

เซนเซอร์วัดฝุ่น

IoT BASED DUST SENSOR



กาญจนาภรณ์ กลางประพันธ์
สุตารัตน์ สงค์อินทร์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IoT BASED DUST SENSOR



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

เซนเซอร์วัดฝุ่น

IoT BASED DUST SENSOR

ชื่อนักศึกษา

นางสาวกาญจนาภรณ์ กลางประพันธ์ รหัสนักศึกษา 58051028

นางสาวสุดารัตน์ สงค์อินทร์

รหัสนักศึกษา 58051160

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

คณะ

วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

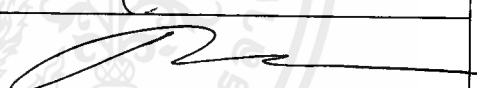
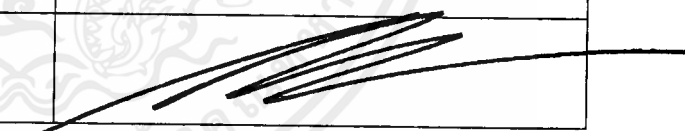
ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กมลปัทมา สุวรรณสุข กรรมการ	
ดร.ภาณุพล โขลกกระโทก กรรมการ	
รองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	เซนเซอร์วัดฝุ่น IoT BASED DUST SENSOR
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกาญจนาภรณ์ กลางประพันธ์ รหัสนักศึกษา 58051028 นางสาวสุตารัตน์ สงค์อินทร์ รหัสนักศึกษา 58051160
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ

บทคัดย่อ

มลพิษทางอากาศมีผลเสียต่อสุขภาพร่างกายมนุษย์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของโรคมะเร็งและโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ อุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ PM_5 และ PM_{10}) จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับตรวจสอบค่าคุณภาพของอากาศ เมื่อเร็ว ๆ นี้ เทคโนโลยีทางด้าน internet of things (IoT) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการอำนวยความสะดวกให้คนในบ้านหรือในเมืองต่าง ๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะพัฒนาเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละออง โดยใช้ระบบเซนเซอร์ไร้สาย และมี NodeMCU ESP8266 เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบ โดยเซนเซอร์วัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง (Sharp GP2Y1014AU0F) สามารถตรวจจับอนุภาคของฝุ่นละออง คว้น เมื่อทำการทดสอบวัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละอองกับเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองที่สร้างขึ้นในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ค่าปริมาณฝุ่นละอองจากเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 4.86 % และจากการทดสอบที่บริเวณอาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทย พบว่า มีค่า AQI เฉลี่ยอยู่ที่ 4 แสดงว่าเวลาที่ทำการทดสอบวัดปริมาณฝุ่นละออง ณ สถานที่ต่าง ๆ มีปริมาณฝุ่นน้อย ดังนั้นความหนาแน่นของฝุ่นละออง ณ เวลานั้นจึงไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ ปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละอองสามารถแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ (Line) ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถช่วยให้ผู้คนทราบค่าคุณภาพของอากาศแบบต่อเนื่องผ่านทางผู้ให้บริการด้าน IoT

คำสำคัญ : คุณภาพอากาศ เครือข่ายอินเทอร์เน็ต (ไอโอที)

Title	IoT BASED DUST SENSOR
Students	MissKanchanaporn Klangprapan Student ID 58051028 MissSudarat Songinn Student ID 58051160
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic	2018
Advisor	Assoc.Prof. Wichit Sirichote

Abstract

The air pollution has a negative impact on human health that cause of cancer and many respiratory diseases. A dust measuring device is an important for measure particulate air pollution ($PM_{2.5}$, PM_5 and PM_{10}) to monitor the air quality. Recently, the internet of things (IoT) has given rise to the smart home and smart city. In addition, IoT technologies provide many benefits to the healthcare domain in activities such as tracking of objects, automatic data collection and sensing. Therefore, the study aims to develop the IoT based dust sensor that the smart sensors monitor the dust density in the city using wireless sensor system (NodeMCU ESP8266) and show the result of the dust density via LINE application and cloud service (Thingspeak). The dust sensor (Sharp GP2Y1014AU0F) that consist of the particulate matter ($PM_{2.5}$, PM_5 and PM_{10}) or dust sensor, carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO_2), noise level (dB), and ozone (O_3) respectively. In the experiment, the measurement has been investigated in Bangkok metropolitan and the results show the dust density via LINE application and cloud service (Thingspeak). The study can help the people know the real-time air quality via IoT as a service.

Keyword: air quality, internet of things (IoT)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้ความรู้ความเข้าใจ คำแนะนำ คำปรึกษาและเสนอแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้มีความสมบูรณ์และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ที่ศึกษาต่อไปได้มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ นายณัฐฤกษ์ สมตอก นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับคำปรึกษา คำแนะนำและความรู้ความเข้าใจ รวมถึงดูแลการทำงานอย่างใกล้ชิดพร้อมทั้งเสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่ตีมาตลอด ทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ดร.ภาณุพล โขลกกระโทก และ ดร.กมลปัทมา สุวรรณสุโข ที่ได้สละเวลาอันมีค่าและให้เกียรติอย่างมากในการเป็นคณะกรรมการสอบ รวมไปถึงให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำงานโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า พร้อมทั้งให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาและการทำงานมาตลอด รวมถึงรุ่นพี่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ที่ช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อ แบ่งปันข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการพิเศษเล่มนี้ จนสามารถทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

กาญจนาภรณ์ กลางประพันธ์
สุภารัตน์ สงค์อินทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ฝุ่นละออง.....	3
2.2 สาเหตุของการเกิดฝุ่นละออง.....	4
2.2.1 การคมนาคมขนส่ง.....	4
2.2.2 การเผาในที่โล่ง.....	4
2.2.3 การผลิตไฟฟ้า.....	6
2.2.4 อุตสาหกรรมการผลิต.....	6
2.3 ผลกระทบของฝุ่นละออง.....	7
2.4 แนวทางในการแก้ไขปัญหาปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ.....	7
2.5 ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ.....	8
2.6 Internet of Things.....	11
2.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์และเว็บเบราว์เซอร์.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.1 Arduino.....	12
2.7.2 ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ (Software).....	27
2.8 หลักการทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ.....	27
2.8.1 Sharp GP2Y1010AU0F Dust Sensor.....	29
2.8.2 Sharp GP2Y1014AU0F Dust Sensor.....	30
2.8.3 Sharp GP2Y1026AU0F Dust Sensor.....	32
2.8.4 Sharp GP2Y1030AU0F Dust Sensor.....	34
2.9 LCD Display.....	35
2.9.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ LCD Display.....	34
2.9.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD.....	36
2.10 ระบบ WiFi (Wireless Fidelity).....	37
2.10.1 รูปแบบเครือข่ายไร้สาย.....	37
2.11 Web Browser.....	38
2.11.1 Thingspeak.....	38
2.12 APPLICATION.....	39
2.12.1 Line.....	39
2.12.2 Line Notify.....	40
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการออกแบบวงจร.....	43
3.1.1 การออกแบบระบบการตรวจวัดฝุ่นของ Arduino UNO.....	43
3.1.2 การออกแบบระบบการตรวจวัดฝุ่นของ NodeMCU ESP8266.....	44
3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.2.1 NodeMCU ESP8266.....	44
3.2.2 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ.....	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 หลักการทำงานของเซนเซอร์ (Sharp GP2Y1014AU0F).....	46
3.2.4 LCD 16x2 Plus I2C Interface (Blue Screen).....	47
3.3 การติดตั้งโปรแกรมและการเชื่อมต่อของ NodeMCU กับ WiFi.....	47
3.4 การสร้าง IoT Platform.....	53
3.4.1 ThingSpeak.....	53
3.4.2 LINE.....	56
3.5 หลักการทำงานและหน้าที่ของเครื่องวัดปริมาณฝุ่นในอากาศ.....	60
3.6 วิธีการทดลอง.....	62
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.1 การวัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองเทียบกับข้อมูลของ Datasheet Dust density GP2Y1014AU0F.....	64
4.2 การวัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองของเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เทียบกับค่าที่ได้จากเซนเซอร์เชื่อมกับ Arduino UNO.....	67
4.3 ทดสอบวัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ณ สถานที่ต่าง ๆ.....	70
4.3.1 การทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณป้ายรถประจำทางลาดพร้าวซอย 132.....	70
4.3.2 การทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณป้ายรถประจำทางหัวหมาก.....	72
4.3.3 การทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณป้ายรถประจำทางเดอะมอลล์บางกะปิ.....	74
4.3.4 การทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณอาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3 เมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2562.....	76
4.3.5 การทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณอาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3 เมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2562.....	86
4.4 การแสดงผลของค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง.....	89
4.4.1 การแสดงผลของค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองผ่าน Serial Monitor.....	89

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 การแสดงผลผ่าน LCD.....	90
4.4.3 การแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน.....	91
4.4.4 การแสดงผลผ่าน thingspeak.....	91
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	93
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
เอกสารอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก.....	96
ภาคผนวก ก.....	97
ภาคผนวก ข.....	107

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
2.1 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย.....	9
2.2 ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่า กับค่าดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย.....	9
2.3 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของมาตรฐานสากลและค่าความเข้มข้น ของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ.....	10
2.4 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Uno.....	18
2.5 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Duo.....	20
2.6 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Leonardo.....	21
2.7 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino MEGA ADK.....	22
2.8 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino MEGA 2560.....	22
2.9 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Micro.....	23
2.10 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Nano.....	25
2.11 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Mini.....	25
2.12 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Pro Mini.....	26
2.13 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซนเซอร์ GP2Y1010AU0F และ GP2Y1014AU0F.....	31
2.14 คุณสมบัติของเซนเซอร์ GP2Y1010AU0F และ Sharp GP2Y1026AU0F.....	33
2.15 คุณสมบัติของเซนเซอร์ GP2Y1026AU0F และ Sharp GP2Y1030AU0F.....	34
3.1 ขาของ Sharp Dust Sensor ที่ต่อเข้ากับขาของบอร์ด Arduino.....	46
4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง และ Output voltage (mV) ผ่านทาง Serial Monitor ของการทดลองจากเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ Arduino UNO.....	64
4.2 ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองของการทดลองจากเซนเซอร์เชื่อมกับ Arduino UNO เมื่อเทียบกับเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266.....	67
4.3 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองจากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 17/พ.ค./2562 บริเวณป้ายรถประจำทาง ลาดพร้าวซอย 132.....	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.4 ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองของการทดลองจากเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 17/พ.ค./2562 บริเวณป้ายรถประจำทาง หัวหมาก.....	72
4.5 ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองจากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 18/พ.ค./2562 บริเวณป้ายรถประจำทาง เดอะมอลล์บางกะปิ.....	74
4.6 ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองจากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคาร จุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3.....	76
4.7 ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองจากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266เมื่อวันที่ 21/พ.ค./2562 บริเวณอาคาร จุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3.....	86

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพเปรียบเทียบขนาดฝุ่นละออง PM _{2.5} กับขนาดของฝุ่นละออง PM10 เส้นผม และเม็ดทราย.....	4
2.2 การเผาขยะในที่โล่ง.....	5
2.3 Internet of Things.....	12
2.4 ESP8266 ESP-01.....	14
2.5 ESP8266 ESP-03.....	14
2.6 ESP8266 ESP-07.....	14
2.7 ESP8266 ESP-12E.....	15
2.8 ESP8266 NodeMCU V2.....	15
2.9 ESP8266 NodeMCU V3.....	16
2.10 WeMos D1.....	16
2.11 WeMos D1 Mini.....	16
2.12 Witty cloud Mini NodeMCU.....	17
2.13 บอร์ด Arduino Uno R2.....	18
2.14 บอร์ด Arduino Uno R3.....	18
2.15 บอร์ด Arduino Uno SMD.....	18
2.16 บอร์ด Arduino Duo.....	19
2.17 บอร์ด Arduino Leonardo.....	20
2.18 บอร์ด Arduino MEGA ADK.....	21
2.19 บอร์ด Arduino Mega 2560.....	22
2.20 บอร์ด Arduino Micro.....	23
2.21 บอร์ด Arduino Nano.....	24
2.22 บอร์ด Arduino Mini.....	25
2.23 บอร์ด Arduino Pro Mini.....	26
2.24 สัญลักษณ์ Arduino.....	27
2.25 Internal Block Diagram.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 Principle of Sharp Dust Sensor.....	28
2.27 หลักการทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ.....	28
2.28 Sharp GP2Y1010AU0F Dust	29
2.29 LED Pulse Drive Circuit Sensor.....	30
2.30 Sharp GP2Y1014AU0F Dust Sensor.....	30
2.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของฝุ่น กับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต.....	31
2.32 Sharp GP2Y1026AU0F Dust Sensor.....	32
2.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของฝุ่นกับ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)	33
2.34 Sharp GP2Y1030AU0F Dust Sensor.....	34
2.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการนับจำนวนอนุภาคเฉลี่ย กับความหนาแน่นของฝุ่น.....	35
2.36 จอ LCD 16x2 Character (Parallel).....	36
2.37 จอ LCD 16x2 Character (I2C).....	37
2.38 สัญลักษณ์ WiFi (Wireless Fidelity).....	37
2.39 หน้าต่างเว็บไซต์ Thingspeak.com.....	39
2.40 รูปแบบการเชื่อมต่อแอปพลิเคชันไลน์.....	40
2.41 สัญลักษณ์แอปพลิเคชันไลน์.....	40
2.42 หน้าต่างหลักของการเข้าสู่ระบบ LINE Notify.....	41
2.43 ระบบ LINE Notify.....	41
3.1 ระบบการตรวจวัดฝุ่นของ Arduino UNO.....	43
3.2 ระบบการตรวจวัดฝุ่นของ NodeMCU ESP8266.....	44
3.3 NodeMCU ESP8266.....	45
3.4 การทำงานของขา NodeMCU.....	45
3.5 เซนเซอร์ตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ.....	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 Libraries ของ LiquidCrystal_I2C.....	47
3.7 แสดงรูป I2C เชื่อมกับ LCD.....	47
3.8 หน้าต่างดาวน์โหลด Arduino IDE.....	48
3.9 หน้าต่าง ARDUINO WEB EDITOR.....	48
3.10 หน้าต่างการกดติดตั้ง.....	49
3.11 หน้าต่างการเพิ่ม Board.....	49
3.12 การเพิ่ม Board ของ ESP8266.....	50
3.13 หน้าต่างฟังก์ชันเครื่องมือ.....	50
3.14 หน้าต่าง Board Manager.....	51
3.15 การเลือกบอร์ด NodeMCU.....	51
3.16 การทดสอบการเชื่อมต่อของ NodeMCU กับ WiFi.....	52
3.17 หน้าต่างของโค้ดตัวอย่างในการทดสอบการเชื่อมต่อของ NodeMCU กับ WiFi.....	52
3.18 การแสดงข้อมูลของการเชื่อมต่อ WiFi ผ่าน ESP8266WiFi.....	53
3.19 หน้าต่างเว็บไซต์ ThingSpeak.....	53
3.20 การสมัครเข้าใช้งาน ThingSpeak.....	54
3.21 การ Sign In เข้าสู่ ThingSpeak.....	54
3.22 หน้าต่างของเว็บไซต์ ThingSpeak.....	55
3.23 การสร้าง Channel บนเว็บไซต์ ThingSpeak.....	55
3.24 หน้าต่างของการใส่รหัส API KEY.....	56
3.25 การ Log in เข้าสู่ระบบ LINE Notify.....	56
3.26 การเพิ่มเพื่อนและสแกน QR Code เข้าสู่ระบบ LINE Notify.....	57
3.27 การเข้าสู่ระบบ LINE.....	57
3.28 การสร้างหน้าหลักของการแจ้งเตือนข้อมูล PM2.5.....	58
3.29 Generate token.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
3.30 การใส่ข้อความ API และการเลือกกลุ่มในการส่งข้อความ.....	59
3.31 รหัส Token ใช้สำหรับการเพิ่มตัวแปรในการทำงาน	
ส่วนของโค้ด Arduino	59
3.32 การส่งแจ้งเตือนข้อมูลผ่านทางกลุ่ม LINE PM.....	60
3.33 เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ (ด้านในตัวเครื่อง)	61
3.34 เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ (ด้านนอกตัวเครื่อง)	61
3.35 การต่อวงจรของเซนเซอร์เชื่อมต่อกับ Arduino UNO.....	62
3.36 การต่อวงจรของเซนเซอร์เชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266.....	63
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Output voltage (mV)	
กับความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ที่ได้จากการทดสอบ.....	66
4.2 สถานที่ทำการทดลองวัดค่าฝุ่นละออง ณ บริเวณ	
ป้ายรถประจำทางลาดพร้าวซอย 132.....	70
4.3 สถานที่ทำการทดลองวัดค่าฝุ่นละออง ณ บริเวณ	
ป้ายรถประจำทางหัวหมาก.....	72
4.4 สถานที่ทำการทดลองวัดค่าฝุ่นละออง ณ บริเวณ	
ป้ายรถประจำทางเดอะมอลล์บางกะปิ.....	74
4.5 สถานที่ทำการทดลองวัดค่าฝุ่นละออง ณ บริเวณ	
อาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3.....	76
4.6 การแสดงผลผ่าน Serial Monitor จากการทดลองของ	
เซนเซอร์เชื่อมกับ Arduino UNO.....	90
4.7 การแสดงผลผ่าน Serial Monitor จากการทดลองของ	
เซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266.....	90
4.8 การแสดงผลผ่าน LCD.....	90
4.9 การแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันไลน์.....	91
4.10 การแสดงผลผ่าน thingspeak เมื่อวันที่ 20/05/2562.....	91
4.11 การแสดงผลผ่าน thingspeak เมื่อวันที่ 21/05/2562.....	92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ทำให้มีความนิยมใช้อุปกรณ์อัจฉริยะ เช่น นาฬิกาอัจฉริยะ ตู้เย็นอัจฉริยะ และเครื่องซักผ้าอัจฉริยะ เป็นต้น การที่สิ่งต่าง ๆ ถูกเชื่อมโยงเข้าสู่โลกอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถควบคุมการใช้งานและสั่งการอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ เรียกว่า Internet of Things (IoT) นอกจากนี้เทคโนโลยี IoT ยังมีบทบาททางด้านระบบคมนาคมและการจัดการโลจิสติกส์ อุตสาหกรรม ระบบการจัดการพลังงานและสาธารณสุข ระบบเทคโนโลยีการเงิน ระบบสาธารณสุข การเกษตรกรรม และใช้สำหรับส่งข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพทางอากาศ เป็นต้น [1]

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าเทคโนโลยี IoT สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะการตรวจวัดคุณภาพทางอากาศ เช่น การใช้เซนเซอร์ในการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของฝุ่นละออง ซึ่งค่าที่เรียกค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กคือ Particulate Matters หรือ PM โดยฝุ่นละออง PM_{2.5} ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครพบว่าสาเหตุหลัก 50-60% มาจากรถเครื่องยนต์ดีเซล รองลงมาคือจากการเผาในที่โล่งประมาณ 35% ส่วนอีก 5-10% เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม [2]

โครงการพิเศษนี้จึงสนใจสร้างเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศร่วมกับเทคโนโลยีทางด้าน IoT โดยทำงานร่วมกับ NodeMCU ในการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย IoT เพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณฝุ่นละอองในแต่ละวันผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) และแอปพลิเคชันไลน์ (LINE) ในรูปของข้อความ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.) ศึกษาการวัดปริมาณฝุ่นละอองโดยใช้เซนเซอร์ในการตรวจวัด
- 2.) ศึกษาหลักการทำงานของเครือข่าย Internet of Things (IoT)
- 3.) ศึกษาหลักการทำงานของเซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง และ NodeMCU
- 4.) ศึกษาหลักการเขียนโปรแกรม Arduino IDE

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.) สามารถสร้างเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองได้
- 2.) สามารถนำข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองแสดงผลผ่านทาง LCD เว็บเบราว์เซอร์และแอปพลิเคชันไลน์ได้
- 3.) สามารถเก็บค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา					
	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.
ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลของเซนเซอร์และหลักการทำงานของ NodeMCU	↔					
ศึกษาหลักการทำงานของโปรแกรม Arduino IDE และศึกษาวิธีการใช้งาน	↔					
ศึกษาข้อมูลของอุปกรณ์และจัดหาอุปกรณ์	↔					
ออกแบบลายวงจรที่ใช้ทำงานร่วมกับเซนเซอร์		↔				
ทดสอบการทำงานของโปรแกรมและแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรม Arduino IDE			↔	↔		
ทดสอบการทำงานของเว็บไซต์และแอปพลิเคชัน					↔	
สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง						↔

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.) ทำให้ทราบระดับความเข้มข้นของปริมาณ PM_{2.5} เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศ
- 2.) สามารถนำความรู้ความเข้าใจทางด้านเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

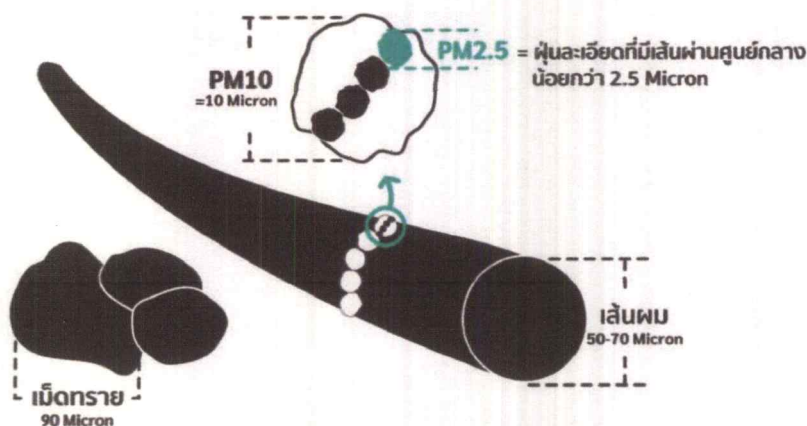
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 จะกล่าวถึงฝุ่นละออง สาเหตุการเกิดฝุ่นละอองและผลกระทบจากการเกิดฝุ่นละออง ในอากาศ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์และเว็บเบราว์เซอร์ เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณ ฝุ่นละอองในอากาศ ระบบ WiFi และเว็บเบราว์เซอร์

2.1 ฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง คือ อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศนี้ บางชนิดมีขนาดใหญ่ มีสีดำจมนองเห็นเป็นเขม่าและควัน บางชนิด ก็มีขนาดเล็กมากจึงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและเป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้าน กายภาพและองค์ประกอบทางเคมี จากแหล่งกำเนิดของฝุ่นจะแสดงถึงคุณสมบัติความเป็นพิษของฝุ่น อาทิเช่น แอสเบสตอส ตะกั่ว ไฮโดรคาร์บอน และกัมมันตรังสี ซึ่งฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศ รอบตัวเรา มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน (เป็นกลุ่มของโมเลกุลที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจึง ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน) ไปจนถึงฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน (ฝุ่นที่มองเห็น ด้วยตาเปล่ามีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป) ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานจะเป็นฝุ่น ละอองขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 10 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วต่ำ หากมีแรงกระทำ จากภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ และกระแสลม เป็นต้น จะ แขวนลอยในอากาศได้นานมากขึ้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะ ขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอนอาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี

คำว่า PM ย่อมาจาก Particulate Matters เป็นคำเรียกค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (ขนาดมากกว่า PM_{10} ขึ้น ไป) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก (แบ่งเป็นหลายกลุ่ม ได้แก่ PM_{10} $PM_{2.5}$ และ PM_{1}) ดังรูปที่ 2.1 โดย แหล่งที่มาของฝุ่นละอองในบรรยากาศ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle) และอีกหนึ่งกลุ่มเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ (Man-made Particle)



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบขนาดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ (วงกลมสีฟ้า) กับขนาดของฝุ่นละออง PM_{10} (วงกลมสีขาว) เส้นผม และเม็ดทราย [3]

2.2 สาเหตุของการเกิดฝุ่นละออง

ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือ $PM_{2.5}$ อยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อเนื่องมาตั้งแต่ปลายปี 2561 และคาดว่าสถานการณ์เช่นนี้ยังคงดำเนินต่อไปอีกนานพอสมควร สาเหตุของระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กที่กำลังเกิดขึ้นมาจากสภาพอากาศที่มีหมอกในตอนเช้า และมีสภาพอากาศไม่ถ่ายเท ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองในอากาศเพิ่มขึ้น ในการจัดอันดับคุณภาพอากาศทั่วโลก กรุงเทพมหานครจัดอยู่ในอันดับ 8 ที่มีภาวะมลพิษทางอากาศสูงที่สุด ซึ่งการเกิด $PM_{2.5}$ คาดว่ามีสาเหตุมาจากปัจจัยหลายอย่าง ดังนี้

2.2.1 การคมนาคมขนส่ง

การคมนาคมขนส่งโดยเฉพาะไอเสียจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ ทั้งดีเซลและแก๊สโซฮอล์ เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ $PM_{2.5}$ จากการประเมินพบว่าการปล่อย $PM_{2.5}$ โดยตรงราว 50,240 ตันต่อปี นอกจากนี้ ยังเป็นแหล่งกำเนิดไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 246,000 ตันต่อปี และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) อีกราว 14,000 ตันต่อปี ถือว่าวันพิษจากการจราจรและการคมนาคม ณ ปัจจุบันในกรุงเทพมหานคร มีจำนวนรถยนต์เพิ่มมากขึ้น โดยควันที่เกิดจากท่อไอเสียรถยนต์เป็นสาเหตุหลักที่ปล่อยฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

2.2.2 การเผาในที่โล่ง

เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศแหล่งหนึ่งที่เกิดมลพิษทางอากาศ ได้แก่ ก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ อาทิ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ รวมทั้งฝุ่นละออง และควัน ซึ่งล้วนมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ การเผาไหม้ในที่โล่งจะปล่อยฝุ่นพิษ $PM_{2.5}$ มากถึง 209,937 ตันต่อปี ซึ่งการเผาไหม้ในที่โล่งเกิดจาก 3 กิจกรรมหลัก ดังนี้

1.) การเผาเศษพืชเศษวัสดุด้านการเกษตร

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ต่าง ๆ ได้แก่ ข้าวโพด อ้อย และมันสำปะหลัง เป็นต้น ในการทำการเกษตรให้ได้ผลผลิตสูง สิ่งสำคัญที่สุดคือการเตรียมดินที่จะทำการเพาะปลูก ซึ่งจะต้องมีการตากถางพื้นที่เพื่อกำจัดเศษพืช วิธีการที่ง่าย สะดวกและประหยัด สำหรับเกษตรกรที่นิยมใช้กันมาก คือ การเผา

2.) การเผาขยะมูลฝอยจากชุมชน

จากผลสำรวจพบว่าการเผาขยะในเขตที่อยู่อาศัย ซึ่งพบได้ไปในเขตพื้นที่ชนบททั่วโลก ขยะจะถูกนำไปเผาในพื้นที่นอกบ้าน เช่น บริเวณสวน บ่อขยะชุมชน หรือบริเวณบ้าน เช่น เตาเผา เตาอบ ขยะที่เผาประกอบไปด้วยกระดาษ เศษไม้ บรรจุภัณฑ์อาหารหรือพลาสติก วัตถุเหล่านี้สามารถที่จะนำมาใช้ใหม่ นำไปเป็นเชื้อเพลิง หรือนำเข้าสู่กระบวนการกำจัดอย่างถูกวิธีได้ แต่หากนำขยะเหล่านี้ไปเผาทำลายหรือการเกิดไฟไหม้กองขยะในชุมชน ผลภาวะอันเกิดจากการเผาไหม้จะลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศรอบบ้านหรือชุมชนโดยไม่มีการกรอง และในที่สุดก็ตกลงสู่พื้นดินหรือแหล่งน้ำเกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปในชุมชน

อันตรายที่สุดของการแพร่กระจายของสารเคมีจากกระบวนการเผาไหม้คือ การเผาพลาสติก จำพวก พีวีซี ซึ่งในขณะที่มีการเผาไหม้จะก่อให้เกิดสารไดออกซิน ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นสารประกอบทางเคมีที่อันตรายที่สุดและสามารถทำลายระบบต่างๆในร่างกาย นอกจากนี้สารไดออกซินยังสามารถสะสมอยู่ในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและแหล่งน้ำได้



รูปที่ 2.2 การเผาขยะในที่โล่ง

3.) ไฟป่า

ไฟป่าเป็นไฟที่อาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุแล้วลุกลามไปได้โดยอิสระปราศจากการควบคุม ทั้งนี้ไม่ว่าไฟนั้นจะลุกลามเข้าป่าธรรมชาติหรือสวนป่า ไฟป่าจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีองค์ประกอบที่จำเป็น 3 ประการคือ เชื้อเพลิง ออกซิเจนและความร้อน มารวมตัวกันในสัดส่วนที่เหมาะสมที่จะเกิดการลุกไหม้

3.1) เชื้อเพลิง ได้แก่ อินทรีย์สารทุกชนิดที่ติดไฟได้ เช่น ต้นไม้ กิ่งไม้ ตอไม้ กอไม้ ลูกไม้ หนุ่ย วัชพืช รวมไปถึงดินอินทรีย์ (peat soil) และชั้นถ่านหินที่อยู่ใต้ผิวดิน (coal seam)

3.2) ออกซิเจน เป็นก๊าซที่เป็นองค์ประกอบหลักของอากาศทั่วไปในป่า จึงมีการกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม ปริมาณและสัดส่วนอาจแปรผันได้ตามความเร็วและทิศทางลม

3.3) ความร้อนแหล่งความร้อนที่ทำให้เกิดไฟป่า แบ่งเป็น 2 ประการ คือ แหล่งความร้อนจากธรรมชาติ ได้แก่ ไฟผ่า การเสียดสีของกิ่งไม้ การรวมของแสงอาทิตย์ผ่านหยดน้ำค้าง ภูเขาไฟระเบิด และแหล่งความร้อนจากการกระทำของมนุษย์ซึ่งเกิดจากการจุดไฟในป่าด้วยสาเหตุต่าง ๆ กัน

2.2.3 การผลิตไฟฟ้า

การผลิตไฟฟ้าปล่อยปริมาณ $PM_{2.5}$ ราว 31,793 ตันต่อปี ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 231,000 ตันต่อปี และออกไซด์ของไนโตรเจน 227,000 ตันต่อปี แม้ว่าด้านการผลิตไฟฟ้าจะเป็นแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ เป็นลำดับรองจากการเผาในที่โล่งและการขนส่ง แต่การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนต่อปีจากด้านการผลิตไฟฟ้านั้นมีสัดส่วนมากที่สุดในบรรดาแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ซึ่งนำไปสู่การเกิด $PM_{2.5}$ จากกระบวนการทางเคมีในบรรยากาศที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนเป็นสารตั้งต้น

2.2.4 อุตสาหกรรมการผลิต

อากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรมค่อนข้างมีการปนเปื้อนของมลภาวะ ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของอุตสาหกรรมนั้น มาจากการผลิตที่เป็นแหล่งกำเนิดอากาศที่มีมลภาวะ รวมถึงอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมสามารถก่อให้เกิดมลภาวะในอาคารได้ ซึ่งสภาพอากาศภายในโรงงานสามารถก่อผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน รวมถึงการกำจัดมลพิษในโรงงานจึงกลายเป็นความต้องการที่สำคัญของอุตสาหกรรม หากมองที่สภาพแวดล้อมภายในโรงงานกิจกรรมการพิมพ์ เช่น เครื่องพิมพ์ เครื่องถ่ายเอกสาร สารมลพิษถูกปล่อยออกมาจากเครื่องในโรงงานอุตสาหกรรมการพิมพ์ เช่น สารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากกระบวนการถ่ายเอกสารระบบเปียก กระบวนการนี้สามารถส่งผลกระทบต่อความเจ็บป่วยได้มากกว่ากระบวนการถ่ายเอกสารระบบแห้ง ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการไอโซนของอนุภาค ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ไอโซน ฝุ่นละออง และไนโตรเจนไดออกไซด์

ภาคอุตสาหกรรมการผลิตปล่อยปริมาณ $PM_{2.5}$ ราว 65,140 ตันต่อปี ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 212,000 ตันต่อปี และออกไซด์ของไนโตรเจนอีก 222,000 ตันต่อปี หนึ่งในพื้นที่ที่พบมลพิษทางอากาศจากโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุดคือ พื้นที่เขตควบคุมมลพิษมาบตาพุด จังหวัดระยอง พบ

สารอินทรีย์ระเหยง่ายจากสารเคมีและอุตสาหกรรม หรือในเขตควบคุมมลพิษหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี พบฝุ่นละอองจากกิจกรรมการผลิตปูนขาวและปูนซีเมนต์ [4]

2.3 ผลกระทบของฝุ่นละออง

1.) ผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป

ฝุ่นละอองจะลดความสามารถในการมองเห็น เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศทั้งที่เป็นของแข็ง และของเหลวสามารถดูดซับและหักเหแสงได้ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนั้น

2.) ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถทำอันตรายต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ เช่น การสึกกร่อนของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ และความปนเปื้อนของวัตถุ เป็นต้น

3.) ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ ส่วนฝุ่นละอองที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดเล็กเหล่านี้ เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ จะเกาะตัวในส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดการระคายเคือง และทำลายเนื้อเยื่อของระบบอวัยวะ เช่น เนื้อเยื่อปอด ซึ่งหากได้รับในปริมาณมากหรือในช่วงเวลานาน จะถูกสะสมในเนื้อเยื่อปอด เกิดเป็นพังผืดหรือแผลขึ้นได้ และทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลงทำให้หลอดลมอักเสบ เกิดหอบหืดถุงลมโป่งพอง และโอกาสเกิดโรกระบบทางเดินหายใจเนื่องจากติดเชื้อเพิ่มขึ้นได้

2.4 แนวทางในการแก้ไขปัญหาปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ

- 1.) การควบคุมฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดโดยอาศัยเทคโนโลยีต่าง ๆ ด้านการควบคุมฝุ่นละอองจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงให้ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรมได้ดียิ่งขึ้น เป็นต้น
- 2.) การป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากรถบรรทุกวัสดุก่อสร้าง หิน ดิน ทราย หรือฝุ่นละอองจากกิจกรรม การก่อสร้างอาคารและถนน โดยใช้ผ้าใบหรือวัสดุคลุมรถให้มิดชิด และทำความสะอาดล้อรถบรรทุก จำกัดเขตก่อสร้างให้ชัดเจนพร้อมทั้งมีวัสดุคลุมหรือกันบริเวณก่อสร้างให้เรียบร้อย
- 3.) การปรับปรุงกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เช่น มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ มาตรฐานอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และมาตรฐานอากาศเสียจากยานพาหนะ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.) เชื่อมโยงกับการใช้กฎหมาย เช่น การกวดขันตรวจจับยานพาหนะที่มีการระบายควันดำเกินมาตรฐาน
- 5.) ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของประชาชนผู้เป็นเจ้าของและขับขียานพาหนะ ให้มีการเอาใจใส่ดูแลรักษาและปรับแต่งเครื่องยนต์ให้อยู่ในสภาพดี [5]

2.5 ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ

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

- 1.) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เป็นฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้ทั้งจากยานพาหนะ การเผาวัสดุการเกษตร ไฟป่า และกระบวนการอุตสาหกรรม สามารถเข้าไปถึงถุงลมในปอดได้ เป็นผลทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ และโรคปอดต่าง ๆ หากได้รับในปริมาณมากหรือเป็นเวลานานจะสะสมในเนื้อเยื่อปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลมอักเสบ มีอาการหอบหืด
- 2.) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เป็นฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาในที่โล่ง กระบวนการอุตสาหกรรม การบด การม่ หรือการทำให้เป็นผงจากการก่อสร้าง ส่งผลกระทบต่อสุขภาพเนื่องจากเมื่อหายใจเข้าไปสามารถเข้าไปสะสมในระบบทางเดินหายใจ
- 3.) ก๊าซโอโซน (O_3) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีหรือมีสีฟ้าอ่อน มีกลิ่นฉุน ละลายน้ำได้เล็กน้อย เกิดขึ้นได้ทั้งในระดับบรรยากาศชั้นที่สูงจากผิวโลก และระดับชั้นบรรยากาศผิวโลกที่ใกล้พื้นดิน ก๊าซโอโซนที่เป็นสารมลพิษทางอากาศคือก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศผิวโลก เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีผลกระทบต่อสุขภาพ โดยก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา ระบบทางเดินหายใจและเยื่อปอดต่าง ๆ ความสามารถในการทำงานของปอดลดลง เหนื่อยเร็ว โดยเฉพาะในเด็ก คนชรา และคนที่ปอดเรื้อรัง
- 4.) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี กลิ่น และรส เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ก๊าซนี้สามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้โดยจะไปรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงได้ดีกว่าออกซิเจนประมาณ 200-250 เท่า เมื่อหายใจเข้าไปทำให้ก๊าซชนิดนี้จะไปแย่งจับกับฮีโมโกลบินในเลือด เกิดเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (CoHb) ทำให้การลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายลดน้อยลง ส่งผลให้ร่างกายเกิดอาการอ่อนเพลีย และหัวใจทำงานหนักขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีและกลิ่น ละลายน้ำได้เล็กน้อย มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ และอุตสาหกรรมบางชนิด เป็นต้น ก๊าซนี้มีผลต่อระบบการมองเห็นและผู้ที่มีการหอบหืดหรือโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ

6.) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี หรืออาจมีสีเหลืองอ่อน ๆ มีรสและกลิ่นที่ระดับความเข้มข้นสูง เกิดจากธรรมชาติและการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถัน (ซัลเฟอร์) เป็นส่วนประกอบ สามารถละลายน้ำได้ดี สามารถรวมตัวกับสารมลพิษอื่นแล้วก่อตัวเป็นอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กได้ ก๊าซนี้มีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อปอด ผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ หากได้รับเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้เป็นโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรังได้

ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ ตั้งแต่ 0 ถึง 201 ขึ้นไป ซึ่งแต่ละระดับจะใช้สีเป็นสัญลักษณ์เปรียบเทียบกับระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 โดยดัชนีคุณภาพอากาศ 100 จะมีค่าเทียบเท่ากับมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าสูงเกินกว่า 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีค่าเกินมาตรฐานและคุณภาพอากาศในวันนั้นจะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย

AQI	ความหมาย	สี	ข้อความแจ้งเตือน
0-25	คุณภาพอากาศดีมาก	ฟ้า	คุณภาพอากาศดีมาก เหมาะสำหรับการออกกำลังกายและการท่องเที่ยว
26-50	คุณภาพอากาศดี	เขียว	คุณภาพอากาศดี สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยวได้ตามปกติ
51-100	ปานกลาง	เหลือง	มีระดับมลพิษในระดับที่สามารถสังเกตเห็นได้ตามปกติ ผู้ที่ป่วยและกลุ่มเปราะบาง พยายามหลีกเลี่ยง เช่น ไม่หายใจผ่านอุปกรณ์กรองอากาศ ควรระมัดระวังการออกกำลังกายกลางแจ้ง
101-200	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	ส้ม	มีระดับมลพิษในระดับที่อาจก่อให้เกิดอาการระคายเคือง เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรระมัดระวังการออกกำลังกายกลางแจ้ง หรือใช้การป้องกันตนเองหากมีโรคประจำตัว ผู้ที่ป่วยและกลุ่มเปราะบาง พยายามหลีกเลี่ยง เช่น ไม่หายใจผ่านอุปกรณ์กรองอากาศ ควรระมัดระวังการออกกำลังกายกลางแจ้ง หรือใช้การป้องกันตนเองหากมีโรคประจำตัว ผู้ที่ป่วยและกลุ่มเปราะบาง พยายามหลีกเลี่ยง เช่น ไม่หายใจผ่านอุปกรณ์กรองอากาศ ควรระมัดระวังการออกกำลังกายกลางแจ้ง หรือใช้การป้องกันตนเองหากมีโรคประจำตัว
201 ขึ้นไป	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	แดง	มีระดับมลพิษในระดับที่อาจก่อให้เกิดอาการระคายเคือง เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรระมัดระวังการออกกำลังกายกลางแจ้ง หรือใช้การป้องกันตนเองหากมีโรคประจำตัว ผู้ที่ป่วยและกลุ่มเปราะบาง พยายามหลีกเลี่ยง เช่น ไม่หายใจผ่านอุปกรณ์กรองอากาศ ควรระมัดระวังการออกกำลังกายกลางแจ้ง หรือใช้การป้องกันตนเองหากมีโรคประจำตัว

ตารางที่ 2.2 ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย

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 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง	เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง	เฉลี่ย 1 ชั่วโมง	เฉลี่ย 1 ชั่วโมง	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาเฉลี่ย และหน่วยสารมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ

- 1.) $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ มคก./ลบ.ม. หรือ $\mu g/m^3$
- 2.) PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ มคก./ลบ.ม. หรือ $\mu g/m^3$
- 3.) O_3 เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ส่วนในพันล้านส่วน หรือ ppb หรือ 1/1,000,000,000
- 4.) CO เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ส่วนในล้านส่วน หรือ ppm หรือ 1/1,000,000
- 5.) NO_2 เฉลี่ย 1 ชั่วโมง : ส่วนในพันล้านส่วน หรือ ppb หรือ 1/1,000,000,000
- 6.) SO_2 เฉลี่ย 1 ชั่วโมง : ส่วนในพันล้านส่วน หรือ ppb หรือ 1/1,000,000,000 [6]

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของมาตรฐานสากลและค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ [7]

AQI	$PM_{2.5}$ (มคก. / ลบ.ม.)	PM_{10} (มคก. / ลบ.ม.)	O_3 (ppb)	CO (ppm)	NO_2 (ppb)	SO_2 (ppb)
0 - 50	0 - 12	0 - 54	0 - 54	0 - 4.4	0 - 53	0 - 35
51 - 100	12.1 - 35.4	55 - 154	55 - 70	4.5 - 9.4	54 - 100	36 - 75
101 - 150	35.5 - 55.4	155 - 254	71 - 85	9.5 - 12.4	101 - 360	76 - 135
151 - 200	55.5 - 150.4	255 - 354	86 - 105	12.5 - 15.4	361 - 649	-
201 - 300	150.5-250.4	355 - 424	106 - 200	15.5 - 30.4	650 - 1244	-
301 - 500	250.5-500.4	425 - 604	-	30.5 - 50.4	1245 - 2044	-

การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศของสารมลพิษทางอากาศแต่ละประเภท สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$AQI = \left[\frac{(X - X_{\min})(AQI_{\max} - AQI_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \right] \quad (2.1)$$

โดยที่ AQI คือ ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศ

X คือ ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่ได้จากการตรวจวัด

$X_{\min}$ คือ ค่าต่ำสุดของช่วงความเข้มข้นสารมลพิษที่มีค่า X

$X_{\max}$ คือ ค่าสูงสุดของช่วงความเข้มข้นสารมลพิษที่มีค่า X

$AQI_{\min}$ คือ ค่าต่ำสุดของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ตรงกับช่วงความเข้มข้น X จากค่าดัชนีย่อยที่คำนวณได้

$AQI_{\max}$ คือ ค่าสูงสุดของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ตรงกับช่วงความเข้มข้น X จากค่าดัชนีย่อยที่คำนวณได้

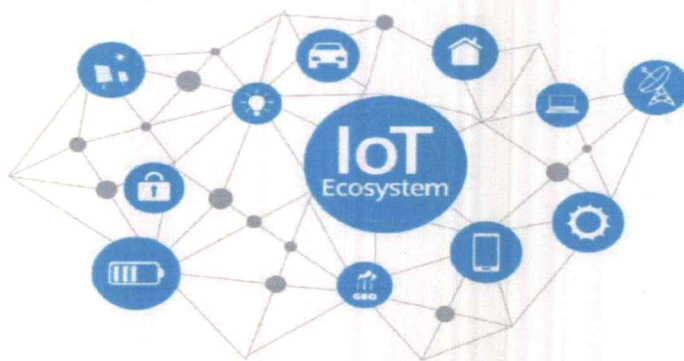
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Internet of Things

เทคโนโลยี Internet Of Things (IoT) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า M2M มาจากคำว่า Machine to Machine คือเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่เชื่อมต่ออุปกรณ์กับเครื่องมือต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านและอื่น ๆ เข้าไว้ด้วยกันและสามารถเชื่อมต่อกันได้ผ่านเครือข่าย IoT ทำให้มนุษย์สามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ทั้งการเชื่อมต่อภายในบ้าน ที่ทำงาน หรือแม้แต่สถานที่ที่ต้องการตรวจสอบโดยใช้ระบบเชื่อมต่อเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 2.3 เป็นต้น

หลักการทำงานของ IoT สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนตามลำดับได้แก่ การเก็บข้อมูล (data collection) การตรวจทานและส่งต่อข้อมูล (collate and transfer) การวิเคราะห์ข้อมูลและสั่งการทำงาน (analyze data and take action)

- 1.) การเก็บข้อมูล (data collection) ข้อมูลที่ถูกเก็บจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดค่าหรือข้อมูลที่เราสนใจ ซึ่งโดยทั่วไปมี 3 ชนิด ได้แก่ เซนเซอร์ (sensor) ซึ่งออกแบบมาให้วัดค่าต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณแสง เป็นต้น เสาอากาศ (antenna) สำหรับรับสัญญาณจากคลื่นต่าง ๆ อุปกรณ์ IoT สุดท้าย คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) ซึ่งเปรียบเสมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเก็บข้อมูลและสั่งการให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างให้ทำงานตามคำสั่งถูกเขียนจากภาษาคอมพิวเตอร์ เช่น ภาษา C ภาษา JAVA หรือ ภาษา python และภาษาอื่น ๆ เป็นต้น
- 2.) การตรวจทานและส่งต่อข้อมูล (collate and transfer) ข้อมูลถูกเก็บจะถูกส่งไปที่พื้นที่เก็บข้อมูลหรือศูนย์ เก็บข้อมูล (hub หรือ gateway) เช่น พื้นที่เก็บข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต หรือส่งข้อมูลให้ไปเก็บในคอมพิวเตอร์ เป็นต้น หรืออาจส่งข้อมูลไปตรวจสอบความถูกต้องในคอมพิวเตอร์ส่วนตัวและเก็บในอินเทอร์เน็ต
- 3.) การวิเคราะห์ข้อมูลและสั่งการทำงาน (analyze data and take action) หลังจากตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้วก็จะทำการประมวลผลหรือวิเคราะห์ข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ตหรือคอมพิวเตอร์ส่วนตัว ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เสร็จแล้ว ระบบอินเทอร์เน็ตหรือคอมพิวเตอร์ก็จะทำการส่งอุปกรณ์ให้ทำตามคำสั่งที่กำหนดไว้ เช่น ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ถูกวัดจากเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ ได้ถูกส่งไปที่สมาร์ตโฟนเพื่อทดสอบความถูกต้อง จากนั้นสมาร์ตโฟนได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิแล้วปรากฏว่า อากาศร้อนเกินไป สมาร์ตโฟนก็จะสั่งการให้สปริงเกอร์ฉีดน้ำเพื่อให้ลดอุณหภูมิให้ลดลง เป็นต้น



รูปที่ 2.3 Internet Of Things [8]

2.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์และเว็บเบราว์เซอร์

2.7.1 Arduino

Arduino คือ Open-Source Platform สำหรับการสร้างต้นแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีจุดมุ่งหมายให้ Arduino Platform เป็น Platform ที่ง่ายต่อการใช้งาน Arduino ถูกใช้ประโยชน์ในลักษณะเดียวกับ MCU คือ ใช้ติดต่อสื่อสารและควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ด้วยการเขียนโปรแกรมให้กับ MCU เพื่อควบคุมการรับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าตามเงื่อนไขต่าง ๆ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Arduino ในชีวิตประจำวัน เช่น ระบบเปิด/ปิดไฟในบ้านอัตโนมัติ ระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ ระบบเปิด/ปิดประตูอัตโนมัติ ระบบเครื่องซักผ้าหยอดเหรียญ หรือใช้ควบคุมความเร็ว และทิศทางการหมุนของมอเตอร์ เป็นต้น โดย Arduino Platform ประกอบไปด้วย

1.) ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ (Hardware)

บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานหรือที่เรียกว่า บอร์ด Arduino โดยบอร์ด Arduino มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องขนาดของบอร์ดหรือรูปแบบการใช้งาน เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ แรงดันไฟที่ใช้ และประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น

1.1) NodeMCU คือ แพลตฟอร์มหนึ่งที่ใช้ช่วยในการสร้างโปรเจกต์ Internet of Things (IoT) ที่ประกอบไปด้วย Development Kit (ตัวบอร์ด) และ Firmware (Software บนบอร์ด) ที่เป็น open source สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lua ได้ มาพร้อมกับโมดูล WiFi (ESP8266) เป็นอุปกรณ์สำคัญในการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ตัวโมดูล ESP8266 มีหลากหลายรุ่น ตั้งแต่เวอร์ชันแรกที่เป็น ESP-01 จนถึงปัจจุบันมีถึง ESP-12 NodeMCU นั้นมีลักษณะคล้ายกับ Arduino ตรงที่มีพอร์ต Input Output build in ในตัว

สามารถเขียนโปรแกรมคอนโทรลอุปกรณ์ I/O ได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์อื่น ๆ สามารถทำให้ Arduino IDE ใช้งานร่วมกับ Node MCU ได้โดยสามารถเชื่อมต่อกับ WiFi ภายในบอร์ดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NodeMCU ประกอบไปด้วย ESP8266 พร้อมอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น พอร์ต micro USB สำหรับจ่ายไฟหรืออัปโหลดโปรแกรม ชิพสำหรับอัปโหลดโปรแกรมผ่านสาย USB ชิพแปลงแรงดันไฟฟ้า และขาสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ เป็นต้น

ESP8266 เป็นชื่อเรียกของชิพของโมดูล ESP8266 สำหรับติดต่อสื่อสารบนมาตรฐาน WiFi ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.0V-3.6V ทำงานใช้กระแสโดยเฉลี่ย 80 mA รองรับคำสั่ง deep sleep ในการประหยัดพลังงาน ใช้กระแสน้อยกว่า 10 μ A สามารถ wake up กลับมาส่งข้อมูลใช้เวลาน้อยกว่า 2 ms ภายในมี Low power MCU 32bit สามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้ มีวงจร analog digital converter ทำให้สามารถอ่านค่าจาก อนาล็อกได้ค่าความละเอียด 10 bit ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส เมื่อนำชิพ ESP8266 มาผลิตเป็นโมดูลหลายรุ่น จะขึ้นต้นด้วย ESP866 แล้วตามด้วยรุ่น เช่น ESP-01 ESP-03 ESP-07 และ ESP-12E เป็นต้น ESP8266 ติดต่อกับ Wi-Fi แบบ Serial สามารถเขียนโปรแกรมลงไปในชิพได้ โดยใช้ Arduino IDE ทำให้การเขียนโปรแกรมและใช้งานเป็นเรื่องง่ายคล้ายกับการใช้ Arduino Board

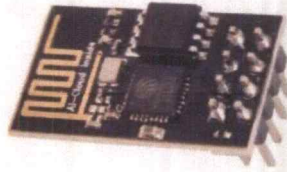
โมดูล ESP8266 มีหลากหลายรุ่นโดยโครงสร้างและขาที่ใช้งานมีลักษณะคล้ายกันคือ

- 1.) GPIO0 เป็นขาสำหรับเลือกโหมด โดยเมื่อต่อกับ GND จะเข้าโหมดโปรแกรม เมื่อต้องการให้ทำงานปกติไม่จำเป็นต้องต่อ
- 2.) GPIO15 เป็นขาที่ต้องต่อลง GND เพื่อให้โมดูลทำงาน
- 3.) CH_PD หรือ EN เป็นขาที่ต้องต่อไฟ V_{cc} เพื่อ pull up สัญญาณ ให้โมดูลทำงาน โมดูลบางรุ่นไม่มีขา Reset มาให้ เมื่อต้องการรีเซ็ต ให้ต่อขา CH_PD กับ GND
- 4.) Reset ต่อกับไฟ V_{cc} เพื่อ pull up สัญญาณ โดยเมื่อต้องการรีเซ็ต ให้ต่อกับไฟ GND
- 5.) V_{cc} เป็นขาสำหรับจ่ายไฟเลี้ยง ใช้ไฟเลี้ยง 3.0V-3.6V
- 6.) GND ต่อกับไฟ 0V
- 7.) GPIO เป็นขาดิจิตอล INPUT/OUTPUT ทำงานที่ไฟ 3.3V
- 8.) ADC เป็นขานาล็อกอินพุตรับแรงดันสูงสุด 1V ความละเอียด 10 bit หรือ 1024 ค่า

โมดูล ESP8266 รุ่นที่นิยมเช่น ESP-01 ESP-03 ESP-07 และ ESP-12E นอกจากนี้ยังมีบอร์ด ESP8266 ที่รวมวงจร USB TTL เข้าไปทำให้โปรแกรมกับ Arduino ได้ง่ายขึ้น เช่น NodeMCU Wemos D1 และ Wemos mini

1.1.1) ESP8266 ESP-01

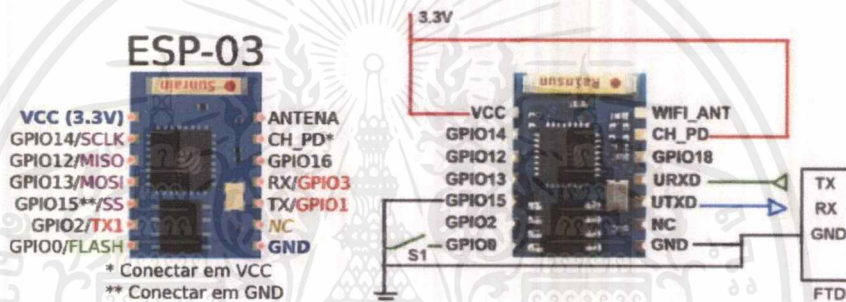
ESP8266 ESP-01 เป็นรุ่นที่มีขาต่อออกมาด้านนอก จึงสามารถต่อกับบอร์ดทดลองได้ง่าย มีขา GPIO 4 ขา คือ GPIO0 GPIO1 GPIO2 และ GPIO3 ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ESP8266 ESP-01

1.1.2) ESP8266 ESP-03

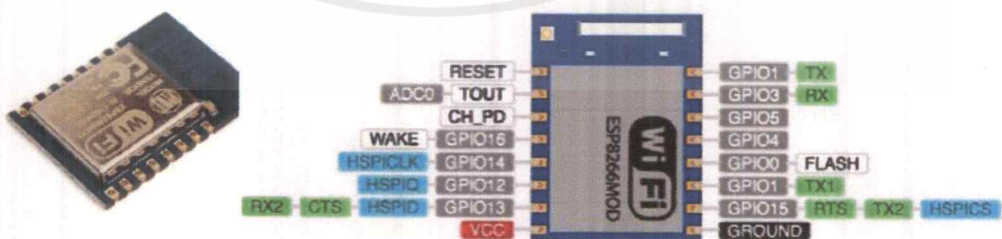
ESP8266 ESP-03 มีลักษณะคล้ายกับ ESP-01 มี package การต่อขาเป็นแบบเซอร์เฟซเมาท์ โดยจะมีขา GPIO มากขึ้น ทำให้ส่งงานอุปกรณ์ได้มากกว่า ESP8266 ESP-01 โดย ESP8266-03 มีขาทั้งหมด 14 ขา มีเสาอากาศแบบมาให้อยู่ในตัว และยังสามารถต่อสายอากาศเพิ่มเพื่อเพิ่มกำลังการรับส่งได้ที่ขา 14 ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ESP8266 ESP-03

1.1.3) ESP8266 ESP-07

ESP8266 ESP-07 จะการเพิ่มแผ่นเหล็กรูปชิป ESP8266 ไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน มีขาทั้งหมด 16 ขา โดยมีขา GPIO ให้เราใช้งาน 11 ขาและขา Analog Read อีก 1 ขา ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 ESP8266 ESP-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.4) ESP8266 ESP-12E

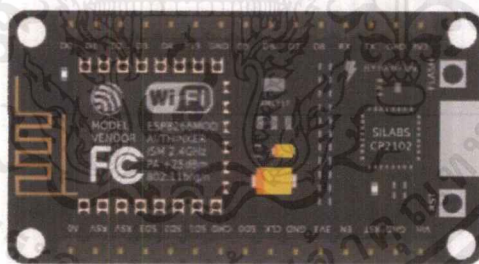
ESP8266 ESP-12E มีการจัดขาและต่อใช้งานแบบเดียวกับรุ่น ESP-07 โดยเปลี่ยนเสาอากาศมาเป็นแบบเดินวงจรภายใน PCB และเพิ่มจำนวนขาอีก 6 ขา คือ SCLK MOSI MISO สำหรับติดต่อกับเซนเซอร์อื่น ๆ โปรโตคอล SPI ซึ่งรุ่นนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก จึงเกิดการพัฒนาเป็นบอร์ด ESP8266-12 รุ่นต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ESP8266 ESP-12E

1.) บอร์ด ESP8266 NodeMCU V2

NodeMCU V2 เป็น ESP8266-12E ร่วมกับ USB TTL ที่ใช้ชิป CP2102 และขยายขาให้สามารถต่อทดลองได้ง่ายขึ้น มีปุ่ม reset และ flash สำหรับใช้โปรแกรม โดยใช้ Arduino IDE หรือโปรแกรมอื่น ๆ ได้อย่างสะดวก ดังรูปที่ 2.8

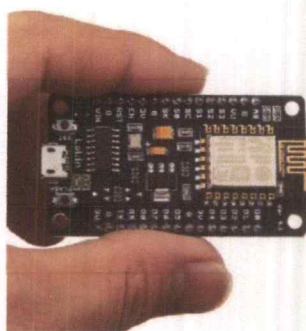


รูปที่ 2.8 ESP8266 NodeMCU V2

2.) บอร์ด ESP8266 NodeMCU V3

NodeMCU V3 เป็นบอร์ดที่มีลักษณะคล้ายกับ NodeMCU V2 ต่างกันเพียง NodeMCU V3 มีขนาดกว้างกว่าและใช้ชิป USB TTL เป็น CH340 ซึ่งการต่อใช้งานและโค้ดโปรแกรมเหมือนกันทุกประการ ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ESP8266 NodeMCU V3

3.) บอร์ด WeMos D1

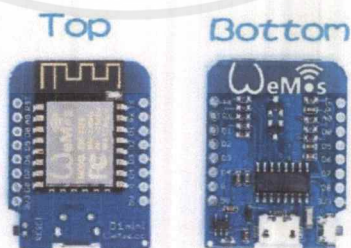
บอร์ด WeMos D1 ออกแบบให้มีลักษณะคล้ายบอร์ด Arduino Uno ใช้ ESP8266-12E เป็นตัวหลัก ชิป CH340 เป็น USB TTL รองรับไฟ 9V-12V ที่ช่อง Adapter รองรับไฟ 5V ที่ช่อง Micro USB และ 3.3V ที่ช่อง V_{in} ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 WeMos D1

4.) บอร์ด WeMos D1 Mini

บอร์ด WeMos D1 Mini แปลงบอร์ด Wemos D1 ให้มีขนาดเล็กลง โดยการแยกส่วน USB TTL และ ESP8266-12E ข้อดีคือ เวลาใช้งานจริงสามารถถอดเฉพาะส่วน ESP8266-12E ไปใช้งาน จะทำให้ประหยัดไฟได้ ดังรูปที่ 2.11

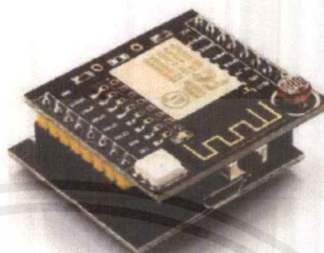


รูปที่ 2.11 WeMos D1 Mini

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.) Witty cloud Mini NodeMCU

Witty cloud Mini NodeMCU นี้มีขนาดเล็ก แยกส่วนได้ คล้าย ๆ กับ WeMos D1 Mini โดยใช้ ESP8266-12F โดยมี LDR สวิตช์ และ LED RGB ต่อมาไว้ในบอร์ด ทำให้สะดวกในการต่อทดลอง ข้อดีของรุ่นนี้คือฐานออกแบบมาให้มาขนาดเท่ากับบอร์ดขยายขาของ ESP-07 ESP-08 และ ESP-12 ทำให้สามารถนำไปใช้โปรแกรมกับ ESP รุ่นดังกล่าวได้ด้วย ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Witty cloud Mini NodeMCU

การเขียนโปรแกรม ESP8266 Arduino IDE สำหรับการต่อวงจรของ ESP8266 เพื่อเขียนโค้ดด้วยโปรแกรม Arduino ซึ่งเหมือนกันทุกรุ่น โดยแต่ละรุ่นจะมีจำนวนขาไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องเปรียบเทียบขา GPIO ให้ถูกต้องในการใช้งาน การเขียนโปรแกรมอัปโหลดโค้ดลงบอร์ด ESP8266 เกือบทุกรุ่นจะผ่านทาง Serial ที่ขา Rx และ Tx โดยใช้โมดูล USB TTL ซึ่งต้องเสียเวลาในการต่อวงจรเพื่ออัปโหลดโค้ด อีกทั้งโมดูล ESP8266 หลาย ๆ รุ่นมีการต่อขาที่เป็นแบบเซอร์เฟซเมสส์ ทำให้ไม่สะดวกกับการต่อทดลองบนบอร์ดทดลอง ดังนั้นจึงมีการรวมโมดูล USB TTL และต่อวงจรขยายขา ESP8266 ให้ขา มีระยะห่างขนาด 2.54 mm ซึ่งสามารถเสียบลงบอร์ดทดลองได้พอดี กลายเป็นบอร์ด ESP8266 โดยหนึ่งในบอร์ดที่นิยมใช้งานคือ NodeMCU ซึ่งใช้ โมดูล ESP8266 ESP-12E

จุดเด่นของ NodeMCU

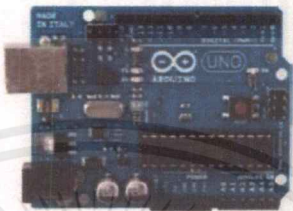
- 1.) สามารถเชื่อมต่อกับ WiFi ได้โดยไม่ต้องติดตั้งโมดูล WiFi เพิ่มเติม
- 2.) ราคาถูกเมื่อเทียบกับบอร์ดที่มี WiFi ในตัวรุ่นอื่น ๆ
- 3.) สามารถเขียนและอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ดด้วยโปรแกรม Arduino IDE ผ่านสาย USB แบบเดียวกับที่ใช้ชาร์จโทรศัพท์ได้
- 4.) สามารถอัปโหลดโปรแกรมผ่าน WiFi ได้ เรียกว่า Over the Air (OTA)
- 5.) ตัวบอร์ดมีขนาดเล็ก (ประมาณ 5.5 x 3 cm) [9]

1.2) Arduino IDE

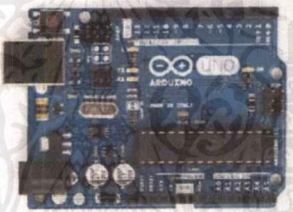
บอร์ด Arduino ที่นิยมใช้ส่วนใหญ่มีประมาณ 9 บอร์ดหลัก ๆ ดังนี้

1.2.1) Arduino Uno

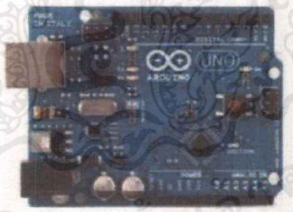
คำว่า Uno เป็นภาษาอิตาลี ซึ่งแปลว่า หนึ่ง เป็นบอร์ด Arduino รุ่นแรกที่ยังคงมีขนาดประมาณ 68.6x53.4mm เป็นบอร์ดมาตรฐานที่นิยมใช้งานมากที่สุด เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ ที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD ดังรูปที่ 2.13 รูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15 ตามลำดับ



รูปที่ 2.13 บอร์ด Arduino Uno R2



รูปที่ 2.14 บอร์ด Arduino Uno R3



รูปที่ 2.15 บอร์ด Arduino Uno SMD

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Uno

ขนาด	68.6x53.3 mm
น้ำหนัก	20 กรัม
ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7V - 12V

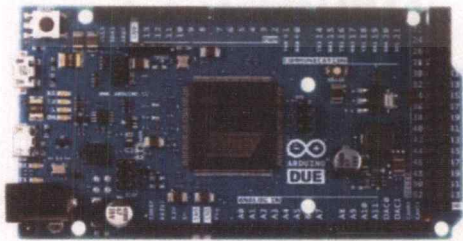
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Uno (ต่อ)

พอร์ตอนาล็อกอินพุต	6 พอร์ต
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6V - 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	68.6x53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม

1.2.2) Arduino Duo

Duo เป็นภาษาอิตาลี แปลว่า สอง เป็นรุ่นที่เพิ่มพอร์ตให้มากขึ้นเป็น 54 พอร์ตดิจิทัล อินพุตเอาต์พุต และ 12 พอร์ตอนาล็อกอินพุต 2 พอร์ตอนาล็อกเอาต์พุต เพิ่มพื้นที่โปรแกรมเป็น 512KB สามารถใช้งานพื้นที่ได้เต็ม เพียงแต่ไม่มี Bootloader เนื่องจากสามารถใช้กับพอร์ต USB ได้โดยตรง มีขนาดบอร์ด 101.52x53.3mm สามารถใช้ Shields ของ Arduino Uno ได้ แต่บางตัว จำเป็นต้องแก้ไขให้ถูกต้อง จากรูปที่ 2.16 บอร์ด Arduino ได้เปลี่ยนมาใช้ชิปไอซีแบบ SMD จึงไม่นิยมนำมาใช้ในแบบ Standalone แต่นิยมนำมาใช้ในงานที่จำเป็นต้องพื้นที่โปรแกรมมากขึ้น ทำงานที่ซับซ้อนมากขึ้น บอร์ด Arduino Duo ใช้ชิปไอซีเบอร์ AT91SAM3X8E ซึ่งเป็นชิปไอซีที่ใช้เทคโนโลยี ARM Core สถาปัตยกรรม 32 บิต แรงความถี่คริสตัลขึ้นไปสูงถึง 84 MHz จึงทำให้สามารถงานด้านการคำนวณหรือการประมวลผลอัลกอริทึมได้เร็วกว่า Arduino Uno มาก เนื่องจากชิปไอซีทำงานที่แรงดัน 3.3V ดังนั้นการนำไปใช้งานกับเซนเซอร์ควรวางไม่ให้แรงดัน 5V ไหลเข้าบอร์ด ควรใช้วงจรแบ่งแรงดันเพื่อช่วยให้ลอจิกลดแรงดันลงมาให้เหมาะสม



รูปที่ 2.16 บอร์ด Arduino Duo

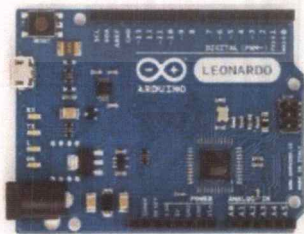
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Duo

พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	68.6x53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม
ใช้แรงดันไฟฟ้า	3.3V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7V - 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6V - 16V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 12 พอร์ต PWM output)
พอร์ตอนุาล็อกอินพุต	2 พอร์ต
กระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต	130mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	800mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 5V	800mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	512KB พื้นที่โปรแกรม
พื้นที่แรม	2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	96KB
ความถี่คริสตัล	84MHz
ขนาด	101.52x53.3 mm
น้ำหนัก	36 กรัม

1.2.3) Arduino Leonardo

บอร์ด Arduino Leonardo เป็นบอร์ดที่เลือกใช้ชิปไอซีเบอร์ ATmega32u4 ที่รองรับการเชื่อมต่อกับพอร์ต USB ได้โดยตรง ทำให้บอร์ดสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองตัวเองให้เป็นเมาส์หรือคีย์บอร์ดได้ ทำงานที่แรงดัน 5V ทำให้ไม่มีปัญหากับเซนเซอร์ หรือ Shields ที่ใช้งานกับ Arduino Uno ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 บอร์ด Arduino Leonardo

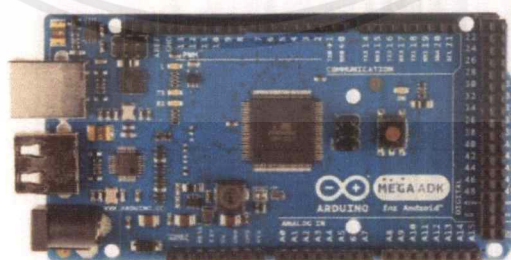
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Leonard

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega32u4
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7V - 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6V - 20V
พอร์ต Digital I/O	20 พอร์ต (มี 7 พอร์ต PWM output)
พอร์ตอนาล็อกอินพุต	12 พอร์ต
กระแสไฟฟ้ายรวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB แต่ 4KB ถูกใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	2.5KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	68.6x53.3 mm
น้ำหนัก	20 กรัม

1.2.4) Arduino MEGA ADK

บอร์ด Arduino MEGA ADK ใช้ชิปไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ ATmega2560 มีชิปไอซี USB Host เบอร์ MAX3421e ให้บนบอร์ดใช้สำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือแอนดรอยด์ผ่าน OTG มีพอร์ตดิจิตอลอินพุตเอาต์พุตจำนวน 54 พอร์ต มีอนาล็อกอินพุตมาให้อยู่ 16 พอร์ต ทำงานที่ความถี่ 16MHz บอร์ด Arduino MEGA ADK แตกต่างกับบอร์ด Arduino Duo ตรงที่ชิปบนบอร์ดมีประสิทธิภาพการทำงานช้าและใช้ความถี่ต่ำกว่า ดังนั้นจึงไม่เหมาะจะนำไปใช้กับงานคำนวณ แต่เหมาะสำหรับงานที่ใช้การเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือแอนดรอยด์ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 บอร์ด Arduino MEGA ADK

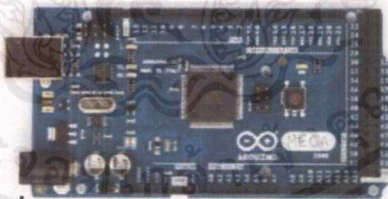
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino MEGA ADK

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega2560
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7V - 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6V - 20V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 15 พอร์ต PWM output)
พอร์ตอนุาล็อกอินพุต	16 พอร์ต
กระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	256KB แต่ 8KB ถูกใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	8KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	4KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	101.52x53.3 mm
น้ำหนัก	36 กรัม

1.2.5) Arduino Mega 2560

บอร์ด Arduino Mega 2560 มีลักษณะเหมือนกับ Arduino MEGA ADK ต่างกันตรงที่บนบอร์ดไม่มี USB Host มาให้ ดังนั้นการเขียนโปรแกรมยังต้องทำผ่านโปรโตคอล UART อยู่บนบอร์ด โดยใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ ATmega2560 ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 บอร์ด Arduino Mega 2560

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino MEGA 2560

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega2560
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7V - 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6V - 20V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 15 พอร์ต PWM output)

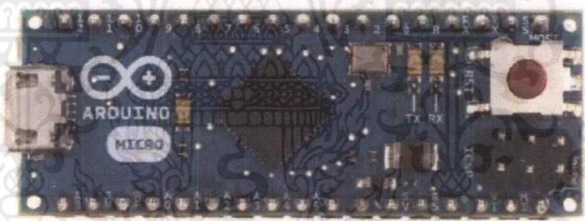
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino MEGA 2560 (ต่อ)

พอร์ตอนาล็อกอินพุต	16 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	256KB แต่ 8KB ถูกใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	8KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	4KB
ความถี่คริสตัล	16MHz

1.2.6) Arduino Micro

บอร์ด Arduino Micro ออกแบบให้มีขนาดเล็กและทันสมัยกว่าบอร์ด Arduino Mini หรือ Arduino Nano เนื่องจากบนบอร์ดใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ ATmega32u4 ซึ่งมาพอร์ต USB สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง และมีดิจิทัลอินพุตเอาต์พุตมากถึง 20 พอร์ต มีพื้นที่เก็บโปรแกรมขนาด 32KB แต่ต้องใช้พื้นที่สำหรับ Bootloader ไป 4KB มีขนาดเพียง 48x18mm เนื่องจากบอร์ดใช้ชิปไอซีตัวเดียวกับ Arduino Leonardo ทำให้สามารถทำให้บอร์ดจำลองตัวเองเป็นเมาส์หรือคีย์บอร์ดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 บอร์ด Arduino Micro

ตารางที่ 2.9 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Micro

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega32u4
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7V - 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6V - 20V
พอร์ต Digital I/O	20 พอร์ต (มี 7 พอร์ต PWM output)
พอร์ตอนาล็อกอินพุต	12 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA

ตารางที่ 2.9 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Micro (ต่อ)

พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 4KB ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	2.5KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	48x18 mm
น้ำหนัก	13 กรัม

1.2.7) Arduino Nano

บอร์ด Arduino Nano ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กและใช้กับงานทั่ว ๆ ไป ใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ ATmega168 หรือเบอร์ ATmega328 ซึ่งโปรแกรมผ่านโปรโตคอล UART มีชิป USB to UART มาให้และใช้ Mini USB เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ มีพอร์ตดิจิตอลอินพุต เอาต์พุต 14 พอร์ต มีพอร์ตอนาล็อกอินพุต 8 พอร์ต บนบอร์ดมีเรกูเลเตอร์สามารถจ่ายไฟได้ตั้งแต่ 7V - 12V เพื่อให้บอร์ดทำงานได้ (จ่ายไฟที่ขา V_{in}) ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 บอร์ด Arduino Nano

ตารางที่ 2.10 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Nano

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega168 หรือ ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7V - 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6V - 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ตอนาล็อกอินพุต	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA

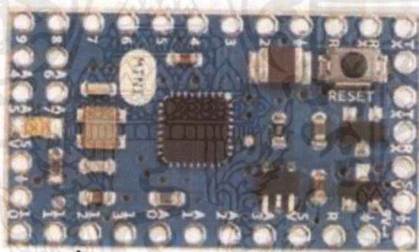
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Nano (ต่อ)

พื้นที่โปรแกรมภายใน	16KB หรือ 32KB พื้นที่โปรแกรม,500B ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	1 หรือ 2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	512B หรือ 1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	45x18 mm
น้ำหนัก	5 กรัม

1.2.8) Arduino Mini

บอร์ด Arduino Mini มีขนาดเล็กกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่น ๆ Arduino Mini ยังคงความสามารถเท่ากับบอร์ด Arduino Uno R3 มีพอร์ต A6 และ A7 เพิ่มขึ้นทำให้บอร์ดมีอนาล็อกอินพุตเพิ่มมากขึ้น จากเดิมมี 6 พอร์ต เพิ่มเป็น 8 พอร์ต เนื่องจากบอร์ด Arduino Mini มีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงไม่สามารถทำการเขียนโปรแกรมได้โดยตรง หากต้องการเขียนโปรแกรมบอร์ดจำเป็นต้องใช้โมดูล USB to UART แยก บอร์ด Arduino Mini ใช้ชิป ATmega328 ที่ความถี่ 16MHz ภายในบอร์ดสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟ 7V-12V ได้ ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 บอร์ด Arduino Mini

ตารางที่ 2.11 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Mini

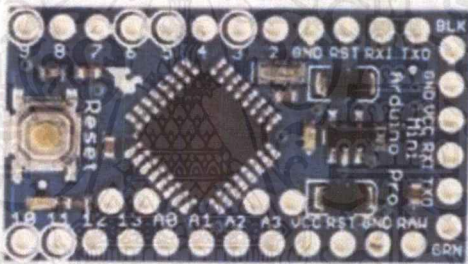
ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7V - 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6V - 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ตอนาล็อกอินพุต	8 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 2KB ใช้โดย Bootloader

ตารางที่ 2.11 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Mini (ต่อ)

พื้นที่แรม	2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	30x18 mm
น้ำหนัก	ไม่ระบุ

1.2.9) Arduino Pro Mini

บอร์ด Arduino Pro Mini เป็นบอร์ดที่แตกต่างจากบอร์ด Arduino Mini คือ ย้ายช่อง A4 A5 A6 A7 ออกมาภายในบอร์ด เพื่อให้บอร์ดมีขนาดที่เล็กลงกว่าเดิม และมีให้เลือกใช้ทั้ง 5V และ 3.3V บอร์ด Arduino Pro Mini ใช้ไอซีเบอร์ ATmega328 เช่นเดิม แต่มีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยและในโมเดลที่ใช้แรงดันไฟ 3.3V ลดความถี่ลงเป็น 8MHz ใช้พื้นที่ Bootloader น้อยลง เหลือเพียง 500B การเขียนโปรแกรมยังคงต้องใช้โมดูล USB to UART ในการเชื่อมต่อเพื่อโปรแกรมเช่นเดิม ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.23 บอร์ด Arduino Pro Mini

ตารางที่ 2.12 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Pro Mini

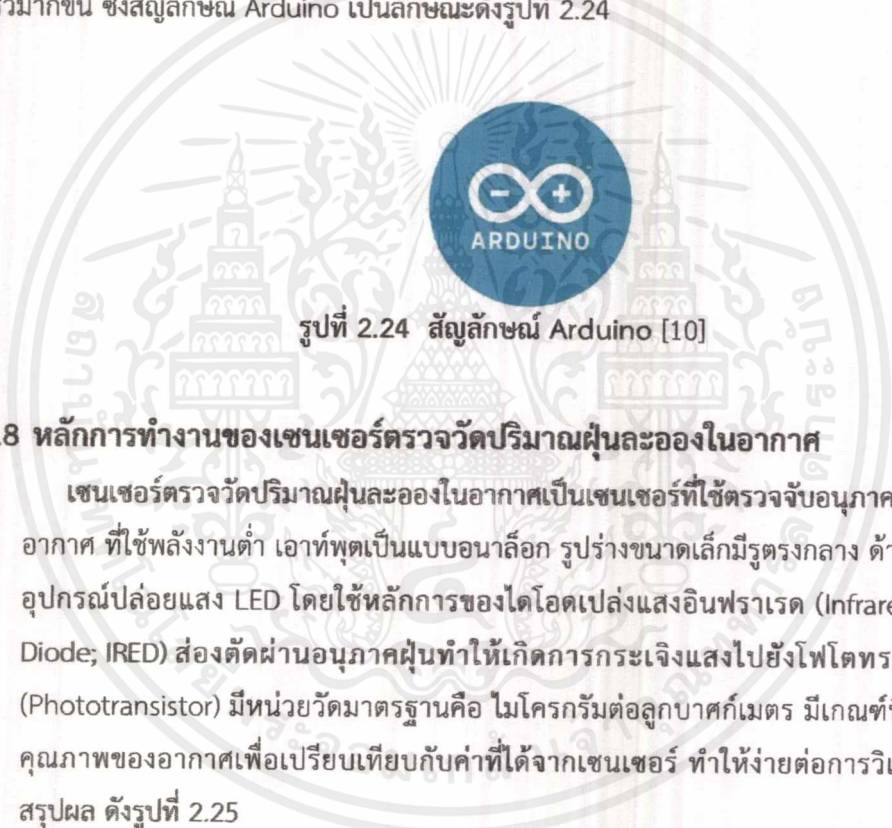
ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	3.3V หรือ 5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า	3.35V - 12V (ในโมเดลใช้ไฟ 3.3V) หรือ 5V-12V (ในโมเดลใช้ไฟ 5V)
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ตอนาล็อกอินพุต	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	2KB

ตารางที่ 2.12 ข้อมูลจำเพาะของ Arduino Pro Mini (ต่อ)

พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	8MHz (ในโมเดลใช้ไฟ 3.3V) หรือ 16MHz (ในโมเดลใช้ไฟ 5V)

2.7.2 ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ (Software)

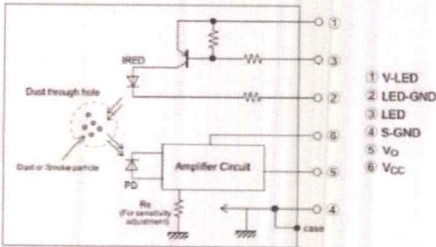
ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนางานสำหรับบอร์ด Arduino คือโปรแกรมที่เรียกว่า Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมและคอมไพล์ลงบอร์ด IDE (Integrated Development Environment) เป็นส่วนเสริมของระบบการพัฒนาหรือตัวช่วยต่าง ๆ ที่จะคอยช่วยเหลือ Developer หรือช่วยเหลือคนที่พัฒนา Application เพื่อเสริมให้เกิดความรวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำ เพื่อพัฒนางานต่าง ๆ เร็วมากขึ้น ซึ่งสัญลักษณ์ Arduino เป็นลักษณะดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ Arduino [10]

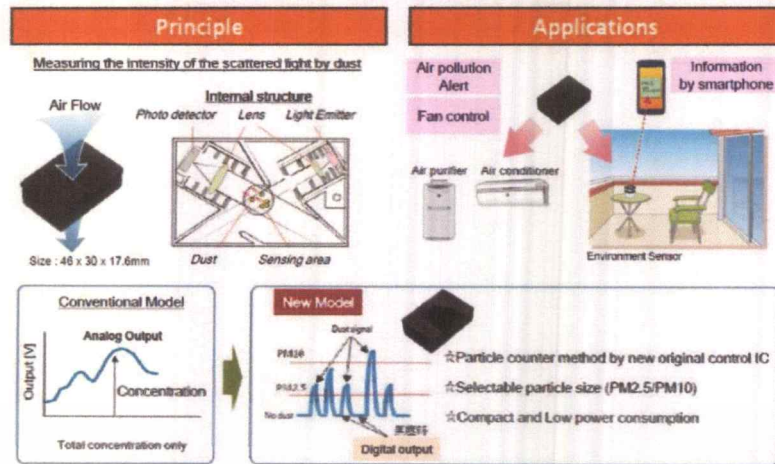
2.8 หลักการทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ

เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศเป็นเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับอนุภาคขนาดเล็กในอากาศ ที่ใช้พลังงานต่ำ เอาท์พุตเป็นแบบอนาล็อก รูปร่างขนาดเล็กมีรูตรงกลาง ด้านในเครื่องมีอุปกรณ์ปล่อยแสง LED โดยใช้หลักการของไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด (Infrared Emitting Diode; IRED) ส่องตัดผ่านอนุภาคฝุ่นทำให้เกิดการกระเจิงแสงไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) มีหน่วยวัดมาตรฐานคือ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีเกนจ์ที่ใช้แบ่งช่วงคุณภาพของอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเซนเซอร์ ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และสรุปผล ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 Internal Block Diagram

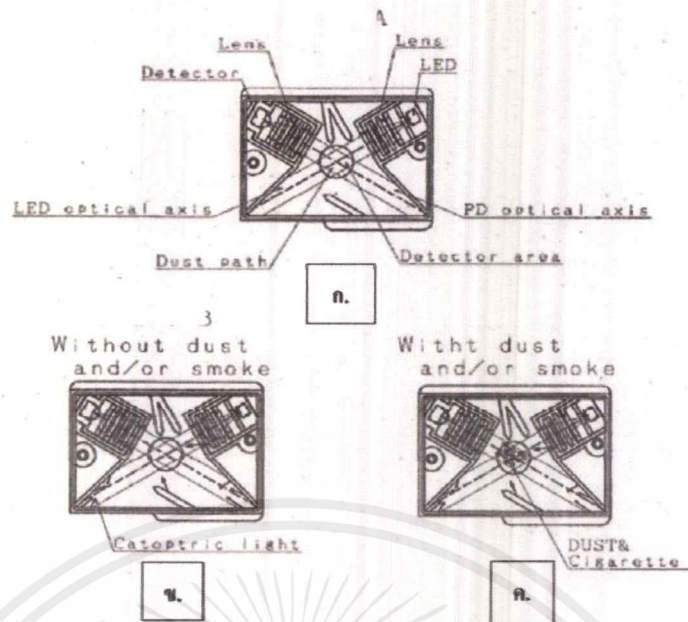
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 Principle Of Sharp Dust Sensor

ซึ่งลักษณะการทำงานของเซนเซอร์จะส่งแสงเลเซอร์ไปกระทบกับตัวรับและให้อากาศผ่านในช่อง หากการรับแสงมีค่าน้อยแสดงว่าฝุ่นละอองมาก หากมีการรับแสงมีค่ามากแสดงว่าฝุ่นละอองน้อย จากนั้นขยายสัญญาณและแปลงเป็นแรงดันเอาต์พุต เซนเซอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับควันทับหรี ($0.1 - 1 \mu\text{m}$) ลำดับขั้นตอนการตรวจจับฝุ่นเป็นไปอย่างรวดเร็ว สัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันอนาล็อกปกติจะอยู่ที่ระดับ 0.9 V สามารถต่อกับขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความละเอียด 10 bit หรือใช้โมดูล ADS1115 ที่มีความละเอียด 16 bit ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ต I2C ได้ ซึ่งสามารถวัด ควันทับ แ่ง และฝุ่น อีกทั้งนำไปประยุกต์ใช้ได้กับ Air purifier Air conditioner และ Air monitor ดังรูปที่ 2.6

จากรูปที่ 2.27 รูป ก. แสดงอุปกรณ์ในสภาวะปกติและรูป ข. แสดงเมื่อมีปริมาณฝุ่นน้อย ส่วนรูป ค. แสดงให้เห็นถึงการทำงานของอุปกรณ์เมื่อมีฝุ่นและควันทับหรีอยู่ภายใน ในกรณีนี้เครื่องตรวจจับจะตรวจจับแสงที่สะท้อนจากฝุ่นหรืออนุภาคของควันทับหรี มีอุปกรณ์ขยายสัญญาณและแปลงเป็นแรงดันเอาต์พุต นอกจากนี้เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองสามารถจำแนกได้หลากหลายรุ่น ดังต่อไปนี้

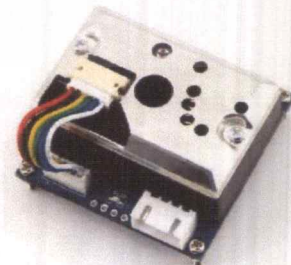


รูปที่ 2.27 หลักการทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ (ก) แสดงอุปกรณ์ในสภาวะปกติ (ข) แสดงเมื่อมีปริมาณฝุ่นน้อย (ค) การทำงานของอุปกรณ์เมื่อมีฝุ่นและควันบุหรี่อยู่ภายใน

2.8.1 Sharp GP2Y1010AU0F Dust Sensor

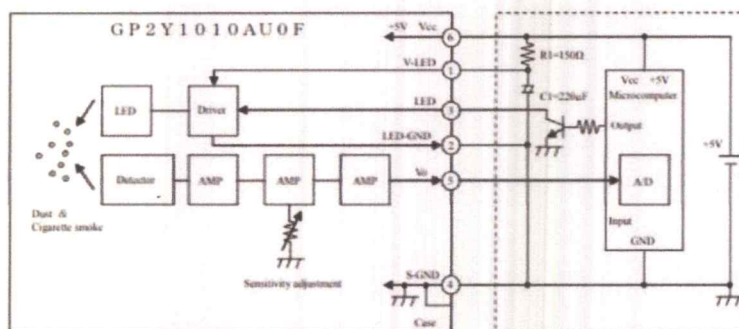
Sharp GP2Y1010AU0F เป็นเซนเซอร์ชนิดเดียวกับรุ่น GP2Y1014AU0F มีขั้วต่อ 6 ขา การทำงานของเซนเซอร์ GP2Y1010AU0F ใช้ขั้วต่อ JST (Japan Solderless Terminals) เชื่อมต่อกับ S6B-ZR-SM4A ซึ่งเซนเซอร์รุ่น GP2Y1014AU0F จะใช้ตัวเชื่อมต่อ JCTC 11501W90-6P-S-HF เข้ากับตัวเชื่อมต่อ JST แบบเดิม ดังรูปที่ 2.28

ข้อกำหนดสำหรับ GP2Y1010AU0F มีความไม่ชัดเจนเกี่ยวกับวิธีเชื่อมต่อเซนเซอร์ สำหรับรุ่น GP2Y1010AU0F และ GP2Y1014AU0F มีการเชื่อมต่อเป็นวงจรแบบเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน 150 Ω และตัวเก็บประจุ 220 μF ซึ่ง LED แทนการทำงานอย่างต่อเนื่อง ไฟ LED จะลดความเข้มของแสงเมื่อเวลาผ่านไป ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.28 Sharp GP2Y1010AU0F Dust Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 LED Pulse Drive Circuit

2.8.2 Sharp GP2Y1014AU0F Dust Sensor

Sharp GP2Y1014AU0F ถูกออกแบบเพื่อใช้ในเครื่องฟอกอากาศ GP2Y1014AU0F เป็น เซนเซอร์วัดฝุ่นที่มีเอาต์พุตแบบอนาล็อก ซึ่งคล้ายกับรุ่น GP2Y1010AU0F แต่มีความแม่นยำที่ดีขึ้น และสามารถพบได้ในแอปพลิเคชันสมาร์ทโฮม เช่นห้องตรวจสอบคุณภาพอากาศ ถูกออกแบบสำหรับการตรวจสอบคุณภาพอากาศ $PM_{2.5}$ ตามรูปแบบการทำงานของเซนเซอร์ ทั้งนี้ลักษณะของเครื่อง เซนเซอร์ Sharp GP2Y1014AU0F มีรูปแบบคล้ายกับ Sharp GP2Y1010AU0F สามารถแบ่ง คุณสมบัติของเซนเซอร์ได้ ดังตารางที่ 2.13



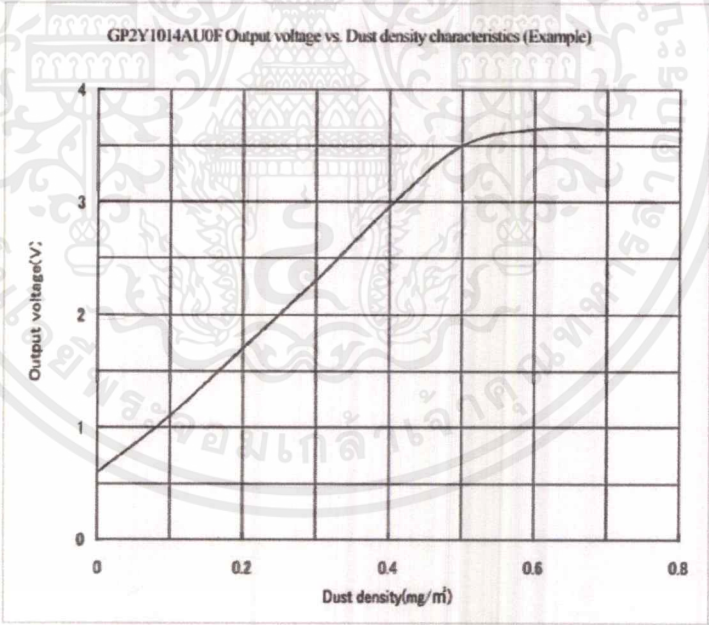
รูปที่ 2.30 Sharp GP2Y1014AU0F Dust Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซนเซอร์ GP2Y1010AU0F และGP2Y1014AU0F

Specification	GP2Y1010AU0F	GP2Y1014AU0F
Light emitting element	LED	LED
Minimum detectable dust size	0.5µm	0.5µm
Dust density sensing range	up to ~580 ug/m ³	up to ~580 ug/m ³
Sensing time	< 1 sec	< 1 sec
Sensing of PM2.5 and PM10 separately	No (measures total dust density only)	No (measures total dust density only)
Output interface	Analog	Analog
Output under zero dust conditions	0 to 1.5V	0.1 to 1.1V
Sensitivity	0.5 ± 0.15V per 100 ug/m ³ change	0.5 ± 0.075V per 100 ug/m ³ change
Accuracy	Accuracy ±30%	Accuracy ±15%

แม้ในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นและสภาพแวดล้อมที่สะอาด มีค่าเป็นศูนย์ เซนเซอร์ GP2Y1014AU0F จะส่งออกมาแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เป็นศูนย์ เรียกว่า V_{oc} ลักษณะการทำงานนี้จึงเป็นประโยชน์ เนื่องจากสามารถบอกได้อย่างง่ายว่าเซนเซอร์ทำงานหรือไม่ ข้อกำหนด GP2Y1014AU0F ระบุว่าค่าทั่วไปของ V_{oc} คือ 0.6 โวลต์ ซึ่งได้จากกราฟของแรงดันไฟฟ้าขาออก (V_o) เมื่อเทียบกับความหนาแน่นของฝุ่นตามจุดตัดแกน Y (mg/m^3) ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของฝุ่น (mg/m^3) กับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองในอากาศสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.2

$$Dust\ Density = \frac{dV}{K} \times 100 \quad (2.2)$$

โดยที่ *Dust Density* คือ ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองในอากาศในหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$

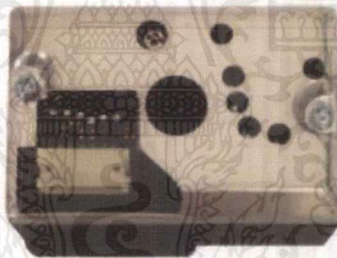
dV คือ ค่าความแตกต่างระหว่าง V_{out} กับ V_{oc}

K คือ ค่าความไวของเซนเซอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 หน่วยเป็น

$V/100(\mu\text{g}/\text{m}^3)$

2.8.3 Sharp GP2Y1026AU0F Dust Sensor

ตั้งแต่ Sharp ได้เปิดตัวเซนเซอร์เช่น GP2Y1026AU0F และ GP2Y1030AU0F ซึ่งมีการปรับปรุงการออกแบบและฟังก์ชัน Sharp GP2Y1026AU0F เป็นเซนเซอร์ UART แบบดิจิทัลที่มีวงจรฟิลส์ไครฟ์ในตัวและไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ซึ่งทำหน้าที่จัดการประมวลผลบางส่วนที่จำเป็นต้องใช้ในการประมวลผล เช่น การสอบเทียบหรือนำเสนอ การแก้ไขอุณหภูมิและค่าเฉลี่ยของข้อมูล อีกทั้งสามารถแบ่งคุณสมบัติของเซนเซอร์ได้เมื่อเทียบกับ GP2Y1010AU0F ดังตารางที่ 2.14

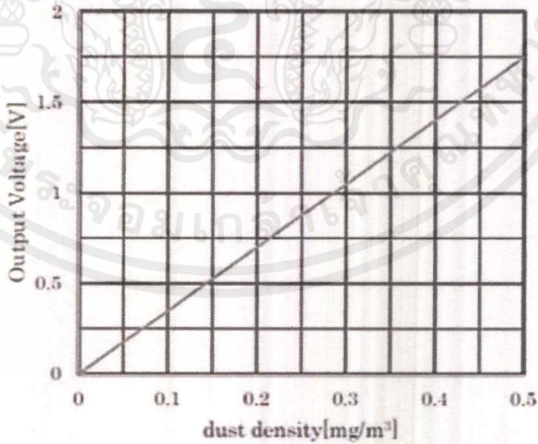


รูปที่ 2.32 Sharp GP2Y1026AU0F Dust Sensor

ตารางที่ 2.14 คุณสมบัติของเซนเซอร์ GP2Y1010AU0F และ Sharp GP2Y1026AU0F

Specification Parameter	GP2Y1010AU0F	GP2Y1026AU0F
Light emitting element	LED	LED
Min. detectable dust size	0.5µm	0.5µm
Dust density sensing range	0 to 600 µg/m³	0 to 1000 µg/m³
Sensing time	< 1 second	1 second
Sensitivity / Accuracy	0.5V ± 0.15V per 100 µg/m³ change Accuracy ±30%	0.35V ± 0.05V per 100 µg/m³ change Accuracy ±15%
Output interface	Analog	Digital (UART)
Sensing of PM2.5 and PM10 separately	No (measures total dust density only)	No (measures total dust density only)
LED pulse drive circuit	No (requires external circuit)	Yes
Offset correction	No (must subtract voltage level at zero dust)	Yes
Temperature correction	No	Yes
Averaging of data readings	No	Yes

สำหรับการใช้งานจริงจะกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ด้วยตัวเองโดยการวัดระดับความหนาแน่นของฝุ่นที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับอุปกรณ์อ้างอิงที่มีความแม่นยำสูง เช่น TSI DustTrak II Monitor ตัวอย่างเช่น ในกราฟแรงดันเอาต์พุตพล็อตจากเซนเซอร์บนแกน Y กับความหนาแน่นของฝุ่นบนแกน X ดังรูปที่ 2.33 ซึ่งวัดพร้อมกันโดยใช้เครื่องตรวจจับฝุ่นอ้างอิง จากนั้นคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ตามความชันของกราฟ ค่าสัมประสิทธิ์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหน้าจอการอ้างอิงฝุ่นที่ใช้และชนิดของอนุภาคที่กำลังทดสอบ

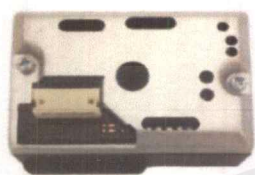


รูปที่ 2.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของฝุ่น (mg/m³) กับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)

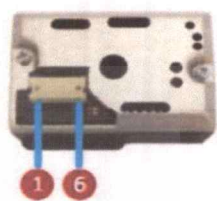
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 Sharp GP2Y1030AU0F Dust Sensor

Sharp GP2Y1030AU0F ดังรูปที่ 2.34 ออกแบบมาเพื่อใช้ในเครื่องฟอกอากาศ เป็น เซนเซอร์ UART ดิจิตอลที่ไม่มีไมโครคอมพิวเตอร์ในตัว (MCU) มีความสามารถในการนับจำนวนอนุภาค ในช่วงขนาดฝุ่นที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.5 Sharp GP2Y1030AU0F ประกอบด้วยวงจรพัลส์ไดรฟ์ มีการแก้ไขอุณหภูมิอัตโนมัติในตัวและแผงแบบถอดได้ซึ่งช่วยให้สามารถทำความสะอาดภายในได้ อีกทั้งสามารถแบ่งคุณสมบัติของเซนเซอร์ได้เมื่อเทียบกับ GP2Y1026AU0F ดังตารางที่ 2.15



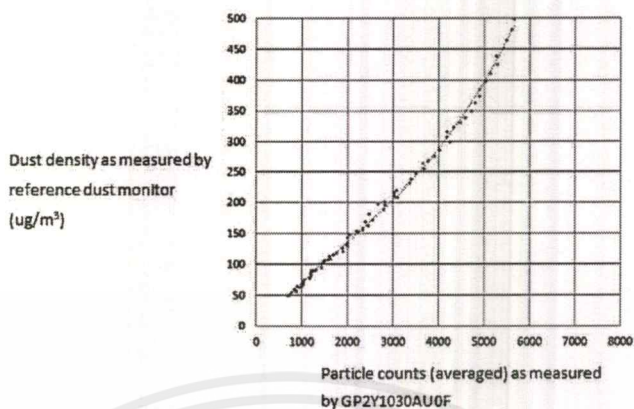
Pin number	Pin name
1	GND
2	Vcc
3	NC
4	NC
5	RxD
6	TxD



รูปที่ 2.34 Sharp GP2Y1030AU0F Dust Sensor

ตารางที่ 2.15 คุณสมบัติของเซนเซอร์ Sharp GP2Y1026AU0F และ Sharp GP2Y1030AU0F

Specification Parameter	GP2Y1026AU0F	GP2Y1030AU0F
Light emitting element	LED	LED
Minimum detectable dust size	0.5µm	1µm
Dust density sensing range	up to 1000 ug/m ³	up to 500 ug/m ³
Startup time	< 1 sec	5 sec
Sensing time	1 sec	10 sec
Sensitivity accuracy	0.35 ± 0.06V per 100 ug/m ³ change Accuracy ±15%	1590 particle counts per 100 ug/m ³ change Accuracy ±15%
Output interface	Digital (UART)	Digital (UART)
Sensing of different dust sizes	No (measures total dust density only)	Yes (measures PM < 2.5 / PM > 2.5 / All)
LED pulse drive circuit	Yes	Yes
Temperature correction	Yes	Yes (correction by sensor IC circuit)
User maintenance	Suction by vacuum cleaner	Cleaning inside is possible by removing a panel



รูปที่ 2.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการนับจำนวนอนุภาคเฉลี่ยกับความหนาแน่นของฝุ่น (ug/m^3) [11]

2.9 LCD Display

2.9.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ LCD Display

คำว่า LCD ย่อมาจากคำว่า Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นจอที่ทำมาจากผลึกคริสตอลเหลว หลักการคือ ด้านหลังจอมีไฟส่องสว่าง หรือที่เรียกว่า Backlight เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นที่ผลึกทำให้ผลึกโปร่งแสง ทำให้แสงที่มาจากไฟ Backlight แสดงขึ้นมาบนหน้าจอ ส่วนอื่นที่โดนผลึกปิดกั้นไว้ทำให้ไม่สว่าง ผลึกมีสีที่แตกต่างกันตามสีของผลึกคริสตอล เช่น สีเขียวหรือสีฟ้า ทำให้เมื่อมองไปที่จอจะพบกับตัวอักษรหรือพื้นหลังสีต่างกัน

จอ Liquid Crystal Display (LCD) เป็นจอแสดงผลรูปแบบหนึ่งที่ยิมนำมาใช้งาน ซึ่งจอ LCD มีทั้งแบบแสดงผลเป็นตัวอักษรเรียกว่า Character LCD ซึ่งมีการกำหนดตัวอักษรหรืออักขระที่สามารถแสดงผลไว้ชัดเจน และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานเรียกว่า Graphic LCD นอกจากนี้บางชนิดเป็นจอที่มีการผลิตขึ้นมาใช้เฉพาะงาน ทำให้มีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะเจาะจงในการแสดงผล เช่น นาฬิกาดิจิตอล เครื่องคิดเลข หรือหน้าปัดวิทยุ เป็นต้น

จอ LCD แบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ตามลักษณะการแสดงผลดังนี้

1. Character LCD เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบเฉพาะ เช่น จอ LCD ขนาด 16x2 หมายถึงใน 1 แถวมีตัวอักษรใส่ได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน ส่วน 20x4 หมายถึงใน 1 แถวมี ตัวอักษรใส่ได้ 20 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัด
2. Graphic LCD เป็นจอที่สามารถกำหนดได้ว่าจะให้แต่ละจุดบนหน้าจอขึ้นแสงหรือปล่อยแสงออกไป ทำให้อจอนี้สามารถสร้างรูปขึ้นมาบนหน้าจอได้ การระบุขนาดจะระบุในลักษณะของจำนวนจุด

(Pixels) ในแต่ละแนว เช่น 128x64 หมายถึงจอที่มีจำนวนจุดตามแนวนอน 128 จุด และมีจุดตามแนวตั้ง 64 จุด

2.9.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD

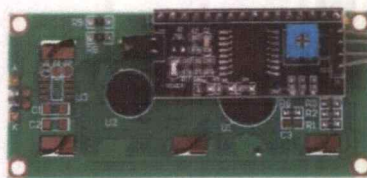
โครงสร้างของ LCD ทั่วไปประกอบด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกัน โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6-10 μm ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใสเพื่อใช้แสดงตัวอักษร ตรงกลางระหว่างตัวนำไฟฟ้าแบบใสกับผลึกเหลว มีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบ เรียกว่า Alignment Layer และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Magnetic โดย LCD สามารถแสดงผลให้มองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกัน คือ

1. แบบใช้การสะท้อนแสง (Reflective Mode) LCD ชนิดนี้ใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของ LCD ซึ่ง LCD ประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานในบริเวณที่มีแสงสว่างเพียงพอ
2. แบบใช้การส่งผ่าน (Transitive Mode) LCD ชนิดนี้วางหลอดไฟไว้ด้านหลังจอเพื่อทำให้การอ่านค่าที่แสดงผลทำได้ชัดเจน
3. แบบส่งผ่านและสะท้อน (Transflective Mode) LCD ชนิดนี้เป็นการนำเอาข้อดีของจอแสดงผล LCD ทั้ง 2 แบบมารวมกัน

ในบทนี้จะยกตัวอย่างจอ LCD ขนาด 16x2 Character หรือที่เรียกว่า จอ LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด สามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาไม่สูง เหมาะกับการใช้งานแสดงผลไม่มากในหน้าจอเดียว จอ LCD 16x2 Character ที่นิยมวางจำหน่ายจะมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ LCD แบบปกติที่เชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel) ดังรูปที่ 2.36 และ LCD แบบที่เชื่อมต่ออนุกรม (Serial) แบบ I2C ดังรูปที่ 2.37 โดยทั้ง 2 แบบตัวจอลักษณะเดียวกัน เพียงแต่แบบ I2C จะมีบอร์ดเสริมทำให้สื่อสารแบบ I2C ได้เชื่อมต่อได้สะดวกขึ้น



รูปที่ 2.36 จอ LCD 16x2 Character (Parallel)



รูปที่ 2.37 จอ LCD 16x2 Character (I2C) [12]

2.10 ระบบ WiFi (Wireless Fidelity)

Wi-Fi คือองค์การหนึ่งที่ทดสอบผลิตภัณฑ์ Wireless Lan หรือระบบ Network แบบไร้สาย ภายใต้เทคโนโลยีการสื่อสารภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 โดยอุปกรณ์ทุกตัวที่ต่างยี่ห้อกันนั้น สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ หากอุปกรณ์ตัวนั้นผ่านตามมาตรฐานก็จะมีสัญลักษณ์ WiFi certified ซึ่งเป็นที่รู้กันว่าอุปกรณ์ชิ้นนั้นสามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ตัวอื่นที่มีสัญลักษณ์ WiFi certified ดังรูปที่ 2.38 ได้เช่นกัน



รูปที่ 2.38 สัญลักษณ์ WiFi (Wireless Fidelity)

การสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สายมีมาตรฐาน IEEE802.11 เป็นมาตรฐานกำหนดรูปแบบการสื่อสาร ซึ่งมาตรฐานแต่ละตัวจะบอกถึงความเร็วและคลื่นความถี่สัญญาณที่แตกต่างกันในการสื่อสารข้อมูล เช่น 802.11b และ 802.11g ที่ความเร็ว 11 Mbps และ 54 Mbps ตามลำดับ และขอบเขตของสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 100 เมตรในพื้นที่โล่งและประมาณ 30 เมตรในอาคาร ซึ่งระยะทางของสัญญาณมีผลกระทบจากสิ่งรอบข้างหลาย ๆ อย่าง เช่น โทรศัพท์มือถือ ความหนาของกำแพง เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ รวมถึงร่างกายมนุษย์ด้วยเช่นกัน สิ่งเหล่านี้มีผลกระทบต่อการใช้งานเครือข่ายไร้สายทั้งสิ้น

2.10.1 รูปแบบเครือข่ายไร้สาย

การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายมี 2 รูปแบบ คือแบบ Ad-Hoc และ Infrastructure ทั้งสองรูปแบบมีการทำงานดังต่อไปนี้

1.) การเชื่อมต่อแบบกลุ่มส่วนตัว (Ad-Hoc)

การเชื่อมต่อแบบ Ad-Hoc เป็นการเชื่อมต่อที่ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปติดตั้งการ์ดแลนไร้สาย (Centrino Notebook) ทำการเชื่อมต่อสื่อสารกันโดยตรงไม่ต้องผ่านอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access Point) โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อแบบนี้สามารถสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ เช่น แชร์ไฟล์ เครื่องพิมพ์หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ การสนทนาแบบวีดิโอคอน

เฟอเรนซ์ และเล่นเกมแบบวงแลนได้ ซึ่งช่วยให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยไม่ต้องมีสายสัญญาณ แต่การเชื่อมต่อแบบ Ad-Hoc จะไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายมีสายสัญญาณได้ นอกจากนี้จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ Access Point เพื่อให้ Access Point ทำการเชื่อมต่อและส่งข้อมูลไปเครือข่ายมีสายแทน

2.) การเชื่อมต่อแบบกลุ่มโครงสร้าง (Infrastructure)

การเชื่อมต่อแบบ Infrastructure เป็นการเชื่อมต่อที่มีอุปกรณ์กระจายสัญญาณ เป็นตัวกลาง ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณและข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายของเครือข่ายไร้สายไปสู่เครือข่ายมีสาย หากสังเกตจะพบว่า Access Point มีการทำงานเหมือนอุปกรณ์ฮับ (HUB) ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบมีสาย และที่สำคัญหากมีการเข้าใช้งานเครือข่ายไร้สายของเครื่องลูกข่ายในจำนวนมาก ต่อหนึ่ง Access Point จะมีผลทำให้ความเร็วของการสื่อสารเครือข่ายไร้สายช้าลงด้วยเช่นกัน

ปัจจุบันเครือข่ายไร้สายแบบ Infrastructure ได้รับความนิยมสูง และเป็นเครือข่ายที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งทางด้านความเร็วในการสื่อสารและความปลอดภัยในการแลกเปลี่ยนข้อมูล เครือข่ายไร้สายช่วยให้เกิดความสะดวกมากขึ้นเพราะไม่ต้องเดินสายสัญญาณ สำหรับเครื่องลูกข่ายสามารถปรับเปลี่ยน เคลื่อนย้าย ขยายขนาดของเครือข่ายไร้สายได้ตลอดเวลา ด้วยความสะดวกสบายของเครือข่ายไร้สายทำให้เครือข่ายไร้สายได้รับการยอมรับ จากผู้ใช้งานมากขึ้นและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน [13]

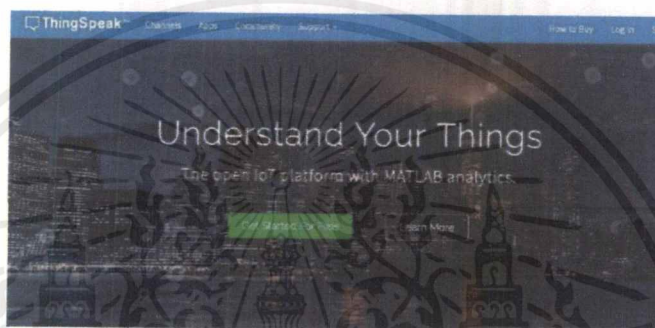
2.11 Web Browser

Web browser คือซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลและติดต่อสื่อสารกับระบบสารสนเทศที่อยู่ในรูปแบบของเว็บเพจอยู่บนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ชื่อว่า World Wide Web (WWW) ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลและเชื่อมต่อข้อมูลสารสนเทศที่จัดเก็บในหน้าเว็บที่สร้างด้วยภาษาเฉพาะ เช่น ภาษาเอชทีเอ็มแอล (html) ที่จัดเก็บไว้ในระบบบริการเว็บหรือเว็บเซิร์ฟเวอร์ หรือระบบคลังข้อมูลอื่น ๆ โดยโปรแกรมค้นดูเว็บเปรียบเสมือนเครื่องมือในการติดต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งภาษา HTML เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ในรูปแบบหนึ่งที่ใช้สำหรับสร้างหน้าเว็บ (Web Page) เพื่อเก็บข้อมูลข่าวสารที่ต้องการในรูปของเอกสารไฮเปอร์เท็กซ์ (Hypertext) ที่มีคุณสมบัติสามารถเชื่อมโยงหน้าเว็บหนึ่งไปยังหน้าเว็บอื่น ๆ ได้ โดยโครงสร้างของ HTML จะมีตัวกำกับหรือแท็ก (Tag) สำหรับใช้ในการควบคุมการแสดงผลของข้อความรูปภาพ ตาราง ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) [14]

2.11.1 Thingspeak

การใช้งาน Thingspeak.com ซึ่งเป็นระบบ Cloud Service ที่ให้บริการด้าน IoT (Internet of Things) หรือ สามารถเก็บ แบ่งปัน และแสดงผลข้อมูล (Save Share และ Visualize Data) ตามรูปแบบหรือสถาปัตยกรรมทางซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า RESTFUL Web Services ผ่านโปรโตคอลแบบ

HTTP และสะดวกต่อการนำไปพัฒนา Web Apps ดังรูปที่ 2.39 ในปัจจุบันมีผู้ให้บริการด้าน IoT Cloud Services หลายราย ซึ่งเปิดบริการและให้ทดลองใช้งานได้ฟรี แต่มีข้อจำกัดใช้งานเล็กน้อย ตัวอย่างบริษัทได้แก่ Xively.com ThingSpeak.com data.sparkfun.com และ Plot.ly ระบบเหล่านี้ให้บริการในการเก็บข้อมูล เช่น ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าต่าง ๆ ทางกายภาพหรืออุปกรณ์ที่เรียกว่า IoT Devices สามารถแชร์ข้อมูลผ่านเว็บ และแสดงข้อมูลเชิงกราฟิกหรือรูปภาพผ่านหน้าเว็บได้ อัปเดตข้อมูลบนหน้าเว็บได้โดยอัตโนมัติ สามารถนำเข้าหรือดึงข้อมูลออก (data import / export) ในรูปแบบอย่างเช่น JSON หรือ XML เป็นต้น ผ่านโปรโตคอล HTTP ดังนั้นจึงสามารถใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ได้หลายภาษาในการเชื่อมต่อกับระบบดังกล่าว เช่น C/C++ Python Java และ JavaScript



รูปที่ 2.39 หน้าต่างเว็บไซต์ Thingspeak.com [15]

2.12 APPLICATION

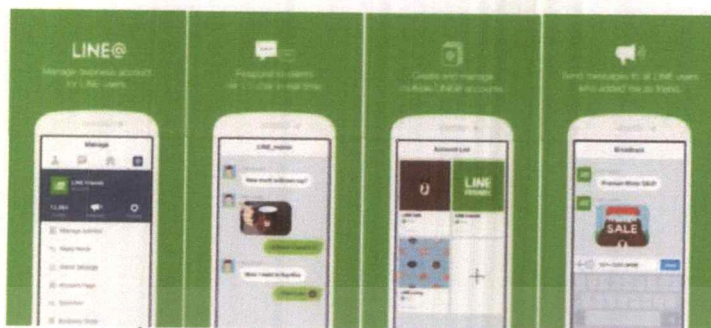
Application (แอปพลิเคชัน) คือโปรแกรมประเภทหนึ่ง เรียกว่าโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งถูกออกแบบมาให้ทำงานเฉพาะด้าน เช่น พิมพ์เอกสาร คำนวณ ตกแต่งรูปภาพ หรือการส่งข้อความ โปรแกรมเหล่านี้ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียว แต่เมื่อมีการพัฒนาสมาร์ตโฟนขึ้นมา แอปพลิเคชันจึงได้พัฒนานำไปใช้งานบนโทรศัพท์มือถือได้ การทำงานของแอปพลิเคชันบนเครื่องคอมพิวเตอร์ และบนสมาร์ตโฟนนั้นค่อนข้างต่างกัน แอปพลิเคชันที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นมีขนาดใหญ่ และมีความสามารถมากกว่าแอปพลิเคชันที่ทำงานบนสมาร์ตโฟนถึงแม้แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนจะมีขนาดเล็ก แต่สามารถใช้งานได้สะดวกมากกว่า มีความจุเพิ่มมากขึ้น มีหน่วยประมวลผลที่เร็วขึ้นแอปพลิเคชันจึงได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน [16]

2.12.1 Line (ไลน์)

คือ แอปพลิเคชันสำหรับการสื่อสารยอดนิยม เนื่องจากมีความสามารถที่หลากหลาย และทำงานได้บนหลากหลายอุปกรณ์ไม่ว่าจะเป็นสมาร์ตโฟน แท็บเล็ต หรือแม้กระทั่งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับความสามารถเด่น ๆ ที่ทำให้ Line มีความแตกต่างจาก Application สื่อสารอื่น ๆ ก็คือรูปภาพตัวการ์ตูนสื่ออารมณ์ที่เรียกว่า สติกเกอร์ ประโยชน์ของมันคือช่วยให้ลดปริมาณการพิมพ์ข้อความ และช่วยสร้างความแปลกใหม่ในการสนทนาได้เป็นอย่างดี รวมไปถึงการส่งข้อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือการแจ้งเตือนข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันไลน์ได้อย่างรวดเร็วและเข้าถึงเครือข่ายเชื่อมโยงได้อย่างสะดวกมากขึ้น ดังรูปที่ 2.40 และรูปที่ 2.41



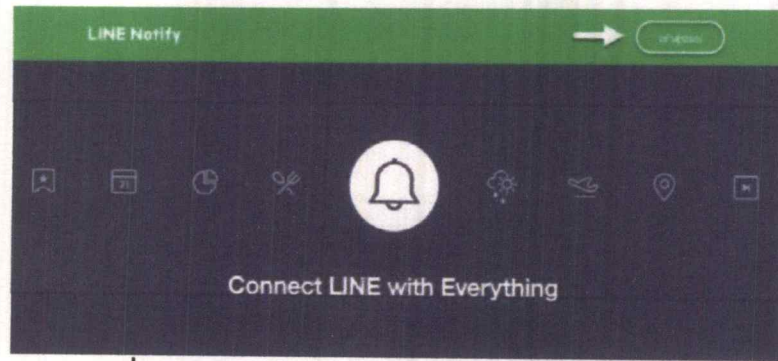
รูปที่ 2.40 รูปแบบการเชื่อมต่อแอปพลิเคชันไลน์



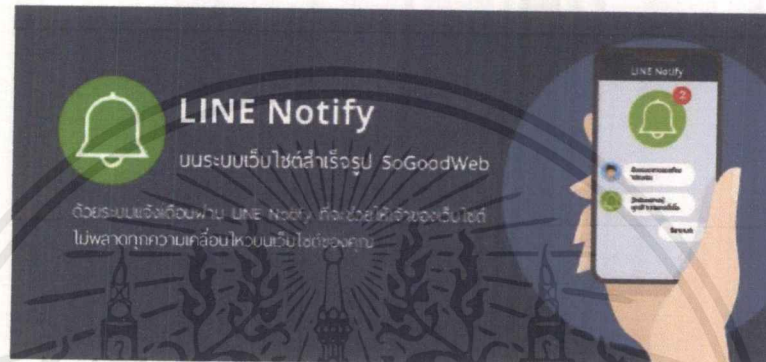
รูปที่ 2.41 สัญลักษณ์แอปพลิเคชันไลน์ [17]

2.12.2 Line Notify

LINE Notify คือ บริการที่สามารถรับข้อความแจ้งเตือนจากเว็บเซอร์วิสต่าง ๆ ที่สนใจได้ทาง LINE โดยหลังเสร็จสิ้นการเชื่อมต่อกับทางเว็บเซอร์วิสแล้วจะได้รับการแจ้งเตือนจากบัญชีทางการของ “LINE Notify” ซึ่งให้บริการโดย LINE ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับบริการที่หลากหลาย และยังสามารถรับการแจ้งเตือนทางกลุ่มได้อีกด้วย ซึ่งบริการหลัก ๆ ที่สามารถเชื่อมต่อได้แก่ GitHub IFTTT หรือ Mackerel เป็นต้น รวมถึงบริการที่ทางไลน์ได้เตรียมไว้ให้ในรูปแบบของ API ให้กับเหล่านักพัฒนานั้นสามารถนำไปใช้ต่อยอด พัฒนาโปรเจกต์ที่มีความต้องการส่งข้อความในการแจ้งเตือนเข้าไปยังกลุ่มหรือบัญชีส่วนตัวได้ ดังรูปที่ 2.42 และรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.42 หน้าต่างหลักของการเข้าสู่ระบบ LINE Notify



รูปที่ 2.43 ระบบ LINE Notify [18]

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ. 2543 วนิดาได้ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในห้องพักอาศัยที่มี ผลกระทบต่อสุขภาพของแม่บ้านและเด็กในกรุงเทพฯ โดยใช้แบบสอบถามและการตรวจสอบสมรรถนะ ของปอด โดยได้ทำการศึกษาใน 3 พื้นที่ ได้แก่ กรุงเทพฯ ชั้นใน กรุงเทพฯ ชั้นนอก และอำเภอ พินาย จังหวัดนครราชสีมา จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ PM_{10} ภายในห้องพักอาศัยมีค่าเฉลี่ย 77.9 58.4 และ 85.4 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และปริมาณ PM_{10} ภายนอกที่พักอาศัย มีค่าเฉลี่ย 89.2 71.3 82.14 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ อาการของโรคทางเดินหายใจผลการวิเคราะห์แบบสอบถาม พบว่ากลุ่ม ตัวอย่างในกรุงเทพฯ ชั้นนอก มีภาวะสุขภาพที่ดีกว่า กลุ่มตัวอย่างอำเภอพินาย จังหวัดนครราชสีมา และ กลุ่มกรุงเทพฯ ชั้นใน ตามลำดับ [19]

สมานชัย เลิศกมลวิทย์ (2543) ได้ทำการศึกษาฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ $PM_{10-2.5}$ และ PM_{10} ภายนอกป้อมตำรวจริมถนน ภายในป้อมตำรวจ และที่ตำรวจจราจรได้รับสัมผัส ในเขตกรุงเทพฯ เช่น ดินแดง ปทุมวัน รามคำแหงและงามวงศ์วาน ในเขตชานเมือง เช่น ตลาดคูและประชาสำราญ และในเขตอยุธยา ถูกเก็บด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเฉพาะบุคคล ติดหัวแยกฝุ่นอิมแพคเตอร์ หาปริมาณด้วยเครื่องซังหกตำแหน่ง เมืองเปรียบเทียบค่าที่ได้กับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ แบบเทปใช้รังสีเบต้า ที่สถานเฝ้าระวังดินแดงของกรมควบคุมมลพิษ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.948$, $p = 0.004$) PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ภายนอกป้อมในเขตกรุงเทพฯ มีค่ามากกว่า 100 $\mu g/m^3$

โดยเฉพาะที่ดินแดงและงามวงศ์วานมีค่าเกินมาตรฐานฝุ่นในบรรยากาศ ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในขณะที่ฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพฯ ทั้งหมดมีค่าเกินมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ US EPA กำหนด ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ฝุ่น PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ภายในป้อมมีค่าน้อยกว่าภายนอกป้อม ในขณะที่ฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่าอยู่ระหว่าง ฝุ่นละอองภายนอกป้อมและภายในป้อม การวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบธาตุยืนยันว่า การจราจรเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญสำหรับการศึกษารั้งนี้ สำหรับสัดส่วนของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ต่อ PM_{10} พบว่าไม่ขึ้นกับความเข้มข้นฝุ่นละออง แต่ความเป็นเมืองมีแนวโน้มทำให้สัดส่วนนี้ มีค่าสูงกว่าในต่างจังหวัด ซึ่งกรุงเทพฯ ค่าเฉลี่ยสัดส่วนนี้มีค่า 0.74 ส่วนหนองจอกเป็นชานเมืองกรุงเทพฯ มีค่า 0.65 ในขณะที่ยุธยา มีค่า 0.60 จากการวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นภายนอกป้อม ฝุ่นภายในป้อมและฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส ($p < 0.05$) สามารถหาสมการถดถอยเพื่อใช้ประมาณฝุ่นละอองภายในป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัสได้ โดยใช้ปริมาณฝุ่น PM_{10} ภายนอกป้อมเป็นตัวทำนายที่ดีที่สุด นอกจากนี้พบว่าปริมาณฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ในบรรยากาศ แปรผันตามความเข้มข้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ แต่แปรผกผันกับความเร็วลมสูงสุด [20]



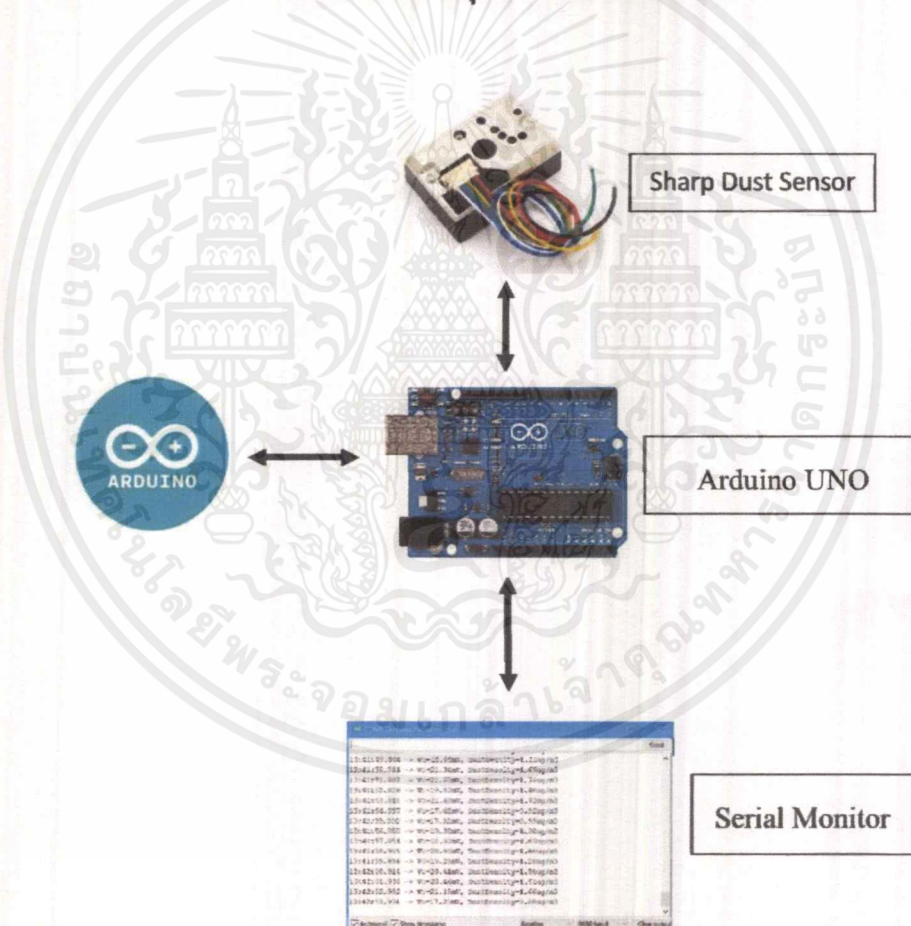
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานประกอบด้วยขั้นตอนการออกแบบวงจร วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง การติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE และการเชื่อมต่อของ NodeMCU กับ WiFi การสร้าง IoT Platform ของ thingspeak การติดต่อสื่อสารระหว่าง NodeMCU กับเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ และวิธีการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการออกแบบวงจร

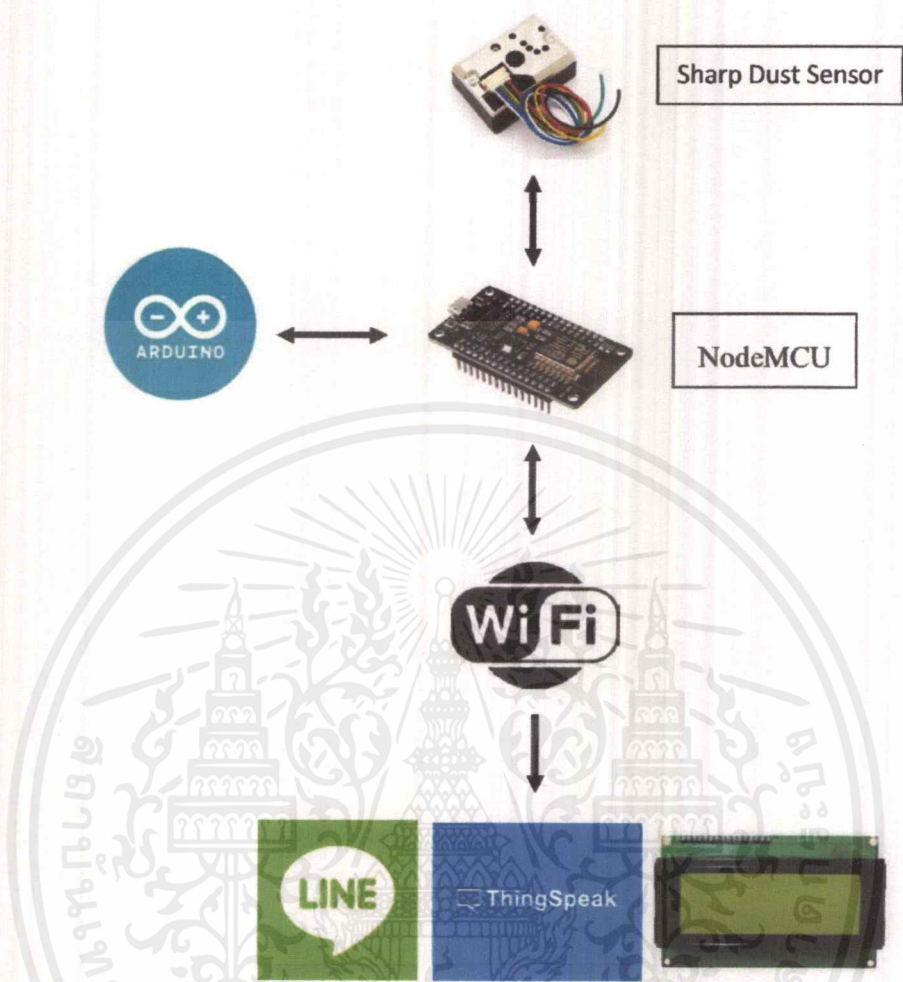
3.1.1 การออกแบบระบบการตรวจวัดฝุ่นของ Arduino UNO



รูปที่ 3.1 ระบบการตรวจวัดฝุ่นของ Arduino UNO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบระบบการตรวจวัดฝุ่นของ NodeMCU ESP8266



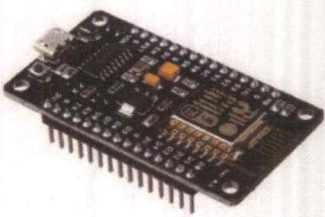
รูปที่ 3.2 ระบบการตรวจวัดฝุ่นของ NodeMCU ESP8266

3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 NodeMCU ESP8266

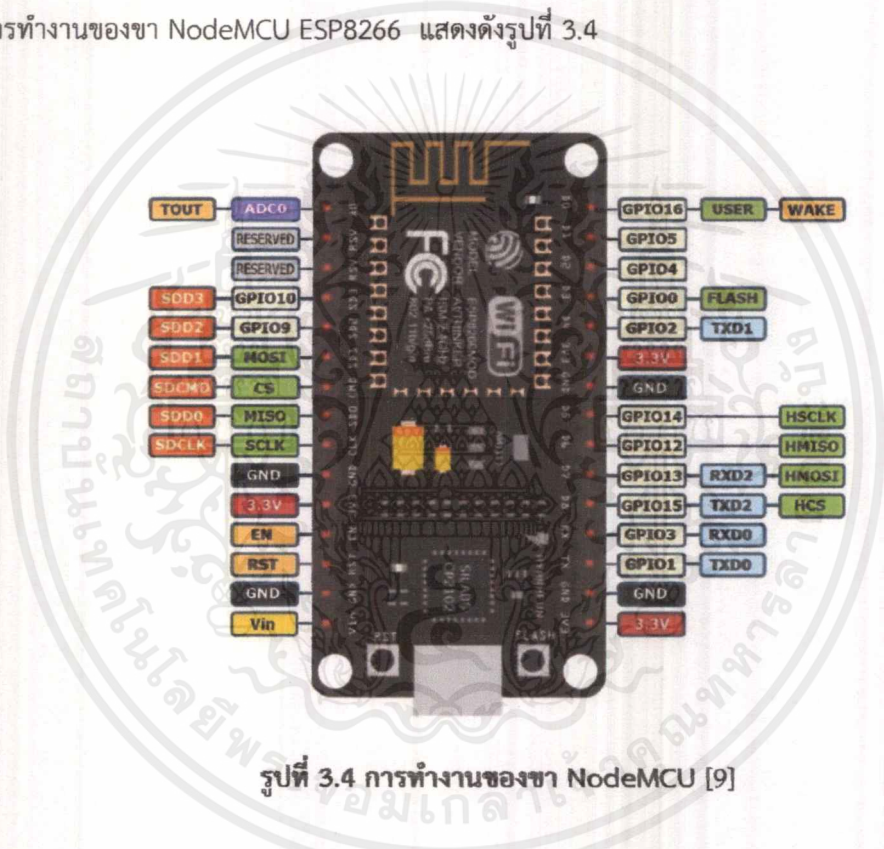
ในโครงงานพิเศษนี้จะใช้ NodeMCU ESP8266 ดังรูปที่ 3.3 ในการเชื่อมต่อ WiFi โดยสามารถเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE ได้เช่นเดียวกับ Arduino Board ซึ่ง NodeMCU เป็นบอร์ดคล้าย Arduino เหมาะแก่ผู้ที่คิดจะเริ่มต้นศึกษา หรือทดลองใช้งานเกี่ยวกับ Arduino IoT และอิเล็กทรอนิกส์ แม้แต่การนำไปใช้จริงในโปรเจคต่าง ๆ เนื่องจากมีราคาถูก ภายในบอร์ดของ NodeMCU ประกอบไปด้วย ESP8266 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเชื่อมต่อ WiFi ได้ พร้อมอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น พอร์ต micro USB สำหรับจ่ายไฟหรืออัปโหลด

โปรแกรม ชิฟสำหรับอัปโหลดโปรแกรมผ่านสาย USB ชิฟแปลงแรงดันไฟฟ้า และขาสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก เป็นต้น



รูปที่ 3.3 NodeMCU ESP8266

การทำงานของขา NodeMCU ESP8266 แสดงดังรูปที่ 3.4



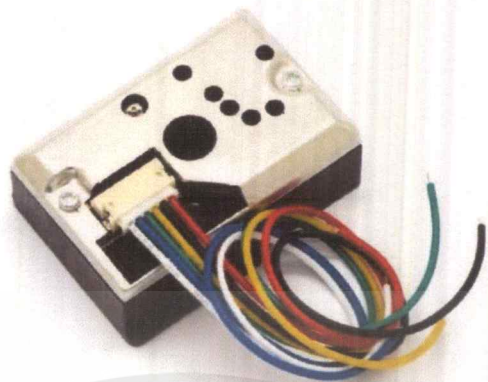
รูปที่ 3.4 การทำงานของขา NodeMCU [9]

3.2.2 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ

ในโครงการพิเศษนี้จะใช้เซนเซอร์รุ่น Sharp GP2Y1014AU0F ดังรูปที่ 3.5 เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ Dust Sensor GP2Y1010AU0F เป็นเซนเซอร์ใช้สำหรับตรวจจับควันและฝุ่นละอองในอากาศ ค่าที่ได้ออกมาเป็นอนาล็อก 0-1023 ลักษณะการทำงานคือ เซนเซอร์จะส่งแสงเลเซอร์ไปกระทบกับตัวรับและให้อากาศผ่านในช่อง หากการรับแสงมีน้อยแสดงว่าฝุ่นละอองจำนวนมากและหากมีการรับแสงได้มากแสดงว่าฝุ่นละอองจำนวนน้อย สามารถวัด ควันรูป แป้ง ฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับ Air purifier Air conditioner และ Air monitor ซึ่งขาของ Sharp Dust Sensor ที่ต่อเข้ากับขาของบอร์ด Arduino เป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 เซนเซอร์ตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ

ตารางที่ 3.1 ขาของ Sharp Dust Sensor ที่ต่อเข้ากับขาของบอร์ด Arduino

Sensor Pin	Arduino Pin
Vled	5V (150ohm resistor)
LED-GND	GND
LED	Digital pin 2
S-GND	GND
Vo	Analog pin 0
Vcc	5V

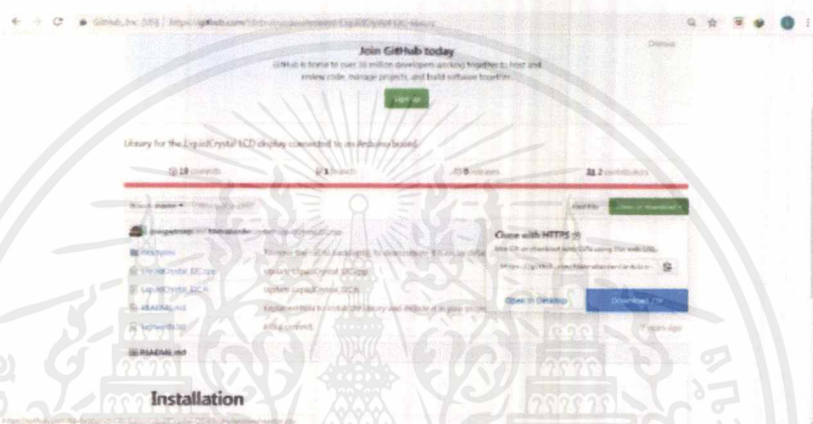
3.2.3 หลักการทำงานของเซนเซอร์ (Sharp GP2Y1014AU0F)

ลักษณะการทำงานของเซนเซอร์ Sharp GP2Y1014AU0F จะส่งแสงเลเซอร์ไปกระทบกับตัวรับและให้อากาศผ่านในช่อง หากการรับแสงมีค่าน้อยแสดงว่าฝุ่นละอองมาก หากมีการรับแสงมีค่ามากแสดงว่าฝุ่นละอองน้อย จากนั้นขยายสัญญาณและแปลงเป็นแรงดันเอาต์พุต เซนเซอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับควันทูร์ (0.1 – 1 μm) ลำดับขั้นการตรวจจับฝุ่นเป็นไปอย่างรวดเร็ว สัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันอนาล็อกปกติจะอยู่ที่ระดับ 0.9 V สามารถต่อกับขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความละเอียด 10 บิตหรือใช้โมดูล ADS1115 ที่มีความละเอียด 16 บิตร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ต I2C ได้ Sharp GP2Y1014AU0F เป็นเซ็นเซอร์วัดฝุ่นที่มีเอาต์พุตแบบอนาล็อก ซึ่งคล้ายกับรุ่น GP2Y1010AU0F แต่มีความแม่นยำที่ดีขึ้น

และสามารถพบได้ในแอปพลิเคชันสมาร์ทโฮม เช่นห้องตรวจสอบคุณภาพอากาศ ถูกออกแบบสำหรับการตรวจสอบคุณภาพอากาศ PM_{2.5} ตามรูปแบบการทำงานของเซนเซอร์

3.2.4 LCD 16x2 Plus I2C Interface (Blue Screen)

จอ LCD (Liquid Crystal Display) หรือจอภาพผลึกเหลว ขนาด 16 ตัวอักษร 2 แถว ใช้ไฟฟ้าขาเข้าที่ 3.3V - 5V มาพร้อมกับ I2C Interface สำหรับส่งข้อมูล ทำให้เหลือสายเชื่อมต่อกับ Arduino เพียง 4 เส้น คือสายกราวด์ สายไฟ สาย SDA และสาย SCL พร้อมยังมี Libraries มาตรฐานพร้อมใช้งาน ดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 Libraries ของ LiquidCrystal_I2C



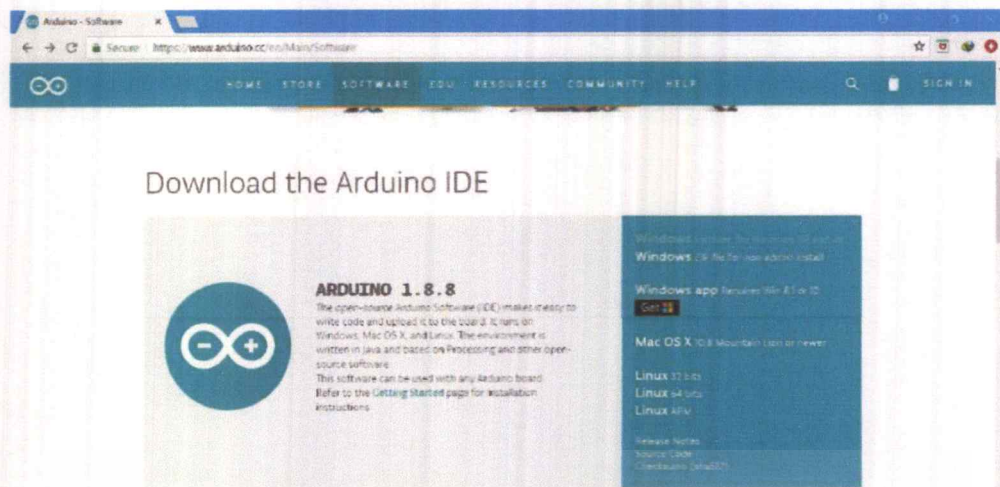
รูปที่ 3.7 แสดงรูป I2C เชื่อมกับ LCD [12]

3.3 การติดตั้งโปรแกรมและการเชื่อมต่อของ NodeMCU กับ WiFi

1.) ติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE โดยมีขั้นตอนการติดตั้งดังนี้

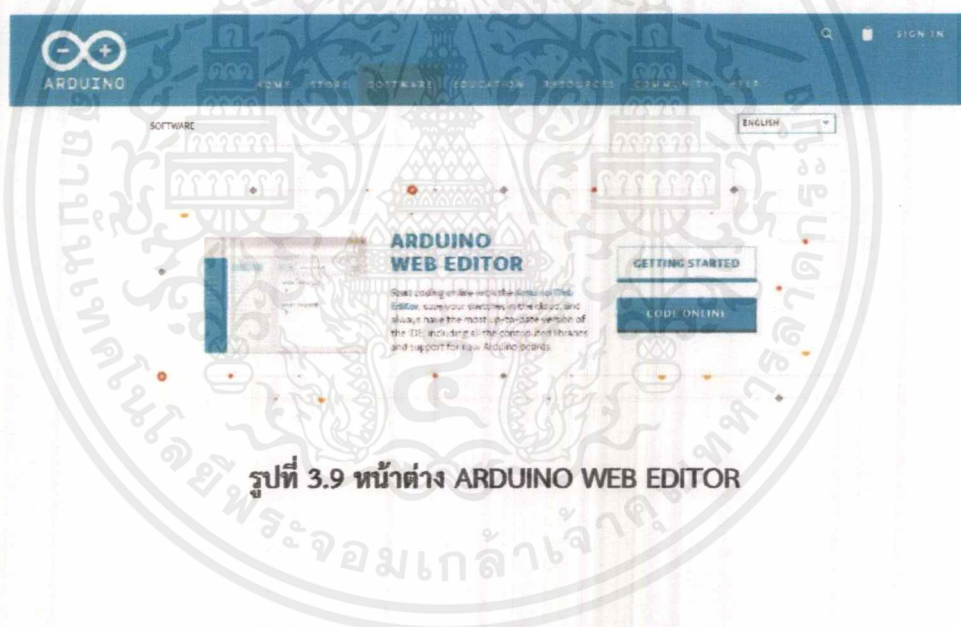
ดาวน์โหลด Arduino IDE จากเว็บไซต์ <http://www.arduino.cc/en/Main/Software> แล้วติดตั้งโปรแกรมดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



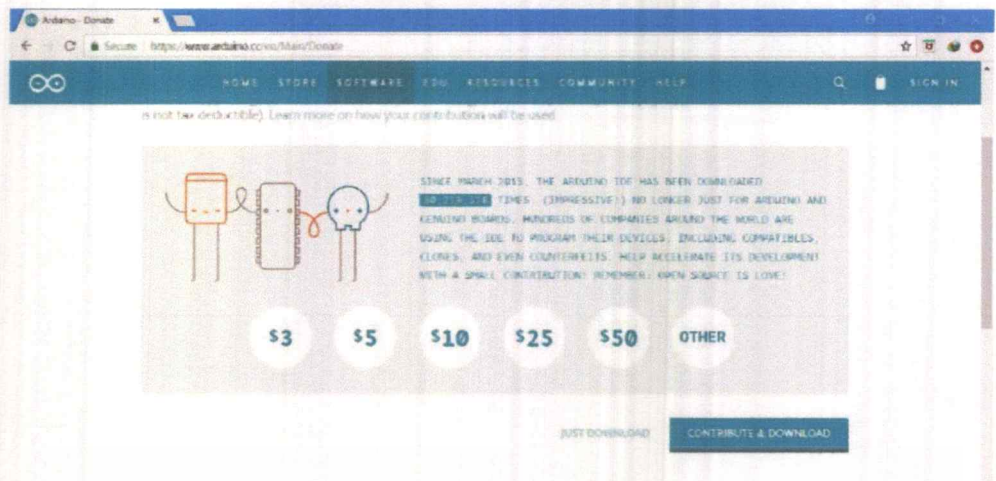
รูปที่ 3.8 หน้าต่างดาวน์โหลด Arduino IDE

เมื่อดาวน์โหลดโปรแกรม Arduino IDE แล้ว ทำการกด GETTING STARTED ตามรูปที่ 3.9 จากนั้นทำการกด JUST DOWNLOAD ตามรูปที่ 3.10 เพื่อติดตั้งโปรแกรมลงบนคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.9 หน้าต่าง ARDUINO WEB EDITOR

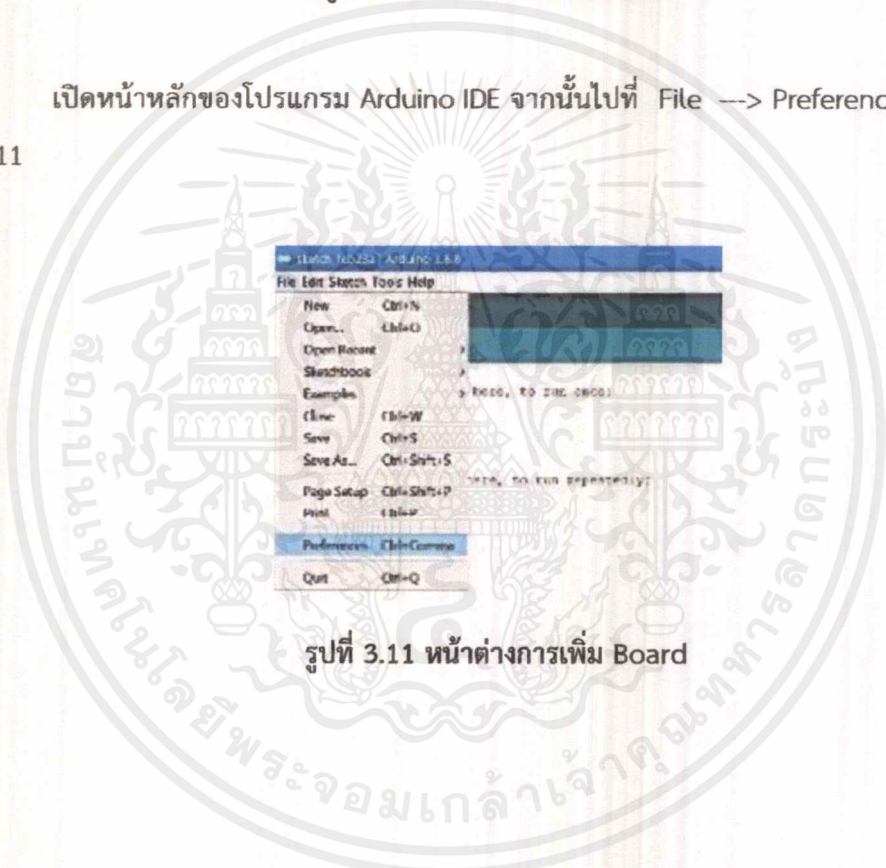
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 หน้าต่างการกดติดตั้ง

เปิดหน้าต่างของโปรแกรม Arduino IDE จากนั้นไปที่ File --> Preferences ตามรูปที่

3.11

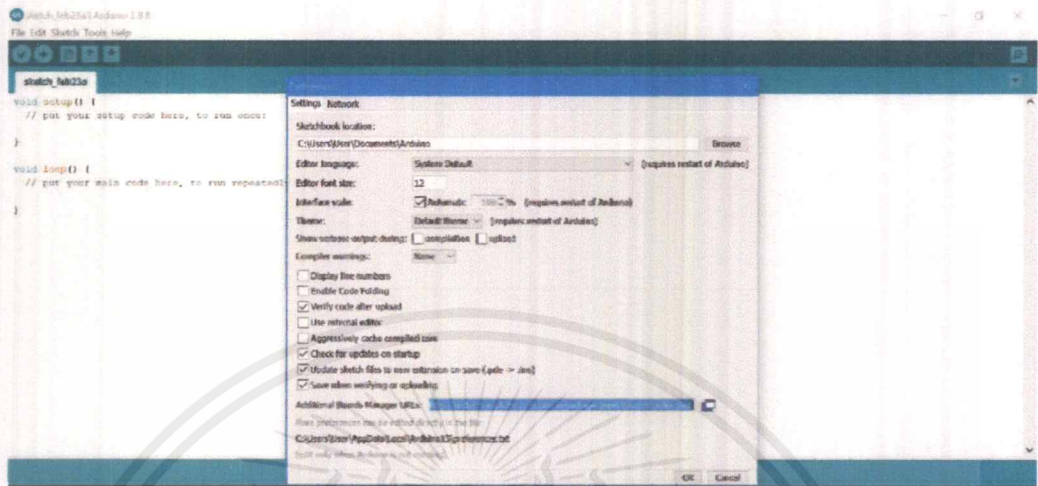


รูปที่ 3.11 หน้าต่างการเพิ่ม Board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

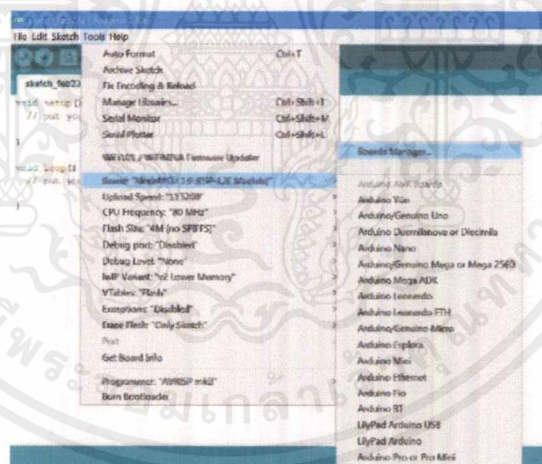
ทำการเพิ่ม Board ของ ESP8266 โดยทำการใส่ URL นี้

http://arduino.esp8266.com/package_esp8266com_index.json ลงไปในช่องกรอกรับน้ำเงิน
ที่มีชื่อว่า Additional Boards Manager URLs : ดังรูปที่ 3.12 จากนั้นกด OK



รูปที่ 3.12 การเพิ่ม Board ของ ESP8266

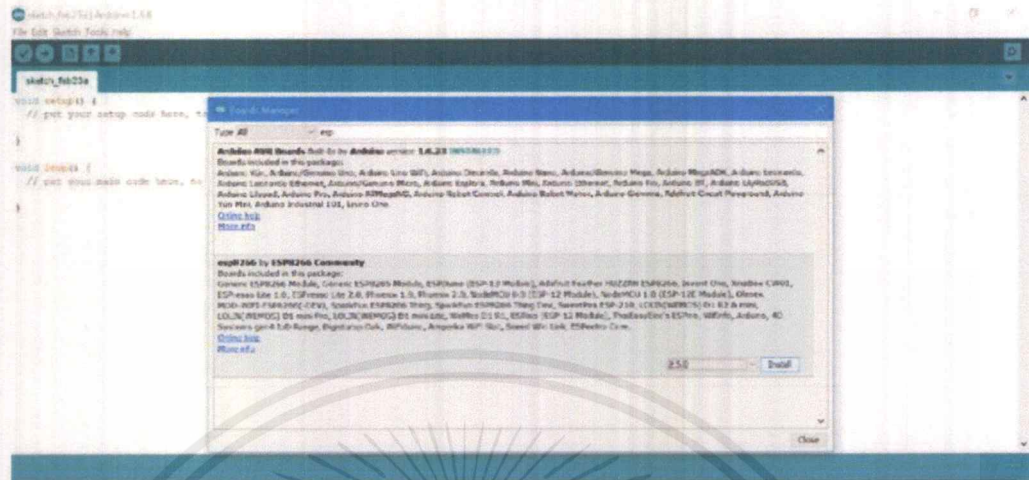
กลับมาที่หน้าหลัก เลือก Tool → Boards Manager ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 หน้าต่างฟังก์ชันเครื่องมือ

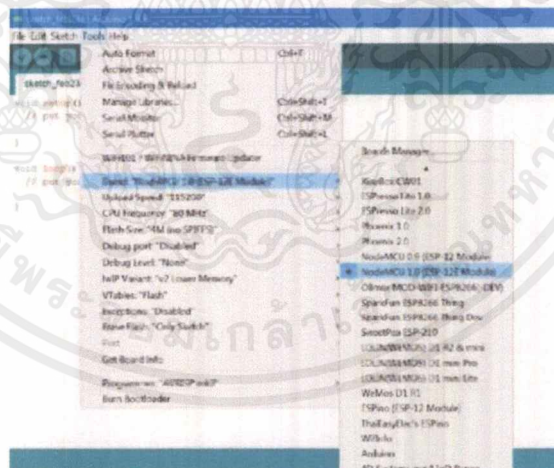
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค้นหาคำว่า ESP8266 by ESP8266 Community คลิกที่ปุ่ม Install ดังรูปที่ 3.14 จากนั้น
รอการอัปเดตจนเสร็จ



รูปที่ 3.14 หน้าต่าง Board Manager

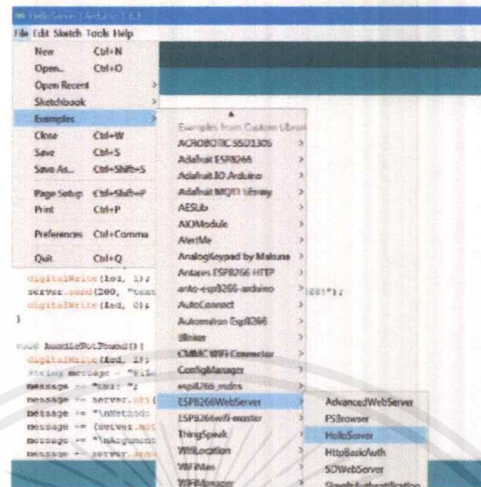
เมื่อทำการติดตั้งเสร็จแล้วกลับไปหน้าจอหลัก กดที่ Tool เลือกบอร์ด NodeMCU 1.0
ESP8266-12E เพื่อจบการติดตั้ง ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การเลือกบอร์ด NodeMCU

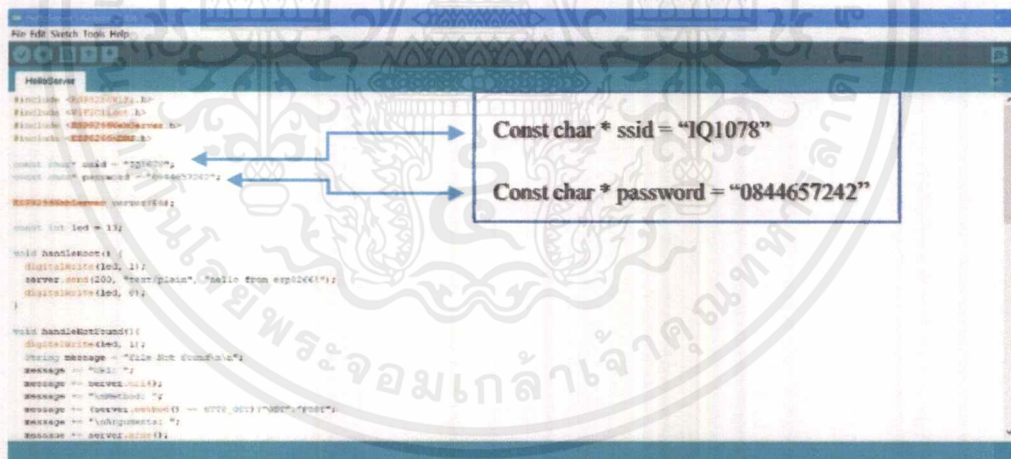
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการเชื่อมต่อของ NodeMCU กับ WiFi โดยเลือกที่ File → Examples → ESP8266Webserver → เลือก HelloServer ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การทดสอบการเชื่อมต่อของ NodeMCU กับ WiFi

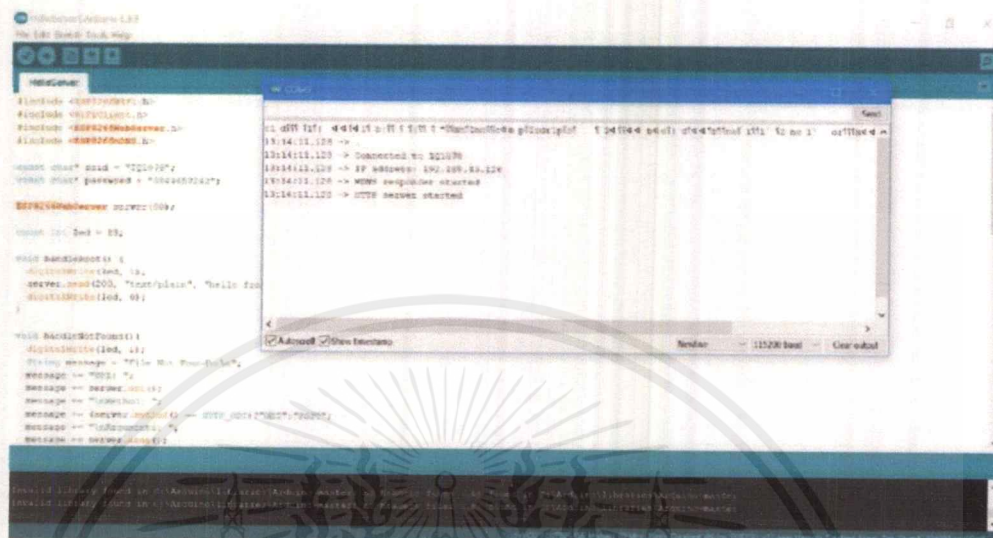
จากนั้นใส่ชื่อการใช้งาน WiFi และรหัสผ่าน WiFi ตามรูปด้านล่างและคลิกที่ปุ่ม Verify และทำการ Upload ได้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 หน้าต่างของโค้ดตัวอย่างในการทดสอบการเชื่อมต่อของ NodeMCU กับ WiFi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากคลิกที่ปุ่ม Verify และทำการ Upload เสร็จเรียบร้อยแล้ว หน้าต่างโปรแกรมจะแสดงข้อมูลผ่านคำสั่ง Serial Monitor โดยบอกรายละเอียดในช่วงเวลาต่าง ๆ และแสดงข้อมูลการเชื่อมต่อ HelloServer ดังรูปที่ 3.18

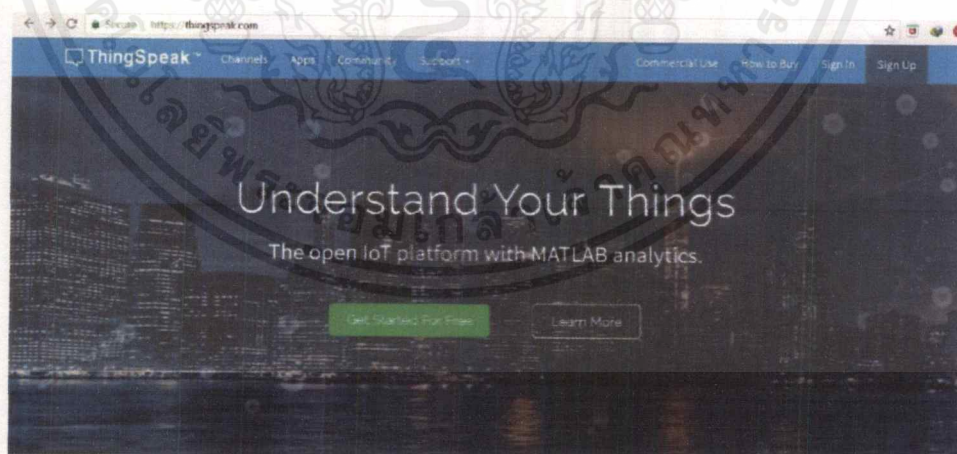


รูปที่ 3.18 การแสดงข้อมูลของการเชื่อมต่อ WiFi ผ่าน ESP8266WiFi

3.4 การสร้าง IoT Platform

3.4.1 ThingSpeak

ไปที่เว็บไซต์ <https://thingspeak.com> จากนั้นหน้าต่างเว็บไซต์จะแสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 หน้าต่างเว็บไซต์ ThingSpeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสมัครเข้าใช้งาน เลือก Sign up ตั้งชื่อ User ID พร้อมกับ Password ดังรูปที่ 3.20

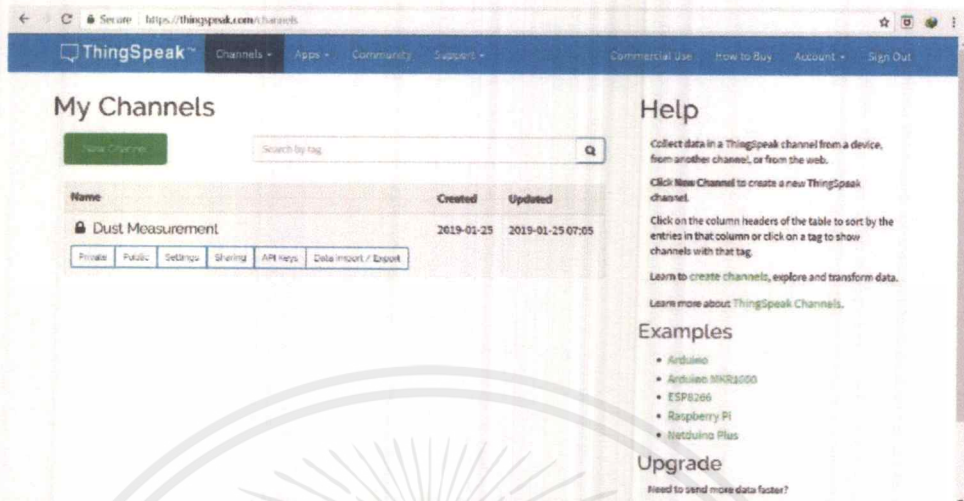
รูปที่ 3.20 การสมัครเข้าใช้งาน ThingSpeak

เมื่อทำการสมัครเข้าใช้งานแล้ว ให้ทำการลงชื่อเข้าสู่เว็บไซต์อีกครั้ง โดยกดไปที่ Sign In ใส่ Email Address จากนั้นกด Next ดังรูปที่ 3.21

รูปที่ 3.21 การ Sign In เข้าสู่ ThingSpeak

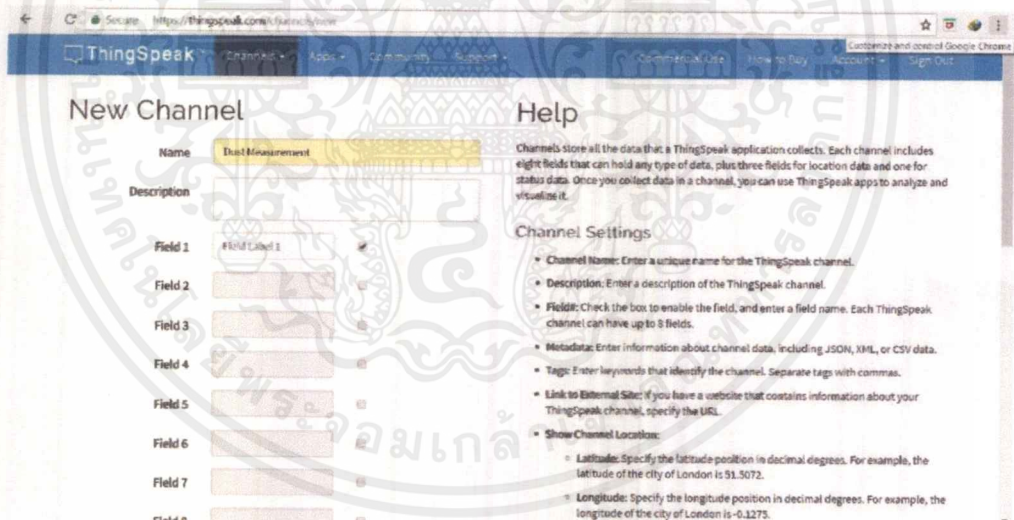
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการ Sign In แล้ว ไปที่ New Channel ดังรูปที่ 3.22 (ในกรณีที่สร้างช่อง Channel แล้วจะแสดงชื่อที่ทำการทดสอบ)



รูปที่ 3.22 หน้าต่างของเว็บไซต์ ThingSpeak

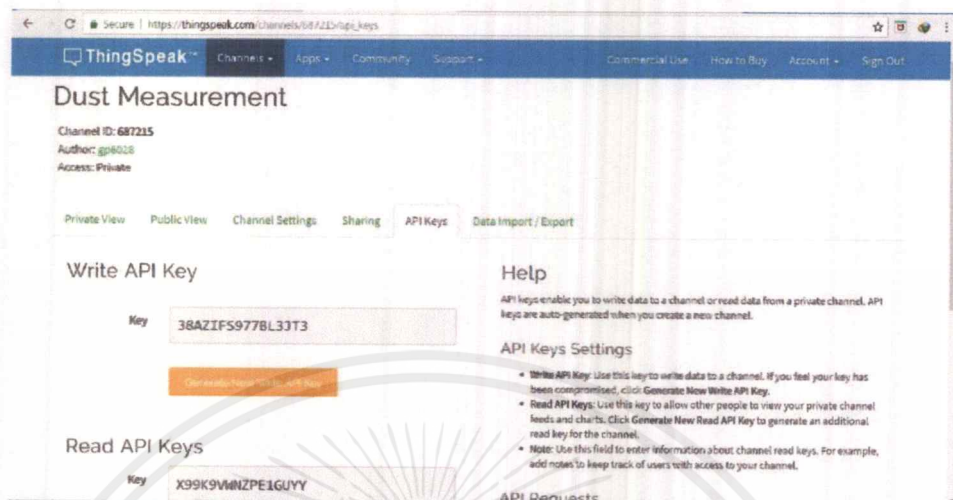
ทำการตั้งค่าของหน้า Channel เสร็จแล้วทำการกด Save Channel ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การสร้าง Channel บนเว็บไซต์ ThingSpeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสร้างช่อง Channel เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกไปที่ช่อง Channel ที่เราสร้างขึ้น แล้วกดที่แถบ API KEY เพื่อบันทึกรหัส Key ไว้ใช้ใน Arduino IDE ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 หน้าต่างของการใส่รหัส API KEY

3.4.2 LINE

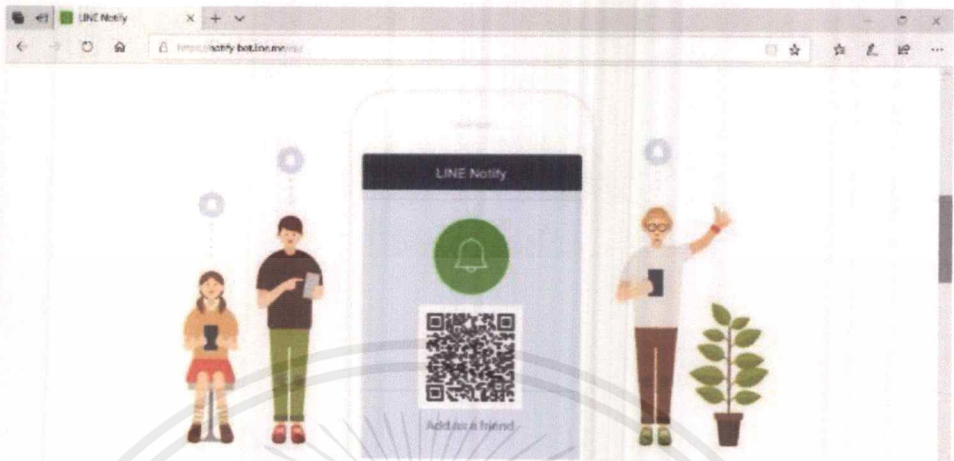
หน้าตาการเข้าสู่ระบบ LINE Notify ในกรณีที่มิบบัญชีเข้าใช้อยู่แล้วสามารถคลิกเข้าไปที่ Log in แล้วเข้าสู่ระบบได้ทันที ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 การ Log in เข้าสู่ระบบ LINE Notify

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ไม่มีบัญชีผู้ใช้เชื่อมต่อกับ LINE Notify ก่อนที่จะใช้งาน API และส่งการแจ้งเตือนต้อง
ทำการเพิ่ม LINE Notify เป็นเพื่อนก่อนโดยสแกน QR Code ด้านล่างนี้ ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 การเพิ่มเพื่อนและสแกน QR Code เข้าสู่ระบบ LINE Notify

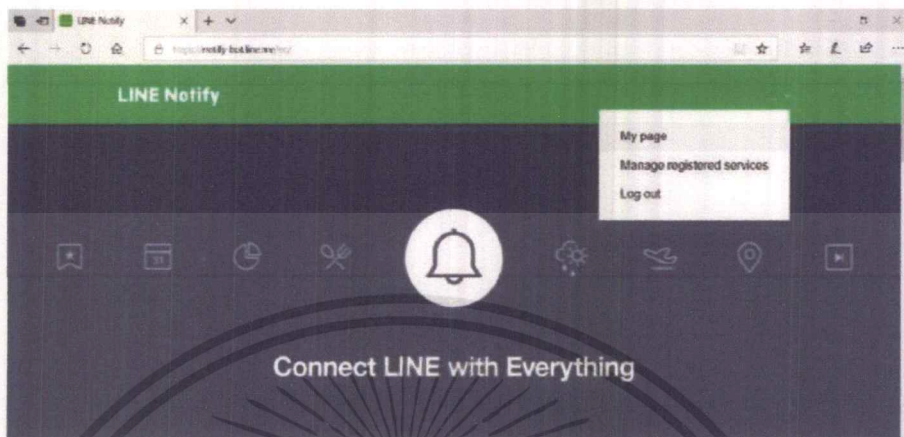
เมื่อสแกน QR Code แล้วจะเข้ามาที่หน้าต่างของการใส่ E-mail และ Password เพื่อ Log in เข้าสู่ระบบ LINE ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 การเข้าสู่ระบบ LINE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว ระบบจะกลับมาที่หน้าต่างการเชื่อมต่ออีกครั้ง จากนั้นกดไปที่ LINE Notify จะมีไอคอนขวามือทำการเลือก My page เพื่อสร้างหน้าหลักของการแจ้งเตือนข้อมูล PM_{2.5} ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 การสร้างหน้าหลักของการแจ้งเตือนข้อมูล PM_{2.5}

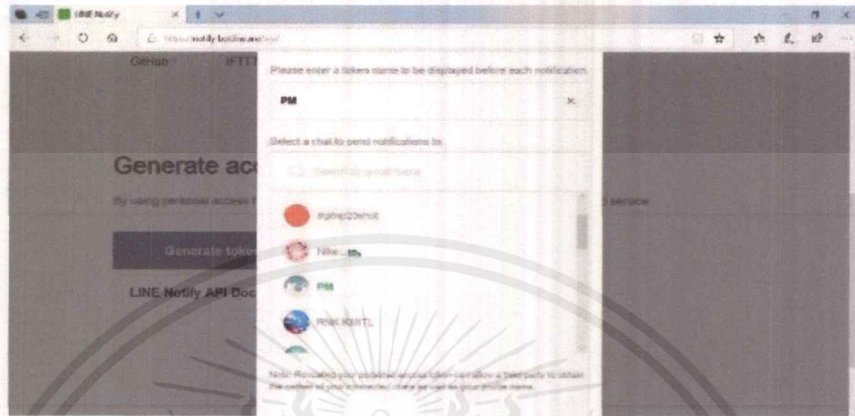
เมื่อเข้ามาสู่ My page ระบบจะขึ้นคำว่า Generate token ซึ่งหมายความว่าเมื่อเราส่งข้อความไปแล้ว ข้อความที่ขึ้นจะปรากฏในรูปแบบ [ชื่อ Token]:[ข้อความ] ดังนั้นจะต้องทำการกดที่ปุ่ม ออก token หรือ Generate token ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 Generate token

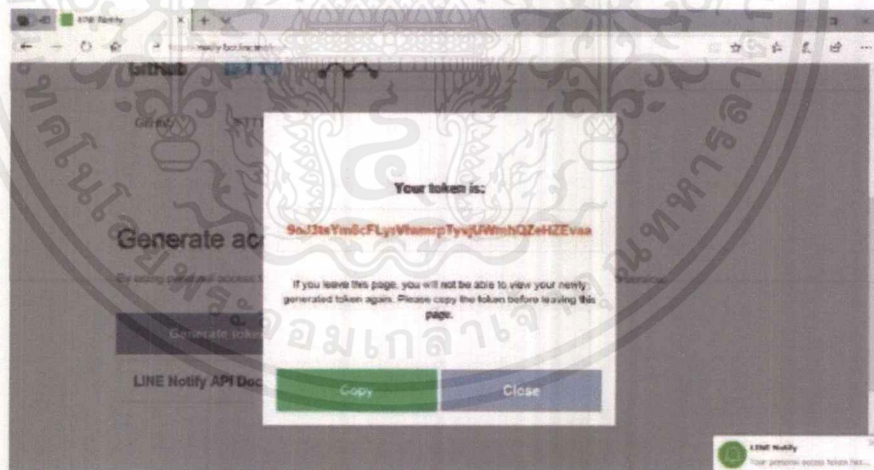
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการใส่ข้อความหรือAPI จากช่องแรก จะใส่คำว่า PM และใส่ API ส่งข้อความว่า "DustDensity" ข้อความจะขึ้นว่า " PM : DustDensity" ส่วนในช่องที่ 2 จะให้เลือกว่าเราจะส่งข้อความเข้าไปในกลุ่มไหน หรือส่งให้ตัวเองเท่านั้น เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วให้กดปุ่ม ออก Token ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 การใส่ข้อความ API และการเลือกกลุ่มในการส่งข้อความ

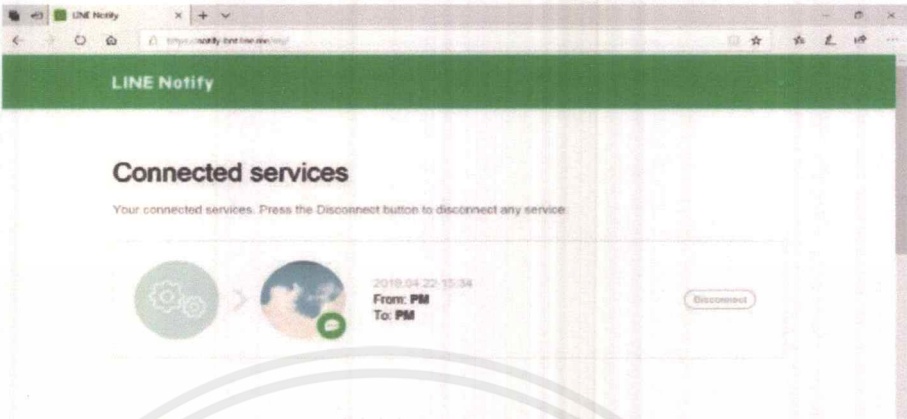
เมื่อกดปุ่ม ออก Token แล้วจะปรากฏรหัส Token ให้ท่านเก็บรหัสนี้ไว้ให้ดีเพราะจะออกให้เพียงครั้งเดียว แต่หากลืม ท่านสามารถเริ่มต้นทำขั้นตอนใหม่เพื่อขอ Token ใหม่ได้ ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 รหัส Token ใช้สำหรับการเพิ่มตัวแปรในการทำงานส่วนของโค้ด Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

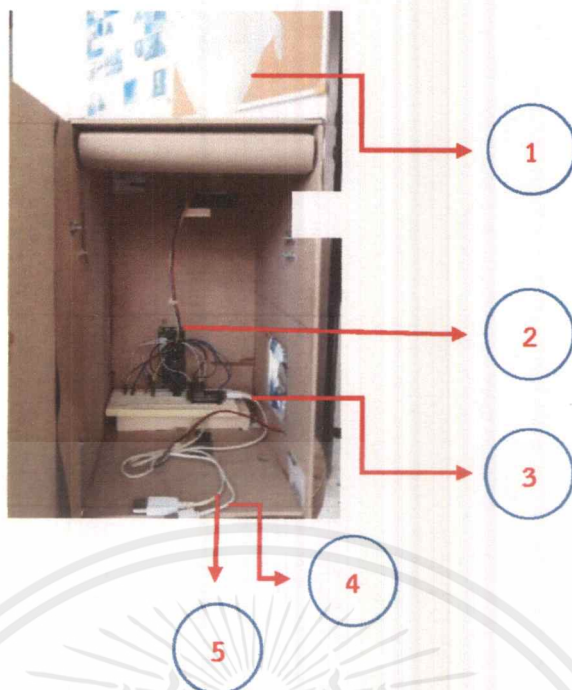
เมื่อทำการบันทึกรหัสเรียบร้อยแล้วจะขึ้นหน้าต่างของกลุ่มหลักที่ใช้ในการเชื่อมต่อเพื่อส่งข้อมูลจากเครื่องวัดฝุ่นละออง (ESP8266) จะมีการส่งแจ้งเตือนไปทางกลุ่ม LINE PM ดังรูปที่ 3.32



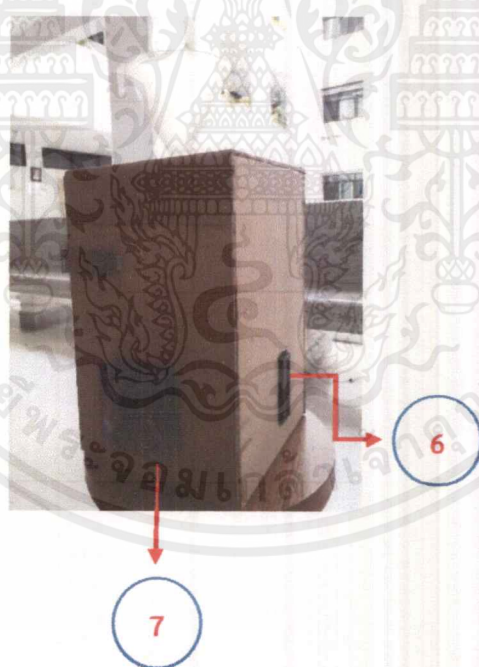
รูปที่ 3.32 การส่งแจ้งเตือนข้อมูลผ่านทางกลุ่ม LINE PM_{2.5}

3.5 หลักการทำงานและหน้าที่ของเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ

หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศนั้นจะใช้พัดลมในการดูดฝุ่นละอองเข้ามา โดยฝุ่นจะลำเลียงผ่านท่อกรวยลงมายังเซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ ลักษณะการทำงานของเซนเซอร์จะส่งแสงเลเซอร์ไปกระทบกับตัวรับและให้อากาศผ่านในช่อง ซึ่งด้านในตัวเซนเซอร์มีอุปกรณ์ปล่อยแสง LED โดยใช้หลักการของไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด (Infrared Emitting Diode; IRED) ส่องตัดผ่านอนุภาคฝุ่นทำให้เกิดการกระเจิงแสงไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งค่าความหนาแน่นของฝุ่นที่ได้แสดงผลผ่านหน้าจอ LCD ส่วน NodeMCU ESP8266 ทำการอัปเดตค่าความหนาแน่นฝุ่นละอองไปที่ Thingspeak และแอปพลิเคชันไลน์ จากนั้นฝุ่นละอองจะถูกระบายออกผ่านทางพัดลมระบายอากาศ ส่วนหน้าที่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจะแสดงดังรูปที่ 3.33 และรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.33 เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ (ด้านในตัวเครื่อง)



รูปที่ 3.34 เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ (ด้านนอกตัวเครื่อง)

หมายเลข 1 คือ กรวย เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการกรองฝุ่นละอองให้ผ่านเข้าสู่เซนเซอร์

หมายเลข 2 คือ LCD DISPLAY ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แสดงผลผ่านหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

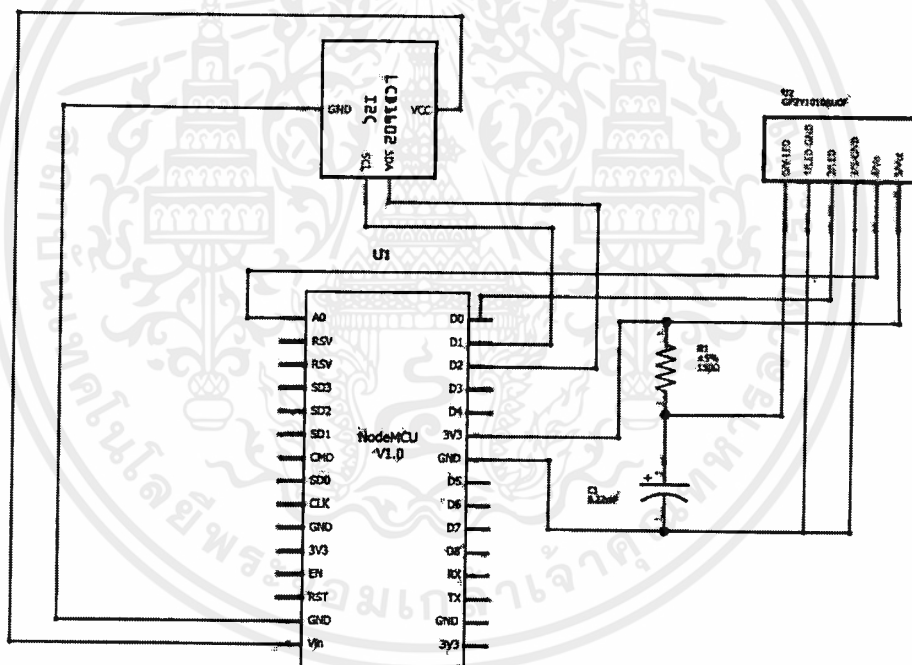
2.) ทำการเขียนโค้ดสำหรับการเชื่อมต่อการทำงานระหว่างบอร์ด Arduino UNO กับเซนเซอร์ และป้อนโค้ดเข้าบอร์ด Arduino UNO

3.) ค่าที่ได้ประกอบด้วย Output Voltage (mV) และ ค่า Dust Density ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ซึ่งจะแสดงผ่าน Serial Monitor

4.) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Output Voltage (mV) และ ค่า Dust Density ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.) จากนั้นต้องจรรดงรูปที่ 3.36 โดยเปลี่ยนบอร์ด Arduino UNO เป็น NodeMCU ESP8266 และเพิ่ม LCD ที่เชื่อมต่อเข้ากับ I2C

6.) ทำการอัปเดตโปรแกรมโดยป้อนโค้ดเพื่อให้ NodeMCU ESP8266 แสดงผ่าน LCD และสามารถเชื่อม WiFi เพื่อส่งข้อมูลผ่าน Thingspeak และ Application Line



รูปที่ 3.36 การต่อวงจรของเซนเซอร์เชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266

7.) ทดลองค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากสถานที่ต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับค่า AQI ตามมาตรฐานสากลและมาตรฐานประเทศไทย ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทดลองที่ บริเวณป้ายรถประจำทางหัวหมาก บริเวณป้ายรถประจำทางเดอะมอลล์บางกะปิ และบริเวณอาคารจุฬารณวลัย ลักษณะ 1 ชั้น 3

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการวิจัยและการอภิปรายผลของการสร้างเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละออง การวัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองเทียบกับข้อมูลของ Datasheet Dust density GP2Y1014AU0F การนำเครื่องวัดปริมาณฝุ่นทดสอบวัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ณ สถานที่ต่าง ๆ และการแสดงผลของค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองผ่านทาง Serial Monitor LCD แอปพลิเคชันไลน์ และ <https://thingspeak.com/> ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 การวัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองเทียบกับข้อมูลของ Datasheet Dust density GP2Y1014AU0F

จากการวัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองเทียบกับข้อมูลของ Datasheet Dust density GP2Y1014AU0F เพื่อทดสอบความลักษณะความถูกต้องของการวัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองกับสภาวะจริง โดยส่งค่าผ่านทาง Serial port ค่าที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ Output voltage (mV) ผ่านทาง Serial Monitor ของการทดลองจากเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ Arduino UNO

ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Output voltage (mV)
0.91	17.43
0.99	17.82
1.01	17.92
1.01	17.92
1.02	17.97
1.04	18.12
1.08	18.31
1.09	18.36
1.10	18.41
1.10	18.41
1.11	18.46
1.11	18.46
1.12	18.51

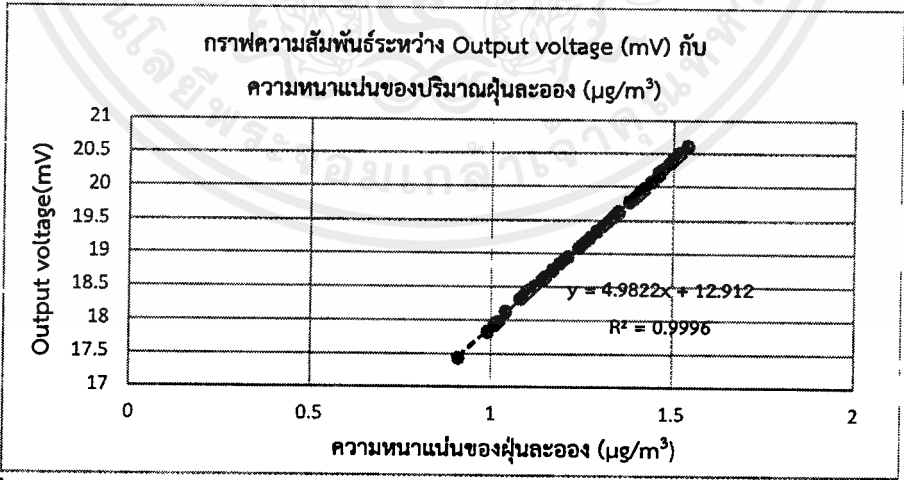
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ Output voltage (mV) ผ่านทาง Serial Monitor ของการทดลองจากเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ Arduino UNO (ต่อ)

ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Output voltage (mV)
1.14	18.60
1.15	18.65
1.15	18.65
1.17	18.75
1.17	18.75
1.19	18.85
1.20	18.90
1.21	18.95
1.24	19.09
1.24	19.09
1.25	19.14
1.26	19.19
1.26	19.19
1.27	19.24
1.29	19.34
1.31	19.43
1.31	19.43
1.32	19.48
1.33	19.53
1.33	19.53
1.34	19.58
1.34	19.58
1.34	19.58
1.35	19.63
1.38	19.78
1.38	19.78
1.39	19.82
1.40	19.87
1.40	19.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ Output voltage (mV) ผ่านทาง Serial Monitor ของการทดลองจากเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ Arduino UNO (ต่อ)

ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Output voltage (mV)
1.41	19.92
1.42	19.97
1.42	19.97
1.42	19.97
1.42	19.97
1.44	20.07
1.46	20.17
1.46	20.17
1.46	20.17
1.46	20.21
1.47	20.26
1.49	20.36
1.50	20.41
1.51	20.46
1.52	20.51
1.54	20.61



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Output voltage (mV) กับ ความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ที่ได้จากการทดสอบ

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output voltage (mV) กับ ความหนาแน่นของปริมาณฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) โดยการเรียงค่าของความหนาแน่นของปริมาณฝุ่นละออง และ Output voltage จากน้อยไปมาก เพื่อพบว่า ลักษณะของ Output voltage (mV) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความหนาแน่นของปริมาณฝุ่นละอองมากขึ้น

4.2 การวัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองของเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เทียบกับค่าที่ได้จากเซนเซอร์เชื่อมกับ Arduino UNO

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นเชื่อมต่อกับระหว่าง NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO โดยทำการวัดจากเวลา 13:28 น. ถึง 14:26 น. เป็นเวลา 58 นาที เมื่อวันที่ 17/พ.ค./2562 เพื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้จาก NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ของการทดลองจากเซนเซอร์เชื่อมกับ Arduino UNO เมื่อเทียบกับเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Arduino Uno)	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (NodeMCU ESP8266)
13:28:00	1.27	1.14
13:29:00	1.50	1.13
13:30:00	1.24	1.14
13:31:00	1.46	1.42
13:32:00	1.14	1.26
13:33:00	1.11	0.99
13:34:00	1.27	1.32
13:35:00	1.42	1.17
13:36:00	1.32	1.20
13:37:00	1.12	1.15
13:38:00	1.26	1.04
13:39:00	1.08	1.16
13:40:00	1.34	1.21
13:41:00	0.91	1.19

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ของการทดลองจากเซนเซอร์เชื่อมกับ Arduino UNO เมื่อเทียบกับเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Arduino Uno)	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (NodeMCU ESP8266)
13:42:00	1.34	1.03
13:43:00	1.12	1.09
13:44:00	1.32	1.43
13:45:00	1.26	1.20
13:46:00	1.16	1.34
13:47:00	1.25	1.26
13:48:00	1.33	1.12
13:49:00	1.10	1.23
13:50:00	1.37	1.15
13:52:00	1.29	1.27
13:53:00	1.11	1.35
13:54:00	1.26	1.19
13:55:00	1.15	1.04
13:56:00	1.40	1.37
13:57:00	1.11	1.16
13:58:00	1.19	1.13
13:59:00	1.01	1.05
14:00:00	1.21	1.19
14:01:00	1.42	1.35
14:02:00	1.49	1.37
14:03:00	1.51	1.31
14:04:00	1.31	1.26
14:05:00	1.15	1.13
14:06:00	1.42	1.44
14:07:00	1.44	1.45
14:08:00	1.46	1.42
14:09:00	1.31	1.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ของการทดลองจากเซนเซอร์เชื่อมกับ Arduino UNO เมื่อเทียบกับเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Arduino Uno)	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (NodeMCU ESP8266)
14:10:00	1.38	1.31
14:11:00	1.40	1.35
14:12:00	1.33	1.30
14:13:00	1.47	1.44
14:14:00	1.42	1.43
14:15:00	1.25	1.26
14:16:00	1.10	1.24
14:17:00	1.38	1.12
14:18:00	1.52	1.16
14:19:00	1.35	1.23
14:20:00	1.54	1.24
14:21:00	1.46	1.09
14:22:00	1.34	1.33
14:23:00	1.01	1.02
14:24:00	1.17	1.13
14:25:00	1.41	1.34
14:26:00	1.46	1.42
เฉลี่ย	1.29	1.23

จากตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองจากเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO มีค่า Dust density เฉลี่ยเท่ากับ $1.29 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ และ $1.23 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO ที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ มีค่าเท่ากับ 4.65 %

4.3 ทดสอบวัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ณ สถานที่ต่าง ๆ

4.3.1 การทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณป้ายรถประจำทางลาดพร้าวซอย 132

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณป้ายรถประจำทางลาดพร้าวซอย 132 เมื่อวันที่ 17/พ.ค./2562 เป็นเวลา 28 นาที แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งค่าของปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.2 สถานที่ทำการทดลองวัดค่าฝุ่นละออง ณ บริเวณป้ายรถประจำทางลาดพร้าวซอย 132

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 17/พ.ค./2562 บริเวณป้ายรถประจำทางลาดพร้าวซอย 132

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQI มาตรฐานสากล	AQI มาตรฐานประเทศไทย
15:20:00	31.91	93	39
15:21:00	30.11	89	35
15:22:00	28.88	86	33
15:23:00	27.87	84	30
15:24:00	27.65	84	30
15:25:00	26.67	81	28
15:26:00	26.21	81	26
15:27:00	25.72	80	26
15:28:00	24.70	77	25
15:29:00	25.49	79	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 17/พ.ค./2562 บริเวณป้ายรถประจำทางลาดพร้าวซอย 132 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQI มาตรฐานสากล	AQI มาตรฐานประเทศไทย
15:30:00	23.70	75	24
15:31:00	23.30	75	23
15:32:00	24.06	76	24
15:33:00	23.31	75	23
15:34:00	23.04	74	23
15:35:00	22.77	73	23
15:36:00	23.38	75	23
15:37:00	22.02	72	22
15:38:00	22.29	72	22
15:39:00	22.48	73	22
15:40:00	21.70	71	22
15:41:00	23.04	74	23
15:42:00	22.67	73	23
15:43:00	23.54	75	24
15:44:00	22.40	73	22
15:45:00	21.98	72	22
15:46:00	22.23	72	22
15:47:00	22.74	73	23
15:48:00	23.95	76	24
ค่า AQI เฉลี่ย		77	25

จากผลการทดสอบ พบว่า เมื่อทำการวัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละอองช่วงเวลาในการวัดมีปริมาณฝุ่น 16:10 น. ถึง 16:38 น. เมื่อทำการคำนวณหาค่า AQI ตามมาตรฐานสากลจาก <http://www.airnow.gov> และ คำนวณหาค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทยจาก <http://air4thai.pcd.go.th> พบว่า มีค่า AQI เฉลี่ยอยู่ที่ 77 และ 25 ตามลำดับ แสดงว่าเวลาที่ทำการทดสอบมีปริมาณฝุ่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณรถสะสมเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทย พบว่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณป้ายรถประจำทางหัวหมาก

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณป้ายรถประจำทางหัวหมาก เมื่อวันที่ 17/พ.ค./2562 เป็นเวลา 30 นาที แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งค่าของปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.3 สถานที่ทำการทดลองวัดค่าฝุ่นละออง ณ บริเวณป้ายรถประจำทางหัวหมาก

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ของการทดลองจากเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 17/พ.ค./2562 บริเวณป้ายรถประจำทางหัวหมาก

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQI มาตรฐานสากล	AQI มาตรฐานประเทศไทย
16:42:00	3.36	14	3
16:43:00	3.92	16	4
16:44:00	4.14	17	4
16:45:00	4.95	20	5
16:46:00	5.83	24	6
16:47:00	5.40	23	5
16:48:00	6.58	27	7
16:49:00	3.98	16	4
16:50:00	5.44	23	5
16:51:00	6.02	25	6
16:52:00	7.35	30	7
16:53:00	5.80	24	6
16:54:00	7.18	30	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

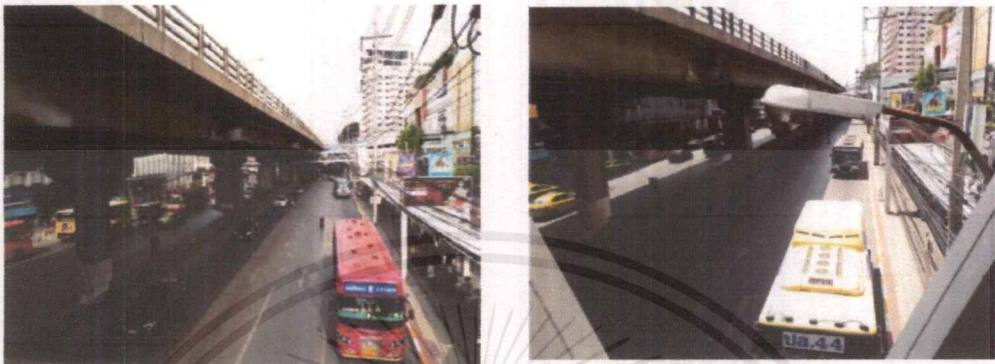
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ของการทดลองจากเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 17/พ.ค./2562 บริเวณป้ายรถประจำทางหัวหมาก (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQI มาตรฐานสากล	AQI มาตรฐานประเทศไทย
16:55:00	5.12	21	5
16:56:00	3.89	16	4
16:57:00	4.00	17	4
16:58:00	5.29	22	5
16:59:00	4.87	20	5
17:00:00	3.71	15	4
17:01:00	4.66	19	5
17:02:00	7.26	30	7
17:03:00	6.64	27	7
17:04:00	4.78	20	5
17:05:00	5.34	22	5
17:06:00	4.51	19	5
17:07:00	5.46	23	5
17:08:00	5.62	23	6
17:09:00	7.41	31	7
17:10:00	6.99	29	7
17:11:00	5.55	23	6
17:12:00	6.43	27	6
ค่า AQI เฉลี่ย		22	5

จากผลการทดสอบ พบว่า เมื่อทำการวัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละอองช่วงเวลาในการวัดมีปริมาณฝุ่น 16:42 น. ถึง 17:12 น. เมื่อทำการคำนวณหาค่า AQI ตามมาตรฐานสากลจาก <http://www.airnow.gov> และคำนวณหาค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทยจาก <http://air4thai.pcd.go.th> พบว่า มีค่า AQI เฉลี่ยอยู่ที่ 22 และ 5 ตามลำดับ แสดงว่าเวลาที่ทำการทดสอบมีปริมาณฝุ่นน้อย เนื่องจากปริมาณรถสะสมเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทย พบว่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

4.3.3 การทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณป้ายรถประจำทางเดอะมอลล์บางกะปิ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณป้ายรถประจำทางเดอะมอลล์บางกะปิ เมื่อวันที่ 18/พ.ค./2562 เป็นเวลา 30 นาที แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งค่าของปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.4 สถานที่ทำการทดลองวัดค่าฝุ่นละออง ณ บริเวณป้ายรถประจำทางเดอะมอลล์บางกะปิ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 18/พ.ค./2562 บริเวณป้ายรถประจำทางเดอะมอลล์บางกะปิ

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQI มาตรฐานสากล	AQI มาตรฐานประเทศไทย
10:19:00	2.87	12	3
10:20:00	3.01	13	3
10:21:00	2.25	9	2
10:22:00	3.29	13	3
10:23:00	3.68	15	4
10:24:00	3.14	13	3
10:25:00	3.35	14	3
10:26:00	3.96	16	4
10:27:00	7.09	29	7
10:28:00	6.96	29	7
10:29:00	4.01	17	4
10:30:00	2.65	11	3
10:31:00	3.64	15	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 18/พ.ค./2562 บริเวณป้ายรถประจำทางเดอะมอลล์บางกะปิ (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQI มาตรฐานสากล	AQI มาตรฐานประเทศไทย
10:32:00	3.21	13	3
10:33:00	3.32	14	3
10:34:00	3.14	13	3
10:35:00	4.38	18	4
10:36:00	4.10	17	4
10:37:00	3.20	13	3
10:38:00	2.81	12	3
10:39:00	3.98	16	4
10:40:00	3.26	13	3
10:41:00	3.83	16	4
10:42:00	3.72	15	4
10:43:00	3.22	13	3
10:44:00	3.18	13	3
10:45:00	3.03	13	3
10:46:00	3.07	13	3
10:47:00	4.05	17	4
10:48:00	3.72	15	4
ค่า AQI เฉลี่ย		15	3.6

จากผลการทดสอบ พบว่า เมื่อทำการวัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละอองช่วงเวลาในการวัดมีปริมาณฝุ่น 10:19 น. ถึง 10:48 น. เมื่อทำการคำนวณหาค่า AQI ตามมาตรฐานสากลจาก <http://www.airnow.gov> และคำนวณหาค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทยจาก <http://air4thai.pcd.go.th> พบว่า มีค่า AQI เฉลี่ยอยู่ที่ 15 และ 3.6 ตามลำดับ แสดงว่าเวลาที่ทำ การทดสอบมีปริมาณฝุ่นน้อย เนื่องจากปริมาณรถสะสมเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับค่า AQI ตาม มาตรฐานประเทศไทย พบว่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

4.3.4 การทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณอาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณอาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งค่าของปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.5 สถานที่ทำการทดลองวัดค่าฝุ่นละออง ณ บริเวณอาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
12:00:00	2.22
12:01:00	2.81
12:02:00	3.79
12:03:00	4.21
12:04:00	3.82
12:05:00	2.71
12:06:00	4.29
12:07:00	3.21
12:08:00	2.69
12:09:00	4.03
12:10:00	3.96
12:11:00	3.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวไลยลักษณ์ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
12:12:00	4.07
12:13:00	5.34
12:14:00	4.47
12:15:00	3.62
12:16:00	4.04
12:17:00	4.83
12:18:00	6.12
12:19:00	3.01
12:20:00	4.30
12:21:00	2.45
12:22:00	5.86
12:23:00	5.28
12:24:00	3.22
12:25:00	5.49
12:26:00	3.21
12:27:00	4.51
12:28:00	4.42
12:29:00	3.67
12:30:00	4.70
12:31:00	3.61
12:32:00	4.13
12:33:00	4.70
12:34:00	3.73
12:35:00	3.27
12:36:00	3.47
12:37:00	3.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวิทยาลัยลักษณะ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
12:38:00	2.80
12:39:00	3.10
12:40:00	4.78
12:41:00	4.67
12:42:00	4.37
12:43:00	3.29
12:44:00	2.60
12:45:00	3.82
12:46:00	3.84
12:47:00	3.88
12:48:00	4.91
12:49:00	4.30
12:50:00	4.34
12:51:00	3.25
12:52:00	3.55
12:53:00	4.36
12:54:00	3.60
12:55:00	4.46
12:56:00	2.94
12:57:00	3.04
12:58:00	4.55
12:59:00	3.54
13:00:00	4.31
13:01:00	4.19
13:02:00	2.62
13:03:00	3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวิทยาลัยลักษณะ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13:04:00	4.38
13:05:00	4.65
13:06:00	4.79
13:07:00	3.96
13:08:00	4.91
13:09:00	5.45
13:10:00	4.70
13:11:00	4.92
13:12:00	4.61
13:13:00	5.71
13:14:00	5.87
13:15:00	5.05
13:16:00	5.21
13:17:00	5.06
13:18:00	4.69
13:19:00	6.09
13:20:00	3.47
13:21:00	5.86
13:22:00	4.28
13:23:00	4.40
13:24:00	3.05
13:25:00	3.58
13:26:00	3.08
13:27:00	4.34
13:28:00	4.80
13:29:00	5.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวิทยาลัยลักษณะ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13:30:00	3.36
13:31:00	4.84
13:32:00	4.17
13:33:00	4.59
13:34:00	3.55
13:35:00	4.99
13:36:00	4.50
13:37:00	3.69
13:38:00	3.78
13:39:00	3.57
13:40:00	3.17
13:41:00	4.58
13:42:00	5.73
13:43:00	4.25
13:44:00	3.37
13:45:00	4.38
13:46:00	4.36
13:47:00	3.60
13:48:00	3.54
13:49:00	4.58
13:50:00	3.73
13:51:00	3.83
13:52:00	3.97
13:53:00	4.32
13:54:00	3.94
13:55:00	4.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวิทยาลัยลักษณะ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13:56:00	3.79
13:57:00	3.47
13:58:00	4.35
14:00:00	5.21
14:01:00	4.25
14:02:00	4.72
14:03:00	4.45
14:04:00	5.44
14:05:00	3.76
14:06:00	4.65
14:07:00	4.39
14:08:00	3.67
14:09:00	3.92
14:10:00	6.15
14:11:00	3.69
14:12:00	3.50
14:13:00	3.93
14:14:00	4.55
14:15:00	5.23
14:16:00	4.19
14:17:00	3.71
14:18:00	3.12
14:19:00	3.69
14:20:00	3.86
14:21:00	5.35
14:22:00	4.70

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14:23:00	3.19
14:24:00	2.37
14:25:00	4.00
14:26:00	3.44
14:27:00	2.80
14:28:00	4.10
14:29:00	4.28
14:30:00	3.33
14:31:00	3.09
14:32:00	2.96
14:33:00	2.32
14:34:00	3.00
14:35:00	2.91
14:36:00	3.82
14:37:00	2.86
14:38:00	3.17
14:39:00	3.48
14:40:00	2.40
14:41:00	2.66
14:42:00	4.16
14:43:00	3.40
14:44:00	3.00
14:45:00	3.01
14:46:00	2.17
14:47:00	2.44
14:48:00	3.46

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14:49:00	2.32
14:50:00	4.35
14:51:00	3.31
14:52:00	1.84
14:53:00	3.69
14:54:00	3.58
14:55:00	1.14
14:56:00	2.46
14:57:00	4.25
14:58:00	2.18
14:59:00	2.77
15:00:00	4.51
15:01:00	3.11
15:02:00	3.45
15:03:00	3.82
15:04:00	1.65
15:05:00	3.67
15:06:00	3.55
15:07:00	1.18
15:08:00	2.98
15:09:00	3.93
15:10:00	2.74
15:11:00	3.62
15:12:00	3.37
15:13:00	2.14
15:14:00	3.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวิทยาลัยลักษณะ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
15:15:00	2.62
15:16:00	3.21
15:17:00	3.57
15:18:00	2.91
15:19:00	3.57
15:20:00	2.79
15:21:00	2.12
15:22:00	2.11
15:23:00	3.52
15:24:00	1.85
15:25:00	1.80
15:26:00	3.92
15:27:00	3.86
15:28:00	3.47
15:29:00	2.53
15:30:00	3.04
15:31:00	2.09
15:32:00	1.05
15:33:00	1.86
15:34:00	3.89
15:35:00	3.32
15:36:00	1.40
15:37:00	2.37
15:38:00	3.35
15:39:00	2.88
15:40:00	2.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวิทยาลัยลักษณะ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
15:41:00	3.02
15:42:00	1.79
15:43:00	2.52
15:44:00	3.80
15:45:00	2.68
15:46:00	2.34
15:47:00	2.79
15:48:00	4.47
15:49:00	3.49
15:50:00	2.99
15:51:00	1.92
15:52:00	3.41
15:53:00	6.13
15:54:00	2.93
15:55:00	1.61
15:56:00	1.87
15:57:00	1.98
15:58:00	4.17
15:59:00	2.65
16:00:00	1.69
ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองเฉลี่ย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) = 3.67	
AQI มาตรฐานประเทศไทย = 4	
AQI มาตรฐานสากล = 15	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบ พบว่า เมื่อทำการวัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละอองช่วงเวลาในการวัดมีปริมาณฝุ่น 12:00 น. ถึง 16:00 น. น. เมื่อทำการคำนวณหาค่า AQI ตามมาตรฐานสากลจาก <http://www.airnow.gov> และ คำนวณหาค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทยจาก <http://air4thai.pcd.go.th> พบว่า มีค่า AQI เฉลี่ยอยู่ที่ 4 และ 15 ตามลำดับ แสดงว่าเวลาที่ทำการทดสอบมีปริมาณฝุ่นน้อย เมื่อเทียบกับค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทย พบว่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

4.3.5 การทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณบริเวณอาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวัดปริมาณฝุ่นบริเวณอาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3 เมื่อวันที่ 21/พ.ค./2562 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 9 นาที แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งค่าของปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 21/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14:00:00	5.21
14:01:00	4.25
14:02:00	4.72
14:03:00	4.45
14:04:00	5.44
14:05:00	3.76
14:06:00	4.65
14:07:00	4.39
14:08:00	3.67
14:09:00	3.92
14:10:00	6.15
14:11:00	3.69
14:12:00	3.50
14:13:00	3.93

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 21/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14:14:00	4.55
14:15:00	5.23
14:16:00	4.19
14:17:00	3.71
14:18:00	3.12
14:19:00	3.69
14:20:00	3.86
14:21:00	5.35
14:22:00	4.70
14:23:00	3.19
14:24:00	2.37
14:25:00	4.00
14:26:00	3.44
14:27:00	2.80
14:28:00	4.10
14:29:00	4.28
14:30:00	3.33
14:31:00	3.09
14:32:00	2.96
14:33:00	2.32
14:34:00	3.00
14:35:00	2.91
14:36:00	3.82
14:37:00	2.86
14:38:00	3.17
14:39:00	3.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 21/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวิทยาลัยลักษณะ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14:40:00	2.40
14:41:00	2.66
14:42:00	4.16
14:43:00	3.40
14:44:00	3.00
14:45:00	3.01
14:46:00	2.17
14:47:00	2.44
14:48:00	3.46
14:49:00	2.32
14:50:00	4.35
14:51:00	3.31
14:52:00	1.84
14:53:00	3.69
14:54:00	3.58
14:55:00	1.14
14:56:00	4.34
14:57:00	4.23
14:58:00	5.13
14:59:00	5.12
15:00:00	3.43
15:01:00	3.71
15:02:00	2.91
15:03:00	2.65
15:04:00	3.83
15:05:00	3.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 เมื่อวันที่ 21/พ.ค./2562 บริเวณอาคารจุฬารามวิทยาลัยลักษณะ 1 ชั้น 3 (ต่อ)

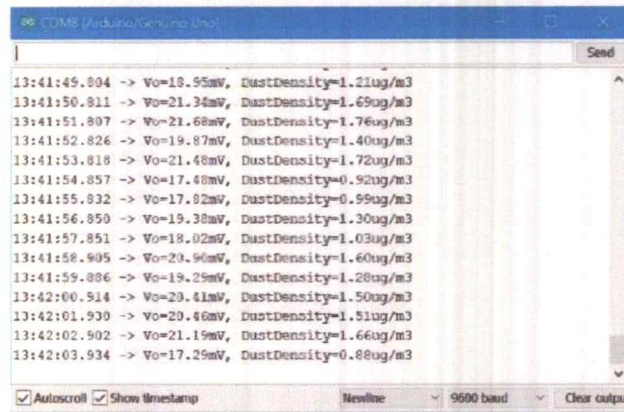
เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
15:06:00	3.35
15:07:00	3.00
15:08:00	3.91
15:09:00	3.95
ค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองเฉลี่ย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) = 3.64	
AQI มาตรฐานประเทศไทย = 4	
AQI มาตรฐานสากล = 15	

จากผลการทดสอบ พบว่า เมื่อทำการวัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละอองช่วงเวลาในการวัดมีปริมาณฝุ่น 14:00 น. ถึง 15:09 น. เมื่อทำการคำนวณหาค่า AQI ตามมาตรฐานสากลจาก <http://www.airnow.gov> และ คำนวณหาค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทยจาก <http://air4thai.pcd.go.th> พบว่า มีค่า AQI เฉลี่ยอยู่ที่ 4 และ 15 ตามลำดับ แสดงว่าเวลาทำการทดสอบมีปริมาณฝุ่นน้อย เมื่อเทียบกับค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทย พบว่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

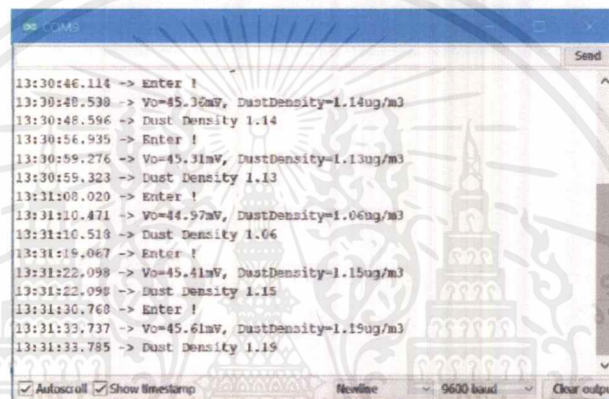
4.4 การแสดงผลของค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

4.4.1 การแสดงผลของค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ผ่าน Serial Monitor

จากการทดลองผ่าน Serial Monitor ของเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ Arduino UNO และ NodeMCU ESP8266 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ



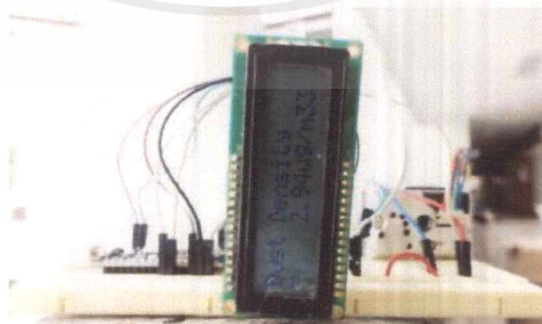
รูปที่ 4.6 การแสดงผลผ่าน Serial Monitor จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ Arduino UNO



รูปที่ 4.7 การแสดงผลผ่าน Serial Monitor จากการทดลองของเซนเซอร์เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266

4.4.2 การแสดงผลผ่าน LCD

ผู้ทำการวิจัยได้ทดสอบค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ผ่าน LCD พบว่า ค่าที่ได้มีลักษณะเป็นตัวอักษรและตัวเลขโดยจะเปลี่ยนทุก 2.5 วินาทีที่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8

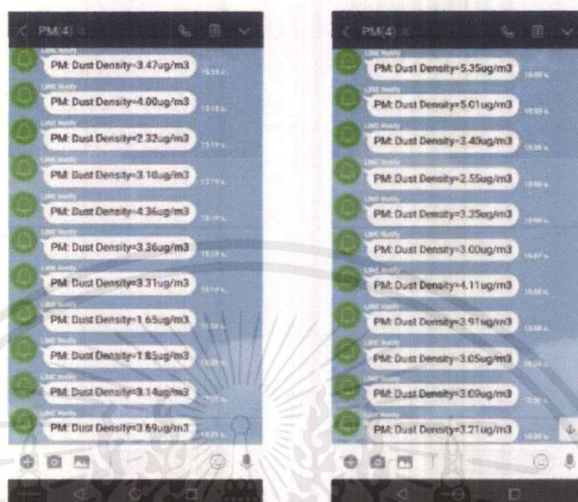


รูปที่ 4.8 การแสดงผลผ่าน LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันไลน์

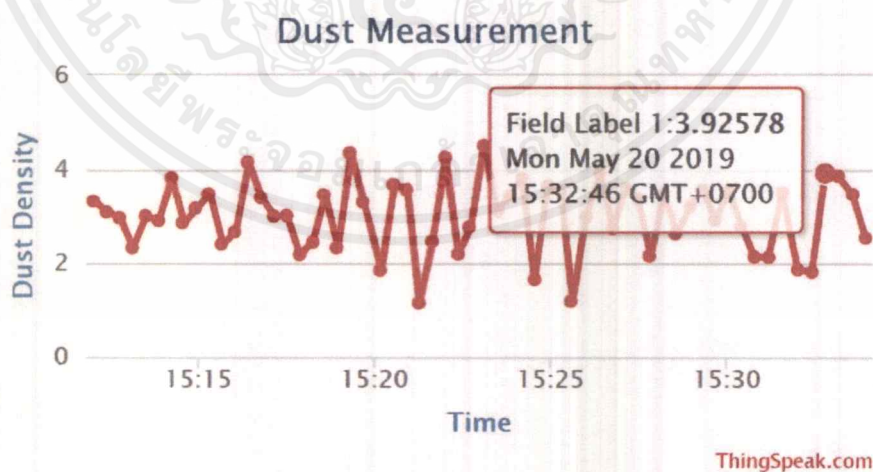
ผู้ทำการวิจัยได้ทดสอบผ่านแอปพลิเคชันไลน์ พบว่า ค่าที่ได้มีลักษณะเป็นข้อความที่ส่งมาโดย LINE Notify โดยจะแสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองทุก ๆ 14 วินาที สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันไลน์

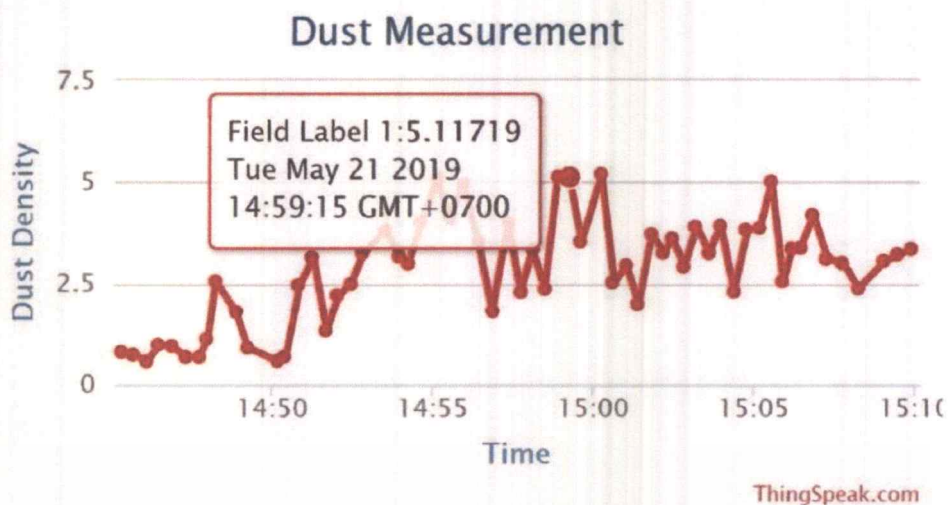
4.4.4 การแสดงผลผ่าน thingspeak

ผู้ทำการวิจัยได้ทำการส่งค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองผ่านเว็บเบราว์เซอร์ <https://thingspeak.com/> พบว่า มีลักษณะดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

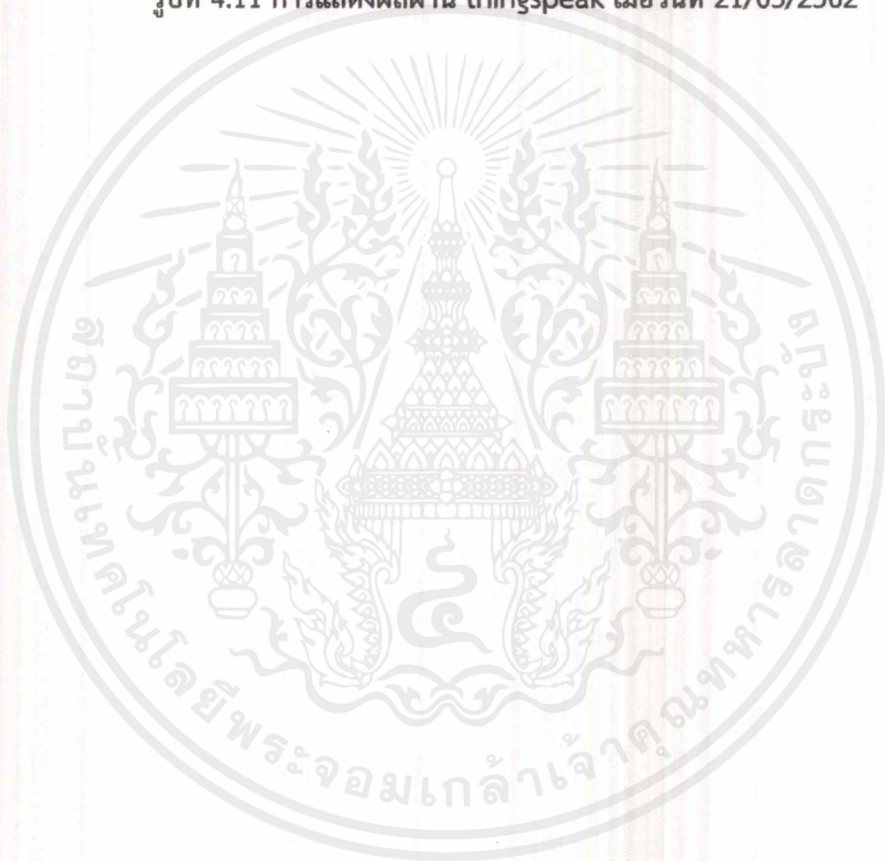


รูปที่ 4.10 การแสดงผลผ่าน thingspeak เมื่อวันที่ 20/05/2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การแสดงผลผ่าน thingspeak เมื่อวันที่ 21/05/2562



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละออง โดยใช้เซนเซอร์วัดค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองของ Sharp GY2P1014AU0F เชื่อมต่อกับ Arduino UNO และ NodeMCU ESP8266 ตามลำดับ ร่วมกับเทคโนโลยี IoT โดยทำการส่งข้อมูลผ่านทาง Serial Monitor, LCD, <https://thingspeak.com/> และแอปพลิเคชันไลน์ พบว่า ค่าปริมาณฝุ่นละอองจากเซนเซอร์ที่เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO ที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ มีค่าเท่ากับ 4.86 % เมื่อทำการทดสอบวัดปริมาณฝุ่นละออง ณ สถานที่ต่าง ๆ เช่น เมื่อวันที่ 17/พ.ค./2562 ได้ทดสอบที่บริเวณป้ายรถประจำทางหัวหมาก และบริเวณป้ายรถประจำทางลาดพร้าว ซอย 132 จากนั้นเปรียบเทียบกับค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทย พบว่า มีค่า AQI เฉลี่ยอยู่ที่ 5 และ 25 ตามลำดับ เมื่อวันที่ 18/พ.ค./2562 ได้ทดสอบที่บริเวณป้ายรถประจำทางเดอะมอลล์บางกะปิ และเปรียบเทียบกับค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทย พบว่า มีค่า AQI เฉลี่ยอยู่ที่ 3.6 และเมื่อวันที่ 20/พ.ค./2562 ได้ทดสอบที่บริเวณอาคารจุฬารามณ์วลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า AQI ตามมาตรฐานประเทศไทย พบว่า มีค่า AQI เฉลี่ยอยู่ที่ 4 แสดงว่าเวลาที่ทำการทดสอบวัดปริมาณฝุ่นละออง ณ สถานที่ต่าง ๆ มีปริมาณฝุ่นน้อย ดังนั้นความหนาแน่นของฝุ่นละออง ณ เวลานั้นจึงไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบเบื้องต้นในครั้งนี้พบว่าเวลาที่ทดลองมีจำกัดเนื่องจาก WiFi ของทางสถาบันต้องทำการเข้าสู่ระบบทุกครั้งเพื่อขอเข้าใช้งาน ทำให้การเชื่อมต่อสัญญาณ WiFi ของ NodeMCU ESP8266 จึงเกิดข้อผิดพลาด

เอกสารอ้างอิง

[1] Matana Wiboonysake. 2019. IoT (Internet of Things) คืออะไร เทคโนโลยีอะไรที่ช่วยเปลี่ยนชีวิตคนยุคดิจิทัลให้ดีขึ้นบ้าง. [Online].

Available : <https://www.iphonemod.net/what-is-iot-internet-of-things-true-iot.html>

[2] แก๊งค์ปีศาจฝุ่นพิษ. 2016. ฝุ่นพิษ PM2.5 ทำไมใครก็ว่าร้าย?. [Online].

Available : <https://www.greenpeace.org/thailand/story/2162/pm25-invisible-villians/>

[3] HonestDocs. 2019. รู้จักฝุ่นพิษ PM 2.5 ที่มากับมลภาวะและวิธีการเลือกหน้ากากป้องกัน. [Online].

Available : <https://www.honestdocs.co/pm-2-5-environmental-nano-pollutants>

[4] แก๊งค์ปีศาจฝุ่นพิษ. 2016. PM 2.5 ฝุ่นพิษที่เป็นภัยคุกคามสุขภาพของคนไทย. [Online].

Available : <https://act.greenpeace.org/ea-action/action?ea.client.id=1827&ea.campaign.id=54953>

[5] กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. 2019. เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่นละออง. [Online].

Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/air_dust.htm

[6] กรมควบคุมมลพิษ. 2013. Air4Thai. [Online].

Available : http://air4thai.Pcd.go.Th/webV2/aqi_info.php

[7] National Service Center for Environmental Publications (NSCEP). (2016). AQI Calculator. [Online].

Available : <https://www.aimow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi>

[8] สวนผักคนเมือง. 2018. เทคโนโลยี IoT กับเกษตรในเมือง ตอนที่ 1. [Online].

Available : <http://www.thaicityfarm.com/2018/09/21/เทคโนโลยี-iot-กับเกษตรในเมือง/>

[9] Blogger. 2017. esp8266 Leaning. [Online].

Available : <http://dtecesp8266ar.duino.blogspot.com/2017/12/esp8266-esp8266-esp8266-wifi-3.html#!>

[10] dekcomcr in arduino. (2016). Arduino รุ่นต่างๆกัน. [Online].

Available : <http://www.dekcomcr.com/blog/?p=108>

[11] GitHub. (2019). Sharp Sensor Demos. [Online].

Available : <https://github.com/sharpsensoruser/sharp-sensor-demos/wiki>

- [12] ครุฑนพพงษ์ ภูริรักษ์. (2019). การแสดงผลด้วยจอ LCD ของ ARDUINO. [Online].
Available : file:///C:/Users/User/Downloads/Documents/TNP_Unit_6.pdf
- [13] ITNews4U. (2015). Wi-Fi และ Wireless คืออะไร แตกต่างกันไหม ทำไมคนชอบเรียกปนๆ กันมาตุ. [Online].
Available : <http://itnews4u.com/Different-between-WiFi-and-Wireless.html>
- [14] Atom. 2011. Web browser คืออะไร. [Online].
Available : <https://webbrowserคืออะไร.blogspot.com/>
- [15] creativecommons. (2014). การทดลองใช้งาน Thingspeak.com สำหรับบริการด้าน IoT. [Online].
Available : <http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=iot-thingspeak>
- [16] บริษัท แมงโก้ คอนซัลแตนท์ จำกัด. (2019). Application แอปพลิเคชัน คืออะไร. [Online].
Available : <https://www.mangoconsultant.com/th/news-knowledge/knowledge/274-application-แอปพลิเคชัน-คืออะไร>
- [17] กระปุกดอทคอม. (2013). LINE แอพฯ แห่ทยอดฮิตจาก NAVER. [Online].
Available : <https://line.kapook.com/view64457.html>
- [18] บริษัท กราฟฟิก บุฟเฟต์ จำกัด. 2017. Line notify ตัวช่วยใหม่ให้คุณไม่พลาดข่าวสารสำคัญทางธุรกิจ. [Online].
Available : <https://graphicbuffet.co.th/line-notify-ตัวช่วยใหม่/>
- [19] วนิดา ทรัพย์สุข. (2000). ผลของฝุ่นขนาดเล็กและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในที่พักอาศัย ต่อสุขภาพของแม่บ้านและเด็กในกรุงเทพมหานคร. [Online].
Available : <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/5448>
- [20] สมานชัย เลิศกมลวิทย์. (2000). การหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5, PM10-2.5, PM10) และความสัมพันธระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศ ภายในอาคารและฝุ่นที่บุคคลได้รับ [Online].
Available : <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/5520>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของโค้ด Arduino UNO ที่เชื่อมกับเซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ

```
#define USE_AVG

const int sharpLEDPin = 7;
const int sharpVoPin = A5;
#ifdef USE_AVG
#define N 100

static unsigned long VoRawTotal = 0;
static int VoRawCount = 0;
#endif // USE_AVG
static float Voc = 0.6;
const float K = 0.5;

void printValue(String text, unsigned int value, bool isLast = false) {
    Serial.print(text);
    Serial.print("=");
    Serial.print(value);
    if (!isLast) {
        Serial.print(", ");
    }
}

void printFValue(String text, float value, String units, bool isLast = false) {
    Serial.print(text);
    Serial.print("=");
    Serial.print(value);
    Serial.print(units);
    if (!isLast) {
        Serial.print(", ");
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

void setup() {
    pinMode(sharpLEDPin, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
    delay(10000);
    Serial.println("");
    Serial.println("GP2Y1014AU0F Demo");
    Serial.println("=====");
}

```

```

void loop() {
    digitalWrite(sharpLEDPin, LOW);
    delayMicroseconds(280);
    int VoRaw = analogRead(sharpVoPin);
    digitalWrite(sharpLEDPin, HIGH);
    delayMicroseconds(9620);
    #ifdef PRINT_RAW_DATA
    printValue("VoRaw", VoRaw, true);
    Serial.println("");
    #endif // PRINT_RAW_DATA
    float Vo = VoRaw;
    #ifdef USE_AVG
    VoRawTotal += VoRaw;
    VoRawCount++;
    if ( VoRawCount >= N ) {
        Vo = 1.0 * VoRawTotal / N;
        VoRawCount = 0;
        VoRawTotal = 0;
    }
    else
    {

```

```
return;
}
#endif // USE_AVG
Vo = Vo / 1024.0 * 5.0;
printfValue("Vo", Vo*1000.0, "mV");
float dV = Vo - Voc;
if ( dV < 0 ) {
dV = 0;
Voc = Vo;
}
float dustDensity = dV / K * 100.0;
printfValue("DustDensity", dustDensity, "ug/m3", true);
Serial.println("");
}
```


ส่วนของโค้ด NodeMCU ที่เชื่อมกับเซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ

```
void Line_Notify(String message);

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <ESP8266WiFi.h>;

#include <WiFiClient.h>;

#include <ThingSpeak.h>;

#include <TridentTD_LineNotify.h>

#include <WiFiClientSecureAxTLS.h>

#define WIFI_SSID "HUAWEI Y7 Pro 2018"

#define WIFI_PASSWORD "0844657242"

#define LINE_TOKEN "9oJ3tsYm8cFLyrVlwmpTyvjUWmhQZeHZEvaa7T6r78"

#define USE_AVG

const int sharpLEDPin = D0;

const int sharpVoPin = A0;

unsigned long myChannelNumber = 687215;

const char * myWriteAPIKey = "38AZIFS977BL3JT3"; //Your Write API Key

WiFiClient client;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

#ifdef USE_AVG

#define N 100

static unsigned long VoRawTotal = 0;

static int VoRawCount = 0;

#endif // USE_AVG

static float Voc = 0.6;

const float K = 0.5;

void printValue(String text, unsigned int value, bool isLast = false)

{

    Serial.print(text);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print("=");
Serial.print(value);
if (!isLast)
{
    Serial.print(", ");
}
}

void printFValue(String text, float value, String units, bool isLast = false)
{
    Serial.print(text);
    Serial.print("=");
    Serial.print(value);
    Serial.print(units);
    if (!isLast)
    {
        Serial.print(", ");
    }
}

void setup()
{
    pinMode(sharpLEDPin,OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
    delay(10000);
    Serial.println("");
    Serial.println("GP2Y1014AU0F Demo");
    Serial.println("=====");
    {
        lcd.begin();
        lcd.setCursor(0, 0);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

lcd.print("Dust Density");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("=");
}
{
WiFi.mode(WIFI_STA);
WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
Serial.print("connecting");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
{
Serial.print(".");
delay(500);
Serial.println();
Serial.print("connected: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
ThingSpeak.begin(client);
}
}

void loop()
{
digitalWrite(sharpLEDPin,LOW);// power on the LED
delayMicroseconds(280);
int VoRaw = analogRead(sharpVoPin);
digitalWrite(sharpLEDPin,HIGH);
delayMicroseconds(9620);
#ifdef PRINT_RAW_DATA
printValue("VoRaw", VoRaw, true);
Serial.println("");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#endif // PRINT_RAW_DATA

float Vo = VoRaw;

#ifdef USE_AVG

VoRawTotal += VoRaw;
VoRawCount++;
if ( VoRawCount >= N )
{
    Vo = 1.0 * VoRawTotal / N;
    VoRawCount = 0;
    VoRawTotal = 0;
}
else
{
    return;
}
#endif

Vo = Vo / 1024.0 * 5.0;
printFValue("Vo", Vo*1000.0, "mV");
float dV = Vo - Voc;
if ( dV < 0 )
{
    dV = 0;
    Voc = Vo;
}

float dustDensity = dV / K * 100.0;
printFValue("DustDensity", dustDensity, "ug/m3", true);
Serial.println("");
{
    lcd.setCursor(5, 1);

```



```

    lcd.print(dustDensity+String("ug/m3"));
    Serial.print("Dust Density ");
    Serial.println(dustDensity);
    delay(2500);
}

ThingSpeak.writeField(myChannelNumber, 1,dustDensity, myWriteAPIKey);
delay(100);
{
    Serial.println("Enter !");
    String message = "Dust Density" ;
    Line_Notify(message + "=" + (dustDensity) + "ug/m3");
    delay(10);
}

}

void Line_Notify(String message)
{
    axTLS::WiFiClientSecure client;
    if (!client.connect("notify-api.line.me", 443)){
        Serial.println("connection failed");
        return;
    }

    String req = "";
    req += "POST /api/notify HTTP/1.1\r\n";
    req += "Host: notify-api.line.me\r\n";
    req += "Authorization: Bearer " + String(LINE_TOKEN) + "\r\n";
    req += "Cache-Control: no-cache\r\n";
    req += "User-Agent: ESP8266\r\n";
    req += "Connection: close\r\n";

```

```

req += "Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\r\n";
req += "Content-Length: " + String(String("message=" + message).length()) + "\r\n";
req += "\r\n";
req += "message=" + message;
client.print(req);
delay(60);
while(client.connected()) {
    String line = client.readStringUntil('\n');
    if (line == "\r") {
        break;
    }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Document your code

[Dismiss](#)

Every project on GitHub comes with a version-controlled wiki to give your documentation the high level of care it deserves. It's easy to create well-maintained, Markdown or rich text documentation alongside your code.

[Sign up for free](#)[See pricing for teams and enterprises](#)

Application Guide for Sharp GP2Y1014AU0F Dust Sensor

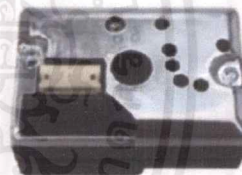
[Jump to bottom](#)

sharpsensoruser edited this page on Oct 16, 2018 · 48 revisions

Application Guide for Sharp GP2Y1014AU0F Dust Sensor

Overview

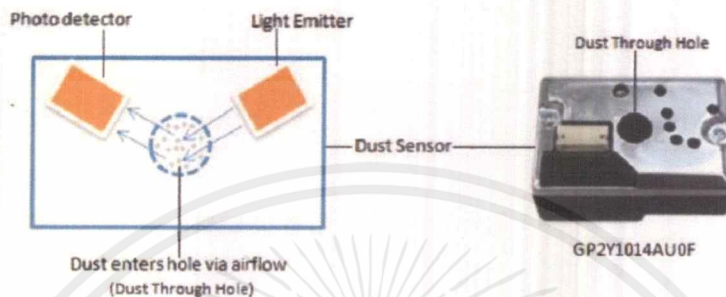
GP2Y1014AU0F is one of the newer models in Sharp's lineup of PM (particulate matter) dust sensors. Designed for use in commercial air purifiers, GP2Y1014AU0F is an analog output dust sensor which is similar to the popular GP2Y1010AU0F model but with improved accuracy. In terms of Arduino circuit and application source code, these two analog dust sensors are more or less interchangeable. You can usually find GP2Y1014AU0F in stock at various components distributors.



Besides air purifiers, GP2Y1014AU0F can also be found in smart home applications such as room or portable air quality monitors. Renasys has a publicly available [reference design for a battery-powered, PM2.5 air quality monitor based on GP2Y1014AU0F](#) (search for PM2.5). You can download a complete project which includes circuit diagrams, BOM, and sample source code.

How do Sharp dust sensors work?

Sharp dust sensors operate on the principle of **light scattering**. A photo-detector and LED emitter oppose each other at an angle within the rectangular package of the sensor which has a **dust through hole** on either side. Air containing dust particles flows into the sensor chamber and causes the light from the LED emitter to be scattered towards the photo-detector. The more dust there is in the air within the sensor chamber, the greater the intensity of the scattered light. The dust sensor outputs a **voltage** value which varies according to the intensity of the scattered light which in turn corresponds to the level of dust in the air. The actual **dust density** (or dust or mass concentration) can then be calculated from the output voltage value using a linear relation.



Key concepts and terminology

Dust Size is the diameter of a dust particle which is measured in microns (μm) which is the same as a micrometre.	PM_{2.5} is particulate matter less than 2.5 microns in diameter such as combustion particles. Also called fine particles which are hazardous to human health.	PM₁₀ is particulate matter less than 10 microns in diameter such as dust, pollen, and mold.
Dust Density (or Dust Concentration) is measured in units of mass / volume such as $\mu\text{g}/\text{m}^3$ or mg/m^3 .	Output Voltage Sharp dust sensors generally output a voltage which increases with dust density.	Sensitivity is the change in output voltage when the dust density changes by $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Comparing GP2Y1010AU0F and GP2Y1014AU0F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification	GP2Y1010AU0F	GP2Y1014AU0F
Light emitting element	LED	LED
Minimum detectable dust size	0.5µm	0.5µm
Dust density sensing range	up to ~580 ug/m ³	up to ~580 ug/m ³
Sensing time	< 1 sec	< 1 sec
Sensing of PM2.5 and PM10 separately	No (measures total dust density only)	No (measures total dust density only)
Output interface	Analog	Analog
Output under zero dust conditions	0 to 1.5V	0.1 to 1.1V
Sensitivity	0.5 ± 0.15V per 100 ug/m ³ change	0.5 ± 0.075V per 100 ug/m ³ change
Accuracy	Accuracy ±30%	Accuracy ±15%

Both dust sensor models measure the **total dust density**. This total includes the concentrations of 1 micron particles, 2.5 micron particles, 10 micron particles, etc. In practice though, when the total dust density/concentration reads very high, such as in the presence of cigarette smoke, most of the detected concentration is due to **PM2.5** particles anyways (*PM2.5 means particles with size < 2.5µm*). In addition, with these analog output models, there is the further possibility to analyze the output signals in order to distinguish between smoke particles and house dust.

You can find the detailed specifications for both dust sensor models [here](#).

Airflow design considerations

The GP2Y1014AU0F dust sensor does not include any built-in fan or internal resistor heating element to supply airflow to the sensor (and note that the specification does not indicate any airflow is required). This can be advantageous in terms of providing flexibility in sensor orientation and positioning. But still, it is a good idea to think about whether you need to design in at least some airflow into your application. Providing some airflow (from a fan, natural convection, or wind) will allow the sensor to react quicker to changes in dust concentration. For example, if your application is an air purifier or an air conditioner, you might be able to use the system's natural airflow for this purpose. Other options include adding a mini 20x20mm or 25x25mm external fan but this will introduce additional design considerations such as fan reliability, noise, and cost. To summarize, while airflow is not strictly required, it can help the GP2Y1014AU0F sensor to react quicker to changes in dust concentration.

Sharp also advises to use a **coarse mesh filter** in your application design to prevent large dust particles from entering the Sharp sensor and accumulating inside. While a light vacuum can be used to remove large dust pieces which may be attached inside the sensor, your application design may preclude such kind of maintenance access to the sensor.

GP2Y1014AU0F connector cable

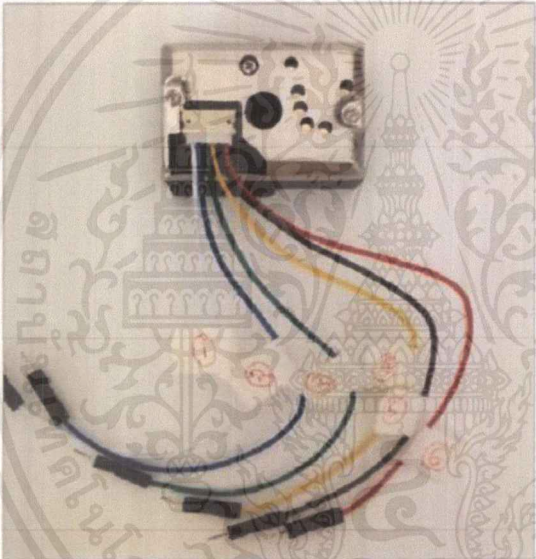
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sharp GP2Y1014AU0F uses the same type of 6-pin connector as the GP2Y1010AU0F model. Earlier iterations of the GP2Y1010AU0F sensor used the JST (Japan Solderless Terminal) connector S6B-ZR-SM4A. But all newer production versions of both sensors now use JCTC connector 11501W90-6P-S-HF which should be compatible with the old JST connector. What this all means is if you have an old cable harness for GP2Y1010AU0F, the cable should work just fine with GP2Y1014AU0F as well. The following table and figure shows the pin assignments for GP2Y1014AU0F.

Pin number	Pin name
1	V-LED
2	LED-GND
3	LED
4	S-GND
5	Vo
6	Vcc



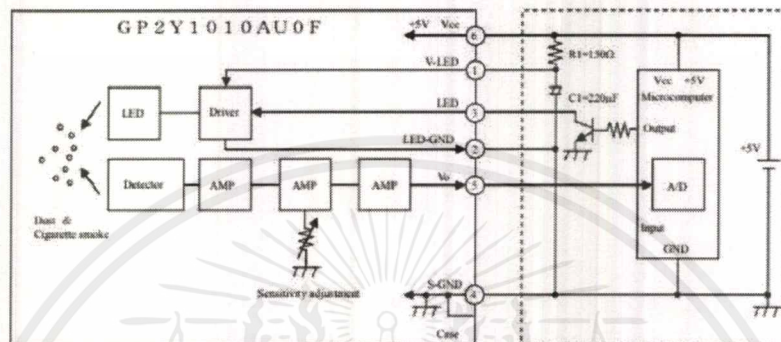
Below is a picture of GP2Y1014AU0F with its connector cable attached.



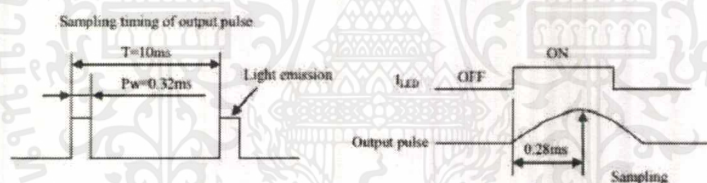
Using GP2Y1014AU0F with Arduino

LED Pulse Drive Circuit

The specification for GP2Y1014AU0F isn't very clear about how to hook up the sensor. A better example can be found in the Application Note for the GP2Y1010AU0F model. Both GP2Y1010AU0F and GP2Y1014AU0F require the same circuit consisting of a resistor (150 ohms) and a capacitor (220 uF) designed to pulse the sensor LED on and off instead of running it continuously. The LED degrades in intensity over time and pulsing the LED helps to extend its lifetime. The figure below from Sharp's application note (section 6-1) shows an example circuit.



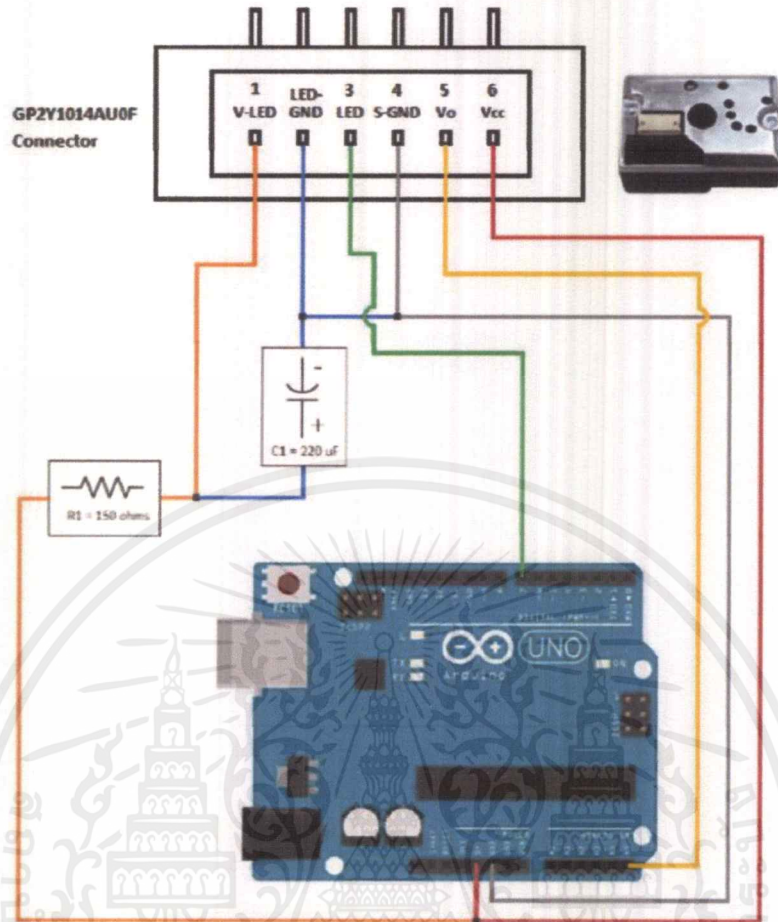
The application note further indicates (see below figure) that the LED should be pulsed on once every 10ms, using a pulse duration or width of 0.32ms. Once the LED is turned on, the application note says to sample the resulting analog output voltage after 0.28ms (or 280 microseconds) have elapsed from the moment the LED is switched on.



Arduino Circuit

The following circuit is derived from the Application Note for the GP2Y1010AU0F model. This example uses Arduino Uno but it should work the same with Arduino Mega 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The key connections to note are:

- The dust sensor LED terminal is connected to Arduino digital pin 7 which will be used to pulse the sensor LED on or off.
- The dust sensor Vo terminal is connected to Arduino analog input pin A5 which will be used to read the output voltage from the sensor.

Arduino Sketch (demo source code)

The [demo source code](#) shows how to:

- Turn the dust sensor LED on.

- Sample the analog output voltage after 0.28 milliseconds have elapsed. This gives a value from 0 to 1023. Based on the documentation for the Arduino `analogRead` function, this operation takes around 100 microseconds or 0.1 milliseconds to complete. This means that the pulse width generated by this demo program is at least 0.38 milliseconds which exceeds the pulse width recommended in the specification of 0.32 ms.
- Turn the dust sensor LED off.
- Compute an average voltage reading based on the last 100 samples. Using averaging gives more stable results but note that this is just a simple average that is computed every time 100 samples have been read. Since the LED pulse cycle is 10ms, this means an average voltage reading is generated about once per second.
- Convert the average voltage reading to a value in Volts.
- Dynamically adjust the `Voc` value (the output voltage under zero dust conditions). The `Voc` value is used for offset correction.
- Calibrate the voltage reading by applying offset correction and then calculating the dust density in units of $\mu\text{g}/\text{m}^3$ using the formula below from Sharp.

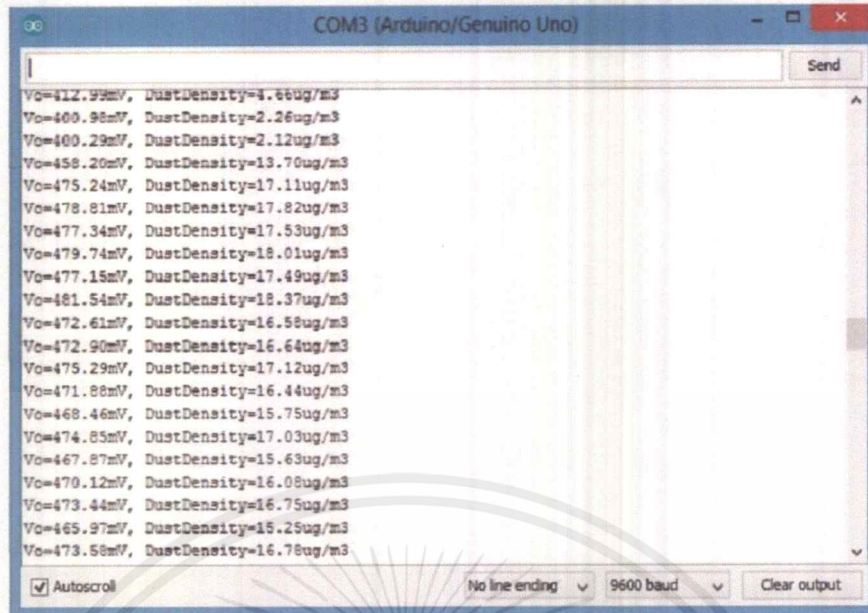
$$\text{Dust Density } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = (\Delta V / K) \times 100$$

$\Delta V = V_{\text{out}} - V_{\text{oc}}$
 V_{oc} : Output at no dust
 V_{out} : Output at measuring dust
 K : Sensitivity

You can adjust the `Voc` and `K` values in the source code so that your results correlate better against more accurate reference equipment such as a TSI DustTrak II Monitor.

Example Serial Monitor output

If you are switching between different Arduino boards, make sure you go to the **Tools** menu and set **Board** and **Port** appropriately before compiling or uploading the code. The following screen capture shows example output from the GP2Y1014AU0F dust sensor as displayed on the Arduino Serial Monitor.



```

Vo=412.99mV, DustDensity=1.66ug/m3
Vo=400.98mV, DustDensity=2.26ug/m3
Vo=400.29mV, DustDensity=2.12ug/m3
Vo=458.20mV, DustDensity=13.70ug/m3
Vo=475.24mV, DustDensity=17.11ug/m3
Vo=478.81mV, DustDensity=17.82ug/m3
Vo=477.34mV, DustDensity=17.53ug/m3
Vo=479.74mV, DustDensity=18.01ug/m3
Vo=477.15mV, DustDensity=17.49ug/m3
Vo=481.54mV, DustDensity=18.37ug/m3
Vo=472.61mV, DustDensity=16.58ug/m3
Vo=472.90mV, DustDensity=16.64ug/m3
Vo=475.29mV, DustDensity=17.12ug/m3
Vo=471.88mV, DustDensity=16.44ug/m3
Vo=468.46mV, DustDensity=15.75ug/m3
Vo=474.85mV, DustDensity=17.03ug/m3
Vo=467.87mV, DustDensity=15.63ug/m3
Vo=470.12mV, DustDensity=16.08ug/m3
Vo=473.44mV, DustDensity=16.75ug/m3
Vo=465.97mV, DustDensity=15.25ug/m3
Vo=473.58mV, DustDensity=16.78ug/m3

```

Appendix

Distinguishing between smoke and house dust

The following excerpt from the Application Note for GP2Y1010AU0F (version 2.0) shows how to distinguish between cigarette smoke and house dust particles. This also applies to GP2Y1014AU0F.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-2 Detection of dust and cigarette smoke

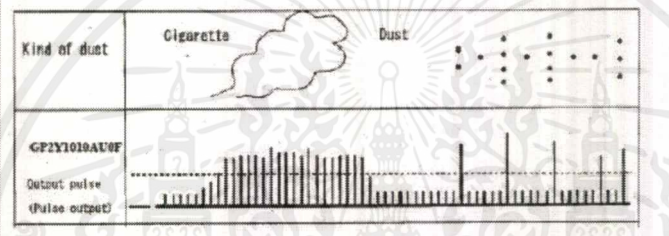
Distinguishing between dust and cigarette smoke

In general, cigarette smoke consists of highly dense small particles and is diffusing while moving slowly. On the other hands, dust is big, density is low and it comes periodically into the detection area. As on the below chart, cigarette smoke can be detected & the sensor can make detection output continuously. But the output when detecting dust becomes intermittent. Therefore, by reading a transition of the sensor output (pulse output synchronized to the LED emission) during a certain time period by microcomputer, the system can distinguish.

- (a) No dust
- (b) Cigarette smoke exists
- (c) Dust exists

And the system can also detect how much air is polluted.

Since the conventional models have the peak-hold circuit and time constant is big, response time (rise/fall time) is long and it may difficult to detect sporadic dust sometimes.



Sensor Calibration

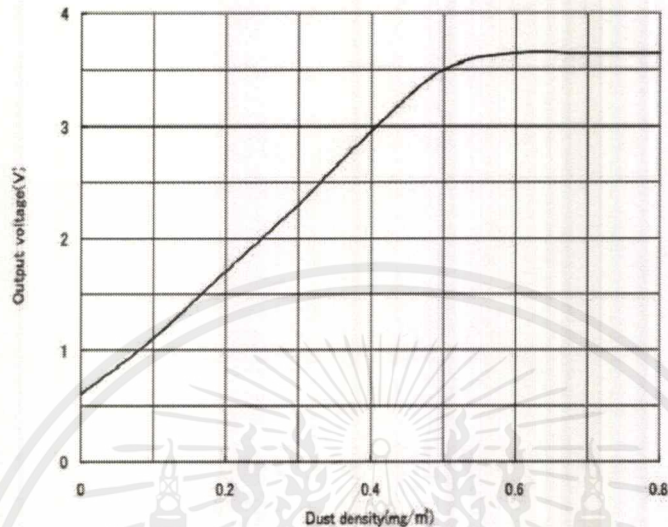
The GP2Y1014AU0F sensor outputs a voltage reading which varies linearly with PM/dust density. It is necessary to apply a bit of calibration to convert these output voltages to the desired PM/dust density values in units of $\mu\text{g}/\text{m}^3$. There are two aspects to this calibration as described below.

Offset Correction

Even in a perfectly clean, zero dust environment, the GP2Y1014AU0F sensor will output a non-zero voltage value which is called V_{oc} . This behavior is actually useful because you can easily tell whether the sensor is working or not. The GP2Y1014AU0F specification states that the typical value of V_{oc} is 0.6 Volts. You can see this offset from a graph of Output voltage (V) versus Dust density (mg/m^3) for this sensor (see Y-intercept).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GP2Y1014AU0F Output voltage vs. Dust density characteristics (Example)



Offset correction, therefore, involves determining this V_{oc} value, and subtracting it from the uncorrected voltage reading from the sensor. However, determining V_{oc} manually for every dust sensor on a production line may not be practical. The demo source code shows a simple solution to this problem by hardcoding the typical value of 0.6 Volts initially. Then during runtime, the V_{oc} value is updated dynamically whenever a lower output voltage is sensed.

Scalar Coefficient

From the Output voltage versus Dust density graph, you can see that the response of the sensor is linear between roughly 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. By determining the slope of this graph, you get a **scalar coefficient** value which can be used to calculate **dust density**. In other words, the calibration steps are:

1. Apply offset correction to the output voltage reading.
2. Multiply the voltage by the scalar coefficient to get dust density.

The graph from the specification is just an example. Part of the calibration process then is to determine your own Output voltage versus Dust density graph by using a reference dust monitor. For example, choose a reference type of particulate matter to test, such as cigarette smoke, and then record two or more dust density readings reported by a highly accurate dust monitor such as a TSI DustTrak II Monitor. On a graph, plot the offset-corrected voltages from the Sharp sensor on the Y-axis against the dust density readings (in ug/m3) from the reference monitor on the X-axis. Two points are needed to determine the slope of the graph. If you have more than two points, you can use any number of online linear regression tools to calculate the line of best fit. The slope of the graph is the scalar coefficient for converting voltage to dust density.

Sharp's [documentation](#) for the GP2Y1010AU0F dust sensor (which is very similar to GP2Y1014AU0F) goes a bit further and expresses the scalar coefficient in the form of a **Sensitivity (K)**, in units of Volts/(100 ug/m3). The resulting dust density conversion/calibration formula from Sharp is as follows.

$$\text{Dust Density } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = (\Delta V / K) \times 100$$

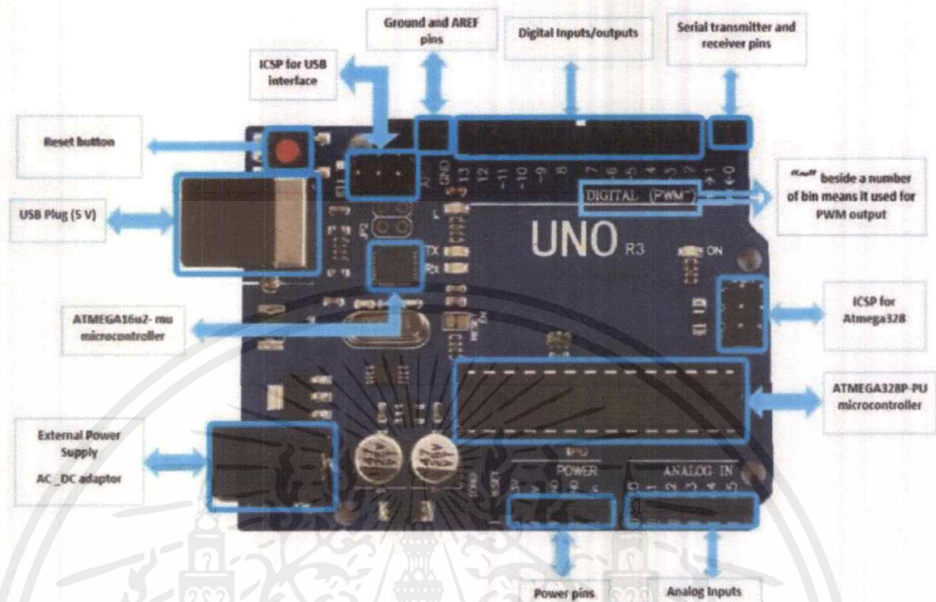
$\Delta V = V_{\text{out}} - V_{\text{oc}}$
 V_{oc} : Output at no dust
 V_{out} : Output at measuring dust
 K : Sensitivity

The [demo source code](#) uses a typical value for K of 0.5 Volts/(100 ug/m3). In practice, K should be adjusted according to the calibration procedure described above.

See also

- [Sharp GP2Y1014AU0F Specification](#)
- [Sharp GP2Y1010AU0F Application Note](#)
- [Sharp GP2Y1010AU0F - Dust Density Conversion](#)
- [Sharp Dust Sensors Lineup](#)
- [PM2.5 Monitor with Portable Battery \(search for PM2.5\)](#)
- [Investigating the Use of Commodity Dust Sensors for the Embedded Measurement of Particulate Matter](#)
- [Comparative Experimental Evaluation of Dust Sensors for Environmental Monitoring on Construction Sites](#)
- [Measurement of PM2.5 Concentrations in Indoor Air Using Low-Cost Sensors and Arduino Platforms](#)
- [Laboratory Evaluation and Calibration of Three Low-Cost Particle Sensors for Particulate Matter Measurement](#)

Arduino Uno R3



INTRODUCTION

Arduino is used for building different types of electronic circuits easily using of both a physical programmable circuit board usually microcontroller and piece of code running on computer with USB connection between the computer and Arduino.

Programming language used in Arduino is just a simplified version of C++ that can easily replace thousands of wires with words.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ARDUINO UNO-R3 PHYSICAL COMPONENTS

ATMEGA328P-PU microcontroller

The most important element in Arduino Uno R3 is ATMEGA328P-PU is an 8-bit Microcontroller with flash memory reach to 32k bytes. It's features as follow:

- High Performance, Low Power AVR
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Master/Slave SPI Serial Interface
- Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I2 C compatible)
- Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
- On-chip Analog Comparator
- Interrupt and Wake-up on Pin Change

• **Special Microcontroller Features**

- Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
- Internal Calibrated Oscillator
- External and Internal Interrupt Sources
- Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby

• **I/O and Packages**

- 23 Programmable I/O Lines
- 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF

• **Operating Voltage:**

- 1.8 - 5.5V

• **Temperature Range:**

- -40°C to 85°C

• **Speed Grade:**

- 0 - 4 MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz@2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V

• **Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C**

- Active Mode: 0.2 mA
- Power-down Mode: 0.1 μ A
- Power-save Mode: 0.75 μ A (including 32 kHz RTC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Pin configuration

(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)

ATMEGA16u2- mu microcontroller

Is a 8-bit microcontroller used as USB driver in Arduino uno R3 it's features as follow:

- High Performance, Low Power AVR
- Advanced RISC Architecture
 - 125 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
- Non-volatile Program and Data Memories
 - 8K/16K/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
 - 512/512/1024 EEPROM
 - 512/512/1024 Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/ 100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
- In-System Programming by on-chip Boot Program hardware-activated after reset
- Programming Lock for Software Security
- **USB 2.0 Full-speed Device Module with Interrupt on Transfer Completion**
 - Complies fully with Universal Serial Bus Specification REV 2.0
 - 48 MHz PLL for Full-speed Bus Operation: data transfer rates at 12 Mbit/s
 - Fully independent 176 bytes USB DPRAM for endpoint memory allocation
 - Endpoint 0 for Control Transfers: from 8 up to 64-bytes
 - 4 Programmable Endpoints:
 - IN or Out Directions
 - Bulk, Interrupt and Isochronous Transfers
 - Programmable maximum packet size from 8 to 64 bytes
 - Programmable single or double buffer
 - Suspend/Resume Interrupts
 - Microcontroller reset on USB Bus Reset without detach
 - USB Bus Disconnection on Microcontroller Request
- **Peripheral Features**
 - One 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode (two 8-bit PWM channels)
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare and Capture Mode (three 8-bit PWM channels)
 - USART with SPI master only mode and hardware flow control (RTS/CTS)
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- **On Chip Debug Interface (debug WIRE)**
- **Special Microcontroller Features**
 - Power-On Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Five Sleep Modes: Idle, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- **I/O and Packages**
 - 22 Programmable I/O Lines
 - QFN32 (5x5mm) / TQFP32 packages

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Operating Voltages

- 2.7 - 5.5V

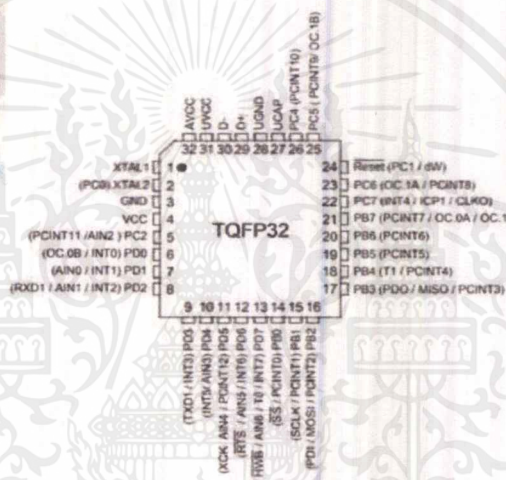
- Operating temperature

- Industrial (-40°C to +85°C)

- Maximum Frequency

- 8 MHz at 2.7V - Industrial range
- 16 MHz at 4.5V - Industrial range

- Pin configuration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



OTHER ARDUINO UNO R3 PARTS

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 k Ohms. In addition, some pins have specialized functions:

- Serial: 0 (RX) and 1 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- External Interrupts: 2 and 3. These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Provide 8-bit PWM output with the `analogWrite()` function.
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). These pins support SPI communication using the SPI library.
- LED: 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

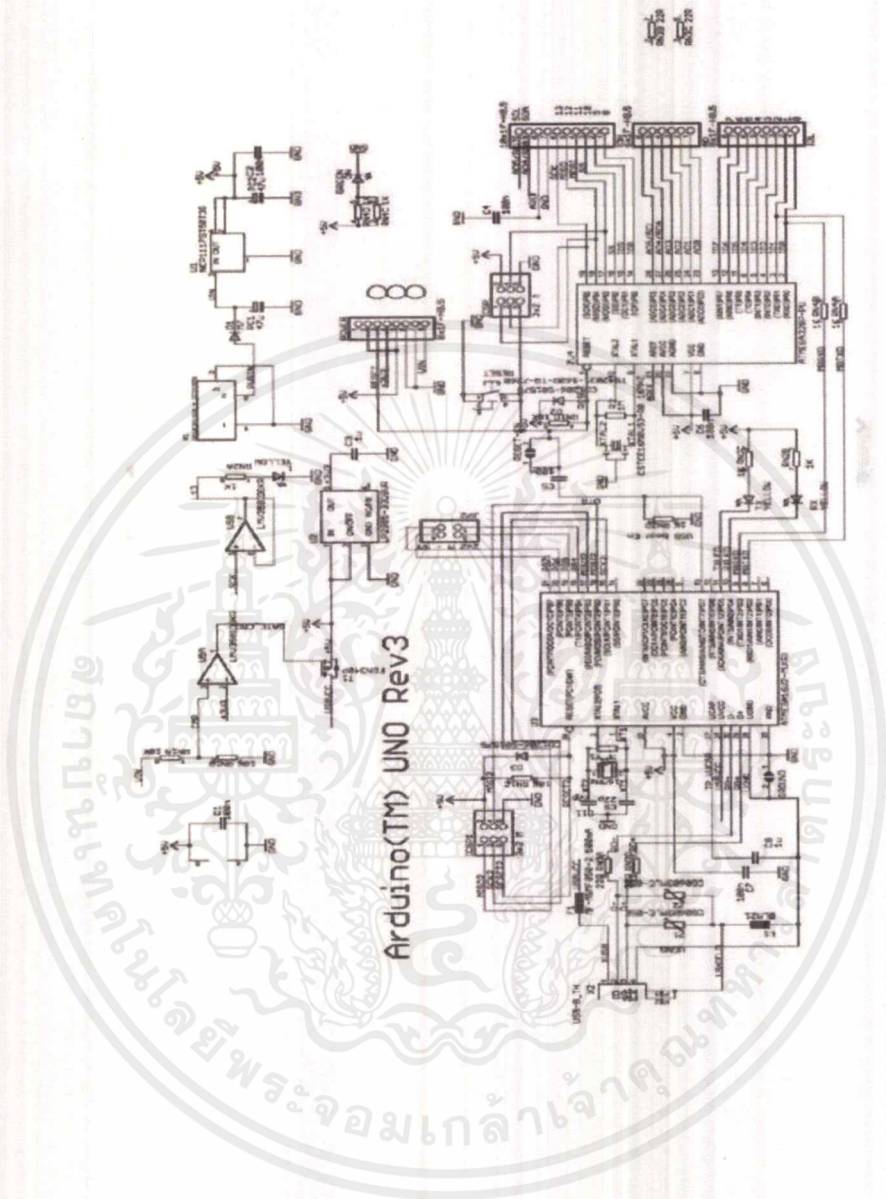
The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the `analogReference()` function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- I²C: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin. Support I²C communication using the Wire library.

There are a couple of other pins on the board:

- AREF: Reference voltage for the analog inputs. Used with `analogReference()`.
- Reset: Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

ARDUINO UNO R3 SCHEMATIC DIAGRAM



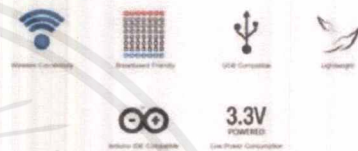
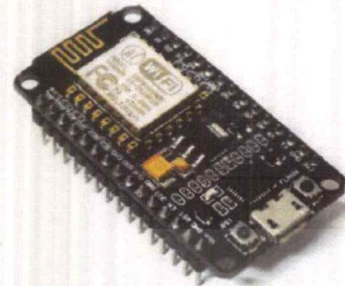
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NodeMCU ESP8266 ESP-12E WiFi Development Board

NodeMCU is an open source IoT platform. It includes firmware which runs on the ESP8266 Wi-Fi SoC from Espressif Systems, and hardware which is based on the ESP-12 module. The term "NodeMCU" by default refers to the firmware rather than the DevKit. The firmware uses the Lua scripting language. It is based on the eLua project, and built on the Espressif Non-OS SDK for ESP8266. It uses many open source projects, such as lua-cjson, and spiffs.

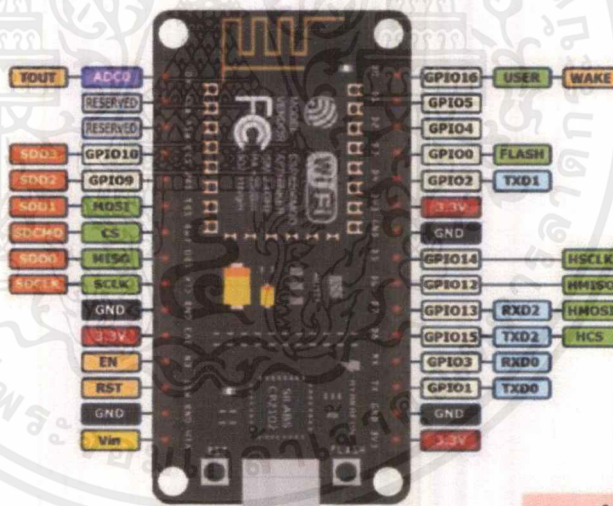
Features

- Version : DevKit v1.0
- Breadboard Friendly
- Light Weight and small size.
- 3.3V operated, can be USB powered.
- Uses wireless protocol 802.11b/g/n.
- Built-in wireless connectivity capabilities.
- Built-in PCB antenna on the ESP-12E chip.
- Capable of PWM, I2C, SPI, UART, 1-wire, 1 analog pin.
- Uses CP2102 USB Serial Communication interface module.
- Arduino IDE compatible (extension board manager required).
- Supports Lua (alike node.js) and Arduino C programming language.



PINOUT DIAGRAM

NodeMCU ESP8266 v1.0

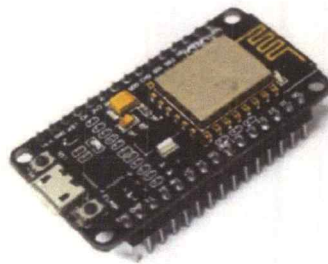


Source

<https://kotbytes.wordpress.com/nodemcu-pinout/>

Safety Precaution

All GPIO runs at 3.3V !!



Front View



Front View

Specifications of ESP-12E WiFi Module

Wireless Standard	IEEE 802.11 b/g/n
Frequency Range	2.412 - 2.484 GHz
Power Transmission	802.11b : $+16 \pm 2$ dBm (at 11 Mbps) 802.11g : $+14 \pm 2$ dBm (at 54 Mbps) 802.11n : $+13 \pm 2$ dBm (at HT20, MCS7)
Receiving Sensitivity	802.11b : -93 dBm (at 11 Mbps, CCK) 802.11g : -85 dBm (at 54 Mbps, OFDM) 802.11n : -82 dBm (at HT20, MCS7)
Wireless Form	On-board PCB Antenna
IO Capability	UART, I2C, PWM, GPIO, 1 ADC
Electrical Characteristic	3.3 V Operated 15 mA output current per GPIO pin 12 - 200 mA working current Less than 200 uA standby current
Operating Temperature	-40 to +125 °C
Serial Transmission	110 - 921600 bps, TCP Client 5
Wireless Network Type	STA / AP / STA + AP
Security Type	WEP / WPA-PSK / WPA2-PSK
Encryption Type	WEP64 / WEP128 / TKIP / AES
Firmware Upgrade	Local Serial Port, OTA Remote Upgrade
Network Protocol	IPv4, TCP / UDP / FTP / HTTP
User Configuration	AT + Order Set, Web Android / iOS, Smart Link APP

Disclaimer
Information provided in this document are compilation from various online resources. Electronic Engineering does not ensure the completeness, accuracy and reliability of the information and do not own any rights on any registered trademarks involved. Information provided should be intended for reference only.



LCD-016M002B

Vishay

16 x 2 Character LCD



FEATURES

- 5 x 8 dots with cursor
- Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
- + 5V power supply (Also available for + 3V)
- 1/16 duty cycle
- B/L to be driven by pin 1, pin 2 or pin 15, pin 16 or A.K (LED)
- N.V. optional for + 3V power supply

MECHANICAL DATA		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	60.0 x 36.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	mm
Dot Size	0.56 x 0.66	mm
Character Size	2.96 x 5.56	mm

ABSOLUTE MAXIMUM RATING					
ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	VDD-VSS	- 0.3	—	7.0	V
Input Voltage	VI	- 0.3	—	VDD	V

NOTE: VSS = 0 Volt, VDD = 5.0 Volt

ELECTRICAL SPECIFICATIONS						
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V	4.7	5.0	5.3	V
		VDD = + 3V	2.7	3.0	5.3	V
Supply Current	IDD	VDD = 5V	—	1.2	3.0	mA
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version Module	VDD - V0	- 26 °C	—	—	—	V
		0 °C	4.2	4.8	5.1	
		25 °C	3.8	4.2	4.6	
		50 °C	3.6	4.0	4.4	
LED Forward Voltage	VF	25 °C	—	4.2	4.6	V
		70 °C	—	—	—	
LED Forward Current	IF	25 °C Array	—	130	260	mA
		Edge	—	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC/400Hz	—	—	5.0	mA

DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE:																
Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F
DD RAM Address	40	41														4F

Document Number: 37217
Revision 01-Oct-02

For Technical Questions, Contact: Displays@Vishay.com

www.vishay.com
31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

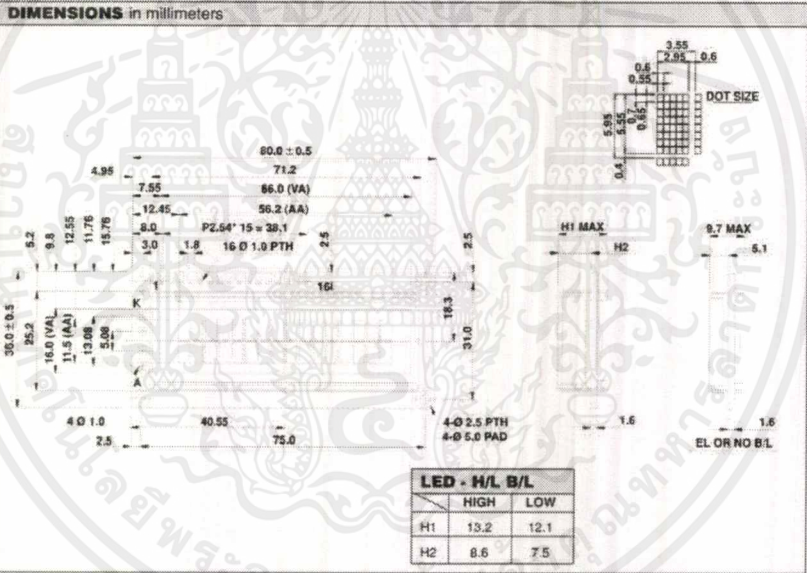
LCD-016M002B

Vishay

16 x 2 Character LCD



PIN NUMBER	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+ 3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	H → L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/Vee	+ 4.2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**MANTECH
ELECTRONICS**

International Components Distributor
A MOBICON COMPANY

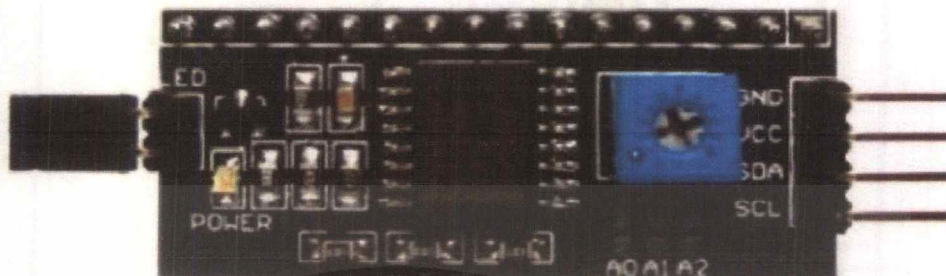
TEL JHB : (011) 493-9307
CAPE : (021) 535-3150
KZN : (031) 309-7686

FAX : (011) 493-9319

sales@mantech.co.za

www.mantech.co.za

I2C interface for LCD



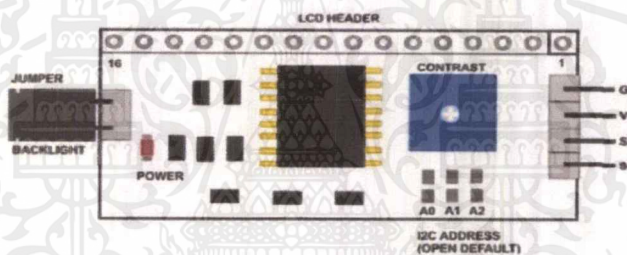
Discription:

This LCD2004 is a great I2C interface for 2x16 and 4x20 LCD displays. With the limited pin resources, your project may be out of resources using normal LCD shield. With this I2C interface LCD module, you only need 2 lines (I2C) to display the information. If you already has I2C devices in your project, this LCD module actually cost no more resources at all. Fantastic for Arduino based projects.

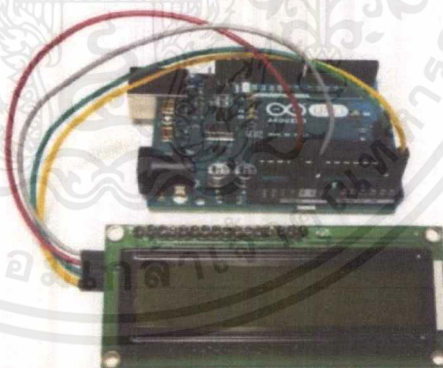
Specification:

Compatible with 16x2 and 20x4 LCD's
Default I2C Address = 0X27
Address selectable - Range 0x20 to 0x27

Board Layout:



I2C Address Setup:



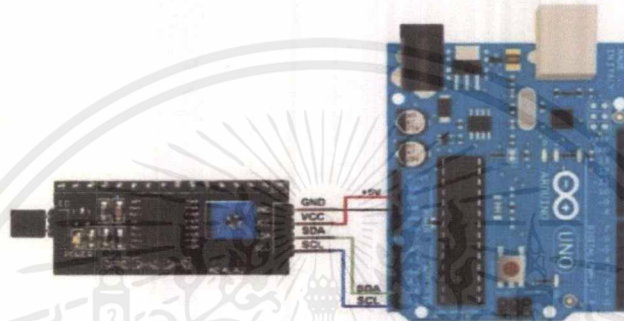
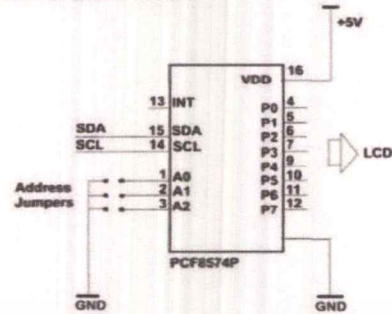
© Copyright 2017, Mantech Electronics (Pty) Ltd. All rights reserved.
A MOBICON Company.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The LCD2004 board utilized the PCF8574 I/O expander. This nifty little chip provides eight bits of parallel I/O addressable by a I2C bus address – 0x00 to 0x27. SainSmart tied all address leads to Vcc, so the LCD2004 board's I2C address is permanently fixed at hex 27. This is rather limiting since no additional LCD2004s can be added to the bus. Anyway, you simply address the board and write an eight bit value which is then presented on the output pins of the PCF8574, which, in this case, are connected to the HD44780 based LCD screen.

INPUTS			I2C SLAVE ADDRESS
A2	A1	A0	
L	L	L	0x20
L	L	H	0x21
L	H	L	0x22
L	H	H	0x23
H	L	L	0x24
H	L	H	0x25
H	H	L	0x26
H	H	H	0x27

H = Open Jumper L = Close Jumper



```
// Arduino Code
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE); // Initialize LCD Display at address 0x27
// unmodified backpack

void setup() {
  // activate LCD module
  lcd.begin(16,2); // for 16 x 2 LCD module
  lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
}

void loop() {
  lcd.home(); // set cursor to 0,0
  lcd.print(" Hello, world!");
  lcd.setCursor(0,1); // go to start of 2nd line
  lcd.print(millis());
  delay(1000);
  lcd.setBacklight(LOW); // Backlight off
  delay(500);
  lcd.setBacklight(HIGH); // Backlight on

  delay(1000);
} // END
```

Check for more info at

<https://arduino-info.wikispaces.com/LCD-Blue-I2C>

© Copyright 2017, Mantech Electronics (Pty) Ltd. All rights reserved.
A MOBICON Company.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้