

การพัฒนาระบบตรวจวัดค่าฝุ่นผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อควบคุม และติดตามคุณภาพอากาศภายในโรงเรียน สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษา กรุงเทพมหานคร

Development of a Dust Monitoring System Using Internet of Things (IoT) Technology for Air Quality Control and Monitoring at Schools under the Jurisdiction of the Bangkok Secondary Educational Service Area.

เกรียงศักดิ์ มะละกา¹, อนุสรุ สุกสุคนธ์², ขวัญวิจิตรดา ชันทะวงศ์วัฒนา³, วินัย เปาเดล⁴
กนกกร สิมิพันธ์⁵, วันสนันท์ จันทรเพ็ญ⁶, เอกรัตน์ สุกสุคนธ์^{7*}

กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์, โรงเรียน Wachirathamsatit School^{1,2,3,4,5,6}

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ⁷

Kriangsak Malaka¹, Anusara Suksukon², Kwanwichitrada

Khantawongwattana³, Winai Paudel⁴, Kanokon Seemeephan⁵,

Wanatsanan Junpen⁶, Aekkarat Suksukont^{7*}

Learning Area of Mathematics, Wachirathamsatit School^{1,2,3,4,5,6}

Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi⁷

E-mail: aekkarat.s@rmutsb.ac.th^{1,2,3,4,5,6,7}

Received: May 3, 2024; Revised: March 26 2025; Accepted: April 2, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ พัฒนาระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สำหรับการควบคุมและติดตามคุณภาพอากาศภายในโรงเรียน สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา กรุงเทพมหานคร และประเมินประสิทธิภาพความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ กระบวนการวิจัยประกอบด้วย การติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่นเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อส่งข้อมูล แบบเวลาจริงเข้าสู่ระบบคลาวด์ ระบบสามารถแจ้งเตือนและควบคุมการทำงานของเครื่องฉีดพ่นละอองน้ำ แรงดันสูงแบบอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน จากผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถควบคุม ปริมาณฝุ่นให้ไม่เกินค่ามาตรฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีระดับความพึงพอใจเฉลี่ยในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.63$, S.D. = 0.57) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการบริหาร

จัดการคุณภาพอากาศในโรงเรียนอย่างยั่งยืน จากผลการศึกษาสามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาโรงเรียน
อัจฉริยะและสนับสนุนการวางแผนนโยบายสิ่งแวดล้อมเชิงรุกในอนาคต

คำสำคัญ: ฝุ่นละออง อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โรงเรียนอัจฉริยะ

ABSTRACT

This research aimed to design, develop a dust monitoring system utilizing the internet of things (IoT) to control and monitor air quality, specifically targeting particulate matter smaller than 10 microns (PM10) in schools under the Bangkok Metropolitan, and to evaluate users satisfaction towards the developed system. The design of the system integrates dust sensors with microcontrollers to transmit real-time data to a cloud-based platform and automatically activates a high-pressure mist spray system when dust levels exceed a predefined threshold through notifications delivered via a smartphone application. Research instruments included a user satisfaction questionnaire and an expert evaluation form. The findings revealed that the system effectively maintained dust levels within safe limits and achieved a high level of user satisfaction ($\bar{X} = 4.63$, S.D. = 0.57). These results highlight the potential of IoT in promoting sustainable air quality management in schools and suggest its applicability as a prototype for smart school development and proactive environmental policy planning.

KEYWORDS: Dust, Internet of Things, Smart School

บทนำ

การเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ส่งผลกระทบต่อสุขภาพระบบทางเดินหายใจและคุณภาพชีวิตของประชากรทั่วโลก (World Health Organization, 2021) ได้กำหนดค่ามาตรฐานระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ อยู่ในเกณฑ์คุณภาพอากาศดี และเมื่อระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเฉพาะผลกระทบต่อสุขภาพในเด็กและนักเรียน โดยที่เมื่อเด็กใช้เวลาในพื้นที่ปิด อาทิ สถานศึกษาหรือโรงเรียนมากกว่าหนึ่งในสามของวัน การจัดการคุณภาพอากาศภายใน

สถานศึกษาจึงเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง (Park, J.Y., et al., 2024) ในช่วงที่ผ่านมาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งได้รับความสนใจในการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดและจัดการคุณภาพอากาศแบบเวลาจริง ระบบเซ็นเซอร์แบบกระจายตัวที่เชื่อมต่อกับคลาวด์ทำให้สามารถแจ้งเตือนและวิเคราะห์ข้อมูลได้ทันทีซึ่งจำเป็นต่อการควบคุมปริมาณ PM10 ในพื้นที่ภายในอาคาร (Shahid, S., et al., 2025) ประเทศไทยเผชิญกับวิกฤตฝุ่นในหลายภูมิภาค โดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่และพื้นที่ใกล้แหล่งก่อสร้าง จึงทำให้รัฐบาลต้องออกมาตรการเชิงนโยบายเพื่อแก้ไขปัญหา (กรมควบคุมมลพิษ, 2565) อย่างไรก็ตาม การติดตั้งระบบตรวจวัดกระจายทั่วโรงเรียนยังมีอยู่อย่างจำกัด

ทำให้ขาดข้อมูลเชิงลึกในการจัดการคุณภาพอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ (สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์, 2566) งานวิจัยในต่างประเทศหลายฉบับชี้ให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่อง สามารถทำนายและควบคุมระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กได้อย่างแม่นยำมากขึ้น (Mustamin, S. B., et al., 2024) แม้กระทั่งการพัฒนาระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศในอาคารเรียน (Suksukont, A., et al., 2024) โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวและแจ้งเตือนผ่านไลน์ ถือเป็นตัวอย่างสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในสถานศึกษาให้ปลอดภัยและยั่งยืน (Zhang, L., et al., 2021) นำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งประยุกต์ในระบบควบคุมอาคารอัจฉริยะ ส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายและรักษาระดับคุณภาพอากาศภายในอาคารได้สม่ำเสมอ โดยรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมเน้นย้ำความสำคัญของการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารเรียน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบ พัฒนา และประเมินผล ระบบตรวจวัดและควบคุมค่าฝุ่นด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่เหมาะสมกับบริบทกับโรงเรียนที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในโรงเรียนอื่น ๆ นอกจากนี้ ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจะช่วยส่งเสริมให้โรงเรียนสามารถบริหารจัดการคุณภาพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัยต่อสุขภาพของนักเรียน บุคลากร และชุมชนโดยรอบ

วัตถุประสงค์

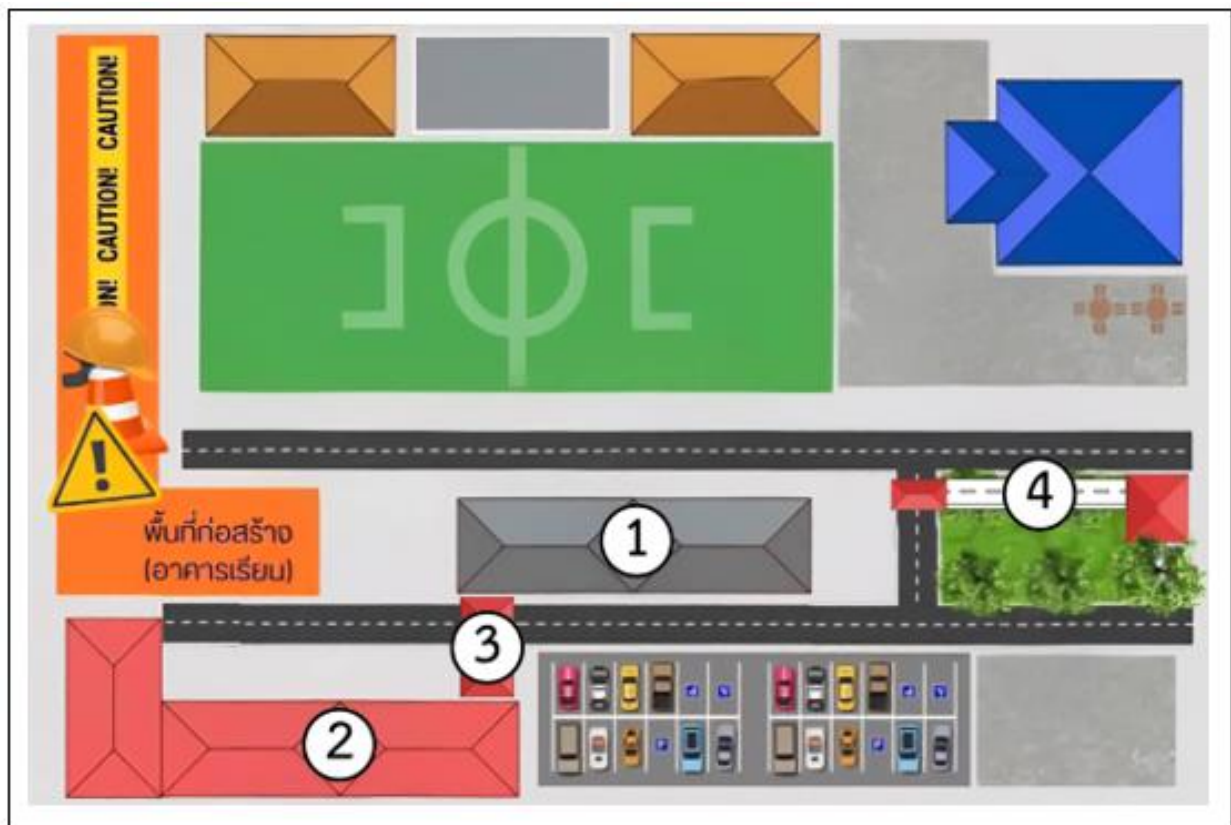
1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดค่าฝุ่นด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการควบคุมและติดตามระดับคุณภาพของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ภายในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่ การศึกษามัธยมศึกษา กรุงเทพมหานคร

2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบตรวจวัดค่าฝุ่นผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อควบคุมและติดตามคุณภาพอากาศภายในโรงเรียน

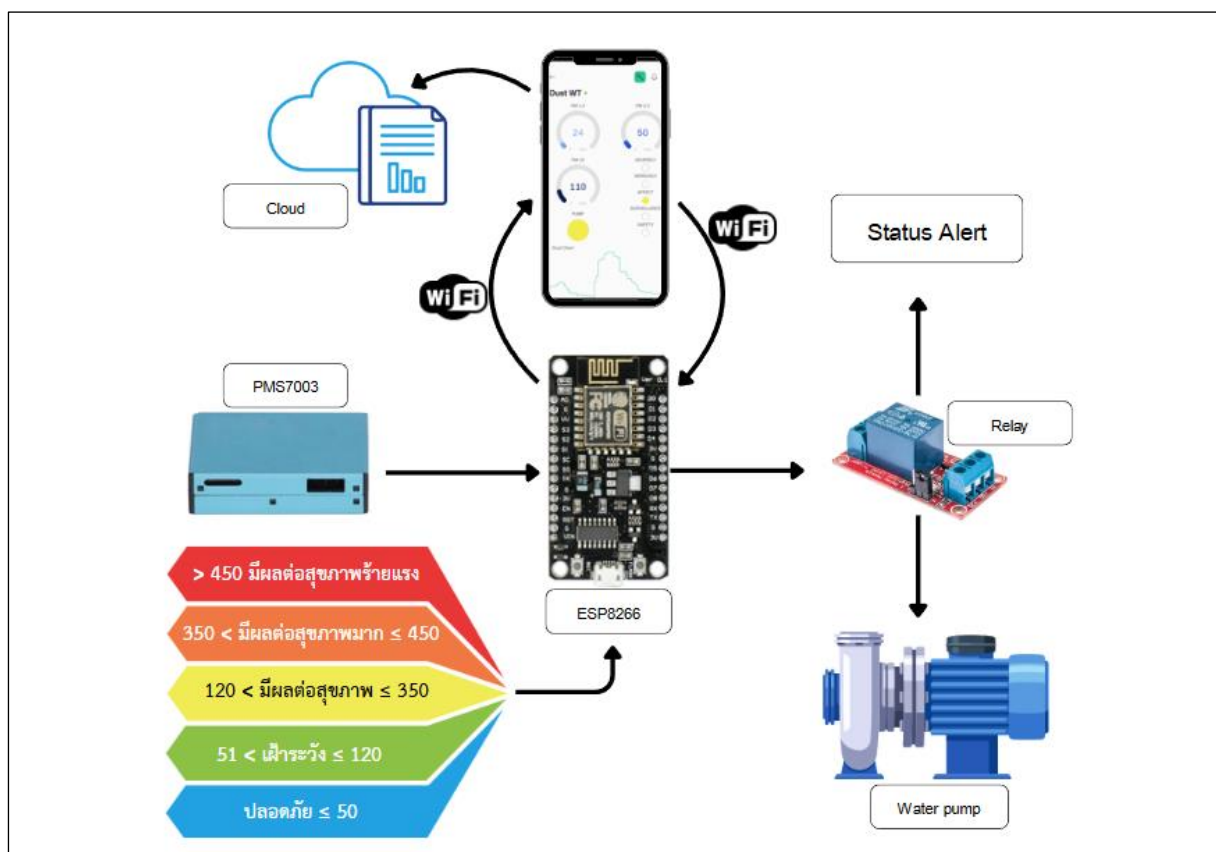
วิธีดำเนินการวิจัย

- 1) สำรวจสภาพแวดล้อมภายในโรงเรียนที่ใช้ในการทดลอง เพื่อวิเคราะห์และระบุพื้นที่เสี่ยงสำหรับการติดตั้งระบบตรวจวัดและควบคุมค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กให้เหมาะสม ในบริเวณหน้าห้องเรียน บริเวณโรงอาหาร บริเวณสวน และบริเวณทางเดินระหว่างอาคาร ดังรูปที่ 1

- 2) ออกแบบระบบตรวจวัดค่าฝุ่นผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อควบคุมและติดตามคุณภาพอากาศภายในโรงเรียน โดยใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PMS7003) ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP8266) เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลเข้าสู่ระบบคลาวด์ซึ่งสามารถเก็บบันทึกค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กและแสดงผลแบบเวลาจริง โดยที่ระบบมีการตรวจค่าฝุ่นเกินค่าที่กำหนดไว้ เครื่องฉีดพ่นละอองน้ำแรงดันสูงจะเริ่มทำงาน เพื่อทำการระงับฝุ่นและแจ้งเตือนสถานะผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน โดยกำหนดค่ามาตรฐานในการการทำงานของเครื่องฉีดพ่นในกรณีที่ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 แผนผังการติดตั้งระบบภายในโรงเรียนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2 การออกแบบระบบตรวจวัดค่าฝุ่นผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

จากรูปที่ 2 การติดตั้งระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก จำนวน 4 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 บริเวณหน้าห้องเรียน ใช้หัวพ่นละอองน้ำ จำนวน 25 หัว จุดที่ 2 บริเวณโรงอาหาร ใช้หัวพ่นละอองน้ำ จำนวน 20 หัว จุดที่ 3 บริเวณทางเดินระหว่างอาคาร ใช้หัวพ่นละอองน้ำ จำนวน 5 หัว และจุดที่ 4 บริเวณสวนสนามหญ้า ใช้หัวพ่นละอองน้ำ จำนวน 10 หัว รวมทั้งสิ้น 60 หัว ครอบคลุมบริเวณโรงเรียนที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด

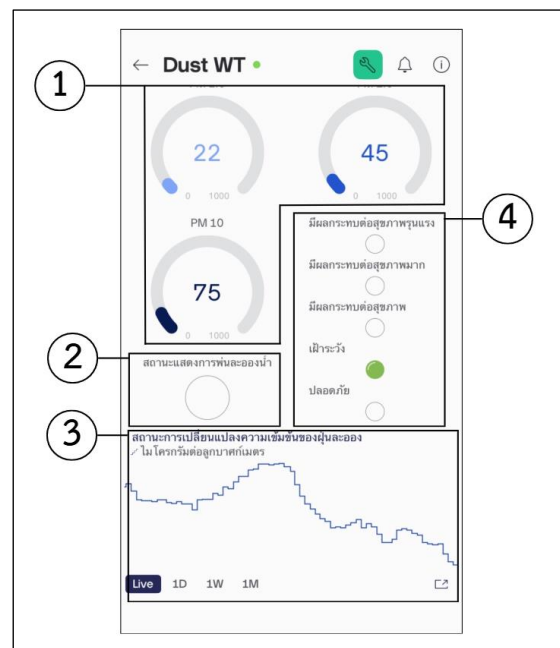
หน้าต่างแอปพลิเคชันแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 3 ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 แสดงสถานะของค่าฝุ่น PM1, PM2.5 และ PM10 มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) แสดงค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบเวลาจริง

ส่วนที่ 2 แสดงสถานะ การทำงานของเครื่องพ่นละอองน้ำแรงดันสูง โดยที่เครื่องพ่นละอองน้ำแรงดันสูงจะทำงานเมื่อค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยมากกว่า $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ส่วนที่ 3 แสดงสถิติปริมาณความเข้มข้นของค่าฝุ่นละออง จำนวน 4 แบบ ได้แก่ ค่าเวลาจริง, ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง, ค่าเฉลี่ย 1 สัปดาห์ และค่าเฉลี่ย 1 เดือน

ในกรณีที่ค่าฝุ่นละอองอยู่ในระดับ มีผลกระทบต่อสุขภาพ (สีเหลือง) ระบบฉีดพ่นละอองน้ำแรงดันสูงจะทำงาน (On) และเมื่อตรวจวัดแล้วค่าฝุ่นลดระดับลงมาต่ำกว่าระดับมีผลกระทบต่อสุขภาพ (สีเหลือง) ระบบจะสั่งการให้เครื่องพ่นละอองน้ำแรงดันสูงหยุดทำงานทันที เพื่อประหยัดค่าไฟฟ้าและค่าน้ำประปา



รูปที่ 3 รายละเอียดบนหน้าต่างแอปพลิเคชัน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) การสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ ประกอบด้วย นักเรียน ครู และผู้บริหารของโรงเรียนที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย นักเรียน 353 คน ครู 123 คน และผู้บริหาร 5 คน รวม

ทั้งสิ้น 481 คน (Taro Yamane, T., 1967) จากจำนวนนักเรียน ครู และผู้บริหาร จำนวนทั้งหมด 3,193 คน ตอบข้อคำถามลงในแบบประเมินและเสนอข้อคิดเห็น โดยผู้วิจัยได้กำหนดระดับการให้คะแนนเฉลี่ยในแต่ละระดับชั้น ประยุกต์ใช้เทคนิค

ในการคำนวณความกว้างของชั้นของข้อมูลที่มีความต่อเนื่อง โดยสามารถแปลความหมายของระดับความสำคัญของคะแนน ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{พิสัย} &= \frac{\text{คะแนนสูงสุด}-\text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} \quad (1) \\ &= \frac{5-1}{5} \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

ระดับ 5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด

ระดับ 4 หมายถึง พึงพอใจมาก

ระดับ 3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง พึงพอใจน้อย

ระดับ 1 หมายถึง ปรับปรุง

คะแนนเฉลี่ย 4.21 – 5.00 หมายถึง ผู้ตอบแบบสอบถามมีพึงพอใจมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.41 – 4.20 หมายถึง ผู้ตอบแบบสอบถามมีพึงพอใจมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.61 – 3.40 หมายถึง ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.81 – 2.60 หมายถึง ผู้ตอบแบบสอบถามมีพึงพอใจน้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.80 หมายถึง ผู้ตอบแบบสอบถามมีความต้องการให้ปรับปรุงระบบ

2) ประเมินการออกแบบระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม จำนวน 5 ท่าน โดยผู้เชี่ยวชาญพิจารณาแล้วมีค่า IOC=1 หมายถึง เครื่องมือและแบบประเมินมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการวัดอย่างสมบูรณ์

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ระบุถึงประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดค่าฝุ่นผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อควบคุมและติดตามคุณภาพอากาศภายในโรงเรียน สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา กรุงเทพมหานคร อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีผลการเก็บข้อมูลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ซึ่งเป็นช่วงที่โรงเรียนมีการรื้อถอนอาคารเรียน เพื่อเตรียมการสร้างอาคารเรียนใหม่ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถิติตค่าฝุ่นละอองก่อนใช้ระบบ

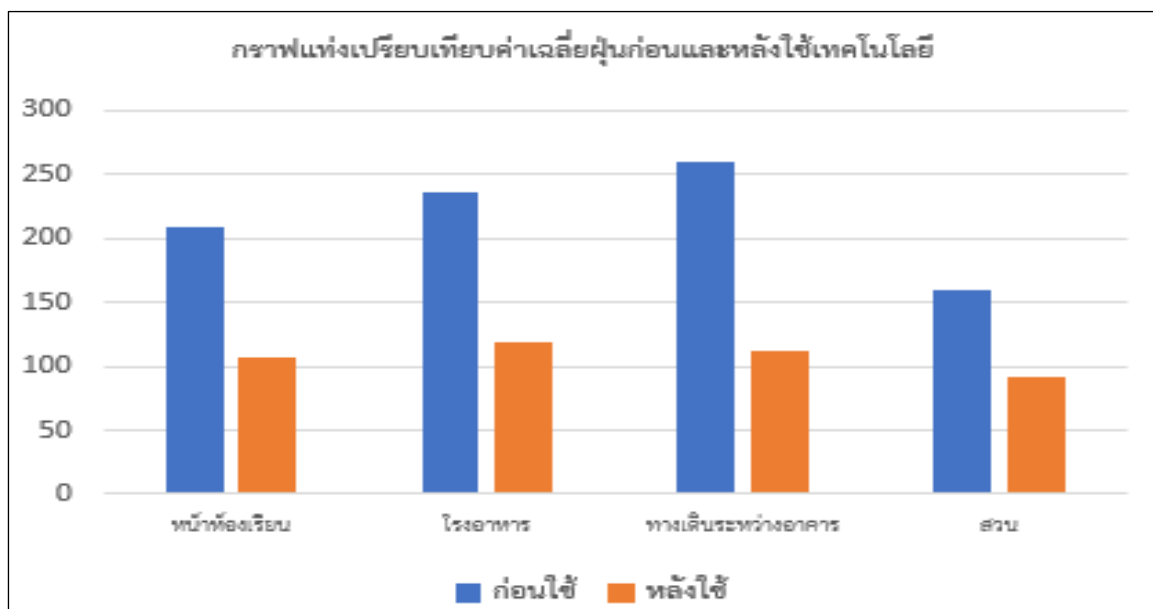
สถิติตค่าฝุ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ใน 7 วัน				
สถานที่	หน้าห้องเรียน	โรงอาหาร	ทางเดินระหว่างอาคาร	สวน
ค่าเฉลี่ย ก่อนใช้	209	236	259	160

จากตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกินค่ามาตรฐานภายในโรงเรียนที่ใช้ในการทดลอง โดยทำการเก็บผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยในทุกสถานที่ภายในโรงเรียนที่ใช้ในการทดลองมีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กมากกว่า 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง) ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพ

ตารางที่ 2 สถิติค่าฝุ่นละอองระหว่างใช้ระบบ

สถิติค่าฝุ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ใน 7 วัน				
สถานที่	หน้าห้องเรียน	โรงอาหาร	ทางเดินระหว่างอาคาร	สวน
ค่าเฉลี่ย หลังใช้	108	118	113	93

จากตารางที่ 2 แสดงผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในโรงเรียนที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งได้ดำเนินการเปิดใช้งานระบบควบคุมค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยระบบสามารถควบคุมให้ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง) ทั้งนี้ ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลตรงกับช่วงเดือนที่มีการรื้อถอนอาคารเรียนอย่างต่อเนื่องทุกวัน พร้อมกับการจัดการเรียนการสอนตามปกติ โดยสามารถเปรียบเทียบค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กก่อนและระหว่างการใช้ระบบควบคุมผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กก่อนและหลังใช้ระบบ

จากผลการสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบสามารถควบคุมและติดตามคุณภาพอากาศภายในโรงเรียนที่ใช้ในการทดลอง จากตารางที่ 3 การวิเคราะห์ผลการประเมินความพึงพอใจ ชี้ให้เห็นว่าระบบตรวจวัดค่าฝุ่นผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อควบคุมและติดตามคุณภาพอากาศภายในโรงเรียนได้รับการตอบรับที่ดีเยี่ยมจากผู้ใช้งาน โดยมีค่าระดับคะแนนเฉลี่ยสูงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำในหลายหัวข้อ ซึ่งเป็นการบ่งชี้ถึงความเชื่อมั่นและความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบดังกล่าว

ตารางที่ 3 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบตรวจวัดค่าฝุ่นผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ประสิทธิภาพของการทำงาน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. ความเสถียรของการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในการควบคุมระบบ	4.56	0.67	พึงพอใจมากที่สุด
2. ความแม่นยำของเซ็นเซอร์ในการตรวจจับค่าฝุ่นภายในห้องเรียน	4.86	0.37	พึงพอใจมากที่สุด
3. ความสะดวกในใช้งานระบบผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน	4.92	0.27	พึงพอใจมากที่สุด
4. ระบบช่วยลดความเสี่ยงด้านสุขภาพจากฝุ่นละอองขนาดเล็กได้	4.40	0.62	พึงพอใจมากที่สุด
5. ความสะดวกในการเข้าถึงและควบคุมระบบจากอุปกรณ์ต่าง ๆ	4.17	0.76	พึงพอใจมาก
6. ความถูกต้องของข้อมูลคุณภาพอากาศที่ระบบแสดงผล	4.81	0.46	พึงพอใจมากที่สุด
7. ความเข้าใจง่ายของคู่มือการใช้งานระบบ	4.75	0.43	พึงพอใจมากที่สุด
8. ประสิทธิภาพของระบบในการควบคุมปริมาณฝุ่นภายในโรงเรียน	4.44	0.51	พึงพอใจมากที่สุด
9. ระบบไม่รบกวนต่อบรรยากาศในการเรียนรู้ของบุคลากร	4.73	0.45	พึงพอใจมากที่สุด
10. ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง	4.65	0.55	พึงพอใจมากที่สุด
รวม	4.63	0.57	พึงพอใจมากที่สุด

อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดค่าฝุ่นผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อควบคุมและติดตามคุณภาพอากาศภายในโรงเรียนมีการตรวจวัดและควบคุมค่าฝุ่นละออง การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับสูงมาก ($\bar{X} = 4.63$, S.D. = 0.57) สะท้อนให้เห็นว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อความแม่นยำของ

ข้อมูลและประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณฝุ่นภายในโรงเรียน

ข้อเสนอแนะ

การเพิ่มความสามารถของระบบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ควรพิจารณาเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความแม่นยำและตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานที่อาจเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ, (2565). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2565, <https://www.pcd.go.th/publication/30311/>.
- สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์, (2566). วิกฤตฝุ่นละอองในประเทศไทยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ, <https://www.cri.or.th/th/articles-20240320/>.
- Mustamin, S. B., Atnang, M., Sahriani, S., Fajar, N., Sari, S. K., Pahlawan, M. R., and Amrullah, M., (2024). The application of machine learning and intelligent sensors for real-time air quality monitoring: a literature review, *Journal of Scientific Insights*, 1(3), 119–130, doi: 10.69930/jsi.v1i3.183.

- Park, J.Y., Gal, W. M., Bae, G.E., Han, S.Y., Kang, I.S., Lee, W. S., and Kwon W. T., (2024). Indoor air quality analysis and improvement in universities, *Journal of Wellbeing Management and Applied Psychology*, 7(5), 27–38, doi: 10.13106/jwmap.
- Rovinelli, R. J., and Hambleton, R. K., (1977). On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity, *Journal of Educational Measurement*, 14(4), 293–296.
- Shahid, S., Brown, D. J., Wright, P., Khasawneh, Taylor, A. M. B., and Kaiwartya, O., (2025). Innovations in air quality monitoring: sensors IoT and future research, *Sensors*, 25(7), 1-39, doi: 10.3390/s25072070.
- Suksukont, A., Singlor, W., Malaka, K., and Suksukon, A., (2024). An intelligent energy management system for air conditioners using Internet of Things (IoT) in educational institutions, *Journal of the Association of Private Higher Education Institutions of Thailand*, 13(2), 1–11.
- Zhang, L., Wu, J., & Chen, H. (2021). Smart building air quality control using IoT and ML. *Building and Environment*, 200, 107928. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107928>.
- World Health Organization, (2021). *Ambient (outdoor) air pollution*, WHO. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- Yamane, T., (1967). *Statistics: An introductory analysis*, 2nd ed., Harper and Row.