

ระบบวัดมลภาวะฝุ่น 2.5 ทางไกล

REMOTE PARTICULATE METTERS 2.5 DETECTION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ 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.

REMOTE PARTICULATE METTERS 2.5 DETECTION SYSTEM



MR. THAMMANOON KERDMANGMEE

MR. PHANUTHUT BOONWONGWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท ระบบวัดมลภาวะฝุ่น 2.5 ทางไกล
REMOTE PARTICULATE METTERS 2.5 DETECTION SYSTEM

นักศึกษา นายธรรมนุญ เกิดมั่งมี รหัสประจำตัว 60010441
นายภาณุรัช บุษวงค์วรรณ รหัสประจำตัว 60010776

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท



(ผศ.ดร.รณน เจียรตระกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบวัดมลภาวะฝุ่น 2.5 ทางไกล	
นักศึกษา	นายธรรมณูญ เกิดมั่งมี	รหัสประจำตัว 60010441
	นายภาณุรัชช บัญวงศ์วรรณ	รหัสประจำตัว 60010776
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ปีการศึกษา	2563	
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.รณน เจียรตระกุล	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบวัดฝุ่น PM 2.5 ประกอบด้วย ชุดของเซนเซอร์ที่ทำการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเคลื่อนด้วยชุดคำสั่งของโปรแกรม และแอปพลิเคชันที่เป็นหน้าเว็บไซต์ที่ใช้แสดงข้อมูลสารสนเทศ เนื่องจากสถานการณ์มลภาวะฝุ่นละอองขนาดเล็กในประเทศไทยมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกๆ ปี จึงได้มีการพัฒนาระบบในการวัดมลภาวะฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5) ทางไกลที่สามารถตรวจวัดระดับมลภาวะทางฝุ่นในพื้นที่อื่นๆ ได้โดยปราศจากความเสี่ยงที่จะต้องสัมผัสกับมลพิษโดยตรง ด้วยวิธีการตรวจระดับมลพิษทางฝุ่นผ่านหน้าเว็บไซต์ได้ตลอดเวลา โดยทำการพัฒนาตัวระบบวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กให้มีศักยภาพและความแม่นยำในการตรวจวัดมลภาวะทางฝุ่น ให้สามารถติดตั้งตามชุมชนที่ห่างไกลจากสถานีตรวจวัดมลภาวะทางฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษที่สามารถดูและเข้าใจได้ง่ายสำหรับประชาชนทั่วไป นอกจากนี้โครงการนี้ยังได้สร้างฐานข้อมูลสำหรับจัดเก็บข้อมูลดัชนีอากาศต่างๆ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการวิเคราะห์หรือพยากรณ์ค่ามลภาวะทางฝุ่นในอนาคตได้ เพื่อให้ประชาชนมีความพร้อมในการรับมือกับปัญหามลภาวะทางฝุ่นที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูหนาวของทุกปีได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลกดต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	Remote Particulate Matters 2.5 Detection System
Student	Mr. Thammanoon Kerdmangmee Mr. Phanuthut Boonwongwan
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2020
Thesis Advisors	Asst.Prof.Dr. Ranon Jientrakul

ABSTRACT

This thesis aims to create a PM 2.5 dust measurement system consisting of a set of sensors connected to a microcontroller driven by a set of instructions for programs and web applications. Sites used to display information due to the situation of small dust pollution in Thailand tends to increase every year. Hence, a system for measuring dust pollution (PM 2.5) long-distance has been developed that can measure the level of dust pollution in other areas. Without the risk of being exposed to direct pollution with a method to view the level of dust pollution through the website at any time. By developing a small dust measurement system to have the potential and accuracy in measuring dust pollution. To be able to be installed in communities far away from the dust pollution measurement station of the pollution control department that can be viewed and understood easily for the general public. In addition, this project has created a database for storing various air index data. To be able to use this information in the analysis or forecast of future dust pollution. To make people better prepared to cope with the increasing dust pollution during winter every year.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง ระบบวัดมลภาวะฝุ่น 2.5 ทางไกล ซึ่งประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ผศ.ดร.รณน เจียรตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการสำหรับความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ขอบคุณทุกคนในครอบครัวและเพื่อนๆ สำหรับความช่วยเหลือตลอดจนคอยเป็นกำลังใจที่ดีให้ตลอดมา และทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายธรรมนุญ เกิดมั่งมี

นายภาณุรัช บัญวงศ์วรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลคต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	5
บทที่ 2 เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 นิยามของคำศัพท์.....	7
2.1.1 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI).....	7
2.1.2 ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5)	8
2.1.3 Internet of Thing (IoT).....	8
2.1.4 Web Applications.....	10
2.1.5 Google Cloud Fire Store	11
2.1.6 Google App Script	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลงต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
2.1.7 การออกแบบและสร้างฐานข้อมูล.....	11
2.1.8 พื้นฐาน IoT ที่ควรต้องรู้ GPIO / UART / I2C.....	12
2.1.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I2C.....	13
2.1.10 รูปแบบข้อมูลที่ส่งไปยังโครงข่ายอินเทอร์เน็ต.....	15
2.1.11 กระบวนการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต.....	18
2.1.12 LoRa WAN Class (LoRa Wide Area Network).....	20
2.1.13 เครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม (IDE - Tools).....	21
2.1.14 Firebase.....	22
2.1.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	22
2.1.16 บอร์ด STM32.....	24
2.1.17 Application Programming Interface (API).....	25
2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ.....	26
2.2.1 การวัดความแม่นยำ (Accuracy).....	27
2.2.2 การวัดความเที่ยง (Precision).....	27
2.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA).....	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	29
3.1 ออกแบบการทำของระบบวัดฝุ่นทางไกล.....	29
3.1.1 ออกแบบรูปแบบการทำงานของระบบวัดฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล.....	30
3.1.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์.....	34
3.1.3 การออกแบบซอฟต์แวร์.....	40
3.1.4 การออกแบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้แสดงผลค่าฝุ่นที่วัดได้จากเซนเซอร์.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แลจต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
3.1.5 วิธีการสร้าง Firebase.....	52
3.2 คัดเลือกเซนเซอร์วัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ที่ใช้ในระบบ.....	53
3.2.1 คัดเลือกเซนเซอร์ต้นทุนต่ำเบื้องต้น.....	53
3.2.2 การวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy).....	54
3.2.3 การวัดค่าความเที่ยงตรง (Precision).....	55
3.2.4 การทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์.....	56
3.2.5 การวัดการบริโภคพลังงาน (Power Consumption) ของเซนเซอร์วัดฝุ่น (PM 2.5).....	57
บทที่ 4 ผลการวิจัย	58
4.1 ผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์.....	58
4.1.1 ผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1.....	58
4.1.2 ผลคัดเลือกเซนเซอร์วัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ที่ใช้ในระบบ.....	58
4.2 ผลของการใช้งานระบบวัดมลภาวะฝุ่นทางไกล.....	68
4.2.1 ผลการใช้งานระบบวัดฝุ่นในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง.....	68
4.2.2 ความเสถียรของสัญญาณ.....	70
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	71
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	71
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	72
5.3 การออกแบบหน้าเว็บไซต์.....	72
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญ

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวกที่ 1 โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้าคอนโทรลเลอร์	77
ภาคผนวกที่ 2 โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้าแผนที่คุณภาพอากาศ	79
ภาคผนวกที่ 3 โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้า JavaScriptAQI_Edit.js.....	88
ภาคผนวกที่ 4 โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้าค้นหาข้อมูลย้อนหลัง	94
ภาคผนวกที่ 5 โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้า JavaScriptSearch.js.....	100
ภาคผนวกที่ 6 โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้าการปฏิบัติตัวในแต่ละระดับความรุนแรง.....	103
ภาคผนวกที่ 7 โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้า Layout.cshtml.....	106
ภาคผนวกที่ 8 โค้ด (Code) Google Apps Script.....	108
ภาคผนวกที่ 9 โค้ด (Code) ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินการ.....	6
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของชุดข้อมูล Uplink ที่อยู่ในรูปแบบ JSON เมื่อใช้โครงข่ายการสื่อสารของ CAT [11]	16
ตารางที่ 2.2 โหมดการส่งสัญญาณของเทคโนโลยี LoRa	21
ตารางที่ 3.1 ต้นทุนในการประกอบอุปกรณ์วัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5).....	37
ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติเซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุนต่ำ.....	54
ตารางที่ 4.1 ค่าฝุ่นในหน่วยดัชนีคุณภาพอากาศที่วัดได้จากตัวอุปกรณ์เทียบกับสถานีวัดฝุ่น	61
ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดและความแม่นยำของแต่ละเซนเซอร์ ดังสมการที่ (3.2) และ (3.3) ตามลำดับ	61
ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปผลการคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละอุปกรณ์ ดังสมการที่ (3.4), (3.5) ตามลำดับ	62
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลต่างของค่าได้วัดได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิด เทียบกับสถานีวัดฝุ่น ดังสมการที่ (3.4) และ (3.5).....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 จำนวนผู้เสียชีวิตจากผลกระทบฝุ่น PM 2.5 ในประเทศไทยช่วงปี พ.ศ.2533-2558	2
รูปที่ 1.2 ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี 2559-2562	3
รูปที่ 2.1 การกำหนดสถานะเริ่มต้นและสถานะสิ้นสุดของ I2C [9]	14
รูปที่ 2.2 สถานะเริ่มต้นและสถานะสิ้นสุดของ I2C BUS [9]	15
รูปที่ 2.3 กระบวนการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ท [12]	18
รูปที่ 2.4 กระบวนการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ท [12]	19
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของ GPIO บนบอร์ด STM32-BL072Z [15]	25
รูปที่ 3.1 ปริมาณสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงกับเวลา [22]	30
รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของเซนเซอร์ PMS7003 [23]	31
รูปที่ 3.3 เว็บไซต์อำนวยความสะดวก Protocol Endpoint โดยบริษัท CAT Telecom PCL	32
รูปที่ 3.4 รูปแบบการทำงานของระวัดฝุ่น (PM2.5) ทางไกล	34
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเครื่องวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5)	38
รูปที่ 3.6 การต่อวงจรรวมของระบบวัดมลภาวะทางฝุ่น	39
รูปที่ 3.7 วงจรรวมที่ถูกประกอบลงในกล่องกันน้ำและแสงแดด	39
รูปที่ 3.8 Housing Sensor	40
รูปที่ 3.9 รูปแบบการทำงานของชุดคำสั่งในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z)	43
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างรูปแบบข้อมูลที่ส่งจาก Network Server ถึงการจัดเก็บในฐานข้อมูล	45
รูปที่ 3.11 การดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผ่านทาง Website	45
รูปที่ 3.12 ส่วนของหน้าที่เป็นหน้าแผนที่คุณภาพอากาศในส่วนบน	48
รูปที่ 3.13 ส่วนของหน้าที่เป็นหน้าแผนที่คุณภาพอากาศในส่วนล่าง	48
รูปที่ 3.14 ส่วนของหน้าที่เป็นหน้าค้นหาข้อมูลย้อนหลัง	50
รูปที่ 3.15 ข้อมูลที่แสดงใน Excel หลังจากทำการกดปุ่ม Export Table Data To Excel File	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า

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

	หน้า
รูปที่ 3.16 ส่วนของหน้าที่เป็นหน้าข้อเสนอแนะในการปฏิบัติตัว	51
รูปที่ 3.17 หน้าแรกของ Firebase.....	52
รูปที่ 3.18 หน้าเพิ่มโครงการ	52
รูปที่ 3.19 ตั้งชื่อโปรเจค.....	53
รูปที่ 4.1 ดัชนีคุณภาพอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 และ PMS7003 เทียบกับ	60
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลจากตัวเซนเซอร์เมื่อเทียบกับสถานีวัดฝุ่น	62
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลจากผลต่างของค่าฝุ่นได้วัดได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิด เทียบกับ สถานีวัดฝุ่น	64
รูปที่ 4.4 Normality Test ของ PM Station.....	64
รูปที่ 4.5 Normality Test ของ PMS5003.....	65
รูปที่ 4.6 Normality Test ของ PMS7003.....	65
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	66
รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean) จากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด	66
รูปที่ 4.9 การใช้กระแสนของเซนเซอร์วัดฝุ่นรุ่น PMS5003 และ PMS7003	67
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) กับความชื้นสัมพัทธ์	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลญต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นโครงการระบบวัดมลภาวะฝุ่น 2.5 ทางไกล โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดความเป็นมาและความสำคัญของการจัดทำปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

- 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
- 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา
- 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์
- 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
- 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

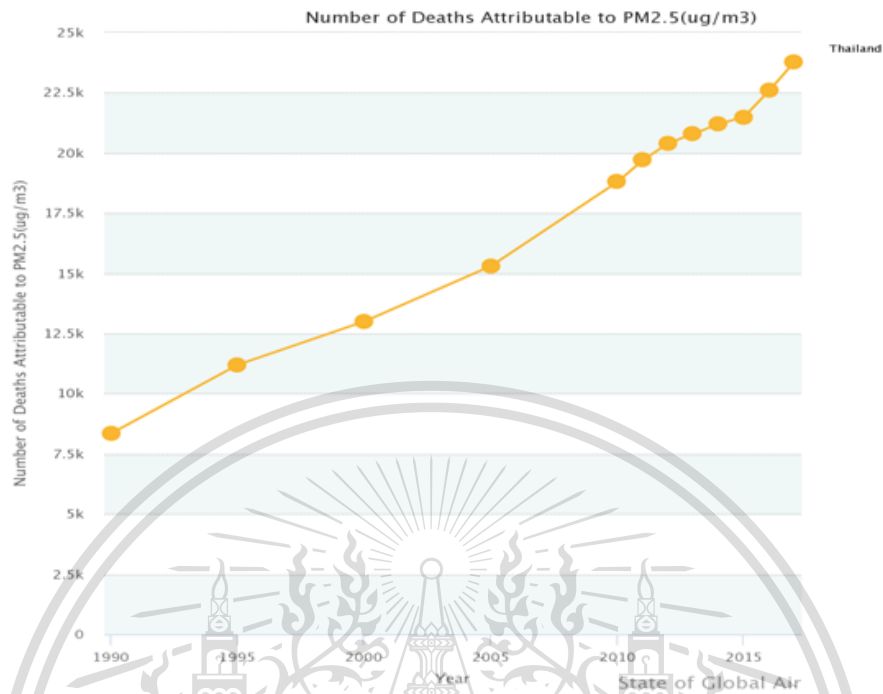
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอดีตที่ผ่านมาช่วงปลายปีพ.ศ.2559 ประเทศไทยของเรานั้นได้ประสบปัญหาหมอกพิษทางฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือที่เรียกกันว่า PM 2.5 เป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กมากเพียงพอที่จะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ โดยความเป็นอันตรายต่อร่างกายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฝุ่นและระยะเวลาที่สัมผัส รวมถึงสภาพร่างกายของผู้ที่สูดหายใจเข้าไป แม้ว่าอาจไม่ส่งผลแบบฉับพลันต่อคนที่มีสุขภาพร่างกายแข็งแรงในทันทีแต่ก็ยังส่งผลในระยะยาวต่อสุขภาพได้ เมื่อสูดหายใจเข้าไปทำให้มีความเสี่ยงในการเกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคปอด โรคหลอดเลือดในสมอง โรคหัวใจขาดเลือด และโรคมะเร็งปอด แต่สำหรับผู้ที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับผลกระทบ คือ เด็กและคนชรา เมื่อสูดหายใจเข้าไปอาจก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจและอาจมีอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล1ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 1.1 จำนวนผู้เสียชีวิตจากผลกระทบฝุ่น PM 2.5 ในประเทศไทยช่วงปี พ.ศ.2533-2558

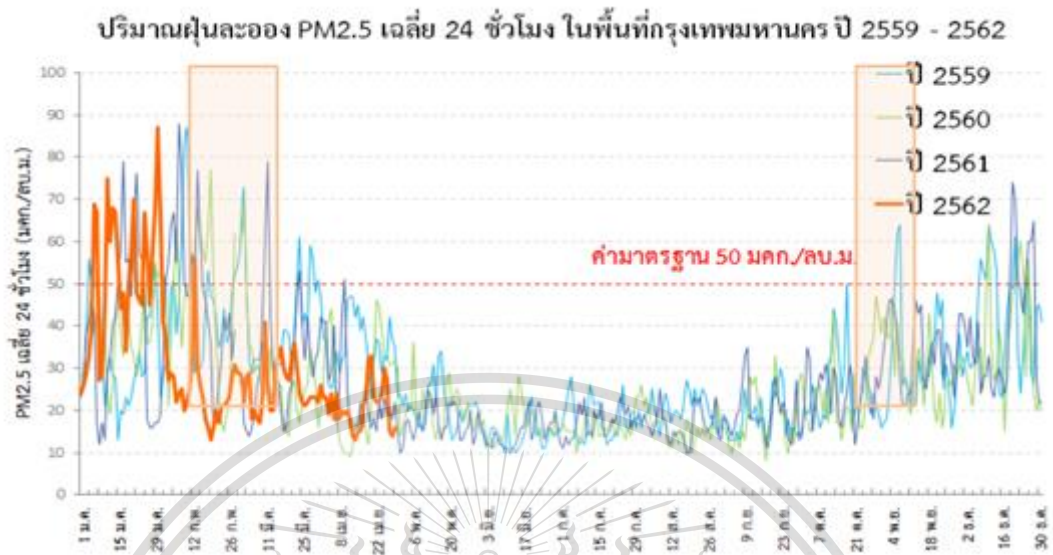
(การวิเคราะห์ข้อมูลล่าสุดใน State of Global Air)

จากรูปที่ 1.1 สามารถสังเกตเห็นได้ว่าจำนวนผู้เสียชีวิตจากการได้รับมลภาวะฝุ่น (PM 2.5) ในประเทศไทยมีแนวโน้มที่สูงขึ้นในทุกปี การที่เราสามารถทราบตำแหน่งที่มีมลภาวะฝุ่น (PM 2.5) ที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ จึงถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญเนื่องจากการรับรู้ล่วงหน้าจะสามารถช่วยให้เรารับมือกับสถานที่ที่เราจำเป็นต้องไปในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ และลดอัตราการเสียชีวิตของบุคคลที่มีความเสี่ยงสูงลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล2ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 1.2 ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ปี 2559-2562
(รายงานสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ปี 2562)

จากรูปที่ 1.2 รายงานงานสถานการณ์ฝุ่นละอองในปี พ.ศ. 2559-2562 ของกรมควบคุมมลพิษ จะเห็นได้ว่าในช่วง 4 ปีที่ผ่านมาแนวโน้มมลภาวะทางฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ได้มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นในช่วงเดือนตุลาคมถึงมีนาคม ซึ่งสังเกตได้ว่าในอดีตที่ผ่านมามลภาวะฝุ่นจะกลับมาในช่วงฤดูหนาวของทุกๆปี เรามีโอกาสที่จะต้องเผชิญกับมลภาวะทางฝุ่นจนอาจเป็นเหมือนเรื่องปกติ ซึ่งถ้าหากเราสามารถที่จะทราบค่ามลภาวะของฝุ่นในตำแหน่งที่อยู่อาศัย รวมถึงสถานที่ที่จำเป็นต้องออกไปทำกิจกรรมหรือธุระในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้อย่างรวดเร็ว จะช่วยให้สามารถเตรียมพร้อมรวมถึงการปฏิบัติตัวในการเผชิญมลภาวะทางฝุ่นได้อย่างปลอดภัยและรวดเร็ว

จากปัญหาด้านมลภาวะทางฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน (PM 2.5) และสถานีวัดฝุ่นที่ไม่สามารถครอบคลุมในพื้นที่ชนบท ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดค่าฝุ่นได้ในระยะไกล โดยใช้แนวคิดของ Internet of Things (IoT) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีเซนเซอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยซอฟต์แวร์ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในการตรวจจับรวมถึงเก็บรวบรวมข้อมูลดัชนีทางอากาศและแอปพลิเคชันที่ใช้ในการแสดงข้อมูลเพื่อให้ผู้ที่ต้องการรับรู้ค่าของมลภาวะทางฝุ่นสามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยง่ายและทันท่วงที โดยการนำเสนอในรูปแบบของรูปภาพและสีในแต่ละตำแหน่งที่มีมลภาวะทางฝุ่นที่เราได้ทำการติดตั้งตัวอุปกรณ์โดยไม่จำเป็นต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบริษัทอื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล3ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โดยปราศจากความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพและช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการเตรียมตัวกรณีที่เป็น
จะต้องเผชิญกับมลภาวะฝุ่นเหล่านี้ได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่เก็บได้เหล่านี้สามารถนำไปวิเคราะห์และสรุปผลเป็น
ข้อมูลเชิงลึกในการพยากรณ์แนวโน้มหรือศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของมลภาวะฝุ่นกับดัชนี
อากาศตัวอื่นๆ ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. พัฒนาตัวอุปกรณ์ (Hardware) และตัวโปรแกรม (Software) ในการตรวจวัดมลภาวะทางฝุ่น
รวมถึงการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแรงดันอากาศ ที่สามารถส่งข้อมูลมาเก็บไว้ในฐานข้อมูลได้
2. พัฒนาแอปพลิเคชัน (Web Application) ในการแสดงผลข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากตัวของ
ฮาร์ดแวร์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. พัฒนาตัวอุปกรณ์หรือตัวฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ทำการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ
2. พัฒนาเว็บไซต์เพื่อแสดงสารสนเทศค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ได้รับมาจากฐานข้อมูล
3. พัฒนาแนวคิดในการจัดเก็บและจัดการฐานข้อมูล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดงบประมาณในการติดตั้งเครื่องวัดดัชนีคุณภาพอากาศ
2. ลดอัตราการป่วยและเสียชีวิตของประชากรกลุ่มเสี่ยงและประชากรทั่วไป
3. เป็นแนวทางในการช่วยสนับสนุนในการตัดสินใจและเตรียมพร้อมแก่ประชากรกลุ่มเสี่ยงและ
ประชากรทั่วไปในกรณีที่มีความจำเป็นจะต้องไปในสถานที่ที่มีความเสี่ยง
4. สามารถติดตั้งและใช้งานได้ง่ายในพื้นที่ชุมชนที่ไม่มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ประสบปัญหา
มลภาวะทางฝุ่น
5. เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาศึกษาแนวโน้มและใช้วิเคราะห์ เพื่อประโยชน์ในการทำนาย
และศึกษาในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับดัชนีการวัดสภาพอากาศในประเทศไทยและศึกษากฎหมายที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่สามารถกระจายคลื่นความถี่ในระยะไกล
2. พัฒนาตัวอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ทำการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ
3. พัฒนาหน้าเว็บไซต์หรือแอปพลิเคชันเพื่อใช้รับหรือดูสารสนเทศจากตัวของฮาร์ดแวร์
4. พัฒนาฐานข้อมูลให้มีความกระชับง่ายต่อการใช้งานและเข้าถึงในการนำไปต่อยอดด้านการวิเคราะห์หรือศึกษาความสัมพันธ์
5. ทดลองการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลขึ้นแสดงบนหน้าเว็บไซต์ และปรับปรุงรายละเอียดเพิ่มเติม
6. พัฒนาข้อกำหนดทางการสื่อสาร (Protocol) ที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างหน้าเว็บไซต์กับตัวอุปกรณ์ตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและทดลองการรับและส่งข้อมูลเมื่อมีการเรียกใช้ข้อกำหนดทางการสื่อสาร (Protocol)
7. ทดลองนำอุปกรณ์ไปตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและนำมาปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่มีความผิดพลาด
8. รวบรวมเนื้อหาและทฤษฎีทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล5ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ตารางการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2563					พ.ศ. 2564				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับดัชนีการวัดสภาพอากาศและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์	↔									
2.พัฒนาตัวอุปกรณ์และซอฟต์แวร์		↔								
3.พัฒนาหน้าเว็บไซต์หรือแอปพลิเคชัน			↔							
4.พัฒนาฐานข้อมูลให้มีความกระชับง่ายต่อการใช้งานและเข้าถึง						↔				
5.ทดลองการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลขึ้นแสดงบนหน้าเว็บไซต์							↔			
6.พัฒนาข้อกำหนดทางการสื่อสาร (Protocol) ที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างหน้าเว็บไซต์กับตัวอุปกรณ์ตรวจวัด							↔			
7.ทดลองนำอุปกรณ์ไปตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและนำมาปรับปรุงแก้ไขในจุดที่มีความผิดพลาด								↔		
8.รวบรวมเนื้อหาและทฤษฎีทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									↔	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 2

เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นโครงการระบบวัดมลภาวะฝุ่น 2.5 ทางไกล โดยทำการศึกษาเอกสารสิ่งที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีที่ใช้ โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้กับปฏิญานิพนธ์ มีดังต่อไปนี้

2.1 นิยามของค่าดัชนี

2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ

2.1 นิยามของค่าดัชนี

2.1.1 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI)

เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อให้ประชาชนทั่วไปได้รับทราบถึงสถานการณ์ ในปัจจุบันดัชนีคุณภาพอากาศที่ใช้ในประเทศไทยคำนวณโดยเทียบจากมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของสารมลพิษทางอากาศ 6 ประเภท [1] ได้แก่

- ก๊าซโอโซน (O_3) เฉลี่ย 8 ชั่วโมง
- ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง
- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย 8 ชั่วโมง
- ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง
- ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง
- ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

ซึ่งมีสูตรการคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ของกรมควบคุมมลพิษ ดังนี้

$$I = \frac{I_j - I_i}{X_j - X_i} (X - X_i) + I_i \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เมื่อเอกสารค่าดัชนีคุณภาพอากาศงาน X = ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากการตรวจวัดด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

X_i, X_j = ค่าต่ำสุด, สูงสุด ของช่วงความเข้มข้นสารมลพิษที่มีค่า X

l_i, l_j = ค่าต่ำสุด, สูงสุด ของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ตรงกับช่วงความเข้มข้น X จากค่าดัชนีย่อยที่คำนวณได้ สารมลพิษทางอากาศประเภทใดมีค่าดัชนีสูงสุดจะใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ณ ช่วงเวลานั้น

2.1.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5)

เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน อาจเทียบอย่างง่ายว่ามีขนาดประมาณ 1 ใน 25 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมมนุษย์ เล็กขนาดที่ขนจมูกของมนุษย์นั้นไม่สามารถกรองได้ ซึ่งเกิดจากการเผาในที่โล่ง การคมนาคมขนส่ง การผลิตไฟฟ้า รวมถึงกระบวนการอุตสาหกรรม ทำให้ฝุ่นละอองชนิดนี้สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใจ กระแสเลือด และแทรกซึมสู่กระบวนการทำงานในอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เพิ่มความเสี่ยงเป็นโรคทางเดินหายใจได้ [2]

2.1.3 Internet of Thing (IoT)

Internet of Things (IoT) เป็นกรอบแนวคิดของระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลากหลายชนิด ตั้งแต่คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์โครงข่าย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ และวัตถุต่างๆ เข้าด้วยกัน ส่งผลให้ระบบต่างๆ สามารถติดต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างอัตโนมัติ ทำให้การควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในปัจจุบันสามารถจัดกลุ่มการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตได้ตามรูปแบบ [3, 4] ดังต่อไปนี้

1. การเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้น (Short-Range Devices) เป็นรูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระยะสั้นมาก โดยใช้กำลังในการส่งต่ำเหมาะกับการสื่อสารในพื้นที่ครอบคลุมขนาดเล็ก ซึ่งอยู่ในลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ (Peer-to-Peer) หรือ การเชื่อมต่อแบบโครงข่าย ตัวอย่างของการเชื่อมต่อในลักษณะดังกล่าว ได้แก่ WIFI, Bluetooth

2. การเชื่อมต่อผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นรูปแบบการให้บริการที่มีพื้นที่ครอบคลุมกว้าง โดยอาศัยการเชื่อมต่ออุปกรณ์เครื่องลูกข่าย IoT เข้ากับโครงสร้างพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอยู่แล้ว ตัวอย่างของการเชื่อมต่อในลักษณะดังกล่าว ได้แก่ NB-IoT และ LTE-M

3. การเชื่อมต่อผ่านโครงข่าย LPWAN เป็นรูปแบบการเชื่อมต่อผ่านโครงข่ายกำลังการส่งต่อบริเวณกว้าง Low Power Wide Area Network (LPWAN) โดยเน้นใช้งานในลักษณะการสื่อสารแบบ Narrow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล8ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Band หรือ Ultra-Narrow Band ที่มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ ประหยัดพลังงาน และมีราคาอุปกรณ์ต่อหน่วยที่ต่ำ ตัวอย่างการเชื่อมต่อในลักษณะดังกล่าว ได้แก่ LoRaWAN, SigFox

4. การเชื่อมต่อผ่านข่ายสื่อสารดาวเทียม ซึ่งมีความเหมาะสมกับการใช้งานที่มีพื้นที่ครอบคลุมการให้บริการที่กว้างมาก แต่การเชื่อมต่องดกล่าวจะมีระยะเวลาในการตอบสนอง (Latency) ที่ช้ากว่าการเชื่อมต่อในรูปแบบอื่นๆ เนื่องจากระยะเวลาที่สัญญาณเดินทางไป-กลับระหว่างอุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นโลกและดาวเทียม

ประโยชน์ของ Internet of Things

เมื่อ Internet of Things เริ่มเข้ามามีอิทธิพลในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น (Michael S. Smith, 2015) ย่อมส่งผลใน 3 ระดับคือ

1. ระดับบุคคล (Personal Use) โดย Internet of Things จะเปลี่ยนแปลงวิถีการดำเนินชีวิตของทุกคน การสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ สามารถทำได้ง่าย ข้อมูลจำนวนมากจะส่งตรงไปยังผู้ใช้ การอำนวยความสะดวกในการใช้งานและบริการต่างๆ จะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

2. ระดับรัฐบาล (Government Use) การเข้ามาของเทคโนโลยี Internet of Things นำไปสู่แผนและกลยุทธ์ในการพัฒนาประเทศของหลายๆ ประเทศ ที่ต้องปรับเปลี่ยนยุทธศาสตร์ หรือนโยบาย โดยนำเอาแนวคิด Internet of Things มาเป็นเครื่องมือในการนำประเทศไปสู่ “Smart cities” เพื่อช่วยให้การบริหารจัดการทรัพยากรต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดค่าใช้จ่าย และใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

3. ระดับโลก (Global Use) เป็นผลจากพลวัตกรรมการใช้อินเทอร์เน็ตของคนทั่วโลก ส่งผลให้การพัฒนา Internet of Things มีพัฒนาการอย่างรวดเร็วทุกคนทั่วโลกสามารถเข้าถึงบริการ Internet of Things ได้จากเครือข่ายทั่วโลก

ความเสี่ยงจากระบบ Internet of Things

จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศซึ่งถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำธุรกรรมหรือการติดต่อสื่อสารจึงก่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อภัยคุกคามและการก่ออาชญากรรมทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถส่งผลกระทบต่อวงกว้างได้อย่างรวดเร็วและมีความรุนแรงมากขึ้นองค์กร OWASP หรือ Open Web Application Security Project องค์กรพัฒนาระบบความปลอดภัยบนซอฟต์แวร์ได้ทำการวิจัยเพื่อค้นหาความเสี่ยงหรืออันตรายที่มีต่อ IoT [4] สรุป 10 อันดับได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1. เว็บไซต์หรือแอปพลิเคชันไม่ปลอดภัยเกิดจากเว็บที่มีระบบลงทะเบียนผู้ใช้ไม่รัดกุม ส่งผลให้ข้อมูลอาจถูกขโมยหรืออุปกรณ์อาจถูกแย่งสิทธิ์ควบคุมได้
2. การพิสูจน์ตัวตน หรือการกำหนดสิทธิ์ไม่เพียงพอทำให้มิจฉาชีพสามารถเดารหัสผ่านได้ หรือใช้กลไกกู้คืนรหัสผ่านที่ไม่ปลอดภัยส่งผลให้ข้อมูลอาจถูกขโมยหรืออุปกรณ์อาจถูกแย่งสิทธิ์ควบคุมได้
3. บริการด้านเครือข่ายไม่ปลอดภัย ระบบให้บริการเครือข่ายมีช่องโหว่ต่อการถูกโจมตี ทำให้มิจฉาชีพมีช่องทางในการโจมตีอุปกรณ์ต่างๆ ได้
4. การเข้ารหัสข้อมูลไม่แข็งแกร่งทำให้มิจฉาชีพสามารถแอบดูข้อมูลที่ส่งผ่านระบบเครือข่ายได้ ส่งผลให้ข้อมูลสำคัญถูกขโมยหรือเปิดเผยสู่สาธารณะได้
5. นโยบายความเป็นส่วนตัวส่วนบุคคล หากมิจฉาชีพเจาะระบบเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้ที่ไม่มีมีการป้องกันอย่างเพียงพอ ส่งผลให้ข้อมูลส่วนตัวถูกขโมยหรือเปิดเผยสู่สาธารณะได้
6. คลาวด์อินเทอร์เน็ตไม่ปลอดภัย มิจฉาชีพอาจเข้าถึงข้อมูล หรือเข้าควบคุมระบบผ่านทางคลาวด์เว็บไซต์ส่งผลให้ข้อมูลอาจถูกขโมย หรืออุปกรณ์อาจถูกแย่งสิทธิ์ควบคุมได้
7. โนบายล์อินเทอร์เน็ตไม่ปลอดภัย มิจฉาชีพใช้วิธีการในการเข้าถึงข้อมูลหรือเข้าควบคุมระบบผ่านทางอินเทอร์เน็ตของอุปกรณ์โนบายล์ ส่งผลให้ข้อมูลอาจถูกขโมยหรืออุปกรณ์อาจถูกแย่งสิทธิ์ควบคุมได้
8. การตั้งกฎความปลอดภัยไม่ดีพอ อุปกรณ์ที่มีการกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลและการควบคุมไม่ดีพอ มิจฉาชีพอาจใช้ช่องโหว่เรื่องการเข้ารหัส หรือการใช้รหัสผ่านที่ง่ายจนเกินไปในการโจมตีอุปกรณ์หรือเข้าถึงข้อมูลสำคัญส่งผลให้อุปกรณ์ถูกเจาะระบบเพื่อขโมยข้อมูลได้
9. ซอฟต์แวร์ไม่ปลอดภัย มิจฉาชีพอาจตรวจจับการอัปเดตผ่านช่องทางที่ไม่มีการเข้ารหัส ทำให้สามารถส่งไฟล์อัปเดตปลอมได้ส่งผลให้ข้อมูลอาจถูกขโมยหรืออุปกรณ์อาจถูกแย่งสิทธิ์ควบคุมได้
10. ปัญหาเชิงกายภาพของอุปกรณ์รักษาความปลอดภัย อุปกรณ์รักษาความปลอดภัยไม่ได้ปิดกั้นหรือควบคุมการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เก็บข้อมูล ซึ่งอาจถูกใช้เป็นช่องทางในการเข้าถึงระบบปฏิบัติการหรือข้อมูลที่เก็บอยู่ในอุปกรณ์ ส่งผลให้อุปกรณ์ถูกเจาะระบบเพื่อขโมยข้อมูลออกไปได้

2.1.4 Web Applications

การพัฒนาบบงานบนเว็บเหมาะสำหรับงานที่ต้องการข้อมูลแบบ Real Time ระบบมีประสิทธิภาพ แต่มีการใช้งานง่าย เว็บแอปพลิเคชันแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ เทคโนโลยีฝั่งผู้ใช้งาน (Client-Side-Technology) และ เทคโนโลยีฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server-Side-Technology) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แล10้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.1.5 Google Cloud Fire Store

เป็นการบริการฐานข้อมูลแบบ NoSql ที่จัดเก็บอยู่ในรูปแบบ Document แต่จะถูกพัฒนาอยู่บน Google Cloud Platform ทำให้สามารถเชื่อมต่อบริการต่างๆ ของ Google และ Firebase ได้ โดยในบริการ Cloud Fire Store สามารถระบุชนิดของข้อมูลได้ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลที่เป็นข้อความ [6] ข้อมูลที่เป็นตัวเลข และในส่วนของข้อมูลที่มีความซับซ้อนมีการซ้อนกันของข้อมูลหลายๆ สามารถสร้างเป็น Subcollections ภายใน Document และแบ่งข้อมูลเป็นลำดับชั้น เพื่อที่จะรองรับข้อมูลในอนาคตที่มีการเพิ่มขึ้นได้ในกระบวนการ Query ข้อมูลใน Cloud Fire Store มีประสิทธิภาพและทำให้การทำงานสะดวกขึ้น

2.1.6 Google App Script

เป็นแพลตฟอร์มการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยสามารถใช้งานได้ฟรีช่วยในการสร้างแอปพลิเคชันอย่างง่ายได้รวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถทำงานร่วมกับ Google Workspace หรือ Platform อื่นๆ ของทาง Google ได้โดยการเขียนโค้ดด้วย JavaScript นอกจากนี้ยังมีไลบรารีเสริมที่ช่วยให้เราสามารถพัฒนาหรือเชื่อมโยงกับส่วนอื่นๆ ของ Google Workspace เช่น Google Docs, Google Sheets, Google Slides และ Google Forms สำหรับตัวของ Google App Script นี้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมใดๆ เนื่องจากได้อำนวยความสะดวกให้สามารถแก้ไขโค้ดในเบราว์เซอร์ได้ และสคริปต์ของเราจะทำงานบนเซิร์ฟเวอร์ของ Google

2.1.7 การออกแบบและสร้างฐานข้อมูล

ฐานข้อมูล (Database) เป็นการเก็บข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันให้อยู่ในหัวเรื่องหรือจุดประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งเมื่อได้รับการจัดหมวดหมู่แล้วจะทำให้สามารถนำเอกสารนั้นๆ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

ระบบฐานข้อมูล (Database System) เป็นระบบที่รวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันเข้าไว้ด้วยกันอย่างมีระบบและมีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ชัดเจน ในระบบฐานข้อมูลจะประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลที่มีข้อมูลเกี่ยวข้องหรือมีความสัมพันธ์เข้าไว้ด้วยกันอย่างเป็นระบบ โดยแต่ละแฟ้มข้อมูลจะประกอบด้วยข้อมูลส่วนย่อยๆ หรือฟิลด์ (Field) หลายส่วนที่มีความสัมพันธ์กันและข้อมูลในแต่ละชุดที่ถูกจัดเก็บในแฟ้ม หรือระเบียน (Record) โดยในการจัดเก็บจะแยกออกเป็นแฟ้มทำให้มีประสิทธิภาพการใช้งานและการบำรุงรักษาที่ดีกว่า [7]

เขตของข้อมูล (Field) การนำหน่วยข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันมารวมเข้าด้วยกันและก่อให้เกิด

ความหมาย เช่น ชื่อกับนามสกุลของบุคคล ซึ่งให้ความหมายว่าเป็นบุคคลใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Primary key คือ คีย์หลักที่กำหนดจากฟิลด์ที่ไม่มีข้อมูลซ้ำซ้อน (Unique) ในตารางเดียวกันโดยเด็ดขาดและจะต้องมีค่าเสมอ เป็นค่าว่าง (Null) ไม่ได้ สามารถนำมาจัดเรียงลำดับและแยกแยะข้อมูลแต่ละรายการออกจากกันได้เป็นอย่างดี

Foreign Key คือ คีย์นอกเป็นคีย์ที่เชื่อมตารางที่เกี่ยวข้องหรือมีความสัมพันธ์กันเข้าด้วยกัน

Candidate Key คือ คีย์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคีย์หลัก (Primary Key) หรือสามารถแทนคีย์หลักได้ วิธีการในการออกแบบฐานข้อมูล

1. การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องการ
2. กำหนดโครงสร้างของตาราง
3. กำหนดคีย์
4. การทำ Normalization
5. การกำหนดความสัมพันธ์

2.1.8 พื้นฐาน IoT ที่ควรต้องรู้ GPIO / UART / I2C

GPIO ย่อมาจาก General Purpose Input/Output หรือเรียกเป็นภาษาไทยง่ายๆ ว่าพอร์ตเอนกประสงค์ ซึ่งเราสามารถที่จะควบคุมให้เป็น "1" หรือ "0" ได้ตามใจชอบ (การสั่งเปิด หรือ ปิดการทำงานจ่ายไฟ ไม่จ่ายไฟ เป็นต้น) โดยที่จะสามารถควบคุมได้แต่ละ PIN เหมือนไมโครคอนโทรลเลอร์ การเข้าใจจุดประสงค์ของ GPIO นั้นเป็นพื้นฐานเบื้องต้นในการศึกษาวิจัยสร้างระบบวัดมลภาวะฝุ่นทางไกล (PM 2.5) เนื่องมีการใช้ตัวของเซนเซอร์ตรวจจับที่หลากหลายต่อร่วมกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072Z) เช่น เซนเซอร์วัดมลภาวะทางฝุ่น (PMS7003) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ แรงดัน และความชื้น (BME 280) เป็นต้น ซึ่งการใช้งาน GPIO มีสิ่งที่ต้องพึงระมัดระวังให้มากเป็นพิเศษ คือ เรื่อง "การต่อสายสัญญาณ" โดยเฉพาะแหล่งจ่ายไฟ เนื่องจากบาง GPIO ทนแรงดันไฟฟ้าได้แค่ 3.3V เท่านั้น ดังนั้นถ้าหากต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ จะพังทันทีไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไปและไม่สามารถเปลี่ยน หรือซ่อมแซมได้ ดังนั้นในการใช้งานแหล่งจ่ายไฟเข้าสู่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072Z) จึงควรศึกษาคู่มือของ GPIO และเซนเซอร์ที่ใช้อย่างระมัดระวัง

UART หรือชื่อเต็ม Universal Asynchronous Receiver and Transmitter เป็นการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Serial Communication) ระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งนิยมใช้เป็นการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยกัน การทำงานแบบอะซิงโครนัส หมายความว่าไม่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) ส่งออกมาจากตัวส่ง หรือตัวรับเพื่อกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล แต่จะกำหนดผ่านโดยการตั้งความเร็วในการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ดังกล่าวแทน [8] UART จะอนุญาตให้มีการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เพียงสองชิ้นเท่านั้นซึ่งได้แก่ ตัวส่ง (Transmitter) และตัวรับ (Receiver) และยังเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) หรือสามารถสื่อสารได้สองทิศทางในเวลาเดียวกัน เมื่อการทำงานเริ่มต้นขึ้น ตัวส่งจะแปลงข้อมูลแบบขนานให้เป็นข้อมูลแบบอนุกรมแล้วส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังตัวรับ ซึ่งจะแปลงข้อมูลอนุกรมนั้นกลับไปเป็นแบบขนานตามเดิม การกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ผ่านการเพิ่มบิตเริ่มต้น (Start Bit) และบิตปิดท้าย (Stop Bit) ลงไปในข้อมูล บิตเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวบ่งบอกถึงจุดเริ่มต้นและจุดจบของข้อมูลที่จะส่งออกไป ซึ่งจะทำให้ตัวรับรู้ว่าจะต้องเริ่มอ่านข้อมูลดังกล่าวได้เมื่อใด เมื่อตัวรับสามารถตรวจจับบิตเริ่มต้นได้ ตัวรับจะเริ่มอ่านบิตที่ตามมาด้วยความถี่ที่เรียกว่าอัตราบอด (Baud Rate) ทั้งตัวรับ และตัวส่งจะต้องทำงานในอัตราบอดเดียวกัน หรือต้องมีค่าคลาดเคลื่อนไม่สูงกว่า 10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

สำหรับตัว STM32-BL072Z มีการเชื่อมต่อแบบ UART กับตัวของคอมพิวเตอร์ สิ่งควรระวัง คือ การกำหนด STMicroelectronics ของบอร์ดกับคอมพิวเตอร์ให้ตรงกัน ซึ่งทางบริษัท STMicroelectronics ได้กำหนด STMicroelectronics ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072Z) ที่ใช้ในการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ไว้ คือ “115200” จะทำให้สามารถอ่านค่าของสัญญาณที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์หรือรับค่าสัญญาณที่ส่งมาจากตัวบอร์ดได้

2.1.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I2C

I2C ย่อมาจาก Inter-Integrated Circuit นิยมเรียกสั้นๆ ว่า I2C (ไอ-แอสคว-ซี-บัส) เป็นการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Synchronous) การส่งกลุ่มข้อมูลแบบต่อเนื่องกันไป โดยบิตที่ทยอยส่งเข้ามาจะมีการรวมกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า เฟรม หรือบล็อก เมื่อข้อมูลมาถึงปลายทางฝั่งรับจะทำหน้าที่นับจำนวนบิตและจับกลุ่มเป็นไบต์ ซึ่งการส่งวิธีนี้จะไม่มีความจำเป็นที่บิตเริ่มและบิตจบทำให้ฝ่ายรับไม่สามารถทราบได้เลยว่าข้อมูลที่ส่งมาครบหรือยัง ดังนั้นการควบคุมจังหวะเวลาให้สอดคล้องกันระหว่างอุปกรณ์จึงกลายเป็นสิ่งสำคัญคือ ทั้งฝั่งส่งและฝั่งรับจะต้องทำงานสอดคล้องกันตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา I2C นั้นเป็นรูปแบบการสื่อสารข้อมูลอย่างหนึ่งที่สร้างขึ้นมาเพื่อสื่อสารข้อมูลความเร็วต่ำ นิยมใช้กับอุปกรณ์จำพวกไมโครโพรเซสเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นต้น ข้อดีของการสื่อสารอนุกรมแบบ I2C คือ สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้หลายอุปกรณ์ในบัสเดียวกัน การเชื่อมต่อระบบด้วยการสื่อสารอนุกรมแบบ I2C ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นในการรับ-ส่ง

ข้อมูล ทำให้สามารถลดสายสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ลงมาก โดยสายสัญญาณทั้ง 2 เส้นแบ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล13้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

SDA (Serial Data) คือ สายสัญญาณสำหรับรับ-ส่งข้อมูล

SCL (Serial Clock) คือ สายสัญญาณนาฬิกาใช้เพื่อเป็นสำหรับควบคุมการรับ-ส่งข้อมูล

การเขียน-อ่านข้อมูลกับอุปกรณ์แบบ I2C

การรับ-ส่งข้อมูลแบบ BUS MCU จะเริ่มต้นการส่งข้อมูลตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

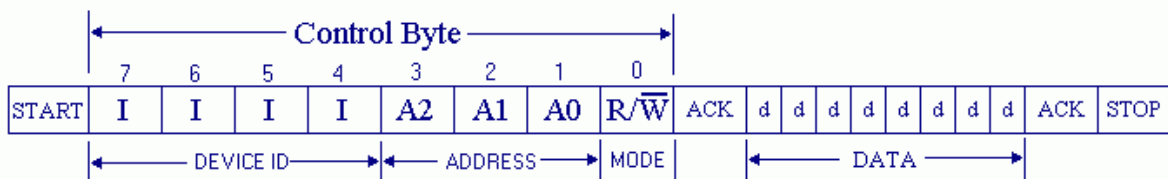
1. ส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) เพื่อแสดงการขอใช้บัส
2. แล้วตามด้วยรหัสควบคุม (Control Byte) ซึ่งประกอบด้วยรหัสประจำตัวอุปกรณ์ Device ID, Device Address, และ Mode ในการเขียนหรืออ่านข้อมูล
3. เมื่ออุปกรณ์รับทราบว่ามีข้อมูลที่ต้องการจะติดต่อด้วยต้องส่งสถานะรับรู้ (Acknowledge) หรือแจ้งให้ MCU รับรู้ว่ามีข้อมูลที่ส่งมาที่มีความถูกต้อง
4. เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่งสถานะสิ้นสุด (STOP Conditions) เพื่อบอกกับอุปกรณ์ว่าสิ้นสุดการใช้บัส

ลักษณะการกำหนดสถานะเริ่มต้นและสถานะสิ้นสุดของ I2C BUS

เมื่อต้องการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) คือให้ SDA เปลี่ยนจาก 1 มาเป็น 0 ในขณะที่ SCL มีค่าเป็น 1

เมื่อสิ้นสุดการการใช้บัส MCU จะต้องส่งสถานะสิ้นสุด (STOP Conditions) คือให้ SDA เปลี่ยนจาก 0 มาเป็น 1 ในขณะที่ SCL มีค่าเป็น 1

ซึ่งโดยปกติแล้วทางบริษัทผู้พัฒนามีคู่มือหรือรายละเอียดรวมถึงไลบรารีให้สามารถดาวน์โหลดมาใช้ได้ฟรี เพื่อความสะดวกในการเขียนหรือพัฒนาตัวโปรแกรมต่างๆ สำหรับไลบรารีนั้นก็ขึ้นอยู่กับผู้พัฒนาและรุ่นของตัวเซนเซอร์ที่เราเลือก สำหรับการศึกษาวิจัยสร้างระบบวัดมลภาวะฝุ่นทางไกล (PM 2.5) ได้มีการใช้ตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ แรงดัน และความชื้น (BME280) เป็นเซนเซอร์ที่มีการสื่อสารแบบ I2C (ไอ-แอสคว-ซี-บัส)

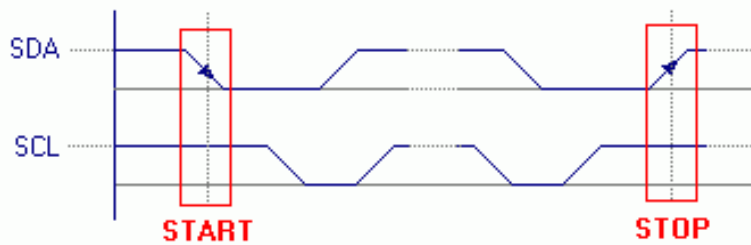


รูปที่ 2.1 การกำหนดสถานะเริ่มต้นและสถานะสิ้นสุดของ I2C [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูป 2.2 สถานะเริ่มต้นและสถานะสิ้นสุดของ I2C BUS [9]

2.1.10 รูปแบบข้อมูลที่ส่งไปยังโครงข่ายอินเทอร์เน็ต

สำหรับรูปแบบของข้อมูลที่ถูกส่งจากตัวอุปกรณ์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072Z) ไปยังโครงข่ายอินเทอร์เน็ตในการศึกษาวิจัยนี้ใช้โครงข่ายการสื่อสารของ CAT Telecom PCL เพื่อส่งข้อมูลต่างๆ ไปยัง Application Sever ตัวอุปกรณ์ (End-Node) หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072Z) จะทำการส่งข้อมูลในรูปแบบของ JSON ซึ่งย่อมาจาก JavaScript Object Notation ซึ่งถือว่าเป็น Standard Format อย่างหนึ่งที่เป็น Text สามารถอ่านออกได้ด้วยตาเปล่า สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลระหว่าง Application หรือ Applications Program Interface (API)

สรุปประเภทของ JSON [10]

1. Number: ตัวเลขเท่านั้น
2. String: Unicode ใช้เครื่องหมาย Double-Quote (“) เป็นตัวบ่งบอกและสามารถใช้ Backslash Syntax ได้ Boolean: True or False
3. Array: ชุดข้อมูลซึ่งจะเป็นชนิดใดก็ได้ใช้สัญลักษณ์ Square Bracket [var1, var2] เป็นตัวแสดงและคั่นด้วย Comma แต่ละค่าใน Array
4. Object: ชุดของข้อมูลที่เป็นคู่ Key-Value แบบ Strings ใช้สัญลักษณ์ปีกกา {key1:value1, key2:value2} ใช้ Comma เป็นตัวแบ่งแต่ละคู่และใช้ Colon เป็นตัวแบ่งระหว่าง Key และ Value
5. Null: คำว่าง

สำหรับ JSON จะไม่สนใจ Whitespace (ช่องไฟ) มีเพียงแค่ 4 แบบที่อยู่ในกลุ่ม Whitespace คือ Space, Tab, Newline (\n) และ Carriage Return (\r) และไม่มีสัญลักษณ์ Comment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การกำกับดูแลของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถที่จะกำหนด Payload ได้ 3 รูปแบบซึ่ง ได้แก่ Raw, Ascii String และ Cayenne LPP

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

RAW - เป็นการบันทึกข้อมูลโดยไม่ผ่านการประมวลผลใดๆ เลย เช่น ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับ Ascii - มาจาก American Standard Code for Information Interchange แปลว่า รหัสมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาเพื่อการสับเปลี่ยนสารสนเทศเป็นรหัสมาตรฐานแบบหนึ่งที่ใช้แทนตัวอักษรต่างๆ

Cayenne LPP - จะประกอบด้วยโครงสร้างข้อมูล JSON และข้อมูล “payload_parsed” ที่ได้จากการถอดรหัสของข้อมูลตามรูปแบบแอปพลิเคชัน Cayenne ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันสำหรับแสดงข้อมูลในรูปแบบภาพและมาตรวัดค่าต่างๆ

Payload หรือที่เรียกกันว่า JWT Claim คือ ส่วนที่ทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ที่เราต้องการส่งไปใน Token เช่น ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ใช้งาน ข้อมูลสถานะต่างๆ หรือว่าอะไรก็ได้ที่เราต้องการจะเก็บ โดยจะทำการเก็บเป็นข้อมูลในรูปของ JSON Object ซึ่งได้ทำการสรุปรูปแบบของ JSON Object ที่ต้องรู้เมื่อใช้โครงข่ายของ CAT Telecom ในเบื้องต้น ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของชุดข้อมูล Uplink ที่อยู่ในรูปแบบ JSON เมื่อใช้โครงข่ายการสื่อสารของ CAT [11]

รูปแบบ	คำอธิบาย
TIME	เวลาที่ข้อมูล Uplink ถูกส่งไปยัง Application Server โดยแสดงในรูปแบบ “yyyy-MM-ddTHH:mm:ss.ff+07:00” เช่น 2018-09-10T15:12:29.56+07:00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล16ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

รูปแบบ	คำอธิบาย
DevEUI	Device Extended Unique Identifier เป็นค่าระบุตัวอุปกรณ์ (End-Device ID) ซึ่งอยู่ในรูปแบบเลขฐาน16 ตามมาตรฐาน IEEE64 โดย LoRa Alliance ได้ให้นิยามว่าเป็นค่ามาตรฐานสากลที่ใช้และมีเพียงหนึ่งเดียวเท่านั้น จึงกำหนดเป็น Global End-Device ID
DevAddr	Device Address เป็นค่าระบุตัวอุปกรณ์ (End-Device ID) ที่ใช้สำหรับจัดสรรอุปกรณ์ภายในโครงข่ายนั้นๆ ซึ่งอยู่ในรูปแบบเลขฐาน16 จำนวน 8 บิต
FCntDn	Frame Counter Downlink คือ ค่าแสดงจำนวนเฟรมของข้อมูลฝั่ง Downlink ไปยังอุปกรณ์ โดยค่า FCntDn จะใช้สำหรับอ้างอิงการรับส่งข้อมูลสำหรับผู้ใช้งาน หรืออาจใช้สำหรับอ้างอิงการสื่อสารข้อมูลต่อเนื่อง หรือตรวจสอบอุปกรณ์ว่ามีการรีเซ็ต/รีสตาร์ทหรือไม่
Payload_hex	เฟรมที่ใช้สำหรับส่งค่าข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปแบบเลขฐาน 16 โดยอุปกรณ์ปลายทาง (End Device) ที่ต่อกับเซนเซอร์ต่างๆ เมื่อตรวจวัดค่าได้แล้วจะนำข้อมูลมาบรรจุเข้าเฟรมข้อมูลและเตรียมส่งผ่านโครงข่ายไปยังแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

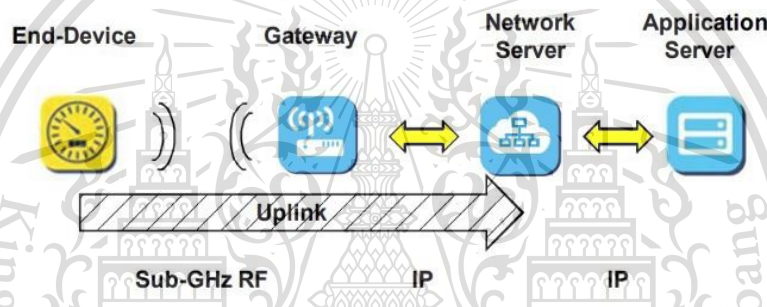
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

2.1.11 กระบวนการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต

กระบวนการส่งข้อมูลสถานะทางฝุ่นที่เก็บได้นั้นจะถูกส่งผ่านตัวอุปกรณ์หรือตัวบอร์ด (End-Node) STM32-BL072Z LoRaWAN ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำไปยังโครงข่ายอินเทอร์เน็ต (Network Sever) ของ CAT Telecom PCL ซึ่งสามารถจำแนกส่วนประกอบในการเชื่อมต่อออกเป็น 4 ส่วน [13] ได้แก่

1. End-Devices
2. Concentrator/Gateway
3. Network Server
4. Application Server



รูปที่ 2.3 กระบวนการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต [12]

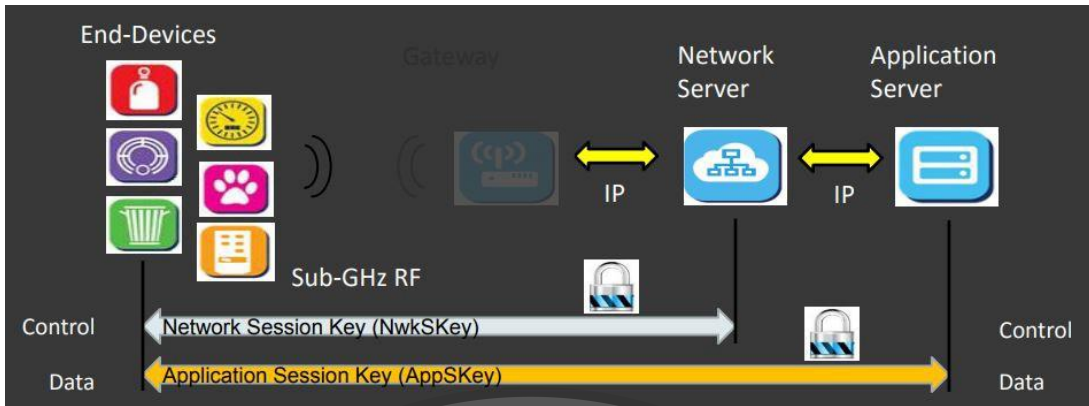
การเชื่อมต่อระหว่าง End-Device กับ Gateway จะทำผ่านเทคโนโลยีของ LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) ที่เป็นเทคโนโลยีส่งข้อมูลผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ แต่หลังจากส่งไปยัง Gateway แล้วจะเป็นระบบการเชื่อมต่อแบบ IP Base ซึ่งเราจะใช้เครือข่ายของ CAT Telecom PCL ก่อนที่ตัวอุปกรณ์หรือตัวบอร์ด (End-Node) ของเราจะทำการส่งข้อมูลไปยัง Gateway ได้จำเป็นจะต้องผ่านกระบวนการ Activated จาก Network โดยจำเป็นจะต้องใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ได้แก่

1. Device Address (DevAddr)
2. Network Session Key (NwkSKey)
3. Application Session Key (AppSKey)
4. Network Session Key (NwkSKey)
5. Application Session Key (AppSKey)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แล18้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 2.4 กระบวนการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต [12]

- Device Address มีขนาด 32-bit ค่าของ Device Address จำเป็นจะต้อง Unique หรือไม่ซ้ำใครใน Network เลขของ Device Address จะไปปรากฏอยู่ในทุกๆ เฟรมข้อมูลโดยเป็นข้อมูลที่มองเห็นทั้ง End-Device, Network Server และ Application Server

- Network Session Key ใช้สำหรับบอก Network Server ว่าต่อเข้าระบบ Network กลุ่มใด ซึ่งต้องเป็นหมายเลขที่แชร์กับ Network Server ที่เราต้องการเชื่อมต่อลักษณะเป็น 128bit AES Encryption Key ข้อมูลส่วนนี้จะเห็นเฉพาะ End-device และ Network Server

- Application Session Key ข้อมูลส่วนนี้ให้เห็นเฉพาะ End-device และ Application Server เท่านั้น ใช้สำหรับเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูลส่วนของ Application Data

***หมายเหตุ ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลที่สำคัญเราจำเป็นต้องขอจากบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเทคโนโลยีของ LoRa ตัวอย่างเช่น CAT Telecom PCL ที่ให้บริการในประเทศไทย หรือ The Thing of Network (TTN) ที่ให้บริการทั่วโลก ซึ่งการขอรับการเข้ารหัสเหล่านี้จะมีวิธีการที่แตกต่างกันไปตามผู้ให้บริการ

หลังจากที่เราทราบข้อมูลที่เป็นในกระบวนการ Activated จาก Network เพื่อทำการส่งข้อมูลไปยัง Gateway แล้ว เราจำเป็นต้องเปิดใช้งานกระบวนการเชื่อมต่อเครือข่ายให้สมบูรณ์ ซึ่งเป็นวิธีการจัดการควบคุมการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072Z) หรือ End-Node ไปยัง Network Server โดยตัวอุปกรณ์ของเรา (End-Node) จำเป็นต้องพิสูจน์ตัวตนและตรวจสอบสิทธิ์การเชื่อมต่อเครือข่าย LoRaWAN

1. Device Address (DevAddr)

2. Network Session Key (NwkSKey)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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. Application Session Key (AppSKey)
4. Network Session Key (NwkSKey)
5. Application Session Key (AppSKey)

จึงสามารถรับส่งข้อมูลได้ สำหรับตัวของ LoRaWAN มีโหมดการ Activate ก่อนจะเชื่อมต่อ 2 โหมด คือ OTAA และ ABP [13, 14] ดังนี้

1. Over-the-Air Activation (OTAA)

การใช้โหมดนี้มีความยืดหยุ่นและความปลอดภัยมากกว่าโหมด ABP เพราะในกรณีที่เปลี่ยนเครือข่ายก็ยังสามารถใช้งานได้ แต่มีความยากในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอย่างมาก (Join-Procedure with The Network) เพราะไม่ได้ส่งไปยังตัวรับนั้นโดยตรงแต่จะส่งผ่าน Gateway ที่หลากหลายที่อนุมัติให้ส่งข้อมูล

2. Activation by Personalization (ABP)

การใช้งานในโหมดนี้ต้องรู้ว่าต้นทางอยู่ที่ไหน และปลายทางอยู่ที่ไหน ไม่ต้องตรวจสอบมากทางด้าน Gateway เพราะใช้ Gateway ของเราในการเชื่อมต่อ มีข้อดี เมื่อเวลา Start อุปกรณ์ขึ้นสามารถเชื่อมต่อได้เร็วกว่าแบบ OTAA แต่หากเปลี่ยนเครือข่ายต้องมีการเขียนโปรแกรมใหม่ทั้งหมด และสำหรับการใช้งานในโหมดนี้จะมีการเขียนโปรแกรมที่เฉพาะเจาะจงและการเขียนโปรแกรมคำสั่งต่างๆ จะยากกว่าแบบ OTAA

2.1.12 LoRa WAN Class (LoRa Wide Area Network)

เทคโนโลยีของการส่งสัญญาณด้วย Long Rang Wide Area Network (LoraWAN) มีหลากหลายรูปแบบ หรือกระบวนการในการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ ซึ่งสาเหตุที่ LoRaWAN ประหยัดพลังงานมาก เพราะตัวของอุปกรณ์นั้นสามารถอยู่ในสภาวะ “Sleep” ได้เมื่อไม่ได้ใช้งาน หรือไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูล โดย LoRaWAN มีโหมดการทำงาน 3 คลาส ปัจจุบันมีให้ใช้เพียง 2 คลาส คือ A และ B สำหรับตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072Z) ที่เราใช้ในสร้างระบบวัดมลภาวะฝุ่นทางไกล สามารถสรุปได้ดังตารางด้านล่าง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 2.2 โหมดการส่งสัญญาณของเทคโนโลยี LoRa

Class Name	ความตั้งใจในการใช้งาน
A ('all')	ใช้เมื่อมีการส่งข้อมูลไม่บ่อย ส่งเมื่อมีเหตุการณ์สำคัญหรือจำเป็นเกิดขึ้น เช่น ส่งสัญญาณเตือนเมื่อตรวจจับค่าผิดปกติ ข้อดี: ประหยัดพลังงานได้มาก ข้อเสีย: ตัวรับและส่งต้องมีจังหวะการทำงานที่ต้องใกล้เคียงกันซึ่งเป็นไปได้อาจทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูล
B ('beacon')	ใช้เมื่อมีการส่งข้อมูลที่บ่อยพอสมควร ซึ่งมีแนวคิดการทำงานเหมือนกับคลาส A เพียงแต่ส่งข้อมูลบ่อยขึ้น ข้อดี: ปริมาณการสูญหายของข้อมูลลดลง ข้อเสีย: กินพลังงานจาก Battery มากกว่า Class A
C ('continuous')	ใช้ในกรณีที่ต้องการความเสถียรของการเชื่อมต่อ หรือข้อมูลแบบ Real-Time ข้อดี: รับข้อมูลได้ตลอดเวลาสัญญาณมีความเสถียรสูงและได้รับข้อมูลครบด้วย ข้อเสีย: กินพลังงานจาก Battery จำนวนมาก

2.1.13 เครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม (IDE - Tools)

สำหรับตัวของบอร์ด STM32 B-L072Z-LRWAN1 สามารถใช้ IDE (Integrated Development Environment) ได้หลากหลายและกว้างขวาง ใช้ภาษา C/C++ ในการเขียนโปรแกรม หรือแก้ Debug ต่างๆ ซึ่งตัว IDE ที่ทางผู้พัฒนาได้แนะนำในการใช้งานสำหรับตัวของ STM32 B-L072Z-LRWAN มีดังนี้ คือ

1. Keil MDK – ARM
2. IAR EWARM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3. GCC SW4STM32

4. Arm Mbed Enable Online

ซึ่งโปรแกรมทั้ง 4 ตัวนี้เป็นโปรแกรมสำหรับเขียนตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32) โดยเฉพาะที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและประสบการณ์พอสมควร การพัฒนาหรือการเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32) เป็นภาษา C/C++ ทางบริษัท STMicroelectronics และผู้เชี่ยวชาญอีกหลายท่านได้เห็นถึงความยากในการใช้ตัวโปรแกรมทั้ง 4 ตัวที่กล่าวไว้ข้างต้น จึงได้จัดทำไลบรารีพร้อมตัวอย่างพื้นฐานในการเขียนโปรแกรม สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32) ด้วยโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งทางผู้จัดทำก็ได้ใช้ Arduino IDE เป็นโปรแกรมในการพัฒนา และเขียนคำสั่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32)

2.1.14 Firebase

Firebase เป็นบริการหนึ่งของ Google เป็นการบริการข้อมูลแบบออนไลน์ในรูปแบบ Real-Time Database รวมถึงเป็นรูปแบบที่รวบรวมเครื่องมือต่างๆ สำหรับการจัดการในส่วนของ Backend สำหรับ Application และ Web Application ซึ่งทำให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและ Firebase สามารถนำมาเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกัน เช่น NodeMCU, ESP8266 ส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ Android ได้

Firebase คือ ฐานข้อมูลแบบ NoSQL โดยจะไม่ใช้ภาษา SQL ในการจัดการข้อมูล แต่ออกแบบให้มีความยืดหยุ่นและเน้นความเร็วในการใช้งาน ซึ่งมีการเก็บข้อมูลแบบ JSON โดยที่มีตารางเหมือนกับ SQL แต่ไม่มีคอลัมน์ ในหนึ่งแถวสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งข้อความ (String) ตัวเลข (Number) และอื่นๆ รวมไปถึงอาร์เรย์ และ Object ข้อดีของ Firebase คือ มี API รองรับหลายภาษาให้เลือกใช้งานทั้ง Python บน Embedded OS เช่น Raspberry Pi, JavaScript สำหรับใช้งานบนหน้าเว็บไซต์

2.1.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยโครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit) ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ทั้งหมด โดยนำข้อมูลจากอุปกรณ์รับข้อมูลมาทำงานประมวลผลข้อมูลตามคำสั่งของโปรแกรม และส่งผลลัพธ์ออกไปหน่วยแสดงผล

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือ ข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่ง คือ หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดานขดในการคำนวณของซีพียูและเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงและเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะ คือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุตเพื่อรับสัญญาณอาจจะด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุตเพื่อแสดงผล

4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือ เส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็น บัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจังหวะหากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานจะสามารถทำได้ถึงขั้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

นอกจากนี้ยังมีส่วนพิเศษอื่นๆ จะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละบริษัทที่จะผลิตขึ้นมาใส่คุณสมบัติพิเศษลงไป เช่น

- ADC (Analog to Digital) ส่วนภาครับสัญญาณอนาล็อกแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัล
- DAC (Digital to Analog) ส่วนภาคส่งสัญญาณดิจิทัลแปลงไปเป็นสัญญาณอนาล็อก
- I2C (Inter Integrate Circuit Bus) เป็นการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Synchronous) เพื่อใช้

ติดต่อสื่อสารระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Philips เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Semiconductors โดยใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น คือ Serial Data (SDA) และสาย Serial Clock (SCL) ซึ่งสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนหลายๆ ตัวเข้าด้วยกันได้ทำให้ MCU ใช้พอร์ตเพียง 2 พอร์ตเท่านั้น

- SPI (Serial Peripheral Interface) เป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronize) มีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาเกี่ยวข้องกับระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หรือจะเป็นอุปกรณ์ภายนอกที่มีการรับส่งข้อมูลแบบ SPI อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) โดยปกติแล้วจะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ หรืออาจกล่าวได้ว่าอุปกรณ์มาสเตอร์จะต้องควบคุมอุปกรณ์ Slave ได้ โดยปกติตัว Slave มักจะเป็นไอซี (IC) หน้าที่พิเศษต่างๆ เช่น ไอซีอุณหภูมิ ไอซีฐานเวลาดานาฬิกาจริง (Real-Time Clock) หรืออาจเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ในโหมด Slave ก็ได้เช่นกัน

- PWM (Pulse Width Modulation) การสร้างสัญญาณพัลส์แบบสแควร์เวฟที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และ Duty Cycle ได้เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์

- UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสสำหรับมาตรฐานการรับส่งข้อมูลแบบ RS-232

2.1.16 บอร์ด STM32

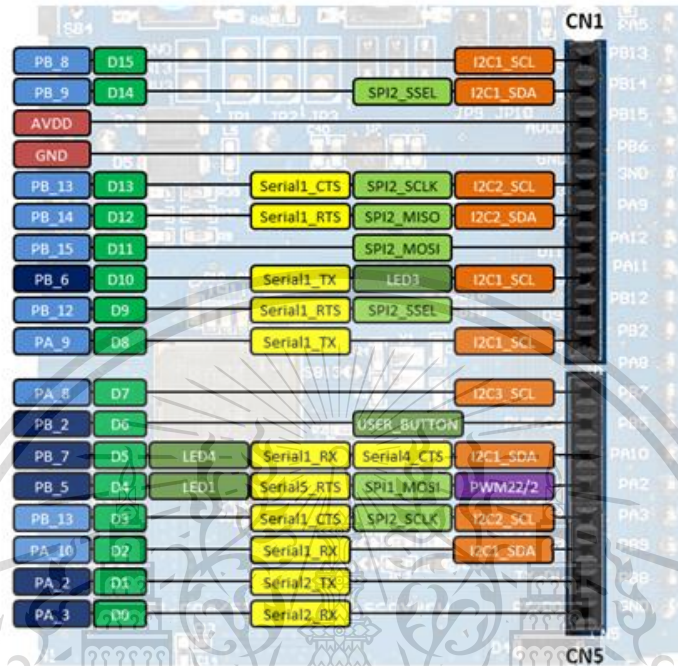
คือ บอร์ดที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยประมวลผล ARM® Cortex®-M processor 32-bit ผลิตโดยบริษัท STMicroelectronics ออกแบบมาเพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลายและต้องการประสิทธิภาพเพราะมีความถี่ CPU สูงสุด 72MHz มีรอม 64KB และแรม 20KB มี GPIO ให้ใช้ 37 ขา ADC 12bit จำนวน 10 ช่อง รองรับ SPI I2C UART และ CAN ใช้แรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 2V ถึง 3.6V

ตัวชิปในบอร์ดของ STM32 มีความแตกต่างจากตระกูลอื่น เนื่องจากไม่มี IDE หรือโปรแกรมในการเขียนพัฒนาซอฟต์แวร์และคอมไพเลอร์ของตัวเองซึ่งการใช้งานจะต้องดาวน์โหลด IDE และคอมไพเลอร์จากบริษัทอื่นมาใช้งาน ตัวอย่าง IDE และคอมไพเลอร์ที่นิยมใช้งานกัน ได้แก่ IAR Embedded Workbench และ Arm Mbed ตัวอย่าง GPIO ของบอร์ดที่ทางผู้จัดทำได้ใช้ต่อร่วมกับเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด STM32-BL072-Z ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของ GPIO บนบอร์ด STM32-BL072Z [15]

2.1.17 Application Programming Interface (API)

การเชื่อมต่อจากระบบหนึ่งไปสู่อีกระบบหนึ่งเพื่อให้ซอฟต์แวร์ภายนอกเข้าถึงและอัปเดตข้อมูลได้ เป็นตัวกลางที่ทำให้โปรแกรมประยุกต์เชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น หรือเชื่อมต่อการทำงานเข้ากับระบบปฏิบัติการและทำหน้าที่ช่วยในการเข้าถึงข้อมูลต่างๆ หรือจะเป็นการนำข้อมูลต่างๆ ออกจากเว็บไซต์ หรือจะเป็นการส่งข้อมูลเข้าไป โดยเจ้าของเว็บไซต์ที่มี API จะกำหนดขอบเขตในการเข้าถึงบริการต่างๆ ของทางเว็บไซต์ ปัจจุบันการใช้งาน Application Programming Interface (API) ถูกใช้งานใน Application เพื่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน โดยไม่จำเป็นต้องมีความรู้ รูปแบบการนำเอา API ไปใช้งาน [16] มีดังนี้

1. Web APIs นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะอยู่ในกลุ่มของ HTTP และขยายออกไปสู่รูปแบบ XML และ JSON ซึ่งโดยรวมแล้ว คือ อยู่บน Web Service โดยการใช้ XML format ส่งข้อมูล REST (Representational State Transfer) สามารถใช้ XML หรือ JSON Format ส่งข้อมูลซึ่ง HTTP เป็นโปรโตคอลสำหรับสื่อสารจะใช้เมื่อเรียกโปรแกรมบนเบราว์เซอร์อย่าง Chrome, Firefox, Internet Explorer

เอกสารนี้เพื่อเรียกดูข้อมูลหรือเว็บนั้นๆ เวย์เบราว์เซอร์จะใช้ HTTP เป็นตัวเรียกให้เซิร์ฟเวอร์ส่งข้อมูลมาให้เพื่อแสดงผลบนหน้าจอ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอดี้อย่างถูกต้อง โดยเป็นการส่งข้อมูลแบบ Clear text ไม่ได้ทำการเข้ารหัส ทำให้สามารถถูกดักจับและอ่านข้อมูลได้ง่าย ในส่วนของ XML (Extensible Markup Language) เป็นภาษาที่หนึ่งที่ถูกใช้ในการสร้าง format สำหรับไฟล์เอกสารที่ใช้ในการแลกเปลี่ยน โดย XML format จะสามารถอ่านได้โดยผู้ใช้งานและคอมพิวเตอร์ มาตรฐานของ XML ถูกกำหนดด้วย W3C เพื่อให้เป็นสากลและอำนวยความสะดวกให้กับนักพัฒนาในการแลกเปลี่ยนข้อมูล และในส่วนของ JSON คือ Standard format อย่างหนึ่งที่เป็น Text และสามารถอ่านออกได้ด้วยตาเปล่า ใช้ในการสร้าง Object ขึ้นมาเพื่อส่งข้อมูลระหว่าง Application หรือ Applications Program Interface (API) โดย format จะมีรูปแบบเป็นคู่ Key-Value หรือเป็นแบบ Array

2. Operating Systems API สามารถใช้งานในการสื่อสารระหว่าง Application และ Operating System เช่น มาตรฐานการสื่อสารของระบบปฏิบัติการมี API เป็น Command Line เพื่อควบคุมการทำงานของระบบปฏิบัติการ

3. Remote APIs Remote APIs ทำให้ให้นักพัฒนาสามารถเข้าควบคุมทรัพยากรผ่านทางข้อกำหนดการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ เพื่อให้มีมาตรฐานการสื่อสารเดียวกันถึงแม้ว่าจะเป็นคนละเทคโนโลยี เช่น Database API สามารถอนุญาตให้นักพัฒนาเข้ามาดึงข้อมูลในฐานข้อมูล (Database) หลากหลายชนิดได้ผ่านการทำหน้าที่เดียวกัน เพราะฉะนั้น Remote API จึงถูกใช้บ่อยในงานบำรุงรักษาด้วยการทำงานที่ฝั่ง Client ให้ไปดึงข้อมูลจาก Server กลับลงมาทำงาน

4. Libraries and Frameworks API มักจะเอาไปใช้เป็น Software Library ซึ่งเขียนขึ้นตาม Document ในรูปแบบภาษาโปรแกรมที่ต่างกันออกไปตามความเหมาะสมกับงาน เพื่อเอาไปทำเป็น Framework ให้กับระบบใช้ในการสื่อสารกัน

2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ

หลักสถิติของ Anderson-Darling [17] คือ ค่าวัดของระยะห่างระหว่างจุดที่พล็อตกับเส้นการแจกแจง (Fitted Line) ในกราฟความน่าจะเป็น ค่าสถิติมาจากการคำนวณระยะห่างของจุดข้อมูลและเส้นแจกแจงแล้วทำการเปรียบเทียบค่าถ่วงน้ำหนักยกกำลังสอง (Weighted Squared) ของชุดข้อมูลที่มีการแจกแจงที่เหมาะสมในการแปลความหมายสำหรับการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเบื้องต้นมี ดังนี้

1. ข้อมูลแสดงในฮิสโตแกรมอย่างเหมาะสม ซึ่งจะไม่มีความเบ้ (Skewness) ของข้อมูลในกราฟ

การกระจายตัว (Spread)

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. ค่า Anderson – Darling ควรมีค่าน้อย

3. ค่า P-Value ของการทดสอบมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α level) ที่กำหนดในการทดสอบ เช่น 0.05 หรือ 0.10

2.2.1 การวัดความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำ คือ ความถูกต้องของค่าที่วัดได้ เป็นความใกล้เคียงกับค่าจริง หรือใกล้เคียงกับค่าจากเครื่องมือมาตรฐาน หรือค่าอ้างอิงที่มีมาตรฐานสูงกว่า [18] ซึ่งเราสามารถหาค่าความแม่นยำได้จาก

$$\text{Relative error} = \frac{|X_{mea} - X_t|}{X_t} \quad (2.2)$$

$$\% \text{Error} = \text{Relative error} \times 100 \quad (2.3)$$

$$\% \text{Accuracy} = 100 - \% \text{Error} \quad (2.4)$$

เมื่อ X_{mea} คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด (Measure Value)

X_t คือ ค่าเฉลี่ยจริง (True Value)

2.2.2 การวัดความเที่ยง (Precision)

ความเที่ยง หมายถึง ความใกล้เคียงกันในกลุ่มของค่าที่ทำการวัด [19] ซึ่งเราสามารถหาค่าความเที่ยงได้จาก

1. ค่าเฉลี่ย (Mean)

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (2.5)$$

2. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

$$S_w = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เมื่อ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย

X_i คือ ค่าของข้อมูลดิบ

n คือ จำนวนข้อมูล

S_w คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA)

เป็นการศึกษาปัจจัย หรือแฟกเตอร์ (Factor) ที่มีผลทำให้ข้อมูลแตกต่างกันเพียงปัจจัยเดียว โดยที่ปัจจัยนั้นอาจมีหลายระดับเรียกระดับต่างๆ ของปัจจัยว่าทรีตเมนต์ (Treatment) ดังนั้นจึงเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลในระดับต่างๆ ของปัจจัย [19] นิยมเรียกข้อมูลว่า ค่าสังเกต และหน่วยแฉงนั้บที่ให้อข้อมูลว่าหน่วยทดลอง (Experimental Unit)

เนื่องจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเดียวที่มีผลทำให้ค่าสังเกตแตกต่างกันนั้น คือ ข้อมูลมีความแตกต่างเนื่องจากกลุ่มที่แตกต่างเท่านั้น ดังนั้นการวิเคราะห์จึงแบ่งความแปรปรวนของข้อมูลเป็นดังนี้

1. ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between Groups Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SSB เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากการที่ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในแต่ละกลุ่มแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวม โดยที่

$$SSB = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (2.7)$$

2. ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SSE เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มแต่ละกลุ่ม ซึ่งไม่ทราบสาเหตุว่าเป็นความแปรปรวนที่เกิดจากสาเหตุใด ในบางครั้งจึงเรียกว่า ความคลาดเคลื่อน (Error Sum of Square) โดยที่

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (2.8)$$

3. ความแปรปรวนรวม (Total Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SST เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากค่าสังเกตแต่ละค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวม โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $SST = SSB + SSE$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.9) ารค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

ในการดำเนินงานจัดทำปฏิญานิพนธ์เรื่องระบบวัดมลภาวะฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล จากการศึกษา ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ผู้วิจัยได้ทราบข้อมูลต่างๆ ที่มีประโยชน์ และนำมาประยุกต์ใช้ได้กับการ จัดทำปฏิญานิพนธ์ครั้งนี้ จากการศึกษาทางผู้จัดทำปฏิญานิพนธ์ได้ทำการแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.1 ออกแบบการทำงานของระบบวัดฝุ่นทางไกล

3.2 คัดเลือกเซนเซอร์วัดมลภาวะทางฝุ่นที่ใช้ในระบบ

ในการจัดทำปฏิญานิพนธ์ครั้งนี้ทางทีมผู้ทำโครงการได้มีการดำเนินในหลายขั้นตอนเริ่มตั้งแต่ ขั้นตอนของ การศึกษาข้อมูลในหัวข้อต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน รวมไปถึงการลงมือปฏิบัติงานจริงทั้งในเรื่อง การศึกษาเครือข่ายไร้สาย รูปแบบของสัญญาณ วิธีการต่อเซนเซอร์ต่างๆ เข้ากับตัวของบอร์ด การแปรค่าที่ได้ จากการส่งของตัวเซนเซอร์ วิธีการสร้างและออกแบบเว็บไซต์ และการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการข้อมูล เบื้องหลัง

3.1 ออกแบบการทำงานของระบบวัดฝุ่นทางไกล

เป็นการวางแผน หรือออกแบบกระบวนการเพื่อช่วยในการพัฒนาระบบที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดย คำนึงถึงประสิทธิภาพของการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงในการวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ด้วยต้นทุนที่ต่ำ และความง่ายในการเข้าถึงหรือการใช้งานของประชาชนหรือบุคคลทั่วไปให้สามารถเข้าใจได้ง่าย ซึ่งประกอบ ไปด้วยการออกแบบรูปแบบการทำงานของระบบวัดฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล การออกแบบฮาร์ดแวร์ การ ออกแบบซอฟต์แวร์ และการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้แสดงผลค่าฝุ่นที่วัดได้จากเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

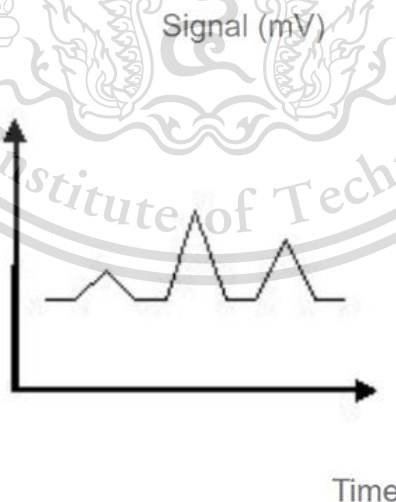
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

3.1.1 ออกแบบรูปแบบการทำงานของระบบวัดฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล

3.1.1.1 Sensor

เซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุนต่ำ Plantower PMS7003 จะทำการวัดค่าของฝุ่นด้วยหลักการกระเจิงของแสงเลเซอร์ (Laser Scattering Principle) โดยการยิงแสงเลเซอร์ไปชนกับอนุภาคของฝุ่นละอองที่ลอยอยู่ในอากาศที่ถูกดูดเข้ามาในตัวของเซนเซอร์ด้วยพัดลมขนาดเล็ก ถ้าขนาดอนุภาคของฝุ่นละอองมีขนาดใหญ่ ปริมาณของแสง (Scattering Light) จะมีปริมาณน้อย ในทางกลับกันถ้าหากฝุ่นละอองมีขนาดเล็กปริมาณของแสงที่ตรวจจับ (Detector) ที่อยู่ภายในเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 จะมีประมาณมาก แสงเลเซอร์ที่กระจายจะถูกตรวจจับด้วยตัวตรวจจับ (Detector) ที่อยู่ภายในเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 จะทำการแปลงปริมาณแสงที่ได้เป็นรูปของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (mV) กับเวลา ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่น และจำนวนของอนุภาคฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันต่อหน่วยปริมาตร สามารถคำนวณได้โดยไมโครโปรเซสเซอร์ที่อยู่ภายในเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 แสดงในรูปที่ 3.2 [20] ให้อยู่ในรูปของความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่นที่มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) โดยอ้างอิง MIE Theory ซึ่งเป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ – ฟิสิกส์ที่สมบูรณ์ของการกระจัดกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยอนุภาคทรงกลมที่เป็นเนื้อเดียวกันซึ่งพัฒนาโดย Gustav Mie ในปี 1908 MIE Theory แสดงให้เห็นถึงขนาดของอนุภาคที่กระจัดกระจายนั้นสามารถเทียบได้กับความยาวคลื่นของแสง [21]

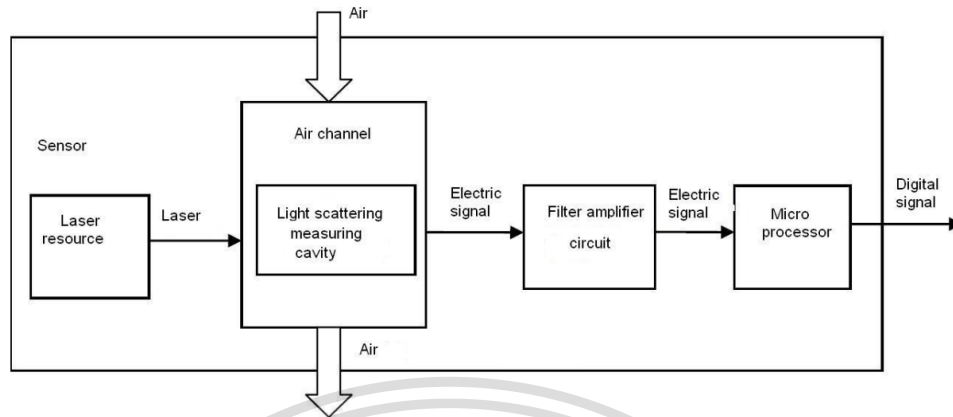


รูปที่ 3.1 ปริมาณสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงกับเวลา [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของเซนเซอร์ PMS7003 [23]

3.1.1.2 Microcontroller

ค่าฝุ่นที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 ที่มีหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จะสื่อสารกับตัวบอร์ด STM32 หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) ด้วยวิธีการสื่อสารแบบ Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART) โดยส่งค่าฝุ่นที่อ่านได้เป็นสัญญาณดิจิทัลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) เพื่อส่งไปยัง Gateway หรือประตูที่ไปสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยีการส่งสัญญาณของ LoRa ที่เป็นการกระจายสัญญาณด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ ข้อมูลที่ส่งจะอยู่ในรูปของเลขฐาน 16 (Hexadecimal) แต่ค่าที่อ่านได้จาก PMS7003 เป็นเลขทศนิยม (Float) ซึ่งมีขนาด 32 bit แต่ขีดจำกัดในการส่งข้อมูลในแต่ละรอบสูงสุดของเทคโนโลยี LoRa คือ ขนาดความกว้าง 16 bit คือระหว่าง -32768 ถึง 32767 ซึ่งใช้เนื้อที่ในการเก็บ 2 ไบต์ ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลประเภทตัวอักษร (Char) หรือตัวแปรประเภทเลขจำนวนเต็ม (Integer) ได้ ดังนั้นในตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) จึงต้องมีการเขียนโปรแกรมชุดคำสั่ง (Software) ที่ช่วยแปลงตัวแปรที่อ่านได้จากเซนเซอร์ที่มีขนาดความกว้างของข้อมูลเกินกว่า 16 Bit ซึ่งได้แก่ เซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ BME280 และเซนเซอร์วัดแรงดัน INA219 ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์เหล่านี้มีค่าเป็นทศนิยม (Float) ทั้งหมด ให้มีขนาดความกว้างของข้อมูลเท่ากับหรือน้อยกว่า 16 Bit เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลไปยัง Gateway ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.1.1.3 Gateway

เมื่อข้อมูลผ่านเข้ามา Gateway ได้ข้อมูลจะถูกส่งไปยัง Network Server ซึ่งผู้จัดทำได้ใช้ Network Server ของ CAT Telecom PCL ที่อำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ และมีหน้า Website ช่วยเหลือในการเลือกโหมดการเชื่อมต่อและรูปแบบของข้อมูลที่ถูกส่งผ่าน Gateway ด้วยเทคโนโลยีของ LoRa ซึ่งมี 3 รูปแบบ ได้แก่ Raw, ASCII String และ Cayenne LPP สำหรับผู้จัดทำได้เลือกรูปแบบการของ ข้อมูลที่ถูกส่งแบบ Raw เนื่องจากบางกรณีตัวเลขที่อ่านค่าได้นั้นตรงกับรหัส ASCII ทำให้ข้อมูลที่ได้จาก เซนเซอร์นั้นมีข้อผิดพลาด

3.1.1.4 Network Server

ผู้จัดทำได้ใช้ Server ของ CAT Telecom PCL โดยข้อมูลที่ถูกส่งออกจาก Network Server จะอยู่ในรูปแบบของ JSON ซึ่งย่อมาจาก JavaScript Object Notation ซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบมาตรฐาน (Standard Format) อย่างหนึ่งที่เป็น Text สามารถอ่านออกได้ด้วยตาเปล่าที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลระหว่าง Application หรือ Applications Program Interface (API) ซึ่งทางบริษัท CAT Telecom PCL ได้มีเว็บไซต์ อำนวยความสะดวกให้เราสามารถกำหนดปลายทางที่จะส่งข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของ JSON ได้ โดยมี 2 ทางเลือกรูปแบบการสื่อสารปลายทาง (Protocol) ได้แก่ HTTP และ MQTT ได้ดังรูปที่ 3.3 โดยที่ข้อมูลจะถูก ส่งจาก Network Server ของบริษัท CAT Telecom PCL จะถูกส่งด้วยวิธี POST ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลจากไป ยังจุดหมายโดยตรง โดยไม่ผ่านแสดงข้อมูลผ่าน URL หรือ Link ดังนั้นจะไม่สามารถเห็นรายละเอียดข้อมูลที่ ถูกส่งออกไปจาก Network Server ได้ นอกจากนี้ยังมีการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อป้องกันข้อมูลสูญหายและการ มองเห็นระหว่างการส่ง ซึ่งวิธีการส่งแบบ POST นี้ทางผู้บริษัท CAT Telecom PCL เป็นผู้กำหนดจึงไม่ สามารถตั้งค่าหรือกำหนดรูปแบบการส่งได้

Add Endpoint URL

Protocol *

HTTP

Enter your URL

MQTT

(http://www.example.com or https://www.example.com or tcp://www.example.com or mqtt://www.example.com)

Yes No

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยทางบริษัท CAT Telecom PCL เพื่อใช้ในการดำเนินงานด้านการศึกษา
รูปที่ 3.3 เว็บไซต์อำนวยความสะดวก Protocol Endpoint โดยบริษัท CAT Telecom PCL
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.1.1.5 Application Server

สำหรับแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ทางผู้จัดทำได้ทำการใช้เซิร์ฟเวอร์ของบริษัท Google โดยทำการพัฒนา Google App-Script ที่เป็นแพลตฟอร์มการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยบริษัท Google สามารถใช้งานได้ฟรีช่วยในการสร้างแอปพลิเคชันอย่างง่ายได้รวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถทำงานร่วมกับ Google Workspace หรือ Platform อื่น ๆ ของทาง Google ได้อย่างง่ายดาย ซึ่งฐานข้อมูลที่ทางผู้จัดทำได้ใช้ คือ Cloud Fire Store (Fire Base) เป็น Platform ที่ทางบริษัท Google ได้พัฒนาขึ้นมา ดังนั้นในการเขียนชุดคำสั่งหรือโปรแกรมเพื่อรับข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก Network Server ที่ถูกส่งมาด้วยวิธี POST มีรูปแบบของข้อมูล คือ JSON เพื่อนำไปเก็บในฐานข้อมูล Cloud Firebase (Fire Store) จึงสะดวกเนื่องจากมีไลบรารีสำหรับ Google App-Script ที่ช่วยให้สามารถจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล Cloud Firebase (Fire Store) ที่พัฒนาโดยบริษัท Google เช่นกัน

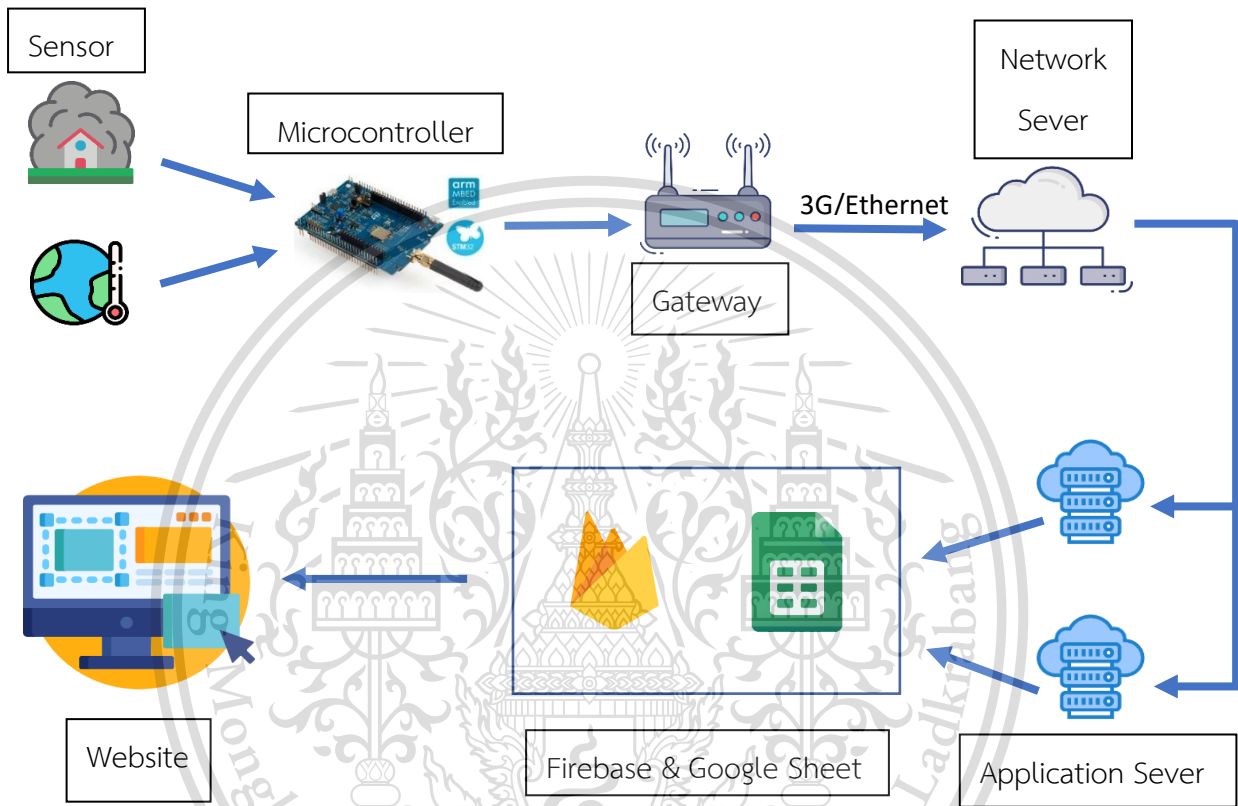
3.1.1.6 Website

ผู้จัดทำโครงการได้ใช้โปรแกรม Visual Studio 2019 ในการสร้างเว็บไซต์ขึ้นมา โดยที่ผู้จัดทำได้เขียนโปรแกรมอยู่ในรูปแบบของ Model-View Controller (MVC) ในการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงหน้าเว็บนั้นทางผู้จัดทำได้มีการเขียนโค้ดในการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดง ซึ่งโค้ดเหล่านั้นจะถูกเขียนอยู่ในนามสกุลไฟล์ JavaScript และถูกนำมาเชื่อมโยงกันในแต่ละหน้าที่ต้องการแสดงข้อมูลตามที่คุณผู้จัดทำทำการออกแบบหน้าเว็บไซต์เอาไว้ในหัวข้อที่ 3.1.4 เพื่อให้แสดงข้อมูลตามที่ต้องการ

สรุป รูปแบบการทำงานของระวัดฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล เช่น เซอร์วัดฝุ่น PMS7003 จะส่งค่าฝุ่นที่อ่านได้ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) โดยสื่อสารด้วยวิธี UART กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) เพื่อให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลไปยัง Gateway ด้วยเทคโนโลยีการส่งสัญญาณของ LoRa ซึ่งข้อมูลที่ส่งจะอยู่ในรูปของเลขฐาน 16 (Hexadecimal) เมื่อข้อมูลผ่านเข้ามา Gateway ได้ ข้อมูลจะถูกส่งไปยัง Network Server ของ CAT Telecom PCL โดยข้อมูลที่ถูกส่งออกจาก Network Server จะอยู่ในรูปแบบของ JSON ซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบมาตรฐานอย่างหนึ่งที่เป็น Text สามารถอ่านออกได้ด้วยตาเปล่าและถูกส่งด้วยวิธี POST หลังจากนั้นผู้จัดทำได้ใช้ Application Server ของบริษัท Google โดยทำการพัฒนา Google App-Script โดยทำการเขียนชุดคำสั่งหรือโปรแกรมเพื่อรับข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก Network Server ไปเก็บในฐานข้อมูล Cloud Firebase (Fire Store) ในการนำข้อมูลมาแสดงผลบนเว็บไซต์

ผู้จัดทำการเขียนโค้ดในการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดง ซึ่งโค้ดเหล่านั้นจะถูกเขียนอยู่ในนามสกุลไฟล์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JavaScript และถูกนำมาเชื่อมโยงกันในแต่ละหน้าที่ต้องการแสดงข้อมูลตามที่ถูกจัดทำทำการออกแบบหน้าเว็บไซต์ไว้ เพื่อให้แสดงข้อมูลตามที่ต้องการซึ่งรูปแบบการทำงานของระบบ (PM 2.5) ทางไกล เป็นไปดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รูปแบบการทำงานของระบบวัดฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล

3.1.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

เป็นการออกแบบวงจรโดยรวมของระบบวัดมลภาวะฝุ่นทางไกล (PM 2.5) ในวงจรรวมของผู้จัดทำปริญญาโทประกอบไปด้วย

1. บอร์ด STM32 B-L072Z-LRWAN1
2. PMS7003 Sensor เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าฝุ่นละออง (PM 2.5)
3. BME280 Sensor เป็นเครื่องที่ใช้วัดค่าของอุณหภูมิรวมถึงค่าความชื้นในอากาศ ความกดอากาศ
4. INA219 Sensor เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ซึ่งมีตัวอย่างในรูปแบบที่ 3.5 โดยการออกแบบการต่อวงจรรวมของเซนเซอร์วัดดัชนีคุณภาพอากาศต่างๆ และแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิดร่วมกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) แสดงดังรูปที่ 3.6 การต่อวงจรรวมของระบบวัดมลภาวะทางฝุ่นมีแนวทางการต่อวงจรเบื้องต้น ดังรายละเอียดด้านล่างนี้

1. PMS7003 Sensor เป็นเซนเซอร์ที่มีการสื่อสารแบบ Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART) จึงไม่มีสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) ส่งออกมาจากตัวส่งหรือตัวรับเพื่อกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลแต่จะกำหนดผ่านโดยการตั้งความเร็วในการรับส่งข้อมูล (Baud Rate)

ซึ่งการต่อเซนเซอร์ต้นทุนต่ำ Plantower PMS7003 เข้ากับตัวบอร์ด STM32-BL072Z จะมีการสื่อสารระหว่างตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) กับ PMS7003 Sensor ผ่านตัวส่ง (Transmitter หรือตัวย่อ Tx) และตัวรับ (Receiver หรือตัวย่อ Rx) แต่เนื่องจากทางผู้จัดทำต้องการแค่เพียงรับค่าฝุ่นที่วัดได้จากเซนเซอร์ PMS7003 ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงต่อวงจรเพียงแค่ GPIO Transmitter (Tx) ของเซนเซอร์ PMS7003 เพื่อส่งข้อมูลที่เซนเซอร์อ่านค่าได้ไปยัง GPIO Receiver (Rx) ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) ซึ่งได้แก่ STM32 Pin GPIO-I2C (PA_10) หรือ STM32 Arduino Pin (D2) เพื่ออ่านค่าฝุ่นที่ตัวเซนเซอร์ส่งมาให้กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

2. BME280 Sensor และ INA219 Sensor เป็นเซนเซอร์ที่มีการสื่อสารแบบ Inter-Integrated Circuit (I2C) นิยมเรียกสั้นๆ ว่า I2C (ไอ-แอสคว-ซี-บัล) เป็นการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Synchronous) การส่งข้อมูลจำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) กำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลการส่งวิธีนี้จะไม่มีช่องว่าง ไม่มีบิตเริ่มและบิตจบทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) ไม่สามารถทราบได้เลยว่าข้อมูลที่ส่งมาครบหรือยัง การควบคุมจังหวะเวลาให้สอดคล้องกันระหว่าง BME280 Sensor และ INA219 Sensor กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) จึงเป็นสิ่งสำคัญมาก โดยจะต้องทำงานสอดคล้องกันตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) ซึ่งการสื่อสารแบบ I2C จะใช้เพียง 2 เส้นในการรับส่ง-ข้อมูลโดยสายสัญญาณทั้ง 2 เส้นแบ่งเป็น SDA (Serial Data) คือ สายสัญญาณสำหรับรับ-ส่งข้อมูล และ SCL (Serial Clock) คือ สายสัญญาณนาฬิกาใช้เป็นสำหรับควบคุมการรับ-ส่งข้อมูล

การต่อ BME280 Sensor เข้ากับตัวบอร์ด STM32 จะทำการต่อสายรับ-ส่งข้อมูล (Serial Data) หรือตัวย่อ SDA ของ BME280 Sensor เข้ากับ GPIO รับ-ส่งข้อมูล (Serial Data) หรือตัวย่อ SDA ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) ซึ่งได้แก่ STM32 Arduino Pin (D14) และทำการต่อสายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

นาฬิกา (Serial Clock) หรือตัวย่อ SCL ของ BME280 Sensor เข้ากับ GPIO ควบคุมการรับ-ส่งข้อมูล (Serial Clock) ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) ซึ่งได้แก่ STM32 Arduino Pin (D15)

การต่อ INA219 Sensor เข้ากับตัวบอร์ด STM32 จะทำการต่อสายรับ-ส่งข้อมูล (Serial Data) หรือตัวย่อ SDA ของ INA219 Sensor เข้ากับ GPIO รับ-ส่งข้อมูล (Serial Data) หรือตัวย่อ SDA ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) ซึ่งได้แก่ STM32 Pin GPIO-I2C (PB_9) และทำการต่อสายสายสัญญาณนาฬิกา (Serial Clock) หรือตัวย่อ SCL ของ INA219 Sensor เข้ากับ GPIO ควบคุมการรับ-ส่งข้อมูล (Serial Clock) ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) ซึ่งได้แก่ STM32 Pin GPIO-I2C (PB_8)

**หมายเหตุ สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมของ STM32 Pin GPIO และ STM32 Arduino Pin ได้จากบท 2 ในหัวข้อที่ 2.1.16 บอร์ด STM32 รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของ GPIO บนบอร์ด STM32-BL072-Z หลังจากการออกแบบการต่อวงจรรวมของระบบวัดฝุ่นทางผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาตัวป้องกันวงจรรวมของระบบวัดมลภาวะฝุ่น เพื่อให้สามารถอยู่ในระดับที่สามารถติดตั้งและใช้งานในชุมชนได้จริง โดยการประกอบวงจรรวมลงในกล่องกันน้ำและแสงแดด ดังรูปที่ 3.7 และประกอบเซนเซอร์ที่ตรวจวัดค่ามลภาวะทางฝุ่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแรงดันอากาศ ลงใน Housing Sensor ดังรูปที่ 3.8 เพื่อกันฝนและแสงแดด โดยต้นทุนในการประกอบอุปกรณ์วัดมลภาวะฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล มีรายละเอียดดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

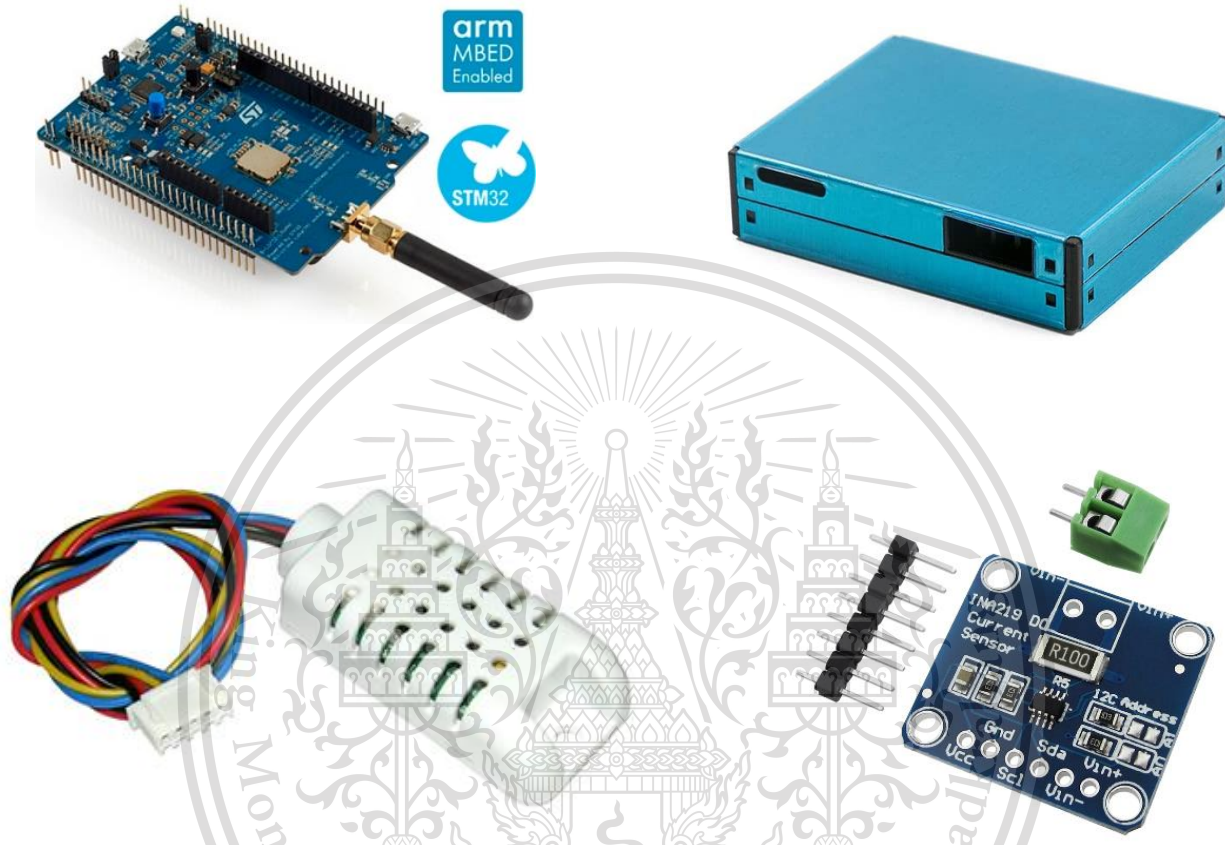
ตารางที่ 3.1 ต้นทุนในการประกอบอุปกรณ์วัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเครื่องวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5)	ราคา (บาท)
1. บอร์ด STM32-BL072Z Discovery	1,800
2. เซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 1 ตัว	640
3. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ แรงดันและความชื้น BME280 1 ตัว	180
4. เซนเซอร์วัดแรงดัน Ina219 1 ตัว	67
5. แผ่นปริ้นไซป์ปลา 1 แผ่น	59
6. กล่องกันน้ำ IP67 1 กล่อง	72
7. สาย USB 1 เส้น	100
8. สาย LAN 1 เส้น	120
9. Connector Gland PG9 2 ชิ้น	24
10. ขั้วต่อสายไฟแบบ 3 แฉก 2 ชิ้น	12
11. ลูกเต๋าต่อสายไฟ 1 ชิ้น	12
12. Housing Sensor 1 ชิ้น	500
รวม	3,586

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

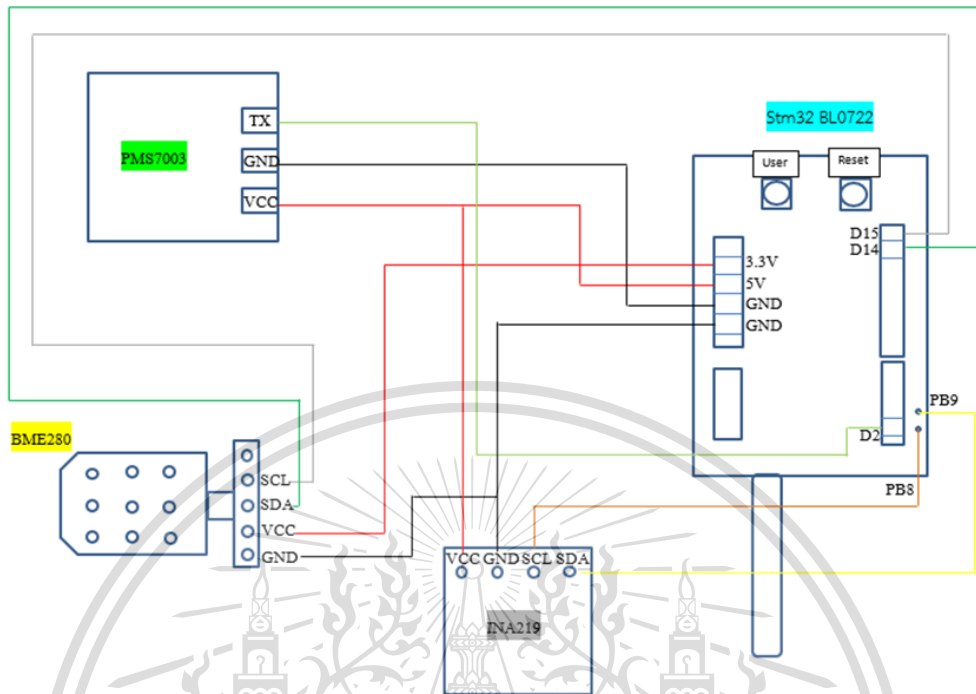
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



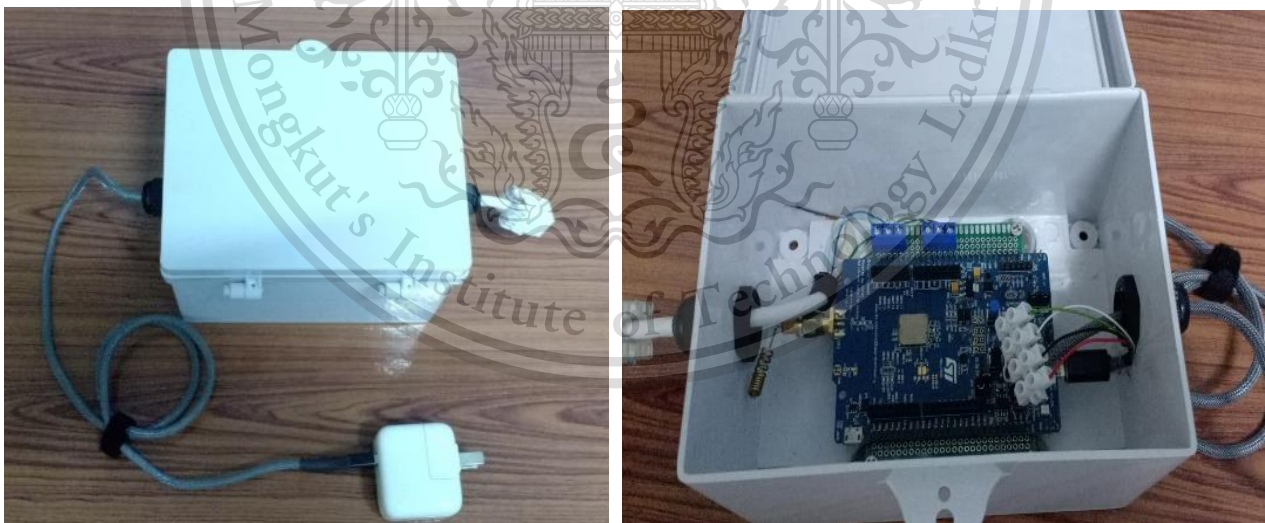
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเครื่องวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5)

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.



รูปที่ 3.6 การต่อวงจรรวมของระบบวัดมลภาวะทางฝุ่น



รูปที่ 3.7 วงจรรวมที่ถูกประกอบลงในกล่องกันน้ำและแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล³⁹ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 3.8 Housing Sensor

3.1.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

อ้างอิงจากรูปที่ 3.4 รูปแบบการทำงานของระบบวัดฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล มีการทำงานที่หลากหลาย ส่วนงาน โดยหลักสำคัญ 3 ประการในการออกแบบซอฟต์แวร์ คือ

1. ชุดคำสั่งหรือโปรแกรมที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) ที่ต้องรับค่าที่อ่านได้จาก เซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 ค่าอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศของเซนเซอร์ BME280 รวมถึงเซนเซอร์ วัดความต่างศักย์หรือแรงดันไฟฟ้า INA219 เพื่อส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยัง Gateway และ Network Server

2. ชุดคำสั่งหรือโปรแกรมบน Application Server ที่ผู้จัดทำได้เลือกใช้ Application Server ของ บริษัท Google โดยใช้ Google App-Script ต้องมีชุดคำสั่งหรือโปรแกรมที่สามารถรับข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก Network Server ของบริษัท CAT Telecom PCL ในรูปแบบ JSON ที่ถูกส่งด้วยวิธี POST ไปเก็บไว้ใน ฐานข้อมูล (Cloud Fire Store) ได้

3. ชุดคำสั่งหรือโปรแกรมใน Website หรือ Web-Application ต้องมีชุดคำสั่ง หรือโปรแกรมในการ ดึงข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล (Cloud Fire Store) ที่ถูกส่งมาจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) มาแสดงบนหน้าเว็บไซต์ โดยให้ประชาชนทั่วไปสามารถใช้งานและเข้าใจได้ง่าย

3.1.3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z)

การเขียนโปรแกรมลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) ผู้จัดทำได้ใช้ Arduino IDE

เป็นตัวที่ใช้พัฒนาการโปรแกรมโดยใช้ไลบรารี “Arduino Core for STM32L0 based boards” ของคุณ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

GrumpyOldPizza ที่เป็นนามปากกาสามารถเผยแพร่ได้ [28] เป็นพื้นฐานในการเขียนโปรแกรมสำหรับบอร์ด STM32 ด้วย Arduino IDE ซึ่งรูปแบบการทำงานของชุดคำสั่งในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) หรือบอร์ด STM32 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้กับบอร์ด STM32 ชุดคำสั่งจะทำการเชื่อมต่อกับ Network Server (Connect to Network) ผ่าน Gateway ด้วยเทคโนโลยีของ LoRa ในโหมดการเชื่อมต่อแบบ Activation by Personalization (ABP) ซึ่งไม่ต้องตรวจสอบทางด้านความปลอดภัยของ Gateway มากจึงไม่ใช้เวลาการเชื่อมต่อนาน เมื่อเริ่มระบบอุปกรณ์จะสามารถเชื่อมต่อได้เลยจากนั้นชุดคำสั่งจะทำการตรวจสอบการเชื่อมต่อกับ Network Sever (Check Network Connection) ถ้าหากไม่มีการเชื่อมต่อ (No Connection) จะทำการแจ้งเตือนบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ผ่าน Serial Monitor ในโปรแกรม Arduino IDE ว่า “No Connection” แต่ถ้าหากเชื่อมต่อกับ Network Server ได้สำเร็จ (Join ABP) จะทำการแจ้งเตือนบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ผ่าน Serial Monitor ในโปรแกรม Arduino IDE ว่า “Join ABP” เมื่อเชื่อมต่อสำเร็จ (Join ABP) ชุดคำสั่งในตัวบอร์ด STM32 จะตรวจสอบดูว่ามีคำสั่งของผู้ดูแลระบบ (Administrator Commands) เข้ามาหรือไม่ ถ้ามีจะเป็นการปิดระบบของบอร์ด STM32 (Stop System) ทันที หรือหยุดการทำงานของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z) ในกรณีที่ทำงานผิดพลาด หรือ ชำรุด แต่ถ้าหากไม่มีคำสั่งของผู้ดูแลระบบเข้ามาจะทำการตรวจสอบการเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ (Check Sensor Connection with STM32) ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งได้แก่

1. PMS7003 Sensor เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าฝุ่นละออง (PM 2.5)
2. BME280 Sensor เป็นเครื่องที่ใช้วัดค่าของอุณหภูมิรวมถึงค่าความชื้นในอากาศ
3. INA219 Sensor เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

ถ้าไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์กับตัวบอร์ด STM32 จะทำการแจ้งเตือนบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ผ่าน Serial Monitor ในโปรแกรม Arduino IDE ว่า “Please Check Wire Connection.” กรณีที่เซนเซอร์ทั้ง 3 ตัวมีการเชื่อมต่อกับบอร์ด STM32 จะทำการเริ่มระบบการทำงานของเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด (Sensor Initialization)

เมื่อเริ่มระบบการทำงานของเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด (Sensor Initialization) ตัวบอร์ด STM32 จะทำการรับค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด (Collect Data From Sensor) ที่อยู่ในรูปแบบตัวแปรทศนิยม (Float) ที่มีขนาดความกว้างของข้อมูล 32 bit แต่ขีดจำกัดในการส่งข้อมูลแต่ละรอบสูงสุดของเทคโนโลยี LoRa คือขนาดความกว้าง 16 Bit คือ ระหว่าง -32768 ถึง 32767 ซึ่งใช้เนื้อที่ในการเก็บ 2 ไบต์ ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลประเภทตัวอักษร (Char) หรือตัวแปรประเภทเลขจำนวนเต็ม (Integer) ได้ ดังนั้นผู้พัฒนาจึงเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ชุดคำสั่งในการแปลงข้อมูลที่อ่านได้จากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด ที่มีขนาดความกว้างของข้อมูล 32 Bit ให้เหลือความกว้างของข้อมูลเพียง 16 Bit โดยจัดเก็บในรูปแบบของตัวอักษร (Convert Data to Array) ซึ่งตัวแปรประเภทตัวอักษร (Char) มีความกว้าง 16 Bit จึงไม่มีปัญหาในการส่งข้อมูลหลังจากแปลงข้อมูลเป็นตัวอักษรเรียบร้อยแล้ว จึงทำการส่งข้อมูลไปยัง Network Sever ของ CAT Telecom PCL (Send Data to Server)

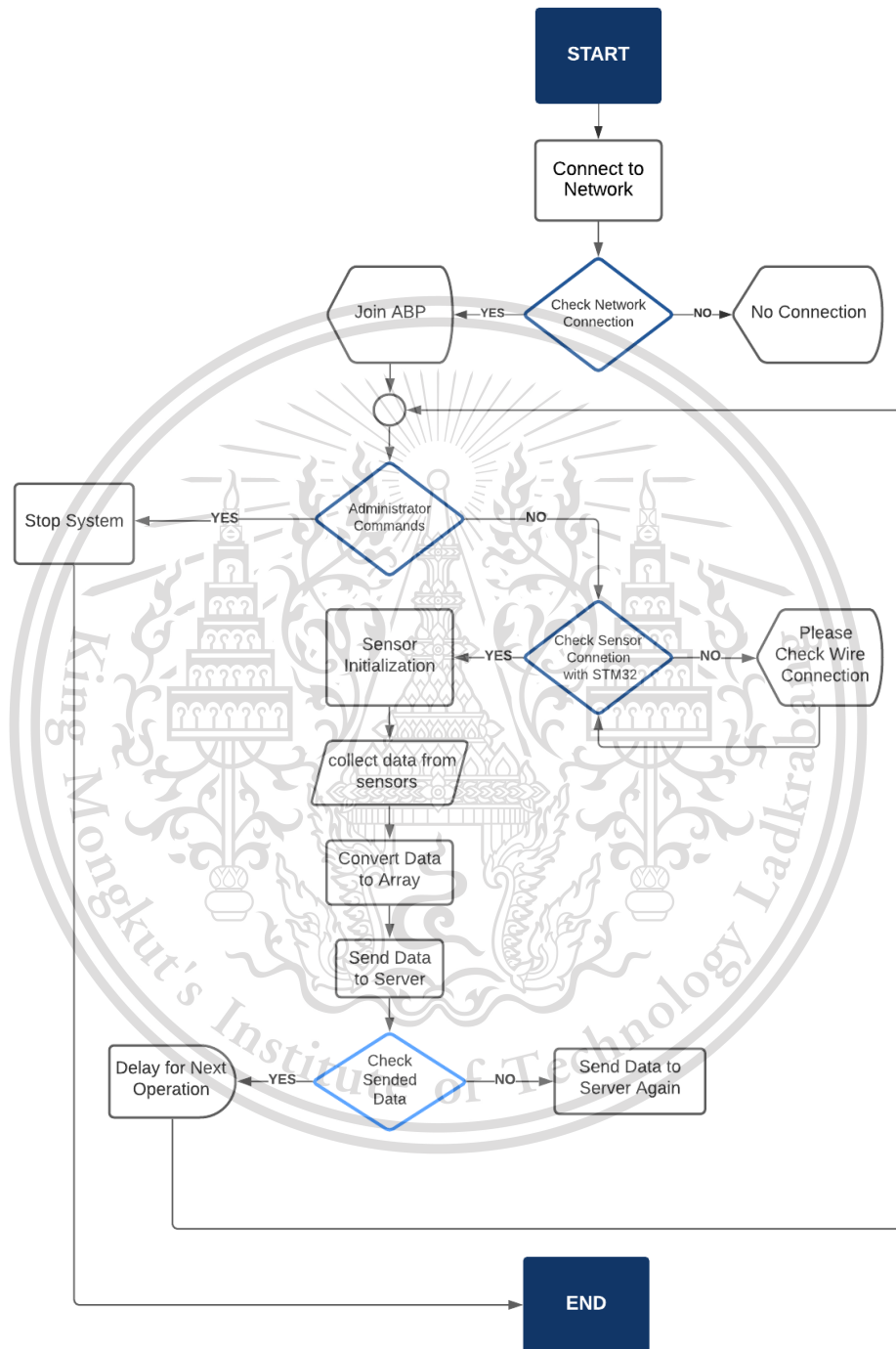
**หมายเหตุ สมาชิกแต่ละตัวจะใช้พื้นที่เท่ากับตัวแปรประเภท Integer ที่ไม่ได้อยู่ใน Array คือ 2 ไบต์ ต่อ ตัวแปร 1 ตัว ดังนั้นพื้นที่หน่วยความจำที่ใช้ทั้งหมดจึงเท่ากับจำนวนสมาชิกคูณด้วย 2 ไบต์

หลังจากส่งข้อมูลไปยัง Network Server ของ CAT Telecom PCL (Send Data to Server) ชุดคำสั่งในตัวบอร์ด STM32 จะทำการตรวจสอบการส่งข้อมูลไปยัง Network Server (Check Sended Data) ถ้าหากข้อมูลนั้นไม่ถูกส่งเนื่องจากการขัดข้องของสัญญาณชุดคำสั่งในตัวบอร์ด STM32 จะให้ส่งข้อมูลชุดเดิมไปยัง Network Server ซ้ำอีกครั้ง (Send Data to Server Again) แต่ถ้าหากข้อมูลถูกส่งไปยัง Network Server ได้ ชุดคำสั่งในตัวบอร์ด STM32 จะทำการสั่งงานให้รอเป็นระยะเวลาหนึ่ง (Delay For Next Operation) เพื่อการกลับมาทำงานอีกครั้งตามที่คุณดูแลระบบได้กำหนดในเบื้องต้นก่อนการติดตั้ง โดยจะเป็นการวนลูปกลับไปทำการตรวจสอบคำสั่งของคุณดูแลระบบ (Administrator Commands) ว่ามีคำสั่งหยุดระบบเข้ามาหรือไม่ และถ้ามีคำสั่งเข้ามาจะเป็นการหยุดระบบหรือหยุดการทำงานของตัวบอร์ด STM32 (Stop System) ทันทีและจะเป็นการจบชุดคำสั่งหรือโปรแกรมที่เขียนลงในตัวบอร์ด STM32 หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.9 รูปแบบการทำงานของชุดคำสั่งในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32-BL072-Z)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.1.3.2 การออกแบบชุดคำสั่งหรือโปรแกรมบน Application Server (Google App-Script)

ในการเขียนชุดคำสั่งหรือโปรแกรมบน Google App-Script ที่เป็นแพลตฟอร์มการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยบริษัท Google สามารถใช้งานได้ฟรีในการสร้าง API รับข้อมูลที่ส่งมาจาก Network Server ถูกส่งมาด้วยวิธี POST มีรูปแบบของข้อมูล คือ JSON เพื่อเก็บลงในฐานข้อมูล (Could Fire Store) ซึ่งมีตัวอย่างรูปแบบข้อมูลที่ส่งมาจาก Network Server ของบริษัท CAT Telecom PCL ที่เปรียบเสมือน Input แล้วมาผ่าน Google App-Script ที่เปรียบเสมือนกระบวนการแปลงข้อมูล (Process) ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล (Could Fire Store) ที่เปรียบเสมือน Output ซึ่งตัวอย่างข้อมูลที่เข้ามา (Input) แล้วผ่านกระบวนการแปลง (Process) ได้ออกมาเป็นข้อมูลในฐานข้อมูล (Output) แสดงดังรูปที่ 3.10 ตัวอย่างรูปแบบข้อมูลที่ส่งจาก Network Server ถึงการจัดเก็บในฐานข้อมูลจะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ส่งมาจะอยู่ในรูปแบบ JSON ยกตัวอย่างจากรูปที่ 3.10 เช่น { "name": "John", "age": "30", "city": "New York"} แต่เราจำเป็นต้องทราบโครงสร้างรูปแบบของ JSON ที่ส่งเข้าถึงจะสามารถเข้าถึงรายละเอียดของข้อมูลได้ โดยใช้ Webhook ซึ่งเป็นการใช้งาน API รูปแบบหนึ่งโดยจะเป็นการที่ผู้ให้บริการมา (ข้อมูลจาก Network Server) “สะกิด” เรียกผู้ใช้งาน (Google App-Script) เมื่อมีข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการส่งมาแบบ Real-Time โดยส่วนมากจะส่งผ่าน HTTP POST และข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบ JSON [29]

ทางผู้จัดทำจึงใช้ Webhook ช่วยในการรับเพื่อดูรูปแบบข้อมูล JSON ที่ถูกส่งมาจาก Network Server ซึ่งหลังจากทราบรูปแบบข้อมูลแบบ POST ที่ถูกส่งมารูปแบบ JSON เราก็สามารถเขียนชุดคำสั่งให้รับข้อมูลที่ถูกส่งมาแบบ POST ใน Google App-Script โดยใช้ Function doPost() {}; ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ทางผู้พัฒนาช่วยในการพัฒนาคำสั่งที่ใช้รับข้อมูลแบบ POST โดยการเข้าถึงข้อมูลที่ถูกส่งมาเราจะใช้ฟังก์ชัน JSON.parse(); ใน Google App-Script เพื่อแยกข้อมูลเป็น JSON Object เนื่องจากบางกรณีมีความซ้ำซ้อนของข้อมูลหลายชั้น ยกตัวอย่างจากรูปที่ 3.10 เช่น { "name": "John", "age": "30", "city": "New York"} จะเหลือเพียงข้อมูลที่เรากำลังจะเข้าถึง { John,30,New York } เป็นต้น เมื่อทำการแยกข้อมูลที่สำคัญออกมาได้แล้วส่งไปเก็บในฐานข้อมูล (Could Fire Store) โดยใช้ไลบรารี Firebase REST API ที่ช่วยในการส่งข้อมูลไปเก็บในฐานข้อมูล (Could Fire Store) โดยการเก็บข้อมูลเราต้องกำหนดชื่อของคอลัมน์หรือชื่อ Field ให้ตรงกับข้อมูลที่เราต้องการเก็บ ซึ่งตัวอย่างข้อมูลที่ถูกรับในฐานข้อมูล ยกตัวอย่างจากรูปที่ 3.10 เช่น Name: John เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ค่าอุณหภูมิ (Temp) ค่าแรงดัน (Pressure) และเนื่องจากหมายเลขของตัวเครื่อง (DevAddr) คือ จุดที่นำเครื่องไปติดไว้ ซึ่งสามารถเลือกได้เลยจากทางหน้าเว็บไซต์จากรูปข้างบนจะเห็นได้ว่า ในหน้าของแผนที่คุณภาพอากาศเราจะทำการแสดงทั้งในค่าของ Air Quality Index (AQI) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ค่าอุณหภูมิ (Temp) และค่าแรงดัน (Pressure) ซึ่งในการดึงข้อมูลมาแสดงนั้นทางผู้จัดทำได้ใช้ฟังก์ชันของ Function Station ฟังก์ชันนี้จะทำหน้าที่เมื่อเรากดเลือกสถานี (Station) ต่างๆ ซึ่งในฟังก์ชันนี้จะประกอบไว้ด้วย Switch Case ซึ่งเป็นคำสั่งเลือกเงื่อนไขอีกประเภทหนึ่งในภาษา JavaScript ที่สามารถควบคุมให้โปรแกรมทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ คำสั่ง Switch Case เป็นคำสั่งควบคุมการทำงานที่คล้ายกับคำสั่ง If แต่ใช้สำหรับเปรียบเทียบโดยตรงกับค่าที่กำหนดเท่านั้น ในขณะที่คำสั่ง If Else สามารถสร้างเงื่อนไขจากตัวดำเนินการประเภทต่างๆ ถ้าค่าใน Input ตรงกับเงื่อนไขใน Case โปรแกรมจะทำงานตามคำสั่งที่กำหนดไว้หลังจากเคสนั้นจนกว่าจะพบกับคำสั่ง Break เมื่อจบการทำงานในแต่ละ Case เราต้องใส่คำสั่ง Break เพื่อให้โปรแกรมหยุดทำงานและจบการทำงานจาก Switch ไม่เช่นนั้น คำสั่งที่เหลือจะถูกทำงานทั้งหมดและภายในของฟังก์ชัน Switch Case ทางผู้จัดทำได้ทำการเขียน db.collection ไว้ ซึ่งทำหน้าที่ดึง Collection ที่เราได้ทำการสร้างไว้ใน Firebase ออกมาและในหน้ายังมีอีกหนึ่งฟังก์ชัน คือ Function Showdata ทำหน้าที่แสดงข้อมูลที่เรทำการเรียกมาจากตัวฐานข้อมูลของเรา รวมถึงยังมี Function LookUpGrade ที่ไว้ใช้สำหรับส่งคืนค่าสีตัวอักษรตามดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) โดยช่วยให้สีนั้นแสดงร่วมกับตัวเลขดัชนีคุณภาพอากาศที่หน้าเว็บไซต์เพื่อช่วยให้ประชาชนสามารถรับรู้ถึงระดับคุณภาพอากาศในตอนนี้ได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น เมื่อเราทำการเขียนฟังก์ชันเหล่านี้ครบแล้วนำฟังก์ชันเหล่านี้ที่อยู่ใน Folder Script มาเพิ่มในหน้าแผนที่คุณภาพอากาศ เพื่อให้สามารถแสดงข้อมูลตามที่เรทำการเรียกข้อมูลไปแสดงบนหน้าเว็บไซต์ได้

ในส่วนของหน้าค้นหาข้อมูลย้อนหลัง ทางผู้จัดทำได้จัดทำให้มีการแสดงของข้อมูลไม่ว่าจะเป็น วัน เดือนปี (Date) เวลา (Time) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ค่าอุณหภูมิ (Temp) ค่าแรงดัน (Pressure) และมีปุ่มให้ทำการดาวน์โหลดเป็นไฟล์ Excel ได้อีกด้วย ซึ่งในหน้านี้เรามีการใช้ฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชัน และในหน้ายังมีการใช้หนึ่ง Form ได้แก่ Function Showdata, Function ExportTableToExcel และ Form.addEventListener ซึ่งในส่วนของ Function Showdata ทางผู้จัดทำได้อธิบายไปแล้วในข้างต้น และในส่วนของฟังก์ชันต่อมา คือ Function ExportTableToExcel มีหน้าที่นำข้อมูลจากฐานข้อมูลที่ผู้ใช้ (User) ทำการค้นหาที่มีอยู่ทั้งหมดเข้าไปแสดงอยู่ในรูปแบบของเอกสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.1.4 การออกแบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้แสดงผลค่าฝุ่นที่วัดได้จากเซนเซอร์

ในส่วนของการออกแบบหน้าเว็บไซต์ทางทีมผู้ทำโครงการได้ทำการสร้างหน้าเว็บไซต์ ซึ่งในเว็บไซต่นั้นประกอบไปด้วย 3 หน้า ได้แก่

1. หน้าแผนที่คุณภาพอากาศ
2. หน้าค้นหาข้อมูลย้อนหลัง
3. หน้าขอแนะนำในการปฏิบัติตัว

ซึ่งในแต่ละหน้าจะมีโครงสร้างและองค์ประกอบของหน้าที่แตกต่างกันออกไป ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันทางผู้จัดทำโครงการได้เลือกใช้โปรแกรม Visual Studio 2019 ซึ่งในการเขียนโปรแกรมได้เลือกการเขียนโปรแกรมเป็นแบบ MVC

Model-View Controller (MVC) นั้นเป็นรูปแบบในยุคเริ่มแรกของความพยายามที่จะแยกส่วนของ Model และ View ออกจากกัน โดยใน MVC นั้นนอกจาก Model และ View แล้วจะมี Controller เพิ่มขึ้นมาเป็นตัวกลาง โดยหน้าที่ของ Controller คือ การจัดการกับ Model โดยขึ้นอยู่กับการทำงานที่ได้จาก View และยังทำหน้าที่สรรหาข้อมูลจาก Model เพื่อนำไปแสดงผลที่ View ในรูปแบบ MVC นั้น View อาจจะสามารถรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลผ่าน Model ได้โดยตรง

ข้อดีของ Model-View Controller (MVC)

1. ทุกอย่างสามารถนำมาใช้ซ้ำได้อย่างแท้จริง ทำแค่ครั้งเดียว เหมือนหนึ่งไฟล์ที่เราทำมาเป็น User control ทุกไฟล์
2. เรื่องความปลอดภัยสามารถคุมง่าย และสามารถคุมเป็นชั้น ๆ ได้ละเอียด
3. การทำงานของหน้าเพจจะเร็วกว่า
4. ในระยะยาว จะมีผลดีมากในเรื่องของการรักษา
5. โครงสร้างของการวางไฟล์และโฟลเดอร์เป็นระเบียบ

ข้อเสียของ Model-View Controller (MVC)

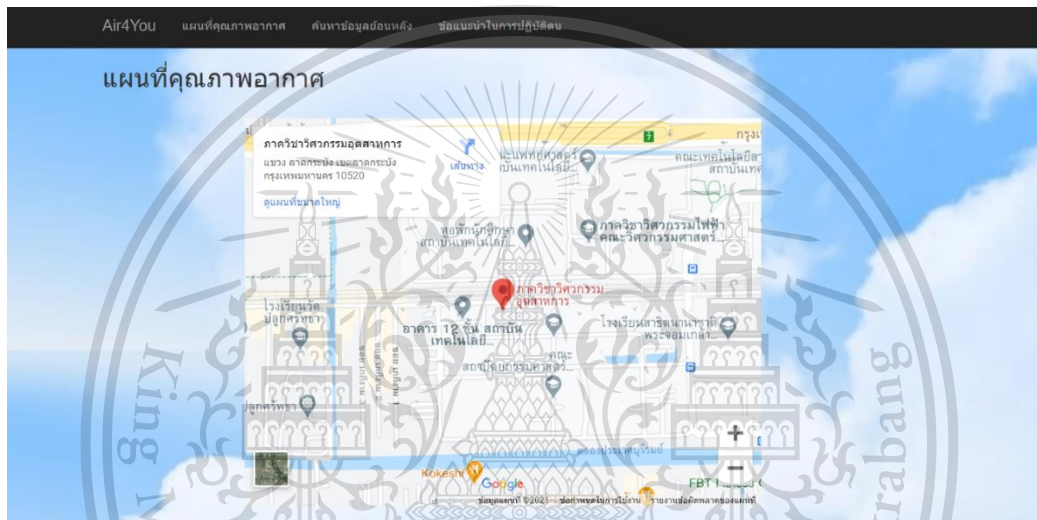
ต้องอาศัยจินตนาการมากขึ้น เพราะ หนึ่งหน้าเพจแสดงผลประกอบด้วยหลายไฟล์เชื่อมโยงกัน ซึ่งทางผู้จัดทำโครงการได้ออกแบบเว็บไซต์ในแต่ละหน้าเป็นดังนี้

1. **หน้าแผนที่คุณภาพอากาศ** ทางผู้ทำโครงการได้ออกแบบหน้านี้ให้มีในส่วนของแผนที่ที่แสดงจุดที่

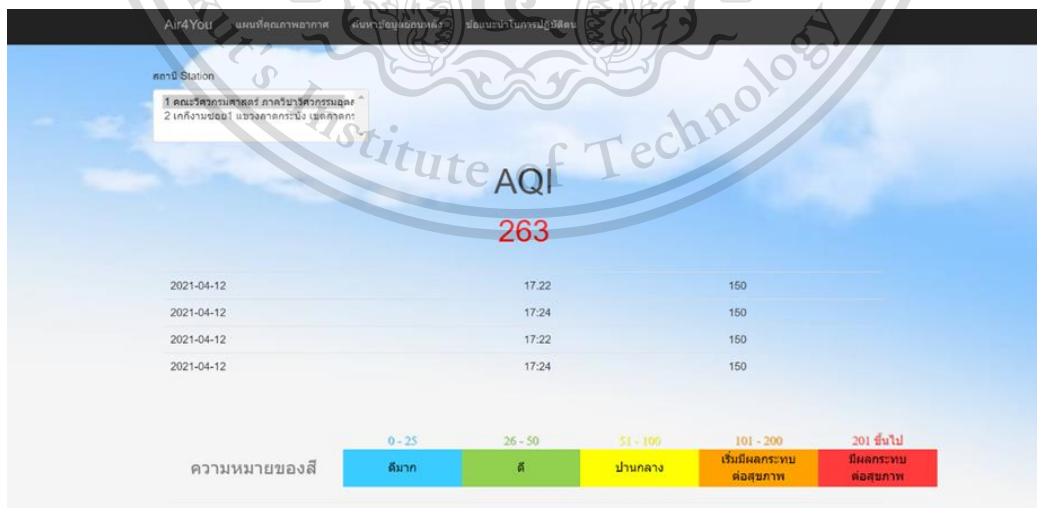
เรานำเครื่องวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ไปทำการติดตั้งไว้และในหน้านี้จะมีตำแหน่งที่ทางผู้ทำโครงการได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการติดตั้งเครื่องวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ไว้เพื่อให้ผู้ใช้งานที่ต้องการทราบค่าที่จุดใดๆ ทำการเลือกเพื่อเรียกดูค่ามลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ตามตำแหน่งที่ผู้ใช้งานสนใจ ซึ่งในหน้านี้ทางผู้จัดทำได้มีการใส่ค่า AQI และมีการแสดงสีเพื่อทำให้ผู้ที่เข้ามาใช้งานสามารถทราบได้ว่ามีความอันตรายมากน้อยเพียงใด ซึ่งทางเราได้ทำการใส่แถบสีเพื่อบอกความหมายของแต่ละสีไว้อีกด้วย

จากรูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่าในส่วนบนนี้จะมีแผนที่ที่แสดงจุดของเซนเซอร์ที่ทางเราได้ทำการติดตั้งไว้เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเห็นจุดที่ทางผู้ทำโครงการได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดมลภาวะฝุ่นได้ง่ายยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.12 ส่วนของหน้าที่เป็นหน้าแผนที่คุณภาพอากาศในส่วนบน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าในส่วนล่างนี้ทางผู้ทำโครงการจะมีสถานีให้ผู้ที่เข้ามาใช้งานสามารถเลือกได้ว่าจะดูค่ามลภาวะทางอากาศ ณ จุดใดๆ ตามที่ผู้ใช้งานสนใจที่จะดูค่า หลังจากที่ทางผู้ใช้งานกดเลือกสถานีที่จะดูแล้วข้อมูลที่นำมาแสดงนั้นจะถูกนำมาจากฐานข้อมูลที่ทำการจัดเก็บไว้แบบ Realtime และจะมีการแสดงข้อมูลทางด้านล่างในตารางจะประกอบไปด้วย วันเดือนปี เวลา ค่ามลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ค่าอุณหภูมิ รวมถึงค่าความดัน และจะสังเกตเห็นได้ว่าข้างบนตารางจะมีการแสดงค่าของ Air Quality Index (AQI) ไว้ด้วย ซึ่งค่า Air Quality Index (AQI) คือ รายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไปเพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใดมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ และข้างล่างตารางแสดงค่า ระดับมลพิษจะแสดงความหมายของสีในแต่ละระดับความรุนแรงซึ่งแบ่งระดับความรุนแรงตามกรมควบคุมมลพิษสามารถแบ่งความรุนแรงออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่

1. คุณภาพอากาศดีมาก (0-25) จะมีสีเป็นสีฟ้า
2. คุณภาพอากาศดี (26-50) จะมีสีเป็นสีเขียว
3. คุณภาพอากาศปานกลาง (51-100) จะมีสีเป็นสีเหลือง
4. คุณภาพอากาศที่เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ (101-200) จะมีสีเป็นสีส้ม
5. คุณภาพอากาศที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ (201 ขึ้นไป) จะมีสีเป็นสีแดง

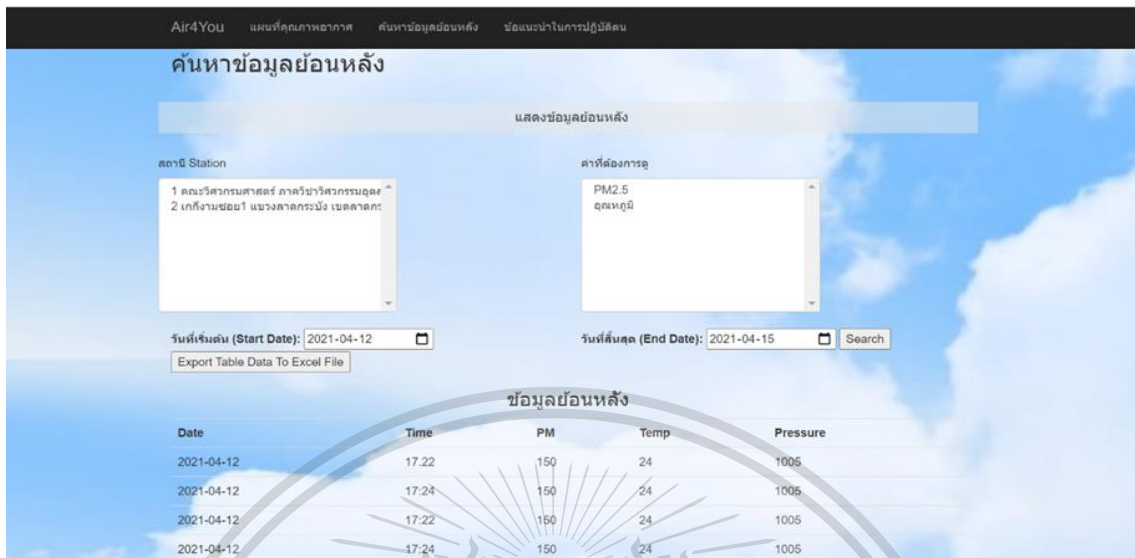
และค่า Air Quality Index (AQI) จะมีการเปลี่ยนสีไปตามแต่ละระดับความรุนแรงของสภาพอากาศ

2. หน้าค้นหาข้อมูลย้อนหลัง ในหน้านี้ทางผู้ทำโครงการได้ออกแบบให้มีตำแหน่งที่ทางผู้ทำโครงการได้นำเครื่องวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ทั้งหมด เพื่อให้ผู้ที่เข้ามาใช้งานที่สนใจในจุดต่างๆ ที่ทางเราได้ทำการติดตั้งไว้สามารถดูข้อมูลย้อนหลังได้ โดยวิธีในการดูข้อมูลย้อนหลังนั้นสามารถทำได้โดยเลือกสถานีที่สนใจจะดูค่าต่างๆ ย้อนหลังและให้ทำการเลือกค่าที่ต้องการจะดู หลังจากนั้นกดปุ่มค้นหา (Search) เมื่อทำการกดแล้วค่าที่ผู้ใช้งานสนใจจะแสดงขึ้นมาทางด้านล่างในตารางที่ทางเราได้ทำการเตรียมไว้ และนอกจากนี้ยังสามารถกดปุ่ม ExportTableToExcel เพื่อเรียกดูข้อมูลใน Excel ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

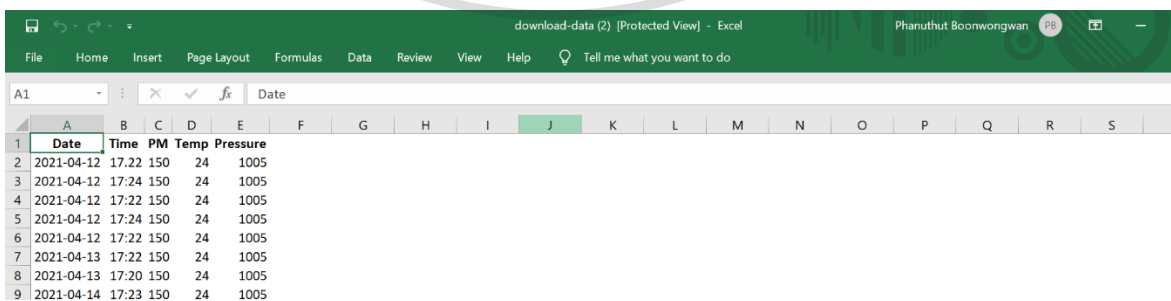
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.14 ส่วนของหน้าที่เป็นหน้าค้นหาข้อมูลย้อนหลัง

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าในหน้านี้ทางผู้ทำโครงการได้ออกแบบให้สามารถเลือกดูข้อมูลย้อนหลังในแต่ละสถานีได้ ซึ่งวัตถุประสงค์ในการสร้างหน้านี้เพื่อให้ผู้คนที่เข้ามาใช้งานสามารถค้นหาข้อมูลย้อนหลังเกี่ยวกับสภาพอากาศได้และสามารถนำข้อมูลที่ได้ออกมาจากการค้นหาย้อนหลังมาเพื่อดูแนวโน้มและหาวิธีการรับมือกับปัญหาหมอกพิษทางอากาศที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต

วิธีการใช้งานในหน้านี้ คือ ให้ผู้ที่เข้าใช้งานเลือกสถานีที่ผู้ใช้งานสนใจจะดูค่าต่างๆ หลังจากนั้นให้ผู้ใช้เลือกวันที่เริ่มต้น และวันที่สิ้นสุด เมื่อทำการเลือกวันที่เริ่มต้นและวันที่สิ้นสุดแล้วให้กดที่ปุ่ม Search หลังจากนั้นข้อมูลจะแสดงในตารางข้างล่างตามที่ทางผู้ทำโครงการได้เตรียมไว้ และหากผู้ใช้งานต้องการดูข้อมูลผ่านทาง Excel ผู้ใช้งานสามารถกดที่ปุ่ม Export Table Data To Excel File เพื่อดูข้อมูลใน Excel ได้อีกด้วย ดังรูปที่ 3.15








เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.15 ข้อมูลที่แสดงใน Excel หลังจากที่ทำกรกดปุ่ม Export Table Data To Excel File ด้านการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.หน้าข้อเสนอแนะในการปฏิบัติตัว ในหน้านี้จะบอกถึงการปฏิบัติตัวในแต่ละสภาพความรุนแรงของอากาศว่าควรทำตัวอย่างไร มีอะไรที่ควรระวัง หรือหลีกเลี่ยง

ดัชนีคุณภาพอากาศ	ระดับมลพิษทางอากาศ	ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติตัว
0-25		ทำกิจกรรมได้ตามปกติ
26-50		เด็ก ผู้ใหญ่ รวมถึงผู้ที่โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ เช่น โรคหอบหืด ควรจำกัดเวลาการออกไปในที่กลางแจ้ง
51-100		เด็ก ผู้ใหญ่ รวมถึงผู้ที่โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ เช่น โรคหอบหืด ควรหลีกเลี่ยงการออกไปในที่กลางแจ้งเป็นเวลานาน
101-200		เด็ก ผู้ใหญ่ รวมถึงผู้ที่โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ เช่น โรคหอบหืด ควรหลีกเลี่ยงการออกไปในที่กลางแจ้งเป็นเวลานาน และควรหลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมกลางแจ้งเป็นเวลานาน
200 ขึ้นไป		ทุกคนควรหลีกเลี่ยงการออกไปในที่แจ้งและหลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมกลางแจ้งทั้งหมด

รูปที่ 3.16 ส่วนของหน้าที่เป็นหน้าข้อเสนอแนะในการปฏิบัติตัว

จากรูปที่ 3.16 จะเห็นได้ว่าทางผู้ทำโครงการได้ให้ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติตัวในแต่ละระดับคุณภาพความรุนแรงของอากาศตามดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ซึ่งสามารถทำให้ผู้เข้ามาใช้งานมีแนวทางในการปฏิบัติตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

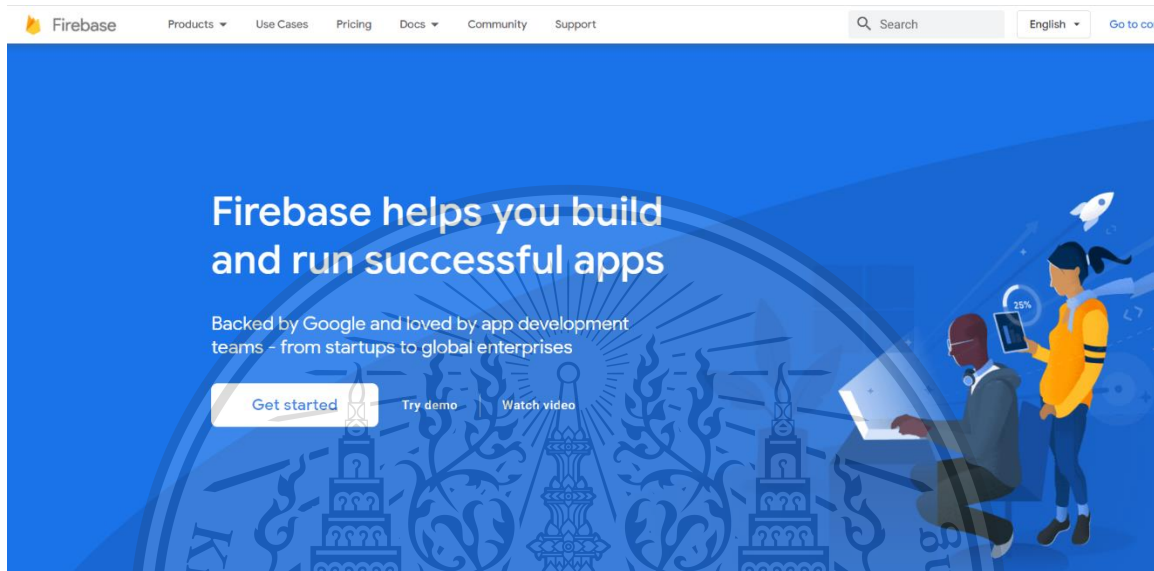
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

3.1.5 วิธีการสร้าง Firebase

การสร้าง Firebase มีอยู่ 3 ขั้นตอน

1. เมื่อเข้าหน้า Firebase แล้วให้กดที่ Get Started



รูปที่ 3.17 หน้าแรกของ Firebase

2. หลังจากกดที่ Get Started แล้ว ให้ทำการเลือกไปที่ Add-Project หรือเพิ่มโครงการ



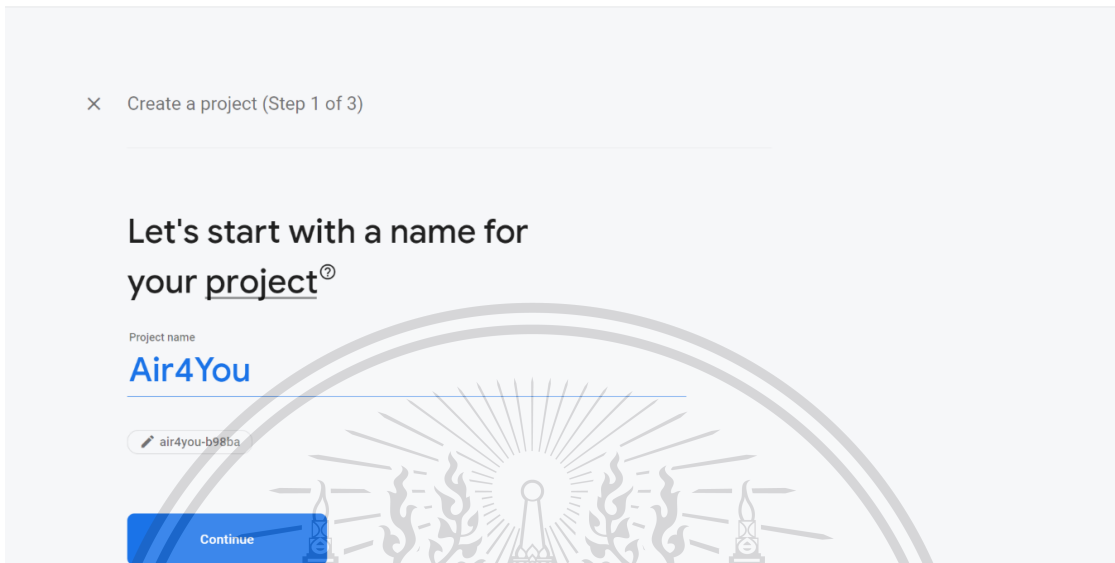
รูปที่ 3.18 หน้าเพิ่มโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3. หลังจากนั้นให้ตั้งชื่อ Project แล้วสามารถ Continue ต่อไปจนสร้างเสร็จ



รูปที่ 3.19 ตั้งชื่อโปรเจค

3.2 คัดเลือกเซนเซอร์วัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ที่ใช้ในระบบ

เซนเซอร์วัดมลภาวะทางฝุ่นเหล่านี้ ได้แก่ Honeywell HPMA115S0, Nova Fitness SDS011, Plantower PMS5003 และ PMS7003 ตัวเซนเซอร์เหล่านี้เป็นเซนเซอร์วัดมลภาวะทางฝุ่นที่ต้นทุนต่ำและนิยมมากในปัจจุบันนี้ โดยมีระดับความแม่นยำในระดับที่สามารถยอมรับได้ โดยได้รับการสอบเทียบด้านความแม่นยำในช่วงของการวัดค่ามลพิษ อายุการใช้งาน และประสิทธิภาพจาก United States of Environmental Protection Agency: US EPA และ South Coast AQMD's Air Quality Sensor Performance Evaluation Center (AQ-SPEC)

3.2.1 คัดเลือกเซนเซอร์ต้นทุนต่ำเบื้องต้น

ทำการเปรียบเทียบจากคุณสมบัติหลักของเซนเซอร์วัดฝุ่นโดยรวม 7 คุณสมบัติ ดังตารางที่ 3.2 เพื่อคัดเลือกเซนเซอร์วัดฝุ่นในเบื้องต้น เพื่อหาเซนเซอร์วัดฝุ่นที่เหมาะสมกับการใช้งานที่สุดและนำไปศึกษาคุณสมบัติทั้ง 3 ด้าน ได้แก่

1. ความถูกต้อง (Accuracy)
2. ความแม่นยำหรือความเที่ยง (Precision)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่บริษัทผลิตงาน (Power Consumption) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติเซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุนต่ำ

Sensor คุณสมบัติ	HPMA115S0	SDS011	PMS 5003	PMS 7003
1. Rang ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0 To 1,000	0 To 999.9	0 To 500	0 To 500
2. ค่าความผิดพลาด และค่าความ คลาดเคลื่อนของความ แม่นยำ (%)	15% and $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}$	15% and $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}$	10% and $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}$	10% and $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}$
3. กระแสที่ใช้ในการ ทำงาน (mA)	80	70	<100	<=100
4. กระแสที่ใช้ในโหมด Sleep (μA)	20,000	N/A	<=200	<=200
5. อายุการใช้งาน (Hr.)	>50,000	~8000	~30,000	~20,000
6. สภาพแวดล้อมการ ทำงาน ($^{\circ}\text{C}$)	-10 To 50	-10 To 50	-10 To 60	-10 To 60
7. ราคา (บาท)	1,021	675	695	650

3.2.2 การวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy)

ในการวัดค่าความแม่นยำของเซนเซอร์จะทำการนำค่าที่ทำการวัดได้จริงมาทำการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในระดับมาตรฐานที่สูงกว่า โดยทำการเปรียบเทียบจะเป็นค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมงเพื่อเฉลี่ยความผิดพลาดในการวัดออกไปเทียบกับค่าเฉลี่ยในการวัดของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งมีวิธีการวัดค่าความแม่นยำ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1. นำเซนเซอร์ของเราไปวัดค่าฝุ่นในบริเวณเดียวกับกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยทำการบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที และค่าฝุ่นที่ถูกวัดได้จะถูกส่งเข้า Google Sheet เพื่อบันทึกข้อมูล
2. นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเป็นข้อมูลฝุ่นรายชั่วโมงในหน่วยดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ของประเทศไทย เพื่อใช้เปรียบเทียบกับสถานีวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ
3. ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำกับรายงานผลค่าฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ ณ สถานีวัดฝุ่นกรมอุตุนิยมวิทยาบางนาที่เป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง และคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของเซนเซอร์วัดฝุ่นที่เราใช้

$$\text{Relative error} = \frac{|X_{mea} - X_t|}{X_t} \quad (3.1)$$

$$\%Error = \text{Relative error} \times 100 \quad (3.2)$$

$$\%Accuracy = 100 - \%Error \quad (3.3)$$

เมื่อ X_{mea} คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด (Measure Value)

X_t คือ ค่าเฉลี่ยจริง (True Value)

3.2.3 การวัดค่าความเที่ยงตรง (Precision)

ในการพิจารณาความเที่ยงในการวัดของเซนเซอร์วัดฝุ่นจะพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลต่างของค่าจริงที่วัดได้จากสถานีวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษกับค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ของเรา เพื่อประเมินความแม่นยำของการวัด เนื่องจากความยากลำบากในการรักษาความเข้มข้นและควบคุมปริมาณของอนุภาคฝุ่นละอองให้อยู่ในระดับคงที่

วิธีการทดลองเบื้องต้น

1. นำเซนเซอร์ของเราไปทำการวัดค่าฝุ่นในบริเวณเดียวกับกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา หรือ ใกล้เคียงบริเวณนั้นเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยทำการบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที และค่าฝุ่นที่ถูกวัดได้จะถูกส่งเข้า Google Sheet เพื่อบันทึกข้อมูลเป็นฐานข้อมูลชั่วคราว
2. นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเป็นข้อมูลฝุ่นรายชั่วโมงในหน่วยดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ของประเทศไทย เพื่อใช้เปรียบเทียบกับสถานีวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3. หาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนจากผลต่างของค่าที่วัดได้จากสถานีวัดฝุ่นกับเซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิด

$$S_w = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (3.5)$$

4. ประเมินความเที่ยงโดยทำการเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.2.4 การทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์

ในการพิจารณาความแตกต่างของข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดฝุ่นทั้งจะทำทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรได้พร้อมกันได้มากกว่า 2 กลุ่มประชากร และการทดลองนี้เรามีการพิจารณาปัจจัยเดียว คือ ค่าของฝุ่นที่วัดได้ ซึ่งเราต้องการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มประชากร (ข้อมูลที่วัดได้) นั้นมีความแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งมีข้อกำหนดก่อนการวิเคราะห์เบื้องต้น คือ

1. กลุ่มประชากรของเราต้องมีการแจกแจงปกติ
2. กลุ่มประชากรที่นำมาทดสอบนั้นต้องมีความแปรปรวนเท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ

แต่เนื่องจากข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์มีจำนวนมาก จึงใช้โปรแกรม Minitab เพื่อช่วยในการคำนวณเนื่องจากมีเครื่องมือที่ใช้หาว่าข้อมูลที่เรานำมาจากการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ คือ การทดสอบความเป็นปกติ (The Normality Test) โดยใช้หลักสถิติของ Anderson-Darling มีวิธีทดลอง ดังนี้

1. ตั้งสมมติฐาน H_0 และ H_1 ดังนี้

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ หรือ H_0 : ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ หรือ H_1 : ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด อย่างน้อยมี 1 คู่ ที่มีความแตกต่างกัน

2. กำหนดระดับนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$)

3. ทดสอบข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ (The Normality Test) ด้วยโปรแกรม Minitab โดยใช้หลักสถิติของ Anderson-Darling

4. วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) หรือ F-Test ด้วยโปรแกรม Minitab โดยตั้งสมมติฐานว่ากลุ่มประชากรมีความแปรปรวนเท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.2.5 การวัดการบริโภคพลังงาน (Power Consumption) ของเซนเซอร์วัดฝุ่น (PM 2.5)

เนื่องจากตัวเซนเซอร์มีการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่การใช้พลังงานที่มากเกินไปจนความจำเป็นส่งผลให้ตัวอุปกรณ์วัดมลภาวะทางฝุ่นระยะไกลมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าปกติ ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ไร้ประโยชน์ในการซ่อมบำรุงและอาจทำให้ตัวของเซนเซอร์วัดฝุ่นชำรุด หรือเสียหายก่อนความจำเป็นได้ ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า การบริโภคพลังงาน (Power Consumption) เป็นปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาอย่างยิ่งการดึงกระแสจากแบตเตอรี่มาใช้ของเซนเซอร์วัดฝุ่นตามรูปแบบการทำงานของเซนเซอร์แต่ละแบบ (Mode) เช่น Standby Mode , Sleep Mode หากเราทราบรูปแบบการบริโภคพลังงานของตัวเซนเซอร์วัดฝุ่นนี้จะช่วยให้สามารถยืดอายุการใช้งานของเซนเซอร์วัดฝุ่น และกำหนดรูปแบบการทำงานที่เรียกว่าโหมด (Mode) การใช้งานได้ดียิ่งขึ้น ทำให้เราสามารถคาดการณ์การใช้พลังงานที่แท้จริงของเซนเซอร์วัดฝุ่นได้อย่างแม่นยำ และสามารถเปรียบเทียบแนวทางการใช้พลังงานต่ำในแง่ของประสิทธิภาพกับการใช้พลังงานอีกด้วย

วิธีการทดลองเบื้องต้น

1. ใช้เครื่องมือวัดมิเตอร์ต่ออนุกรมกับเซนเซอร์วัดฝุ่นเพื่อดูปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละรูปแบบของการทำงานของตัวเซนเซอร์
2. เขียนซอฟต์แวร์ให้เซนเซอร์วัดฝุ่นทำงานแบบเต็มรูปแบบ 2 วินาที สลับกับการเข้าโหมดประหยัดพลังงาน 2 วินาที
3. ดูค่ากระแสจากเครื่องมือวัดมิเตอร์แล้วนำมาวาดกราฟเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อศึกษาสร้างระบบวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) โดยการออกแบบฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ในการตรวจวัดค่ามลภาวะทางฝุ่นรวมถึงการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแรงดันอากาศที่สามารถส่งข้อมูลมาเก็บไว้ในฐานข้อมูลภายใต้แนวคิดของ Internet of Things (IoT) โดยมีจุดประสงค์ให้สามารถติดตั้งและใช้งานได้ง่ายสำหรับประชาชนทั่วไปในพื้นที่ชุมชนที่ไม่มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่กำลังประสบปัญหาหมอกควันทางฝุ่นและเก็บข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการทำนายหรือการศึกษาในอนาคตแก่บุคคลอื่น

4.1 ผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์

4.1.1 ผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

พัฒนาตัวอุปกรณ์ (Hardware) และตัวโปรแกรม (Software) ในการตรวจวัดค่ามลภาวะทางฝุ่น รวมถึงการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแรงดันอากาศ ที่สามารถส่งข้อมูลมาเก็บไว้ในฐานข้อมูลได้ (Cloud)

4.1.2 ผลคัดเลือกเซนเซอร์วัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ที่ใช้ในระบบ

เราทำการเลือกเซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุนต่ำของ Plantower ซึ่งได้แก่ PMS5003 และ PMS7003 เนื่องด้วยคุณสมบัติด้านความแม่นยำในการวัดและมีโหมดประหยัดพลังงาน เมื่อเราไม่ได้ใช้งานซึ่งมีการกินพลังงานที่น้อยมากในระดับเพียงไมโครแอมป์ (μA) จึงมีข้อได้เปรียบมากกว่าเซนเซอร์ต้นทุนต่ำ SDS011 ที่ไม่สามารถเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานได้ ข้อได้เปรียบอีกอย่าง คือ PMSx003 มีช่วงของสภาพแวดล้อมในการทำงานที่สูงกว่า ส่วนเซนเซอร์ต้นทุนต่ำ Honeywell มีความแม่นยำและความเที่ยงน้อยกว่าและยังใช้พลังงานในโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode) สูงกว่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.1.2.1 การวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy)

เนื่องจากทางผู้จัดทำโครงการได้ทำการศึกษาเซนเซอร์วัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ ทำให้ผู้จัดทำโครงการทราบว่า

1. ทางกรมควบคุมมลพิษใช้หลักการตรวจวัดแบบ Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM) หรือ Beta Ray Attenuation โดยยี่ห้อและรุ่นที่เสนอต้องได้รับการรับรองจาก US EPA พร้อมทั้งมีหมายเลขการรับรองที่สามารถตรวจสอบได้ ซึ่ง Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM) คือ การใช้หลักการดูดอากาศผ่านหัวคัดขนาดสำหรับฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน เพื่อให้ฝุ่นละอองตกสะสมบนแผ่นกรองในขณะสั่นสะเทือนและแปลงค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเป็นค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองในบรรยากาศ และ Beta Ray Attenuation คือ การใช้หลักการฉายรังสีเบต้าไปยังฝุ่นละอองบนแผ่นกรองซึ่งดูดผ่านหัวคัดขนาดสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และวัดความสามารถในการดูดซับรังสีเบต้าเพื่อนำมาแปลงเป็นค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

2. สามารถเลือกช่วงของการวัดได้ในช่วง 0 ถึง 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ หรือ 0 ถึง 5,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ หรือ 0 ถึง 10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ หรือช่วงการตรวจวัดที่กว้างกว่า

3. ค่าต่ำสุดที่วัดได้ (Lower Detectable Limit) ไม่เกิน 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง หรือดีกว่า

4. ค่าความละเอียด (Resolution) ไม่เกิน $\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ หรือดีกว่า

5. สามารถแสดงผลที่ตัวเครื่องเป็นระบบตัวเลขและมีระบบสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS232 หรือดีกว่า เพื่อควบคุมระบบการทำงานและรายงานผลข้อมูลให้เหมาะสม

6. มีอุปกรณ์ปรับเทียบน้ำหนัก หรือความเข้มข้น (Calibration Kit) ซึ่งจะต้องได้รับการสอบเทียบเรียบร้อยแล้ว

7. ค่าความแม่นยำ (Precision) ไม่เกิน 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง หรือดีกว่า

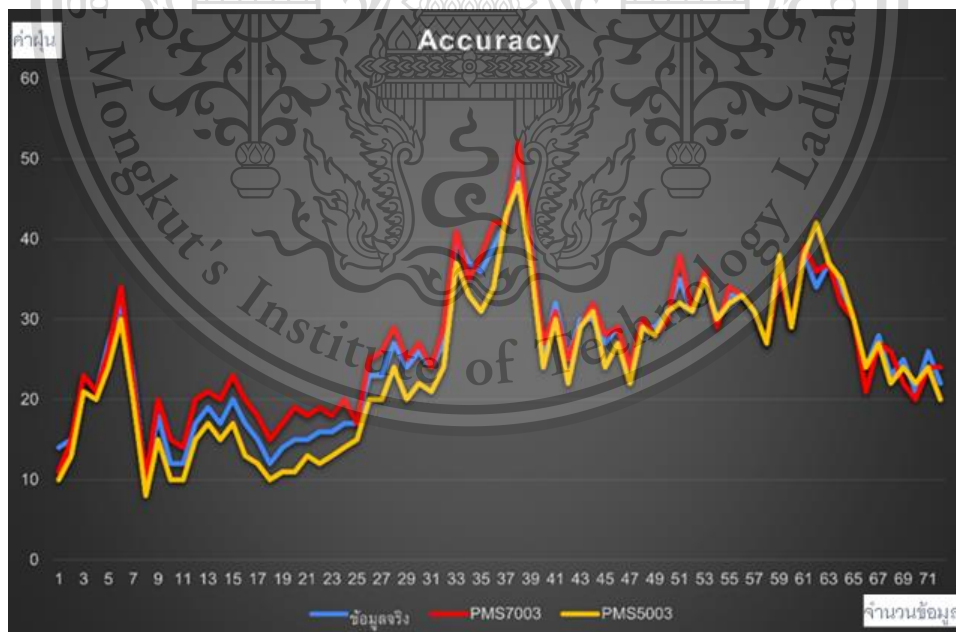
จะเห็นได้ว่าเซนเซอร์วัดฝุ่นที่กรมควบคุมมลพิษใช้มีความแม่นยำในการวัด และความเที่ยงตรงมากกว่าเซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุนต่ำ PMS7003 ที่ทางผู้จัดทำโครงการใช้ ดังนั้นผู้ทำโครงการได้ทำการวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของเซนเซอร์ตามวิธีการดำเนินการใน 3.2.2 ทำให้ได้ผลการทดลองค่าความแม่นยำ โดยนำเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 และ PMS7003 ไปวัดค่าฝุ่นในบริเวณเดียวกับกรมอุตุฯ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ให้เซนเซอร์ส่งค่าฝุ่นที่วัดได้ทุกๆ 5 นาที ในหน่วยของไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กรมควบคุมมลพิษเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง ซึ่งค่าที่กรมควบคุมมลพิษแสดงจะอยู่ในหน่วยของดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ดังนั้นเราต้องนำข้อมูลที่เก็บได้มาเฉลี่ยเป็นรอบรายชั่วโมงตามเวลาที่ตรงกับสถานีวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ โดยทำการแปลงจากหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) เป็นหน่วยของดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) เพื่อให้สามารถทำการเปรียบเทียบความแม่นยำกับเซนเซอร์วัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ ณ สถานีวัดฝุ่นกรมอุตุนิยมวิทยาบางนาได้ ซึ่งสามารถสรุปผลเปรียบเทียบข้อมูลของเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัวได้แก่ เซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 , PMS7003 และเซนเซอร์วัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษในหน่วยดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ทั้ง 72 ชั่วโมง ได้ดังรูปที่ 4.1 เปรียบเทียบดัชนีคุณภาพอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 และ PMS7003 เทียบกับเซนเซอร์วัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 และเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 ในหน่วยของดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) มีค่าเฉลี่ยที่สูง และต่ำกว่าตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1 สามารถคิดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Error) ในการวัดของเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 และ PMS7003 เทียบกับเซนเซอร์วัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษได้เป็น 6.71% และ 3.05% ตามลำดับ หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการวัด (Accuracy) ในการวัดของเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 และ PMS7003 เทียบกับเซนเซอร์วัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ ได้เป็น 93.29% และ 96.95% ตามลำดับดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ดัชนีคุณภาพอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 และ PMS7003 เทียบกับ

เซนเซอร์วัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.1 ค่าฝุ่นในหน่วยดัชนีคุณภาพอากาศที่วัดได้จากตัวอุปกรณ์เทียบกับสถานีวัดฝุ่น

เครื่องมือที่ใช้วัดฝุ่น	สถานีวัดฝุ่นกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา	PMS5003	PMS7003
ค่าเฉลี่ยฝุ่น PM2.5 72 ชั่วโมง (AQI)	25.93	24.19	26.72

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดและความแม่นยำของแต่ละเซนเซอร์ ดังสมการที่ (3.2) และ (3.3) ตามลำดับ

สูตรคำนวณ	PMS5003	PMS7003
$\%Error = \text{Relative error} \times 100\%$	6.71%	3.05%
$\%Accuracy = 100\% - \%Error$	93.29%	96.95%

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า จากผลการทดลองความแม่นยำ (Accuracy) ในการวัดมลภาวะทางฝุ่น เซนเซอร์วัดฝุ่นของ Plantower รุ่น PMS7003 สามารถวัดอนุภาคของฝุ่นละอองขนาดเล็กได้มีความแม่นยำกว่าเซนเซอร์วัดฝุ่นของ Plantower รุ่น PMS5003

4.1.2.2 การวัดค่าความเที่ยงตรง (Precision)

จากการที่ผู้ทำโครงการได้ทำการวัดค่าความเที่ยงตรง (Precision) ของเซนเซอร์ ตามวิธีการดำเนินการใน 3.2.3 สามารถสรุปข้อมูลของการวัดในหน่วยดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ของประเทศไทยของเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดได้ดังตารางที่ 4.3 เป็นการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเซนเซอร์วัดฝุ่น PM5003 ,เซนเซอร์วัดฝุ่น PM7003 และเซนเซอร์วัดฝุ่นจากสถานีวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ และสามารถพล็อตเป็นกราฟการกระจายตัวแบบปกติของเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดได้ดังรูปที่ 4.2 จะสังเกตได้ว่าเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าเฉลี่ยในหน่วยของดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ของประเทศไทยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกัน แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าที่วัดจากเซนเซอร์วัดฝุ่นทั้ง 2 ตัวได้แก่ PMS5003 และ PMS7003 นั้นมีความเที่ยงดีหรือไม่

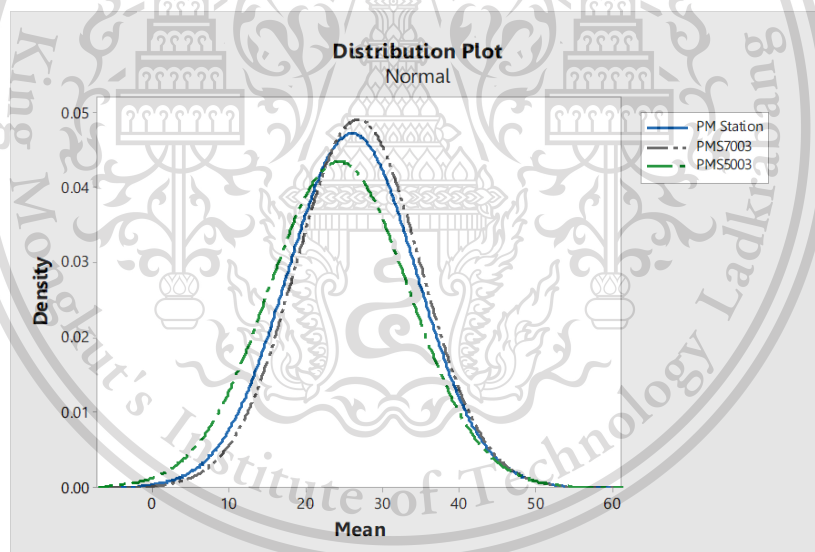
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปผลการคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละอุปกรณ์ ดังสมการที่ (3.4), (3.5) ตามลำดับ

อุปกรณ์	ค่าเฉลี่ย AQI (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
อุปกรณ์ของกรมควบคุมมลพิษ	25.93	8.43
PMS5003	24.19	9.17
PMS7003	26.73	8.11



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลจากตัวเซนเซอร์เมื่อเทียบกับสถานีวัดฝุ่น

จากรูปที่ 4.2 จะสามารถสังเกตเห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์แต่ละชนิดว่า มีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ไม่เท่ากัน ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นนั้นหมายถึงมีความผิดพลาดในการวัดค่าฝุ่นของเซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิด แต่ความสามารถในการวัดซ้ำหลายครั้ง หรือการวัดความเที่ยงสามารถพิจารณาได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่วัดได้ (Standard Deviation of Error) หรือไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mean Square Error (MSE) เพราะถ้าหากเซนเซอร์มีความเที่ยงตรงสูง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเซนเซอร์วัดฝุ่นทั้ง 2 ตัวได้แก่ PMS5003 และ PMS7003 จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการหา Standard Deviation of Error ของเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 และ PMS7003 เทียบกับเซนเซอร์วัดฝุ่นจากสถานีวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษได้ผลการคำนวณ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลต่างของค่าได้วัดได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิด เทียบกับสถานีวัดฝุ่น ดังสมการที่ (3.4) และ (3.5)

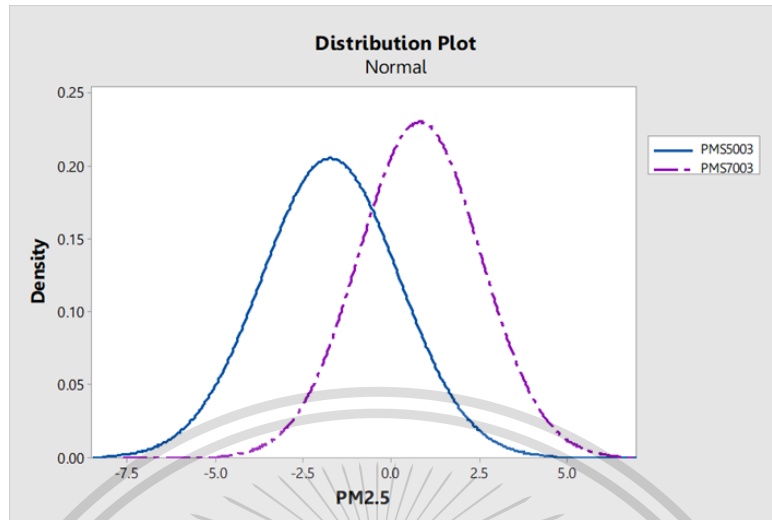
อุปกรณ์	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
PMS5003 เทียบกับสถานีวัดฝุ่น	-1.74	1.94
PMS7003 เทียบกับสถานีวัดฝุ่น	0.80	1.73

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า หากพิจารณาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลต่างของค่าได้วัดได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิด เทียบกับเซนเซอร์ของสถานีวัดฝุ่นจะสามารถสังเกตได้ว่าเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 มีค่าเฉลี่ยในการวัดฝุ่น “สูง” กว่าปกติ ในขณะที่เซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 มีค่าเฉลี่ยในการวัดฝุ่น “ต่ำ” กว่าปกติ แต่ถ้าหากพิจารณาในมุมของความเที่ยงในการวัดค่าเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 มีความเที่ยงที่ดีกว่าเนื่องจากมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่าการกระจายในการวัดน้อยกว่า ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ดังรูปที่ 4.3 เนื่องจากเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS5003 และเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.94 และ 1.73 ตามลำดับ ไม่สามารถรู้ว่าการมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับนี้จะมีความเที่ยงตรงที่ตีพอหรือไม่ ดังนั้นเพื่อความมั่นใจว่าเซนเซอร์วัดฝุ่นที่เลือกใช้มีความแม่นยำและความเที่ยงในการวัดในระดับที่สามารถเชื่อถือได้ จึงต้องมีการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่อยู่ในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

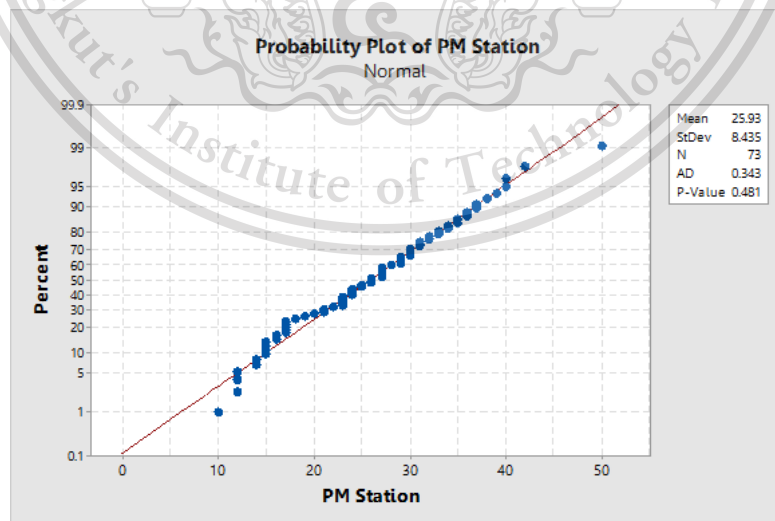
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลจากผลต่างของค่าฝุ่นวัดได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิด เทียบกับ สถานีวัดฝุ่น

4.1.2.3 การทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์

จากการที่ผู้ทำโครงการได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ตามวิธีการดำเนินการใน 3.2.4 เพื่อให้สามารถสรุปได้ว่าเซนเซอร์วัดฝุ่นทั้ง 2 ชนิดที่เลือกใช้มีความถูกต้องและมีความแม่นยำในระดับที่สามารถยอมรับได้ในช่วงระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับเซนเซอร์วัดฝุ่นจากสถานีวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งได้ผลการทดลองค่าความแม่นยำและความเที่ยง ดังนี้

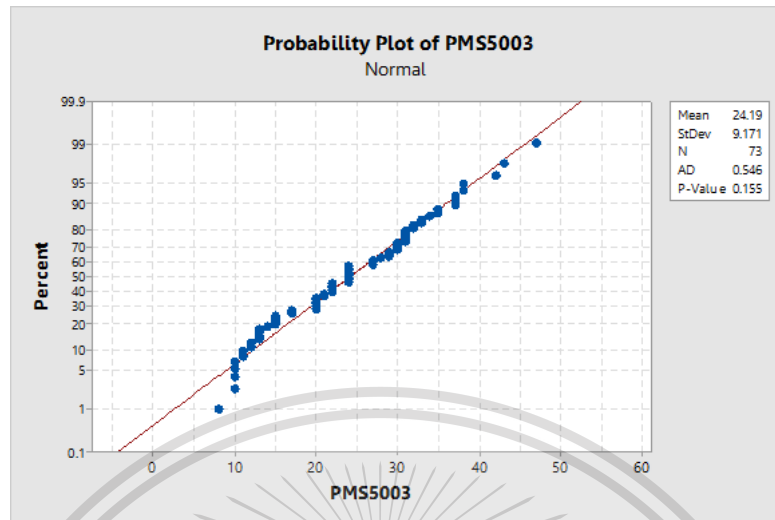


รูปที่ 4.4 Normality Test ของ PM Station

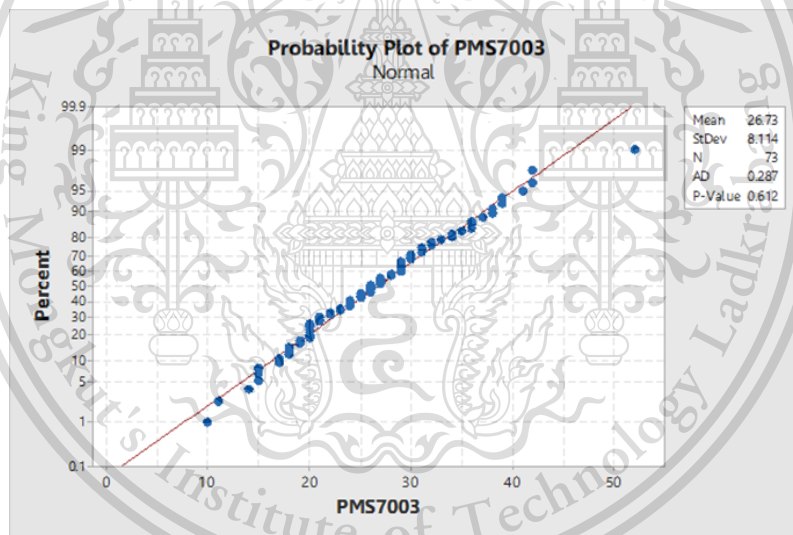
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.5 Normality Test ของ PMS5003



รูปที่ 4.6 Normality Test ของ PMS7003

จากผลการทดสอบข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ (The Normality Test) ค่า P-Value ของเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลที่วัดได้จากสถานีวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษที่บางนา เซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุนต่ำ PMS5003 และ PMS7003 มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) หรือ F-Test เอกสารนี้ด้วยโปรแกรม Minitab โดยตั้งสมมติฐานว่ากลุ่มประชากรมีความแปรปรวนเท่ากันอย่างมีนัยสำคัญชนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Method

Null hypothesis All means are equal
Alternative hypothesis Not all means are equal
Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

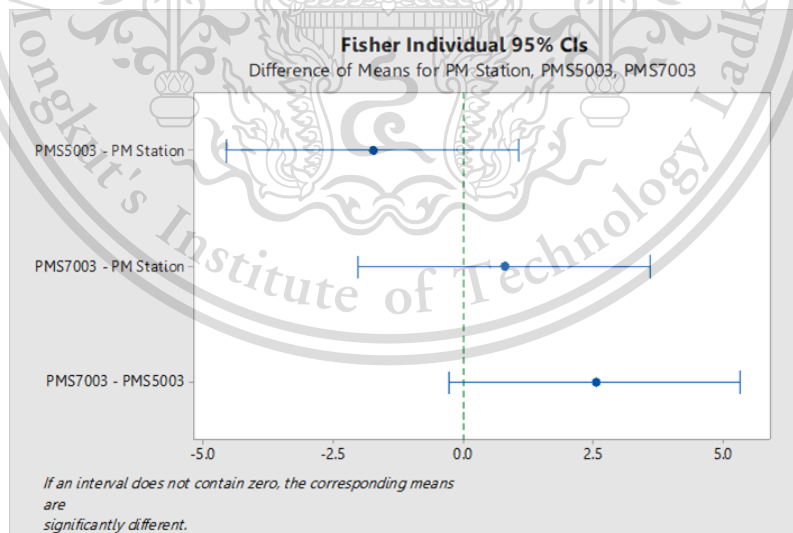
Factor	Levels	Values
Factor	3	PM Station, PMS5003, PMS7003

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	245.3	122.64	1.66	0.192
Error	216	15918.5	73.70		
Total	218	16163.8			

รูปที่ 4.7 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนพิจารณาจากค่า p-value ซึ่งผลการทดลองมี p-value (0.192) > α (0.05) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ต่างกันทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับสถิติ 0.05



รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean) จากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

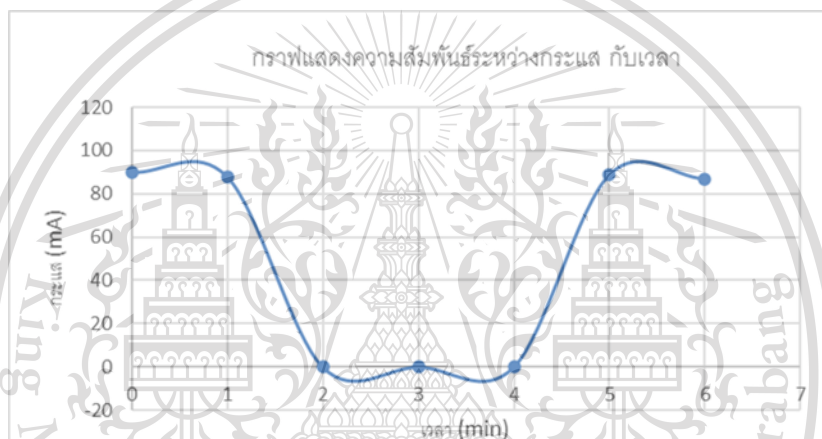
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า หากพิจารณาจากรูปที่ 4.8 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผลที่ได้ คือ เซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับสถิติ 0.05 หมายความว่า เซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุ่นต่ำทั้ง PMS5003 และ PMS7003 นั้นสามารถวัดค่าฝุ่นได้เทียบเท่ากับสถานีวัดฝุ่นที่บางนาของกรมควบคุมมลพิษที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.2.4 การวัดการบริโภคพลังงาน (Power Consumption) ของเซนเซอร์วัดฝุ่น (PM 2.5)

จากการที่ผู้ทำโครงการได้ทำการวัดการบริโภคพลังงาน (Power Consumption) ของเซนเซอร์ ตามวิธีการดำเนินการใน 3.2.5 ทำให้ได้ผลการทดลองค่าความแม่นยำ ดังนี้



รูปที่ 4.9 การใช้กระแสของเซนเซอร์วัดฝุ่นรุ่น PMS5003 และ PMS7003

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า จากผลการทดลองวัดการบริโภคพลังงานในเบื้องต้นเนื่องจากเครื่องมัลติมิเตอร์ไม่สามารถวัดกระแสได้ละเอียดในระดับไมโครแอมป์จึงสมมติว่าแทบไม่มีการบริโภคกระแสหรือการบริโภคกระแสเป็นศูนย์แทน ผลลัพธ์การทดลองเซนเซอร์วัดฝุ่นในรุ่น PMS5003 และ PMS7003 มีแนวโน้มการใช้พลังงานที่เท่ากัน

**ดังนั้นเราจึงเลือกเซนเซอร์วัดฝุ่นในรุ่น PMS7003 มาใช้ในระบบวัดมลภาวะฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล เนื่องด้วยความแม่นยำในการวัดและความเที่ยงตรงที่ดีกว่า PMS5003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.2 ผลของการใช้งานระบบวัดมลภาวะฝุ่นทางไกล

จากการทดลองใช้ระบบวัดมลภาวะฝุ่นทางไกลมีปัญหาหลักสำคัญ 2 ประการที่ส่งผลต่อการรายงานค่าฝุ่นของระบบวัดมลภาวะฝุ่นทางไกลที่ทางผู้จัดทำได้พัฒนาขึ้น คือ

1. สภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง เนื่องจากในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงมากๆ ตัวเซนเซอร์วัดฝุ่นจะมีการรายงานผลที่ผิดพลาด

2. ความเสถียรของสัญญาณที่ให้บริการโดยบริษัท CAT Telecom PCL เป็นอีกปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการรายงานผลสถานะฝุ่นแบบ Real-Time เนื่องจากความล่าช้าของสัญญาณที่ส่งไปยังฐานข้อมูล

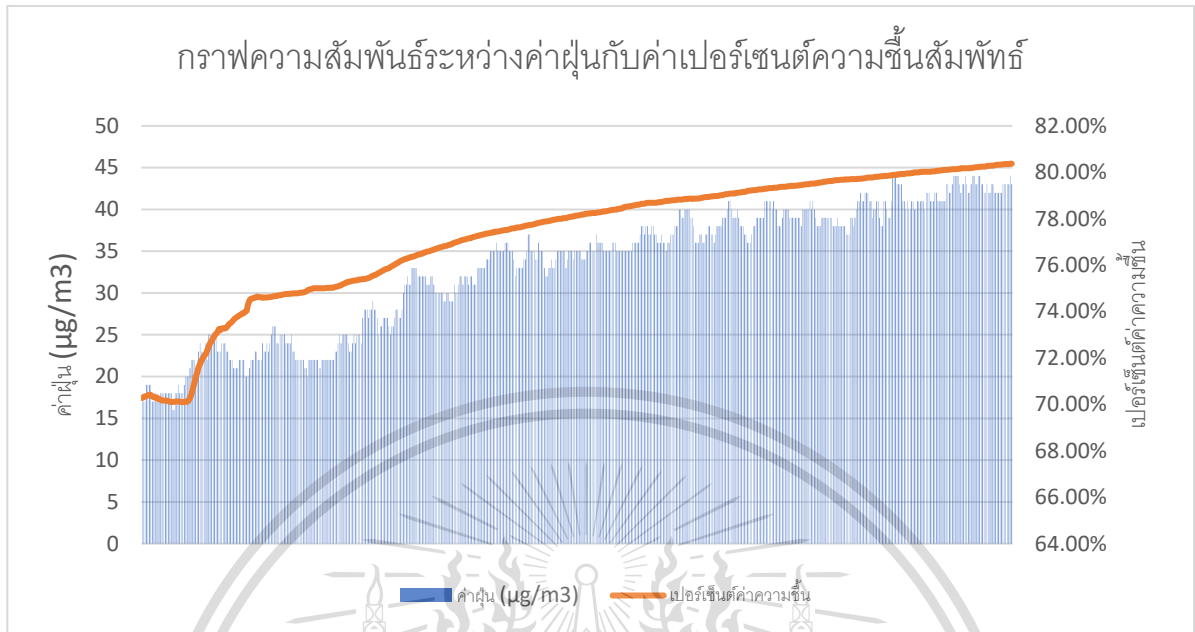
4.2.1 ผลการใช้งานระบบวัดฝุ่นในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง

เนื่องจากเซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุนต่ำ PMS7003 ที่ทางผู้จัดทำใช้นั้นไม่มีระบบบไล์ความชื้น หรือเครื่องทำความร้อนเพื่อใช้ไล่ความชื้นก่อนการดึงตัวอย่างอนุภาคฝุ่นมาวัดภายในตัวเซนเซอร์ ดังนั้นการดึงค่าฝุ่นในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงตัวเซนเซอร์จึงดึงเอาอนุภาคของละอองน้ำในบรรยากาศเข้ามาด้วย ซึ่งอนุภาคของน้ำในอากาศที่มีความชื้นสูงเหล่านี้ส่งผลต่อการรายงานค่าอนุภาคฝุ่น (PM 2.5) อย่างมีนัยสำคัญอย่างมาก [30] ทำให้การอ่านค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากเซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุนต่ำ PMS7003 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ผลการทดลองการใช้เซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุนต่ำ Plantower PMS7003 ในการรายงานความเข้มข้นของฝุ่นในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ในพื้นที่ปิดที่มีความชื้นสูง โดยอ้างอิงการทดลองจากงานวิจัยของ Rohan Jayaratne, Xiaoting Liu, Phong Thai, Matthen Dunbabin และ Lidia Morawska ในเรื่อง The fluence of humidity in the performance of a low-cost air particle mass sensor and the effect of atmospheric fog ที่ได้ศึกษาผลกระทบของความชื้นสัมพัทธ์ต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์ต้นทุนต่ำ แสดงดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) กับความชื้นสัมพัทธ์

จากรูปจะเห็นได้ว่าเซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุ่นต่ำ PMS7003 นั้นไม่ได้รายงานค่าฝุ่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญจนกระทั่งค่าความชื้นสัมพัทธ์พุ่งขึ้นประมาณ 70% ซึ่งถือเป็นจุดวิกฤติในการวัดฝุ่นสำหรับเซนเซอร์วัดฝุ่นต้นทุ่นต่ำ PMS7003 เนื่องจากค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่รายงานจากตัวเซนเซอร์เริ่มมีการรายงานค่าผิดพลาด เนื่องจากมีอนุภาคของละอองน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในบรรยากาศสูงเกินไป จากค่าเฉลี่ยฝุ่นที่รายงานจากช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 60% - 69% คือ $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ แต่เมื่อผ่านช่วงความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70%-75% ค่าฝุ่นมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยค่าฝุ่นเพิ่มขึ้น 38.89% จากเดิมและหลังจากค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเกินช่วง 76% ค่าฝุ่นที่วัดได้ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ

ดังนั้นในช่วงที่มีความชื้นสูงกว่า 70% ค่าฝุ่นที่รายงานจากระบบฝัดมลภาวะฝุ่น (PM 2.5) ทางไกลจึงไม่สามารถเชื่อถือได้ เนื่องจากค่าฝุ่นที่วัดได้นั้นคือละอองน้ำหรือหมอกในชั้นบรรยากาศ ซึ่งไม่ใช่อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กที่มีอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นในการอ่านค่าฝุ่นจากระบบวัดมลภาวะฝุ่นทางไกลจึงควรสังเกตค่าความชื้นสัมพัทธ์ในชั้นบรรยากาศร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.2.2 ความเสถียรของสัญญาณ

ในการส่งข้อมูลผู้จัดทำได้ทำการกำหนดตัวแปรในการส่งข้อมูลประเภท Char Array ขนาด 64 ตัวแปรถูกส่งด้วยเทคโนโลยีของ LoRa เป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ ดังนั้นในการส่งข้อมูลแต่ละรอบจะมีขนาดสูงสุดไม่เกิน 128 ไบต์ ไปยัง Network Server ของทางบริษัท CAT Telecom PCL แต่ปัญหาข้อมูลล่าช้าเกิดจากความเข้มของสัญญาณที่ทางบริษัท CAT Telecom PCL ที่ทำการให้บริการ ดังนั้นในพื้นที่ที่ห่างไกลเสาสัญญาณของบริษัท CAT Telecom หรือพื้นที่อับสัญญาณการส่งข้อมูลนั้นจะล่าช้าหรือมีสัญญาณขาดหายในบางช่วงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล70้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การสร้างระบบวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ทางไกลเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับติดตั้งในชุมชนที่ห่างไกลจากเครื่องวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษหรือไม่มีสถานีวัดฝุ่นบริเวณใกล้เคียงและเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาแนวโน้มของมลภาวะทางฝุ่นในอนาคต ภายใต้แนวคิดของ Internet of Things (IoT) การพัฒนาระบบวัดมลภาวะทางฝุ่นพัฒนาโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE Tool ในการเขียนโปรแกรมชุดคำสั่งด้วยคอมพิวเตอร์ลงในบอร์ด STM32-BL072Z (STM32) ในการแสดงผลค่าฝุ่นที่วัดได้นั้นใช้เว็บไซต์ที่ผู้พัฒนาได้จัดทำเพื่อแสดงผลค่าฝุ่นในรูปแบบของดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) พร้อมทั้งสีและข้อเสนอแนะในการปฏิบัติตนที่เหมาะสมตามสภาพมลภาวะทางฝุ่นที่ตัวอุปกรณ์วัดฝุ่นนั้นสามารถวัดได้แบบ Real-Time ลักษณะเด่นของระบบวัดมลภาวะทางไกล (PM 2.5) คือ สามารถติดตั้งกลางแจ้งที่มีแดดและฝนได้ มีต้นทุนที่ต่ำและระดับความแม่นยำที่สามารถยอมรับได้ในช่วงระดับความพึงพอใจที่ 95% ซึ่งจากการพัฒนาระบบนี้ส่งผลให้ช่วยลดต้นทุนสำหรับการซื้อหรือติดตั้งสถานีวัดมลภาวะทางฝุ่น โดยมีต้นทุนอยู่ที่ 3,586 บาทต่อเครื่อง และช่วยให้ประชาชนในพื้นที่ห่างไกลจากสถานีวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษสามารถตอบสนองและรับมือต่อสถานการณ์ฝุ่นที่มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปีได้ดีมากยิ่งขึ้น

การคัดเลือกเซนเซอร์สำหรับวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล ได้แก่ เซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 เนื่องจากมีความแม่นยำ สำหรับ PMS5003 และ PMS7003 ตามลำดับได้แก่ 93.29% และ 96.95% และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับ PMS5003 และ PMS7003 ตามลำดับได้แก่ 9.17 และ 8.11 จะสังเกตได้ว่าเซนเซอร์วัดฝุ่น PMS7003 มีอัตราส่วนความแม่นยำสูงกว่าและมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า นั่นหมายความว่า PMS7003 มีระดับความแม่นยำและความเที่ยงตรงในการวัดดีกว่า PMS5003 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับเซนเซอร์วัดฝุ่นจากสถานีวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากการพัฒนาระบบวัดมลภาวะทางฝุ่น (PM 2.5) ทางไกล ภายใต้แนวคิดของ Internet of Things (IoT) ด้วยเทคโนโลยีสื่อสารแบบไร้สายเพื่อส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลและแสดงผลบนหน้าของเว็บไซต์ สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

ส่วนของฮาร์ดแวร์ในด้านของการประกอบฮาร์ดแวร์ต้องมีการปรับปรุงและออกแบบเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถติดตั้งกลางแจ้ง โดยสามารถทนต่อแสงแดดและน้ำฝนได้จึงมีต้นทุนที่เพิ่มขึ้น โดยออกแบบตัวจับยึดระหว่างตัวบอร์ด STM32-BL072Z กับตัวกล่องกันน้ำและแสงแดด (IP-67) และทำการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น อุณหภูมิ ความชื้น แรงดันบรรยากาศ และแรงดันไฟฟ้า ลงใน Housing Senser เพื่อช่วยกันน้ำและแสงแดดซึ่งจะมีต้นทุนเพิ่มขึ้นประมาณ 840 บาทต่อเครื่อง เพื่อให้ระบบวัดฝุ่นทางไกลมีประสิทธิภาพเพียงพอในการติดตั้งกลางแจ้งที่มีหลากหลายสภาพอากาศ โดยส่วนของฮาร์ดแวร์ในปัจจุบันที่ผู้จัดทำได้จัดทำส่วนของแหล่งจ่ายไฟให้กับระบบวัดฝุ่นโดยใช้สายชาร์จซึ่งสามารถเสียบกับเต้ารับไฟฟ้าตามบ้านที่มีแรงดัน 220V ได้

5.3 การออกแบบหน้าเว็บไซต์

การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้มีการใช้ภาษาเข้าใจง่ายทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจระบบมีความแม่นยำในการสั่งงานระบบและระบบมีความเสถียรในระดับที่น่าพอใจ การประเมินประสิทธิภาพของระบบในด้านความสามารถในการทำงานพบว่า ผู้ประกอบการมีความพึงพอใจในประสิทธิภาพการทำงานของระบบในระดับมาก เนื่องจากการพัฒนาระบบเป็นการพัฒนาตามต้องการของผู้ใช้งาน

ทางผู้จัดทำโครงการได้เลือกใช้โปรแกรม Visual Studio 2019 ซึ่งในการเขียนโปรแกรมได้เลือกการเขียนโปรแกรมเป็นแบบ MVC การออกแบบหน้าเว็บทางผู้จัดทำได้ทำการออกแบบเพื่อให้ผู้ที่เข้ามาใช้งานสามารถใช้งานได้ง่ายและสามารถเรียกดูค่าต่างๆ ที่ผู้ใช้งานสนใจที่จะดูค่านั้นได้สะดวก รวมถึงเป็นเว็บไซต์ที่มีรูปแบบไม่ซับซ้อน สะดวกต่อผู้ที่เข้ามาใช้งาน ซึ่งสามารถดูตัวอย่างเว็บไซต์ในแต่ละหน้าได้ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. แหล่งจ่ายไฟให้กับระบบวัดฝุ่นโดยหากต้องการประหยัดพลังงานสามารถเชื่อมต่อกับแผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) ด้วยสาย USB ที่ทางผู้จัดทำได้เตรียมไว้ ผู้ที่นำไปศึกษาต่อสามารถพัฒนาระบบแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวบอร์ดได้เพื่อช่วยให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากยิ่งขึ้น

2. ตัวตรวจจับหรือระบุตำแหน่ง (GPS-Sensor) ควรเพิ่มตัวตรวจจับหรือระบุตำแหน่งในตัวระบบวัดมลภาวะฝุ่นทางไกล เพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งที่มีระบบวัดฝุ่นหรือทำให้ทราบบริเวณที่ครอบคลุมในการวัดฝุ่น เช่น Ina219 GPS-Sensor เป็นต้น

3. สำหรับเว็บไซต์อาจต้องมีการพัฒนารูปแบบของการสร้างเว็บไซต์ หากจะให้มีการจัดการระบบที่มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น รวมถึงการมีฟังก์ชันในการช่วยเหลือการติดตั้งอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองจัดการคุณภาพอากาศเสียง กรมควบคุมมลพิษ. (2564, พฤษภาคม 11). ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ. Retrieved from Air4Thai: http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php
- [2] ประชุมพันธ์, จ. (2561, มกราคม 26). PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ กับวิกฤตสุขภาพที่คนไทยจะต้องแลก. Retrieved from THE STANDARD: <https://thestandard.co/pm-2-5-environmental-nano-pollutants/>
- [3] คณะทำงานสนับสนุนงานด้านวิชาการของเลขาธิการ กสทช. (2561, พฤษภาคม 16). เทคโนโลยี Internet of Things และนโยบาย Thailand 4.0. บทความพิเศษ, pp. 1-3.
- [4] มีสุวรรณ, ว. (2559, ธันวาคม). อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) กับการศึกษา. วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม (The journal of social communication innovation), 84-87.
- [5] Wisdom Firm (FMS). (2559, ธันวาคม 19). ความหมายของ Web Application. Retrieved from WISDOM FIRM: <https://www.wisdomfirm.com/web-application/>
- [6] NoomerZx. (2560, ตุลาคม 10). Cloud Firestore คุณค่าที่คุณควรรู้. Retrieved from Sellsuki: <https://stories.sellsuki.co.th/>
- [7] กลุ่มภารกิจบริการและพัฒนาสื่อการเรียนการสอน สำนักคอมพิวเตอร์ วิทยาเขตสงขลา. (n.d.). บทเรียน e-learning (คีย์). Retrieved from ระบบส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตนเอง มหาวิทยาลัยทักษิณ: https://cst.tsu.ac.th/courseonline/course/computer_it/database/key.html
- [8] SUPPORT THAIEASYELEC. (2563, กรกฎาคม 14). ESPino32 ตอนที่ 7 การสื่อสารอนุกรมแบบ UART. Retrieved from ThaiEasyElec enable your design: <https://blog.thaieasyelec.com/espino32-ch7-how-to-use-uart/>
- [9] Thai-Microtron. (ม.ป.ป.). Reference ข้อมูลอ้างอิง (การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I2C). เข้าถึงได้จาก thaimicrotron: <http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Reference/I2CBUS.htm>
- [10] Annopornchai, S. (2560, เมษายน 30). JSON คืออะไร เจสัน คือ รูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลคอมพิวเตอร์ (API). Retrieved from Saixiii: <https://saixiii.com/what-is-json/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- [11] CAT Telecom PCL. (2562, พฤษภาคม 10). การเชื่อมต่อเข้าระบบ LoRa IoT by CAT. Retrieved from LoRa Document: https://drive.google.com/file/d/1pv8wswpUIHbdy_NpPOI3v1vGRsd6nzFj/view
- [12] Kritsada Arjcharyaphat. (27 กุมภาพันธ์ 2561). LoRa, LoRaWAN คืออะไร มารู้จักกันดีกว่า. เข้าถึงได้จาก Deaware Embedded System and IoT Experts: <https://kritsada.medium.com/>
- [13] Choonewza. (2562, มีนาคม 3). STM32LoRa ตอนที่ 2 เชื่อมต่อกับ LoRa IoT by CAT (โหมด ABP). Retrieved from <https://choonewza.medium.com/>
- [14] เวียงนาค, ว. (2562, มิถุนายน 6). เปิดใช้ LoRa-Node ใหม่ด้วยวิธี OTAA. Retrieved from <https://medium.com/@visitwnk>
- [15] STMicroelectronics. (2021). DISCO-L072CZ-LRWAN1. เข้าถึงได้จาก ARM MBED: <https://os.mbed.com/platforms/ST-Discovery-LRWAN1/>
- [16] K&O Systems and Consulting Co.,Ltd. (2563, เมษายน 8). API คืออะไร มีประโยชน์อย่างไรกับเรา?. Retrieved from K&O Articles: <https://www.ko.in.th/articles>
- [17] Solution Center Minitab. (2560, มีนาคม 2). Retrieved from สมมติฐานพื้นฐานทั่วไปของข้อมูล (ส่วนที่ 2: คุณสมบัติตัวแปรสุ่มแบบปกติและความเท่ากันของความแปรปรวน): https://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=3346&read=true&count=true
- [18] นวภัทรา, ท. (2555). Accuracy / ความถูกต้อง ความแม่นยำ. Retrieved from Food Network Solution: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/wordcap/accuracy>
- [19] ตระกูลสุนทร, ช. (2558, ตุลาคม 18). บทที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน. Retrieved from <http://pws.npru.ac.th/chalida>
- [20] Plantower Co., Ltd. (2559). Digital universal particle concentration sensor. product data manual of PLANTOWER, 1-3.
- [21] Eremin, Y. (2011). SCATTERING | Scattering Theory. In D. A. Lipson, Comprehensive Nanoscience and Nanotechnology (Second Edition), 2011 (pp. 46-49).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- [22] MYSCIENCE LIMITED PARTNERSHIP. (2011). เครื่องวัดอนุภาคทำงานอย่างไร ทฤษฎีการวัดขนาด และทฤษฎีการวัดปริมาณของอนุภาคในบรรยากาศ (Theory Particle counting). เข้าถึงได้จาก myscience:<http://www.myscience.co.th/index.php?lay=show&ac=article&id=539352052>
- [23] Plantower Co., Ltd. (2559). Digital universal particle concentration sensor. product data manual of PLANTOWER, 4-5.
- [24] STMicroelectronics. (2021). STM32L0 Discovery kit LoRa, Sigfox, low-power wireless เข้าถึงได้จาก ST life Augmented: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/b-l072z-lrwan1>
- [25] Amazon (AMZN). (29 May 2019). KOOBOOK 1Pcs PMS7003 Sensor Module PM2.5 High Precision Laser Dust Sensor Module PM2.5 Air Particle Dust Sensor. เข้าถึงได้จาก amazon: <https://www.amazon.com/KOOBOOK-PMS7003-Sensor-Precision-Particle/dp/B07SJ4NBT8>
- [26] ETT Co., LTD. (ม.ป.ป.). ET-SENSOR-BME280. เข้าถึงได้จาก ett.co.th(Product Sensor): <http://www.ett.co.th/productSensor/ET-SENSOR%20BME280/CAT%20ET-SENSOR%20BME280.pdf>
- [27] Arduino4 Shop. (27 กรกฎาคม 2562). INA219 Digital DC Current Voltage Power Sensor I2C Interface Module. เข้าถึงได้จาก arduino4: <https://www.arduino4.com/produc/721/ina219-digital-dc-current-voltage-power-sensor-i2c-interface-module>
- [28] GrumpyOldPizza. (2020, December 7). Arduino Core for STM32L0 based boards. Library Arduino Core IDE for STMicroelectronics(STM32-Discovery BL-072Z) . Retrieved from <https://github.com/grumpyoldpizza/ArduinoCore-stm32l0>
- [29] BorntoDev Co., Ltd. (2563). Webhook คืออะไร ทำงานยังไง ? Retrieved from borntodev: <https://www.borntodev.com/c/>
- [30] Rohan Jayaratne, X. L. (2018). The influence of humidity on the performance of a low-cost air particle mass sensor and the effect of atmospheric fog. Research article.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล 76 ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1

โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้าคอนโทรลเลอร์

โค้ดในหน้าคอนโทรลเลอร์เป็นดังนี้

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Web;
using WebApplication13.Models;
using System.Web.Mvc;

namespace WebApplication13.Controllers
{
    public class TestController : Controller
    {
        // GET: Test
        public ActionResult แผนที่คุณภาพอากาศ()
        {
            return View();
        }

        public ActionResult ค้นหาข้อมูลย้อนหลัง()
        {
            return View();
        }
    }
}
```

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.

```

public ActionResult ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติตน()
{
    List<class1> ls = new List<class1>();

    ls.Add(new class1 { ดัชนีคุณภาพอากาศ = "0-25", img =
"https://www.flaticon.com/svg/vstatic/svg/3741/3741296.svg?token=exp=1618149166~hmac=
3482057cd9641e38658649650e8bd289", การปฏิบัติตัว = "ทำกิจกรรมได้ตามปกติ" });

    ls.Add(new class1 { ดัชนีคุณภาพอากาศ = "26-50", img =
"https://www.flaticon.com/svg/vstatic/svg/3508/3508628.svg?token=exp=1618239427~hmac=
aa2e1c34ccc4ca4e56ff89d1bde862e9", การปฏิบัติตัว = "เด็ก ผู้ใหญ่ รวมถึงผู้ที่มีโรคที่เกี่ยวกับทางเดิน
หายใจ เช่น โรคหอบหืด ควรจำกัดเวลาการออกไปในที่กลางแจ้ง" });

    ls.Add(new class1 { ดัชนีคุณภาพอากาศ = "51-100", img =
"https://www.flaticon.com/svg/vstatic/svg/132/132244.svg?token=exp=1618238488~hmac=16
1c06650adce3b2c863a12dc43fe91b", การปฏิบัติตัว = "เด็ก ผู้ใหญ่ รวมถึงผู้ที่มีโรคที่เกี่ยวกับทางเดิน
หายใจ เช่น โรคหอบหืด ควรหลีกเลี่ยงการออกไปในที่กลางแจ้งเป็นเวลานาน" });

    ls.Add(new class1 { ดัชนีคุณภาพอากาศ = "101-200", img =
"https://www.flaticon.com/svg/vstatic/svg/1312/1312144.svg?token=exp=1618239943~hmac=
60005133bdeac22927aa8e0ee5410c3f", การปฏิบัติตัว = "เด็ก ผู้ใหญ่ รวมถึงผู้ที่มีโรคที่เกี่ยวกับทางเดิน
หายใจ เช่น โรคหอบหืด ควรหลีกเลี่ยงการออกไปในที่กลางแจ้งเป็นเวลานาน และควรหลีกเลี่ยงการทำ
กิจกรรมกลางแจ้งเป็นเวลานาน" });

    ls.Add(new class1 { ดัชนีคุณภาพอากาศ = "200 ขึ้นไป", img =
"https://www.flaticon.com/svg/vstatic/svg/3922/3922916.svg?token=exp=1618239943~hmac=
3203083679ceea25b285106fb2552d7c", การปฏิบัติตัว = "ทุกคนควรหลีกเลี่ยงการออกไปในที่แจ้งและ
หลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมกลางแจ้งทั้งหมด" });

    return View(ls.ToList());
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล8ห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ภาคผนวกที่ 2

โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้าแผนที่คุณภาพอากาศ

โค้ดในหน้าแผนที่คุณภาพอากาศเป็นดังนี้

```
@{
    ViewBag.Title = "แผนที่คุณภาพอากาศ";
}

<head>
    <!-- The core Firebase JS SDK is always required and must be listed first -->
    <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.2.10/firebase-app.js"></script>
    <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.2.10/firebase-firestore.js"></script>
</head>

<h2>แผนที่คุณภาพอากาศ</h2>
<br />

<center><iframe
    src="https://www.google.com/maps/embed?pb=!1m18!1m12!1m3!1d3875.846671814
1663!2d100.77121931431138!3d13.727731201550563!2m3!1f0!2f0!3f0!3m2!1i1024!2i768!4f13.1!
3m3!1m2!1s0x311d664bbcd72f7f%3A0xf6f4cb0cafb5e9ff!2z4Lig4Liy4LiE4Lin4LiO4LiK4Liy4Lin4
LiO4Lio4Lin4LiB4Lij4Lij4Lih4Lit4Li44LiV4Liq4Liy4Lir4LiB4Liy4Lij!5e0!3m2!1sth!2sth!4v161381451
0048!5m2!1sth!2sth" width="600" height="450" style="border:0;" allowfullscreen=""
loading="lazy">
</iframe></center>
```

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.

```
<style>
```

```
.container  
{  
  max-width: 960px;  
  margin: 0 auto;  
}
```

```
li {  
  position: relative;  
}
```

```
.container1  
{  
  position: absolute;  
  bottom: 0px;  
}
```

```
span  
{  
  display: block  
}
```

```
span:nth-child(1)  
{
```

```
  font-size: 2rem;  
  margin-bottom: 0.5rem;
```

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.

```

    }
span:nth-child(2)
{
    font-size: 2rem;
    margin-bottom: 0.5rem;
}

span:nth-child(2)
{
    color: #333;
}
</style>
<div id="content_day" style="display: block;">
  <div class="row">
    <div class="row">
      <div id="stations" class="col-xs-6"><br />
        <h5>สถานี Station</h5>
        <select id="station_name" multiple="multiple" size="3" class="form-control"
onclick="station()"><option name="op1" value="1t">1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาห
การ แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง, กรุงเทพฯ</option><option name ="op2" value="2t">2 เกี
งามซอย1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง, กรุงเทพฯ</option></select>
      </div>
    </div>
  </div>
</div>
<br />

```

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.

```

<div style="text-align:center">
    <span style="font-size: 45px;">AQI</span>
</div>
<div style="text-align: center;">
    <span id="p1" style="font-size: 40px;">AQI</span>
</div><br />
<table class="table" id="tbaqi">
    <tr style="font-size: 20px">
        <th>Date</th>
        <th>Time</th>
        <th>PM</th>
        <th>Temp</th>
        <th>Pressure</th>
    </tr>
</table><br /><br />
<tr>
    <td align="center" class="tdDash">
        <style type="text/css">
            table.info {
                border-width: 0px;
                border-spacing: 0px;
                border-style: outset;
                border-collapse: collapse;
                vertical-align: middle; }

            table.info th {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

border-width: 0px;
border-style: inset;
-moz-border-radius;
}

table.info td {
border-width: 0px;
border-style: inset;
-moz-border-radius;
}

p.infoh {
vertical-align: middle;
margin-top: 10px;
}

body {
background-image: url(https://png.pngtree.com/png-
clipart/20190117/ourlarge/pngtree-beautiful-blue-sky-and-white-clouds-fresh-blue-sky-png-
image_421522.jpg);
background-repeat: no-repeat;
background-size: cover;
}
</style>

```

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.

```

<p class="infoh">
  </p><table width="1000" border="0" class="info" align="center">
    <tbody>
      <tr>
        <td></td>
        <td width="100" align="center" valign="bottom">
          <font style="font-family: Kunlasatri;text-shadow: 1px 1px #c0c0c0;"
color="#3bccff" size="3">
            0 - 25
          </font>
        </td>
        <td width="100" align="center" valign="bottom">
          <font style="font-family: Kunlasatri;text-shadow: 1px 1px #c0c0c0;"
color="#92d050" size="3">
            26 - 50
          </font>
        </td>
        <td width="100" align="center" valign="bottom">
          <font style="font-family: Kunlasatri;text-shadow: 1px 1px #c0c0c0;"
color="#ffff00" size="3">
            51 - 100
          </font>
        </td>
        <td width="100" align="center" valign="bottom">
          <font style="font-family: Kunlasatri;text-shadow: 1px 1px #c0c0c0;"
color="#ffa200" size="3">

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

101 - 200

</td>

<td width="100" align="center" valign="bottom">

<font style="font-family: Kunlasatri;text-shadow: 1px 1px #c0c0c0;"

color="#ff3b3b" size="3">

201 ขึ้นไป

</td>

</tr>

<tr height="50">

<td width="150" align="center" valign="middle">

ความหมายของสี

</td>

<td width="100" align="center" valign="middle" bgcolor="#3bccff">

ดีมาก

</td>

<td width="100" align="center" valign="middle" bgcolor="#92d050">

ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

</td>

<td width="100" align="center" valign="middle" bgcolor="#ffff00">

ปานกลาง

</td>

<td width="100" align="center" valign="middle" bgcolor="#ffa200">

เริ่มมีผลกระทบ
ต่อสุขภาพ

</td>

<td width="100" align="center" valign="middle" bgcolor="#ff3b3b">

มีผลกระทบ
ต่อสุขภาพ

</td>

</tr>

</tbody>

</table>

<p></p>

</td>

</tr>

<!-- TODO: Add SDKs for Firebase products that you want to use

<https://firebase.google.com/docs/web/setup#available-libraries> -->

<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.2.10/firebase-analytics.js"></script>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

<script>
  // Your web app's Firebase configuration
  // For Firebase JS SDK v7.20.0 and later, measurementId is optional
  var firebaseConfig = {
    apiKey: "AlzaSyDc0t2--EzX1DuqIM4un0GcvZEp373vWeM",
    authDomain: "air4you-12fda.firebaseio.com",
    projectId: "air4you-12fda",
    storageBucket: "air4you-12fda.appspot.com",
    messagingSenderId: "341100399531",
    appId: "1:341100399531:web:aa5fa681fd8d43db3e20ee",
    measurementId: "G-W64BDS579L"
  };
  // Initialize Firebase
  firebase.initializeApp(firebaseConfig);
  firebase.analytics();

  const db = firebase.firestore();
</script>
<script src="~/Scripts/JavaScriptAQI_Edit.js"></script>
<style>
  #chartdiv {
    width: 50%;
    height: 300px;
  }
</style>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ภาคผนวกที่ 3

โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้า JavaScriptAQI_Edit.js

จากโค้ดที่ได้ทำการเขียนไว้ในหน้าแผนที่คุณภาพอากาศ จะสังเกตเห็นได้ว่าได้มีการนำ JavaScript เข้ามาใช้ในหน้านี้ด้วย ซึ่งโค้ดที่เขียนใน JavaScriptAQI_Edit.js เป็นดังนี้

```
// JavaScript source code
const table = document.querySelector("#tbaqi");
var sel = document.querySelector("#station_name");
var sum = 0;
var x = 0;
var y = [];
var matchingGrade;
/*
db.collection("DataProject_PM").orderBy("Date").limit(5).get().then(user => {
  user.docs.forEach(doc => {
    console.log(doc.data())
    showdata(doc);
  })
});
*/
function station() {
  switch (sel.value) {
case "1t":
    db.collection("DataProject_PM").orderBy("Date").limit(5).get().then(user => {
      user.docs.forEach(doc => {
        console.log(doc.data())
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

        showdata(doc);
    })
});
sum = 0;
table.innerHTML = "";
break;

case "2t"
db.collection("DataProject_PM").where('DevEUI', '!=', '99').get().then(user => {
    user.docs.forEach(doc => {
        console.log(doc.data());
        showdata(doc);
    })
});
sum = 0;
table.innerHTML = "";
break;
default: ;
}
}

```

```

function showdata(doc) {
    var row = table.insertRow(-1);
    var cell1 = row.insertCell(0)
    var cell2 = row.insertCell(1)
    var cell3 = row.insertCell(2)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
cell1.innerHTML = doc.data().Date;
cell2.innerHTML = doc.data().Time;
cell3.innerHTML = doc.data().PM;
```

```
var aqi;
    aqi = parseInt(doc.data().PM);
    // console.log(aqi);
sum += aqi;
    x = sum / 5;
    console.log(sum);
    y = parseInt(AQI(x));
data.score = y;
matchingGrade = lookUpGrade(data.score, data.gradingData);
console.log(matchingGrade.color);
document.getElementById("p1").style.color = matchingGrade.color;
document.getElementById("p1").innerHTML = y;
}
```

```
function AQI(x) {
    if (x <= 30) {
        return x;
    }
    else if (x <= 60) {
        return (24 / 11) * (x - 26) + 26;
    }
    else if (x <= 90) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

    return (49 / 12) * (x - 38) + 51;
}
else if (sum <= 120) {
    x = (99 / 39) * (sum - 51) + 101;
}
else {
    return 0;
}
}
// ทดลองฟังก์ชันเปลี่ยน สี
//-----
var data = {
// 3. เปลี่ยนค่าระดับอันตรายตามรายงานของกรมควบคุมมลพิษ
score: 10,
gradingData: [
{
    title: "ดีมาก",
    color: "#00ddfa",
    lowScore: 0,
    highScore: 25
},
{
    title: "ดี",
    color: "#3bff55",
    lowScore: 26,
    highScore: 50
}
}

```

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.

```

    },
    {
        title: "ปานกลาง",
        color: "#fff52e",
        lowScore: 51,
        highScore: 100
    },
    {
        title: "เริ่มมีผลกระทบ",
        color: "#ff7e2e",
        lowScore: 101,
        highScore: 200
    },
    {
        title: "มีผลกระทบต่อสุขภาพ",
        color: "#ff0303",
        lowScore: 201,
        highScore: 300
    }
]
};

/**
Grading Lookup
*/

```

```
function lookUpGrade(lookupScore, grades) {
```

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.

```

// Only change code below this line
for (var i = 0; i < grades.length; i++) {

  if (
    grades[i].lowScore < lookupScore &&
    grades[i].highScore >= lookupScore
  ){
    return grades[i];
  }
}
return null;
}

```



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.

ภาคผนวกที่ 4

โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้าค้นหาข้อมูลย้อนหลัง

โค้ดหน้าค้นหาข้อมูลย้อนหลังเป็นดังนี้

```
@{
    ViewBag.Title = "ค้นหาข้อมูลย้อนหลัง";
}

<head>
    <style>
        .bootstrap-iso .formden_header h2, .bootstrap-iso .formden_header p, .bootstrap-iso
form {
            font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
            color: black;
        }
        .bootstrap-iso form button, .bootstrap-iso form button:hover {
            color: white !important;
        }
        .asteriskField {
            color: red;
        }
    </style>
</head>
<body>
```

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.

```
background-image: url(https://png.pngtree.com/png-clipart/20190117/ourlarge/pngtree-beautiful-blue-sky-and-white-clouds-fresh-blue-sky-png-image_421522.jpg);
background-repeat: no-repeat;
background-size: cover;
}
```

```
</style>
```

```
<title>Air4You</title>
```

```
<!-- The core Firebase JS SDK is always required and must be listed first -->
```

```
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.2.10/firebase-app.js"></script>
```

```
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.2.10/firebase-firestore.js"></script>
```

```
</head>
```

```
<body>
```

```
<style>
```

```
.container {
  max-width: 960px;
  margin: 0 auto;
}
```

```
li {
```

```
  position: relative;
```

```
}
```

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.

```

.container1 {
  position: absolute;
  bottom: 0px;
}
span {
  display: block
}

span:nth-child(1) {
  font-size: 2rem;
  margin-bottom: 0.5rem;
}
span:nth-child(2) {
  font-size: 2rem;
  margin-bottom: 0.5rem;
}
span:nth-child(2) {
  color: #333;
}
</style>
<!-- TODO: Add SDKs for Firebase products that you want to use
https://firebase.google.com/docs/web/setup#available-libraries -->
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.2.10/firebase-analytics.js"></script>

<script>
  // Your web app's Firebase configuration

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

// For Firebase JS SDK v7.20.0 and later, measurementId is optional
var firebaseConfig = {
  apiKey: "AlzaSyDc0t2--EzX1DuqlM4un0GcvZEp373vWeM",
  authDomain: "air4you-12fda.firebaseio.com",
  projectId: "air4you-12fda",
  storageBucket: "air4you-12fda.appspot.com",
  messagingSenderId: "341100399531",
  appId: "1:341100399531:web:aa5fa681fd8d43db3e20ee",
  measurementId: "G-W64BDS579L"
};
// Initialize Firebase
firebase.initializeApp(firebaseConfig);
firebase.analytics();
const db = firebase.firestore();
</script>
<h2>ค้นหาข้อมูลย้อนหลัง</h2><br />
<div class="row">
  <div class="col-xs-12" style="background-color:rgba(232,232,232,0.5);padding:8px 8px
8px 16px;margin:0">
    <center><font size="3"> แสดงข้อมูลย้อนหลัง </font></center>
  </div>
</div>
<div id="content_day" style="display: block;">
  <div class="row">
    <div class="row">
      <div id="stations" class="col-xs-6"><br />

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
<h5>สถานี Station</h5>
<select id="station_name" multiple="multiple" size="8" class="form-
control"><option value="1">1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ แขวงลาดกระบัง เขต
ลาดกระบัง, กรุงเทพฯ</option><option value="2">2 เกษิงามซอย1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง,
กรุงเทพฯ</option></select>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-xs-6">
```

```
<br />
```

```
<h5>ค่าที่ต้องการดู</h5>
```

```
<select id="parameter_name" multiple="multiple" size="8" class="form-
control"><option value="PM25">PM2.5</option><option value="TEMP">
อุณหภูมิ</option></select>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div><br />
```

```
<div class="row">
```

```
<form id="searchData">
```

```
<div class="col-xs-6">
```

```
<label for="birthdaytime">วันที่เริ่มต้น (Start Date):</label>
```

```
<input type="date" id="starttime" name="txtstart">
```

```
</div>
```

```
<div class="col-xs-6">
```

```
<label for="endtime">วันที่สิ้นสุด (End Date):</label>
```

```
<input type="date" id="birthdaytime" name="txtend">
```

```
<button>Search</button>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล 98 ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

</div>
</form>
</div>

<button onclick="exportTableToExcel('tbresult', 'download-data')>Export Table Data To
Excel File</button>

<!--
    <form id="showdata">
        <input type="text" name="txtdate" placeholder="day/month/year"
class="form-control">
        <button>Search</button>
    </form>
-->
<br />
<h3 align="center">ข้อมูลย้อนหลัง</h3>
<table class="table" id="tbresult">
    <tr>
        <th>Date</th>
        <th>Time</th>
        <th>PM</th>
        <th>Temp</th>
        <th>Pressure</th>
    </tr>
</table>
</body>

<script src="~/Scripts/JavaScriptSearch.js"></script>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ภาคผนวกที่ 5

โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้า JavaScriptSearch.js

จากโค้ดที่ได้ทำการเขียนไว้ในหน้าค้นหาข้อมูลย้อนหลัง จะสังเกตเห็นได้ว่าได้มีการนำ JavaScript เข้ามาใช้ในหน้านี้ด้วย ซึ่งโค้ดที่เขียนใน JavaScriptSearch.js เป็นดังนี้

```
//let form = document.querySelector('#showdata');  
const table = document.querySelector('#tbresult');  
let form = document.querySelector('#searchData');
```

```
function showdata(doc) {  
    var row = table.insertRow(-1);  
    var cell1 = row.insertCell(0);  
    var cell2 = row.insertCell(1);  
    var cell3 = row.insertCell(2);  
    var cell4 = row.insertCell(3);  
    var cell5 = row.insertCell(4);  
    cell1.innerHTML = doc.data().Date;  
    cell2.innerHTML = doc.data().Time;  
    cell3.innerHTML = doc.data().PM;  
    cell4.innerHTML = doc.data().Temp;  
    cell5.innerHTML = doc.data().Pressure;  
}
```

```
function exportTableToExcel(tableID, filename = "") {  
    var downloadLink;  
    var dataType = 'application/vnd.ms-excel';  
    var tableSelect = document.querySelector('#tbresult');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล 100 ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

// Specify file name
filename = filename ? filename + '.xls' : 'excel_data.xls';
// Create download link element
downloadLink = document.createElement("a");
document.body.appendChild(downloadLink);
if (navigator.msSaveOrOpenBlob) {
    var blob = new Blob(['\u0000', tableHTML], {
        type: dataType
    });
    navigator.msSaveOrOpenBlob(blob, filename);
} else {
    // Create a link to the file
    downloadLink.href = 'data:' + dataType + ',' + tableHTML;
    // Setting the file name
    downloadLink.download = filename;
    //triggering the function
    downloadLink.click();
}
}
// form.addEventListener('submit', (e) => {
    console.log(form.txtstart.value);
    e.preventDefault();
    //console.log(form.txtdate.value);
    //.where('DevAddr', '==', form.txtDevAddr.value)
    db.collection("DataProject_PM").where('Date', ">=", form.txtstart.value)
        .where('Date', "<=", form.txtend.value)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีลาดกระบัง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
.get().then(user => {  
  user.docs.forEach(doc => {  
    console.log(doc.data())  
    console.log(form.txtstart.value);  
    console.log(form.txtend.value);  
    showdata(doc);  
  })  
})  
}  
);
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แล102้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ภาคผนวกที่ 6

โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้าการปฏิบัติตัวในแต่ละระดับความรุนแรง

โค้ดในหน้าการปฏิบัติตัวในแต่ละระดับความรุนแรงเป็นดังนี้

```
@model List<WebApplication13.Models.class1>
@{
    ViewBag.Title = "ข้อแนะนำในการปฏิบัติตน";
}<br />
<h2><center><b>ข้อแนะนำในการปฏิบัติตัว</b></center></h2><br />
<style>
.container {
    max-width: 960px;
    margin: 0 auto;
}
li {
    position: relative;
}
.container1 {
    position: absolute;
    bottom: 0px;
}
span {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แล103้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

display: block
}

span:nth-child(1) {
font-size: 2rem;
margin-bottom: 0.5rem;
}

span:nth-child(2) {
font-size: 2rem;
margin-bottom: 0.5rem;
}

span:nth-child(2) {
color: #333;
}

body {
background-image: url(https://png.pngtree.com/png-clipart/20190117/ourlarge/pngtree-beautiful-blue-sky-and-white-clouds-fresh-blue-sky-png-image_421522.jpg);
background-repeat: no-repeat;
background-size: cover;
}
</style>

```

```
<table class="table table-bordered" style=" border: 5px solid Tomato;">
```

```
<tr style="border: 5px solid tomato">
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แ่104 ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

<th style="border: 5px solid tomato" width="200"><center><h4><b>ดัชนีคุณภาพ
อากาศ</b></h4></center></th>

<th style="border: 5px solid tomato" width="250"><center><h4><b>ระดับมลพิษ
ทางอากาศ</b></h4></center></th>

<th style="border: 5px solid tomato"><center><h4><b>ข้อแนะนำในการปฏิบัติตัว
</b></h4></center></th>

</tr>
@foreach (var item in Model)
{
<tr style="border: 5px solid tomato">
<td style="border: 5px solid tomato"><center><h4>@item.ดัชนีคุณภาพอากาศ
</h4></center></td>
<td style="border: 5px solid tomato"><center></center></td>
<td style="border: 5px solid tomato"><h4>@item.การปฏิบัติตัว</h4></td>
</tr>
}
</table>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แ่105 ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ภาคผนวกที่ 7

โค้ด (Code) ที่เขียนในหน้า Layout.cshtml

โค้ดในหน้า Layout.cshtml เป็นดังนี้

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <meta charset="utf-8" />
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>@ViewBag.Title - My ASP.NET Application</title>
  @Styles.Render("~/Content/css")
  @Scripts.Render("~/bundles/modernizr")
  <style>
    body {
    }
  </style>
</head>
<body>
  <div class="navbar navbar-inverse navbar-fixed-top">
    <div class="container">
      <div class="navbar-header">
        <button type="button" class="navbar-toggle" data-toggle="collapse" data-
target=".navbar-collapse">
          <span class="icon-bar"></span>
          <span class="icon-bar"></span>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 106 องค์กรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

        <span class="icon-bar"></span> </button>
        @Html.ActionLink("Air4You", "Index", "Home", new { area = "" }, new {
@class = "navbar-brand" })
    </div>
    <div class="navbar-collapse collapse">
        <ul class="nav navbar-nav">
            <li><a href="@Url.Action("แผนที่คุณภาพอากาศ","Test")">แผนที่คุณภาพ
อากาศ</a></li>
            <li><a href="@Url.Action("ค้นหาข้อมูลย้อนหลัง","Test")">ค้นหาข้อมูล
ย้อนหลัง</a></li>
            <li><a href="@Url.Action("ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติตน","Test")">ข้อเสนอแนะใน
การปฏิบัติตน</a></li>
        </ul>
    </div>
</div>
</div>
<div class="container body-content">
    @RenderBody()
    <hr />
</div>
@Scripts.Render("~/bundles/jquery")
@Scripts.Render("~/bundles/bootstrap")
@RenderSection("scripts", required: false)
</body>
</html>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ภาคผนวกที่ 8

โค้ด (Code) Google apps script

```
function doPost(e) {  
var sslId = "10tFQVhPXOYvgHTIb6dbZQnUWJireDsb-MUBuDwdh4xc";  
var ss = SpreadsheetApp.openById(sslId);  
var sheetProduct = ss.getSheetByName("แผ่น1");  
var sheetLog = ss.getSheetByName("log"); //get sheet for log  
  
var data = JSON.parse(e.postData.contents); //convert request string in JSON format into  
JavaScript object  
  
//Log text message  
var timeStamp = data.DevEUI_uplink.Time;  
var DevEUI = data.DevEUI_uplink.DevEUI;  
var DevAddr = data.DevEUI_uplink.DevAddr;  
var payload_hex = data.DevEUI_uplink.payload_hex;  
//ทดลองฟังก์ชัน วัน เวลา เพื่อกำหนดเป็น primary and secondary Key  
var timeStamp = data.DevEUI_uplink.Time;  
var d = new Date(timeStamp); //creates a JS date object form milliseconds  
var formattedDate = d.getDate() + "/" + (d.getMonth() + 1) + "/" + d.getFullYear();  
var formattedTime = d.getHours()+ ":" + d.getMinutes();  
//ทดลองฟังก์ชัน แยก ข้อมูล  
var array = Array.from(payload_hex);  
var pm = array[1]+array[3];  
var temp = array[5]+array[7];  
var press = array[9]+array[11]+array[13]+array[15];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีลาดกระบัง 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.

```

//set valus to sheet
var lastRow = sheetLog.getLastRow();
//sheetLog.getRange(lastRow + 1, 1).setValue(formattedDate);
//sheetLog.getRange(lastRow + 1, 2).setValue(DevEUI);
// sheetLog.getRange(lastRow + 1, 3).setValue(DevAddr);
//sheetLog.getRange(lastRow + 1, 4).setValue(payload_hex);
    const email = "----your FireBase email----";
const key = "----your PRIVATE KEY---- ";
    const projectId = "---- your Project ID ----";
const firestore = FirestoreApp.getFirestore(email, key, projectId);
const dataFirebase = {
    "Date" : formattedDate,
    "Time" : formattedTime,
    "DevEUI": DevEUI,
    "DevAddr" : DevAddr,
    "PM" : pm,
    "Temp" : temp,
    "Pressure" : press
}
sheetLog.appendRow([formattedDate,formattedTime,DevEUI,DevAddr,payload_hex,pm,temp,
press]);
firestore.createDocument("DataProject_PM", dataFirebase);
    /** ใช้ libraly จาก https://github.com/grahamearley/FirestoreGoogleAppsScript
// หรือ add จาก google script ->
1VUSl4b1r1eoNcRWotZM3e87ygkxvXltOgyDZhixqncz9lQ3Mjft1iKFw
    }

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 109
 ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้เพื่อการพาณิชย์ หรือเพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย
 ไม่ควรดัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย

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

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

ภาคผนวกที่ 9

โค้ด (Code) ไมโครคอนโทรลเลอร์

```
// ##note Ina219 (voltage sensor) ต่อ เข้า IIC ที่ PB8 , PB9
```

```
// library of Lorawan for arduino
```

```
#include "stdio.h"
```

```
#include "LoRaWAN.h"
```

```
// ตัวแปรการกำหนดข้อมูล
```

```
#define PIN_LED (4ul)
```

```
#define PIN_LED2 (10ul)
```

```
#define PIN_LED3 (5ul)
```

```
#define LED_BUILTIN PIN_LED
```

```
// กำหนด state protocol
```

```
#define STATE_NONE 0
```

```
#define STATE_SCANNING 1
```

```
// เช็คสถานะ LED แต่ละตัว
```

```
int STATE_RX_DATA01;
```

```
int STATE_RX_DATA02;
```

```
int STATE_RX_DATA03;
```

```
volatile bool onRecieve = false;
```

```
int state = STATE_NONE;
```

```
// ตัวแปรเก็บค่าว่ารับค่าใด มาใช้ในการเปรียบเทียบ
```

```
String text;
```

```
#include "Arduino.h"
```

```
#include "variant.h"
```

```
#include "PMS.h"
```

```
#include "Uart.h"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

```

#include "Wire.h"

// INA219

#include <simpler_INA219.h>

simpler_INA219 *sensor219; // Declare and instance of INA219

#define VERBOSE 1

// bme 280 การต่อวงจร SDA สายสีฟ้า เข้า D15
// SDL สายสีเขียวหรือเหลือง เข้า D14

#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>

#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25)
Adafruit_BME280 bme;

#define SERIAL_PORT_HARDWARE2 Serial1;
#define SERIAL_PORT_HARDWARE_OPEN2 Serial1;
#define SERIAL_PORT_MONITOR Serial
#define SERIAL_PORT_HARDWARE1 Serial
#define SERIAL_PORT_HARDWARE2 Serial1
#define SERIAL_PORT_HARDWARE_OPEN2 Serial1
#define SERIAL_INTERFACES_COUNT 2

#define PIN_SERIAL_RX (0uL) //D2
#define PIN_SERIAL_TX (1uL)
#define PIN_SERIAL1_RX (2uL) //D5
#define PIN_SERIAL1_TX (8uL)

//กำหนดวิธีการเชื่อมต่อ กับรหัสการเชื่อมต่อ (เราใช้ ABP)
const char *devAddr = "รหัสdevAddr ของคุณ";
const char *nwksKey = "รหัส network sessions key ของคุณ";
const char *appSKey = "รหัส application server key ของคุณ";

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แต่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

// การต่อ sensor วัดฝุ่น Pms5003 or Pms7003
// Tx(sensor) --> Rx(on Board at D2 or PB9)

PMS pms(Serial1);
PMS::DATA data;
String pm25_;
String pm10_;
String response;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode( PIN_LED, OUTPUT ); // configure LED_PIN as output
  pinMode( PIN_LED2, OUTPUT ); // configure LED_PIN as output
  pinMode( PIN_LED3, OUTPUT ); // configure LED_PIN as output
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT ); // configure LED_PIN as output
  //ทำการเชื่อมต่อ
  LoRaWAN.begin(AS923);
  LoRaWAN.joinABP(devAddr, nwksKey, appSKey);
  LoRaWAN.onReceive(callback_onReceive);
  LoRaWAN.setSaveSession(true);
  state = STATE_SCANNING;
  Serial.println("JOIN( )");
  //Setup Ina219
  Wire.begin();
  Serial.println("Sensor initialization");
  sensor219=new simpler_INA219(INA219_ADDRESS,100,&Wire); // we use 100 mOhm
  shunt
  Serial.println("Sensor initialization -2");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แต่ 112 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

    sensor219->setMultiSampling(2);           // 4 samples
    Serial.println("Setup done\n");
    #if 0 // if you want to do autozero...
    Serial.print("Autozeroing\n");
    sensor219->autoZero();                   // /\ Must have zero current here!!!
    Serial.print("Autozeroing done\n");
    #else
    sensor219->setZeroOffset(0,-1); // or if you know them.... beware they can change a
    bit over time
    sensor219->setZeroOffset(1,-1); // the error is then dependant on the shunt, see
    getResolutionMicroAmp()
    sensor219->setZeroOffset(2,-1);
    sensor219->setZeroOffset(3,-1);
    #endif
    //ตรวจสอบการทำงานของเซนเซอร์ BME280
    if (!bme.begin(0x76)) {
    Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor, check wiring!");
    while (1);
    }
    Serial1.begin(9600);
    pms.passiveMode(); // Switch to passive mode
    }
    void loop(){
        if (LoRaWAN.joined() && !LoRaWAN.busy())
        {
            Rx_Data(); // ตรวจสอบมีการรับข้อมูลหรือไม่

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีลาดกระบัง ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.print("TimeOnAir: ");
Serial.print(LoRaWAN.getTimeOnAir());
Serial.print(", NextTxTime: ");
Serial.print(LoRaWAN.getNextTxTime());
Serial.print(", MaxPayloadSize: ");
Serial.print(LoRaWAN.getMaxPayloadSize());
Serial.print(", DR: ");
Serial.print(LoRaWAN.getDataRate());
Serial.print(", TxPower: ");
Serial.print(LoRaWAN.getTxPower(), 1);
Serial.print("dbm, UpLinkCounter: ");
Serial.print(LoRaWAN.getUpLinkCounter());
Serial.print(", DownLinkCounter: ");
Serial.print(LoRaWAN.getDownLinkCounter());
Serial.println(" ");
sensor_pms(); // เรียกใช้งาน ฟังก์ชัน ของเซนเซอร์ วัดฝุ่น
senser_BME();
send_TxData(); // Send Packet
}
Delay (5000);
}

```

// function แยกของ การส่งข้อมูล

```

static void send_TxData(void) {
    int ifval = data.PM_AE_UG_2_5;
    String Pms = String(ifval);
    char arryNUM[64];

```

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 114 อองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.print("PM2.5 Char ::");
Serial.println(arryNUM);

    LoRaWAN.beginPacket(); LoRaWAN.write(arryNUM); LoRaWAN.endPacket();
}
// function แยกของ sensor วัดแรงดัน INA219
static void sensor_ina(void){
float busVoltage = 0;
int current = 0; // Measure in milli amps
char stA[32];
char stV[32];
busVoltage = sensor219->getBusVoltage_V();
current = sensor219->getCurrent_mA();
sprintf(stA,"Scale=%d",sensor219->getCurrentScaler()); // current scale
Serial.println(stA);
    sprintf(stA,"uA per bit=%d",sensor219->getResolutionMicroAmp()); // get accuracy
with current scale
Serial.println(stA);
    sprintf(stA,"mA =%d",current); // get accuracy with current scale
Serial.println(stA);
    float2str(stV,busVoltage,"V");
Serial.println(stV);
Serial.println("-----\n");
    int raw=sensor219->getShuntVoltage_raw();
sprintf(stA,"RAW = %d\n",(int)raw);
Serial.println(stA);
Delay (500);

```

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.

```

// function เสริมของ sensor วัดแรงดัน INA219
    void float2str(char *s,float f,const char *unit) {
float scale=1;
const char *ext=" ";
if(f<1.1)
{
    f=f*1000.;
    sprintf(s,"%04dm%s",(int)f,unit);
    return;
}
int zleft=(int)(f);
float g=f-(float)(zleft);
int right=(int)(g*10.);
sprintf(s,"%02d",zleft);
s[2]='.';
s+=3;
sprintf(s,"%01d",right);
s+=1;
sprintf(s,"%s%s",ext,unit);
}

```

```

// function แยกของ sensor วัดฝุ่น
    static void sensor_pms(void){
        pms.wakeUp();
        delay (300);
        pms.requestRead();
        Serial.println("Wait max. 1 second for read...");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

        Serial.print("PM 2.5 (ug/m3): ");
        Serial.println(data.PM_AE_UG_2_5);
    }
Else {
    Serial.println("No data.");
}
delay (300);
}

// function แยกของ sensor BME280
static void senser_BME(void){
    Serial.print("Temperature = ");
    Serial.print(bme.readTemperature());
    Serial.println("°C");
    Serial.print("Pressure = ");
    Serial.print(bme.readPressure() / 100.0F);
    Serial.println("hPa");
    Serial.print("Approx. Altitude = ");
    Serial.print(bme.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA));
    Serial.println("m");
    Serial.print("Humidity = ");
    Serial.print(bme.readHumidity());
    Serial.println("%");
}

// function แยกของ การรับข้อมูล
static void Rx_Data(void){
    if (onRecieve){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แต่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.print("RECIEVE( )");
if (LoRaWAN.parsePacket())
{
  uint32_t size;
  uint8_t data[50];
  size = LoRaWAN.read(&data[0], sizeof(data));
  if (size){
    Serial.print("Outputting data array ");
    for(int i=0;i<size;i++){
      Serial.print(data[i],HEX);
      //แปลง array -> String
      text += data[i];
    }
    Serial.println();
  }
  Delay (1000);
  // ทดลองเขียน สวิต เคส
  switch (state) {
  case STATE_NONE:
    break;
  case STATE_SCANNING:
    if (text == "1" && STATE_RX_DATA01 == 0)
    {
      // Got a Data from a Website ...
      Serial.print("Recive Data From web :");
      Serial.print("protocal is : 01 ");
      digitalWrite(PIN_LED, HIGH);
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.print("LED Green (LD1) On ");
text = "";
STATE_RX_DATA01 = 1;
}

else if(text == "1" && STATE_RX_DATA01 == 1) {
    // Got a Data from a Website ...
    Serial.print("Recive Data From web : " );
    Serial.print("protocal is : 01 Again!! ");
    digitalWrite(PIN_LED, LOW);
    Serial.print("LED Green (LD1) Off!! ");
    text = "";
    STATE_RX_DATA01 = 0;
}
else if (text == "2"&& STATE_RX_DATA02 == 0)
{
    // Got a Data from a Website ...
    Serial.print("Recive Data From web : " );
    Serial.print("protocal is : 02 ");
    digitalWrite(PIN_LED2, HIGH);
    Serial.print("LED Green (LD2) On ");
    text = "";
    STATE_RX_DATA02 = 1;
}

else if(text == "2" && STATE_RX_DATA02 == 1) {
    // Got a Data from a Website ...
    Serial.print("Recive Data From web : " );
    Serial.print("protocal is : 02 Again!! ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น 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.

```

digitalWrite(PIN_LED2, LOW);
Serial.print("LED Green (LD2) Off!! ");
text = "";
STATE_RX_DATA02 = 0;
}
else if (text == "3")
{
// Got a Data from a Website ...
Serial.print("Recive Data From web :" );
Serial.print("protocal is : 03 ");
digitalWrite(PIN_LED3, HIGH);
Serial.print("LED Green (LD2) On ");
text = "";
}
Else {
Serial.print("Didn't get anything, from Website ...");
} break;
}
}
}
}
void callback_onReceive(){
onRecieve = true;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล120้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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