

การศึกษาประสิทธิภาพ การออกแบบ การทำงานของเซนเซอร์วัดฝุ่นละออง

Study of the Performance and Design of Dust Sensors

ธัชกร อ่อนบุญเอื้อ¹ และสุคนธ์ทิพย์ ทินาภรณ์¹

Thatchakon Onboonuea¹ and Sukontip Tinapron¹

¹คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

¹School of Information Technology, Eastern Asia University

Received: August 30, 2023

Revised: October 17, 2023

Accepted: October 19, 2023

บทคัดย่อ

ฝุ่นละอองขนาดเล็กมี 3 ขนาดที่ใช้เรียก ได้แก่ PM10 PM2.5 และ PM0.1 ซึ่งเป็นฝุ่นละอองที่สามารถลอยในอากาศได้ในระยะเวลานาน เนื่องจากมีอนุภาคเล็กจึงมีโอกาสดูดซับได้มากส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจในระยะยาว ในปัจจุบันเมื่อเทคโนโลยีแอปพลิเคชันและสมาร์ทโฟนได้รับความนิยมมากขึ้น นักพัฒนาระบบพยายามนำเครื่องมือที่เรียกว่า IoT ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ โดยการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบอัตโนมัติ เพื่อให้เสี่ยงพื้นที่อันตรายและเสี่ยงต่อการสูดดม ซึ่งอุปกรณ์ที่ช่วยในการทำงานที่สำคัญ คือ เซนเซอร์ ที่ทำหน้าที่หลัก ดังนั้นบทความนี้มีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบเซนเซอร์สำหรับวัดปริมาณฝุ่นละออง PM10 และ PM2.5 โดยเป็นการเปรียบเทียบการทำงานของเซนเซอร์ จำนวน 4 รุ่น ประกอบด้วย PM3003 PM5003 PM7003 และ GP2Y1010AU0F สำหรับการใช้งานในพื้นที่การออกแบบ เทคนิคที่ใช้ และประเมินผลที่ได้

คำสำคัญ: เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง ฝุ่นละออง

Abstract

There are three sizes of small dust particles known as PM10 PM2.5 and PM0.1, which are particles capable of remaining suspended in the air for extended periods. Due to their small size and high likelihood of entering the lungs, they have a long-term impact on the respiratory system. In the current era where technology applications and smartphones are becoming increasingly popular, system developers are actively employing Internet of Things (IoT) tools to assist humanity. These tools automatically measure dust levels to help individuals avoid hazardous areas and the risk of inhaling pollutants. The pivotal component aiding in this critical task is the sensor. Therefore, this article aims to conduct a comparative analysis of sensors used for measuring PM10 and PM2.5 dust levels. We compare the performance of four sensor models: PM3003, PM5003, PM7003, and GP2Y1010AU0F, in terms of their suitability for field use, design, employed techniques, and the evaluation of results.

Keywords: dust sensor, dust



บทนำ

ปัจจุบันนี้ปัญหาใหญ่เรื่องหนึ่งของประเทศไทย คือ ปัญหาหมอกควันอันเกิดขึ้นจากฝุ่น PM2.5 โดยเฉพาะ กรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมทั้งพื้นที่ทางภาคเหนือ หลายจังหวัดของประเทศไทย ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ประเทศไทยถูกจัดอันดับให้เป็นเมืองที่มีมลพิษทางอากาศสูงเป็นอันดับ 4 ของโลก โดยดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index--AQI) เป็นการรายงานคุณภาพอากาศ ให้ประชาชนเข้าใจได้ง่ายและเป็นการประชาสัมพันธ์ให้รับทราบ ถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละช่วงเวลาว่าอยู่ใน ระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพระดับไหน ซึ่งค่าของดัชนี คุณภาพอากาศใช้เป็นตัวแทนความเข้มข้นของสารมลพิษ ทางอากาศ 6 ชนิด สำหรับประเทศไทยแบ่งเป็น 5 ระดับ แสดงดังตาราง 1 โดยดัชนีคุณภาพอากาศอยู่ที่ 177 AQI รองจากประเทศจีน เมืองอุฮั่นอยู่ที่ 184 AQI เมืองเฉิ่นตูอยู่ที่ 181 AQI และประเทศอินเดียอยู่ที่ 185 AQI ซึ่งสูงเป็น อันดับหนึ่งของโลก ค่าของดัชนี AQI นี้จะเริ่มตั้งแต่ 0 ไป จนถึงมากกว่า 200 โดยค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศโดย ทั่วไปจะอยู่ที่ 100 แต่หากสูงกว่า นั้นหมายถึงมลพิษทาง อากาศที่เกินมาตรฐาน (Dechapong, 2023) ประเทศไทย ประสบปัญหาการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) สูงขึ้นประจำปี และมีความรุนแรงของ ฝุ่นละอองเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจากเหตุการณ์โรงเรียน

ในเขตกรุงเทพฯ หลายแห่งทยอยสั่งหยุดเรียนเนื่องจาก PM2.5 สูงกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศซึ่งส่งผลเสียต่อ สุขภาพ ทางโรงเรียนจึงประกาศปิดโรงเรียนเนื่องจากฝุ่น ละอองขนาดเล็ก PM2.5 (Daily News Online, 2023) นอกจากนี้ปัญหาสภาพอากาศยังมีผลกระทบต่อสุขภาพเป็น อันตรายต่อผู้อยู่ในกลุ่มเสี่ยง เด็ก หญิงตั้งครรภ์ ผู้สูงอายุ และ ผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ หอบหืด ภูมิแพ้ ประเด็นปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ถูกกำหนด ให้เป็นวาระแห่งชาติ โดยกำหนดในพระราชกฤษฎีกาฯ ประกาศ ตั้งคณะกรรมการวิสามัญพิจารณาศึกษาแนวทางการ ป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) อย่าง เป็นระบบ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม ได้ให้นโยบายการยกระดับมาตรฐานคุณภาพ อากาศของประเทศไทย เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ ของประชาชนและให้เป็นไปตามแผนปฏิบัติการขับเคลื่อน วาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหาหมอกควันและฝุ่นละออง” มาตรการที่ 3 การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการ มลพิษ (Charoenchansa, 2022) อีกหนึ่งปัญหา พบว่า ประชาชนหายใจรับฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) อย่างต่อ เนื่องเป็นระยะเวลานานจะส่งผลเสียต่อสุขภาพ ถึงแม้ว่า กระทรวงสาธารณสุขได้แนะนำช่องทางที่ประชาชนสามารถ ติดตามสถานการณ์ฝุ่นละอองอยู่เสมอจากแอปพลิเคชัน Air4Thai หรือเว็บไซต์//air4thai.pcd.go.th ของกรม

ควบคุมมลพิษ พร้อมแนะนำข้อปฏิบัติตนจากระดับสีค่าฝุ่น PM2.5 จากเว็บไซต์และแอปพลิเคชัน ซึ่งจะแจ้งคุณภาพอากาศตั้งแต่ระดับดีมากไปจนถึงระดับมีผลกระทบต่อสุขภาพผ่านเว็บไซต์และสมาร์ตโฟนซึ่งเป็นเพียงการแจ้งเตือนให้ระวังและหลีกเลี่ยงบริเวณและสถานที่เหล่านั้น ณ ปัจจุบันมีงานวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีในการตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองในอากาศผ่านเซนเซอร์และแสดงผลค่าฝุ่นละอองที่วัดได้ ประสิทธิภาพของเซนเซอร์จึงมีความสำคัญในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน พื้นที่ และสภาพแวดล้อม (Ministry of Public Health, 2020)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความหมายฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (particle matter) หมายถึง การรวมตัวกันของอนุภาคของแข็ง หยดละอองของเหลวที่แขวนลอยในอากาศ บางชนิดขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น ฝุ่นจากโรงโม่หิน ฝุ่นจากโรงไม้ และบางชนิดเล็กมากไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองที่อยู่รอบ ๆ ตัวมีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ไปจนถึงฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน โดยฝุ่นละอองแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 10 ไมครอน สำหรับฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 10 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยในอากาศได้นานเป็นปี และสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

ประเภทฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองสามารถจำแนกเป็น 3 ประเภท ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝุ่นละอองที่วัดได้ ดังนี้

1) **ฝุ่นละอองรวม** (Total Suspended Particulate--TPS) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 100 ไมครอน เป็นฝุ่นละอองรวมที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน แกลบ ฝุ่นชนิดนี้มีขนาดเล็กสามารถพบเห็นได้ตามสถานที่ภายในและภายนอกอาคาร

2) **ฝุ่นขนาดเล็กหรือฝุ่นหยาบ** (Particulate Matter--PM10) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน ตามคำจำกัดความของ US.EPA: United States

Environmental Protection Agency (สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ) หมายถึง ฝุ่นหยาบ (course particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน มีสภาพได้ทั้งของแข็งและของเหลวที่มีความดันและอุณหภูมิปกติ มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยาง จากการขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมบด ย่อย หิน

3) **ฝุ่นละเอียด** (Particulate Matter--PM2.5) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ตามคำจำกัดความของ US.EPA: United States Environmental Protection Agency (สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ) หมายถึง ฝุ่นละเอียด (fine particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละเอียดมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOX) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นฝุ่นละเอียดได้ ซึ่ง PM2.5 มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน (Mungsujaritkarn, Nusan, Nusan & Kawmorajalearn, 2021)

ค่ามาตรฐานของฝุ่นละออง

ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในประเทศไทยถูกกำหนดขึ้นเพื่อควบคุมความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยมาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะสั้น (24 ชั่วโมง) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยอย่างเฉียบพลัน (acute effect) และมาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะยาว (1 ปี) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบยาวหรือผลกระทบเรื้อรัง ที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัย โดยแบ่งระดับค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ ของประเทศไทยด้วยการตั้งเกณฑ์ตามตาราง 1

ทั้งนี้ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ ที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศเป็นไปตามเกณฑ์ดังตาราง 2 สำหรับค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของต่างประเทศ เช่น ออสเตรเลีย จีน อินเดีย และสิงคโปร์ รวมถึงค่ามาตรฐานขององค์การต่าง ๆ เช่น องค์การอนามัยโลก (WHO) US.EPA. และสหภาพยุโรป(EU) มีค่าตามตาราง 3

ตาราง 1

ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย

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

Note. From “Air Quality Index: AQI” by Pollution Control Department, 2023 retrieved from http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php

ตาราง 2

ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

AQI	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	O ₃ (ppb)	CO (ppm)	NO ₂ (ppb)	SO ₂ (ppb)
	เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง	เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง	เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง	เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง	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

Note. From “Air Quality Index: AQI” by Pollution Control Department, 2023 retrieved from http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php

ตาราง 3

ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของต่างประเทศ

ประเทศ	PM10 (มคก./ลบ.ม.)		PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	
	24 ชั่วโมง	1ปี	24 ชั่วโมง	1ปี
องค์การอนามัยโลก (WHO)	50	20	25	10
US.EPA	50	40	-	25
สหภาพยุโรป (EU)	-	50	25	8
จีน				
-Class 1 ¹	50	40	35	15
-Class 1 ²	150	70	75	35
อินเดีย	100	60	60	40
สิงคโปร์	50	20	37.5	12

(เป้าหมายปี 2563)

¹ พื้นที่คุ้มครองทางด้านสิ่งแวดล้อมและธรรมชาติ และพื้นที่ที่ต้องการป้องกันเป็นพิเศษ

² สำหรับที่พักอาศัย การพาณิชย์ พื้นที่อุตสาหกรรม และเขตชนบท

Note. From “PM10 and PM2.5 characterization on the relationship of diseases related to air pollution in the area of the 4th health zone. an exploratory study (Master’s thesis)” by S. Phamorn, 2021 Copyright by National Institute of Development Administration

ระบบตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง

การทำงานของระบบตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองมีการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในแอปพลิเคชันตรวจวัดค่าฝุ่นละออง ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ดังนี้

1) เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละออง (dust sensor) มีการทำงานโดยอาศัยการส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ

2) ตัวควบคุม (controller) ทำหน้าที่ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของบอร์ด (MCU ESP8266) ที่มีจำนวนขาพอร์ตอินพุตมากพอสำหรับการนำไปใช้งานเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ และเชื่อมต่อกับ Wifi หรือ Internet ซึ่งสามารถส่งให้อุปกรณ์ Output ทำงานได้ เช่น มอเตอร์ โมดูลรีเลย์ เป็นต้น

3) MQTT Protocol ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ทำงานบน TCP/IP Protocol ใช้งานกับแพคเกจข้อมูลที่รับส่งขนาดเล็ก ลดการใช้ Bandwidth ช่วยในการประหยัดการใช้พลังงานของอุปกรณ์

4) Cloud Database ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการส่งข้อมูลจากตัวเซนเซอร์ผ่าน Node MCU

5) ส่วนแสดงผล (output) ทำหน้าที่แสดงผลให้กับผู้ใช้งาน โดยผ่าน Mobile Application หรือ Web Application

ทั้งนี้ หลักการทำงานของระบบตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองแบบอัตโนมัติแสดงตามภาพ 1

หลักการทำงานของระบบตรวจวัดฝุ่นละอองและปรับปรุงคุณภาพอากาศ เริ่มต้นเมื่อเซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองตรวจวัดฝุ่นละอองจะส่งค่าผ่านมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node MCU ESP8266) เป็นตัวควบคุมที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ผ่าน ssid และ password ที่ได้จาก access point ที่เชื่อมต่อ ซึ่งจะรับค่าและส่งผ่านไปยัง MQTT Protocol ในส่วนนี้อาจจะมีการเก็บข้อมูลไว้ใน Cloud database และในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

จะมีการเขียนโปรแกรมเงื่อนไขสำหรับการทำงานของเครื่องฟอกอากาศ (air purifier) ไว้ เมื่อค่าที่รับมาเกินกว่าค่าที่กำหนดจะสั่งให้โมดูลรีเลย์ (Relay Module) เปิดให้เครื่องฟอกอากาศสามารถทำงานได้ และแสดงผลที่ได้ผ่านไปยัง Mobile application หรือ web application (kongtip, Kaweekitprasert, Jitkamnongsuk & phakakoew, 2021)

ผลการเปรียบเทียบตัวเซนเซอร์วัดฝุ่นละออง

เปรียบเทียบคุณสมบัติของเซนเซอร์

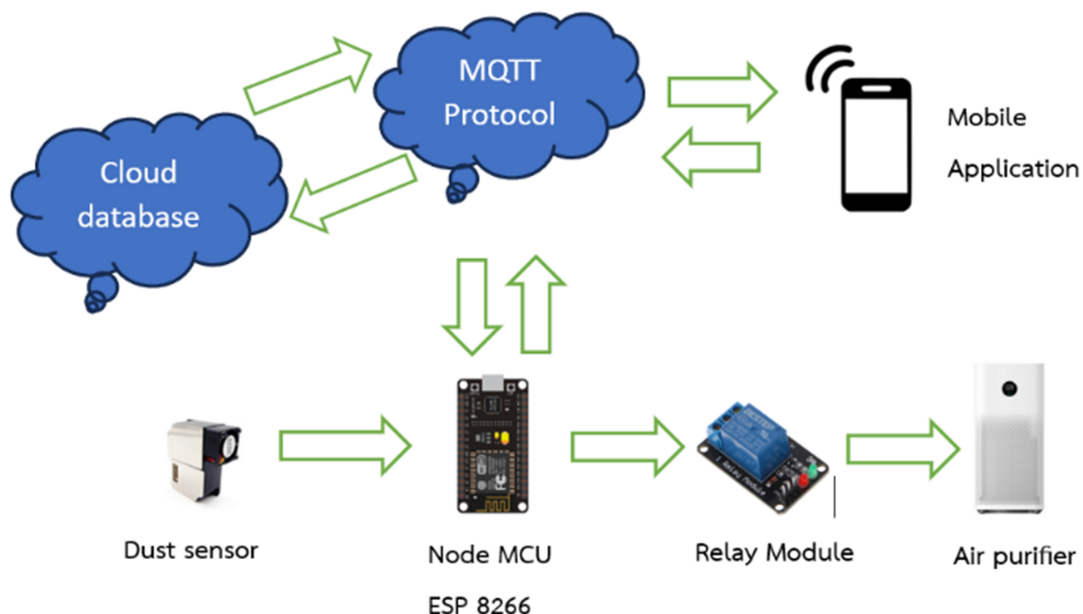
การเลือกใช้เซนเซอร์ให้เหมาะสมกับพื้นที่และสภาพแวดล้อม ส่งผลต่อประสิทธิภาพการตรวจวัดคุณภาพปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเซนเซอร์แต่ละรุ่นดังตาราง 4

เปรียบเทียบหลักการทำงานของเซนเซอร์

หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละออง (dust sensor) เริ่มต้นพัดลมขนาดเล็กจะทำการดูดอากาศบริเวณ

ที่มีฝุ่นละอองผ่านเข้า Air channel และใช้หลักการกระเจิงของแสงเลเซอร์ โดยจะประเมินผลจากแสงเลเซอร์ที่ไปกระทบกับอนุภาคแขวนลอยในอากาศ จากนั้นรวบรวมแสงกระเจิงในระดับหนึ่งและเส้นโค้งของแสงที่เปลี่ยนไปตามเวลา โดยจะส่งค่าเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ผ่านวงจรกรองและขยายสัญญาณเพื่อดำเนินการคำนวณค่าระดับปริมาณของฝุ่นและขนาดอนุภาคต่อหน่วยปริมาตรโดยไม่โครโปรเซสเซอร์ เอาท์พุตออกมาในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล (Yartit, Wannachai, Vimonthanasit, thinnakorn & Sampattakun, 2019) โดยหลักการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองทั้ง 4 รุ่นมีหลักการทำงานดังภาพ 2

การวัดค่าฝุ่นละอองโดยนำเทคโนโลยีไอโอที เพื่อวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองและนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเซนเซอร์ จากหลักการทำงานด้านต่าง ๆ ได้ผลดังตาราง 5



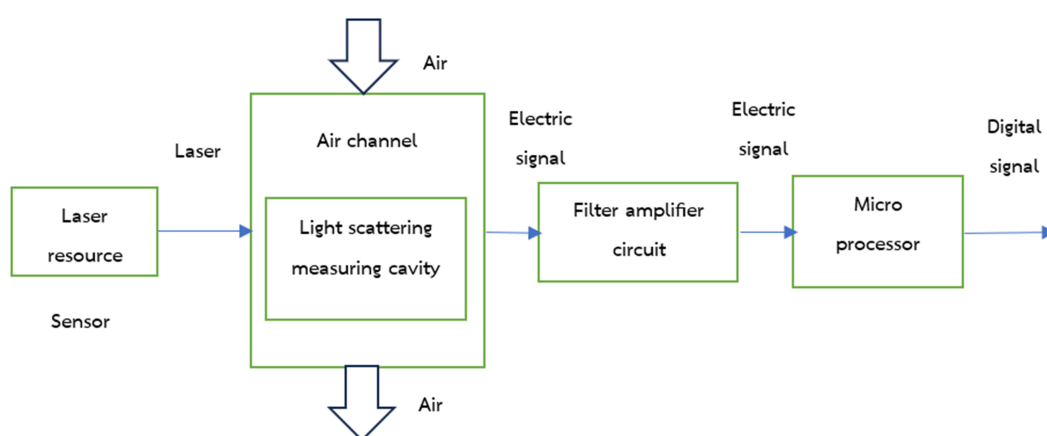
ภาพ 1 หลักการทำงานของระบบตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองแบบอัตโนมัติ

ตาราง 4

การเปรียบเทียบ คุณสมบัติของตัวเซนเซอร์ รุ่น PMS3003 PMS5003 PMS7003 และ GP2Y1010AU0F

รุ่น	PMS3003	PMS5003	PMS7003	GP2Y1010AU0F
ช่วงของการวัด	2.5-10 μm	2.5-10 μm	2.5-10 μm	2.5-10 μm
ระยะที่มีผล	0~500 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	0~500 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	0~500 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	0~500 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
สูงสุดช่วง	1000 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	1000 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	1000 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	1000 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
ความละเอียด ความเข้มข้น	1 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	1 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	1 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	0.1 mg/m^3
ขั้นต่ำ DIA. distinguishable	0.3 μm	0.3 μm	0.3 μm	0.3 μm
Consistency of PM2.5 ความเข้มข้น (25 $\pm$ 5) $^{\circ}\text{C}$	$\pm 10\%$ @ 100~500 UG/M^3	$\pm 10\%$ @ 100~500 UG/M^3	$\pm 10\%$ @ 100~500 UG/M^3	$\pm 10\%$ @ 100~500 UG/M^3
(50 $\pm$ 10)% RH มาตรฐานการทดสอบ สภาพแวดล้อม	$\pm 10 \mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 0~100 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	$\pm 10 \mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 0~100 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	$\pm 10 \mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 0~100 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	$\pm 10 \mu\text{g}/\text{M}^3$ @ 0~100 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
เวลาตอบสนอง	$\leq 10\text{s}$	$\leq 10\text{s}$	$\leq 10\text{s}$	$\leq 1\text{s}$
ประสิทธิภาพป้องกัน การรบกวน	ไม่มี	มี	มี	มี
ปรับปรุงช่องทางเข้า- ออกของอากาศ	ไม่มี	มี	มี	ไม่มี
ขนาดเล็ก	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี

Note. From “Alldatasheet.com.” by Electronic Components Datasheet Search, 2023, retrieved from <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=PM7003>



ภาพ 2 หลักการทำงานของเซนเซอร์

Note. From “Alldatasheet.com.” by Electronic Components Datasheet Search, 2023, retrieved from <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=PM7003>

ตาราง 5

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซนเซอร์จากการทำงานในด้านต่าง ๆ

รุ่นเซนเซอร์	เรื่อง	หลักการทำงาน	คุณสมบัติ	ตัวควบคุม	ฐานข้อมูล	รูปแบบการเชื่อมต่อ	การประเมินประสิทธิภาพ	การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต	พื้นที่วัดปริมาณฝุ่นละออง	ผลที่ได้
PMS-3003	การพัฒนาต้นแบบระบบตรวจวัดและแจ้งเตือนฝุ่นละอองโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Deecharoenchitpong & Tortrakul, 2019)	การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ	PM10 PM2.5	Node MCU ESP8266	Cloud storage	อินเทอร์เน็ต	Black Box Testing โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านผู้ใช้งานทั่วไป 31 ท่าน	Think Speak	เขตสายไหม	วัดค่าทางสถิติ
PMS-5003	ระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างอาคารโดยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Chuasawan & Tongthong, 2021)	การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ	PM10 PM2.5	Node MCU ESP8266	MySQL	อินเทอร์เน็ต	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor เทียบกับข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ	อินเทอร์เน็ต (Wifi) พ่วงของประเทศไทย อินโดนีเซีย	จังหวัดตรัง ปัญหาหมอกควันไฟป่าของประเทศไทย อินโดนีเซีย	มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยกว่าค่าจากกรมควบคุมมลพิษ
PMS-5003	ระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างอาคารโดยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Chuasawan & Tongthong, 2021)	การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ	PM10 PM2.5	Arduino Uno + ESP8266	Microsoft Excel	โมดูลสื่อสารไร้สายรุ่น NRF-24L01 2.4G	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	การสื่อสารไร้สาย	พื้นที่ก่อสร้างอาคาร	วัดค่าฝุ่นละอองได้หลายจุดจากการเคลื่อนที่ของโดรน
	การประยุกต์ใช้ระบบตรวจวัดเพื่อควบคุมฝุ่นในพื้นที่ก่อสร้างโดยใช้เทคโนโลยีไอที อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Prapankun & Jotisankasa, 2020)			Node MCU ESP8266	Cloud storage	อินเทอร์เน็ต IoT	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	Blynk Application	พื้นที่ก่อสร้างอาคาร	สามารถลดฝุ่นผ่านการสั่งให้มีการพ่นน้ำแบบหมอก
	อุปกรณ์วัดค่าฝุ่น PM2.5 แบบเคลื่อนที่ (Phirunkham, Meepoo, Polamat & Suwannaraj, 2022)			ESP-32	Google sheet	อินเทอร์เน็ต	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	IFTTT	ต.บึงพระ อ.เมือง พิจิตร จ.พิจิตร	ประเมินความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพการใช้งาน

ตาราง 5 (ต่อ)

รุ่นเซนเซอร์	เรื่อง	หลักการทำงาน	ฝุ่นละอองที่วัดปริมาณได้	ตัวควบคุม	ฐานข้อมูล	รูปแบบการเชื่อมต่อ	การประเมินประสิทธิภาพ	การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต	พื้นที่วัดปริมาณฝุ่นละออง	ผลที่ได้
PMS-7003	การพัฒนาเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 แสดงผลผ่านระบบคลาวน์ ด้วยเซ็นเซอร์พีเอ็มเอส 7003 (Rattananimit, 2020)	การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ	PM10 PM2.5	Node MCU ESP8266	Cloud storage	อินเทอร์เน็ต	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	Think Speak	แยกทำพระแขวงท่าพระเขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ	รายงานผลออนไลน์
GP2Y1010AU0F	การสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ฝุ่นละอองในอากาศและระบบสอบถกมั่งเจ็ตีออนปริมาณฝุ่นผ่านไลน์เซพทอท (Martmonthana, & kemapatapan, 2021)	การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ	PM10	Arduino Uno r3	Google Cloud	อินเทอร์เน็ต	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	Quectel รุ่น UC20-G	ม.กรุงเทพ	รายงานผลออนไลน์
	การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนที่ใช้เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละอองและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน (Champa, 2022)			Arduino Uno +	Microsoft Excel	โมดูลสื่อสารไร้สายรุ่น NRF-24L01 2.4G	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	การสื่อสารไร้สาย	พื้นที่ก่อสร้างอาคาร	วัดค่าฝุ่นละอองได้หลายจุดจากการเคลื่อนที่ของโดรน

บทสรุป

จากการเปรียบเทียบการใช้งานของเซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองในแต่ละรุ่นนั้น จะเห็นว่าใช้หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเดียวกัน คือ การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ และสามารถจับกับอนุภาคของฝุ่นที่เล็กมากถึง PM2.5 สำหรับตัวควบคุมที่ใช้ในการเชื่อมต่อใช้ Node MCU ESP-8266 ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่สามารถเชื่อมต่อ WIFI และอินเทอร์เน็ตและมีขนาดเล็ก ส่วนการเก็บข้อมูลจะใช้เป็น Cloud storage ผ่าน IoT Application เช่น Blynk App Think Speak และ IFTTT สำหรับพื้นที่วัดปริมาณฝุ่นละอองส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ภายนอกอาคารเช่นบริเวณท้องถนนที่มีฝุ่นละอองที่สูง และพื้นที่ก่อสร้างที่เกิดฝุ่นละอองจำนวนมาก ส่วนการประเมินประสิทธิภาพนั้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ (1) การวัดจากผู้ใช้งาน และ (2) การวัดจากการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

สำหรับเซนเซอร์ประสิทธิภาพส่วนใหญ่จะมีความสามารถที่ไม่แตกต่างกันมากนักสำหรับกลุ่มของ PMS-3003 PMS-5003 และ PMS-7003 ซึ่งในรุ่น PMS-5003

และ PMS-7003 จะมีการเพิ่มความสามารถในการป้องกันสัญญาณรบกวน โดยที่ PMS-7003 จะมีการปรับให้มีขนาดที่เล็กลงเพื่อง่ายในการออกแบบระบบที่มีพื้นที่จำกัด

ในการเลือกเซนเซอร์เพื่อนำไปใช้งานควรคำนึงถึงคุณสมบัติ พื้นที่ใช้งาน ขนาดของพื้นที่ในการติดตั้ง ระบบเครือข่ายที่ใช้อยู่ จากการเปรียบเทียบเซนเซอร์ทั้ง 3 รุ่นดังกล่าว ในรุ่นของ PMS-3003->PMS-5003->PMS-7003 เป็นการพัฒนาขึ้นในแต่ละรุ่นซึ่งมีการเพิ่มเติมการป้องกันสัญญาณรบกวนและขนาดที่เล็กลงตามลำดับ และในรุ่น GP2Y1010AU0F มีขนาดเล็กที่สุดและราคาถูกที่สุดเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นพัฒนา สำหรับงานประยุกต์ใช้พื้นที่จริงสามารถใช้ในรุ่น PMS-5003-PMS-7003 ซึ่งรุ่นดังกล่าวจะมีการป้องกันสัญญาณรบกวนและปรับช่องทางไหลของอากาศสำหรับการวัดค่า แต่ราคาแพงขึ้นตามลำดับ ดังนั้นการเลือกเซนเซอร์ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการนำไปใช้งบประมาณที่มี พื้นที่ในการติดตั้ง สำหรับเซนเซอร์ทั้ง 4 รุ่นนี้ สามารถนำมาใช้ในการวัดค่าของฝุ่นละอองขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ



References

- Champa, L. (2022). Development of PM2.5 dust meter using dust sensor and notifying via application. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 24(1), 48-55. (in Thai)
- Charoenchansa, A. (2022). *Pollution Control Department Ministry of Natural Resources and Environment Raising the level of PM2.5 standards, the royal gazette has announced enforcement*. Retrieved from https://www.pcd.go.th/pcd_news/26385. (in Thai)
- Chuasuwat, P., & Tongthong, T. (2021). Dust monitoring system in building construction projects by unmanned aerial vehicles. *The 26th National Convention on Civil Engineering* (pp. 1-8). Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)
- Daily News Online, (2023, February 3). School closed! Many schools in Bangkok have gradually ordered the suspension of classes to avoid PM2.5 dust. *Daily News Online*. Retrieved from <https://www.dailynews.co.th/news/1956817> (in Thai)
- Dechapong, T. (2023). *Thailand's air quality is ranked 4th in the world, behind only Mumbai, Wuhan and Chengdu. So which countries have good weather?*. Retrieved from <https://www.brandthink.me/content/thailand-no-4-polluted-cities>

- Deecharoenchitpong, J., & Tortrakul, P. (2019). The development of dust detection and warning system prototypes by Internet of Things. *Journal of Science and Technology Thonburi University*, 3(1), 34-43. (in Thai)
- Electronic Components Datasheet Search. (2023). *Alldatasheet.com*. Retrieved from <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=PM7003> (in Thai)
- Kongtip, T., Kaweekeitprasert, A., Jitkamnongsuk, S., & Phakakoew, T. (2021). Web application development for air purifier control with internet of things. *The 13th National Conference Phuket Rajabhat University: Multidisciplinary Integration for Local Development* (pp. ST07-1). Phuket: Rajabhat University (in Thai)
- Martmonthana, M., & Kemapatapan, C. (2021). *Delelopmet of equipment to measure temperature, humidity, dust in the air and dust notification inquiry system via LINE chatbot* (Master's thesis). Dhurakij Pundit University. Thailand. (in Thai)
- Ministry of Public Health. (2020). *Medical and public health operations manual in case of dust particles no larger than 2.5 microns (PM2.5)*. Retrieved from http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/downloads/do_manual_PM2.5.pdf.
- Mungsujaritkarn, S., Nusan, P., Nusan, S., & Kawmorajalearn, M. (2021). Factors affecting particulate matter smaller than 2.5 microns from residential building. *The 26th National Convention on Civil Engineering* (pp. 1-9). Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)
- Phamorn, S. (2021). *PM10 and PM2.5 characterization on the relationship of diseases related to air pollution in the area of the 4th health zone. An exploratory study* (Master's thesis). Bangkok: National Institute of Development Administration (in Thai)
- Phirunkham, T., Meepoo, P., Polamat, S., & Suwannaraj, K. (2022). Mobile PM2.5 dust measure. *The 13th Hatyai National and International Conference* (pp. 530-541). Songkla: Hatyai University. (in Thai)
- Phonrit, O., Arnansanti, N., Laotrakulngam, N., & Wattana, N. (2020). Measuring dust system in the air on smartphone devices. *Journal of Information Science and Technology*, 10(1), 1-9. (in Thai)
- Pollution Control Department. (2023). *Air Quality Index: AQI*. Retrieved from http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php. (in Thai)
- Prapankun, A., & Jotisankasa, A. (2020). Application of measurement system for dust control in construction site using IoT (Internet of Things) Technology. *The 58th Kasetsart University Annual Conference* (pp. 352-361). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Rattananimit, W. (2020). Development PM2.5 dust monitoring system on cloud with PMS7003. *The 12th National Conference Nakorn Pathom Rajabhat University* (pp. 435-442). Nakorn Pathom: Nakorn Pathom Rajabhat University. (in Thai)

- Yartit, A., Wannachai, S., Vimonthanasit, P., Thinnakorn, J., & Sampattakun, S. (2019). Development of PM monitor by light scattering principle and comparison with standard device. *The 42nd Electrical Engineering Conference* (pp. 481-484). Bangkok: Mahidol University. (in Thai)
- Yong, Z. (2016). *PMS5003 series data manua*. Retrieved from http://www.ett.co.th/productSensor/PMS5003_PM_SENSOR/plantower-pms5003-manual_v2-3.pdf

