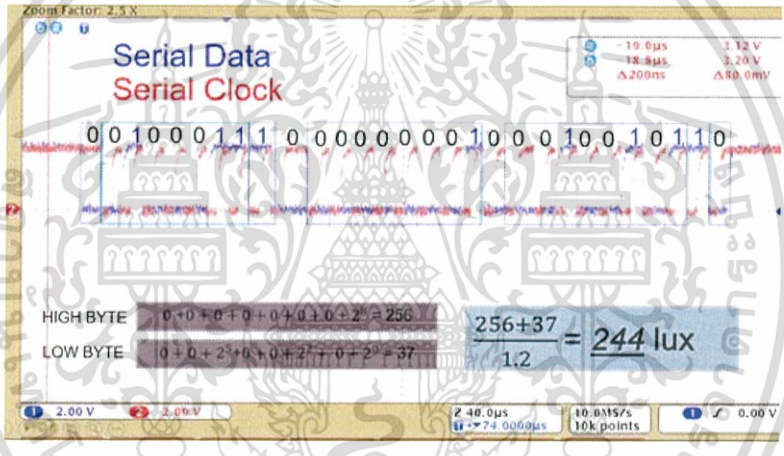
4.1.3 รูปแบบการส่งข้อมูลของเซนเซอร์ Light Digital Sensor

สัญญาณที่ส่งมาจาก Light Digital Sensor โดยใช้ออสซิลโลสโคปในการตรวจวัดแสดงได้ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ข้อมูลที่ส่งมาจาก Light Digital Sensor



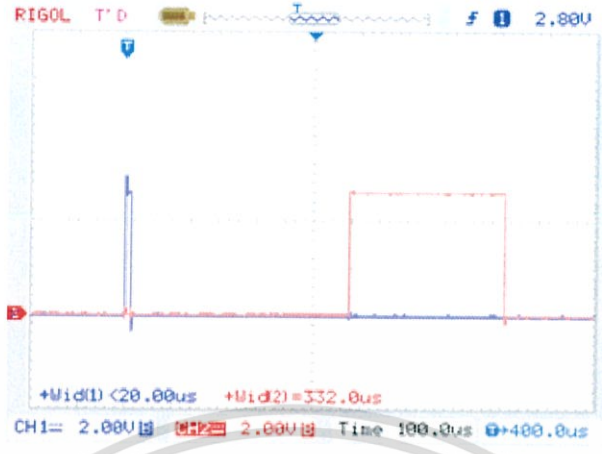
รูปที่ 4.8 วิธีการคำนวณข้อมูลที่วัดได้จาก Light Digital Sensor

จากรูปที่ 4.8 ข้อมูลจะถูกส่งมาเป็น 16 บิต แบ่งเป็น High bit กับ Low bit อย่างละ 8 บิต โดยนำบิตทั้งหมดมาบวกรวมกัน และหารด้วยค่าคงที่ 1.2 จึงจะได้ความเข้มแสงที่มีหน่วยเป็นลักซ์ออกมา [11]

4.1.4 รูปแบบการส่งข้อมูลของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิก

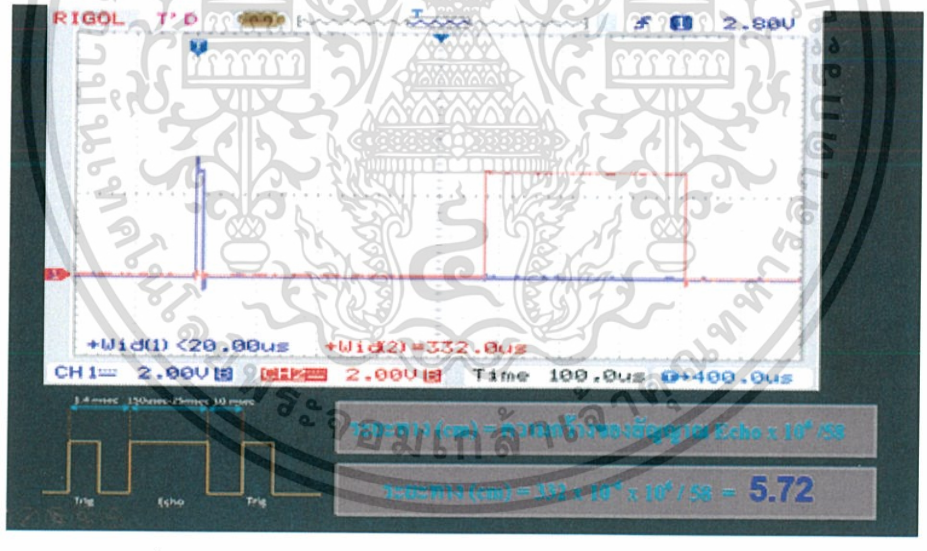
ตามคุณลักษณะของเซนเซอร์จะต้องสร้างสัญญาณพัลส์ความกว้างไม่น้อยกว่า 10 ms ป้อนเข้าที่ขา Trig หลังจากนั้นอีกประมาณ 1.4 ms จึงจะเริ่มมีสัญญาณพัลส์เกิดขึ้นที่ขา Echo มีความกว้างของสัญญาณตั้งแต่ 150 µs – 25 ms ซึ่งถ้าหากกว้างกว่านี้จะถือว่าตรวจไม่พบวัตถุ หลังจากนั้นควรหน่วงเวลาออกไปอีก 10 ms จึงจะส่งสัญญาณ Trig ออกไป ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



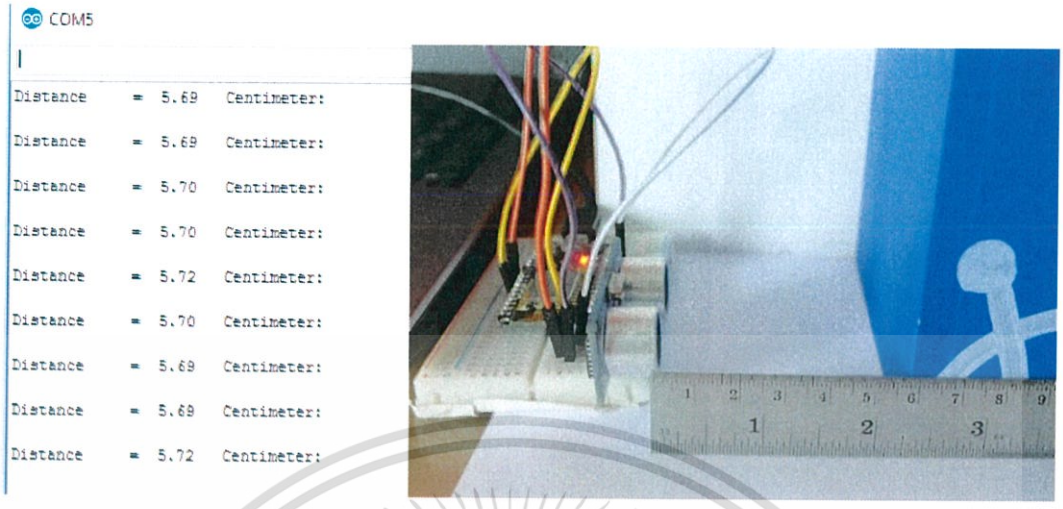
รูปที่ 4.9 ข้อมูลที่ส่งมาจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิก

การตรวจจับความกว้างของสัญญาณใช้โมดูล PWM Capture ซึ่งให้เอาต์พุตออกมาเป็นเวลาในหน่วยวินาที และใช้สมการ คือ ระยะทาง (cm) = (ความกว้างของสัญญาณ x 10^6) / 58 เพื่อคำนวณหาระยะทางระหว่างวัตถุที่ตรวจพบดังรูปที่ 4.10 สมการดังกล่าวได้มาจากดาต้าชีทในการเปลี่ยนระยะความยาว Echo ให้กลายเป็นเซนติเมตร

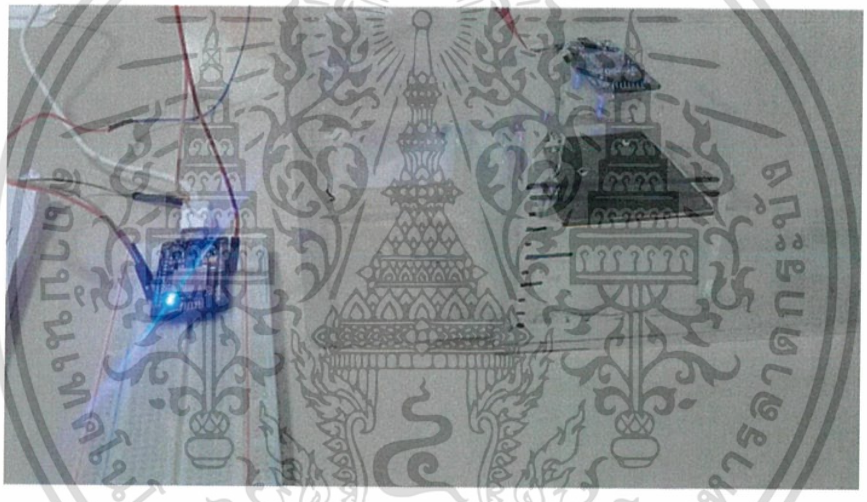


รูปที่ 4.10 วิธีการคำนวณข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิก



รูปที่ 4.12 การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิกเมื่อนำไปติดตั้งในโมเดลอุปกรณ์

จากรูปที่ 4.11 - 4.12 เป็นการทดสอบความแม่นยำในการวัดของเซนเซอร์ Ultrasonic ผลการทดลองจากการอ่านค่าจาก ArduinoIDE เทียบกับระยะจริงมีค่าใกล้เคียงกันโดยสามารถเขียนออกเป็นตารางค่าความผิดพลาดได้ตามตารางที่ 4.3 จากการทดลองพบว่าเซนเซอร์ Ultrasonic จะวัดได้ดีในระยะไกลกว่า 5 เซนติเมตรเป็นต้นไปจึงต้องทำการ Calibrate เซนเซอร์ตามตารางที่ 4.4 ก่อนนำไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การหาค่าความผิดพลาดของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค

ครั้งที่	ระยะจริง (cm)	ระยะที่อ่านค่าจาก ArduinoIDE				ค่าความผิดพลาด(%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1	2.00	2.06	2.08	2.10	2.08	4.00
2	3.00	3.22	3.20	3.17	3.19	6.55
3	5.00	5.03	5.00	5.06	5.03	0.60
4	7.00	7.04	7.06	7.01	7.03	0.52
5	8.00	7.90	7.98	7.92	7.93	0.83
6	10.00	9.86	9.88	9.96	9.9	1
7	12.00	12.01	12.06	12.04	12.03	0.31
8	15.00	15.07	15.07	15.10	15.08	0.53
9	20.00	19.90	19.98	20.11	19.99	0.01
10	25.00	25.08	25.10	25.11	25.09	0.38
ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด						1.10

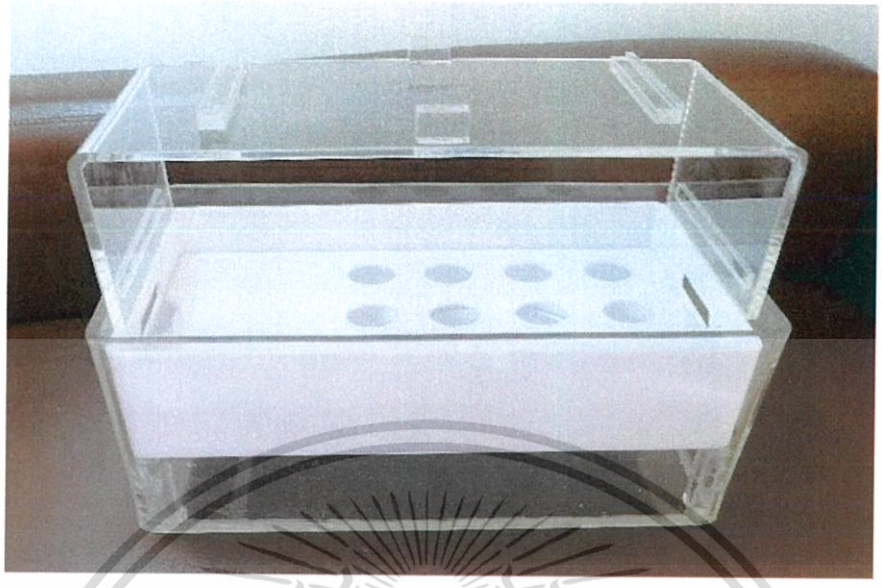
ตารางที่ 4.4 การ Calibrate และทดสอบกับอุปกรณ์

ครั้งที่ / ระยะ(cm)	2	3	4	5
1	2.22	3.11	4.02	5.03
2	2.35	3.02	4.08	5.02
3	2.23	3.08	4.06	5.00
4	2.21	3.06	4.03	5.09
5	2.11	3.07	4.07	5.04

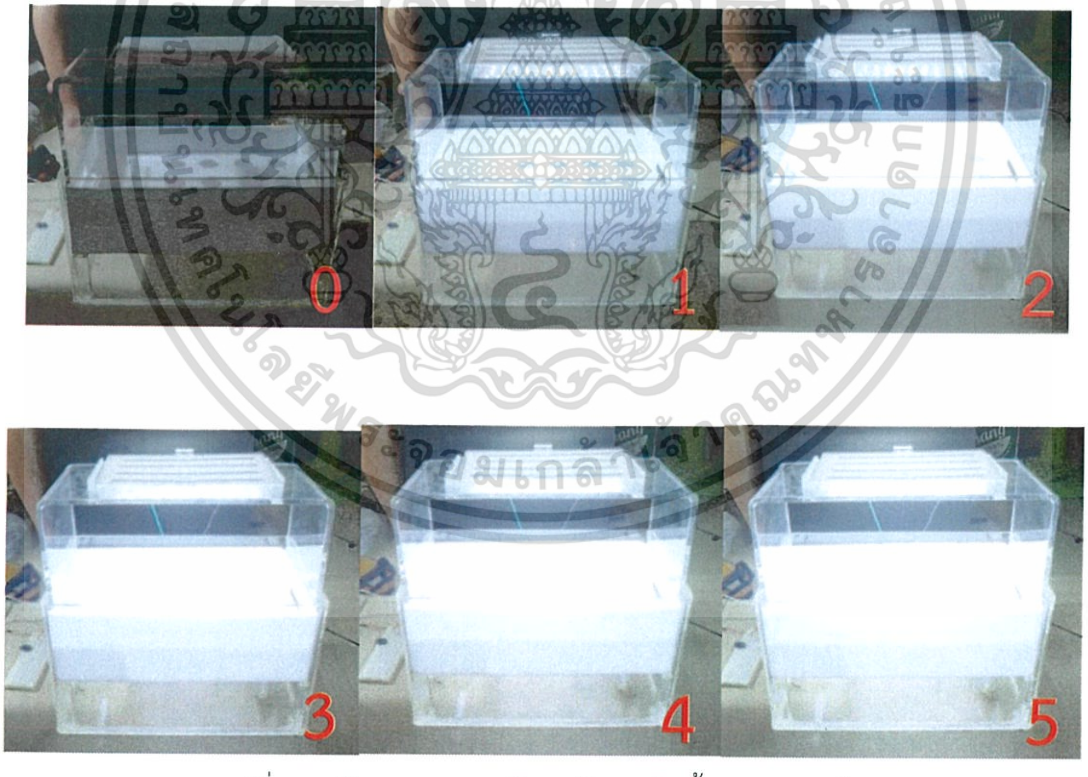
4.1.5 โมเดลจำลองของโครงงาน

จากรูปที่ 4.13 เป็นโมเดลจำลองของโครงงานที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวัสดุอะคริลิกที่ถูกนำมาดัดเป็นรูปร่าง โดยมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ชิ้น คือ ชิ้นฐาน, ชิ้นรองรับพืช และชิ้นรองรับส่วนการให้ไฟ จากนั้นมีการติดตั้งไฟ LED และอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อทดสอบการทำงานของระบบดังรูปที่ 4.14 เป็นการทดสอบการปรับระดับแสงไฟทั้งหมด 6 ระดับ ตั้งแต่ระดับที่ 1 ถึงระดับที่ 5 และมีการติดตั้งปั๊มน้ำ จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของปั๊มน้ำดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

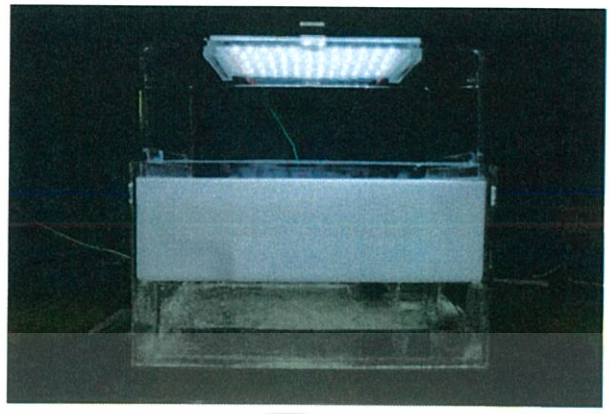


รูปที่ 4.13 โมเดลจำลองของโครงงาน



รูปที่ 4.14 โมเดลทดลองปรับระดับแสงไฟทั้งหมด 6 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

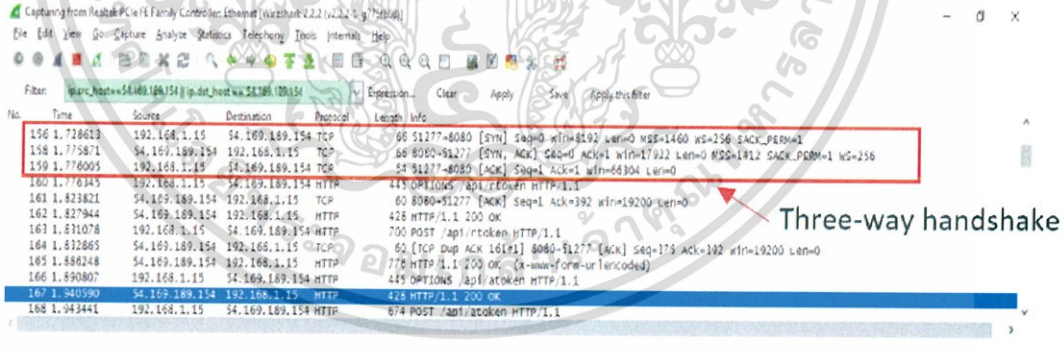


รูปที่ 4.15 โมเดลทดลองการเปิดระบบน้ำ

4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนของซอฟท์แวร์

4.2.1 ผลการทดลองการตรวจจับแพ็กเกตข้อมูลที่ถูกส่งจากอุปกรณ์ด้วยโปรแกรม WireShark

ในส่วนของการตรวจสอบแพ็กเกตด้วยโปรแกรม Wireshark นั้นจะทำการทดสอบการส่งข้อความจากอุปกรณ์ NodeMCU ไปยัง HTTP บนเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วตรวจจับแพ็คเกตที่วิ่งอยู่บนเครือข่าย



รูปที่ 4.16 การทำ Three way handshake ของ Client และ Server

จากรูปที่ 4.16 จะเป็นการทำ Three way handshake ของ Client และ Server โดยจะมีขั้นตอนดังตารางที่ 4.5 โดยสามารถอธิบายการทำงานแต่ละขั้นตอนของ Three way handshake ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

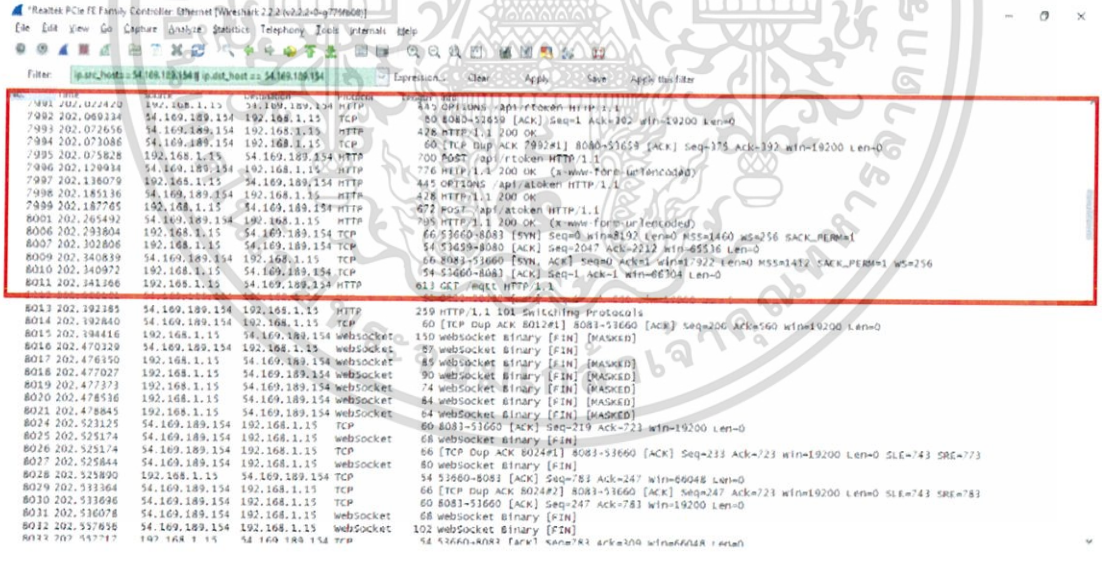
1) TCP ของเครื่องผู้ใช้ส่งเซกเมนต์ที่บรรจุเลขลำดับนี้ (Seq=0) ไปยัง NodeMCU พร้อมทั้งแฟล็ก SYN ให้เป็น “1” (เซกเมนต์ 1)

2) TCP ของ NodeMCU ได้รับเซกเมนต์จากเครื่องผู้ใช้แล้วตอบกลับด้วยเซกเมนต์ SYN (เซกเมนต์ 2) พร้อมทั้งเซ็ตแฟล็ก ACK เพื่อแจ้งว่าได้รับเซกเมนต์ 1 โดยใช้เลขลำดับที่ได้รับจากทางเครื่องของผู้ใช้บวกด้วย 1

3) TCP ของเครื่องผู้ใช้ จะส่งเซกเมนต์ตอบกลับไปว่าได้รับข้อมูลแล้ว (เซกเมนต์ 3) โดยเซ็ตแฟล็ก ACK และใช้เลขลำดับที่ได้รับจาก NodeMCU บวกด้วยหนึ่ง

ตารางที่ 4.5 ขั้นตอนการทำ Three way handshake

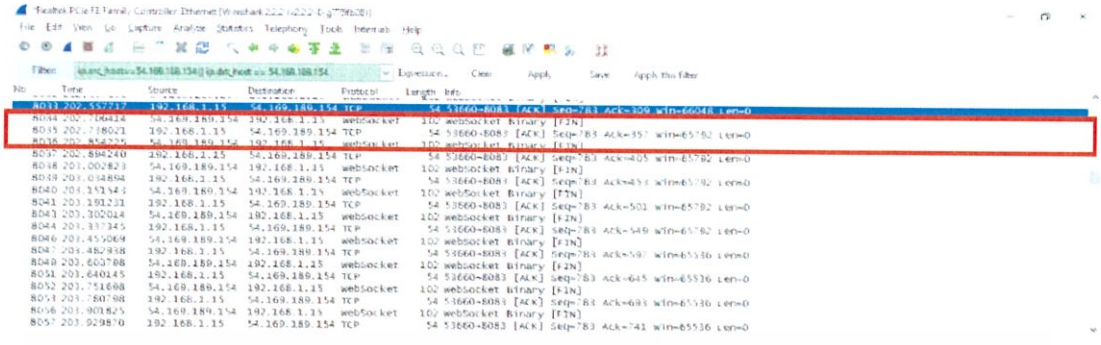
ลำดับ	Segment	Source		Destination		Seq	Ack
		IP Address	Port	IP Address	Port	No.	No.
1	SYN	192.168.1.15	51277	54.169.189.154	8080	0	0
2	SYN,ACK	54.169.189.154	8080	192.168.1.15	51277	0	1
3	SYN	192.168.1.15	51277	54.169.189.154	8080	1	1



รูปที่ 4.17 การรีเควสโทเคนและ GET MQTT Protocol

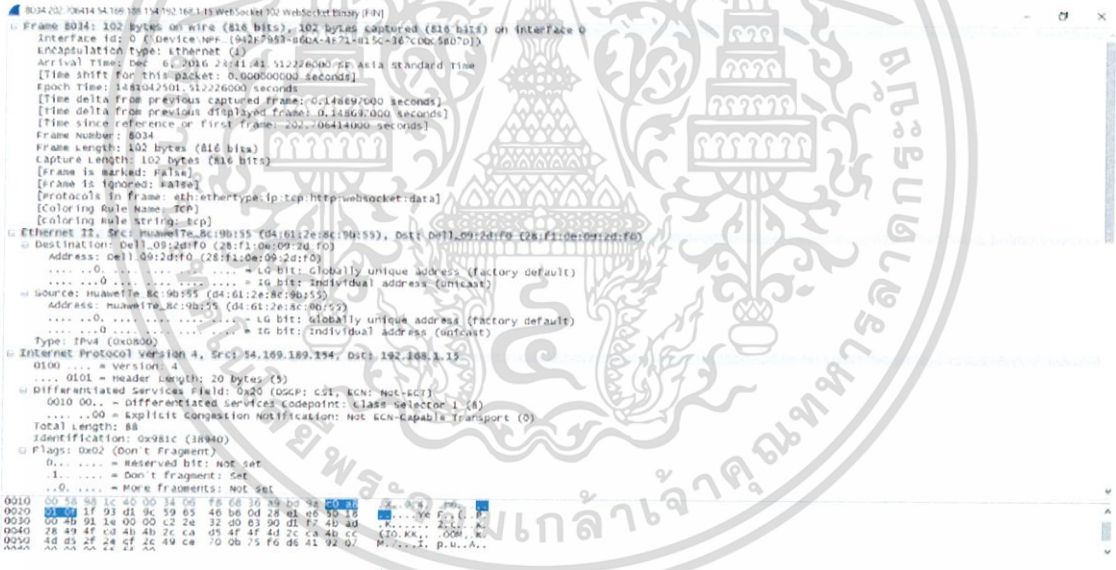
จากรูปที่ 4.17 จะเป็นการรีเควสโทเคนเพื่อทำการเชื่อมต่อและทำการ GET MQTT Protocol ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลระหว่าง Client และ Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ลักษณะของ packet ข้อมูลที่ถูกส่ง

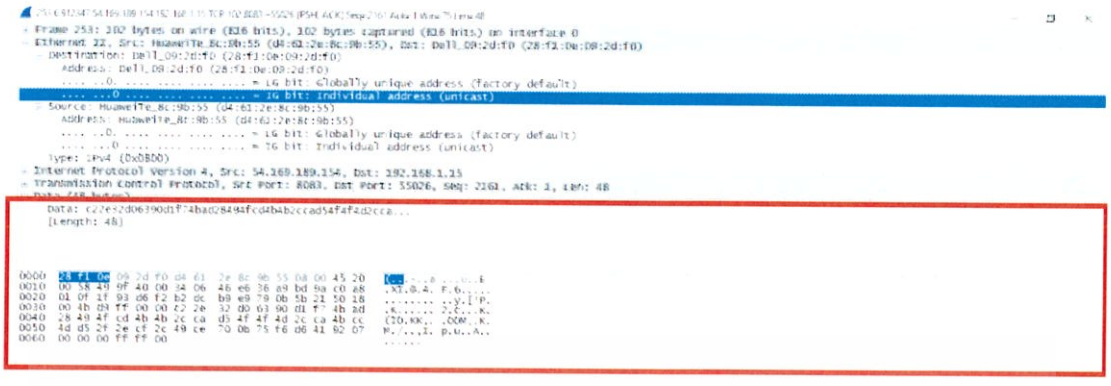
จากรูปที่ 4.18 เป็น packet data ที่ส่งจาก NodeMCU ด้วย Websocket Protocol มายังเครื่องผู้ใช้งานโดย NodeMCU จะถูกโปรแกรมให้ส่งข้อมูลแบบต่อเนื่องซึ่งทุกๆครั้งที่เครื่องผู้ใช้งานได้รับ packet จะทำการส่ง ACK Flag เพื่อแจ้งว่าได้รับเซกเมนต์ดังกล่าวแล้ว โดยเฟรมข้อมูลจะมีรายละเอียดดังรูปที่ 4.19



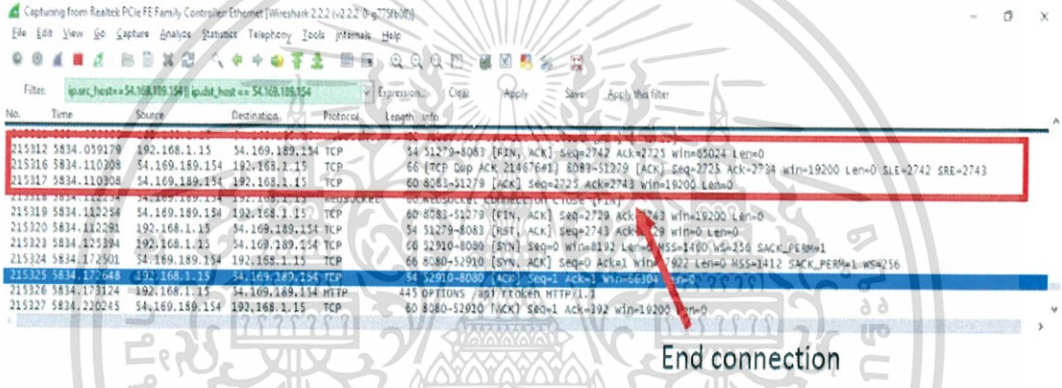
รูปที่ 4.19 รายละเอียดของเฟรมข้อมูล

จากรูปที่ 4.20 จะเป็นรายละเอียดของเฟรมข้อมูลที่ส่งจาก NodeMCU ไปยังเครื่องปลายทางโดยจะมีข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ขนาด 40 bytes ที่ถูกเข้ารหัสไว้ถูกส่งออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ข้อมูลที่ถูกส่งจาก NodeMCU ที่ถูกเข้ารหัส



รูปที่ 4.21 การทำการจบการเชื่อมต่อ

จากรูปที่ 4.21 จะเป็นการทำการจบการเชื่อมต่อโดยจะมีขั้นตอนดังนี้

1) TCP ของเครื่องต้นทางส่ง FIN Flag ไปยังเครื่องปลายทางเพื่อแสดงความต้องการในการจบการเชื่อมต่อ

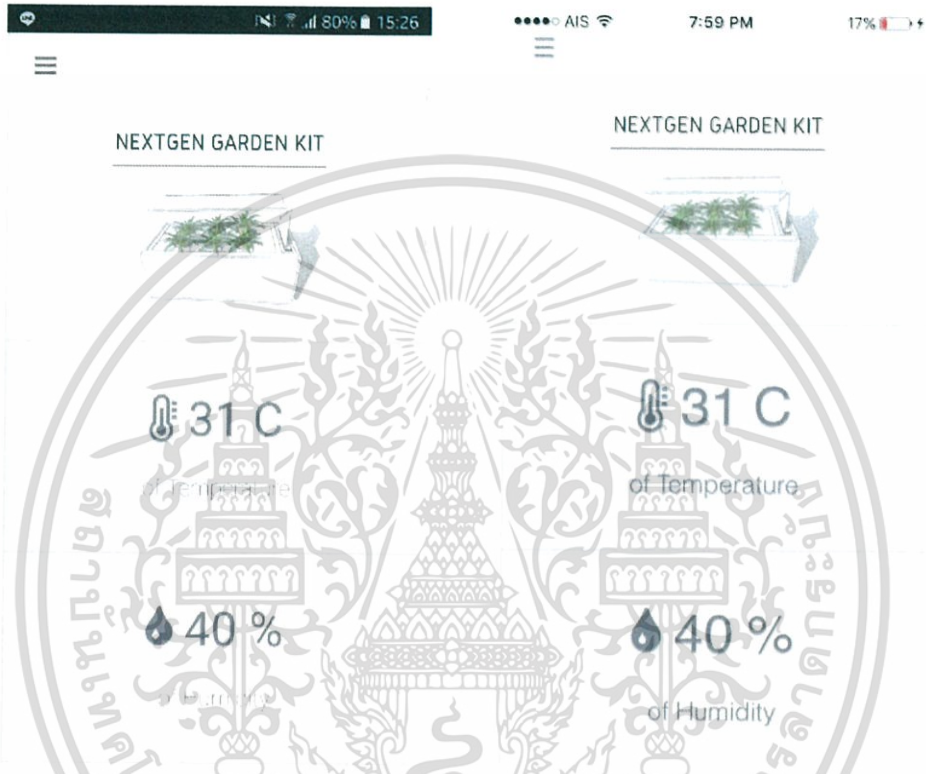
2) TCP ของเครื่องปลายทาง NodeMCU ได้รับเซกเมนต์จากเครื่องผู้ใช้และเซ็ตแฟล็ก FIN, ACK บวกด้วยหนึ่งเพื่อแจ้งว่าได้รับเซกเมนต์ 1 และจบการเชื่อมต่อ

3) TCP ของเครื่องต้นทางส่ง ACK ไปยังเครื่องปลายทางเพื่อยืนยันการจบการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองการทำงานของโมบายแอพพลิเคชัน

การทดลองการแสดงผลและการทำงานของแอพพลิชันจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ส่วนการรายงานค่าพารามิเตอร์ ส่วนการควบคุม และส่วนการแสดงสถิติ ซึ่งจะสามารถใช้งานได้ทั้งแพลตฟอร์ม iOS และ Android แสดงได้ดังรูปที่ 4.22

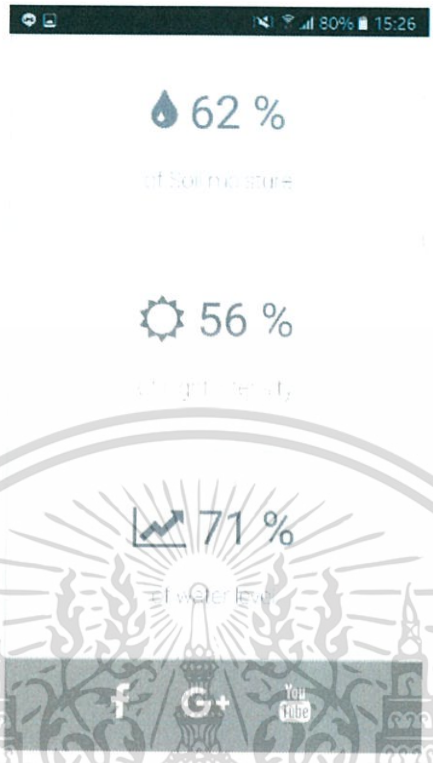


รูปที่ 4.22 หน้าแอพพลิเคชันของแพลตฟอร์ม iOS และ Android

1) ส่วนการรายงานค่าพารามิเตอร์

การแสดงผลในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 5 Section ได้แก่ อุณหภูมิ (°C) ความชื้นในอากาศ (%) ความชื้นในวัสดุปลูก (%) ความเข้มแสง (lux) และระดับน้ำ (%) แสดงได้ดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 การรายงานค่าพารามิเตอร์บนหน้าแอพพลิเคชัน

2) ส่วนการควบคุม

ผู้ใช้งานจะสามารถเลือกการควบคุมได้ใน 2 ลักษณะคือ การควบคุมแบบอัตโนมัติและกาควบคุมเองโดยผู้ใช้งาน

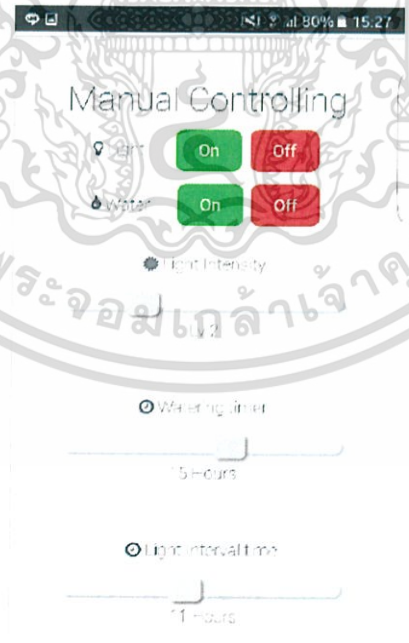
ในส่วนของการควบคุมแบบอัตโนมัตินั้นผู้ใช้งานจะสามารถเลือกได้ว่าจะให้ระบบทำงานในรูปแบบเฉพาะสำหรับการปลูกพืชแต่ละชนิดซึ่งจะมี 3 หัวข้อให้ผู้ใช้งานเลือกได้แก่ ปลูกผักสลัด ปลูกพืชดอก และการปลูกแบบผสมผสาน ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ตัวเลือกในการควบคุมผ่านแอพพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งานในโหมดอัตโนมัติ

ในส่วนของการควบคุมเองโดยผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถที่จะเลือกการควบคุมได้ใน 5 รูปแบบได้แก่ ควบคุมการเปิด-ปิดระบบน้ำ ควบคุมการเปิด-ปิดระบบแสง ควบคุมระดับแสงที่เปิด ควบคุมเวลาในการเปิด-ปิดระบบน้ำ และควบคุมเวลาในการเปิด-ปิดระบบแสงแสดงได้ดังรูปที่ 4.25



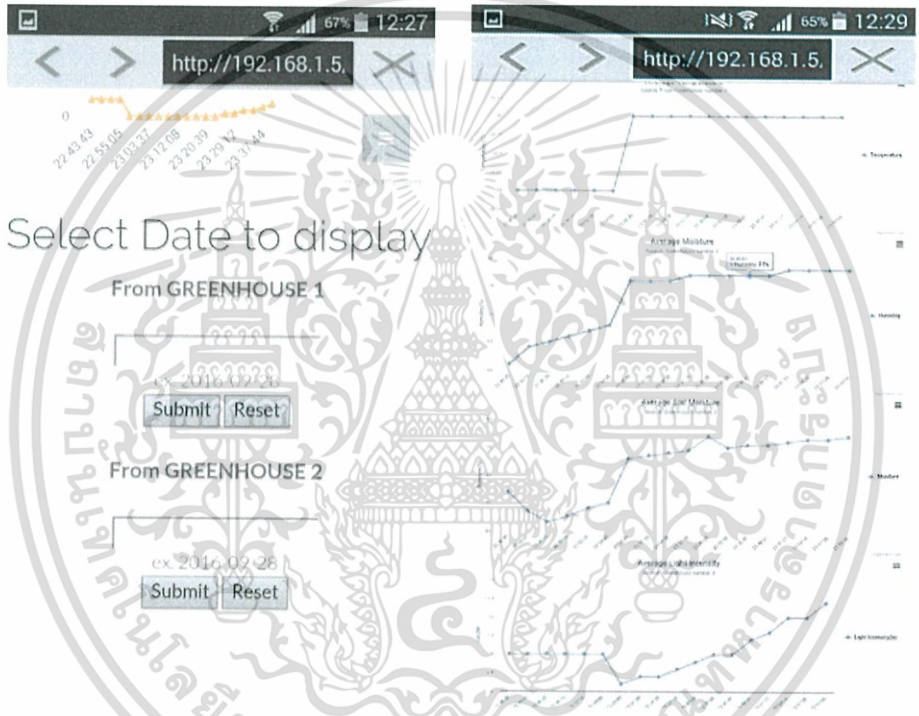
รูปที่ 4.25 ตัวเลือกการควบคุมโดยผู้ใช้งานบนหน้าแอพพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งระบบการควบคุมเวลาในการเปิด-ปิดนั้น แอพพลิเคชันจะส่งข้อมูลไปยัง Nodemcu ในลักษณะของจำนวนชั่วโมงต่อวันที่ผู้ใช้งานต้องการให้มีการทำการเปิด โดย Nodemcu จะนำข้อมูลนี้ไปประมวลผลต่อในการควบคุม

3) ส่วนแสดงค่าเชิงสถิติ

เมื่อผู้ใช้งานเปิด Navigation bar ด้านข้างจะสามารถเลือกหัวข้อ Statistic เพื่อเชื่อมต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่บันทึกค่าสถิติย้อนหลัง โดยแสดงออกมาในรูปแบบกราฟสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การรายงานสถิติผ่านแอพพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาค้นคว้าและการทดสอบระบบทำให้สามารถสรุปผลการศึกษาได้เป็นส่วนๆ แบ่งออกเป็นในส่วนของฮาร์ดแวร์ และในส่วนของซอฟต์แวร์ได้ดังนี้

5.1.1 ฮาร์ดแวร์

ในส่วนของฮาร์ดแวร์นั้นได้ทำการสร้างอุปกรณ์ที่สามารถนำเอาไปประยุกต์ใช้ในเชิงการเกษตรเพื่อที่จะสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียวภายในที่อยู่อาศัยให้แก่ผู้ใช้งาน โดยนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้ชีวิตของประชากรในปัจจุบัน จากการนำเอาเทคโนโลยีต่างๆ มาประยุกต์รวมกันไม่ว่าจะเป็น Microcontroller, Sensor, Cloud, Database และ Mobile Application นำมาใช้ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้งาน ซึ่งอุปกรณ์ที่เราได้สร้างขึ้นนี้จะตอบโจทย์แก่ผู้ใช้งานที่ไม่ค่อยมีเวลาในการดูแลเลี้ยงดูพืช โดยอุปกรณ์ของเราจะมีระบบ Automatic Control ที่จะคอยดูแลการเจริญเติบโตของพืชแบบอัตโนมัติ และมีระบบ Manual Control ที่ผู้ใช้งานสามารถเลือกให้น้ำ หรือปรับระดับแสงให้แก่พืชที่นำไปปลูกได้ อีกทั้งผู้ใช้งานยังสามารถมอนิเตอร์สังเกตการณ์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดได้จากเซนเซอร์ เช่น ความชื้นในดิน ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิ ระดับความเข้มแสง และระดับน้ำ ผ่านทางโมบายแอพพลิเคชัน ทำให้มีความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้งานมากขึ้น โดยอุปกรณ์เรายังมีระบบเก็บข้อมูลในเชิงสถิติเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ได้ เช่น นำค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้มาวิเคราะห์หาช่วงอุณหภูมิ ความชื้นหรือแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ซึ่งทางเรายังได้ทำการพัฒนาแนวทางการเจริญเติบโตของธุรกิจเพื่อที่จะสามารถนำอุปกรณ์ของเราออกไปวางจำหน่ายในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ซอฟต์แวร์

จากการศึกษาค้นคว้า และทดลองการเขียนโปรแกรมก่อให้เกิดความสามารถในการเขียนโปรแกรม และความสามารถในการแก้ปัญหาในหลายด้าน ทางด้านซอฟต์แวร์มีหลายส่วนคือ 1) Mobile Application 2) Cloud 3) Database และยังสามารถกล่าวถึงแนวทางการพัฒนาได้อย่างหลากหลาย

5.1.2.1 สามารถสร้าง Mobile Application ที่สามารถนำไปใช้ได้จริง การสร้าง Mobile Application โดยใช้โปรแกรม Phonegap นั้นถือเป็นข้อดีที่สามารถรองรับได้ทุกๆ แพลทฟอร์มซึ่งโทรศัพท์มือถือที่มี Operating System แตกต่างกันก็สามารถสามารถใช้ Application ที่สร้างขึ้นได้อย่างทั่วถึง การสร้าง Mobile Application ในส่วนของ User Interface เป็นสิ่งที่สำคัญเพราะจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงการใช้งาน Application ได้อย่างครบถ้วน

5.1.2.2 NETPIE Cloud ในส่วนของด้าน Cloud จากการศึกษา Cloud ของ NETPIE นั้นมีความเสถียร สามารถทนต่อความผิดพลาด และเป็นแนวทางที่ดีต่อการสร้างธุรกิจหรือการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเทคโนโลยี IOT (Internet of Things) ในส่วนของ Cloud นั้นสามารถพัฒนาต่อได้มากมาย เพราะมีเทคโนโลยี Microgear รองรับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์เกือบทุกชนิด ทำให้สามารถพัฒนาต่อไปได้ง่าย

5.1.2.3 ระบบฐานข้อมูล (Database) ในส่วนของฐานข้อมูลนั้น ในปริญญานิพนธ์นี้เพียงแค่รับค่าแล้วนำมาเก็บ และนำข้อมูลที่ได้นำมาเขียนเป็นกราฟเทียบกับทางเวลาเท่านั้น แนวทางการพัฒนาในส่วนของฐานข้อมูลคือ สามารถนำข้อมูลที่เก็บไว้มาประมวลผล ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ปริมาณของพารามิเตอร์ต่างๆ ว่ามีค่าเฉลี่ยเท่าใดพืชจึงจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

5.1.3 การทดลองปลูกพืชจริง

จากการทดลองปลูกพืชจริงโดยใช้ชุดอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ไว้ในห้อง โดยให้ระบบทำงานอัตโนมัติได้ลองทำการปลูกพืช 2 ชนิดได้แก่ ต้นอ่อนทานตะวัน และต้นกรีนคอส

5.1.3.1 ต้นอ่อนทานตะวัน ขั้นตอนแรกทำการนำเมล็ดพันธุ์ไปแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดใส่ลงในกระถางสำหรับปลูกพืชกระถางละ 3-4 เมล็ด จากนั้นนำไปติดตั้งภายในตัวอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ จากนั้นทำการตั้งค่าการทำงานผ่าน Mobile Application โดยทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ดังนี้

- ให้แสงเป็นเวลา 14 ชั่วโมงต่อวัน
- ระดับแสงที่ระดับ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ให้น้ำทุกๆ 2 ชั่วโมง

จากรูปที่ 5.1 เป็นการทดลองปลูกต้นอ่อนทานตะวันโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้อุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ กับไม่ใช้ โดยผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูป โดยการใช้เครื่องอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ส่งผลให้ต้นอ่อนทานตะวันสามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งขนาดของใบใหญ่กว่า และลำต้นที่อวบกว่า รวมไปถึงรากที่สามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่าการไม่ใช้อุปกรณ์ปลูกพืชอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบระหว่างต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกด้วยอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ (ขวา) กับต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกโดยไม่ใช้อุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ (ซ้าย)

5.1.3.2 ต้นกรีนคอส สำหรับต้นกรีนคอสไม่ต้องผ่านกระบวนการการนำเมล็ดพันธุ์ไปแช่น้ำ สามารถนำเมล็ดพันธุ์ไปใส่ในกระถางสำหรับปลูกพืชได้เลย จากนั้นนำไปติดตั้งภายในตัวอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ และทำการตั้งค่าการทำงานผ่าน Mobile Application โดยทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ดังนี้

- ให้แสงเป็นเวลา 15 ชั่วโมงต่อวัน
- ระดับแสงที่ระดับ 5
- ให้น้ำทุกๆ 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 5.2 เป็นการทดลองปลูกต้นกรีนคอสโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้อุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่กับไม่ใช้ โดยผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูป โดยการใช้เครื่องอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ส่งผลให้ต้นกรีนคอสสามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งขนาดของใบใหญ่กว่าและมีใบอ่อนงอกออกมาได้รวดเร็วกว่า โดยมีแนวโน้มในการเจริญเติบโตมากกว่าการปลูกแบบปกติ



รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบระหว่างต้นกรีนคอสที่ปลูกด้วยอุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ (ขวา) กับต้นกรีนคอสที่ปลูกโดยไม่ใช้อุปกรณ์ปลูกพืชและสวนยุคใหม่ (ซ้าย)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ข้อเสนอแนะเกี่ยวข้องโครงงานนี้คือ บางขั้นตอนโปรแกรม Phonegap กับ Microgear ไลบรารีอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นหรือที่เรียกว่าบัคของระบบ ให้ใช้การรีสตาร์ทระบบแล้วทำการ Compile โปรแกรมเข้าใน Hardware ใหม่อีกครั้ง

2) ในการสร้างแอพพลิเคชันนั้นการที่จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกนั้นต้องผ่านการทดลองในหลายๆ รูปแบบ ซึ่งในโครงงานนี้ได้ทำออกมาพียงไม่กี่รูปแบบ กล่าวได้ว่าแนวทางการพัฒนาทาง Mobile Application นั้น ควรพัฒนาด้าน User Interface ให้ดีมากขึ้น มีความทันสมัยขึ้นและเข้าถึงได้ง่ายขึ้น

3) เนื่องจากเซนเซอร์ที่เรานำไปใช้ในระบบมีราคาถูก ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ต่างๆ อาจมีความคลาดเคลื่อนผิดพลาดไปบ้าง

4) เมล็ดพันธุ์พืชที่เราได้นำมาปลูกอาจจะเจริญเติบโตได้ไม่ทุกเมล็ด เนื่องจากอาจเกิดจากการที่เมล็ดพันธุ์ที่เราได้ทำการซื้อมาไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งอาจมีบางเมล็ดที่เสียหรือฟ่อ ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] อวยพร โกมลวิจิตรกุล. *สร้าง Mobile App ข้ามแพลตฟอร์มด้วย PhoneGap*. กรุงเทพฯ : วิตตี้กรุ๊ป, 2558.

[2] บัญชา ปะสีละเตสัง. *สร้างเว็บไซต์ด้วย HTML5 ร่วมกับ CSS3 และ jQuery*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2556.

[3] Thanawat Deemod. "การเพาะปลูกแบบ Vertical Garden." http://cmmakerclub.com/2015/06/micro/arduino-2/การเพาะปลูกแบบ Vertical Garden

[4] Rawi Chalermbuntai. "การเชื่อมต่อ NETPIE.io ด้วย ESP8266 เบื้องต้น." http://kongrawi.blogspot.com/2016/07/netpieio-esp8266.html

[5] Niran Piyapanichayagoon. "การเพาะปลูกด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์." http://hydroponics.blogspot.com/2014/02.html

[6] ปวเรศ บวรภัทรวดี. "ทำความรู้จักกับ MQTT Cloud." http://www.semi-journal.com/ทำความรู้จักกับ-mqtt-cloud/

[7] Michael Tharrington. "The Future of Smart Farming With IoT and Open Source Farming." https://dzone.com/articles/the-future-of-smart-farming-with-iot-and-open-sour

[8] บัญชา ปะสีละเตสัง. *พัฒนาเว็บแอปพลิเคชั่นด้วย PHP ร่วมกับ MySQL และ Dreamweaver*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2556.

[9] ประภาส สุวรรณเพชร. "ออกแบบลายปริ้นด้วย Cadsoft Eagle." http://www.praphas.com/index.php/2008-11-03-14-25-25/36-2008-11-04-15-15-34/82-cadsoft-eagle

[10] Jirawat. "วิเคราะห์ระบบเครือข่ายด้วย Wireshark." http://www.avrportal.com/?lang=th&page=wireshark

[11] Rohm. "Digital 16 Bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC" http://www.rohmfs.rohm.com/en/products/databook/datasheet/ic/bh1620fvc-e.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

โค้ดโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1 โค้ดการควบคุมแบบ Auto - control

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <MicroGear.h>

const char* ssid     = "Magneto";
const char* password = "mgntkuyy";

#define APPID       "garden"
#define GEARKEY     "gvymPp4aJm7kUJ9"
#define GEARSECRET  "Lye7RzG1HfD5riSf8uJckD448"
#define ALIAS    "mg3"
#define SCOPE    "mg3"
#define RelayPin1  13 //Light D7
#define RelayPin2  15 //water D8

WiFiClient client;

unsigned long previousMillis_water = 0;
unsigned long previousMillis_light = 0;
long interval = 0;
long light_interval = 0;
int light_level = 0;
int timer = 0;
int statePin1 = LOW;
int statePin2 = LOW;
const int analogOutPin = 4;
MicroGear microgear(client);

void onMsghandler1(char *topic, uint8_t* msg, unsigned int msglen) {
  Serial.print("Incoming message --> ");
  msg[msglen] = '\0';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Serial.println((char *)msg);
Serial.println((char *)topic);
char *x = (char *)(msg);
char *order = strtok(x, ",");
Serial.println((char *)order);
if (strcmp(order, "water") == 0) {
  char *label = strtok(NULL, ",");
  const int value = atoi(label); //value เป็น INT
  interval = value;
}
if (strcmp(order, "light_interval") == 0) {
  char *label = strtok(NULL, ",");
  const int value = atoi(label); //value เป็น INT
  light_interval = value;
}
else if (strcmp(order,"lightlv") == 0)
{
  char *label = strtok(NULL, ",");
  const int value = atoi(label); //value เป็น INT
  if (value == 1) {
    light_level = 50;
    analogWrite(analogOutPin, 50);
  }
  else if (value == 2) {
    light_level = 1600;
    analogWrite(analogOutPin, 100);
  }
  else if (value == 3) {
    light_level = 150;
    analogWrite(analogOutPin, 150);
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    else if (value == 4) {
      light_level = 200;
      analogWrite(analogOutPin, 200);
    }
    else if (value == 5) {
      light_level = 255;
      analogWrite(analogOutPin, 255);
    }
  }
  else if (strcmp(order, "manual_control") == 0) {
    Serial.println("Entering Manual COntrol");
    char *label = strtok(NULL, ",");
    if (strcmp(label, "light_on") == 0) {
      digitalWrite(RelayPin1, HIGH);
    }
    else if (strcmp(label, "water_on") == 0) {
      digitalWrite(RelayPin2, HIGH);
    }
    else if (strcmp(label, "light_off") == 0) {
      digitalWrite(RelayPin1, LOW);
    }
    else if (strcmp(label, "water_off") == 0) {
      digitalWrite(RelayPin2, LOW);
    }
    else {
      Serial.println("ERROR");
    }
  }

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/* When a microgear is connected, do this */
void onConnected(char *attribute, uint8_t* msg, unsigned int msglen) {
  Serial.println("Connected to NETPIE...");
  /* Set the alias of this microgear ALIAS */
  microgear.setName("node11");
}


void setup() {

  microgear.on(CONNECTED, onConnected);
  microgear.on(MESSAGE, onMsghandler1);
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Starting...");

  pinMode(RelayPin1, OUTPUT);
  pinMode(RelayPin2, OUTPUT);

 if (WiFi.begin(ssid, password)) {
   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
     delay(500);
     Serial.print(".");
   }
 }

 Serial.println("WiFi connected");
 Serial.println("IP address: ");
 Serial.println(WiFi.localIP());


 microgear.init(GEARKEY, GEARSECRET, ALIAS);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  microgear.connect(APPID);

}

void loop() {
  Serial.println(interval);
  if (microgear.connected()) {
    Serial.println("Connected");
    microgear.loop();
    unsigned long currentMillis = millis();
    Serial.print("currentMillis          ="); Serial.println(currentMillis);
    Serial.print("PreviousMillis_WATER   =");
    Serial.println(previousMillis_water);
    Serial.print("PreviousMillis_LIGHT   =");
    Serial.println(previousMillis_light);
    Serial.print("Light Level    =    "); Serial.println(light_level);
    if (interval != 0) {
      if (currentMillis - previousMillis_water >= interval) {
        previousMillis_water = currentMillis;
        if (statePin2 == LOW) {
          statePin2 = HIGH;
        } else {
          statePin2 = LOW;
        }
        digitalWrite(RelayPin2, statePin2);
      }
    }
    else {
      Serial.println("Else Function");
    }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  if (light_interval != 0) {
    if (currentMillis - previousMillis_light >= light_interval) {
      previousMillis_light = currentMillis;

      if (statePin1 == LOW) {
        statePin1 = HIGH;
      } else {
        statePin1 = LOW;
      }
      digitalWrite(RelayPin1, statePin1);
    }
  }
   else {
    Serial.println("Else Function");
   }
  }
 else {
  Serial.println("connection lost, reconnect...");
  if (timer >= 5000) {
   microgear.connect(APPID);
   timer = 0;
  }
  else timer += 1000;
}
delay(1000);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2 โค้ดการมอนิเตอร์อ่านค่าจากเซนเซอร์

```
#include "DHT.h"
#include <AuthClient.h>
#include <MicroGear.h>
#include <MQTTClient.h>
#include <SHA1.h>
#include <Wire.h>
#include "BH1750.h"
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP8266mDNS.h>
#include <EEPROM.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <ESP8266WiFi.h>

const char* ssid     = "Magneto";
const char* password = "mgntkuyy";
const char* host = "172.20.10.2";

#define APPID       "garden"
#define GEARKEY     "qdq24j9B1mNp1c8"
#define GEARSECRET  "SZq1zZ4K3ixxGgPDCs4bZ2Epf"
#define SCOPE       "node11"
#define TRIGGER 12
#define ECHO    14
// NodeMCU Pin D6 > TRIGGER | Pin D5 > ECHO
#define DHTPIN 3
#define DHTTYPE DHT22

const int moistureAO = A0; //can not modify
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 10000;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
WiFiClient client; // กำหนดผู้เชื่อมต่อ IP
AuthClient *authclient;

int moisture = 0;
int counter;
DHT dht(D3, DHTTYPE);

using namespace esl;

BH1750 bh1750(0); // ADDR pin is low (pull-down).
int sda = 4;      // SDA = GPIO-4 (D2 pin)
int scl = 5;      // SCL = GPIO-5 (D1 pin)

int timer = 0;
MicroGear microgear(client);

void onConnected(char *attribute, uint8_t* msg, unsigned int msglen)
{
  Serial.println("Connected to NETPIE...");
  microgear.setName("node11");
}

void onMsghandler(char *topic, uint8_t* msg, unsigned int msglen) {
  Serial.print("Incoming message --> ");
  msg[msglen] = '\0';
  Serial.println((char *)msg);
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.flush();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  dht.begin();
  Wire.begin( sda, scl );
  Wire.setClock( 100000 ); // set clock speed
  microgear.on(CONNECTED, onConnected);
  microgear.on(MESSAGE, onMsghandler);

  pinMode(TRIGGER, OUTPUT);
  pinMode(ECHO, INPUT);
  pinMode(BUILTIN_LED, OUTPUT);
  Serial.println("Starting...");

  if (WiFi.begin(ssid, password)) {

   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
   }

   Serial.println("WiFi connected");
   Serial.println("IP address: ");
   Serial.println(WiFi.localIP()); // แสดงค่า IP ของ

   //microgear.useTLS(false);
   //uncomment the line below if you want to reset token -->
   microgear.resetToken();
   microgear.init(GEARKEY, GEARSECRET, SCOPE);
   microgear.connect(APPID);
  }
}

void loop()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
  sending_microgear();

}
void sendtoDB() {
  moisture = analogRead( moistureAO );

  float vhud = dht.readHumidity();
  float vtmp = dht.readTemperature();
  char data[32]; // กำหนดกล่องเก็บตัวอักษรขนาด 32 อักษร
  int tmp_moi = (int)((moisture - 524) / 5); // make it max 100 min 0
  if (tmp_moi > 100) {
    tmp_moi = 100;
  }
  if (tmp_moi < 0) {
    tmp_moi = 0;
  }

  tmp_moi = 100 - tmp_moi;

  if (isnan(vhud) || isnan(vtmp) || vhud > 100 || vtmp > 100) {
    vhud = 0.0;
    vtmp = 0.0;
  }
  char sbuf[20];

  bh1750.sendCommand( BH1750::S_H_RESOLUTION_MODE );
  delay( 120 );   // wait at least 120msec
  uint16_t value = bh1750.readData();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// Use WiFiClient class to create TCP connections
Serial.print("connecting to ");
Serial.println(host);

WiFiClient client;
const int httpPort = 80;
if (!client.connect(host, httpPort)) {
  Serial.println("connection failed");
  return;
}

// We now create a URI for the request
String url = "/upload_file.php";
url += "?temp=";
url += vtmp;
url += "?&humid=";
url += vhud;
url += "?&mois=";
url += tmp_moi;
url += "?&light=";
url += value;

Serial.print("Requesting URL: ");
Serial.println(url);

// This will send the request to the server
client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
             "Host: " + host + "\r\n" +
             "Connection: close\r\n\r\n");

for (counter = 1; counter < 50 ; counter = counter + 1) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Serial.println(counter);
  sending_microgear();
}

int timeout = millis() + 5000;

while (client.available() == 0) {
  if (timeout - millis() < 0) {
    Serial.println(">>> Client Timeout !");
    client.stop();
    return;
  }
  delay(1000);
 }
}

void sending_microgear() {
 if (microgear.connected()) {
  microgear.loop();
  timer = 0;
  moisture = analogRead( moistureAO );

  float vhud = dht.readHumidity();
  float vtmp = dht.readTemperature();
  char data[32]; // กำหนดกล่องเก็บตัวอักษรขนาด 32 อักษร
  int tmp_moi = (int)((moisture - 524) / 5); // make it max 100 min 0
  if (tmp_moi > 100) {
    tmp_moi = 100;
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (tmp_moi < 0) {
  tmp_moi = 0;
}

tmp_moi = 100 - tmp_moi;

if (isnan(vhud) || isnan(vtmp) || vhud > 100 || vtmp > 100) {
  vhud = 0.0;
  vtmp = 0.0;
}

char sbuf[20];
float duration, distance;
digitalWrite(TRIGGER, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(TRIGGER, HIGH);
delayMicroseconds(10);

digitalWrite(TRIGGER, LOW);
duration = pulseIn(ECHO, HIGH);
distance = (duration / 2) / 29.1 ;
Serial.print("Centimeter:");
Serial.println(distance);
if (distance >=5)
{
  distance = 5;
  }
int percent_distance = ((5-distance)/3)*100;
unsigned long currentMillis = millis();
if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    previousMillis = currentMillis;
    if (distance >= 6)
    {
      Serial.println("> 6cm");
      microgear.chat("mg3", "0");
    }
    else if (distance <= 3)
    {
      Serial.println("> 6cm");
      microgear.chat("mg3", "50");
    }
    else {
      Serial.println("Error");
    }
  }
  bh1750.sendCommand( BH1750::S_H_RESOLUTION_MODE );
  delay( 120 );
  uint16_t value = bh1750.readData();
  sprintf(data, "%d,%d,%d,%d,%d,Nextgenfarm", (int)vtmp, (int)vhud,
  Ztmp_moi, value,percent_distance);
  Serial.println(data);
  sprintf( sbuf, "Light:%5u Lx", value );
  Serial.println(vtmp);
  Serial.println(vhud);
  Serial.println(tmp_moi);
  Serial.println(sbuf);
  microgear.publish("/node11", data);
  delay(2000);
  delay(1000);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางการทดสอบเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-1 ตารางการทดสอบอุณหภูมิจากเซนเซอร์ (DHT22)

ตารางที่ ข-1 การทดสอบคุณภูมิจาก DHT22

Thermometer	DHT22 (Celsius)				Error (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Avg	
10	8.88	9.25	9.62	9.25	7.50
11	11.45	11.61	11.77	11.61	5.55
12	12.62	12.42	12.22	12.42	3.50
13	13.82	13.86	13.9	13.86	6.62
14	14.75	14.47	14.19	14.47	3.36
15	13.21	14.64	16.07	14.64	2.40
16	15.59	15.22	14.85	15.22	4.88
17	16.73	16.69	16.65	16.69	1.82
18	17.2	17.5	17.8	17.5	2.78
19	20.12	19.51	18.9	19.51	2.68
20	20.51	20.11	19.71	20.11	0.55
21	21.45	21.27	21.09	21.27	1.29
22	23.27	22.51	21.75	22.51	2.32
23	24.13	23.22	22.31	23.22	0.96
24	24.6	24.2	23.8	24.2	0.83
25	25.13	25.79	26.45	25.79	3.16
26	26.79	26.37	25.95	26.37	1.42
27	27.81	27.23	26.65	27.23	0.85
28	29.1	28.41	27.72	28.41	1.46
29	30.22	29.2	28.18	29.2	0.69
30	30.11	30.5	30.89	30.5	1.67
31	31.62	31.43	31.24	31.43	1.39
32	32	32.44	32.88	32.44	1.37
33	33.45	33.2	32.95	33.2	0.61
34	34.62	34.55	34.48	34.55	1.62
35	35.71	35.2	34.69	35.2	0.57
36	36.66	36.41	36.16	36.41	1.14
37	37.27	36.89	36.51	36.89	0.30
38	38.58	38.42	38.26	38.42	1.11
39	40.05	39.57	39.09	39.57	1.46
40	42.02	41.12	40.22	41.12	2.80
Average Error Percentage					2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 ตารางการทดสอบความชื้นจากเซนเซอร์ (DHT22)

ตารางที่ ข-2 การทดสอบความชื้นจาก DHT22

Hygrometer(%RH)	DHT22 (%RH)			Error (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	Average	
0	0	0	0.00	N/A
1	0	1	0.50	50.00
2	1.55	1.67	1.61	19.50
3	3.21	3.35	3.28	9.33
4	4.12	4.22	4.17	4.25
5	5.52	5.56	5.54	10.80
6	6.12	6.22	6.17	2.83
7	7.12	7.65	7.39	5.50
8	8.57	8.21	8.39	4.88
9	9.63	9.41	9.52	5.78
10	10.15	10.79	10.47	4.70
11	11.12	12	11.56	5.09
12	12.11	12.51	12.31	2.58
13	13.68	13.12	13.40	3.08
14	14.11	14.61	14.36	2.57
15	15.75	15.12	15.44	2.90
16	15.89	16.11	16.00	0.00
17	16.22	16.98	16.60	2.35
18	18.12	17.87	18.00	0.03
19	18.87	19.52	19.20	1.03
20	20.15	20.16	20.16	0.78
21	21.43	21	21.22	1.02
22	22.51	22.81	22.66	3.00
23	23.12	23.61	23.37	1.59
24	24.71	24.61	24.66	2.75
25	25.78	25.15	25.47	1.86
26	25.98	25.61	25.80	0.79
27	27.82	27.11	27.47	1.72
28	28.67	28.85	28.76	2.71
29	29.7	29.59	29.65	2.22
30	30.75	30.42	30.58	1.94
31	31.80	31.43	31.61	1.98
32	32.84	32.44	32.64	2.01
33	33.89	33.46	33.67	2.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 การทดสอบความชื้นจาก DHT22 (ต่อ)

Hygrometer(%RH)	DHT22 (%RH)			Error (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	Average	
34	34.94	34.47	34.70	2.07
35	35.99	35.48	35.73	2.10
36	37.03	36.50	36.77	2.13
37	38.08	37.51	37.80	2.15
38	39.13	38.52	38.83	2.17
39	40.18	39.54	39.86	2.20
40	41.22	40.55	40.89	2.22
41	42.27	41.57	41.92	2.24
42	43.32	42.58	42.95	2.26
43	44.37	43.59	43.98	2.28
44	45.41	44.61	45.01	2.29
45	46.46	45.62	46.04	2.31
46	47.51	46.63	47.07	2.33
47	48.56	47.65	48.10	2.34
48	49.60	48.66	49.13	2.36
49	50.65	49.67	50.16	2.37
50	51.70	50.69	51.19	2.39
51	52.75	51.70	52.22	2.40
52	53.79	52.71	53.25	2.41
53	54.84	53.73	54.28	2.42
54	55.89	54.74	55.31	2.43
55	56.94	55.76	56.35	2.45
56	57.98	56.77	57.38	2.46
57	59.03	57.78	58.41	2.47
58	60.08	58.80	59.44	2.48
59	61.13	59.81	60.47	2.49
60	62.17	60.82	61.50	2.50
61	63.22	61.84	62.53	2.51
62	64.27	62.85	63.56	2.51
63	65.32	63.86	64.59	2.52
64	66.36	64.88	65.62	2.53
65	67.41	65.89	66.65	2.54
66	68.46	66.90	67.68	2.55
67	69.51	67.92	68.71	2.55
68	70.55	68.93	69.74	2.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 การทดสอบความชื้นจาก DHT22 (ต่อ)

Hygrometer(%RH)	DHT22 (%RH)			Error (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	Average	
69	71.60	69.95	70.77	2.57
70	72.65	70.96	71.80	2.58
71	73.70	71.97	72.83	2.58
72	74.74	72.99	73.86	2.59
73	75.79	74.00	74.90	2.60
74	76.84	75.01	75.93	2.60
75	77.89	76.03	76.96	2.61
76	78.93	77.04	77.99	2.61
77	79.98	78.05	79.02	2.62
78	81.03	79.07	80.05	2.63
79	82.08	80.08	81.08	2.63
80	83.12	81.09	82.11	2.64
81	84.17	82.11	83.14	2.64
82	85.22	83.12	84.17	2.65
83	86.27	84.14	85.20	2.65
84	87.31	85.15	86.23	2.66
85	88.36	86.16	87.26	2.66
86	89.41	87.18	88.29	2.67
87	90.46	88.19	89.32	2.67
88	91.50	89.20	90.35	2.67
89	92.55	90.22	91.38	2.68
90	93.60	91.23	92.41	2.68
91	94.65	92.24	93.44	2.69
92	95.69	93.26	94.48	2.69
93	96.74	94.27	95.51	2.69
94	97.79	95.28	96.54	2.70
95	98.84	96.29	97.56	2.70
96	99.88	97.31	98.60	2.70
97	100.00	98.32	99.16	2.23
98	100.00	99.33	99.67	1.70
99	100.00	100.00	100.00	1.01
100	100.00	100.00	100.00	0.00
Average Error Percentage				3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ ข-1 และตารางที่ ข-2 เป็นการทดสอบอุณหภูมิและความชื้นจากเซนเซอร์ โดยนำมาสร้างเป็นสมการเส้นตรงเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณภายในโปรแกรม โดยสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงคือ y = 1.0179x - 0.1837 สำหรับอุณหภูมิ และสำหรับความชื้นภายในอากาศ สมการเส้นตรงคือ y = 1.0247x - 0.0549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้