



ประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ
SMART DOOR FOR AIR FILTRATION

เบญจรัตน์ พรหมเทพ
เมธี พัทธนันท์พงค์

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2564

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เรื่อง ประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ

SMART DOOR FOR AIR FILTRATION

ผู้จัดทำ

1. นางสาวเบญจรัตน์ พรหมเทพ รหัสนักศึกษา 61511022
2. นายเมธี พิทยานันทพงศ์ รหัสนักศึกษา 61511025



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ภาสภณ มโนสุกฤตกุล)

ชื่อปริญญาบัตร	ประจักษ์จรรยาเพื่อรองอากาศ	
นักศึกษา	นางสาวเบญจรัตน์ พรหมเทพ	รหัสนักศึกษา 61511022
	นายเมธี พิทยานันทวงศ์	รหัสนักศึกษา 61511025
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ภาสภณ มโนสุกฤตกุล	
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2564	

บทคัดย่อ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้นำเสนอประจักษ์จรรยาเพื่อรองอากาศ จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบเทคโนโลยีให้เข้ากับอุปกรณ์ต่างๆเพื่อตอบโจทย์คำว่า อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) จึงได้เกิดเป็นไอเดียสร้างสรรค์ขึ้น เพราะปัญหาเรื่องฝุ่นที่ส่งผลถึงสุขภาพและปัญหาของเครื่องกรองอากาศที่มีการใช้พื้นที่ที่อาจส่งผลกระทบต่อห้องเล็กๆ ดังนั้นจึงคิดออกแบบประจักษ์จรรยาเพื่อรองอากาศที่สามารถกรองฝุ่นวัดค่าฝุ่น และสามารถควบคุมผ่านมือถือได้อย่างสะดวกสบายโดยทำให้ประตูเป็นมากกว่าประตู

ประจักษ์จรรยาเพื่อรองอากาศออกแบบภายในโดยใช้แผ่นอะคริลิกเพื่อง่ายต่อการจัดทำออกแบบและการแก้ไข ภายในมีพัดลมทั้งหมดจำนวนสามตัวโดยแบ่งเป็นสองชนิดพัดลมและสองหน้าที่การทำงาน โดยพัดลมตะแกรงเหล็กจำนวนหนึ่งตัว ทำหน้าที่เป่าอากาศที่กรองเสร็จแล้วออกมาภายนอกประตู ส่วนพัดลมหอยโข่งจำนวนสองตัว มีหน้าที่ดูดลมเข้าเพื่อรองอากาศผ่านแผ่นกรองอากาศที่ได้รับมาตรฐานการกรองฝุ่น อีกทั้งตัวชิ้นงาน มีเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่นทั้งสามชนิด ควบคุมการทำงานโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node MCU ESP 32) ในการรับส่งข้อมูลค่าฝุ่นและควบคุมพัดลม อีกทั้งยังแสดงผลและออกแบบหน้าการสั่งการแดชบอร์ด (DashBoard) ด้วยซอฟต์แวร์ โหนดเรด (Node-Red) สามารถใช้งานซอฟต์แวร์โนดเรดผ่านคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟนได้ผ่านการแอสแกนบาร์โค้ด

ประสิทธิภาพของประจักษ์จรรยาเพื่อรองอากาศจากการทดลองมีค่าความแม่นยำการกรองฝุ่นที่ลดลงทั้งสามชนิดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 90.81 โดยแบ่งเป็น PM1 ร้อยละ 90.35, ฝุ่น PM2.5 ร้อยละ 91.76 และฝุ่น PM10 ร้อยละ 92.34 อีกทั้งยังมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิบุคคลที่มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยสูงถึง 94.096%

Project Title	SMART DOOR FOR AIR FILTRATION	
Student	Ms.Benjarat Phromterp	ID 61511022
	Mr.Metee Phattananthapong	ID 61511025
Advisor	Asst.Prof.Dr.Phasapon Manosukritkul	
Degree	Bachelor of Engineering	
Program in	Electronics Engineering	
Academic Year	2021	

ABSTRACT

This thesis presents a Smart door for air filtration. Made to design technology to fit various devices to meet the needs of the word. Everything about the Internet - things of the Internet “From the air compressor design applied to the form of home furniture. Because furniture has been part of the home, in the home space and convenient for users. Therefore, the vice captains of the air force designed the form of the door. This is because the problem of dust which affects health and air, may affect the use of small rooms. Therefore, an air filter can filter dust and easily control the moving door.

Smart door for air filtration using Acrylic plate for simple graphic design and editing. There are three fans, namely, fans and fan functions. The work of the air filter is finished. Out the door. The purpose of this study is to pass the air filter through the air filter of the air filter. Using MCU control, esp32 in data transmission, dust and fan control. In addition, the system also provides a result and a large board management system design with node red41 software.

The software can scan the mark by computer and bar code.The efficiency of the air filter door decreased from the experimental accuracy to an average of 90.81 pm 1 90.35 percent, PM2.5 91.76 percent, and PM10, 92.34 percent. In addition, personal temperature sensors have high accuracy 94.096 percent

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนของบุคคลหลายๆท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณทุกท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ผู้ซึ่งคอยอบรมสั่งสอน และสนับสนุนทุนการศึกษา และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภาสภณ มโนสุกฤตกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งเอื้อเฟื้อเครื่องมือเครื่องใช้ในการทำโครงการ และติดตามเกี่ยวกับงานโครงการตลอดมา ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาของท่านจึงขอการขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำชี้แจงถึงข้อบกพร่องของโครงการและคอยช่วยเหลือเสมอมา และต้องขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือในการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำจึงขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เบญจรัตน์ พรหมเทพ

เมธี พัทธนันท์พงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.7 โครงสร้างปริญญานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ความหมายของฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	6
2.1.1 ประเภทของฝุ่นละอองในอากาศ.....	6
2.1.2 ค่ามาตรฐานจากกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียงกรุงเทพมหานคร.....	7
2.1.3 ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ.....	9
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการกรองอากาศ.....	12
2.2.1 หลักการกรองอากาศ.....	13
2.2.2 หน้าที่ของแผ่นกรองอากาศ.....	13
2.3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32.....	14
2.3.1 โครงสร้างของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32.....	14
2.3.2 รุ่นของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 อุปกรณ์รับ-ส่งอินพุตเอาต์พุต (INPUT/OUTPUT Module).....	17
2.5 อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งบนแพลตฟอร์มอาδυโน.....	19
2.5.1. การแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์.....	19
2.6 เซ็นเซอร์ตรวจจับฝุ่นละออง (Laser Dust Sensor PMS3003).....	23
2.7 พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืน.....	24
2.8 พัดลมระบายอากาศ (Cooling Fan).....	24
2.9 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส.....	25
2.9.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์.....	26
2.10 โนตเรด.....	27
2.10.1 วิธีการติดตั้งโนตเรด.....	28
2.10.2 โปรโตคอลเอ็มคิวทีที.....	30
2.11 จอแสดงผลแบบหน้าจอสถิตผลโอแอลอีดี (OLED).....	31
2.12 การติดตั้งอาδυโน.....	32
2.12.1 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมอาδυโน.....	32
2.13 เครื่องตรวจวัดคุณภาพ Xiaomi Mi PM 2.5 Monitor.....	36
2.14 เครื่องวัดอุณหภูมิหน้าผาก UX-A-03.....	36
บทที่ 3 การออกแบบ.....	38
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ.....	38
3.2 โฟร์ชาร์ต.....	39
3.3 โครงสร้างและการออกแบบชิ้นงาน.....	40
3.4 การออกแบบโนตเรด (Node-RED).....	47
3.5 การออกแบบการแจ้งเตือนค่าฝุ่น PM ผ่านไลน์.....	50
3.6 การออกแบบการแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิสูงผ่านไลน์.....	51
3.7 การออกแบบปุ่มเปิด-ปิดรีเลย์.....	52
3.8 การออกแบบหน้าจอการทำงานที่แสดงผลค่าฝุ่น.....	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.9 การออกแบบวงจร.....	55
3.10 การออกแบบหน้าจอในการแสดงผลค่าอุณหภูมิ.....	56
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	57
4.1 การทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิ.....	57
4.1.1 วัตถุประสงค์.....	57
4.1.2 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	57
4.1.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	57
4.1.4 ผลการทดลอง.....	58
4.1.5 รูปประกอบผลการทดลอง.....	59
4.1.6 รูปประกอบผลการทดลอง.....	60
4.2 การทดลองตรวจจับฝุ่น PM1 PM2.5 PM10.....	61
4.2.1 วัตถุประสงค์.....	61
4.2.2 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	61
4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	61
4.2.4 ผลการทดลอง.....	61
4.2.5 รูปประกอบผลการทดลอง.....	62
4.3 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานเครื่องประตुरองอากาศ ครั้งที่ 1.....	63
4.3.1 วัตถุประสงค์.....	63
4.3.2 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	63
4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	63
4.3.4 ผลการทดลอง.....	64
4.4 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จ ครั้งที่ 1.....	64
4.4.1 วัตถุประสงค์.....	64
4.4.2 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	64
4.4.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	65
4.4.4 ผลการทดลอง.....	65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานเครื่องประตุกรองอากาศ ครั้งที่ 2.....	66
4.5.1 วัตถุประสงค์.....	66
4.5.2 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	66
4.5.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	66
4.5.4 ผลการทดลอง.....	66
4.6 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จ ครั้งที่ 2.....	67
4.6.1 วัตถุประสงค์.....	67
4.6.2 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	67
4.6.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	67
4.6.4 ผลการทดลอง.....	68
4.6.5 รูปประกอบผลการทดลอง.....	68
4.7 ผลการรับค่าฝุ่น.....	69
4.8 การทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิเปรียบเทียบมาตรฐาน.....	70
4.8.1 วัตถุประสงค์.....	70
4.8.2 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	70
4.8.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	71
4.8.4 ผลการทดลอง.....	71
4.8.5 รูปประกอบผลการทดลอง.....	72
4.8.6 รูปประกอบผลการทดลอง.....	73
4.9 การทดลองเซ็นเซอร์ ค่าฝุ่น เปรียบเทียบมาตรฐาน.....	74
4.9.1 วัตถุประสงค์.....	74
4.9.2 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	74
4.9.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	74
4.9.4 ผลการทดลอง.....	75
4.9.5 รูปประกอบผลการทดลอง.....	76

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	77
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	77
5.1.1 สรุปผลการทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิ.....	77
5.1.2 สรุปผลการทดลองตรวจจับฝุ่นทั้งสามชนิด.....	77
5.1.3 สรุปผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานประตูรองอากาศครั้งที่ 1.....	78
5.1.4 สรุปผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นหลังกรองเสร็จ ครั้งที่ 1.....	78
5.1.5 สรุปผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานประตูรองอากาศครั้งที่ 2.....	78
5.1.6 สรุปผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นหลังกรองเสร็จ ครั้งที่ 2.....	78
5.1.7 สรุปผลการทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิเปรียบเทียบมาตรฐาน.....	78
5.1.8 สรุปผลการทดลองเซ็นเซอร์ ฝุ่น เปรียบเทียบมาตรฐาน.....	79
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	79
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	79
เอกสารอ้างอิง.....	80
เอกสารอ้างอิง (ต่อ).....	81
ภาคผนวก ก.....	83
ภาคผนวก ข.....	95
ภาคผนวก ค.....	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ภาคเรียนที่ 1.....	3
1.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ภาคเรียนที่ 2.....	4
4.1 การทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ.....	58
4.2 การทดลองรูปแบบตารางเปอร์เซ็นต์เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ.....	58
4.3 การทดลองการตรวจจับฝุ่น PM 1 PM 2.5 PM 10.....	61
4.4 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานเครื่องประตุกรองอากาศ ครั้งที่ 1.....	64
4.5 การทดลองการตรวจวัดค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จ ครั้งที่ 1.....	65
4.6 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานเครื่องประตุกรองอากาศ ครั้งที่ 2.....	66
4.7 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จ ครั้งที่ 2.....	68
4.8 การทดลองเปรียบเทียบค่าฝุ่นที่ลดลง ครั้งที่ 1-2.....	70
4.9 การทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิเปรียบเทียบมาตรฐาน.....	72
4.10 การทดลองเซ็นเซอร์ ค่าฝุ่น เปรียบเทียบมาตรฐาน.....	75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รายงานสถานการณ์การวัดค่าฝุ่น.....	7
2.2 รายงานสถานการณ์การวัดค่าฝุ่น.....	8
2.3 แสดงข้อมูลเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย.....	10
2.4 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ.....	11
2.5 แผ่นกรองอากาศดักกรองฝุ่นละออง.....	13
2.6 โครงสร้างของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	16
2.7 วงจรของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	17
2.8 การเชื่อมต่อ Input/Output ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง(IoT).....	18
2.9 การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (Line Notify).....	19
2.10 การเข้าสู่ระบบ Notify bot.....	20
2.11 การออก Access Token.....	20
2.12 การเลือก Client ที่ต้องการส่งการแจ้งเตือน.....	21
2.13 การเพิ่มการแจ้งเตือนไลน์เข้าไปยังกลุ่ม.....	22
2.14 รูปแบบของ Token ที่ออกมา.....	22
2.15 ภาพการแจ้งเตือนจาก Line Notify.....	23
2.16 เซ็นเซอร์ตรวจจับฝุ่นละออง.....	23
2.17 พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืน	24
2.18 พัดลมระบายอากาศ (Cooling Fan).....	25
2.19 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส.....	26
2.20 วงจรภายในเซ็นเซอร์ไร้สัมผัส	27
2.21 โนดเรด.....	28
2.22 หน้าดาวนิโหลด.....	28
2.23 หน้าตัวอย่างการพิมพ์ชุดคำสั่ง.....	29
2.24 หน้ารันคำสั่ง โนดเรด ในหน้า CMD.....	29
2.25 หน้า โนดเรด ที่พร้อมใช้งาน.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 โพรโตคอลเอ็มคิวทีที.....	31
2.27 จอแสดงผลโอแอลอีดี.....	32
2.28 หน้าซอฟต์แวร์.....	32
2.29 หน้าดาวนโหลดซอฟต์แวร์.....	33
2.30 หน้าแตกไฟล์.....	33
2.31 หน้าโปรแกรมสำหรับติดตั้ง URLs บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32).....	34
2.32 หน้า URLs ที่ใส่ลงในช่อง.....	34
2.33 หน้าการติดตั้งตัวจัดการบอร์ด.....	35
2.34 หน้าการติดตั้ง บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	35
2.35 เครื่องวัดค่าฝุ่น Xiaomi Mi PM 2.5 Monitor.....	36
2.36 เครื่องวัดอุณหภูมิหน้าผาก UX-A-03.....	37
3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ.....	38
3.2 โฟร์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรม.....	39
3.3 โครงสร้างประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศโดยรวม.....	40
3.4 ตัววางพัดลมดูดอากาศออก.....	41
3.5 กล่องใส่เซ็นเซอร์วัดค่าฝุ่น.....	42
3.6 กล่องดูดอากาศเข้า.....	43
3.7 กล่องใส่พัดลมดูดอากาศ.....	44
3.8 กล่องใส่แผ่นกรองอากาศ.....	45
3.9 การประกอบโครงสร้างชิ้นงาน.....	46
3.10 ผลการออกแบบโครงสร้างและวางอุปกรณ์ชิ้นงานภายใน.....	46
3.11 ผลการออกแบบ โนตเรด.....	47
3.12 ผลการออกแบบ โนตเรด.....	48
3.13 ผลการออกแบบ โนตเรด.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ผลการออกแบบ โนตเรด.....	49
3.15 ผลการออกแบบการแจ้งเตือนค่าฝุ่น ค่าฝุ่น ผ่านไลน์.....	50
3.16 ผลการออกแบบการแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิสูงผ่านไลน์.....	51
3.17 ผลการออกแบบปุ่มเปิด-ปิดรีเลย์.....	52
3.18 ผลการออกแบบปุ่มเปิด-ปิดรีเลย์.....	53
3.19 ผลการออกแบบหน้าจอการทำงาน.....	54
3.20 การออกแบบวงจร.....	55
3.21 ผลการออกแบบหน้าจอโอแอลอีดี สำหรับแสดงผลอุณหภูมิโดยรอบ.....	56
3.22 ผลการออกแบบหน้าจอโอแอลอีดี สำหรับแสดงผลอุณหภูมิกุศล.....	56
4.1 การทดลองเทอร์โมมิเตอร์.....	59
4.2 ค่าอุณหภูมิของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ.....	60
4.3 ชิ้นงานและการทดลองประตูบริเวณพื้นที่โล่ง.....	62
4.4 ผลการรับค่าฝุ่น.....	69
4.5 การทดลองประตูรองอากาศในห้องระบบปิด.....	70
4.6 การทดลองวัดอุณหภูมิและเก็บค่าอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน.....	72
4.7 การทดลองวัดและเก็บค่าอุณหภูมิด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ.....	73
4.8 การทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าฝุ่นระหว่างเซ็นเซอร์วัดฝุ่นและเครื่องวัดฝุ่นมาตรฐาน.....	76
5.1 อ้างอิงข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ.....	77

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขั้นตอนการดำเนินงาน รวมถึงโครงสร้างของปริญญานิพนธ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่มีฟังก์ชันหลากหลาย ทั้งการสั่งการ ควบคุม และเชื่อมต่อ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่นได้และเพิ่มฟังก์ชันที่มากกว่าการทำงานเดิม ตัวอย่างเช่น Smart Home Devices To Talk ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมและเชื่อมต่อการทำงาน คือ แอร์ที่มีการพัฒนาให้มีฟังก์ชันเพิ่มขึ้น เช่น โหมดล้างฝุ่นภายในตัวเครื่องหรือพัดลมไอเย็นที่มีฟังก์ชันกรองอากาศภายในตัวเครื่อง ดังนั้นทางด้านผู้จัดทำจึงนำแนวความคิดเหล่านี้ มาประยุกต์และต่อยอดกับประตุธรรมดาให้มีความผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีที่ทันสมัย เพื่อให้เหมาะสมกับยุคนวัตกรรม 5G ที่สามารถทำให้ประตุเป็นได้มากกว่าประตุ[19]

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานภายในระบบปิด
2. เพื่อกรองอากาศให้มีความสะอาดมากยิ่งขึ้น
3. เพื่อออกแบบและสร้างฟังก์ชันการทำงานภายในประตุที่หลากหลายทำให้เกิดความสะดวกสบายต่อการใช้งาน
4. เพื่อนำค่าฝุ่นที่วัดได้มาเป็นเงื่อนไขในการทำงานของพัดลม
5. เพื่อศึกษาการใช้งาน Node MCU ESP32 และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ประตุอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศสามารถนำไปใช้งานในการกรองอากาศเพื่อลดระดับค่าฝุ่นทั้งสามค่าได้จริงและสามารถควบคุมหรือดูค่าฝุ่นขณะกรองหรือกรองเสร็จได้ผ่านสมาร์ทโฟนหรือผ่านคอมพิวเตอร์ได้[19]

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. ตัวเครื่องสามารถรองรับค่าฝุ่น PM 1 PM 2.5 PM 10
2. สามารถรองรับค่าฝุ่นได้ 90% บริเวณประตูและภายในห้องได้
3. มีฟังก์ชันตรวจวัดระดับฝุ่น PM 1 PM 2.5 PM 10 และค่าอุณหภูมิของบุคคลที่จะเข้าไปในห้อง เพื่อควบคุมการทำงาน
4. ออกแบบแอปพลิเคชันควบคุมฟังก์ชันผ่านระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง ที่สามารถควบคุมและปรับระดับความเร็วพัดลมได้ 3 ระดับ
5. แจ้งเตือนค่าฝุ่น PM 1 PM 2.5 PM 10 และค่าอุณหภูมิสูงผ่านแอปพลิเคชันไลน์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศให้มีความสะอาดมากยิ่งขึ้นได้
2. เข้าใจหลักการการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนโค้ดควบคุมการทำงาน
3. ได้รับความรู้เกี่ยวกับ Node MCU ESP32
4. ได้รับความรู้ในด้านการเขียนโปรแกรมที่นำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆในอนาคต

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานได้ทำการวางแผนไว้ เริ่มจากศึกษาระบบกาวาโรเมตริก การวัดฝุ่นละออง โดยดูอากาศผ่านแผ่นกรอง ศึกษาวงจรรีเลย์ การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ศึกษาและเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ศึกษาวิธีการสร้างแอปพลิเคชันโนดเรด (Node-RED) ทดสอบระบบการทำงานของแอปพลิเคชันโนดเรด ทดสอบการทำงานของประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ ปรับปรุงและแก้ไขชิ้นงานประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์ โดยแบ่งการทำงานในภาคเรียนที่ 1 และภาคเรียนที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 1.1 และตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ภาคเรียนที่ 1

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน			
	ภาคเรียนที่ 1			
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน
1. ศึกษาการทำงานของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดค่าฝุ่น	←→			
2. ศึกษาทฤษฎีการสื่อสารของโปรโตคอลผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (Line Notify)	←→			
3. ศึกษาและเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอนโทรเลอร์	←→			
4. ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ลงบนประตู	←→			
5. ศึกษาวิธีการสร้าง Application Blynk		←→		
6. ทดสอบการทำงานของประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ		←→		
7. ปรับปรุงและแก้ไขชิ้นงานประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ			←→	
8. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์			←→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ภาคเรียนที่ 2

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน				
	ภาคเรียนที่ 2				
	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
1. ศึกษาระบบกาววีเมตริก การวัดฝุ่นละออง โดยดูดอากาศผ่านแผ่นกรอง	←	→			
2. ศึกษาวงจรรีเลย์ และการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ	←	→			
3. ศึกษาและเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอนโทรเลอร์		←	→		
4. ศึกษาวิธีการสร้างแอปพลิเคชัน โนตเรด			←	→	
5. ทดสอบระบบการทำงานของแอปพลิเคชัน โนตเรด			←	→	
6. ทดสอบการทำงานของประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ				←	→
7. ปรับปรุงและแก้ไขชิ้นงานประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ				←	→
8. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์				←	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 โครงสร้างปฏิญานิพนธ์

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับโครงการประต้อัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ แบ่งออกเป็น 5 บท แต่ละบทประกอบไปด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 ในบทนี้จะกล่าวถึง ที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานการศึกษา ขอบเขตของปฏิญานิพนธ์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขั้นตอนการดำเนินงานและ โครงสร้างของปฏิญานิพนธ์

บทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการจัดทำโครงการ ซึ่งประกอบไปด้วย ความหมายของฝุ่นละออง ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการกรองอากาศ แผ่นกรองอากาศ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ อุปกรณ์รับ-ส่งอินพุตเอาต์พุต (INPUT/OUTPUT Module) อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งบนแพลตฟอร์มอาดูยโน้ เช่น เซอร์วัตค่าฝุ่น พัดลม หอยโข่งแบบลูกปืน พัดลมระบายอากาศ (Cooling Fan) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ โนดเรต โปรโตคอลเอ็มคิวทีที จอแสดงผลแบบโอแอลอีดี การติดตั้งอาดูยโน้ เครื่องวัดคุณภาพอากาศ เครื่องวัดอุณหภูมิหน้าผาก

บทที่ 3 ในบทนี้จะกล่าวถึง บล็อกไดอะแกรมการทำงานของประต้อัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ โฟร์ชาร์ต และโครงสร้างของประต้อัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ การออกแบบโนดเรต การออกแบบการแจ้งเตือนค่าฝุ่นผ่านไลน์ การออกแบบแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิผ่านไลน์ การออกแบบปุ่มเปิด-ปิดรีเลย์ การออกแบบหน้าจอการทำงานที่แสดงผลค่า ค่าฝุ่น วงจรรีเลย์

บทที่ 4 ในบทนี้จะกล่าวถึง วัตถุประสงค์การทดลอง ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 ในบทนี้จะกล่าวถึง การสรุปผลการทดลอง ปัญหาและอุปสรรค และวิธีแก้ไขปัญหา

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงการประจักษ์จรรยาเพื่อกรองอากาศ ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย ความหมายของฝุ่นละอองความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการกรองอากาศ แผ่นกรองอากาศ บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node MCU ESP 32) อุปกรณ์รับ-ส่งอินพุตเอาต์พุต (INPUT/OUTPUT Module) อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) เช่น เซอร์วัตค่าฝุ่น พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืน พัดลมระบายอากาศ (Cooling Fan) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ โน้ตเรต โปรโตคอลเอ็มคิวทีที จอแสดงผลแบบโอแอลอีดี การติดตั้งอาอูดยโน้ เครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศ เครื่องวัดอุณหภูมิหน้าผาก ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆดังนี้[20]

2.1 ความหมายของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter : PM) หมายถึง อนุภาคขนาดเล็กที่เป็นของแข็งหรือของเหลวแขวนลอยอยู่ในอากาศ หรือเรียกได้อีกอย่างว่า มลพิษทางอนุภาค ซึ่งมีความหลากหลายทางองค์ประกอบและลักษณะทางกายภาพ ตัวอย่างเช่น ฝุ่นสิ่งสกปรก เหม่า ควันจาง

2.1.1 ประเภทของฝุ่นละอองในอากาศ

1. PM 10.0 (มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน) เกิดจากฝุ่นที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การเผาในที่โล่ง กระบวนการอุตสาหกรรม การทำเป็นผงจากโรงงานก่อสร้าง ถนนที่ไม่ได้ลาดยางและโรงงานบดหิน

2. PM 2.5 (มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2.5 ไมครอน) สามารถลอยอยู่ในอากาศได้ถึงหลายสัปดาห์ และลอยไปจากแหล่งกำเนิดได้ประมาณ 100 ถึง 1000 กิโลเมตร ซึ่ง PM 2.5 นั้นเกิดจากการเผาไหม้ทั้งจากยานพาหนะ การเผาวัสดุการเกษตร ไฟป่า และกระบวนการอุตสาหกรรม ที่สามารถแทรกซึมเข้าสู่กระบวนการทำงานของอวัยวะต่างๆในร่างกาย ก่อให้เกิดความเสี่ยงของโรคต่างๆ ได้ เช่น โรคหอบหืด โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคมะเร็งปอด โรคหัวใจขาดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง โรคติดเชื้อเฉียบพลันระบบหายใจส่วนล่าง โรคภูมิแพ้ เป็นต้น

3. PM 1.0 (มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1.0 ไมครอน) มีขนาดเล็กเทียบเท่าควันบุหรี่ สามารถทะลุผ่านเข้าไปในบริเวณลึกที่สุดของปอด ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจและไม่สามารถขับออกทางกลไกรธรรมชาติได้ ต้องขับออกทางไตอย่างเดียว [1]

2.1.2 ค่ามาตรฐานจากกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียงกรุงเทพมหานคร

รายงานสถานการณ์
คุณภาพอากาศ

เลือกกลุ่มเขต: All District

ลำดับ	เขต	ที่ตั้งสถานี	ข้อมูลล่าสุด	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	คุณภาพอากาศ	
ค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 24 ชั่วโมง							
1	เขตดินแดง	ริมถนน	ริมถนนวิภาวดีรังสิต	28-05-2022 21:00	70	21	คุณภาพดีมาก
2	เขตพระโขนง	ริมถนน	ภายในสำนักงานเขตพระโขนง	28-05-2022 21:00	40	15	คุณภาพดีมาก
3	เขตราชบุรีบูรณะ	ริมถนน	ภายในสำนักงานเขตราชบุรีบูรณะ	28-05-2022 21:00	73	23	คุณภาพดีมาก
4	เขตราชเทวี	ริมถนน	ภายในสำนักงานเขตราชเทวี	28-05-2022 21:00	26	11	คุณภาพดีมาก
5	เขตดุสิต	ริมถนน	ริบสวนหย่อมตรงข้ามสำนักงานเขตดุสิต	28-05-2022 21:00	57	20	คุณภาพดีมาก
6	เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย	ริมถนน	ด้านหน้าสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	28-05-2022 21:00	54	18	คุณภาพดีมาก
7	เขตสัมพันธวงศ์	ริมถนน	บริเวณหน้าห้วยมุ่ม ภูมิประตูละสิมพระเกียรติ (วงเวียนโอเดียน)	28-05-2022 21:00	-	20	คุณภาพดีมาก
8	เขตพญาไท	ริมถนน	หน้าแพลตฟอร์มใกล้โรงพยาบาลวชิรพยาบาล ตรงข้ามกระทรวงการ	28-05-2022 21:00	-	20	คุณภาพดีมาก
9	เขตวังทองหลาง	ริมถนน	ด้านหน้าบีบีพาร์ค เอสซี ๒ ลาดพร้าว 95	28-05-2022 21:00	-	28	คุณภาพดี
10	เขตปทุมวัน	ริมถนน	หน้าห้างสยามมอลล์	28-05-2022 21:00	-	23	คุณภาพดีมาก
11	เขตบางรัก	ริมถนน	ข้างป้อมตำรวจหน้าลานบางรักเลี้ยว พลาซ่า	28-05-2022 21:00	-	17	คุณภาพดีมาก
12	เขตสาทร	พื้นที่ทั่วไป	สี่แยกหน้าสำนักงานเขตสาทร ซอย ถนนเซนต์หลุยส์	28-05-2022 21:00	-	23	คุณภาพดีมาก
13	เขตยานนาวา	ริมถนน	ใกล้ธนาคารกรุงศรีอยุธยา สำนักงานใหญ่	28-05-2022 21:00	-	19	คุณภาพดีมาก
14	เขตวัฒนา	ริมถนน	ตรงข้าม noble Reveal (ข้าง MK gold restaurants)	28-05-2022 21:00	56	17	คุณภาพดีมาก
15	เขตสวนหลวง	ริมถนน	ด้านหน้าสำนักงานเขตสวนหลวง	28-05-2022 21:00	34	15	คุณภาพดีมาก
16	เขตบางนา	ริมถนน	บริเวณหน้าห้าง สรรพสินค้าอิกซี่ บางนา	28-05-2022 21:00	57	26	คุณภาพดี
17	เขตตจจทร	ริมถนน	บริเวณด้านหน้ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	28-05-2022 21:00	-	22	คุณภาพดีมาก
18	เขตดอนเมือง	พื้นที่ทั่วไป	ด้านข้างสำนักงานเขตดอนเมือง	28-05-2022 21:00	54	19	คุณภาพดีมาก
19	เขตสายไหม	ริมถนน	ป้ายรถเมล์ด้านหน้าสำนักงานเขตสายไหม	28-05-2022 21:00	n/a	26	คุณภาพดี
20	เขตบางกะปิ	ริมถนน	ข้าง ป้อมตำรวจตรงข้ามสำนักงาน เขตบางกะปิ	28-05-2022 21:00	-	31	คุณภาพดี
21	เขตคันนายาว	พื้นที่ทั่วไป	บริเวณปากทางถนนสวนสยามตัดกับถนนรามอินทรา	28-05-2022 21:00	47	16	คุณภาพดีมาก
22	เขตลาดกระบัง	ริมถนน	ด้านหน้าโรงพยาบาลลาดกระบังข้างป้อมตำรวจ	28-05-2022 21:00	-	22	คุณภาพดีมาก
23	เขตมีนบุรี	ริมถนน	สวนเฉลิมพระเกียรติ ร.9 ตรงข้ามสำนักงานเขตมีนบุรี	28-05-2022 21:00	64	21	คุณภาพดีมาก
24	เขตหนองจอก	ริมถนน	บริเวณหน้าสำนักงานเขตหนองจอก	28-05-2022 21:00	74	19	คุณภาพดีมาก
25	เขตประเวศ	ริมถนน	ด้านหน้าห้างสรรพสินค้าซีคอน สแควร์	28-05-2022 21:00	58	29	คุณภาพดี
26	เขตธนบุรี	ริมถนน	ริมป้ายรถเมล์บริเวณแยกมไหศวรรย์	28-05-2022 21:00	-	17	คุณภาพดีมาก
27	เขตคลองสาน	ริมถนน	บริเวณหน้าห้องสมุดใต้สะพานสมเด็จพระเจ้าตากสิน	28-05-2022 21:00	-	23	คุณภาพดีมาก
28	เขตบางกอกใหญ่	ริมถนน	บริเวณสี่แยกท่าพระ แขวงวัดท่าพระ	28-05-2022 21:00	54	29	คุณภาพดี
29	เขตบางกอกน้อย	ริมถนน	บริเวณหน้าสถานีตำรวจรถไฟบางกอกน้อย	28-05-2022 21:00	-	24	คุณภาพดีมาก
30	เขตตลิ่งชัน	ริมถนน	ถนนพุทธมณฑลสาย 1 ตัดกับถนนบรมราชชนนี	28-05-2022 21:00	n/a	27	คุณภาพดี
31	เขตทวีวัฒนา	ริมถนน	ทางเข้าสนามหลวง 2	28-05-2022 21:00	51	22	คุณภาพดีมาก
32	เขตภาษีเจริญ	ริมถนน	หน้ามหาวิทยาลัยสยาม(ประตูหน้าซอยเพชรเกษม 36) ทางเข้ามหาวิทยาลัย	28-05-2022 21:00	-	25	คุณภาพดีมาก
33	เขตหนองแขม	ริมถนน	สามแยกข้างป้อมตำรวจ ถนนนาเจริญ เพชรเกษม 81	28-05-2022 21:00	57	29	คุณภาพดี
34	เขตบางบอน	ริมถนน	ใกล้ตลาดบางบอน	28-05-2022 21:00	59	25	คุณภาพดีมาก
35	เขตทุ่งครุ	ริมถนน	หน้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	28-05-2022 21:00	38	17	คุณภาพดีมาก
36	เขตพระนคร	ริมถนน	ภายในสำนักงานเขตพระนคร	28-05-2022 21:00	-	29	คุณภาพดี

รูปที่ 2.1 รายงานสถานการณ์การวัดค่าฝุ่น
(ที่มา: Air4Thai (pcd.go.th))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37	เขตห้วยขวาง	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตห้วยขวาง (ด้านข้างโรงพยาบาล) ถนนประชาอุทิศ	28-05-2022 21:00	44	16	คุณภาพดีมาก
38	เขตคลองเตย	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตคลองเตย	28-05-2022 21:00	-	19	คุณภาพดีมาก
39	เขตบางซื่อ	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตบางซื่อ	28-05-2022 21:00	-	28	คุณภาพดี
40	เขตลาดพร้าว	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตลาดพร้าว	28-05-2022 21:00	44	17	คุณภาพดีมาก
41	เขตหลักสี่	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตหลักสี่	28-05-2022 21:00	-	19	คุณภาพดีมาก
42	เขตบางเขน	ริมถนน	ภายในสำนักงานเขตบางเขน	28-05-2022 21:00	-	n/a	n/a
43	เขตสะพานสูง	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตสะพานสูง	28-05-2022 21:00	39	13	คุณภาพดีมาก
44	เขตจตุจักร	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตจตุจักร	28-05-2022 21:00	-	20	คุณภาพดีมาก
45	เขตคลองสามวา	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตคลองสามวา	28-05-2022 21:00	47	n/a	คุณภาพดีมาก
46	เขตจอมทอง	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตจอมทอง	28-05-2022 21:00	35	14	คุณภาพดีมาก
47	เขตบางพลัด	ริมถนน	ภายในสำนักงานเขตบางพลัด	28-05-2022 21:00	-	20	คุณภาพดีมาก
48	เขตบางแค	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตบางแค	28-05-2022 21:00	48	25	คุณภาพดีมาก
49	เขตบางขุนเทียน	ริมถนน	ภายในสำนักงานเขตบางขุนเทียน	28-05-2022 21:00	-	22	คุณภาพดีมาก
50	สวนลุมพินี	พื้นที่ทั่วไป	ถนนพระราม 4 แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน	28-05-2022 21:00	-	12	คุณภาพดีมาก
51	สวนวชิรเบญจทัศ	พื้นที่ทั่วไป	ถนนกำแพงเพชร 3 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร	28-05-2022 21:00	-	19	คุณภาพดีมาก
52	สวนจตุจักร	พื้นที่ทั่วไป	ถนนพหลโยธิน แขวงจตุจักร เขตจตุจักร	28-05-2022 21:00	-	16	คุณภาพดีมาก
53	สวนหลวง S.9	พื้นที่ทั่วไป	ถนนเฉลิมพระเกียรติ S.9 แขวงหนองบอน เขตประเวศ	28-05-2022 21:00	-	14	คุณภาพดีมาก
54	สวน 60 พรรษาสมเด็จพระนางเจ้าพระบรมราชินีนาถ	พื้นที่ทั่วไป	ถนนเคหะร่มเกล้า เขตลาดกระบัง	28-05-2022 21:00	-	15	คุณภาพดีมาก
55	อุทยานเบญจสิริ	พื้นที่ทั่วไป	ถนนสุขุมวิท ระหว่างซอยสุขุมวิท 22-24 แขวงคลองตัน เขตคลองเตย	28-05-2022 21:00	-	15	คุณภาพดีมาก
56	สวนรมย์บุรีรักษ์	พื้นที่ทั่วไป	ถนนเวฬุวนาราม แขวงทุ่งสากัน เขตดอนเมือง	28-05-2022 21:00	-	19	คุณภาพดีมาก
57	สวนรมย์บุรีรมย์	พื้นที่ทั่วไป	ถนนพุทธบูชา แขวงบางมด เขตทุ่งครุ	28-05-2022 21:00	-	11	คุณภาพดีมาก
58	สวนเบญจกิติ	พื้นที่ทั่วไป	ถนนรัชดาภิเษก เขตคลองเตย	28-05-2022 21:00	-	15	คุณภาพดีมาก
59	สวนสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์	พื้นที่ทั่วไป	ถนนกำแพงเพชร 2 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร	28-05-2022 21:00	-	18	คุณภาพดีมาก
60	สวนเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	พื้นที่ทั่วไป	ถนนบางขุนนนท์ แขวงบางขุนนนท์ เขตบางกอกน้อย	28-05-2022 21:00	-	15	คุณภาพดีมาก
61	สวนเสรีไทย	พื้นที่ทั่วไป	ถนนเสรีไทย แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม	28-05-2022 21:00	-	22	คุณภาพดีมาก
62	สวนบางแคภิรมย์	พื้นที่ทั่วไป	ซอยบ้านคลองขวาง แขวงหลักสอง เขตบางแค	28-05-2022 21:00	-	18	คุณภาพดีมาก
63	สวนทวีวนารมย์	พื้นที่ทั่วไป	ถนนเลียบคลองทวีวัฒนา แขวงทวีวัฒนา เขตทวีวัฒนา	28-05-2022 21:00	-	18	คุณภาพดีมาก
64	สวนพระนคร	พื้นที่ทั่วไป	ถนนอ่อนนุช แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง	28-05-2022 21:00	-	12	คุณภาพดีมาก
65	สวนหนองจอก	พื้นที่ทั่วไป	ถนนเลียบวารี แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก	28-05-2022 21:00	-	15	คุณภาพดีมาก
66	สวนกีฬาธารณอินทรา	พื้นที่ทั่วไป	ถนนรามอินทรา ซอย 5 แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน	28-05-2022 21:00	-	16	คุณภาพดีมาก
67	สวนสาธารณะเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบพระชนมพรรษา	พื้นที่ทั่วไป	เชิงสะพานพระราม 9 เขตบางคอแหลม	28-05-2022 21:00	-	13	คุณภาพดีมาก
68	สวนสันติภาพ	พื้นที่ทั่วไป	ถนนราชวิถี แขวงถนนพญาไท เขตราชเทวี	28-05-2022 21:00	-	14	คุณภาพดีมาก
69	สวนหลวงพระราม 8	พื้นที่ทั่วไป	เชิงสะพานพระราม 8 ถนนอรุณอินทร์ แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด	28-05-2022 21:00	-	n/a	n/a
70	บริเวณสวนสาธารณะเขตพระนคร	พื้นที่ทั่วไป	รถตรวจวัดคุณภาพอากาศ	28-05-2022 21:00	31	21	คุณภาพดีมาก
71	บริเวณสวนสาธารณะบึงน้ำลาดพร้าว เขตลาดพร้าว	พื้นที่ทั่วไป	รถตรวจวัดคุณภาพอากาศ	28-05-2022 21:00	35	30	คุณภาพดี
72	บริเวณถนนพิษณุโลก	ริมถนน	เครื่องตรวจวัด PM2.5 แบบเคลื่อนที่	28-05-2022 21:00	-	21	คุณภาพดีมาก
73	เขตบางคอแหลม	พื้นที่ทั่วไป	ภายในสำนักงานเขตบางคอแหลม (เครื่องตรวจวัด PM2.5 แบบเคลื่อนที่)	28-05-2022 21:00	-	17	คุณภาพดีมาก
ค่ามาตรฐาน					120	50	

รูปที่ 2.2 รายงานสถานการณ์การวัดค่าฝุ่น
(ที่มา: Air4Thai (pcd.go.th))

จากรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 แสดงถึงตัวอย่างการรายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศจากกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียงกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 24 ชั่วโมง โดยแสดงตามลำดับตั้งแต่ 1 จนถึง 73 [2]

2.1.3 ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ

ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ดัชนีคุณภาพอากาศ 1 ค่า ใช้เป็นตัวแทนค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่

1. ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5) เป็นฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้ทั้งจากยานพาหนะ การเผาวัสดุการเกษตร ไฟป่า และกระบวนการทางอุตสาหกรรม สามารถเข้าไปถึงถุงลมในปอดได้ ส่งผลทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ และโรคปอดต่างๆ หากได้รับในปริมาณมากหรือเป็นเวลานานจะเกิดการสะสมในเนื้อเยื่อปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลมอักเสบ หรือมีอาการหอบหืด

2. ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM 10) เป็นฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาในที่โล่ง กระบวนการอุตสาหกรรม การบด การโม่ หรือการทำให้เป็นผงจากการก่อสร้าง ส่งผลผลกระทบต่อสุขภาพเนื่องจากเมื่อหายใจเข้าไปสามารถเข้าไปสะสมในระบบทางเดินหายใจ

3. ก๊าซโอโซน (O_3) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีหรือมีสีฟ้าอ่อน มีกลิ่นฉุน ละลายน้ำได้เล็กน้อย เกิดขึ้นได้ทั้งในระดับบรรยากาศชั้นที่สูงจากผิวโลก และระดับชั้นบรรยากาศผิวโลกที่ใกล้พื้นดิน ก๊าซโอโซนที่เป็นสารมลพิษทางอากาศคือก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศผิวโลก เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีผลกระทบต่อสุขภาพ โดยก่อให้เกิดการระคายเคืองตาและระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและเยื่อต่างๆ ความสามารถในการทำงานของปอดลดลง เหนื่อยเร็ว โดยเฉพาะในเด็ก คนชรา และคนที่เป็นโรคปอดเรื้อรัง

4. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี กลิ่น และรส เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ก๊าซนี้สามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้โดยจะไปรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงได้ดีกว่าออกซิเจนประมาณ 200-250 เท่า เมื่อหายใจเข้าไปทำให้ก๊าซชนิดนี้จะไปแย่งจับกับฮีโมโกลบินในเลือด เกิดเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (CoHb) ทำให้การลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่างๆ ของร่างกายลดน้อยลง ส่งผลให้ร่างกายเกิดอาการอ่อนเพลีย และหัวใจทำงานหนักขึ้น

5. ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีและกลิ่น ละลายน้ำได้เล็กน้อย มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ อุตสาหกรรมบางชนิด เป็นต้น ก๊าซนี้มีผลต่อระบบการมองเห็นและผู้ที่มีอาการหอบหืดหรือ โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ

6. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีหรืออาจมีสีเหลืองอ่อนๆ มีรสและกลิ่นที่ระดับความเข้มข้นสูง เกิดจากธรรมชาติและการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถัน (ซัลเฟอร์) เป็นส่วนประกอบ สามารถละลายน้ำได้ดี สามารถรวมตัวกับสารมลพิษอื่นแล้วก่อตัวเป็นอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กได้ ก๊าซนี้มีผลกระทบต่อสุขภาพ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อปอดตา ผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ หากได้รับเป็นเวลานานๆ จะทำให้เป็นโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรังได้ [3]

AQI	ความหมาย	สีที่ใช่	คำอธิบาย
0 - 25	คุณภาพอากาศดีมาก	ฟ้า	คุณภาพอากาศดีมาก เหมาะสำหรับกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยว
26 - 50	คุณภาพอากาศดี	เขียว	คุณภาพอากาศดี สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยวได้ตามปกติ
51 - 100	ปานกลาง	เหลือง	ประชาชนทั่วไป : สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ : หากมีอาการเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง
101 - 200	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	ส้ม	ประชาชนทั่วไป : ควรเฝ้าระวังสุขภาพ ถ้ามีอาการเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ : ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น ถ้ามีอาการทางสุขภาพ เช่น ไอ หายใจลำบาก ตาอักเสบ แน่นหน้าอก ปวดศีรษะ หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย ควรปรึกษาแพทย์
201 ขึ้นไป	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	แดง	ทุกคนควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูงหรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น หากมีอาการทางสุขภาพควรปรึกษาแพทย์

รูปที่ 2.3 แสดงข้อมูลเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย
(ที่มา: Air4Thai (pcd.go.th))

จากรูปที่ 2.3 แสดงถึงดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ ตั้งแต่ 0 ถึง 201 ขึ้นไป ซึ่งแต่ละระดับจะใช้สีแทนสัญลักษณ์เปรียบเทียบกับระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยดัชนีคุณภาพอากาศ 100 จะมีค่าเทียบเท่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าสูงเกินกว่า 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีค่าเกินมาตรฐานและคุณภาพในวันนั้นจะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

AQI	PM _{2.5} (มคก./ลบ.ม.)	PM ₁₀ (มคก./ลบ.ม.)	O ₃ (ppb)	CO (ppm)	NO ₂ (ppb)	SO ₂ (ppb)
	เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง		เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง		เฉลี่ย 1 ชั่วโมง	
0 - 25	0 - 25	0 - 50	0 - 35	0 - 4.4	0 - 60	0 - 100
26 - 50	26 - 37	51 - 80	36 - 50	4.5 - 6.4	61 - 106	101 - 200
51 - 100	38 - 50	81 - 120	51 - 70	6.5 - 9.0	107 - 170	201 - 300
101 - 200	51 - 90	121 - 180	71 - 120	9.1 - 30.0	171 - 340	301 - 400
มากกว่า 200	91 ขึ้นไป	181 ขึ้นไป	121 ขึ้นไป	30.1 ขึ้นไป	341 ขึ้นไป	401 ขึ้นไป

รูปที่ 2.4 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (ที่มา: Air4Thai (pcd.go.th))

จากรูปที่ 2.4 แสดงถึงค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ ซึ่งสารมลพิษทางอากาศแต่ละประเภทสามารถคำนวณจากค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยมีระดับของค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ระดับต่างๆ เป็นสมการเส้นตรง ดังสมการที่ 2.1

กำหนดให้

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

เมื่อ I คือ ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศ

X คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากการตรวจวัด

X_j, X_i คือ ค่าต่ำสุด, สูงสุด ของช่วงความเข้มข้นสารมลพิษที่มีค่า X

I_j, I_i คือ ค่าต่ำสุด, สูงสุด ของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ตรงกับช่วงความเข้มข้น X จากค่าดัชนีย่อยที่คำนวณได้ สารมลพิษทางอากาศประเภทใดมีค่าดัชนีสูงสุด จะใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ณ ช่วงเวลานั้น

ช่วงเวลาเฉลี่ย และหน่วยสารมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ

PM 2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ มคก./ลบ.ม. หรือ $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PM 10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ มคก./ลบ.ม. หรือ $\mu\text{g}/\text{m}^3$

O₃ เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ส่วนในพันล้านส่วน หรือ ppb หรือ 1/1,000,000,000

CO เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ส่วนในล้านส่วน หรือ ppm หรือ 1/1,000,000

NO₂ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง : ส่วนในพันล้านส่วน หรือ ppb หรือ 1/1,000,000,000

SO₂ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง : ส่วนในพันล้านส่วน หรือ ppb หรือ 1/1,000,000,000

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการกรองอากาศ

โดยทั่วไปอนุภาคของฝุ่นและแก๊สในบรรยากาศจะมีขนาดที่เล็กกว่า 0.3 ไมครอน ซึ่งจะลอยอยู่ในอากาศ มักพบในปริมาณมากถ้าเราใช้เครื่องวัดฝุ่น (Particle Counter) มาวัดจำนวนอนุภาคปนเปื้อนในบรรยากาศทั่วไป ส่วนใหญ่พบว่าอนุภาคขนาดเล็กช่วงเล็กกว่า 0.3 ไมครอน ที่สามารถแขวนลอยในอากาศ ตามกระแสลมจะมีจำนวนมากแต่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากจะตกลงสู่พื้น

2.2.1 หลักการกรองอากาศ

แผ่นกรองอากาศที่ดีต้องมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งานประเภทต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการกักเก็บฝุ่นที่สูง เพื่ออายุการใช้งานที่นานขึ้น และต้องมีความดันตกคร่อมต่ำ ซึ่งโดยทางทฤษฎี การที่จะทำแผ่นกรองอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงนั้น ส่วนใหญ่จะมีความดันตกคร่อมที่สูงตามไปด้วย ซึ่งทางผู้จัดทำได้นำเอาหลักการกรองแบบทางกลมาปรับใช้โดยการใช้เส้นใยเนื้อกรอง Media ที่มีขนาดต่างๆกัน มาถักสานกันในลักษณะต่างๆ ให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยต่างๆกัน เพื่อให้กระแสลมที่มากับอากาศมาพร้อมกับสิ่งปนเปื้อนถูกเนื้อกรองดักจับ แผ่นกรองแบบทางกลนี้ เริ่มใช้งานแผ่นกรองยังสะอาด มักมีประสิทธิภาพต่ำ แต่การกรองแบบทางเคมีนั้น จะใช้สาร Activated Carbon, Alumina เคลือบด้วย โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ ฯลฯ ทั้งนี้การเลือกชนิดของสารเคมีที่เคลือบนั้น ขึ้นกับชนิดของ แก๊สปนเปื้อนที่เราต้องการจะดักจับ ประสิทธิภาพทั้ง Removal Capacity และ Efficiency ตาม มาตรฐาน ASTM standard ซึ่งการกรองประเภทนี้ จะใช้ กลไกการดูดซับ (Adsorption) การดูดซึม (Absorption) และการทำปฏิกิริยา (Chemisorption) ในการดักจับแก๊สปนเปื้อน ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากๆ ส่วนใหญ่เล็กกว่า 0.01 ไมครอน ประสิทธิภาพของการกรองขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัยเช่น ความเร็วลมหรือเวลาที่ดักจับ (Resident time) อุณหภูมิ ความชื้น ความลึกของ Bed ที่ออกแบบ ความเข้มข้นของ แก๊สปนเปื้อน การกรองทางเคมีนี้มักพบเห็นโดยทั่วไป เช่นการใช้ถ่านเพื่อดูดซับกลิ่นในตู้เย็น แต่มีแก๊สปนเปื้อน บางตัวที่ไม่สามารถกรองได้ดี เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แม้จะมีผู้ผลิตบางรายใช้ Activated Alumina based เคลือบด้วยคอปเปอร์คลอไรด์พัลลาเดียมคลอไรด์ และ นิเกิลออกไซด์ แต่ก็ทำให้เปลี่ยนรูปจาก CO เป็น CO₂ ซึ่งถ้าจะลดปริมาณของ CO และ CO₂ เทคโนโลยีการกรอง ทางเคมี ผลการทดสอบยังไม่ได้ถูกนำมาเปิดเผยและยังไม่ได้มีการใช้อย่างแพร่หลายในตอนนี้ จึงแนะนำให้ใช้การระบายอากาศจะดีกว่า นอกจากนี้ยังมี การกรอง แบบทางกลผสมกับทางเคมี โดยการเอาเนื้อกรองแบบใย

สังเคราะห์หรือใยแก้วมาเคลือบด้วยสาร Anti-Microbial ที่มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรียและ ไวรัสบางชนิด ซึ่งจะต้องผ่านการทดสอบและรับรองว่าจาก สถาบัน เช่น Environmental Protection Agency (EPA) ว่า ต้องไม่มีสารพิษ ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ทั้งนี้แผ่นกรองอากาศชนิดต่างๆที่ออกแบบมาในตลาด ทุกวันนี้ มีอยู่หลายประเภท ถ้าจำแนกตามลักษณะของการทำงาน ถ้าเป็น กรองอากาศชั้นต้นหรือกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ จะมีแบบชนิดล้างน้ำได้ เป็นใยสังเคราะห์ (Washable-Synthetic Fiber) และแบบใช้แล้วทิ้ง (Disposable-Synthetic & Glass Fiber) ซึ่งทั้งสองแบบมีต้นทุนไม่ต่างกันมากในปัจจุบัน [4]

2.2.2 หน้าที่ของแผ่นกรองอากาศ



รูปที่ 2.5 แผ่นกรองอากาศดักกรองฝุ่นละออง
(ที่มา: <https://www.chiangmaiaircare.com>)

ในการกรองฝุ่น PM 1 PM 2.5 PM 10 ให้มีประสิทธิภาพนั้น จะนิยมใช้แผ่นกรองอากาศไม่น้อยกว่า 3 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นจะมีหน้าที่ที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. แผ่นกรองอากาศชั้นแรก (Pre Filter) เป็นแผ่นกรองที่อยู่ชั้นนอก (แผ่นกรองหยาบ) ซึ่งจะอยู่ชั้นนอกสุด มีลักษณะเป็นตาข่ายปรุ และถี่ หรือบางยี่ห้ออาจเป็นแผ่นฟองน้ำหรือมีทั้งตาข่ายและแผ่นฟองน้ำ ซึ่งแผ่นกรองชนิดนี้มีตาข่ายที่ค่อนข้างใหญ่กว่าแผ่นกรองชนิดอื่น แผ่นกรองชนิดนี้ผู้ใช้สามารถนำออกมาทำความสะอาดด้วยการล้างหรือซักเองได้ ดังนั้น หน้าที่ในการกรองฝุ่นของแผ่นกรองชนิดนี้ สามารถกรองฝุ่นขนาดใหญ่ไม่เกิน 10 ไมครอน ไม่ให้เข้าไปด้านใน ช่วยให้การทำงานของแผ่นกรองอากาศในชั้นถัดที่ 2-3 ไม่ทำงานหนักเกินไป
2. แผ่นกรองชั้นสอง (HEPA Filter) เป็นแผ่นกรองที่อยู่ถัดมาจากชั้นแรก (ชั้นนอกสุด) โดยแผ่นกรองนี้เป็นชั้นที่สามารถกรองฝุ่น PM 2.5 ไปได้ เพราะเป็นชั้นที่ละเอียด ซึ่งผลิตจากไฟเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลาสที่ละเอียดมากกว่าแผ่นกรองชั้นแรก ซึ่งมีหน้าที่กรองฝุ่นต่างๆ โดยจะเริ่มกรองฝุ่นได้ตั้งแต่ 0.3 ไมครอนเป็นต้นไป รวมทั้งฝุ่นละอองหรือฝุ่นผงชนิดอื่น เช่น ละอองเกสรดอกไม้ ไรฝุ่น เชื้อโรค ดังนั้น เมื่อผ่านการกรองชั้นนี้แล้ว จะมีเพียงอากาศบริสุทธิ์เท่านั้นที่จะสามารถผ่านชั้นกรองนี้ไปได้ วิธีที่จะช่วยถนอมให้แผ่นกรองชั้นนี้ใช้ได้ยาวนานก็เพียงแค่ ไม่ควรทำความสะอาดด้วยน้ำ ผงซักฟอก หรือน้ำยาทำความสะอาดต่างๆเท่านั้น เพราะจะทำให้แผ่นกรองชนิดนี้เสื่อมหรือเสียเร็วขึ้น

3. แผ่นกรองกลิ่นไม่พึงประสงค์ (Carbon Filter) แผ่นกรองชนิดนี้ผลิตโดยใช้ส่วนผสมของคาร์บอนเป็นหลัก มีหน้าที่ดูดซับกลิ่นเหม็นหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ต่างๆ เช่น กลิ่นอาหาร กลิ่นอับ กลิ่นบูหรี กลิ่นน้ำยాయ้อมผม และกลิ่นก๊าซต่างๆ โดยหลักๆ แล้วหากเป็นเครื่องฟอกอากาศมักจะมีเพียงแผ่นกรอง 3-5 ชั้นเท่านั้น แต่ก็พบว่ายังมีเครื่องฟอกอากาศรุ่นที่ราคาสูง ซึ่งตัวเครื่องมีขนาดที่ไม่ใหญ่มาก และมักผลิตโดยใช้แผ่นกรองแบบรวมคุณสมบัติของแผ่นกรองทั้ง 3 ชนิดไว้ทั้งหมด แผ่นกรองชนิดนี้มักทำความสะอาดไม่ได้เลย เมื่อครบอายุการใช้งานก็จะต้องทำการเปลี่ยนใหม่เพียงอย่างเดียว ซึ่งเครื่องฟอกอากาศชนิดนี้จะเหมาะกับการใช้ในรถยนต์หรือในห้องที่มีพื้นที่น้อยๆ สำหรับห้องที่มีขนาดใหญ่ควรเลือกเครื่องฟอกอากาศที่มีขนาดใหญ่นี้อาจจะเหมาะสมกว่า นอกจากความสำคัญของแผ่นกรองที่จะสามารถกรองฝุ่น PM2.5 ได้แล้ว เครื่องฟอกอากาศก็ควรจะต้องประหยัดไฟด้วย โดยควรเลือกใช้ประเภทที่มีผลากประหยัดไฟเบอร์ 5 เท่านั้น เพียงเท่านี้ก็สามารถเลือกซื้อมาใช้งานได้ตรงกับความต้องการ และช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากขึ้นแล้ว [5]

2.3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ESP32

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ESP32 (Micro Controller ESP32) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ WiFi, Bluetooth 4.2 BLE ในตัว ESP32 รองรับการเชื่อมต่อ WiFi และ BLE หรือ Bluetooth ได้โดยไม่ต้องใช้โมดูลเพิ่มเติม บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 มีการทำงานที่แบ่งเป็น 2 Core และ Pin I/O เลือกฟังก์ชันการทำงานได้ใน Pin เดียวกัน เช่น การแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลหรือจากสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก และการเชื่อมต่อ SD Card Camera PWD RTC และ Touch เป็นต้น โครงสร้างดังรูปที่ 2.6 [6]

2.3.1. โครงสร้างของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 มีคุณสมบัติโดยละเอียด ดังนี้

1. ซีพียูใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง
2. มีแรมในตัว 512 กิโลไบต์
3. รองรับการเชื่อมต่อรวมภายนอกสูงสุด 16 เมกะไบต์

4. มีไวไฟ(WiFi) มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมดเสตชันซัพท์(StationsoftAP) และไวไฟไดเรคท์(Wi-Fi direct)

5. มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.0 BLE

6. ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6 โวลต์ ถึง 3 โวลต์

7. ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 125 องศาเซลเซียส

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ยังมีเซ็นเซอร์ต่าง ๆ มาในตัวด้วย ดังนี้

1. วงจรกรองสัญญาณรบกวนในวงจรขยายสัญญาณ

2. เซ็นเซอร์แม่เหล็ก

3. เซ็นเซอร์สัมผัส (Capacitive touch) รองรับ 10 ช่อง

4. รองรับการเชื่อมต่อคลิสตอล 32.768 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับใช้กับส่วนวงจรนับเวลา โดยเฉพาะการใช้งานต่างๆ ของ ESP32 รองรับการเชื่อมต่อบัสต่างๆ ดังนี้

1. มี GPIO จำนวน 32 ช่อง

2. รองรับ UART จำนวน 3 ช่อง

3. รองรับ SPI จำนวน 3 ช่อง

4. รองรับ I²C จำนวน 2 ช่อง

5. รองรับ ADC จำนวน 12 ช่อง

6. รองรับ DAC จำนวน 2 ช่อง

7. รองรับ I²S จำนวน 2 ช่อง

8. รองรับ PWM (Pulse Width Modulation) และไทม์เมอร์ (Timer) ทุกช่อง

9. รองรับการเชื่อมต่อกับ SD-Card

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 สามารถรองรับฟังก์ชันความปลอดภัยต่างๆ ดังนี้

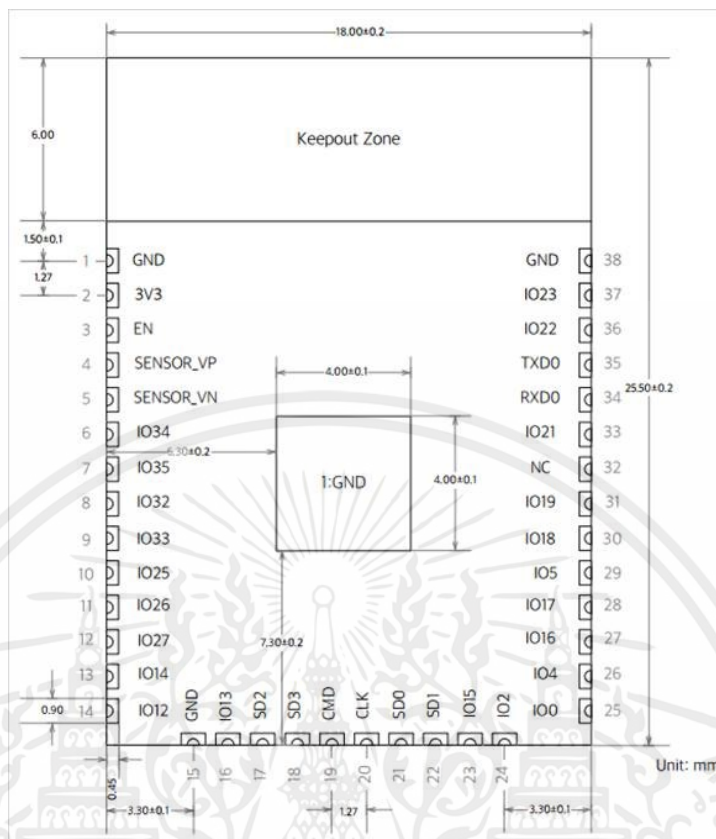
1. รองรับการเข้ารหัสไวไฟแบบ WEP และ WPA/WPA2 PSK/Enterprise

2. มีวงจรเข้ารหัส AES/SHA2/Elliptical Curve Cryptography/RSA-4096 ในตัว ด้านประสิทธิภาพการใช้งาน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มีดังนี้

1. รับ-ส่ง ข้อมูลได้ความเร็วสูงสุดที่ 150 เมกะบิต เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT40 ได้ความเร็วสูงสุด 72 เมกะบิต เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT20 ได้ความเร็วสูงสุดที่ 54 เมกะบิต เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11g และได้ความเร็วสูงสุดที่ 11 เมกะบิต เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11b

2. เมื่อใช้การเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล UDP จะสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ที่ 135 เมกะบิต

3. โหมด Sleep ใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 2.5 ไมโครแอมป์[21]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32
(ที่มา: <https://www.artronshop.co.th>)

2.2.2 รุ่นของไมโครคอนโทรลเลอร์

การแบ่งชนิดของรุ่นโมดูล ESP32 จะมีทั้งรุ่นที่ออกแบบสำเร็จจนผลิตออกขาย และรุ่นที่ออกแบบผิดพลาด จึงยกมาเฉพาะโมดูลที่สามารถทำงานได้จริงและออกวางขายดังรูปที่ 2.7[18]

1. ESP-WROOM-32
1. ESP32S
2. Into Robot - W32/W33
3. Spark Fun ESP32 Thing
4. Node32S Plus



รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อ INPUT และ OUTPUT ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง

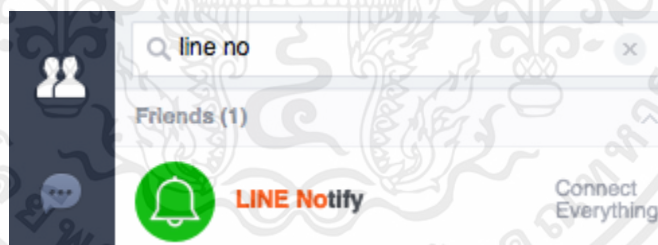
จากรูปที่ 2.8 เป็นภาพการเชื่อมต่อ INPUT/OUTPUT ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตที่รับและส่งข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ต่างๆ ที่อยู่บนพื้นที่ปฏิบัติงาน เช่น เซ็นเซอร์ตรวจจับ (PIR Sensor) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิบุคคล (Temperature Sensor) หรือรับข้อมูลจากแบบสอบถามข้อมูล เป็นต้น เพื่อส่งข้อมูลไปยังส่วนควบคุมโดยผ่านโปรโตคอลตามความสามารถและลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์รับ-ส่งอินพุตเอาต์พุตแบบนั้นๆ

2.5 อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งบนแพลตฟอร์มอาดูยโน

อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things : IoT) บนแพลตฟอร์มอาดูยโน (Arduino) ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node MCU ESP32) เป็นโปรโตคอล (Protocal) ชนิดหนึ่งเพื่อสื่อสารข้อมูล อินพุต-เอาต์พุต จึงสามารถเชื่อมต่อกับตัวควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้ เช่น ESP8266,ESP32 และอื่นๆ ซึ่งระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง นั้น ถูกคิดค้นโดย Kevin Ashton ในปี ค.ศ.1999 โดยพื้นฐานของอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง ได้ถูกพัฒนาต่อยอดจากเทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification) ซึ่งเป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิด ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย ต่อมาในยุคหลังปี ค.ศ. 2000 เทคโนโลยีต่างๆ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เริ่มมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ออกมาเป็นจำนวนมาก และยังมีการใช้คำว่า Smart เกิดขึ้น เช่น Smart home, Smart device, Smart network เป็นต้น สิ่งเหล่านี้สามารถเชื่อมต่อกับโลกอินเทอร์เน็ตได้ ทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยอาศัยตัวเซ็นเซอร์ในการสื่อสารถึงกัน [8]

2.5.1. การแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์ (Line Notify)

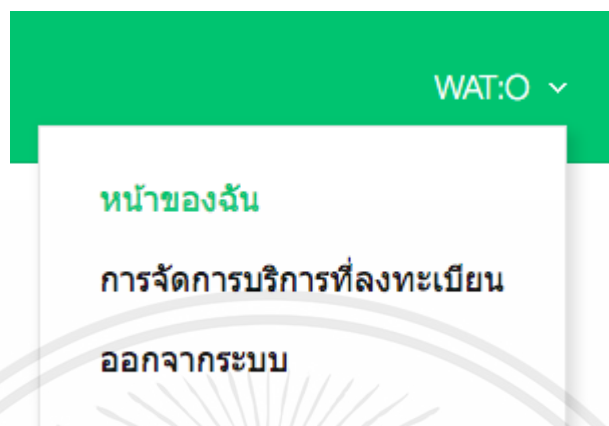
การแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์ (Line Notify) เป็นบริการที่ทางไลน์ (Line) ได้เตรียมไว้ให้ในรูปแบบของ API ให้กับเหล่านักพัฒนานั้นสามารถนำไปใช้ต่อยอด พัฒนาโปรเจกต์ ที่มีความต้องการส่งข้อความในการแจ้งเตือนเข้าไปยัง กลุ่ม หรือบัญชีส่วนตัวของเราได้ [18]



รูปที่ 2.9 การแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์ (Line Notify)

1. เริ่มจากการเพิ่มเป็นเพื่อนกับทาง Line Notify ด้วยการค้นหาเพื่อนชื่อ Line Notify และทำการแอดเป็นเพื่อนดังรูปที่ 2.9 เพื่อเริ่มทำการรับการแจ้งเตือนจาก Line Notify

2. หลังจากนั้นไปที่ <https://notify-bot.line.me/th/> และทำการเข้าสู่ระบบ

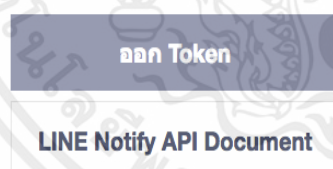


รูปที่ 2.10 การเข้าสู่ระบบ Notify bot

3. คลิกเลือกเมนูด้านขวาบนตรงชื่อ account ของเราและเลือกที่หน้าของฉันเพื่อดำเนินการต่อในหน้าถัดไป ดังรูปที่ 2.10

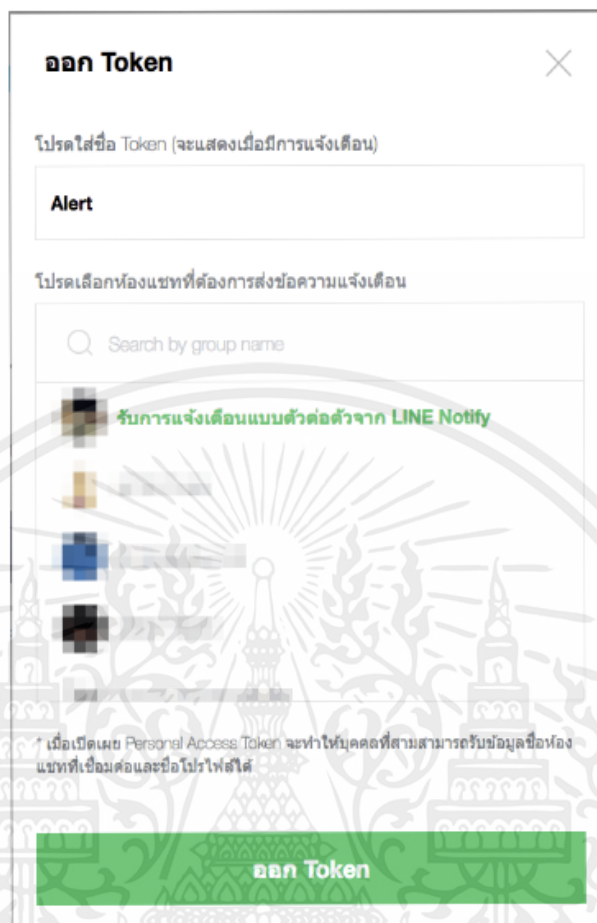
ออก Access Token (สำหรับผู้พัฒนา)

เมื่อใช้ Access Token แบบบุคคล จะสามารถตั้งค่าการแจ้งเตือนได้โดยไม่ต้องลงทะเบียนกับเว็บเซอวิส



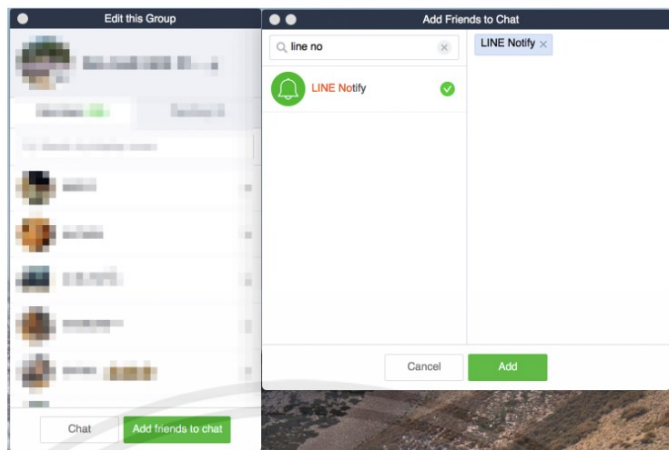
รูปที่ 2.11 การออก Access Token

4. หลังจากทีคลิกเลือกที่หน้าของฉันแล้ว ดังรูปที่ 2.11 สังเกตว่าจะมีปุ่มให้เลือกที่คำว่า “ออก Token” เพื่อรับรหัส Token เพื่อใช้ Line Notify ในการเข้าสู่การแจ้งเตือน



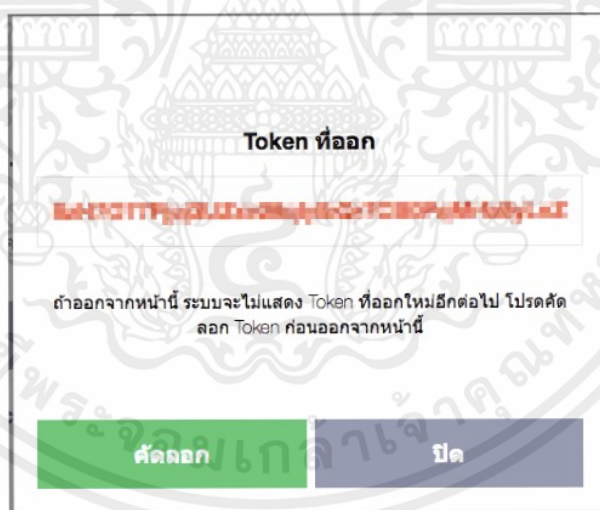
รูปที่ 2.12 การเลือก Crient ที่ต้องการส่งการแจ้งเตือน

5. ในการออก Token จะทำการ Generate ข้อความออกมา เป็นรหัส Token สำหรับการเข้าถึงตัวอย่างเช่น 8zH7u77FjprUZxv28qlybQr7CB0PqwMrfx8yLnZjjl ให้เราคัดลอกข้อความนี้เก็บเอาไว้ การสร้างการแจ้งเตือนเราสามารถเลือกได้ว่าจะส่งข้อมูลให้กับตัวเราเอง หรือเข้าไปยังกลุ่ม หากเลือกส่งให้ตัวเองก็เพียงแค่คลิกที่รูปของเราแล้วกด ออก Token แต่หากต้องการส่งเขากลุ่ม สิ่งที่ต้องทำก่อนหรือ Add Line Notify เข้าไปยังกลุ่มที่เราต้องการ ดังรูปที่ 2.12



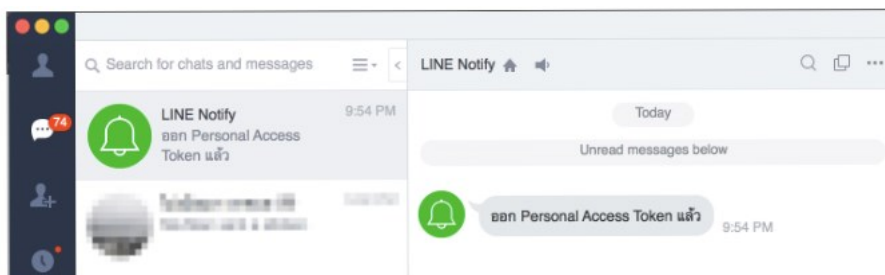
รูปที่ 2.13 การเพิ่มการแจ้งเตือนไลน์เข้าไปยังกลุ่ม

6. หลังจากนั้นในหน้าออก Token เพียงแค่เลือกกลุ่มที่เรา Add Line Notify เข้าไปแล้ว กดออก Token เท่านั้นดัง ดังภาพด้านบน รูปที่ 2.13 เพื่อรับการแจ้งเตือนในกลุ่มที่เลือกไว้



รูปที่ 2.14 รูปแบบของ Token ที่ออกมา

7. หลังจากกดออก Token จะแสดงข้อความให้เราทำการคัดลอกเก็บไว้ Line Notify ดัง รูปที่ 2.14 และทำการแจ้งเตือนเรามาว่าเราได้ออก Token แล้ว ดังในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ภาพการแจ้งเตือนจาก Line Notify

2.6 เซ็นเซอร์ตรวจจับฝุ่นละออง (Laser Dust Sensor PMS3003)

เซ็นเซอร์ตรวจจับฝุ่นละออง (Laser Dust Sensor PMS5003) เป็นเซ็นเซอร์ใช้สำหรับตรวจจับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กให้ผลการวัดเป็นข้อมูลแบบดิจิทัล ซึ่งสามารถใช้ตรวจจับจำนวนอนุภาคแขวนลอยในอากาศ เช่น ความเข้มข้นของอนุภาคและให้ผลการวัดออกมาในรูปแบบของข้อมูลแบบดิจิทัล เซ็นเซอร์นี้สามารถนำไปประยุกต์ ติดตั้งใช้งานร่วมกับเครื่องมือต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในอากาศหรืออุปกรณ์ปรับปรุงสภาพแวดล้อมอื่นๆ เพื่อให้ได้ค่าข้อมูลความเข้มข้นที่ถูกต้องทันเวลาในสภาวะแวดล้อมจริง เซ็นเซอร์ PMS5003 สามารถตรวจวัดอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กทั้งระดับ PM1, PM2.5 และ PM10 ได้ในชุดเดียวกัน สามารถปรับโหมดการวัดให้สัมพันธ์สอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการวัดที่เที่ยงตรงแม่นยำมากขึ้นโดยอัตโนมัติ กล่าวคือถ้าผลการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมมีค่าสูงโหมดการวัดจะถูกเปลี่ยนเป็นแบบโหมดเร็ว (Fast Mode) เพื่อให้การตรวจวัดเป็นไปอย่างรวดเร็วทันการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าสภาวะแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยโหมดการวัดจะเปลี่ยนเป็นแบบโหมดเสถียร (Stable Mode) เพื่อให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำเที่ยงตรง ดังรูปที่ 2.16 [9]



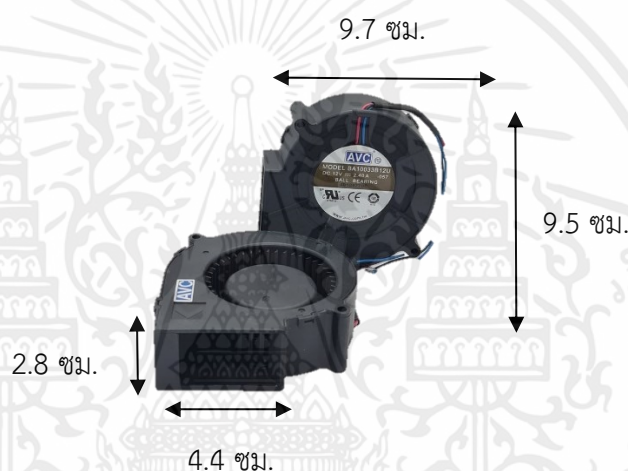
รูปที่ 2.16 เซ็นเซอร์ตรวจจับฝุ่นละออง

(ที่มา: <https://www.cybertice.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืน

พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืนขนาด 3.5 นิ้ว ใช้ในการดูดอากาศ ใช้ไฟกระแสตรง 12 โวลต์ และ 2.4 แอมป์ด้วยขนาดที่เล็กกะทัดรัดจึงเหมาะสำหรับการนำมาตัดแปรงเป็นพัดลมดูดอากาศเข้า และความหนาที่ไม่ถึง 500 มิลลิเมตร หรือ 5 เซนติเมตรของตัวพัดลม จึงง่ายต่อการนำมาใส่ภายในตัวประตู อีกทั้งยังเป็นพัดลมที่ใช้ไฟกระแสตรง 12 โวลต์ จึงง่ายต่อการจ่ายไฟเลี้ยง แต่ด้วยขนาดที่เล็กกับพื้นที่ภายในประตูที่ต้องใช้แรงดันอากาศที่ค่อนข้างสูงจึงจำเป็นต้องใช้พัดลมชนิดนี้สองตัว เพื่อใช้ประโยชน์จากพื้นที่ภายในประตูที่มีขนาดจำกัดการใส่พัดลมสองตัวเพื่อเพิ่มแรงดันลมจึงเป็นสิ่งที่เกิดประโยชน์ที่สุดสำหรับตัวชิ้นงาน [10]



รูปที่ 2.17 พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืน
(ที่มา: <https://shopee.co.th>)

2.8 พัดลมระบายอากาศ (Cooling Fan)

พัดลมระบายอากาศมีความหนา 10 นิ้ว แรงดัน 12 โวลต์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางโครงพัดลม 10.5 นิ้ว ความหนา (วัดถึงส่วนล่างพัดลม) 7 เซนติเมตร กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ นำมาใช้ในการเป่าระบายอากาศในตัวเครื่อง ดังรูปที่ 2.18 [11]



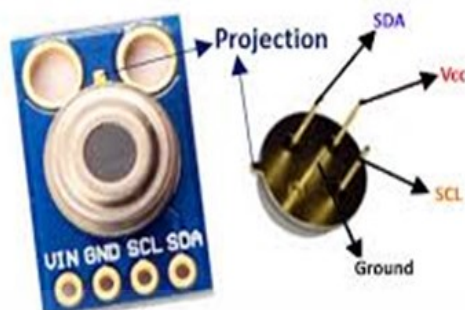
รูปที่ 2.18 พัดลมระบายอากาศ (Cooling Fan)

(ที่มา: <https://shopee.co.th>)

ซึ่งการเลือกใช้พัดลมชนิดนี้ เพราะขนาดความหนาของตัวพัดลมมีความหนาไม่เกิน 500 มิลลิเมตร หรือ 5 เซนติเมตร จึงเหมาะสำหรับการนำมาใส่ภายในตัวประตูกรองอากาศที่มีพื้นที่ภายในไม่เกิน 5 เซนติเมตรขึ้นไป อีกทั้งพัดลมมีแรงดูดอากาศที่มากพอสำหรับการนำมาใช้ตัดแปลงเป็นพัดลมดูดอากาศออก ด้วยการดีไซน์ของตัวประตูที่สามารถยึดติดและตัดแปลงได้ง่าย จึงสามารถนำมาใช้และออกแบบตัวกรองสำหรับใส่ตัวพัดลมได้ง่าย แต่ด้วยขนาดที่ใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้โครงรับน้ำหนักที่มีความแข็งแรงและรับน้ำหนักได้มาก เพื่อให้พอสำหรับการยึดพัดลม

2.9 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส

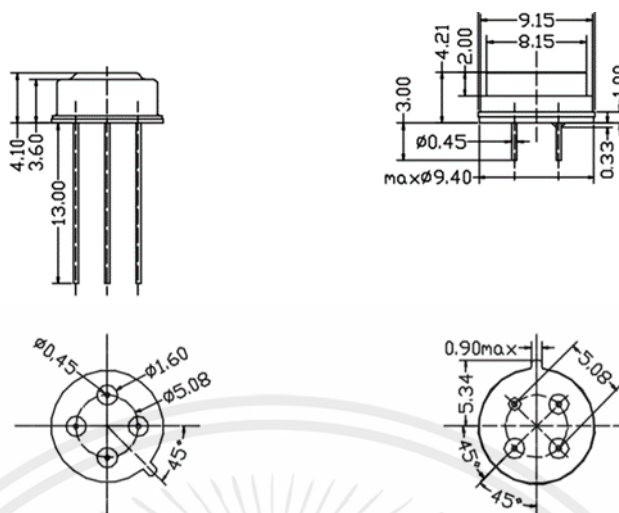
เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส รุ่น GY-906-BAA MLX90614 เป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้การสัมผัส โดยใช้หลักการ คือ แปลงแสงอินฟราเรดที่ส่งออกจากตัววัตถุซึ่งจะมีสีแตกต่างกัน ให้เป็นค่าอุณหภูมิโมดูลวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดไร้การสัมผัส ใช้ชิพ MLX90614ESF สำหรับอายุโน้ มีไฟเลี้ยง 3 โวลต์ ถึง 5 โวลต์ เชื่อมต่อแบบ I2C ใช้สายเพียง 2 เส้นในการควบคุม สามารถวัดอุณหภูมิที่เป้าหมายแบบไร้การสัมผัสได้ตั้งแต่ -70 ถึง 380 องศาเซลเซียส และยังสามารถวัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมได้ตั้งแต่ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส ความละเอียดของอุณหภูมิที่วัดได้ 0.02 องศาเซลเซียส [12]



รูปที่ 2.19 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส
(ที่มา: <https://www.lazada.co.th>)

2.9.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์

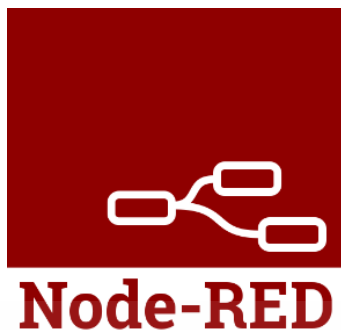
1. มีขนาดเล็กและมีต้นทุนต่ำ
2. ติดตั้งบนแผ่นอะแดปเตอร์ด้วยพินสองชนิด
3. มีตัวต้านทาน 10K ขึ้นไป สำหรับเชื่อมต่อ I2C อินเทอร์เน็ต
4. ง่ายต่อการประกอบ
5. มีช่วงอุณหภูมิ :-40...+125 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิเซ็นเซอร์และในช่วง -70...+380 องศาเซลเซียสสำหรับอุณหภูมิวัตถุ
6. ความแม่นยำสูงถึง 0.5 องศาเซลเซียสมากกว่าอุณหภูมิระยะ
7. ความละเอียดในการวัด 0.02 องศาเซลเซียส
8. สามารถวัดได้ทั้งโซนเดี่ยวและสองโซน คืออุณหภูมิห้อง, อุณหภูมิไร้สัมผัส
9. อินเทอร์เน็ตดิจิทัลรองรับ SMBus
10. เอาท์พุต PWM (Pulse Width Modulation) ปรับแต่งได้เพื่อความต่อเนื่องของสัญญาณในการอ่าน
11. ง่ายต่อการแปลงไฟที่ 8 ถึง 16 โวลต์
12. โหมดสลีปเพื่อลดการใช้พลังงาน
13. เกรดอัตโนมัติฟิในยานยนต์ (Automotive)
14. ง่ายต่อการเลือกบรรจุภัณฑ์เพื่อนำมาปรับใช้



รูปที่ 2.20 ภาพสเก็ทซ์เซ็นเซอร์ไร้สัมผัส
(ที่มา: <https://www.analogread.com>)

2.10 โนดเรด

โนดเรด (Node-RED) เป็นเครื่องมือจัดการและจัดการเหตุการณ์ขึ้นอยู่กับ Node.js แอปพลิเคชัน โนดเรด มักทำงานเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่ผู้ใช้สามารถปรับแต่งและจัดการการเชื่อมต่อระหว่างฮาร์ดแวร์ต่างๆและสร้างขั้นตอนการทำงานจากเบราว์เซอร์ของคอมพิวเตอร์เครื่องใดก็ได้ ไม่มีซอฟต์แวร์ที่มีราคาแพงหรือทำให้หน่วยความจำเป็ยง แต่เป็นเรื่องง่ายและทำงานในเว็บเบราว์เซอร์ แอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์นี้ยังมีความสามารถในการทำงานบนอุปกรณ์เช่น ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) ฟังก์ชันทั้งหมดของ โนดเรด คือ ไม่จำเป็นต้องป้อนรหัสทั้งหมดอีกต่อไป และทำงานกับโค้ดที่มีอยู่แล้ว อินเทอร์เฟซผู้ใช้ของ โนดเรด ดูเรียบง่ายและเปิดเผย แทบไม่มีปัญหาในการพัฒนาโครงการอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง ด้วยกระแสโนดเรด ใน GitHub แสดงใน JSON (JavaScript Object Notation) และสามารถส่งออกไปยังคลิปปอร์ดได้ หรือสามารถนำเข้าสู่โนดเรดหรือแชร์ทางออนไลน์ [13]

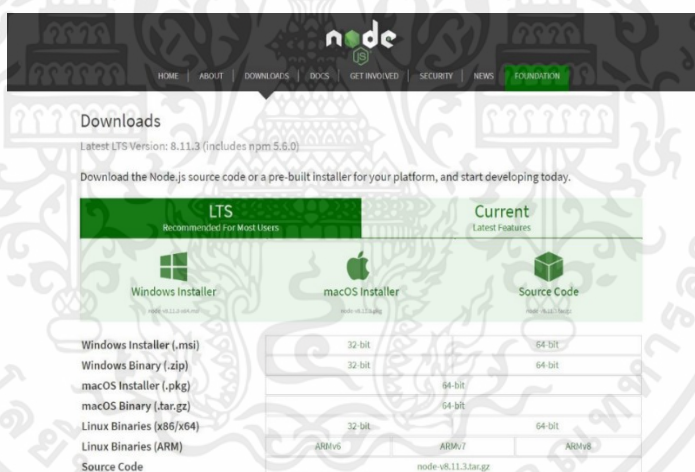


รูปที่ 2.21 โนดเรด

(ที่มา: <https://play.google.com>)

2.10.1 วิธีการติดตั้งโนดเรด

1. ติดตั้ง NodeJS <https://nodejs.org/en/download> ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 หน้าดาวน์โหลด

2. เปิดหน้า CMD แล้วพิมพ์ชุดคำสั่ง ดังรูปที่ 2.23

สำหรับ MAC/Linux `sudo npm install -g --unsafe-perm node-red`

สำหรับ Windows `npm install -g --unsafe-perm node-red`

```

C:\Users\peerat_1159>npm install -g --unsafe-perm node-red
npm WARN deprecated bcrypt@1.0.3: bcrypt < v2.0.0 is susceptible to bcrypt wrap-around bug. Upgrade to bcrypt >= v2.0.0 for improved support for newer bcrypt hashes
npm WARN deprecated i18next-client@1.10.3: you can use npm install i18next from version 2.0.0
npm WARN deprecated nodemailer@1.11.0: All versions below 4.0.1 of Nodemailer are deprecated. See https://nodemailer.com/status/
npm WARN deprecated mailparser@0.6.2: This project is unmaintained
npm WARN deprecated mime@1.0.3.1: This project is unmaintained
npm WARN deprecated mailcomposer@2.1.0: This project is unmaintained
npm WARN deprecated buildmail@2.0.0: This project is unmaintained
C:\Users\peerat_1159\AppData\Roaming\npm\node-red -> C:\Users\peerat_1159\AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\red.js
C:\Users\peerat_1159\AppData\Roaming\npm\node-red -> C:\Users\peerat_1159\AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\bin\node-red-pi

> bcrypt@1.0.3 install C:\Users\peerat_1159\AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\node_modules\bcrypt
> node-pre-gyp install --fallback-to-build

[bcrypt] Success: "C:\Users\peerat_1159\AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\node_modules\bcrypt\lib\binding\bcrypt_lib.node" is installed via remote
+ node-red@0.18.7
added 335 packages in 73.565s

C:\Users\peerat_1159>

```

รูปที่ 2.23 หน้าตัวอย่างการพิมพ์ชุดคำสั่ง

3. รันคำสั่ง โนดเรด ในหน้า CMD ดังรูปที่ 2.24

```

C:\Users\peerat_1159>node-red
30 Jun 01:28:23 - [info]
Welcome to Node-RED

-----
30 Jun 01:28:23 - [info] Node-RED version: v0.18.7
30 Jun 01:28:23 - [info] Node.js version: v8.11.3
30 Jun 01:28:23 - [info] Windows NT 10.0.17134 x64 LE
30 Jun 01:28:23 - [info] Loading palette nodes
-----
30 Jun 01:28:24 - [warn]
30 Jun 01:28:24 - [warn] [node-red/rpi-gpio] Info : Ignoring Raspberry Pi specific node
30 Jun 01:28:24 - [warn] [node-red/tail] Not currently supported on Windows.
-----
30 Jun 01:28:24 - [warn]
30 Jun 01:28:24 - [info] Settings file : C:\Users\peerat_1159\node-red\settings.js
30 Jun 01:28:24 - [info] User directory : C:\Users\peerat_1159\node-red
30 Jun 01:28:24 - [warn] Projects disabled : editorTheme, projects.enabled=false
30 Jun 01:28:24 - [info] Flows file : C:\Users\peerat_1159\node-red\flows_DESKTOP-V8941FQ.json
30 Jun 01:28:24 - [info] Creating new flow file
30 Jun 01:28:24 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.

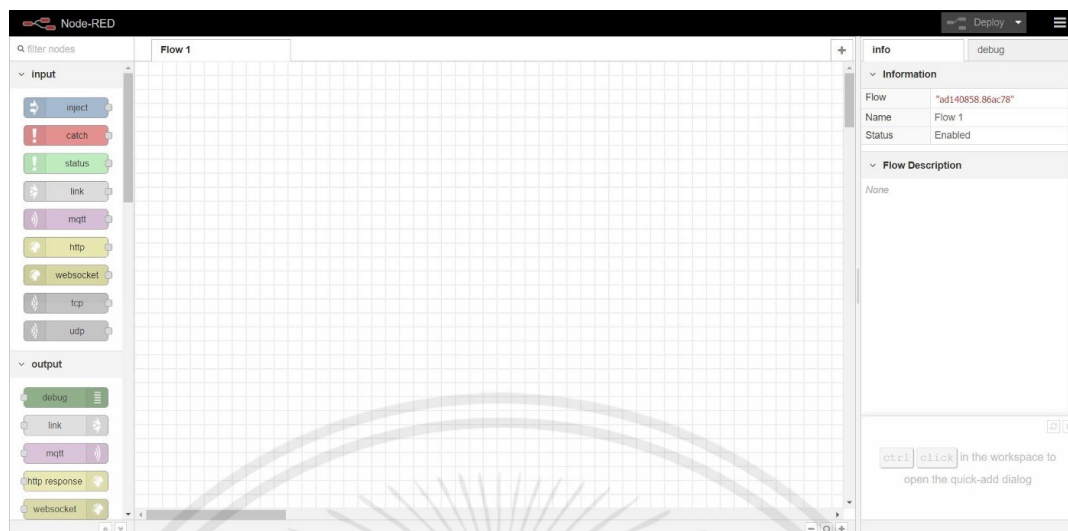
-----
30 Jun 01:28:24 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
30 Jun 01:28:24 - [info] Starting flows
30 Jun 01:28:24 - [info] Started flows

```

รูปที่ 2.24 หน้ารันคำสั่งโนดเรดในหน้า CMD

4. เข้าเว็บและพิมพ์ URL: <http://127.0.0.1:1880> จะได้ โนดเรด ดังรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 หน้าโนดเรดที่พร้อมใช้งาน

2.10.2 โพรโทคอลเอ็มคิวทีที

โพรโทคอลเอ็มคิวทีที (Message Queuing Telemetry Transport : MQTT) เป็นรูปแบบการติดต่อสื่อสารมาตรฐาน ISO standard (ISO/IEC PRF 20922) โดยเป็นโพรโทคอลการติดต่อสื่อสารแบบการส่งข้อมูล (publish) ที่ต้องระบุข้อมูลการรับ-ส่งที่สนใจไปยัง Topic และการรับข้อมูล (subscribe) โดยใช้โพรโทคอล TCP/IP เป็นพื้นฐานในการออกแบบ ซึ่งออกแบบมาเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ต้องติดต่อสื่อสารระยะไกลที่ใช้ส่งข้อมูลขนาดเล็ก (M2M : machine to machine) หรือมีแบนด์วิธ (Bandwidth) ที่จำกัด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ หรือ Thing ต่าง ๆ ให้ออนไลน์กับระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง [14]

องค์ประกอบหลักของการติดต่อสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที

1. MQTT Broker ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการกระจายข้อความ (Broadcast) ให้กับผู้รับ ที่เรียกชื่อตรงกับผู้ส่ง โดยจะอ้างอิงผ่านทาง Topic ในการใช้งาน mqtt จะเรียกส่วนนี้ว่า Broker ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานได้ทั้งแบบเช่า สร้างเอง หรือใช้งาน Broker ฟรีเช่น CloudMQTT, NETPIE, Mosquitto, HiveMQ เป็นต้น
2. Publish ทำหน้าที่ในการพูดคุย ส่งข้อมูลไปยังตัวกลาง (Broker) โดยข้อมูลที่ส่งไปจะประกอบไปด้วยหัวข้อ (Topic) และข้อความ (Message)
3. Subscribe ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับตัวกลาง (Broker) ในจะทำการติดตาม (Subscribe) หัวเรื่อง (Topic) นั้นๆ ที่ผู้ส่ง (Publish) ส่งข้อมูลขึ้นมา เมื่อชื่อหัวเรื่อง (Topic) ตรงกัน ผู้รับก็จะได้รับ

ข้อมูลนั้นได้ หากชื่อหัวเรื่องไม่ตรงกัน ผู้รับก็จะไม่ได้ข้อมูลนั้นเลย ดังนั้น เพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างสมบูรณ์ ผู้ส่ง และผู้รับจะต้องคุยกันในหัวเรื่องเดียวกัน

คุณภาพของการส่งข้อมูลจะถูกแบบออกได้ 3 ระดับดังนี้

1. QoS0 ส่งครั้งเดียว ไม่สนใจว่าจะรับได้หรือไม่
2. QoS1 ส่งครั้งเดียว ไม่สนใจว่าจะรับได้หรือไม่ แต่จะจำค่าล่าสุดไว้
3. QoS2 ส่งหลายครั้ง จนกว่าปลายทางจะได้รับข้อมูล (ทำงานได้ช้ากว่า QoS0,QoS1)



รูปที่ 2.26 โพรโตคอลเอ็มคิวทีที
(ที่มา: <https://reekoh.com>)

2.11 จอแสดงผลแบบโอแอลอีดี

จอแสดงผลแบบโอแอลอีดี สำหรับอาอูยโน้ เป็นหน้าจอ 128x64 พิกเซล ขนาด 0.96 นิ้ว เชื่อมต่อแบบ IIC สีสี่สีเงิน ใช้ไฟได้ทั้ง 3.3 โวลต์ หรือ 5 โวลต์ ให้จอสว่างแสดงผลมองเห็นได้อย่างชัดเจน และประหยัดไฟ สามารถวาดภาพกราฟฟิกส์เป็นรูปต่าง ๆ หรือทำเป็นเมนูตามแบบที่ต้องการได้

โอแอลอีดี (Organic Light Emitting Diodes : OLED) คือ จอภาพที่มีลักษณะคล้ายแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเปล่งแสงเองได้ เมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้าเรียกว่า กระบวนการ อิเล็กโตรลูมิเนสเซนส์ (Electroluminescence) โดยที่ไม่ต้องพึ่งพาแสงที่ส่องจากด้านหลัง (Backlight) และจะไม่มี การเปล่งแสงในบริเวณที่เป็นภาพสีดำ ส่งผลให้สีดำนั้นมีความดำสนิท อีกทั้งยังช่วยพลังงานอีกด้วย [15]



รูปที่ 2.27 จอแสดงผลโอแอลอีดี
(ที่มา: <https://www.arduitronics.com>)

2.12 การติดตั้งอาดูยโน้

สำหรับโครงการนี้ ผู้จัดทำได้เลือกใช้โปรแกรมอาดูยโน้เพื่อนำมาใช้ในการเขียนลงบอร์ด Node MCU ESP32 เพื่อควบคุมการทำงาน สามารถใช้งานได้ง่าย ด้วยซอฟต์แวร์และภาษาที่สะดวกสบาย อีกทั้งยังมีไลบรารีสำหรับอุปกรณ์เฉพาะหรืออุปกรณ์แยกอื่นๆ รวมถึงการใช้อุปกรณ์ที่รองรับต่อการเขียนโค้ดนั้นอีกด้วย ดังนั้นการเลือกใช้อาดูยโน้จึงตอบโจทย์ต่อการใช้งานได้มากกว่า

2.12.1 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมอาดูยโน้

1. ดาวน์โหลดไฟล์อาดูยโน้จากเว็บไซต์หรือพิมพ์ค้นหาในช่องค้นหา Google ว่า Arduino IDE <https://www.arduino.cc/en/software/OldSoftwareReleases#previous>
2. เลือกซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมกับงานและเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 2.28

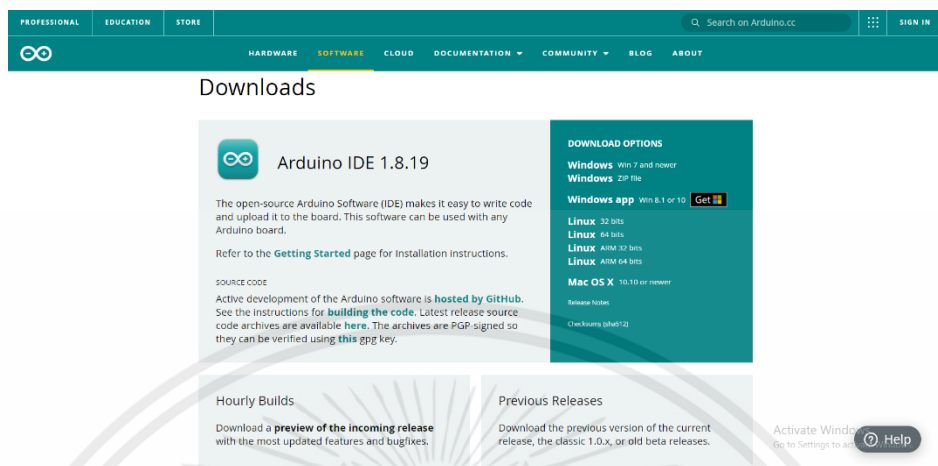
Windows	MAC	Linux	Source
Windows Installer Windows ZIP file for non-admin install	MAC OS 10.8 Mountain Lion or newer	Linux 32 bits Linux 64 bits Linux ARM 32 Linux ARM 64	Source

Windows	MAC	Linux	Source
Windows Installer Windows ZIP file for non-admin install	MAC OS 10.8 Mountain Lion or newer	Linux 32 bits Linux 64 bits Linux ARM 32 Linux ARM 64	Source

รูปที่ 2.28 หน้าซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

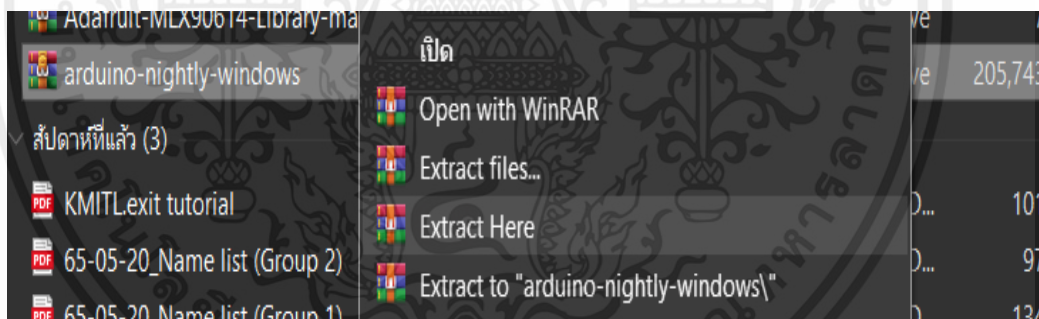
3. ดาวน์โหลด Software ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 หน้าดาวน์โหลดซอฟต์แวร์

4. เลือกแตกไฟล์ดาวน์โหลดตามที่ต้องการลงโปรแกรม Extract files/Extract Here

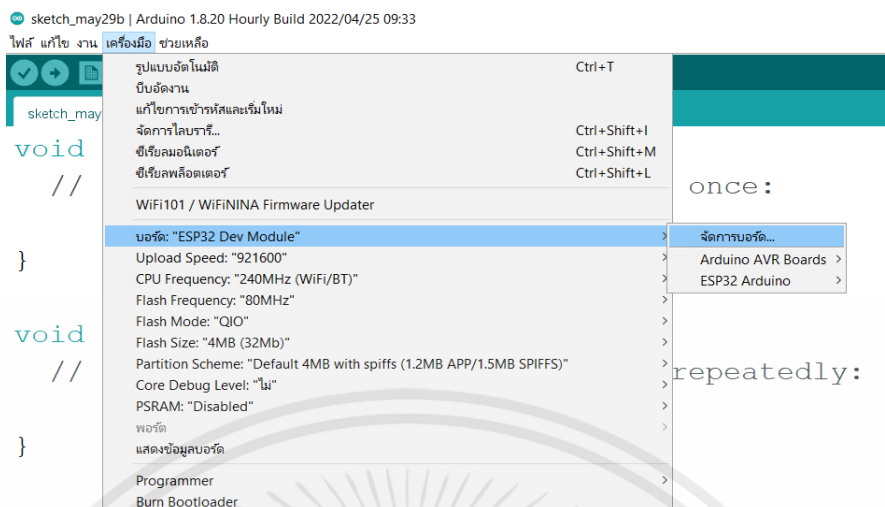
ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 หน้าการแตกไฟล์

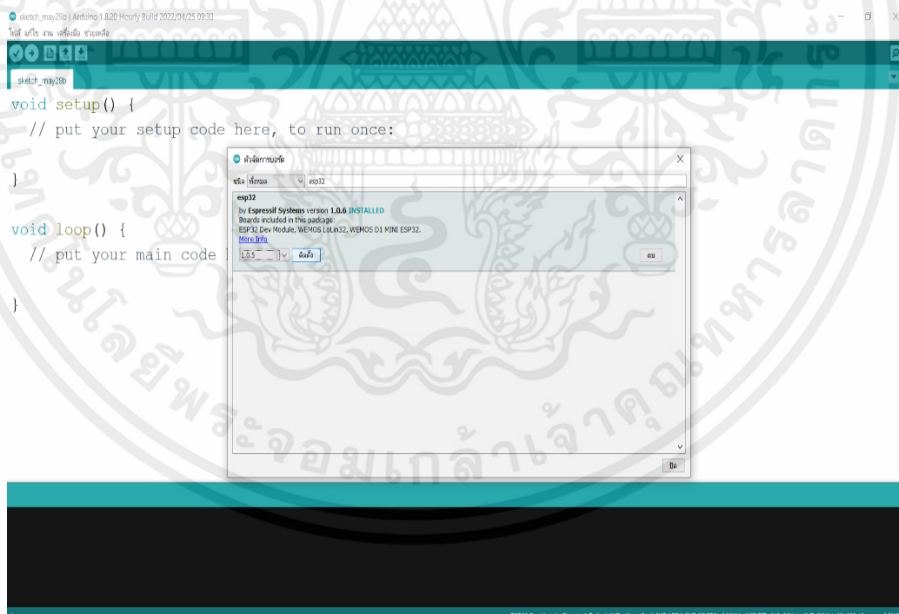
5. เข้าไปยังโปรแกรม Arduino IDE เพื่อติดตั้ง URLs บอร์ด ESP32 ดังรูปที่ 2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 หน้าการติดตั้งตัวจัดการบอร์ด

8. ค้นหา ESP32 แล้วติดตั้งโดยสามารถเลือกตามชนิดบอร์ดที่ใช้งานได้ ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 หน้าการติดตั้ง บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 เครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศ Xiaomi Mi PM 2.5 Monitor

เป็นเครื่องวัดคุณภาพอากาศ Xiaomi Mi PM 2.5 Monitor มีขนาดกะทัดรัด สามารถแสดงค่าฝุ่น PM 2.5 ผ่านหน้าจอ โดยการกดครั้งเดียว เครื่องตรวจวัดอากาศ Xiaomi Mi PM 2.5 ใช้เซ็นเซอร์ที่มีความแม่นยำสูง วัดได้แม่นยำและรวดเร็ว แสดงค่าแบบเรียลไทม์ ดังรูปที่ 2.35 [16]



รูปที่ 2.35 เครื่องวัดค่าฝุ่น Xiaomi Mi PM 2.5 Monitor
(ที่มา: <https://www.bnn.in.th>)

2.14 เครื่องวัดอุณหภูมิหน้าผาก UX-A-03

คุณสมบัติ

1. ระยะเวลาตรวจจับ 3 ถึง 5 เซนติเมตร
2. เครื่องวัดใช้ดิจิทัลแบบเทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรด (Infrared Thermometer)
3. ความแม่นยำของอุณหภูมิ AT \pm 0.2 องศาเซลเซียส

การตั้งค่า

1. F1-หน่วย setting-F1 ฟังก์ชัน (ค่าเริ่มต้นจากโรงงานคือองศาเซลเซียส)
2. F2-คำแนะนำเสียงสวิตช์ Setup (โรงงานเริ่มต้นคำแนะนำเสียง)
3. F3. ใช้สูงค่าเตือน setting-F3 (โรงงาน 37.5 องศาเซลเซียส)
4. F4- Backlight การตั้งค่า (ค่าเริ่มต้นจากโรงงาน)
5. F5- Exit Setup MOD เมื่อ F1/F2/F3/F4 State,กดยกการตั้งค่า KEY (การตั้งค่า)

ข้อมูลจำเพาะ

1. เก็บข้อมูลแบบคลัง 32(Store 32)ชุดการวัดข้อมูล
2. วัสดุชนิดอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (acrylonitrile-butadiene-styrene : ABS)
3. การทำงานอุณหภูมิ: อุณหภูมิแวดล้อม 10.0 องศาเซลเซียส ถึง 35.0 องศาเซลเซียส
4. แรงดันไฟฟ้า: ไฟกระแสตรง 3.0 โวลต์ 2 * แบตเตอรี่อัลคาไลน์ AAA
5. ขนาดผลิตภัณฑ์: กว้าง*ยาว*สูง: 149*90*45 มิลลิเมตร
6. ช่วงการวัด: 35 องศาเซลเซียส ถึง 42.9 องศาเซลเซียส
7. ความถูกต้อง: 35 องศาเซลเซียส ถึง 42 องศาเซลเซียส : ± 0.2 องศาเซลเซียส
8. วัตรระยะทาง: 1 เซนติเมตร ถึง 3 เซนติเมตร
9. ความชื้นสัมพัทธ์: $\leq 93\%$
10. อายุการใช้งาน: 2 ปี
11. อุณหภูมิปกติ: 32 องศาเซลเซียส ถึง 37.2 องศาเซลเซียส หน้าจอแสดงสีเขียว
12. อุณหภูมิมากกว่าปกติ: 37.3 องศาเซลเซียส ถึง 38 องศาเซลเซียส หน้าจอแสดงสีเหลือง
13. อุณหภูมิสูง: 38.1 องศาเซลเซียส ถึง 42.9 องศาเซลเซียส หน้าจอแสดงสีแดง [17]



รูปที่ 2.36 เครื่องวัดอุณหภูมิหน้าผาก UX-A-03

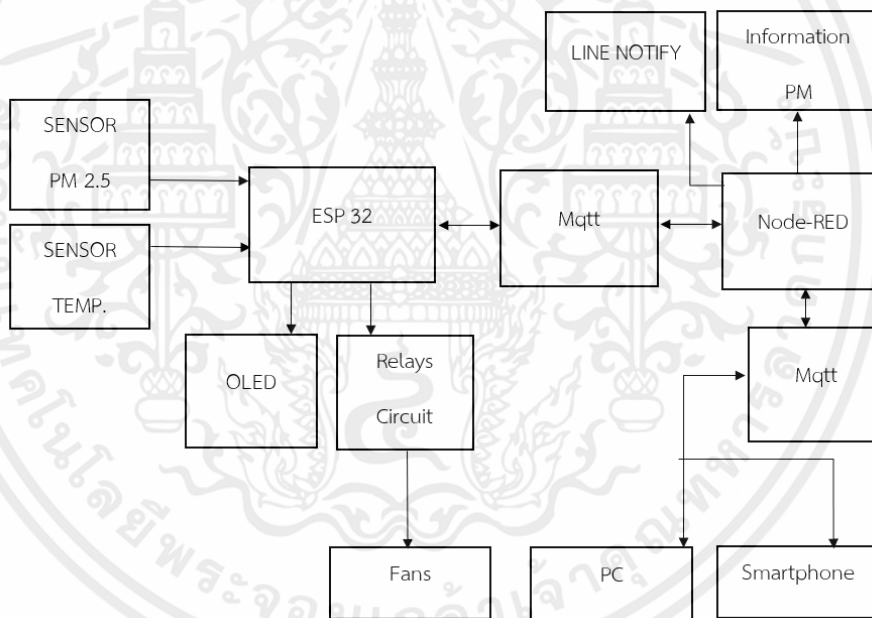
(ที่มา: <https://th.aliexpress.com>)

บทที่ 3

การออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบประตูลัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ ประกอบด้วย บล็อกไดอะแกรมการทำงานของประตูลัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ โฟร์ซาร์ด และโครงสร้างของประตูลัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ การออกแบบ โนตเรด การออกแบบการแจ้งเตือนค่าฝุ่นผ่านไลน์ การออกแบบการแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิผ่านไลน์ การออกแบบปุมเปิด-ปิดรีเลย์ การออกแบบหน้าจอการทำงานที่แสดงผลค่าฝุ่นวงจรรีเลย์

3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของประตูลัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ

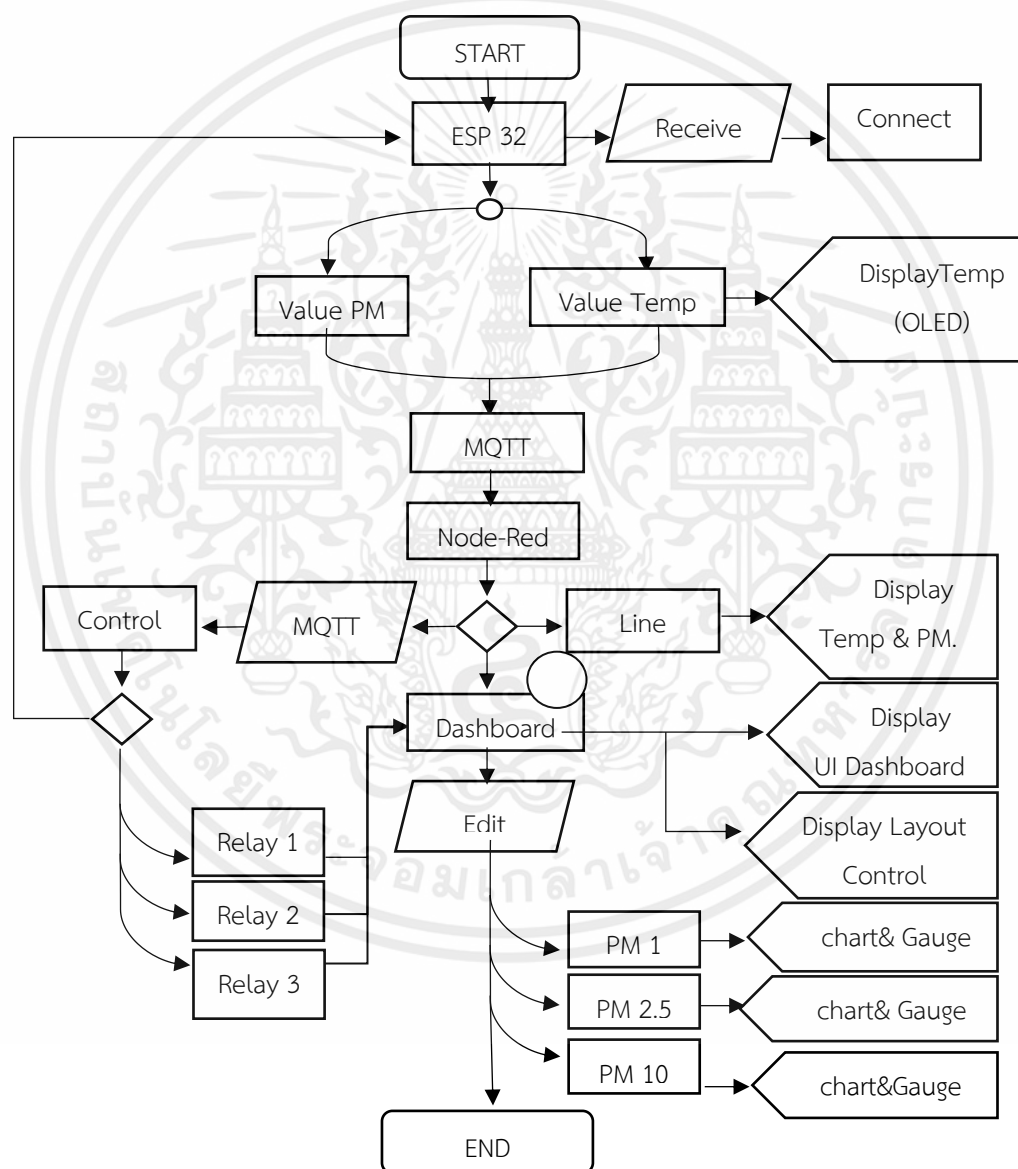


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของประตูลัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ

จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของประตูลัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ ซึ่งมีการทำงานโดยเริ่มจากการทำงานของ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รับค่าจากเซ็นเซอร์ค่าฝุ่น และ เซ็นเซอร์อุณหภูมิ โดยค่าอุณหภูมิจะแสดงผลไปยังหน้าจอโอแอลอีดี ทันที และ เก็บค่าไว้ในตัวแปร จากนั้นจะส่งค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้งสอง ไปยังตัว โนตเรด ส่งค่าไปยังแดชบอร์ด เพื่อทำการแสดงผลใน มือถือ และ

คอมพิวเตอร์ที่เปิดแอปพลิเคชัน โนดเรด และส่งค่าตัวแปรที่กำหนดเงื่อนไขทั้งค่าอุณหภูมิและค่าฝุ่นที่สูงเกินไป ไปแสดงผลในไลน์ นอกจากนี้ในตัวของ Note-Red มีหน้าแดชบอร์ด ที่สามารถควบคุมรีเลย์ โดยส่งข้อมูลคำสั่งไปยังตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมรีเลย์การเปิดปิดพัดลมได้อีกด้วย โดยทั้งหมดนี้ใช้การสื่อสารผ่านตัวโปรโตคอล โดยใช้ Port servers Hive MQTT ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างสองอุปกรณ์ [21]

3.2 โฟร์ชาร์ต



รูปที่ 3.2 โฟร์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

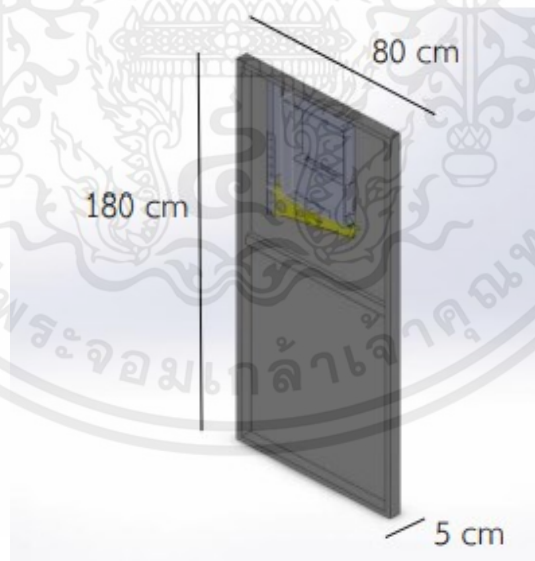
จากรูปที่ 3.2 เป็นรูปการดำเนินงาน ชั้นแรกบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รับสัญญาณไวไฟ จากนั้นทำการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์โปรโตคอล จากนั้นจะส่งค่าตัวแปรฝุ่นและอุณหภูมิ (หน้าจอจะแสดงผลค่าอุณหภูมิทันที) ส่งไปยังตัวโนดเรด เมื่อรับค่าตัวแปรมาแล้วจะทำการเริ่มกระบวนการตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้สองเงื่อนไข [21]

เงื่อนไขแรก จะส่งค่าตัวแปรที่อุณหภูมิที่เกิน 37 องศาและค่าฝุ่นที่มากกว่า $100 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ จะส่งค่าไปยังไลน่อนอนติฟิเคชัน เพื่อแจ้งเตือนเงื่อนไขและส่งข้อมูลไปยังแดชบอร์ด เพื่อนำค่ามาแปลง จากค่าตัวเลขเป็นค่าตัวอักษร เพื่อแสดงผลในรูปแบบเกและกราฟ

อีกทั้งในโนดเรดนั้น จะมีการเขียนโค้ดเพื่อส่งและรับค่าการควบคุมรีเลย์ให้ไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และสร้างปุ่มกดในหน้าแสดงผลแอปพลิเคชันเพื่อรับค่าจากหน้าแดชบอร์ดอีกด้วย

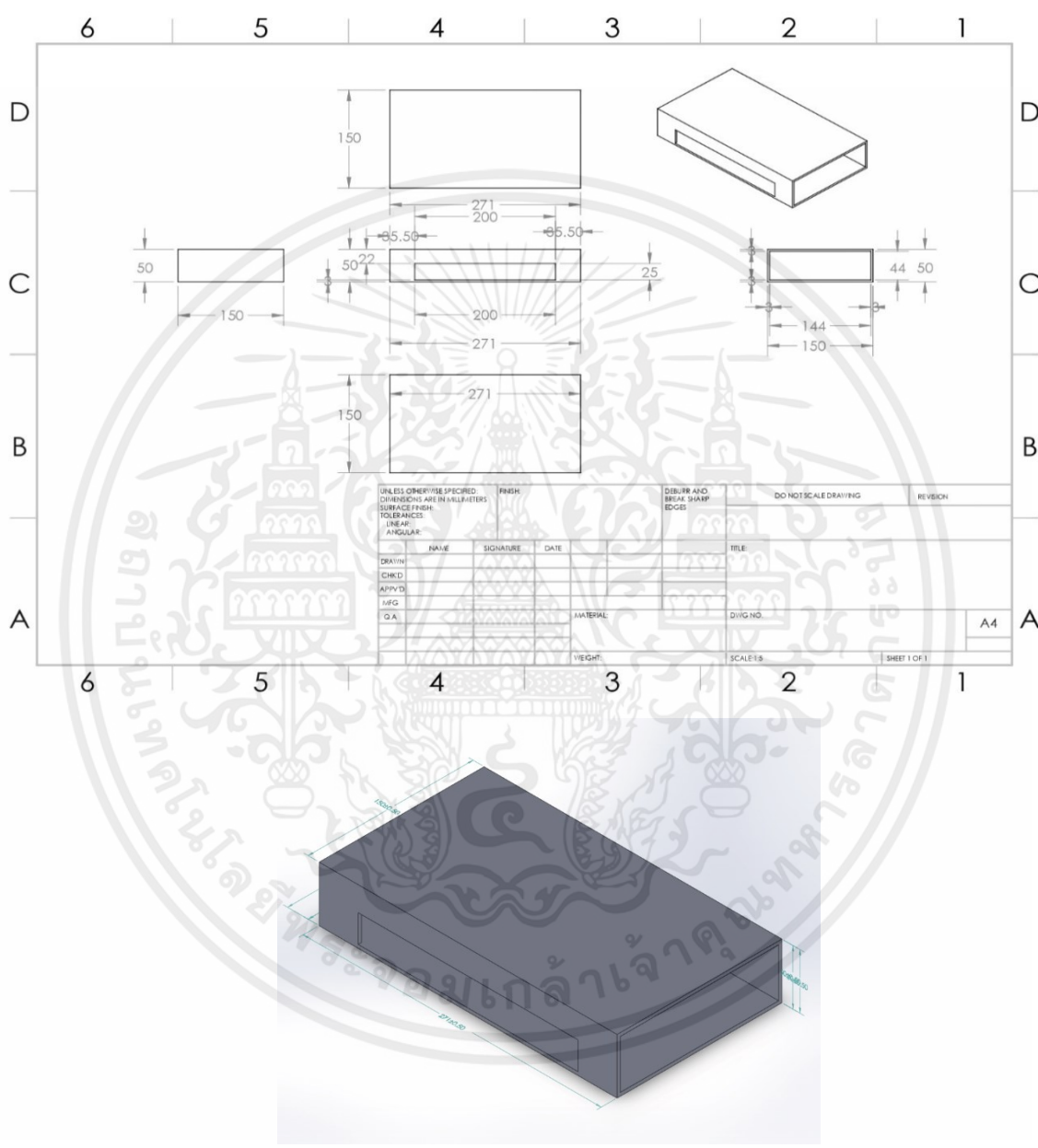
3.3 โครงสร้างและการออกแบบชิ้นงาน

การสร้างประตูกรองอากาศมีปัจจัยที่สำคัญต่อการออกแบบประตูกรองอากาศให้สามารถใช้ได้กับวงกบประตูทั่วไป จึงจำเป็นต้องออกแบบการวางอุปกรณ์ที่สามารถใส่เข้าไปยังภายในประตูให้พอดีกับช่องว่างภายใน เพื่อให้เกิดความกะทัดรัดและตรงจุดประสงค์ที่คงความเป็นประตูเอาไว้ จึงออกแบบตัววางพัดลมและเซ็นเซอร์ที่มีความหนาไม่เกิน 5 เซนติเมตร หรือ 500 มิลลิเมตร เพื่อให้พอดีกับภายในตัวประตู



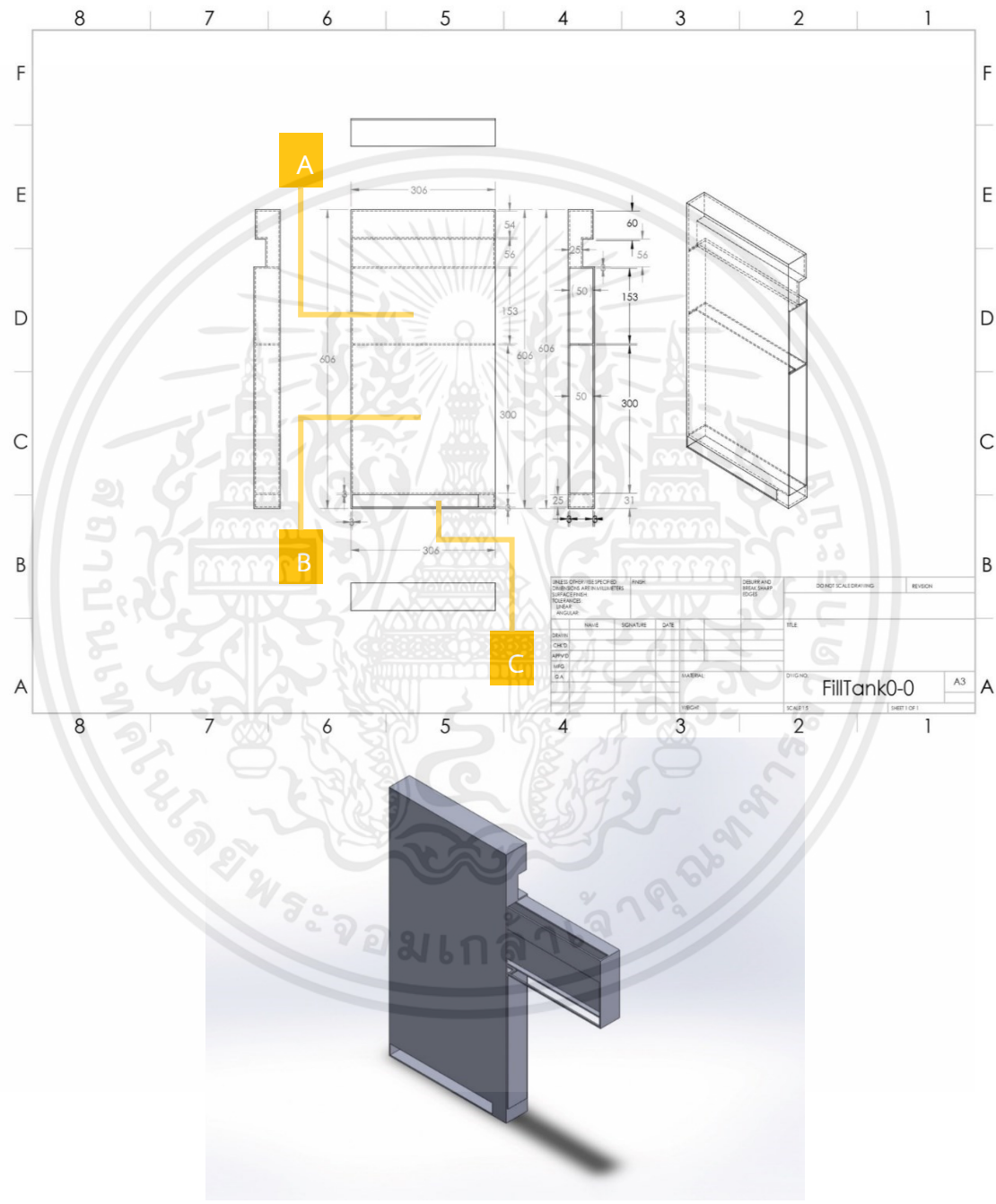
รูปที่ 3.3 โครงสร้างประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศโดยรวม

จากรูปที่ 3.4 แสดงถึงการออกแบบโครงสร้างของตัววางพัดลมดูดอากาศออก ซึ่งทำการออกแบบไว้หลักๆเป็นสามส่วน คือ ส่วนแรก (A) คือส่วนสำหรับยึดติดกับโครงประตู ส่วนที่สอง (B) คือในส่วนของการวางพัดลมดูดอากาศ และส่วนที่สาม (C) คือ ช่องเก็บกล่องใส่เซ็นเซอร์ฝุ่น ดังในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กล่องใส่เซ็นเซอร์วัดค่าฝุ่น

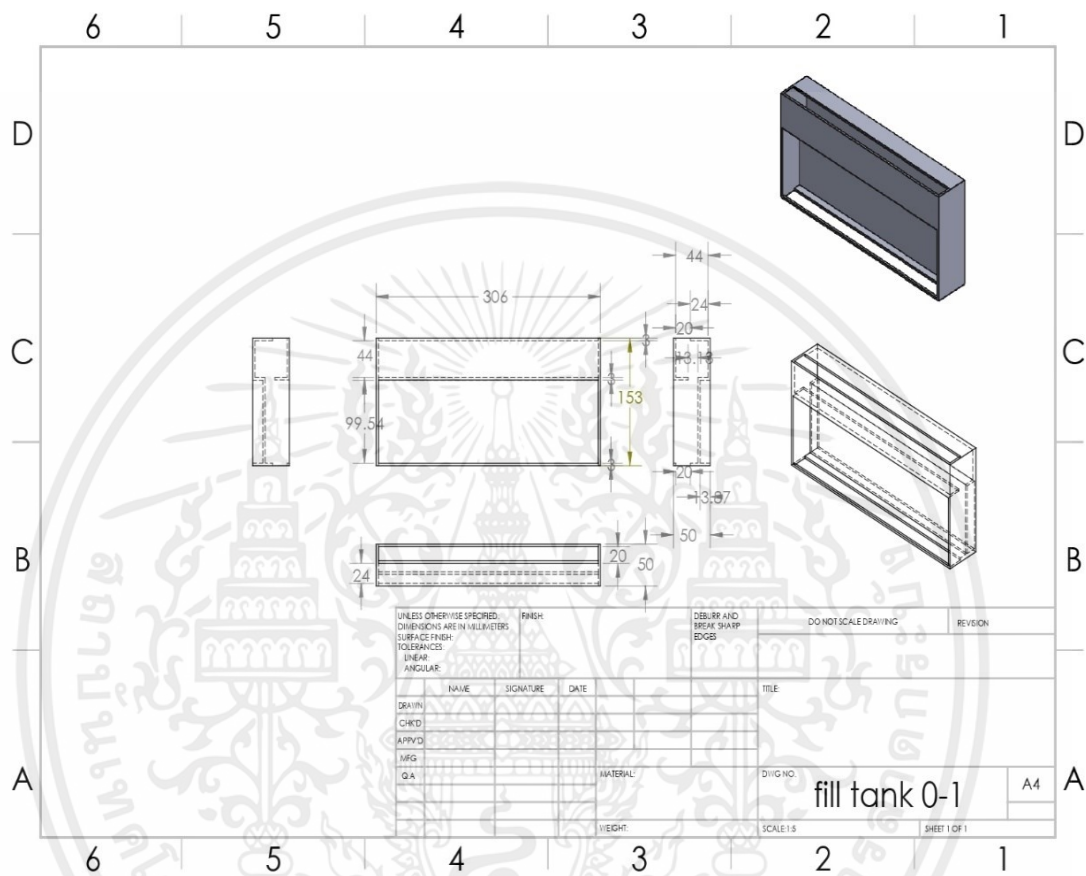
จากรูปที่ 3.5 แสดงถึงการออกแบบเพื่อการวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์ และออกแบบในส่วนของลมเข้าและลมออกเพื่อให้เกิดการไหลของอากาศ ในส่วนนี้จะนำมาประกอบกับส่วนกล่องดูดอากาศออกในรูปที่ 3.4 และสอดเข้าช่องในตำแหน่ง C ของรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.6 กล่องดูดอากาศเข้า

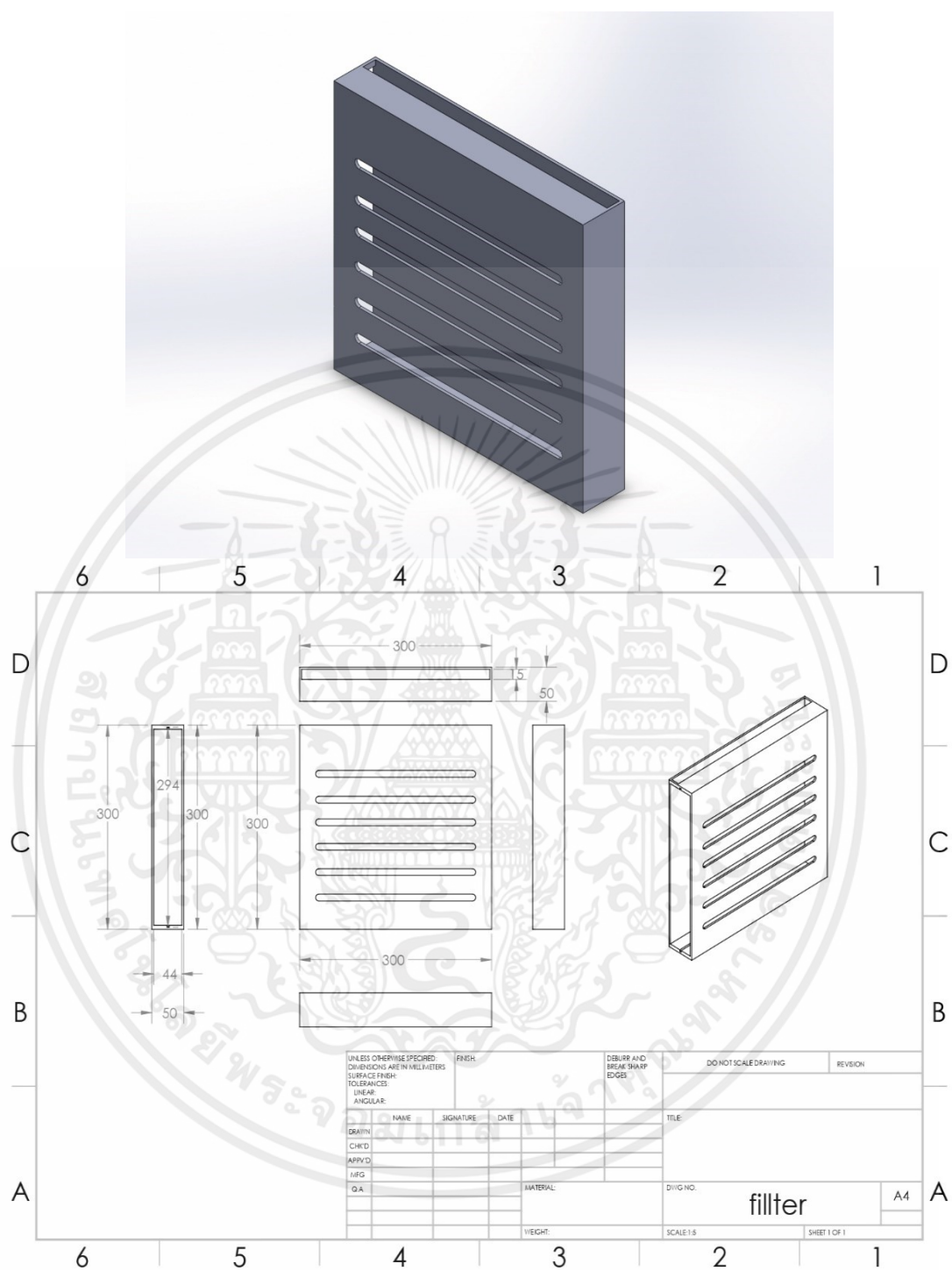
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 แสดงถึงจุดตำแหน่ง A ออกแบบช่องเพื่อสอดกล่องใส่พัดลมดูดอากาศ และในส่วนตำแหน่ง B ออกแบบช่องสำหรับสอดกล่องใส่แผ่นกรองอากาศ และในส่วนสุดท้ายเป็นช่องสำหรับยึดน็อตเพื่อนำมาประกอบกับประตูด



รูปที่ 3.7 กล่องใส่พัดลมดูดอากาศ

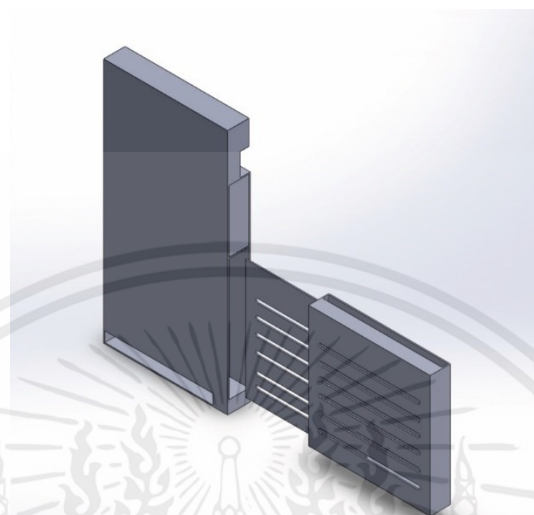
จากรูปที่ 3.7 แสดงถึงการออกแบบกล่องที่มีช่องลมเข้าและออก และส่วนสำคัญคือช่องสำหรับการพัดลมดูดอากาศชนิดหอยโข่ง เพื่อดูดอากาศเข้าไปยังอีกส่วนหนึ่ง อีกทั้งยังออกแบบให้มีขนาดเพื่อรองรับการใส่อุปกรณ์ คือ พัดลมหอยโข่ง 2 ชิ้น



รูปที่ 3.8 กล่องใส่แผ่นกรองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

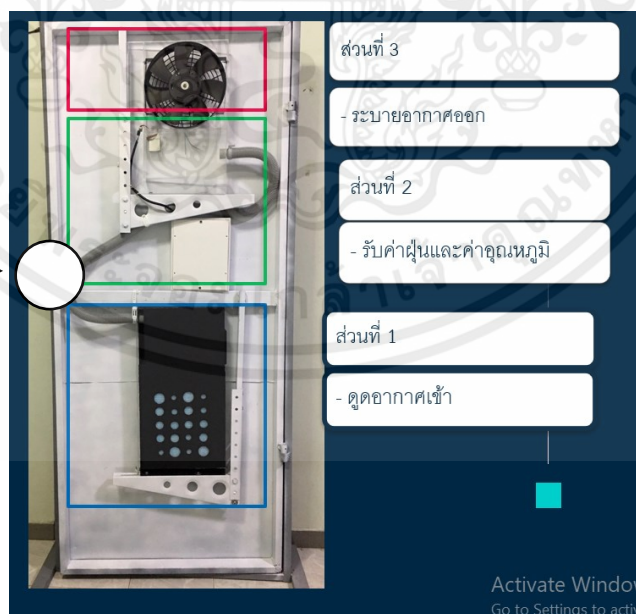
จากรูปที่ 3.8 แสดงถึงการออกแบบขนาดกล่องเพื่อใส่แผ่นกรองอากาศและช่องลมเพื่อให้เกิดการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นกรอง



รูปที่ 3.9 การประกอบโครงสร้างชิ้นงาน

จากรูปที่ 3.9 แสดงถึงการประกอบกล่องใส่แผ่นกรองและกล่องใส่พัดลมเข้าด้วยกัน

บริเวณลูกบิดประตู
ติดตั้งเซ็นเซอร์วัด
อุณหภูมิและจ่อไอ
แอลอีดี

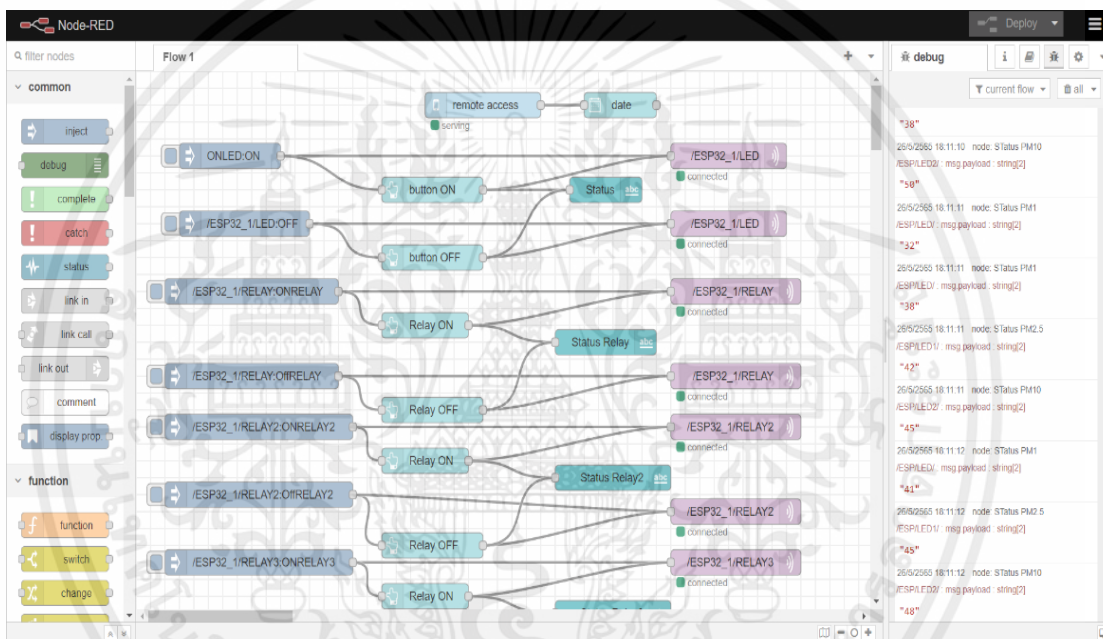


รูปที่ 3.10 ผลการออกแบบโครงสร้างและวางอุปกรณ์ชิ้นงานภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

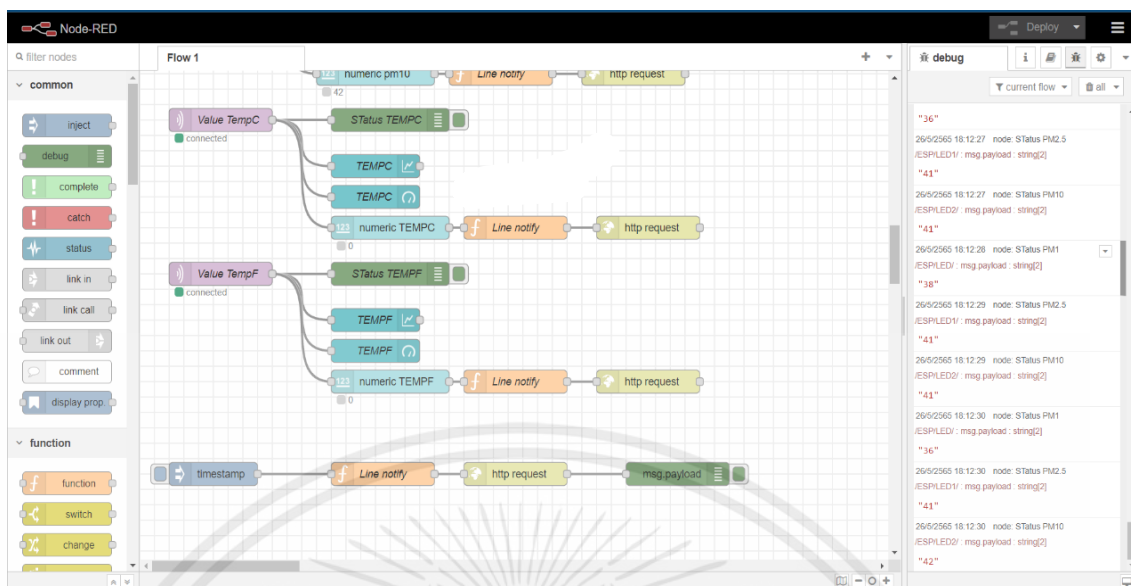
จากรูปที่ 3.10 แสดงถึง ผลการออกแบบโครงสร้างและการจัดวางอุปกรณ์ชิ้นงานภายใน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรก เป็นส่วนดูดอากาศเข้า โดยมีอุปกรณ์ภายใน ได้แก่ พัดลมดูดอากาศ แผ่นกรองอากาศ และท่อลมที่ส่งอากาศจากส่วนแรกไปยังส่วนที่สอง ส่วนที่สอง เป็นส่วนรับค่าฝุ่นและค่าอุณหภูมิ โดยมีอุปกรณ์ภายใน ได้แก่ เซ็นเซอร์รับค่าฝุ่นซึ่งสามารถตรวจวัดค่าฝุ่นได้ทั้ง PM 1, PM 2.5 และ PM 10 ที่ผ่านมาจากท่อลมในส่วนแรก และตรงบริเวณลูกบิดประตูติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและจอยโอแอลอีดี ส่วนที่สามเป็นส่วนระบายอากาศออก โดยมีอุปกรณ์ ได้แก่ พัดลมระบายอากาศ

3.4 การออกแบบ Node-RED



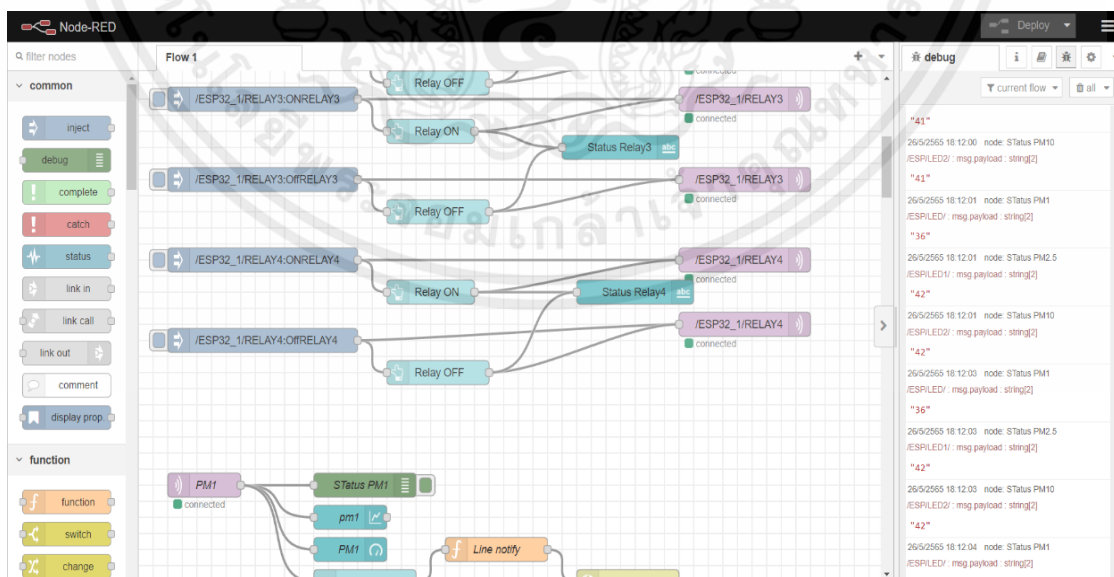
รูปที่ 3.11 ผลการออกแบบ โนดเรด

จากรูปที่ 3.11 แสดงถึงหน้าตาการออกแบบ โนดเรด ในรูปจะมีหน้าตาการทำงานสามส่วน คือ ส่วนแรกในด้านซ้ายของรูป คือส่วนคำสั่ง และฟังก์ชัน ส่วนตรงกลางสำหรับออกแบบการนำฟังก์ชันหรือคำสั่งมาใช้ และในส่วนของหน้าตาฝั่งซ้าย คือหน้าตาการแสดงผลข้อมูล หรือ Debug ซึ่งจากรูปนี้เอง ในส่วนตรงกลางหรือ Flow จะเป็นการเขียนเพื่อส่งข้อมูลไปยัง บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการทดสอบการส่งข้อมูลโดยการใช้ คำสั่ง inject ส่งข้อมูลไปยัง ฟังก์ชัน MQTT out node เพื่อส่งข้อมูลไปยัง โนดเรด โดยใช้โปรโตคอล MQTT เป็นการสื่อสารระหว่างสองอุปกรณ์



รูปที่ 3.12 ผลการออกแบบ โหนดเรด

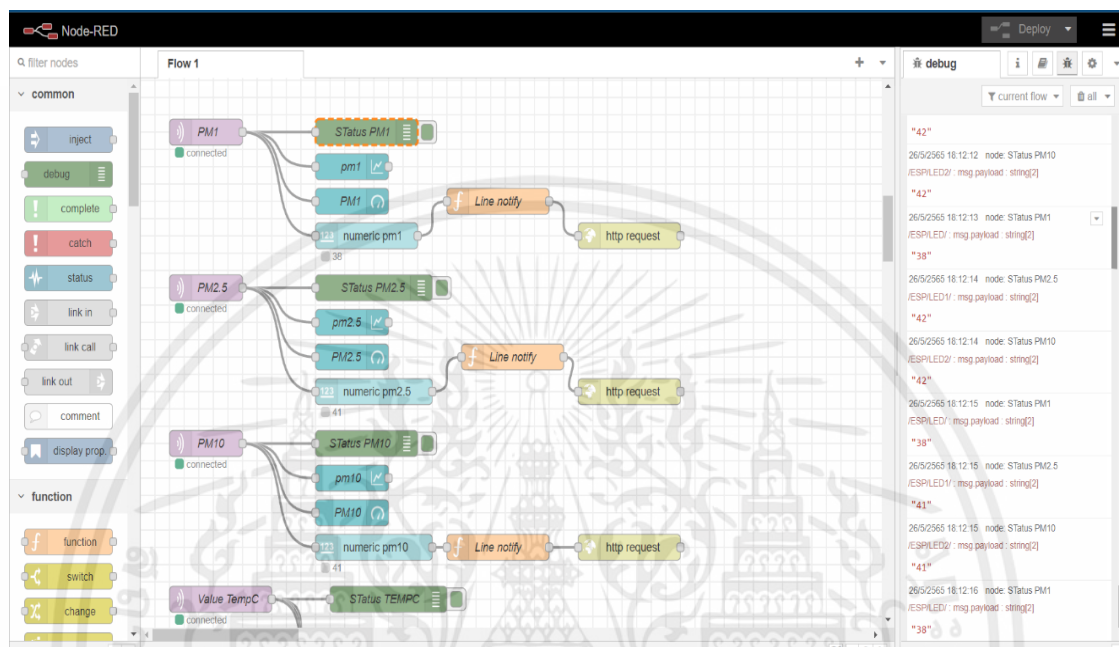
จากรูปที่ 3.12 แสดงถึงการรับข้อมูลจาก บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ส่งข้อมูลจาก โหนดเรด โดยผ่านตัวกลางโปรโตคอล MQTT โดยใช้คำสั่ง MQTT in node เมื่อรับข้อมูลแล้วจะแปลงค่าข้อมูลเป็นค่า String และจัดการค่าข้อมูลเป็นรูปภาพและเกว็ด และกำหนดฟังก์ชันการรับค่าและเพิ่มเงื่อนไขข้อมูลค่าฝุ่น. เมื่อรับค่าเกินเงื่อนไขที่กำหนดจะส่งค่าข้อมูลไปยังฟังก์ชัน Line notify เพื่อส่งการแจ้งเตือนและข้อมูลค่า PM1, PM 2.5 และ PM 10 ไปยังไลน์



รูปที่ 3.13 ผลการออกแบบ โหนดเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.13 แสดงถึงการตั้งเงื่อนไขและการออกแบบคำสั่งและฟังก์ชันเหมือนในรูปที่ 3.12 แต่ในรูป 3.13 นี้จะเป็นการแสดงถึงค่าข้อมูลของอุณหภูมิที่ได้รับมาจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ โดยผู้จัดทำได้ออกแบบการรับค่าอุณหภูมิสองค่า คือ ค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส และในหน่วยของฟาเรนไฮต์

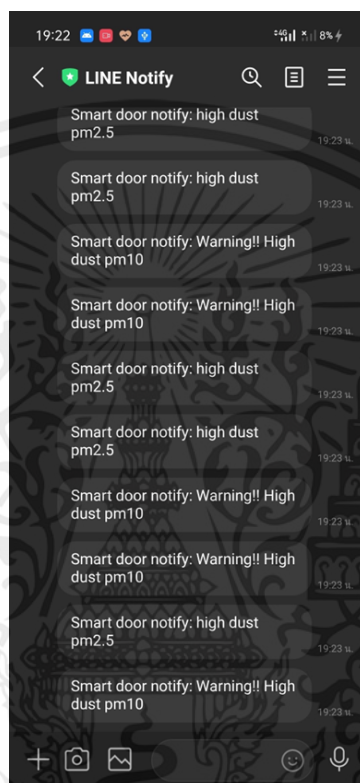


รูปที่ 3.14 ผลการออกแบบ โหนดเรด

จากรูปที่ 3.14 แสดงถึงการรับค่าฝุ่นทั้งสามชนิด คือ PM 1, PM 2.5 และ PM 10 ที่มีการส่งข้อมูลมาจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยจะนำข้อมูลที่รับมาแสดงในหน้าต่างดีบัก (Debug) เพื่อทดสอบการรับและส่งข้อมูลของอุปกรณ์และทำการตรวจสอบค่าความถูกต้องของการรับค่าข้อมูล โดยจากภาพจะเห็นได้ว่าการวางฟังก์ชันที่แบ่งออกเป็นหมวดได้ สามหมวดคือ ค่าฝุ่นที่รับจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งสามชนิดของค่าฝุ่น จากนั้นส่งข้อมูลที่รับมาจากขั้นตอนแรกไปยังสี่ส่วนคือ ส่วนการแสดงผลดีบัก ต่อมาในส่วนที่สองคือ ฟังก์ชันการแสดงผลค่าข้อมูลในรูปแบบกราฟเพื่อแสดงผลในรูปแบบเรียลไทม์ และในส่วนที่สามคือ การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบเกว็ด เพื่อแสดงผลในรูปแบบเกจจะทำการกำหนดช่วงการแสดงผลที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมสามช่วง คือ ช่วงของสีเขียว เหลือง และแดง โดยทั้งสามช่วงกำหนดตามอ้างอิงของมาตรฐานค่าฝุ่น โดยสีเขียวอยู่ในช่วง0-50 และสีเหลืองอยู่ในช่วง51ขึ้นไป และสีแดงสุดท้ายจะอยู่ในช่วง100ขึ้นไป ต่อมาในส่วนของการแจ้งเตือน ซึ่งในส่วนนี้เองจะเห็นว่ามึลักษณะในการต่อฟังก์ชันการทำงานที่มีสามส่วนมากกว่าส่วนอื่น นั่นคือทั้งสามส่วนมีลักษณะการทำงานดังนี้ ส่วน

แรกคือการแปลงค่าตัวแปรให้อยู่ในค่ารูปแบบข้อความ และในส่วนที่สองคือการตรวจสอบค่าหากมีค่าที่มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนดไว้จะส่งไปยังฟังก์ชันต่อมาคือ การส่งข้อมูลในรูปแบบข้อความไปยังแจ้งเตือนไลน์

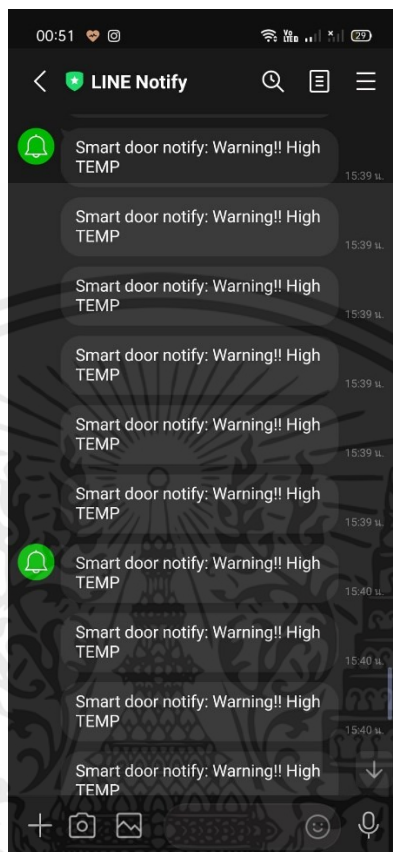
3.5 การออกแบบการแจ้งเตือนค่าฝุ่นผ่านไลน์



รูปที่ 3.15 ผลการออกแบบการแจ้งเตือนค่าฝุ่นผ่านไลน์

จากรูปที่ 3.15 แสดงถึงผลการแจ้งเตือนที่ออกแบบไว้จากในรูป 3.12 โดยในรูปดังกล่าว จะแสดงถึงการแจ้งเตือนค่าฝุ่น PM1, PM2.5 และ PM10 ซึ่งถ้าหากค่าฝุ่นที่เซ็นเซอร์ PM ตรวจวัดได้นั้น มีน้ำหนักเกิน $200 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ จะทำการแจ้งเตือนผ่านไลน์โดยทันที

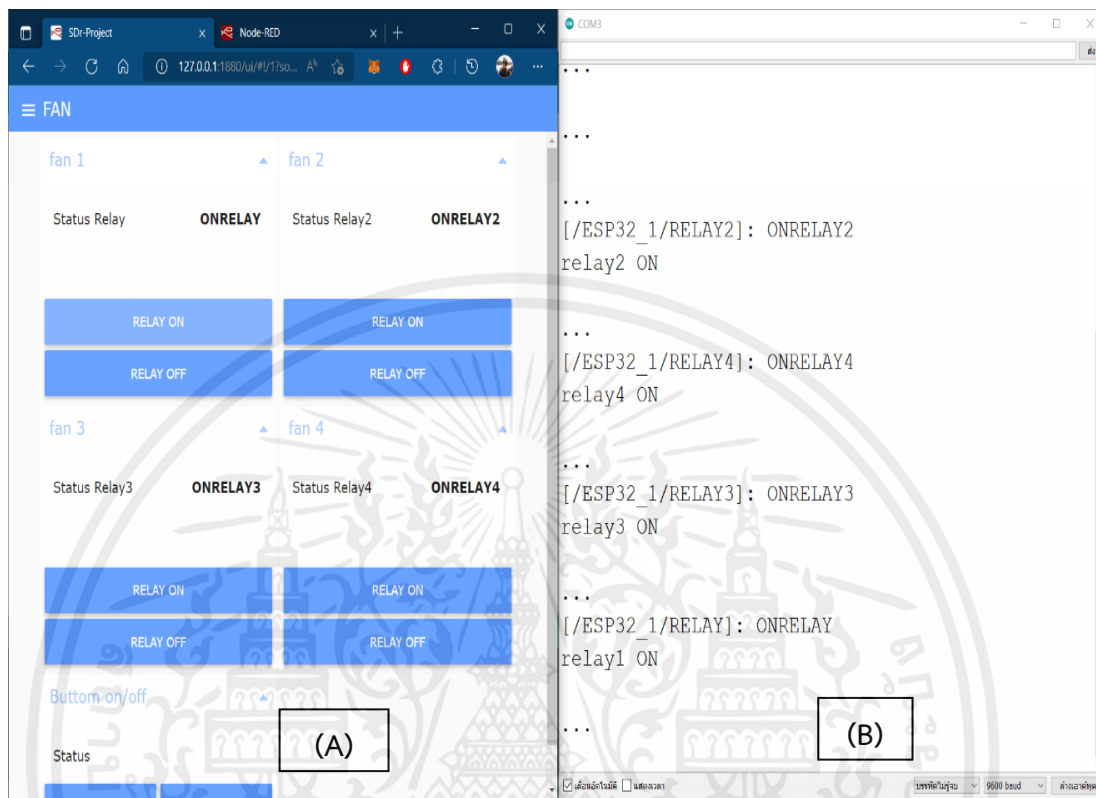
3.6 การออกแบบการแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิสูงผ่านไลน์



รูปที่ 3.16 ผลการออกแบบการแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิสูงผ่านไลน์

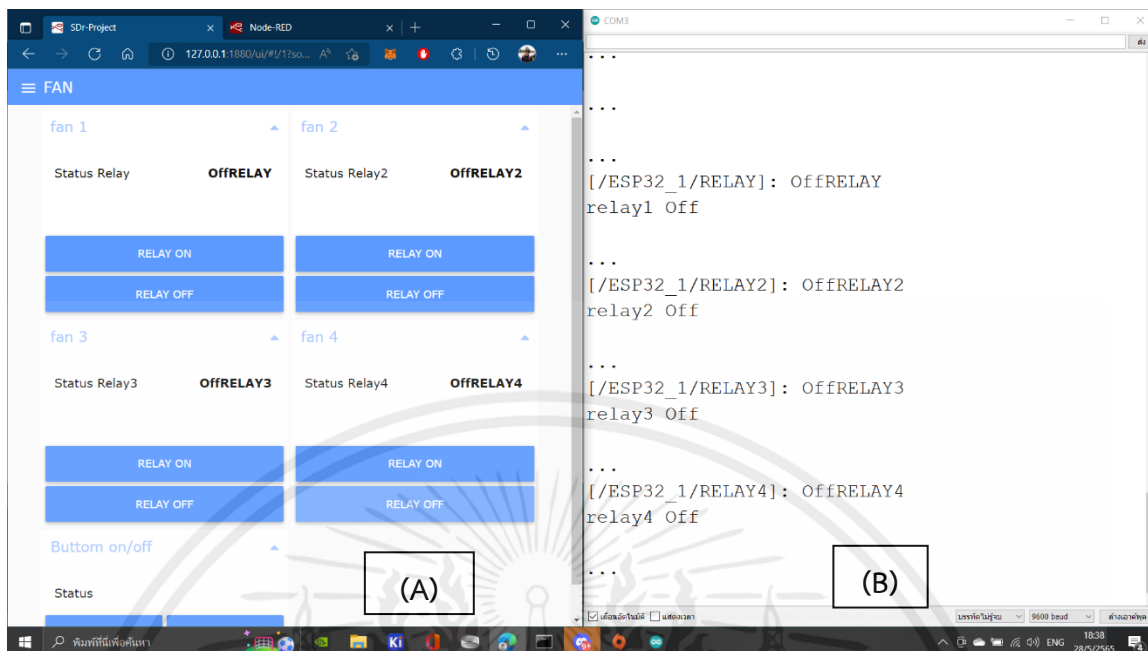
จากรูปที่ 3.16 แสดงถึงการแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิสูงผ่านไลน์ โดยจะมีการกำหนดเงื่อนไขการรับค่าอุณหภูมิ ซึ่งถ้าหากค่าที่เซ็นเซอร์อุณหภูมิตรวจวัดได้ มีอุณหภูมิสูงเกิน 37.5 องศาเซลเซียส (ซึ่งค่าอุณหภูมิดังกล่าวเป็นค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิร่างกายปกติ) จะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังไลน์ทันที

3.7 การออกแบบปุ่มเปิด-ปิดรีเลย์



รูปที่ 3.17 ผลการออกแบบปุ่มเปิด-ปิดรีเลย์

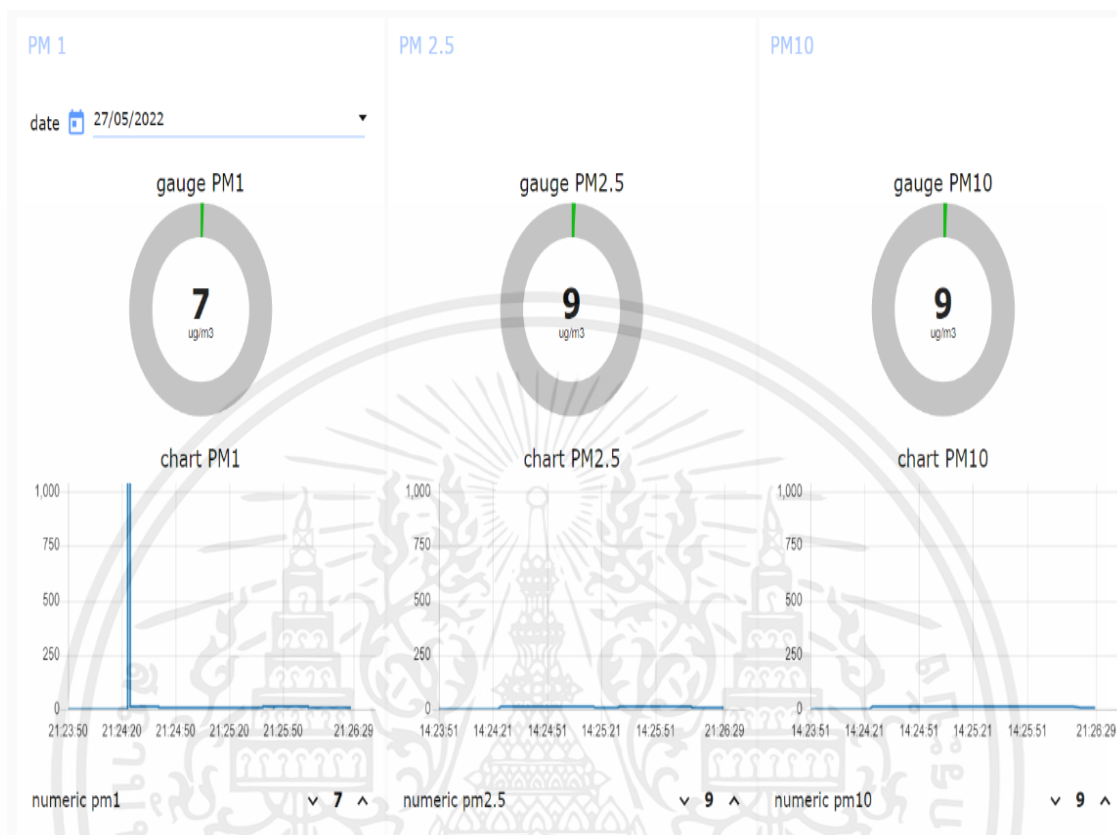
จากรูปที่ 3.17 แสดงถึงหน้าต่างฝั่งซ้าย (A) จะแสดงหน้าต่างเลย์เอาต์ ที่ออกแบบไว้แล้ว และทำการกดปุ่มเพื่อส่งค่าสถานะเปิด ไปยัง ESP-32 และในหน้าต่างฝั่งขวา (B) เป็นหน้าต่างของซอฟต์แวร์ อาดูยโน้ ซึ่งแสดงค่าข้อมูลที่รับได้จาก โนดเรด เพื่อทดสอบการออกแบบการรับส่งข้อมูลเพื่อเปิดรีเลย์โดยส่งค่าข้อมูล ON และการวางตำแหน่งของตัวปุ่ม ลาเบล และ ค่าสถานะ



รูปที่ 3.18 ผลการออกแบบปุ่มเปิด-ปิดรีเลย์

จากรูปที่ 3.18 แสดงถึงการออกแบบเพื่อทดสอบการรับส่งข้อมูลเพื่อเปิดรีเลย์โดยส่งค่าข้อมูล off และการวางตำแหน่งของตัวปุ่ม ลานเบล เพื่อกำหนดค่าตัวแปรที่ต้องการไว้ เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบ และ ออกแบบการแสดงค่าสถานะเพื่อบอกสถานะเปิดปิดของตัวรีเลย์

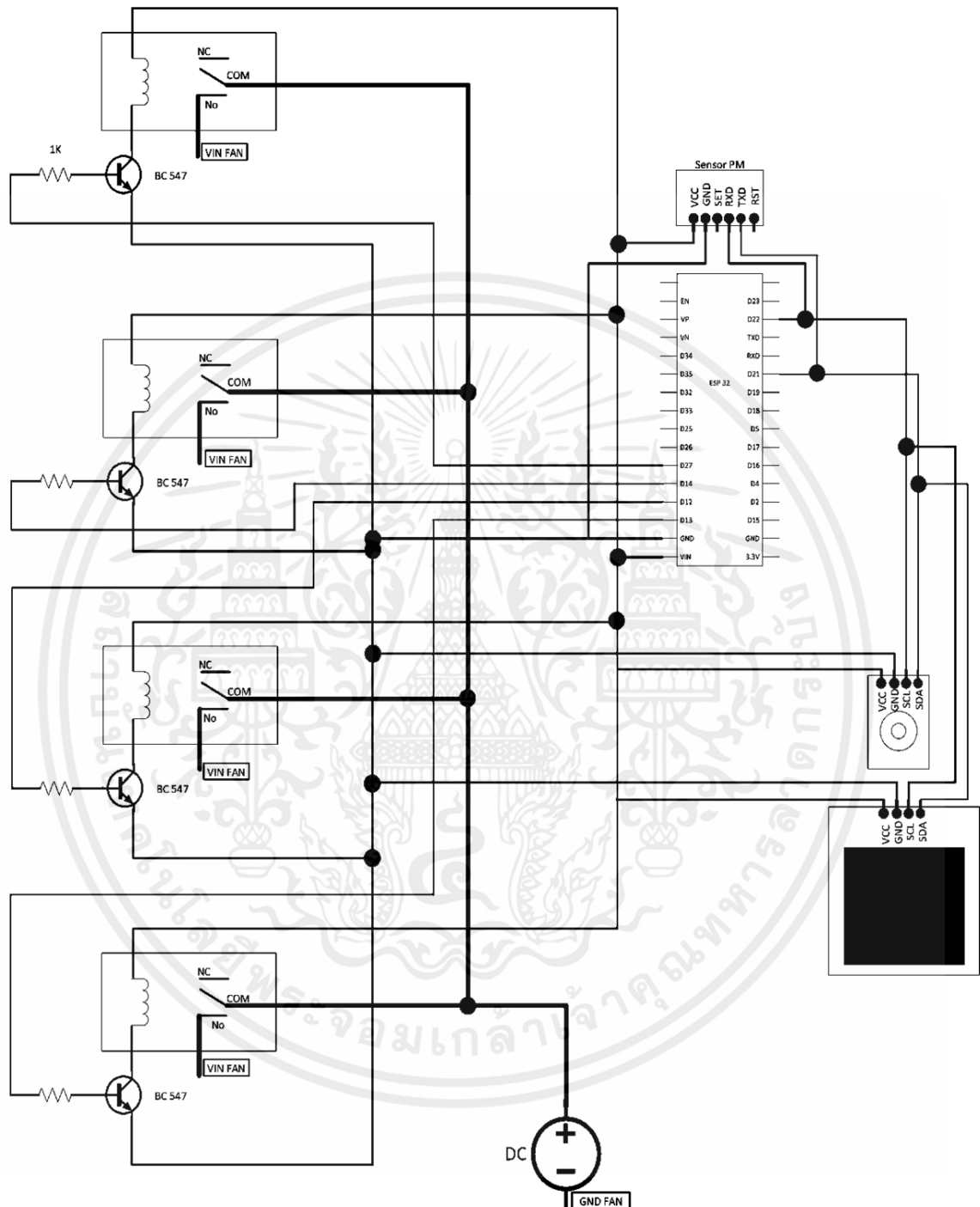
3.8 การออกแบบหน้าจอการทำงานที่แสดงผลค่าฝุ่น



รูปที่ 3.19 ผลการออกแบบหน้าจอการทำงาน

จากรูปที่ 3.19 แสดงถึงการออกแบบหน้าตาของแดชบอร์ด ในส่วนของการแสดงผลของค่าฝุ่น ทั้งสามขนาด และจัดการการแสดงผลในรูปแบบของกราฟมีค่าระยะในแกน Y เท่ากับ 1000 $\text{mg}/\text{cb.}\text{cm}$. มีระยะห่างระหว่างช่วง 250 $\text{mg}/\text{cb.}\text{cm}$. และแกว้ดที่แสดงผลเป็นสีสามสีได้แก่เขียวในช่วง 0-49 สีเหลืองในช่วงกลาง 50-80 และสีแดงในช่วง 80-100 โดยค่าดังกล่าวอ้างอิงจากปริมาณค่าฝุ่นมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ตามรูปที่ 3.19

3.9 การออกแบบวงจร



รูปที่ 3.20 การออกแบบวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.20 รูปการต่อวงจรและอุปกรณ์ต่างๆทั้งเซ็นเซอร์ และ หน้าจอแสดงผล อีกทั้งยัง ออกแบบในส่วนของ วงจรขับรีเลย์ด้วยทรานซิสเตอร์เดียว

3.10 การออกแบบหน้าจอโอแอลอีดี ในการแสดงค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 3.21 ผลการออกแบบหน้าจอโอแอลอีดี สำหรับแสดงผลอุณหภูมิโดยรอบ

จากรูปที่ 3.21 แสดงถึงการออกแบบหน้าแสดงผลบนจอ โดยการวางตำแหน่งของ คำและ ตำแหน่งของตัวเลขอุณหภูมิ จากรูปเป็นค่าอุณหภูมิโดยรอบ ซึ่งเป็นค่าที่ยังไม่ได้ตรวจจับอุณหภูมิร่างกาย



รูปที่ 3.22 ผลการออกแบบหน้าจอโอแอลอีดี สำหรับแสดงผลอุณหภูมิบุคคล

จากรูปที่ 3.22 แสดงถึงค่าตัวเลขอุณหภูมิบุคคลที่ตรวจวัดได้และแสดงผลออกมาบนหน้าจอ เป็นรูปแบบเลขหลักสิบทศนิยมสองตำแหน่ง และมีเลเบลหัวข้ออุณหภูมิด้านบนซ้ายของจอ

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองของการทำงานประตูล้อจรรยาเพื่อกรองอากาศ ซึ่งมีหัวข้อการทดลอง คือ การทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิ การทดลองที่ 1 ตรวจจับฝุ่น PM 1.0 PM 2.5 PM 10.0 การทดลองที่ 2 การตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานประตูล้อครั้งที่ 1 การทดลองที่ 3 การตรวจวัดค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จ ครั้งที่ 1 การทดลองที่ 4 การตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานประตูล้อ ครั้งที่ 2 การทดลองที่ 5 การตรวจวัดค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จ ครั้งที่ 2 การทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิเทียบมาตรฐาน และการทดลองเซ็นเซอร์วัดฝุ่น เทียบมาตรฐาน

4.1 การทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิ

ทำการทดลองโดยการวัดอุณหภูมิตัวอย่างด้วยเทอร์โมมิเตอร์ 6 ตัวอย่าง จากนั้นวัดค่าอุณหภูมิในระยะห่างจากเซ็นเซอร์ 5 ระยะ (ตั้งแต่ 0 ถึง 4 เซนติเมตร) และทำการบันทึกผลการทดลอง

4.1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบการตรวจวัดอุณหภูมิโดยรอบและตัวบุคคล
2. เพื่อทดสอบการแสดงผลของค่าอุณหภูมิที่ตรวจจับได้ผ่านทางหน้าจอแอลอีดี
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

4.1.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ
2. จอแอลอีดี
3. เทอร์โมมิเตอร์

4.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. หาอุณหภูมิตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบการทดลองโดยนำค่าที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์
2. วัดค่าอุณหภูมิตัวอย่างด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิให้ครบทุกตัวอย่างโดยทำการทดลองวัดอุณหภูมิในระยะที่ต่างกันเพื่อหาความคลาดเคลื่อนในปัจจุบันดังกล่าว
3. บันทึกผลการทดลองทั้งค่าอุณหภูมิและผลจากระยะการตรวจวัดของเซ็นเซอร์
4. จากนั้นนำผลของการทดลองทั้งค่าอุณหภูมิและระยะเพื่อนำมาคำนวณและเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนหรือเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

4.1.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

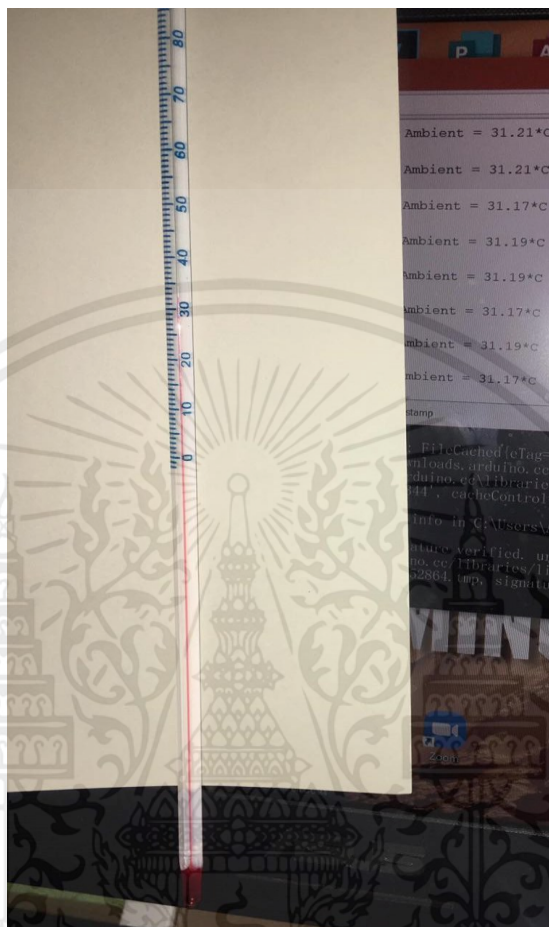
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	ค่าอุณหภูมิต่างๆ (องศาเซลเซียส)					
	3	22	24	30	36	60
0	2.37	21.47	22.53	30.51	36.91	59.55
1	2.21	20.73	22.47	30.57	36.33	58.29
2	2.47	20.61	22.51	30.63	36.17	61.27
3	2.49	20.59	22.29	30.47	36.05	60.47
4	2.50	21.55	23.57	30.65	36.55	60.27

จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.1 แสดงถึงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์เป็นค่ามาตรฐาน โดยค่ามาตรฐานที่ได้ คือ 3,22,24,30,36 และ 60 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์ที่วัดได้ตามระยะ 0 ถึง 4 เซนติเมตร ดังนั้นจากผลการทดลองค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ตามระยะต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ มีความคลาดเคลื่อนจากเซ็นเซอร์น้อยตามตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองรูปแบบตารางเปอร์เซ็นต์เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

ระยะห่าง (เซนติเมตร)	ค่าอุณหภูมิ (%)						ความแม่นยำ รวม
	3	22	24	30	36	60	
0	79	98	94	98	98	99	93.83
1	74	94	94	98	99	97	92.66
2	82	94	94	98	99	97	94.00
3	83	94	93	98	99	99	94.33
4	83	98	98	89	98	99	95.66

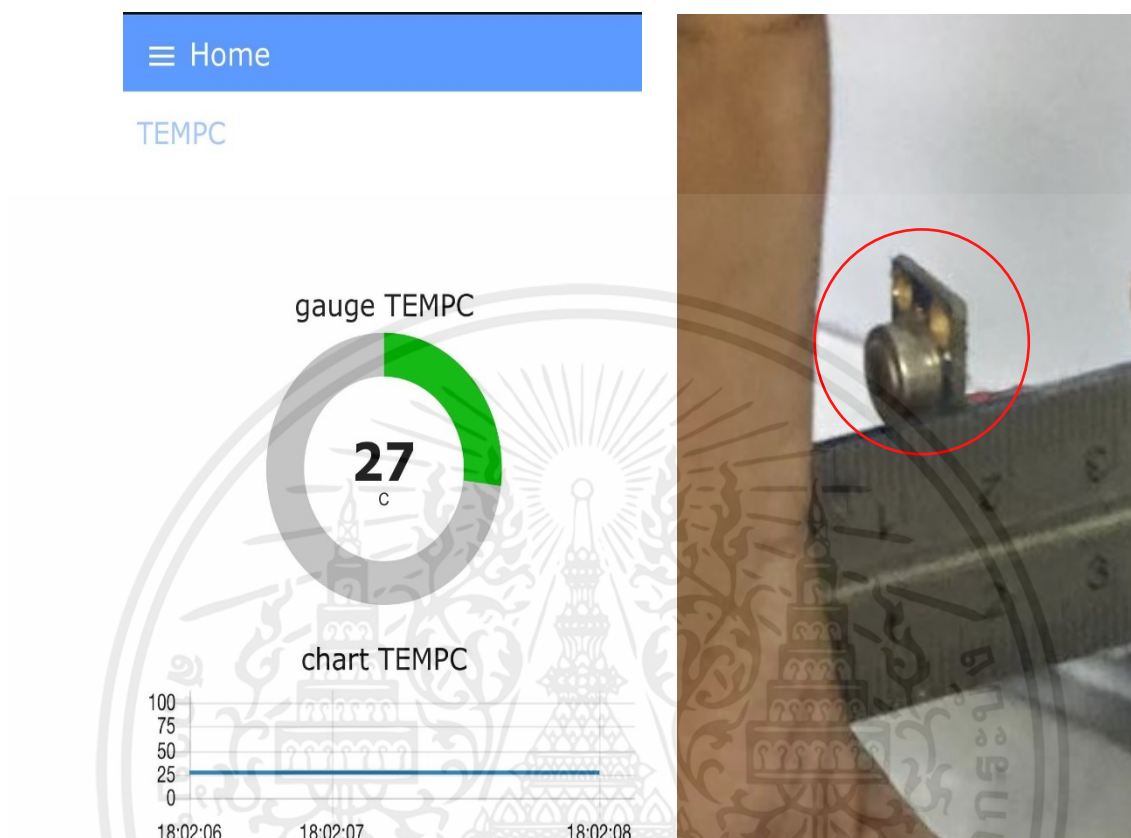
4.1.5 รูปประกอบผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 การทดลองเทอร์โมมิเตอร์

จากรูปที่ 4.1 เป็นรูปภาพการทดลองวัดค่าอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์เพื่อนำค่าตัวอย่างอุณหภูมิมาเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่วัดด้วยเซ็นเซอร์จากตัวอย่างเดียวกัน โดยจากภาพจะนำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดกับตัวอย่างอุณหภูมิเพื่อนำมาเป็นตัวอย่างค่าตัวแปร รวมทั้งหมดหกดตัวอย่างเพื่อนำมาทดลองเปรียบเทียบและคำนวณค่าอุณหภูมิตั้งตารางการทดลองที่ 4.1 และ ตารางการทดลองที่ 4.2

4.1.6 รูปประกอบผลการทดลอง



รูปที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.2 แสดงถึงค่าอุณหภูมิที่วัดได้ของเซ็นเซอร์(วงกลมสีแดงดังภาพ) โดยค่าที่วัดได้นั้นส่งมาจากตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะแปลงค่าอุณหภูมิเป็นค่าตัวเลขส่งไปยังซอฟต์แวร์โน้ตเรดและโน้ตเรดนำค่าส่งไปยังแดชบอร์ดเพื่อแสดงผลค่าอุณหภูมิที่วัดได้เป็นรูปแบบเกจวัดและกราฟ โดยค่าที่วัดได้นั้นจะนำมาบันทึก เปรียบเทียบและคำนวณผลการทดลอง ดังตารางการทดลองที่ 4.1 และ ตารางการทดลองที่ 4.2

4.2 การทดลองตรวจจับฝุ่น PM 1 PM 2.5 PM 10

ทำการทดสอบโดยสังเกตค่าฝุ่นที่ตรวจจับได้ของเซ็นเซอร์ที่ผ่านการดูดฝุ่นของประตู จากนั้นวัดระดับฝุ่นนอกห้องสภาวะปกติ (ไม่ใช่แผ่นกรอง) ภายในระยะเวลา 60 นาที โดยบันทึกผลการทดลองทุกๆ 10 นาที

4.2.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบการตรวจวัดค่าฝุ่นของเซ็นเซอร์
2. เพื่อทดสอบการแสดงผลของโปรแกรม โนตเรด จากค่าฝุ่นที่วัดได้
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการดูดอากาศ

4.2.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืนสำหรับดูดอากาศ
2. แผ่นกรองอากาศ
3. เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น
4. พัดลมโครงเหล็กสำหรับระบายอากาศ
5. สมาร์ทโฟนสำหรับใช้งาน โนตเรด ในการแสดงผลค่าฝุ่น

4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งชิ้นงานบริเวณที่มีอากาศระบายอย่างปกติ เพื่อวัดค่าฝุ่นโดยรอบ
2. วัดค่าฝุ่นที่ผ่านออกมาจากประตูกรองอากาศในระยะเวลา 1 ชม. เก็บผลทุก 10 นาที
3. นำค่าผลการทดลองที่บันทึกได้หาค่าเฉลี่ยของปริมาณฝุ่นที่ใน 1 ชั่วโมง

4.2.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดลองการตรวจจับฝุ่น PM 1 PM 2.5 PM 10

ระยะเวลา (นาที)	ระดับค่าฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
10	74	79	95
20	72	77	91
30	74	79	91
40	71	77	78
50	70	74	74
60	62	66	68
เฉลี่ย	70.5	75.3	82.3

จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.3 แสดงถึงค่าฝุ่นภายนอกที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงที่วัดผลทุกๆ 10 นาที จะเห็นได้ว่า ปริมาณฝุ่นมีค่าปานกลางในระดับมาตรฐานตามเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศ AQI ในช่วง 51 ถึง 100 ดังรูปที่ 2.3

4.2.5 รูปประกอบผลการทดลอง



รูปที่ 4.3 ชิ้นงานและการทดลองประตูบริเวณพื้นที่โล่ง

จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงการทดลองวัดค่าฝุ่นภายนอกห้อง ที่เครื่องสามารถดูดเข้ามายังกล่องใส่เซ็นเซอร์วัดฝุ่น(วงกลมสีแดง)และตรวจจับค่าฝุ่นได้โดยไม่ผ่านแผ่นกรองอากาศ เพื่อนำค่าที่ทดลองได้มาคำนวณหาค่าฝุ่นทั้งสามชนิดมาเฉลี่ยปริมาณภายนอกห้อง หรือบริเวณที่ปลอดภัยภายในเวลาหนึ่งชั่วโมงดังตารางการทดลองที่ 4.3

4.3 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานเครื่องประตุกรองอากาศ ครั้งที่ 1

ทำการทดสอบโดยเปิดประตู 1 ครั้ง และให้เครื่องกรองอากาศทำงานภายในระยะเวลา 60 นาที และทำการบันทึกผลการทดลอง

4.3.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบการตรวจวัดค่าฝุ่นของเซ็นเซอร์
2. เพื่อทดสอบการแสดงผลของโปรแกรม โนตเรต จากค่าฝุ่นที่วัดได้
3. เพื่อทดสอบความสามารถในการกรองของแผ่นกรองอากาศ

4.3.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืนสำหรับดูดอากาศ
2. แผ่นกรองอากาศ
3. เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น
4. พัดลมโครงเหล็กสำหรับระบายอากาศ
5. สมาร์ทโฟนสำหรับใช้งาน โนตเรต ในการแสดงผลค่าฝุ่น

4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งชิ้นงานในห้องระบบปิด และติดตั้งแผ่นกรองอากาศเพื่อทำการกรองฝุ่น
2. จัดการปัจจัยการเข้าของฝุ่นโดยการเปิดประตูเพื่อวัดค่าฝุ่นที่ประตุกรองได้ขณะนั้นภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง
3. จากนั้นทำการบันทึกผลภายใน 1 ชั่วโมง บันทึกผลทุกๆ 10 นาที
4. นำผลที่บันทึกได้หาค่าเฉลี่ยของฝุ่นที่วัดได้ขณะเปิดประตู
5. บันทึกผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับผลทดลองถัดไป

4.3.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานเครื่องประตुरองอากาศ ครั้งที่ 1

ระยะเวลา (นาที)	ระดับค่าฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
10	14	19	22
20	12	14	16
30	14	17	17
40	17	21	20
50	17	19	18
60	12	13	13
เฉลี่ย	14.3	17.2	17.6

จากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงค่าฝุ่นที่ผ่านการกรองโดยประตुरองอากาศในระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าในช่วง 10 นาทีแรกและเปรียบเทียบกับช่วง 60 นาที ค่าปริมาณฝุ่นที่วัดได้มีค่าลดลงอย่างชัดเจน ดังนั้นการกรองฝุ่นภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง การทำงานของประตुरองอากาศ มีผลต่อการกรองฝุ่นทั้ง 3 ชนิด อย่างชัดเจน ดังตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.4

4.4 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จ ครั้งที่ 1

ทดสอบการกรองอากาศและวัดระดับฝุ่น หลังการกรองเสร็จแล้ว 1 ครั้ง ภายในระยะเวลา 30 นาที และวัดผลทุกๆ 5 นาที และทำการบันทึกผลการทดลอง

4.4.1 วัดอุปประสงค์

1. เพื่อทดสอบการตรวจวัดค่าฝุ่นของเซ็นเซอร์
2. เพื่อทดสอบการแสดงผลของโปรแกรม โนตเรต จากค่าฝุ่นที่วัดได้
3. เพื่อทดสอบความสามารถในการกรองของแผ่นกรองอากาศ

4.4.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืนสำหรับดูดอากาศ
2. แผ่นกรองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น
4. พัฒนาระบบโครงหลักสำหรับระบายอากาศ
5. สมาร์ทโฟนสำหรับใช้งาน โน้ตเรด ในการแสดงผลค่าฝุ่น

4.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ปิดประตูเพื่อกรองค่าฝุ่นที่เข้ามาภายในห้องจากการทดลองครั้งที่ผ่านมา
2. วัดค่าฝุ่นที่ผ่านการกรองและเพื่อหาประสิทธิภาพการกรองอากาศของประตู
3. บันทึกและคำนวณค่าเฉลี่ยของฝุ่นที่ตรวจวัดได้เพื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบต่อไป

4.4.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.5 ตารางผลการทดลองการตรวจวัดค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จ ครั้งที่ 1

ระยะเวลา (นาที)	ระดับค่าฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
5	12	15	15
10	12	15	16
15	11	13	17
20	10	13	14
25	11	12	12
30	9	11	10
เฉลี่ย	10.8	13.2	14

จากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงค่าฝุ่นหลังการกรองของประตูกรองอากาศ จากผลการทดลองดังกล่าวนั้นแสดงให้เห็นว่าค่าฝุ่นที่ตรวจวัดได้นั้นมีปริมาณที่ค่อนข้างคงที่หากเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ผ่านมา สรุปได้ว่าหลังการกรองเสร็จค่าฝุ่นที่ตรวจวัดได้จะมีปริมาณที่ค่อนข้างคงที่หลังจากการกรองเสร็จ หรือไม่มีปริมาณฝุ่นที่เพิ่มขึ้นหลังจากการกรอง ดังตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.5

4.5 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานเครื่องประตุกรองอากาศ ครั้งที่ 2

ทำการทดสอบโดยเปิดประตู 1 ครั้ง และให้เครื่องกรองอากาศทำงานภายในระยะเวลา 60 นาที และทำการบันทึกผลการทดลอง

4.5.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบการตรวจวัดค่าฝุ่นของเซ็นเซอร์
2. เพื่อทดสอบการแสดงผลของโปรแกรม โนตเรด จากค่าฝุ่นที่วัดได้
3. เพื่อทดสอบความสามารถในการกรองของแผ่นกรองอากาศ

4.5.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืนสำหรับดูดอากาศ
2. แผ่นกรองอากาศ
3. เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น
4. พัดลมโครงเหล็กสำหรับระบายอากาศ
5. สมาร์ทโฟนสำหรับใช้งาน โนตเรด ในการแสดงผลค่าฝุ่น

4.5.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดประตูอีกครั้งตามการทดลองที่ 4.3
2. บันทึกผลการทดลองและคำนวณค่าเฉลี่ยของฝุ่นที่กรองได้อีกครั้ง
3. เพื่อความแม่นยำและชัดเจนจึงจำเป็นต้องทดลองอีกครั้งดังกล่าว

4.5.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.6 ตารางผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานเครื่องประตุกรองอากาศครั้งที่ 2

ระยะเวลา (นาที)	ระดับค่าฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
10	11	12	14
20	16	22	22
30	17	25	17
40	18	23	24
50	13	19	19
60	5	8	7
เฉลี่ย	13.3	18.2	17.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงค่าฝุ่นที่ตรวจวัดได้ขณะประตูกรองอากาศเปิดการทำงาน ค่าฝุ่นที่ตรวจวัดได้มีปริมาณเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับการทดลองที่ 4.6 แต่หากเปรียบเทียบให้ละเอียดในช่วง 10 นาทีกับช่วง 60 นาที ปริมาณฝุ่นที่ตรวจวัดได้ลดลงอย่างชัดเจนดังนั้น จากตารางบันทึกผลการทดลอง 4.6 ทำให้เห็นชัดว่าการกรองของประตูมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นตามผลของตารางบันทึกผลการทดลอง

4.6 การทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จ ครั้งที่ 2

ทดสอบการกรองอากาศและวัดระดับฝุ่น หลังการกรองเสร็จแล้ว ครั้งที่ 2 ภายในระยะเวลา 30 นาที และบันทึกผลการทดลองทุกๆ 5 นาที

4.6.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบการตรวจวัดค่าฝุ่นของเซ็นเซอร์
2. เพื่อทดสอบการแสดงผลของโปรแกรมโนดเรด จากค่าฝุ่นที่วัดได้
3. เพื่อทดสอบความสามารถในการกรองของแผ่นกรองอากาศ

4.6.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืนสำหรับดูดอากาศ
2. แผ่นกรองอากาศ
3. เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น
4. พัดลมโครงเหล็กสำหรับระบายอากาศ
5. สมาร์ทโฟนสำหรับใช้งานโนดเรด ในการแสดงผลค่าฝุ่น

4.6.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการการทดลองที่ 4.4
2. เมื่อได้ข้อมูลของการทดลองครบทั้งสี่การทดลองนำข้อมูลทั้งหมดมาเปรียบเทียบ
3. เปรียบเทียบค่าฝุ่นที่ทดสอบมาทั้งสี่ครั้งโดยนำเอาข้อมูลการทดลองที่ 4.2 เป็นตัวอย่าง
4. เพื่อเปรียบเทียบค่าฝุ่นที่กรองได้และค่าฝุ่นโดยรอบห้องจึงใช้ผลจากการที่ 4.2
5. นำค่าจากการทดลองและบันทึกผลทั้งหมดมาเปรียบเทียบและหาค่าเฉลี่ยระหว่างฝุ่นที่ลดลงได้ตั้งตารางการทดลองที่ 4.8
6. บันทึกผลการทดลองและทำการสรุปผลการทดลอง

4.6.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.7 ตารางผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จ ครั้งที่ 2

ระยะเวลา (นาท)	ระดับค่าฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
5	9	8	8
10	8	6	8
15	6	6	7
20	5	7	6
25	6	5	5
30	7	5	4
เฉลี่ย	6.8	6.2	6.3

จากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จในรอบที่ 2 ค่าปริมาณฝุ่นที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้อยู่ในระดับที่น่าพอใจมาก มีค่าฝุ่นในระดับ AQI 0-25 ซึ่งเป็นค่าที่มีปริมาณฝุ่นที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า หลังจากการกรองเสร็จในระยะเวลา 30 นาที ค่าฝุ่นอยู่ในระดับคงที่ และไม่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใดภายในห้องระบบปิดหลังการกรอง ดังตารางผลการทดลอง 4.6.3

4.6.5 รูปประกอบผลการทดลอง

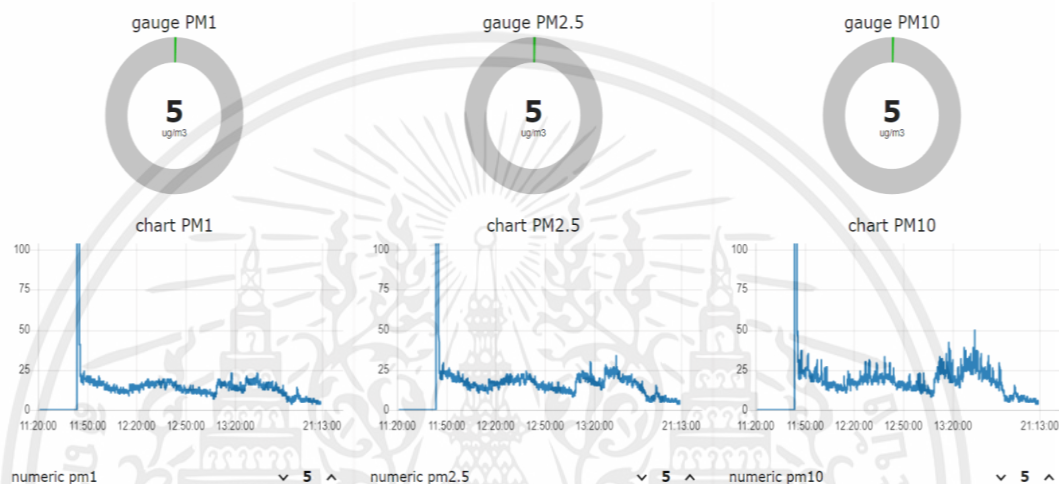


รูปที่ 4.5 การทดลองประตูลองอากาศในห้องระบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงการทดลองประตู่ภายในห้องที่เป็นระบบปิด โดยขั้นแรกเริ่มจากการติดตั้งประตู่ภายในห้อง และจ่ายไฟเข้าตัวเครื่องโดยใช้ไฟกระแสสลับหรือไฟบ้าน จากนั้นรอให้ตัวเครื่องเชื่อมต่อกับไวไฟอัตโนมัติ ตรวจสอบได้จากการเข้าแอปพลิเคชัน หากเชื่อมต่อเสร็จแล้วจะเข้าหน้าแอปพลิเคชันได้ทันที เมื่อตัวเครื่องพร้อมทำงานแล้ว จากนั้นเริ่มการทดลองตั้งการทดลองที่ 4.3-4.7

4.7 ผลการรับค่าฝุ่น



รูปที่ 4.4 ผลการรับค่าฝุ่น

จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงผลรูปกราฟฝุ่นทั้งสามชนิด จะเห็นได้ว่า ขนาดของกราฟมีลักษณะของการขึ้นและลงที่ใกล้เคียงกัน ในช่วงเวลาเดียวกัน แสดงถึงการลดและเพิ่มของปริมาณฝุ่นที่ทดสอบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เซ็นเซอร์ฝุ่นที่ตรวจจับได้ในช่วงของการทดสอบหลังกรองเสร็จจะมีปริมาณฝุ่นที่ลดลงอย่างชัดเจนของฝุ่นทั้งสามชนิด และปริมาณกราฟที่ลดลงนี้เองแสดงให้เห็นชัดว่าการกรองฝุ่นของประตู่มีประสิทธิภาพการกรองตามผลการทดลองที่ทดสอบไว้นั่นเอง

ตารางที่ 4.8 ตารางผลการทดลองเปรียบเทียบค่าฝุ่นที่ลดลง ครั้งที่ 1 -2

ตารางเปรียบเทียบค่าฝุ่นที่ลดลง ครั้งที่ 1			
	PM 1	PM 2.5	PM 10
ค่าฝุ่นภายนอก (ตาราง 4.2)	70.5	75.3	82.3
การกรองฝุ่น ครั้งที่ 1	14.3	17.2	17.6
ค่าฝุ่นหลังการกรอง ครั้งที่ 1	10.8	13.2	14
ค่าฝุ่นที่ลดลงเฉลี่ย 1	3.5	4	3.6
เปรียบเทียบค่าฝุ่นที่ลดลงกับภายนอก (ร้อยละ)	84.68	83.26	82.98
ตารางเปรียบเทียบค่าฝุ่นที่ลดลง ครั้งที่ 2			
การกรองฝุ่น ครั้งที่ 2	13.3	18.2	17.2
ค่าฝุ่นหลังการกรอง ครั้งที่ 2	6.8	6.2	6.3
ค่าฝุ่นที่ลดลงเฉลี่ย 2	6.5	12	10.9
เปรียบเทียบค่าฝุ่นที่ลดลงกับภายนอก (ร้อยละ)	90.35	91.76	92.34

4.8 การทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิเปรียบเทียบมาตรฐาน

ทดสอบระยะเวลาการตรวจจับของเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ทั้งเซ็นเซอร์ที่ติดกับประตูและเครื่องวัดอุณหภูมิแบบมาตรฐาน โดยวัดผลระยะตั้งแต่ 0 ถึง 4 เซนติเมตร เป็นจำนวน 10 ครั้ง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพรวมถึงความแม่นยำของเซ็นเซอร์ที่นำมาติดกับประตูและทดสอบความคลาดเคลื่อนของการทำงานของเซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ

4.8.1 วัดจุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบการตรวจวัดค่าอุณหภูมิของเซ็นเซอร์
2. เพื่อทดสอบการแสดงผลของโปรแกรม โนตเรด จากค่าฝุ่นที่วัดได้
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับประตู

4.8.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. จอไอแอลอีดี
2. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ
4. สมาร์ทโฟนสำหรับใช้งาน โนคเรด ในการแสดงผลค่าอุณหภูมิ

4.8.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทดลองวัดค่าอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบมาตรฐานเพื่อนำมาเป็นค่าตัวอย่าง
2. ทดลองวัดค่าอุณหภูมิด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิของชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบ
3. บันทึกผลการทดลองทั้งหมด 10 ครั้งโดยมีระยะห่างทั้งหมด 5 ระยะ

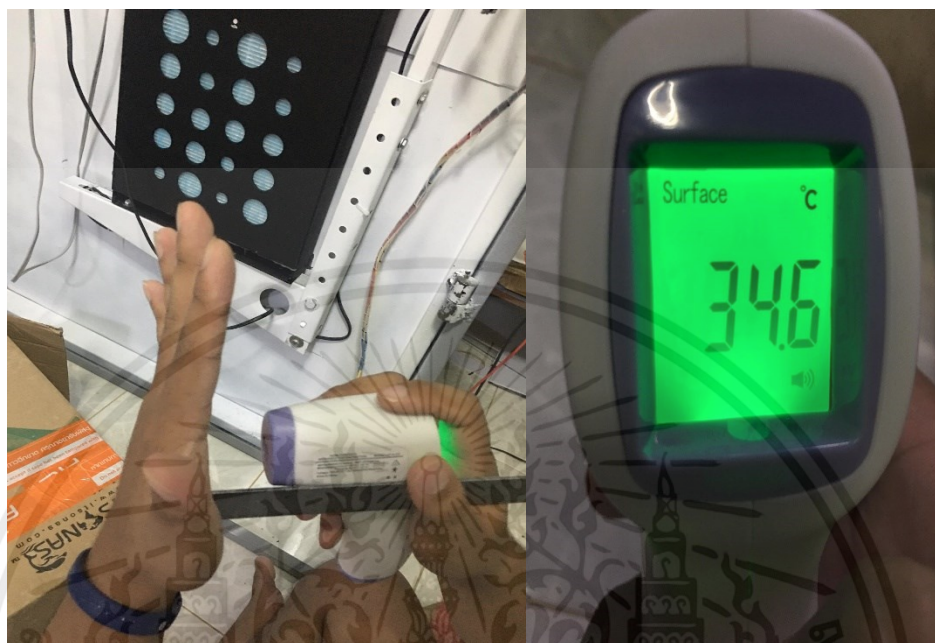
4.8.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิเปรียบเทียบมาตรฐาน

ลำดับ ครั้ง ทดลอง	0 cm		1 cm		2 cm		3 cm		4 cm	
	เซ็นเซอร์ ประตู	เครื่องวัด อุณหภูมิ	เซ็นเซอร์ ประตู	เครื่องวัด อุณหภูมิ	เซ็นเซอร์ ประตู	เครื่องวัด อุณหภูมิ	เซ็นเซอร์ ประตู	เครื่องวัด อุณหภูมิ	เซ็นเซอร์ ประตู	เครื่องวัด อุณหภูมิ
1	35.15	36.7	35.55	35.9	34.69	35.3	33.55	35.4	34.77	35.3
2	36.61	36.8	34.83	34.8	34.85	35.3	34.89	35.6	34.83	35.4
3	37.05	36.9	34.75	35.3	35.07	35.9	34.93	35.6	34.85	34.6
4	35.61	36.3	34.59	35.4	34.91	35.9	35.05	35.7	34.97	34.5
5	37.01	37.0	34.81	35.4	35.05	35.8	35.07	35.8	34.77	34.0
6	37.85	37.0	34.89	35.5	35.21	35.7	35.01	35.7	34.83	34.7
7	36.49	36.9	34.69	35.6	35.23	35.8	35.09	35.7	34.91	34.5
8	36.21	36.8	35.09	35.8	35.01	35.7	35.13	35.8	34.93	34.3
9	36.73	36.8	34.93	35.3	35.19	35.9	34.91	35.9	34.85	34.3
10	36.33	36.8	35.21	35.4	35.05	35.8	35.05	35.7	34.93	34.4
เฉลี่ย	36.5	36.8	34.9	35.4	35.0	35.7	34.9	35.7	34.9	34.6

จากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่างเซ็นเซอร์ที่ทดลองกับเซ็นเซอร์ที่มีมาตรฐานตามท้องตลาดจากการทดลองตามระยะทั้งห้าระยะ จะเห็นได้ว่าเซ็นเซอร์ทั้งสองมีความเคลื่อนที่ต่างกันเล็กน้อยทั้งความคลาดเคลื่อนตามระยะห่างและความคลาดเคลื่อนของการตรวจจับอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้ทดลองและเซ็นเซอร์ตามท้องตลาดมีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจวัดที่ใกล้เคียงกัน จึงมั่นใจได้ว่าเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้สามารถนำมาทดแทนเซ็นเซอร์อุณหภูมิตามท้องตลาดได้

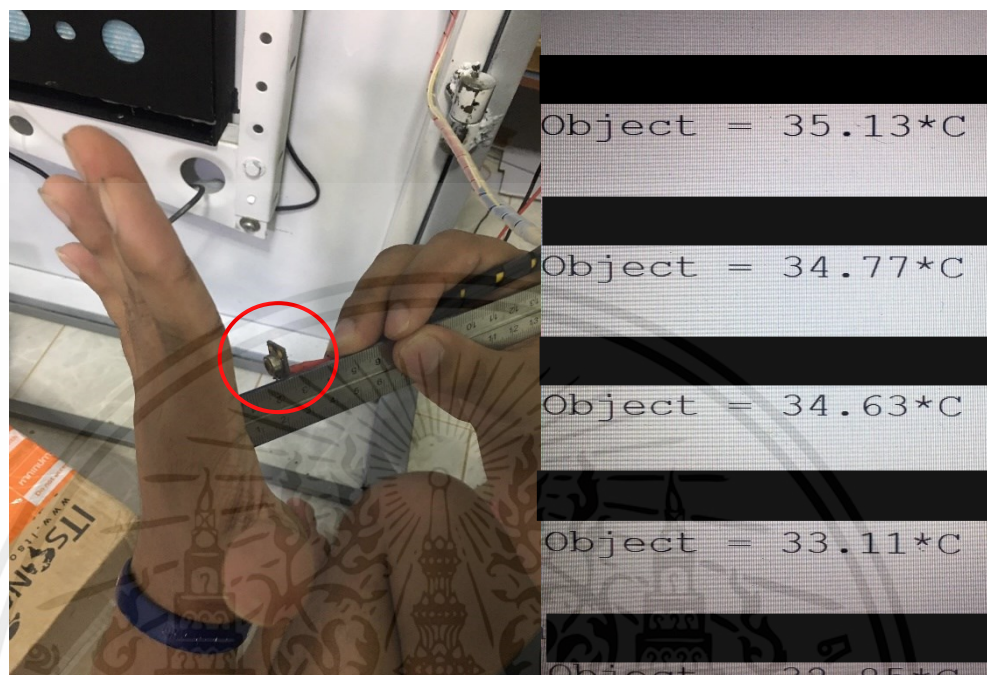
4.8.5 รูปประกอบผลการทดลอง



รูปที่ 4.6 การทดลองวัดและเก็บค่าอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน

จากรูปที่ 4.6 แสดงถึงการทดลองวัดอุณหภูมิฝามือด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานและเก็บค่าเพื่อนำมาเป็นค่าตัวอย่างในการเปรียบเทียบและคำนวณค่าความแม่นยำของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ติดตั้งภายในชิ้นงาน โดยขั้นตอนการทดลองมีทั้งหมด 5 ขั้นตอนตามระยะห่างระหว่างฝามือและเครื่องวัดอุณหภูมิโดยมีระยะห่างทุกหนึ่งหน่วยเซนติเมตร และแต่ละขั้นตอนจะทดลองทั้งหมด 10 ครั้งเพื่อนำค่าทั้งหมดที่เก็บผลได้มาเฉลี่ยหาความแม่นยำและนำผลที่เก็บได้มาเปรียบเทียบกับผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตัวเครื่องชิ้นงานดังตารางที่ 4.9

4.8.6 รูปประกอบผลการทดลอง



รูปที่ 4.7 การทดลองวัดและเก็บค่าอุณหภูมิด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.7 แสดงถึงการทดลองวัดอุณหภูมิฝ่ามือด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ(วงกลมสีแดงในรูป) และเก็บค่าผลข้อมูล เพื่อนำมาเป็นค่าตัวอย่างในการเปรียบเทียบและคำนวณค่าความแม่นยำของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ติดตั้งภายในชิ้นงาน โดยขั้นตอนการทดลองมีทั้งหมด 5 ขั้นตอนตามระยะห่างระหว่างฝ่ามือและเครื่องวัดอุณหภูมิโดยมีระยะห่างทุกหนึ่งหน่วยเซนติเมตร และแต่ละขั้นตอนจะทดลองทั้งหมด 10 ครั้งเพื่อนำค่าทั้งหมดที่เก็บผลได้มาเฉลี่ยหาความแม่นยำและนำผลที่เก็บได้มาเปรียบเทียบกับผลข้อมูลกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานดังตารางที่ 4.9

4.9 การทดลองเซ็นเซอร์ฝุ่น เปรียบเทียบมาตรฐาน

ทดสอบระยะเวลาการตรวจจับของเซ็นเซอร์วัดค่าฝุ่น ทั้งเซ็นเซอร์ที่ติดกับประตูและเครื่องวัดฝุ่น แบบมาตรฐานชนิดที่มีการวัดเพียง PM 2.5 โดยวัดผลเป็นจำนวน 10 ครั้ง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของเซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศ

4.9.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบการตรวจวัดค่าฝุ่น ของเซ็นเซอร์
2. เพื่อทดสอบการแสดงผลของโปรแกรม โนดเรต จากค่าฝุ่นที่วัดได้
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับประตู

4.9.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืนสำหรับดูดอากาศ
2. แผ่นกรองอากาศ
3. เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น
4. พัดลมโครงเหล็กสำหรับระบายอากาศ
5. สมาร์ทโฟนสำหรับใช้งาน โนดเรต ในการแสดงผลค่าฝุ่น
6. เครื่องวัดฝุ่น แบบมาตรฐานชนิดวัด PM 2.5

4.9.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. วัดค่าฝุ่นด้วยเซ็นเซอร์แบบมาตรฐานเพื่อนำมาเป็นข้อมูลตัวอย่าง
2. วัดค่าฝุ่นด้วยเซ็นเซอร์จากชิ้นงานเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อน
3. บันทึกผลการทดลองและสรุปผลความคลาดเคลื่อน

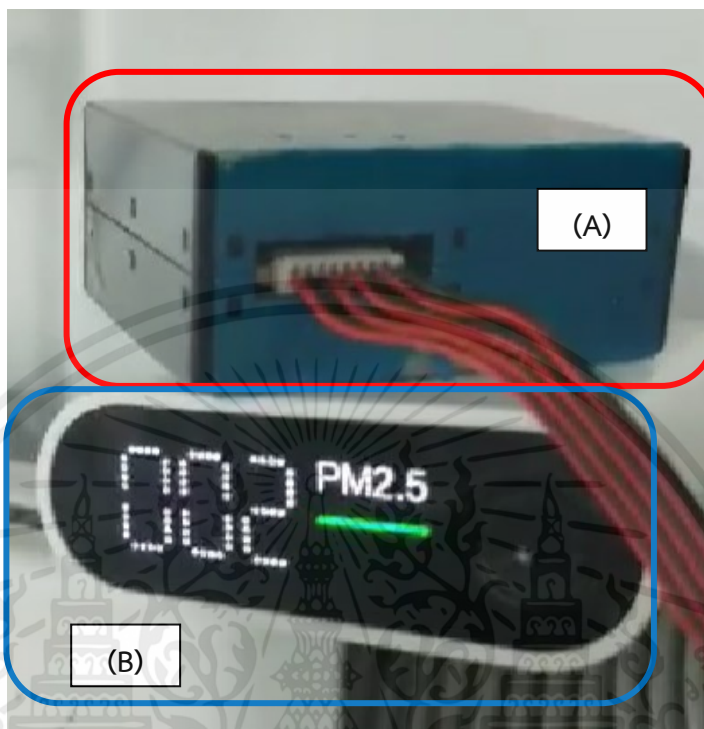
4.9.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.10 ตารางผลการทดลองเซ็นเซอร์ฝุ่น เปรียบเทียบมาตรฐาน

ลำดับครั้ง การทดลอง	PM 1 ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		PM 10 ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)	
	เซ็นเซอร์ PM ประตู	เครื่องวัด PM มาตรฐาน	เซ็นเซอร์ PM ประตู	เครื่องวัด PM มาตรฐาน	เซ็นเซอร์ PM ประตู	เครื่องวัด PM มาตรฐาน
1	15	-	17	16	18	-
2	9	-	10	9	11	-
3	10	-	10	10	13	-
4	8	-	9	8	9	-
5	10	-	10	10	10	-
6	4	-	4	5	4	-
7	6	-	6	6	8	-
8	4	-	4	5	4	-
9	4	-	3	3	5	-
10	5	-	2	2	5	-

จากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงการเปรียบเทียบความแม่นยำประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์กรองอากาศระหว่างเซ็นเซอร์ที่ใช้และเซ็นเซอร์ที่มีมาตรฐานตามท้องตลาด ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบใน PM 2.5 ซึ่งเป็นค่าที่เซ็นเซอร์ที่มีมาตรฐานสามารถตรวจวัดได้ โดยการวัดฝุ่นใช้ปัจจัยการวัดที่เหมือนกันทั้งสถานที่ อุณหภูมิห้องเดียวกัน วัดเป็นจำนวนครั้งทั้งหมดสิบครั้ง ดังผลการทดลองจะเห็นว่า ค่าที่ตรวจวัดได้ของทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก มีความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ จำนวนครั้งที่คลาดเคลื่อนน้อย

4.9.5 รูปประกอบผลการทดลอง



รูปที่ 4.8 การทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าฝุ่นระหว่างเซ็นเซอร์วัดฝุ่นและเครื่องวัดค่าฝุ่นมาตรฐาน

จากรูปที่ 4.8 แสดงถึงเซ็นเซอร์วัดฝุ่นในกรอบสีแดง (A) ดังภาพสามารถตรวจวัดค่าฝุ่นได้สามชนิดคือ PM1, PM 2.5, PM 10 และเครื่องวัดค่าฝุ่นมาตรฐานในกรอบสีน้ำเงิน (B) ดังภาพดังกล่าว สามารถตรวจจับและวัดค่าฝุ่นชนิด PM 2.5 ได้เพียงค่าเดียวเท่านั้น

ซึ่งการทดลองจะนำเครื่องทั้งสองวัดค่าฝุ่นบริเวณเดียวกันและวัดค่าภายในระยะเวลาเดียวกัน โดยการทดลองมีทั้งหมด 10 ครั้ง บันทึกผลการทดลองทุกหนึ่งนาที โดยจะบันทึกค่าฝุ่นจากเซ็นเซอร์วัดฝุ่นทั้งสามค่าฝุ่น และบันทึกค่าฝุ่นที่ได้จากเครื่องวัดอนุกรมมาตรฐานตามการทดลองที่ 4.9

เมื่อทำการเก็บผลการทดลองครบแล้ว จะนำค่าเหล่านี้มาคำนวณเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์วัดฝุ่นภายในชิ้นงาน ดังตารางที่ 4.10

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปในการทดลองจากบทที่ 4 ประกอบด้วย สรุปผลการทดลองจากการทดลองทั้งหมด ข้อมูลการปัญหาและอุปสรรคของตัวเครื่องชิ้นงาน และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองหลังการใช้ประตูอัจฉริยะเพื่อกรองอากาศหากเปรียบเทียบการทดลองในแต่ละครั้งจะเห็นได้ชัดว่าการกรองภายในของประตูมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นค่าฝุ่นที่แสดงผลได้ ภายในห้องมีปริมาณที่ลดลงทั้ง PM1 PM2.5 และ PM10 ที่มีค่า AQI อยู่ในมาตรฐานในระดับที่ดี ตามดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย ตามอ้างอิงของกรมควบคุมมลพิษ

ตารางที่ 1 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	คำอธิบาย
0 - 25	คุณภาพอากาศดีมาก	ฟ้า	คุณภาพอากาศดีมาก เหมาะสำหรับกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยว
26 - 50	คุณภาพอากาศดี	เขียว	คุณภาพอากาศดี สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยวได้ตามปกติ

รูปที่ 5.1 อ้างอิงข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ

5.1.1 สรุปผลการทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

สรุปผลการทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจากผลการทดลองค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ตามระยะต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากเซ็นเซอร์น้อยตามตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.1.3

5.1.2 สรุปผลการทดลองตรวจจับฝุ่นทั้งสามชนิด

สรุปผลการทดลองค่าฝุ่นภายนอกที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงที่วัดผลทุกๆ 10 นาที จะเห็นได้ว่า ปริมาณฝุ่นมีค่าปานกลางในระดับมาตรฐานตามเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศ AQI ในช่วง 51 ถึง 100 ดังรูปที่ 2.3

5.1.3 สรุปผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานประตูกรองอากาศครั้งที่ 1

สรุปจากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงค่าฝุ่นที่ผ่านการกรองโดยประตูกรองอากาศในระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าในช่วง 10 นาทีแรกและเปรียบเทียบกับช่วง 60 นาที ค่าปริมาณฝุ่นที่วัดได้มีค่าลดลงอย่างชัดเจน ดังนั้นการกรองฝุ่นภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง การทำงานของประตูกรองอากาศมีผลต่อการกรองฝุ่นทั้ง 3 ชนิด อย่างชัดเจน

5.1.4 สรุปผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นหลังกรองเสร็จ ครั้งที่ 1

สรุปจากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงค่าฝุ่นหลังการกรองของประตูกรองอากาศ จากผลการทดลองดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าค่าฝุ่นที่ตรวจวัดได้นั้นมีปริมาณที่ค่อนข้างคงที่หากเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ผ่านมา สรุปได้ว่าหลังการกรองเสร็จค่าฝุ่นที่ตรวจวัดได้จะมีปริมาณที่ค่อนข้างคงที่หลังจากการกรองเสร็จ หรือไม่มีปริมาณฝุ่นที่เพิ่มขึ้นหลังจากการกรอง

5.1.5 สรุปผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นเมื่อเปิดใช้งานประตูกรองอากาศครั้งที่ 2

สรุปจากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงค่าฝุ่นที่ตรวจวัดได้ขณะประตูกรองอากาศเปิดการทำงาน ค่าฝุ่นที่ตรวจวัดได้มีปริมาณเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับการทดลองที่ 4.4 แต่หากเปรียบเทียบให้ละเอียดในช่วง 10 นาทีแรกกับช่วง 60 นาทีนั้น ปริมาณฝุ่นที่ตรวจวัดได้ลดลงอย่างชัดเจนดังนั้น จากตารางบันทึกผลการทดลอง 4.5.3 ทำให้เห็นชัดว่าการกรองของประตูมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นตามผลของตารางบันทึกผลการทดลองดังกล่าว

5.1.6 สรุปผลการทดลองตรวจวัดค่าฝุ่นหลังกรองเสร็จ ครั้งที่ 2

สรุปจากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงค่าฝุ่นหลังการกรองเสร็จในรอบที่ 2 ค่าปริมาณฝุ่นที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้อยู่ในระดับที่น่าพอใจมาก มีค่าฝุ่นในระดับ AQI 0-25 ซึ่งเป็นค่าที่มีปริมาณฝุ่นที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า หลังจากการกรองเสร็จในระยะเวลา 30 นาที ค่าฝุ่นอยู่ในระดับคงที่ และไม่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใดภายในห้องระบบปิดหลังการกรอง

5.1.7 สรุปผลการทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิเปรียบเทียบมาตรฐาน

สรุปจากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่างเซ็นเซอร์ที่ทดลองกับเซ็นเซอร์ที่มีมาตรฐานตามท้องตลาดจากการทดลองตามระยะทั้งห้าระยะ จะเห็นได้ว่าเซ็นเซอร์ทั้งสองมีความเคลื่อนที่ต่างกันเล็กน้อย ทั้งความคลาดเคลื่อนตามระยะห่างและความคลาดเคลื่อนของการตรวจจับอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้ทดลองและเซ็นเซอร์ตามท้องตลาดมีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจวัดที่ใกล้เคียงกัน จึงมั่นใจได้ว่าเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้สามารถนำมาทดแทนเซ็นเซอร์อุณหภูมิตามท้องตลาดได้

5.1.8 สรุปผลการทดลองเซ็นเซอร์ฝุ่นเปรียบเทียบมาตรฐาน

สรุปจากตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงถึงการเปรียบเทียบความแม่นยำประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์กรองอากาศระหว่างเซ็นเซอร์ที่ใช้และเซ็นเซอร์ที่มีมาตรฐานตามท้องตลาด ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบใน PM 2.5 ซึ่งเป็นค่าที่เซ็นเซอร์ที่มีมาตรฐานสามารถตรวจวัดได้ โดยการวัดฝุ่นใช้ปัจจัยการวัดที่เหมือนกันทั้งสถานที่ อุณหภูมิห้องเดียวกัน วัดเป็นจำนวนครั้งทั้งหมดสิบครั้ง ดังผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าที่ตรวจวัดได้ของทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก มีความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ จำนวนครั้งที่คลาดเคลื่อนน้อย ดังนั้นสรุปได้ว่า เซ็นเซอร์ที่นำมาใช้เปรียบเทียบกับเซ็นเซอร์มาตรฐานนั้น มีความแม่นยำที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานระดับท้องตลาดมาก

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ปัญหาในส่วนของ การจัดวางอุปกรณ์ เนื่องจากขนาดของอุปกรณ์มีผลต่อการจัดวาง ทำให้ไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ด้วยพื้นที่ภายในประตูที่มีความจำกัดภายในประตู ซึ่งเป็นไปได้ยากในการออกแบบให้เหมาะสมกับอุปกรณ์
2. ปัญหาในส่วนของ การติดตั้งวงจรที่จำเป็นต้องออกแบบกล่องใส่อุปกรณ์เอง ซึ่งในการออกแบบครั้งแรกได้ออกแบบใส่กล่องอุปกรณ์ไว้ภายในตัวประตูซึ่งมีข้อจำกัดด้านพื้นที่
3. ในส่วนของ การออกแบบกล่องระบายลมที่ทำด้วยอะคริลิก ในส่วนนี้เองได้เกิดอุปสรรคด้านอุปกรณ์การจัดทำ ทั้งเครื่องตัดอะคริลิก ทำให้เกิดการออกแบบที่คลาดเคลื่อนเพราะอุปกรณ์ที่ใช้ทำให้ตัดอะคริลิกไม่เป็นไปตามรูปแบบที่ตั้งไว้ หรือน้ำยาผสมสีที่หาซื้อเองและได้น้ำยาที่ไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะยึดติด

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ตัวประตูออกแบบมาเพื่อรองรับไฟกระแสสลับหรือไฟบ้านเป็นแหล่งจ่ายไฟ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานภายในบ้าน ดังนั้นการใช้ไฟกระแสสลับจึงง่ายต่อการใช้งานและตอบโจทย์มากที่สุด
2. ติดตั้งประตูกรองอากาศในพื้นที่ระบบปิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น ผู้ออกแบบจัดทำประตูที่ตอบโจทย์สำหรับห้องที่มีระบบปิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประหยัดพื้นที่ใช้งานภายในห้อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] “เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับกรองอากาศ”, (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : https://www.acat.or.th/download/acat_or_th
เข้าครั้งสุดท้าย 5 มิถุนายน 2565
- [2] “รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศ”, (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <https://bangkokairquality.com/bma/index.p>
เข้าครั้งสุดท้าย 5 มิถุนายน 2565
- [3] “ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ”, (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : www.Air4Thai (pcd.go.th)
เข้าครั้งสุดท้าย 6 มิถุนายน 2565
- [4] “หลักการกรองอากาศ”, (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : https://www.acat.or.th/download/acat_or_th
เข้าครั้งสุดท้าย 6 มิถุนายน 2565
- [5] “ฝุ่นละออง ฝุ่นขนาดใหญ่ PM 10 และฝุ่นขนาดเล็ก PM 2.5”, (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <https://www.aballtechno.com/article/71>
เข้าครั้งสุดท้าย 6 มิถุนายน 2565
- [6] “Node MCU ESP32”, (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <https://www.artronshop.co.th/article/51/esp32->
เข้าครั้งสุดท้าย 7 มิถุนายน 2565
- [7] “อุปกรณ์รับ-ส่งอินพุตเอาต์พุต (INPUT/OUTPUT Module)”, (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <http://pws.npru.ac.th/areerat/system>
เข้าครั้งสุดท้าย 7 มิถุนายน 2565
- [8] ดร.กอบเกียรติ สระอุบล,พัฒนา, IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi,กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 25

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [9] “เซ็นเซอร์ตรวจจับฝุ่นละออง วัดคุณภาพอากาศ Laser Dust Sensor PMS3003 Arduino”, (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <https://www.princess-it-foundation.org/project>
เข้าครั้งสุดท้าย 8 มิถุนายน 2565
- [10] “พัดลมหอยโข่งแบบลูกปืน” , (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <https://www.priceza.com>
เข้าครั้งสุดท้าย 8 มิถุนายน 2565
- [11] “พัดลมระบายอากาศ Cooling Fan” , (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <https://www.oceancoolpartshop.com>
เข้าครั้งสุดท้าย 8 มิถุนายน 2565
- [12] “เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส GY-906-BAA MLX9061” , (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <https://www.ec-bot.com/product>
เข้าครั้งสุดท้าย 9 มิถุนายน 2565
- [13] “Node-RED” , (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <https://th.locogreenbiz.org>
เข้าครั้งสุดท้าย 9 มิถุนายน 2565
- [14] “MQTT” , (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <http://kbx.makerasia.com>
เข้าครั้งสุดท้าย 11 มิถุนายน 2565
- [15] “จอ OLED”
แหล่งที่มา : <https://www.arduitronics.com>
เข้าครั้งสุดท้าย 12 มิถุนายน 2565
- [16] “เครื่องวัดค่าฝุ่น Xiaomi Mi PM 2.5 Monitor” , (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <https://www.bnn.in.th>
เข้าครั้งสุดท้าย 20 มิถุนายน 2565

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [17] “เครื่องวัดอุณหภูมิหน้าผาก UX-A-03” , (ระบบออนไลน์)
แหล่งที่มา : <https://th.aliexpress.com>
เข้าครั้งสุดท้าย 20 มิถุนายน 2565
- [18] รศ.ดร.เดชฤทธิ์ มณีธรรม,คัมภีร์การใช้งานระบบปัญญาประดิษฐ์และ (AI) และ อินเทอร์เน็ตใน
ทุกสิ่ง (IoT),กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2563.
- [19] อ.นพ มหิษานนท์, Arduino Smart Home Projects,กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น,2562.
- [20] อ.นพ มหิษานนท์, Arduino Startup สนุกสุดเหวี่ยงกับเซ็นเซอร์,กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น,2560.
- [21] ผศ.ดร. เดชฤทธิ์ มณีธรรม,คัมภีร์การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino,กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด
ยูเคชั่น,2559.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดสื่อสารและควบคุมการทำงานของพัลลัมผ่านระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง

```

#include <WiFi.h>

#include <SPI.h>

#include <Wire.h>

#include <PubSubClient.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#include <Adafruit_MLX90614.h>

#include <Adafruit_GFX.h>

#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define WIFI_STA_NAME "13/41"

#define WIFI_STA_PASS "0816946848"

#define MQTT_SERVER "broker.hivemq.com"

#define MQTT_PORT 1883

#define MQTT_USERNAME ""

#define MQTT_PASSWORD ""

#define MQTT_NAME "ESP32matee+"

#define OLED_RESET 16

Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);

int LED_PIN = 23;

#define LED_BUILTIN 23

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int relayA = 13;

int relay2 = 12;

int relay3 = 14;

int relay4 = 27;

SoftwareSerial mySerial(RX,TX); // RX, TX

unsigned int pm1 = 0;

unsigned int pm2_5 = 0;

unsigned int pm10 = 0;

unsigned int T = 0;

String Vpm1 = String(pm1);

WiFiClient client;

PubSubClient mqtt(client);

char msg1[50];

char msg2[50];

char msg3[50];

char msg4[50];

char msg5[50];

// _____mqtt_____

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {

    payload[length] = '\0';

    String topic_str = topic, payload_str = (char*)payload;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println("[ " + topic_str + "]: " + payload_str);

if (payload_str == "ON"){

digitalWrite(LED_PIN,HIGH );

Serial.println("LED ON ");}

if (payload_str == "Off"){

digitalWrite(LED_PIN,LOW );

Serial.println("LED LOW ");}

if (payload_str == "ONRELAY"){

digitalWrite(relayA,HIGH );

Serial.println("relay1 ON ");}

if (payload_str == "OffRELAY"){

digitalWrite(relayA,LOW );

Serial.println("relay1 Off ");}

if (payload_str == "ONRELAY2"){

digitalWrite(relay2,HIGH );

Serial.println("relay2 ON ");}

if (payload_str == "OffRELAY2"){

digitalWrite(relay2,LOW );

Serial.println("relay2 Off ");}

if (payload_str == "ONRELAY3"){

digitalWrite(relay3,HIGH );

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println("relay3 ON ");}

if (payload_str == "OffRELAY3"){

digitalWrite(relay3,LOW );

Serial.println("relay3 Off ");}

if (payload_str == "ONRELAY4"){

digitalWrite(relay4,HIGH );

Serial.println("relay4 ON ");}

if (payload_str == "OffRELAY4"){

digitalWrite(relay4,LOW );

Serial.println("relay4 Off ");}

// _____mqtt_____
}

void setup() {

Serial.begin(9600);

mx.begin();

display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c); //สั่งให้จอแอลอีดี เริ่มทำงานที่ Address
0x3C

display.clearDisplay(); // ลบภาพในหน้าจอทั้งหมด

display.setTextSize(1); // กำหนดขนาดตัวอักษร

display.setTextColor(WHITE);

display.setCursor(0,0); // กำหนดตำแหน่ง x,y ที่จะแสดงผล

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

display.println(" OLED 0.96 TESTER ");

display.setCursor(0,10);

display.setTextSize(2);

display.setTextColor(BLACK, WHITE); //กำหนดข้อความสีขาว ฉากหลังสีดำ

display.println(" Myarduino");

display.setCursor(0,32);

display.setTextSize(1);

display.setTextColor(WHITE);

display.println("128 x 64 Pixels 0.96");

display.setCursor(0,48);

display.setTextSize(1);

display.setTextColor(WHITE);

display.println("Smart door of air"); // แสดงผลข้อความ

display.display();

// _____ mqtt _____

pinMode(relayA, OUTPUT);

pinMode(relay2, OUTPUT);

pinMode(relay3, OUTPUT);

pinMode(relay4, OUTPUT);

pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

pinMode(LED_PIN, OUTPUT);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println();

Serial.println();

Serial.print("Connecting to ");

Serial.println(WIFI_STA_NAME)

WiFi.mode(WIFI_STA);

WiFi.begin(WIFI_STA_NAME, WIFI_STA_PASS);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
  digitalWrite(LED_BUILTIN, !digitalRead(LED_BUILTIN));
}
digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");
Serial.println("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

mqtt.setServer(MQTT_SERVER, MQTT_PORT);

mqtt.setCallback(callback);

// _____mqtt_____

while (!Serial) ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mySerial.begin(9600);

}

void loop() {

int index = 0;

char value;

char previousValue;

//AT = mlx.readObjectTempC();

Serial.println();

delay(500);

//ss//

while (mySerial.available()) {

value = mySerial.read();

if ((index == 0 && value != 0x42) || (index == 1 && value != 0x4d)){

Serial.println("Cannot find the data header.");

break;

}

if (index == 4 || index == 6 || index == 8 || index == 10 || index == 12 || index == 14) {

previousValue = value;

T= mlx.readObjectTempC();

}

else if (index == 5) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pm1 = 256 * previousValue + value;

Serial.print("{ ");

Serial.print("\pm1\ ": ");

Serial.print(pm1);

Serial.print(" ug/m3");

Serial.print(", ");

}

else if (index == 7) {

pm2_5 = 256 * previousValue + value;

Serial.print("\pm2_5\ ": ");

Serial.print(pm2_5);

Serial.print(" ug/m3");

Serial.print(", ");

}

else if (index == 9) {

pm10 = 256 * previousValue + value;

Serial.print("\pm10\ ": ");

Serial.print(pm10);

Serial.print(" ug/m3");

}

else if (index > 15) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

break;

}

index++;

}if(T > 36){

display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c); //สั่งให้จอโอแอลอีดี เริ่มทำงานที่ Address 0x3C

display.clearDisplay(); // ลบภาพในหน้าจอทั้งหมด

display.setTextSize(1); // กำหนดขนาดตัวอักษร

display.setTextColor(WHITE);

display.setCursor(0,0); // กำหนดตำแหน่ง x,y ที่จะแสดงผล

display.println("Temp ");

display.setCursor(0,10);

display.setTextSize(3);

display.setTextColor(WHITE,BLACK); //กำหนดข้อความสีขาว ฉากหลังสีดำ

display.println(mlx.readObjectTempC());

display.setCursor(0,32);

display.display();

delay (2000); }

while(mySerial.available()) mySerial.read();

Serial.println("...");

sprintf (msg1, 75,"%ld",pm1);

mqtt.publish("/ESP/LED/",msg1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

snprintf (msg2, 25, "%ld",pm2_5);

mqtt.publish("/ESP/LED1/",msg2);

snprintf (msg3, 30, "%ld",pm10);

mqtt.publish("/ESP/LED2/",msg3);

snprintf (msg4, 35, "%ld",T);

mqtt.publish("/ESP/TEMP/",msg4);

delay(1000);

// _____mqtt_____

if (mqtt.connected() == false) {

  Serial.print("MQTT connection... ");

  if (mqtt.connect(MQTT_NAME, MQTT_USERNAME, MQTT_PASSWORD)) {

    Serial.println("connected");

    mqtt.subscribe("/ESP32_1/LED");

    mqtt.subscribe("/ESP32_1/RELAY");

    mqtt.subscribe("/ESP32_1/RELAY2");

    mqtt.subscribe("/ESP32_1/RELAY3");

    mqtt.subscribe("/ESP32_1/RELAY4");

  } else {

    Serial.println("failed");

    delay(500);

  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
} else {  
    mqtt.loop();  
}  
  
// _____ mqtt _____  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

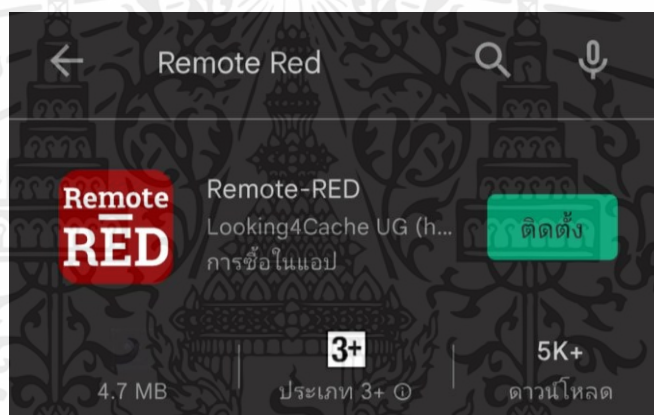
ขั้นตอนการใช้งาน

1. ติดตั้งประตูและเสียบปลั๊กไฟเพื่อเปิดเครื่องการทำงาน
2. เช็ตการตั้งค่ารับสัญญาณไวไฟ ของตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูป ข.1

```
define WIFI_STA_NAME [REDACTED] "1"
define WIFI_STA_PASS [REDACTED] "3"
define MQTT_SERVER "broker.hivemq.com"
```

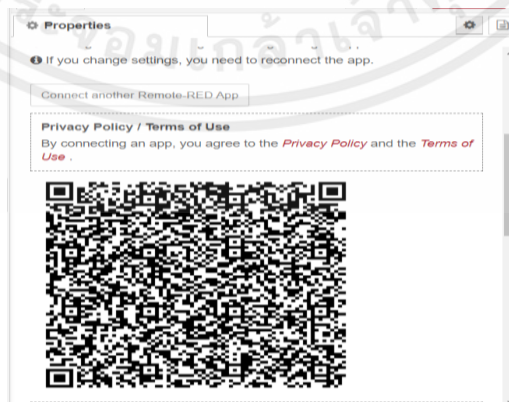
รูปที่ ข.1 การเซ็ตการตั้งค่า WiFi ของ ESP32

3. ติดตั้งแอปพลิเคชันรีโมทเรด ดังรูป ข.2



รูปที่ ข.2 แอปพลิเคชัน Remote-RED

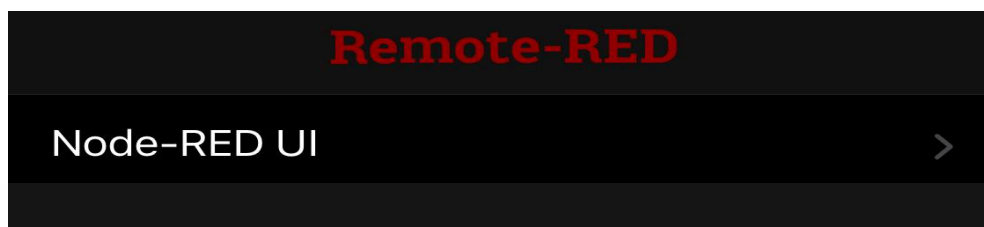
4. เปิดตัวแอปพลิเคชันสแกน QR เพื่อเข้าสู่ระบบในตัวแอป ดังรูป ข.3



รูปที่ ข.3 หน้า QR เพื่อเข้าสู่ระบบในตัวแอป

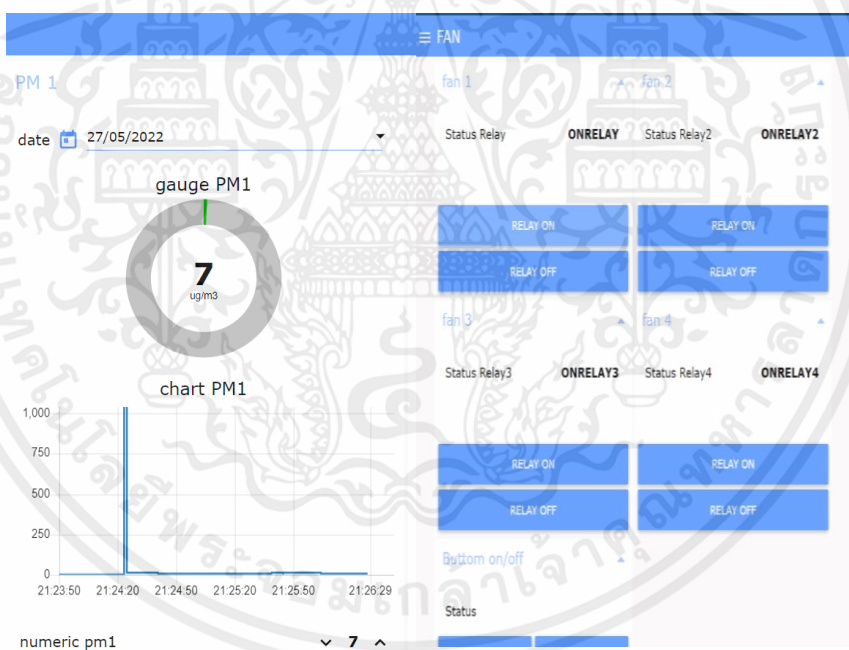
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.สามารถเข้าไปยังหน้า UI ผ่านสมาร์ตโฟนได้หลังจากสแกน QR แล้ว ดังรูป ข.4



รูปที่ ข.4 หน้า UI ผ่านสมาร์ตโฟน

6.ตัวแอปสามารถดูค่าปริมาณฝุ่น อุณหภูมิ และยังสามารถควบคุมพัดลมภายในประตูได้ดังรูป ข.5



รูปที่ ข.5 หน้าแอปแสดงค่าฝุ่นและฟังก์ชันควบคุมพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

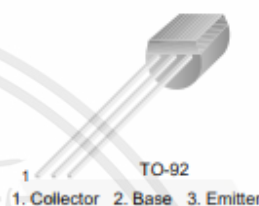


April 2014

BC546 / BC547 / BC548 / BC549 / BC550 NPN Epitaxial Silicon Transistor

Features

- Switching and Amplifier
- High-Voltage: BC546, $V_{CE0} = 65\text{ V}$
- Low-Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556, BC557, BC558, BC559, and BC560



Ordering Information

Part Number	Marking	Package	Packing Method
BC546ABU	BC546A	TO-92 3L	Bulk
BC546ATA	BC546A	TO-92 3L	Ammo
BC546BTA	BC546B	TO-92 3L	Ammo
BC546BTF	BC546B	TO-92 3L	Tape and Reel
BC546CTA	BC546C	TO-92 3L	Ammo
BC547ATA	BC547A	TO-92 3L	Ammo
BC547B	BC547B	TO-92 3L	Bulk
BC547BBU	BC547B	TO-92 3L	Bulk
BC547BTA	BC547B	TO-92 3L	Ammo
BC547BTF	BC547B	TO-92 3L	Tape and Reel
BC547CBU	BC547C	TO-92 3L	Bulk
BC547CTA	BC547C	TO-92 3L	Ammo
BC547CTFR	BC547C	TO-92 3L	Tape and Reel
BC548BU	BC548	TO-92 3L	Bulk
BC548BTA	BC548B	TO-92 3L	Ammo
BC548CTA	BC548C	TO-92 3L	Ammo
BC549BTA	BC549B	TO-92 3L	Ammo
BC549BTF	BC549B	TO-92 3L	Tape and Reel
BC549CTA	BC549C	TO-92 3L	Ammo
BC550CBU	BC550C	TO-92 3L	Bulk
BC550CTA	BC550C	TO-92 3L	Ammo

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	BC546	80	V
		BC547 / BC550	50	
		BC548 / BC549	30	
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	BC546	65	V
		BC547 / BC550	45	
		BC548 / BC549	30	
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	BC546 / BC547	6	V
		BC548 / BC549 / BC550	5	
I_C	Collector Current (DC)	100	mA	
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW	
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$	
T_{STG}	Storage Temperature Range	-65 to +150	$^\circ\text{C}$	

Electrical Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-Off Current	$V_{CB} = 30\text{ V}, I_E = 0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$		90	250	mV
		$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		250	600	
$V_{BE(sat)}$	Collector-Base Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$		700		mV
		$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		900		
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	580	660	700	mV
		$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$			720	
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}, f = 100\text{ MHz}$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0, f = 1\text{ MHz}$		3.5	6.0	pF
C_b	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{ V}, I_C = 0, f = 1\text{ MHz}$		9		pF
NF	Noise Figure	BC546 / BC547 / BC548	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 200\text{ }\mu\text{A}, f = 1\text{ kHz}, R_G = 2\text{ k}\Omega$	2	10	dB
		BC549 / BC550		1.2	4.0	
		BC549		1.4	4.0	
		BC550		1.4	3.0	

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 - 220	200 - 450	420 - 800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวเบญจรัตน์ พรหมเทพ
วัน เดือน ปีเกิด 6 มิถุนายน 2543
ที่อยู่ 3 หมู่ 3 ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่
จ.สงขลา 90110
ประวัติการศึกษา พ.ศ.2560 มัธยมศึกษาตอนปลาย
สายวิทย์-คณิต โรงเรียนหาดใหญ่รัฐประชาสรรค์
Tel.0816946848
Email. 61511022@kmitl.ac.th



ชื่อ-นามสกุล นายเมธี พัทธนนทพงศ์
วัน เดือน ปีเกิด 1 ธันวาคม 2542
ที่อยู่ 355 หมู่ 1 ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่
จ.สงขลา 90110
ประวัติการศึกษา พ.ศ.2560 มัธยมศึกษาตอนปลาย
สายวิทย์-คณิต โรงเรียนหาดใหญ่รัฐประชาสรรค์
Tel.0945899735
Email. 61511025@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้