การประยุกต์ใช้โมดูล LoRa เพื่อการตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ และการแสดงผลแบบแดชบอร์ด

APPLICATION OF LoRa MODULES FOR PARTICULATE MATTER MEASUREMENT AND DASHBOARD MONITORING

ณัฐพนธ์ โรจน์สัตตรัตน์

ธนกฤต ทวีสุนทร

วริศ รุหะถาวรกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

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.

APPLICATION OF LoRa MODULES FOR PARTICULATE MATTER MEASUREMENT AND DASHBOARD MONITORING

NATTAPHON ROTSATTARAT
THANAKRIT TAWEESOONTORN
VARIT RUHATAWORNKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา 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.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประยุกต์ใช้โมดูล LoRa เพื่อการตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศและการแสดงผลแบบแดชบอร์ด
Thesis Title	Application of LoRa Modules for Particulate Matter Measurement and Dashboard Monitoring
นักศึกษา	นายณัฐพนธ์ โรจน์สัตตรัตน์ **รหัสนักศึกษา** 60010319
	นายธนกฤต ทวีสุนทร **รหัสนักศึกษา** 60010385
	นายวริศ รุหะถาวรกุล **รหัสนักศึกษา** 60010909
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมการวัดและควบคุม
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.กฤษณ์ เสมอพิทักษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา	**ลายมือชื่อ**
ผศ. ดร.กฤษณ์ เสมอพิทักษ์	

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.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประยุกต์ใช้โมดูล LoRa เพื่อการตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศและการแสดงผลแบบแดชบอร์ด			
นักศึกษา	นายณัฐพนธ์	โรจน์สัตตรัตน์	**รหัสนักศึกษา**	60010319
	นายธนกฤต	ทวีสุนทร	**รหัสนักศึกษา**	60010385
	นายวริศ	รุหะถาวรกุล	**รหัสนักศึกษา**	60010909
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.กฤษณ์ เสมอพิทักษ์			
ปีการศึกษา	2563			

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการประยุกต์ใช้โมดูล LoRa ที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลระยะทางไกลและใช้พลังงานต่ำ โดยจัดสร้างหนึ่งโมดูลมาสเตอร์และสามโมดูลสเลฟ เพื่อใช้ในการตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ (PMs) และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง รวมถึงมีการแสดงข้อมูลแบบแดชบอร์ดที่เกตเวย์ IOT2050 ซึ่งถูกออกแบบด้วยโปรแกรม Node-RED ในแต่ละโมดูลประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เชื่อมต่อกับโมดูล LoRa ซึ่งถูกโปรแกรมให้ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์หรือสเลฟ ในโมดูลสเลฟแต่ละตัวจะถูกออกแบบเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส ความชื้นในหน่วยเปอร์เซ็นต์ $PM_{2.5}$ ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พิกัดทางภูมิศาสตร์ และเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่คงเหลือ นอกจากนี้ ยังมีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อชาร์จพลังงานให้กับแบตเตอรี่อีกด้วย ในส่วนของเกตเวย์ IOT2050 เชื่อมต่อกับโมดูลมาสเตอร์ผ่านทางพอร์ต ‘RS-232’ ในขณะที่โมดูลมาสเตอร์สื่อสารแบบไร้สายกับโมดูลสเลฟทั้งสามซึ่งถูกกำหนดแอดเดรสเป็น ‘01’, ‘02’ และ ‘03’ โดยเกตเวย์ IOT2050 ส่งชุดคำสั่ง ‘AT Command’ ในการอ่านหรือเขียนข้อมูลไปยังโมดูลสเลฟที่ต้องการซึ่งใช้โมดูลมาสเตอร์เป็นตัวกลาง ยิ่งไปกว่านั้น ยังมีการใช้โหมด ‘Sleep’ เพื่อประหยัดพลังงานสำหรับโมดูลสเลฟหลังจากเสร็จสิ้นการตอบกลับคำขอของมาสเตอร์หรือเกตเวย์ IOT2050 เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้มีการแสดงผลการทดสอบที่ไม่ครบถ้วน แต่อย่างไรก็ตาม ฟังก์ชันการทำงานหลักไม่เพียงแค่ของเกตเวย์ IOT2050 แต่ก็ยังของโมดูล LoRa มาสเตอร์และสเลฟอีกด้วย ที่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องเพื่อแสดงข้อมูลที่ต้องการและค่าฝุ่นละอองบนแดชบอร์ดที่สร้างขึ้น

คำสำคัญ : แดชบอร์ด, เกตเวย์ IOT2050, LoRa, มาสเตอร์-สเลฟ, ฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ

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.

Thesis Title	Application of LoRa Modules for Particulate Matter Measurement and Dashboard Monitoring
Students	Mr. Nattaphon Rotsattarat **Student ID** 60010319
	Mr. Thanakrit Taweesoontorn **Student ID** 60010385
	Mr. Varit Ruhatawornkul **Student ID** 60010909
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Krit Smerpitak
Academic Year	2020

ABSTRACT

This thesis presents an application of one master and three slave LoRa modules, which are capable of long range transmission and low power consumption to measure particulate matters (PMs) in the air as well as to monitor these measured results and related parameters on the dashboards created by using Node-RED, which is processed on an IOT2050 gateway. An ESP32 microcontroller board is connected to each LoRa module, and then it is programmed to perform the master or/and slave. Each designed slave is used for collecting temperature (ºC), humidity (%), $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$), geographic coordinates, battery percentage. Additionally, a solar cell panel is also attached each slave module to recharge its battery. The IOT2050 gateway is directly connected the LoRa master via 'RS-232' port, while the LoRa master are wirelessly communicated to all three LoRa slaves, which are addressed by '01', '02', and '03'. The IOT2050 gateway uses the 'AT Command' instruction set for reading/writing the required data from/to the specified LoRa slave through the intermediary like the LoRa master. Moreover, the 'Sleep' operating mode is set to reduce the power consumption of the LoRa slave when finishing its reply to the request of the master module (or the IOT2050 gateway). Because of COVID-19 pandemic, some test results from experiments are incomplete. However, the major functions of not only the IOT2050 gateway but also the LoRa master and slaves can operate correctly for displaying the specified data and $PM_{2.5}$ values on the created dashboards.

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.

Keywords : Dashboard, IOT2050 gateway, LoRa, Master-Slave, Particulate Matter

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ. ดร.กฤษณ์ เสมอพิทักษ์ ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาผู้จัดทำตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม (หลักสูตรวิศวกรรมอัตโนมัติ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์ในครั้งนี้หรือการทำงานในอนาคต

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดา ที่เป็นกำลังใจ คอยดูแลห่วงใย และให้การสนับสนุนทุก ๆ เรื่องมาโดยตลอด รวมทั้งเพื่อน ๆ และญาติพี่น้องทุกคนที่เป็นกำลังใจให้เสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ให้กับผู้ที่สนใจและผู้ที่อยู่ในสายงานด้านวิศวกรรมอัตโนมัติเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้งาน และพัฒนาในงานอุตสาหกรรมต่อไป

คณะผู้จัดทำ

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

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VIII

สารบัญรูป IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 วิธีการดำเนินงาน 3

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 กล่าวนำ 5

2.2 เทคโนโลยี LoRa 5

2.2.1 LoRa คืออะไร 5

2.2.2 คลาสของ LoRa 6

2.2.3 คุณสมบัติของ LoRa 8

2.2.4 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี LoRa 8

2.2.5 โมดูล LoRa SX1276 9

2.3 เกตเวย์ IOT2050 10

2.4 ดัชนีคุณภาพอากาศ 11

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 (ต่อ)

หน้า

2.4.1 ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) 11

2.4.2 ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) 11

2.4.3 การกระเจิงของแสง 13

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 15

2.5.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 15

2.5.2 การใช้ ESP32 ในโหมดประหยัดพลังงาน 15

2.5.3 การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 17

2.5.4 โมดูล Heltec ESP32 Wifi LoRa Oled V.2 17

2.6 อุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับโมดูล LoRa 18

2.6.1 โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น DHT 18

2.6.2 โมดูล GPS 20

2.6.3 เซนเซอร์ฝุ่น SHARP GP2Y10 Dust Sensor $PM_{2.5}$ 21

2.6.4 โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม 22

2.6.5 โซลาร์เซลล์ 5.5 V 110 mA 0.6 W 22

2.7 ชุดคำสั่ง ‘AT Command’ 23

2.8 หน่วยความจำ EEPROM 24

2.9 วิธีการ Cyclic Redundancy Check 24

2.10 โปรแกรมที่ใช้งาน 27

2.10.1 โปรแกรม Node–RED 27

2.10.2 โปรแกรม Arduino IDE 28

2.10.3 โปรแกรม PuTTY 28

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 (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การประยุกต์ใช้โมดูล LoRa เพื่อการตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศที่นำเสนอ 30
3.1 กล่าวนำ 30
3.2 แนวคิดการประยุกต์ใช้โมดูล LoRa 30
3.3 โมดูลมาสเตอร์ 32
3.3.1 วงจรการเชื่อมต่อในโมดูลมาสเตอร์ 32
3.3.2 'AT Command' ที่ใช้กับโมดูลมาสเตอร์ 33
3.4 โมดูลสเลฟ 33
3.4.1 วงจรการเชื่อมต่อในโมดูลสเลฟ 34
3.4.2 ฟังก์ชันการทำงานที่ได้รับคำสั่งจากพอร์ต 'RS-232' และโมดูลมาสเตอร์ 36
3.5 การเขียนโปรแกรมสำหรับเกตเวย์ IOT2050 39
3.5.1 แนวทางการจัดลำดับการรับ-ส่งข้อมูล 39
3.5.2 โปรแกรม Node-RED สำหรับการรับ-ส่งข้อมูล 40
3.6 การสร้างแดชบอร์ดเพื่อแสดงผลตัวแปรที่สนใจ 42
3.6.1 หน้า Overview 45
3.6.2 หน้า Air Quality 50
3.6.3 หน้า Performance 54
3.6.4 หน้า Trends 57
3.6.5 หน้า Statistic 60
3.6.6 หน้า Report 62
3.6.7 หน้า Setting 65

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 (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 68

4.1 กล่าวนำ 68

4.2 ผลการดำเนินงานของการประยุกต์ใช้โมดูล LoRa 68

4.2.1 การทดสอบส่ง ‘AT Command’ ไปยังโมดูลมาสเตอร์ 68

4.2.2 การทดสอบส่งข้อมูลผ่านระบบ LoRa ระหว่างโมดูลมาสเตอร์และโมดูลสเลฟ 70

4.2.3 ส่วนการจัดการข้อมูลในแดชบอร์ดด้วยโปรแกรม Node–RED 72

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลและการใช้พลังงาน 76

4.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพการส่งข้อมูลตามระยะทาง 76

4.3.2 การทดสอบการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 77

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 78

5.1 กล่าวนำ 78

5.2 สรุปผลการดำเนินงาน 78

5.3 ปัญหาในการดำเนินงาน 79

5.4 ข้อเสนอแนะ 79

เอกสารอ้างอิง 80

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**

1.1 แผนการดำเนินงาน 4
2.1 ช่วงความถี่ LoRa ที่ใช้งานในแต่ละประเทศ 6
2.2 ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เมื่อเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ 12
2.3 ความแตกต่างระหว่าง DHT11, DHT12 และ DHT22 20
2.4 ผลการปฏิบัติด้วยโอเปอเรชัน Exclusive-OR 25
3.1 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูล LoRa 33
3.2 ‘AT Command’ ที่ได้ออกแบบเพื่อใช้กับโมดูลมาสเตอร์ 33
3.3 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น 34
3.4 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูล GPS 35
3.5 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศ 36
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการส่งข้อมูลตามระยะทาง 77
4.2 การทดสอบการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 77

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 การสื่อสารแบบสองทางของคลาส A 6
2.2 การสื่อสารแบบสองทางของคลาส B 7
2.3 ลักษณะการทำงานของ LoRa ทั้งสามคลาส 7
2.4 การประยุกต์ใช้ LoRa ร่วมกับการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรบนที่สูง 8
2.5 โมดูล LoRa SX1276 9
2.6 อินเตอร์เฟสของเกตเวย์ IOT2050 10
2.7 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศจาก Spare The Air 12
2.8 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 15
2.9 ESP32 โหมด Active 16
2.10 ESP32 Light Sleep 17
2.11 ESP32 Deep Sleep 17
2.12 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับโมดูล Heltec ESP32 Wifi LoRa Oled V.2 18
2.13 โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น DHT11 19
2.14 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับ DHT11 และ DHT22 19
2.15 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับโมดูล GPS รุ่น GY-NEO6MV2 20
2.16 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับเซนเซอร์ฝุ่น SHARP GP2Y10 21
2.17 การทำงานของเซนเซอร์ฝุ่น SHARP GP2Y10 21
2.18 รายละเอียดของโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม 22
2.19 โซลาร์เซลล์ 5.5 V 110 mA 0.6 W 23
2.20 โพลิโนเมียลและการแทนค่าเป็นตัวหาร 25
2.21 วิธีการคำนวณ CRC 26
2.22 หน้าจอเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่โปรแกรม Arduino IDE 28
2.23 หน้าจอเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่โปรแกรม PuTTY 29
3.1 สถาปัตยกรรมระบบ 31
3.2 การเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูล LoRa 32

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 (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.3 การเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น 34
3.4 การเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูล GPS 35
3.5 การเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศ 36
3.6 การเขียนโปรแกรมสำหรับรับจากโมดูล GPS และบันทึกไปยัง EEPROM 37
3.7 การเขียนโปรแกรมสำหรับกำหนดค่าแอดเดรสตามคำสั่ง AQ 37
3.8 การเขียนโปรแกรมสำหรับกำหนดค่าละติจูดและลองจิจูดตามคำสั่ง GQ 38
3.9 การเขียนโปรแกรมสำหรับส่งค่าที่ได้จากโมดูลวัดตามคำสั่ง RQ 38
3.10 คำสั่ง SQ ในการสั่งโหมด ‘Sleep’ 39
3.11 การจัดลำดับการรับ-ส่งข้อมูล 40
3.12 ลำดับบล็อกที่ใช้ในการลำดับการส่งคำสั่ง 40
3.13 การแปลงลำดับของคำสั่งในแบบ ‘AT Command’ 41
3.14 การแปลงลำดับคำสั่งเป็นคำสั่งเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ แบบ ‘AT Command’ 41
3.15 การใช้ Ctrl + คลิกขวาเพื่อเรียกรายการบล็อกที่สามารถใช้ได้ 42
3.16 การตั้งค่า Properties ของบล็อกที่สร้างขึ้น 42
3.17 การนำค่าพารามิเตอร์ไปแสดงผลที่บล็อก ui 43
3.18 หน้าแดชบอร์ดที่สร้างขึ้น 43
3.19 หน้าทั้งหมดบนแดชบอร์ด 44
3.20 หน้า Overview ของแดชบอร์ด 45
3.21 เกจอุณหภูมิและความชื้น 45
3.22 ฟังก์ชันในการจำแนกข้อมูลออกเป็นส่วน ๆ 46
3.23 การนำค่าจากตัวแปรไปแสดงผลในรูปของเกจบนแดชบอร์ด 46
3.24 ปุ่มในการบันทึกและรีเฟรชโหนดในขณะนั้น 47
3.25 คุณภาพสัญญาณ LoRa ของโหนดที่หน้า Overview 47
3.26 การเปลี่ยนชนิดของข้อมูลจาก String เป็น Number 47
3.27 การจำแนกข้อมูลคุณภาพสัญญาณ LoRa 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา 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**

3.28 การนำข้อมูลในรูปตัวเลขไปแสดงผลที่หน้าแดชบอร์ด 48

3.29 การแสดงค่าเวลาและวันที่ในหน้าแดชบอร์ด 49

3.30 การเขียนโปรแกรมแสดงเวลาและวันที่ 49

3.31 การดึงข้อมูลจากตัวแปรโกลบอล 49

3.32 การเขียนโปรแกรมแสดงผลตำแหน่งบนแผนที่ 50

3.33 หน้า Air Quality ของแดชบอร์ด 50

3.34 ไอคอนการแสดงเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศ 51

3.35 เกจแสดงอุณหภูมิและ $PM_{2.5}$ 51

3.36 การนำข้อมูลในตัวแปรโกลบอลมาแบ่งระดับ 52

3.37 การเขียนโปรแกรมแสดงไอคอนเพื่อบอกระดับฝุ่นละอองในอากาศ 52

3.38 การแสดงเกจและกราฟของ $PM_{2.5}$ ที่แดชบอร์ด 53

3.39 การเขียนโปรแกรมแสดงค่าข้อมูลของ $PM_{2.5}$ ในรูปแบบของเกจและกราฟ 53

3.40 หน้า Performance ของแดชบอร์ด 54

3.41 คุณภาพสัญญาณ LoRa ที่หน้า Performance 54

3.42 การแสดงสถานะของแบตเตอรี่ที่หน้า Performance 55

3.43 การกำหนดระดับของแบตเตอรี่ 55

3.44 การเขียนโปรแกรมแสดงไอคอนบอกระดับของแบตเตอรี่ 56

3.45 การเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงระดับเปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่ 56

3.46 การแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่แดชบอร์ด 57

3.47 หน้า Trends ของแดชบอร์ด 57

3.48 กราฟค่าอุณหภูมิและความชื้นของโหนดแอดเดรส ‘03’ และ ‘04’ 58

3.49 การเขียนโปรแกรมในการแสดงกราฟที่แดชบอร์ด 59

3.50 การนำข้อมูลอาร์เรย์ของโหนดมาแสดงบนกราฟ 59

3.51 หน้า Statistic ของแดชบอร์ด 60

3.52 การใช้คำสั่ง SELECT ในการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล 60

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 (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.53 ข้อมูลสถิติของโหนดแอดเดรส ‘03’ 61

3.54 การตั้งค่าเวลาและวันที่เพื่อนำไปแทรกเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล 61

3.55 หน้า Report ของแดชบอร์ด 62

3.56 การแจ้งเตือนอุณหภูมิ ความชื้น และฝุ่นละอองในอากาศด้วยเสียง 63

3.57 การเขียนโปรแกรมในการแจ้งเตือนค่าฝุ่นละอองในอากาศ 63

3.58 การเขียนโปรแกรมแจ้งเตือนอุณหภูมิ ความชื้น และฝุ่นละอองในอากาศด้วยเสียง 64

3.59 การเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บประวัติการแจ้งเตือน 64

3.60 หน้า Settings ของแดชบอร์ด 65

3.61 การตั้งค่าข้อมูลการแจ้งเตือนที่แดชบอร์ด 66

3.62 การเขียนโปรแกรมในการตั้งค่าข้อมูลการแจ้งเตือนที่แดชบอร์ด 66

3.63 การตั้งค่าข้อมูลการแจ้งเตือนที่ Node-RED 67

4.1 การเชื่อมต่อโมดูลมาสเตอร์ผ่าน Serial Port ทางช่อง USB 68

4.2 ข้อความการตอบกลับคำสั่ง AT ของโมดูลมาสเตอร์ 69

4.3 ข้อความที่ส่งไปในระบบ LoRa ผ่านโมดูลมาสเตอร์ 69

4.4 ข้อความการตอบกลับจากโมดูลสเลฟที่ได้รับคำสั่ง AQ 70

4.5 ข้อความการตอบกลับจากโมดูลสเลฟที่ได้รับคำสั่ง GQ 70

4.6 ข้อความการตอบกลับจากโมดูลสเลฟที่ได้รับคำสั่ง RQ 71

4.7 ข้อความการตอบกลับจากโมดูลสเลฟที่ได้รับคำสั่ง SQ 71

4.8 ค่าข้อมูลจากเซนเซอร์ที่แดชบอร์ด 72

4.9 ค่าปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจากเซนเซอร์ที่แดชบอร์ด 72

4.10 สภาพสัญญาณและประสิทธิภาพในการรับ-ส่งข้อมูล 73

4.11 กราฟระหว่างอุณหภูมิและความชื้นเมื่อเทียบกับเวลา 74

4.12 ข้อมูลที่หน้า Statistic ในแต่ละโหนด 74

4.13 การแจ้งเตือนหากข้อมูลสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ 75

4.14 การแจ้งเตือนเมื่อโหนดแอดเดรส ‘04’ มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ 75

4.15 การกำหนดค่าการแจ้งเตือนและ Data Rate ในแต่ละโหนด 76

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 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันอินเทอร์เน็ต และอุปกรณ์เทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน การใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งการติดต่อสื่อสาร การแลกเปลี่ยนข้อมูล ได้กลายเป็นเรื่องปกติในสังคม และเมื่อกลุ่มผู้ใช้อินเทอร์เน็ตได้ขยายวงกว้างขึ้น เทคโนโลยีมีการพัฒนามากขึ้น จึงได้เกิดแนวคิดที่เรียกว่า “Internet of Thing (IOT)” หรืออินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง เป็นการเชื่อมโยงสิ่งต่าง ๆ เข้าด้วยกันด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต โดยอาศัยเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นตัวกลางในการสื่อสาร ไม่เพียงแต่มนุษย์ที่จะสามารถส่งข้อมูลหรือติดต่อกันได้ แต่อุปกรณ์ต่าง ๆ ก็จะสามารถติดต่อกันได้เช่นกัน [1]

LoRa คือเครือข่ายสื่อสารที่ส่งข้อมูลกำลังต่ำแบบไร้สาย และเป็นระบบเครือข่ายที่สามารถส่งสัญญาณทางไกล หรือ ‘Long Range’ ซึ่งเป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อรองรับตลาด M2M และ IOT ซึ่ง LoRa ถือเป็นระบบการเชื่อมต่อข้อมูลกำลังต่ำต้นแบบสำหรับการสื่อสารทางไกล LoRa ถือเป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่เพื่อรองรับการสื่อสารในช่วงคลื่นความถี่ไม่เกิน 1 GHz เนื่องจากรับส่งข้อมูลได้ในระยะไกล และป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี (Interference Robustness) จึงมีการริเริ่มนำเทคโนโลยี LoRa มาประยุกต์ใช้ในระบบ IOT เพิ่มมากขึ้น [2]

ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเป็นปัญหาสำคัญ เนื่องจากฝุ่นละอองชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรง ทำให้อายุขัยเฉลี่ยของประชาชนลดลงอีกทั้งยังเพิ่มอัตราการเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลอันเนื่องมาจากโรคต่าง ๆ ยิ่งสูดดมฝุ่นละอองเป็นเวลายาวนาน ยิ่งส่งผลเสียในระยะยาว การนำเทคโนโลยีในปัจจุบันมาใช้เพื่อช่วยหลีกเลี่ยงอันตรายจากการสูดดมฝุ่นละอองเข้าไป

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น คณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก จึงมีเป้าหมายที่จะใช้เทคโนโลยี IOT และ LoRa โดยทำการศึกษาการใช้งาน IOT2050 และนำไปประยุกต์ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่าง IOT และโมดูล LoRa ในการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอนนอกจากนี้คณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บและแสดงผลข้อมูลแบบแดชบอร์ด

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 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

นำเสนอการประยุกต์ใช้โมดูล LoRa ในการสื่อสารแบบมาสเตอร์-สเลฟ โดยจัดสร้างหนึ่งโมดูลมาสเตอร์และสามโมดูลสเลฟ ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับโมดูล LoRa โมดูลสเลฟถูกโปรแกรมให้มีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลอุณภูมิ ความชื้น $PM_{2.5}$ พิกัดทางภูมิศาสตร์ และเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่คงเหลือ โมดูลมาสเตอร์ถูกโปรแกรมให้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการอ่านหรือเขียนข้อมูลไปยังโมดูลสเลฟ โดยทำงานตามชุดคำสั่ง ‘AT Command’ ที่ได้รับจากเกตเวย์ IOT2050 ซึ่งทำหน้าที่จัดลำดับการรับ-ส่งข้อมูล ร่วมไปถึงการจัดเก็บและแสดงผลข้อมูลแบบแดชบอร์ด

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สื่อสารผ่านระบบ LoRa โดยใช้โมดูล LoRa รุ่น SX1276 ในช่วงความถี่ 920-925 MHz ซึ่งถูกกำหนดไว้ให้สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องมีใบอนุญาตในประเทศไทย
2. จัดสร้างโมดูลมาสเตอร์และโมดูลสเลฟโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เชื่อมต่อกับโมดูล LoRa โปรแกรมผ่านทางซอฟต์แวร์ Arduino ให้ทำงานตามคำสั่ง ‘AT Command’ ที่กำหนดโดยมีเงื่อนไขการทำงานดังต่อไปนี้
    - ฟังก์ชันสำหรับเช็คการเชื่อมต่อระหว่างโมดูลมาสเตอร์
    - ฟังก์ชันสำหรับส่งข้อมูลผ่านระบบ LoRa ไปยังโมดูลสเลฟ
    - ฟังก์ชันสำหรับตั้งค่าแอดเดรสในโมดูลสเลฟ
    - ฟังก์ชันสำหรับตั้งค่าละติจูด ลองจิจูดในโมดูลสเลฟ
    - ฟังก์ชันสำหรับสั่งให้โมดูลสเลฟส่งข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์
    - ฟังก์ชันสำหรับสั่งให้โมดูลสเลฟเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงาน
3. โมดูลสเลฟเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ 3 ตัวได้แก่
    - DHT11 โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น
    - SHARP GP2Y10 เซนเซอร์วัดค่า $PM_{2.5}$
    - โมดูล GPS รุ่น GY-GPS6MV2 เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์

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. จัดสร้างเกตเวย์โดยใช้ IOT2050 โปรแกรมผ่านทางซอฟต์แวร์ Node-RED ควบคุมลำดับการรับ-ส่งข้อมูล การจัดเก็บ และแสดงผลข้อมูลแบบแดชบอร์ด ซึ่งประกอบไปด้วย
    - หน้า Overview แสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้น และตำแหน่งของโมดูลสเลฟในแผนที่
    - หน้า Air Quality แสดงค่า $PM_{2.5}$
    - หน้า Performance แสดงประสิทธิภาพในสื่อสารและสถานะของแบตเตอรี่
    - หน้า Trends แสดงกราฟแนวโน้มของข้อมูล
    - หน้า Statistic แสดงข้อมูลที่ได้มีการบันทึกไว้ในแต่ละชม
    - หน้า Report สำหรับแจ้งเตือนผ่านระบบเสียงหรือ Voice Report
    - หน้า Setting กำหนดค่าเป้าหมายสำหรับการแจ้งเตือนตามที่ต้องการ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. กำหนดหัวข้อปริญญานิพนธ์และวางแผนการดำเนินงาน
2. กำหนดข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ที่ต้องใช้
3. จัดซื้ออุปกรณ์ที่กำหนด
4. ศึกษาและทดสอบใช้งานโมดูล LoRa
5. ศึกษาและทดสอบใช้งานเซนเซอร์ต่าง ๆ
6. จัดสร้างโมดูลมาสเตอร์และโมดูลสเลฟ
7. ทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลด้วยโมดูลมาสเตอร์และโมดูลสเลฟ
8. จัดสร้างโปรแกรมในเกตเวย์ IOT2050 สำหรับควบคุมลำดับการรับ-ส่งและแสดงผลข้อมูลแบบแดชบอร์ด
9. ตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของเกตเวย์ IOT2050
10. จัดทำปริญญานิพนธ์

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 1.1 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ	รายละเอียด	ปี 2563-2564								
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	กำหนดหัวข้อปริญญานิพนธ์และวางแผนการดำเนินงาน									
2	กำหนดข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ที่ต้องใช้									
3	จัดซื้ออุปกรณ์ที่กำหนด									
4	ศึกษาและทดสอบใช้งานโมดูล LoRa									
5	ศึกษาและทดสอบใช้งานเซนเซอร์ต่าง ๆ									
6	จัดสร้างโมดูลมาสเตอร์และโมดูลสเลฟ									
7	ทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลด้วยโมดูลมาสเตอร์และโมดูลสเลฟ									
8	จัดสร้างโปรแกรมในเกตเวย์ IOT2050 สำหรับควบคุมลำดับการรับ-ส่งและแสดงผลข้อมูลแบบแดชบอร์ด									
9	ตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของเกตเวย์ IOT2050									
10	จัดทำปริญญานิพนธ์									

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. โมดูลมาสเตอร์สามารถสื่อสารกับโมดูลสเลฟผ่านระบบ LoRa ได้อย่างถูกต้อง
2. โมดูลมาสเตอร์สามารถทำตามชุดคำสั่ง ‘AT Command’ ตามที่กำหนดไว้ได้
3. โมดูลสเลฟสามารถทำตามฟังก์ชันที่กำหนดไว้ได้
4. สามารถแสดงข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์บนแดชบอร์ดได้อย่างถูกต้อง

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 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์นี้ ได้แก่ เทคโนโลยี LoRa การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี LoRa ชุดคำสั่ง 'AT Command' และดัชนีคุณภาพอากาศ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็น โมดูล LoRa SX1276 เกตเวย์ IOT2050 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และเซนเซอร์ตรวจวัดต่าง ๆ ร่วมไปถึงโปรแกรมที่ถูกนำมาใช้ในปริญญานิพนธ์นี้

2.2 เทคโนโลยี LoRa

2.2.1 LoRa คืออะไร [2]

LoRa คือเครือข่ายการสื่อสารที่ส่งข้อมูลโดยใช้พลังงานต่ำแบบไร้สาย และเป็นระบบเครือข่ายที่สามารถส่งสัญญาณในระยะทางไกล หรือ 'Long Range' โดยเป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อรองรับตลาด M2M และ IOT ซึ่ง LoRa ถือเป็นต้นแบบระบบการเชื่อมต่อข้อมูลที่ใช้พลังงานต่ำสำหรับการสื่อสารทางไกล ด้วยคลื่นวิทยุที่ถูกออกแบบขึ้นทำให้มีข้อดีหลายข้อ ได้แก่ สามารถสื่อสารได้ในระยะไกล มีช่องรับสัญญาณจำนวณมาก และใช้พลังงานต่ำ โดยการนำเทคโนโลยี LoRa มาใช้งานจำเป็นต้องคำนึงถึงเขตโซนหรือประเทศ เนื่องจากมีข้อกำหนดให้ แต่ละประเทศที่สามารถใช้งานอุปกรณ์ LoRa ตามความถี่ที่ได้ระบุไว้ดังตารางที่ 2.1 สำหรับประเทศไทยถูกกำหนดไว้ที่ความถี่ช่วง 920–925 MHz ซึ่งถือเป็นความถี่ที่ไม่ต้องมีใบอนุญาต โดยมีกำลังส่ง (EIRP) ไม่เกิน 20 dBm (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 mW)

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 2.1 ช่วงความถี่ LoRa ที่ใช้งานในแต่ละประเทศ

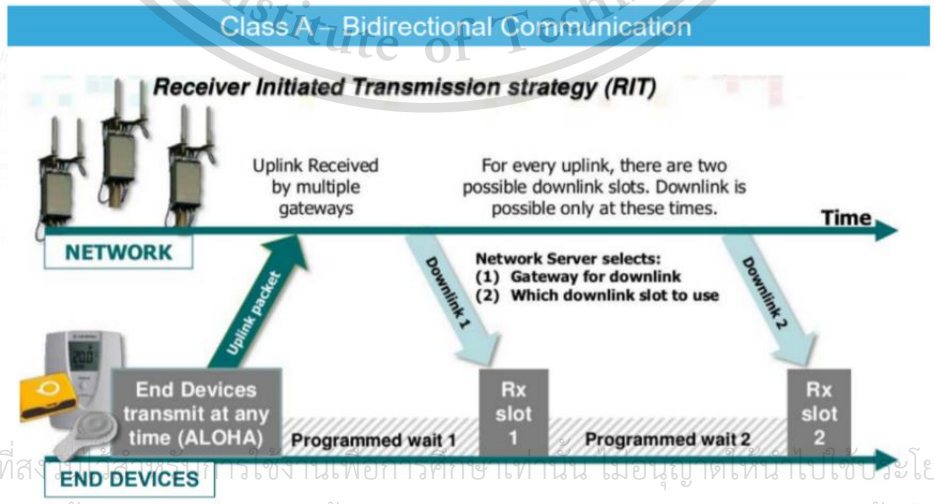
โซนหรือประเทศ	ช่วงความถี่ที่ใช้งานได้
ไทย	920-925 MHz
ยุโรป	867-869 MHz
อเมริกาเหนือ	902-928 MHz
จีน	470-510 MHz
เกาหลี	902-925 MHz
ญี่ปุ่น	902-925 MHz
อินเดีย	865-870 MHz

2.2.2 คลาสของ LoRa [3]

LoRa มีรูปแบบการทำงาน 3 คลาส ได้แก่ คลาส A คลาส B และคลาส C โดยในแต่ละคลาสจะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.2.2.1 LoRa คลาส A

คลาส A เป็นการสื่อสารแบบสองทาง (Bidirectional) สามารถรับและส่งข้อมูลได้ โดยการสื่อสารอัพลิงก์ในแต่ละครั้งจะตามด้วยการสื่อสารดาวน์ลิงก์ในช่วงเวลาสั้น ๆ อีก 2 ครั้ง การสื่อสารดาวน์ลิงก์ในรอบถัดไปต้องรออัพลิงก์ทำงานอีกครั้ง ซึ่งทำให้การทำงานของคลาส A ใช้พลังงานในการทำงานน้อยที่สุด ดังรูปที่ 2.1

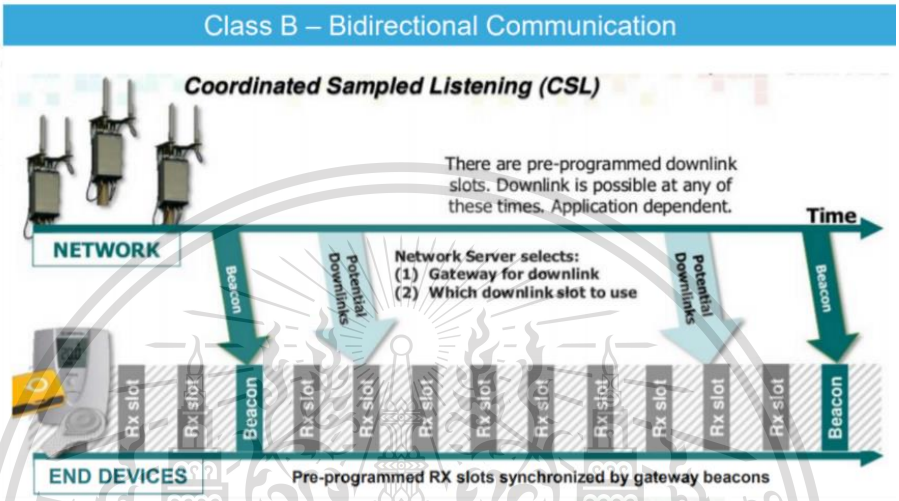


รูปที่ 2.1 การสื่อสารแบบสองทางของคลาส A [3]

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.

2.2.2.2 LoRa คลาส B

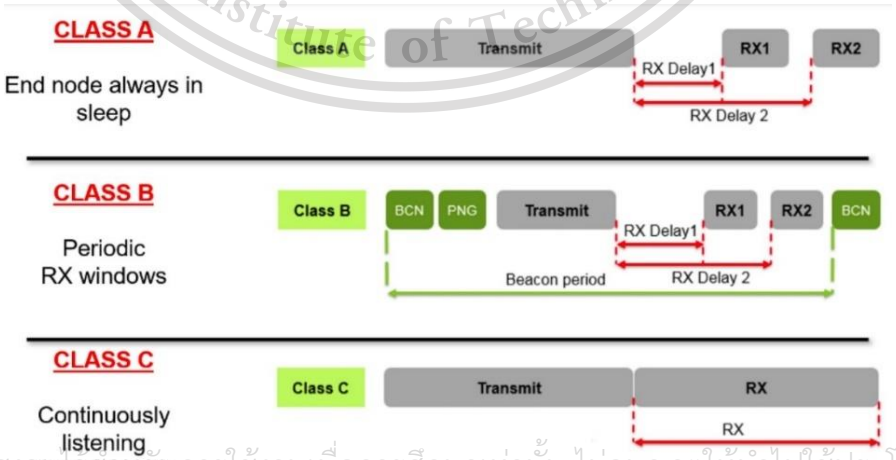
คลาส B เป็นการสื่อสารแบบสองทาง (Bidirectional) พร้อมด้วยการใช้ (Beacon) จากเกตเวย์ เพื่อให้เน็ตเวิร์คเซิร์ฟเวอร์ทราบเวลาที่อุปกรณ์ End-Device พร้อมรับข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์ End-Device จะเปิดช่วงเวลาสำหรับรับข้อมูล (Receive Window) ตามเวลาที่กำหนด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การสื่อสารแบบสองทางของคลาส B [3]

2.2.2.3 LoRa คลาส C

คลาส C เป็นการสื่อสารแบบสองทาง (Bidirectional) จะใช้วิธีกำหนดช่วงเวลารับข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous) ทำให้อุปกรณ์ปลายทาง End-Device อยู่ในสภาวะทำงานตลอดเวลา จึงทำให้ใช้พลังงานมากที่สุด ดังที่ได้มีการสรุปไว้ในรูปที่ 2.3



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 2.3 ลักษณะการทำงานของ LoRa ทั้งสามคลาส

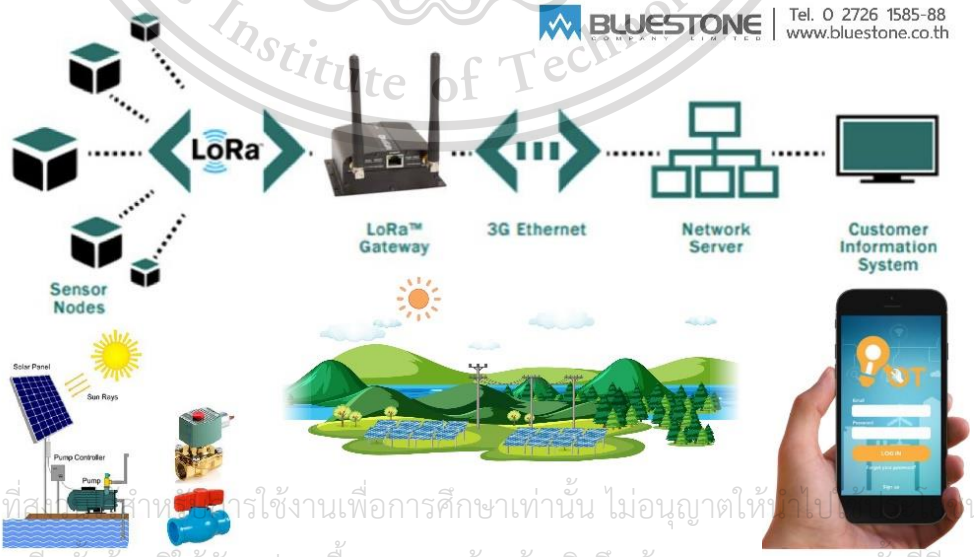
2.2.3 คุณสมบัติของ LoRa [4]

LoRa มีคุณสมบัติที่สามารถสื่อสารระยะทางไกลได้โดยใช้ย่านความถี่ไม่สูงมาก จึงมีความทนต่อสิ่งกีดขวางได้มาก สัญญาณต่ำสุดของเครื่องลูกข่ายที่สามารถใช้งานได้คือ -137 dBm กระจายสัญญาณเข้าไปในอินดอร์ที่ดี ประหยัดพลังงาน กำลังส่งของสถานีฐานต่ำเนื่องจากใช้ความถี่ต่ำ ทนต่อสัญญาณรบกวน และราคาถูก โดยย่านความถี่เป็น Light License จึงทำให้ต้นทุนต่ำระบบเครือข่ายการให้บริการไม่ยุ่งยากซับซ้อน (เมื่อเทียบกับ 3G, 4G LTE) อุปกรณ์สถานีฐาน เช่น ระบบส่งสัญญาณ สายอากาศ มีราคาถูก ซึ่งหนึ่งสถานีฐาน สามารถให้บริการได้พื้นที่กว้าง และมีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ (น้อยกว่า 50 kbps)

จากคุณสมบัติจะเห็นได้ว่า LoRa มีข้อดีหลายข้อยกเว้นเรื่องอัตราการรับส่งข้อมูลที่มีความเร็วต่ำ (ขนาดข้อมูลเล็ก) ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการออกแบบที่ต้องแลกกับเรื่องของระยะทาง ความเร็ว การใช้พลังงาน และอุปกรณ์ IOT ส่วนใหญ่นั้นมีการส่งข้อมูลน้อยในระยะเวลาอันสั้น ความต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลปริมาณมากนั้นจึงไม่จำเป็น ทำให้ได้ข้อดีในการใช้พลังงานน้อย

2.2.4 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี LoRa [5]

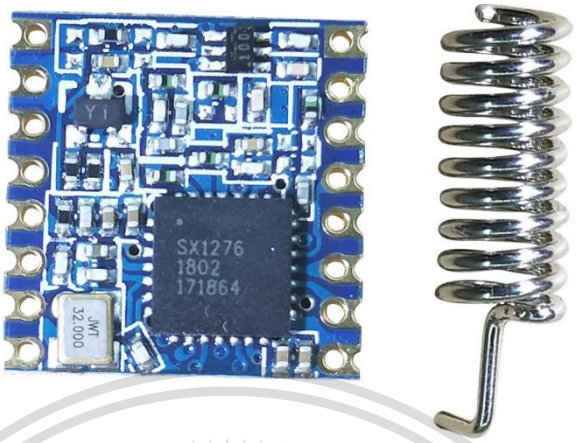
LoRa สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบได้หลายอย่าง เช่น ระบบในการวัดระดับน้ำระบบจอดรถ โดยจะมีการส่งข้อมูลเมื่อมีรถเข้าจอดหรือออกจากที่จอด ไม่ต้องมีการเดินสายสัญญาณเหมือนระบบเดิม ระบบไฟส่องสว่าง ซึ่งสามารถควบคุมไฟถนนตามสภาพแวดล้อมและแจ้งสถานะระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมเสียง อุณหภูมิ ฝุ่นละออง ความชื้น ระบบบริหารสินทรัพย์ ระบบเกี่ยวกับสุขภาพทางร่างกาย การตรวจจับการล้ม การขอความช่วยเหลือฉุกเฉิน ข้อมูลทางการแพทย์ระบบตรวจสอบสินค้า รถยนต์ และสัตว์ เป็นต้น



รูปที่ 2.4 การประยุกต์ใช้ LoRa ร่วมกับการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรบนที่สูง [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.

2.2.5 โมดูล LoRa SX1276 [6]



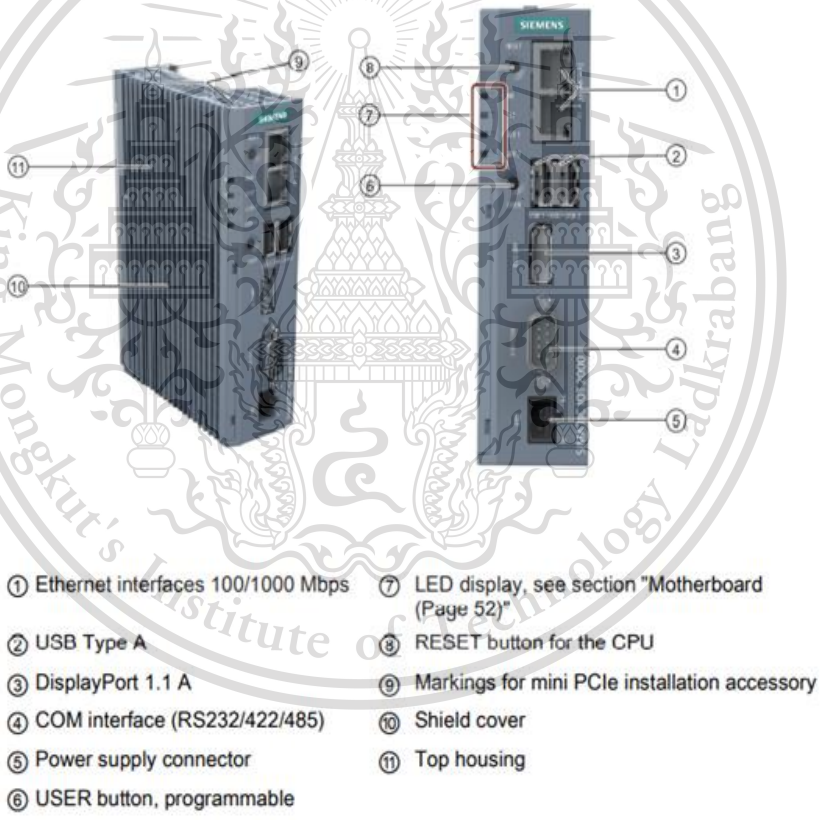
รูปที่ 2.5 โมดูล LoRa SX1276

โมดูล LoRa SX1276 คือ โมดูลรับ-ส่งสัญญาณระยะไกลพลังงานต่ำ ซึ่งโมดูล LoRa SX1276 มีคุณสมบัติที่สามารถส่งสัญญาณในระยะไกลได้และมีความไวสูงถึง -148 dBm ทำให้โมดูลนี้ทำงานได้ดีกว่าโมดูล FSK และ GFSK สัญญาณหลายสัญญาณจะไม่ส่งผลกระทบต่อกัน แม้ในสภาพแวดล้อมที่มีความถี่หลายความถี่ พร้อมด้วยประสิทธิภาพการป้องกันการรบกวนที่แข็งแกร่ง และมีอัตราการแลกเปลี่ยนข้อมูลในส่วนของ FSK อยู่ที่ 1.2–300 kbps อัตราบิตที่สามารถตั้งได้อยู่ที่ 300 kbps โมดูล LoRa SX1276 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น ระบบเตือนภัยและระบบรักษาความปลอดภัยแบบไร้สาย การอ่านค่าจากมิเตอร์อัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติในบ้านและอาคาร การตรวจสอบและควบคุมงานทางด้านอุตสาหกรรม ระบบชลประทานระยะไกล 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.

2.3 เกตเวย์ IOT2050 [7,8]

เกตเวย์ IOT2050 เป็นรุ่นของ IOT ที่ต่อยอดมาจาก IOT2040 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้งาน ซึ่งเป็นสินค้าในตระกูล SIMATIC IOT2000 Series ของบริษัท Siemens โดย IOT2050 คือ Arduino ที่ออกแบบมาในระดับอุตสาหกรรม สามารถรองรับไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 9-36 VDC ซึ่ง IOT2050 สามารถรองรับการเขียนโปรแกรมได้หลายภาษา เช่น ภาษา C/C++ ภาษา Python หรือ Java เป็นต้น รองรับการส่งข้อมูลเข้าฐานข้อมูล เช่น SQL Server รองรับการส่งข้อมูลผ่าน MQTT และ Modbus รองรับการสร้างแดชบอร์ดโดยใช้โปรแกรม Node–RED และ IOT2050 จะมีการใช้งานระบบปฏิบัติการ Simatic Industrial OS Based Debian โดยมีรูปร่างและอินเตอร์เฟสการเชื่อมต่อดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 อินเตอร์เฟสของเกตเวย์ IOT2050 [8]

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 ดัชนีคุณภาพอากาศ [9,10]

ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ให้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ดัชนีคุณภาพอากาศ 1 ค่า ใช้เป็นตัวแทนค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด โดยจะมีการยกตัวอย่าง 2 ชนิดด้วยกัน ดังนี้

2.4.1 ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)

เป็นฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้ทั้งจากยานพาหนะ การเผาวัสดุการเกษตร ไฟป่า และกระบวนการอุตสาหกรรม สามารถเข้าไปถึงถุงลมในปอดได้ หากได้รับในปริมาณมากหรือเป็นเวลานานจะสะสมในเนื้อเยื่อปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง หลอดลมอักเสบ มีอาการหอบหืด

2.4.2 ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})

เป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาในที่โล่ง กระบวนการอุตสาหกรรม ส่งผลกระทบต่อสุขภาพเนื่องจากเมื่อหายใจเข้าไปสามารถเข้าไปสะสมในระบบทางเดินหายใจ

ค่าดัชนีคุณภาพอากาศถูกแบ่งเป็น 6 ระดับ หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าตั้งแต่ 100–150 จะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยโดยเฉพาะกลุ่มคนที่เป็นโรคหัวใจ ปอด ผู้สูงอายุและเด็กที่มีความเสี่ยงควรงดการออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้เวลานาน หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าตั้งแต่ 201-300 ผู้ที่เป็นโรคหัวใจ ปอด ผู้สูงอายุ และเด็ก ๆ ควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายกลางแจ้งทั้งหมด คนอื่น ๆ ควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายกลางแจ้งเป็นเวลานาน และหากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าตั้งแต่ 301–500 ประชาชนทั้งหมดมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบต่อสุขภาพที่รุนแรงและควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายกลางแจ้งทั้งหมด ดังรูปที่ 2.7

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 2.7 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศ [10]

และยังสามารถคำนวณหาค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยมีระดับของค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เมื่อเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ระดับต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เมื่อเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

AQI	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)
	เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง	
0-25	0-25	0-50
26-50	26-37	51-80
51-100	38-50	81-120
101-200	51-90	121-180
มากกว่า 200	91 ขึ้นไป	181 ขึ้นไป

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.

ในปี พ.ศ. 2562 กรมควบคุมมลพิษ ได้ประกาศวิธีตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน วิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบล่าสุด ตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง เครื่องวัดและวิธีตรวจวัดค่าเฉลี่ยของก๊าซหรือฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไป ระบบอื่นหรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ ประกาศ ณ วันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2562 (ประกาศราชกิจจานุเบกษา เล่ม 136 ตอนพิเศษ 259 ง วันที่ 18 ตุลาคม 2562) โดยกำหนดวิธีตรวจวัดค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ดังนี้

1. วิธีเบต้า เรดิเอชัน แอทเทนนูเอชัน (Beta Radiation Attenuation)
2. วิธีเทปเปอร์ อิลิเมนต์ ออสซิเลติง ไมโครบาลานซ์ (Tapered Element Oscillating Microbalance : TEOM)
3. วิธีการกระเจิงของแสง (Light Scattering)
4. วิธีเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบไดโคโตมัส (Dichotomous Air Sampler)

ทั้งนี้ วิธีการตรวจวัดและวิธีเก็บตัวอย่างข้างต้น ต้องเป็นไปตาม Federal Equivalent Method (FEM) ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดด้วย

2.4.3 การกระเจิงของแสง [11]

การกระเจิงเป็นปรากฏการณ์ทางแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการแผ่ของแสงเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นสารไม่ใช่เอกพันธ์หรือไม่ใช่สารเนื้อเดียว สารนั้นจะเปล่งแสงออกมาเรียกว่าการกระเจิงของแสง และจะไม่เกิดการกระเจิงของแสงในตัวกลางที่เป็นสารเอกพันธ์ซึ่งเป็นสารที่มีเนื้อเดียวและสมบัติเดียวกันโดยตลอด เนื่องจากมีดัชนีหักเหเท่ากันตลอดทุกส่วนของสารนั้น สำหรับสารไม่ใช่เอกพันธ์มีดัชนีหักเหไม่เท่ากันตลอดเนื้อสาร โดยเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่น ๆ

การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสารหรืออนุภาคเล็ก ๆ ที่ปนเข้ามา และกระจายแบบสุ่มในตัวกลางที่เป็นสารอิมัลชันหรือสารคอลลอยด์ที่แสงเคลื่อนที่ผ่าน โดยในสารอิมัลชันหรือสารคอลลอยด์นี้จะประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กมากจำนวนมากมาย ที่มีดัชนีหักเหแตกต่างจากตัวกลางที่แวดล้อมรวมกันเป็นสารไม่ใช่เอกพันธ์ ซึ่งตัวกลางที่ขุ่นหรือละอองของเหลว เช่น ควันหรือหมอก ก็เป็นตัวกลางที่ไม่ใช่เอกพันธ์เช่นกัน

การกระเจิงของแสงในของเหลวขุ่นเกิดขึ้นเนื่องจากมีอนุภาคต่างชนิดกันที่มีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของแสง (λ) ทฤษฎีการกระเจิงพัฒนาโดยเรย์ลีห์ (Rayleigh Scattering)

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.

กล่าวว่า ความเข้มของแสงที่กระเจิงในหนึ่งหน่วยปริมาตรของตัวกลางที่ทำมุม (θ) ใด ๆ กับเส้นทางแผ่เข้าของแสง อธิบายโดยสมการ (2.1)

$$I_\theta = a \left[\frac{N_0 V^2}{R^2 \lambda^4} \right] I_0 \left(1+\cos^2\theta \right) \qquad (2.1)$$

โดย V คือ ปริมาตรของอนุภาคที่ทำให้เกิดการกระเจิงของแสง

N_0 คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของอนุภาคในตัวกลาง

R คือ ระยะทางจากต้นกำเนิดแสงถึงผู้สังเกตการกระเจิงแสง

λ คือ ความยาวคลื่นแสง

I_θ คือ ความเข้มแสงเข้า

a คือ แฟกเตอร์วัดความไม่เป็นเอกพันธ์

สำหรับสารอนุพันธ์ $a = 0$ ดังนั้น $I = 0$ จึงไม่เกิดการกระเจิงของแสง จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า การกระเจิงของแสงแปรผันตรงกับปริมาตรของอนุภาคกำลังสอง และผกผันกับความยาวคลื่นกำลังสี่เมื่อปริมาณอื่น ๆ คงตัว คือ

$$I \propto \frac{1}{\lambda^4} \text{ หรือ } P \propto \frac{1}{\lambda^4} \text{ เมื่อ } P \text{ คือกำลังของแหล่งกำเนิด}$$

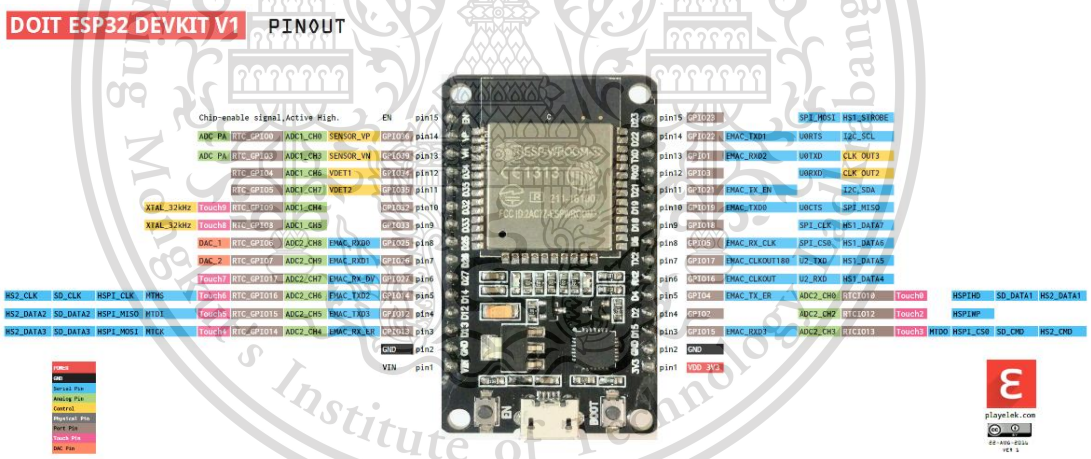
ซึ่งจะเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า ‘Rayleigh’s Law of Scattering’ (กฎการกระเจิงพัฒนาโดยเรย์ลีห์) การกระเจิงของเรย์ลีห์เป็นการกระเจิงของแสงเนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง เช่น การกระเจิงจากการกระทบกับโมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซในอากาศ แสงสีม่วงที่มีความยาว คลื่นสั้นที่สุดกระเจิงได้ดีที่สุด สีน้ำเงินจะกระเจิงได้ดีรองลงมาจากแสงสีม่วง เหตุใดในเวลากลางวันจึงเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน ทั้ง ๆ ที่แสงสีน้ำเงินกระเจิงได้ดีน้อยกว่าแสงสีม่วง ทั้งนี้เป็นเพราะประสาทของดวงตารับแสงสีน้ำเงินได้ดีกว่าแสงสีม่วง ในตอนเช้าหรือตอนเย็น ขณะที่ดวงอาทิตย์กำลังจะขึ้นหรือกำลังตก ถ้าหากมองดูท้องฟ้าส่วนที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์จะเห็นเป็นสีแดง ทั้งนี้เนื่องจากขณะนั้น แสงอาทิตย์ต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศเป็นระยะทางไกลจึงจะถึงดวงตา แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นได้แก่ สีน้ำเงิน สีม่วง ซึ่งกระเจิงได้ดีจึงกระเจิงไปทำให้มีเฉพาะแต่แสงที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าได้แก่ แสงสีแดงเท่านั้นที่มาถึงดวงตา และเมื่อแสงสีแดงตกกระทบก้อนเมฆจะสะท้อนกลับมาสู่ดวงตา ทำให้ดวงตาเห็นท้องฟ้าเป็นสีแดง

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.

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

2.5.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 [12]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นชื่อของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ WiFi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน รองรับการเชื่อมต่อ ROM ภายนอกสูงสุด 16 MB มาพร้อมกับ WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมด Station softAP และ Wi-Fi Direct ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40 ถึง 125 °C นอกจากนี้ ESP32 ยังมีเซนเซอร์ต่าง ๆ มาในตัวด้วย เช่น เซนเซอร์แม่เหล็ก เซนเซอร์สัมผัส เป็นต้น และ ESP32 ยังรองรับฟังก์ชันเกี่ยวกับความปลอดภัยต่าง ๆ รองรับการเข้ารหัส WiFi แบบ WEP และ WPA/WPA2 PSK/Enterprise มีวงจรเข้ารหัส AES/SHA2/Elliptical Curve Cryptography/RSA-4096 ในตัว ส่วนในด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ESP32 สามารถทำงานได้ดี โดยรับส่งข้อมูลได้ความเร็วสูงสุดที่ 150 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT40 ได้ความเร็วสูงสุด 72 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT20 ได้ความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11g และได้ความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11b



รูปที่ 2.8 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

2.5.2 การใช้ ESP32 ในโหมดประหยัดพลังงาน [13]

การประหยัดพลังงานที่ง่ายที่สุดคือการปิดใช้งานระบบต่าง ๆ ทั้ง WiFi และ CPU ทำให้ประหยัดพลังงานลงไปได้ สำหรับ ESP32 ได้เตรียมฟังก์ชันต่าง ๆ ไว้ให้ใช้งานแล้ว โดยถูกเรียกว่าโหมด ‘Sleep’ การใช้งานโหมด ‘Sleep’ แบ่งได้ตามวิธีการกระตุ้นให้กลับมาทำงาน โดยสามารถแบ่งลักษณะการกระตุ้นให้กลับมาทำงานได้ 2 แบบ ดังนี้

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.

2.5.2.1 วิธีการกระตุ้นให้กลับมาทำงานด้วยเหตุการณ์ภายนอก

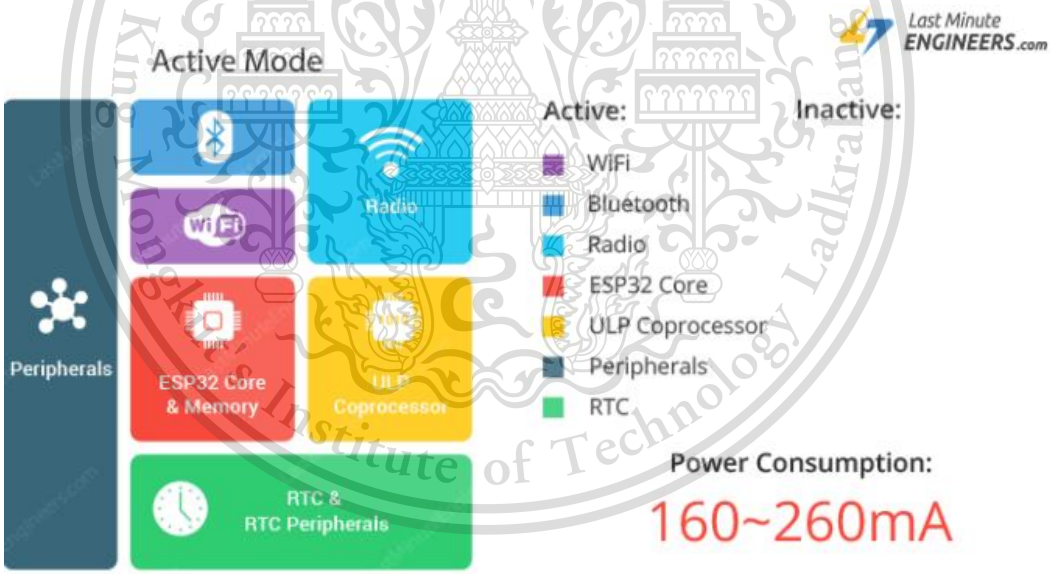
วิธีการกระตุ้นให้กลับมาทำงานด้วยเหตุการณ์ภายนอก หมายถึง การทำให้ ESP32 กลับมาเริ่มทำงานใหม่ด้วยการกระตุ้นจากภายนอก แบ่งการกระตุ้นได้ 2 แบบ คือ

- ใช้เซนเซอร์สัมผัส เหมาะสำหรับการใช้นิ้วสัมผัสโดยตรงเพื่อให้ ESP32 สามารถกลับมาทำงานได้

- เปลี่ยนสถานะ GPIO ใช้เมื่อต้องการให้อุปกรณ์อื่นกระตุ้นทำให้เกิดการกลับมาทำงาน เช่น การใช้งานเซนเซอร์ต่าง ๆ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการส่งข้อมูลทันที

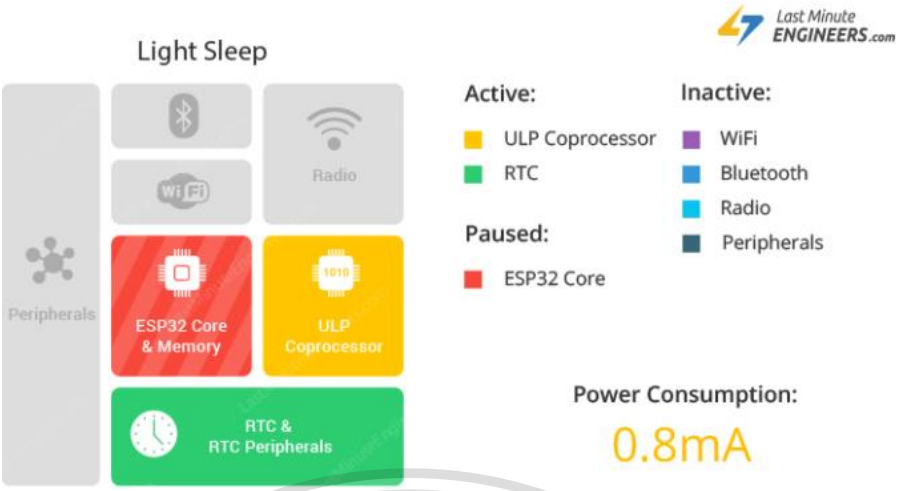
2.5.2.2 วิธีการกระตุ้นให้กลับมาทำงานด้วยเหตุการณ์ภายใน

วิธีการกระตุ้นให้กลับมาทำงานด้วยเหตุการณ์ภายใน หมายถึง การใช้วงจรไฟฟ้าภายใน ESP32 เป็นตัวกระตุ้น แล้วทำให้ ESP32 กระตุ้นให้กลับมาทำงาน มักจะหมายถึงวิธีการกระตุ้นให้กลับมาทำงานตามเวลาด้วย RTC โดยปกติแม้ส่วนวงจรอื่น ๆ ของ ESP32 จะถูกปิดการทำงาน แต่ส่วนของ RTC จะยังนับ และจดจำค่าเวลาต่อไปเรื่อย ๆ ตราบใดที่ยังมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเลี้ยงอยู่ตลอด เพื่อรอการดึงค่าเวลาออกมาใช้งาน

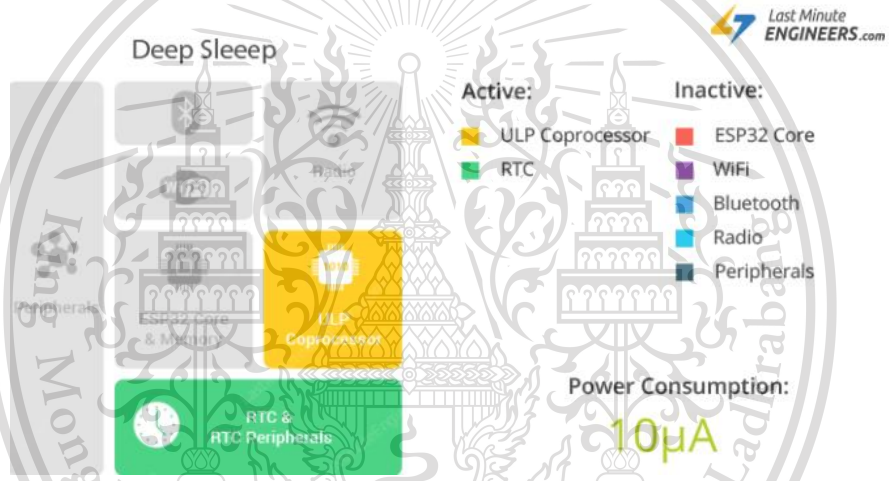


รูปที่ 2.9 ESP32 โหมด Active [13]

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.



รูปที่ 2.10 ESP32 Light Sleep [13]



รูปที่ 2.11 ESP32 Deep Sleep [13]

2.5.3 การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

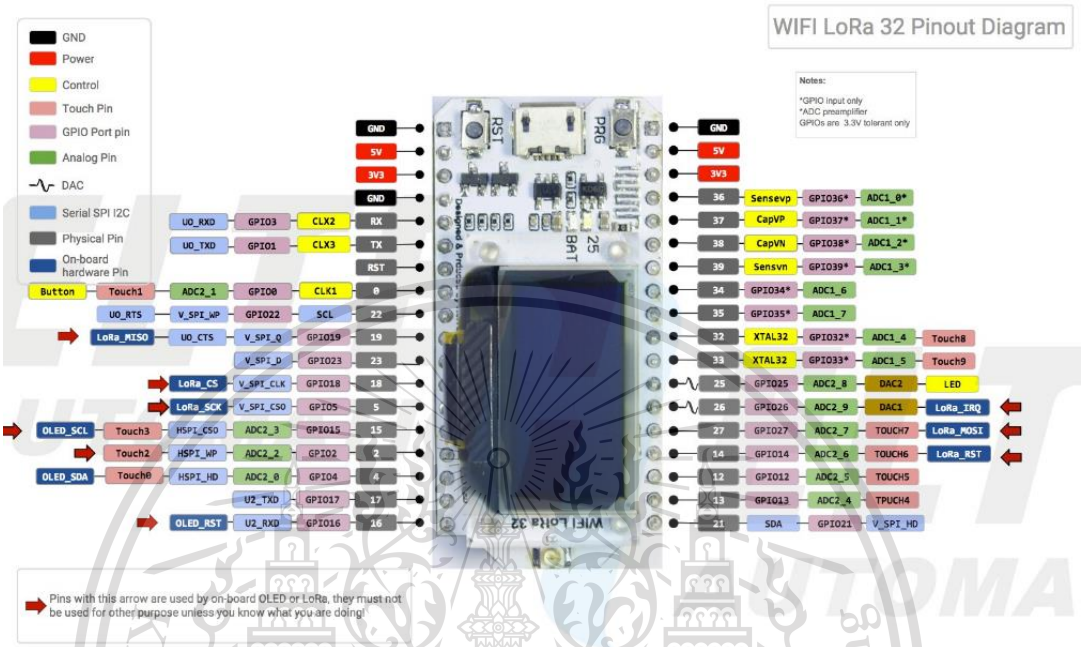
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานร่วมกับระบบ LINE ในการแจ้งเตือนเมื่อพบความเคลื่อนไหว การควบคุมความสว่างของหลอดไฟผ่านแอพพลิเคชัน สร้างบอททวีตตามเวลาใน Twitter ผ่าน IFTTT การแจ้งเตือนแบบไร้สายด้วยเสียง หรือการวัดความชื้นในดินซึ่งจะมีการแจ้งเตือนด้วย LINE Notify

2.5.4 โมดูล Heltec ESP32 Wifi LoRa Oled V.2 [14]

โมดูล Heltec ESP32 Wifi LoRa Oled V.2 คือการนำบอร์ดพัฒนา ESP32 และจอ Oled มารวมไว้บนบอร์ดเดียว ทำให้ง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น ตัวบอร์ดรองรับการอัพโหลดโปรแกรมโดยตรงผ่านคอมพิวเตอร์ สามารถใช้งานร่วมกับ Arduino ได้ และยังสามารถเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE ได้ ทำงานได้ที่อุณหภูมิ –40 ถึง 90 °C มีย่านความถี่อยู่ที่ 920-925 MHz และมี

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.

มาสเตอร์ชิปคือ ESP32 และชิปของ LoRa คือรุ่น SX1276 ความเร็วของการประมวณผลสูงสุด 600 DMIPS (Dhrystone Million Instructions Per Second หรือ Dhrystone MIPS) ค่าความไวของตัวรับ -139 dBm (SD12, 125 kHz)



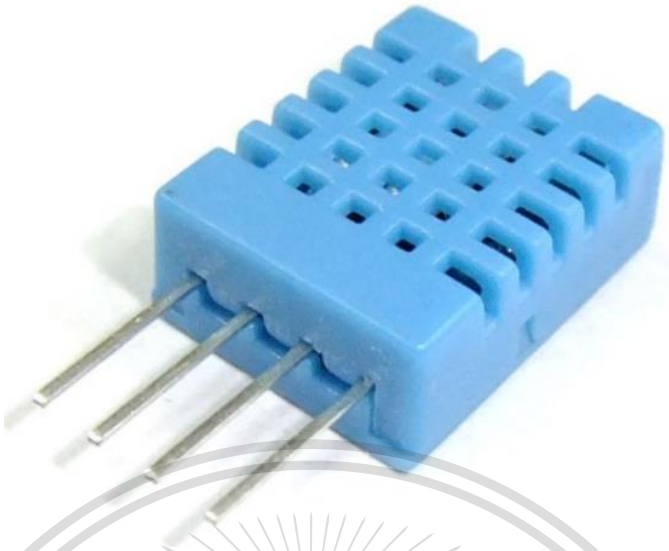
รูปที่ 2.12 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับโมดูล Heltec ESP32 Wifi LoRa Oled V.2

2.6 อุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับโมดูล LoRa

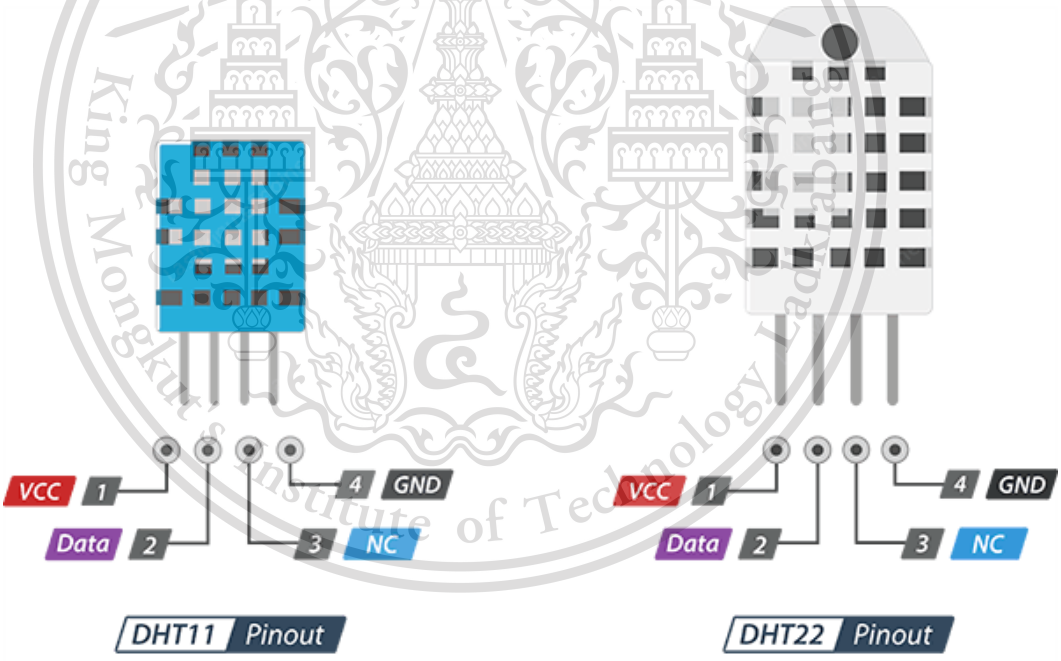
2.6.1 โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น DHT [15]

DHT เป็นโมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ซึ่ง DHT ถูกผลิตมาหลายรุ่น ไม่ว่าจะเป็น DHT11, DHT21 และ DHT22 ในส่วนของ DHT11 นั้นสามารถใช้งานร่วมกับ Arduino ได้ง่าย ๆ เพียงแค่จ่ายไฟให้กับเซนเซอร์ และอ่านค่าจาก Arduino โดยใช้ Digital Pin เพียง 1 Pin เท่านั้น โดย DHT11 มีคุณสมบัติในการวัดความชื้นในอากาศได้ตั้งแต่ 20-90 % RH ซึ่งมีโอกาสคลาดเคลื่อน ±5 % RH สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-50 °C และมีโอกาสคลาดเคลื่อน ±2 °C ขนาดของตัวเซนเซอร์นั้นอยู่ที่ 1.5x1.0x0.5 cm ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันไฟตั้งแต่ 3-5.5 V โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น DHT นั้นจะมีความแตกต่างระหว่าง DHT11, DHT12 และ DHT22 โดยจะแสดงดังตารางที่ 2.3

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 2.13 โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น DHT11



รูปที่ 2.14 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับ DHT11 และ DHT22

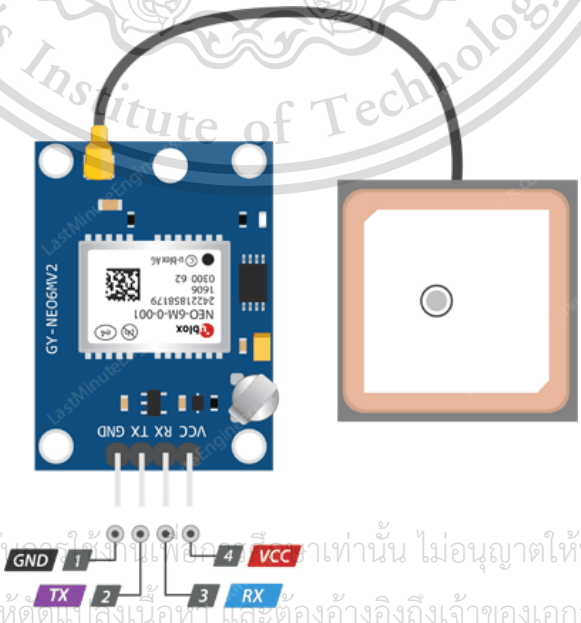
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.3 ความแตกต่างระหว่าง DHT11, DHT12 และ DHT22

	DHT11	DHT22	DHT21
ช่วงวัดอุณหภูมิ	0-50 °C / ± 2 °C	-40-80 °C / ± 0.5 °C	-40-80 °C / ± 0.5 °C
ช่วงวัดความชื้น	20-80 % / ± 5 %	0-100 % / ± 2-5 %	0-100 % / ± 2-5 %
ความถี่สูงสุดในการอ่านค่า	1 Hz	0.5 Hz	0.5 Hz
แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน	3 ถึง 5 V		
กระแสไฟฟ้าในการทำงาน	2.5 mA		

2.6.2 โมดูล GPS [16]

โมดูล GPS (Global Positioning System) เป็นระบบนำทางที่อาศัยดาวเทียม ซึ่งจะส่งข้อมูลจากดาวเทียมหลาย ๆ ดวงที่โคจรรอบโลกมายังโมดูล GPS (ตัวรับสัญญาณ) บนพื้นโลก โดยผู้ใช้งานสามารถใช้ข้อมูลนั้นเพื่อหาตำแหน่งและเวลา ณ ที่ใดก็ได้บนพื้นโลก โมดูลรับสัญญาณ GPS ที่ใช้งานในโครงงานนี้จะเป็นรุ่น GY-GPS6MV2 (ชิป Ublox NEO-6M) โมดูลรับสัญญาณ GPS รุ่นนี้สามารถสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมแบบ UART โมดูลถูกออกแบบมาให้ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ ราคาถูก และมีขนาดเล็ก

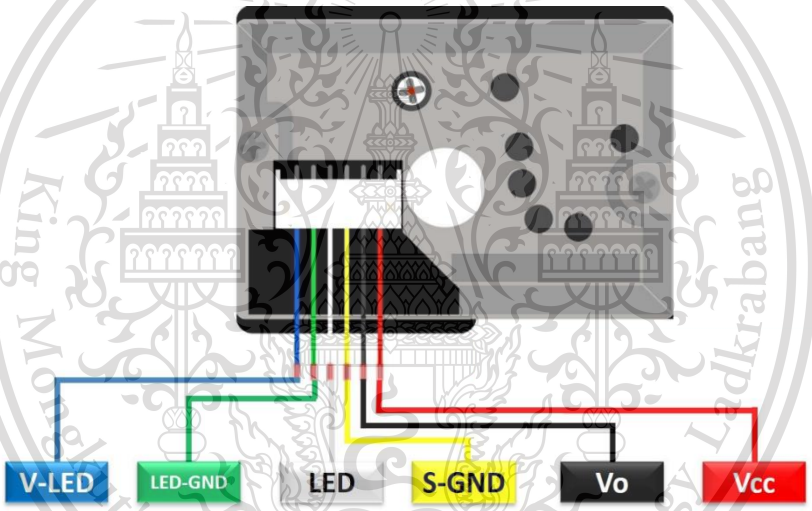


รูปที่ 2.15 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับโมดูล GPS รุ่น GY-NEO6MV2

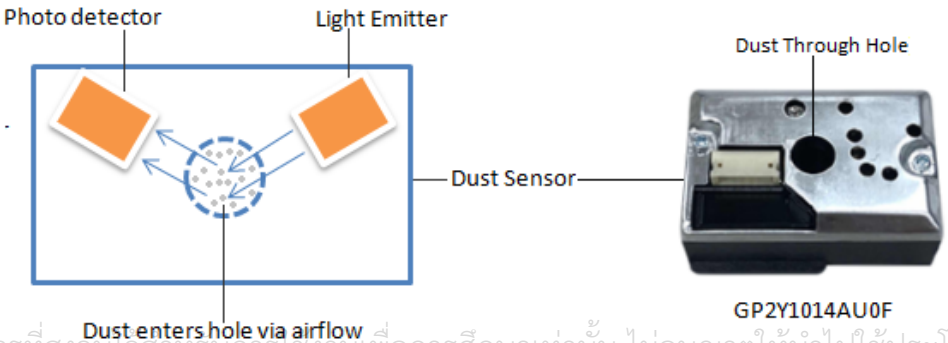
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.3 เซนเซอร์ฝุ่น SHARP GP2Y10 Dust Sensor $PM_{2.5}$ [17]

เซนเซอร์ฝุ่น SHARP GP2Y10 Dust Sensor $PM_{2.5}$ เป็นหนึ่งในรูปแบบเซนเซอร์วัดฝุ่นของ SHARP ที่ออกแบบมาสำหรับการใช้งานในเครื่องฟอกอากาศในเชิงพาณิชย์ ให้เอาต์พุตแอนาล็อก สามารถใช้ร่วมกับ Arduino ได้ เซนเซอร์ฝุ่น SHARP จะมีการทำงานบนหลักการของการกระเจิงของแสง (Light Scattering) ภาพเครื่องตรวจจับ มี LED (Light Emitter) ส่งแสงมาที่รูซึ่งมีฝุ่นไหลผ่านเข้ามา (Dust Through Hole) ที่มุมภายในแพคเกจสี่เหลี่ยม เมื่ออากาศที่มีฝุ่นละอองไหลเข้าไปในห้อง เซนเซอร์จะกระทบกับแสง LED (Light Emitter) ที่จะตรวจจับโดย Photo Detector หากฝุ่นมีอยู่ในอากาศมาก ความเข้มของแสงวัดได้จะมากตาม เซนเซอร์ฝุ่นจะแสดงค่าที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันไปตามความเข้มของแสงที่กระจัดกระจาย ซึ่งจะสอดคล้องกับระดับของฝุ่นละอองในอากาศและความหนาแน่นของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจริง



รูปที่ 2.16 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับเซนเซอร์ฝุ่น SHARP GP2Y10

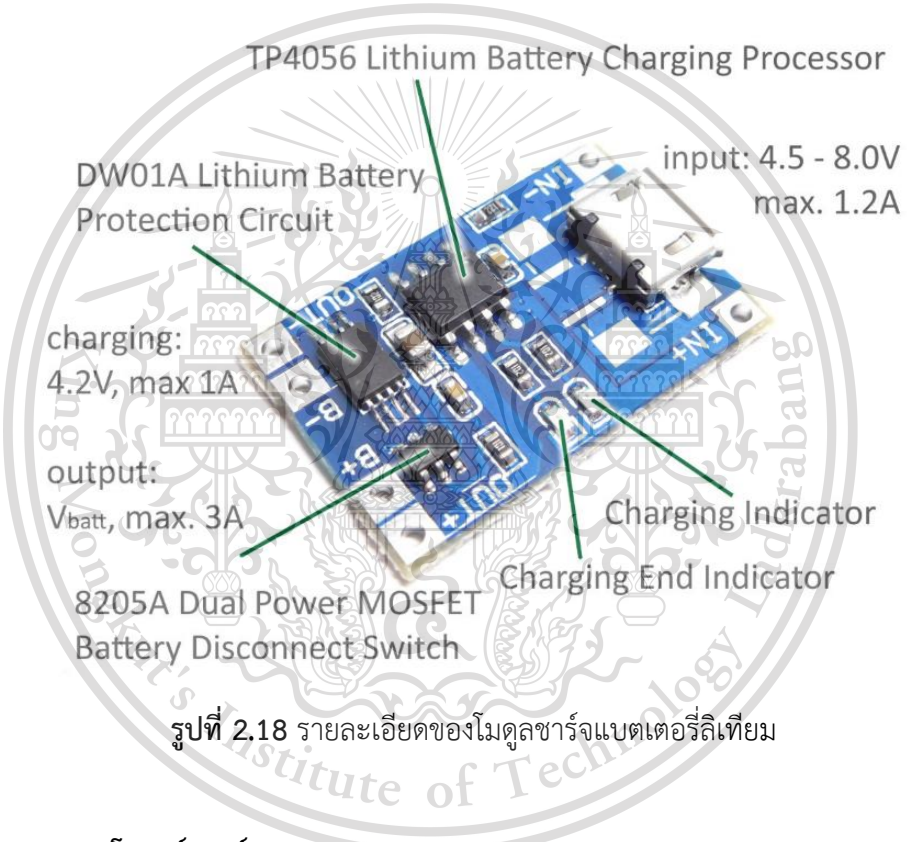


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.17 การทำงานของเซนเซอร์ฝุ่น SHARP GP2Y10

2.6.4 โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม [18,19]

โมดูล 1a Lithium Battery Charging and Protect One Plate + Protection 2–in-1 18650 Lithium Battery Charging Board คือโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม พร้อมวงจรจ่ายไฟและวงจรป้องกันการใช้ไฟในระดับโวลต์ที่ต่ำกว่ากำหนด (Over Discharge) และป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลเกิน (Over Current) ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 V จาก USB Port สามารถชาร์จกระแสไฟฟ้าได้ถึง 1 A มีการใช้งานชิป TP4056 ซึ่งเป็นตัวประมวลผลการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม ดังรูปที่ 2.18 นอกจากนั้นโมดูลนี้ยังมีไฟแจ้งสถานะเมื่อกำลังชาร์จแบตเตอรี่หรือชาร์จแบตเตอรี่เต็มแล้วอีกด้วย



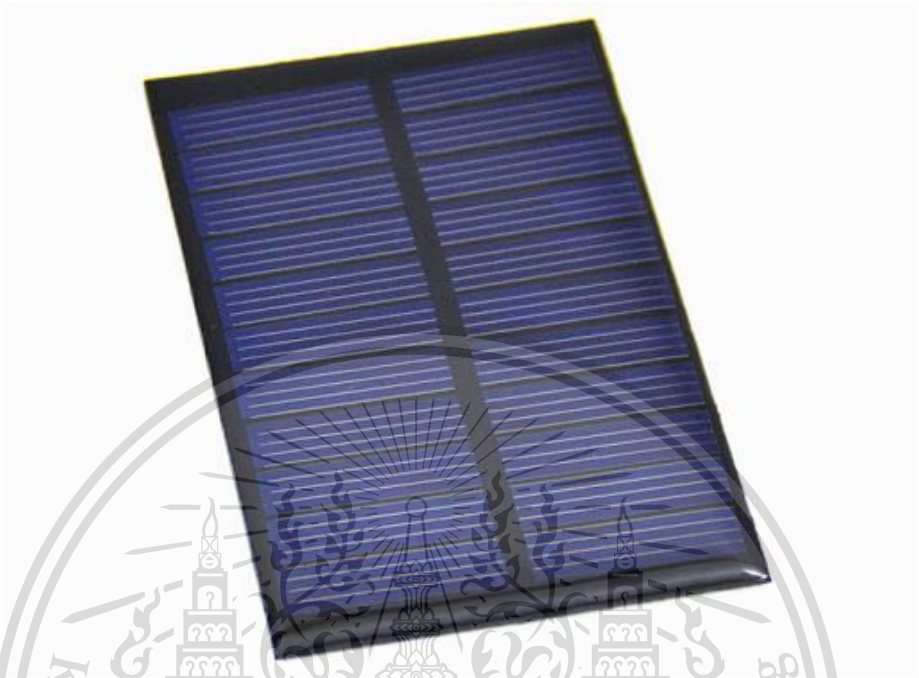
รูปที่ 2.18 รายละเอียดของโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม

2.6.5 โซลาร์เซลล์ 5.5 V 110 mA 0.6 W [20]

โซลาร์เซลล์ 5.5 V 110 mA 0.6 W เป็นแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5.5 V กระแสไฟฟ้า 110 mA ซึ่งเป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิดหนึ่ง โดยแผงโซลาร์เซลล์จะเป็นการนำเอาโซลาร์เซลล์จำนวนหลาย ๆ เซลล์มาต่อวงจรรวมกันอยู่ในแผงเดียวกัน ทำให้สามารถผลิตและจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยไฟฟ้าที่ได้นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยจะมีการตัดเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยเลเซอร์จะทำให้ได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ต้องการ ใช้อีพอกซีเป็นส่วนประกอบ มีความเร็วในการผลิตสูง ต้นทุนต่ำ ทนต่อแรงกดและการกัดกร่อน มีรูปลักษณ์ที่สวยงาม ควรใช้ในสภาพแวดล้อมกลางแจ้งที่ไม่มีสิ่งกีดขวางต่อแสงอาทิตย์อุณหภูมิในการทำงานจะอยู่ในช่วง –20 ºC ถึง 85 ºC แผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา 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.

โซลาร์เซลล์นี้สามารถใช้ร่วมกับโคมไฟสนามหญ้า ไฟสวน ไฟจราจร ระบบนำทางด้วยดาวเทียม แผงวิทยุพลังงานแสงอาทิตย์ ฯลฯ



รูปที่ 2.19 โซลาร์เซลล์ 5.5 V 110 mA 0.6 W

2.7 ชุดคำสั่ง ‘AT Command’ [21]

ชุดคำสั่ง ‘AT Command’ คือ ชุดคำสั่งมาตรฐานที่สามารถใช้ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ เช่น โมเด็ม หรือ อุปกรณ์ DTE (Data Terminal Equipment) เพื่อโต้ตอบ ตั้งค่าหรือสั่งงานอุปกรณ์เหล่านั้นให้ทำงานตามที่ต้องการ และสำหรับการติดต่อกับโทรศัพท์มือถือ จะใช้ชุดคำสั่งที่เรียกว่า GSM ‘AT Command’ ซึ่ง ‘AT Command’ นั้นสามารถใช้กับโทรศัพท์มือถือได้หลากหลาย ทั้งการอ่านรุ่นโทรศัพท์มือถือ ตรวจสอบระดับแบตเตอรี่ ตรวจสอบระดับสัญญาณ โดย ‘AT Command’ จะมีการใช้คำสั่งหลากหลายรูปแบบ โดย ‘AT Command’ ของโมดูล LoRa ยกตัวอย่างเช่น

- AT เป็นคำสั่งในการตรวจสอบการเชื่อมต่อ
- AT+INFO เป็นคำสั่งในการดูข้อมูลโมเดลของโมดูล
- AT+NCONFIG เป็นคำสั่งในการแสดงค่าที่มีการตั้งค่าปัจจุบันในโมดูล
- AT+SAVE เป็นคำสั่งในการบันทึกค่าที่มีการตั้งค่าปัจจุบันลงในโมดูล
- AT+CLASS = A เป็นคำสั่งในการตั้งค่าโหนดของเซนเซอร์เป็นคลาส A หรือ C

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.

- AT+ISMBAND = 6 เป็นคำสั่งในการเลือกความถี่ AS1 (Default ISMBAND = 2 คือ AS2)
- AT+CHSET เป็นคำสั่งในการแสดงช่องความถี่ใช้งาน
- AT+CLAC เป็นคำสั่งในการดูคำสั่ง 'AT Command' ที่สามารถใช้งานได้

2.8 หน่วยความจำ EEPROM [22]

หน่วยความจำ EEPROM หรือภาษาอังกฤษ Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory คือหน่วยความจำรอม (ROM) ที่ผู้ใช้สามารถลบหรือแก้ไขหรือเขียนซ้ำข้อมูลที่บรรจุอยู่ภายในได้ และสามารถทำซ้ำได้หลายครั้ง โดยอาศัยแอพพลิเคชันที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าปกติ การลบข้อมูลใน EEPROM จะเป็นการลบข้อมูลทั้งหมด ไม่สามารถเลือกลบเฉพาะบางส่วนได้ อย่างไรก็ตามมันมีอายุการใช้งานจำกัดขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งในการลบหรือแก้ไขข้อมูล เช่น 10 ครั้งหรือ 100 ครั้ง รูปแบบพิเศษของ EEPROM คือหน่วยความจำแฟลช (Flash Memory) ซึ่งใช้ระดับไฟปกติในเครื่องพีซีสำหรับการลบหรือเขียนหรือแก้ไขข้อมูล

2.9 วิธีการ Cyclic Redundancy Check [23]

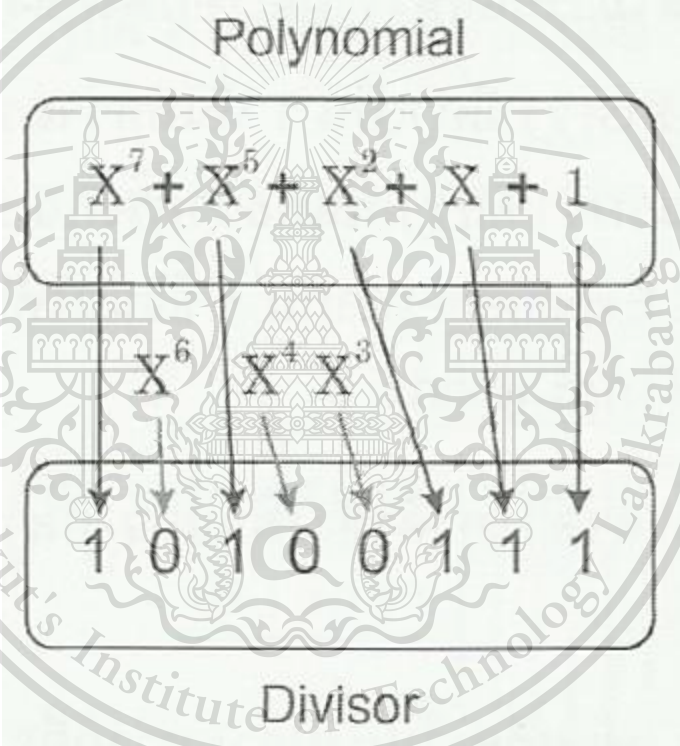
วิธีการ Cyclic Redundancy Check (CRC) เป็นวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับความนิยมในการใช้งานสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบเข้าจังหวะ (Synchronous) ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย IBM ขั้นตอนการทำงานคือ จะทำการสร้างตัวหาร (Divisor) ขึ้นมาตามจำนวนบิตที่ต้องการ ในการคำนวณหา CRC นั้น สามารถทำได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์เพื่อช่วยในการคำนวณ แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้วงจรฮาร์ดแวร์ในการคำนวณหา CRC มากกว่า เนื่องจากการพัฒนานั้นทำได้ง่าย อีกทั้งยังมีต้นทุนการพัฒนาที่ต่ำและมีความรวดเร็วสูง

หลักการของ CRC จะมีการใช้รหัสโพลีโนเมียล (Polynomial Codes) ซึ่งมีข้อกำหนดว่าบิตซ้ายสุดและบิตขวาสุดต้องมีค่าเป็น 1 เสมออีกทั้งรหัสโพลิโนเมียลจะต้องมีจำนวนบิตน้อยกว่าจำนวนบิตของข้อมูลคณิตศาสตร์โพลีโนเมียลจะเป็นลักษณะแบบมอดูโล (Modulo 2) ซึ่งจะไม่มีการใช้ Carry Bit ทั้งการบวกและการลบ หรือเป็นไปในลักษณะ Exclusive-OR นั่นเอง โดยบิตที่นำมาบวกหรือลบกัน หากบิตตรงกันผลที่ได้จะเท่ากับ 0 ในขณะที่บิตต่างกัน ผลที่ได้ก็จะเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นไปในลักษณะดังตารางที่ 2.4

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.

ตารางที่ 2.4 ผลการปฏิบัติด้วยโอเปอเรชัน Exclusive-OR

First Input	Second Input	XOR Input
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



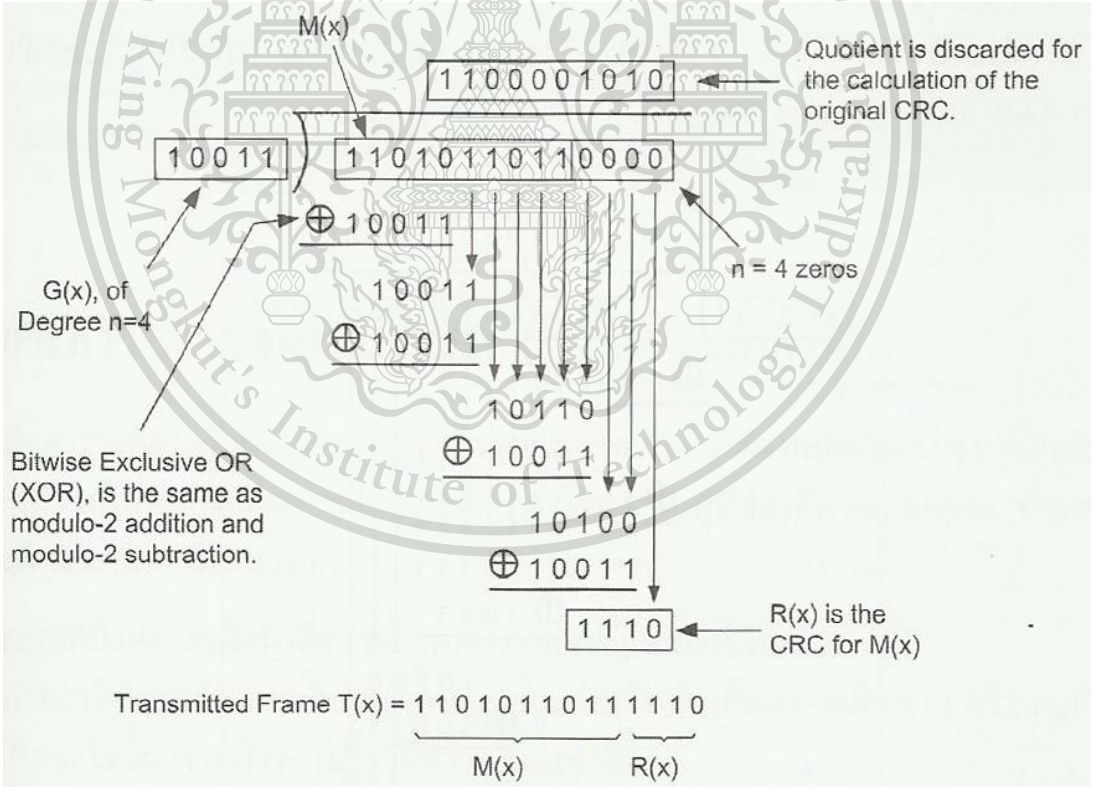
รูปที่ 2.20 โพลิโนเมียลและการแทนค่าเป็นตัวหาร [23]

วิธีการคำนวณหา CRC จะนำสมการโพลีโนเมียลที่กำหนดขึ้นซึ่งก็คือ G(X) ไปหารกับเฟรมข้อมูลที่ต้องการส่ง ซึ่งก็คือ M(X) ที่ได้รวมบิตศูนย์ (n) เพิ่มเติมไว้แล้ว โดยผลลัพธ์ที่ได้จะถูกละทิ้งไป ให้พิจารณาเพียงเศษที่ได้จากการหาร ซึ่งก็คือ R(X) หรือ Remainder เท่านั้น เฟรมข้อมูลที่ส่งไปยังปลายทางเรียกว่า T(X) ที่เกิดจากการนำ M(X) และเพิ่มต่อท้ายด้วยเฟรม R(X) ที่เรียกว่า FCS (Frame Check Sequence) ซึ่งโดยทั่วไปมักเรียกว่า CRC นั่นเอง ครั้นเมื่อสถานีต้นทางได้ส่งเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา 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.

T(X) ผ่านชั้นสื่อสารดาต้าลิงก์ด้วยวิธีการตรวจจับข้อผิดพลาดแบบ CRC ไปยังสถานีปลายทางฝั่งสถานีปลายทางก็จะใช้รหัสโพลีโนเมียลที่เป็นรหัสชนิดเดียวกันกับฝ่ายส่งนำไปตรวจสอบข้อผิดพลาดด้วยการคำนวณโดยการนำ T(X) หารด้วย G(X) และจะพิจารณาจากเศษที่ได้จากการหาร หากเศษที่ได้มีค่าเป็นศูนย์นั่นหมายถึงข้อมูลที่ได้รับนั้นถูกต้อง โดยสามารถสรุปรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

- M(X) คือเฟรมข้อมูลที่ต้องการส่ง
- G(X) คือมาตรฐานของโพลีโนเมียลที่นำมาใช้ (Generator Polynomial)
- N คือบิตศูนย์ที่นำมาผนวกเพิ่มเติม ด้วยการนำไปปะท้ายเฟรม M(X) โดยจำนวนของบิตศูนย์จะมีจำนวนเท่ากับ (Degree) ของ G(X)
- R(X) คือเศษที่ได้จากการคำนวณ (Remainder) ซึ่งเกิดจากการนำ M(X) ที่ได้ผนวกกับบิตศูนย์เพิ่มเติม แล้วหารด้วย G(X) โดยเศษที่ได้จากการหารก็คือ R(X)
- T(X) คือเฟรมที่ส่งไป ซึ่งเกิดจากนำ M(X) ปะด้วย R(X) โดยที่ T(X) = M(X) + R(X)



รูปที่ 2.21 วิธีการคำนวณ CRC [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.

2.10 โปรแกรมที่ใช้งาน

2.10.1 โปรแกรม Node–RED [24,25]

โปรแกรม Node–RED เป็นเครื่องมือในการพัฒนา IOT ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท IBM Emerging Technology และส่วนหนึ่งของทีมงาน JS Foundation และเป็นเครื่องมือสำหรับนักพัฒนาโปรแกรมในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เข้ากับ APIs (Application Programming Interface) ซึ่งเป็นการพัฒนาโปรแกรมแบบ Flow-Based Programming ที่มีหน้า ui สำหรับนักพัฒนาให้ใช้งานผ่าน Web Browser และไม่ต้องเขียนโปรแกรมในการพัฒนาโปรแกรมอีกด้วย โดย Node-RED ทำงานบน Node.js ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานกับ Raspberry Pi เนื่องจากใช้ทรัพยากรน้อย ขนาดไฟล์เล็กและ Node.js ยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้ Raspberry Pi สามารถติดต่อกับ Web Browser และอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ โปรแกรม Node–RED สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น ระบบเตือนอุณหภูมิด้วยอีเมลโดยใช้ Node–RED การค้นหาข้อมูลจากฐานข้อมูล MySQL ด้วยข้อความผ่านแอพพลิเคชัน LINE เป็นต้น

แพลตฟอร์ม Node.js คือการเขียนโปรแกรมด้วย JavaScript ที่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ แทนที่จะเป็นฝั่งไคลเอนต์แต่จริง ๆ แล้ว Node.js นั้นจะรวมไปถึงสิ่งต่าง ๆ ที่ทำขึ้นเพื่อให้สามารถเขียน JavaScript เอาไว้ที่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ได้ด้วย (Webserver Runtime และอื่น ๆ) หรือแพลตฟอร์มนั่นเองซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่สามารถใช้งานร่วมกับ Node–RED ได้ โดย Node.js ขึ้นชื่อในด้านความเร็วของการประมวลผล จึงทำให้แอพพลิเคชันที่เขียนด้วย Node.js นั้นมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รวมไปถึงแอพพลิเคชันที่จะช่วยให้การพัฒนาเว็บไซต์เป็นไปอย่างราบรื่นมากขึ้นด้วย ปัจจุบัน Node.js ถูกนำมาทำเป็น Web Server, Mobile Hybrid, IOT, Webkit, TVOS, OS และอื่น ๆ อีกมากมาย เรียกได้ว่าเข้าถึงได้หลากหลายเทคโนโลยี

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.

2.10.2 โปรแกรม Arduino IDE [26]

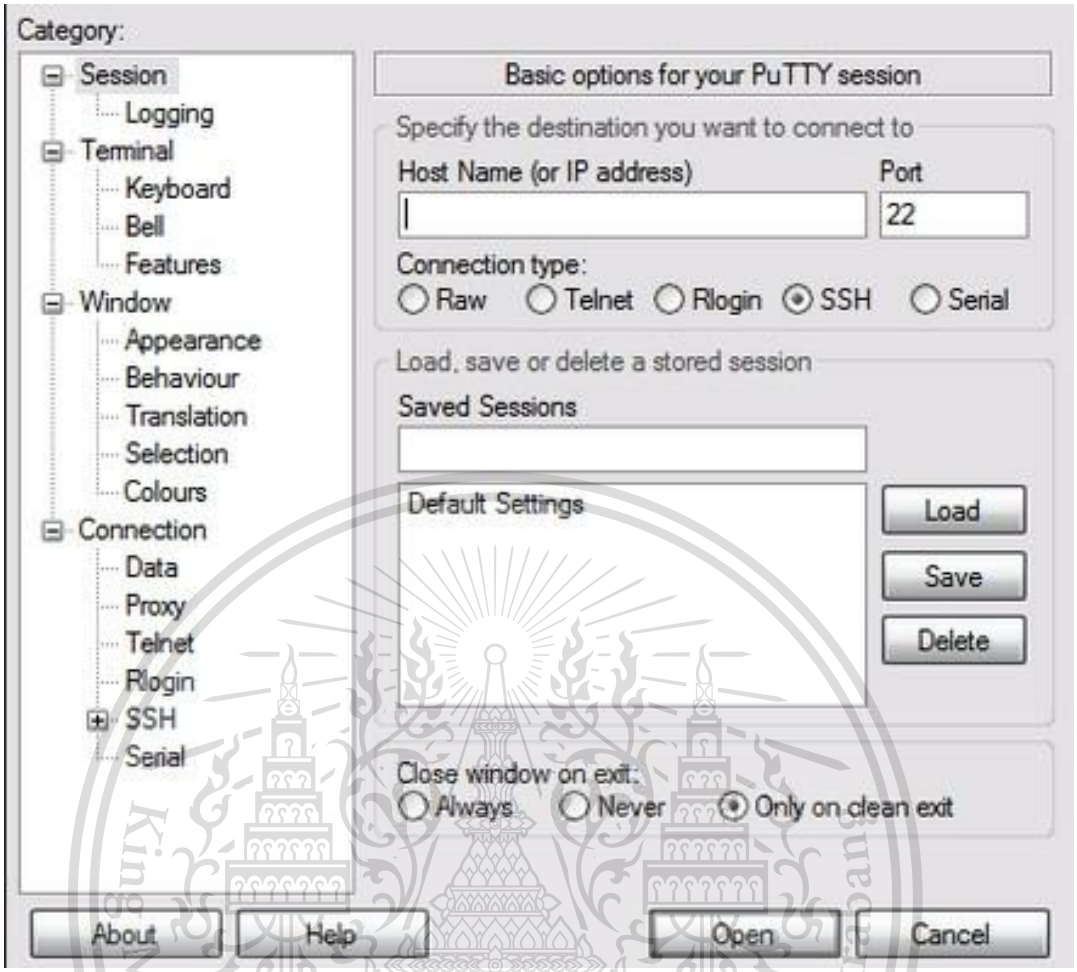
โปรแกรม Arduino IDE คือโปรแกรมสำหรับใช้เขียนโปรแกรม คอมไพล์ และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด Arduino หรือบอร์ดตัวอื่น ๆ ที่คล้ายกัน เช่น โมดูล Generic ESP8266 หรือ NodeMCU และ WeMos D1 เป็นต้น โปรแกรม Arduino IDE เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ Arduino IDE จะคอมไพล์หรือแปลโปรแกรมภาษา C/C++ ให้เป็นภาษาสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์และบันทึกเป็น Intel Hex File และอัปโหลด Intel Hex File ลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งอยู่บนบอร์ด Arduino หรือ NodeMCU ผ่านสาย USB หรือผ่านโปรแกรมเมอร์

รูปที่ 2.22 หน้าจอเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่โปรแกรม Arduino IDE

2.10.3 โปรแกรม PuTTY [27]

โปรแกรม PuTTY เป็นโปรแกรม Remote Server หรือ SSH (Secure Shell) ใช้งานในลักษณะสั่งงานเซิร์ฟเวอร์ด้วย Command Line เป็นโปรแกรมฟรีแวร์ มีขนาดเล็ก ใช้งานง่าย รองรับการเชื่อมต่อหลากหลายรูปแบบ ซึ่งโปรแกรม PuTTY เป็นที่รู้จักและใช้งานกันแพร่หลายทั่วโลก โปรแกรมนี้ถือกำเนิดตั้งแต่ปี ค.ศ.1997 จนถึงปัจจุบัน เป็นโปรแกรมที่มีหน้าที่เอาไว้ใช้ในการ Remote หรือติดต่อ เชื่อมต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่ง โดยวิธีการ Telnet หรือ Secure Shell (SSH) จากเครื่องไคลเอนต์เข้าไปจัดการ พิมพ์คำสั่ง หรือส่งคำสั่ง ในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ด้วยระบบการใช้พิมพ์คำสั่ง (Command-Line Interface) ซึ่งอยู่ที่ไหนในโลกก็สามารถเข้าไปได้ และถึงแม้จะเป็นข้อความ แต่สามารถเปลี่ยนรูปแบบของข้อความ ปรับเปลี่ยนขนาด สีพื้นหลัง สีตัวอักษรต่าง ๆ ได้ตามใจชอบ

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 2.23 หน้าจอเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่โปรแกรม PuTTY

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 3
การประยุกต์ใช้โมดูล LoRa เพื่อการตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศที่นำเสนอ

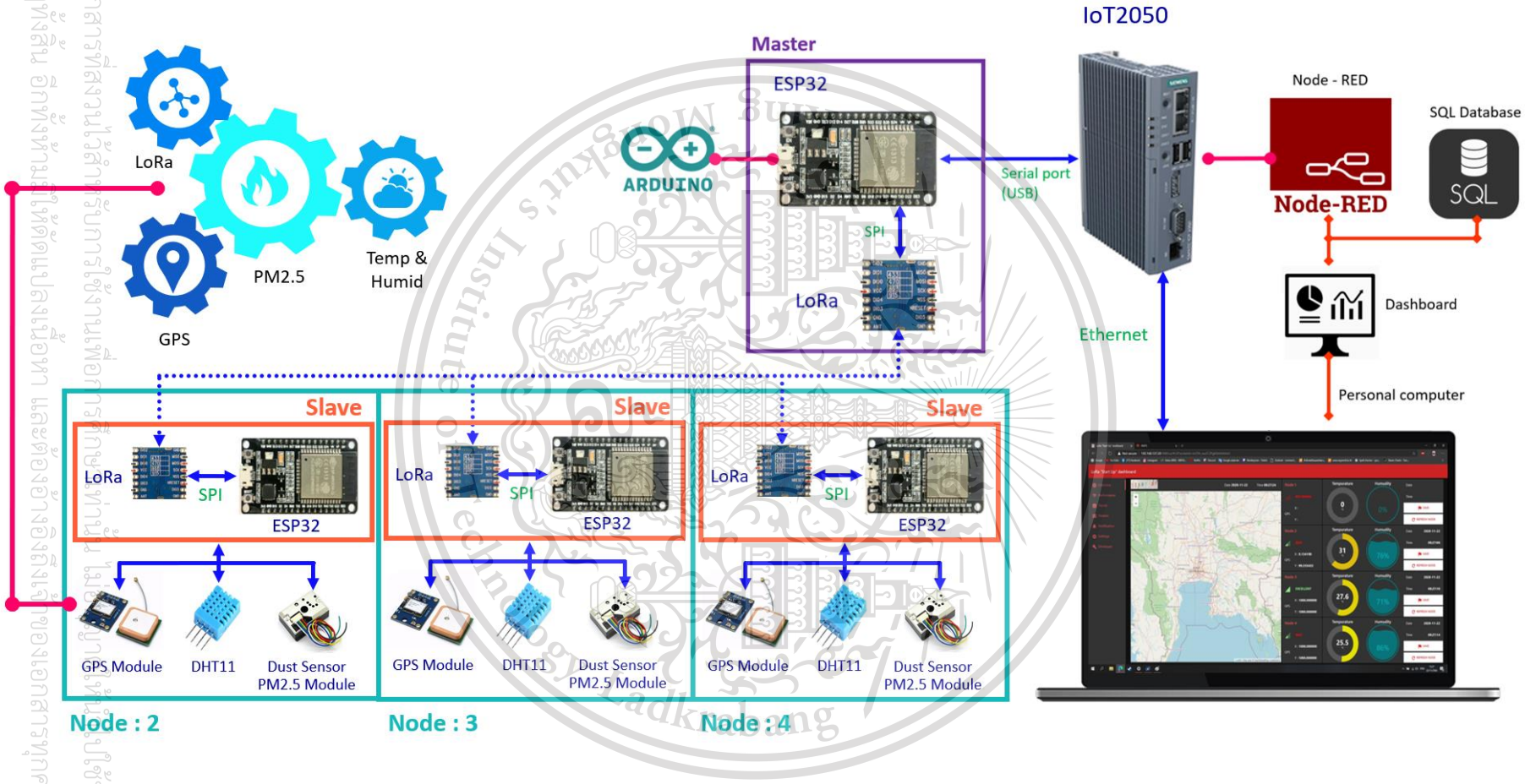
3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการเชื่อมต่อในโมดูลมาสเตอร์โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เชื่อมต่อกับโมดูล LoRa รวมไปถึงคำสั่ง 'AT Command' ที่จะถูกนำมาใช้เพื่อเป็นคำสั่งในการส่งข้อมูล การเชื่อมต่อในโมดูลสเลฟโดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เชื่อมต่อกับโมดูล LoRa โมดูล GPS โมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น และโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศ มีฟังก์ชันการทำงานตามคำสั่งต่าง ๆ ที่ได้รับจากโมดูลมาสเตอร์ การเชื่อมต่อ IOT2050 กับโมดูลมาสเตอร์เพื่อใช้เป็นเกตเวย์ โดยมีการควบคุมและแสดงผลการทำงานผ่านทางแดชบอร์ด

3.2 แนวคิดการประยุกต์ใช้โมดูล LoRa

ในการออกแบบระบบโดยรวมจะเป็นการออกแบบสถาปัตยกรรมเครือข่ายของการใช้งานโมดูล LoRa ร่วมกับ IOT2050 ที่ทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ในการรับ-ส่งและแสดงผลข้อมูลผ่านทางแดช-บอร์ดด้วยซอฟต์แวร์ Node-RED โดยจะแสดงค่าข้อมูลที่วัดได้จากแต่ละโมดูล กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล การแจ้งเตือนต่าง ๆ รวมถึงการเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลที่ตัวอุปกรณ์เกตเวย์ ในส่วนของโมดูล LoRa จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนโมดูลมาสเตอร์และโมดูลสเลฟโดยที่แต่ละโมดูลจะมีไมโครคอนโทลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน โดยที่โมดูลมาสเตอร์และโมดูลสเลฟจะสื่อสารกันผ่านเครือข่าย LoRa โดยในรูปที่ 3.1 จะแสดงให้เห็นถึงแนวคิดและภาพรวมของระบบที่ต้องการ

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 3.1 สถาปัตยกรรมระบบ

ไม่ว่าการอ้างอิงถึงเนื้อหาส่วนใดๆ ในเอกสารนี้ จะต้องมีการอ้างอิงถึงเอกสารต้นฉบับ
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

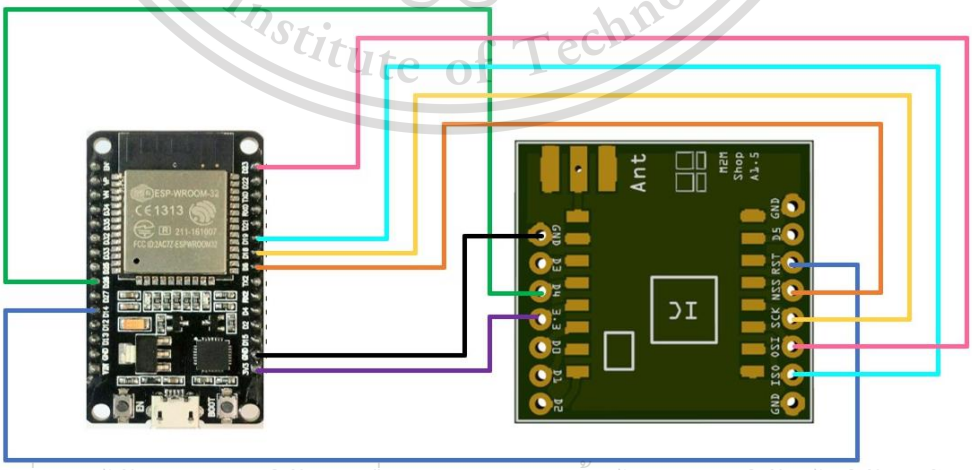
จากรูปที่ 3.1 คือสถาปัตยกรรมระบบของอุปกรณ์ที่ศึกษา โดยมี IOT2050 ทำหน้าที่เป็นเกต-เวย์ควบคุมลำดับการส่งข้อมูลระหว่างโมดูลมาสเตอร์กับโมดูลสเลฟ สามารถตั้งค่าการทำงานและแสดงผลผ่านทางแดชบอร์ดที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Node-RED เกตเวย์จะเชื่อมต่อกับโมดูลมาสเตอร์ผ่านทาง Serial Port (USB) เมื่อต้องการส่งข้อมูลจะส่ง 'AT Command' ไปยังโมดูลมาสเตอร์เพื่อให้ส่งข้อมูลไปยังโมดูลสเลฟ โมดูลมาสเตอร์ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และโมดูล LoRa SX1276 เชื่อมต่อแบบ SPI โปรแกรมผ่านทางซอฟต์แวร์ Arduino IDE เพื่อส่งข้อมูลไปยังโมดูลสเลฟผ่านระบบ LoRa ซึ่งข้อมูลเหล่านั้นจะถูกตรวจสอบความถูกต้องด้วยวิธี Cyclic Redundancy Check (CRC) โมดูลสเลฟจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และโมดูล LoRa SX1276 เหมือนโมดูลมาสเตอร์ แต่จะมีโมดูล GPS โมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น และโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศเพิ่มเข้ามา โปรแกรมผ่านทางซอฟต์แวร์ Arduino IDE เพื่อทำตามคำสั่งที่ได้รับจากโมดูลมาสเตอร์

3.3 โมดูลมาสเตอร์

ในส่วนของโมดูลมาสเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เชื่อมต่อกับโมดูล LoRa เพื่อใช้เป็นตัวกลางในการส่งคำสั่งไปยังโมดูลสเลฟผ่านทางระบบ LoRa โดยรับคำสั่งผ่านทาง 'AT Command'

3.3.1 วงจรการเชื่อมต่อในโมดูลมาสเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 กับโมดูล LoRa SX1276 เชื่อมต่อกันแบบ SPI โดยจะมีการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.1 คือ หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และโมดูล LoRa



รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูล LoRa

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 3.1 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูล LoRa

หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับ ESP32	หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับโมดูล LoRa
GPIO5	NSS
GPIO14	RESET
GPIO18	SCK
GPIO19	MISO
GPIO26	DIO0
GND	GND
3V3	3.3V

3.3.2 'AT Command' ที่ใช้กับโมดูลมาสเตอร์

คำสั่งที่ใช้สั่งงานโมดูลมาสเตอร์แบ่งออกเป็น 6 คำสั่ง ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็น 'AT Command' ที่ได้ออกแบบเพื่อใช้กับโมดูลมาสเตอร์

ตารางที่ 3.2 'AT Command' ที่ได้ออกแบบเพื่อใช้กับโมดูลมาสเตอร์

'AT Command'	Description
AT	สำหรับเช็คการเชื่อมต่อระหว่างโมดูลมาสเตอร์
AT + SEND	สำหรับส่งข้อมูลผ่านระบบ LoRa ไปยังโมดูลสเลฟ
AT + SEND = 01AQ02	สำหรับตั้งค่าแอดเดรสในโมดูลสเลฟ
AT + SEND = 01GQ12.34,56.78	สำหรับตั้งค่าละติจูด ลองจิจูดในโมดูลสเลฟ
AT + SEND = 01RQ	สำหรับสั่งให้โมดูลสเลฟส่งข้อมูลจากโมดูลวัด
AT +SEND = 01SQ12.34	สำหรับสั่งให้โมดูลสเลฟเข้าสู่โหมด 'Sleep'

3.4 โมดูลสเลฟ

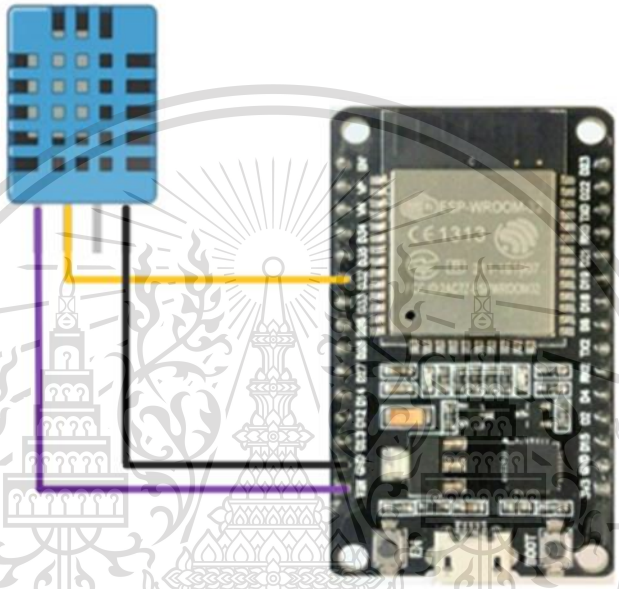
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เชื่อมต่อกับโมดูล LoRa SX1276 เชื่อมต่อแบบ SPI เหมือนกับโมดูลมาสเตอร์ โดยจะมีการเชื่อมต่อกับโมดูล GPS ผ่านทาง Serial Port 2 เพื่อรับค่าละติจูดและลองจิจูดจากดาวเทียม โมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น โมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศ เพื่อเก็บข้อมูลส่งให้กับโมดูลมาสเตอร์ โดยจะมีฟังก์ชันการทำงานตามคำสั่งต่าง ๆ ที่ได้รับจากโมดูลมาสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา 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.

3.4.1 วงจรการเชื่อมต่อในโมดูลสเลฟ

3.4.1.1 วงจรการเชื่อมต่อ ESP32 กับโมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น

ในส่วนของโมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้นนั้น จะมีอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อกัน 2 อุปกรณ์ด้วยกัน คือ โมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น DHT และไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 โดยจะมีการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.3 และตารางที่ 3.3 คือ หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และโมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น

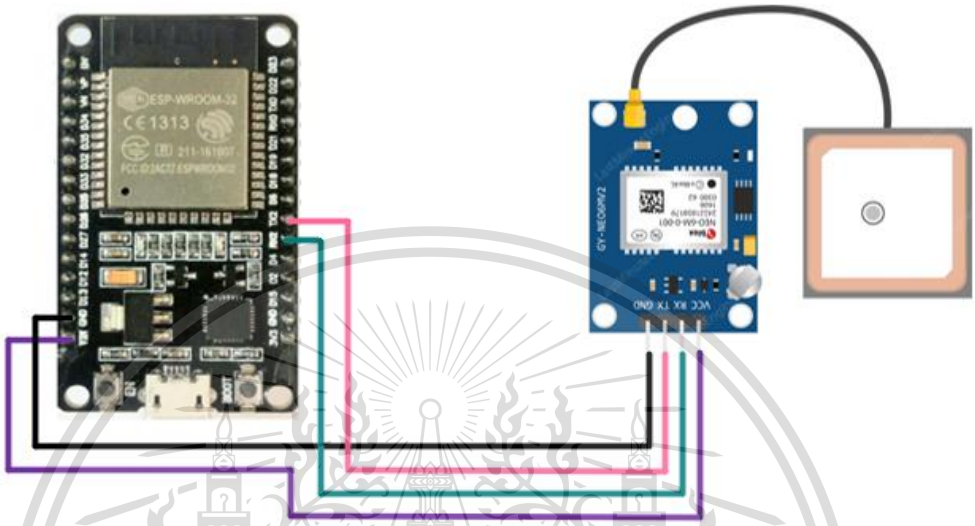
ตารางที่ 3.3 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น

หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับ ESP32	หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับโมดูลวัดอุณหภูมิ ความชื้น
GPIO32	DATA
GND	GND
VIN	Vcc

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.

3.4.1.2 วงจรการเชื่อมต่อ ESP32 กับโมดูล GPS

ในส่วนของโมดูล GPS จะมีอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อกัน 2 อุปกรณ์ด้วยกัน คือ โมดูล GPS และไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 โดยจะมีการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.4 และตารางที่ 3.4 คือหมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และโมดูล GPS



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูล GPS

ตารางที่ 3.4 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูล GPS

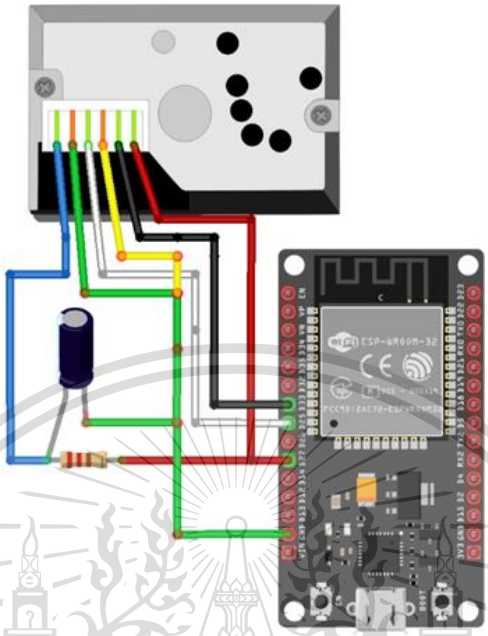
หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับ ESP32	หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับโมดูล GPS
GPIO4	Vcc
GPIO16	Tx
GPIO17	Rx
GND	GND

3.4.1.3 วงจรการเชื่อมต่อ ESP32 กับโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศ

ในส่วนของโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศนั้น จะมีอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อกัน 2 อุปกรณ์ด้วยกัน คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศ โดยจะมีการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และเซนเซอร์ฝุ่น SHARP GP2Y10 Dust Sensor $PM_{2.5}$ ซึ่งจะมีการใช้งานตัวเก็บประจุและตัวต้านทานเข้ามาร่วมในวงจรด้วย โดยจะมีการใช้

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.

งานตัวเก็บประจุ 220 ไมโครฟารัดและตัวต้านทาน 100 โอห์ม และตารางที่ 3.5 คือ หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศ



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศ

ตารางที่ 3.5 หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 และโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศ

หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับ ESP32	**หมายเลขขาเอาต์พุตสำหรับโมดูลวัดฝุ่นละอองในอากาศ**
GPIO25	LED-GND
GPIO27	Vcc
GPIO33	Vo
GND	GND

3.4.2 ฟังก์ชันการทำงานที่ได้รับคำสั่งจากพอร์ต ‘RS-232’ และโมดูลมาสเตอร์

ในแต่ละรอบการทำงานของโมดูลสเลฟ โปรแกรมจะรับคำสั่งทั้งจากทางพอร์ต ‘RS-232’ และโมดูลมาสเตอร์ผ่านทางระบบ LoRa และยังมีการเช็คว่าสามารถอ่านค่าละติจูด ลองจิจูดจากโมดูล GPS ได้หรือไม่ ถ้าได้จะทำการบันทึกข้อมูลไปยัง EEPROM โดยจะบันทึกค่าละติจูดเข้าไปที่ตำแหน่ง 2-12 บันทึกค่าลองจิจูดเข้าไปที่ตำแหน่ง 13-23 ที่ได้โปรแกรมไว้ ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 loop() {
  CommandIN();
  if( gps.encode(Serial2.read())){
    float bufLat, bufLon ;
    gps.f_get_position(&bufLat,&bufLon) ;
    Lat = String(bufLat, 6) ;
    Lon = String(bufLon, 6) ;
    writeStringToEEPROM(2, Lat) ;
    writeStringToEEPROM(13, Lon) ;
  }
}
```

รูปที่ 3.6 การเขียนโปรแกรมสำหรับรับจากโมดูล GPS และบันทึกไปยัง EEPROM

เมื่อมีคำสั่งเข้ามาจะทำการเช็คแอดเดรสและ CRC ตามลำดับ ถ้าถูกต้องจะทำการเช็คคำสั่งว่าตรงกับฟังก์ชันใด โดยจะมีทั้งหมด 4 ฟังก์ชันได้แก่

3.4.2.1 ฟังก์ชัน AQ

ฟังก์ชัน AQ สำหรับกำหนดค่าของแอดเดรสซึ่งจะมีการเก็บแอดเดรสไว้ที่ EEPROM ที่ตำแหน่ง 0–1 โดยแอดเดรสจะเปลี่ยนหลังจากโมดูลสเลฟเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ โมดูลสเลฟจะทำการตอบกลับมายังโมดูลมาสเตอร์โดยจะส่งคำสั่ง AP ตามด้วยแอดเดรสใหม่ที่ถูกกำหนดตามโปรแกรมที่ได้แสดงในรูปที่ 3.7

```
if ( Check_FN == "AQ" ) {
  String buffAddress = packet.substring(4, packet.indexOf("|")) ;
  String Message = Address+"AP"+buffAddress ;
  uint16_t bufCRC = CRC16(Message, Message.length()) ;
  Message = Message + "|" + String( bufCRC ) ;
  LoRa.beginPacket() ;
  LoRa.print(Message) ;
  LoRa.endPacket() ;
  Serial.println(Message);
  writeStringToEEPROM(0, buffAddress) ;
  Address = addressEEPROM() ;
  Serial.println("Address : "+Address) ;
}
```

รูปที่ 3.7 การเขียนโปรแกรมสำหรับกำหนดค่าแอดเดรสตามคำสั่ง AQ

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.

3.4.2.2 ฟังก์ชัน GQ

ฟังก์ชัน GQ สำหรับกำหนดค่าละติจูดและลองจิจูดซึ่งจะมีการเก็บค่าไว้ที่ EEPROM โดยที่ค่าละติจูดที่ตำแหน่ง 2-12 ค่าลองจิจูดเข้าไปที่ตำแหน่ง 13–23 เมื่อบันทึกเสร็จโมดูลสเลฟจะทำการตอบกลับมายังโมดูลมาสเตอร์โดยจะส่งคำสั่ง GP ตามด้วยค่าละติจูดและลองจิจูดใหม่ที่ถูกกำหนดตามโปรแกรมที่ได้แสดงในรูปที่ 3.8

```
if ( Check_FN == "GQ" ) {
  float buffLat = packet.substring(packet.indexOf("Q")+1, packet.indexOf(",")).toFloat() ;
  if( buffLat >= 0 )  { buffLat = buffLat+10000.0000000 ; }
  if( buffLat < 0 )   { buffLat = buffLat-1000.000000 ; }
  Lat = String(buffLat, 6) ;
  Lat.remove(Lat.indexOf("1"),1) ;
  writeStringToEEPROM(2, Lat) ;
  Lat = String(latEEPROM().toFloat()) ;
  float buffLon = packet.substring(packet.indexOf(",")+1, packet.indexOf("|")).toFloat() ;
  if( buffLon >= 0 )  { buffLon = buffLon+10000.0000000 ; }
  if( buffLon < 0 )   { buffLon = buffLon-1000.000000 ; }
  Lon = String(buffLon, 6) ;
  Lon.remove(Lon.indexOf("1"),1) ;
  writeStringToEEPROM(13, Lon) ;
  Lon = String(lonEEPROM().toFloat()) ;
  String Message = Address+"GP"+Lat+","+Lon ;
  uint16_t bufCRC = CRC16(Message, Message.length()) ;
  Message = Message + "|" + String( bufCRC ) ;
  Serial.println(Massage);
  Serial.println( "Lat : " + Lat + " Lon : " + Lon ) ;
  LoRa.beginPacket() ;
  LoRa.print(Message) ;
  LoRa.endPacket() ;
}
```

รูปที่ 3.8 การเขียนโปรแกรมสำหรับกำหนดค่าละติจูดและลองจิจูดตามคำสั่ง GQ

3.4.2.3 ฟังก์ชัน RQ

ฟังก์ชัน RQ สำหรับส่งข้อมูลที่ได้รับจากโมดูลวัดไปยังโมดูลมาสเตอร์ โดยโมดูลสเลฟจะใช้คำสั่ง RP ตามด้วยค่าละติจูด ลองจิจูด อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณฝุ่นละอองในอากาศกลับไปยังโมดูลมาสเตอร์ตามโปรแกรมที่ได้แสดงในรูปที่ 3.9

```
if ( Check_FN == "RQ" ) {
  Battery() ;
  Sensor() ;
  String Message = Address+"RP"+Lat+","+Lon+","+TEMP+","+HUMID+","+PM25+","+BATT ;
  uint16_t bufCRC = CRC16(Message, Message.length()) ;
  Message = Message + "|" + String( bufCRC ) ;
  Serial.println(Message);   //ใช้งานจริงปิด Serial ทั้งหมดแล้วเปิด LoRa
  LoRa.beginPacket() ;
  LoRa.print(Message) ;
  LoRa.endPacket() ;
}
```

รูปที่ 3.9 การเขียนโปรแกรมสำหรับส่งค่าที่ได้จากโมดูลวัดตามคำสั่ง RQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา 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.

3.4.2.4 ฟังก์ชัน SQ

ฟังก์ชัน SQ เป็นคำสั่งที่จะได้รับจากโมดูลมาสเตอร์เมื่อต้องการให้โมดูลสเลฟเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ โดยตามตัวเลขที่ได้หลังจากคำสั่ง SQ โดยตัวเลขที่อยู่หน้าทศนิยมหมายถึงนาที ตัวเลขหลังทศนิยมหมายถึงวินาที ตัวอย่างเช่น 12.34 โมดูลมาสเตอร์จะเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ เป็นเวลา 12 นาที 34 วินาที โดยก่อนที่จะเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ โมดูลสเลฟจะทำการตอบกลับมายังโมดูลมาสเตอร์โดยใช้คำสั่ง SP ตามด้วยเวลาที่จะเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ ตามโปรแกรมที่ได้แสดงในรูปที่ 3.10

```
if ( Check_FN == "SQ" ) {
  String bufTime = packet.substring(4, packet.indexOf("|")) ;
  Time = bufTime.toFloat() ;
  String Message = Address + "SP" + String(Time) ;
  uint16_t bufCRC = CRC16(Message, Message.length()) ;
  Message = Message + "|" + String( bufCRC ) ;
  Serial.println(Message) ;
  LoRa.beginPacket() ;
  LoRa.print(Message) ;
  LoRa.endPacket() ;
  Sleep() ;
}
```

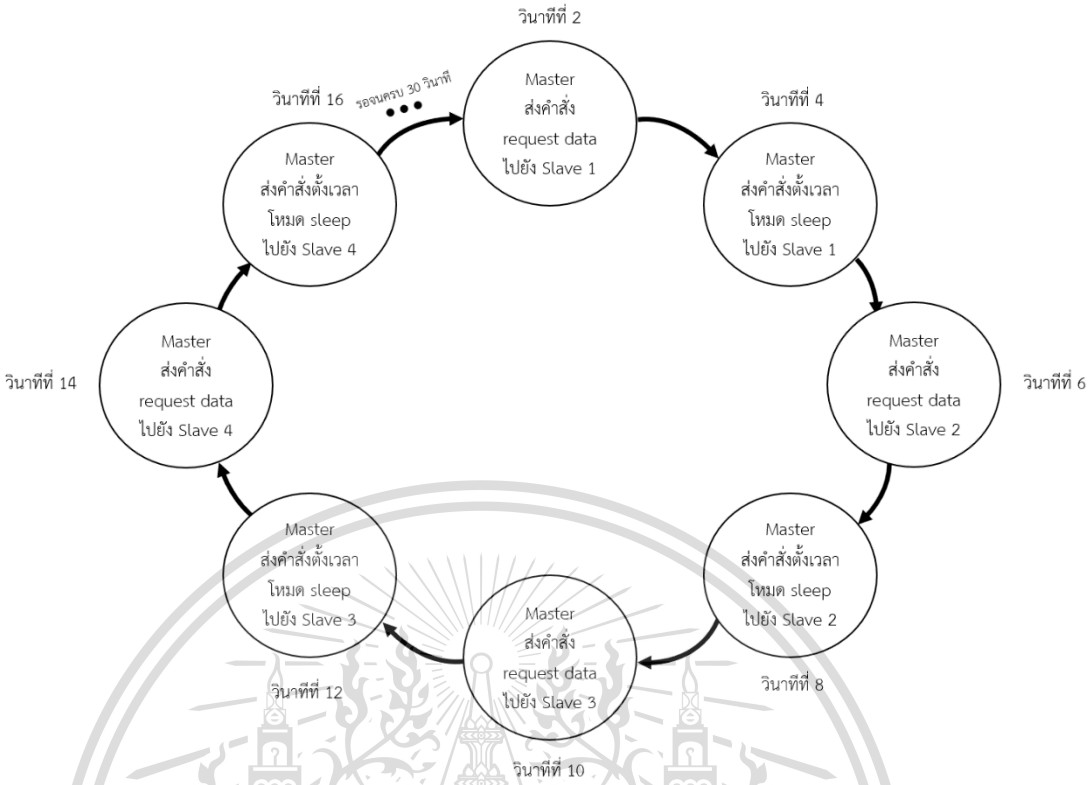
รูปที่ 3.10 คำสั่ง SQ ในการสั่งโหมด ‘Sleep’

3.5 การเขียนโปรแกรมสำหรับเกตเวย์ IOT2050

3.5.1 แนวทางการจัดลำดับการรับ-ส่งข้อมูล

ลำดับการทำงานของมาสเตอร์จะถูกกำหนดโดยโปรแกรม Node-RED โดยมีช่วงเวลาระบุในแต่ละขั้นตอน เช่น หากรอบการอัพเดทของข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที ใน 3 สเลฟ ในช่วงเวลา 2 วินาทีแรก มาสเตอร์จะทำการร้องขอข้อมูลไปยังสเลฟตัวที่ 1 และสเลฟตัวที่ 1 จะส่งข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ กลับมา ใน 2 วินาทีต่อมา มาสเตอร์จะทำการส่งคำสั่งให้สเลฟตัวที่ 1 เข้าสู่โหมด ‘Sleep’ และสเลฟตัวที่ 1 จะทำการตอบกลับเพื่อยืนยันคำสั่งก่อนจะเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ ใน 2 วินาทีถัดมา มาสเตอร์จะทำการร้องขอข้อมูลไปยังสเลฟตัวที่ 1 และสเลฟตัวที่ 1 จะส่งข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ กลับมา วนซ้ำไปเรื่อย ๆ จนครบ 3 สเลฟ แล้วจะรอจนครบ 30 วินาทีหลังจากร้องขอข้อมูลจากสเลฟตัวที่ 1 และทำการร้องขอใหม่อีกครั้งไปเรื่อย ๆ ดังรูปที่ 3.11

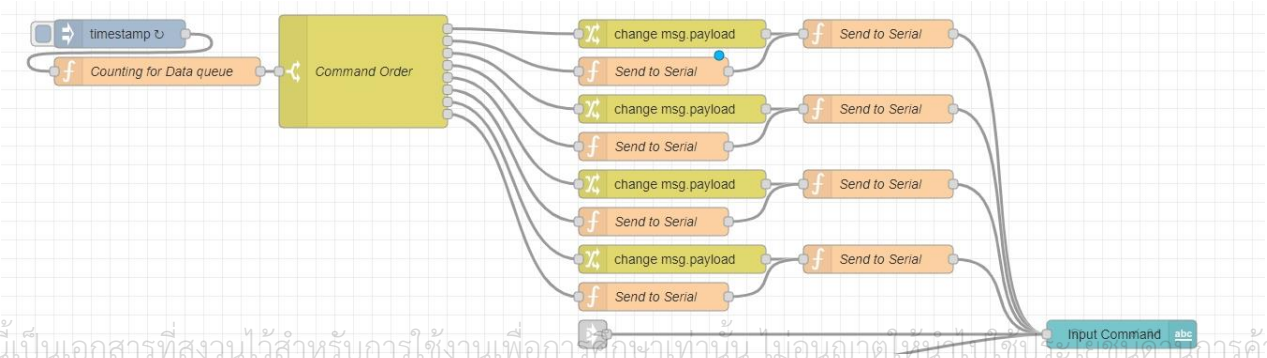
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.11 การจัดลำดับการรับ-ส่งข้อมูล

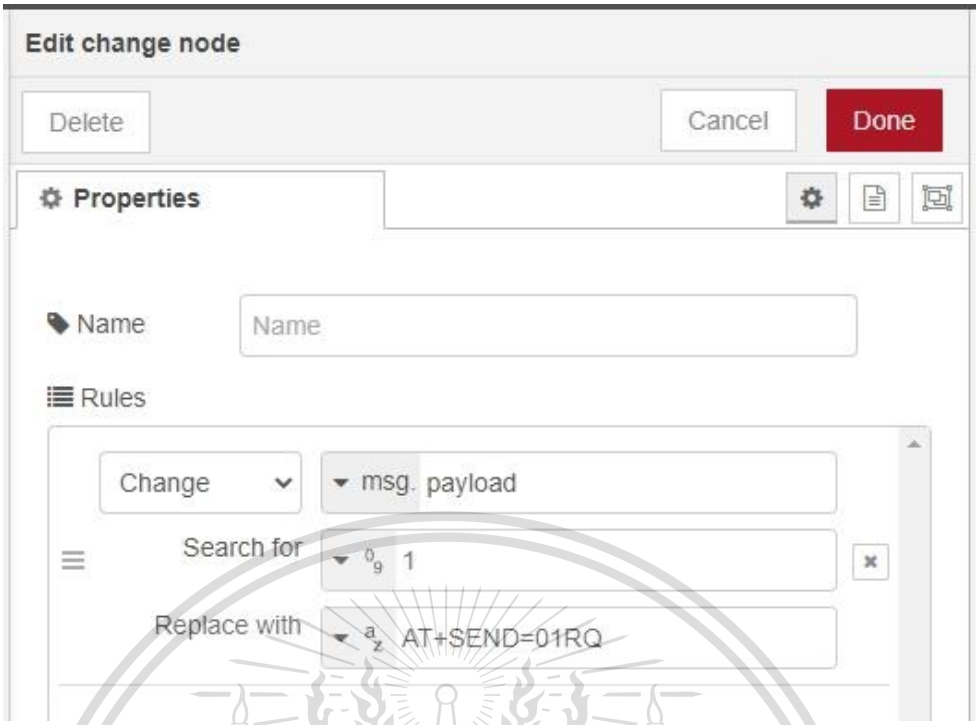
3.5.2 โปรแกรม Node-RED สำหรับการรับ-ส่งข้อมูล

จากการจัดลำดับการรับ-ส่งข้อมูล สามารถนำมาเขียนโปรแกรม Node-RED ได้ โดยจะมีการจัดลำดับบล็อกที่ใช้ในการลำดับการส่งคำสั่ง การแปลงลำดับของคำสั่งเป็นคำสั่งร้องขอข้อมูลในแบบ ‘AT Command’ และการแปลงลำดับคำสั่งเป็นคำสั่งเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ แบบ ‘AT Command’ ดังรูปที่ 3.12, 3.13 และ 3.14



รูปที่ 3.12 ลำดับบล็อกที่ใช้ในการลำดับการส่งคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



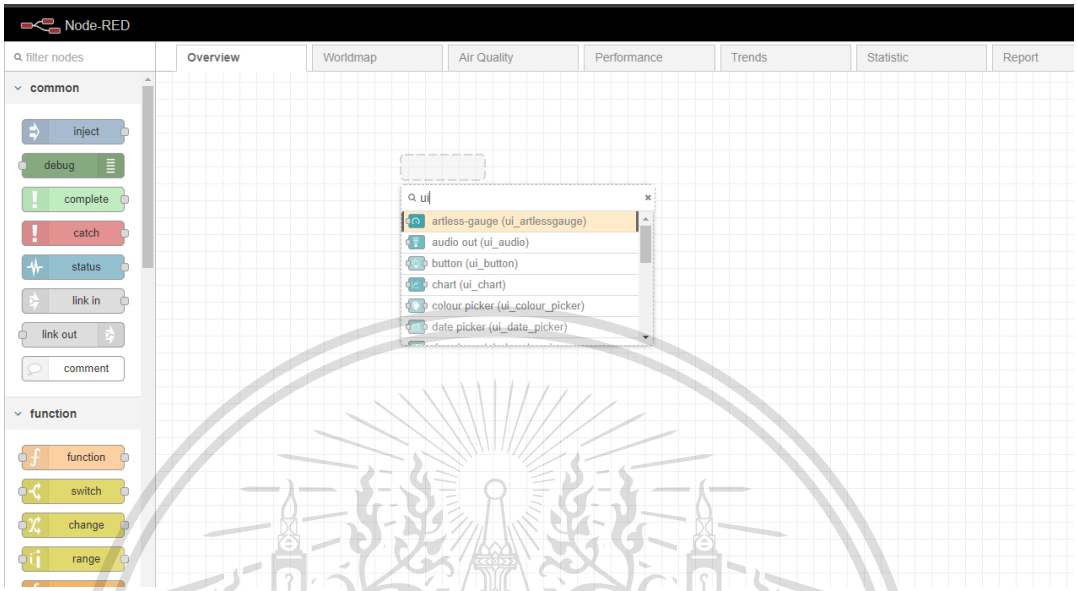
รูปที่ 3.13 การแปลงลำดับของคำสั่งในแบบ ‘AT Command’

รูปที่ 3.14 การแปลงลำดับคำสั่งเป็นคำสั่งเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ แบบ ‘AT Command’

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.

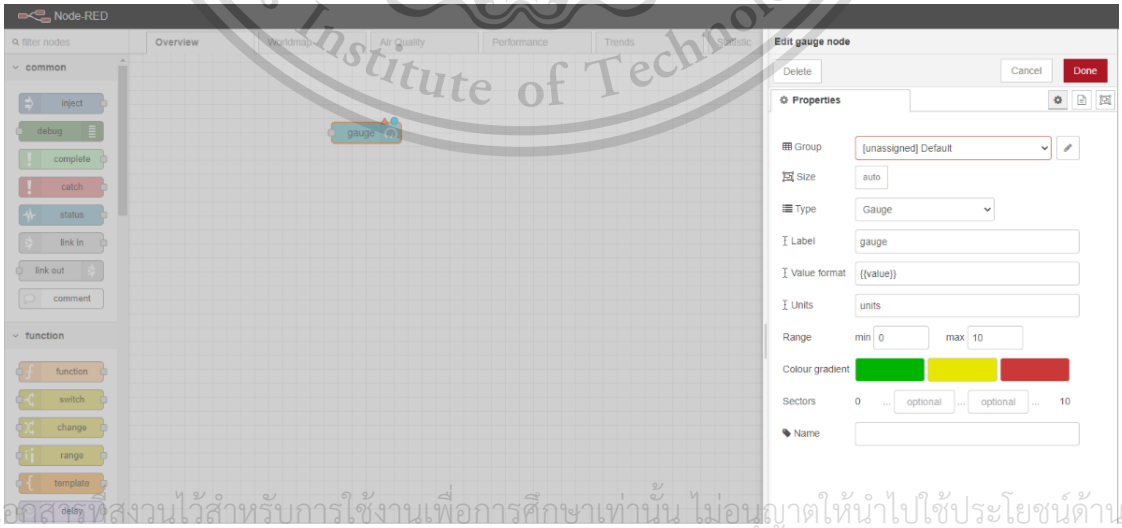
3.6 การสร้างแดชบอร์ดเพื่อแสดงผลตัวแปรที่สนใจ

เริ่มจากกด Ctrl คลิกขวาเพื่อเรียกใช้งานบล็อกต่าง ๆ โดยบล็อกที่เกี่ยวข้องกับแดชบอร์ดคือบล็อก ui (User Interface) ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การใช้ Ctrl + คลิกขวาเพื่อเรียกรายการบล็อกที่สามารถใช้ได้

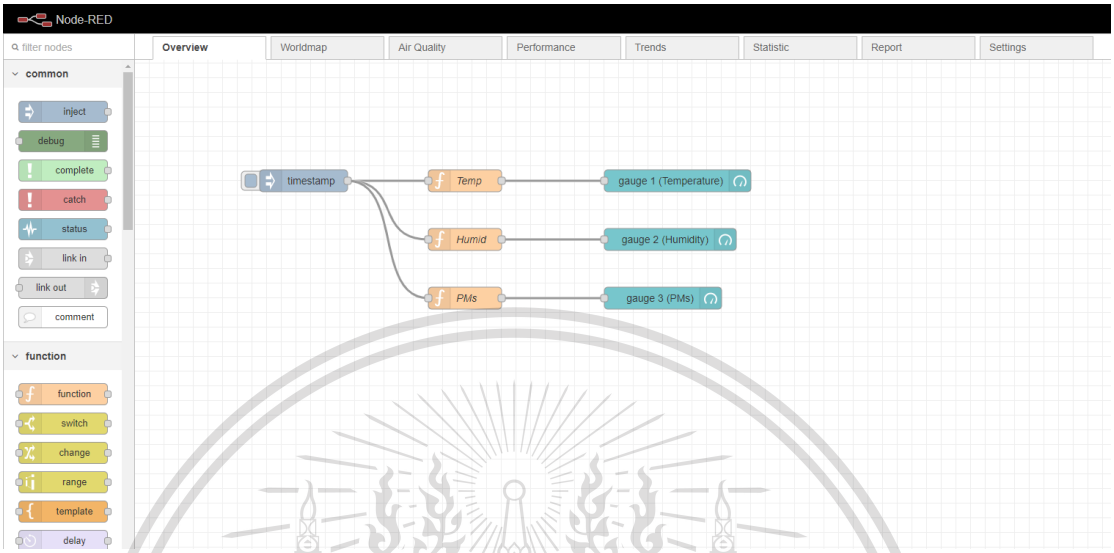
ต่อมาให้เลือก ui ที่ต้องการ เช่น ต้องการสร้างเกจแสดงผลของข้อมูล ให้เลือกใช้เกจ (ui_gauge) เมื่อได้บล็อกเกจมาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะทำการตั้งค่า Properties ต่าง ๆ ของบล็อก โดยให้เลือกกลุ่มซึ่งเป็นคอลัมน์ในหน้าแดชบอร์ดหากจัด ui หลาย ๆ ตัว และเพจของแดชบอร์ดที่ต้องการนำเกจไปแสดงผลดังรูปที่ 3.16 เมื่อทำการตั้งค่าเรียบร้อยให้กด Done เป็นการบันทึกค่า



รูปที่ 3.16 การตั้งค่า Properties ของบล็อกที่สร้างขึ้น

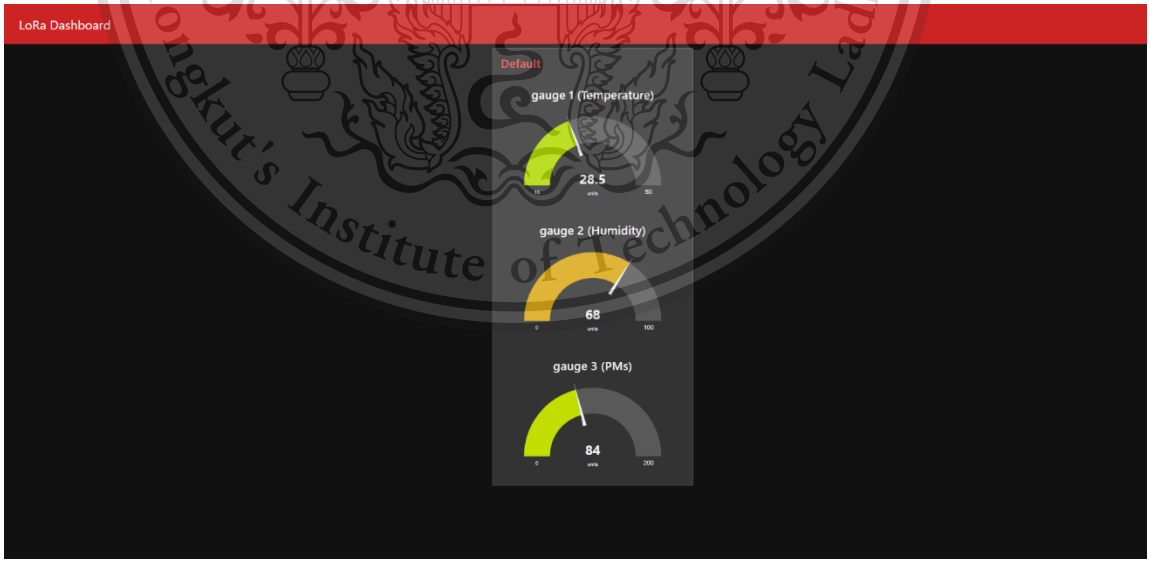
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เพิ่มบล็อก ui ตามความต้องการและตั้งชื่อตามการใช้งาน และนำตัวแปรพารามิเตอร์ต่าง ๆ เข้าไปแสดงผลในบล็อก ui หลังจากทำการตั้งค่าเสร็จสิ้นทุกบล็อก กด Deploy เพื่อทำการรันโปรแกรมที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.17 การนำค่าพารามิเตอร์ไปแสดงผลที่บล็อก ui

สามารถแสดงหน้าแดชบอร์ดที่สร้างขึ้นโดยเข้า localhost:1880/ui/ หรือกด Ctrl + Shift + D เพื่อแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 3.18



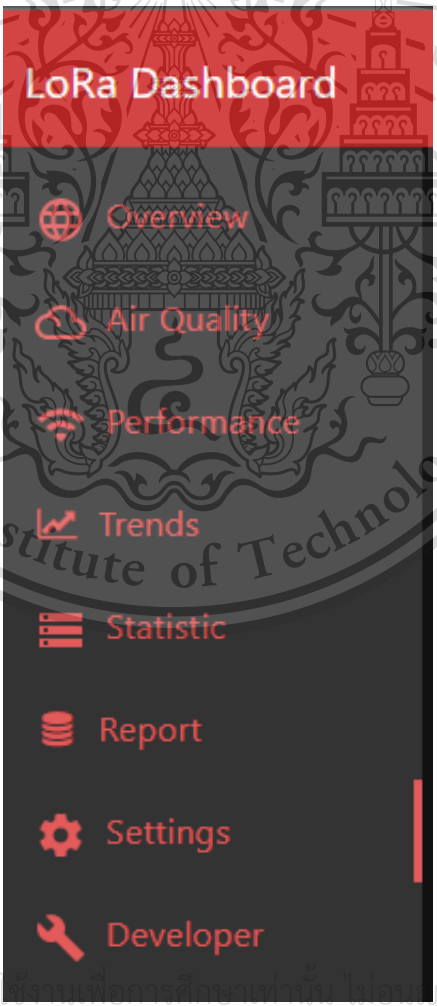
รูปที่ 3.18 หน้าแดชบอร์ดที่สร้างขึ้น

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.

ในส่วนของการแสดงผลหน้าแดชบอร์ดจะมีการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Node–RED เพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตการณ์ และไม่จำเป็นต้องไปสังเกตค่าต่าง ๆ ในหน้าของการเขียนโปรแกรมเพื่อความสะดวกของผู้ใช้งาน โดยจะมีการแบ่งหน้าจอแสดงค่าต่าง ๆ เป็น 7 ส่วนด้วยกัน คือ

- หน้า Overview แสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้น และตำแหน่งของโมดูลสเลฟในแผนที่
- หน้า Air Quality แสดงฝุ่นละอองในอากาศ $PM_{2.5}$ ที่แดชบอร์ด
- หน้า Performance แสดงประสิทธิภาพในสื่อสารและสถานะของแบตเตอรี่
- หน้า Trends แสดงกราฟแนวโน้มของข้อมูล
- หน้า Statistic แสดงข้อมูลที่ได้มีการบันทึกไว้ในแต่ละชั่วโมง
- หน้า Report สำหรับแจ้งเตือนผ่านระบบเสียงหรือ Voice Report
- หน้า Settings กำหนดค่าเป้าหมายสำหรับการแจ้งเตือนตามที่ต้องการ

และสามารถเข้าไปสังเกตข้อมูลต่าง ๆ ตามหน้าจอแสดงค่าได้ โดยการกดปุ่มตามชื่อหน้าจอต่าง ๆ ตามที่ต้องการดังรูปที่ 3.19

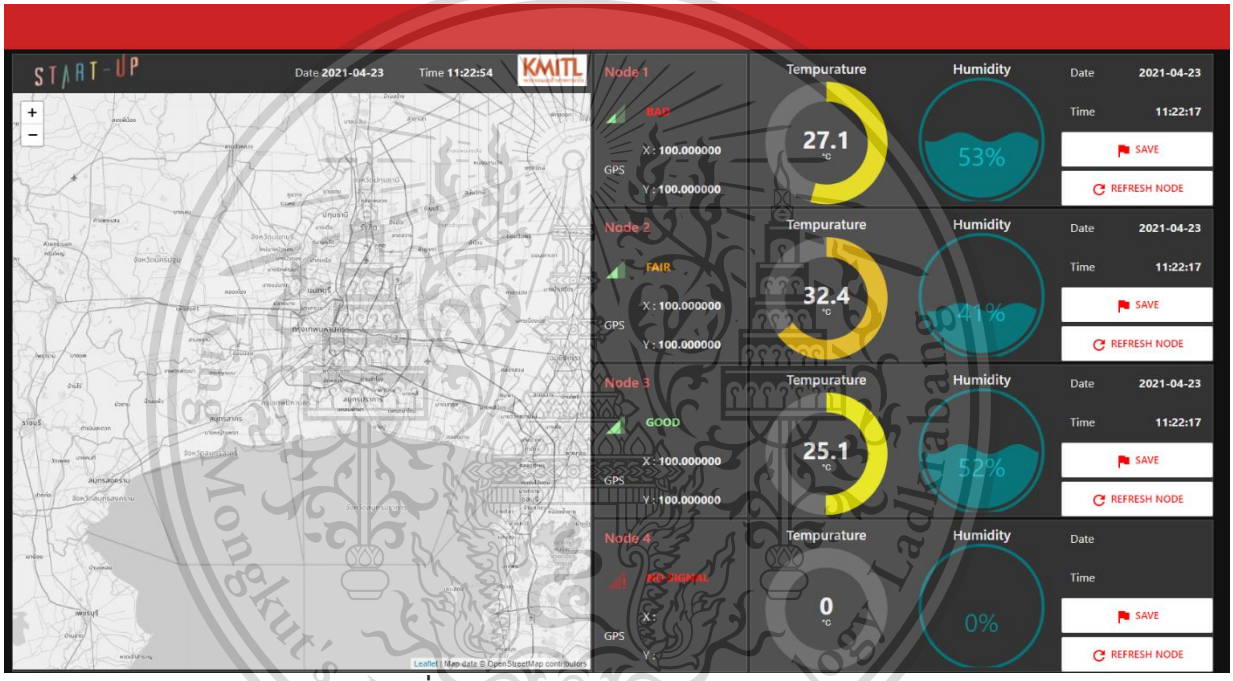


รูปที่ 3.19 หน้าทั้งหมดบนแดชบอร์ด

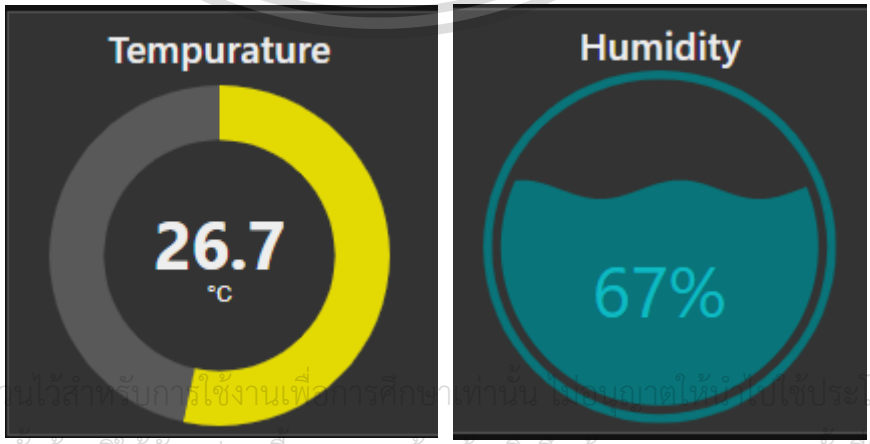
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6.1 หน้า Overview

หน้า Overview เป็นหน้าที่แสดงข้อมูลอุณหภูมิในหน่วย ºC ความชื้นในหน่วย % เวลาและวันที่ ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดของโมดูลสเลฟ สามารถแสดงตำแหน่งและข้อมูลต่าง ๆ ได้สูงสุด 4 ตำแหน่ง หรือ 4 โหนด นอกจากนั้นยังสามารถบันทึกข้อมูลที่ต้องการเอาไว้ได้อีกด้วย และยังมีการแสดงสถานะของสัญญาณอินเทอร์เน็ตหากมีสัญญาณจะมีการแสดงสถานะเป็นสีเขียว ในทางกลับกันหากไม่มีสัญญาณจะมีการแสดงสถานะเป็นสีแดงและแสดงข้อความว่าไม่มีสัญญาณหรือ No Signal และสามารถรีเฟรชโหนดได้เมื่อโหนดมีปัญหาหรือไม่อัพเดทข้อมูลใหม่ ๆ และจะมีการแสดงข้อมูลของแผนที่ ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 หน้า Overview ของแดชบอร์ด



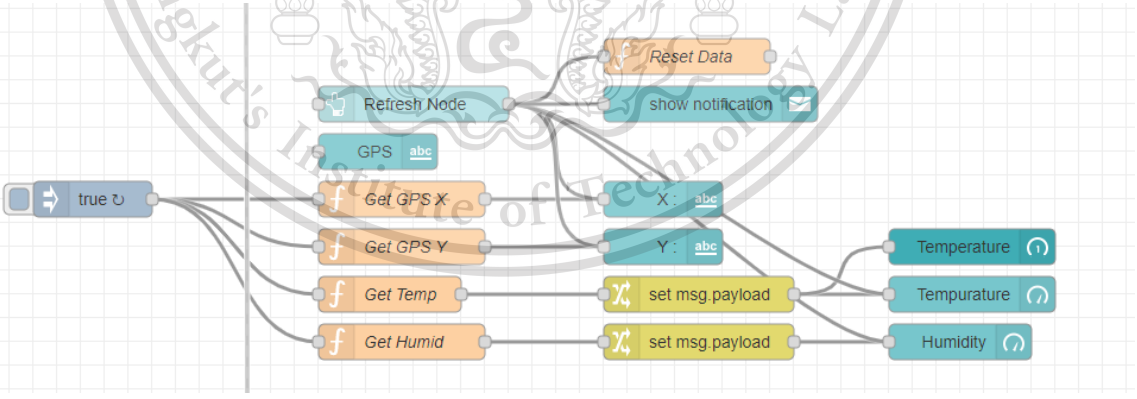
รูปที่ 3.21 เกจอุณหภูมิและความชื้น

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.

จากรูปที่ 3.21 แสดงเกจอุณหภูมิและความชื้น โดยจะมีการแสดงอุณหภูมิในหน่วย °C แสดงความชื้นในรูปของ % ซึ่งจำเป็นต้องมีฟังก์ชัน Index ข้อมูล ดังรูปที่ 3.22เนื่องจากข้อมูลที่ส่งมาด้วย ‘AT Command’ นั้นยังไม่สามารถนำมาใช้ได้ทันทีจำเป็นต้องจำแนกข้อมูลออกเป็นส่วน ๆ เช่น จำแนกข้อมูลว่ามาจากโหนดใด แบ่งส่วนที่เป็นข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ค่าจากเซนเซอร์ต่าง ๆ รวมทั้งคุณภาพของสัญญาณ LoRa เมื่อข้อมูลถูกจำแนกแล้วจะมีการนำค่าจากตัวแปรไปแสดงผลในรูปของเกจต่าง ๆ บนแดชบอร์ด โดยฟังก์ชันจะมีหน้าที่ดึงข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในตัวแปรโกลบอลส่งไปยังบล็อกที่แสดงเกจบนหน้าแดชบอร์ด ดังรูปที่ 3.23

```
var index = msg.payload.toString().indexOf('I') ;
var index2 = msg.payload.toString().indexOf('r') ;
var buf = msg.payload.toString().slice(index+3,index2-1) ;

msg.topic = "Node 1" ;
msg.payload = buf.toString() ;

global.set("RSSI1",buf)
flow.set('countrs1',0)
global.set('datatime1',2)

return msg;

```

รูปที่ 3.22 ฟังก์ชันในการจำแนกข้อมูลออกเป็นส่วน ๆ

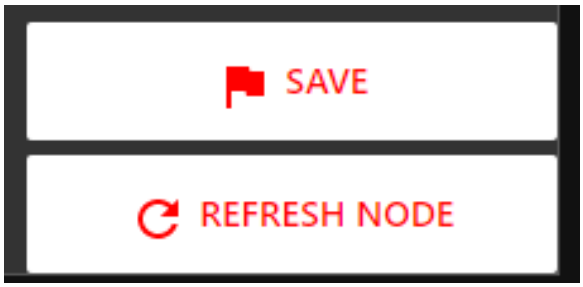


รูปที่ 3.23 การนำค่าจากตัวแปรไปแสดงผลในรูปของเกจบนแดชบอร์ด

และจะมีการแสดงปุ่มที่ใช้ในการบันทึกและรีเฟรชโหนดในขณะนั้น ซึ่งสามารถบันทึกเป็นค่าต่าง ๆ ตามเวลาที่ต้องการในโหนดนั้น ๆ เก็บไว้ในฐานข้อมูลได้ โดยปกติแล้วจะมีการเก็บข้อมูลไว้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือจำหน่ายในเชิงการค้า 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.

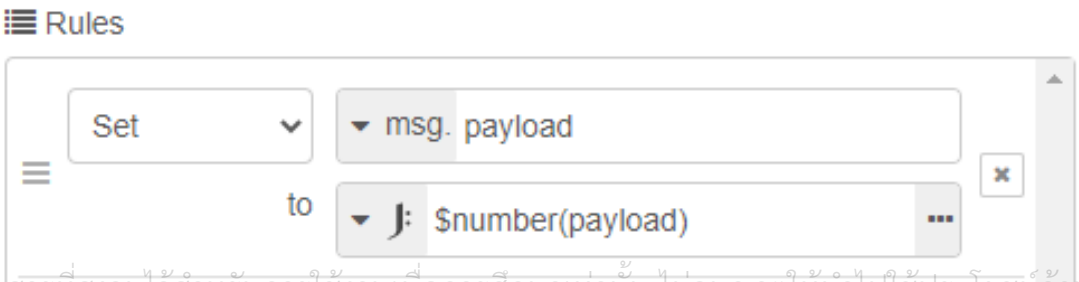
ฐานข้อมูลอัตโนมัติทุก 10 นาที แต่ถ้าหากต้องการบันทึกค่าในช่วงเวลาที่ยังไม่ครบ 10 นาที ซึ่งต้องกดบันทึกค่า ณ ขณะนั้นเอาไว้ ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ปุ่มในการบันทึกและรีเฟรชโหนดในขณะนั้น

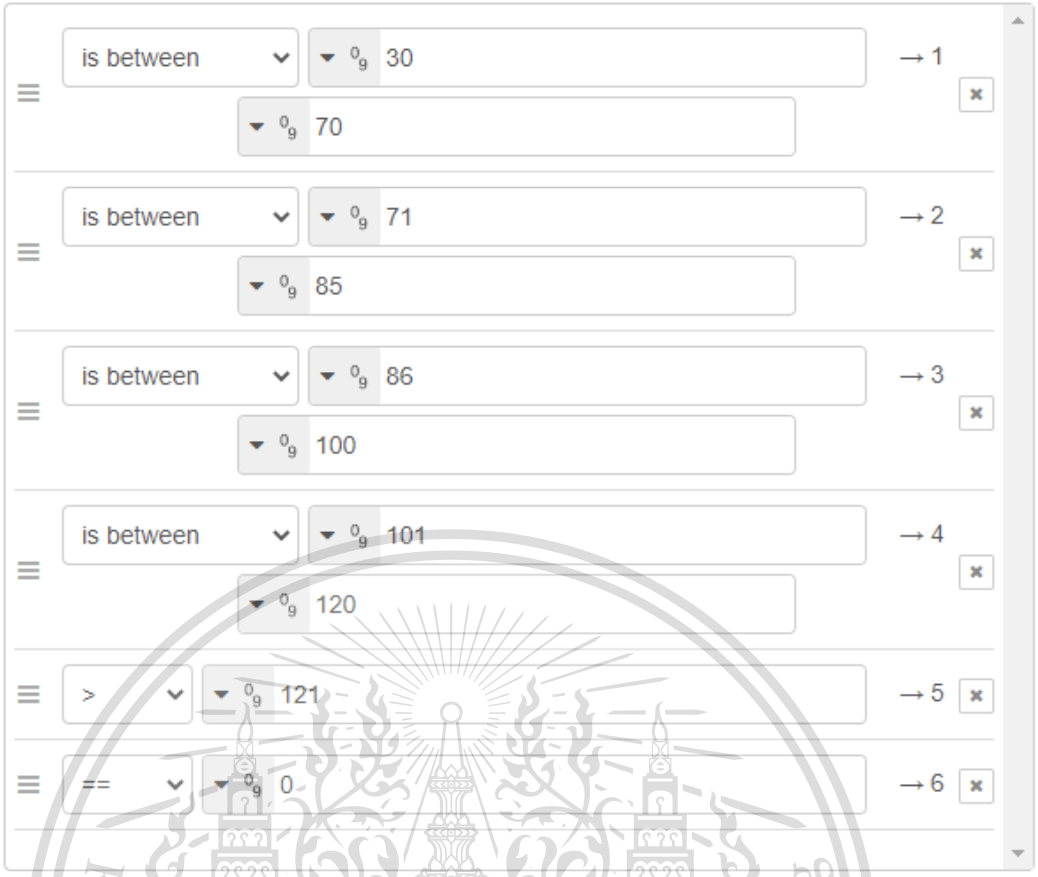
รูปที่ 3.25 คุณภาพสัญญาณ LoRa ของโหนดที่หน้า Overview

จากรูปที่ 3.25 เป็นการแสดงคุณภาพสัญญาณ LoRa ที่หน้า Overview จะมีการเขียนโปรแกรมแสดงคุณภาพสัญญาณ LoRa ซึ่งข้อมูลที่ถูกส่งมานั้นจะอยู่ในรูปของ String จำเป็นต้องเปลี่ยนชนิดของข้อมูลให้อยู่ในชนิด Number ก่อนจึงจะสามารถนำข้อมูลมาคำนวณหรือเปรียบเทียบกับค่าต่าง ๆ ได้ ดังรูปที่ 3.26 ต่อมาข้อมูลคุณภาพสัญญาณ LoRa จะถูกจำแนกออกเป็นกลุ่ม ๆ โดยฟังก์ชันบล็อก Switch โดยแบ่งเป็น 6 กลุ่ม หรือ สัญญาณ 5 ระดับ โดยหากสัญญาณคุณภาพต่ำเกิน -121 จะถือว่าสัญญาณไม่สามารถใช้ได้หรือไม่มีสัญญาณนั่นเอง ดังรูปที่ 3.27



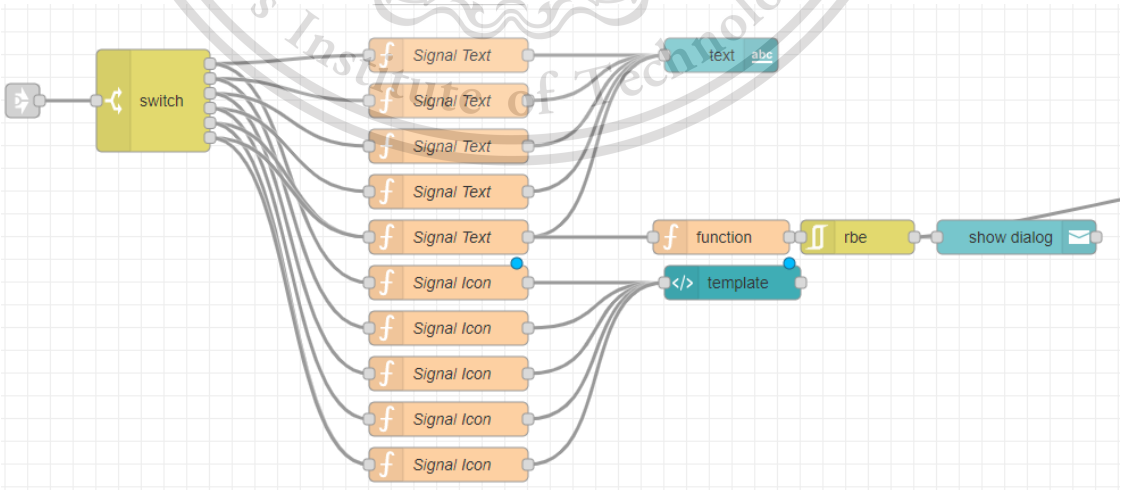
รูปที่ 3.26 การเปลี่ยนชนิดของข้อมูลจาก String เป็น Number

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.



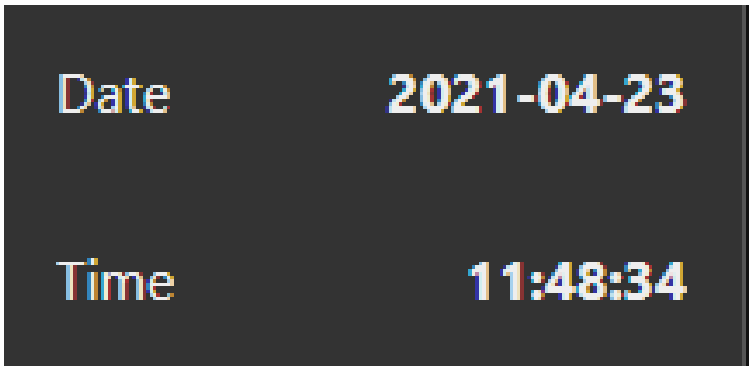
รูปที่ 3.27 การจำแนกข้อมูลคุณภาพสัญญาณ LoRa

เมื่อข้อมูลถูกแบ่งกลุ่มแล้วจะถูกส่งเข้าไปยังฟังก์ชันบล็อกเพื่อแปลงข้อมูลในรูปตัวเลขเป็นรูปภาพโดยใช้ฟังก์ชันบล็อก Template แล้วแสดงผลที่หน้าแดชบอร์ดรวมถึงการแจ้งเตือนหากโหนดใดสัญญาณขาดหาย



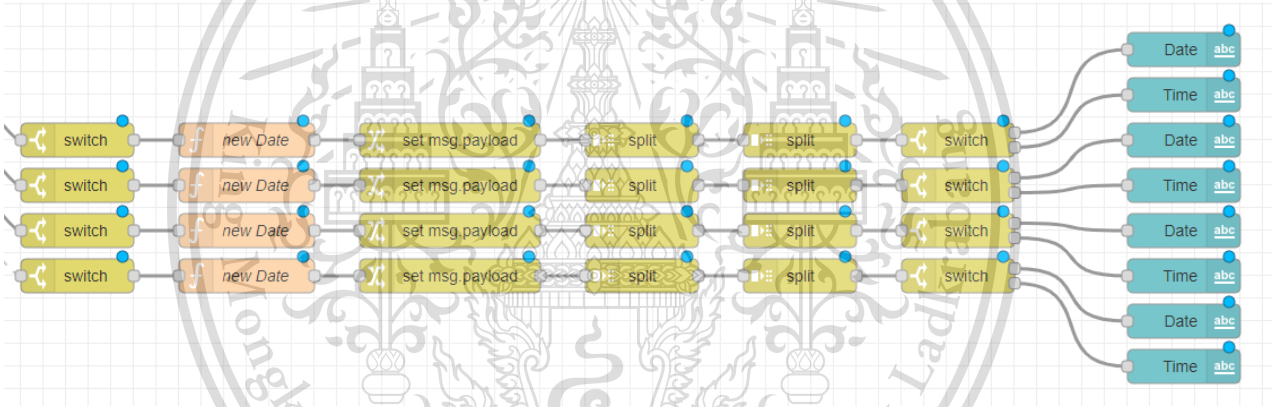
รูปที่ 3.28 การนำข้อมูลในรูปตัวเลขไปแสดงผลที่หน้าแดชบอร์ด

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 3.29 การแสดงค่าเวลาและวันที่ในหน้าแดชบอร์ด

จากรูปที่ 3.29 เป็นการแสดงเวลาและวันที่ในหน้าแดชบอร์ด ในการเขียนโปรแกรมส่วนแสดงเวลาและวันที่ เวลาที่แสดงนั้นเป็นเวลาของข้อมูลล่าสุดที่ถูกส่งมาจากโหนดนั้น ๆ โดยจะใช้ฟังก์ชัน Timestamp เข้ามาบันทึกเวลาและแยกข้อมูลออกจากกัน โดยข้อมูลวันที่และเวลาจะถูกแสดงบนบล็อก ui แยกกัน ดังรูปที่ 3.30



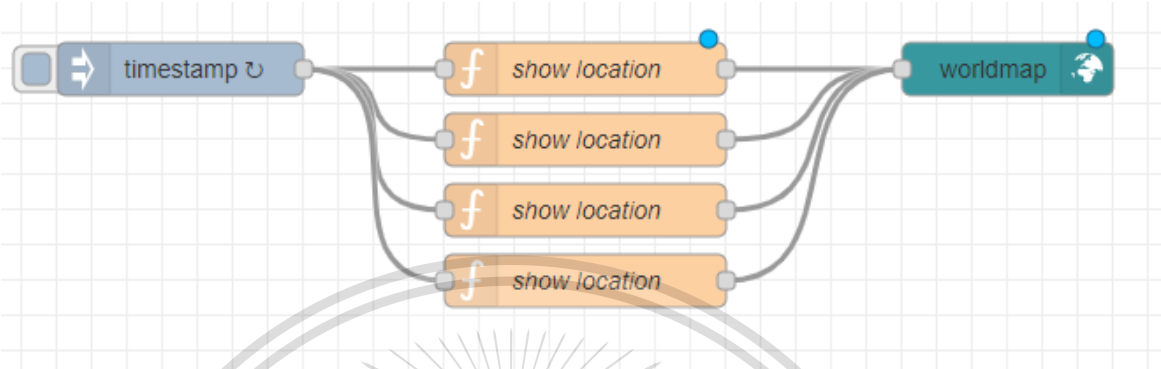
รูปที่ 3.30 การเขียนโปรแกรมแสดงเวลาและวันที่

```
var X = global.get("SN1GPS1") ;
var Y = global.get("SN1GPS2") ;

msg.payload = {
    name:"node 1",
    lat: X,
    lon: Y,
    icon:"power-on",
    iconColor:"red"
};
return msg;
```

รูปที่ 3.31 การดึงข้อมูลจากตัวแปรโกลบอล

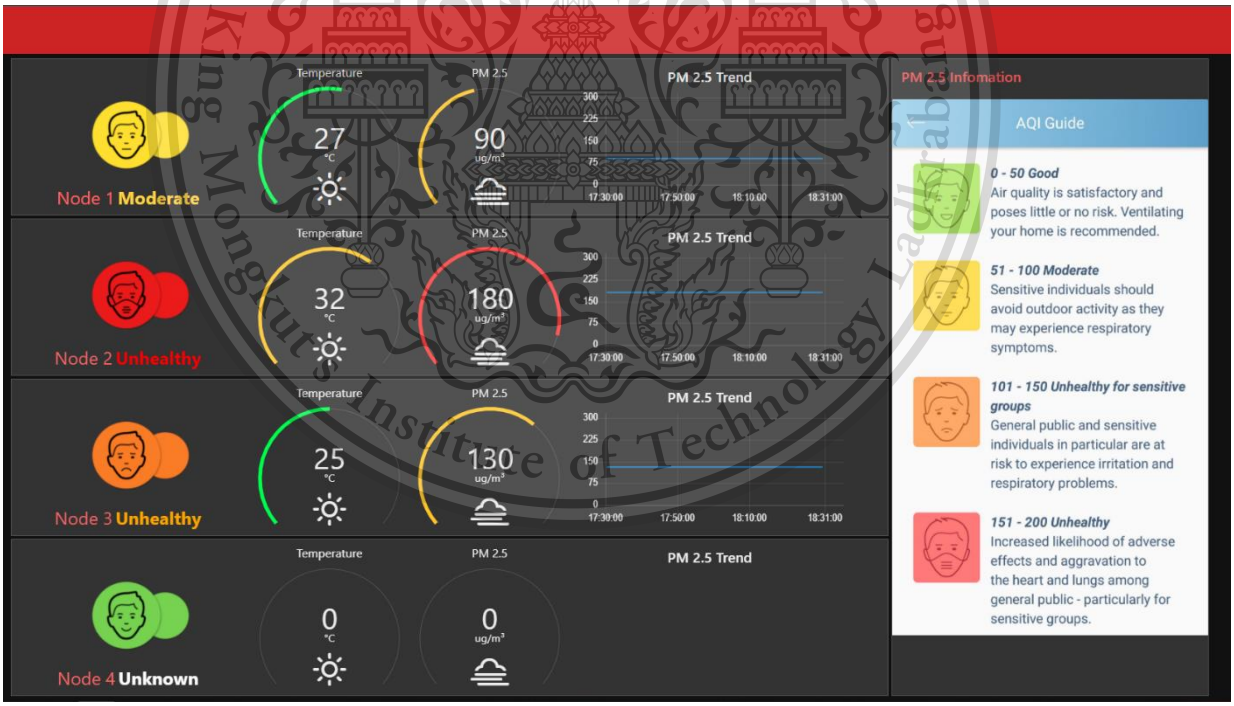
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในการเขียนโปรแกรมส่วนแสดงผลแผนที่ ฟังก์ชันนี้จะดึงข้อมูลจากตัวแปรโกลบอลที่เก็บข้อมูลไว้ก่อนหน้ามารวมเป็นเซตข้อมูลใน Payload โดยข้อมูลที่นำมารวมได้แก่ ชื่อของโหนดข้อมูล ละติจูดและลองจิจูด รูปไอคอนและสีของไอคอน เมื่อรวมข้อมูลแล้ว เซตข้อมูลจะถูกส่งไปยังฟังก์ชันบล็อกที่ใช้แสดงแผนที่ในหน้าแดชบอร์ด ดังรูปที่ 3.31 และ 3.32



รูปที่ 3.32 การเขียนโปรแกรมแสดงผลตำแหน่งบนแผนที่

3.6.2 หน้า Air Quality

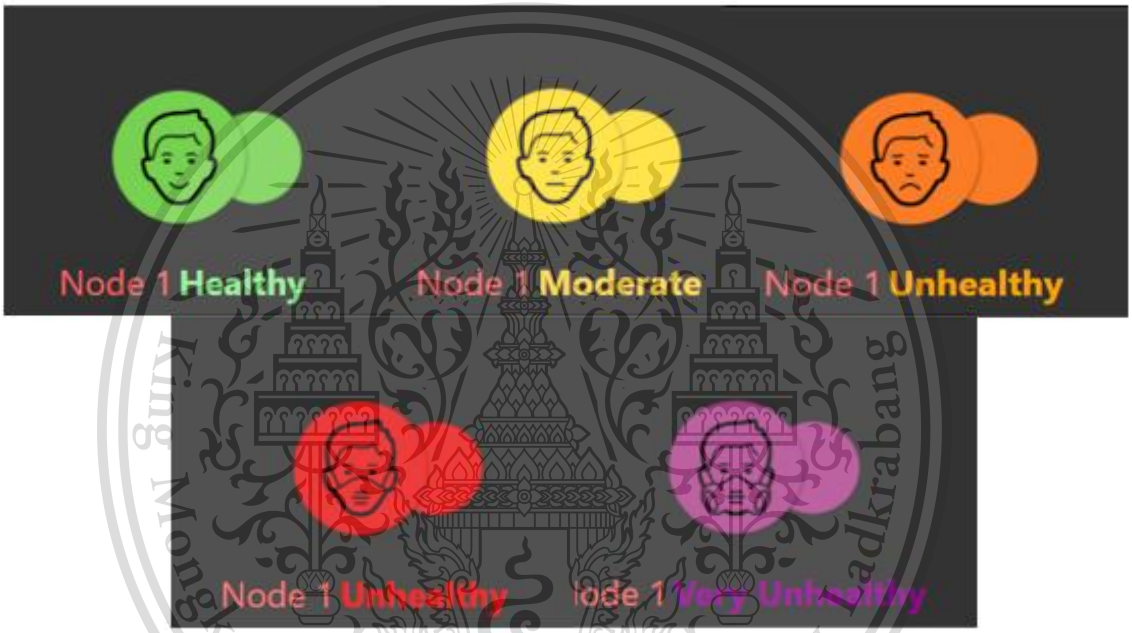


รูปที่ 3.33 หน้า Air Quality ของแดชบอร์ด

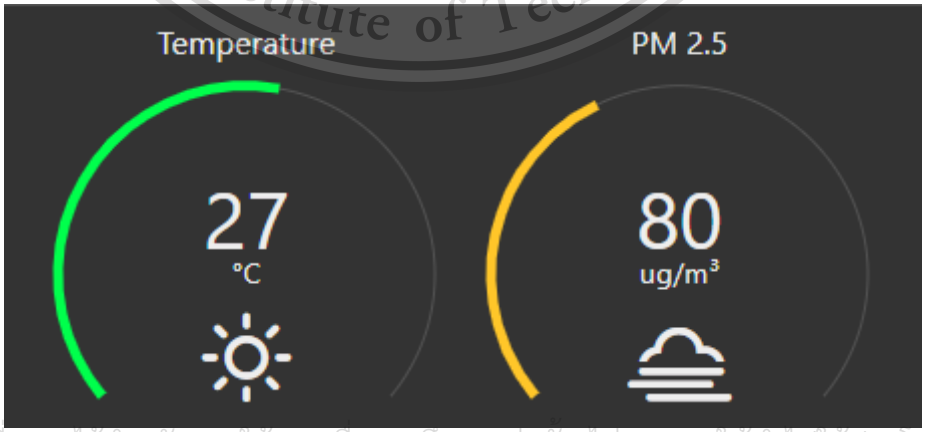
หน้า Air Quality เป็นหน้าที่แสดงค่าฝุ่นละอองในอากาศและอุณหภูมิ ซึ่งจะมีการแสดงฝุ่นละอองในอากาศในหน่วย $\mu g/m^3$ มีการแสดงอุณหภูมิและกราฟ $PM_{2.5}$ ในช่วงเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เพื่อให้สามารถตรวจเช็คได้ว่าภายใน 10 นาที ฝุ่นละอองในอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และแสดงไอคอนระบุถึงคุณภาพอากาศในขณะนั้นเมื่อเทียบกับเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศ เพื่อให้สามารถตรวจเช็คได้ว่าฝุ่นละอองในอากาศในปัจจุบันมีผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่ หากฝุ่นละอองในอากาศอยู่ในค่าต่ำ ไอคอนจะมีการแสดงเป็นสีเขียวหรือหมายความว่าคุณภาพอากาศดี หากฝุ่นละอองในอากาศอยู่ในค่าปานกลาง ไอคอนจะมีการแสดงเป็นสีเหลือง หากฝุ่นละอองในอากาศเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ จะมีการแสดงไอคอนทางด้านซ้ายมือเป็นสีส้มหรือสีแดง และหากฝุ่นละอองในอากาศมีผลกระทบต่อสุขภาพขั้นรุนแรง จะมีการแสดงไอคอนทางด้านซ้ายมือเป็นสีม่วง ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 ไอคอนการแสดงเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศ



รูปที่ 3.35 เกจแสดงอุณหภูมิและ $PM_{2.5}$

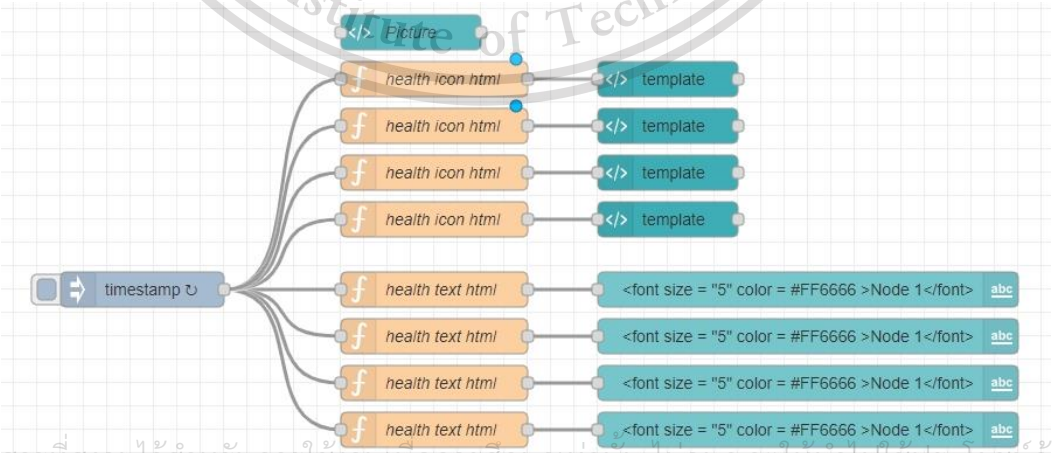
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 3.34 และ 3.35 จะมีการเขียนโปรแกรมที่ใช้แสดงข้อความและรูปภาพของ $PM_{2.5}$ โดยนำข้อมูลที่ถูกเก็บในตัวแปรโกลบอลมาแบ่งระดับออกเป็น 5 ระดับ โดยแต่ละระดับจะเปลี่ยนจากค่าตัวเลขแสดงเป็นคำแทนโดย

- ค่า $PM_{2.5}$ ที่มากกว่า 200 µg/m^3 จะแสดงคำว่า Very Unhealthy เป็นสีม่วง
- ค่า $PM_{2.5}$ ระหว่าง 150-199 µg/m^3 จะแสดงคำว่า Unhealthy เป็นสีแดง
- ค่า $PM_{2.5}$ ระหว่าง 100-149 µg/m^3 จะแสดงคำว่า Unhealthy เป็นสีส้ม
- ค่า $PM_{2.5}$ ระหว่าง 50-99 µg/m^3 จะแสดงคำว่า Moderate เป็นสีเหลือง
- ค่า $PM_{2.5}$ ระหว่าง 0-49 µg/m^3 จะแสดงคำว่า Healthy เป็นสีเขียวอ่อน

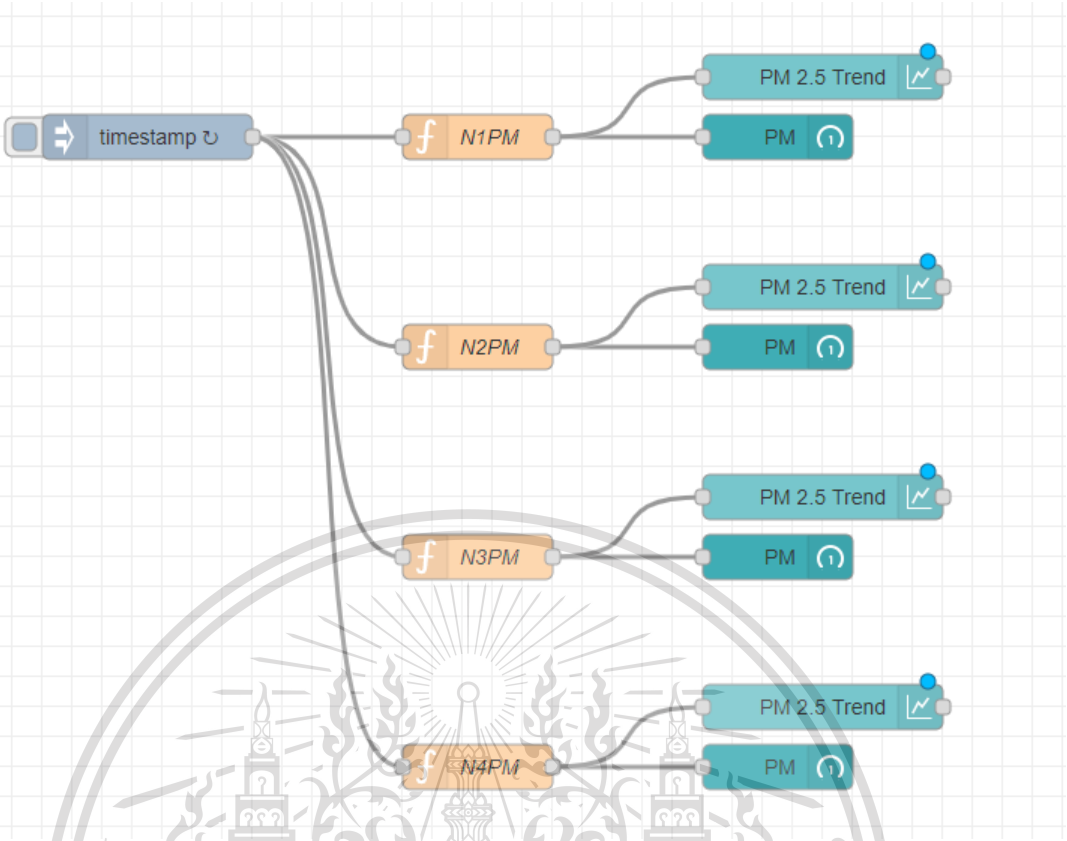
```
var x = global.get('N1PM')
var a
if (x === undefined) {
    a = "<font size = '5' color = White > Unknown </font>"
}
else if (x >= 200) {
    a = "<font size = '5' color = #990099 > Very Unhealthy </font>"
}
else if (x >= 150) {
    a = "<font size = '5' color = red > Unhealthy </font>"
}
else if (x >= 100) {
    a = "<font size = '5' color = orange > Unhealthy </font>"
}
else if (x >= 50){
    a = "<font size = '5' color = #FFD443 > Moderate </font>"
}
else {
    a = "<font size = '5' color = lightgreen > Healthy </font>"
}
msg.payload = a
return msg;
```

รูปที่ 3.36 การนำข้อมูลในตัวแปรโกลบอลมาแบ่งระดับ



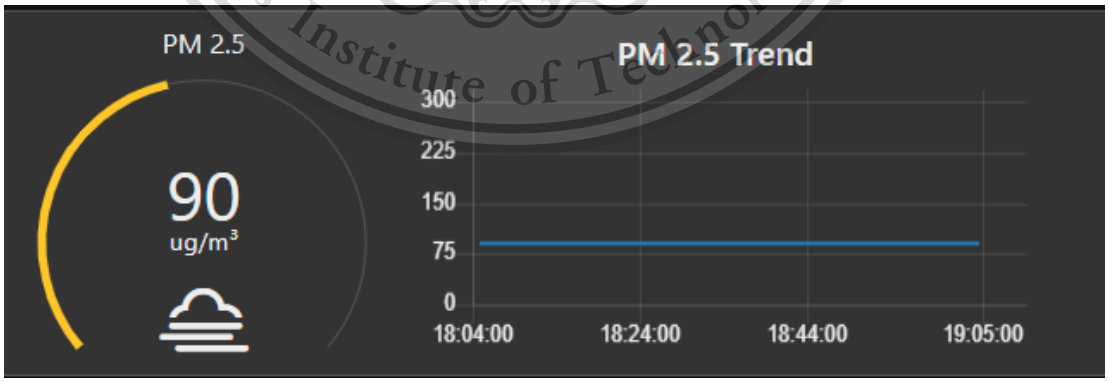
รูปที่ 3.37 การเขียนโปรแกรมแสดงไอคอนเพื่อบอกระดับฝุ่นละอองในอากาศ

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 3.38 การแสดงเกจและกราฟของ $PM_{2.5}$ ที่แดชบอร์ด

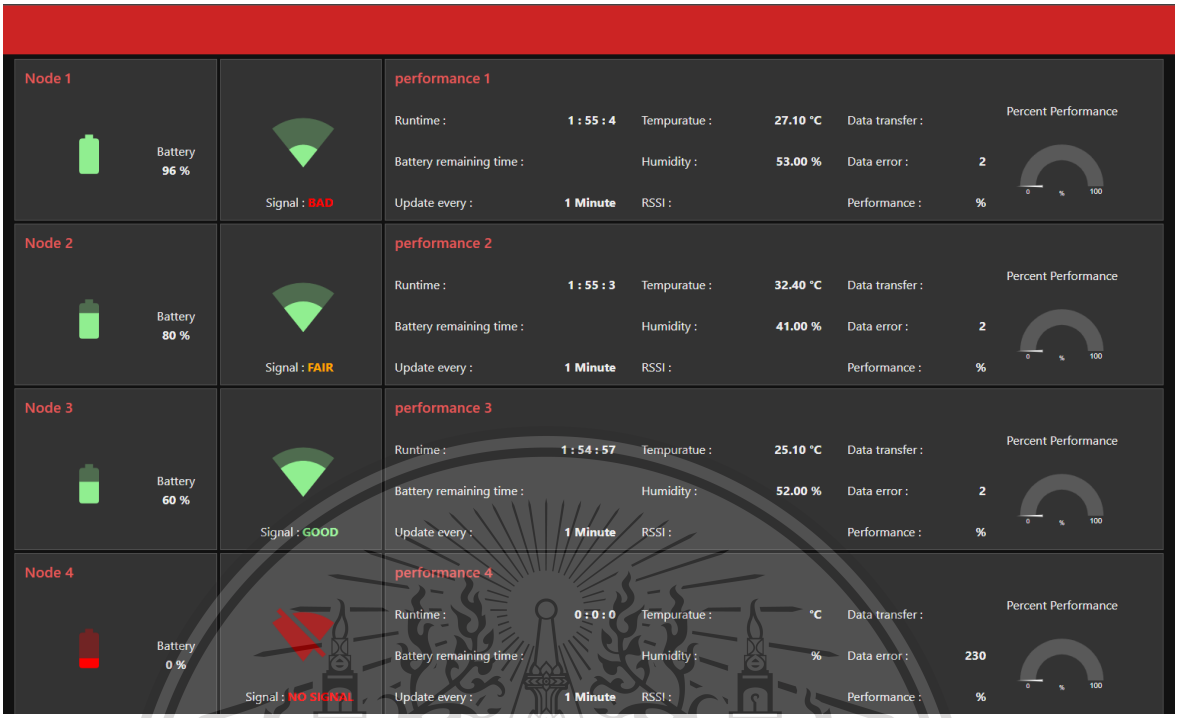
จากรูปที่ 3.38 เป็นการแสดงเกจและกราฟของ $PM_{2.5}$ ในการเขียนโปรแกรมที่ใช้แสดงค่าข้อมูลของ $PM_{2.5}$ แสดงในรูปแบบของเกจและกราฟ โดยจะใช้ฟังก์ชันบล็อก ui ในการรับข้อมูลจากฟังก์ชันและนำข้อมูลไปแสดงบนหน้าแดชบอร์ด



รูปที่ 3.39 การเขียนโปรแกรมแสดงค่าข้อมูลของ $PM_{2.5}$ ในรูปแบบของเกจและกราฟ

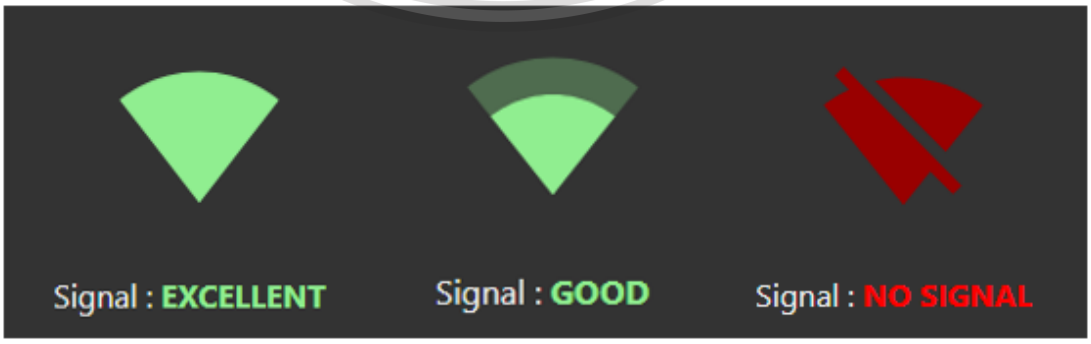
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6.3 หน้า Performance



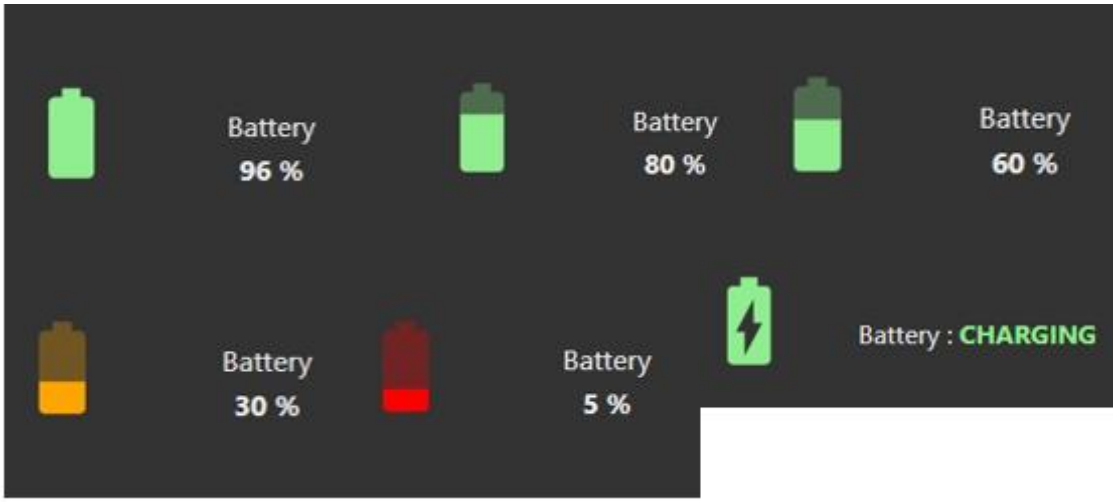
รูปที่ 3.40 หน้า Performance ของแดชบอร์ด

หน้า Performance เป็นหน้าที่แสดงประสิทธิภาพในการรับ-ส่งข้อมูล สถานะของแบตเตอรี่ สถานะของสัญญาณ LoRa ข้อมูลการเปิดใช้งานอุปกรณ์ว่ามีการทำงานมาแล้วกี่ชั่วโมง แสดงข้อมูลอุณหภูมิในหน่วย °C ข้อมูลค่าความชื้นในหน่วย % และจะมีการแสดงค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) ค่าข้อมูลการตอบกลับ (Data Transfer) และค่าในการที่ไม่ได้ข้อมูลตอบกลับ (Data Error) นอกจากนั้นยังมีการแสดงประสิทธิภาพในการรับ-ส่งข้อมูลในหน่วย % โดยจะมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0 % และค่าสูงสุดอยู่ที่ 100 %



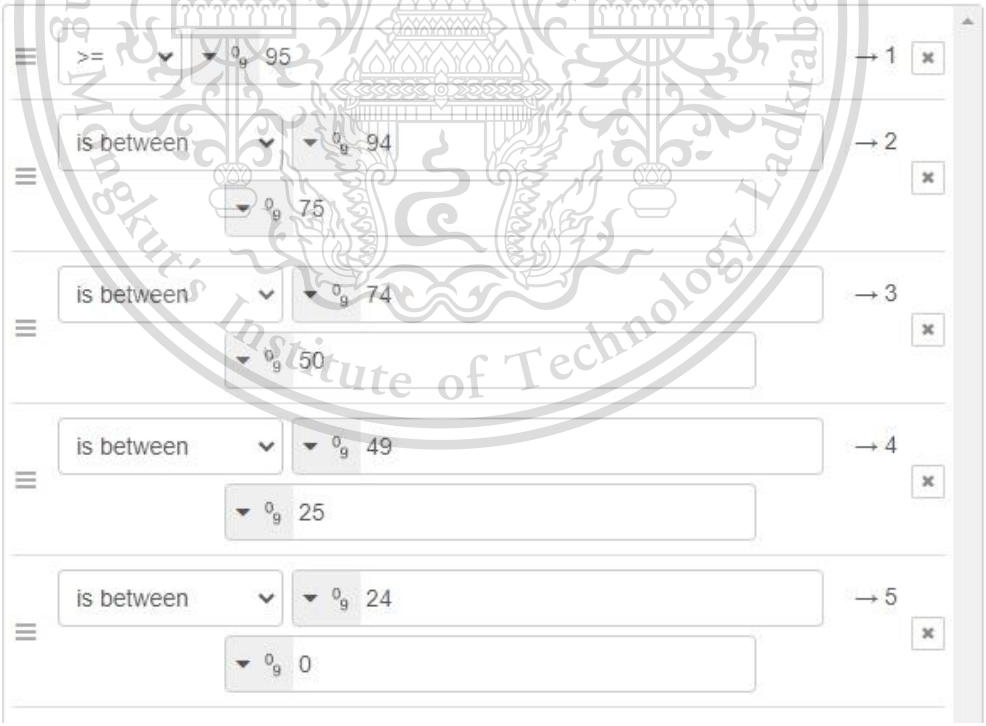
รูปที่ 3.41 คุณภาพสัญญาณ LoRa ที่หน้า Performance

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.



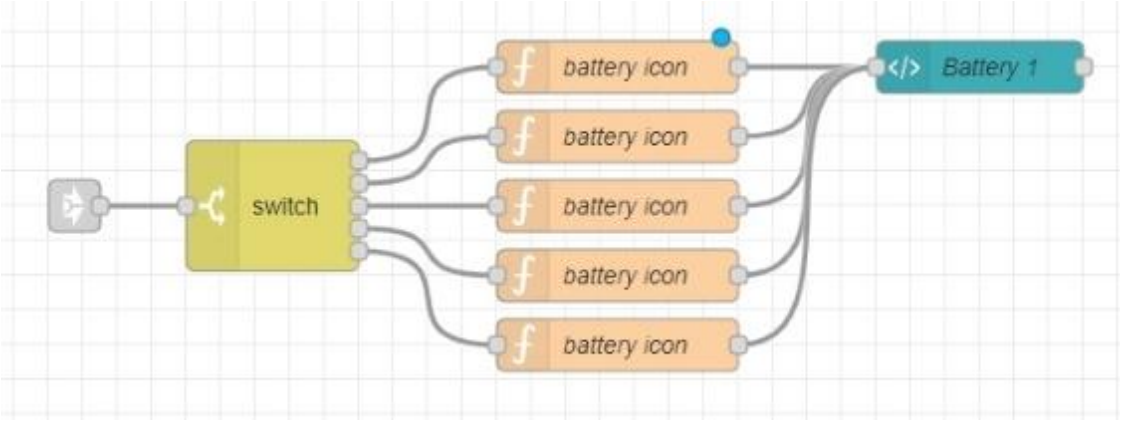
รูปที่ 3.42 การแสดงสถานะของแบตเตอรี่ที่หน้า Performance

จากรูปที่ 3.42 เป็นแสดงสถานะของแบตเตอรี่ที่หน้า Performance ในการเขียนโปรแกรมการแสดงผลระดับและไอคอนของแบตเตอรี่ จะมีการตั้งค่าเพื่อกำหนดระดับของแบตเตอรี่ หากแบตเตอรี่มีค่าอยู่ในช่วงที่มีการตั้งค่าเอาไว้ จะมีการนำไอคอนสถานะของแบตเตอรี่แสดงไปแสดงที่หน้าแดชบอร์ด

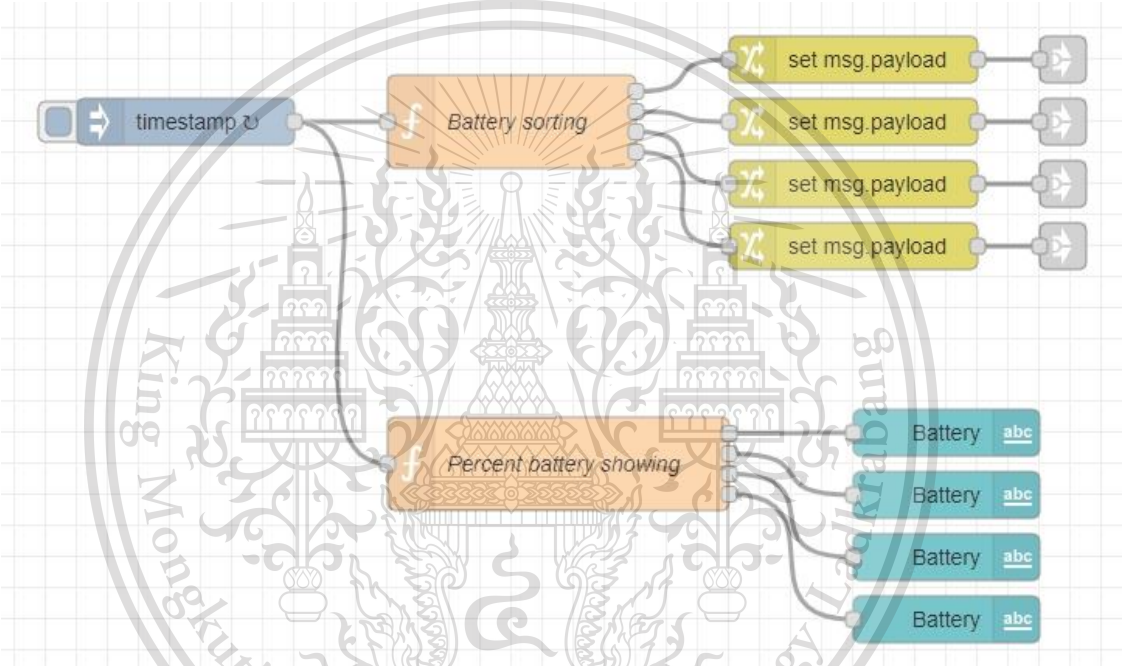


รูปที่ 3.43 การกำหนดระดับของแบตเตอรี่

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 3.44 การเขียนโปรแกรมแสดงไอคอนบอกระดับของแบตเตอรี่

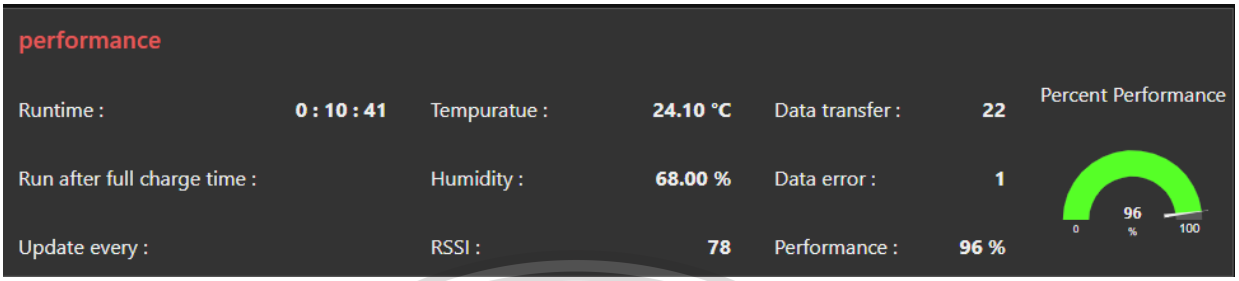


รูปที่ 3.45 การเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงระดับเปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่

จากรูปที่ 3.44 เป็นการเขียนโปรแกรมแสดงไอคอนบอกระดับของแบตเตอรี่ โดยจะนำข้อมูลจากตัวแปรมาแยกระดับด้วยฟังก์ชันบล็อก Switch หลังจากนั้นข้อมูลที่แบ่งระดับแล้วจะถูกส่งต่อไปยังฟังก์ชันบล็อกเพื่อเปลี่ยนข้อมูลตัวเลขเป็นรูปภาพ โดยจะแสดงบนบล็อก Template ui โดยใช้รูปไอคอนและสีในการแสดง ส่วนรูปที่ 3.45 เป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงระดับเปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่ สีของแบตเตอรี่ถ้าอยู่ในช่วง 100-50 % จะแสดงเป็นสีเขียวอ่อน และระดับของแบตเตอรี่ในรูปไอคอนจะปรับเปลี่ยนตามระดับแบตเตอรี่ หากแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำกว่า 50 % สีของแบตเตอรี่จะเป็นสีเหลือง และหากแบตเตอรี่ต่ำกว่า 25 % สีของแบตเตอรี่จะเป็นสีแดง

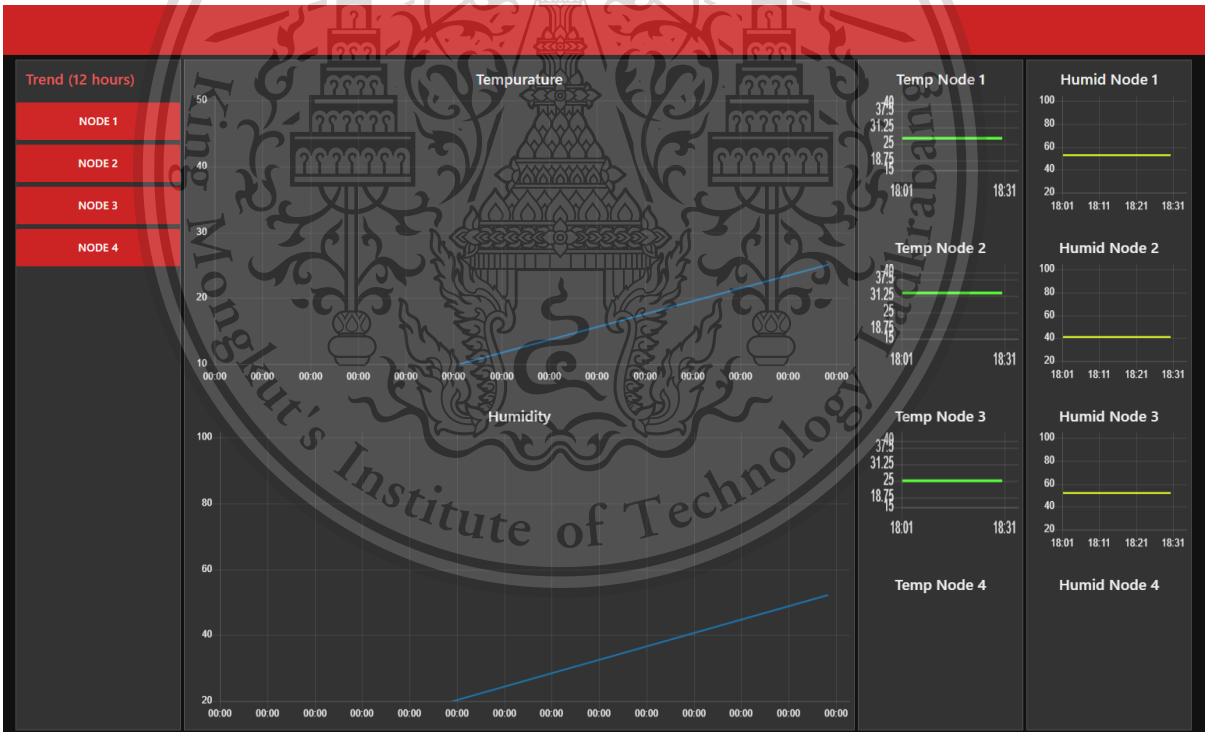
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และมีการแสดงค่า Runtime อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความแรงของสัญญาณ ค่าข้อมูลการตอบกลับ ค่าในการที่ไม่ได้ข้อมูลตอบกลับ และประสิทธิภาพในการทำงาน ในการเขียนโปรแกรมจะมีความคล้ายคลึงกับการแสดงเกจอุณหภูมิและความชื้น เมื่อจำแนกข้อมูลแล้วจะมีการนำค่าจากตัวแปรไปแสดงผลในรูปของ Text ต่าง ๆ บนแดชบอร์ดแทน ดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 การแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่แดชบอร์ด

3.6.4 หน้า Trends

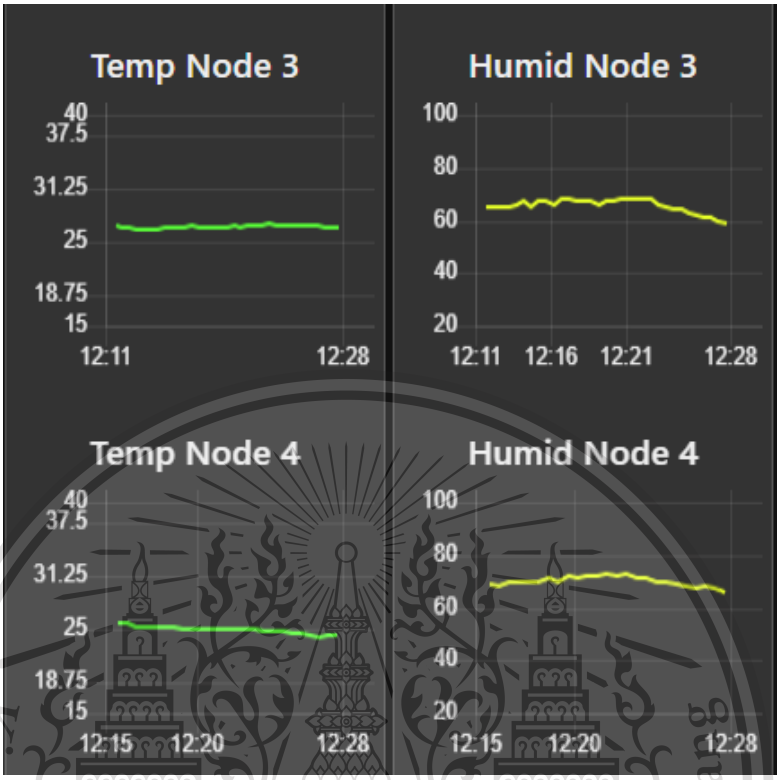


รูปที่ 3.47 หน้า Trends ของแดชบอร์ด

หน้า Trends เป็นหน้าที่แสดงกราฟของอุณหภูมิและความชื้นในแต่ละโหนด โดยค่าอุณหภูมิและความชื้นจะมีการแสดงในแนวแกนตั้งของกราฟ ส่วนแกนนอนจะแสดงเวลาสูงสุดที่

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.

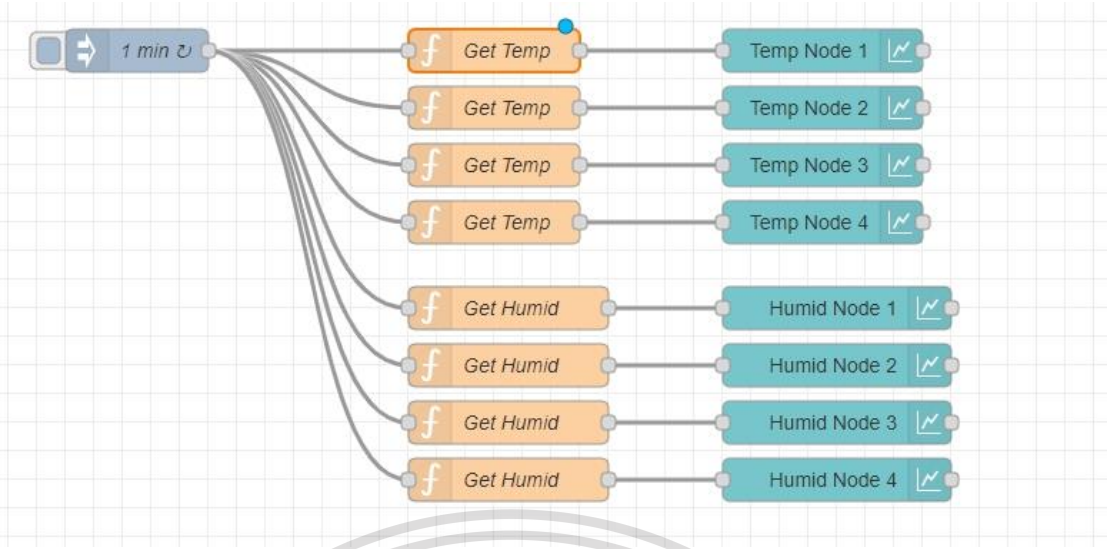
สามารถแสดงได้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และยังแสดงกราฟของโหนดอื่น ๆ โดยจะมีการบันทึกค่าเพื่อนำมาเขียนกราฟทุก ๆ 30 นาที ดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 กราฟค่าอุณหภูมิและความชื้นของโหนดแอดเดรส ‘03’ และ ‘04’

ในส่วนของโปรแกรมแสดงกราฟ หลังจากดึงข้อมูลมาจากตัวแปรแล้วจะนำข้อมูลที่ดึงมาเก็บในรูปของอาร์เรย์ (Array) ก่อนจะนำไปแสดงที่กราฟ โดยอาร์เรย์ที่สร้างไว้สามารถเก็บได้ 24 ค่า วิธีการนี้จะทำให้หน้าแดชบอร์ดมีกราฟอุณหภูมิและความชื้นแบบระยะยาวแค่กราฟเดียว แต่สามารถกดปุ่มแต่ละโหนดและนำข้อมูลของแต่ละโหนดที่เก็บไว้ในอาร์เรย์มาแสดงได้โดยไม่นำข้อมูลเก็บไว้ในอาร์เรย์ก่อน หากผู้ใช้งานปิดหน้าแดชบอร์ดและเปิดขึ้นใหม่ กราฟที่แสดงอยู่จะหายไป แต่หากเป็นข้อมูลที่อาร์เรย์นำมาแสดงจะยังคงอยู่ดังเดิม

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.



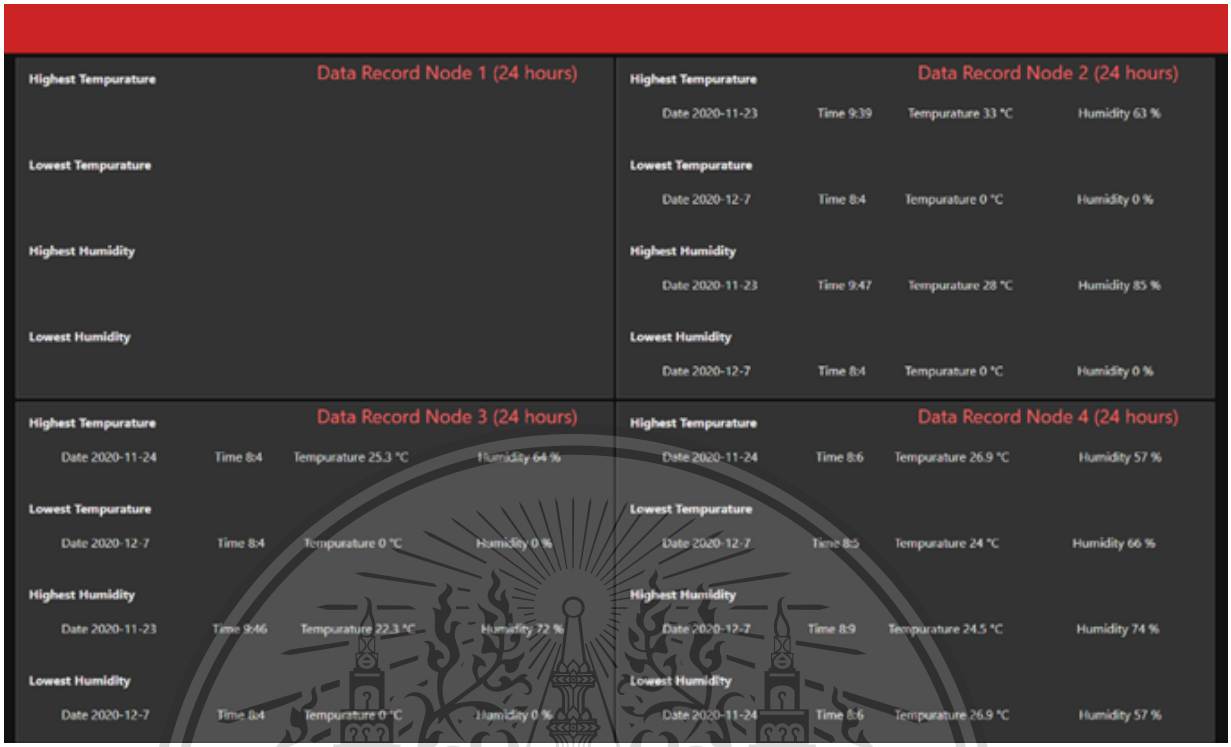
รูปที่ 3.49 การเขียนโปรแกรมในการแสดงกราฟที่แดชบอร์ด

การทำงานของปุ่มกดจะทำงานหลังจากถูกกดจะส่งข้อมูลเข้าไปที่ฟังก์ชัน โดยฟังก์ชันจะนำข้อมูลมาทำงานเพื่อแยกว่าปุ่มไหนถูกกด หลังจากนั้นจะนำข้อมูลอาร์เรย์ของโหนดนั้น ๆ มาแสดงขึ้นบนกราฟที่หน้าแดชบอร์ด ดังรูปที่ 3.50

รูปที่ 3.50 การนำข้อมูลอาร์เรย์ของโหนดมาแสดงบนกราฟ

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.

3.6.5 หน้า Statistic



รูปที่ 3.51 หน้า Statistic ของแดชบอร์ด

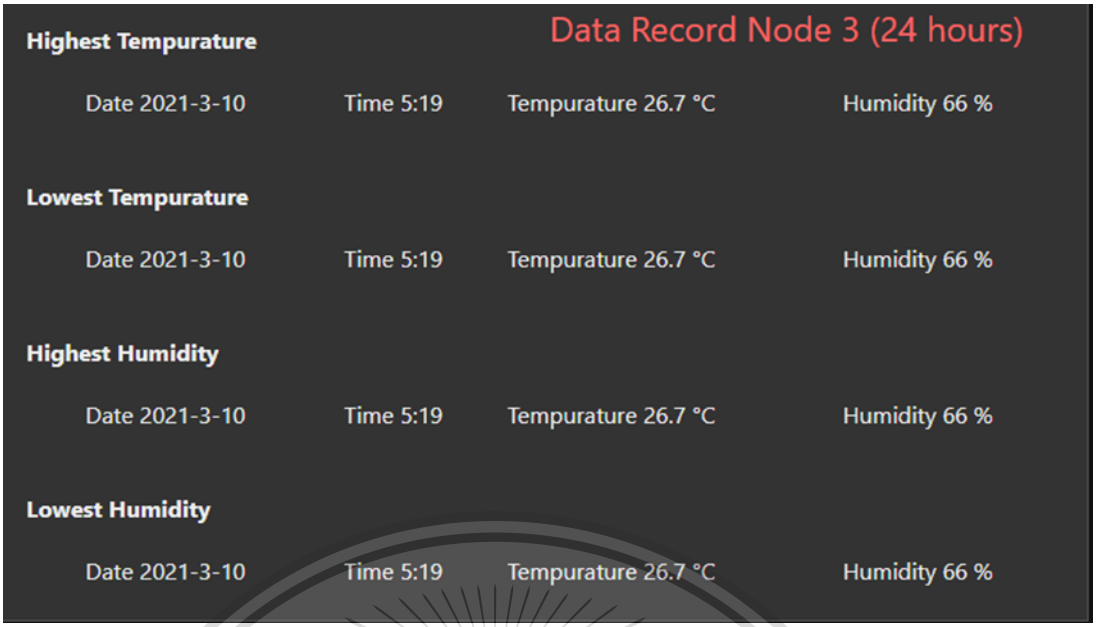
หน้า Statistic เป็นหน้าที่แสดงข้อมูลสถิติ ค่าของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสูงสุด และความชื้นต่ำสุดที่บันทึกไว้ใน 24 ชั่วโมงในแต่ละโหนด นอกจากนั้นยังสามารถแสดงเวลา ค่าของความชื้นและอุณหภูมิที่บันทึกไว้ในขณะนั้น หากมีโหนดที่ไม่มีสัญญาณ จะไม่มีการแสดงค่าข้อมูลในโหนดนั้น ในส่วนของการเขียนโปรแกรมแสดงผลข้อมูลสถิติ ข้อมูลสถิติที่ถูกนำมาแสดงจะถูกดึงมาจากฐานข้อมูล โดยใช้ภาษา SQL เข้ามาทำงานร่วม โดยจะใช้คำสั่ง SELECT ในการดึงข้อมูลในฐานข้อมูล หากต้องการเรียงจากมากไปหาน้อยจะใช้คำสั่ง DESC ส่วนน้อยไปมากจะใช้คำสั่ง ASC และจะใส่ LIMIT 1 เพื่อที่จะแสดงข้อมูลเพียงค่าเดียว โดยจะเป็นค่ามากที่สุด หรือน้อยที่สุดตามคำสั่งที่ใช้ ดังรูปที่ 3.52

```
1  msg.topic = "SELECT * FROM DATAONE24 ORDER BY TEMP DESC LIMIT 1"
2  return msg;
```

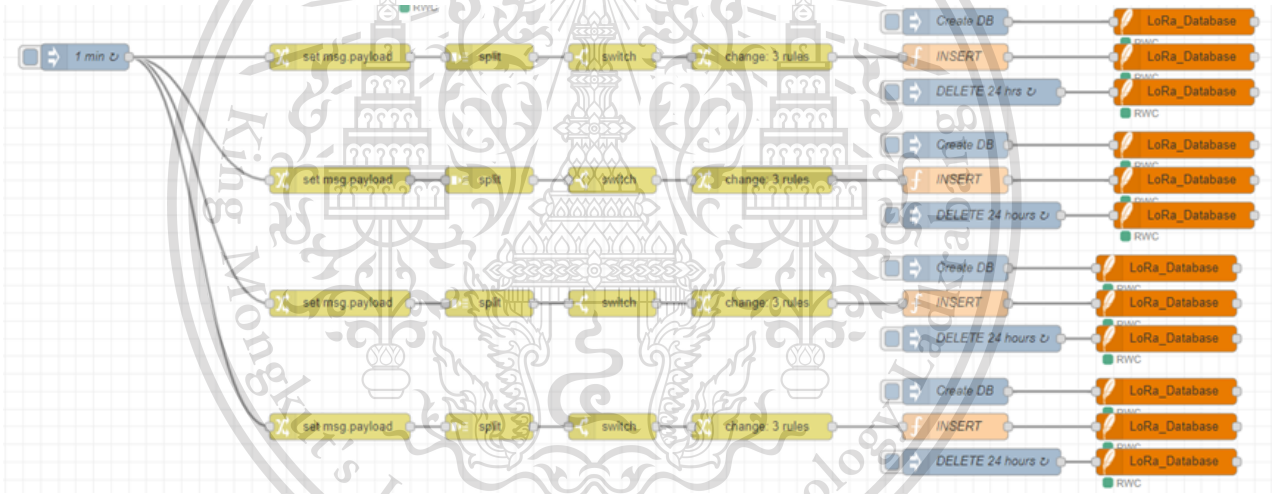
```
1  msg.topic = "SELECT * FROM DATAONE24 ORDER BY TEMP ASC LIMIT 1"
2  return msg;
```

รูปที่ 3.52 การใช้คำสั่ง SELECT ในการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล

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 3.53 ข้อมูลสถิติของโหนดแอดเดรส ‘03’

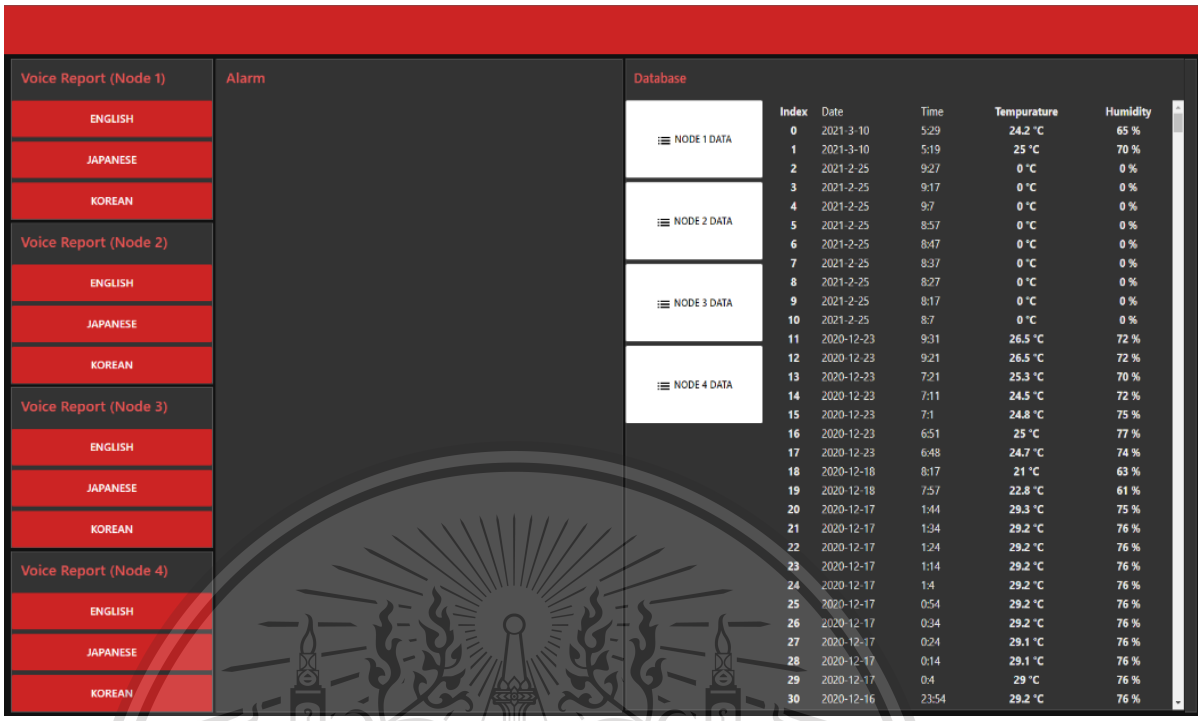


รูปที่ 3.54 การตั้งค่าเวลาและวันที่เพื่อนำไปแทรกเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล

จากรูปที่ 3.54 คือการตั้งค่าเวลาและวันที่เพื่อนำไปแทรกเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล และจะมีการตั้งค่าให้ลบข้อมูลในฐานข้อมูลที่มีการบันทึกไว้นานเกินกว่า 24 ชั่วโมง ซึ่งจะมีการใช้คำสั่งภาษา SQL ในการลบข้อมูลออกจากฐานข้อมูล และจะมีการตั้งค่าให้มีการลบข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมงเพื่อให้มีการเก็บข้อมูลไว้ได้สูงสุด 24 ชั่วโมงตลอดเวลา นอกจากนั้นยังมีคำสั่งภาษา SQL ที่ใช้ในการสร้างระบบฐานข้อมูลอีกด้วย

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.

3.6.6 หน้า Report



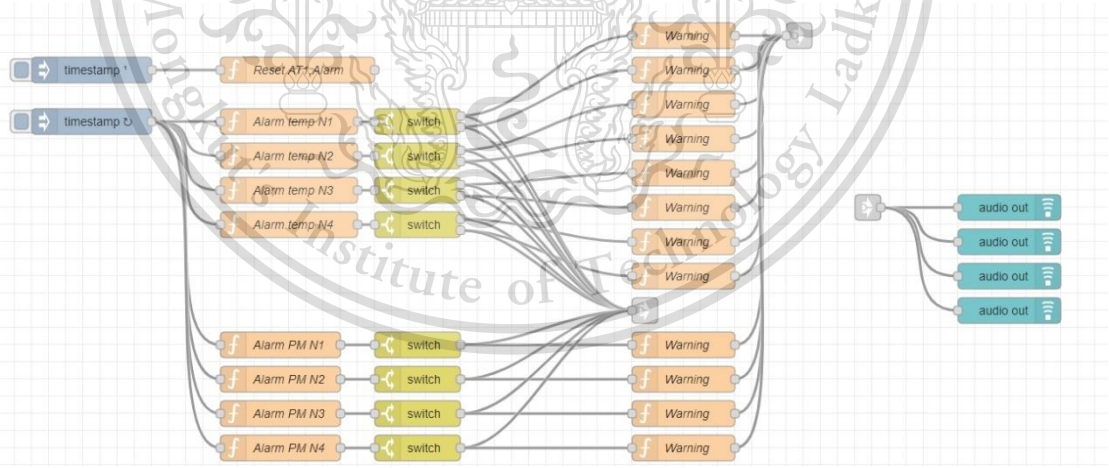
รูปที่ 3.55 หน้า Report ของแดชบอร์ด

หน้า Report เป็นหน้าที่จะมีการแสดงข้อมูลการแจ้งเตือนหากอุณหภูมิหรือความชื้นสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าที่ต้องการให้มีการแจ้งเตือนได้ในหน้า Settings ที่จะมีการกล่าวถึงในส่วนต่อไป โดยจะมีการบันทึกข้อมูลการแจ้งเตือนใหม่ล่าสุดอยู่ที่ 10 ครั้ง ซึ่งจะแสดงข้อมูลเวลาและวันที่ในแต่ละโหนดที่อุณหภูมิหรือความชื้นสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ และจะมีการแจ้งเตือนด้วยเสียงหรือ Voice Report นอกจากนั้นหน้านี้จะมีการแสดงฐานข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลเวลาและวันที่ อุณหภูมิ ความชื้นทั้งหมดในแต่ละโหนด ซึ่งจะมีการใช้งานภาษา SQL ในส่วนของระบบฐานข้อมูล และสามารถเลือกแสดงข้อมูลในแต่ละโหนดได้

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.

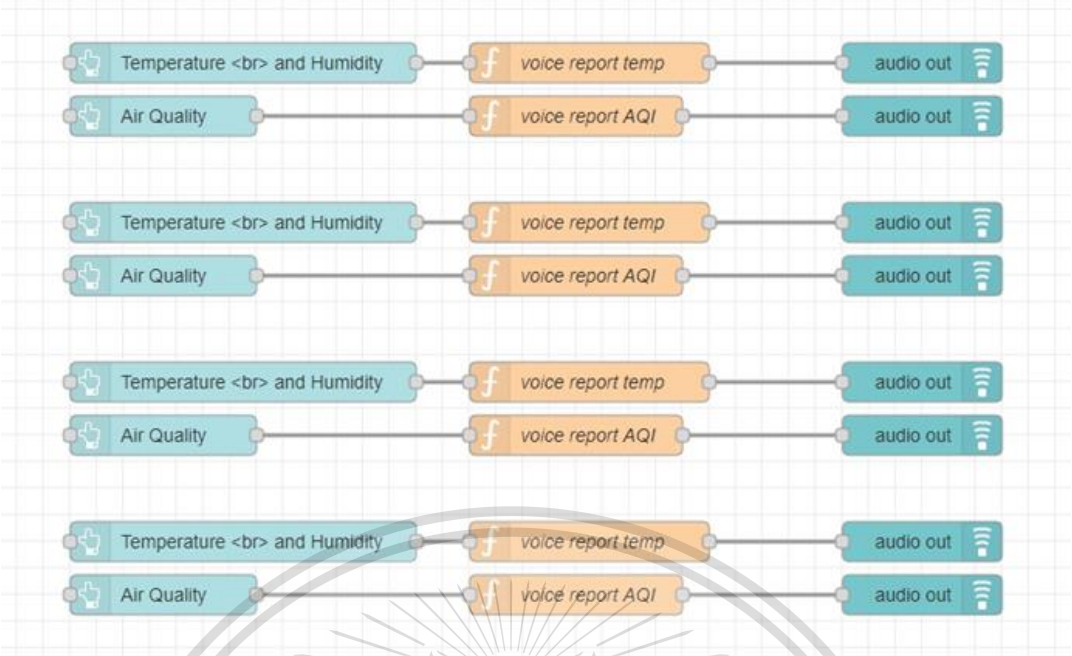
รูปที่ 3.56 การแจ้งเตือนอุณหภูมิ ความชื้น และฝุ่นละอองในอากาศด้วยเสียง

มีการตั้งค่าการแจ้งเตือนหากฝุ่นละอองในอากาศมีค่ามากกว่าที่กำหนดเอาไว้ โดยจะมีรูปแบบในการเขียนโปรแกรมและการตั้งค่า ดังรูปที่ 3.57 และจะมีการตั้งค่าเสียงการแจ้งเตือนหากอุณหภูมิหรือความชื้นสูงหรือต่ำเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ โดยจะมีการเขียนโค้ดเพื่อดึงค่าตัวแปรและหากเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จะมีการแจ้งเตือนว่าที่โหนดใดมีอุณหภูมิหรือความชื้นสูงหรือต่ำเกินกว่าค่าที่กำหนด ดังรูปที่ 3.58



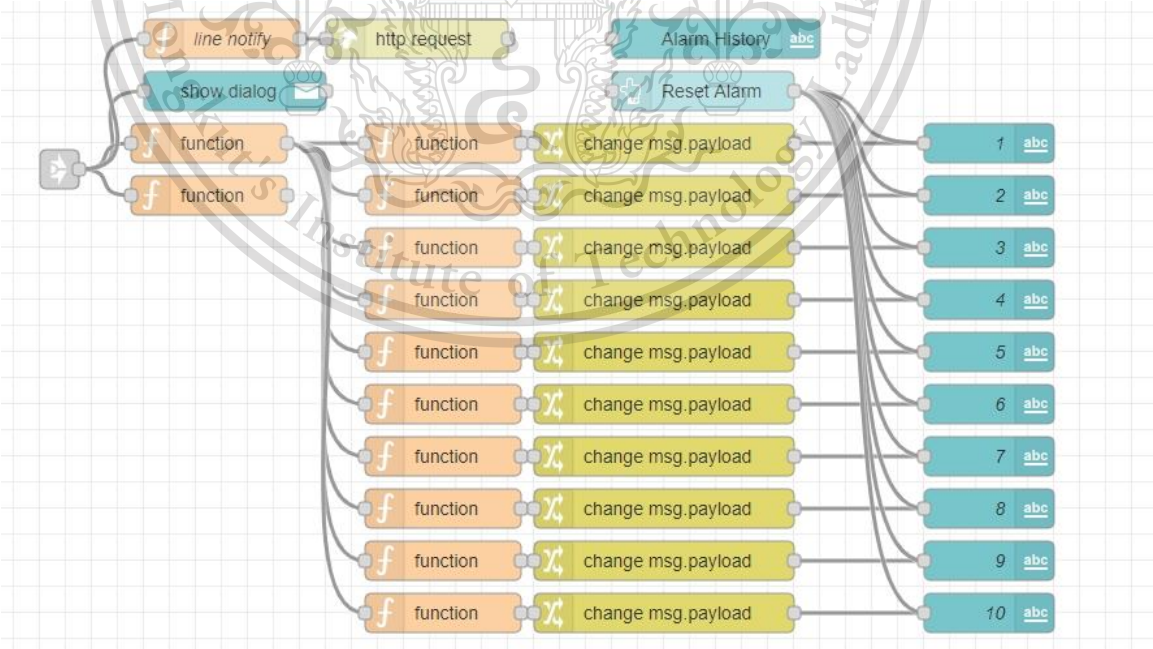
รูปที่ 3.57 การเขียนโปรแกรมในการแจ้งเตือนค่าฝุ่นละอองในอากาศ

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 3.58 การเขียนโปรแกรมแจ้งเตือนอุณหภูมิ ความชื้น และฝุ่นละอองในอากาศด้วยเสียง

นอกจากนี้จะมีการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บประวัติการแจ้งเตือน มีการเขียนโปรแกรมเพื่อให้สามารถรีเซ็ตประวัติข้อมูลการแจ้งเตือนทั้งหมด และจะมีการนำข้อมูลการแจ้งเตือนไปแสดงในส่วนของแดชบอร์ดได้อีกด้วย

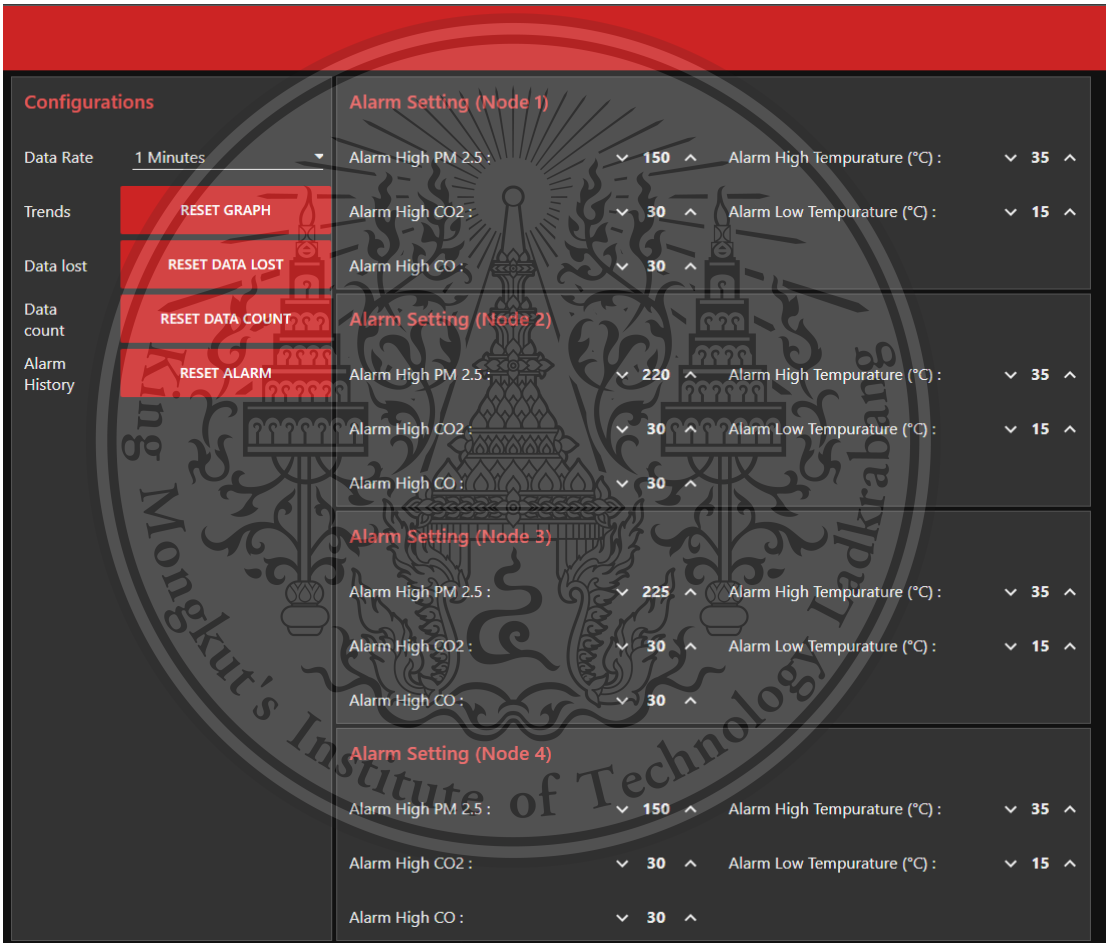


รูปที่ 3.59 การเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บประวัติการแจ้งเตือน

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.

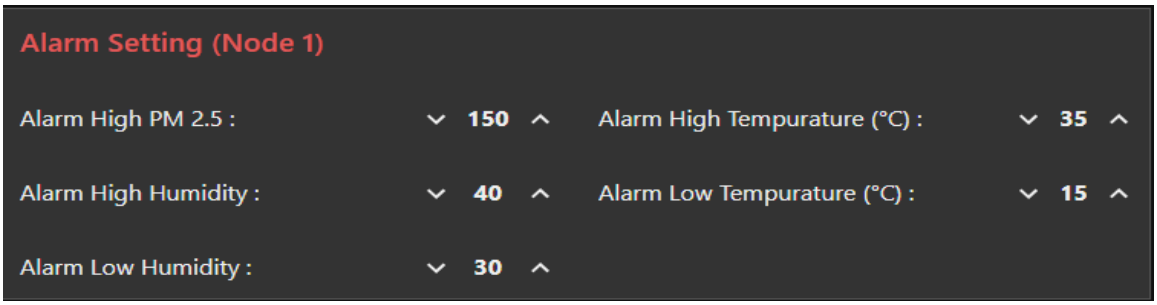
3.6.7 หน้า Setting

หน้า Settings เป็นหน้าที่สามารถกำหนดค่าของ Data Rate ได้ตั้งแต่ 10 วินาที 30 วินาที 1 นาที และ 5 นาที สามารถรีเซ็ตข้อมูลของกราฟในหน้า Trends รีเซ็ต Data Lost รีเซ็ต Data Count และรีเซ็ตประวัติของการแจ้งเตือนทั้งหมดได้ นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถกำหนดค่าที่จะทำให้เกิดการแจ้งเตือนได้ตามที่ต้องการ โดยค่าที่สามารถกำหนดค่าที่จะทำให้เกิดการแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดเอาไว้ในแต่ละโหนดได้คืออุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสูงสุด และความชื้นต่ำสุด โดยค่าของอุณหภูมิจะมีการแสดงในหน่วย ℃ และค่าของความชื้นจะมีการแสดงในหน่วย %



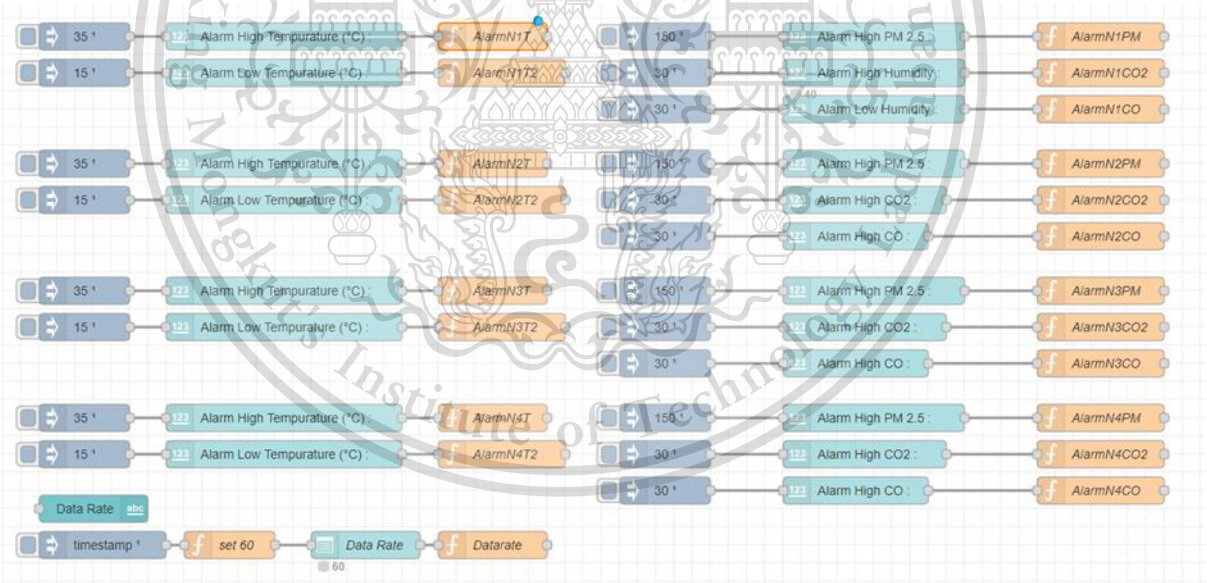
รูปที่ 3.60 หน้า Settings ของแดชบอร์ด

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 3.61 การตั้งค่าข้อมูลการแจ้งเตือนที่แดชบอร์ด

จากรูปที่ 3.61 เป็นการตั้งค่าข้อมูลการแจ้งเตือนที่แดชบอร์ด ซึ่งจะมีการเขียนโปรแกรมการตั้งค่าการแจ้งเตือน เพื่อที่จะแจ้งเตือนเมื่อตัวแปรมีค่าเกินที่ผู้ใช้งานกำหนด โดยโปรแกรมจะถูกสร้างขึ้นเป็นปุ่มที่สามารถปรับขึ้นลงได้ โดยจะมีค่าเริ่มต้นตามที่กำหนด หากผู้ใช้งานไม่ได้ตั้งค่าการแจ้งเตือน โปรแกรมจะทำงานการแจ้งเตือนตามค่าเริ่มต้น หากผู้ใช้งานได้ปรับค่าการแจ้งเตือน ตัวแปรจะส่งค่าไปเก็บไว้เป็นตัวแปรโกลบอล และค่าข้อมูลต่าง ๆ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าการแจ้งเตือน ทุกรอบการทำงาน โดยหากข้อมูลมีค่าเกินกว่าที่กำหนดฟังก์ชันการแจ้งเตือน จะทำงานแสดงการแจ้งเตือน



รูปที่ 3.62 การเขียนโปรแกรมในการตั้งค่าข้อมูลการแจ้งเตือนที่แดชบอร์ด

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.

```
var AlarmN1T = global.get("AlarmN1T")
var AlarmN1T2 = global.get("AlarmN1T2")
var A = global.get("N1Sensor1") ;
var D1 = flow.get('D1')
var D12 = flow.get('D12')

if (Number(A) < Number(AlarmN1T)){
    D1 = 0
}

if (Number(A) > Number(AlarmN1T2)){
    D12 = 0
}

if (Number(A) >= Number(AlarmN1T)){
    D1 = flow.get('D1') + 1
}

if (Number(A) <= Number(AlarmN1T2)){
    D12 = flow.get('D12') + 1
}

flow.set('D1',D1)
flow.set('D12',D12)

if (D1 == 1) {
    msg.payload = "Warning, Node 1 High Temperature"
}

if (D12 == 1) {
    msg.payload = "Warning, Node 1 Low Temperature"
}
```

รูปที่ 3.63 การตั้งค่าข้อมูลการแจ้งเตือนที่ Node-RED

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 4
ผลการดำเนินงาน

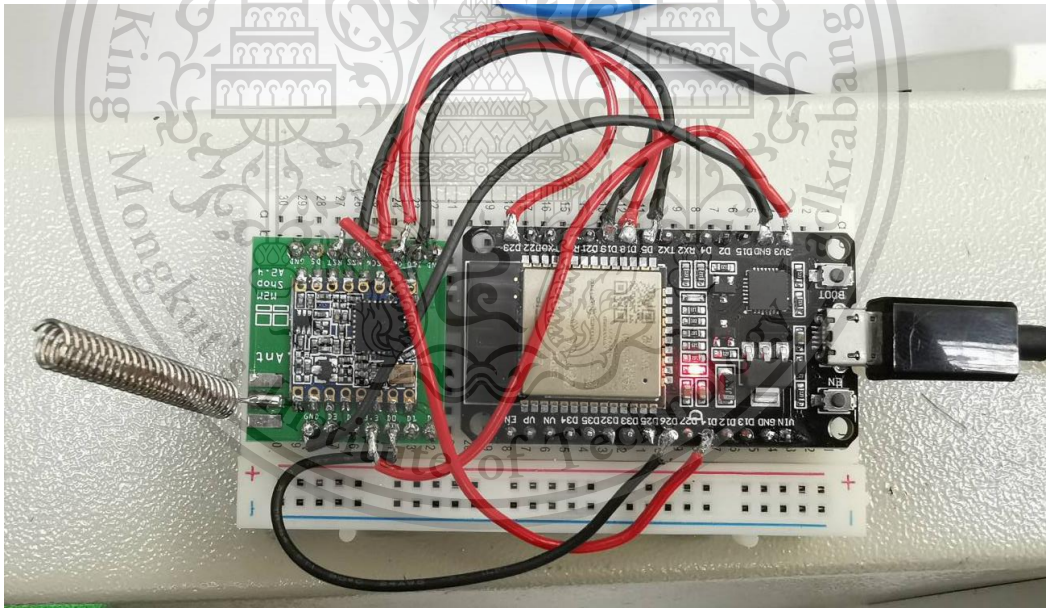
4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานในการส่ง ‘AT Command’ ไปยังโมดูลมาสเตอร์ การสื่อสารผ่านระบบ LoRa ระหว่างโมดูลมาสเตอร์กับโมดูลสเลฟโดยจะทดสอบตามฟังก์ชันต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ รวมไปถึงการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับในหน้าแดชบอร์ดของเกตเวย์ IOT2050

4.2 ผลการดำเนินงานของการประยุกต์ใช้โมดูล LoRa

4.2.1 การทดสอบส่ง ‘AT Command’ ไปยังโมดูลมาสเตอร์

การทดสอบนี้จะทำผ่านโปรแกรม Arduino IDE โดยเชื่อมต่อผ่าน Serial Port ทางช่อง USB บนคอมพิวเตอร์ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 โดยจะมีการทดสอบ 2 คำสั่ง ได้แก่

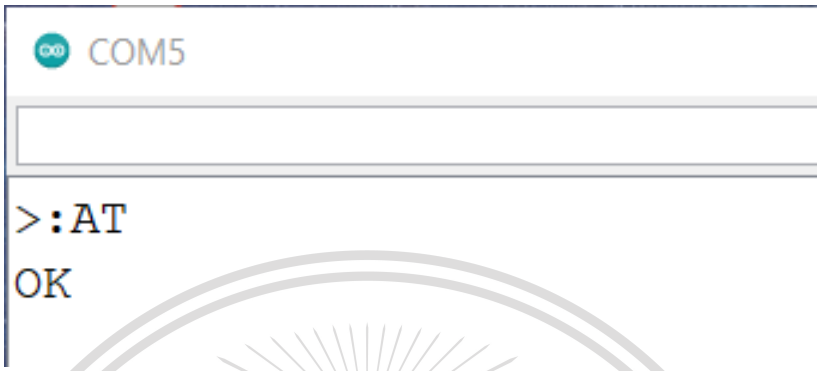


รูปที่ 4.1 การเชื่อมต่อโมดูลมาสเตอร์ผ่าน Serial port ทางช่อง USB

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.

4.2.1.1 การทดสอบส่งคำสั่ง AT ไปยังโมดูลมาสเตอร์

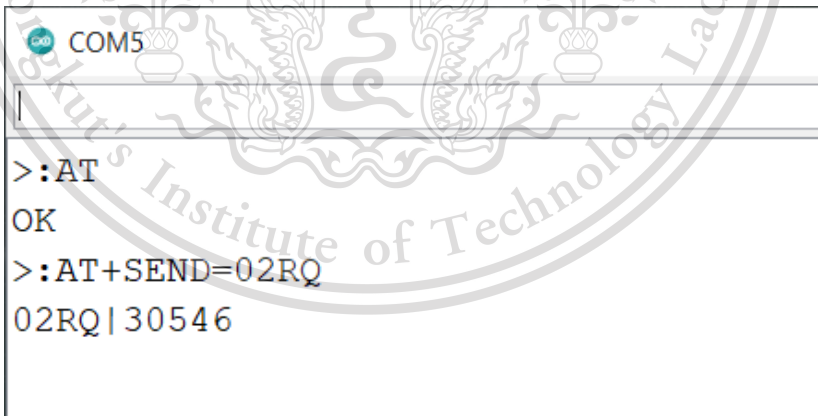
การทดสอบการเชื่อมต่อกับโมดูลมาสเตอร์ จะทำการส่งคำสั่ง AT ไปยังโมดูลมาสเตอร์โดยถ้าสามารถเชื่อมต่อได้ โมดูลมาสเตอร์จะทำการส่งข้อความ OK กลับมา ดังที่แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ข้อความการตอบกลับคำสั่ง AT ของโมดูลมาสเตอร์

4.2.1.2 การทดสอบส่งคำสั่ง AT+SEND ไปยังโมดูลมาสเตอร์

ทดสอบส่งข้อความไปยังระบบ LoRa ผ่านโมดูลมาสเตอร์ โดยการส่งคำสั่ง AT+SEND=02RQ ไปยังโมดูลมาสเตอร์ ข้อความที่ถูกส่งออกไปในระบบ LoRa นั้นจะมี CRC ที่ส่วนท้ายของข้อความด้วยเพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ข้อความที่ส่งไปในระบบ LoRa ผ่านโมดูลมาสเตอร์

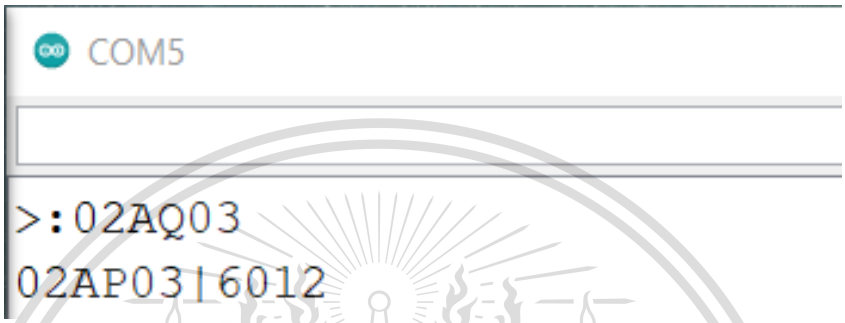
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 การทดสอบส่งข้อมูลผ่านระบบ LoRa ระหว่างโมดูลมาสเตอร์และโมดูลสเลฟ

ทดสอบส่งคำสั่งจากโมดูลมาสเตอร์ไปยังโมดูลสเลฟผ่านระบบ LoRa โดยจะส่งคำสั่งตามฟังก์ชันต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ โดยจะมีทั้งหมด 4 ฟังก์ชันได้แก่

4.2.2.1 การทดสอบส่งคำสั่ง AQ ผ่านระบบ LoRa ไปยังโมดูลสเลฟ

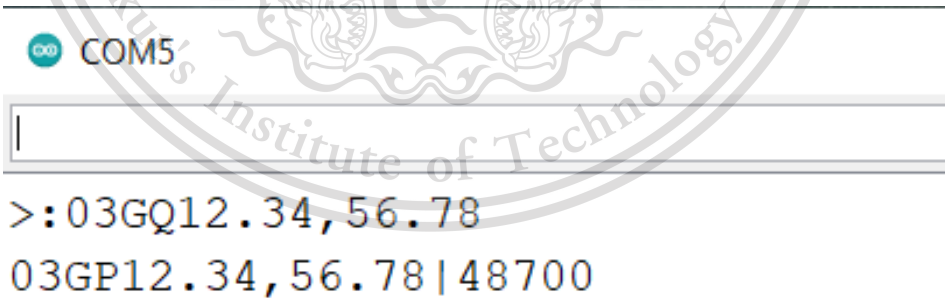
ทดสอบกำหนดค่าแอดเดรสไปยังโมดูลสเลฟ โดยใช้คำสั่ง 02AQ03 เพื่อเปลี่ยนแอดเดรสจาก 02 เป็น 03 โดยโมดูลสเลฟตอบข้อความ 02AP03 กลับมา ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ข้อความการตอบกลับจากโมดูลสเลฟที่ได้รับคำสั่ง AQ

4.2.2.2 การทดสอบส่งคำสั่ง GQ ผ่านระบบ LoRa ไปยังโมดูลสเลฟ

ทดสอบกำหนดค่าละติจูด ลองจิจูด โดยใช้คำสั่ง 03GQ12.34,56.78 เพื่อเปลี่ยนค่าละติจูดเป็น 12.34 ค่าลองจิจูดเป็น 56.78 โดยโมดูลสเลฟตอบข้อความ 03GP12.34,56.78 กลับมา ดังรูปที่ 4.5

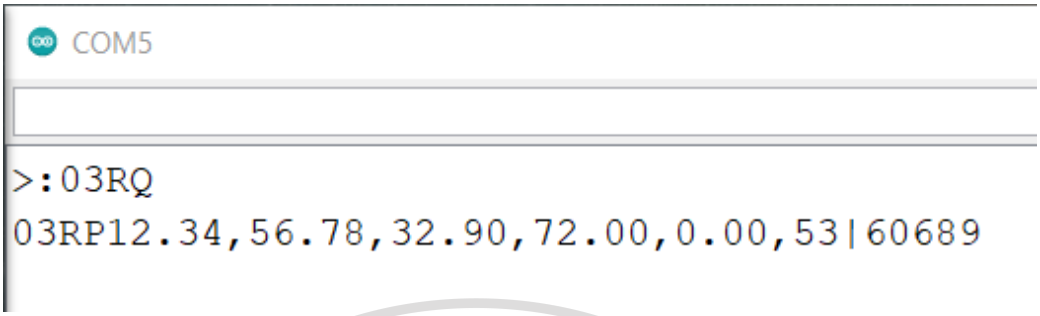


รูปที่ 4.5 ข้อความการตอบกลับจากโมดูลสเลฟที่ได้รับคำสั่ง GQ

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.

4.2.2.3 การทดสอบส่งคำสั่ง RQ ผ่านระบบ LoRa ไปยังโมดูลสเลฟ

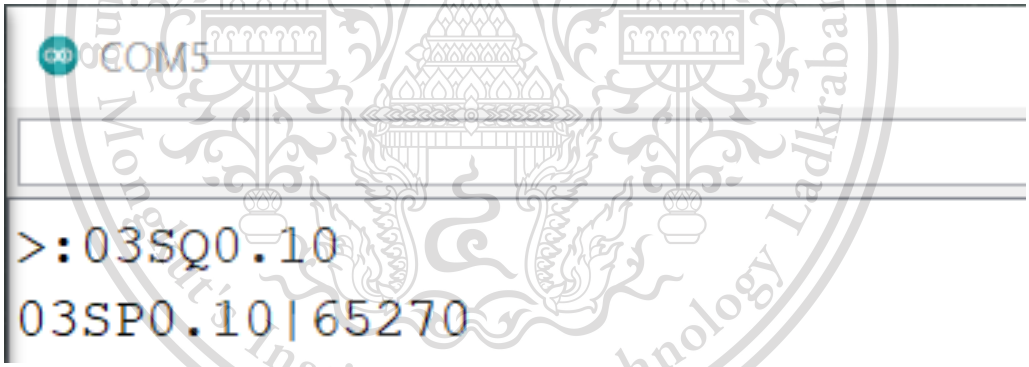
ทดสอบส่งคำสั่ง 03RQ เพื่อสั่งให้มูลดูลสเลฟส่งข้อมูลจากโมดูลวัด โดยโมดูลสเลฟตอบข้อความ 03RP12.34,56.78,32.90,72.00,0.00,53 กลับมา ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ข้อความการตอบกลับจากโมดูลสเลฟที่ได้รับคำสั่ง RQ

4.2.2.4 การทดสอบส่งคำสั่ง SQ ผ่านระบบ LoRa ไปยังโมดูลสเลฟ

ทดสอบส่งคำสั่ง 03SQ0.10 เพื่อสั่งให้มูลดูลสเลฟเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ โดยโมดูลสเลฟตอบข้อความ 03SP0.10 และเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ เป็นเวลา 10 วินาที ดังรูปที่ 4.7

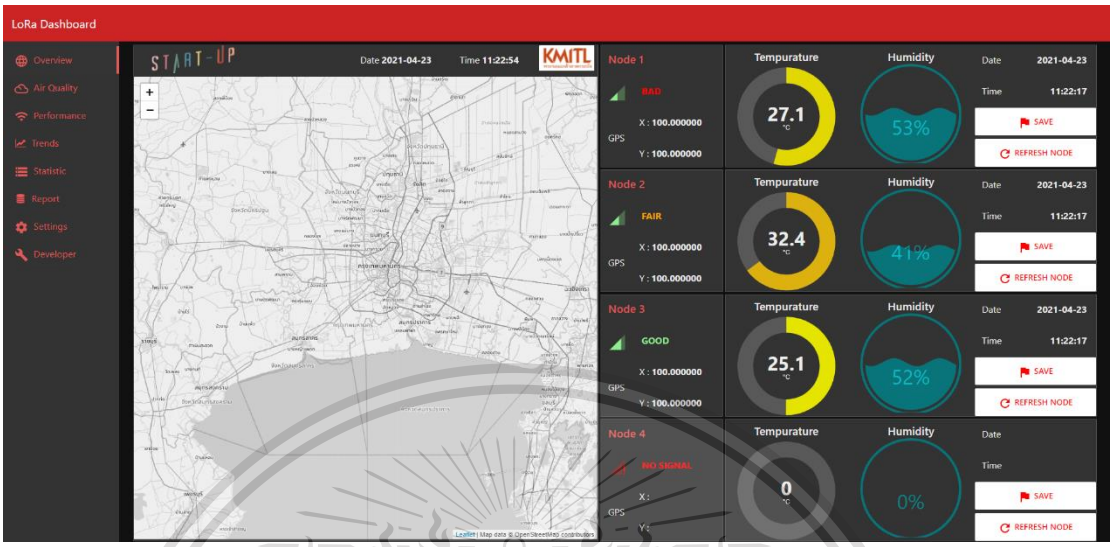


รูปที่ 4.7 ข้อความการตอบกลับจากโมดูลสเลฟที่ได้รับคำสั่ง SQ

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.

4.2.3 ส่วนการจัดการข้อมูลในแดชบอร์ดด้วยโปรแกรม Node–RED

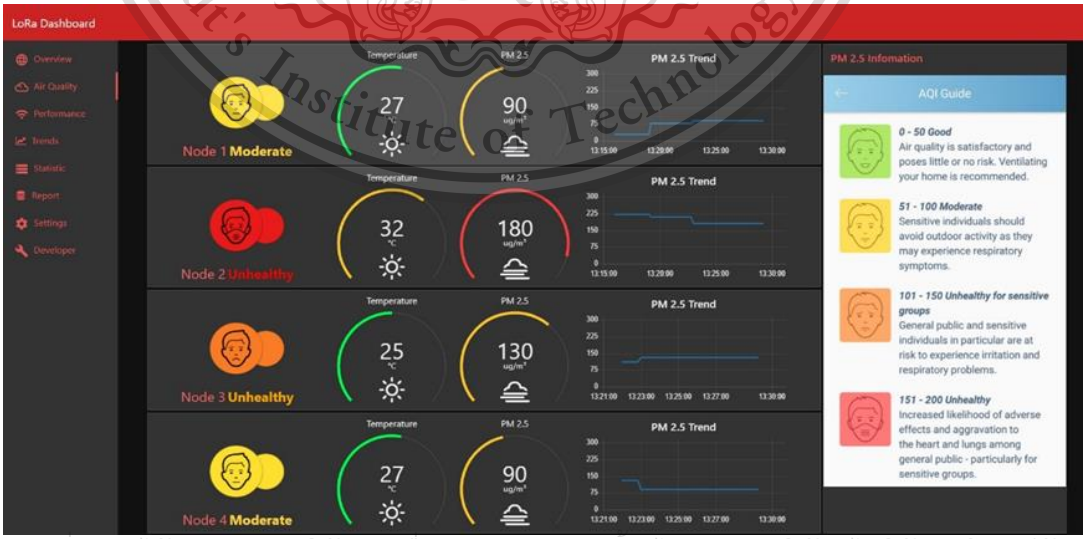
4.2.3.1 หน้า Overview



รูปที่ 4.8 ค่าข้อมูลจากเซนเซอร์ที่แดชบอร์ด

การทดสอบแสดงผลข้อมูลจากโมดูลมาสเตอร์ที่รับข้อมูลมาจากแต่ละโหนด โดยการแสดงผลของข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นเป็นไปตามต้องการ รวมถึงการตรวจเช็คสัญญาณของแต่ละโหนด สามารถแสดงได้ตามต้องการ การแสดงเวลาในการรับข้อมูลถูกต้อง ในส่วนของแผนที่สามารถระบุตำแหน่งจากค่าข้อมูลได้ถูกต้อง

4.2.3.2 หน้า Air Quality

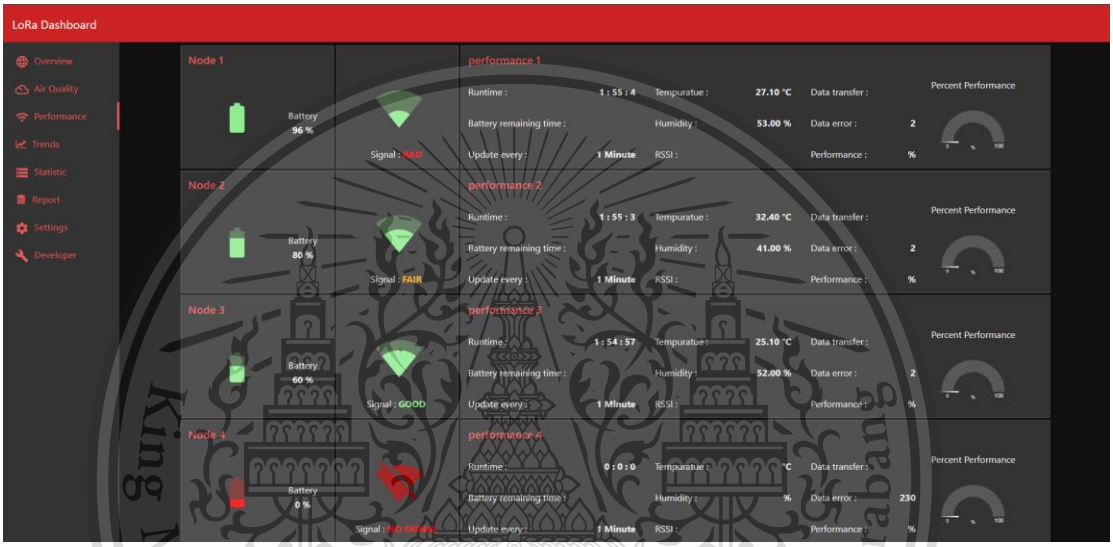


รูปที่ 4.9 ค่าปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจากเซนเซอร์ที่แดชบอร์ด

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.

การทดสอบสามารถแสดงผลของข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณฝุ่นละอองในอากาศเป็นไปตามค่าที่วัดได้ เมื่ออุณหภูมิและปริมาณฝุ่นละอองในอากาศมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ได้ทำการตั้งค่าเอาไว้ อุณหภูมิจะมีการแสดงเกจวัดเป็นสีส้ม ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศมีการแสดงเกจวัดเป็นสีแดง และจะมีการแสดงไอคอนที่มีความหมายว่าคุณภาพอากาศมีผลกระทบต่อสุขภาพ นอกจากนั้นจะมีการแสดงกราฟค่า $PM_{2.5}$ ในระยะเวลา 10 นาที เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่า $PM_{2.5}$ ในช่วงเวลานั้นได้อย่างถูกต้อง

4.2.3.3 หน้า Performance

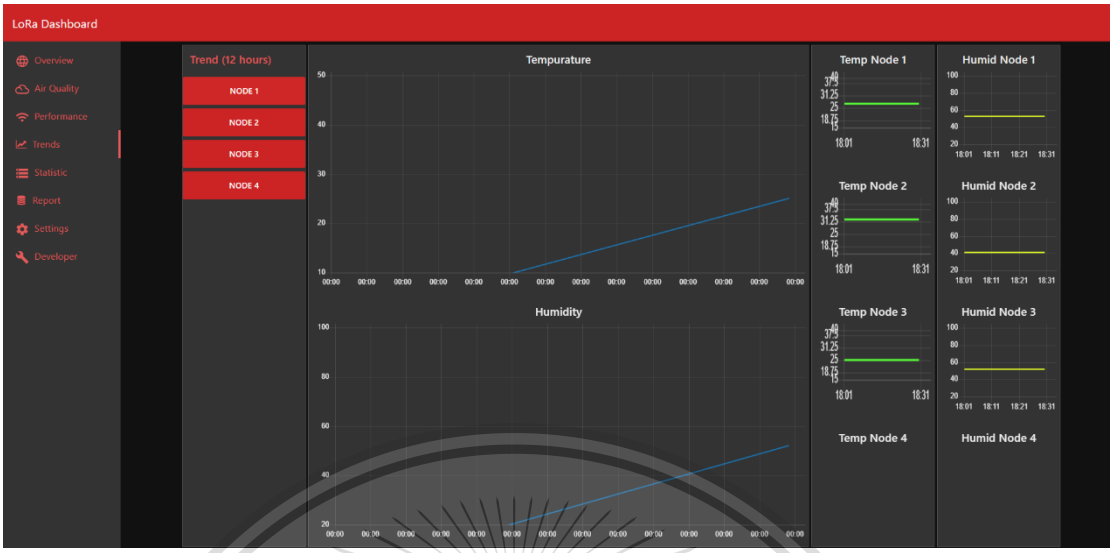


รูปที่ 4.10 สภาพสัญญาณและประสิทธิภาพในการรับ-ส่งข้อมูล

การทดสอบการแสดงผลในหน้า Performance โดยจะนำค่าข้อมูลเชิงลึกของข้อมูลมาแสดง จากการทดสอบสามารถแสดงข้อมูลได้อย่างถูกต้องทั้งแบตเตอรี่และคุณภาพของสัญญาณในรูปแบบภาพและข้อความ แสดงผลเวลาที่อุปกรณ์ทำงานได้ตรงตามเวลาจริง แสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้น และค่า RSSI ของข้อมูลได้ตามความเป็นจริง เกจด้านขวาแสดงประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ โดยจะแสดงจำนวนครั้งที่โมดูลมาสเตอร์ส่งสัญญาณคำขอไปยังโมดูลสเลฟและได้รับข้อมูลตอบกลับมา (Data Transfer) และแสดงจำนวนครั้งที่โมดูลมาสเตอร์ส่งสัญญาณคำขอไปยังโมดูลสเลฟโดยไม่ได้ข้อมูลตอบกลับมา (Data Error) ได้เป็นไปตามความจริง และสามารถคำนวนค่าประสิทธิภาพการทำงาน (Performance) ได้

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.

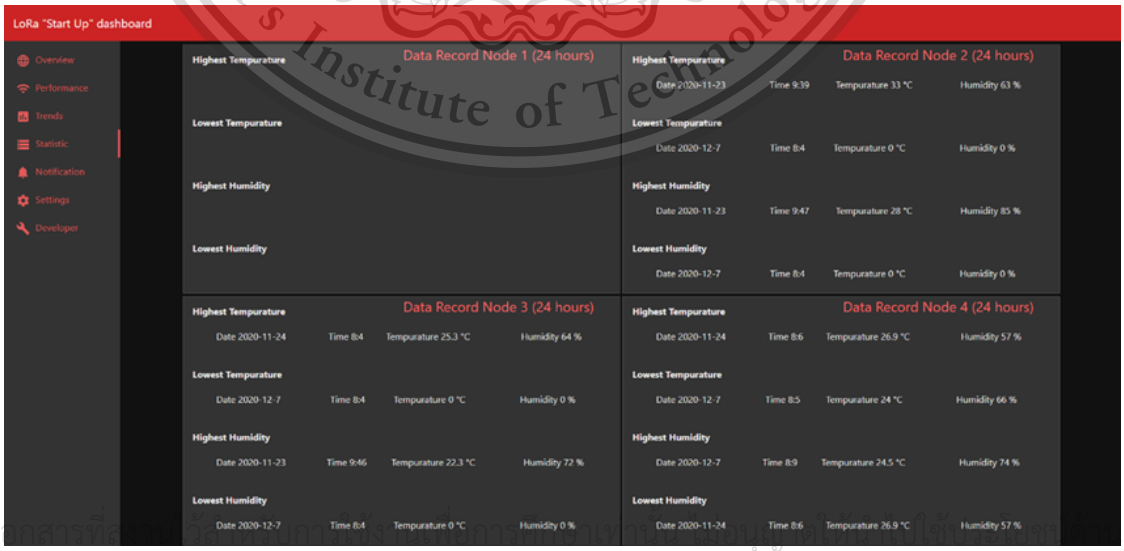
4.2.3.4 หน้า Trends



รูปที่ 4.11 กราฟระหว่างอุณหภูมิและความชื้นเมื่อเทียบกับเวลา

หน้า Trends เป็นการแสดงผลของกราฟที่แสดงแนวโน้มระยะสั้นในช่วงเวลา 15 นาที ของแต่ละโหนด โดยกราฟแกนตั้งจะเป็นการแสดงอุณหภูมิและความชื้นในแต่ละกราฟ ค่าอุณหภูมิจากกราฟนั้นจะมีการแสดงเป็นเส้นสีเขียว ค่าความชื้นจากกราฟจะมีการแสดงเป็นเส้นสีเหลือง แกนนอนเป็นระยะเวลาที่ผ่านไป และจากการทดสอบสามารถแสดงข้อมูลได้ถูกต้องตามข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์

4.2.3.5 หน้า Statistic

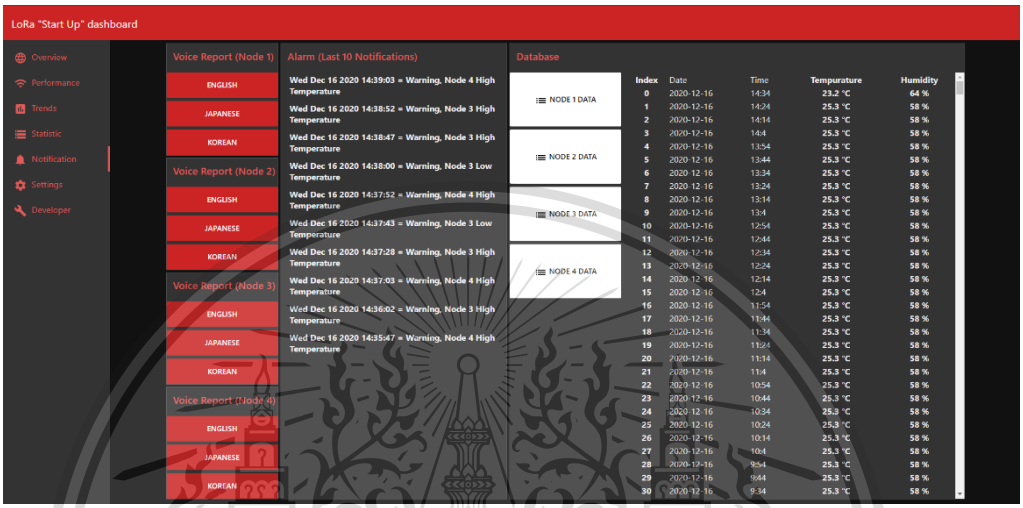


รูปที่ 4.12 ข้อมูลที่หน้า Statistic ในแต่ละโหนด

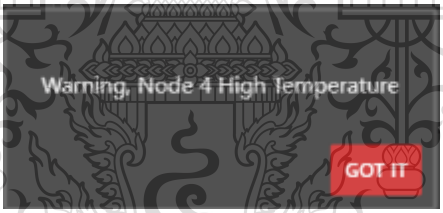
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทดสอบการแสดงผลในหน้า Statistic โดยจะเก็บค่าข้อมูลของแต่ละโหนด ลงในฐานข้อมูลของแต่ละโหนด และทำการลบข้อมูลที่บันทึกในช่วงเวลาเกินกว่า 24 ชั่วโมง โดยการสร้างฐานข้อมูลและจัดการข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง และสามารถแสดงผลเวลา วันที่ ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด รวมทั้งค่าความชื้นสูงสุดและต่ำสุดใน 24 ชั่วโมงที่ผ่านมาได้อย่างถูกต้อง

4.2.3.6 หน้า Report



รูปที่ 4.13 การแจ้งเตือนหากข้อมูลสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้

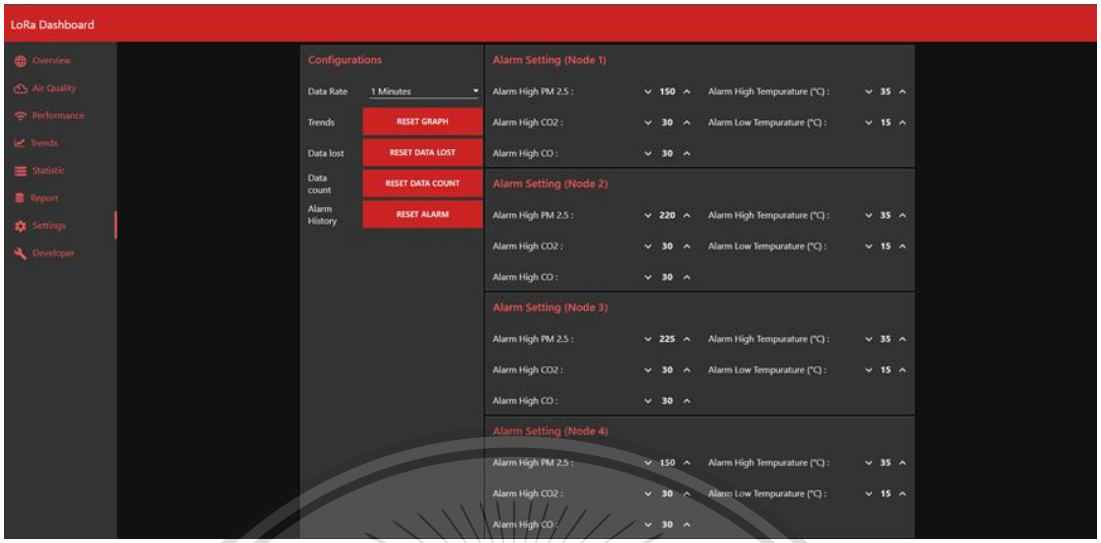


รูปที่ 4.14 การแจ้งเตือนเมื่อโหนดแอดเดรส ‘04’ มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้

การทดสอบรายงานผลข้อมูลในระบบเสียงเป็นไปอย่างถูกต้อง การแสดงผลการแจ้งเตือนหรือการแจ้งเตือนที่เกิดขึ้นทั้งหมด สามารถแสดงข้อมูลการแจ้งเตือนย้อนหลังที่เกิดขึ้นได้ 10 ครั้งด้วยกัน เป็นไปตามความต้องการ รวมทั้งมีการแสดงเวลาที่เกิด การแจ้งเตือนตามความเป็นจริง การทดสอบการสร้างฐานข้อมูลขึ้นเพื่อเก็บข้อมูลของแต่ละโหนด โดยข้อมูลที่เก็บจะมีข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น เวลาที่เก็บข้อมูล โดยจะมีการใช้ Timestamp เป็น Primary Key ของข้อมูลทุกตัวที่เก็บสามารถเป็นข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความถี่ในการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลสามารถระบุระยะเวลาที่ต้องการได้ เช่น ต้องการบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที 10 นาที หรือ 30 นาที เป็นไปตามความต้องการ การนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลบนหน้าจอเป็นไปอย่างถูกต้องโดยสามารถแสดงผลได้ทุกข้อมูล และแสดงเวลาของข้อมูลได้ถูกต้อง

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.

4.2.3.7 หน้า Settings



รูปที่ 4.15 การกำหนดค่าการแจ้งเตือนและ Data Rate ในแต่ละโหนด

การทดสอบการตั้งค่าอุปกรณ์ รวมถึงปุ่มรีเซ็ตค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถใช้งานได้ถูกต้อง การตั้งค่าเป้าหมายสูงสุดและต่ำสุดของค่าอุณหภูมิ ความชื้น และฝุ่นสำหรับการแจ้งเตือนสามารถใช้งานได้ถูกต้อง

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลและการใช้พลังงาน

4.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพการส่งข้อมูลตามระยะทาง

ทดสอบส่งข้อมูลจำนวนหนึ่งไบต์ในระยะทางที่ต่างกัน โดยจะเพิ่มขึ้นทีละ 1 กิโลเมตร บันทึกผลโดยการเก็บค่าความแรงสัญญาณ (RSSI) ของแต่ละโมดูลสเลฟ

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 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการส่งข้อมูลตามระยะทาง

ระยะทาง (กิโลเมตร)	ความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากโมดูลสเลฟ ‘02’ (RSSI)	ความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากโมดูลสเลฟ ‘03’ (RSSI)	ความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากโมดูลสเลฟ ‘04’ (RSSI)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

หมายเหตุ : เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ทำให้ไม่สามารถเก็บผลการทดสอบได้

4.3.2 การทดสอบการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

ทดสอบส่งข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง โดยขณะที่ไม่ได้ทำการส่งข้อมูลโมดูลสเลฟจะมีการเข้าสู่โหมดสลีฟเพื่อประหยัดพลังงาน บันทึกผลโดยการวัดปริมาณแบตเตอรี่ที่เหลือของโมดูลสเลฟ

ตารางที่ 4.2 การทดสอบการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

วันที่	ปริมาณแบตเตอรี่ที่วัดได้จากโมดูลสเลฟ ‘02’ (%)	ปริมาณแบตเตอรี่ที่วัดได้จากโมดูลสเลฟ ‘03’ (%)	ปริมาณแบตเตอรี่ที่วัดได้จากโมดูลสเลฟ ‘04’ (%)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

หมายเหตุ : เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ทำให้ไม่สามารถเก็บผลการทดสอบได้

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
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง การสรุปผลการดำเนินงานจากการอ่านข้อมูลจากโมดูลต่าง ๆ รวมไปถึงการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล การแสดงผลของข้อมูล และการรายงานข้อมูลด้วยระบบเสียงในหน้าแดชบอร์ดที่โปรแกรม Node–RED นอกจากนี้จะแสดงถึงปัญหาในการดำเนินงานและข้อเสนอแนะในปริญญานิพนธ์นี้

5.2 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการประยุกต์ใช้โมดูล LoRa โดยการจัดสร้างหนึ่งโมดูลมาสเตอร์และสามโมดูลสเลฟเพื่อใช้ในการตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ ซึ่งมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 5 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น $PM_{2.5}$ พิกัดทางภูมิศาสตร์ และเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่คงเหลือ จึงถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการสื่อสารผ่านระบบ LoRa รวมถึงมีการแสดงข้อมูลแบบแดชบอร์ดที่เกตเวย์ IOT2050 ซึ่งใช้ทำหน้าที่ควบคุมลำดับการรับ-ส่งข้อมูล ด้วยการส่งชุดคำสั่ง ‘AT Command’ ไปยังแอดเดรสของโมดูลสเลฟหมายเลข ‘01’, ‘02’ และ ‘03’ ตามลำดับ โดยใช้โมดูลมาสเตอร์เป็นตัวกลาง ในการเรียกเก็บข้อมูลจากโมดูลสเลฟแต่ละตัว เมื่อเก็บข้อมูลเสร็จแล้วจะทำการส่งชุดคำสั่งเพื่อให้โมดูลสเลฟนั้นเข้าสู่โหมด ‘Sleep’ ตามเวลาที่กำหนด แล้วจึงเรียกเก็บข้อมูลจากโมดูลสเลฟหมายเลขถัดไปจนครบทั้งสามโมดูล เมื่อครบเวลาที่กำหนดจะทำการเรียกเก็บข้อมูลจากโมดูลสเลฟหมายเลขหนึ่งใหม่อีกครั้ง ในปริญญานิพนธ์นี้มีการแสดงผลการทดสอบแค่บางส่วน อันเนื่องมาจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 แต่อย่างไรก็ตาม ฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญของโมดูลมาสเตอร์ โมดูลสเลฟและเกตเวย์ IOT2050 สามารถแสดงข้อมูลที่ต้องการและค่าฝุ่นละอองในอากาศบนแดชบอร์ดที่สร้างขึ้นตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

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.

5.3 ปัญหาในการดำเนินงาน

5.3.1 การใช้พลังงานของอุปกรณ์และโมดูลที่ต่อร่วมสูง

การใช้พลังงานของอุปกรณ์สูงเกินกว่าขอบเขตที่รับได้ เนื่องจากการส่งสัญญาณและการรับข้อมูลจากเซนเซอร์นั้นใช้พลังงานสูง ยิ่งส่งข้อมูลถี่เท่าไรก็จะยิ่งใช้พลังงานสูงมากขึ้นเท่านั้น ทำให้ในการใช้งานจริงที่ตัวอุปกรณ์จะต่อพลังงานเลี้ยงจากแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้น จำเป็นต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่บ่อย

5.3.2 ข้อมูลที่รับมาบางครั้งมีข้อผิดพลาดที่ไม่สามารถตรวจจับได้

การส่งข้อมูลไร้สายอาจมีสัญญาณแทรกทำให้ข้อมูลที่รับมานั้นมีความผิดพลาด โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลนั้นไม่สามารถรู้ได้ว่าข้อมูลที่รับมานั้นมีความถูกต้องมากน้อยเท่าไร

5.3.3 เมื่อหยุดจ่ายไฟให้ IOT2050 ข้อมูล (History และ Trends) จะสูญหาย

ข้อมูลที่แสดงด้วยกราฟ หรือข้อมูลที่รับมาจากอุปกรณ์ ESP32 ผ่านทาง Serial Port บนหน้าแดชบอร์ดจะหายเมื่อหยุดจ่ายพลังงานให้ตัวอุปกรณ์ IOT2050 ทำให้เมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟดับข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ จะสูญหายทั้งหมด

5.3.4 สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19

เนื่องในสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ทำให้ไม่สามารถเข้าไปเก็บข้อมูลในส่วนของการทดสอบระบบได้ ข้อมูลในส่วนนี้จึงไม่ได้ถูกบันทึกไว้ในปริญญานิพนธ์

5.4 ข้อเสนอแนะ

การสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ให้ทำงานร่วมกับโมดูล LoRa SX1276 รวมทั้งนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และแสดงผลลงในหน้าจอรวมทั้งเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล จำเป็นต้องมีพื้นฐานในเรื่องของการใช้ภาษาทางคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ เช่น ภาษา C ภาษา HTML ภาษา JavaScript ภาษา SQL เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงปัญหาและสามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดข้อผิดพลาด รวมถึงการวางแผนดำเนินงานอย่างรอบคอบก่อนลงมือปฏิบัติจริง ทำให้งานมีประสิทธิภาพมากขึ้น และใช้เวลาในการดำเนินงานน้อยลง

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.

เอกสารอ้างอิง

[1] darahpahlawan. **“Internet of thing”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://darahpahlawan.wordpress.com/2017/05/27/first-blog-post/. 2020

[2] SIAMBC. **“LoRaWAN คืออะไร? แล้วมันเกี่ยวข้องกับ IoT อย่างไร?”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://siambc.com/lorawan-คืออะไร-แล้วมันเกี่ยวข/. 2020

[3] MOSTORI. **“LoRa Technology”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.mostori.com/blog_detail.php?b_id=81. 2020

[4] kaebmoo. **“LoRa WAN”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://kaebmoo.wordpress.com/2018/06/12/lora-wan/. 2020

[5] BLUESTONE Company Limited. **“การประยุกต์ใช้ Internet of Things (IoT) ร่วมกับการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรบนที่สูง”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.bluestone.co.th/การประยุกต์ใช้internetofthingsiotร่วมกับการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรบนที่สูง. 2020

[6] lorawan. **“SX1276 915Mhz ใช้ได้กับ 920-925 Mhz LoRa XL1276-PO1”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://lorawan.lnwshop.com/product/69/sx1276-915mhz-ใช้ได้กับ-920-925-mhz-lora-xl1276-po1. 2020

[7] Automation 360. **“IOT2050”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://automation360blog.wordpress.com/iot2050/. 2020

[8] IBCON. **“Review: Siemens Simatic IOT2050 อุปกรณ์ IOT Gateway ที่น่าใช้มากที่สุดในขณะนี้”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://blog.ibcon.com/?p=739. 2020

[9] Air4Thai. **“ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php. 2021

[10] Spare The Air. **“Air Quality Index”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.spartheair.com/aqi.cfm. 2021

[11] Ram Tiwari. **“การกระเจิงของแสง (Scattering)”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/62889/-blo-sciphy-sci-. 2021

[12] IOXhop. **“ESP32 เบื้องต้น :: บทที่ 1 แนะนำ ESP32”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.ioxhop.com/article/62/esp32-เบื้องต้น-บทที่-1-แนะนำ-esp32. 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[13] IOXhop. **“การใช้ ESP32 ในโหมดประหยัดพลังงาน”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.ioxhop.com/article/78/การใช้-esp32-ในโหมดประหยัดพลังงาน. 2020

[14] My arduino. **“สอนใช้งาน ESP32 OLED module ESP32 WiFi and Bluetooth V2”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.myarduino.net/article/258/สอนใช้งาน-esp32-oled-module-esp32-wifi-and-bluetooth-v2. 2020

[15] Fitrox. **“[Tutorial] การใช้งานเซ็นเซอร์อุณหภูมิ DHT”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://fitrox.lnwshop.com/article/26/tutorial-การใช้งานเซ็นเซอร์อุณหภูมิ-dht. 2020

[16] กองบริหารการวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร. “ระบบติดตามวัตถุที่สามารถบันทึกพิกัด GPS ของวัตถุผ่านทางเครือข่าย GPRS ไปยังเว็บไซต์ Google Docs Spreadsheet”. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ “นเรศวรวิจัย” ครั้งที่ 12,** ปีที่1, ฉบับที่ 1, ม.ป.ป. หน้า 562-570

[17] as99shop. **“PM2.5 Dust sensor Sharp GP2Y1010AU0F”**.[Online].เข้าถึงได้จาก : http://www.as99shop.com/product/689/pm2-5-dust-sensor-sharp-gp2y1010au0f. 2018

[18] AllNewStep. **“1a lithium battery charging and protect one plate + protection 2-in-1 18650 lithium battery charging board”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.allnewstep.com/product/513/1a-lithium-battery-charging-and-protect-one-plate-protection-2-in-1-18650-lithium-battery-charging-b-2. 2021

[19] myarduino. **“โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเธียม 3.7V พร้อมวงจรจ่ายไฟและวงจรป้องกัน TP 4056 1A lithium battery charging board micro usb”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.myarduino.net/product/869/โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเธียม-3-7v-พร้อมวงจรจ่ายไฟและวงจรป้องกัน-tp4056-1a-lithium-battery- charging-boa. 2016

[20] AllNewStep. **“Solar cell Solar panels โซลาเซลล์ 5.5v 110ma 0.6W”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.allnewstep.com/product/1468/solar-cell-solar-panels-โซลาเซลล์-5-5v-110ma-0-6w. 2021

[21] Samong IOT. **“ AT Command”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.samongiot.com/uncategorized/at-command/. 2018

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.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[22] Department of Lands. **“ศัพท์คอมพิวเตอร์น่ารู้ สำหรับผู้เริ่มต้นและระดับกลางน่าอ่านมาก (3)”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.dol.go.th/it/Pages/ข่าวสาร%20บทความ%20IT/ศัพท์คอมพิวเตอร์น่ารู้-สำหรับผู้เริ่มต้นและระดับกลางน่าอ่านมาก-3.aspx. 2018

[23] นายสโรช ไตรภรณ์, นายนนทวัฒ บุญสุวรรณโน. **“การใช้วิธี CRC (Cyclic Redundancy Checksum)”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.geocities.ws/boonsuwanno1995/page4. 2020

[24] Chatdanai Phakaket. **“NodeRED on Raspberry Pi”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://medium.com/@zchatdanai/nodered-on-raspberry-pi-868f30c1442. 2020

[25] Web Developer. **“Node.js คืออะไร ?”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://code-web-developer.blogspot.com/2014/07/nodejs.html. 2020

[26] PoundXI. **“วิธีใช้งานโปรแกรม Arduino IDE เบื้องต้น”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://poundxi.com/วิธีใช้งานโปรแกรม-arduino-ide-เบื้องต้น/. 2018

[27] IReallyHost. **“Putty โปรแกรม SSH / Remote Server ใช้งานง่าย ขนาดเล็ก”**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.ireallyhost.com/kb/download/154. 2020

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.

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.