

ระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยอัจฉริยะสำหรับอุตสาหกรรม

SMART INDUSTRIAL SAFETY SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



# ระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยอัจฉริยะสำหรับอุตสาหกรรม

## SMART INDUSTRIAL SAFETY SYSTEM

โดย

นายชวิษฐ์	เหลืออร่าม	60010216
นายอริญชัย	ทิพย์วังเมฆ	60011168
นางสาวอริสา	สิงห์สมบัติ	60011170

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมปอง วิเศษพานิชกิจ

ผศ.ดร.ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยสำหรับอุตสาหกรรม


SMART INDUSTRIAL SAFETY SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นายวิชฐ์ เหลืองอร่าม 60010216
2. นายอริญชัย ทิพย์วังเมฆ 60011168
3. นางสาวอริสา สิงห์สมบัติ 60011170

  
.....  
(ดร.สมปอง วิเศษพานิชกิจ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

  
.....  
(ผศ.ดร.ธเนศ พัฒนธาดาทพงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ “ระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยอัจฉริยะสำหรับอุตสาหกรรม” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก ดร.สมปอง วิเศษพานิชกิจ อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และ ผศ.ดร.นภัทร สระเอี่ยม ที่ให้คำแนะนำ แนะนำแนวทางแก้ไขและข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณรุ่นพี่ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และแนะนำแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับการจัดทำปริญญานิพนธ์เรื่องนี้

ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูงที่คอยช่วยเหลือและให้ความรู้เพิ่มเติม และขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนที่เป็นกำลังใจสำคัญให้แก่ผู้จัดทำให้สามารถทำงานได้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายวิษณุ	เหลืออร่าม
นายอริญชัย	ทิพย์วังเมฆ
นางสาวอริสา	สิงห์สมบัติ
	ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยอัจฉริยะสำหรับอุตสาหกรรม

SMART INDUSTRIAL SAFETY SYSTEM

โดย นายวิชฐ์ เหลืองอร่าม 60010216

นายอริชญ์ ทิพย์วังเมฆ 60011168

นางสาวอริสา สิงห์สมบัติ 60011170

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สมปอง วิเศษพานิชกิจ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศกำลังเติบโต จึงทำให้มีผู้คนส่วนใหญ่สนใจที่จะทำงานในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น และต้องใช้ชีวิตอยู่ในความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ดังนั้นจึงได้ออกแบบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยอัจฉริยะสำหรับอุตสาหกรรม เพื่ออำนวยความสะดวกด้านความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรมให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยได้มีการนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอย่าง LoRaWAN หรือ LoRa ที่สามารถทำให้อุปกรณ์ประเภท Internet of Things หรือ IoT สามารถสื่อสารกันได้ระยะทางที่ไกล และใช้พลังงานที่ต่ำ ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะถูกใช้ร่วมกับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ผ่านโครงข่ายแบบ Mesh หรือ Mesh Topology เพื่อให้อุปกรณ์ที่ถูกเพิ่มเข้ามา อุปกรณ์ที่อยู่นอกการเชื่อมต่อกับโครงข่าย หรือหลุดจากการเชื่อมต่อกับโครงข่ายสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตัวอื่นที่ยังอยู่ในโครงข่าย และสามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ โดยภายในข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลตำแหน่ง ความเข้มแสง ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ความสั่นสะเทือน เซนเซอร์ตรวจจับควัน อุณหภูมิ ความชื้น และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

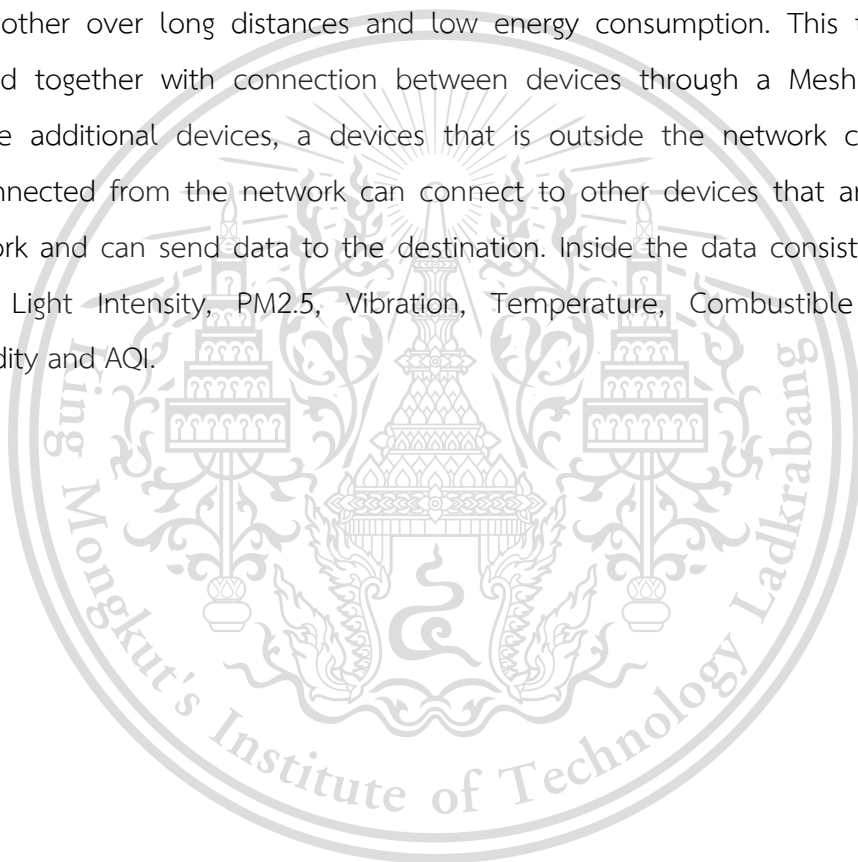
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## ABSTRACT

At present, the domestic industrial sector is growing. As a result, more people are interested in working in the industrial sector and must live at risk that may arise at any time. Therefore, a Smart Industrial Safety System has been designed to facilitate safety in industrial plants to meet safety standards within industrial plants. The system has adopted wireless communication technology such as LoRaWAN or LoRa that enable Internet of Things or IoT devices to communicate with each other over long distances and low energy consumption. This technology is worked together with connection between devices through a Mesh topology to enable additional devices, a devices that is outside the network connection or disconnected from the network can connect to other devices that are still in the network and can send data to the destination. Inside the data consists of Location data, Light Intensity, PM2.5, Vibration, Temperature, Combustible Gas Sensor Humidity and AQI.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XIII
<b>บทที่ 1</b>	<b>บทนำ</b>
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
	1.2 วัตถุประสงค์ 2
	1.3 ขอบเขตของโครงการ 3
<b>บทที่ 2</b>	<b>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>
	2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบ LoRa 3
	2.2 Wireless Fidelity Technology 7
	2.3 โพรโตคอล MQTT 9
	2.4 มาตรฐานความปลอดภัยภายในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย 11
	2.5 ระบบการหาตำแหน่งทั่วโลก (Global Positioning System) 13
	2.6 แสง 18
	2.7 การสิ้นสะท้อน 19
	2.8 ฝุ่นละออง 22
	2.9 อุณหภูมิ 23
	2.10 ความชื้น 24
	2.11 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) 25
	2.12 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) 26
	2.13 GPS Module GY-GPS6MV2 30
	2.14 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษที่หนักอึ้งอีกด้วย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

	สารบัญ (ต่อ)	หน้า
	2.15 เซนเซอร์วัดความชื้นสะท้อน	31
	2.16 เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM2.5)	32
	2.17 เซนเซอร์ตรวจจับควัน	33
	2.18 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซ	36
	2.19 Heltec WiFi LoRa 32 (V2)	37
	2.20 ไลบรารีสำหรับ Topology แบบ Mesh	38
	2.21 ไลบรารีที่ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูล LoRa	39
	2.22 Arduino IDE	39
	2.23 XAMPP	40
	2.24 phpMyAdmin	41
	2.25 Apache	41
	2.26 MySQL	42
	2.27 Raspberry Pi	42
	2.28 Line Messaging API	42
<b>บทที่ 3</b>	<b>การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์</b>	
	3.1 การออกแบบ	44
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	49
	3.3 การออกแบบอุปกรณ์	52
	3.4 การจัดเก็บผลการทดลอง	56
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการทดลอง</b>	
	4.1 ผลการทดสอบการอัปเดตซอฟต์แวร์ด้วยวิธีการ OTA ผ่าน WiFi	72
	4.2 ผลการทดสอบ และปรับตั้งค่าเซนเซอร์	73
	4.3 ผลการทดสอบระยะ และอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ	81
	4.4 ผลการทดสอบวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อออกใบแจ้งหนี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 การทดสอบรูปแบบการค้นหาเส้นทางของโครงข่าย Mesh Topology และการทำงานของโครงข่าย Mesh Topology ของระบบ	86
4.6 ผลการทดสอบสร้าง Web Application ที่มีการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับ จาก Sensor Node ออกมาผ่านตาราง	99
4.7 ผลการทดสอบเก็บผลการทำงานจริง	106
4.8 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify	109
4.9 การทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน Line Official Account เมื่อ User มีการ Configuration ค่าการแจ้งเตือนใหม่	110
<b>บทที่ 5</b> <b>สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผล	111
5.2 ข้อเสนอแนะ	112
<b>บรรณานุกรม</b>	
<b>ภาคผนวก ก</b> โปรแกรมที่ติดตั้งบนอุปกรณ์ที่เขียนผ่าน Arduino IDE	117
<b>ภาคผนวก ข</b> โปรแกรมสำหรับการแสดงผลที่เขียนด้วยภาษา PHP	153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะและแบนด์วิธของแต่ละเทคโนโลยีการสื่อสารโครงข่ายที่แตกต่างกัน	4
2.2 เปรียบเทียบการมอดูเลตกับแบนด์วิธ	6
2.3 โครงสร้างโครงข่ายแบบ Star	6
2.4 โครงสร้าง Mesh แบบสมบูรณ์	7
2.5 โครงสร้าง Mesh แบบบางส่วน	7
2.6 รูปแบบเฟรมข้อมูลในชั้น MAC	9
2.7 การทำงานของโปรโตคอล MQTT	10
2.8 การทำงานของ GPS	14
2.9 ส่วนประกอบหลักของ GPS	14
2.10 โครงสร้างข้อความนำร่องด้วยระบบ GPS	15
2.11 ตัวต้านทานไวแสง	19
2.12 การกำหนดดัชนีคุณภาพอากาศ	28
2.13 GPS Module GY-GPS6MV2	30
2.14 LDR Photoresistor Sensor Module	31
2.15 801S Vibration Sensor Module	32
2.16 เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM2.5)	32
2.17 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเซนเซอร์ PM2.5	33
2.18 MQ-2 Gas Sensor	34
2.19 กราฟคุณสมบัติความไวในการตรวจจับของเซนเซอร์	34
2.20 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซ BME680	37
2.21 Heltec WiFi LoRa 32 (V2)	38
2.22 หน้าต่างใช้งานเมื่อเปิดโปรแกรม Arduino IDE	40
2.23 หน้าต่างควบคุม Web Server เมื่อเปิดใช้งานโปรแกรม XAMPP	40
2.24 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของซอฟต์แวร์ Apache ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์	41
2.25 Raspberry Pi4 Model B ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น	42

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.1	บล็อกไดอะแกรมภาพรวมการทำงานของระบบ	43
3.2	ผังงานแสดงการทำงานของ Sensor Node	44
3.3	บล็อกไดอะแกรมภาพรวมของ Sensor Node	44
3.4	บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์ที่ใช้ภายใน Sensor Node	46
3.5	ผังงานการทำงานของเครื่องเซิร์ฟเวอร์	47
3.6	ผังงานการทำงานการแสดงผลบนหน้าเว็บ	48
3.7	Pinout Diagram ของบอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2)	49
3.8	หน้าต่างควบคุมเมื่อเปิดใช้งาน Visual Studio Code	51
3.9	แผนวงจรของ Sensor Node	53
3.10	PCB ของ Sensor Node	53
3.11	ลายวงจรที่ผ่านการพิมพ์	54
3.12	กล่องบรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบผ่าน Tinkercad	55
3.13	กล่องบรรจุภัณฑ์จริง	56
3.14	หน้าต่างโปรแกรม Arduino IDE ขณะอัปโหลดซอฟต์แวร์ผ่านพอร์ต “COM3”	57
3.15	คำสั่งไฟกระพริบที่ LED Built-in ของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2)	57
3.16	เลือกการอัปโหลดโปรแกรมแบบไร้สายผ่าน Network port “esp32-3c71bfa939c8 at 192.168.43.152 (WiFi LoRa 32(V2))”	58
3.17	รูปแบบการต่อวงจรทดสอบเซนเซอร์ระบุตำแหน่ง	60
3.18	รูปแบบการต่อวงจรทดสอบเซนเซอร์ PMS3003	61
3.19	รูปแบบการต่อวงจรทดสอบ BME680	62
3.20	รูปแบบการต่อวงจรทดสอบเซนเซอร์ 801S Vibration Module	62
3.21	การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบ Mesh ของแต่ละ Sensor Node ในการทดสอบ	66
	ส่วนที่ 1 ถึง 4	

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3.22 การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบ Mesh ของแต่ละ Sensor Node ในการทดสอบ ประโยชน์ 67 การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีส่วนที่ 5 มิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 ภาพรวมการเชื่อมต่อข้อมูลในฐานข้อมูล	68
3.24 ไดอะแกรม Site map ของ Web Application	69
4.1 หน้าต่างแสดงสถานะบนโปรแกรม Arduino IDE	72
4.2 ไฟกระพริบที่เกิดขึ้นหลังการอัปเดตคำสั่งด้วย OTA	72
4.3 ระยะตำแหน่งสถานที่ระหว่าง Sensor และ GPS Test แสดงในแผนที่	74
4.4 กราฟค่า Analog voltage ของ LDR Photoresistor Sensor Module	75
4.5 กราฟค่าความเข้มแสงของแอปพลิเคชัน Lux meter	75
4.6 กราฟแสดงการปรับค่าความเข้มแสงของ LDR Photoresistor Sensor Module	76
4.7 กราฟแสดงค่าความเข้มแสงที่ถูกปรับค่าของ LDR Photoresistor Sensor Module เทียบกับแอปพลิเคชัน Lux meter	76
4.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการอ่านค่าอุณหภูมิของ BME680 กับ Thermometer	77
4.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการอ่านค่าความชื้นของ BME680 กับ Xiaomi Mijia Thermometer	78
4.10 กราฟเส้นตรงของการ Regression ค่าความชื้น	78
4.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการอ่านค่าความชื้นของ BME680 ที่ถูกปรับค่าแล้ว กับ Xiaomi Mijia Thermometer	79
4.12 Serial Plotter ของ 801S Vibration Module หลังปรับค่าความต้านทาน	80
4.13 หน้าจอแสดงผลจากแอปพลิเคชัน Vibrometer	80
4.14 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จเทียบกับระยะทางในแต่ละจุด	83
4.15 อัตราความผิดพลาดของแพ็คเก็ตเทียบกับค่า RSSI	84
4.16 Serial Monitor ของ Sensor Node 1	86
4.17 ตารางเส้นทางของ Sensor Node 1	87
4.18 Serial Monitor ของ Sensor Node 2	87
4.19 ตารางเส้นทางของ Sensor Node 2	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 Serial Monitor ของ Sensor Node 3	87
4.21 ตารางเส้นทางของ Sensor Node 3	87
4.22 รูปแบบการเชื่อมต่อโครงข่ายในการทดสอบส่วนที่ 2	88
4.23 ข้อความตอบกลับจาก Sensor Node 4 บน Serial Monitor ของ Sensor Node 3	89
4.24 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อส่งข้อความไปยังปลายทางสำเร็จ	89
4.25 Routing table ของ Sensor Node 3	89
4.26 รูปแบบการส่งข้อมูลของ Sensor Node 3	90
4.27 Serial Monitor ของ Sensor Node 1 เมื่อส่งข้อมูลสำเร็จ	91
4.28 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม Mosquitto MQTT	91
4.29 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อรับข้อมูลจาก Sensor Node 2 สำเร็จ	91
4.30 Sensor Node 3 Publish ข้อมูลจาก Sensor Node 2 สำเร็จ	91
4.31 Serial Monitor ของ Sensor Node 1 เมื่อทำการส่งข้อมูลเก่าไปยังปลายทาง	92
4.32 Serial Monitor ของ Sensor Node 1 เมื่อทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง	93
4.33 ตารางการค้นหาเส้นทางในกรณีที่ 4 ของ Sensor Node 1	93
4.34 Serial Monitor ของ Sensor Node 2 เมื่อทำการส่งข้อมูลเก่าไปยังปลายทาง	93
4.35 Serial Monitor ของ Sensor Node 2 เมื่อทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง	94
4.36 ตารางการค้นหาเส้นทางในกรณีที่ 4 ของ Sensor Node 2	94
4.37 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อทำการส่งข้อมูลเก่าไปยังปลายทาง	94
4.38 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง	95
4.39 ตารางการค้นหาเส้นทางในกรณีที่ 4 ของ Sensor Node 3	95
4.40 Serial Monitor ของ Sensor Node 4 เมื่อทำการส่งข้อมูลเก่าไปยังปลายทาง	95
4.41 Serial Monitor ของ Sensor Node 4 เมื่อทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ © 2023 โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 4.42 ตารางการค้นหาเส้นทางในกรณีที่ 4 ของ Sensor Node 4 96  
 4.43 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อเริ่มเข้าร่วมโครงข่าย 97

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

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

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.44 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อส่งข้อมูลไปยังปลายทาง	97
4.45 ตารางค้นหาเส้นทางของ Sensor Node 3 ในกรณีที่ 5	97
4.46 Serial Monitor ของ Sensor Node 4 เมื่อเชื่อมต่อเส้นทางกับ Sensor Node 3	98
4.47 Serial Monitor ของ Sensor Node 4 เมื่อรับข้อมูลจาก Sensor Node 3 สำเร็จ	98
4.48 ตารางค้นหาเส้นทางของ Sensor Node 4 ในกรณีที่ 5	98
4.49 หน้าต่างเริ่มต้นใช้งาน phpMyAdmin	100
4.50 ตาราง sensors ของฐานข้อมูลที่ทำการสร้างไว้ก่อนหน้า	100
4.51 ตาราง userpass ของฐานข้อมูลที่ทำการสร้างไว้ก่อนหน้า	101
4.52 เปิดใช้งานโปรแกรม Mosquitto MQTT	101
4.53 เรียกใช้งานโปรแกรม Insertdata	101
4.54 การ Publish แพ็คเก็ตข้อมูลบนโปรแกรม Mosquitto MQTT	102
4.55 แพ็คเก็ตข้อมูลถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูลสำเร็จ	102
4.56 ข้อมูลถูกจัดเก็บในตารางของฐานข้อมูล	102
4.57 หน้าต่าง Home Page ของ Web Application	103
4.58 หน้าต่าง Sign up ของ Web Application	104
4.59 ตารางฐานข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลการลงทะเบียน	104
4.60 หน้าต่าง Sign in ของ Web Application	104
4.61 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลเซนเซอร์ ของ Web Application	105
4.62 หน้าต่าง Configuration ของ Web Application	105
4.63 หน้าต่างแสดงผลส่วนของ Mosquitto MQTT กรณีที่ 1	106
4.64 หน้าต่างแสดงผลส่วน Insertdata กรณีที่ 1	106
4.65 หน้าต่างแสดงผลส่วนของ Mosquitto MQTT กรณีที่ 2	107
4.66 หน้าต่างแสดงผลส่วน Insertdata กรณีที่ 2	107
4.67 หน้าต่างแสดงผลส่วนของ Mosquitto MQTT กรณีที่ 3	108
4.68 หน้าต่างแสดงผลส่วนของ Mosquitto MQTT กรณีที่ 4	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามส่งต่อข้อมูลนี้ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.69	หน้าต่างแสดงผลส่วน Insertdata กรณีที่ 4	108
4.70	หน้าต่าง Terminal ของ Raspberry Pi	109
4.71	หน้าต่างการแจ้งเตือนผ่าน Line Group	109
4.72	การสั่งการทำงานการแจ้งเตือนด้วยหน้าต่าง Command Prompt	110
4.73	หน้าต่างการแจ้งเตือนผ่าน Line Official Account Smart Industrial	110



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางย่านความถี่ที่ใช้งานสำหรับ GPS	16
2.2 มาตรฐานวัดเมอร์คัลลีที่ปรับปรุงแล้ว (MMI)	21
2.3 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของสหรัฐอเมริกา	27
2.4 Breakpoint สำหรับ AQI	28
2.5 ตารางแสดงค่าจุดบนแกน $R_s / R_0$ แกนค่าที่วัดได้ในหน่วย PPM และความชื้นของก๊าซ LPG ก๊าซ CO และควัน	35
2.6 แสดงมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป	35
2.7 สารประกอบที่อยู่ในก๊าซ LPG	36
3.1 กรณีที่ Sensor Node อยู่ในระยะสื่อสารกับปลายทางได้	65
3.2 กรณีที่ Sensor Node อยู่ในระยะสื่อสารกับปลายทางได้	65
3.3 กรณีที่ Sensor Node ทำหน้าที่เป็นปลายทางมากกว่า 1 ตัว	65
3.4 กรณีที่ Sensor Node ทุกตัวไม่ได้ทำหน้าที่เป็นปลายทาง	65
3.5 กรณีที่ Sensor Node ทุกตัวไม่ได้ทำหน้าที่เป็นปลายทาง	66
3.6 เซนเซอร์ที่ใช้สำหรับการแจ้งเตือน และระดับการแจ้งเตือนที่กำหนดไว้	71
4.1 ค่าละติจูดกับลองจิจูดที่วัดได้และค่าละติจูดกับลองจิจูดจาก Google Map	73
4.2 ค่า Mean และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	74
4.3 ค่า Mean Squared Error (MSE) ของความเข้มแสง	77
4.4 ค่า Mean Squared Error (MSE) ของอุณหภูมิ และความชื้น	79
4.5 ค่าเสอากาศ 4 รูปแบบ และระยะทางที่ได้จากการปรับค่าเสอากาศ	81
4.6 จำนวนแพ็คเก็ตที่ฝั่งส่งทำการส่งข้อมูลไปยังฝั่งรับสำเร็จในแต่ละจุดทดสอบ	82
4.7 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จของอุปกรณ์ และค่า RSSI ที่วัดได้ในแต่ละจุด	83
4.8 ค่ากระแสไฟฟ้าของ Sensor Node	85
4.9 พลังงานไฟฟ้าของ Sensor Node ที่นำไปใช้ต่อ 1 วัน	85
4.10 กรณีที่ Sensor Node อยู่ในระยะสื่อสารกับปลายทางได้	88
4.11 กรณีที่ Sensor Node อยู่ในระยะสื่อสารกับปลายทางได้	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.12	กรณีที Sensor Node ทำหน้าที่เป็นปลายทางมากกว่า 1 ตัว	92
4.13	กรณีที Sensor Node ทุกตัวไม่ได้ทำหน้าที่เป็นปลายทาง	96
4.14	กรณีทีเพิ่ม Sensor Node เข้าโครงข่ายแบบ Mesh	98
4.15	สรุปผลการทดสอบกรณีที 1	106
4.16	สรุปผลการทดสอบกรณีที 2	107



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมภายในประเทศไทยนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยบุคลากรส่วนใหญ่ทำงาน และใช้ชีวิตอยู่กับโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าบุคลากรเหล่านี้ต้องอยู่ร่วมกับความเสี่ยง หรืออันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา อันตรายที่อาจเกิดขึ้นสามารถเกิดได้จากความประมาท ความพลั้งเผลอ การลัด หรือการทำให้ผิดขั้นตอนกระบวนการทำงาน รวมถึงการตรวจสอบ และบำรุงรักษาอุปกรณ์ภายในโรงงานอุตสาหกรรมได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควร โดยในปัจจุบันได้มีการกำหนดวิธีการรักษา และการแจ้งเตือนความปลอดภัยสำหรับอุตสาหกรรม อีกทั้งการเข้ามาของเทคโนโลยีอย่าง Internet of Things หรือ IoT ที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายภาคส่วน ซึ่งรวมทั้งภาคอุตสาหกรรมด้วย

สำหรับปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำหนึ่งในเทคโนโลยีที่ใช้สื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์อย่าง Low-Power Wide-Area Network หรือ LPWAN คือ LoRa ที่ย่อมาจาก Long Range Communication มาใช้ร่วมกับเซนเซอร์ที่หลากหลายอย่างเช่น เซนเซอร์ระบุตำแหน่ง เซนเซอร์วัดความเข้มแสง เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองที่ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เซนเซอร์วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์ตรวจจับก๊าซ LPG CO คว้น เซนเซอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิ ความชื้น และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ โดยการสื่อสารแบบ LoRa มีระยะในการสื่อสารข้อมูลทีไกล และส่วนใหญ่จะถูกใช้กับการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบดาว หรือ Star Topology ที่อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อภายในโครงข่ายนี้ทุกตัวจะทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่อยู่ ณ ตำแหน่งศูนย์กลาง ซึ่งหากอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งหลุดออกจากโครงข่ายก็จะทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ หรือถ้าหากปลายทางเกิดความเสียหายขึ้นก็จะทำให้โครงข่ายแบบ Star Topology เกิดความเสียหาย และล่มได้

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบ Mesh หรือ Mesh Topology เพื่อเพิ่มระยะในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ให้สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ และสามารถแก้ไขปัญหาเมื่ออุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งภายในโครงข่ายเกิดความเสียหาย หรือหลุดจากการเชื่อมต่อโครงข่ายรวมทั้งการเพิ่มอุปกรณ์เข้ามาในโครงข่ายโดยการเชื่อมต่อแบบ Mesh นี้มีความยืดหยุ่นในการค้นหา และสร้างเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้อย่างปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานเทคโนโลยี LoRaWAN การรับส่งข้อมูลโครงข่ายแบบ Mesh Topology
2. เพื่อพัฒนาและต่อยอดการรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยี LoRaWAN ใช้ในอุตสาหกรรม
3. เพื่อพัฒนาระบบความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ขอบเขตของปริญญานิพนธ์นี้จะมุ่งไปที่การใช้การสื่อสาร โดยใช้หนึ่งในเทคโนโลยี LPWAN (Low-Power WAN) คือ LoRaWAN (Long Range WAN) หรือ LoRa ซึ่งเป็นเทคนิคในการส่งข้อมูลในระยะทางไกล โดยใช้การเชื่อมต่อแบบ Mesh Topology แล้วแสดงค่าต่างๆ ของอุปกรณ์ที่ภายในจะมีโมดูลเซนเซอร์ที่แตกต่างกันออกไป เช่น เซนเซอร์ระบุตำแหน่ง เซนเซอร์วัดความเข้มแสง เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองที่ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เซนเซอร์วัดค่าความสั่นสะเทือน เซนเซอร์ตรวจจับควัน และเซนเซอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซ ผ่านทาง Web Application

ในส่วนของ Sensor Nodes จะประกอบด้วยโมดูลเซนเซอร์ที่ประกอบด้วย เซนเซอร์ระบุตำแหน่ง เซนเซอร์วัดความเข้มแสง เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองที่ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เซนเซอร์วัดค่าความสั่นสะเทือน และเซนเซอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซ ที่เชื่อมต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ LoRa Node โดยเซนเซอร์ระบุตำแหน่ง เซนเซอร์วัดความเข้มแสง เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองที่ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เซนเซอร์วัดค่าความสั่นสะเทือน เซนเซอร์ตรวจจับควัน และเซนเซอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซ จะรับค่าดังกล่าวที่วัดได้จากนั้น LoRa Node จะทำการรับ และส่งข้อมูลไปยัง Sensor Nodes ตัวอื่นผ่านโครงข่าย Mesh Topology และเข้าไปยัง Gateway จากนั้นข้อมูลที่เข้า Gateway จะถูกส่งต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์บนโครงข่ายเดียวกัน โดยใช้การเชื่อมต่อไร้สายแบบ Wi-Fi และส่งข้อมูลเข้าไปจัดเก็บลงฐานข้อมูล และเมื่อมีการเรียกใช้ข้อมูล เซิร์ฟเวอร์จะนำข้อมูลออกจากฐานข้อมูลเพื่อแสดงผลผ่านทางหน้าเว็บของ Web Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบ LoRa

##### 2.1.1 เทคโนโลยี LPWAN

LPWAN ย่อมาจากคำว่า Low-Power Wide-Area Network เป็นโครงข่ายการสื่อสารแบบกว้าง เน้นใช้พลังงานต่ำ มีความสำคัญในการนำมาประยุกต์ใช้ใน Internet of Things (IoT) หรือสื่อสารกันระหว่างเครื่องจักร (Machine to Machine) จุดเด่นของเทคโนโลยี LPWAN คือ ใช้พลังงานน้อย เชื่อมต่อได้ในระยะไกลได้มากถึง 5 Km ราคาถูก ต้นทุนต่ำ ใช้แบนด์วิดท์น้อย และสามารถตั้งโครงข่ายส่วนตัวได้ง่าย เทคโนโลยีทางด้าน LPWAN มีหลากหลายมาก เช่น LTE-M NB-IoT SigFox, LoRa LTE-M และ NB-IoT เป็นเทคโนโลยีที่ถูกคิดค้นขึ้นจากกลุ่ม 3GPP หรือ Third Generation Partnership Project ที่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ LTE-M จะรองรับการเชื่อมต่อกับมาตรฐาน LTE เหมาะสำหรับใช้งานประเภทโรมมิ่ง เช่น ยานพาหนะ หรือโดรน และ NB-IoT ที่ทำงานนอกโครงสร้าง LTE มีความเหมาะสมที่จะใช้งานกับอุปกรณ์ประเภทสมาร์ตมิเตอร์ ใช้ต้นทุนต่ำ เพราะมีการออกแบบชิปที่ใช้ร่วมกับโปรโตคอล NB-IoT [1]

SigFox เป็นเทคโนโลยีที่ใช้อัตราการมอดูเลตที่ต่ำเพื่อให้ได้ระยะในการสื่อสารที่ขยายมากขึ้น ดังนั้น SigFox จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับแอปพลิเคชันที่ภายในระบบต้องการเพียงแค่ส่งข้อมูลขนาดเล็กและส่งข้อมูลในจำนวนครั้งทีน้อย ยกตัวอย่างเช่น เซนเซอร์ที่จอดรถ มาตรวัดน้ำ หรือถังขยะอัจฉริยะ แต่ก็มีข้อเสียคือ ความสามารถในการดาวน์โหลดข้อมูลจากเซนเซอร์ไปยังอุปกรณ์มีข้อจำกัด และสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างรับส่งข้อมูล [1]

LoRa เป็นเทคโนโลยีที่ถูกควบคุมโดย LoRa Alliance ซึ่ง LoRa เป็นเทคโนโลยีที่ทำงานในชั้นกายภาพ และในชั้น MAC มีเทคโนโลยีที่ทำงานคือ LoRaWAN โดย LoRa มีการทำงานที่คล้ายคลึงกับ SigFox ตรงที่การอัปลิงค์ข้อมูลจากเซนเซอร์ หรืออุปกรณ์ไปยัง Gateway ที่การส่งข้อมูลจะมีการกระจายไปตามช่องความถี่ และอัตราบิตที่แตกต่างกันโดยการใช้แพ็คเกจที่เข้ารหัส จึงทำให้ข้อความเหล่านี้มีโอกาสน้อยที่จะชนกัน และรบกวนซึ่งกันและกัน ส่งผลให้ Gateway มีความจุที่เพิ่มมากขึ้น [1]

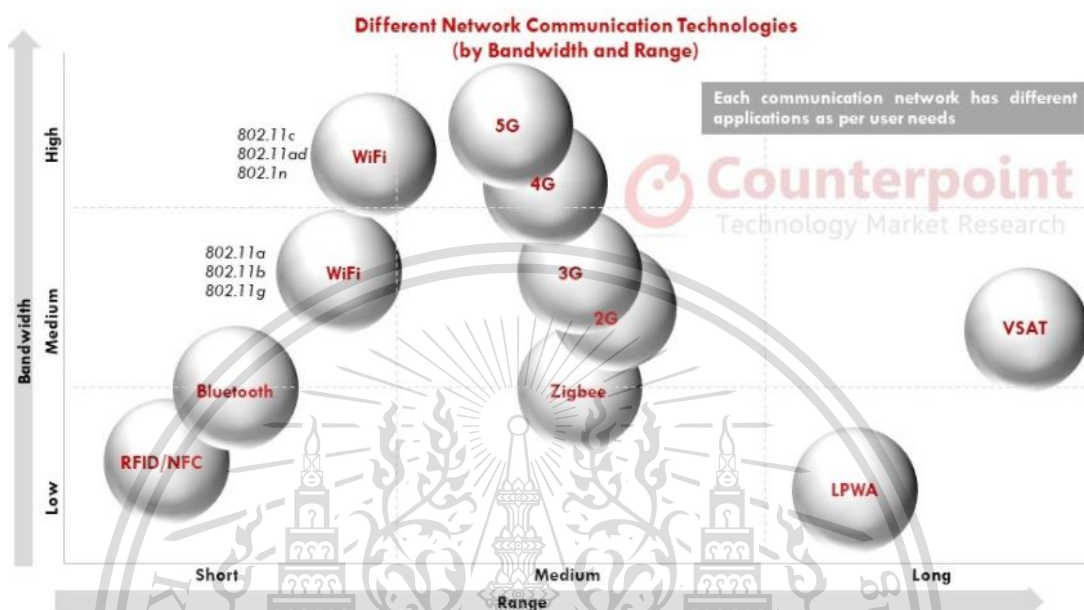
ความต้องการในการเชื่อมต่อได้ขยายตัวไปในทุกทิศทาง ในขณะที่มีการดำเนินการเชื่อมต่อด้วยโครงข่าย 5G เพื่อตอบสนองโครงข่ายที่มีการหน่วงเวลาที่ต่ำเป็นพิเศษ ด้านการสื่อสารของ IoT ก็ได้มีการเข้ามาของเทคโนโลยีการสื่อสาร LPWAN แอปพลิเคชัน IoT ส่วนใหญ่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ระยะในการส่งที่ไกล อัตราบิตที่ต่ำ และใช้พลังงานต่ำ รวมถึงโปรโตคอลในการสื่อสาร ดังรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยี LPWAN ยังคงเป็นตัวเลือกการเชื่อมต่อต่างๆ [2]



รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ และแบนด์วิดท์ของแต่ละเทคโนโลยีการสื่อสาร  
โครงข่ายที่แตกต่างกัน

สำหรับการเปรียบเทียบจะแบ่งเทคโนโลยี LPWAN ออกเป็น 2 ประเภท คือเทคโนโลยีที่ไม่ใช่เซลล์ลาร์ เช่น SigFox และ LoRa และเทคโนโลยีที่ใช้เซลล์ลาร์ เช่น LTE-M และ NB-IoT [2]

การเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยี LPWAN ที่ใช้เซลล์ลาร์กับไม่ใช่เซลล์ลาร์ อย่างแรกเทคโนโลยี LPWAN ที่ใช้เซลล์ลาร์จะมีการใช้พลังงานที่สูงมาก และมีประสิทธิภาพในการทำงานที่แบนด์วิดท์สูง ซึ่งถือเป็นข้อเสียสำหรับ LPWAN ที่ใช้เซลล์ลาร์ และเป็นข้อได้เปรียบสำหรับ LPWAN ที่ไม่ใช่เซลล์ลาร์ ที่มีการใช้พลังงานที่ต่ำ โดยที่ LPWAN ที่ใช้เซลล์ลาร์ ก็มีข้อดีตรงที่มีพื้นที่ของโครงข่ายที่ใหญ่ ซึ่งช่วยให้พัฒนาโครงข่ายได้อย่างรวดเร็ว และความสามารถในการปรับขยายโครงข่ายสำหรับการเพิ่มความจุกลายเป็นปัญหาเล็กน้อยสำหรับผู้ให้บริการระดับองค์กร [2]

การเปรียบเทียบเทคโนโลยี SigFox และ LoRa ที่จัดอยู่ในประเภทเทคโนโลยี LPWAN ที่ไม่ใช่เซลล์ลาร์ โดยโครงข่าย SigFox ไม่สามารถใช้ได้ทุกที่ แต่สามารถใช้งานโครงข่าย LoRa ได้ทุกที่ ซึ่ง LoRa จะมีความซับซ้อนของชั้นที่เพิ่มเข้ามาเพื่อจัดการโครงข่าย IoT ที่สร้างขึ้นมาได้ LoRa มีการสื่อสารข้อมูลได้ 2 ทิศทางขึ้นอยู่กับ การเชื่อมต่อแบบสมมาตร ในขณะที่ SigFox ก็มีการสื่อสารข้อมูล 2 ทิศทางเช่นเดียวกันแต่ขึ้นอยู่กับ การเชื่อมต่อแบบไม่สมมาตรที่ต้องการความหนาแน่นของโครงข่ายที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่เชิงพาณิชย์ การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สูงขึ้น จึงทำให้ LoRa เหมาะกับการใช้งานในกรณีส่งการ และควบคุม ในขณะที่ SigFox จำกัดอยู่กับการใช้งานแอปพลิเคชันที่มีปริมาณข้อมูล และจำนวนครั้งในการส่งที่ต่ำ [2]

การเปรียบเทียบเทคโนโลยี LTE-M และ NB-IoT ที่จัดอยู่ในประเภทเทคโนโลยี LPWAN ที่ใช้เซลล์ลูการ์ การเลือกใช้งานทั้ง 2 เทคโนโลยีนี้ขึ้นกับปริมาณการใช้ข้อมูลและเวลาในการตอบสนอง ซึ่งในส่วนของ LTE-M มีการรองรับการใช้งาน LPWAN ทุกรูปแบบ เหมาะสำหรับการใช้งานแบบเรียลไทม์ เช่น การโทรศัพท์ ข้อมูลฉุกเฉิน และการติดตามวัตถุ ในทางกลับกัน NB-IoT เหมาะสมกับการใช้งานการรับส่งข้อมูลแบบคงที่ และมีการนำไปใช้กับการเกษตร สาธารณูปโภค และเมืองอัจฉริยะ [2]

### 2.1.2 LoRa

LoRa เป็นหนึ่งในเทคโนโลยี LPWAN คือเทคโนโลยีสัญญาณการสื่อสาร ใช้เทคนิค Proprietary Spread Spectrum Technology ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้มาจากเทคโนโลยี Chirp Spread Spectrum (CSS)

LoRa ใช้ย่านความถี่ในช่วง Sub – Gigahertz อย่าง 433 MHz ,868 MHz ,915 MHz และ 923 MHz ซึ่งแต่ละความถี่จะมีการนำไปใช้แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ และในแต่ละพื้นที่มีกฎหมายเกี่ยวกับการใช้ความถี่เหล่านี้ อีกทั้งคุณลักษณะในการส่งสัญญาณระยะไกลด้วยค่า Link Budget ที่สูงราวๆ 155 dB ถึง 170 dB

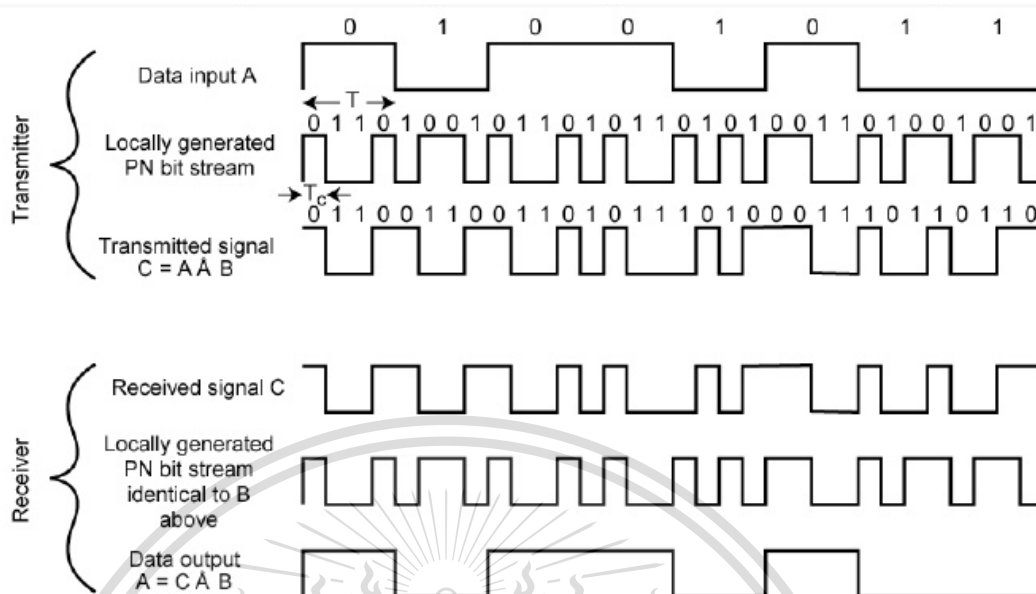
LoRa สามารถรับส่งข้อมูลได้ระยะไกล และใช้พลังงานต่ำ เทคโนโลยีนี้ครอบคลุมอยู่ในชั้นกายภาพ (PHY) ในขณะที่เทคโนโลยี และโพรโตคอลตัวอื่นอย่าง LoRaWAN จะอยู่ในชั้นที่สูงกว่าอย่างชั้น MAC นอกจากนี้ยังมีการเข้ารหัสแบบ Forward Error Correction Coding ใช้เพื่อให้ทนต่อสัญญาณ

### 2.1.3 การสื่อสารโดยเทคนิค Spread Spectrum

สำหรับการสื่อสารผ่าน LoRa จะใช้เทคนิค Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ที่จะทำการกระจายข้อมูลไปยังคลื่นความถี่ต่าง ๆ ภายในช่องสัญญาณผ่านการเข้ารหัสพิเศษ และเรียกรหัสพิเศษเหล่านี้ว่า Pseudo random code ที่จะแปลงข้อมูลที่เป็นบิตไปเป็นชิป หรือ chip ที่มีความยาวของบิตมากกว่าความยาวของบิตข้อมูลก่อนเข้ารหัส เมื่อนำ chip ที่ผ่านการเข้ารหัสมาเรียงต่อกันจะเรียกชิปเหล่านี้ว่าลำดับชิป หรือ Chip Sequence จากนั้นก็จะทำการนำลำดับชิปมา Exclusive-or หรือ XOR กับข้อมูลที่จะส่ง และทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ด้วยเทคนิค Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) หรือ Binary Phase Shift Keying (BPSK) ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าหากพบให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แสดงได้ตั้งรูปที่ 2.2 [3]

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

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

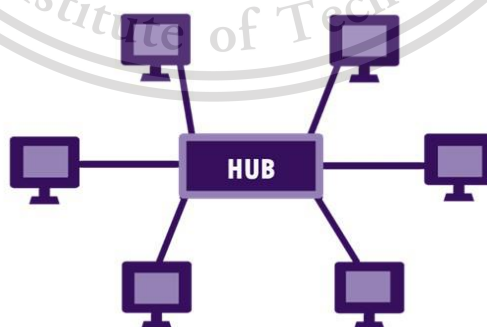


รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบการมอดูเลตกับแบนด์วิดท์

#### 2.1.4 Topology ที่ใช้สำหรับโครงข่าย LoRa

LoRa เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการสื่อสารผ่านโครงข่ายไร้สาย ซึ่งมีโครงสร้างโครงข่ายหลัก 2 โครงข่าย คือ โครงสร้างโครงข่ายแบบ Star และโครงสร้างโครงข่ายแบบ Mesh [4]

(1) โครงสร้างโครงข่ายแบบ Star (Star Network Topology) เป็นรูปแบบที่พบได้บ่อยสำหรับโหนดปลายทางที่มีข้อจำกัดด้านพลังงาน และใช้งานได้ค่อนข้างง่าย โดยทั่วไปตัวประสานงานกลางจะทำหน้าที่สำหรับการรับส่งข้อมูลบนโครงข่ายทั้งหมด การส่งสัญญาณบนโครงข่ายทั้งหมดจะถูกส่งผ่านตัวประสานงานกลางแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 [4]



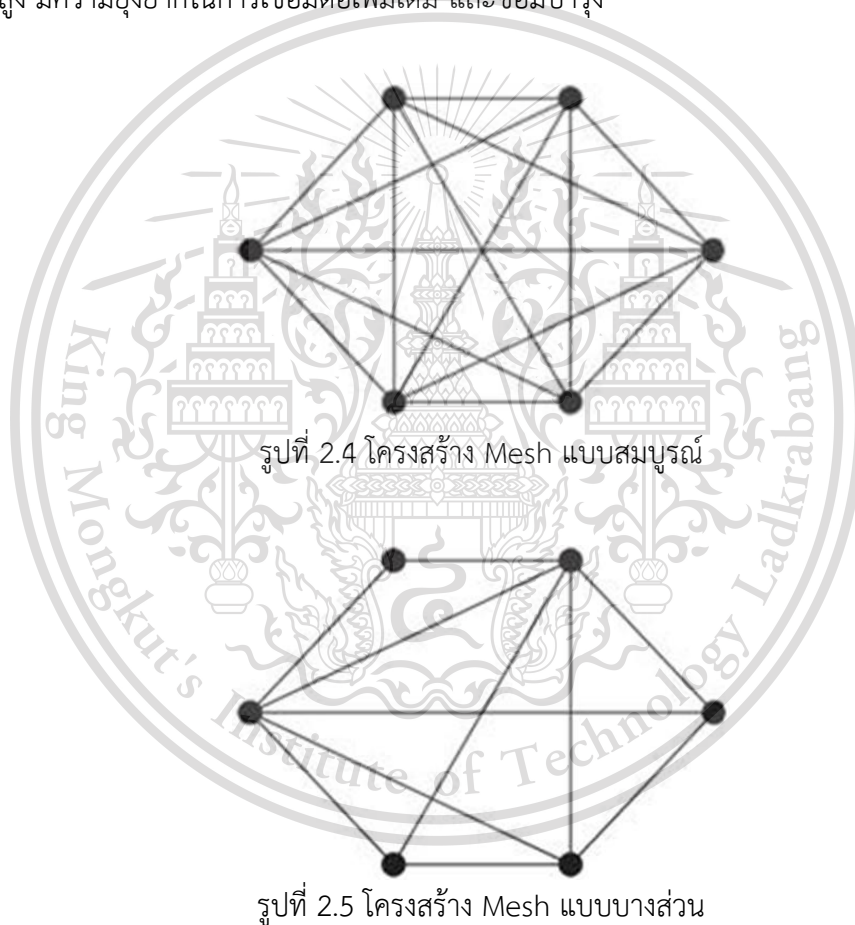
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโครงข่ายแบบ Star

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ (2) โครงสร้างโครงข่ายแบบ Mesh (Mesh Network Topology) จะมีลักษณะคล้ายไม่ว่ากรณีใดก็ตามกับโครงสร้างโครงข่ายแบบ Star (Star Network Topology) ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบซับซ้อนหลายไปใช้

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

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

เส้นทาง ระบบโครงข่ายสามารถเป็นได้ทั้งโครงสร้าง Mesh แบบสมบูรณ์ (Fully Mesh) โครงสร้างนี้เชื่อมต่อกันทุกอุปกรณ์ไปยังอีกเครื่อง ซึ่งเกินความจำเป็น และมีราคาแพง ซึ่งแสดงได้ดังรูป 2.4 [5] หรือโครงสร้าง Mesh แบบบางส่วน (Partially Mesh) โครงสร้างนี้เครื่องหนึ่งเชื่อมต่อไปยังหลายเครื่องแต่ไม่ใช่ทั้งหมด ซึ่งแสดงได้ดังรูป 2.5 [5] การติดตั้งโครงสร้างโครงข่ายแบบ Mesh มีราคาสูงและทำได้ในวงจำกัด ซึ่งในปริญญาโทฉบับนี้ใช้โครงสร้างโครงข่ายแบบ Mesh มีข้อดีที่การส่งข้อมูลจะมี Router ในการคำนวณหาเส้นทาง และดูข้อมูลว่าเส้นทางไหนมีการส่งอยู่ไหมจึงทำให้ข้อมูลไม่ชนกัน มีการคำนวณเส้นทางใหม่หากเส้นทางไหนมีปัญหา ส่วนข้อเสียคือ มีราคาแพง ใช้ต้นทุนสูง มีความยุ่งยากในการเชื่อมต่อเพิ่มเติม และซ่อมบำรุง



## 2.2 Wireless Fidelity Technology

Wireless Fidelity หรือ Wi-Fi เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ช่วยให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต สามารถรับส่งข้อมูลหากันได้ภายในโครงข่ายเดียวกัน รวมทั้งการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ ซึ่งสามารถสื่อสารกันได้ผ่าน Access Point ตามมาตรฐาน IEEE802.11 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 2.2.1 ประเภทของมาตรฐาน Wi-Fi

Institute of Electrical and Electronics Engineers หรือ IEEE ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับโครงข่าย Wireless LAN (WLAN) [6] คือมาตรฐาน IEEE802.11 และกำหนดมาตรฐานย่อยขึ้น คือ a, b, g และ n ตามลำดับ โดยแต่ละมาตรฐานมีความเร็วและคลื่นความถี่สัญญาณที่แตกต่างกัน [6]

### 2.2.1.1 มาตรฐาน IEEE 802.11a

โครงข่าย WLAN ที่ทำงานย่านความถี่ 5 GHz มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 54 Mbps โดยอัตราความเร็วสามารถปรับลดระดับลงเพื่อเพิ่มระยะทางในการเชื่อมต่อได้ เช่น 54 Mbps, 48 Mbps, 36 Mbps, 24 Mbps และ 11 Mbps เป็นต้น คลื่นความถี่ 5 GHz ไม่ได้นิยมใช้งานมากนัก เพราะบางประเทศไม่อนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่นี้ ดังนั้นปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่จึงมีน้อย และสามารถทำการแพร่ภาพวิดีโอและข้อมูลที่ต้องการความละเอียดสูงได้ [6]

### 2.2.1.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b

802.11b เป็นมาตรฐานที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทำงานที่คลื่นความถี่ 2.4 GHz มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 11 Mbps ผลิตภัณฑ์อุปกรณ์โครงข่าย WLAN มาตรฐานนี้สามารถทำงานร่วมกันได้ และต้องผ่านการตรวจสอบจากสถาบัน Wi-Fi Alliance เพื่อตรวจสอบมาตรฐานของอุปกรณ์และการใช้งานร่วมกันได้ของแต่ละผู้ผลิต สามารถนำไปใช้ในองค์กร ธุรกิจ สถาบันการศึกษา สถานที่สาธารณะ และกำลังแพร่เข้าสู่สถานที่พักอาศัยมากขึ้น มาตรฐานนี้มีระบบเข้ารหัสข้อมูลแบบ WEP ที่ 128 บิต [6]

### 2.2.1.3 มาตรฐาน IEEE 802.11g

มาตรฐาน 802.11g ใช้ความถี่ 2.4 GHz มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลระหว่าง 36 Mbps ถึง 54 Mbps ซึ่งมีความเร็วที่สูงกว่ามาตรฐาน 802.11b โดยมาตรฐานนี้สามารถปรับระดับความเร็วในการสื่อสารลดลงเหลือ 2 Mbps ได้ตามสภาพแวดล้อมของโครงข่าย [6]

### 2.2.1.4 มาตรฐาน IEEE 802.11n

เป็นมาตรฐานที่สามารถทำงานทั้งบนคลื่นความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz ได้รองรับความเร็วตั้งแต่ 300 Mbps ถึง 450 Mbps มีเสถียรภาพตั้งแต่ 2 ถึง 4 เสาบนตัวอุปกรณ์กระจายสัญญาณ WLAN และถ้าผู้ใช้ต้องการใช้งานที่ความเร็วสูงสุดอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อกับโครงข่ายต้องรองรับมาตรฐาน 802.11n เท่านั้นมาตรฐาน 802.11n สามารถทำงานร่วมกับ 802.11b, 802.11g ได้โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพทั้งระบบลดลง [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

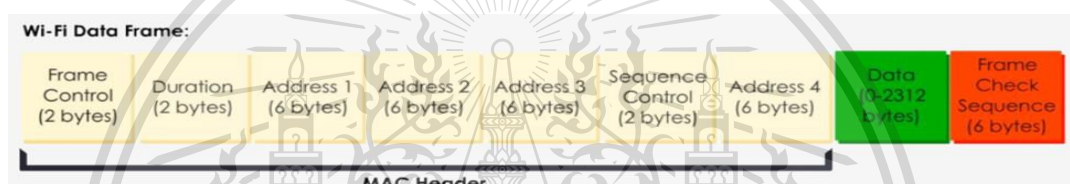
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 2.2.2 รูปแบบเฟรมข้อมูล

รูปแบบเฟรมข้อมูลในชั้น MAC [5] ประกอบด้วย Frame control ขนาด 2 Bytes Frame Control จะใช้ระบุ Protocol ที่ใช้งาน และประเภทของเฟรมหรือประเภทความปลอดภัยที่ใช้งานของ WiFi Duration ขนาด 2 Bytes คือ การระบุช่วงเวลาที่จะใช้ในการส่งข้อมูล และรู้ว่าช่องสัญญาณจะว่างอีกครั้งช่วงไหน Address 1 ขนาด 6 Bytes คือ MAC address ของผู้ส่ง Address 2 ขนาด 6 Bytes คือ MAC address ของ Access Point Address 3 ขนาด 6 Bytes คือ MAC Address ของ Receiver รวมถึง Access Point Sequence Control ขนาด 2 Bytes บอกรายการข้อมูลแพคเกจที่ส่ง Address 4 ขนาด 6 Bytes คือ MAC Address ของผู้รับ Data ขนาด 0 Bytes ถึง 2312 Bytes และ Frame Check Sequence ขนาด 6 Bytes ดังแสดงรูปที่ 2.6 [7]



รูปที่ 2.6 รูปแบบเฟรมข้อมูลในชั้น MAC

## 2.3 โพรโทคอล MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) [5] เป็นโพรโทคอลที่ได้รับการพัฒนาต่อจาก TCP/IP เป็นโพรโทคอลที่ถูกนำไปใช้กับอุปกรณ์ Internet of Things (IoT) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลดียิ่งขึ้น ทำให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลจะไม่มีการตกหล่นระหว่างทาง และใช้พลังงานต่ำ โดย MQTT จะมีส่วนหลัก Broker (Server) และ Client (Publisher กับ Subscriber) มีรูปแบบในการรับส่งเป็น Publish/Subscribe, Quality of Service (QoS) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ระดับแรก ส่งข้อความไม่ต้องรอการตอบกลับ ระดับที่ 2 ส่งข้อมูล และรอการตอบกลับ ระดับที่สาม ส่งข้อความจนกว่าปลายทางจะได้รับข้อมูล และตอบกลับมา

### 2.3.1 Publish และ Subscribe

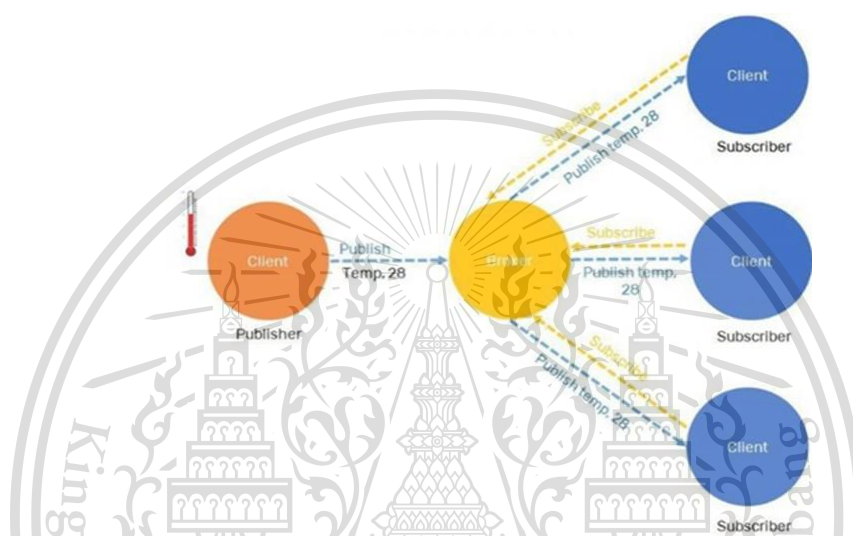
โดยจากที่ทราบกันแล้วว่าโพรโทคอล MQTT จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ Broker ที่ทำหน้าที่เป็น Server เป็นตัวกลางที่จะรับข้อมูลทั้งหมดมาจาก Client ที่ทำการส่งข้อมูลหรือ Publisher โดยจะเป็นตัวกลางได้นั้นจะต้องมีหัวข้อ หรือ Topic เพื่อให้ Client มาติดตาม Topic ดังกล่าวก่อน หรือที่เรียกว่า Subscriber โดย Client ที่กล่าวมาสามารถเป็นได้ทั้ง Publisher และ Subscriber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นานนักจะเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่คิดค่าบริการ  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

หลักการทำงาน โดยเริ่มต้นจาก Client จะต้องเชื่อมต่อกับ Broker โดยทำการ Subscribe Topic ที่สนใจสามารถเลือกได้มากกว่าหนึ่งหัวข้อภายใน Broker เมื่อทำการ Subscribe แล้ว Client จะสามารถ Publish หรือส่งข้อมูลไปยัง Broker ได้ โดยข้อมูลที่เข้ามานั้นจะส่งต่อไปยัง Topic ที่ Client ที่ส่งข้อมูลได้ Subscribe ไว้ และ ข้อมูล ก็ จะ ถูก ส่ง ไป ยัง Client อื่นๆ ที่ได้ติดตามหรือ Subscribe Topic เดียวกันกับ Client ที่ส่งข้อมูลมาซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.7 [8]



รูปที่ 2.7 การทำงานของโปรโตคอล MQTT

### 2.3.2 ประเภทของคำสั่งของโปรโตคอล MQTT

เริ่มต้นจากคำสั่ง CONNECT เป็นคำสั่งที่จะสร้าง Client ขึ้นมา และส่งคำขอเพื่อขอทำการเชื่อมต่อกับ Server หรือ Broker ที่ต้องการเชื่อมต่อ โดยจะเชื่อมต่อไปจนกว่าจะขาดการเชื่อมต่อหรือมีการเรียกใช้คำสั่ง DISCONNECT โดยเมื่อมีการเรียกใช้คำสั่ง CONNECT จะมีการส่งแพ็คเกจที่ชื่อว่า CONNECT ซึ่งภายในแพ็คเกจจะประกอบด้วย ไอดีของ Client Username และ Password ซึ่งทั้งหมดนี้อยู่ในส่วนของ Payload

คำสั่ง CONNACK เป็นคำสั่งเมื่อ Server ได้รับแพ็คเกจ CONNECT จาก Client Server จะทำการตอบกลับมาโดยใช้คำสั่งนี้ และส่งแพ็คเกจ CONNACK ซึ่งภายในแพ็คเกจจะประกอบด้วย 0x00 Connection Accepted หมายถึงยอมรับการเชื่อมต่อ 0x01 Connection Refused, Unacceptable Protocol Version หมายถึง Server ไม่ยอมรับระดับชั้นโปรโตคอล MQTT ของ Client ที่ขอเชื่อมต่อ 0x02 Connection Refused, Identifier Rejected หมายถึง Server ไม่อนุญาตให้เชื่อมต่อกับ Client ว่าตัวตนของ Client จะถูกต้อง 0x03 Connection Refused, Server Unavailable หมายถึงมีการเชื่อมต่อกับโครงข่าย แต่ไม่สามารถใช้งานบริการของโปรโตคอล MQTT ได้ 0x04 Connection Refused, Bad name or password หมายถึงข้อมูล Username

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

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

หรือ Password ผิดรูปแบบและ 0x05 Connection Refused, Not Authorized หมายถึง Client ไม่ได้รับอนุญาตให้เชื่อมต่อ

คำสั่ง PUBLISH เป็นคำสั่งที่ใช้ในการส่งข้อมูลซึ่ง Server สามารถส่งข้อมูลไปหา Client ได้และ Client ก็สามารถใช้คำสั่งนี้ส่งข้อมูลกลับไปให้ Server ได้เช่นกันมีการส่งแพ็คเก็ตที่ภายในจะแบ่งเป็นส่วน Header และ Payload ในส่วนของ Header จะประกอบด้วย Quality of Service (QoS) และ Control Flag ซึ่งถัดจาก Control Flag 2 Bytes แรกบอกความยาวของ Topic ถัดมาก็จะเป็นชื่อ Topic ต่อมาในส่วนของ Payload 2 Bytes แรกบอกความยาวของข้อความ ถัดมาจะเป็นข้อความที่ต้องการส่ง

คำสั่ง SUBSCRIBE คือคำสั่งที่ให้ Client สามารถติดตามหัวข้อ หรือ Topics โดยการส่งแพ็คเก็ต SUBSCRIBE เพื่อขอการติดตาม Topic กับ Server แพ็คเก็ต SUBSCRIBE จะประกอบด้วย Control Field, Remaining Length, Packet ID, Length ตามด้วยชื่อของ Topic และ QoS ตามลำดับ

## 2.4 มาตรฐานความปลอดภัยภายในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย

เศรษฐกิจภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีการเจริญเติบโต และมีแนวโน้มรวมถึงการพัฒนาที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้มีการเกิดขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมมากมาย และการว่าจ้างแรงงานที่เกี่ยวข้องกับงานในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งจะต้องทำงานร่วมกับเครื่องจักรทำให้สภาพแวดล้อมในที่ทำงานค่อนข้างอันตราย และเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุ อาการบาดเจ็บ ความเจ็บป่วย และโรคที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงาน โดยสาเหตุส่วนใหญ่อาจเกิดจากความประมาท หรือละเลยกฎความปลอดภัยดังนั้นจึงมีการตั้งมาตรฐานความปลอดภัย [9] ไว้ดังนี้

### 2.4.1 มาตรฐานด้านความร้อน

1) ความร้อนภายในสถานที่ประกอบการไม่ควรมีสภาพอุณหภูมิที่สูงจนส่งผลให้อุณหภูมิภายในร่างกายของลูกจ้างมีค่าสูงเกิน 38 องศาเซลเซียส

2) นายจ้างควรพิจารณาให้มีการจัดเตรียมเครื่องมือสำหรับป้องกันความร้อนให้แก่ลูกจ้าง รวมทั้งควรจัดหามาตรการที่จะสามารถดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดอุณหภูมิความร้อนได้อย่างทันท่วงที ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ความร้อนภายในสถานประกอบการมีสภาพอุณหภูมิสูงจนส่งผลให้อุณหภูมิภายในร่างกายของลูกจ้างมีค่าสูงเกิน 38 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 3) ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ความร้อนภายในสถานประกอบการมีสภาพอุณหภูมิสูงจนส่งผลให้อุณหภูมิภายในร่างกายของลูกจ้างมีค่าสูงเกิน 38 องศาเซลเซียส นายจ้างต้องทำการจัดให้

ลูกจ้างได้หยุดพักชั่วคราวเพื่อรักษาตัวให้สภาพร่างกายรวมทั้งอุณหภูมิภายในร่างกายกลับมาคงที่สู่สภาพปกติ

4) นายจ้างควรปิดป้ายประกาศสำหรับแจ้งเตือนในจุดที่เป็นอันตรายแก่ลูกจ้าง ตัวอย่างเช่น จุดที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีสภาพอุณหภูมิความร้อนสูงจนสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย และความปลอดภัยของบุคคล

5) นายจ้างควรจัดตั้งมาตรการการทำงานในกรณีที่ลูกจ้างมีความจำเป็นต้องทำงานในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 45 องศาเซลเซียส ให้มีการสวมเครื่องแต่งกายที่รัดกุม สวมถุงมือ และรองเท้าตลอดเวลาการดำเนินงานเพื่อสร้างความปลอดภัย และเพื่อป้องกันความร้อนที่สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายของลูกจ้างได้

#### 2.4.2 มาตรฐานด้านแสงสว่าง

1) สำหรับงานที่ไม่ต้องใช้ความละเอียดสูงในการดำเนินงาน เช่น การรด การขนย้าย หรือการบรรจุ ควรมีแสงสว่างที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 50 Lux

2) พื้นที่ที่ใช้สำหรับเก็บวัสดุ เช่น ห้องเก็บวัสดุ โกดัง รวมทั้งบริเวณเฉลียง และบันได ภายในสถานที่ประกอบการควรมีแสงสว่างที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 50 Lux

3) สำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดเล็กน้อยในการดำเนินงาน เช่น การนวดข้าวหรือการผลิต และประกอบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์อย่างง่ายควรมีแสงสว่างที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 100 Lux

4) สำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดปานกลางในการดำเนินงาน เช่น การประกอบชิ้นส่วนภาชนะ การเย็บผ้าหรือการเย็บหนัง ควรมีแสงสว่างที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 200 Lux

5) สำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงในการดำเนินงาน เช่น การทดสอบ และการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ การซ่อมแซมเครื่องจักรหรือการกลึงแต่งโลหะ ควรมีแสงสว่างที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 300 Lux

6) สำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงมากเป็นพิเศษในการดำเนินงาน เช่น การเย็บผ้า สีมิดทึบ การประกอบชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กหรือการเจียรระโนเพชร พลอย ควรมีแสงสว่างที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 1000 Lux

7) พื้นที่บริเวณทางเดินภายนอกสถานที่ประกอบการ รวมทั้งบริเวณถนน ควรมีแสงสว่างที่มีค่าความเข้มของแสงมากกว่า 20 Lux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 2.4.3 มาตรฐานด้านสารเคมีและอนุภาค

- 1) การทำงานของลูกจ้างภายในสถานที่ประกอบการ ต้องมีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศโดยเฉลี่ยไม่เกินค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้
- 2) การทำงานของลูกจ้างภายในสถานที่ประกอบการ โดยไม่ว่าจะเป็นการในระยะเวลาใดของการทำงาน จะต้องมีความเข้มข้นของสารเคมีไม่เกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้
- 3) การทำงานของลูกจ้างภายในสถานที่ประกอบการ จะต้องไม่อยู่ในบริเวณที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีเกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้
- 4) การทำงานของลูกจ้างภายในสถานที่ประกอบการ จะต้องไม่อยู่ในบริเวณที่มีปริมาณของฝุ่น และแร่ในบรรยากาศโดยเฉลี่ยเกินค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้

## 2.5 ระบบการหาตำแหน่งทั่วโลก (Global Positioning System)

ระบบการหาตำแหน่งทั่วโลก (Global Positioning System) หรือ GPS [10] เป็นส่วนหนึ่งของระบบนำทางด้วยดาวเทียม หรือ Global Navigation Satellite System ซึ่งประกอบด้วยดาวเทียมอย่างน้อย 24 ดวง สามารถทำงานได้ทุกบริบท และทุกสภาพอากาศบนโลกตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน แต่เดิมระบบนี้สร้างขึ้นเพื่อใช้ในทางทหาร แต่ในทศวรรษ 1980 เป็นต้นมาได้เปิดให้พลเรือนได้ใช้งานระบบนี้ GPS ทำหน้าที่ให้ข้อมูลพิกัดบนผิวโลกโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อคำนวณโดยใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจากดาวเทียมที่โคจรรอบโลก และแสดงพิกัด เวลา รวมถึงความเร็ว ทิศทาง และอื่นๆ ณ จุดที่ตัวรับสัญญาณตั้งอยู่

### 2.5.1 หลักการทำงานของระบบการหาตำแหน่งทั่วโลก

GPS ทำงานโดยการรับสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง โดยสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมประกอบด้วยข้อมูลที่ระบุตำแหน่ง และเวลาขณะส่งสัญญาณเครื่องรับสัญญาณทำการประมวลผลความแตกต่างของเวลาการรับสัญญาณเทียบกับเวลาจริง ณ ปัจจุบันเพื่อแปลงเป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมแต่ละดวง เพื่อให้เกิดความแม่นยำจำเป็นต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ในการบอกตำแหน่งผิวโลกเพราะความเป็นจริงพื้นโลกมีความโค้งเนื่องจากสัณฐานของโลกมีลักษณะกลมซึ่งดาวเทียมดวงที่ 4 มีทำหน้าที่คำนวณเรื่องความสูงเพื่อทำให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องมากขึ้น และแก้ปัญหาการซิงโครไนซ์สัญญาณนาฬิกาผิดพลาดดังรูปที่ 2.8 [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

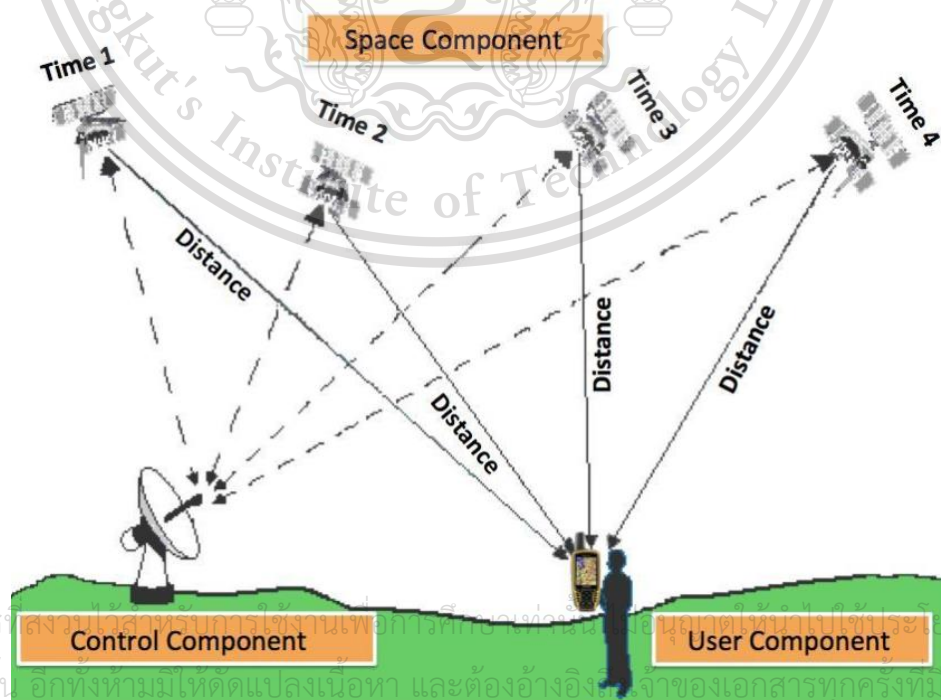
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.8 การทำงานของ GPS

2.5.2 ส่วนประกอบหลักของ GPS

GPS ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนอวกาศ ส่วนควบคุม และส่วนผู้ใช้งาน ส่วนอวกาศเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียมของแต่ละประเทศที่มีระบบระบุตำแหน่งที่แตกต่างกัน ส่วนควบคุม เป็นศูนย์ควบคุมระบบ และบัญชาการการทำงานของระบบ GPS รวมไปถึงการตรวจตราดูแลความเรียบร้อยของระบบ และส่วนผู้ใช้งานจะนำข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมไปใช้งานตามความเหมาะสม แสดงได้ดังรูปที่ 2.9 [11]



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบหลักของ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับปริญญาโทเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 2.5.3 โครงสร้างข้อมูลของ GPS

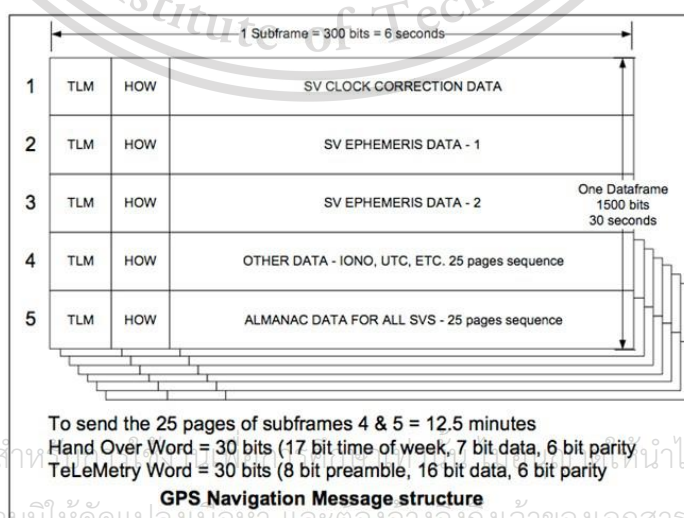
เครื่องรับ GPS จำเป็นต้องทราบเวลา และตำแหน่งของดาวเทียมที่ใช้งานอยู่ซึ่ง GPS จะทำการเข้ารหัสข้อมูลนี้ลงในข้อมูลการนำทาง และมอดูเลตรหัสข้อมูลเป็นรหัส C/A (Coarse/Acquisition Code) และ P(Y) (Precision Code )

รหัส C/A (Coarse/Acquisition Code) หรือเรียกว่า Gold Codes เป็น Pseudo-Random Code (PRN Code) ซึ่งเป็นรหัสที่ประกอบด้วยคาบของ 1023 ชิป มีการส่งที่อัตรา 1.023 Mchips/s เนื่องจากรหัสมีการทวนรหัสทุกๆ 1 มิลลิวินาที แต่ละดาวเทียมจะมีรหัสที่ไม่เหมือนกันอีกทั้งไม่มีความซับซ้อน

P(Y) (Precision Code ) เป็น PRN Code ซึ่งมีความยาวของรหัสมากกว่ารหัส C/A มีการส่งที่อัตราเป็น 10.23 Mchips/s มีการทวนรหัสเพียง 1 ครั้งต่ออาทิตย์ เป็นรหัสที่มีความละเอียดใช้เฉพาะทางการทหาร และหน่วยงานในประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น

ข้อมูลที่เข้ารหัสทั้ง 2 นี้มีอัตราบิตเป็น 50 bps รูปแบบข้อมูลการนำทางที่อธิบายในส่วนนี้เรียกว่าข้อมูล LNAV (Legacy Navigation) หรือข้อมูลการนำทางแบบเดิม

ข้อความนำทางมีรอบเวลาคือ 30 วินาที และมีขนาดเฟรม 1500 บิต และมีการแบ่งออกเป็น 5 เฟรมย่อย แต่ละเฟรมย่อยมีข้อมูลขนาด 300 บิต มีบิตข้อมูล 30 บิต และ 6 บิตเป็นบิตควบคุมโดย 2 เวิร์ดแรกจะประกอบด้วย Telemetry (TLM) และ Handover Words (HOW) และเวิร์ดที่เหลือคือ 3 ถึง 10 เป็นในส่วนของข้อมูล ในเฟรมย่อยที่ 1 จะเป็นนาฬิกาดาวเทียม และความสัมพันธ์ของเวลา GPS ต่อมาเฟรมย่อยที่ 2 กับ 3 จะเป็น Ephemeris คือข้อมูลวงโคจรที่แม่นยำสำหรับดาวเทียมส่งสัญญาณ และในเฟรมย่อยที่ 4 กับ 5 จะเป็นส่วนประกอบของ Almanac คือสถานะ และข้อมูลการโคจรของดาวเทียมทุกดวงที่มีความแม่นยำต่ำกว่า Ephemeris ดังแสดงในรูปที่ 2.10 [12]



รูปที่ 2.10 โครงสร้างข้อความนำร่องด้วยระบบ GPS

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

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

## 2.5.4 การใช้งานย่านความถี่

สำหรับรหัสที่หลากหลาย และข้อความการนำทางในการเดินทางจากดาวเทียมไปยังเครื่องรับสัญญาณจะต้องถูกมอดูเลตไปยังคลื่นพาห์ในกรณีของ GPS แบบดั้งเดิมจะใช้ความถี่ 2 ความถี่ 1 ที่ 1575.42 MHz เรียกว่า L1 และ 2 ที่ 1227.60 MHz รหัส C/A ถูกส่งบนความถี่ L1 เป็นสัญญาณ 1.023 MHz โดยใช้การมอดูเลตแบบ Bi-Phase Shift Keying (BPSK) สำหรับ P(Y) ถูกส่งบนทั้งความถี่ L1 และ L2 เป็นสัญญาณ 10.23 MHz โดยใช้วิธีการมอดูเลตเช่นเดียวกับรหัส C/A ตารางที่ 2.1 แสดงย่านความถี่ที่ใช้งาน [13]

ตารางที่ 2.1 ตารางย่านความถี่ที่ใช้งานสำหรับ GPS

ย่านความถี่	ความถี่	รายละเอียด
L1	1575.42 MHz	ใช้มอดูเลตกับรหัส C/A กับ P(Y)
L2	1227.60 MHz	ใช้มอดูเลตกับรหัส P(Y)
L3	1381.05 MHz	ใช้ส่งข้อมูลระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน
L4	1379.913 MHz	ใช้ศึกษา และแก้ไขผลกระทบที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
L5	1176.45 MHz	ใช้กับ GPS ยุคใหม่

## 2.5.5 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน GPS

สำหรับปริญญาตรีฉบับนี้ ใช้ไลบรารี TinyGPSplus ซึ่งเป็นไลบรารีที่ใช้คู่กับ Arduino ทำหน้าที่แปลง และวิเคราะห์ข้อมูล NMEA ที่ได้รับมาจากเซนเซอร์ GPS ไลบรารีนี้สามารถแสดงตำแหน่งหรือพิกัด เวลา วันที่ ความสูง และความเร็ว โดยในข้อมูล NMEA จะใช้โปรโตคอลหลัก 2 ตัว โปรโตคอลตัวแรก คือ GGA (Global Positioning System Fix Data) เป็นโปรโตคอลที่ใช้แสดงพิกัดเป็นสามมิติ ต้องใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงขึ้นไป และโปรโตคอลตัวที่ 2 คือ RMC (Recommended Minimum sentence C) เป็นโปรโตคอลที่แสดงรายละเอียดเรื่องความเร็ว เวลา ตลอดจนถึงทิศทาง

รูปแบบข้อความของโปรโตคอล GGA มีดังนี้ \$GPGGA,hhmmss.ss,la,ddd,dddq,fi,nn,e.e,fff.f,M1,ggg.g,M2,h.h,iiii,\*jj โดยมีรายละเอียดดังนี้

- hhmmss.ss คือเวลา UTC ของตำแหน่งที่อยู่

- la,ddd คือละติจูด (la) มุม (d)

- r คือลิตดา (เหนือกับใต้)

- lolodd.ddd คือลองจิจูด (lo) มุม (d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- q คือลิปตา (ตะวันออกกับตะวันตก)
  - fi คือ fix quality (0 = invalid, 1 = GNSS fix (SPS), 2 = DGPS fix, 3 = PPS fix, 4 = Real Time Kinematic , 6 = estimated (dead reckoning), 7 = Manual input mode, 8 = Simulation mode)
  - nn คือจำนวนดาวเทียมที่ตรวจจับได้
  - e.e คือ Horizontal dilution of position
  - fff.f,M1 คือความสูงของเสาอากาศเหนือระดับน้ำทะเล (เมตร)
  - ggg.g,M2 คือความสูงของระดับน้ำทะเลปานกลางเหนือวงรี WGS84 (g,9i)
  - h.h คืออายุของ GPS ที่ได้รับจากสถานีอ้างอิง
  - iiii คือหมายเลขสถานีอ้างอิง
  - \*jj คือข้อมูล checksum
- ส่วนข้อความของโปรโตคอล RMC มีดังนี้ \$GPRMC,hhmmss.ss,A,laladd.ddd,r,lolodd.ddd,q,c.cc,o.o,aammyy,e.e,l,n,\*jj
- hhmmss.ss คือเวลา UTC ของตำแหน่งที่อยู่
  - A คือสถานะ หากเป็น A = Active หรือ V = Void
  - laladd.ddd คือละติจูด(la) มุม (d)
  - r คือลิปตา (เหนือกับใต้)
  - lolodd.ddd คือลองจิจูด (lo) มุม(d)
  - q คือลิปตา (ตะวันออกกับตะวันตก)
  - c.c คือความเร็วบนพื้นดิน (knot)
  - o.o คือทิศทางที่แท้จริง
  - aammyy คือวันเดือนปี UTC
  - e.e คือการเปลี่ยนแปลงของมุม
  - I คือ Mode Indicator : A = Autonomous, D = Differential, E = Estimated, F = Float RTK, M = Manual input, N = No fix, P = Precise, R = Real time kinematic, S = Simulator
  - n คือ Navigational Status: S = Safe, C = Caution, U = Unsafe, V=Void
  - \*jj คือข้อมูล checksum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 2.6 แสง

แสงเป็นการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่รังสีอินฟราเรดถึงรังสีอัลตราไวโอเล็ต รวมถึงความยาวคลื่นที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้

แสงมีสมบัติพื้นฐาน ได้แก่ ความเข้มที่แสดงในรูปของความสว่างของแสง ความถี่หรือความยาวคลื่นที่แสดงออกมาในรูปสีของแสง และโพลาไรเซชันซึ่งเป็นมุมการสั่นของ แสงสามารถเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค

แสงในความหมายคลื่น คือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยที่ระนาบการสั่นของสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับระนาบการสั่นของสนามไฟฟ้า และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น อีกทั้งยังมีคุณสมบัติสมบัติในการการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน

แสงในความหมายอนุภาค เป็นก้อนพลังงานที่มีค่าพลังงานคือ  $E = hf$  โดยที่  $h$  คือค่าคงตัวของพลังค์ และ  $f$  คือความถี่ของแสง เรียกอนุภาคแสงว่าโฟตอน

### 2.6.1 ลักซ์

ลักซ์ (สัญลักษณ์ lux, lx) คือหนึ่งในหน่วย SI ที่ใช้สำหรับวัดความสว่างของแสง และการเปล่งแสง ซึ่งมีหน่วยเป็นลูเมนต่อหน่วยพื้นที่ โดยพื้นที่มีหน่วยเป็นตารางเมตร หรือเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร ความสว่างบนพื้นที่หาได้จากสมการที่ 2.1

$$E = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

โดยที่  $E$  คือ ความสว่างของแสง (lux, lx)

$F$  คือ ฟลักซ์ส่องสว่าง (lumen:lm)

$A$  คือ พื้นที่รับแสง ( $m^2$ )

### 2.6.2 ตัวต้านทานไวแสง (LDR)

ตัวต้านทานไวแสง LDR (Light Dependent Resistor) เป็นตัวต้านทานที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบลงบนตัวต้านทาน LDR สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำ ประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ หรือแคดเมียมเซลไนด์ ซึ่งที่ 2 ตัวนี้จะถูกนำมาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมาใช้งาน ลักษณะโครงสร้างของตัวต้านทานไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสดงดังรูปที่ 2.11 และวงจรความต้านทานไวแสง [14]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

LDR ใช้งานได้กับแสงที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 400 นาโนเมตร จนถึง 700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นย่านที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และเหมาะที่ใช้งานในย่านความถี่ต่ำ เพราะ LDR มีความไวต่อแสงต่ำมีค่าความต้านทานแสงมืด (Dark Resistance) ประมาณ 10 เมกะโอห์ม และค่าความต้านทานเมื่อแสงสว่างสูงสุด ประมาณ 100 โอห์ม [15]



รูปที่ 2.11 ตัวต้านทานไวแสง

## 2.7 การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน (Vibration) คือการแกว่งหรือการสั่นของวัตถุรอบจุดสมดุล เช่น การแกว่งลูกตุ้ม การสั่นสะเทือนของปั้มน้ำ หรือการสั่นสะเทือนของลำโพง การสั่นสะเทือนจะแบ่งออกเป็นสามประเภท ได้แก่ การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration) การสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Force Vibration) และการสั่นสะเทือนแบบหน่วง (Damped Vibration) [16] ดังนี้

(1) การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration) เกิดขึ้นเมื่อระบบกลไกถูกตั้งค่าให้เคลื่อนที่ด้วยค่าอินพุตเริ่มต้น และให้สั่นอย่างอิสระ ตัวอย่างของการสั่นประเภทนี้คือการตึงเด็กกลับมาบนชิงช้าแล้วปล่อยไป หรือตีส้อมเสียง และปล่อยให้ดัง ระบบนี้จะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติอย่างน้อยหนึ่งความถี่ และลดลงจนไม่เคลื่อนที่

(2) การสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Force Vibration) เมื่อมีการรบกวนที่แปรผันตามเวลา เช่น การกระการกระจัด หรือความเร็วกับระบบกลไก สัญญาณรบกวนอาจเข้ามาเป็นระยะ และคงที่ชั่วคราว หรือสุม ซึ่งหากเข้ามาเป็นระยะอาจเป็นสัญญาณรบกวนแบบฮาร์มอนิก หรือไม่ใช้ฮาร์มอนิก ตัวอย่างการสั่นสะเทือนประเภทนี้ ได้แก่ เครื่องซักผ้าสั่นเนื่องจากความไม่สมดุลของการสั่นสะเทือนในการขนส่งที่เกิดจากเครื่องยนต์ หรือถนนไม่เรียบ การสั่นสะเทือนของอาคารขณะเกิดแผ่นดินไหว

(3) การสั่นสะเทือนแบบหน่วง (Damped Vibration) เมื่อพลังงานของระบบสั่นค่อยๆ กระจายไปตามแรงเสียดทาน และความต้านทานอื่นๆ การสั่นสะเทือนจะถูกลดทอนลง การสั่นสะเทือนจะค่อยๆ ลด หรือเปลี่ยนความถี่ หรือหยุดลงจนระบบจะอยู่ในตำแหน่งสมดุล ตัวอย่างของการสั่นสะเทือนประเภทนี้คือระบบกันสะเทือนของยานพาหนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตามที่ผู้รับใช้จำเป็นต้องอ้างอิงถึงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 2.7.1 เทคนิคการวัดการสั่นสะเทือนเบื้องต้น

การสั่นสะเทือนสามารถวัดได้จากระยะกระจัด ซึ่งระยะกระจัดในการวัดการสั่นสะเทือนนี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ร่วมกับความเร็ว และความเร่ง จึงสามารถวัดความสั่นสะเทือนจากความเร็ว และความเร่ง ที่แสดงเป็นสมการได้ดังนี้ [16]

$$x = X \cos(\omega t + \Phi) \quad (2.2)$$

$$v = -\omega X \sin(\omega t + \Phi) \quad (2.3)$$

$$a = -\omega^2 X \cos(\omega t + \Phi) \quad (2.4)$$

จากทั้งสามสมการข้างต้นพบว่าสามารถหาขนาดของความเร็วและความเร่งได้จากการคูณขนาดของระยะกระจัด  $x$  กับความเร็วเชิงมุมคือ  $\omega$  และ  $\omega^2$  ตามลำดับ โดยหากมีการสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูง จะทำให้ขนาดของความเร่งสูงมีค่าที่สูงกว่าขนาดของความเร็ว และขนาดของระยะกระจัด จึงทำให้สำหรับการวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่มีความถี่สูง คือที่ความถี่สูงกว่า 1000 Hz จะใช้ความเร่งเป็นปริมาณที่ใช้ในการวัด ในกรณีที่มีความถี่ต่ำ คือที่ความถี่ต่ำกว่า 10 Hz เช่นการสั่นสะเทือนเมื่อเกิดแผ่นดินไหว จะวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้ระยะกระจัด และในกรณีความถี่ปานกลางที่ความถี่ระหว่าง 10 Hz ถึง 1000 Hz จะวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้ความเร็วเป็นส่วนมาก

### 2.7.2 มาตรฐานวัดเมอร์คัลลีที่ปรับปรุงแล้ว (Modified Mercalli Intensity Scale (MMI scale)) [17]

ความรุนแรงของแผ่นดินไหวเกิดจากผลกระทบของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นบนผิวโลก มาตรฐานวัดความรุนแรงของแผ่นดินไหวถูกกำหนดจากความรู้สึก และการตอบสนองของมนุษย์ การเคลื่อนที่ของเครื่องใช้ในบ้านไปจนถึงการพังทลายเป็นวงกว้างของสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น มาตรฐานวัดความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือมาตรฐานวัดเมอร์คัลลีที่ปรับปรุงแล้ว (MMI) โดยมาตรฐานวัดชนิดนี้มีการแบ่งระดับความรุนแรงออกเป็น 12 ระดับ เริ่มจากระดับความรุนแรงต่ำที่สุด ซึ่งไม่สามารถรู้สึกได้เองต้องใช้เครื่องวัดแผ่นดินไหวในการตรวจสอบเท่านั้นไปจนถึงระดับรุนแรงสูงสุด ที่ทุกสิ่งทุกอย่างถูกทำลายจนหมด มาตรฐานนี้ใช้หน่วยระดับเป็นเลขโรมัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามมิให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานวัดเมอร์คลีที่ปรับปรุงแล้ว (MMI)

ระดับความรุนแรง	รายละเอียดความรุนแรง
I	ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหวเท่านั้น คนไม่สามารถรู้สึกได้
II	รู้สึกได้เฉพาะบางคนที่อยู่นิ่งๆ โดยเฉพาะผู้ที่อยู่ในอาคารชั้นบน สิ่งของที่บอบบาง ประณีตอาจแกว่งไกวได้
III	ผู้ที่อยู่ในอาคารจะรู้สึกค่อนข้างชัดว่ามีแผ่นดินไหว โดยเฉพาะผู้ที่อยู่ชั้นบน แต่คนส่วนใหญ่จะยังไม่ทราบว่าแผ่นดินไหวเกิดขึ้น รถยนต์ที่จอดอยู่อาจขยับเขยื้อนได้บ้างเล็กน้อย
IV	เวลากลางวันผู้ที่อยู่ในบ้านจะรู้สึกได้ แต่ผู้ที่อยู่นอกบ้านจะรู้สึกว่าเกิดแผ่นดินไหวได้น้อยคน ถ้าเป็นตอนกลางคืนผู้ที่นอนหลับอยู่จะตกใจตื่น ถ้วยชาม ขยับ หน้าต่าง ประตู สั่น ผาผนังมีเสียงลั่น รถยนต์ที่จอดอยู่สั่นไหวสังเกตได้ชัดเจน
V	เกือบทุกคนรู้สึกว่ามีแผ่นดินไหวเกิดขึ้น หลายๆ คนตื่นตระหนก ถ้วยชามตกแตก หน้าต่างพัง สิ่งของที่ตั้งไม่มั่นคงล้มคว่ำ นาฬิกาที่ใช้ลูกตุ้มอาจหยุดเดิน
VI	รู้สึกว่ามีแผ่นดินไหวกันได้ดีทุกคน หลายๆ คนตกใจวิ่งออกจากบ้าน เครื่องประดับบ้านหนักๆ บางชิ้นเคลื่อนได้ กรณีนี้บ่อยมากที่ปูนฉาบผนังจะร่วงหล่นลงมาความเสียหายถือว่าเล็กน้อย
VII	ในอาคารที่ออกแบบและก่อสร้างไว้ดีจะเสียหายเล็กน้อยมาก ส่วนอาคารก่อสร้างไว้ดีตามปกติจะเสียหายเล็กน้อยถึงปานกลาง อาคารที่ก่อสร้างและออกแบบไว้ไม่ดีจะเสียหายค่อนข้างมาก ปล่องไฟบางปล่องแตกหัก
VIII	สิ่งก่อสร้างที่ออกแบบไว้ดีเป็นพิเศษจะเสียหายเล็กน้อย อาคารที่สร้างอย่างมั่นคงตามปกติจะเสียหายค่อนข้างมาก และบางส่วนอาจพังทลายลงมาด้วย สำหรับสิ่งก่อสร้างที่สร้างอย่างไม่สมบูรณ์ จะเสียหายใหญ่หลวง ปล่องไฟ บ้าน โรงงาน เสาหิน อนุสาวรีย์ และกำแพงจะหักล้มพังลงมา
IX	สิ่งก่อสร้างที่ออกแบบดีเป็นพิเศษ เสียหายมาก โครงของสิ่งก่อสร้างที่ออกแบบไว้ดีเสียหายหมด อาคารที่มั่นคงเสียหายมากซึ่งบางส่วนพังทลายลงมาด้วย ตัวอาคารต่างๆ ขยับเคลื่อนออกจากฐานรากเดิม
X	อาคารไม้ที่ก่อสร้างไว้เป็นอย่างดีบางหลังถูกทำลาย สิ่งก่อสร้างที่ก่อด้วยปูน และมีโครงพังทลายพร้อมทั้งฐานรากด้วย รางรถไฟบิดงอไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานวัดเมอร์คัลลีที่ปรับปรุงแล้ว (MMI) (ต่อ)

XI	สิ่งก่อสร้างที่ก่อด้วยปูนถ้ามีจะยังคงเหลือตั้งอยู่ได้น้อยมาก สะพานถูกทำลายทางรถไฟบดงอมมาก
XII	เสียหายหมดทุกสิ่งทุกอย่าง แนวและระดับต่างๆ บิดเบี้ยวหมด วัตถุทุกอย่างกระดอนกระเด็นปลิวขึ้นไปในอากาศ

## 2.8 ฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง คือของแข็งขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศ หรือน้ำ ฝุ่นละอองมีทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ และมนุษย์สร้างขึ้น ตัวอย่างฝุ่นละอองที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ พายุทราย ไฟป่า ไอเกลือ หรือจากมนุษย์สร้างขึ้นมา เช่น ไอของเสียจากรถยนต์ โรงงานไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงการเผาหญ้า และการเผาป่า เป็นต้น

ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจำนวนมากส่งผลโดยตรงกับสุขภาพของมนุษย์ ก่อให้เกิดโรคที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพ เช่น โรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจ โรคปอด รวมไปถึงมะเร็งปอด

### 2.8.1 ฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน

ฝุ่นละออง 2.5 ไมครอน คือฝุ่นละอองที่มีขนาด 2.5 ไมครอนเมตร เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าฝุ่น PM2.5 ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ในขณะที่ฝุ่น PM2.5 ลอยอยู่ในอากาศ ฝุ่นจะทำการรวมตัวกับก๊าซหรือไอน้ำ ทำให้เกิดกลุ่มหมอกควันจำนวนมากในอากาศ โดยฝุ่นละอองประเภทนี้สามารถเดินทางผ่านเส้นขนในจมูกของมนุษย์ได้ ภายในฝุ่นละอองจะนำพาสารประเภท แคดเมียม โลหะหนัก ปรอท สามารถแทรกซึมเข้าผ่านระบบทางเดินหายใจ ผ่านกระแสเลือด และระบบอื่นๆ ภายในร่างกายได้ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์

#### 2.8.1.1 เทคนิคการวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน

เทคนิคการวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือ PM2.5 มีอยู่ 3 รูปแบบ คือแบบอินฟราเรด แบบ Beta Attenuation Mass Monitoring และแบบแสงเลเซอร์

(1) แบบอินฟราเรดจะพบในเครื่องวัดฝุ่นรุ่นเก่า ทำงานโดยให้อากาศไหลผ่านท่อที่ปลายด้านหนึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดอินฟราเรด และปลายอีกด้านติดตั้งเซนเซอร์ หากมีฝุ่นในอากาศเคลื่อนผ่านลำแสงอินฟราเรด ฝุ่นละอองจะบังลำแสงทำให้เกิดบริเวณที่แสงได้จางลง เซนเซอร์ จะทำการตรวจจับบริเวณที่แสงได้จางลง และนับจำนวนจุดที่แสงได้จางลงว่ามีปริมาณฝุ่นเท่าใด ข้อดีสำหรับเทคนิคการวัดนี้คือราคาไม่แพง แต่ข้อเสียคือไม่สามารถแยกความแตกต่างของฝุ่นที่ทำการจับได้ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระหว่างเรียน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

(2) แบบ Beta Attenuation Mass Monitoring มีการทำงานโดยการให้ อากาศไหลผ่านแผ่นกรอง ฝุ่นที่มากับอากาศจะถูกแผ่นกรองจับไว้ จากนั้นทำการฉายรังสีเบตา หาก เป็น ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ฝุ่นจะทำการดูดซับรังสีซึ่งเครื่องอ่านที่อยู่อีกด้านของแผ่นกรองสามารถรับรู้ได้ และ ทำการคำนวณปริมาณฝุ่นออกมา ข้อดีคือสามารถแยกแยะประเภทของฝุ่นที่ติดกับกระดาษกรองได้ว่า เป็นฝุ่นขนาดเท่าใด และมีความหนาแน่นเท่าใด ข้อเสียคือต้องเฝ้าระวังเปลี่ยนแผ่นกรองทุกช่วงเวลา หนึ่ง [18]

(3) แบบแสงเลเซอร์ ทำงานโดยให้อากาศไหลผ่านท่อโดยมีการกำหนด ปริมาณอากาศที่เข้ามาผ่านพัดลมดูดจากปลายอีกด้าน จากนั้นทำการยิงแสงเลเซอร์ในแนวตั้งฉาก เพื่อให้ Photometer ตรวจจับการกระเจิงแสง ข้อดีคือมีขนาดอุปกรณ์ที่เล็ก และมีประสิทธิภาพใน การทำงานเทียบเท่ากับแบบ Beta Attenuation Mass Monitoring [18]

## 2.9 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ (Temperature) หมายถึง การวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ หรือการเคลื่อนที่ ที่เกิดขึ้นจากอะตอมแต่ละตัว หรือแต่ละโมเลกุลของสสาร เมื่อใส่พลังงานความร้อนให้กับสสาร อะตอมจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ในทางกลับกันเมื่อลดพลังงานความร้อนกับสสาร อะตอมจะเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง [19]

### 2.9.1 หลักการวัดอุณหภูมิ

หลักการวัดอุณหภูมิถูกจัดแบ่งไปตามการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ ได้แก่ การวัดอุณหภูมิ จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า การวัดอุณหภูมิจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงและการแผ่ รังสี การวัดอุณหภูมิจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล และการวัดอุณหภูมิจากการเปลี่ยนแปลง สมบัติทางเคมี [20]

#### 2.9.1.1 หลักการวัดอุณหภูมิจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า

อาศัยค่าสมบัติทางไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เช่น เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่มีการทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า และเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) ที่ทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน

#### 2.9.1.2 หลักการวัดอุณหภูมิจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงและการแผ่รังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เครื่องมือวัดพิเศษที่อาศัยการวัดจากการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ การค้า  
ไม่ว่ากรณีใด เพื่อป้องกันข้อพิพาทที่มีเหตุแห่งการฟ้องร้องและฟ้องของเจ้าของลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้เพื่อใช้  
ออกมามีในย่านที่สามารถมองเห็นได้ ส่วนวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าตั้งแต่ 800 องศาเซลเซียส ลงไปถึง

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

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

อุณหภูมิห้อง จะมีการแผ่รังสีออกมาในช่วงอินฟราเรด ซึ่งเครื่องมือวัดสำหรับหลักการนี้คือ ไพโรมิเตอร์ (Pyrometer)

#### 2.9.1.3 หลักการวัดอุณหภูมิจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล

หลักการวัดอุณหภูมิประเภทนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเทอร์โมมิเตอร์ เช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบของเหลวบรรจุจนหลอดแก้ว ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของการขยายตัวของของเหลวในหลอดแก้ว เทอร์โมมิเตอร์แบบเปลี่ยนการขยายตัวเป็นความดัน และแบบแถบโลหะคู่ โดยเทอร์โมมิเตอร์ประเภทนี้มีช่วงในการวัดอุณหภูมิที่ค่อนข้างแคบขึ้นกับวัสดุที่ใช้ และชนิดของเทอร์โมมิเตอร์

#### 2.9.1.4 หลักการวัดอุณหภูมิจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี

มีหลักการทำงานโดยอาศัยอุณหภูมิเฉพาะสารเคมีที่ละลายหรือมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ เครื่องที่ใช้วัดอุณหภูมิประเภทนี้ได้แก่ เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบดินสอด เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบแล็กเกอร์ เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบเม็ดยา และเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบแผ่นฉลากป็นต้น

## 2.10 ความชื้น

ความชื้น (Humidity) หมายถึงปริมาณไอน้ำในอากาศ ซึ่งเป็นสารผสมระหว่างไอน้ำกับองค์ประกอบอื่นของอากาศ โดยความชื้นแบบนี้ถูกเรียกว่า ความชื้นสัมบูรณ์ ที่จะแสดงค่าเป็นร้อยละ ซึ่งได้มาจากการวัดความชื้นสัมบูรณ์ปัจจุบันเทียบกับค่าสูงสุด ใช้ในการพยากรณ์อากาศ และในเครื่องวัดความชื้นอากาศคร้วเรือน

ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) หมายถึงอัตราส่วนของปริมาณไอน้ำในสารผสมกับปริมาณอากาศทั้งหมดโดยอ้างอิงจากมวล ปริมาณไอน้ำในสารผสมสามารถวัดได้โดยมวลต่อปริมาตร หรือความดันย่อย (Partial Pressure)

นอกจากนี้ความชื้นยังหมายถึง การมีอยู่ของของเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำ เช่น สัดส่วนของปริมาณน้ำที่อาจพบได้ในอากาศ อาหาร และผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

### 2.10.1 เทคนิคการวัดความชื้น

เทคนิคการวัดความชื้นมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี แบ่งตามประเภทของเซนเซอร์วัดความชื้น คือ Capacitive Humidity Sensor Resistive Humidity Sensor และ Thermal Conductivity Humidity Sensor [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 2.10.1.1 Capacitive Humidity Sensor

โครงสร้างภายในประกอบด้วยชั้นฐานแผ่นฟิล์มบางที่ทำมาจากโพลีเมอร์ หรือ เมทัลออกไซด์ ที่ถูกเคลือบด้วยอิเล็กโทรดโลหะแบบมีรูพรุนที่ช่วยป้องกันฝุ่นละออง และปัญหาจาก แสงแดด โดยค่าความชื้นที่ได้นี้จะเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ของไดอิเล็กทริก ซึ่งก็คือฉนวน ทำให้เกิดการผันผวนของค่าความต้านทานที่สารตัวนำ โดยเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไป 1 เปอร์เซ็นต์ ค่าความจุไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนไป 0.2 ถึง 0.5 pF ซึ่งเซ็นเซอร์แบบนี้มักนิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม [21]

### 2.10.1.2 Resistive Humidity Sensor

หลักการการทำงานของเซ็นเซอร์ประเภทนี้ คือการวัดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ของวัสดุดูดความชื้น ซึ่งจะดูดซับไอน้ำ และเกิดการแตกตัวของไอออนทำให้ค่าความนำไฟฟ้าของตัวกลางเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าความต้านทานเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในวงจร ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะถูกแปลงไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อส่งต่อไปยังวงจรอื่นๆต่อไป [21]

### 2.10.1.3 Thermal Conductivity Humidity Sensor

อาศัยหลักการคำนวณความแตกต่างระหว่างค่าการนำความร้อนของอากาศแห้งกับอากาศที่มีไอน้ำ โครงสร้างภายในเซ็นเซอร์ประกอบด้วยวงจรบริดจ์ที่ภายในจะมีเทอร์มิสเตอร์ 2 ตัว ตัวหนึ่งบรรจุอยู่ในแคปซูลที่มีก๊าซไนโตรเจน อีกตัวนำไปวางอยู่ในบรรยากาศ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเทอร์มิสเตอร์ทั้ง 2 ทำให้เทอร์มิสเตอร์ทั้ง 2 มีความร้อนสูงขึ้น ซึ่งความร้อนที่กระจายออกจากเทอร์มิสเตอร์ในแคปซูลจะมากกว่าเทอร์มิสเตอร์ที่อยู่ในบรรยากาศ ความแตกต่างของอุณหภูมินี้จึงถูกนำไปคำนวณความแตกต่างของการนำความร้อนของอากาศแห้งจากไนโตรเจนกับอากาศที่มีไอน้ำ [21]

## 2.11 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย Volatile Organic Compounds (VOCs) หมายถึงกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย สามารถกระจายตัวไปในอากาศได้ในอุณหภูมิและความดันปกติ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักของสารที่ประกอบด้วย อะตอมของธาตุคาร์บอนกับไฮโดรเจน และมีองค์ประกอบอื่น ได้แก่ ออกซิเจน ฟลูออไรด์ คลอไรด์ โบรไมด์ ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ VOCs ในอากาศจัดเป็นอากาศที่เป็นพิษ (Toxic Air) ซึ่งในชีวิตประจำวันสามารถรับสารชนิดนี้จากผลิตภัณฑ์ เช่น สีทาบ้านควินบูทรี น้ำยาฟอกสี สารตัวทำละลายในการพิมพ์ อู่พ่นสี

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

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

รถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาซักแห้ง น้ำยาสำหรับย้อมผมและตัดผม สารกำจัดศัตรูพืช สารที่เกิดจากการเผาไหม้บนเครื่องบินในอากาศ น้ำดื่ม อาหาร และเครื่องดื่ม [22]

### 2.11.1 การเผาไหม้ หรือการสันดาป (Combustion)

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนที่ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ หรือสารที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน ซึ่งผลที่ได้ คือพลังงานความร้อน หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ออกมา เช่นการเผาไหม้ของถ่านหินที่ทั้งพลังงานความร้อนและคาร์บอนไดออกไซด์ การเผาไหม้แบ่งออกเป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ และการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ [23]

การเผาไหม้แบบสมบูรณ์ คือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างออกซิเจน และสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเท่านั้น หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์จะกระจายไปในอากาศ อย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ คือการจุดเทียนไข [23]

การเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ คือการที่ออกซิเจนมีปริมาณไม่มากพอที่จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเชื้อเพลิง หรือสารไฮโดรคาร์บอน เพื่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงมีผลิตภัณฑ์ที่หลงเหลือนอกจากคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ คือคาร์บอนมอนอกไซด์ ตัวอย่างการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ คือการเผาถ่านหิน [23]

## 2.12 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI)

AQI เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่สามารถเข้าใจง่าย เพื่อเผยแพร่ให้ประชาชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ดัชนีคุณภาพอากาศ 1 ค่า ใช้แทนค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) ก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>)

### 2.12.1 ตารางดัชนีคุณภาพอากาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ตารางดัชนีคุณภาพอากาศของสหรัฐอเมริกา ซึ่งถูกออกแบบขึ้นโดยองค์การทางด้านสิ่งแวดล้อม United States Environmental Protection Agency (EPA) การไม่ผ่านการคัดกรองของดัชนีคุณภาพอากาศนี้แสดงผลทั้งหมด 6 ระดับ ดังตารางที่ 2.3 [24]

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

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

ตารางที่ 2.3 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของสหรัฐอเมริกา

Daily AQI Color	Levels of Concern	Values of Index	Description of Air Quality
Green	Good	0 to 50	Air quality is satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
Yellow	Moderate	51 to 100	Air quality is acceptable. However, there may be a risk for some people, particularly those who are unusually sensitive to air pollution.
Orange	Unhealthy for Sensitive Groups	101 to 150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is less likely to be affected.
Red	Unhealthy	151 to 200	Some members of the general public may experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Purple	Very Unhealthy	201 to 300	Health alert: The risk of health effects is increased for everyone.
Maroon	Hazardous	301 and higher	Health warning of emergency conditions: everyone is more likely to be affected.

### 2.12.2 หลักการคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

AQI เป็นค่าสูงสุดที่คำนวณได้สำหรับมลพิษแต่ละชนิดดังนี้ โดยเริ่มจากระดับความเข้มข้นสูงสุด และตัดทอน ยกตัวอย่างเช่น โอโซน (ppm) ค่าที่ออกมาให้ตัดทอนเหลือทศนิยม 3 ตำแหน่ง เป็นต้น จากนั้นใช้ตารางที่ 2.4 [25] ในการหา Breakpoints 2 จุดที่ให้ค่าความเข้มข้นและใช้สมการที่ 2.5 [25] เพื่อคำนวณค่าดัชนี และประมาณค่าดัชนีที่ได้เป็นจำนวนเต็ม

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (2.5)$$

โดยที่

$I_p$  = ค่าดัชนีมลพิษ

$C_p$  = ความเข้มข้นของมลพิษที่ถูกตัดทอน

$BP_{Hi}$  = จุดแตกหักความเข้มข้นที่มากกว่าหรือเท่ากับ  $C_p$

$BP_{Lo}$  = จุดแตกหักความเข้มข้นที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ  $C_p$

$I_{Hi}$  = ค่า AQI ที่สอดคล้องกับ  $BP_{Hi}$

$I_{Lo}$  = ค่า AQI ที่สอดคล้องกับ  $BP_{Lo}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

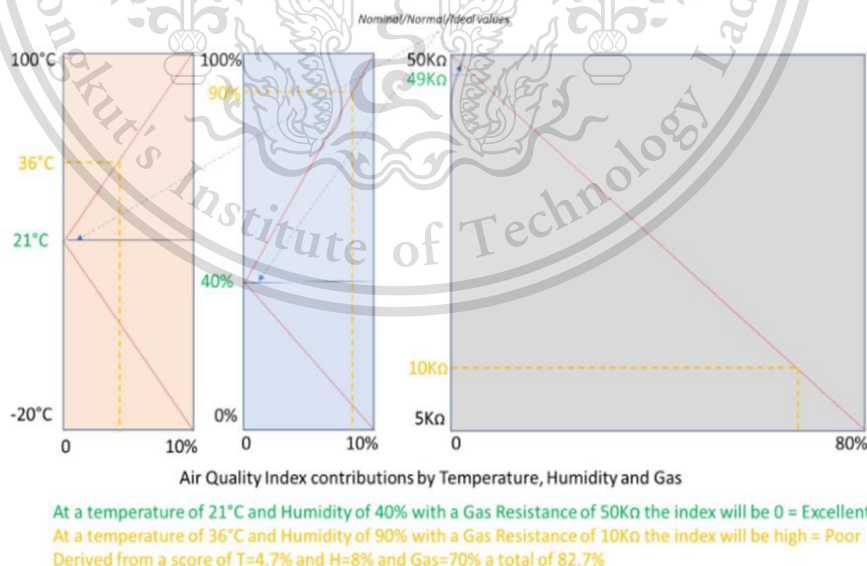
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

ตารางที่ 2.4 Breakpoint สำหรับ AQI

These Breakpoints...							...equal this AQI	...and this category
O <sub>3</sub> (ppm) 8-hour	O <sub>3</sub> (ppm) 1-hour <sup>1</sup>	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24-hour	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24-hour	CO (ppm) 8-hour	SO <sub>2</sub> (ppb) 1-hour	NO <sub>2</sub> (ppb) 1-hour	AQI	
0.000 - 0.054	-	0.0 - 12.0	0 - 54	0.0 - 4.4	0 - 35	0 - 53	0 - 50	Good
0.055 - 0.070	-	12.1 - 35.4	55 - 154	4.5 - 9.4	36 - 75	54 - 100	51 - 100	Moderate
0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 - 55.4	155 - 254	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360	101 - 150	Unhealthy for Sensitive Groups
0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	(55.5 - 150.4) <sup>2</sup>	255 - 354	12.5 - 15.4	(186 - 304) <sup>3</sup>	361 - 649	151 - 200	Unhealthy
0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	(150.5 - 250.4) <sup>3</sup>	355 - 424	15.5 - 30.4	(305 - 604) <sup>4</sup>	650 - 1249	201 - 300	Very unhealthy
( <sup>2</sup> )	0.405 - 0.504	(250.5 - 350.4) <sup>3</sup>	425 - 504	30.5 - 40.4	(605 - 804) <sup>4</sup>	1250 - 1649	301 - 400	Hazardous
( <sup>2</sup> )	0.505 - 0.604	(350.5 - 500.4) <sup>3</sup>	505 - 604	40.5 - 50.4	(805 - 1004) <sup>4</sup>	1650 - 2049	401 - 500	Hazardous

สำหรับหลักการคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่เป็นมาตรฐานยังไม่ถูกกำหนดขึ้น จึงทำให้หลักการการคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศมีหลากหลาย สำหรับปริญญาโทฉบับนี้ได้เลือกใช้หลักการที่แตกต่างกันออกไปจากหลักการที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยใช้หลักการ Empirical กำหนดให้ค่าดัชนีเป็นฟังก์ชันของความชื้นซึ่งก่อกำให้อุณหภูมิสูงถึง 25% และความเข้มข้นของก๊าซที่ก่อกำให้เกิดสูงถึง 75% ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 2.12 [26] สำหรับรายละเอียดของการกำหนดดัชนี AQI



รูปที่ 2.12 การกำหนดดัชนีคุณภาพอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเนื้อหาบางส่วนที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ด้วย ซึ่งสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อไม่ให้เหมาะสมที่สุดเมื่อความชื้นเท่ากับ 40% สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิเท่ากับ 21 °C ค่าก๊าซที่ 50 กิโลโอห์ม

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

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

ความเข้มข้นของก๊าซสำหรับอากาศที่ระบายอากาศได้ปกติโดยไม่มีมลพิษ (ไม่มีก๊าซที่ไม่พึงประสงค์) สอดคล้องกับเอาต์พุตความต้านทานสูงสุดของเซนเซอร์ที่ 50,000 โอห์ม ขึ้นไป โดยปกติเซนเซอร์จะส่งออกค่าความต้านทานก๊าซตั้งแต่ต่ำ 50 โอห์มไปจนถึงสูง 50,000 โอห์ม ขึ้นไป จะถือว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นและเอาต์พุตปรับขนาดตามระหว่าง 0% ถึง 75% สำหรับช่วง 50 โอห์ม-50,000 โอห์ม เมื่อทำค่าความขึ้น และค่าก๊าซที่วัดได้เป็นเปอร์เซ็นต์ก็จะนำไปแปลงเป็นค่าดัชนีคุณภาพอากาศซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้ โดยในส่วนของก๊าซจะต้องหาค่าอ้างอิงก่อน โดยหาได้จากสมการที่ 2.6 [26]

$$gas_{reference} = \frac{bmegas}{readings} \quad (2.6)$$

โดยที่  $gas_{reference}$  คือค่าก๊าซอ้างอิง (โอห์ม/จำนวนครั้งในการอ่านค่าเซนเซอร์) โดยตั้งค่าเริ่มต้นที่ 2500

$bmegas$  คือค่าก๊าซที่อ่านได้จากเซนเซอร์ (โอห์ม)

$readings$  คือจำนวนครั้งในการอ่านค่าก๊าซของเซนเซอร์

เมื่อได้ค่าก๊าซอ้างอิงจะนำมาคำนวณหาค่าคะแนนของก๊าซ โดยหาจากสมการที่ 2.7 [26]

$$gas_{score} = \left[ \left( \left( \frac{0.75}{gas_{UL} - gas_{LL}} \right) \times gas_{reference} \right) - \left( gas_{LL} \times \left( \frac{0.75}{gas_{UL} - gas_{LL}} \right) \right) \right] \times 100 \quad (2.7)$$

โดย  $gas_{score}$  คือคะแนนของก๊าซ

$gas_{UL}$  คือ Upper limit ของค่าก๊าซ ตั้งไว้ที่ 10,000 โอห์ม

$gas_{LL}$  คือ Lower limit ของค่าก๊าซ ตั้งไว้ที่ 300,000 โอห์ม

$gas_{reference}$  คือค่าก๊าซอ้างอิง (โอห์ม/จำนวนครั้งในการอ่านค่าเซนเซอร์)

ในส่วนของความขึ้นสามารถหาค่าคะแนนของความขึ้นได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือกรณีที่ค่าของความขึ้นน้อยกว่า 38% และกรณีค่าความขึ้นมากกว่า 38% โดยกำหนดช่วงความขึ้นที่ทำให้เกิดการมีส่วนรวม 25% ที่ 38% ถึง 42%

กรณีที่ค่าของความขึ้นน้อยกว่า 38% สามารถนำมาคำนวณตามสมการที่ 2.8 [26]

ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$hum_{score} = \left( \frac{0.25}{hum_{reference}} \times hum_{current} \right) \times 100 \quad (2.8)$$

โดยที่

$hum_{score}$  คือคะแนนของความชื้น

$hum_{reference}$  คือค่าความชื้นอ้างอิง (%) โดยเริ่มต้นกำหนดไว้ที่ 40%

$hum_{current}$  คือค่าความชื้นที่อ่านค่าได้

กรณีที่ค่าของความชื้นมากกว่า 38% สามารถนำมาคำนวณตามสมการที่ 2.9 [26]

ได้ดังนี้

$$hum_{score} = \left( \left( \frac{0.25}{(100 - hum_{reference})} \times hum_{current} \right) + 0.416666 \right) \times 100 \quad (2.9)$$

หากช่วงความชื้นที่ 38% ถึง 42% สามารถคำนวณหาค่าคะแนนความชื้นได้จากสมการที่ 2.10 [26]

$$hum_{score} = 0.25 \times 100 \quad (2.10)$$

เมื่อได้ทั้งคะแนนก๊าซ และคะแนนความชื้นจะสามารถหาคะแนนของ AQI โดยการนำ  $gas_{score} + hum_{score}$  จากนั้นนำคะแนน AQI มาหาค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) โดยนำ 100 ลบกับคะแนน AQI และคูณด้วย 5 ซึ่งสุดท้ายจะนำค่าดัชนีไปเทียบกับรูปที่ 2.12

### 2.13 GPS Module GY-GPS6MV2

ปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ใช้เซนเซอร์ GPS Module GY-GPS6MV2 เป็นเซนเซอร์ที่จัดเป็นประเภทเครื่องรับ GPS ที่ประกอบด้วยเอ็นจินระบุตำแหน่ง U-Blox 6 มีขนาดเล็ก รองรับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 3 V จนถึง 5V มี EEPROM สำหรับบันทึกข้อมูลการกำหนดค่าเมื่อปิดเครื่อง แบตเตอรี่สำรอง และไฟ LED แสดงสถานะ เสออากาศแบบเซรามิก [28] ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณความถี่สูงพิเศษ และเซนเซอร์เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 2.13 [29] การทำงานของเซนเซอร์ โดยจะทำการรับสัญญาณจากดาวเทียม ผ่านสายอากาศเพื่อเข้ารหัส จากนั้นถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลส่งไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 GPS Module GY-GPS6MV2

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

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

## 2.14 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เซนเซอร์วัดความเข้มแสงเป็น LDR Photoresistor Sensor Module ดังรูปที่ 2.14 [30] เป็นเซนเซอร์ที่ไวต่อความเข้มแสงในสิ่งแวดล้อมมาก โดยทั่วไปจะใช้สำหรับตรวจจับความสว่าง และความเข้มแสงของสภาพแวดล้อมโดยรอบ หากไม่มีความเข้มของแสงผลที่ได้จะไม่ถึงเกณฑ์ และได้เอาต์พุตในระดับต่ำ แต่เมื่อความเข้มแสงเกินเกณฑ์ที่ตั้งไว้จะส่งผลให้ได้เอาต์พุตระดับสูง เอาต์พุตจะเชื่อมต่อโดยตรงกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจจับระดับแสง และตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในสิ่งแวดล้อม สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ 3.3V ถึง 5V เอาต์พุตที่ออกสามารถออกได้ทั้งอะนาล็อก และดิจิทัล ใช้ชิป LM393 เซนเซอร์ไวแสง เอาต์พุตมีการเชื่อมต่อกับพอร์ต I/O ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง ค่าความไวของการตรวจจับความเข้มแสงสามารถปรับได้ผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้



รูปที่ 2.14 LDR Photoresistor Sensor Module

## 2.15 เซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือน

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือน เป็น 801S Vibration Sensor Module ดังรูปที่ 2.15 [31] ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่มีความไวสูง มีขาสัญญาณเอาต์พุต 2 ขา พินดิจิทัล (DO) เมื่อตรวจจับการสั่นสะเทือนได้ถึงเกณฑ์ที่กำหนดก็สามารถส่งออกระดับสูงหรือต่ำได้ อีกทั้งพินอะนาล็อก (AO) สามารถส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกแบบเรียลไทม์ เมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์การสั่นสะเทือนอื่นๆ 801S มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ การตรวจจับ แรงกระแทกระดับไมโคร ไม่จำกัดทิศทาง รับแรงกระแทกได้ 60,000,000 ครั้ง สามารถปรับความไวได้ผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ เซนเซอร์นี้มีการใช้ชิป LM393 กับ 801S สามารถรับแรงดัน 5V เอาต์พุตเชื่อมต่อกับพอร์ต I/O ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง เพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจจับการกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์นี้เป็นของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

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

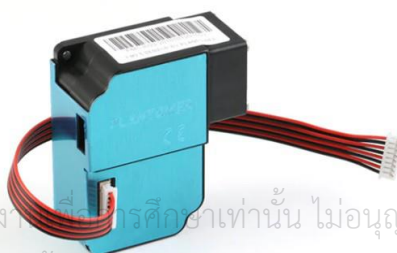
หรือการสั้นสะพานซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ตามกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ค่าที่รับได้จะถูกแปลงจากอะนาล็อกเป็นดิจิทัล หากมีการอ่านเป็นเอาต์พุตแบบอะนาล็อก แต่ถ้าเป็นดิจิทัลก็จะส่งออกเป็นค่าสูงหรือต่ำ (ค่า 1 หรือค่า 0)



รูปที่ 2.15 801S Vibration Sensor Module

## 2.16 เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM2.5)

ปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ใช้เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM2.5) เป็น PMS3003 ดังรูปที่ 2.16 [32] เป็นเซนเซอร์ตรวจจับความเข้มข้นของอนุภาคแบบดิจิทัล ซึ่งสามารถใช้เพื่อรับจำนวนอนุภาคแขวนลอยในอากาศ ความเข้มข้นของอนุภาคที่ออกมา หรือเอาต์พุตที่อยู่ในรูปแบบอินเทอร์เฟซดิจิทัล สามารถใส่ลงในเครื่องมือที่มีความแปรผันกับความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ หรืออุปกรณ์รักษาสิ่งแวดล้อมอื่น สามารถรับแรงดันไฟฟ้าที่ 5V ระยะในการวัดตั้งแต่ 0.3 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพในการตรวจจับ 0.5 ไมโครเมตร เวลาในการตอบสนองน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 วินาที มีช่วงอุณหภูมิการทำงาน -20 องศาเซลเซียส จนถึง 50 องศาเซลเซียส ช่วงความชื้นในการทำงาน 0% ถึง 99% การทำงานของเซนเซอร์เมื่ออากาศเข้ามา จะทำการปล่อยแสงเลเซอร์ แสงเลเซอร์จะไปชนกับอนุภาคที่มากับอากาศ และทำการวัดออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นเข้าวงจรขยาย และประมวลผลผ่านไมโครโปรเซสเซอร์จะได้สัญญาณออกมาเป็นดิจิทัล ซึ่งภายในสัญญาณดิจิทัลจะประกอบด้วยข้อมูลของฝุ่นละอองตั้งแต่ขนาด 1.0 ไมครอน 2.5 ไมครอน และ 10.0 ไมครอน ตามลำดับ แผนผังการทำงานของแต่ละส่วนของเซนเซอร์แสดงได้รูปที่ 2.17 [32]



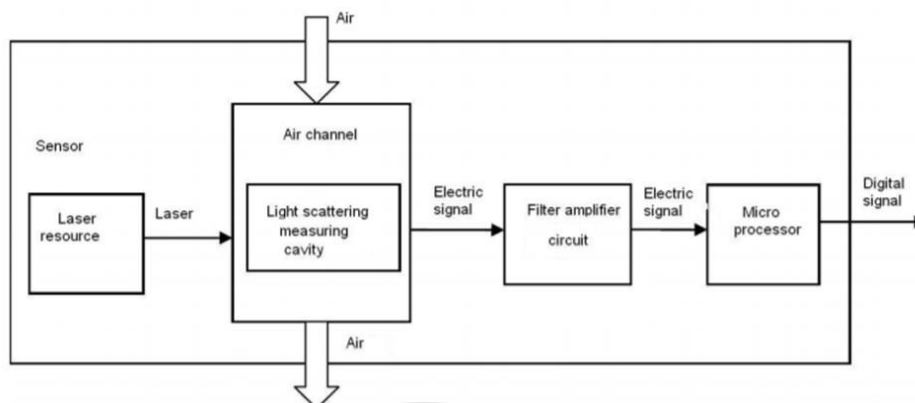
รูปที่ 2.16 เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเซนเซอร์ PM2.5

## 2.17 เซนเซอร์ตรวจจับควัน

เซนเซอร์ตรวจจับควันที่นำมาใช้สำหรับปริญญาโทฉบับนี้ คือ MQ-2 Gas Sensor ดังรูปที่ 2.18 ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับการตรวจจับควัน ความเข้มข้นของก๊าซ และปริมาณก๊าซไวไฟ ยกตัวอย่างเช่น LPG i-butane propane methane alcohol hydrogen และควันในอากาศ โดย MQ-2 เป็นเซนเซอร์ประเภท Metal Oxide Semiconductor (MOS) หรือเรียกทั่วไปว่า Chemiresistors ที่มีพื้นฐานมาจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของวัสดุที่ใช้ตรวจจับก๊าซ เมื่อก๊าซนั้นสัมผัสกับวัสดุดังกล่าว นอกจากนี้ MQ-2 ถูกนำไปใช้ในการตรวจจับก๊าซรั่วไหลในระบบครัวเรือน การตรวจจับก๊าซเผาไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรม [33]

MQ-2 สามารถรับแรงดันได้ถึง 5V ใช้กำลังไฟไม่เกิน 800 mW สามารถตรวจจับความเข้มข้นของก๊าซได้ในช่วง 200-10,000 ppm มีความไวต่อการตรวจจับก๊าซเผาไหม้ในระยะที่กว้าง มีความไวสูงต่อ LPG propane และ hydrogen และมีวงจรขับเคลื่อนที่เรียบง่าย เอาต์พุตที่ออกสามารถออกได้ทั้งอะนาล็อก และดิจิทัล เอาต์พุตมีการเชื่อมต่อกับพอร์ต I/O ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง [33]

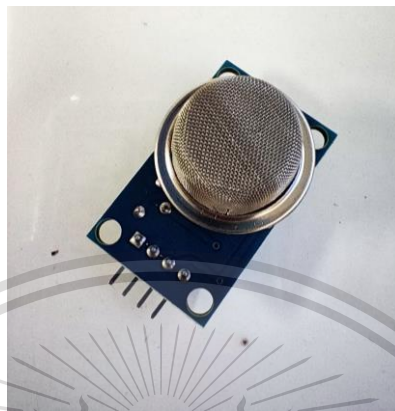
หลักการทำงานของเซนเซอร์ MQ-2 เริ่มต้นจาก tin dioxide ซึ่งเป็นชั้นพื้นผิวที่เป็นอนุภาคกึ่งตัวนำไฟฟ้าที่มีความไวต่อก๊าซเผาไหม้ถูกทำให้ร้อนในอากาศที่มีอุณหภูมิสูงส่งผลให้อากาศถูกดูดซับบนพื้นผิว จากนั้นในอากาศบริสุทธิ์ อิเล็กตรอนฝังตัวใน tin dioxide จะถูกดึงดูดเข้าหาออกซิเจนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของวัสดุตรวจจับก๊าซ ซึ่งเป็นการป้องกันการไหลของกระแสไฟฟ้า และในส่วนของก๊าซรีดิวซ์ ความหนาแน่นของพื้นผิวของออกซิเจนที่ถูกดูดซับจะลดลงเมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซรีดิวซ์ จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกปล่อยไปให้ tin dioxide ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเซนเซอร์ ซึ่งค่าที่เซนเซอร์ได้รับจะเป็นเอาต์พุตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของวัสดุที่ใช้ตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

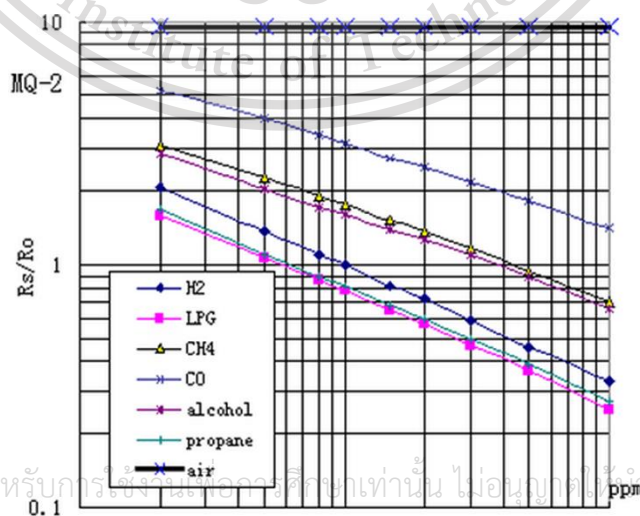
ก๊าซ เออดีฟุตจะเชื่อมต่อโดยตรงกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจจับควันและความเข้มข้นของก๊าซ [33]



รูปที่ 2.18 MQ-2 Gas Sensor

2.17.1 หลักการคำนวณค่าก๊าซ LPG CO และควันจากค่า Analog voltage เป็นหน่วย PPM

หลักการคำนวณค่าก๊าซ LPG CO และควันจากค่า Analog voltage เป็นหน่วย PPM มีการอ้างอิงค่าในการคำนวณจากกราฟคุณสมบัติความไวในการตรวจจับของเซนเซอร์ใน Datasheet ของ MQ-2 ดังแสดงในรูปที่ 2.19 [33] ซึ่งมีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $R_s/R_0$  โดย  $R_s$  คือความต้านทานของก๊าซที่แตกต่างกัน และ  $R_0$  คือความต้านทานของเซนเซอร์ในก๊าซไฮโดรเจน 1000 ppm และค่าที่วัดได้ของแต่ละก๊าซในหน่วย PPM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 กราฟคุณสมบัติความไวในการตรวจจับของเซนเซอร์ MQ-2

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

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

ก๊าซ LPG ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควัน และกำหนดจุดสำหรับใช้ในการคำนวณค่าของแต่ละกราฟเส้นตรงของก๊าซ LPG ก๊าซ CO และควัน ดังตารางที่ 2.5 [33]

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงค่าจุดบนแกน  $R_s / R_o$  แกนค่าที่วัดได้ในหน่วย PPM และความชื้นของก๊าซ LPG ก๊าซ CO และควัน

ก๊าซ	$R_s / R_o$	ค่าที่วัดได้ในหน่วย PPM	ความชื้น
LPG	2.3	0.21	-0.47
CO	2.3	0.72	-0.34
ควัน	2.3	0.53	-0.44

#### 2.17.2 มาตรฐานสำหรับการแจ้งเตือนค่าของก๊าซที่ได้จากเซนเซอร์ควัน

สำหรับปริมาณนี้ ในส่วนของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควัน จะมีการอ้างอิงค่าสำหรับการแจ้งเตือนตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ที่แสดงดังตารางที่ 2.6 [34]

ตารางที่ 2.6 แสดงมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป

สารพิษ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
1. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	1 ชม.	ไม่เกิน 30 ppm. (34.2 มก./ลบ.ม.)
	8 ชม.	ไม่เกิน 9 ppm. (10.26 มก./ลบ.ม.)
2. ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO <sub>2</sub> )	1 ชม.	ไม่เกิน 0.17 ppm. (0.32 มก./ลบ.ม.)
	1 ปี	ไม่เกิน 0.03 ppm.(0.057 มก./ลบ.ม.)
3. ก๊าซโอโซน (O <sub>3</sub> )	1 ชม.	ไม่เกิน 0.10 ppm.(0.20 มก./ลบ.ม.)
	8 ชม.	ไม่เกิน 0.07 ppm.(0.14 มก./ลบ.ม.)
4. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO <sub>2</sub> )	1 ปี	ไม่เกิน 0.04 ppm.(0.10 มก./ลบ.ม.)
	24 ชม.	ไม่เกิน 0.12 ppm.(0.30 มก./ลบ.ม.)
	1 เดือน	ไม่เกิน 0.3 ppm.(780 มก./ลบ.ม.)
5. ตะกั่ว (Pb)	1 เดือน	ไม่เกิน 1.5 มก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่เพื่อประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 2.6 แสดงมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

สารพิษ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
6. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 0.33 มก./ลบ.ม.
	1 ปี	ไม่เกิน 0.10 มก./ลบ.ม.
7. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 0.12 มก./ลบ.ม.
	1 ปี	ไม่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม.
8. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม.
	1 ปี	ไม่เกิน 0.025 มก./ลบ.ม.

ส่วนของก๊าซ LPG ในก๊าซ LPG นี้จะประกอบด้วยสารประกอบ โพรเพน และบิวเทน ที่มีอัตราส่วนแตกต่างกันไปตามการนำไปใช้ ซึ่งในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้มีการอ้างอิงค่าสำหรับการแจ้งเตือนตามประกาศขององค์กรนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาครัฐแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ACGIH) ที่แสดงดังตารางที่ 2.7 [35]

ตารางที่ 2.7 สารประกอบที่อยู่ในก๊าซ LPG

ชื่อสารเคมี (Substances)	ความเข้มข้น (Concentrate)	ค่ามาตรฐานความปลอดภัย	
		TLV LD <sub>50</sub>	
โพรเพน	55.0 – 64.2 %	1000 ppm (Time-Weighted Average) (ACGIH)	NAV
บิวเทน	32.5 – 45.0 %	800 ppm (Time-Weighted Average) (ACGIH)	NAV

## 2.18 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซ

ปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้ใช้เซนเซอร์ BME680 [36] ซึ่งเป็นเซนเซอร์ดิจิทัล ที่มีการวัดก๊าซ ความชื้น ความดัน และอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.20 มีขนาดเล็ก และการใช้พลังงานที่ต่ำ สามารถเชื่อมต่อ อินเทอร์เฟซดิจิทัลแบบ I<sup>2</sup>C และ SPI สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ที่ 2.6 V ถึง 5.5V มีช่วงในการทำงานสำหรับอุณหภูมิ คือ -40 องศาเซลเซียส ถึง 85 องศาเซลเซียส ความชื้น คือ 0% ถึง 100% r.H. ความดัน คือ 300 hPa ถึง 1100 hPa และสามารถวัดก๊าซ VOCs ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น กรุณาอย่าแก้ไขหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

หลักการทำงานของ BME68 ใช้โลหะออกไซด์ในการวัดความต้านทานของชั้นผิวโลหะออกไซด์ต่างๆ ซึ่งเปลี่ยนแปลงโดยการดูดซับสารประกอบของก๊าซระเหยจากบรรยากาศโดยรอบในรูปแบบความร้อน และแบบพาสซีฟขึ้นอยู่กับวัสดุโครงสร้าง และความไวที่ต้องการโดยที่ BME680 เป็นชนิดให้ความร้อน มีความไวต่อไอน้ำโดยการแตกโมเลกุลลง ดังนั้นการอ่านค่าความต้านทานจึงขึ้นอยู่กับความชื้น ซึ่งจะประมวลผลผ่านไมโครโปรเซสเซอร์ได้ค่า อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน และก๊าซ และส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลต่อไป ในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้จะนำค่าก๊าซที่อยู่ในรูปของความต้านทานมาแปลงเป็นค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) และใช้การเชื่อมต่ออินเตอร์เฟสเป็น I<sup>2</sup>C



รูปที่ 2.20 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซ BME680

## 2.19 Heltec WiFi LoRa 32 (V2)

Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ดังรูปที่ 2.21 [37] เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ไปยัง Gateway เพื่อบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล โดยมีมาตรฐานชิปเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 รองรับการสื่อสารไร้สาย เช่น Wi-Fi ประสิทธิภาพ 802.11 b/g/n หรือ 802.11n Bluetooth V4.2BR/EDR และ Bluetooth BLE และ LoRa ที่รองรับการสื่อสารทั้งแบบโหนดต่อโหนด และ LoRaWAN ในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้ได้เลือกใช้การสื่อสารไร้สายแบบ Wi-Fi และ LoRa ในส่วนชิปที่ใช้ในการสื่อสารไร้สาย โดยใช้ LoRa จะใช้ชิป SX1276 หรือ SX1278 ทั้ง 2 เป็นตัวรับส่งสัญญาณไร้สายระยะไกลพลังงานต่ำ เป็นตัวรับส่งสัญญาณไร้สาย Internet of Thing หรือ IoT ประสิทธิภาพสูงพร้อมการมอดูเลต LoRa พิเศษ ซึ่งจะเพิ่มช่วงการสื่อสารในระดับหนึ่ง โดยในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้ในเลือกใช้ชิป SX1278 เพราะชิป SX1278 รองรับความถี่ในช่วง 137 MHz ถึง 525 MHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่เพียงพอสำหรับปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้

พื้นที่ความถี่ที่ครอบคลุมสำหรับ LoRaWAN จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามชนิดของ

ฮาร์ดแวร์ คือ ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency) และย่านความถี่สูง (High Frequency) ในส่วนย่านการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ความถี่ต่ำ มีความถี่ที่รองรับคือ EU433 และ CN470 และสำหรับย่านความถี่สูง มีความถี่ที่รองรับคือ

IN865 EU868 US915 AU915 KR920 และ AS923 ในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้ใช้ความถี่ EU433 ซึ่ง

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

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

เป็นย่านความถี่แบบสามารถใช้งานได้ โดยที่ไม่ต้องขออนุญาต และเป็นย่านความถี่ที่เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้บนชิป SX1278

กำลังส่งสูงสุดที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบ LoRa ของอุปกรณ์คือ  $19\text{dB} \pm 1\text{dB}$  จะรองรับทรัพยากรฮาร์ดแวร์ เช่น UART SPI I2C I2S ADC input DAC เอาต์พุต GPIO และ GPI มี FLASH 8MB (64M-bits) ที่เป็น SPI FLASH ในส่วน RAM ของอุปกรณ์นี้เป็น 520 KB Internal SRAM และอินเตอร์เฟซ ของอุปกรณ์นี้ประกอบด้วย ไมโคร USB LoRa และอินเตอร์เฟซของเสาอากาศ (IPEX) ในส่วนของ Power Supply ของอุปกรณ์นี้ได้มาจากลิเทียม USB ประกอบด้วย พิน 3.3V และพิน 5V อีกทั้งในส่วนของเอาต์พุตของอุปกรณ์ประกอบด้วย พิน 3.3V พิน 5V และ External Device Power Control ( $V_{\text{ext}} 3.3\text{V}$ ) โดยหลักการทำงานเมื่อมีการส่งข้อมูลโดยใช้ LoRa ข้อมูลที่ต้องการส่งจะถูกส่งไปที่ชิป SX1278 เพื่อทำการประมวลผลแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแพ็คเก็ตข้อมูลของ LoRa และทำการส่งแพ็คเก็ตออกไป ในส่วนของการรับข้อมูล แพ็คเก็ตที่รับได้จะถูกประมวลผลโดยชิป SX1278 และส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เพื่อประมวลผลต่อไป



รูปที่ 2.21 Heltec WiFi LoRa 32 (V2)

## 2.20 โลบรารีสำหรับ Topology แบบ Mesh

โลบรารีสำหรับ Topology แบบ Mesh ที่ใช้โดยทั่วไปจะรองรับโครงข่ายแบบ Mesh โดยใช้ Wi-Fi มีชุดคำสั่งที่เป็นขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยชุดคำสั่งสำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายได้ คำสั่งรับส่งข้อมูล เป็นต้น ซึ่งโลบรารีที่เกี่ยวข้องก็คือ PainlessMesh โดยโลบรารีนี้มีข้อดีตรงที่มีการเชื่อมต่อโครงข่ายที่เป็นระบบ มีรูปแบบการใช้ที่ยืดหยุ่น แต่โลบรารีนี้ข้อเสียตรงคือทำความเข้าใจยากกับชุดคำสั่ง และการรับส่งข้อมูลโดยใช้โลบรารีนี้ร่วมกับ LoRa พบเห็นได้ไม่บ่อย และเป็นไปได้ยาก โลบรารีที่น่าสนใจอีกตัวคือ RF24Mesh เป็นโลบรารีที่จะสร้างโครงข่าย Mesh อย่างง่าย มีการปรับหรือแก้ไขโครงข่ายได้อัตโนมัติ ซึ่งสามารถปรับให้เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ได้ แต่ก็มีข้อเสียคือไม่

รองรับอุปกรณ์ที่ใช้ชิป SX1276/77/78/79 แต่รองรับอุปกรณ์ nRF24L01(+) สำหรับปริญญาโท

ฉบับนี้เลือกใช้โลบรารี RadioHead เป็นโลบรารีสำหรับ Topology แบบ Mesh เพราะมีความ

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

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

ยืดหยุ่นในการใช้คำสั่ง และทำความเข้าใจง่ายกว่า 2 โลบรารีที่ผ่านมา อีกทั้งยังรองรับอุปกรณ์ชิป SX1276/77/78/79 โดยในโลบรารี RadioHead ได้เสนอการค้นหาเส้นทาง โดยเริ่มจากการสร้างโครงข่าย Mesh ขึ้นภายในประกอบด้วยโหนดหลายๆ โหนด เมื่อเริ่มการส่งข้อมูลจะตรวจสอบเส้นทางไปยังปลายทางผ่าน Routing Table หากยังไม่มีเส้นทางจะทำการสำรวจเส้นทาง เมื่อกำหนดเส้นทางได้แล้วจะทำการส่งไปแบบ Hop-to-Hop โดยสามารถรู้โหนดต่อไปที่จะส่งเพื่อไปถึงโหนดปลายทางได้ผ่าน Routing Table ซึ่งโหนดแต่ละตัวสามารถใช้รับส่งภายในโครงข่ายได้

ข้อดีของการค้นหาเส้นทางของโลบรารีนี้ คือสามารถส่งข้อความผ่านโครงข่ายโหนด หากได้รับข้อความสำหรับการกำหนดเส้นทางไปยังโหนดอื่นที่เกิน Routers Max\_Hops ข้อความจะถูกทิ้ง และถูกละเว้นสิ่งนี้ช่วยป้องกันการวนเส้นทางที่ไม่สิ้นสุด ข้อเสียคือรองรับโหนดจำนวนมาก ที่อยู่ภายในโครงข่ายไม่ได้ การปรับค่าแบบ Manual

## 2.21 โลบรารีที่ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูล LoRa

โลบรารีที่ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูล LoRa ปัจจุบันมีให้เลือกใช้หลากหลายทั้งโลบรารีที่ใช้กับ LoRa โดยเฉพาะ หรือที่มาพร้อมกับบอร์ดของทางผู้ผลิตบอร์ด Heltec Wi-Fi LoRa ESP32 ซึ่งคำสั่ง และวิธีใช้คำสั่งสามารถเข้าใจง่าย และทดลองทำได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือคำสั่งที่ใช้งานเป็นการปรับค่าแบบ Manual ยากต่อการใช้งานขึ้นมาอีกระดับ แต่สามารถนำมาใช้งานได้หลายอย่าง และรองรับอุปกรณ์ได้หลากหลาย ซึ่งโลบรารีนั้นก็คือ Radiohead เป็นโลบรารีที่รองรับการใช้งานของอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี LoRa คือ ชิป SX1276/77/78/79 และอุปกรณ์อื่น เช่น E32 ASK MRF89 และอื่นๆ โลบรารีนี้มีการทำงานของคำสั่งเป็นลำดับขั้นตอน เช่น คำสั่ง Router ที่ใช้สำหรับการค้นหาเส้นทาง มีคำสั่งรับส่งข้อมูล และคำสั่งปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ส่งสัญญาณหรือข้อมูล เช่น Modem ความถี่ กำลังส่ง Preamble Length รวมถึงการรับส่งข้อมูล และความยาวของข้อมูล เป็นต้น

## 2.22 Arduino IDE

Arduino Integrated Development Environment (Arduino IDE) เป็นโปรแกรมชนิด Open Source ที่ออกแบบมาให้ผู้ใช้เขียนซอฟต์แวร์ได้ง่าย ใช้ภาษา C และ C++ สำหรับการเขียน ช่วยลดความซับซ้อนของกระบวนการในการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รองรับบอร์ดที่เป็น Arduino และนอกเหนือจากบอร์ด รูปที่ 2.22 แสดงหน้าต่างใช้งานเมื่อเปิดโปรแกรม Arduino IDE

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

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

```

sketch_nov14a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

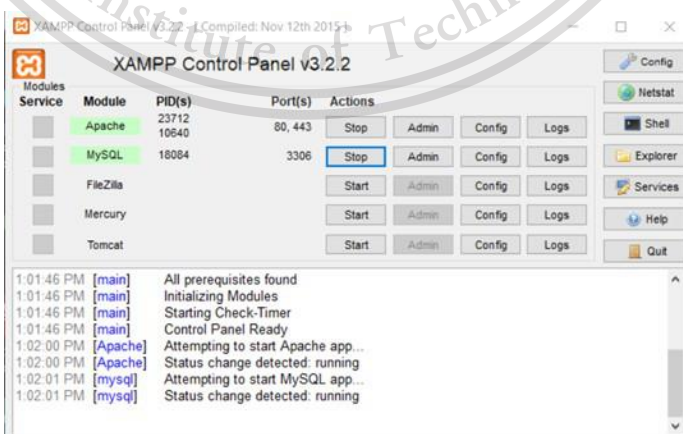
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

```

รูปที่ 2.22 หน้าต่างใช้งานเมื่อเปิดโปรแกรม Arduino IDE

## 2.23 XAMPP

XAMPP เป็นชื่อย่อของโปรแกรมที่มาจากการรวมของคำว่า Apache MySQL phpMyAdmin และ Perl ซึ่ง XAMPP จะประพடுத்தัวเป็น Web Server จำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อเปิดให้ผู้ใช้สามารถทดสอบเว็บไซต์ และสคริปต์ของตนเองได้โดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต และไม่เสียค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังเป็นโปรแกรมประเภท Cross-Platform ที่สามารถใช้ข้ามระบบปฏิบัติการได้ ระบบปฏิบัติการที่รองรับได้แก่ Windows Mac OS และ Linux ในปัจจุบัน XAMPP เป็นโปรแกรมที่นิยมในกลุ่มผู้ใช้ CMS ในการสร้างเว็บไซต์ รูปที่ 2.23 แสดงหน้าต่างควบคุม Web Server เมื่อเปิดใช้งานโปรแกรม XAMPP



รูปที่ 2.23 หน้าต่างควบคุม Web Server เมื่อเปิดใช้งานโปรแกรม XAMPP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะในวงจำกัดหรือกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

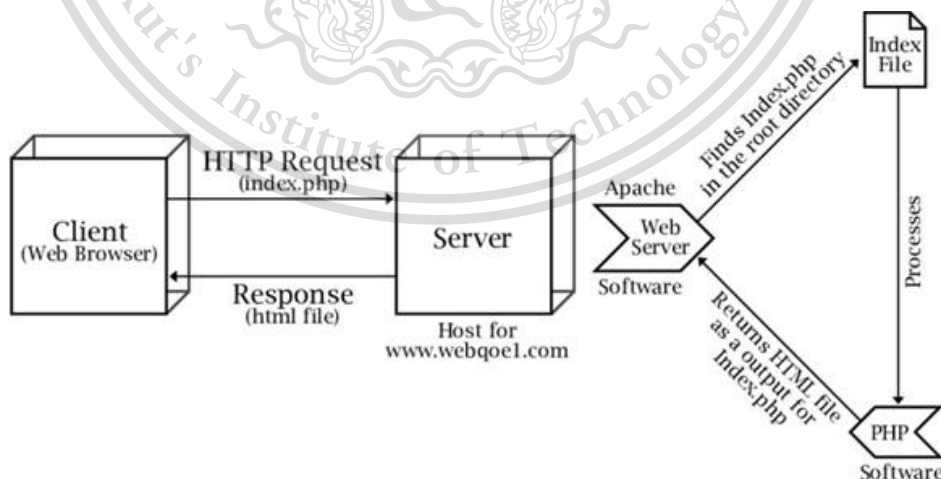
## 2.24 phpMyAdmin

phpMyAdmin เป็นโปรแกรมประเภท Open Source ถูกพัฒนามาจากภาษา PHP ที่เมื่อเปิดใช้งานผู้ใช้สามารถควบคุมและจัดการฐานข้อมูล MySQL ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ จุดประสงค์หลักของ phpMyAdmin คือควบคุมและจัดการฐานข้อมูล MySQL ซึ่งมีหน้าที่หลัก [38] ดังนี้

- 1) สามารถสร้าง แก้ไข และลบฐานข้อมูลได้
- 2) สามารถใช้คำสั่ง SQL ในการเขียนโปรแกรมได้
- 3) สามารถสร้าง แก้ไข และลบตารางได้ รวมทั้งเพิ่มหรือลบการบันทึกและฟิลด์
- 4) สามารถโหลด Text File และไฟล์นามสกุล CSV เข้าไปเก็บเป็นข้อมูลในตารางได้
- 5) สามารถทดสอบการประมวลผล หรือ Query ข้อมูลได้ผ่านการใช้ภาษา SQL

## 2.25 Apache

Apache คือซอฟต์แวร์เซิร์ฟเวอร์ที่เปิดให้บริการบน HyperText Transfer Protocol หรือ HTTP ซึ่งทำหน้าที่เป็น Web Server โดยสามารถใช้งานได้หลายระบบปฏิบัติการ เช่น Linux Windows และอื่นๆ Apache เป็นที่นิยมใช้เป็น Web Server อย่างแพร่หลาย อีกทั้งเป็นโปรแกรมประเภท Open Source ที่เปิดให้ผู้ใช้มีส่วนร่วมในการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้ และทำงานร่วมกับภาษาอื่นได้ Apache มีทำหน้าที่ให้บริการข้อมูลแก่ Client ที่ร้องขอข้อมูลผ่าน Web Browser รูปที่ 2.24 [39] แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของซอฟต์แวร์ Apache



รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของซอฟต์แวร์ Apache

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 2.26 MySQL

MySQL เป็นโปรแกรมประเภท Open Source ที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด มีหน้าที่จัดการระบบฐานข้อมูลให้เก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ มีการใช้คำสั่ง SQL เป็นคำสั่งสำหรับการเก็บข้อมูล โดยส่วนใหญ่ MySQL นิยมใช้กับภาษา PHP ซึ่งนอกจากนี้ยังมีภาษาอื่นที่ MySQL สามารถรองรับได้ เช่น ภาษา C, C++, Pascal, C#, Java, Perl, Python, Ruby และภาษาอื่น อีกทั้งเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้งานร่วมกับระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย

## 2.27 Raspberry Pi

ในปริณญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ Raspberry Pi4 Model B ซึ่งมีคุณสมบัติโปรเซสเซอร์แบบ Quad Core 64-bit ที่อัตรา 60 fps RAM ที่ 4 GB รองรับ Interfaces 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN และ Bluetooth 5.0 BLE ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 Raspberry Pi4 Model B

## 2.28 LINE Messaging API

Line Messaging API เป็นบริการของทาง Line ที่เปิดให้บริการการสื่อสารแบบ 2 ฝ่าย Messaging API จะส่งและรับข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์และแอปพลิเคชัน LINE ผ่านทางเซิร์ฟเวอร์ของทางไลน์ การส่งคำขอจะใช้ API แบบ JSON Messaging API ทำการเชื่อมต่อระหว่าง User ผ่านทาง LINE Official Account ซึ่ง Messaging API จะสามารถตอบรับเพื่อนรวมถึงส่งข้อความหา User คนอื่นๆ ที่ Add Account ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม หากจำเป็นต้องให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

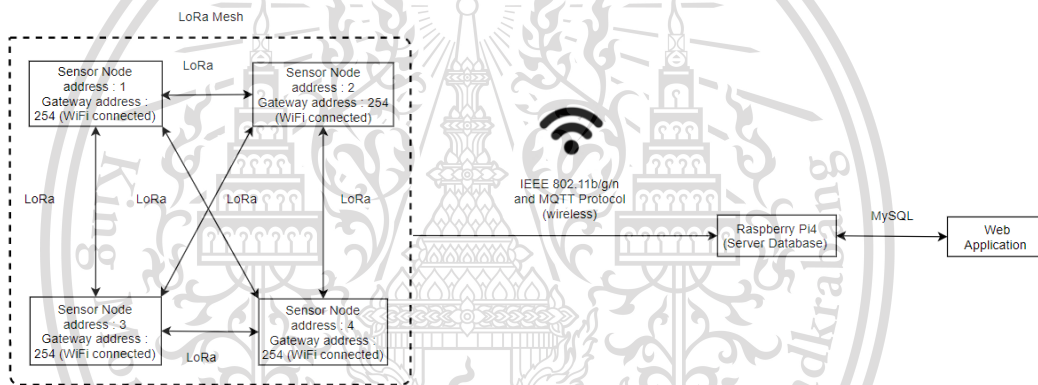
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยอัจฉริยะสำหรับอุตสาหกรรม โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารระยะทางไกล LoRaWAN ในรูปแบบโครงข่ายแบบ Mesh หรือ Mesh topology สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ และรับข้อมูลตำแหน่งด้วยระบบ GPS หรือ Global Positioning System ความเข้มแสง ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ความสิ้นสะอาด ก๊าซ LPG CO คาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ ความชื้น และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ หรือ AQI ซึ่งการทำงานของระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยอัจฉริยะสำหรับอุตสาหกรรมสามารถแสดงดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมภาพรวมการทำงานของระบบ

โดย Sensor Node จะทำการรับค่าข้อมูลตำแหน่ง ความเข้มแสง ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ความสิ้นสะอาด ก๊าซ LPG CO คาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ ความชื้น และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ จากนั้นทำการส่งข้อมูลไปยัง Sensor Node รอบข้างที่อยู่ในระยะการเชื่อมต่อด้วยการสื่อสารระยะไกล LoRaWAN ที่มีรูปแบบโครงข่ายแบบ Mesh Sensor Node ที่รับข้อมูลมาก็จะทำการส่งข้อมูลต่อไปยัง เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway ที่จะนำข้อมูลส่งไปเข้าเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่อยู่บนโครงข่ายเดียวกันผ่าน Router โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอย่าง Wi-Fi ซึ่งข้อมูลจะถูกนำไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล เมื่อมีการเรียกใช้ข้อมูล เซิร์ฟเวอร์จะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลไปแสดงผลบน Web Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 3.1 การออกแบบ

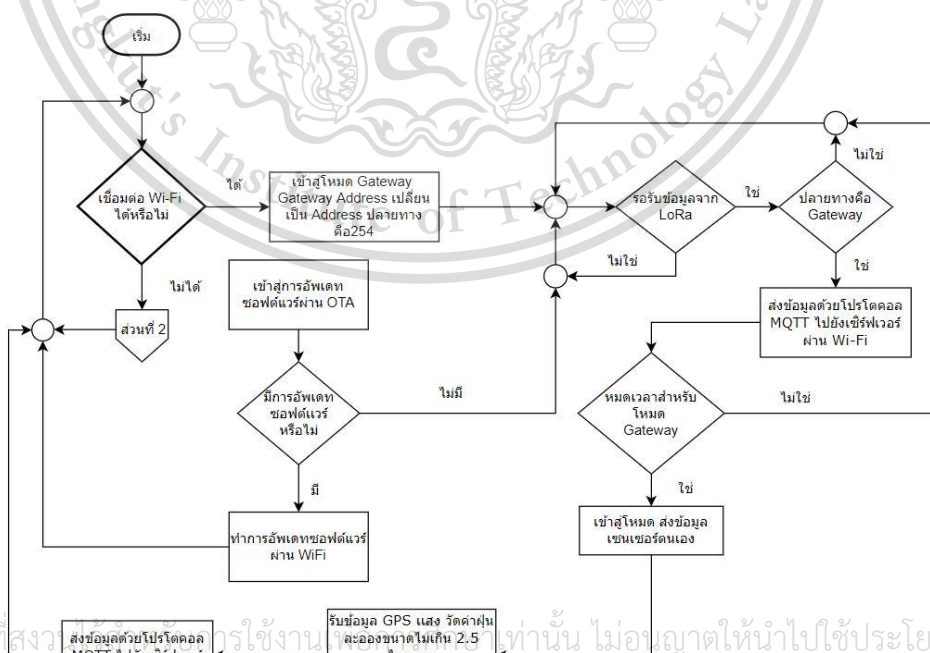
#### 3.1.1 การออกแบบการทำงานของอุปกรณ์

##### 3.1.1.1 หน้าทีของอุปกรณ์

หน้าที่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบมีดังนี้

1) Sensor Node เป็นอุปกรณ์ที่มีรูปแบบเป็นกล่อง ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก เซนเซอร์ GPS แสง ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน วัดความชื้นสัม湿เทือน ก๊าซ LPG CO ควณ อุณหภูมิ ความชื้น และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ โดยภายใน Sensor Node ประกอบด้วย Sensor Modules ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ LoRa Nodes ซึ่งภายในข้อมูลจะประกอบด้วยละติจูด ลองจิจูด วันที่ วันเวลาที่ได้รับ ความเข้มแสง ค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ความ สัม湿เทือน ก๊าซ LPG CO ควณ อุณหภูมิ ความชื้น และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ โดย Sensor Modules เหล่านี้จะมีหลักการการรับข้อมูลที่แตกต่างกันออกไป ในส่วนของหลักการการรับข้อมูล ของแต่ละเซนเซอร์จะอยู่ในบทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง จากนั้นทำการส่งข้อมูลที่รับได้ไป ยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล และส่งไปยัง LoRa Nodes เพื่อสื่อสาร และทำการเชื่อมต่อกับ Sensor Node รอบข้างต่อไป

อีกทั้ง Sensor Node ยังสามารถทำหน้าที่เป็น Gateway สามารถทำการรับ ข้อมูลจาก Sensor Node ตัวอื่น และส่งข้อมูลที่รับไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ และมีการแสดงการ ทำงานของ Sensor Node ดังรูปที่ 3.2

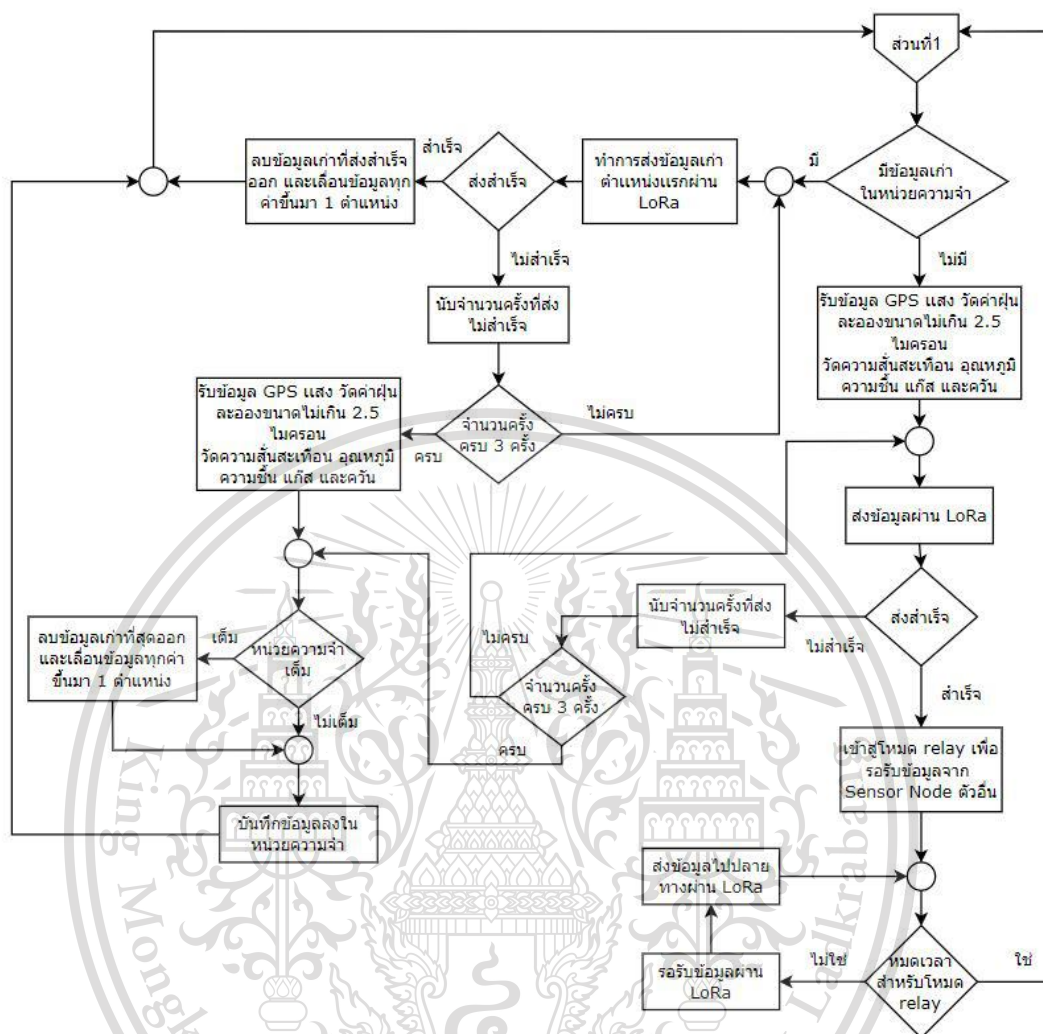


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งาน... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา... และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 (ก)

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

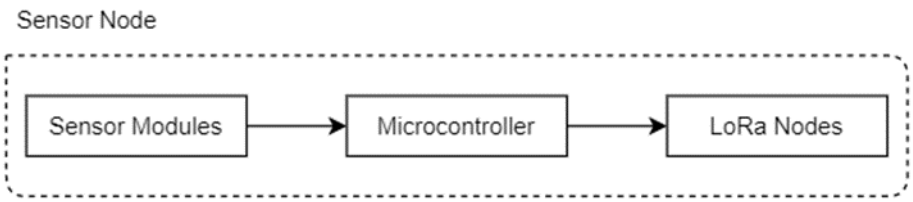
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



3.2 (ข)

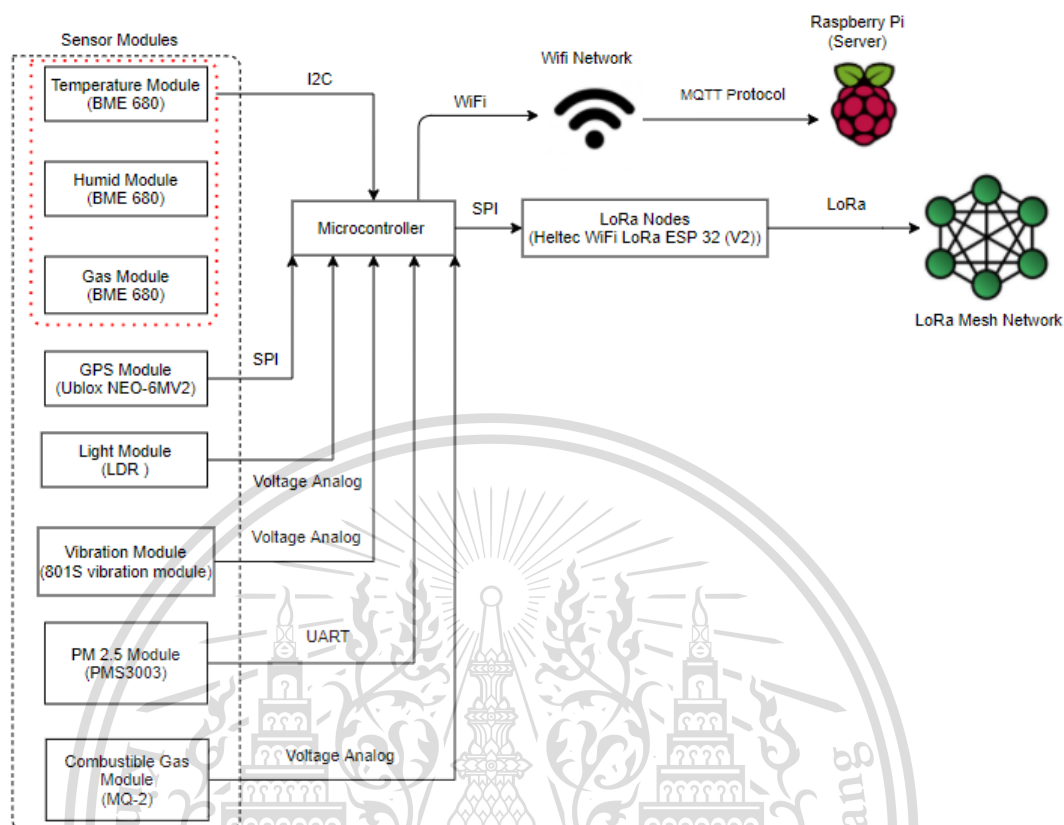
รูปที่ 3.2 ฟังงานแสดงการทำงานของ Sensor Node

(ก) ส่วนที่ 1 การตรวจสอบการเชื่อมต่อ Wi-Fi (ข) ส่วนที่ 2 การทำหน้าที่เป็น Node



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมภาพรวมของ Sensor Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์ที่ใช้ภายใน Sensor Node

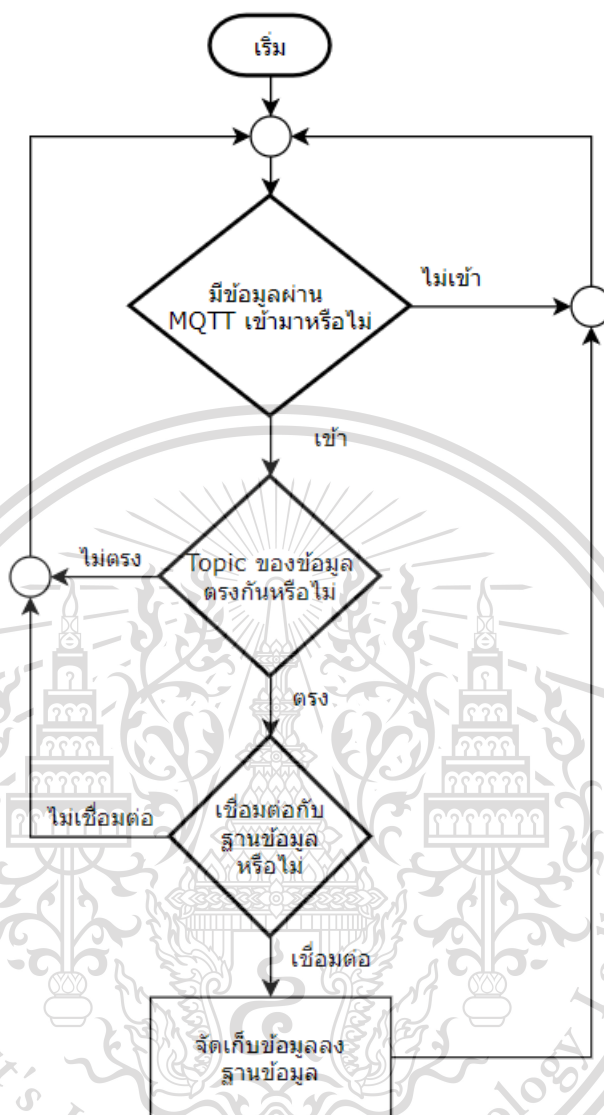
2) เครื่องเซิร์ฟเวอร์ เป็นส่วนที่มีการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล และจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway ไปยังฐานข้อมูล และเมื่อมีการเรียกใช้ข้อมูล เซิร์ฟเวอร์จะนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงบนหน้าเว็บ Web Application

เครื่องเซิร์ฟเวอร์จะทำงานโดยรับข้อมูลที่ผ่านโปรโตคอล MQTT หากยังไม่ได้รับข้อมูลก็จะทำการรอรับข้อมูล แต่หากมีข้อมูลเข้ามาจะมีการตรวจสอบ Topic หรือหัวข้อของข้อมูลว่าตรงกับหัวข้อที่ได้ตั้งไว้หรือไม่ หากหัวข้อไม่ตรงกับที่ตั้งไว้ก็จะกลับมารอรับข้อมูลใหม่ แต่ถ้าหัวข้อตรงกับที่ตั้งไว้ก็จะตรวจสอบการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลว่ามีการเชื่อมต่อหรือไม่ หากไม่มีการเชื่อมต่อก็จะกลับไปรอรับข้อมูลใหม่ทันที โดยไม่มีการบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลเกิดขึ้น แต่ถ้ามีการเชื่อมต่อก็จะนำข้อมูลนั้นจัดเก็บลงฐานข้อมูล และกลับไปรอรับข้อมูลใหม่ดังเดิม ผังงานการทำงานของเครื่องเซิร์ฟเวอร์แสดงดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



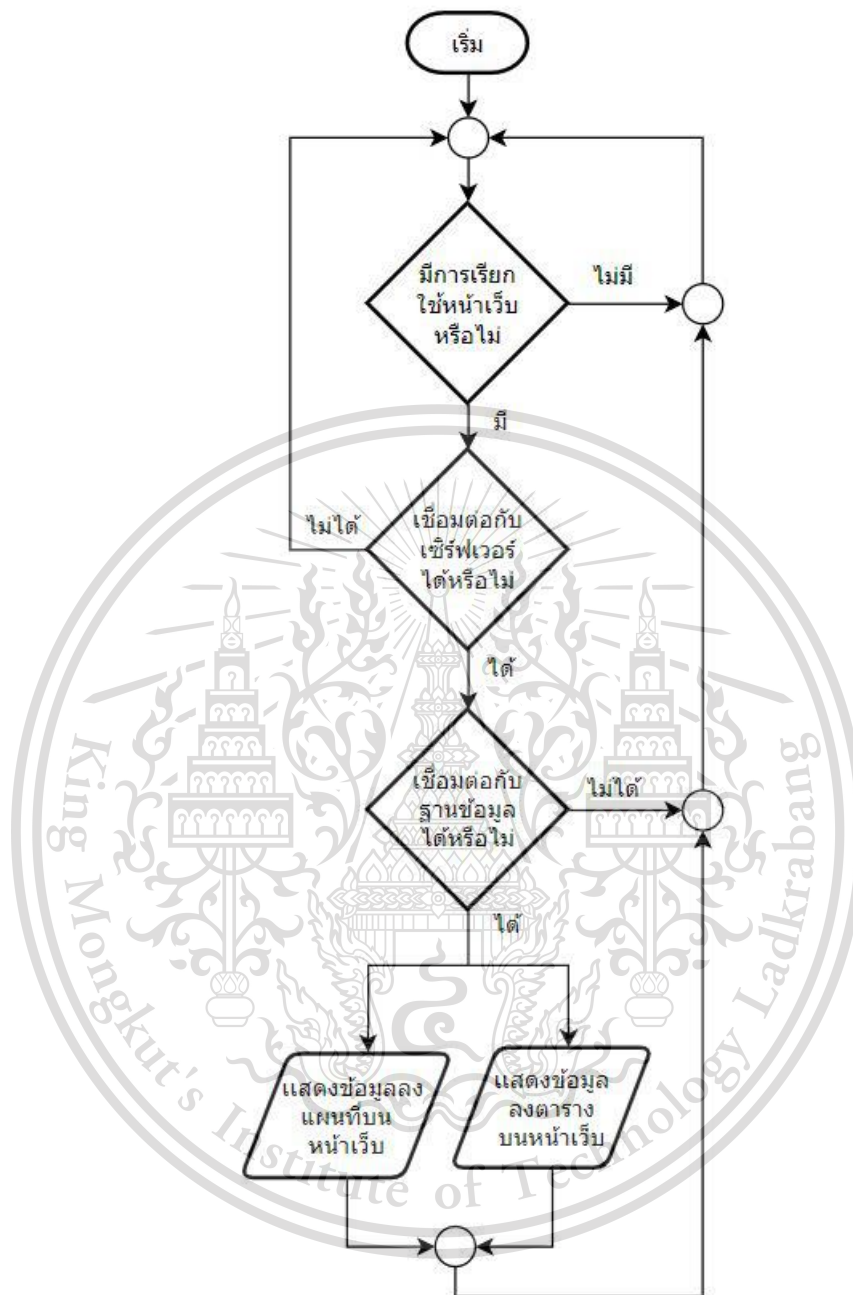
รูปที่ 3.5 ผังงานการทำงานของเครื่องเซิร์ฟเวอร์

เมื่อจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลสำเร็จ ส่วนต่อไปคือการแสดงผลผ่านหน้าเว็บ Web Application ซึ่งเริ่มต้นจากการเรียกใช้หน้าเว็บ หากเรียกหน้าเว็บสำเร็จ ก็จะมีการเชื่อมต่อกับ เซิร์ฟเวอร์ และฐานข้อมูล หากเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ไม่ได้ ก็จะไม่มีการแสดงผลเกิดขึ้น และถ้า เชื่อมต่อเซิร์ฟเวอร์ได้แต่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลได้ การแสดงผลก็ยังคงเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ข้อมูลที่แสดงผลจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ซึ่งแสดงเป็นผังงานได้ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.6 ฟังก์ชันการทำงานการแสดงผลบนหน้าเว็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

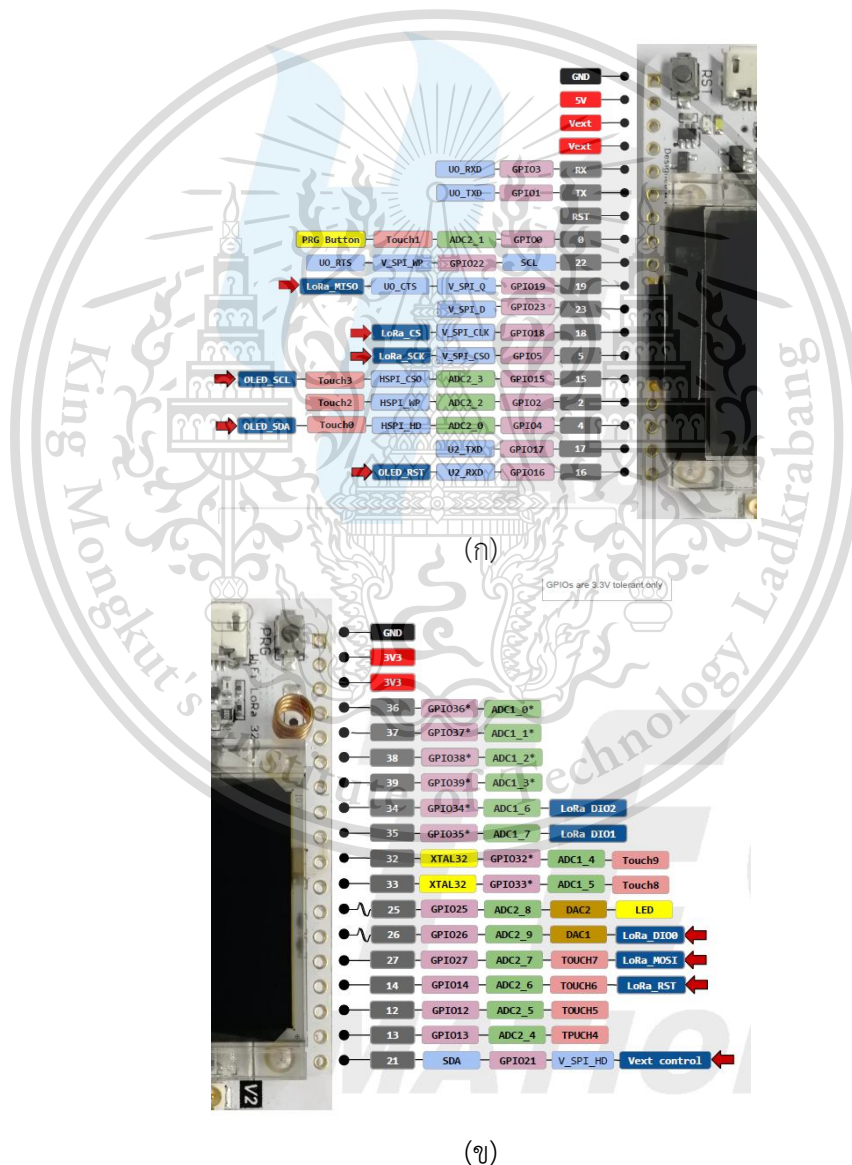
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.1 Heltec WiFi LoRa 32 (V2)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารกันระหว่างโหนดต่อโหนด โดยบอร์ดนี้มีส่วนของโมดูล Wi-Fi และ LoRa จึงสามารถเรียกใช้เทคโนโลยีการสื่อสารได้ทั้ง LoRa และ Wi-Fi อีกทั้งยังสามารถใช้เทคโนโลยีทั้ง 2 พร้อมกันได้ โดย Pinout Diagram ของบอร์ดแสดงดังรูปที่ 3.7 [39]

ในการตั้งค่าการสื่อสารแบบ LoRa จะตั้งค่ากำลังส่งที่ 20 dBm Spreading Factor ที่ 8 อัตราการเข้ารหัสที่ 8 หรือ 4/8 แบนด์วิดท์ที่ 250 kHz และไม่มีการเข้ารหัส CRC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(ก) Pinout Diagram ของบอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ฝั่งซ้าย  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ข) Pinout Diagram ของบอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ฝั่งขวา

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

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

### 3.2.2 GPS Module GY-GPS6MV2

เป็นเซนเซอร์ที่นำมาใช้เพื่อระบุตำแหน่งของ Sensor Node แต่ละตัว โดยรองรับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 3 V จนถึง 5V และมีโหมดประหยัดพลังงานในกรณีที่ไม่มีเปิดใช้งาน

### 3.2.3 LDR Photoresistor Sensor Module

เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับความสว่าง และความเข้มแสงของสภาพแวดล้อมโดยรอบ รองรับแรงดันไฟฟ้า 3.3V ถึง 5V

### 3.2.4 801S Vibration sensor module

เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับการสั่นสะเทือน รองรับแรงดันไฟฟ้าที่ 5V

### 3.2.5 PMS3003

เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับความเข้มข้นของอนุภาคแบบดิจิทัล ซึ่งสามารถใช้เพื่อรับจำนวนอนุภาคแขวนลอยในอากาศ ความเข้มข้นของอนุภาคที่ออกมา รองรับแรงดันไฟฟ้าที่ 5V

### 3.2.6 BME680

เซนเซอร์ที่วัดค่าก๊าซ ความชื้น ความดัน และอุณหภูมิ โดยในปริภูมิตั้งนี้จะใช้เซนเซอร์วัดเฉพาะ อุณหภูมิ ความชื้น และดัชนีคุณภาพอากาศ

### 3.2.7 MQ-2 Gas Sensor

เซนเซอร์ที่ใช้สำหรับการตรวจจับควัน ความเข้มข้นของก๊าซ และปริมาณก๊าซไวไฟ โดยในปริภูมิตั้งนี้จะใช้เซนเซอร์วัดค่าก๊าซ LPG CO และควัน

## 3.2.8 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.8.1 Arduino IDE

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเขียน คอมไพล์ และอัปโหลดโปรแกรมในส่วนการรับส่งข้อมูลระหว่าง Sensor Node ต่างๆ และ เซนเซอร์ชนิดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway ในโครงข่ายที่เชื่อมต่อกัน Arduino IDE ถูกนำมาใช้เนื่องจากสามารถใช้งานโปรแกรมนี้ร่วมกับโมดูล ESP32 ได้ และเป็นโปรแกรมชนิด Open Source ที่ผู้ใช้สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ได้อย่างอิสระ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 3.2.8.2 XAMPP

XAMPP เป็นโปรแกรมที่ใช้ในส่วนของ Web Server จำลองพัฒนาขึ้นเพื่อเปิดให้ผู้ใช้สามารถทดสอบเว็บไซต์ โดยสำหรับปริญญาโทฉบับนี้เลือกใช้แค่ Apache และ MySQL ซึ่ง Apache จะใช้สำหรับเปิดใช้งานเซิร์ฟเวอร์ และ MySQL ถูกใช้งานในส่วนของควบคุมการทำงานของฐานข้อมูล

### 3.2.8.3 Visual Studio Code

เป็นโปรแกรม Code Editor ที่ผู้ใช้สามารถปรับแต่ง และแก้ไขโค้ดต่างๆ ได้อย่างอิสระ เป็นโปรแกรมประเภท Open Source โดยในปริญญาโทฉบับนี้ใช้ในการปรับปรุงแก้ไขในโค้ด php แสดงหน้าต่างใช้งาน Visual Studio Code ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 หน้าต่างควบคุมเมื่อเปิดใช้งาน Visual Studio Code

## 3.2.9 ไลบรารีที่ใช้ในโปรแกรม Arduino IDE

### 3.2.9.1 Heltec

เป็นไลบรารีสำหรับ Heltec WiFi LoRa 32 ใช้ในการแสดงผลข้อความผ่านหน้าจอ OLED บนอุปกรณ์

### 3.2.9.2 TinyGPS++

เป็นไลบรารีสำหรับการรับ และประมวลผลข้อมูล GPS จาก GPS Module GY-GPS6MV2 ที่มาในรูปแบบชุดข้อมูล NMEA ในปริญญาโทฉบับนี้มีการใช้บางส่วนของชุดข้อมูล NMEA ได้แก่ ละติจูด ลองจิจูด เวลา และวันที่

### 3.2.9.3 HardwareSerial

เป็นไลบรารีในการสื่อสารแบบอนุกรมกับ GPS Module GY-GPS6MV2 โดยมีการกำหนดอัตราบอดสำหรับการสื่อสาร ซึ่งในปริญญาโทฉบับนี้เลือกอัตราบอดสำหรับการสื่อสารที่ 9600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่สอนวิชานี้ในโรงเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 3.2.9.4 RadioHead

เป็นไลบรารีที่สามารถทำให้เกิดการสื่อสาร LoRa ที่มีรูปแบบโครงข่ายแบบ Mesh Topology มีการใช้ไลบรารีย่อยของ RadioHead คือ RMesh RH\_RF95 และ RHRouter

### 3.2.9.5 SPI

เป็นไลบรารีที่ใช้สำหรับให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารข้อมูลระหว่างกันเป็นอนุกรม และการสื่อสารเป็นแบบซิงโครนัส ซึ่งต้องกำหนดขาของอุปกรณ์ให้ถูกต้องกับการนำไปใช้

### 3.2.9.6 EspMQTTClient

เป็นไลบรารีที่ทำให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารระหว่างกันได้ผ่านโปรโตคอล MQTT ซึ่งเป็นในส่วนการทำงานของ เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway โดยทำการ Publish ข้อมูลที่ได้รับไปยัง Subscriber ที่ทำการ Subscribe Topic เดียวกันกับ Publisher

### 3.2.9.7 Adafruit Sensor

เป็นไลบรารีสำหรับการรับ และประมวลผลข้อมูล อุณหภูมิ ความชื้น และ ก๊าซจากเซนเซอร์ BME680 โดยการใช้ไลบรารีย่อยภายใน Adafruit Sensor อย่าง Adafruit BME680

## 3.3 การออกแบบอุปกรณ์

### 3.3.1 การออกแบบวงจรของ Sensor Node

#### 3.3.1.1 ออกแบบ Schematic หรือแผนวงจรของ Sensor Node

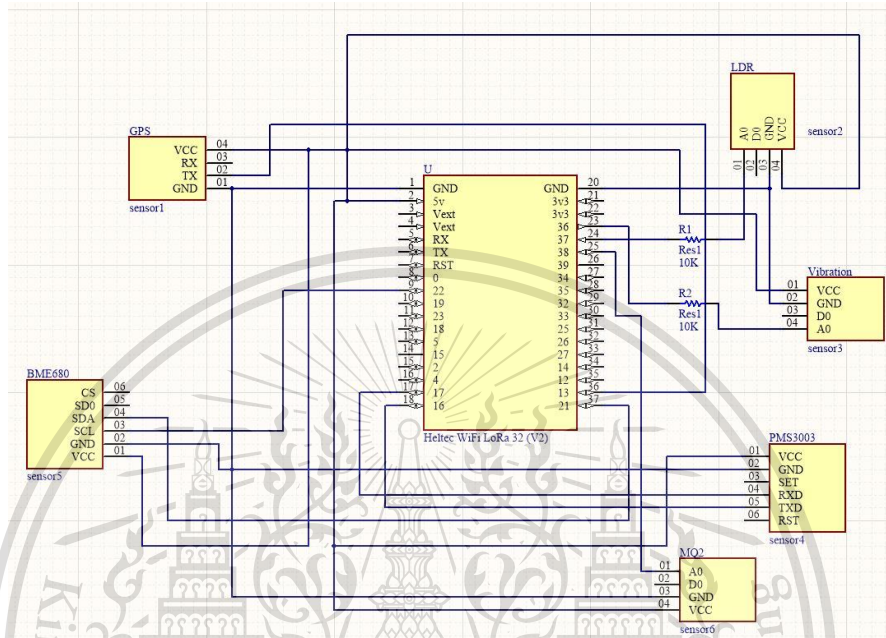
การออกแบบแผนวงจรของ Sensor Node สามารถทำได้ผ่านโปรแกรม Altium ซึ่งส่วนประกอบภายในวงจรมีดังนี้ Heltec WiFi loRa 32 (V2) จำนวน 1 ตัว ตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม จำนวน 2 ตัว GPS Module GY-GPS6MV2 จำนวน 1 ตัว LDR Photoresister Sensor Module จำนวน 1 ตัว 801S Vibration sensor module จำนวน 1 ตัว PMS3003 จำนวน 1 ตัว BME680 จำนวน 1 ตัว และ MQ-2 จำนวน 1 ตัว ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม จะต่อระหว่างขาที่ 36 และ 37 ของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ซึ่งทั้ง 2 ขาเป็นขาที่ต่อกับ Analog Output ของ 801S Vibration sensor module และ LDR Photoresister Sensor Module ตามลำดับ มีไว้สำหรับตัดกระแสไฟฟ้าที่รับมาจาก 801S Vibration sensor module และ LDR Photoresister Sensor Module ในส่วนของ GPS Module GY-GPS6MV2 จะมีขา 13 ที่ใช้ในการส่งข้อมูลจาก GPS Module GY-GPS6MV2 แบบอนุกรม ส่วน PMS3003 มีขา 16 และ 17

ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลจาก PMS3003 โดยขา 16 ใช้ในการรับข้อมูล และขา 17 ใช้ในการส่งข้อมูล ในไม่ว่ากรณีใด ส่วน BME680 จะใช้ขา 22 กับ 21 ในการสื่อสารกับ BME680 ซึ่งขา 22 เป็นขา SCK และขา 21

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

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

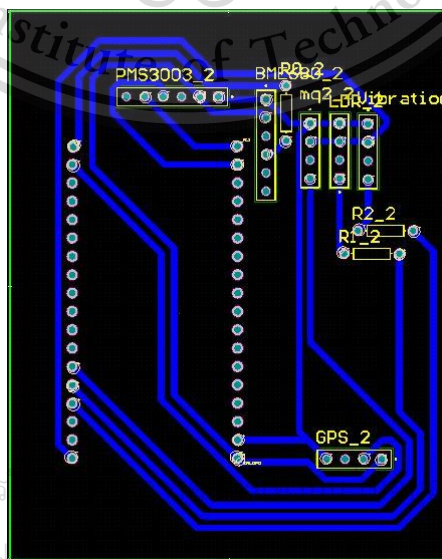
เป็นขา SDA และในส่วนของ MQ-2 จะมีขาที่ 38 ของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ที่ต่อกับ Analog Output ของ MQ-2



รูปที่ 3.9 แผงวงจรของ Sensor Node

3.3.1.2 ออกแบบ PCB ของ Sensor Node

ส่วนของการออกแบบ PCB จะทำต่อหลังจากออกแบบแผงวงจรสำเร็จผ่านโปรแกรม Altium โดยมีรูปแบบการออกแบบ PCB ดังรูปที่ 3.10

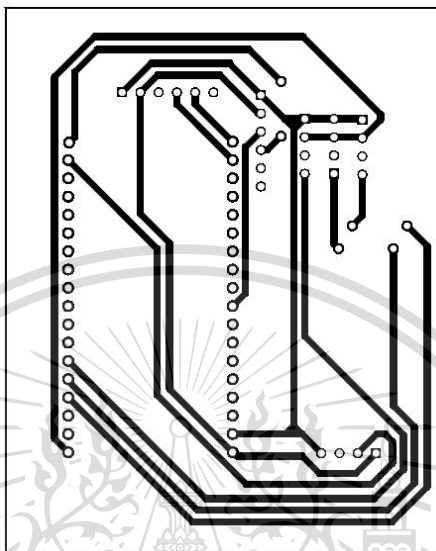


รูปที่ 3.10 PCB ของ Sensor Node

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

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

จากนั้นทำการพิมพ์ PCB บนกระดาษโฟโต้เพื่อเตรียมตัวรีดใส่แผ่นทองแดง  
ต่อไปแสดงลายวงจรที่ผ่านการพิมพ์ได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ลายวงจรที่ผ่านการพิมพ์

### 3.3.2 การออกแบบบรรจุภัณฑ์

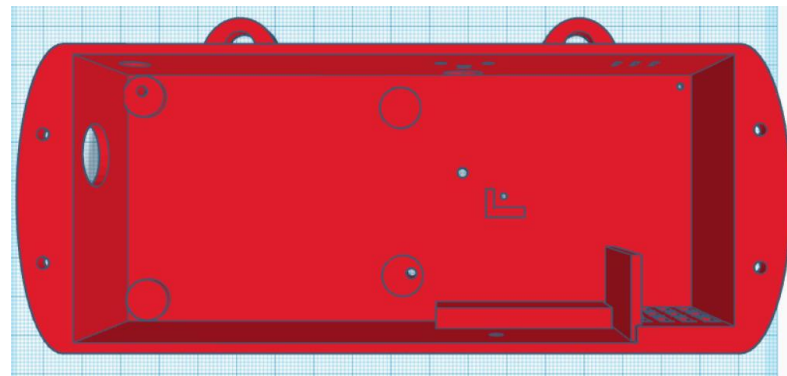
#### 3.3.2.1 การออกแบบบรรจุภัณฑ์ของ Sensor Node

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ของ Sensor Node มีการใช้โปรแกรม Tinkercad ในการออกแบบ ส่วนประกอบภายในวงจรมีดังนี้ Heltec WiFi loRa 32 (V2) จำนวน 1 ตัว ตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม จำนวน 2 ตัว GPS Module GY-GPS6MV2 จำนวน 1 ตัว LDR Photoresister Sensor Module จำนวน 1 ตัว 801S Vibration sensor module จำนวน 1 ตัว PMS3003 จำนวน 1 ตัว MQ-2 Gas Sensor จำนวน 1 ตัว และ BME680 จำนวน 1 ตัว สำหรับบรรจุภัณฑ์ของ Sensor Node ถูกออกแบบมาในรูปแบบกล่อง ประกอบด้วยกล่องบรรจุภัณฑ์ ขนาดกว้าง 7.9 เซนติเมตร ยาว 16.8 เซนติเมตร สูง 3.2 เซนติเมตร ขอบหนา 0.2 เซนติเมตร ในส่วนของการออกแบบกล่องบรรจุภัณฑ์แสดงดังรูปที่ 3.12 กล่องบรรจุภัณฑ์จริงดังรูปที่ 3.13

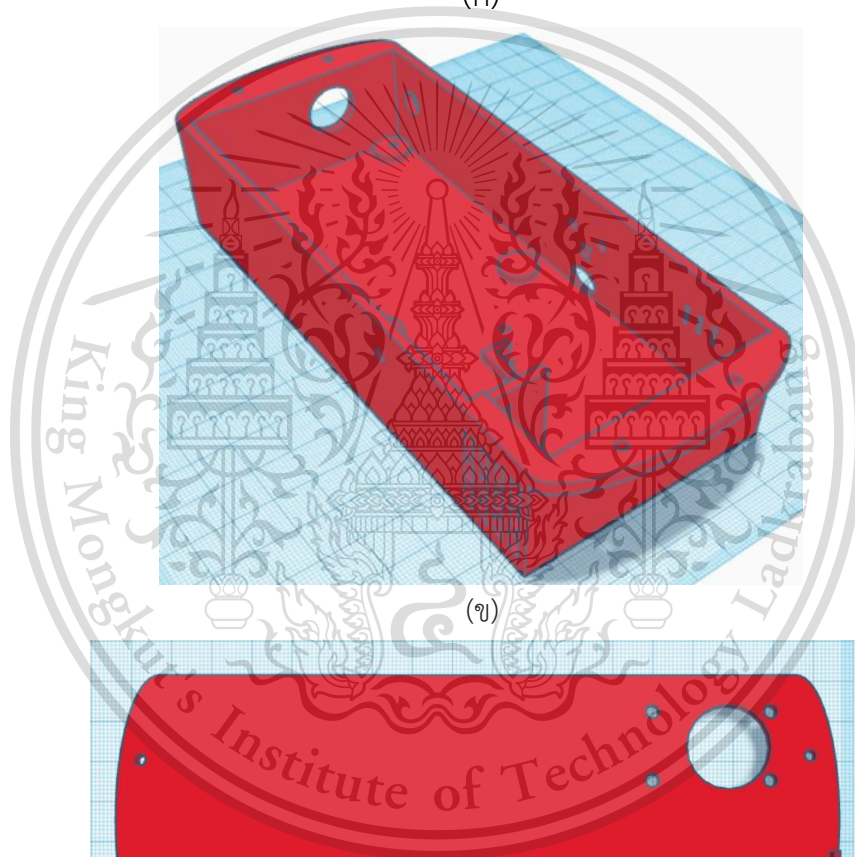
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

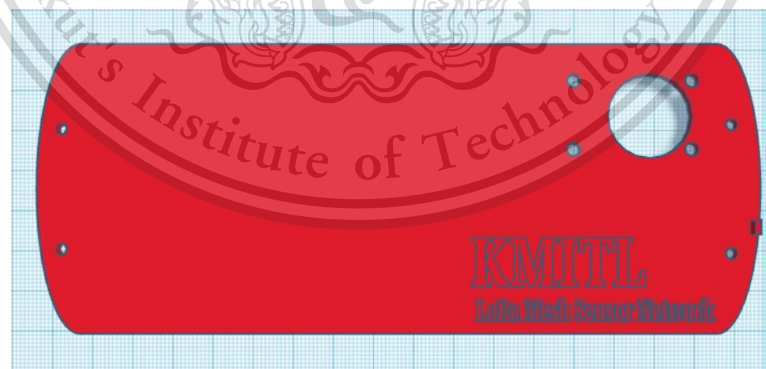
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)



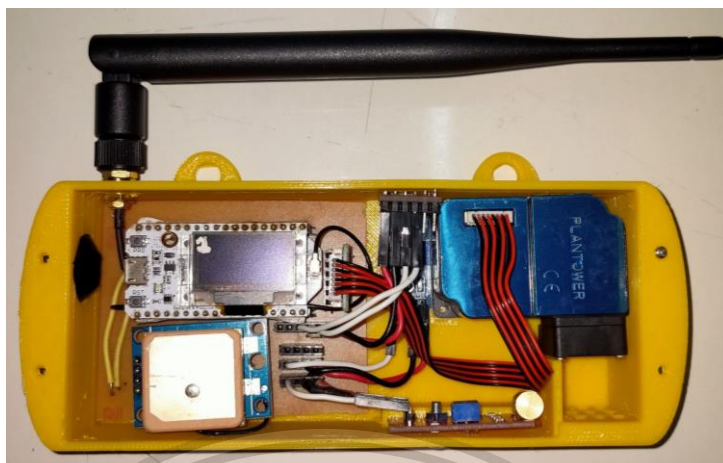
(ค)

รูปที่ 3.12 กล่องบรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบผ่านโปรแกรม Tinkercad  
 (ก) ด้านในบรรจุภัณฑ์ (ข) ด้านบรรจุภัณฑ์ (ค) ฝากล่องบรรจุภัณฑ์

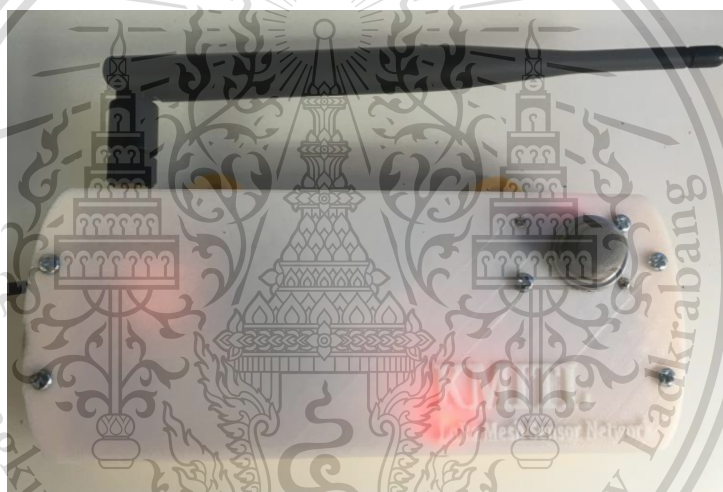
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 กล่องบรรจุภัณฑ์จริง

(ก) ด้านในบรรจุภัณฑ์จริง (ข) กล่องบรรจุภัณฑ์เมื่อเสร็จสมบูรณ์

### 3.4 การจัดเก็บผลการทดลอง

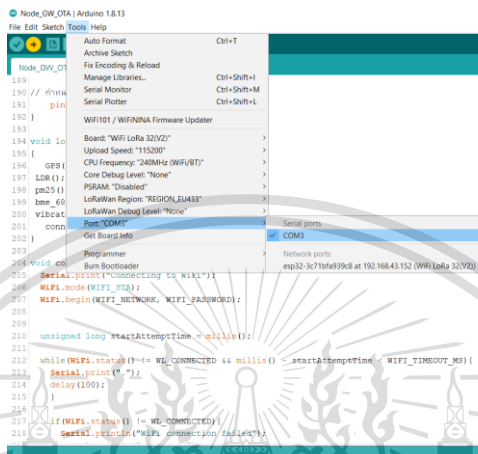
#### 3.4.1 การอัปเดตซอฟต์แวร์ด้วยวิธีการ OTA ผ่านโครงข่ายไร้สาย Wi-Fi

การทดสอบการอัปเดต หรืออัปเดตซอฟต์แวร์ผ่านวิธีการ Over-The-Air หรือ OTA โดยใช้ Wi-Fi ซึ่งได้ออกแบบให้ Sensor Node ทั้ง 4 ตัวสามารถอัปเดตซอฟต์แวร์ได้เมื่ออยู่ในโหมด Gateway หรือเมื่อมีการเชื่อมต่อกับ Wi-Fi ตามผังงานการทำงานของ Sensor Node ตามรูปที่ 3.2 ผังงานแสดงการทำงานของ Sensor Node และในการทดสอบนี้ได้ทดสอบกับ Sensor Node 1 ที่ได้มีการเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่าย WiFi ที่ได้ทำการตั้งค่าไว้ในโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ซึ่งสามารถทำการตรวจสอบได้ผ่านหน้าต่างสถานะบนโปรแกรม Arduino IDE เริ่มต้นจากการอัปเดตโปรแกรมให้กับ

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

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

Sensor Node 1 ผ่าน พอร์ต USB ที่เชื่อมต่อกับ Heltec WiFi LoRa 32 (V2) แสดงดังรูปที่ 3.14 จากรูปจะเห็นได้ว่า Sensor Node 1 ได้ทำการอัปเดตโปรแกรมผ่านพอร์ต “COM3” บนโปรแกรม Arduino IDE



รูปที่ 3.14 หน้าต่างโปรแกรม Arduino IDE ขณะอัปเดตซอฟต์แวร์ผ่าน พอร์ต “COM3”

ต่อมาเพื่อทำการทดสอบว่า Sensor Node 1 สามารถทำการอัปเดตซอฟต์แวร์ได้ จึงได้ทำการอัปเดตคำสั่งไฟกระพริบให้เกิดไฟกระพริบที่ LED Built-in ของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ดังรูปที่ 3.15 และทำการอัปเดตโปรแกรมแบบไร้สายผ่าน Network Port “esp32-3c71bfa939c8 at 192.168.43.152 (WiFi LoRa 32(V2))” ดังรูปที่ 3.16

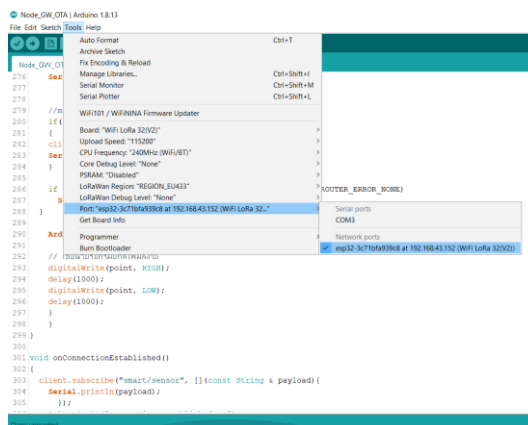
```
ArduinoOTA.handle();
digitalWrite(point, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(point, LOW);
delay(1000);
}
}
```

รูปที่ 3.15 คำสั่งไฟกระพริบที่ LED Built-in ของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.16 เลือกการอัปโหลดโปรแกรมแบบไร้สายผ่าน Network port “esp32-3c71bfa939c8 at 192.168.43.152 (WiFi LoRa 32(V2))”

### 3.4.2 การทดสอบ และปรับตั้งค่าเซนเซอร์

#### 3.4.2.1 การทดสอบเซนเซอร์ระบุตำแหน่ง

การทดสอบเซนเซอร์ระบุตำแหน่ง เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเซนเซอร์ระบุตำแหน่ง โดยในการทดสอบนี้ใช้เซนเซอร์ระบุตำแหน่งเป็น GPS Module GY-GPS6MV2 และบอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ซึ่งขาส่งข้อมูลของเซนเซอร์จะต่อเข้ากับขา 13 ของบอร์ด และใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 5V แสดงดังรูปที่ 3.17 โดยวิธีการทดสอบจะให้เซนเซอร์ระบุตำแหน่งทำการรับข้อมูลตำแหน่ง ซึ่งจะได้ออกมาเป็นค่าละติจูด ลองจิจูด วัน เดือน ปี และเวลา ซึ่งการทดสอบนี้จะนำค่าละติจูดกับลองจิจูดเปรียบเทียบกับค่าละติจูดกับลองจิจูดของแอปพลิเคชัน GPS Test ที่สามารถรับข้อมูล GPS จากเซนเซอร์ของอุปกรณ์ที่ใช้ผ่านแอปพลิเคชันนี้ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้เป็นสมาร์ทโฟน Realme XT แอปพลิเคชันนี้รองรับดาวเทียมทั้งจาก GPS GLONASS GALILEO SBAS BEIDOU และ QZSS จากนั้นทำการหาค่าระยะทางระหว่างค่าละติจูด และลองจิจูดของเซนเซอร์ และแอปพลิเคชันเป็นหน่วยเมตร (m) โดยใช้สมการ Haversine [40] ที่ใช้สำหรับการคำนวณหาระยะทางของจุด 2 จุดบนพื้นผิวทรงกลม ตามกฎของ haversine ค่ามุมศูนย์กลาง หรือ Center angle ( $\theta$ ) ระหว่างจุด 2 จุดบนพื้นผิวทรงกลมจะได้เป็นดังสมการที่ 3.1

$$\theta = \frac{d}{r} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยที่  $d$  คือระยะทางระหว่างจุด 2 จุด ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น  $r$  คือรัศมีของทรงกลม

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

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

จากสมการที่ 3.1 สมการ Haversine หรือ  $hav$  ของ  $\theta$  จะได้สมการที่ 3.2

$$hav(\theta) = hav(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)hav(\lambda_2 - \lambda_1) \quad (3.2)$$

โดยที่  $\varphi_1, \varphi_2$  คือละติจูดของจุดที่ 1 และละติจูดของจุดที่ 2

$\lambda_1, \lambda_2$  คือลองจิจูดของจุดที่ 1 และลองจิจูดของจุดที่ 2

สุดท้าย ฟังก์ชัน Haversine หรือ half a versine ของมุม  $\theta$  (ใช้บนความแตกต่างในละติจูด กับลองจิจูด) จะได้เป็นดังสมการที่ 3.3

$$hav(\theta) = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \cos(\theta)}{2} \quad (3.3)$$

เพื่อหาระยะทาง  $d$  ใช้วิธีการ inverse haversine  $hav^{-1}$  กับ Center angle ( $\theta$ ) หรือ ใช้ฟังก์ชัน arcsine (inverse sine) จะได้เป็นดังสมการที่ 3.4

$$d = rhav^{-1}(h) = 2r \arcsin(\sqrt{h}) \quad (3.4)$$

โดยที่  $h = hav(\theta)$  และสามารถทำให้ชัดเจนได้ดังสมการที่ 3.5

$$\begin{aligned} d &= 2r \arcsin\left(\sqrt{hav(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)hav(\lambda_2 - \lambda_1)}\right) \quad (3.5) \\ &= 2r \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\sin^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right)}\right) \end{aligned}$$

จากนั้นทำการคำนวณค่าความผิดพลาด หรือ error โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) มีรูปแบบสมการดังสมการที่ 3.6 และใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

มีรูปแบบดังสมการที่ 3.7 และการทดลองนี้ได้ทำการทดสอบรับตำแหน่งสถานที่ทั้งหมด 5 สถานที่ ประกอบด้วย อาคารเรียนภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โรงอาหาร-โรงเอน อาคาร HM หอประชุม

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

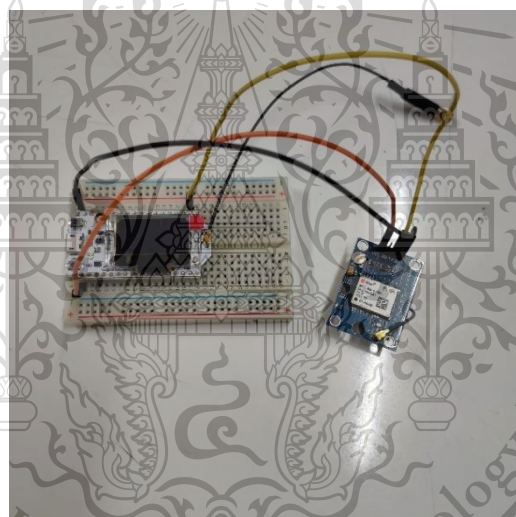
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$mean = \frac{\sum_{m=1}^n F_m}{n} \quad (3.6)$$

โดยที่  $n$  คือ จำนวนครั้งที่ทดสอบ  
 $F_m$  คือค่าที่ได้จากการทดสอบครั้งที่  $m$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^n (F_m - mean)^2}{n-1}} \quad (3.7)$$

โดยที่ Mean คือ ค่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากการทดสอบ



รูปที่ 3.17 รูปแบบการต่อวงจรทดสอบเซนเซอร์ระบุตำแหน่ง

#### 3.4.2.2 การทดสอบเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

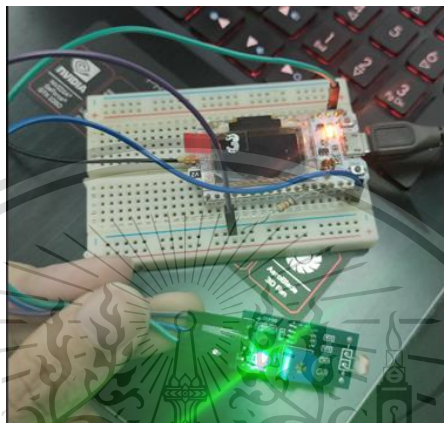
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบวัดความเข้มแสง และปรับค่าความเข้มแสงของเซนเซอร์วัดความเข้มแสง ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความเข้มแสง LDR Photoresistor Sensor Module บอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม และแอปพลิเคชัน Lux meter เป็นแอปพลิเคชันสำหรับวัดความเข้มแสงที่มีความสามารถในการวัดตามเซนเซอร์วัดความเข้มแสงที่ติดกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งแอปพลิเคชันดังกล่าว โดยอุปกรณ์ที่ใช้ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันสำหรับการทดสอบนี้ คือ สมาร์ทโฟน Realme รุ่น XT วิธีการทดสอบเริ่มต้นจากการต่อขา Analog Output ของ LDR Photoresistor Sensor Module เข้ากับขา 37 ของบอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) โดยระหว่างขา 37 ของบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

และขา Analog Output ถูกต่อกับตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม ดังรูปที่ 3.18 จากนั้นทำการอ่านค่าของเซนเซอร์ผ่านการแสดงผลผ่าน Serial Monitor และบันทึกค่าลงตาราง จากนั้นนำค่าในตารางไปเทียบกับค่าที่วัดได้จากแอปพลิเคชันที่บันทึกค่าลงบนตาราง โดยการทดสอบนี้มีการวัดความเข้มแสงและบันทึกผลการทดสอบ จากนั้นจะนำค่าที่บันทึกได้นั้นไปทำการปรับค่าเซนเซอร์วัดความเข้มแสง



รูปที่ 3.18 รูปแบบการต่อวงจรทดสอบเซนเซอร์ PMS3003

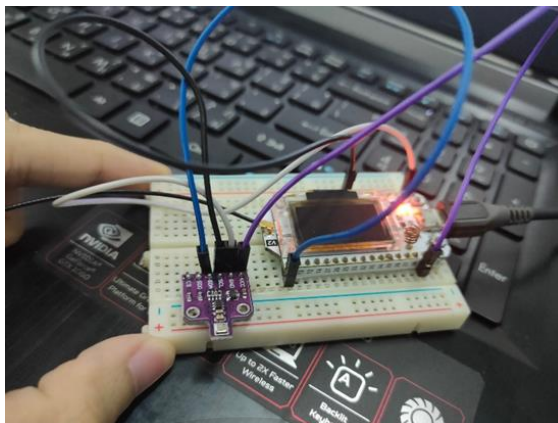
#### 3.4.2.3 การทดสอบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้น

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบวัดอุณหภูมิ และความชื้น รวมถึงการปรับค่าอุณหภูมิ กับความชื้น ซึ่งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบนี้ประกอบด้วย เซนเซอร์ BME680 1 ตัว บอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) 1 ตัว และ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ Thermometer 1 ตัว และความชื้น Xiaomi Mijia Thermometer 1 ตัว ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -9.9 องศาเซลเซียส ถึง 60 องศาเซลเซียส และสามารถวัดความชื้นได้ตั้งแต่ 0% ถึง 99% มีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ และความชื้นที่ 0.1 องศาเซลเซียส และ 0.1% ตามลำดับ วิธีการทดสอบเริ่มต้นจากการต่อขา SCL ของ BME680 เข้ากับขา 22 ของบอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) และต่อขา SDA ของ BME680 เข้ากับขา 21 ของบอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ดังรูปที่ 3.19 จากนั้นให้ BME680 ทำการรับค่าอุณหภูมิ และความชื้น และแสดงผลผ่าน Serial Monitor จากนั้นทำการบันทึกผล โดยค่าอุณหภูมิที่บันทึกได้จาก BME680 จะถูกนำไปเทียบกับค่าอุณหภูมิของ Thermometer ส่วนค่าความชื้นที่บันทึกได้จาก BME680 จะถูกนำไปเทียบกับค่าความชื้นของ Xiaomi Mijia Thermometer ทุก 10 นาที และนำค่าที่ได้จากทั้ง 2 อุปกรณ์ไปสร้างเป็นแผนภูมิหรือกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.19 รูปแบบการต่อวงจรทดสอบ BME680

#### 3.4.2.4 การทดสอบเซนเซอร์สั่นสะเทือน

การทดสอบนี้เป็นการวัดค่าความสั่นสะเทือน ซึ่งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบนี้ประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือน 801S Vibration Module บอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม และแอปพลิเคชันที่ใช้สำหรับการทดสอบการสั่นสะเทือนอย่าง Vibrometer ที่มีการวัดความสั่นสะเทือนตามมาตรฐานวัดเมอร์คัลลีที่ปรับปรุงแล้ว (MMI) โดยวิธีการทดสอบเริ่มต้นจากการต่อขา D0 ของ 801S Vibration Module เข้ากับขา 36 ของบอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ซึ่งระหว่างขา 36 ของบอร์ด Heltec WiFi LoRa 32 (V2) กับ ขา D0 ของ 801S Vibration Module มีการต่อตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม ดังรูปที่ 3.20 จากนั้นทำการเปิดใช้งานทั้งแอปพลิเคชัน Vibrometer กับ 801S Vibration Module ให้รับค่าการสั่นสะเทือน โดยค่าที่รับได้จาก 801S Vibration Module จะถูกแสดงผลบน Serial Plotter และนำไปเทียบกับผลที่ได้จากแอปพลิเคชัน Vibrometer



รูปที่ 3.20 รูปแบบการต่อวงจรทดสอบเซนเซอร์ 801S Vibration Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 3.4.3 การทดสอบระยะ และอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อการตั้งค่าเสาอากาศ และหาระยะทางที่เหมาะสม สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ หรือ Sensor Node ซึ่งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบประกอบด้วย Heltec WiFi LoRa 32 (V2) จำนวน 2 ตัว โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือการเลือกค่าเสาอากาศเพื่อให้ได้ระยะทางในการรับส่งข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับ Sensor Node และส่วนที่ 2 คือการเลือกค่าเสาอากาศที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จของอุปกรณ์

การทดสอบส่วนแรกเริ่มจากการกำหนดค่าเสาอากาศสำหรับทดสอบ ซึ่งภายในค่าเสาอากาศ ประกอบด้วย แบนวิดท์ (BW) Code Rate (CR) และ Spreading Factor (SF) โดยการทดสอบนี้ได้ตั้งกำลังส่งคงที่ที่ 20 dBm และกำหนดค่าเสาอากาศสำหรับการทดสอบทั้งหมด 4 รูปแบบ ประกอบด้วย

- รูปแบบที่ 1 BW 125 kHz CR 4/5 SF 7 (128 chips/symbol)
- รูปแบบที่ 2 BW 31.25 kHz CR 4/8 SF 9 (512 chips/symbol)
- รูปแบบที่ 3 BW 250 kHz CR 4/8 SF 8 (256 chips/symbol)
- รูปแบบที่ 4 BW 125 kHz CR 4/8 SF 7 (128 chips/symbol)

จากนั้นทำการทดสอบวัดระยะการรับส่งข้อมูลระหว่าง Heltec WiFi LoRa 32(V2) 2 ตัว ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นฝั่งส่ง และอีกตัวทำหน้าที่เป็นฝั่งรับ สำหรับค่าเสาอากาศแต่ละรูปแบบ

ต่อมาการทดสอบส่วนที่ 2 เริ่มต้นจากการนำค่าเสาอากาศที่เหมาะสมจากการทดสอบส่วนแรกมาปรับค่า Code Rate (CR) เป็น 4/5 4/6 4/7 และ 4/8 ตามลำดับ และทำการทดสอบอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จของแต่ละค่าเสาอากาศที่ถูกปรับ Code Rate ระหว่าง Heltec WiFi LoRa 32(V2) 2 ตัว ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นฝั่งส่ง และอีกตัวทำหน้าที่เป็นฝั่งรับ โดยระยะสำหรับการทดสอบอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จเป็นหน่วยเมตร (m) ในแต่ละจุดมีดังนี้ 150 m, 250 m, 350 m, 450 m, 550 m, 650 m, 700 m และ 750 m ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละจุดจะทำการวัดจำนวนการส่งข้อมูลสำเร็จที่ฝั่งส่งทำการส่งข้อมูลไปยังฝั่งรับจากจำนวนที่ส่งข้อมูลทั้งหมด 90 แพ็คเก็ต จากนั้นทำนำข้อมูลที่บันทึกได้มาหาอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จดังสมการที่ 3.8

$$\text{อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ} = (\text{จำนวนแพ็คเก็ตที่ส่งสำเร็จ} / \text{จำนวนที่ส่งทั้งหมด}) \times 100\% \quad (3.8)$$

### 3.4.5 การทดสอบวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดระดับแจ้งเตือน หรือ Sensor Node เพื่อพิจารณาในการเลือกใช้ตัวแปลงไฟบ้าน ซึ่งอุปกรณ์สำหรับ

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

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

การทดลองประกอบด้วย Heltec WiFi LoRa 32 (V2) จำนวน 2 ตัว สาย USB type B ที่สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ 1 เส้น โดยวิธีการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่สามารถส่งข้อมูลไปยัง Gateway ได้ และ ส่วนที่ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยัง Gateway ได้ ซึ่งจะทำการวัดและบันทึกข้อมูลจากค่าที่แสดงผลผ่านหน้าจอที่ติดกับสาย USB จากนั้นจึงนำค่ากระแสที่ได้ไปแปลงเป็นพลังงานในหน่วยวัตต์ในสมการที่ 3.9

$$P = IV \quad (3.9)$$

โดยที่  $P$  คือพลังงานไฟฟ้า หน่วยวัตต์ (W)

$I$  คือกระแสไฟฟ้า หน่วยแอมแปร์ (A)

$V$  คือแรงดันไฟฟ้า หน่วยโวลต์ (V)

### 3.4.6 การออกแบบการค้นหาเส้นทางของโครงข่าย Mesh Topology และการทำงานของโครงข่าย Mesh Topology ของระบบ

การค้นหาเส้นทางในการสื่อสารแบบ LoRa ผ่านโครงข่ายแบบ Mesh ว่ามีการทำการเป็นอย่างไร โดยการทดสอบจะประกอบด้วย Sensor Node ทั้งหมด 4 ตัว ซึ่งกำหนดให้ Sensor Node 4 ทำหน้าที่เป็น Gateway หรือปลายทางรับข้อมูลของ Sensor Node ตัวอื่น และ Sensor Node ตัวอื่น มีหน้าที่ในการส่งข้อมูล และมีหน้าที่เป็น Relay คอยรับข้อมูลจาก Sensor Node ตัวอื่น และส่งข้อมูลที่รับมาไปยังปลายทาง

ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 ส่วนดังนี้ ส่วนแรก คือการทดสอบที่กำหนดให้แต่ละ Sensor Node อยู่ในระยะที่สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้โดยตรง ดังตารางที่ 3.1 ส่วนที่ 2 คือการทดสอบที่กำหนดให้ Sensor Node 1 ตัว ตั้งอยู่นอกระยะที่สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้จึงต้องมีการส่งข้อมูลไปให้กับ Sensor Node ที่อยู่ในระยะสื่อสารกับปลายทางได้ เพื่อให้ส่งข้อมูลถึงปลายทาง ดังตารางที่ 3.2 ส่วนที่ 3 คือการทดสอบที่กำหนดให้ Sensor Node มีการทำหน้าที่เป็น Gateway มากกว่า 1 ตัว เพื่อทดสอบการส่งข้อมูลภายในโครงข่าย ในกรณีที่มีปลายทางเกิดขึ้นมากกว่า 1 ตัว ซึ่งแต่ละ Sensor Node ดังตารางที่ 3.3 ส่วนที่ 4 คือการทดสอบในกรณีที่ Sensor Node ทุกตัวในโครงข่ายไม่ได้ทำหน้าที่เป็น Gateway หรือปลายทาง ดังตารางที่ 3.4 และส่วนที่ 5 คือการทดสอบในกรณีที่มี Sensor Node ใหม่เพิ่มเข้ามาในโครงข่าย ดังตารางที่ 3.5 ทั้ง 4 การทดสอบแรกแสดงการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบ Mesh ดังรูปที่ 3.21 ส่วนการทดสอบในส่วนที่ 5 แสดงการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบ Mesh ดังรูปที่ 3.22 โดยสามารถตรวจสอบได้ผ่านทาง Serial Monitor ผ่านสาย USB ที่เชื่อมต่อกับ Heltec WiFi LoRa 32 (V2) และผ่าน Windows PowerShell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานที่การสื่อสารเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 3.1 กรณีที่ Sensor Node อยู่ในระยะสื่อสารกับปลายทางได้

Node	Next Hop	Destination	Gateway	Experiment	Result
1	2,3,4	2,3,4	No		
2	1,3,4	1,3,4	No		
3	1,2,4	1,2,4	No		
4	1,2,3	1,2,3	Yes		

ตารางที่ 3.2 กรณีที่ Sensor Node อยู่นอกระยะสื่อสารกับปลายทางได้

Node	Next Hop	Destination	Gateway	Experiment	Result
1	2,3,4	2,3,4	No		
2	1,3,4	1,3,4	No		
3	1,2	1,2,4	No		
4	1,2	1,2,3	Yes		

ตารางที่ 3.3 กรณีที่ Sensor Node ทำหน้าที่เป็นปลายทางมากกว่า 1 ตัว

Node	Next Hop	Destination	Gateway	Experiment	Result
1	2,3,4	2,3,4	No		
2	1,3,4	1,3,4	No		
3	1,2,4	1,2,4	Yes		
4	1,2,3	1,2,3	Yes		

ตารางที่ 3.4 กรณีที่ Sensor Node ทุกตัวไม่ได้ทำหน้าที่เป็นปลายทาง

Node	Next Hop	Destinations	Gateway	Experiment	Result
1	2,3,4	2,3,4	No		
2	1,3,4	1,3,4	No		
3	1,2,4	1,2,4	No		
4	1,2,3	1,2,3	No		

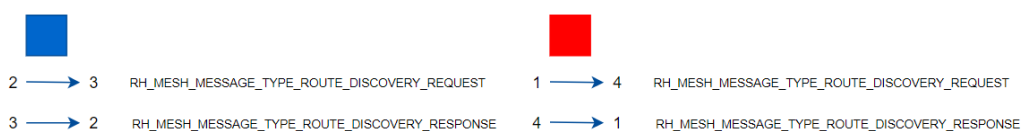
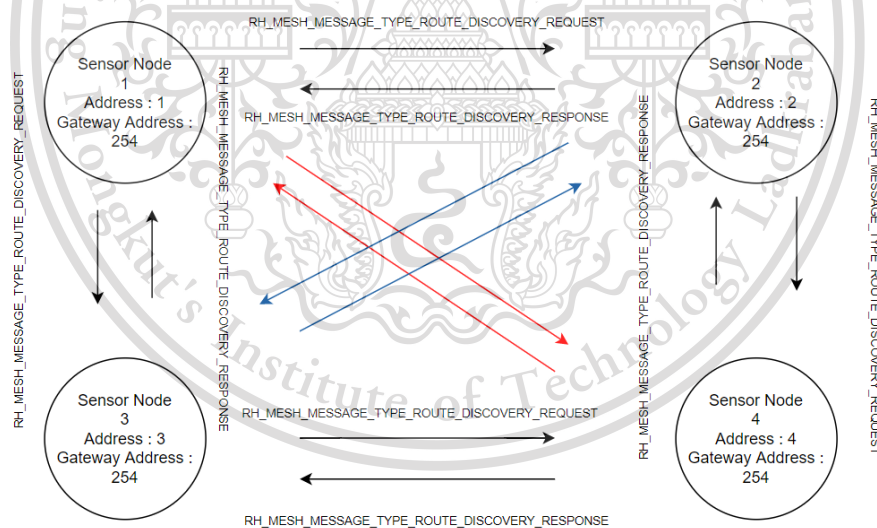
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษที่เปลี่ยนแปลงได้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 3.5 กรณีที่เพิ่ม Sensor Node เข้าโครงข่ายแบบ Mesh

Node	Next Hop (Before)	Next Hop (After)	Destination (Before)	Destination (After)	Gateway	Experiment	Result
1	2,4	2,3,4	2,4	2,3,4	No	Send 1 -> 4	1 -> 4
2	1,4	1,3,4	1,4	1,3,4	No	Send 2 -> 4	2 -> 4
3	not connected	1,2,4	not connected	1,2,4	No	Send 3 -> 4	3 -> 4
4	1,2	1,2,3	1,2	1,2,3	Yes		

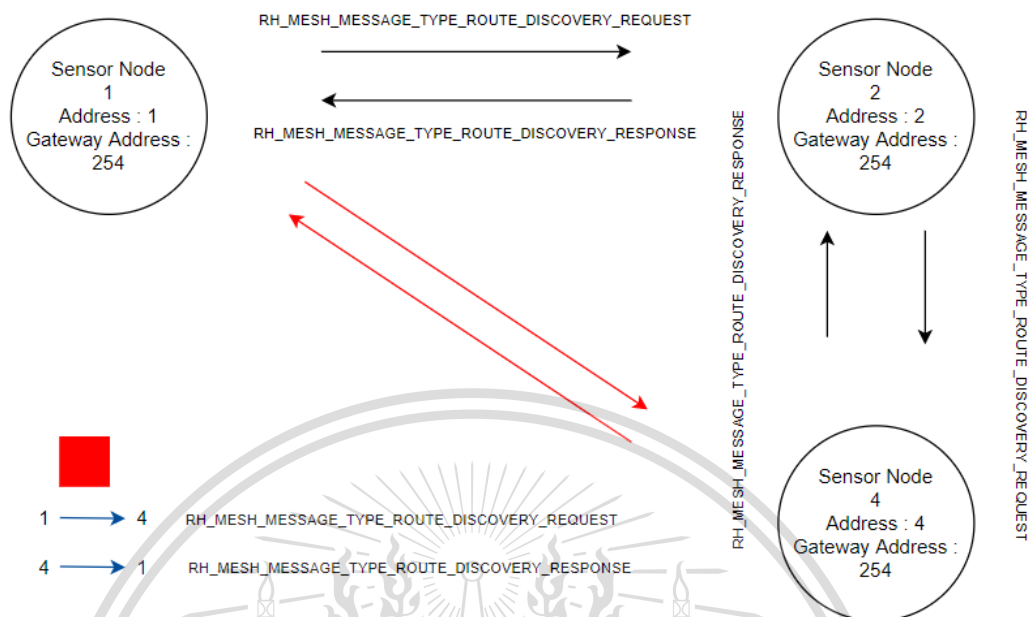


รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบ Mesh ของแต่ละ Sensor Node ในการทดสอบส่วนที่ 1 ถึง 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.22 การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบ Mesh ของแต่ละ Sensor Node ในการทดสอบส่วนที่ 5

### 3.4.7 ทดสอบสร้าง Web Application ที่มีการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับจาก Sensor Node ออกมาผ่านตาราง

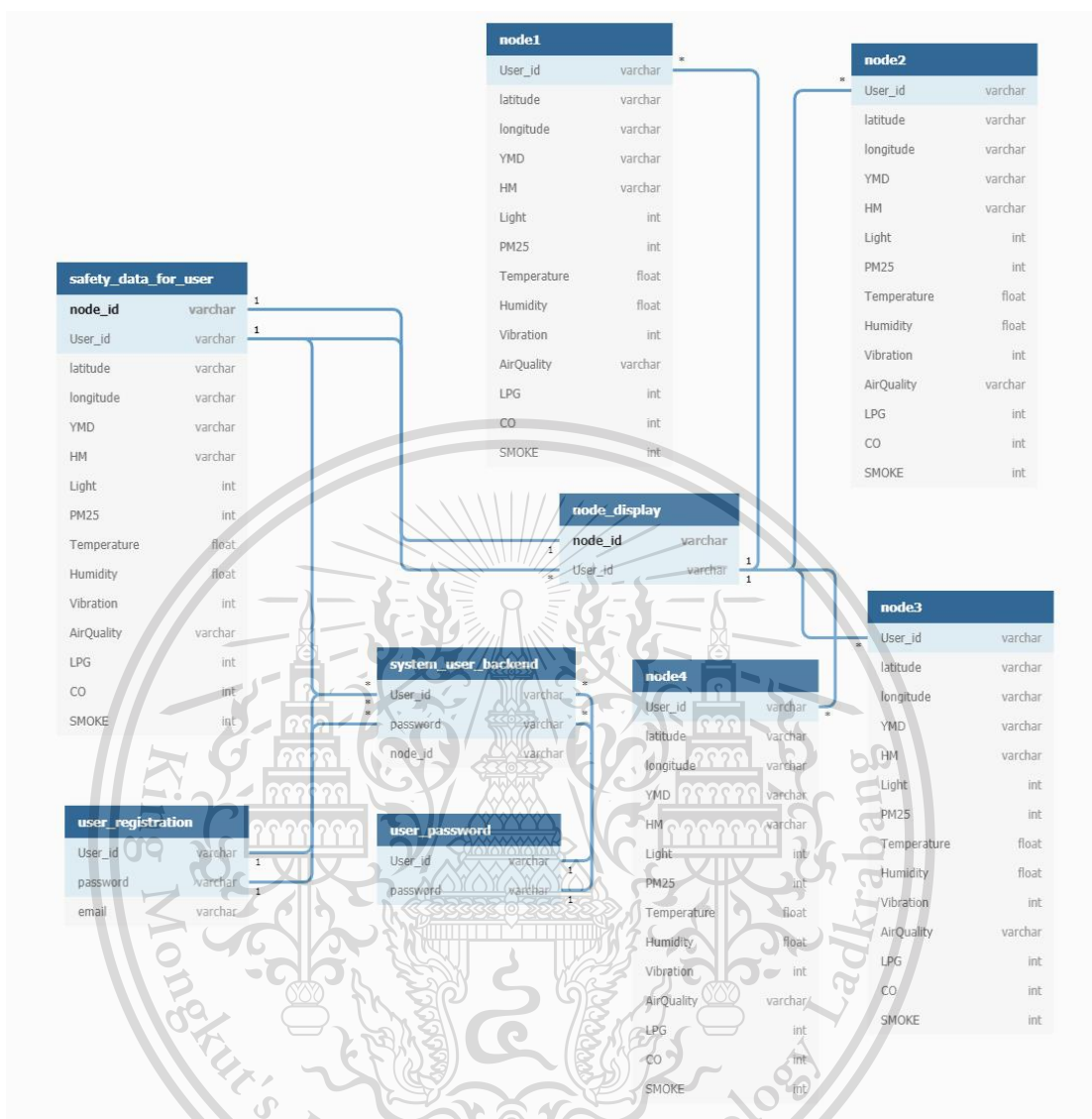
#### 3.4.7.1 การออกแบบสร้างฐานข้อมูล

เริ่มจากสร้างฐานข้อมูลที่ชื่อว่า register\_db และสร้างตารางเก็บข้อมูลที่เก็บข้อมูลต่างๆ ออกมา 2 ตารางชื่อ sensors และ userpass ซึ่งตาราง sensors มีไว้เก็บข้อมูลที่ได้รับมาจาก เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway ส่วนตาราง userpass มีไว้เก็บข้อมูลการลงทะเบียนของผู้ใช้งานระบบ โดยภายในตาราง sensors ประกอบด้วย Sensor\_ID, Latitude, Longitude, Year, Month, Day, Hour, Minute, Light, PM2\_5, Temperature, Humidity, Vibration, Air Quality, LPG, CO และ SMOKE สำหรับในส่วนของตาราง userpass ภายในประกอบด้วย username email และ password ภาพรวมการเชื่อมต่อข้อมูลในฐานข้อมูลและการเรียกใช้งานในส่วนแสดงข้อมูลเซนเซอร์แสดงได้ดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.23 ภาพรวมการเชื่อมต่อข้อมูลในฐานข้อมูล

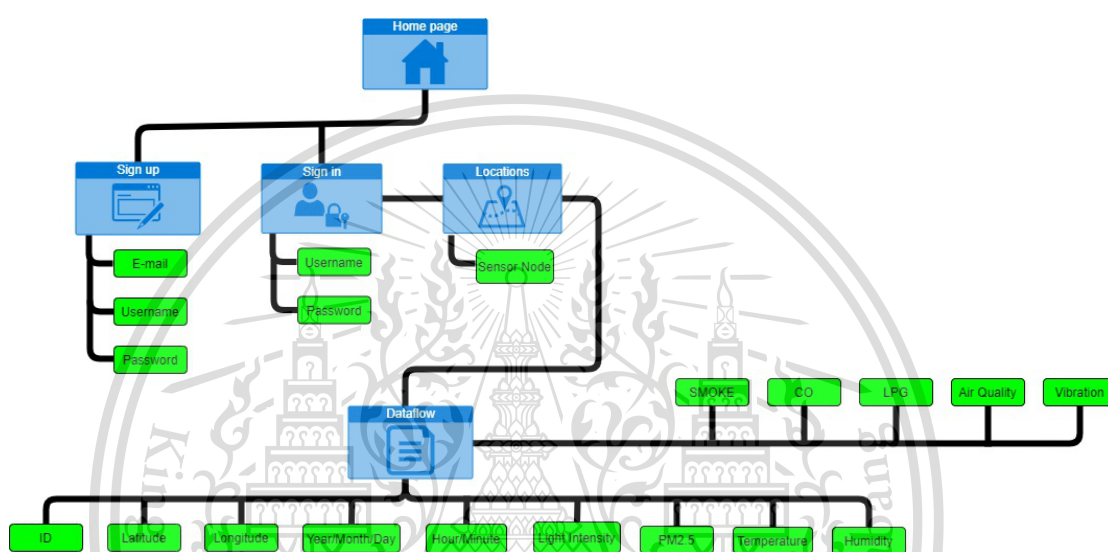
### 3.4.7.2 การจัดเก็บบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล และแสดงผลบน Web Application

เซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่เป็น Gateway จะทำการส่งข้อมูลที่รับมาจาก Sensor Node ไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ผ่านโปรโตคอล MQTT ได้โดยมีเงื่อนไขที่ว่า เซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่เป็น Gateway กับเครื่องเซิร์ฟเวอร์จะต้องเชื่อมต่อกันผ่าน Wi-Fi ภายในโครงข่ายเดียวกัน และมีการติดตาม หรือ Subscribe หัวข้อเดียวกันเท่านั้น เมื่อเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่เป็น Gateway สามารถส่งแพ็คเกจข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ได้สำเร็จ ก็ให้นำข้อมูลไปจัดเก็บบันทึกลงในฐานข้อมูล ภายในแพ็คเกจข้อมูลประกอบด้วยข้อมูล GPS ความเข้มแสง ค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความดันอากาศ และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ เมื่อเรียกใช้หน้า

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

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

เว็บ Web Application เซิร์ฟเวอร์ก็จะดึงข้อมูลในฐานข้อมูลออกมาแสดงบนหน้าเว็บที่แสดงในรูปแบบของตาราง และแสดงบนแผนที่ และสามารถเข้าสู่หน้าเว็บได้โดยการลงทะเบียน และเข้าสู่ระบบ แสดงหน้าต่างการลงทะเบียน และเข้าสู่ระบบ ถ้าเข้าสู่ระบบไม่ถูกต้องก็จะไม่สามารถเข้ายังหน้าเว็บ Web Application ได้ และไดอะแกรม Site map ของ Web Application เป็นดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ไดอะแกรม Site map ของ Web Application

#### 3.4.7.3 การใช้งานโปรโตคอล MQTT ผ่าน Mosquitto MQTT

เรียกใช้งานโปรแกรม Mosquitto MQTT เพื่อเชื่อมต่อเซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway กับเซิร์ฟเวอร์

#### 3.4.7.4 การสร้างเส้นทางเชื่อมต่อของ เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น

Gateway กับเซิร์ฟเวอร์

ทำการเชื่อมต่อ เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway กับเซิร์ฟเวอร์ผ่านโครงข่าย Wi-Fi เดียวกันจากนั้นทำการเชื่อมต่อ เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway กับโปรโตคอล MQTT ผ่าน Mosquitto MQTT โดยเริ่มจากการตั้ง Topic ชื่อว่า smart/sensor เมื่อทำการเชื่อมต่อสำเร็จ เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway จะสามารถทำการ Publish ข้อมูลไปยังหัวข้อ smart/sensor ได้ และในส่วนของเซิร์ฟเวอร์ก็จะมีเรียกใช้โค้ดที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก

เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway ที่ผ่านโปรแกรม Mosquitto MQTT หากมาข้อมูลจากหัวข้อเดียวกันที่ได้ Subscribe ไว้ ก็จะส่งข้อมูลไปจัดเก็บลงฐานข้อมูล

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.4.7.5 การส่งข้อมูลจาก Sensor Node ไปยัง เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway

ส่งข้อมูลจาก Sensor Node ไปยัง เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway เมื่อเซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway รับข้อมูลมาก็จะทำการ Publish ข้อความส่งไปยังหัวข้อ smart/sensor ผ่าน Mosquitto MQTT และทำการส่งต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ เพื่อให้เก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล

### 3.4.8 การทดสอบเก็บผลการทำงานจริง

การทดสอบเก็บผลจริง เป็นการทดสอบการติดต่อสื่อสารของ Sensor Node ที่มีโครงข่ายการสื่อสารแบบ LoRa Mesh ทดสอบโดยการแบ่งเป็น 4 กรณี โดยกรณีที่ 1 Sensor Node ขาดการติดต่อสื่อสารจำนวน 1 โหนด กรณีที่ 2 Sensor Node ขาดการติดต่อสื่อสารจำนวน 2 โหนด กรณีที่ 3 Sensor Node ทุกโหนดไม่สามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi สามารถเก็บข้อมูลและกรณีที่ 4 ต่อจากกรณีที่ 3 เมื่อ Sensor Node สามารถกลับมาเชื่อมต่อ Wi-Fi ได้ โดยที่กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เป็นจำลองสถานการณ์เมื่อ Sensor Node ที่ติดต่อสื่อสารด้วยโครงข่ายการสื่อสารแบบ LoRa Mesh เกิดขาดการติดต่อสื่อสาร Sensor Node อื่นๆ ยังสามารถติดต่อสื่อสารได้อยู่หรือไม่ ส่วนกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 เป็นการจำลองสถานการณ์เมื่อ Sensor Node ที่ติดต่อสื่อสารด้วยโครงข่ายการสื่อสารแบบ LoRa Mesh ไม่สามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi ได้เป็นช่วงเวลาหนึ่งมีการเก็บข้อมูลที่ไว้ได้หรือไม่ และเมื่อสามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi ได้แล้วสามารถส่งข้อมูลเท่าที่มีการเก็บไว้จากกรณีที่ 3 เก็บเข้าฐานข้อมูลได้หรือไม่

### 3.4.9 การทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบแจ้งเตือนค่าที่ Sensor Node ส่งไปยังฐานข้อมูลและทำการแจ้งเตือนค่าที่ได้รับไปยัง Line Group ที่ Line Notify อยู่เป็นสมาชิก โดยการทดสอบนี้ได้ตั้งค่าการแจ้งเตือนดังต่อไปนี้

- 1) ค่าความเข้มแสงมีเงื่อนไขว่าเมื่อค่าความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่า 200 lux ให้แจ้งเตือน
  - 2) ค่า PM 2.5 มีเงื่อนไขว่าเมื่อค่า PM 2.5 มีค่ามากกว่า 55 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรให้แจ้งเตือน
  - 3) ค่าอุณหภูมิมีเงื่อนไขว่าเมื่อค่าอุณหภูมิมีค่ามากกว่า 75 องศาเซลเซียส ให้แจ้งเตือน
  - 4) ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีเงื่อนไขว่าเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่ามากกว่าระดับ 6 ของ
- ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลึกซึ้งกว่านี้ในจุดประสงค์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- 5) ค่าดัชนีมีเงื่อนไขให้แจ้งเตือนอย่างสม่ำเสมอ
- 6) ค่า LPG มีเงื่อนไขว่ามีค่ามากกว่า 800 ppm ให้ทำการแจ้งเตือน
- 7) ค่า CO มีเงื่อนไขว่ามีค่ามากกว่า 9 ppm ให้ทำการแจ้งเตือน

ตารางที่ 3.6 เซนเซอร์ที่ใช้สำหรับการแจ้งเตือน และระดับการแจ้งเตือนที่กำหนดไว้

เซนเซอร์	หน้าที่	ค่าต่ำสุดที่วัดได้	ค่าสูงสุดที่วัดได้	ระดับการแจ้งเตือน
GY-GPS6MV2	ระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ และระบุเวลาแบบเรียลไทม์	-	-	-
LDR Photoresistor Sensor Module	วัดความเข้มแสง	0 lux	6976 lux	< 200 lux
801S Vibration Sensor Module	วัดความสั่นสะเทือน	ระดับ 1 ของมาตราวัด MMI	ระดับ 12 ของมาตราวัด MMI	ระดับ 6 ของมาตราวัดMMI
PMS3003	วัดค่าฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\geq 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$	> 55 $\mu\text{g}$
MQ-2 Gas Sensor	วัดค่าก๊าซ LPG, CO และควีน	200 ppm	10,000ppm	- LPG > 800 ppm - CO >9 ppm
BME680	วัดอุณหภูมิ, ความชื้น และคุณภาพอากาศ (AQI)	อุณหภูมิ: -40 °C	อุณหภูมิ: 85 °C	อุณหภูมิ > 75 °C

### 3.4.10 การทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน Line Official Account เมื่อ User มีการ Configuration ค่าการแจ้งเตือนใหม่

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเมื่อ User มีการตั้งค่าเงื่อนไขการแจ้งเตือนค่าที่ต้องการในหน้าต่าง Configuration ที่อยู่ใน Web Application เมื่อ Sensor Node ส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล และทำการแจ้งเตือนค่าตามที่ User ได้ทำการตั้งค่าไว้ไปยัง Line Official Account ที่เป็นบัญชีไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

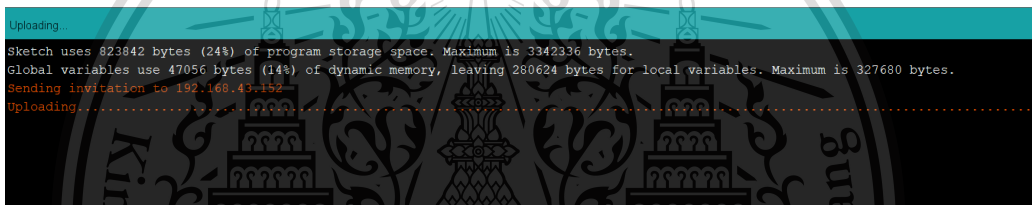
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

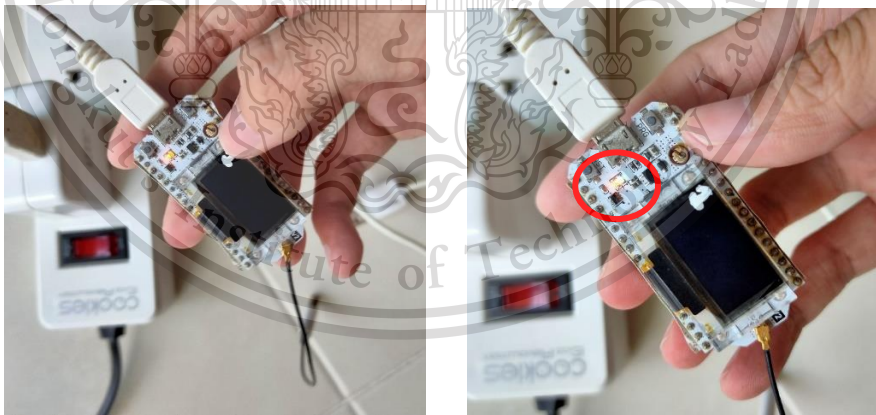
#### 4.1 ผลการทดสอบการอัปเดตซอฟต์แวร์ด้วยวิธีการ OTA ผ่าน WiFi

เมื่อทำการอัปเดตโปรแกรมแบบไร้สาย หากอัปเดตสำเร็จจะมีการขึ้นข้อความที่หน้าต่างสถานะบนโปรแกรม Arduino IDE เกิดขึ้นดังรูปที่ 4.1 ในบรรทัดที่ 3 ข้อความ “Sending invitation to 192.168.43.152” คือการรอการเชื่อมต่อกับ Sensor Node 1 ที่ IP Address ที่ 192.168.43.152 และในบรรทัดที่ 4 คือการอัปเดตโปรแกรม คำสั่ง หรือ ซอฟต์แวร์ได้สำเร็จ ซึ่งสามารถทราบได้จากการที่เกิดไฟกระพริบขึ้นดังรูปที่ 4.2



```
Uploading...  
Sketch uses 823842 bytes (24%) of program storage space. Maximum is 3342336 bytes.  
Global variables use 47056 bytes (14%) of dynamic memory, leaving 280624 bytes for local variables. Maximum is 327680 bytes.  
Sending invitation to 192.168.43.152  
Uploading.....
```

รูปที่ 4.1 หน้าต่างแสดงสถานะบนโปรแกรม Arduino IDE



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.2 ไฟกระพริบที่เกิดขึ้นหลังการอัปเดตคำสั่งด้วย OTA

(ก) LED Built-in ดับ

(ข) LED Built-in สว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 4.2 ผลการทดสอบ และปรับตั้งค่าเซนเซอร์

### 4.2.1 ผลการทดสอบเซนเซอร์ระบุตำแหน่ง

การทดสอบเริ่มต้นจากการที่ให้เซนเซอร์ระบุตำแหน่งรับตำแหน่งของทั้ง 5 สถานที่ คือ อาคารเรียนภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โรงอาหาร-โรงเอน อาคาร HM หอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และอาคารคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ตามลำดับและนำค่าละติจูดกับลองจิจูดที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่าละติจูดกับลองจิจูดของแอปพลิเคชัน GPS Test ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และระยะตำแหน่งสถานที่ระหว่าง Sensor และ GPS Test แสดงในแผนที่ที่ได้ดังรูปที่ 4.3

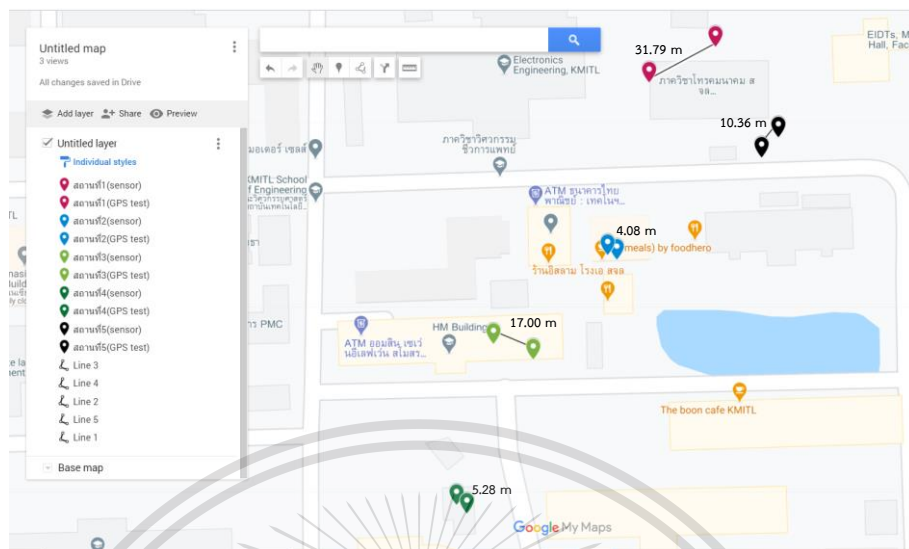
ตารางที่ 4.1 ค่าละติจูดกับลองจิจูดที่วัดได้และค่าละติจูดกับลองจิจูดจาก Google Map

จำนวนสถานที่	ชื่อสถานที่	Latitude (Sensor)	Longitude (Sensor)	Latitude (GPS Test)	Longitude (GPS Test)	Distance (m)
1	อาคารเรียนภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม	13.727521	100.775914	13.727663	100.776211	31.79
2	โรงอาหาร-โรงเอน	13.726884	100.77579	13.7269	100.775756	4.08
3	อาคาร HM	13.726578	100.775333	13.726521	100.775479	17
4	หอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	13.725997	100.775196	13.725967	100.775234	5.28
5	อาคารคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	13.727325	100.776391	13.727252	100.776331	10.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.3 ระยะตำแหน่งสถานที่ระหว่าง Sensor และ GPS Test แสดงในแผนที่

จากนั้นนำค่าละติจูดกับลองจิจูดของทั้งเซนเซอร์ และ แอปพลิเคชัน GPS Test มาผ่านการคำนวณค่าความผิดพลาด หรือ error เป็นหน่วยเมตร (m) โดยใช้การคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แสดงค่าออกมาดังตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ค่า Mean และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

Mean (m)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) (m)
13.702	11.32182052

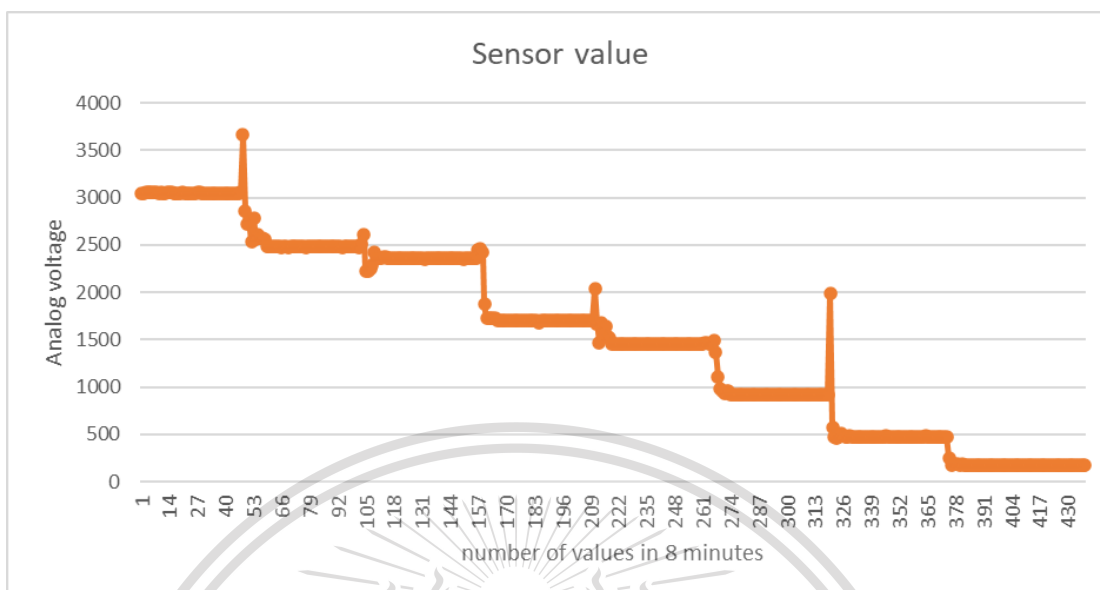
ซึ่งจากการทดสอบเซนเซอร์ระบุตำแหน่งสามารถสรุปได้ว่า GPS Module GY-GPS6MV2 สามารถรับค่าตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ และให้ค่าความคลาดเคลื่อน หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานออกมาเป็นหน่วยเมตร ได้  $\pm 11.32182052$  เมตร

#### 4.2.2. ผลการทดสอบเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

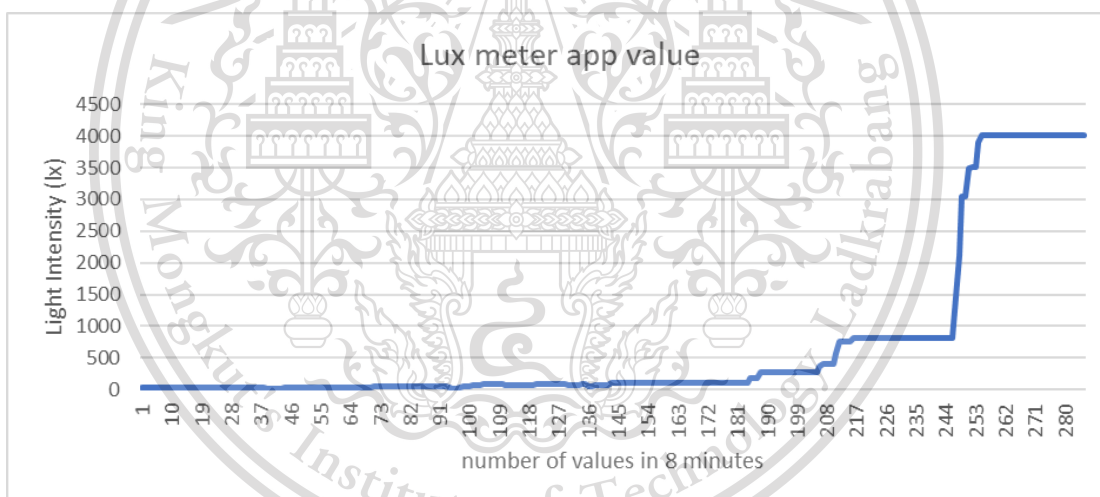
การทดสอบเริ่มต้นจากการวัดค่าความเข้มแสงจากทั้ง LDR Photoresistor Sensor Module และแอปพลิเคชัน Lux meter จากนั้นนำค่าที่วัดได้ไปบันทึกผลลงตาราง และนำค่าจากตาราง ไปสร้างเป็นแผนภูมิ หรือกราฟ ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งแกนนอนเป็นแกนจำนวนข้อมูลที่เก็บได้ใน 8 นาที ส่วนแกนตั้งเป็นค่า Analog Voltage ของ LDR Photoresistor Sensor Module และกราฟ ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งแกนนอนเป็นแกนจำนวนข้อมูลที่เก็บได้ใน 8 นาที ส่วนแกนตั้งเป็นค่าความเข้มแสง มีหน่วยเป็นลักซ์ (lx)

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

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



รูปที่ 4.4 กราฟค่า Analog voltage ของ LDR Photoresistor Sensor Module



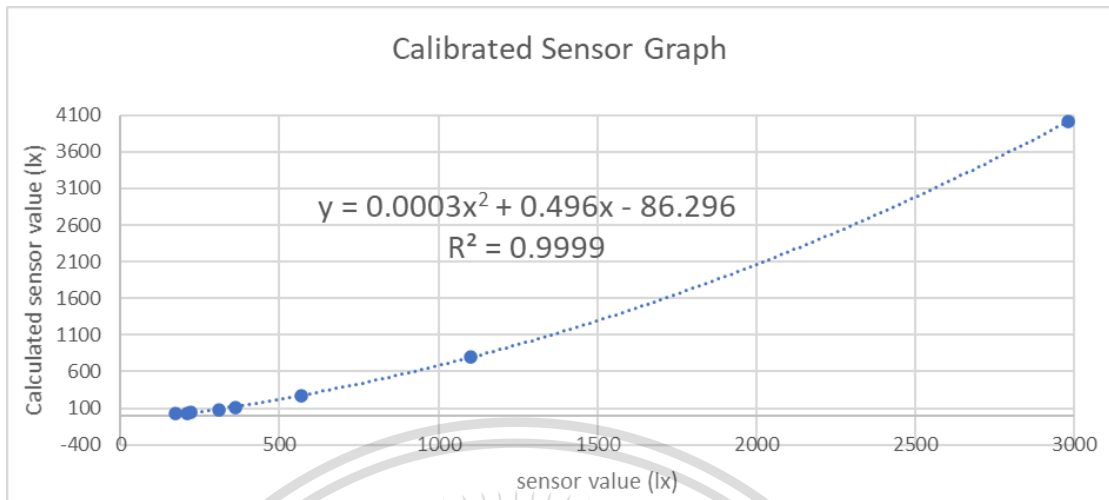
รูปที่ 4.5 กราฟค่าความเข้มแสงของแอปพลิเคชัน Lux meter

จากรูปที่ 4.4 สาเหตุที่ทำให้ค่าจากเซนเซอร์ได้ผลลัพธ์ดังรูปเพราะ ความต้านทานของ LDR จะลดลงตามความเข้มแสง และทำการทดสอบ โดยการเลื่อนไฟฉายให้เข้าใกล้ LDR Photoresistor Sensor Module ที่เล็กน้อย จากนั้นทำการนำกราฟดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ไปทำการปรับค่าของ LDR Photoresistor Sensor Module ให้มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าของแอปพลิเคชันของ Lux meter โดยได้ออกมาเป็นกราฟดังรูปที่ 4.6 และสมการที่ 4.1 ซึ่งเป็นสมการเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



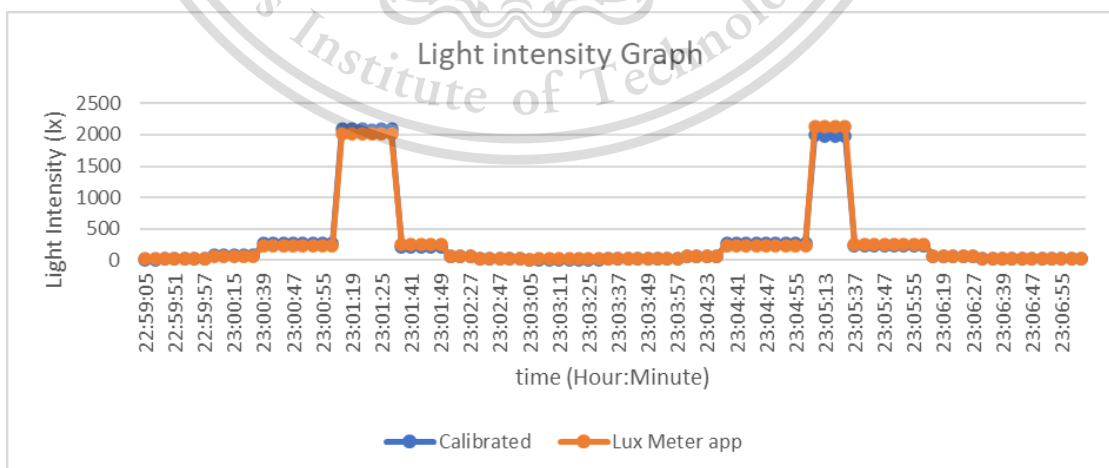
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการปรับค่าความเข้มแสงของ LDR Photoresistor Sensor Module

$$y = 0.0003x^2 + 0.496x - 86.296 \quad (4.1)$$

โดยที่  $y$  = Calculated sensor value มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lx)

$x$  = Light Intensity from LDR Photoresistor Sensor Module มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lx)

จากนั้นนำสมการที่ได้จากการปรับค่าความเข้มแสงของ LDR Photoresistor Sensor Module มาทำการปรับค่า และวัดค่าเปรียบเทียบกับแอปพลิเคชัน Lux meter จากนั้นบันทึกผลลงตาราง และนำค่าจากตารางมาแสดงเป็นแผนภูมิ หรือกราฟดังรูปที่ 4.7 ซึ่งแกนนอนเป็นแกนจำนวนข้อมูลที่เก็บได้ใน 8 นาที ส่วนแกนตั้งเป็นค่าความเข้มแสง มีหน่วยเป็นลักซ์ (lx)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความเข้มแสงที่ถูกปรับค่าของ LDR Photoresistor Sensor Module เทียบกับแอปพลิเคชัน Lux meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น มิยอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จากนั้นทำการหาค่าความผิดพลาด หรือ error เซึ่งสถิติด้วยหลักการ Mean Squared Error (MSE) แสดงดังตารางที่ 4.3

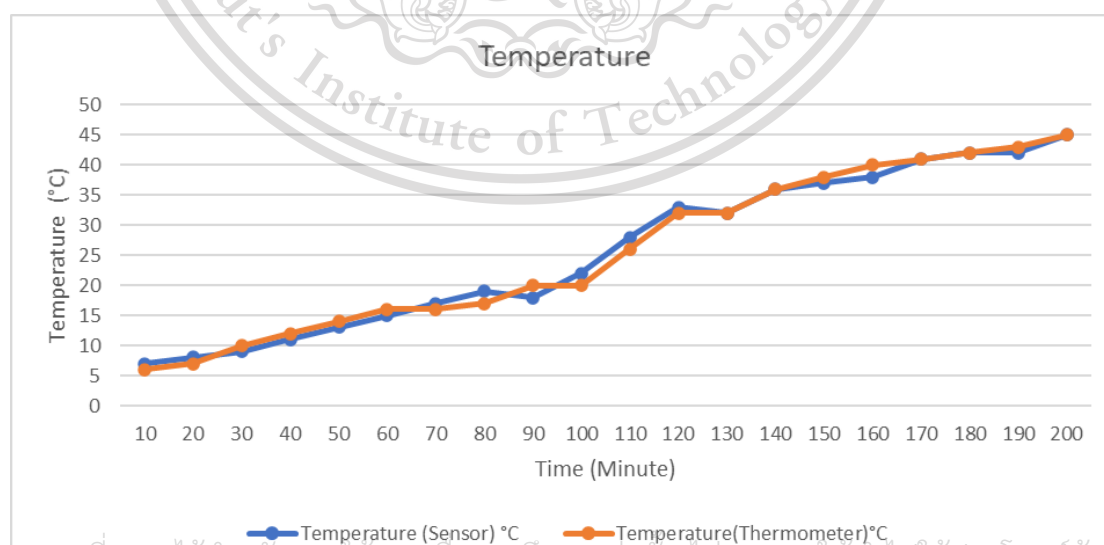
ตารางที่ 4.3 ค่า Mean Squared Error (MSE) ของความเข้มแสง

MSE <sup>0.5</sup> Light Intensity (lx)	38.8109
---	---------

จากค่าความผิดพลาดที่ได้จากตารางที่ 4.3 ทำให้ทราบว่าค่าความเข้มแสงที่อ่านได้จาก LDR Photoresistor Sensor Module ให้ค่าความผิดพลาดเป็นหน่วยลักซ์ (lx) ที่ 38.8109 lx

#### 4.2.3 ผลการทดสอบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้น

โดยการทดสอบเริ่มต้นจากการให้ BME680 ทำการรับค่าอุณหภูมิ และความชื้น จากนั้นทำการแสดงผลผ่าน Serial Monitor และทำการบันทึกผลเก็บไว้ รวมถึงการบันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้จาก Thermometer และค่าความชื้นที่ได้จาก Xiaomi Mijia Thermometer เช่นกัน ซึ่งจะทำให้การบันทึกผลการทดสอบทุก 10 นาที โดยการทดสอบนี้จะบันทึกผลการทดสอบทั้งหมด 10 จุด จุดละ 10 นาที เมื่อทดสอบครบทั้งหมด 10 จุด จะทำการนำข้อมูลที่บันทึกนั้นมาสร้างเป็นแผนภูมิหรือกราฟ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการอ่านค่าอุณหภูมิเทียบกับเวลาของ BME680 กับ Thermometer และรูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการอ่านค่าความชื้นเทียบกับเวลาของ BME680 กับ Xiaomi Mijia Thermometer

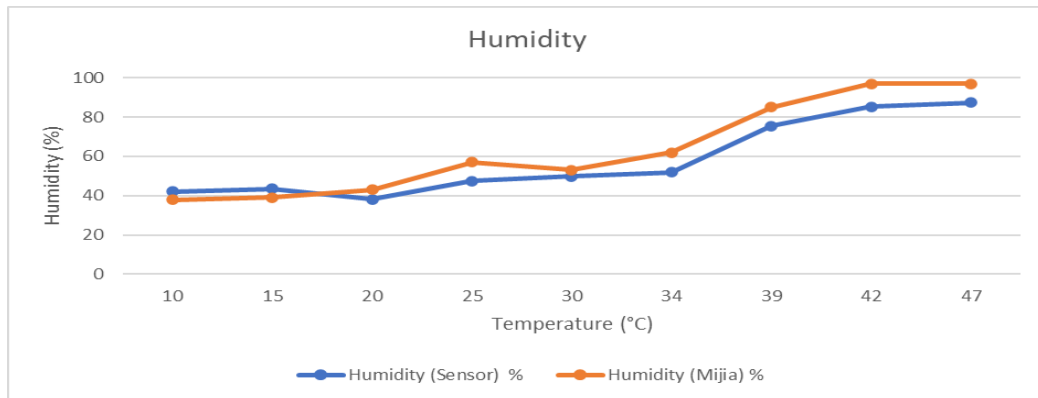


รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการอ่านค่าอุณหภูมิของ BME680 กับ Thermometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

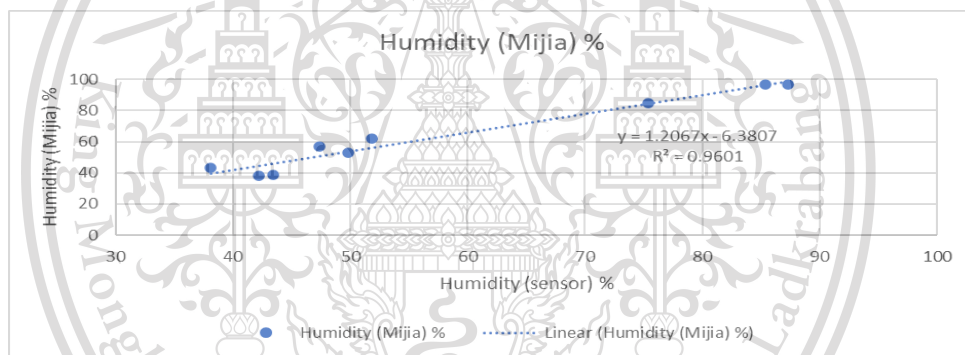
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการอ่านค่าความชื้นของ BME680 กับ Xiaomi Mijia

#### Thermometer

จากนั้นทำการปรับค่าของ BME680 โดยใช้วิธีการ Regression ทำให้ได้ออกมาเป็นแผนภูมิเส้นตรงดังรูปที่ 4.10 แสดงกราฟเส้นตรงของการ Regression ค่าความชื้น



รูปที่ 4.10 กราฟเส้นตรงของการ Regression ค่าความชื้น

ซึ่งจากกราฟที่แสดงดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ทำให้ได้สมการเส้นตรงดังสมการที่ 4.2 แสดงสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟรูปที่ 4.10

$$y = 1.2067x + 6.3807 \quad (4.2)$$

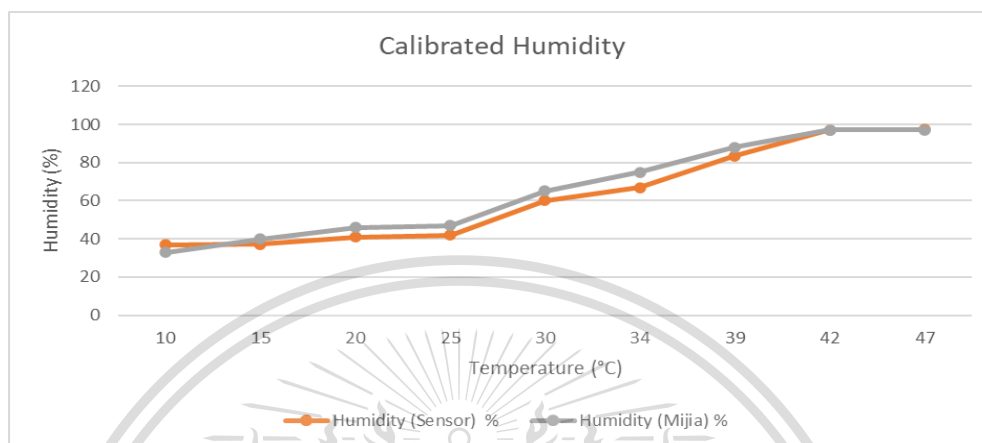
โดยที่  $y$  = Mijia's humidity value มีหน่วยเป็น %  
 $x$  = Sensor's humidity value มีหน่วยเป็น %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งเป็นการนำข้อมูลที่ได้มาปรับค่าเซนเซอร์ BME680 ไปแทนในโปรแกรม และทำการทดสอบวัดค่าความชื้นอีกครั้ง โดยทดสอบแบบเดิมและนำค่าที่บันทึกได้มาสร้าง

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

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

เป็นแผนภูมิหรือกราฟได้ดังรูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการอ่านค่าความชื้นเทียบกับอุณหภูมิของ BME680 ที่ถูกปรับค่าแล้วกับ Xiaomi Mijia Thermometer



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการอ่านค่าความชื้นของ BME680 ที่ถูกปรับค่าแล้วกับ Xiaomi Mijia Thermometer

จากนั้นทำการหาค่าความผิดพลาด หรือค่า Error ทางสถิติด้วยหลักการ Mean Squared Root (MSE) ซึ่งจะได้ค่า Error ของอุณหภูมิ และความชื้นดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า Mean Squared Error (MSE) ของอุณหภูมิ และความชื้น

MSE <sup>0.5</sup> Temperature (°C)	MSE <sup>0.5</sup> Humidity (%)
1.224745	4.5251151

จากค่าความผิดพลาดที่ได้จากตารางที่ 4.4 ทำให้ทราบว่าค่าอุณหภูมิ และความชื้นที่อ่านได้จาก BME680 ให้ค่าความผิดพลาดสำหรับอุณหภูมิเป็น 1.224745 °C และความชื้นเป็น 4.5251151%

#### 4.2.4 ผลการทดสอบเซนเซอร์สั่นสะเทือน

การทดสอบเริ่มต้นจากการให้ 801S Vibration Module รับค่าการสั่นสะเทือน และแสดงผลผ่าน Serial Plotter พร้อมกับการให้แอปพลิเคชัน Vibrometer อ่านค่าการสั่นสะเทือน ซึ่งการสั่นสะเทือนที่ใช้สำหรับการทดสอบจะเกิดจากการกระทบกันระหว่างวัตถุกับผิวสัมผัสเพื่อให้เกิดการสั่นสะเทือน และจะใช้การอ้างอิงค่าเริ่มต้นสำหรับการเกิดแผ่นกั้นไหวสำหรับ 801S Vibration Module ตามมาตรฐานวัดเมอร์คัลลีที่ปรับปรุงแล้ว (MMI) อยู่ที่ระดับ VI ดังตารางที่ 2.2 ที่ระบุว่า

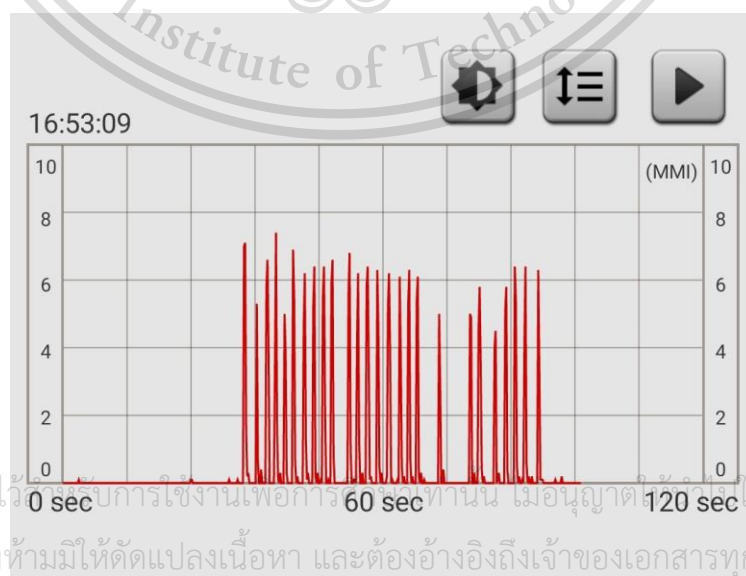
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

“รู้สึกว่เกิดแผ่นดินไหวกันได้ทุกคน หลายๆ คนตกใจวิ่งออกจากบ้าน เครื่องประดับบ้านหนักๆ บางชิ้นเคลื่อนได้ กรณีน้อยมากที่ปูนฉาบผนังจะร่วงหล่นลงมาความเสียหายถือว่าเล็กน้อย” โดยการทดสอบนี้จะทำการเทียบค่าสั่นสะเทือนที่ได้จากเซนเซอร์กับแอปพลิเคชัน และปรับค่าความต้านทานบน 801S Vibration Module หรือความไวในการรับค่าของเซนเซอร์ จนถึงระดับที่ทำให้ค่าของเซนเซอร์เป็น 1 หรือ On เมื่อถึงระดับความรุนแรงที่ระดับ VI ขึ้นไป ตามมาตราวัดเมอร์คัลลีที่ปรับปรุงแล้ว (MMI) จากนั้นเมื่อได้ทำการทดสอบขณะเกิดการสั่นสะเทือนพร้อมกันได้ผลของ 801S Vibration Module ออกมาบน Serial Plotter ดังรูปที่ 4.12 และผลที่ได้จากแอปพลิเคชัน Vibrometer ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 Serial Plotter ของ 801S Vibration Module หลังปรับค่าความต้านทานสำเร็จ



รูปที่ 4.13 หน้าจอแสดงผลจากแอปพลิเคชัน Vibrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จาก Serial plotter ของเซนเซอร์ที่แสดงดังรูปที่ 4.12 เมื่อเทียบกับค่าจากกราฟที่แสดงผลบนแอปพลิเคชันดังแสดงในรูปที่ 4.13 สามารถสังเกตได้ว่าเมื่อเกิดการสั่นสะเทือนถึงระดับ VI ขึ้นไป ตามมาตราวัดเมอร์คัลลีที่ปรับปรุงแล้ว (MMI) จะทำให้สถานะเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ซึ่งสรุปได้ว่าเซนเซอร์ 801S Vibration Module สามารถปรับค่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก 0 เป็น 1 เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนถึงระดับ VI ขึ้นไปตามมาตราวัดเมอร์คัลลีที่ปรับปรุงแล้ว (MMI) ในบทที่ 2 ตารางที่ 2.2

### 4.3 ผลการทดสอบระยะ และอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ

การทดสอบในส่วนแรก คือการเลือกค่าเสาอากาศเพื่อให้ได้ระยะทางในการรับส่งข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับ Sensor Node เมื่อทำการปรับค่าเสาอากาศ และให้ Heltec WiFi LoRa 32(V2) ที่ทำหน้าที่เป็นฝั่งส่ง ส่งข้อมูลไปยังฝั่งรับครบทั้ง 4 รูปแบบ ทำให้ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเสาอากาศ 4 รูปแบบ และระยะทางที่ได้จากการปรับค่าเสาอากาศ

Modem config	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
distance (m)	398	702	695	398
RSSI (dBm)	-122	-124	-122	-121

จากผลการทดสอบที่ได้จากตารางที่ 4.5 จะพบว่ารูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 4 ให้ระยะในการรับส่งข้อมูลที่น้อยมาก คือ 398 m เมื่อเทียบกับ อีก 2 รูปแบบ คือรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 ซึ่งได้ค่าระยะทางที่ 702 m และ 695 m ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ 2 รูปแบบ คือรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 เฉพาะทั้ง 2 รูปแบบให้ระยะทางที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเทียบกับค่า RSSI ที่วัดได้จากรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 คือ -124 dBm และ -122 dBm ตามลำดับ พบว่าค่าเสาอากาศในรูปแบบที่ 2 ให้ค่า RSSI ต่ำกว่ารูปแบบที่ 3 ในระยะทางที่ห่างกันไม่มาก ดังนั้นจึงเลือกค่าเสาอากาศในรูปแบบที่ 3 คือ BW 250 kHz CR 4/8 SF 8 (256 chips/symbol) สำหรับการทดสอบในส่วนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถใช้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้าไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ต่อมาในการทดสอบส่วนที่ 2 คือการเลือกค่าเสาอากาศที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จของอุปกรณ์ จากผลการทดสอบในส่วนแรกให้ค่าที่เหมาะสม คือ BW 250 kHz CR 4/8 SF 8 (256 chips/symbol) จากนั้นทำการนำค่าเสาอากาศดังกล่าวมาทดสอบอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ โดยการปรับค่า Code Rate เป็น 4/5 4/6 4/7 4/8 ตามลำดับ และการทดสอบในส่วนนี้จะบันทึกจำนวนแพ็คเก็ตที่ฝั่งส่งทำการส่งข้อมูลไปยังฝั่งรับสำเร็จในแต่ละจุดทดสอบ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 จำนวนแพ็คเก็ตที่ฝั่งส่งทำการส่งข้อมูลไปยังฝั่งรับสำเร็จในแต่ละจุดทดสอบ

ระยะ	150	250	350	450	550	650	700	750
Bw250Cr48Sf256	90	90	90	90	90	81	24	6
Bw250Cr47Sf256	90	90	90	90	90	75	0	0
Bw250Cr46Sf256	90	90	90	90	81	66	0	0
Bw250Cr45Sf256	90	90	90	90	75	45	0	0

จากนั้นนำค่าที่บันทึกจากตารางที่ 4.6 มาทำการหาค่าอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ และแสดงดังตารางที่ 4.7 และนำค่าจากตารางที่ 4.7 มาสร้างกราฟ ดังรูปที่ 4.14 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จเทียบกับระยะทางในแต่ละจุด และรูปที่ 4.15 อัตราความผิดพลาดของแพ็คเก็ต (PER) เทียบกับค่า RSSI

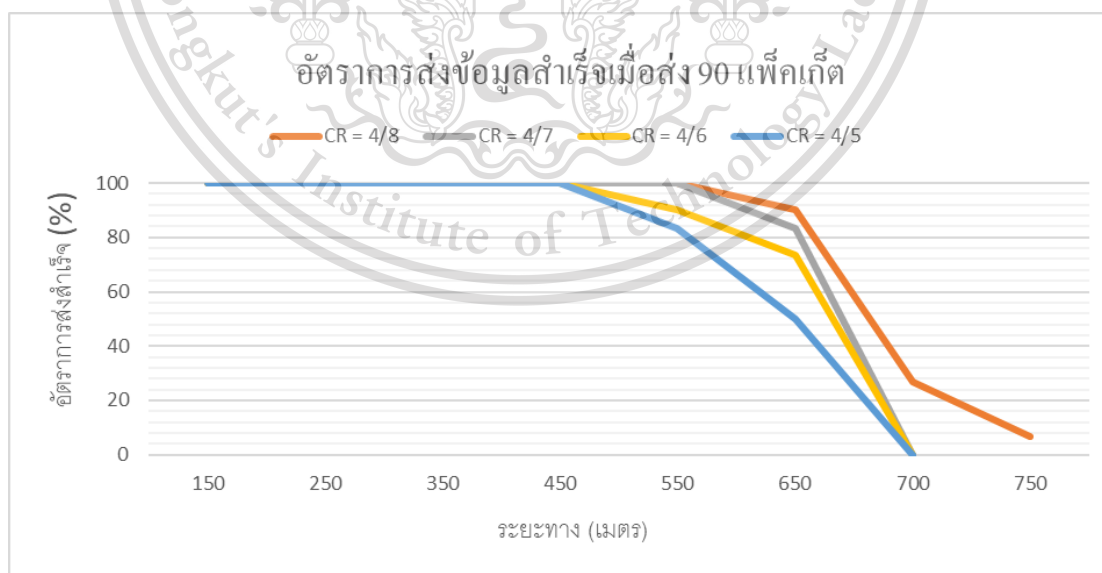
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.7 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จของอุปกรณ์ และค่า RSSI ที่วัดได้ในแต่ละจุด

ระยะทาง (m)	Bw250Cr48Sf256		Bw250Cr47Sf256		Bw250Cr46Sf256		Bw250Cr45Sf256	
	RSSI	อัตราการ ส่งข้อมูล สำเร็จ (%)	RSSI	อัตราการ ส่งข้อมูล สำเร็จ (%)	RSSI	อัตราการ ส่งข้อมูล สำเร็จ (%)	RSSI	อัตราการ ส่งข้อมูล สำเร็จ (%)
150	119	100	119	100	119	100	119	100
250	119	100	119	100	119	100	119	100
350	119	100	119	100	119	100	119	100
450	119	100	119	100	119	100	119	100
550	119	100	119	100	121	90	122	83.33
650	124	90	124	83.33	125	73.33	126	50
700	127	26.67	125	0	126	0	127	0
750	129	6.67	126	0	127	0	128	0

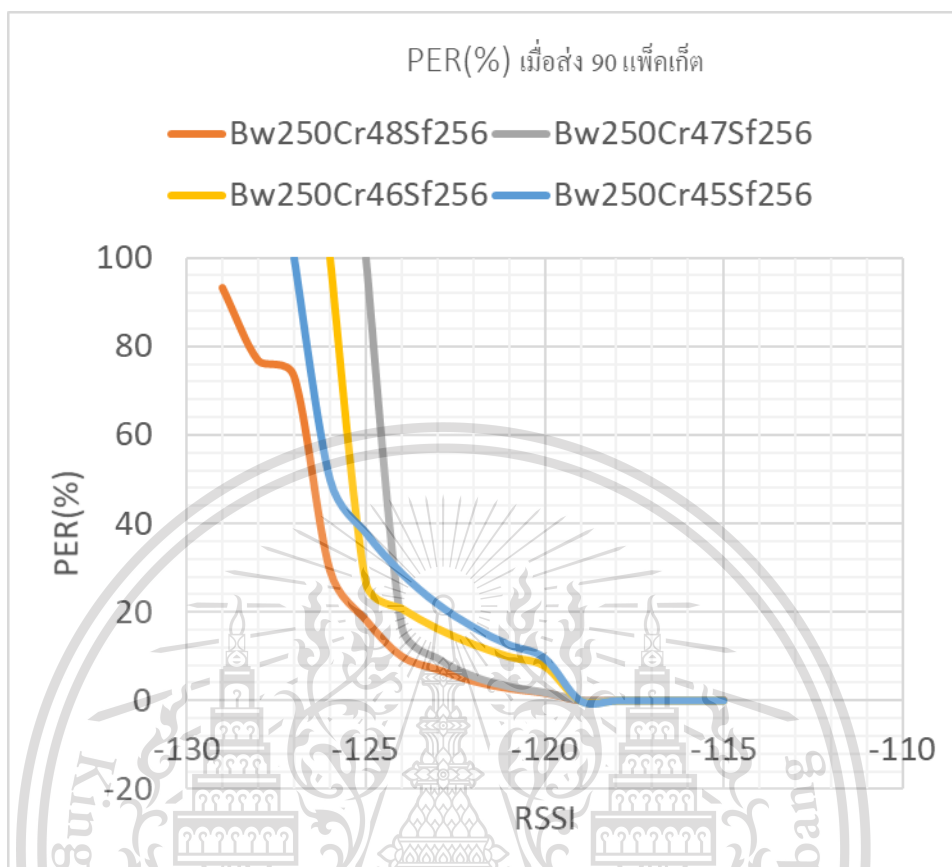


รูปที่ 4.14 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จเทียบกับระยะทางในแต่ละจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.15 อัตราความผิดพลาดของแพ็คเก็ตเทียบกับค่า RSSI

จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่า Code Rate ที่ทำการปรับ แล้วให้อัตราการส่งข้อมูล และระยะที่ดี คือค่า Code Rate = 4/8 ซึ่งจากรูปที่ 2 สามารถสังเกตได้ว่าค่า Code Rate ที่ 4/7 4/6 และ 4/5 ให้อัตราความผิดพลาดของแพ็คเก็ต (PER) ที่สูงกว่า Code Rate ที่ 4/8 ที่ค่า RSSI ในจุดเดียวกันตามลำดับ และจากรูปที่ 1 สามารถสังเกตได้ว่า Code Rate 4/8 สามารถให้ระยะในการรับส่งข้อมูลที่สูงกว่า Code Rate ที่ 4/7 4/6 และ 4/5 ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าเสาอากาศที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้กับ Sensor Node คือ BW 250 kHz CR 4/8 SF 8 (256 chips/symbol)

โดยการทดสอบส่วนนี้ เมื่อนำไปเทียบกับ datasheet จะพบว่าได้ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลรวมถึงอัตราการความผิดพลาดของแพ็คเก็ต (PER) ที่ต่ำกว่ามาก สาเหตุเนื่องจากสถานที่ทำการทดสอบอาจมีปัจจัยภายนอกที่ส่งผลให้ระยะในการรับส่งข้อมูลได้ระยะที่ต่ำ และ PER ที่ไม่ใกล้เคียงกับค่า PER ใน datasheet เช่น สิ่งปลูกสร้าง พาหนะ และสัญญาณรบกวน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

#### 4.4 ผลการทดสอบวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์

สำหรับการทดสอบนี้จะทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ในการทำงาน 1 รอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือกรณีสามารถส่งข้อมูลไปยัง Gateway ได้ และกรณีที่ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยัง Gateway ได้ แสดงดังตารางที่ 4.8 และพลังงานไฟฟ้าที่ Sensor Node ใช้ต่อ 1 วัน แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 ค่ากระแสไฟฟ้าของ Sensor Node

อัตราการใช้กระแสไฟฟ้าต่อ 1 ช่วงการทำงาน			
สามารถส่งข้อมูลไปยัง Gateway ได้	(A)	ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยัง Gateway ได้	(A)
รับข้อมูลจากเซนเซอร์ GPS	0.13	รับข้อมูลจากเซนเซอร์ GPS	0.13
รับข้อมูลจากเซนเซอร์วัด PM2.5	0.11	รับข้อมูลจากเซนเซอร์วัด PM2.5	0.11
รับข้อมูลจากเซนเซอร์แสง	0.06	รับข้อมูลจากเซนเซอร์แสง	0.06
รับข้อมูลจากเซนเซอร์สั่นสะเทือน	0.06	รับข้อมูลจากเซนเซอร์สั่นสะเทือน	0.06
รับข้อมูลจากเซนเซอร์ BME680	0.06	รับข้อมูลจากเซนเซอร์ BME680	0.06
รับข้อมูลจากเซนเซอร์ควีน	0.18	รับข้อมูลจากเซนเซอร์ควีน	0.18
รับข้อมูลเซนเซอร์รวม	0.6	รับข้อมูลเซนเซอร์รวม	0.6
ส่งข้อมูล และเข้าสู่โหมด Relay	0.41	พยายามส่ง และจัดเก็บข้อมูล	0.41
รวมทั้งหมด	1.01	รวมทั้งหมด	1.01
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 วัน โดยประมาณ	24	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 วัน โดยประมาณ	24

ตารางที่ 4.9 พลังงานไฟฟ้าของ Sensor Node ที่นำไปใช้ต่อ 1 วัน

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 วัน (W/Day)	
สามารถส่งข้อมูลไปยัง Gateway ได้	ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยัง Gateway ได้
120	120

จากตารางที่ 4.9 พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 วันของ Sensor Node เป็น 120W หมายความว่าพลังงานไฟฟ้าที่ Sensor Node ใช้ต่อ 1 ชั่วโมงจะมีค่าเป็น 5W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 4.5 การทดสอบรูปแบบการค้นหาเส้นทางของโครงข่าย Mesh Topology และการทำงานของโครงข่าย Mesh Topology ของระบบ

### 4.5.1 ผลการทดสอบ

4.5.1.1 ผลการทดสอบส่วนแรก Sensor Node ทุกตัวอยู่ในระยะสื่อสารกับปลายทาง

การทดสอบเริ่มต้นจากการสังเกตที่ Serial Monitor ของ Sensor Node 1 ดังรูปที่ 4.16 ที่มีหน้าที่ในการส่งข้อมูลที่รับค่าได้จากเซนเซอร์ไปยังปลายทาง คือ Sensor Node 4 ที่เมื่อทำการเชื่อมต่อกับโครงข่าย Wi-Fi สำเร็จ จะทำการเปลี่ยน Address จาก 4 เป็น 254 เริ่มจาก Sensor Node 1 จะทำการค้นหาเส้นทางไปยังปลายทาง โดยทำการส่งข้อความร้องขอ คือ “RH\_MESH\_MESSAGE\_TYPE\_ROUTE\_DISCOVERY\_REQUEST” ไปยังปลายทาง ผ่านการกระจายข้อความร้องขอ คือ “RH\_MESH\_MESSAGE\_TYPE\_ROUTE\_DISCOVERY\_REQUEST” นี้ไปยัง Sensor Node ทุกตัวที่อยู่ในโครงข่าย เมื่อ Sensor Node 4 ที่เป็นปลายทางได้รับข้อความดังกล่าว ก็ จะ ส่ง ข้อ ความ ต อ บ ก ลั บ คือ “RH\_MESH\_MESSAGE\_TYPE\_ROUTE\_DISCOVERY\_RESPONSE” กลับไปยัง Sensor Node 1 ผ่านการส่งแบบ Unicast จากนั้นจึงเริ่มทำการสร้างเส้นทาง และทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทางคือ Sensor Node 4 เป็นรูปแบบ Hop-to-hop จากรูปที่ 4.17 บรรทัดที่ 1 คือข้อมูลที่ Sensor Node 1 ต้องการส่ง บรรทัดที่ 2 คือส่งข้อมูลไปที่ Address 254 ที่ตอนนี้เป็น Address ปัจจุบันของ Sensor 4 บรรทัดที่ 3 คือ การส่งข้อมูลสำเร็จ บรรทัดที่ 4 กับ 5 คือ การรับข้อความ ซึ่งข้อความที่ได้คือ “0xFE: Hello Back from Gateway(254)” บรรทัดที่ 6 แสดงถึงค่า RSSI ว่าสัญญาณที่ได้รับมามีค่าคือ dBm จากรูปคือมีค่า RSSI ที่ -56 dBm และจากรูปที่ 4.17 ตารางเส้นทาง หรือ Routing table บน Serial Monitor ของ Sensor Node 1 แสดงให้เห็นว่า Address ปลายทาง คือ 254 Next Hop คือได้มีการส่งผ่าน Sensor Node ใดบ้าง ซึ่งจากรูปที่ 4.17 หมายถึง ส่งมายัง Sensor Node 4 ที่มี Address เป็น 254 โดยตรง และ State ที่ปรากฏในรูปที่ 4.17 คือ 2 หมายถึง สามารถใช้งานได้ หรือมีความพร้อมในการใช้งาน หาก เป็น 0 หมายถึง ไม่พร้อมใช้งาน และหากเป็น 1 หมายถึง อยู่ในระหว่างการค้นหาเส้นทาง

```
12:07:47.870 -> 001,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,300.68,0,0.00,0.00,-123-,0.00
12:07:47.916 -> Sending to Gateway: 254
12:07:48.195 -> Send Message Finished!
12:07:48.662 -> Received Message
12:07:48.708 -> got reply from : 0xFE: Hello Back from Gateway(254)
12:07:48.755 -> RSSI: -56
```

รูปที่ 4.16 Serial Monitor ของ Sensor Node 1

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นผู้ที่มีเหตุติดขอร้องเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Dest: 254 Next Hop: 254 State: 2**

รูปที่ 4.17 ตารางเส้นทางของ Sensor Node 1

นอกจากนี้ในกรณีของ Sensor Node 2 และ Sensor Node 3 ก็ให้ผลลัพธ์ออกมาเช่นเดียวกันกับ Sensor Node 1 ซึ่งในกรณีของ Sensor Node 2 สามารถสังเกตได้จาก Serial Monitor ดังรูปที่ 4.18 และตารางเส้นทางของ Sensor Node 2 ดังรูปที่ 4.19 และในกรณีของ Sensor Node 3 สามารถสังเกตได้จาก Serial Monitor ดังรูปที่ 4.20 และตารางเส้นทางของ Sensor Node 2 ดังรูปที่ 4.21 เช่นเดียวกับ Sensor Node 2 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากตารางค้นหาเส้นทางมาเก็บผลลงในตาราง และสามารถแสดงดังตารางที่ 4.10 ได้ดังนี้

```
12:42:52.969 -> 002,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,369.67,0,0.00,0.00,112,Hazardous
12:42:53.015 -> Sending to Gateway: 254
12:42:54.598 -> Send Message Finished!
12:42:54.737 -> Received Message
12:42:54.737 -> got reply from : 0xFE: Hello Back from Gateway(254)
12:42:54.829 -> RSSI: -41
```

รูปที่ 4.18 Serial Monitor ของ Sensor Node 2

**Dest: 254 Next Hop: 254 State: 2**

รูปที่ 4.19 ตารางเส้นทางของ Sensor Node 2

```
12:48:01.325 -> 003,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,433.02,0,0.00,0.00,88,Hazardous
12:48:01.372 -> Sending to Gateway: 254
12:48:02.072 -> Send Message Finished!
12:48:02.495 -> Received Message
12:48:02.542 -> got reply from : 0xFE: Hello Back from Gateway(254)
12:48:02.588 -> RSSI: -45
```

รูปที่ 4.20 Serial Monitor ของ Sensor Node 3

**Dest: 254 Next Hop: 254 State: 2**

รูปที่ 4.21 ตารางเส้นทางของ Sensor Node 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

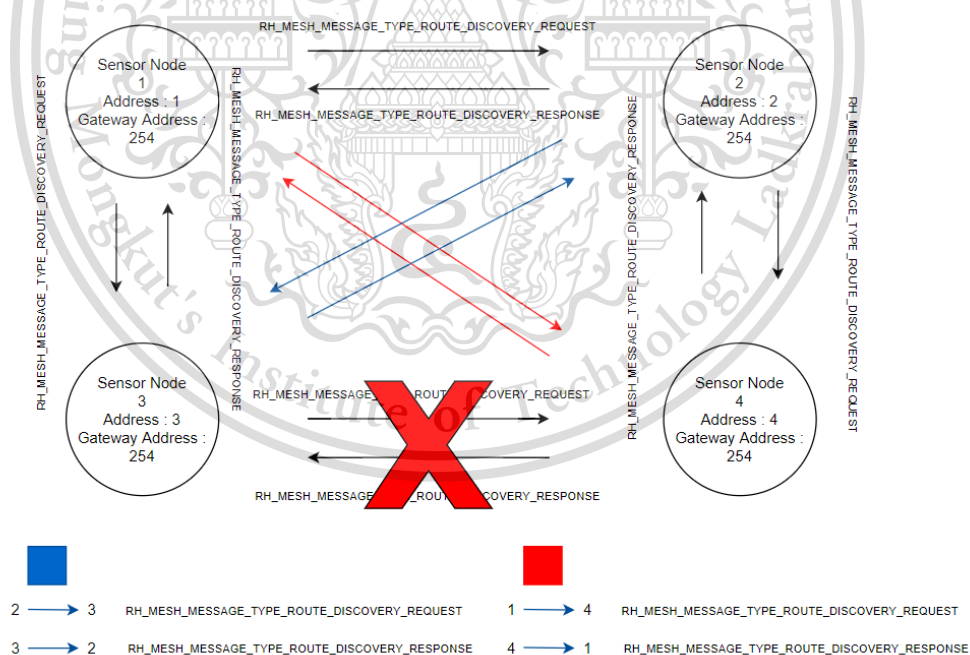
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.10 กรณีที่ Sensor Node อยู่ในระยะสื่อสารกับปลายทางได้

Node	Next Hop	Destination	Gateway	Experiment	Result
1	2,3,4	2,3,4	No	Send 1 -> 4	1 -> 4
2	1,3,4	1,3,4	No	Send 2 -> 4	2 -> 4
3	1,2,4	1,2,4	No	Send 3 -> 4	3 -> 4
4	1,2,3	1,2,3	Yes	-	-

#### 4.5.1.2 ผลการทดสอบส่วนที่ 2 Sensor Node 1 ตัวตั้งอยู่นอกระยะที่สื่อสารได้กับปลายทาง

การทดสอบจะเริ่มจากการกำหนดให้ Sensor Node 3 ตั้งอยู่นอกระยะที่สามารถสื่อสารได้โดยตรงกับ ปลายทาง ซึ่งได้กำหนดให้ Sensor Node 4 ทำหน้าที่เป็นปลายทางหรือ Gateway และ Sensor Node ที่เหลือยังคงอยู่ในระยะที่สามารถสื่อสารกับปลายทางได้ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 รูปแบบการเชื่อมต่อโครงข่ายในการทดสอบส่วนที่ 2

ต่อมาให้ Sensor Node 3 เริ่มทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โดยเริ่มจากการค้นหาและสร้างเส้นทาง โดยการส่งข้อความร้องขอคือ “RH\_MESH\_MESSAGE\_TYPE\_ROUTE\_DISCOVERY\_REQUEST” นี้ไปยัง Sensor Node ทุกตัวที่อยู่ในโครงข่าย เมื่อ Sensor Node 4 ที่

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

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

เป็นปลายทางได้รับข้อความดังกล่าวก็จะส่งข้อความตอบกลับ คือ “RH\_MESH\_MESSAGE\_TYPE\_ROUTE\_DISCOVERY\_RESPONSE” กลับไปยัง Sensor Node 3 ผ่านการส่งแบบ Unicast ซึ่งเมื่อ Sensor Node 3 ได้รับข้อความจาก Sensor Node 4 แล้ว จะแสดงข้อความ “Received RH\_MESH\_MESSAGE\_TYPE\_ROUTE\_DISCOVERY\_RESPONSE from : 254” บน Serial Monitor ของ Sensor Node 3 ดังรูปที่ 4.23

```
14:08:06.188 -> Received RH_MESH_MESSAGE_TYPE_ROUTE_DISCOVERY_RESPONSE from: 254
```

รูปที่ 4.23 ข้อความตอบกลับจาก Sensor Node 4 บน Serial Monitor ของ Sensor Node 3

จากนั้น Sensor Node 3 จึงเริ่มสร้างเส้นทางไปยัง Sensor Node 4 และทำการส่งข้อมูล เมื่อทำการส่งข้อมูลสำเร็จจะเป็นดังรูปที่ 4.24 และเมื่อสังเกตไปยัง Routing table ที่แสดงดังรูปที่ 4.25 พบว่าเส้นทางในการส่งข้อมูลจาก Sensor Node 3 ไปยัง Sensor Node 4 หรือปลายทางนั้น มีการส่งข้อมูลผ่าน Sensor Node 2 จากนั้นข้อมูลดังกล่าวจึงถูกส่งต่อไปถึงปลายทางได้สำเร็จ ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบการส่งข้อมูลได้ดังรูปที่ 4.26 และนำข้อมูลที่ได้จากตารางค้นหาเส้นทางมาเก็บผลลงในตาราง และสามารถแสดงดังตารางที่ 4.11 ได้ดังนี้

```
14:08:09.720 -> 003,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,552.35,0,0.00,0.00,89,Hazardous
14:08:09.766 -> Sending to Gateway: 254
14:08:09.906 -> Send Message Finished!
14:08:10.701 -> Received Message
14:08:10.701 -> got reply from : 0xFE: Hello Back from Gateway(254)
14:08:10.748 -> RSSI: -91
```

รูปที่ 4.24 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อส่งข้อความไปยังปลายทางสำเร็จ

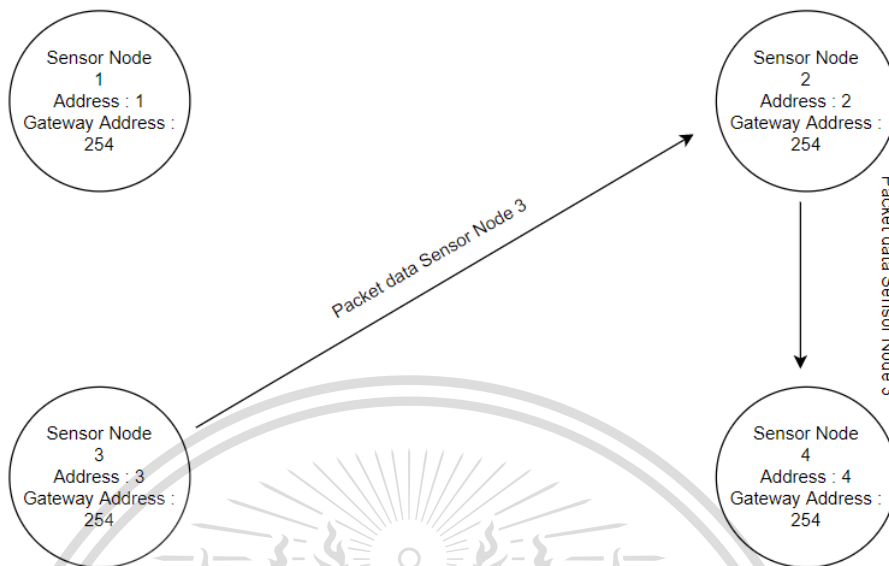
```
Dest: 254 Next Hop: 2 State: 2
```

รูปที่ 4.25 Routing table ของ Sensor Node 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.26 รูปแบบการส่งข้อมูลของ Sensor Node 3

ตารางที่ 4.11 กรณีที่ Sensor Node อยู่นอกระยะสื่อสารกับปลายทางได้

Node	Next Hop	Destination	Gateway	Experiment	Result
1	2,3,4	2,3,4	No	-	-
2	1,3,4	1,3,4	No	-	-
3	1,2	1,2,4	No	Send 3 -> 4	3 -> 2 -> 4
4	1,2	1,2,3	Yes	-	-

#### 4.5.1.3 ผลการทดสอบส่วนที่ 3 กรณีที่มีปลายทาง หรือ Gateway มากกว่า 1 ตัว

การทดสอบเริ่มจากการกำหนด Sensor Node 3 และ 4 ทำหน้าที่เป็น Gateway เพื่อรับข้อมูลจาก Sensor Node ตัวอื่น และทำการตั้งชื่อ MQTT Client เป็น “TestClient3” และ “TestClient4” ตามลำดับ ต่อมาเริ่มให้ Sensor Node ตัวอื่น คือ Sensor Node 1 และ 2 ทำการส่งข้อมูลไปยัง Sensor Node 3 และ 4 ซึ่งหากสังเกตจาก Serial Monitor ของ Sensor Node 1 ดังรูปที่ 4.27 ต่อไปนี้ จะพบว่า Sensor Node 1 ทำการส่งข้อมูลไปยัง Sensor Node ที่ทำหน้าที่เป็น Gateway ได้สำเร็จ และเมื่อไปตรวจสอบที่ Windows PowerShell ที่ได้ทำการเปิดโปรแกรม Mosquitto MQTT แล้ว พบว่า ทั้ง TestClient3 และ TestClient4 หรือ Sensor Node 3 และ Sensor Node 4 สามารถรับข้อมูลที่มาจาก Sensor Node 1 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.28

```

16:46:02.892 -> 001,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,305.56,0,0.00,0.00,123,Hazardous
16:46:02.939 -> Sending to Gateway: 254
16:46:03.358 -> Send Message Finished!
16:46:03.872 -> Received Message
16:46:03.872 -> got reply from : 0xFE: Hello Back from Gateway(254)
16:46:03.919 -> RSSI: -106

```

รูปที่ 4.27 Serial Monitor ของ Sensor Node 1 เมื่อส่งข้อมูลสำเร็จ

```

1611222990: Received PUBLISH from TestClient4 (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (62 bytes))
1611222990: Sending PUBLISH to TestClient3 (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (62 bytes))
1611222990: Sending PUBLISH to TestClient4 (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (62 bytes))
1611222991: Received PUBLISH from TestClient3 (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (62 bytes))
1611222991: Sending PUBLISH to TestClient3 (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (62 bytes))
1611222991: Sending PUBLISH to TestClient4 (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (62 bytes))

```

รูปที่ 4.28 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม Mosquitto MQTT

จากรูปที่ 4.28 ด้านบน บรรทัดที่ 1 หมายความว่าได้รับข้อมูลจาก TestClient4 บรรทัดที่ 2 และ 3 คือการส่งข้อมูลไปยัง Client ที่ได้ทำการ Subscribe Topic ไว้ บรรทัดที่ 4 คือได้รับข้อมูลจาก TestClient3 เช่นเดียวกับบรรทัดที่ 1 และบรรทัดที่ 5 และ 6 คือมีการส่งข้อมูลเช่นเดียวกันกับบรรทัดที่ 2 และ 3

ต่อมาสังเกตที่ Serial Monitor ของ Sensor Node ที่มีหน้าที่เป็น Gateway ซึ่งหากสังเกตไปที่ Serial Monitor ของ Sensor Node 3 ดังรูปที่ 4.29 พบว่า Sensor Node 3 รับข้อมูลจาก Sensor Node 2 สำเร็จ และทำการ Publish ข้อมูลไปยัง Topic ผ่านโปรโตคอล MQTT สำเร็จดังรูปที่ 4.30

```

17:12:53.693 -> Received Message
17:12:53.693 -> got request from : 0x2: 002,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,369.67,0,0.00,0.00,118,Hazardous
17:12:53.834 -> 254
17:12:53.834 -> RSSI: -94

```

รูปที่ 4.29 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อรับข้อมูลจาก Sensor Node 2 สำเร็จ

**17:12:54.162 -> Data is published!**

รูปที่ 4.30 Sensor Node 3 Publish ข้อมูลจาก Sensor Node 2 สำเร็จ

ซึ่งในกรณีที่ Sensor Node 3 รับข้อมูลที่ส่งมาจาก Sensor Node 1 ได้ สำเร็จก็ให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับการรับข้อมูลจาก Sensor Node 2 เหมือนกัน ดังรูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30 ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้จากตารางค้นหาเส้นทางมาบันทึกผลลงตารางได้ดังตารางที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.12 กรณีที่ Sensor Node ทำหน้าที่เป็นปลายทางมากกว่า 1 ตัว

Node	Next Hop	Destination	Gateway	Experiment	Result
1	2,3,4	2,3,4	No	Send 1 -> 3,4	1 -> 3,4
2	1,3,4	1,3,4	No	Send 2 -> 3,4	2 -> 3,4
3	1,2,4	1,2,4	Yes	Receive 1,2 -> 3	1,2 -> 3
4	1,2,3	1,2,3	Yes	Receive 1,2 -> 4	1,2 -> 4

4.5.1.4 ผลการทดสอบส่วนที่ 4 กรณีที่ sensor Node ทุกตัวไม่ได้ทำหน้าที่เป็น Gateway หรือปลายทาง

การทดสอบนี้เริ่มต้นจากการที่กำหนดให้ Sensor Node ทุกตัวไม่ได้ทำการเชื่อมต่อกับ Wi-Fi ดังนั้น Sensor Node ทุกตัวจึงทำหน้าที่เป็น Node เท่านั้น ต่อมาให้ Sensor Node ทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ซึ่งหากสังเกตที่ Serial Monitor ของ Sensor Node 1 แสดงดังรูปที่ 4.31 พบว่า Sensor Node 1 ทำการส่งข้อมูลเก่าในบรรทัดที่ 4 ไปยังปลายทาง ซึ่งส่งไม่สำเร็จถึงสามครั้งสามารถสังเกตได้จากบรรทัดที่ 6 บรรทัดที่ 9 และบรรทัดที่ 12

```

11:11:28.209 -> Connecting to WiFi.....WiFi connection failed
11:11:29.234 -> I am node
11:11:29.234 -> Old Data in memory....
11:11:29.234 -> 001,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,832.76,0,0.00,0.00,-0-,25.00
11:11:29.327 -> Sending to Gateway: 254
11:11:33.242 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:11:33.334 -> Count: 1
11:11:33.844 -> 607
11:11:37.927 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:11:37.974 -> Count: 2
11:11:38.207 -> 280
11:11:42.247 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:11:42.294 -> Count: 3

```

รูปที่ 4.31 Serial Monitor ของ Sensor Node 1 เมื่อทำการส่งข้อมูลเก่าไปยังปลายทาง

จากนั้น Sensor Node 1 ก็จะทำการส่งข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ไปยังปลายทางดังรูปที่ 4.32 ซึ่งสังเกตได้ว่า Sensor Node 1 ไม่สามารถส่งข้อมูลในบรรทัดที่ 2 ถึงปลายทางเป็นจำนวนทั้งหมดสามครั้งที่สามารถสังเกตจากบรรทัดที่ 9 บรรทัดที่ 12 และบรรทัดที่ 15 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลที่ไม่สามารถส่งได้ถึงในหน่วยความจำชั่วคราวของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ซึ่งถูกตั้งไว้ว่าสามารถบันทึกข้อมูลไว้ได้สูงสุด 24 ชุด และสามารถแสดงการเส้นทางในตารางการค้นหาเส้นทางได้ดังรูปที่ 4.33

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

11:11:42.294 -> Sent fail 3 times.
11:11:42.340 -> 001,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,305.56,0,0.00,0.00,109,Hazardous
11:11:42.387 -> 001,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,305.56,0,0.00,0.00,109,Hazardous
11:11:42.480 -> Save data to memory!
11:11:42.480 -> Value in memory...
11:11:42.525 -> 001,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,305.56,0,0.00,0.00,109,Hazardous
11:11:42.571 -> 001,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,305.56,0,0.00,0.00,109,Hazardous
11:11:42.664 -> Sending to Gateway: 254
11:11:46.571 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:11:46.664 -> Count: 1
11:11:47.265 -> 687
11:11:51.314 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:11:51.361 -> Count: 2
11:11:52.193 -> 874
11:11:56.239 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:11:56.286 -> Count: 3
11:11:56.286 -> Save data to memory!
11:11:56.333 -> Value in memory...

```

รูปที่ 4.32 Serial Monitor ของ Sensor Node 1 เมื่อทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง

Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0

รูปที่ 4.33 ตารางการค้นหาเส้นทางในกรณีที่ 4 ของ Sensor Node 1

จากนั้นในส่วนของ Sensor Node 2 หากสังเกตที่ Serial Monitor ของ Sensor Node 2 ดังรูปที่ 4.34 จะพบว่า Sensor Node 2 ทำการส่งข้อมูลเก่าในบรรทัดที่ 4 ไปยังปลายทาง ซึ่งส่งไม่สำเร็จถึงสามครั้งสามารถสังเกตได้จากบรรทัดที่ 6 บรรทัดที่ 9 และบรรทัดที่ 12

```

10:51:16.922 -> Connecting to WiFi.....WiFi connection failed
10:51:18.034 -> I am node
10:51:18.034 -> Old Data in memory...
10:51:18.034 -> 002,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,353.15,0,0.00,0.00,-130-,0.00
10:51:18.127 -> Sending to Gateway: 254
10:51:22.038 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:51:22.131 -> Count: 1
10:51:22.643 -> 579
10:51:26.647 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:51:26.740 -> Count: 2
10:51:27.068 -> 411
10:51:31.121 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:51:31.168 -> Count: 3

```

รูปที่ 4.34 Serial Monitor ของ Sensor Node 2 เมื่อทำการส่งข้อมูลเก่าไปยังปลายทาง

จากนั้น Sensor Node 2 ก็ทำการส่งข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ไปยังปลายทางดังรูปที่ 4.35 ซึ่งสังเกตได้ว่า Sensor Node 2 ไม่สามารถส่งข้อมูลในบรรทัดที่ 2 ถึงปลายทางเป็นจำนวนทั้งหมดสามครั้งที่สามารถสังเกตจากบรรทัดที่ 9 บรรทัดที่ 12 และบรรทัดที่ 15 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลที่ไม่สามารถส่งได้ลงในหน่วยความจำชั่วคราวของ Heltec WiFi LoRa 32

(V2) ซึ่งถูกตั้งไว้ว่าสามารถบันทึกข้อมูลไว้ได้สูงสุด 24 ชุด และสามารถแสดงการเส้นทางในตารางการ ค้นหาเส้นทางได้ดังรูปที่ 4.36

```

10:51:31.215 -> Sent fail 3 times.
10:51:31.215 -> 002,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,202.22,0,0.00,0.00,94,Hazardous
10:51:31.307 -> 002,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,202.22,0,0.00,0.00,94,Hazardous
10:51:31.354 -> Save data to memory!
10:51:31.400 -> Value in memory...
10:51:31.400 -> 002,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,202.22,0,0.00,0.00,94,Hazardous
10:51:31.493 -> 002,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,202.22,0,0.00,0.00,94,Hazardous
10:51:31.539 -> Sending to Gateway: 254
10:51:35.501 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:51:35.548 -> Count: 1
10:51:35.921 -> 424
10:51:39.928 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:51:40.022 -> Count: 2
10:51:40.396 -> 452
10:51:44.446 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:51:44.494 -> Count: 3
10:51:44.494 -> Save data to memory!
10:51:44.541 -> Value in memory...

```

รูปที่ 4.35 Serial Monitor ของ Sensor Node 2 เมื่อทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง

Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0

รูปที่ 4.36 ตารางการค้นหาเส้นทางในกรณีที่ 4 ของ Sensor Node 2

ต่อมาในส่วนของ Sensor Node 3 หากสังเกตที่ Serial Monitor ของ Sensor Node 3 ดังรูปที่ 4.37 จะพบว่า Sensor Node 3 ทำการส่งข้อมูลเก่าในบรรทัดที่ 4 ไปยังปลายทาง ซึ่งส่งไม่สำเร็จถึงสามครั้งสามารถสังเกตได้จากบรรทัดที่ 6 บรรทัดที่ 9 และบรรทัดที่ 12

```

11:02:40.153 -> Connecting to WiFi.....WiFi connection failed
11:02:41.216 -> I am node
11:02:41.216 -> Old Data in memory...
11:02:41.216 -> 003,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,inf,0,0.00,0.00,-0-,25.00
11:02:41.310 -> Sending to Gateway: 254
11:02:45.218 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:02:45.311 -> Count: 1
11:02:46.011 -> 769
11:02:50.059 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:02:50.105 -> Count: 2
11:02:50.802 -> 750
11:02:54.840 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:02:54.887 -> Count: 3

```

รูปที่ 4.37 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อทำการส่งข้อมูลเก่าไปยังปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จากนั้น Sensor Node 3 ก็ทำการส่งข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ไปยังปลายทางดังรูปที่ 4.38 ซึ่งสังเกตได้ว่า Sensor Node 3 ไม่สามารถส่งข้อมูลในบรรทัดที่ 2 ถึงปลายทางเป็นจำนวนทั้งหมดสามครั้งที่สามารถสังเกตจากบรรทัดที่ 9 บรรทัดที่ 12 และบรรทัดที่ 15 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลที่ไม่สามารถส่งได้ลงในหน่วยความจำชั่วคราวของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ซึ่งถูกตั้งไว้ว่าสามารถบันทึกข้อมูลไว้ได้สูงสุด 24 ชุด และสามารถแสดงการเส้นทางในตารางการค้นหาเส้นทางได้ดังรูปที่ 4.39

```

11:02:54.887 -> Sent fail 3 times.
11:02:54.934 -> 003,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,641.89,0,0.00,0.00,87,Hazardous
11:02:54.980 -> 003,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,641.89,0,0.00,0.00,87,Hazardous
11:02:55.072 -> Save data to memory!
11:02:55.072 -> Value in memory...
11:02:55.118 -> 003,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,641.89,0,0.00,0.00,87,Hazardous
11:02:55.165 -> 003,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,641.89,0,0.00,0.00,87,Hazardous
11:02:55.257 -> Sending to Gateway: 254
11:02:59.207 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:02:59.254 -> Count: 1
11:02:59.950 -> 749
11:03:03.996 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:03:04.043 -> Count: 2
11:03:04.275 -> 280
11:03:08.316 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
11:03:08.363 -> Count: 3
11:03:08.363 -> Save data to memory!
11:03:08.411 -> Value in memory...

```

รูปที่ 4.38 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง

Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0

รูปที่ 4.39 ตารางการค้นหาเส้นทางในกรณีที่ 4 ของ Sensor Node 3

ในส่วนของ Sensor Node 4 หากสังเกตที่ Serial Monitor ของ Sensor Node 4 ดังรูปที่ 4.40 จะพบว่า Sensor Node 4 ทำการส่งข้อมูลเก่าในบรรทัดที่ 4 ไปยังปลายทางซึ่งส่งไม่สำเร็จถึงสามครั้งสามารถสังเกตได้จากบรรทัดที่ 6 บรรทัดที่ 9 และบรรทัดที่ 12

```

10:34:56.917 -> Connecting to WiFi.....WiFi connection failed
10:34:57.935 -> I am node
10:34:57.935 -> Old Data in memory...
10:34:57.981 -> 004,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,-37.07,0,0.00,0.00,-208-,25.00
10:34:58.028 -> Sending to Gateway: 254
10:35:01.988 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:35:02.035 -> Count: 1
10:35:02.589 -> 613
10:35:06.633 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:35:06.680 -> Count: 2
10:35:07.522 -> 887
10:35:11.561 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:35:11.607 -> Count: 3
10:35:11.607 -> Sent fail 3 times.

```

รูปที่ 4.40 Serial Monitor ของ Sensor Node 4 เมื่อทำการส่งข้อมูลเก่าไปยังปลายทาง

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

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

จากนั้น Sensor Node 4 ก็ จะทำการส่งข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ไปยังปลายทางดังรูปที่ 4.41 ซึ่งสังเกตได้ว่า Sensor Node 4 ไม่สามารถส่งข้อมูลในบรรทัดที่ 2 ถึงปลายทางเป็นจำนวนทั้งหมดสามครั้งที่สามารถสังเกตจากบรรทัดที่ 9 บรรทัดที่ 12 และบรรทัดที่ 15 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลที่ไม่สามารถส่งได้ถึงในหน่วยความจำชั่วคราวของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ซึ่งถูกตั้งไว้ว่าสามารถบันทึกข้อมูลไว้ได้สูงสุด 24 ชุด และสามารถแสดงการเส้นทางในตารางการค้นหาเส้นทางได้ดังรูปที่ 4.42

```

10:35:11.607 -> Sent fail 3 times.
10:35:11.653 -> 004,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,-37.50,0,0.00,0.00,96,Hazardous
10:35:11.698 -> 004,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,-37.50,0,0.00,0.00,96,Hazardous
10:35:11.791 -> Save data to memory!
10:35:11.791 -> Value in memory...
10:35:11.837 -> 004,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,-37.50,0,0.00,0.00,96,Hazardous
10:35:11.883 -> 004,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,-37.50,0,0.00,0.00,96,Hazardous
10:35:11.975 -> Sending to Gateway: 254
10:35:15.910 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:35:15.956 -> Count: 1
10:35:16.515 -> 604
10:35:20.559 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:35:20.606 -> Count: 2
10:35:21.354 -> 803
10:35:25.398 -> sendtoWait failed. Are the intermediate mesh servers running?
10:35:25.444 -> Count: 3
10:35:25.490 -> Save data to memory!
10:35:25.490 -> Value in memory...

```

รูปที่ 4.41 Serial Monitor ของ Sensor Node 4 เมื่อทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง

Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0

รูปที่ 4.42 ตารางการค้นหาเส้นทางในกรณีที่ 4 ของ Sensor Node 4

ซึ่งจากการในส่วนนี้สามารถนำข้อมูลจากตารางค้นหาเส้นทางมาบันทึกผลลงตาราง ดังตารางที่ 4.13 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.13 กรณีที่ Sensor Node ทุกตัวไม่ได้ทำหน้าที่เป็นปลายทาง

Node	Next Hop	Destination	Gateway	Experiment	Result
1	2,3,4	2,3,4	No	Send 1 -> Gateway	Sending failed and saving in memory
2	1,3,4	1,3,4	No	Send 2 -> Gateway	Sending failed and saving in memory
3	1,2,4	1,2,4	No	Send 3 -> Gateway	Sending failed and saving in memory
4	1,2,3	1,2,3	No	Send 4 -> Gateway	Sending failed and saving in memory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ใบอนุญาตให้ใช้เชิงพาณิชย์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.5.1.5 ผลการทดสอบส่วนที่ 5 กรณีที่มี Sensor Node ใหม่เพิ่มเข้ามาในโครงข่าย

การทดสอบในส่วนนี้จะกำหนดให้โครงข่าย Mesh มีการเชื่อมต่อระหว่าง Sensor Node 1 Sensor Node 2 และ Sensor Node 4 ซึ่ง Sensor Node 1 และ Sensor Node 2 จะทำหน้าที่เป็น Node ส่งข้อมูลไปยังปลายทางคือ Sensor Node 4 ที่เมื่อเชื่อมต่อกับ Wi-Fi สำเร็จจะเปลี่ยน Address จาก 4 เป็น 254 จากนั้นจะทำการเพิ่ม Sensor Node 3 เข้ามา ซึ่งเมื่อเพิ่ม Sensor Node 3 เข้ามา

ซึ่งเมื่อทำการเพิ่ม Sensor Node 3 เข้ามาในโครงข่าย หากสังเกตจาก Serial Monitor ของ Sensor Node 3 ดังรูปที่ 4.43 จะพบว่า Sensor Node 3 จะเริ่มทำหน้าที่เป็น Node และเริ่มทำการส่งข้อมูลเก่าไปยังปลายทาง หรือ Sensor Node 4

```
13:52:57.386 -> Connecting to WiFi.....WiFi connection failed
13:52:58.407 -> I am node
13:52:58.407 -> Old Data in memory...
13:52:58.454 -> 003,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,inf,0,0.00,0.00,-0-,25.00
13:52:58.501 -> Sending to Gateway: 254
```

รูปที่ 4.43 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อเริ่มเข้าร่วมโครงข่าย

ต่อมาเมื่อ Sensor Node 3 สามารถส่งข้อมูลดังกล่าวสำเร็จ ก็จะแสดงผลออกมาบน Serial Monitor ดังรูปที่ 4.44 และมีตารางค้นหาเส้นทางดังรูปที่ 4.45

```
13:53:11.521 -> Recived RH_MESH_MESSAGE_TYPE_ROUTE_DISCOVERY_RESPONSE from: 254
13:53:13.187 -> Send Message Finished!
13:53:13.418 -> Received Message
13:53:13.418 -> got reply from : 0xFE: Hello Back from Gateway(254)
13:53:13.511 -> RSSI: -44
```

รูปที่ 4.44 Serial Monitor ของ Sensor Node 3 เมื่อส่งข้อมูลไปยังปลายทาง

```
Dest: 254 Next Hop: 254 State: 2
```

รูปที่ 4.45 ตารางค้นหาเส้นทางของ Sensor Node 3 ในกรณีที่ 5

จากนั้นสังเกตที่ Serial Monitor ของ Sensor Node 4 หรือปลายทาง ที่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.46 พบว่ามีการรับ และตอบรับข้อความการค้นหาเส้นทางของ Sensor Node 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

13:56:29.768 -> Received Message
13:56:29.768 -> receive RH_BROADCAST_ADDRESS from : 3
13:56:30.093 -> I'm RH_MESH_MESSAGE_TYPE_ROUTE_DISCOVERY_RESPONSE to 3

```

รูปที่ 4.46 Serial Monitor ของ Sensor Node 4 เมื่อเชื่อมต่อเส้นทางกับ Sensor Node 3

ต่อมา Sensor Node 4 ก็ทำการรับข้อมูลจาก Sensor Node 3 สำเร็จดังรูปที่ 4.47 ซึ่งจากรูปจะแสดงค่า RSSI ว่าสัญญาณที่ได้รับมามีค่า -89 dBm และสามารถแสดงตารางการค้นหาเส้นทางได้ดังรูปที่ 4.48

```

13:56:32.135 -> Received Message
13:56:32.135 -> got request from : 0x3: 003,0.000000,0.000000,2000-0-0,7.0,442.31,0,0.00,0.00,103,Hazardous
13:56:32.228 -> 254
13:56:32.228 -> RSSI: -89

```

รูปที่ 4.47 Serial Monitor ของ Sensor Node 4 เมื่อรับข้อมูลจาก Sensor Node 3 สำเร็จ

```
Dest: 3 Next Hop: 3 State: 2
```

รูปที่ 4.48 ตารางค้นหาเส้นทางของ Sensor Node 4 ในกรณีนี้ที่ 5

จากผลการทดสอบสามารถนำผลของตารางค้นหาเส้นทางมาบันทึกลงตารางที่ 4.14 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.14 กรณีที่เพิ่ม Sensor Node เข้าโครงข่ายแบบ Mesh

Node	Next Hop (Before)	Next Hop (After)	Destination (Before)	Destination (After)	Gateway	Experiment	Result
1	2,4	2,3,4	2,4	2,3,4	No	Send 1 -> 4	1 -> 4
2	1,4	1,3,4	1,4	1,3,4	No	Send 2 -> 4	2 -> 4
3	not connected	1,2,4	not connected	1,2,4	No	Send 3 -> 4	3 -> 4
4	1,2	1,2,3	1,2	1,2,3	Yes	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จากการทดสอบทั้ง 5 ส่วนพบว่าหลักการการค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูลไปยังปลายทางผ่านโครงข่ายแบบ Mesh Topology ใช้หลักการในการข้อความร้องขอผ่านการกระจายข้อความไปยัง Node ตัวอื่นที่อยู่ในโครงข่ายเดียวกัน เมื่อปลายทางได้รับข้อความดังกล่าวก็จะทำการส่งข้อความตอบกลับไปยัง Node ที่ได้กระจายข้อความร้องขอแบบ Unicast เมื่อ Node ตัวดังกล่าวได้รับข้อความตอบกลับจากปลายทาง Node จะทำการสร้างเส้นทางตามที่ปลายทางได้ส่งข้อความตอบกลับมายัง Node และส่งข้อมูลที่ Node ต้องการส่งไปยังปลายทางได้ นอกจากนี้ การทดสอบยังพบว่าสามารถทำงานได้ในกรณีที่ Sensor Node มีการติดตั้งอยู่นอกระยะการสื่อสารกับปลายทาง ซึ่งในกรณีนี้พบว่าเส้นทางในการส่งข้อมูลไปยังปลายทางนั้น ขึ้นกับข้อความคำขอสร้างเส้นทางที่ต้นทางส่งกระจายออกไปหากมี Sensor Node ได้รับข้อความดังกล่าวก็จะทำการตอบกลับข้อความนั้นกลับมา และต้นทางก็จะทำการสร้างเส้นทางไปยังปลายทางผ่าน Sensor Node ตัวดังกล่าว หากมีการตอบกลับของ Sensor Node มากกว่า 1 ตัว ต้นทางจะทำการเลือก Sensor Node ที่ส่งข้อความตอบกลับมาถึงก่อน และทำการปฏิเสธข้อความตอบกลับอื่น และจากการทดสอบยังพบว่าสามารถทำงานในกรณีที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่มีมากกว่า 1 ตัวได้ อีกทั้งในกรณีที่ไม่มี Sensor Node ทำหน้าที่เป็นปลายทางพบว่า Sensor Node ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ และข้อมูลดังกล่าวถูกนำไปจัดเก็บลงหน่วยความจำชั่วคราวของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2) ซึ่งถูกตั้งไว้ว่าสามารถบันทึกข้อมูลไว้ได้สูงสุด 24 ชุด และเมื่อมี Sensor Node อย่างน้อย 1 ตัวสามารถทำหน้าที่เป็น Gateway ได้ Sensor Node ตัวอื่นจะทำการส่งข้อมูลที่เก็บไว้ไปยังปลายทาง และในกรณีที่เพิ่ม Node เข้ามาในเครือข่าย พบว่า Node ที่เข้ามาจะทำการสำรวจเส้นทาง และสร้างเส้นทางไปยังปลายทาง อีกทั้งสามารถรับส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ปกติ

#### 4.6 ผลการทดสอบสร้าง Web Application ที่มีการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับจาก Sensor Node ออกมาผ่านตาราง

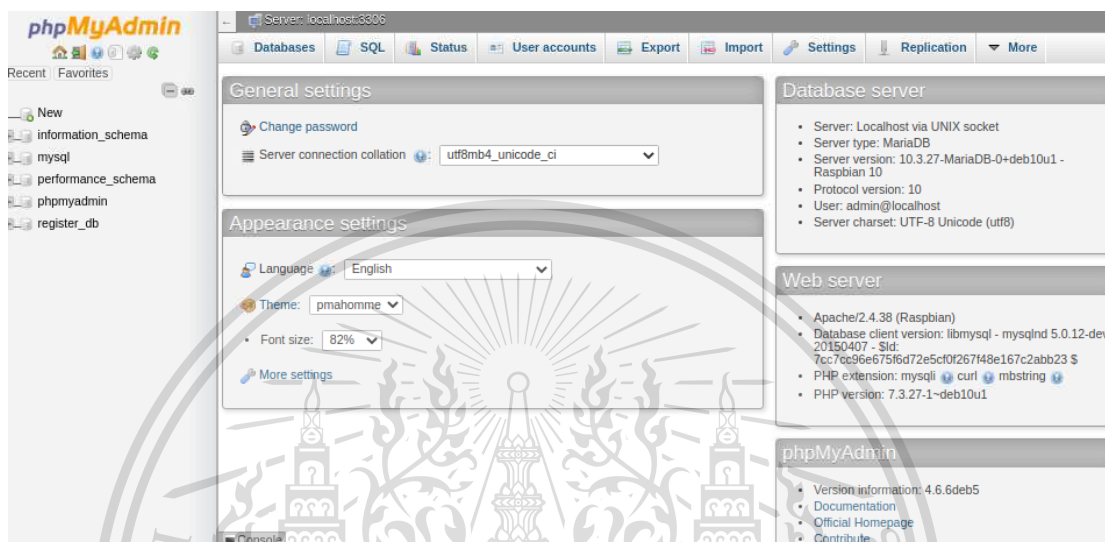
ในการทดลองสร้าง Web Application ที่มีการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับจาก Sensor Node ออกมาผ่านตาราง เริ่มจากการที่ Sensor Node ส่งข้อมูลที่เป็นแพ็คเกจไปยัง เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway โดยใช้การสื่อสารแบบ LoRa จากนั้น เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway จะทำการส่งต่อแพ็คเกจข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ ผ่านทาง Wi-Fi ซึ่งมีการเรียกใช้โปรโตคอล MQTT ผ่านโปรแกรม Mosquitto MQTT จากนั้นก็ทำการจัดเก็บแพ็คเกจข้อมูลลงฐานข้อมูล SQL และเมื่อต้องการเรียกใช้ข้อมูลในฐานข้อมูล จะทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล SQL มาแสดงค่าออกมาผ่านตาราง เพื่อทดสอบว่าสามารถส่งข้อมูลจาก Sensor Node ไปแสดงผลบน Web Application ได้หรือไม่ และจากการทดลองพบว่าสามารถทำได้

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

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

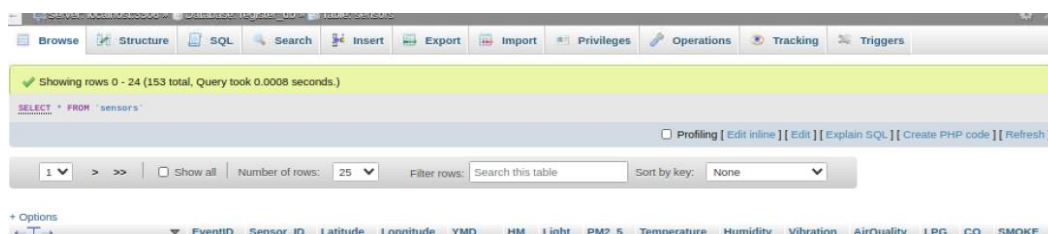
### 4.6.1 ผลการทดสอบ

เริ่มจากการเปิดใช้งานโปรแกรม phpMyAdmin สำหรับการจัดการฐานข้อมูล MySQL แสดงดังรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 หน้าต่างเริ่มต้นใช้งาน phpMyAdmin

ทำการสร้างฐานข้อมูล ตารางลงในฐานข้อมูล โดยสำหรับฐานข้อมูลที่จะสร้างมีชื่อว่า register\_db มี 2 ตารางอยู่ในฐานข้อมูลชื่อว่า sensors และ userpass โดยภายในตาราง sensors ประกอบด้วยหัวข้อ Sensor\_ID, Latitude, Longitude, Year, Month, Day, Hour, Minute, Light, PM2\_5, Temperature, Humidity, Vibration, Air Quality, LPG, CO และ SMOKE แสดงดังรูปที่ 4.50 และตาราง userpass ประกอบด้วยหัวข้อ username email และ password ดังรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.50 ตาราง sensors ของฐานข้อมูลที่ทำกรสร้างไว้ก่อนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.51 ตาราง userpass ของฐานข้อมูลที่ทำกรสร้างไว้ก่อนหน้า

จากนั้นทำการเรียกใช้งานโปรโตคอล MQTT ผ่านโปรแกรม Mosquitto MQTT บน Raspberry pi เพื่อทำการเชื่อมต่อ เซนเซอร์ชนิดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway กับเซิร์ฟเวอร์ ดังรูปที่ 4.52

```

pi@raspberrypi:~$ sudo service mosquitto start
pi@raspberrypi:~$ mosquitto_sub -d -u smart/sensor -P smart/sensor -l smart/sensor
Client mosqsub[2443-raspberrypi sending CONNECT
Client mosqsub[2443-raspberrypi received CONNACK (0)
Client mosqsub[2443-raspberrypi sending SUBSCRIBE (Mid: 1, Topic: smart/sensor, QoS: 0)
Client mosqsub[2443-raspberrypi received SUBACK
Subscribed (mid: 1): 0
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (84 bytes)
002,13,727384,100,776033,2021-3-22,16,27,0,00,0,0,00,10,6,0,Hazardous,0,00,0,00,0,00
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (4 bytes)
#0
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (81 bytes)
002,13,727424,100,776154,2021-3-22,16,17,0,00,0,0,00,10,55,-0,0,00,0,00,0,00,0,00
Client mosqsub[2443-raspberrypi sending PINGREQ
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PINGRESP
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (88 bytes)
003,13,727397,100,776047,2021-3-22,14,46,0,00,31,31,28,45,49,-0,102213,02,0,00,0,00,0,00
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (84 bytes)
002,13,727384,100,776033,2021-3-22,16,27,0,00,0,0,00,10,6,0,Hazardous,0,00,0,00,0,00
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (87 bytes)
004,13,727425,100,776019,2021-3-22,16,27,215,54,36,27,00,51,1,0,Moderate,0,00,0,00,0,00
Client mosqsub[2443-raspberrypi sending PINGREQ
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PINGRESP
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (81 bytes)
002,13,727412,100,776070,2021-3-22,16,10,0,00,0,0,00,10,55,-0,0,00,0,00,0,00
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (84 bytes)
002,13,727369,100,776046,2021-3-22,16,28,0,00,0,0,00,10,6,0,Hazardous,0,00,0,00,0,00
Client mosqsub[2443-raspberrypi sending PINGREQ
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PINGRESP
Client mosqsub[2443-raspberrypi received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (87 bytes)

```

รูปที่ 4.52 เปิดใช้งานโปรแกรม Mosquitto MQTT

ต่อมาทำการเรียกใช้งานโค้ด หรือโปรแกรมที่จะนำข้อมูลที่ผ่านโปรโตคอล MQTT ไปจัดเก็บลงฐานข้อมูล โดยโปรแกรมที่ใช้งาน เมื่อเปิดใช้งานแล้วจะแสดงดังรูปที่ 4.53

```

pi@raspberrypi:~/var/www/html/webapp/~homepages$ cd /var/www/html/webapp/~homepages
pi@raspberrypi:~/var/www/html/webapp/~homepages$ php phpMQTT.php
pi@raspberrypi:~/var/www/html/webapp/~homepages$ php Insertdata.php

Received at: 2021-03-22 16:29:53
Topic: smart/sensor
Message: 002,13,727412,100,776070,2021-3-22,16,10,0,00,0,0,00,10,55,-0,0,00,0,00,0,00

New record created successfully
Received at: 2021-03-22 16:30:07
Topic: smart/sensor
Message: 002,13,727369,100,776046,2021-3-22,16,28,0,00,0,0,00,10,6,0,Hazardous,0,00,0,00,0,00

New record created successfully
Received at: 2021-03-22 16:30:37
Topic: smart/sensor
Message: 004,13,727424,100,776040,2021-3-22,16,29,216,31,35,26,75,51,2,0,Moderate,0,00,0,00,0,00

New record created successfully
Received at: 2021-03-22 16:31:31
Topic: smart/sensor
Message: 002,13,727342,100,775932,2021-3-22,16,19,0,00,0,0,00,10,55,-0,0,00,0,00,0,00

New record created successfully
Received at: 2021-03-22 16:31:44
Topic: smart/sensor
Message: 002,13,727339,100,776246,2021-3-22,16,31,0,00,0,0,00,10,6,0,Hazardous,0,00,0,00,0,00

New record created successfully
Received at: 2021-03-22 16:31:55

```

รูปที่ 4.53 เรียกใช้งานโปรแกรม Insertdata

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

ยชน์ด้านการค้า

การนำไปใช้

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

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

ต่อมาทำการรอให้ Sensor Node รับข้อมูล ตำแหน่ง ความเข้มแสง ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซ LPG CO ควีน อุณหภูมิ ความชื้น และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ จากนั้นส่งไปยัง เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway ผ่านการสื่อสารแบบ LoRa ในรูปแบบของแพ็คเก็ตข้อมูล เมื่อแพ็คเก็ตข้อมูลมาถึง เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway ที่เชื่อมต่อกับ Wi-Fi สำเร็จจะทำการ Publish แพ็คเก็ตข้อมูลไปยัง Mosquitto MQTT ในส่วนของหน้าต่าง Mosquitto MQTT จะมีการแสดงผลเพื่อบ่งบอกว่า แพ็คเก็ตข้อมูลจาก เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway เข้ามาอยู่ในหัวข้อ smart/sensor และมีการ Publish แพ็คเก็ตข้อมูลนั้นไปยัง Subscriber ที่ติดตามหัวข้อ smart/sensor ซึ่ง Subscriber ของหัวข้อนี้ มีโปรแกรมจากรูปที่ 4.53 และ เซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Gateway แสดงดังรูปที่ 4.54

```
Client mosqsub|7447-raspberryp sending PINGREQ
Client mosqsub|7447-raspberryp received PINGRESP
Client mosqsub|7447-raspberryp received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (81 bytes))
003,13.727409,100.776108,2021-3-22,19.38,0.00,38,31.70,45.7,0,Good,0.00,0.00,0.00
```

รูปที่ 4.54 การ Publish แพ็คเก็ตข้อมูลบนโปรแกรม Mosquitto MQTT

หลังจากแพ็คเก็ตข้อมูลถูก Publish ออกไปจากโปรแกรม Mosquitto MQTT โปรแกรมจากรูปที่ 4.54 จะรับแพ็คเก็ตข้อมูลจาก MQTT Broker หรือโปรแกรมจากรูปที่ 4.53 ซึ่งจากโปรแกรมจากรูปที่ 4.54 เมื่อได้รับแพ็คเก็ตข้อมูลก็จะแสดง วันที่ เดือน ปี และเวลาที่ได้รับแพ็คเก็ตข้อมูลอยู่ในบรรทัดแรก ในบรรทัดถัดมาจะแสดง Topic หรือหัวข้อที่ Subscribe ไว้คือ smart/sensor บรรทัดต่อมาจะแสดงข้อความหรือแพ็คเก็ตข้อมูลออกมา และในบรรทัดสุดท้ายบอกได้ว่าแพ็คเก็ตข้อมูลถูกนำไปจัดเก็บลงฐานข้อมูลสำเร็จ แสดงได้ดังรูปที่ 4.55

```
New record created successfully
Received at: 2021-03-22 20:33:40
Topic: smart/sensor
Message: 004,13.727358,100.775965,2021-3-22,20.32,227.83,54,27.14,52.0,0,Good,0.00,0.00,0.00
```

รูปที่ 4.55 แพ็คเก็ตข้อมูลถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูลสำเร็จ

จากนั้นทำการตรวจสอบว่าข้อมูลถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูลแล้วหรือไม่ โดยเปิดไปที่หน้าต่าง phpMyAdmin ซึ่งข้อมูลถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูลได้จริงดังรูปที่ 4.56

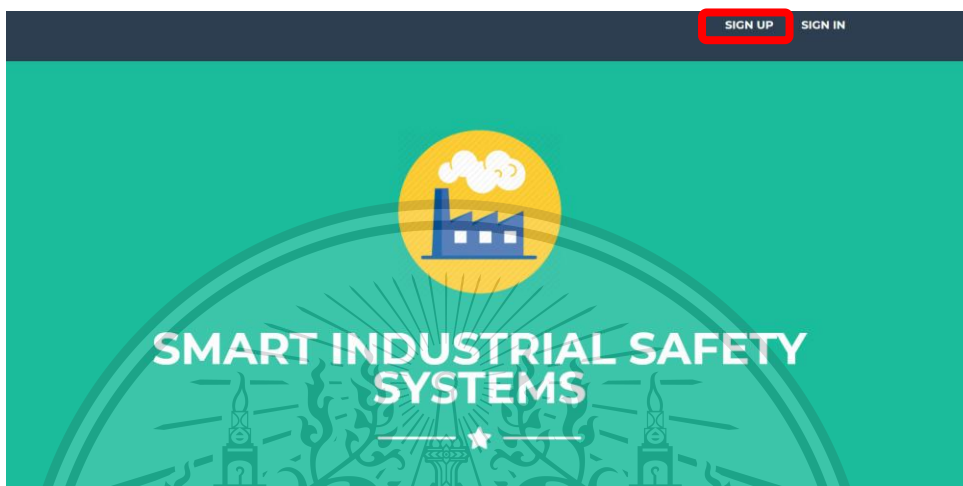
EventID	Sensor_ID	Latitude	Longitude	YMD	HM	Light	PM2.5	Temperature	Humidity	Vibration	AirQuality	LPG	CO	SMOKE
151_001	001	13.727417	100.776100	2021-3-22	20:22	0.00	40	0.00	10.55	0	Good	0.00	0.00	0.00
152_003	003	13.727409	100.775986	2021-3-22	20:23	0.00	40	32.00	43.53	0	378749.94	0.00	0.00	0.00
153_003	003	13.727438	100.776021	2021-3-22	20:33	0.00	45	32.35	44.8	0	Good	0.00	0.00	0.00

รูปที่ 4.56 ข้อมูลถูกจัดเก็บในตารางของฐานข้อมูล

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

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

ต่อมาในการใช้งาน Web Application ขั้นตอนแรกจะต้องทำการลงทะเบียนใช้งาน โดยกดเข้าไปที่ Sign up ที่แสดงในกรอบสีแดงบนหน้า Home Page ของ Web Application ดังรูปที่ 4.57



รูปที่ 4.57 หน้าต่าง Home Page ของ Web Application

เมื่อเข้าสู่หน้า Sign up ดังรูปที่ 4.58 ก็จะทำให้ผู้ใช้กรอก Username E-mail และ Password ให้ครบถ้วน โดยข้อมูลของ Username E-mail และ Password จะถูกนำไปจัดเก็บลงในฐานข้อมูล ดังรูปที่ 4.59 ผ่านโปรแกรมไฟล์ php ที่ดึงข้อมูลจากการกรอกข้อมูลไปจัดเก็บลงในฐานข้อมูล จากนั้นกดปุ่ม Sign up เพื่อไปที่หน้า Sign in ที่แสดงดังรูป 4.60 ก็ทำการกรอกเฉพาะ Username และ Password ให้ถูกต้องตามที่ได้ลงทะเบียนไว้ ผ่านโปรแกรมไฟล์ php ที่จะทำดึงข้อมูล Username และ Password มาจากฐานข้อมูลเพื่อตรวจสอบว่า Username กับ Password ที่ผู้ใช้กรอกถูกต้องหรือตรงกับที่ลงทะเบียนหรือไม่ จากนั้นกดปุ่ม Sign in ซึ่งจะไปที่หน้าการแสดงผลของเซนเซอร์ที่แสดงในรูปแบบตาราง และในแผนที่ ดังรูปที่ 4.61 ซึ่งสามารถทำให้แสดงผลเป็นตาราง โดยเขียนโปรแกรมดึงข้อมูลจากตารางฐานข้อมูลในส่วนที่เก็บข้อมูลเซนเซอร์ หรือตาราง sensors ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าการแจ้งเตือนได้ด้วยตัวเองโดยการเข้าไปที่หน้าต่าง Configuration ของ Web Application ดังรูปที่ 4.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

รูปที่ 4.58 หน้าต่าง Sign up ของ Web Application

username	email	password
asdf	123@gmail.com	7777777

รูปที่ 4.59 ตารางฐานข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลการลงทะเบียน

รูปที่ 4.60 หน้าต่าง Sign in ของ Web Application

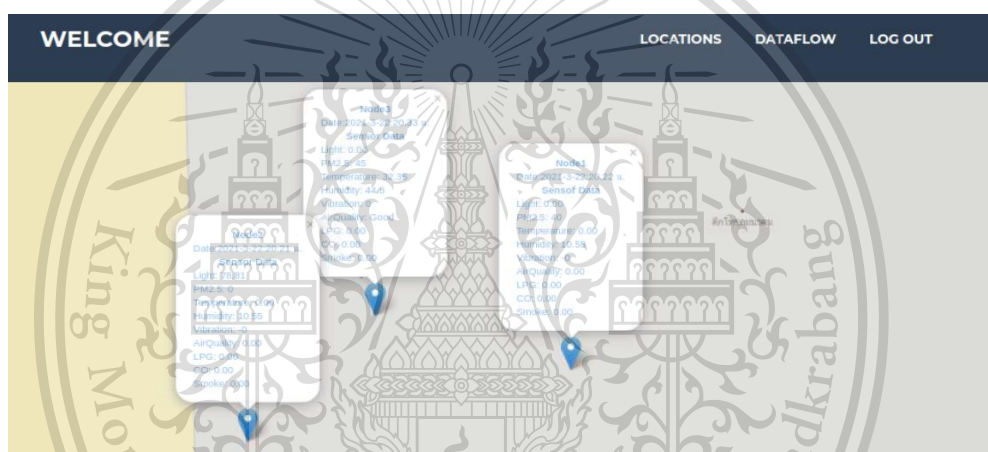
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

SMART INDUSTRIAL SAFETY SYSTEM											LOCATIONS	DATAFLOW	LOG OUT
ID	Latitude	Longitude	Y/M/D	H/M	Light Intensity	PM2.5	Temperature	Humidity	Vibration	Air Quality	LPG	CO	SMOKE
001	13.727331	100.776118	2021-3-21	13.51	0.00	24	27.97	53.8	0	Moderate	0.00	0.00	0.00
001	13.727331	100.776118	2021-3-21	13.51	0.00	24	27.97	53.8	0	Moderate	0.00	0.00	0.00
001	13.727407	100.776207	2021-3-21	13.47	0.00	23	28.29	53.59	-0	233458.05	0.00	0.00	0.00
001	13.727407	100.776207	2021-3-21	13.47	0.00	23	28.29	53.59	-0	233458.05	0.00	0.00	0.00
001	13.727411	100.776100	2021-3-21	13.48	0.00	22	28.05	53.90	-0	233458.05	0.00	0.00	0.00

(ก)



(ข)

รูปที่ 4.61 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลเซนเซอร์ ของ Web Application  
 (ก) หน้าต่าง DATAFLOW แสดงข้อมูล (ข) หน้าต่าง LOCATIONS แสดงตำแหน่ง

### configuration



Submit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบอกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.62 หน้าต่าง Configuration ของ Web Application

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

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

## 4.7 ผลการทดสอบเก็บผลการทำงานจริง

4.7.1 กรณีที่ 1 ทดสอบด้วยการตัดการเชื่อมต่อของ Sensor Node 1 “001” โดยเริ่มจากให้ Sensor Node ทุกตัวทำงานส่งข้อมูลไปยัง Sensor Node ที่ทำหน้าที่เป็น Gateway จากนั้นตัดการติดต่อสื่อสารของ Sensor Node 1 ทำการสังเกตผลซึ่งแสดงผลได้ตามรูปที่ 4.63 และรูปที่ 4.64 ตามลำดับ และสรุปผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.15

```

002,13.727522,100.776596,2021-3-29,17.52,20.09,0,0.00,10.55,-0,0.00,0.00,0.00,0.00
Client mosqsub|10433-raspberry received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor',
... (82 bytes))
003,13.727478,100.776398,2021-3-29,18.2,0.00,26.0.00,10.55,-0,25.00,0.00,0.00,0.00
Client mosqsub|10433-raspberry received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor',
... (92 bytes))
004,13.727304,100.776045,2021-3-29,18.2,191.44,26.35.07,64.3,0,Very Unhealthy,0.00,0.00,0.00

```

รูปที่ 4.63 หน้าต่างแสดงผลส่วนของ Mosquitto MQTT กรณีที่ 1

```

New record created successfully
Recieved at: 2021-03-29 18:03:48
Topic: smart/sensor
Message: 002,13.727522,100.776596,2021-3-29,17.52,20.09,0,0.00,10.55,-0,0.00,0.00,0.00,0.00

New record created successfully
Recieved at: 2021-03-29 18:04:02
Topic: smart/sensor
Message: 003,13.727478,100.776398,2021-3-29,18.2,0.00,26.0.00,10.55,-0,25.00,0.00,0.00,0.00

New record created successfully
Recieved at: 2021-03-29 18:04:18
Topic: smart/sensor
Message: 004,13.727304,100.776045,2021-3-29,18.2,191.44,26.35.07,64.3,0,Very Unhealthy,0.00,0.00,0.00

```

รูปที่ 4.64 หน้าต่างแสดงผลส่วน Insertdata กรณีที่ 1

ตารางที่ 4.15 สรุปผลการทดสอบกรณีที่ 1

Node	Shut down	Next Hop	Destination	Gateway	Experiment	Result
1	Yes	-	-	No	-	-
2	No	3,4	4	No	Send 2 -> 4	2 -> 4
3	No	2,4	4	No	Send 3 -> 4	3 -> 4
4	No	-	-	Yes	Send data by itself	To database

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.7.2 กรณีที่ 2 ทดสอบด้วยการตัดการเชื่อมต่อของ Sensor Node 1 “001” และ Sensor Node 2 “002” โดยเริ่มจากให้ Sensor Node ทุกตัวทำงานส่งข้อมูลไปยัง Sensor Node ที่ทำหน้าที่เป็น Gateway จากนั้นตัดการติดต่อสื่อสารของ Sensor Node 1 และ Sensor Node 2 ทำการสังเกตผลซึ่งแสดงผลได้ตามรูปที่ 4.65 และรูปที่ 4.66 ตามลำดับ และสรุปผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.16

```
Client mosqsub|10433-raspberry received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (83 bytes))
002,13.727508,100.776569,2021-3-29,18.9,0.00,0,0.00,10.6,1,Hazardous,0.00,0.00,0.00
Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP
Client mosqsub|10433-raspberry received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (88 bytes))
004,13.727305,100.776039,2021-3-29,18.10,138.74,29,34.40,64.7,0,Hazardous,0.00,0.00,0.00
```

รูปที่ 4.65 หน้าต่างแสดงผลส่วนของ Mosquitto MQTT กรณีที่ 2

```
New record created successfully
Received at: 2021-03-29 18:10:30
Topic: smart/sensor
Message: 002,13.727508,100.776569,2021-3-29,18.9,0.00,0,0.00,10.6,1,Hazardous,0.00,0.00,0.00

New record created successfully
Received at: 2021-03-29 18:10:48
Topic: smart/sensor
Message: 004,13.727305,100.776039,2021-3-29,18.10,138.74,29,34.40,64.7,0,Hazardous,0.00,0.00,0.00
```

รูปที่ 4.66 หน้าต่างแสดงผลส่วน Insertdata กรณีที่ 2

ตารางที่ 4.16 สรุปผลการทดสอบกรณีที่ 2

Node	Shut down	Next Hop	Destination	Gateway	Experiment	Result
1	Yes	-	-	No	-	-
2	Yes	-	-	No	-	-
3	No	4	4	No	Send 3 -> 4	3 -> 4
4	No	-	-	Yes	Send data by itself	To database

4.7.3 กรณีที่ 3 ทดสอบด้วยการตัดการเชื่อมต่อของ Sensor Node ทุกโหนดให้ไม่สามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi เริ่มต้นด้วยการตัดการเชื่อมต่อ Wi-Fi ของ Sensor Node ทุกตัวและทำการสังเกตผลพบว่าไม่มีการส่งข้อมูลเข้า Mosquitto MQTT ซึ่งหมายความว่าไม่มีข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP
Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP
Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP
Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP
Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP
Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP
Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP
Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP
Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP
Client mosqsub|10433-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10433-raspberry received PINGRESP

```

รูปที่ 4.67 หน้าต่างแสดงผลส่วนของ Mosquitto MQTT กรณีที่ 3

4.7.4 กรณีที่ 4 ทดสอบต่อจากกรณีที่ 3 โดยให้ Sensor Node กลับมาเชื่อมต่อ Wi-Fi ได้อีกครั้ง ซึ่งการทดสอบกำหนดให้ Sensor Node 4 “004” ทำหน้าที่เป็น Gateway จากนั้นทำการรับข้อมูลจาก Sensor Node ตัวอื่นๆ ทำการสังเกตผลพบว่าการส่งข้อมูลเก่าที่ Sensor Node ได้ทำการเก็บไว้จากกรณีที่ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 4.68 และรูปที่ 4.69 และสรุปผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.16

```

Client mosqsub|10982-raspberry received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (88 bytes))
001,13.727463,100.776489,2021-3-29,18.38,0.00,23.35,53.61,97,-0,175017.53,0.00,0.00,0.00
Client mosqsub|10982-raspberry received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (86 bytes))
003,13.727465,100.776391,2021-3-29,18.48,0.00,21.35,74.61,8,0,Hazardous,0.00,0.00,0.00
Client mosqsub|10982-raspberry received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'smart/sensor', ... (91 bytes))
004,13.727237,100.776060,2021-3-29,18.49,0.00,22.34,67.64,1,0,Very Unhealthy,0.00,0.00,0.00
Client mosqsub|10982-raspberry sending PINGREQ
Client mosqsub|10982-raspberry received PINGRESP

```

รูปที่ 4.68 หน้าต่างแสดงผลส่วนของ Mosquitto MQTT กรณีที่ 4

```

New record created successfully
Received at: 2021-03-29 18:50:03
Topic: smart/sensor
Message: 001,13.727463,100.776489,2021-3-29,18.38,0.00,23.35,53.61,97,-0,175017.53,0.00,0.00,0.00

New record created successfully
Received at: 2021-03-29 18:50:18
Topic: smart/sensor
Message: 003,13.727465,100.776391,2021-3-29,18.48,0.00,21.35,74.61,8,0,Hazardous,0.00,0.00,0.00

New record created successfully
Received at: 2021-03-29 18:50:34
Topic: smart/sensor
Message: 004,13.727237,100.776060,2021-3-29,18.49,0.00,22.34,67.64,1,0,Very Unhealthy,0.00,0.00,0.00

New record created successfully

```

รูปที่ 4.69 หน้าต่างแสดงผลส่วน Insertdata กรณีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 4.8 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify

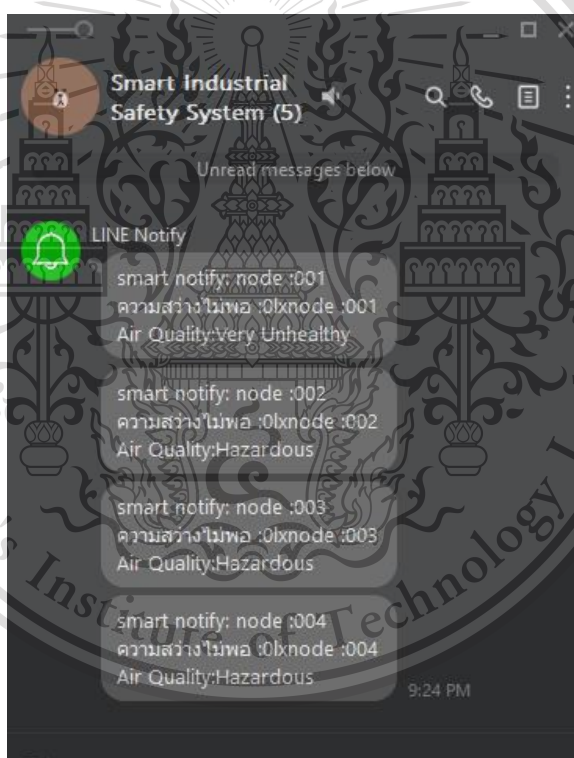
การทดสอบเริ่มต้นด้วยสั่งการทำงานโปรแกรมสำหรับการแจ้งเตือนด้วย Terminal ของ Raspberry Pi ดังรูปที่ 4.70 และทำการเก็บผลการแจ้งเตือนผ่าน Line Group ดังรูปที่ 4.71

```

pi@raspberrypi:~$ cd /var/www/html/webapp/-homepages
pi@raspberrypi:/var/www/html/webapp/-homepages$ php line.php
01034.98-00.000.00179058.59000.0010.000.00Hazardous0735.0600.000.00Very UnhealthystdClass Object
[status] => 200
[message] => ok

```

รูปที่ 4.70 หน้าต่าง Terminal ของ Raspberry Pi



รูปที่ 4.71 หน้าต่างการแจ้งเตือนผ่าน Line Group

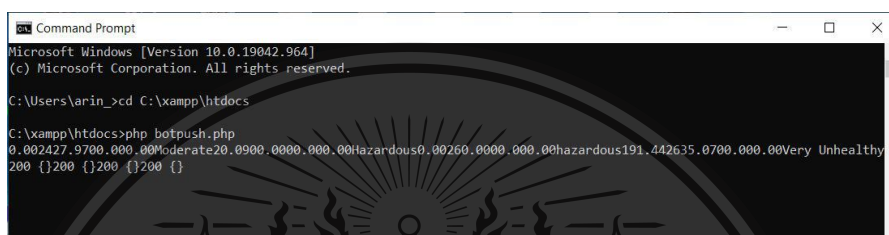
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 4.9 การทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน Line Official Account เมื่อ User มีการ Configuration ค่าการแจ้งเตือนใหม่

การทดสอบเริ่มต้นด้วยสั่งการทำงานโปรแกรมสำหรับการแจ้งเตือนด้วย Command Prompt ดังรูปที่ 4.72 และทำการเก็บผลการแจ้งเตือนผ่าน Line Official Account ของ Smart Industrial ดังรูปที่ 4.73



```
Microsoft Windows [Version 10.0.19042.964]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\arin_>cd C:\xampp\htdocs

C:\xampp\htdocs>php botpush.php
0.002427,9700.000,00Moderate20.0900.0000.000,00hazardous0.00260,0000.000,00hazardous191.442635,0700.000,00Very Unhealthy
200 {}200 {}200 {}
```

รูปที่ 4.72 การสั่งการทำงานการแจ้งเตือนด้วยหน้าต่าง Command Prompt



รูปที่ 4.73 หน้าต่างการแจ้งเตือนผ่าน Line Official Account Smart Industrial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

เนื้อหาภายในปริญญาบัตรฉบับนี้เกี่ยวข้องกับระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยอัจฉริยะสำหรับอุตสาหกรรม ซึ่งระบบจะมีการแสดงข้อมูลตำแหน่ง วัน เดือน ปี เวลา ความเข้มแสง ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซ LPG CO คาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ ความชื้น และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ ผ่านตารางบนหน้าเว็บของ Web Application เพื่อเฝ้าระวังอันตรายที่อาจเกิดขึ้นภายในโรงงานอุตสาหกรรม

ในภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2563 คณะผู้จัดทำได้ออกแบบ และทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัย ซึ่งแต่ละอุปกรณ์จะมีการสื่อสารระหว่างกันโดยใช้หนึ่งในเทคโนโลยี Low-power Wide-Area Network หรือ LPWAN คือ LoRa ที่แต่ละอุปกรณ์เชื่อมต่อด้วยโครงข่ายแบบ Mesh หรือ Mesh Topology โดยอุปกรณ์ที่กล่าวถึงข้างต้นจะถูกเรียกว่า Sensor Node ซึ่งข้อมูลที่ Sensor Node รับมาจะถูกส่งไปยัง Gateway Node โดย Gateway Node มีหน้าที่ในการส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ จากนั้นข้อมูลที่เข้ามาถึงเซิร์ฟเวอร์จะถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล และเมื่อต้องการใช้ข้อมูล เซิร์ฟเวอร์จะทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลบนหน้าเว็บของ Web Application ซึ่งจากการทดสอบระบบพบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ได้กล่าวถึงข้างต้น

ในภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2563 คณะผู้จัดทำจะทำการออกแบบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยให้แต่ละ Sensor Node สามารถทำงานเป็น Gateway ควบคู่กับการรับส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ ทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยในส่วนการทำหน้าที่เป็น Gateway ของ Sensor Node ทดสอบระยะในการสื่อสารแบบ LoRa ของ Sensor Node รวมถึงการทดสอบเทียบ และปรับค่าของแต่ละเซนเซอร์ที่ใช้ภายใน Sensor Node และแสดงผลผ่าน Web Application ที่สามารถแสดงตำแหน่งและค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ของ Sensor Node ในแผนที่ ซึ่งจากการทดสอบระบบพบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ได้กล่าวถึงข้างต้น และทำการแจ้งเตือนความปลอดภัยผ่าน Line Group ที่มี Line Notify อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยอัจฉริยะสำหรับอุตสาหกรรมควรจะสามารถใช้ระยะในการสื่อสารแบบ LoRa สำหรับ Sensor Node ได้เต็มประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบ LoRa เพื่อที่จะได้การรับส่งข้อมูล Sensor Node ได้ระยะที่ไกลมากยิ่งขึ้น อีกทั้งควรหา NodeMCU ที่มีประสิทธิภาพดีกว่า ESP 32 เนื่องจาก NodeMCU ที่ใช้อยู่คือ ESP 32 นั้นมีปัญหาด้านการใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานานไม่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## บรรณานุกรม

- [1] Calum McClelland. "IoT Connectivity - Comparing NB-IoT, LTE-M, LoRa, SigFox, and other LPWAN Technologies."  
<https://www.iotforall.com/iot-connectivity-comparison-lora-sigfox-rpma-lpwan-technologies>
- [2] Hanish Bhatia. "LPWANs Will Co-Exist, No War Brewing Between Cellular and Non-Cellular."  
<https://www.counterpointresearch.com/lpwans-will-co-exist-no-war-brewing-between-cellular-non-cellular/>
- [3] Warodom Weraphun. "Wireless Data Transmission."  
<http://wwarodom.blogspot.com/2016/08/wireless-data-transmission.html>
- [4] itrelease. "What is star topology with example."  
<https://www.itrelease.com/2019/06/what-is-star-topology-with-example/>
- [5] mindphp. "โครงข่ายแบบตาข่าย Mesh Topology (เมชโทโพโลยี)."  
<https://www.mindphp.com/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1/212-network/5665-Mesh-topology.html>
- [6] WISE. "มาตรฐาน IEEE 802.11."  
<http://wise.swu.ac.th/Default.aspx?tabid=3440>
- [7] มหาวิทยาลัยมหาสารคาม หน่วยปฏิบัติการวิจัยวิทยาการข้อมูลและนวัตกรรมดิจิทัล. "Wi-Fi Data Frame." <https://dsdi.msu.ac.th/?article=network&fn=week-12>
- [8] iot24hours. "ทำความเข้าใจกับ MQTT Protocol สำหรับระบบ IoT ที่จำเป็นต้องรู้."  
<https://medium.com/@iot24hours/>
- [9] บริษัท ไชยเจริญเทคโนโลยี จำกัด. "มาตรฐานความปลอดภัยภายในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย." <https://www.chi.co.th/article/article-1186/>
- [10] vangarde industries. "GPS Tracking System."  
<http://vangarde-industries.com/products/gps-tracking-system>
- [11] trakkitgps. "How GPS Works (Step-by-Step)."  
<https://trakkitgps.com/how-gps-works/>
- [12] Flight Crew Guide. "GPS Signals."  
<https://flightcrewguide.com/wiki/navigation/gps/gps-signals/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหา และข้อมูลของเอกสารนี้ไปยังบุคคลอื่นใดที่มิได้มีการนำไปใช้

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

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

- [13] Jyrki T. J, Penttinen. “*The Telecommunications Handbook : Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems.*” Chichester, West Sussex : John Wiley & Sons, 2015.
- [14] electrosparks. “LDR (Light sensor).”  
<https://electrosparks.com/product/ldr-light-sensor/>
- [15] g-tech. “อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง.”  
<http://www.g-tech.ac.th/vdo/ELECTRICdoc>
- [16] Chanat Ratanasumawong. “การวัดและการจัดการสัญญาณการสั่นสะเทือนเบื้องต้น.”  
[http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/2103433%20Intro%20Mech%20Vib/documents/Ch8\\_Introduction%20to%20vibration%20measurement%20and%20signal%20processing.pdf](http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/2103433%20Intro%20Mech%20Vib/documents/Ch8_Introduction%20to%20vibration%20measurement%20and%20signal%20processing.pdf)
- [17] กรมควบคุมมลพิษ. “มาตรฐานคุณภาพอากาศ และเสียง.”  
[http://pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_std\\_airsnd01.html](http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html)
- [18] STEM. “เครื่องตรวจวัดฝุ่น PM2.5 ทำงานยังไง.”  
<https://stem.in.th/howpm25detectorwork/>
- [19] LESA. “ความร้อน และอุณหภูมิ.”  
[http://www.pw.ac.th/emedia/media/science/lesa/6/heat\\_temp/heat\\_temp.html#:~:text=%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%93%E0%B8%AB%E0%B8%A0%E0%B8%B9%E0%B8%A1%E0%B8%B4%20\(Temperature\)%20%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%96%E0%B8%B6%E0%B8%87%20%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3,%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B9%83%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%93%E0%B8%AB%E0%B8%A0%E0%B8%B9%E0%B8%A1%E0%B8%B4%E0%B8%A5%E0%B8%94%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%B3%E0%B8%A5%E0%B8%87](http://www.pw.ac.th/emedia/media/science/lesa/6/heat_temp/heat_temp/heat_temp.html#:~:text=%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%93%E0%B8%AB%E0%B8%A0%E0%B8%B9%E0%B8%A1%E0%B8%B4%20(Temperature)%20%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%96%E0%B8%B6%E0%B8%87%20%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3,%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B9%83%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%93%E0%B8%AB%E0%B8%A0%E0%B8%B9%E0%B8%A1%E0%B8%B4%E0%B8%A5%E0%B8%94%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%B3%E0%B8%A5%E0%B8%87)
- [20] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ผศ.ดร.นวกัฑรา หนูนา และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. “Temperature measurement.”  
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4240/temperature-measurement-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%93%E0%B8%AB%E0%B8%A0%E0%B8%B9%E0%B8%A1%E0%B8%B4>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- [21] Factomart. “หลักการทำงานของ Humidity Sensor.”  
<https://mall.factomart.com/principle-of-humidity-sensor/>
- [22] สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. *คู่มือวิชาการ เรื่องสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (Volatile Organic Compounds : VOCs)*. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2555
- [23] sanomaru. “การสันดาปหรือการเผาไหม้ทางเคมี : การเผาไหม้ที่สมบูรณ์และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์.”  
<https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/82155/-blo-sciche-sci->
- [24] air4thai. “ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ.” [http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi\\_info.php](http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php)
- [25] airnow. “AQI basic.”  
<https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>
- [26] airnow. “Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI).” <https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf>
- [27] David Bird. “Calculating a IAQ.”  
<https://github.com/G6EJD/BME680-Example>
- [28] u-blox. “NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Datasheet.”  
<https://www.u-blox.com/en>
- [29] iot.codemobiles. “GY-NEO6MV2 GPS module NEO6MV2 with GPS Antenna.”  
<http://www.iot.codemobiles.com/product/296/gy-neo6mv2-gps-module-neo6mv2-with-gps-antenna>
- [30] Arduino4. “Photoresistor LDR Light Sensor Module.”  
<https://www.arduino4.com/product/187/photoresistor-ldr-light-sensor-module>
- [31] IDUINO for Maker’s life. “801s Vibration Sensor Module (SE040).”  
<https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001485302DS01/datablad-1485302-iduino-1485302-vibrationssensor-arduino.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- [33] pololu. “MQ-2 Semicoduvtor Sensor for Combustible Gas.”  
<https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf>
- [34] กรมควบคุมมลพิษ. “มาตรฐานคุณภาพอากาศ และเสียง.”  
[http://pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_std\\_airsnd01.html](http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html)
- [35] GSC. “Material Safety Datasheet Liquefied Petroleum Gas (ก๊าซหุงต้ม).”  
<http://www.gassolution.co.th/wp-content/uploads/2015/04/Liquid-LPG-thai.pdf>
- [36] Bosch Sensortec. “BME680-Darasheet”  
<https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme680-ds001.pdf>
- [37] Heltec. “WiFi LoRa 32 (V2).”  
<https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>
- [38] AOSOFT. “phpMyAdmin.”  
<https://www.aosoft.co.th/article/310/phpMyAdmin-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3.html>
- [39] Heltec Automation. “WiFi LoRa 32 (V2).”  
<https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>
- [40] Pete Houston. “Calculate distance of two locations on Earth using Python.”  
 Calculate distance of two locations on Earth using Python | by Pete Houston | Medium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



ภาคผนวก ก

โปรแกรมที่ติดตั้งบนอุปกรณ์ที่เขียนผ่าน Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## ส่วนของ Sensor Node

```
#include <EEPROM.h>
#include "esp_wpa2.h"
#include "heltec.h"
#include <WiFi.h>
#include <WiFiMulti.h>
#define RH_MESH_MAX_MESSAGE_LEN 150
#include <RHMesh.h>
#include <RH_RF95.h>
#include <SPI.h>
#include "EspMQTTClient.h"
#include <TinyGPS++.h>
#include <HardwareSerial.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <WiFi.h>
#include <ESPmDNS.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include "Adafruit_BME680.h"
#include <Wire.h>
#include <RHMesh.h>
#include <RH_RF95.h>
#include <RHRouter.h>
#include <ArduinoOTA.h>
```

```
#define RFM95_CS 18
```

```
#define RFM95_RST 14
```

```
#define RFM95_INT 26
```

```
#define SCK 5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์นี้ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

#define MISO 19
#define MOSI 27
#define SS 18
#define RST 14
#define DIO 26
#define ADDRESS 2
#define DES_ADDRESS 254

#define EAP_PASSWORD "sompong" //your Eduroam password
const char* Ssid = "A_NET24"; // Eduroam SSID
const char* host = "arduino.php5.sk"; //external server domain for HTTP connection
after authentication

char ssid[15] = "boon";
char pass[15] = "88888888";
char val0[15];
char val1[15];
char data2[15] = "boon"; //val0 (default)
char data3[15] = "88888888"; //val1 (default)
const int buttonPin = 39;
int buttonState = 0;

//Nodestart
#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25)
int xx = 0;
Adafruit_BME680 bme; // I2C SDA21 SCL22
float hum_weighting = 0.25; // so hum effect is 25% of the total air quality score
float gas_weighting = 0.75; // so gas effect is 75% of the total air quality score

int humidity_score, gas_score;
float gas_reference = 2500;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

float hum_reference = 40;
int  getgasreference_count = 0;
int  gas_lower_limit = 10000; // Bad air quality limit
int  gas_upper_limit = 300000; // Good air quality limit

#define MQ_PIN    (38) //define which analog input channel you are going to use
#define RL_VALUE  (5)  //define the load resistance on the board, in kilo ohms
#define RO_CLEAN_AIR_FACTOR (9.83) //RO_CLEAN_AIR_FACTOR=(Sensor resistance
in clean air)/RO,
//which is derived from the chart in datasheet

/*****Software Related Macros*****/
#define CALIBRATION_SAMPLE_TIMES    (50) //define how many samples you are
going to take in the calibration phase
#define CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL (500) //define the time interval(in
milisecond) between each samples in the
//calibration phase
#define READ_SAMPLE_INTERVAL (50) //define how many samples you are going
to take in normal operation
#define READ_SAMPLE_TIMES (5) //define the time interval(in milisecond)
between each samples in
//normal operation

/*****Application Related Macros*****/

#define GAS_LPG (0)
#define GAS_CO (1)
#define GAS_SMOKE (2)

/*****Globals*****/
float LPGCurve[3] = {2.3, 0.21, -0.47};
float COCurve[3] = {2.3, 0.72, -0.34};

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

float    SmokeCurve[3] = {2.3, 0.53, -0.44};
float    Ro            = 10;
float    mq21;
float    mq22;
float    mq23;

#define  RXPin 17 //pm
#define  TXPin 16 //pm
HardwareSerial mySerial(2);
HardwareSerial gpsSerial(0);
unsigned int pm2_5 = 0;
#define  TXPinn 13 //gps
#define  A0 37 //LDR
float    lux = 0.00;
int    callux[10];
int    LDR_value[10];
long    avgLDR_value;
char    j;
String  lu = "lux";
int    sensorvibra = 36;
int    digital;
int    valvibra = 0000 ;
int    valvibra2 = 0000 ;
static const uint32_t GPSBaud = 9600;
// The TinyGPS++ object
TinyGPSPlus gps;
String  id = "002";
String  packet;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

//Node part 2
//  sen  lati  longi  da mo year h m  slux  pm  temp humid  val  aqi
mq21  mq22  mq23
uint8_t  data[]  =  "000,000.000000,000.000000,00.00.0000,0000,0000.00,000,000.00,
000.00,0000,xxxxxxxxxxxxxxxx,00000000,00000000,00000000,";
uint8_t  data1[]  =  "Hello Back from Gateway(254)";
uint8_t  buf[RH_MESH_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t  len  =  sizeof(buf);
uint8_t  from;
uint8_t  dest;
String  str;
String  STR;

//GPS Data flat form
String  lati  =  "000.000000";
String  longi  =  "000.000000";
String  da  =  "00";
String  mo  =  "00";
String  ye  =  "0000";
String  h  =  "00";
String  m  =  "00";
String  slux  =  "0000.00";
String  spm  =  "000";
String  stemp  =  "000.00";
String  shumid  =  "000.00";
String  IAQ_text2  =  "";
String  svalvibra  =  "0000";
String  saqi  =  "xxxxxxxxxxxxxxxx";
String  smq21  =  "00000000";
String  smq22  =  "00000000";
String  smq23  =  "00000000";

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

//Store data to memory when sensor Node can not send data to Gateway
RTC_DATA_ATTR int id_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR float lati_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR float longi_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR uint8_t da_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR uint8_t mo_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR int ye_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR uint8_t h_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR uint8_t m_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR float lux_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR int pm_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR float temp_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR float humid_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR float gas_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR int valvibra_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR float acj_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR float mq21_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR float mq22_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR float mq23_array[24] = {};
RTC_DATA_ATTR int i = 0; //number of present memory

uint8_t count = 0; //for count failure times to send data --> send_and_count()
int x = 0; //use for show value in memory --> save_to_memory()
int y = 1; //use for shift value in memory --> save_to_memory()
int mx = 24; //number of full memory --> save_to_memory()
int z = 0; //use for count number of data in old memory --> make_data(),
check_memory()

int sent = 0; //use for count times to send data --> send_and_count()
int a; //variable to check empty memory --> check_memory()
#define mx_time 3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

//Nodeend

#define WIFI_TIMEOUT_MS 10000
RH_RF95 rf95(RFM95_CS, RFM95_INT);
RHMesher manager1(rf95, ADDRESS); //ADDRESS
//RHMesher manager(rf95, DES_ADDRESS); //GW_ADDRESS
EspMQTTClient client(
    "192.168.1.13",
    1883,
    "smartsensor",
    "smartsensor",
    "TestClient2"
);
int xxx;

// กำหนด LED = GPIO25 (ใช้ Built-in LED)
int point = 25;
void setup()
{
    //Nodestart
    Serial.begin(9600);
    pinMode(sensorvibra, INPUT);
    pinMode(A0, INPUT);
    mySerial.begin(9600);
    gpsSerial.begin(GPSBaud, SERIAL_8N1, TXPinn, -1 );
    Serial.println(TinyGPSPlus::libraryVersion());
    Serial.println(F("BME680 test"));
    Wire.begin();
    if (!bme.begin()) {
        Serial.println(F("Could not find a valid BME680 sensor, check wiring!"));
        //ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
        //while (1);
    }
}

```

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

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

```

}

// Set up oversampling and filter initialization
bme.setTemperatureOversampling(BME680_OS_8X);
bme.setHumidityOversampling(BME680_OS_2X);
bme.setPressureOversampling(BME680_OS_4X);
bme.setIIRFilterSize(BME680_FILTER_SIZE_3);
bme.setGasHeater(320, 150); // 320*C for 150 ms
GetGasReference();

//Lora setup
pinMode(RFM95_RST, OUTPUT);
digitalWrite(RFM95_RST, HIGH);

pinMode(23, OUTPUT);

digitalWrite(RFM95_RST, LOW);
delay(10);
digitalWrite(RFM95_RST, HIGH);
delay(10);

delay(100);
SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);

if (!manager1.init()) {
  Serial.println("init failed");
  // Defaults after init are 434.0MHz, 0.05MHz AFC pull-in, modulation
  FSK_Rb2_4Fd36
}

Serial.println("LoRa radio init OK!");
rf95.setModemConfig(RH_RF95::Bw250Cr48Sf256);
rf95.setFrequency(433.0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

rf95.setPreambleLength(8);
rf95.setTxPower(20, false);

//Nodeend
Ro = MQCalibration(MQ_PIN);

// กำหนด pinMode เหมือนเขียนโปรแกรมปกติ
pinMode(point, OUTPUT);
pinMode(buttonPin, INPUT);
Serial.println(val0);
Serial.println(val1);
}

void loop()
{
  bme_680();
  delay(2000);
  LDR();
  pm25();
  GPS();
  vibration();
  mq2();
  connectToWiFi();
}

void connectToWiFi() {
  EEPROM.begin(100);

  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  Serial.println( digitalRead(buttonPin));
  ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
  if (buttonState == HIGH) {

```

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

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

```

uint8_t data2[15] = "OL";    //val0 (default)
uint8_t data3[15] = "oK0pxmrtbl"; //val1 (default)
EEPROM.put(0, data2);
EEPROM.put(sizeof(data2), data3);
EEPROM.commit();

int s;
for (s = 0; s < 15; s++) {
    val0[s] = ssid[s];
    val1[s] = pass[s];
}
}
EEPROM.get(0, val0);
EEPROM.get(sizeof(data2), val1);
int counter = 0;
Serial.println();
Serial.print("Connecting to network: ");
Serial.println(ssid);
WiFi.disconnect(true); //disconnect from wifi to set new wifi connection
WiFi.mode(WIFI_STA); //init wifi mode
WiFi.begin(ssid,EAP_PASSWORD); //connect to wifi
unsigned long startAttemptTime = millis();
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - startAttemptTime <
WIFI_TIMEOUT_MS) {
    Serial.print(".");
    delay(500);
}
if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    counter++;*/
    // if (counter >= 30) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

    NODE();
    //WiFi.reconnect();
}
//}
else {
    GATEWAY();
}
}

void NODE()
{
    Serial.println("WiFi connection failed");
    Serial.println("I am Node");
    Serial.println(ADDRESS);
    delay(3000);

    //Check data in memory before send new packet
    check_memory(); /////
    new_data(); /////
    send_and_count(); /////
    if (count == mx_time)
    {
        save_to_memory();
        count = 0;
    }

    Serial.print(F("Location: "));
    Serial.println(packet);
    packet = "";
    relay();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

}
void GATEWAY()
{
  Serial.println("WiFi connected");
  RMesh manager1(rf95, DES_ADDRESS);
  if (!manager1.init()) {
    Serial.println("init failed");
    // Defaults after init are 434.0MHz, 0.05MHz AFC pull-in, modulation
    FSK_Rb2_4Fd36
  }
  Serial.println("LoRa radio init OK!");
  rf95.setModemConfig(RH_RF95::Bw250Cr48Sf256);
  rf95.setFrequency(433.0);
  rf95.setPreambleLength(8);
  rf95.setTxPower(20, false);
  delay(2000);

  Serial.println("I am Gateway");
  Serial.println(DES_ADDRESS);

  onConnectionEstablished();
  OTA();

  int thismillis = millis();
  while (millis() - thismillis < 60000) {
    delay(3000);
    client.loop();
    if (manager1.recvfromAck(buf, &len, &from, &dest))
    {
      delay(3000);
      str = (char*)buf;
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.print("got request from : 0x");

Serial.print(from, HEX);
Serial.print(": ");
Serial.println((char*)buf);
Serial.println(dest);
Serial.print("RSSI: ");
Serial.println(rf95.lastRssi(), DEC);
delay(3000);
if (client.isConnected())
{
  client.publish("smart/sensor", str);
  Serial.println("Data is published!");
  Serial.println("It's me");
  delay(1000);
}
if (manager1.sendtoWait(data1, sizeof(data1), from) != RH_ROUTER_ERROR_NONE)
  Serial.println("sendtoWait failed");
  delay(1000);
}

ArduinoOTA.handle();

```

**// เขียนโปรแกรมปกติเพิ่มลงไป**

```

uint8_t data2[15] = "A"; //val0 (user)
uint8_t data3[15] = "arin104317"; //val1 (user)
EEPROM.put(0, data2);
EEPROM.put(sizeof(data2), data3);
EEPROM.commit();
}
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
delay(2000);

```

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

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

```

onConnectionEstablished();
delay(2000);
  client.loop();
  delay(1000);
  bme_680();
  delay(1000);
  LDR();
  pm25();
  GPS();
  vibration();
  mq2();
  new_data();
  if (client.isConnected())
  {
    client.publish("smart/sensor", STR);
    Serial.println("Data is published!");
    Serial.println("It's A");
    delay(1000);
  }
  delay(2000);
//}
}

void onConnectionEstablished() {
  delay(1000);
  client.subscribe("smart/sensor", [](const String & payload) {
    Serial.println(payload);
  });
  Serial.println("Connection Established...");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

//ส่วนของ OTA
void OTA()
{
  delay(1000);
  ArduinoOTA
  .onStart([]() {
    String type;
    if (ArduinoOTA.getCommand() == U_FLASH)
      type = "sketch";
    else // U_SPIFFS
      type = "filesystem";

    // NOTE: if updating SPIFFS this would be the place to unmount SPIFFS using
    SPIFFS.end()
    Serial.println("Start updating " + type);
  })
  .onEnd([]() {
    Serial.println("\nEnd");
  })
  .onProgress([](unsigned int progress, unsigned int total) {
    Serial.printf("Progress: %u%%\r", (progress / (total / 100)));
  })
  .onError([](ota_error_t error) {
    Serial.printf("Error[%u]: ", error);
    if (error == OTA_AUTH_ERROR) Serial.println("Auth Failed");
    else if (error == OTA_BEGIN_ERROR) Serial.println("Begin Failed");
    else if (error == OTA_CONNECT_ERROR) Serial.println("Connect Failed");
    else if (error == OTA_RECEIVE_ERROR) Serial.println("Receive Failed");
    else if (error == OTA_END_ERROR) Serial.println("End Failed");
  });
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

ArduinoOTA.begin();

Serial.println("Ready");
Serial.print("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
}

void new_data()
{
  lati = String(gps.location.lat(), 6);
  longi = String(gps.location.lng(), 6);
  da = String(gps.date.day());
  mo = String(gps.date.month());
  ye = String(gps.date.year());
  h = String(gps.time.hour() + 7);
  m = String(gps.time.minute());
  slux = String(lux);
  spm = String(pm2_5);
  stemp = String(bme.readTemperature(), 2);
  shumid = String((1.009790459 * bme.readHumidity()) + 10.554049085, 1);
  svalvibra = String(digital);
  smq21 = String(mq21);
  smq22 = String(mq22);
  smq23 = String(mq23);
  saqi = IAQ_text2;

  Serial.println(id + "," + lati + "," + longi + "," + ye + "-" + mo + "-" + da + "," + h + "." +
  m + "," + slux + "," + spm + "," + stemp + "," + shumid + "," + svalvibra + "," + saqi + ","
  + smq21 + "," + smq22 + "," + smq23);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

String op = id + "," + lati + "," + longi + "," + ye + "-" + mo + "-" + da + "," + h + "." +
m + "," + slux + "," + spm + "," + stemp + "," + shumid + "," + svalvibra + "," + saqi + ","
+ smq21 + "," + smq22 + "," + smq23;
Serial.println(op);
packet = op;
STR = op;
packet.getBytes(data, 200);
}

```

```

void save_to_memory()

```

```

{
if (i == mx)
{
id_array[0] = {};
lati_array[0] = {};
longi_array[0] = {};
da_array[0] = {};
mo_array[0] = {};
ye_array[0] = {};
h_array[0] = {};
m_array[0] = {};
lux_array[0] = {};
pm_array[0] = {};
temp_array[0] = {};
humid_array[0] = {};
valvibra_array[0] = {};
aqi_array[0] = {};
mq21_array[0] = {};
mq22_array[0] = {};
mq23_array[0] = {};
for (y = 1; y < mx; y++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

{
  id_array[y - 1] = id_array[y];
  lati_array[y - 1] = lati_array[y];
  longi_array[y - 1] = longi_array[y];
  da_array[y - 1] = da_array[y];
  mo_array[y - 1] = mo_array[y];
  ye_array[y - 1] = ye_array[y];
  h_array[y - 1] = h_array[y];
  m_array[y - 1] = m_array[y];
  lux_array[y - 1] = lux_array[y];
  pm_array[y - 1] = pm_array[y];
  temp_array[y - 1] = temp_array[y];
  humid_array[y - 1] = humid_array[y];
  valvibra_array[y - 1] = valvibra_array[y];
  aqi_array[y - 1] = aqi_array[y];
  mq21_array[y - 1] = mq21_array[y];
  mq22_array[y - 1] = mq22_array[y];
  mq23_array[y - 1] = mq23_array[y];
}
i = mx - 1;
}
if (i < mx)
{
  id_array[i] = id.toInt();
  lati_array[i] = gps.location.lat();
  longi_array[i] = gps.location.lng();
  da_array[i] = gps.date.day();
  mo_array[i] = gps.date.month();
  ye_array[i] = gps.date.year();
  h_array[i] = gps.time.hour() + 7;
  m_array[i] = gps.time.minute();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

lux_array[i] = lux;
pm_array[i] = pm2_5;
temp_array[i] = bme.readTemperature();
humid_array[i] = (1.009790459 * bme.readHumidity()) + 10.554049085;

valvibra_array[i] = digital;
aqi_array[i] = gas_reference;
mq21_array[i] = mq21 ;
mq22_array[i] = mq22 ;
mq23_array[i] = mq23 ;
Serial.println("Save data to memory!");
i++;
}
Serial.println("Value in memory...");
for (x = 0; x < mx; x++)
{
/* Serial.println(id_array[x]);
Serial.println(lati_array[x],6);
Serial.println(longi_array[x],6);
Serial.println(da_array[x]);
Serial.println(mo_array[x]);
Serial.println(ye_array[x]);
Serial.println(h_array[x]);
Serial.println(m_array[x]);
Serial.println(lux_array[x]);
Serial.println(pm_array[x]);
Serial.println(temp_array[x]);
Serial.println(humid_array[x]);
Serial.println(valvibra_array[x]);
Serial.println(aqi_array[x]);*/
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

}

void make_data(int z)
{

if (id_array[z] <= 9)
{
    id = String(id_array[z]);
    id = "00" + id;
}
lati = String(lati_array[z], 6);
longi = String(longi_array[z], 6);
da = String(da_array[z]);
mo = String(mo_array[z]);
ye = String(ye_array[z]);
h = String(h_array[z]);
m = String(m_array[z]);
slux = String(lux_array[z]);
spm = String(pm_array[z]);
stemp = String(temp_array[z]);
shumid = String(humid_array[z]);
svalvibra = String(valvibra_array[z]);
saqi = String(aqi_array[z]);
smq21 = String(mq21_array[z]);
smq22 = String(mq22_array[z]);
smq23 = String(mq23_array[z]);

String op = id + "," + lati + "," + longi + "," + ye + "-" + mo + "-" + da + "," + h + "." +
m + "," + slux + "," + spm + "," + stemp + "," + shumid + "," + svalvibra + "," + saqi +
"," + smq21 + "," + smq22 + "," + smq23;
Serial.println("Old Data in memory...");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.println(op);
packet = op;
packet.getBytes(data, 200);
}

```

```

void check_memory()

```

```

{
  a = id_array[0];
  //Have data in memory
  if (a == ADDRESS) //SEN_ADDRESS
  {
    for (z = 0; z < i; z++)
    {
      make_data(z);
      send_and_count();
      //Delete memory sent
      if (count < mx_time)
      {
        Serial.println("Clear memory");
        clear_memory(0);
        z = z - 1;
      }
      //Send old data fail 3 times will out of for loop
      if (count == mx_time)
        break;
    }
    //Send fail 3 times
    if (count == mx_time)
    {
      Serial.println("Sent fail 3 times.");
      new_data();
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

    save_to_memory();
    count = 0;
    relay();
}
else
{
    new_data();
    send_and_count();
    if (count == mx_time)
    {
        save_to_memory();
        count = 0;
        relay();
    }
    relay();
}
}
}

void send_and_count()
{
    count = 0;
    Serial.print("Sending to Gateway: ");
    Serial.println(DES_ADDRESS); //GATEWAY_ADDRESS
    for (sent = 0; sent < mx_time; sent++)
    {
        if (sent > 0)
        {
            int ran = random(100, 1000);
            delay(ran);
            Serial.println(ran);
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

}

if (manager1.sendtoWait(data, sizeof(data), DES_ADDRESS) ==
RH_ROUTER_ERROR_NONE) //GATEWAY_ADDRESS
{
Serial.println("Send Message Finished!");

if (manager1.recvfromAckTimeout(buf, &len, 6000, &from))
{
Serial.print("got reply from : 0x");
Serial.print(from, HEX);
Serial.print(" ");
Serial.println((char*)buf);
Serial.print("RSSI: ");
Serial.println(rf95.lastRssi(), DEC);
//manager1.printRoutingTable();

break;
}
else
{

count++;
Serial.println("No reply from Gateway(254).");
Serial.print("Count: ");
Serial.println(count);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 else

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

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

```

{
  count++;
  Serial.println("sendtoWait failed. Are the intermediate Mesh servers running?");
  Serial.print("Count: ");
  Serial.println(count);
}
}
}

```

```
void clear_memory(int z)
```

```
{
  //When get Ack will clear memory
```

```
id_array[z] = {};
```

```
lati_array[z] = {};
```

```
longi_array[z] = {};
```

```
da_array[z] = {};
```

```
mo_array[z] = {};
```

```
ye_array[z] = {};
```

```
h_array[z] = {};
```

```
m_array[z] = {};
```

```
lux_array[z] = {};
```

```
pm_array[z] = {};
```

```
temp_array[z] = {};
```

```
humid_array[z] = {};
```

```
valvibra_array[z] = {};
```

```
aqi_array[z] = {};
```

```
mq21_array[z] = {};
```

```
mq22_array[z] = {};
```

```
mq23_array[z] = {};
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for (y = z + 1; y <= i; y++)
```

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

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

```

{
  Serial.println("Shift memory!");
  id_array[y - 1] = id_array[y];
  lati_array[y - 1] = lati_array[y];
  longi_array[y - 1] = longi_array[y];
  da_array[y - 1] = da_array[y];
  mo_array[y - 1] = mo_array[y];
  ye_array[y - 1] = ye_array[y];
  h_array[y - 1] = h_array[y];
  m_array[y - 1] = m_array[y];
  lux_array[y - 1] = lux_array[y];
  pm_array[y - 1] = pm_array[y];
  temp_array[y - 1] = temp_array[y];
  humid_array[y - 1] = humid_array[y];
  valvibra_array[y - 1] = valvibra_array[y];
  aqi_array[y - 1] = aqi_array[y];
  mq21_array[y - 1] = mq21_array[y];
  mq22_array[y - 1] = mq22_array[y];
  mq23_array[y - 1] = mq23_array[y];
}
i = i - 1;
}

```

```
void relay()
```

```

{
  if (from == DES_ADDRESS) {
    Serial.println("Relayingtest");
    int currentMillis = millis();

```

```
    while (millis() - currentMillis < 210000) {
```

```
      if (manager1.recvfromAck(buf, &len, &from, &dest))
```

```
      {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

String str = (char*)buf;

Serial.print("got request from : 0x");
Serial.print(from, HEX);
Serial.print(": ");
Serial.println((char*)buf);
Serial.println(dest);
Serial.print("RSSI: ");
Serial.println(rf95.lastRssi(), DEC);
if (manager1.sendtoWait(data, sizeof(data), from) != RH_ROUTER_ERROR_NONE)
    Serial.println("sendtoWait failed");
}
}
}
}

void GPS()
{
while (gpsSerial.available() > 0)
    if (gps.encode(gpsSerial.read()))
        displayInfo();
}

void displayInfo()
{
Serial.print(F("Location: "));
if (gps.location.isValid())
{
Serial.print(gps.location.lat(), 6);
Serial.print(F(",");
Serial.print(gps.location.lng(), 6);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.print(F(","));
Serial.print(gps.date.day());
Serial.print(F(":"));
Serial.print(gps.date.month());
Serial.print(F(":"));
Serial.print(gps.date.year());
Serial.print(F(","));
Serial.print(gps.time.hour() + 7);
Serial.print(F(":"));
Serial.print(gps.time.minute());
Serial.print(F(":"));
Serial.print(gps.time.second());
}
else
{
Serial.print(F("INVALID"));
}

Serial.println();
}

void LDR() {
for (j = 0; j < 10; j++) {
LDR_value[j] = 524288 / analogRead(A0);

if (LDR_value[j] > 0) {
LDR_value[j] = LDR_value[j];
}
else {
LDR_value[j] = 0;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

    delay(20);
}

avgLDR_value = 0;
for (j = 0; j < 10; j++) {
    avgLDR_value = avgLDR_value + LDR_value[j];
}
avgLDR_value = avgLDR_value / 10;

lux = (0.0003 * (pow(avgLDR_value, 2))) + (0.469 * avgLDR_value) - 86.296;

if (lux > 0) {
    lux = lux;
}
else {
    lux = 0;
}
Serial.println(lux + "u");
delay(1800);
}

void pm25() {
    int index = 0;
    char value;
    char previousValue;
    while (mySerial.available()) {
        value = mySerial.read();
        if ((index == 0 && value != 0x42) || (index == 1 && value != 0x4d)) {
            Serial.println("Cannot find the data header.");
            break;
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

if (index == 6 || index == 12) {
    previousValue = value;
}

else if (index == 7) {
    pm2_5 = 256 * previousValue + value;
}

else if (index > 15)
{
    break;
}
index++;
}
while (mySerial.available()) mySerial.read();
Serial.println(" ");
delay(1000);
}

void bme_680() {

    humidity_score = GetHumidityScore();
    gas_score      = GetGasScore();

    //Combine results for the final IAQ index value (0-100% where 100% is good quality
    air)
    float air_quality_score = humidity_score + gas_score;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

delay(2000);
}

void GetGasReference() {
    // Now run the sensor for a burn-in period, then use combination of relative
    humidity and gas resistance to estimate indoor air quality as a percentage.

    int readings = 10;
    for (int i = 1; i <= readings; i++) { // read gas for 10 x 0.150mS = 1.5secs
        gas_reference += bme.readGas();
    }
    gas_reference = gas_reference / readings;
    Serial.println("Gas Reference = " + String(gas_reference, 3));
}

String CalculatelAQ(int score) {
    String IAQ_text = "air quality is ";
    score = (100 - score) * 5;
    if (score >= 301) IAQ_text2 = "Hazardous";
    else if (score >= 201 && score <= 300 ) IAQ_text2 = "Very Unhealthy";
    else if (score >= 176 && score <= 200 ) IAQ_text2 = "Unhealthy";
    else if (score >= 151 && score <= 175 ) IAQ_text2 = "Unhealthy for Sensitive
    Groups";
    else if (score >= 51 && score <= 150 ) IAQ_text2 = "Moderate";
    else if (score >= 00 && score <= 50 ) IAQ_text2 = "Good";
    Serial.print("IAQ Score = " + String(score) + ", ");
    return IAQ_text2;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 int GetHumidityScore() { //Calculate humidity contribution to IAQ index  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 float current\_humidity = (1.009790459 \* bme.readHumidity()) + 10.554049085;

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

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

```

if (current_humidity >= 38 && current_humidity <= 42) // Humidity +/-5% around
optimum
    humidity_score = 0.25 * 100;
else
{ // Humidity is sub-optimal
    if (current_humidity < 38)
        humidity_score = 0.25 / hum_reference * current_humidity * 100;
    else
    {
        humidity_score = ((-0.25 / (100 - hum_reference) * current_humidity) + 0.416666)
* 100;
    }
}
return humidity_score;
}

int GetGasScore() {
    //Calculate gas contribution to IAQ index
    gas_score = (0.75 / (gas_upper_limit - gas_lower_limit) * gas_reference -
(gas_lower_limit * (0.75 / (gas_upper_limit - gas_lower_limit)))) * 100.00;
    if (gas_score > 75) gas_score = 75; // Sometimes gas readings can go outside of
expected scale maximum
    if (gas_score < 0) gas_score = 0; // Sometimes gas readings can go outside of
expected scale minimum
    return gas_score;
}

void vibration() {
    digital = digitalRead(sensorvibra); // read the voltage level on the D2
    Serial.println((String)"Vibration level:" " Digital " + digital ); // send the result to the
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
serial monitor

```

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

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

```

    delay(200); // pause for a moment before repeating
}

float MQResistanceCalculation(int raw_adc)
{
    return ( ((float)RL_VALUE * (4095 - raw_adc) / raw_adc));
}

float MQCalibration(int mq_pin)
{
    int i;
    float val = 0;

    for (i = 0; i < CALIBARAION_SAMPLE_TIMES; i++) { //take multiple samples
        val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    val = val / CALIBARAION_SAMPLE_TIMES; //calculate the average value

    val = val / RO_CLEAN_AIR_FACTOR; //divided by
    RO_CLEAN_AIR_FACTOR yields the Ro
    //according to the chart in the datasheet

    return val;
}

float MQRead(int mq_pin)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

for (i = 0; i < READ_SAMPLE_TIMES; i++) {
    rs += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
    delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
}

rs = rs / READ_SAMPLE_TIMES;

return rs;
}

int MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio, int gas_id)
{
    if ( gas_id == GAS_LPG ) {
        return MQGetPercentage(rs_ro_ratio, LPGCurve);
    } else if ( gas_id == GAS_CO ) {
        return MQGetPercentage(rs_ro_ratio, COCurve);
    } else if ( gas_id == GAS_SMOKE ) {
        return MQGetPercentage(rs_ro_ratio, SmokeCurve);
    }

    return 0;
}

int MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve)
{
    return (pow(10, (((log(rs_ro_ratio) - pcurve[1]) / pcurve[2]) + pcurve[0])));
}

void mq2()
{
    mq21 = MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN) / Ro, GAS_LPG);
    mq22 = MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN) / Ro, GAS_CO);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
mq23 = MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN) / Ro, GAS_SMOKE);
```

```
if (mq21 > 0 && mq21 < 2100000000) {
```

```
    mq21 = mq21;
```

```
    Serial.println("LPG is");
```

```
    Serial.println(mq21);
```

```
}
```

```
if (mq21 > 2100000000) {
```

```
    mq21 = 0;
```

```
    Serial.println("LPGG are");
```

```
    Serial.println(mq21);
```

```
}
```

```
if (mq22 > 0 && mq22 < 2100000000) {
```

```
    mq22 = mq22;
```

```
    Serial.println("CO is");
```

```
    Serial.println(mq22);
```

```
}
```

```
if (mq22 > 2100000000) {
```

```
    mq22 = 0;
```

```
    Serial.println("COO are" );
```

```
    Serial.println(mq22);
```

```
}
```

```
if (mq23 > 0 && mq23 < 2100000000) {
```

```
    mq23 = mq23;
```

```
    Serial.println("SMOKE is");
```

```
    Serial.println(mq23);
```

```
}
```

```
if (mq23 > 2100000000) {
```

```
    mq23 = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
Serial.println("SMOKE are");  
Serial.println(mq23);  
}  
delay(200);  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



ภาคผนวก ข

โปรแกรมสำหรับการแสดงผลที่เขียนด้วยภาษา PHP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## ส่วนของการนำข้อมูลไปจัดเก็บลงฐานข้อมูล

```

<?php
require("phpMQTT.php");

$server = "192.168.1.13";
$port = 1883;
$username = "smartsensor"; // username ที่ได้สร้างไว้ตอนตั้งค่า MQTT Broker
$password = "smartsensor"; // password ที่ได้สร้างไว้ตอนตั้งค่า MQTT Broker
$client_id = "Client-".rand();

$servername = "localhost";
$username = "admin";
$password = "raspberry";
$dbname = "register_db";

$mqtt = new phpMQTT($server, $port, $client_id);
if ( !$mqtt->connect(true, NULL, $username, $password) ) {
    exit(1);
}

$topics['smart/sensor'] = array("qos" => 0, "function" => "procmsg");
$mqtt->subscribe($topics, 0);

function procmsg($topic, $msg){
    echo "Recieved at: " . date("Y-m-d H:i:s", time()) . "\n";
    echo "Topic: {$topic}\n";
    echo "Message: $msg\n\n";
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 \$servername = "localhost";  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น ลีขงทั้งห้าขงให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 \$username = "root";

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

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



## ส่วนของหน้าต่าง Home page

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
  <head>
    <meta charset="utf-8" />
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1, shrink-to-fit=no" />
    <meta name="description" content="" />
    <meta name="author" content="" />
    <title>Smart Industrial Safety Systemv - Access complete</title>
    <!-- Favicon-->
    <link rel="icon" type="image/x-icon" href="assets/img/favicon.ico" />
    <!-- Font Awesome icons (free version)-->
    <script src="https://use.fontawesome.com/releases/v5.15.1/js/all.js"
crossorigin="anonymous"></script>
    <!-- Google fonts-->
    <link href="https://fonts.googleapis.com/css?family=Montserrat:400,700"
rel="stylesheet" type="text/css" />
    <link
href="https://fonts.googleapis.com/css?family=Lato:400,700,400italic,700italic"
rel="stylesheet" type="text/css" />
    <!-- Core theme CSS (includes Bootstrap)-->
    <link href="css/styles.css" rel="stylesheet" />
  </head>
  <body id="page-top">
    <!-- Navigation-->
    <nav class="navbar navbar-expand-lg bg-secondary text-uppercase fixed-top"
id="mainNav">

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 <div class="container">  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

    <a class="navbar-brand js-scroll-trigger"
href="indexlogout.php">Welcome</a>
    <button class="navbar-toggler navbar-toggler-right text-uppercase font-
weight-bold bg-primary text-white rounded" type="button" data-toggle="collapse"
data-target="#navbarResponsive" aria-controls="navbarResponsive" aria-
expanded="false" aria-label="Toggle navigation">
    Menu
    <i class="fas fa-bars"></i>
</button>
<div class="collapse navbar-collapse" id="navbarResponsive">
    <ul class="navbar-nav ml-auto">
        <li class="nav-item mx-0 mx-lg-1"><a class="nav-link py-3 px-0 px-lg-
3 rounded js-scroll-trigger" href="map.php">Locations</a></li>
        <li class="nav-item mx-0 mx-lg-1"><a class="nav-link py-3 px-0 px-lg-
3 rounded js-scroll-trigger" href="dataflow.php">Dataflow</a></li>
        <li class="nav-item mx-0 mx-lg-1"><a class="nav-link py-3 px-0 px-lg-
3 rounded js-scroll-trigger" href="index.php">Log out</a></li>
    </ul>
</div>
</div>
</nav>
<!-- Masthead-->
<header class="masthead bg-primary text-white text-center">
    <div class="container d-flex align-items-center flex-column">
        <!-- Masthead Avatar Image-->
        
        <!-- Masthead Heading-->
        <h1 class="masthead-heading text-uppercase mb-0">Smart Industrial
Safety Systems</h1>
        <!-- Icon Divider-->

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

<div class="divider-custom divider-light">
  <div class="divider-custom-line"></div>
  <div class="divider-custom-icon"><i class="fas fa-star"></i></div>
  <div class="divider-custom-line"></div>
</div>

<h2 class="masthead-heading text-uppercase mb-0">Grop Notify</h2>
<!-- Masthead Subheading-->
</div>
</header>

<!-- Bootstrap core JS-->
<script
src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/jquery/3.5.1/jquery.min.js"></script>
<script
src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@4.5.3/dist/js/bootstrap.bundle.min.js"></s
cript>
<!-- Third party plugin JS-->
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/jquery-
easing/1.4.1/jquery.easing.min.js"></script>
<!-- Contact form JS-->
<script src="assets/mail/jqBootstrapValidation.js"></script>
<script src="assets/mail/contact_me.js"></script>
<!-- Core theme JS-->
<script src="js/scripts.js"></script>
</body>
</html>

```

### ส่วนของหน้าต่าง Register หรือ Sign up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 <?php  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 session\_start();

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

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

```

include('server.php');
?>

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
  <head>
    <title>Sign up</title>
    <meta charset="utf-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width,initial-scale=1>
    <link rel="stylesheet" href="bootstrap.min.css">
    <script src="jquery.min.js"></script>
    <script src="popper.min.js"></script>
    <script src="bootstrap.min.js"></script>
  </head>
  <body>
    <nav class="navbar navbar-expand-sm bg-success navbar-dark">
      <ul class="navbar-nav">
        <li class="nav-item active ">
          <a class="nav-link" href="home.php">Back</a>
        </li>
      </ul>
    </nav>
    <br>
    <div class="container">
      <h2 class=" display-3 text-center ">Sign up</h2>
      
      <form action="register_db.php" method="post">
        <?php include('error.php'); ?>
        <!-- notification message -->
        <?php if (isset($_SESSION['error'])) : ?>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

<div class="error">
  <h3>
    <?php
      echo $_SESSION['error'];
      unset($_SESSION['error']);
    ?>
  </h3>
</div>
<?php endif ?>
<div class="form-group">
  <label for="username">Username:</label>
  <input type="text" class="form-control" id="username" placeholder="Enter
username" name="username">
</div>
<div class="form-group">
  <label for="email">Email:</label>
  <input type="email" class="form-control" id="email" placeholder="Enter
email" name="email">
</div>
<div class="form-group">
  <label for="password">Password:</label>
  <input type="password" class="form-control" id="password"
placeholder="Enter password" name="password">
</div>
<button type="submit" name="reg_user" class="btn btn-primary">Sign
up</button>
<p>Already a member? <a href="login.php">Login</a></p>
</form>
</div>
</body>
</html>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## ส่วนของหน้าต่าง Login

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
  <head>
    <title>Login</title>
    <meta charset="utf-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width",initial-scale=1>
    <link rel="stylesheet" href="bootstrap.min.css">
    <script src="jquery.min.js"></script>
    <script src="popper.min.js"></script>
    <script src="bootstrap.min.js"></script>
  </head>
  <body>
    <nav class="navbar navbar-expand-sm bg-warning navbar-dark">
      <ul class="navbar-nav">
        <li class="nav-item active ">
          <a class="nav-link" href="home.php">Back</a>
        </li>
      </ul>
    </nav>
    <br>
    <div class="container">
      <h2 class=" display-3 text-center ">Login</h2>
      
      <form action="login_db.php" method="post">
        <!-- notification message -->
        <?php if (isset($_SESSION['error'])) : ?>
          <div class="error">
            <h3>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

        <?php
            echo $_SESSION['error'];
            unset($_SESSION['error']);
        ?>
    </h3>
</div>
<?php endif ?>

<div class="form-group">
    <label for="username">Username:</label>
    <input type="text" class="form-control" id="username" placeholder="Enter
username" name="username">
</div>
<div class="form-group">
    <label for="password">Password:</label>
    <input type="password" class="form-control" id="password"
placeholder="Enter password" name="password">
</div>
<button type="submit" name="log_user" class="btn btn-
primary">Login</button>
<p>Not yet a member? <a href="Signup.php">Sign Up</a></p>
</form>

</div>
</body>
</html>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## ส่วนของหน้าตาการแสดงผลในแผนที่

```

<!DOCTYPE html>
<head>
  <meta charset="utf-8" />
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <meta name="description" content="" />
  <meta name="author" content="" />
  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="ie=edge">
  <title>Smart Location</title>
  <link rel="icon" type="image/x-icon" href="/webapp/-
  homepages/assets/img/favicon.ico" />
  <!-- Font Awesome icons (free version)-->
  <script src="https://use.fontawesome.com/releases/v5.15.1/js/all.js"
  crossorigin="anonymous"></script>
  <!-- Google fonts-->
  <link href="https://fonts.googleapis.com/css?family=Montserrat:400,700"
  rel="stylesheet" type="text/css" />
  <link href="https://fonts.googleapis.com/css?family=Lato:400,700,400italic,700italic"
  rel="stylesheet" type="text/css" />
  <!-- Core theme CSS (includes Bootstrap)-->
  <link href="/webapp/-homepages/css/styles.css" rel="stylesheet" />
  <link rel="shortcut icon" type="image/x-icon" href="/webapp/-
  homepages/assets/img/favicon.ico" />
  <link rel="stylesheet" href="http://cdn.leafletjs.com/leaflet-0.4.5/leaflet.css" />
  <script src="http://cdn.leafletjs.com/leaflet-0.4.5/leaflet.js"></script>
</head>
<body id="page-top">
  <!-- Navigation-->

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

<nav class="navbar navbar-expand-lg bg-secondary text-uppercase fixed-top"
id="mainNav">
  <div class="container">
    <a class="navbar-brand js-scroll-trigger" href="/webapp/-
homepages/indexlogout.php">Welcome</a>
    <button class="navbar-toggler navbar-toggler-right text-uppercase font-weight-
bold bg-primary text-white rounded" type="button" data-toggle="collapse" data-
target="#navbarResponsive" aria-controls="navbarResponsive" aria-expanded="false"
aria-label="Toggle navigation">
      Menu
      <i class="fas fa-bars"></i>
    </button>
    <div class="collapse navbar-collapse" id="navbarResponsive">
      <ul class="navbar-nav ml-auto">
        <li class="nav-item mx-0 mx-lg-1"><a class="nav-link py-3 px-0 px-lg-3
rounded js-scroll-trigger" href="/webapp/-homepages/map.php">Locations</a></li>
        <li class="nav-item mx-0 mx-lg-1"><a class="nav-link py-3 px-0 px-lg-3
rounded js-scroll-trigger" href="/webapp/-
homepages/dataflow.php">Dataflow</a></li>
        <li class="nav-item mx-0 mx-lg-1"><a class="nav-link py-3 px-0 px-lg-3
rounded js-scroll-trigger" href="/webapp/-homepages/index.php">Log out</a></li>
      </ul>
    </div>
  </div>
</nav>
<header>
  <div id = "map" style=" width: 100%; height: 900px; "></div>
  <script>

```

```

    L.Map = L.Map.extend({
      openPopup: function(popup) {
        this._popup = popup

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

return this.addLayer(popup).fire('popupopen', {
  popup: this._popup
});
}
});

var map = new L.map('map').setView([13.726224, 100.776367], 13);
L.tileLayer('https://api.mapbox.com/styles/v1/{id}/tiles/{z}/{x}/{y}?access_token=pk.eyJ1ljoibWFwYm94IiwiaWwiYSI6ImNpejY4NXVycTA2emYycXBndHRqcmZ3N3gifQ.rJcFIG214AriSLbB6B5aw', {
  maxZoom:22,
  attribution: 'Map data &copy; <a href="https://www.openstreetmap.org/">OpenStreetMap</a> contributors, ' +
  '<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/">CC-BY-SA</a>, ' +
  'Imagery © <a href="https://www.mapbox.com/">Mapbox</a>',
  id: 'mapbox/streets-v11',
  tileSize: 512,
  zoomOffset: -1
}).addTo(map);

L.marker([<?php echo $lati; echo ",";echo $long; ?>]).addTo(map) //Pin 1
  .bindPopup("<center><b> Node1 </b></center>Date:<?php echo $ymd;
echo":";echo $hm?> น.<br><center><b>Sensor Data</b></center>Light: <?php echo
$light?><br>PM2.5: <?php echo $pm?><br>Temperature: <?php echo
$tem?><br>Humidity: <?php echo $hum?><br>Vibration: <?php echo
$vib?><br>AirQuality: <?php echo $air?><br>LPG: <?php echo $lpg?><br>CO: <?php
echo $co?><br>Smoke: <?php echo $sm?> ");

L.marker([<?php echo $lati1; echo ",";echo $long1; ?> ]).addTo(map) // Pin 2
  .bindPopup("<center><b> Node2 </b></center>Date:<?php echo $ymd1;
echo":";echo $hm1?> น.<br><center><b>Sensor Data</b></center>Light: <?php echo
$light1?><br>PM2.5: <?php echo $pm1?><br>Temperature: <?php echo

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม กรุณาแจ้งให้ด้วยเพื่อปรับปรุงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
$tem1?><br>Humidity: <?php echo $humi1?><br>Vibration: <?php echo
$ vib1?><br>AirQuality: <?php echo $air1?><br>LPG: <?php echo $lpg1?><br>CO:
<?php echo $co1?><br>Smoke: <?php echo $sm1?>");
```

```
L.marker([<?php echo $lati2; echo ",";echo $long2; ?> ]).addTo(map) //Pin 3
.bindPopup("<center><b> Node3 </b></center>Date:<?php echo $ymd2;
echo ":";echo $hm2?> น.<br><center><b>Sensor Data</b></center>Light: <?php echo
$light2?><br>PM2.5: <?php echo $pm2?><br>Temperature: <?php echo
$tem2?><br>Humidity: <?php echo $humi2?><br>Vibration: <?php echo
$ vib2?><br>AirQuality: <?php echo $air2?><br>LPG: <?php echo $lpg2?><br>CO:
<?php echo $co2?><br>Smoke: <?php echo $sm2?> ");
```

```
L.marker([<?php echo $lati3; echo ",";echo $long3; ?> ]).addTo(map) //Pin 4
.bindPopup("<center><b> Node4 </b></center>Date:<?php echo $ymd3;
echo ":";echo $hm3?> น.<br><center><b>Sensor Data</b></center>Light: <?php echo
$light3?><br>PM2.5: <?php echo $pm3?><br>Temperature: <?php echo
$tem3?><br>Humidity: <?php echo $humi3?><br>Vibration: <?php echo
$ vib3?><br>AirQuality: <?php echo $air3?><br>LPG: <?php echo $lpg3?><br>CO:
<?php echo $co3?><br>Smoke: <?php echo $sm3?> ");
```

```
</script>
```

```
</header>
```

```
<!-- Bootstrap core JS-->
```

```
<script
```

```
src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/jquery/3.5.1/jquery.min.js"></script>
```

```
<script
```

```
src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@4.5.3/dist/js/bootstrap.bundle.min.js"></s
```

```
cript>
```

```
<!-- Third party plugin JS-->
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/jquery-
easing/1.4.1/jquery.easing.min.js"></script>
<!-- Contact form JS-->
<script src="/webapp/-
homepages/assets/mail/jqBootstrapValidation.js"></script>
<script src="/webapp/-homepages/assets/mail/contact_me.js"></script>
<!-- Core theme JS-->
<script src="/webapp/-homepages/js/scripts.js"></script>
</body>
</html>

```

```

<?php
//1. Connection to database:
$servername = "localhost";
$username = "admin";
$password = "raspberry";
$dbname = "register_db";
// Create connection
$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
// Check connection
if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}
//2. Query Data
$sql = "SELECT * FROM sensors WHERE EventID = (SELECT MAX(EventID) FROM
sensors WHERE Sensor_ID = '001') ";//ดึงค่าจาก DB
$result = mysqli_query($conn, $sql);
while($row = mysqli_fetch_assoc($result)) {
    $lati = $row["Latitude"];
    $long = $row["Longitude"];
    $ymd=$row["YMD"];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไข/ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

$hm=$row["HM"];
$light=$row["Light"];
$pm=$row["PM2_5"];
$tem=$row["Temperature"];
$humi=$row["Humidity"];
$vib=$row["Vibration"];
$air=$row["AirQuality"];
$lpg=$row["LPG"];
$co=$row["CO"];
$sm=$row["SMOKE"];
}

$sql = "SELECT * FROM sensors WHERE EventID = (SELECT MAX(EventID) FROM
sensors WHERE Sensor_ID = '002') ";//ดึงค่าจาก DB
$result = mysqli_query($conn, $sql);
while($row = mysqli_fetch_assoc($result)) {
    $lati1 = $row["Latitude"];
    $long1 = $row["Longitude"];
    $ymd1=$row["YMD"];
    $hm1=$row["HM"];
    $light1=$row["Light"];
    $pm1=$row["PM2_5"];
    $tem1=$row["Temperature"];
    $humi1=$row["Humidity"];
    $vib1=$row["Vibration"];
    $air1=$row["AirQuality"];
    $lpg1=$row["LPG"];
    $co1=$row["CO"];
    $sm1=$row["SMOKE"];
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
$sql = "SELECT * FROM sensors WHERE EventID = (SELECT MAX(EventID) FROM
sensors WHERE Sensor_ID = '003') ";//ดึงค่าจาก DB
```

```
$result = mysqli_query($conn, $sql);
while($row = mysqli_fetch_assoc($result)) {
    $lati2 = $row["Latitude"];
    $long2 = $row["Longitude"];
    $ymd2=$row["YMD"];
    $hm2=$row["HM"];
    $light2=$row["Light"];
    $pm2=$row["PM2_5"];
    $tem2=$row["Temperature"];
    $humi2=$row["Humidity"];
    $vib2=$row["Vibration"];
    $air2=$row["AirQuality"];
    $lpg2=$row["LPG"];
    $co2=$row["CO"];
    $sm2=$row["SMOKE"];
}
```

```
$sql = "SELECT * FROM sensors WHERE EventID = (SELECT MAX(EventID) FROM
sensors WHERE Sensor_ID = '004') ";//ดึงค่าจาก DB
```

```
$result = mysqli_query($conn, $sql);
while($row = mysqli_fetch_assoc($result)) {
    $lati3 = $row["Latitude"];
    $long3 = $row["Longitude"];
    $ymd3=$row["YMD"];
    $hm3=$row["HM"];
    $light3=$row["Light"];
    $pm3=$row["PM2_5"];
    $tem3=$row["Temperature"];
    $humi3=$row["Humidity"];
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีขงท่งหน้ขงให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

    $vib3=$row["Vibration"];
    $air3=$row["AirQuality"];
    $lpg3=$row["LPG"];
    $co3=$row["CO"];
    $sm3=$row["SMOKE"];
}
$conn->close(); //ปิดการเชื่อมต่อ
?>

```

### ส่วนของการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์

```

<?php
    $servername = "localhost";
    $username = "admin";
    $password = "raspberry";
    $dbname = "register_db";

    //create connection
    $conn = mysqli_connect($servername, $username, $password, $dbname);

    //check connection
    if (!$conn) {
        die("Connection failed".mysqli_connect_error());
    }
?>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### ส่วนของการแสดงผลข้างหลังหน้าต่าง Sign in หรือ Sign up

```

<?php
    session_start();
    include('server.php');

    $errors = array();

    if (isset($_POST['reg_user'])){
        $username = mysqli_real_escape_string($conn, $_POST['username']);
        $email = mysqli_real_escape_string($conn, $_POST['email']);
        $password = mysqli_real_escape_string($conn, $_POST['password']);

        if (empty($username)) {
            array_push($errors, "Username is required");
        }
        if (empty($email)) {
            array_push($errors, "Email is required");
        }
        if (empty($password)) {
            array_push($errors, "Password is required");
        }

        $user_check_query = "SELECT * FROM userpass WHERE username = '$username'
OR email = '$email'";
        $query = mysqli_query($conn, $user_check_query);
        $result = mysqli_fetch_assoc($query);

        if ($result) {
            if ($result['username'] === $username) {
                array_push($errors, "Username already exists");
            }
        }
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

    }
    if ($result['email'] === $email) {
        array_push($errors, "Email already exists");
    }
}

if(count($errors) == 0){
    $pwd = md5($password);

    $sql = "INSERT INTO userpass (username, email, password) VALUES
('$username','$email','$password')";
    mysqli_query($conn,$sql);

    $_SESSION['username'] = $username;
    $_SESSION['success'] = "You are now logged in";
    header("location: home.php");
} else {
    array_push($errors, "Username or Email already exists");
    $_SESSION['error'] = "Username or Email already exists";
    header("location: Signup.php");
}
}
?>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## ส่วนของการแสดงผลข้างหลังหน้าต่าง Sign in

```

<?php
    session_start();
    include('server.php');
    $errors = array();
    if (isset($_POST['log_user'])) {
        $username = mysqli_real_escape_string($conn, $_POST['username']);
        $password = mysqli_real_escape_string($conn, $_POST['password']);
        if (empty($username)) {
            array_push($errors, "Username is required");
        }
        if (empty($password)) {
            array_push($errors, "Password is required");
        }
        if(count($errors) == 0) {
            $pwd = md5($password);
            $query = "SELECT * FROM userpass WHERE username = '$username' AND
password = '$password'";
            $result = mysqli_query($conn, $query);
            if(mysqli_num_rows($result) == 1) {
                $_SESSION['username'] = $username;
                $_SESSION['success'] = "You are now logged in";
                header("location: Work.php");
            } else{
                array_push($errors, "Wrong username/password combination");
                $_SESSION['error'] = "Wrong username or password please try again";
                header("location: login.php"); }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### ส่วนของการแสดงผลข้างหลังเมื่อเกิดความผิดพลาดหรือ Error

```
<?php $errors = array(); ?>

<?php if(count($errors) > 0) : ?>
    <div class="error">
        <?php foreach ($errors as $error) : ?>
            <p><?php echo $error ?></p>
        <?php endforeach ?>
    </div>
<?php endif ?>
```

### ส่วนแจ้งเตือน Line Notify

```
<?php

define("LINE_API","https://notify-api.line.me/api/notify");
while(1) {
    $servername = "localhost";
    $username = "admin";
    $password = "raspberry"
    $dbname = "register_db";
    // Create connectio
    $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
    // Check connection
    if ($conn->connect_error) {
        die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
    }
    $begin = mysqli_query($conn,"SELECT * FROM sensors WHERE EventID = (SELECT
    MAX(EventID) FROM sensors WHERE Sensor_ID = '001')");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

$token = "Line Notify Token"; //ใส่Token ที่copy เอาไว้
//condition

while($row = mysqli_fetch_assoc($begin)){
    $sense = $row["Sensor_ID"];
    $light=$row["Light"];
    $pm=$row["PM2_5"];
    $tem=$row["Temperature"];
    $vib=$row["Vibration"];
    $air=$row["AirQuality"];
    $lpg=$row["LPG"];
    $co=$row["CO"];
    echo $light;
    if($light < 200){
        $str = "Node :".$sense."\n"."ความสว่างไม่พอ :".$light."lx";
    }
    echo $pm;
    if($pm > 55){
        $str =$str. "Node :".$sense."\n"."ค่าฝุ่นละอองสูง:".$pm."ug/m3";
    }
    echo $tem;
    if($tem > 75){
        $str =$str. "Node :".$sense."\n"."อุณหภูมิสูง:".$tem."C";
    }
    echo $vib;
    if($vib == 1){
        $str =$str. "Node :".$sense."\n"."Earthquake";
    }
    echo $lpg;
    if($lpg > 800){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

$str = $str. "Node : ".$sense. "\n". "ค่าLPGสูง: ".$lpg. "ppm";
}
echo $co;
if($co > 15.5){
    $str = $str. "Node : ".$sense. "\n". "ค่าCOสูง: ".$co. "ppm";
}
echo $air;
if($air == $air){
    $str = $str. "Node : ".$sense. "\n". "Air Quality: ".$air;
}
}
}
$begin = mysqli_query($conn, "SELECT * FROM sensors WHERE EventID = (SELECT
MAX(EventID) FROM sensors WHERE Sensor_ID = '002')");
while($row = mysqli_fetch_assoc($begin)){
    $sense1 = $row["Sensor_ID"];
    $light1 = $row["Light"];
    $pm1 = $row["PM2_5"];
    $tem1 = $row["Temperature"];
    $vib1 = $row["Vibration"];
    $air1 = $row["AirQuality"];
    $lpg1 = $row["LPG"];
    $co1 = $row["CO"];
    echo $light1;
    if($light1 < 200){
        $str1 = "Node : ".$sense1. "\n". "ความสว่างไม่พอ : ".$light1. "lx";
    }
    echo $pm1;
    if($pm1 > 55){
        $str1 = $str1. "Node : ".$sense1. "\n". "ค่าฝุ่นละอองสูง: ".$pm1. "ug/m3";
    }
    echo $tem1;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถึงแม้ว่าเรามีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

if($tem1 > 75){
    $str1 = $str1. "Node : ".$sense1."\n"."อุณหภูมิสูง:".$stem1."C";
}
echo $vib1;
if($vib1 == 1){
    $str1 = $str1. "Node : ".$sense1."\n"."Earthquake";

echo $lpg1;
if($lpg1 > 800){
    $str1 = $str1. "Node : ".$sense1."\n"."ค่าLPGสูง:".$lpg1."ppm";
}
echo $co1;
if($co1 > 15.5){
    $str1 = $str1. "Node : ".$sense1."\n"."ค่าCOสูง:".$co1."ppm";
}
echo $air1;
if($air1 == $air1){
    $str1 = $str1. "Node : ".$sense1."\n"."Air Quality:".$air1;
}
}
}

$begin = mysqli_query($conn,"SELECT * FROM sensors WHERE EventID = (SELECT
MAX(EventID) FROM sensors WHERE Sensor_ID = '003')");
while($row = mysqli_fetch_assoc($begin)){

    $sense2 = $row["Sensor_ID"];
    $light2=$row["Light"];
    $pm2=$row["PM2_5"];
    $tem2=$row["Temperature"];
    $vib2=$row["Vibration"];
    $air2=$row["AirQuality"];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

$lpg2=$row["LPG"];
$co2=$row["CO"];
echo $light2;
if($light2 < 200){
$str2 = "Node :".$sense2."\n"."ความสว่างไม่พอ :".$light2."lx"
}
echo $pm2;
if($pm2 > 55){
$str2 =$str2. "Node :".$sense2."\n"."ค่าฝุ่นละอองสูง: ".$pm2."ug/m3";
}
echo $stem2;
if($stem2 > 75){
$str2 =$str2. "Node :".$sense2."\n"."อุณหภูมิสูง: ".$stem2."C";
}
echo $vib2;
if($vib2 == 1){
$str2 =$str2. "Node :".$sense2."\n"."Earthquake";
}
echo $lpg2;
if($lpg2 > 800){
$str2 =$str2. "Node :".$sense2."\n"."ค่าLPGสูง: ".$lpg2."ppm";
}
echo $co2;
if($co2 > 15.5){
$str2 =$str2. "Node :".$sense2."\n"."ค่าCOสูง: ".$co2."ppm";
}
echo $air2;
if($air2 == $air2){
$str2 =$str2. "Node :".$sense2."\n"."Air Quality: ".$air2;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

$begin = mysqli_query($conn,"SELECT * FROM sensors WHERE EventID = (SELECT
MAX(EventID) FROM sensors WHERE Sensor_ID = '004')");
while($row = mysqli_fetch_assoc($begin)){
    $sense3 = $row["Sensor_ID"];
    $light3=$row["Light"];
    $pm3=$row["PM2_5"];
    $tem3=$row["Temperature"];
    $vib3=$row["Vibration"];
    $air3=$row["AirQuality"];
    $lpg3=$row["LPG"];
    $co3=$row["CO"];
    echo $light3;
    if($light3 < 200){
        $str3 = "Node : ".$sense3."\n"."ความสว่างไม่พอ : ".$light3."lx";
    }
    echo $pm3;
    if($pm3 > 55){
        $str3 = $str3. "Node : ".$sense3."\n"."ค่าฝุ่นละอองสูง: ".$pm3."ug/m3";
    }
    echo $tem3;
    if($tem3 > 75){
        $str3 = $str3. "Node : ".$sense3."\n"."อุณหภูมิสูง: ".$tem3."C";
    }
    echo $vib3;
    if($vib == 1){
        $str3 = $str3. "Node : ".$sense3."\n"."Earthquake";
    }
    echo $lpg3;
    if($lpg3 > 800){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

}
echo $co3;
if($co3 > 15.5){
    $str3 =$str3. "Node :".$sense3."\r\n"."ค่าCOสูง:".$co3."ppm";
}
echo $air3;
if($air3 == $air3){
    $str3 =$str3. "Node :".$sense3."\r\n"."Air Quality:".$air3;
}
}
include_once("sendmess.php");
$res = notify_message($str,$token);
$res1 = notify_message($str1,$token);
$res2 = notify_message($str2,$token);
$res3 = notify_message($str3,$token);
print_r($res);
sleep(900);
}
?>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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