

การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศราคาประหยัดที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และแผ่นกรองใช้ซ้ำในการปรับปรุงคุณภาพอากาศ

วิศวิทย์ ราชณรงค์* สรรพสิทธิ์ ทองมี และ ศวิสกร ไชยสุนทร
สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 8516 4533 อีเมล: vissavavit@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2025.03.004

รับเมื่อ 30 กันยายน 2567 แก้ไขเมื่อ 20 ธันวาคม 2567 ตอบรับเมื่อ 28 มกราคม 2568 เผยแพร่ออนไลน์ 12 มีนาคม 2568

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาปริมาณ PM2.5 PM10 และปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (TVOC) ที่ถูกขจัดโดยเครื่องฟอกอากาศราคาประหยัดที่ประดิษฐ์ขึ้น (LCAP) ซึ่งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรองและอัตราการส่งอากาศบริสุทธิ์ (CADR) จากแผ่นกรองปกติและแผ่นกรองที่นำกลับมาใช้ใหม่ของ LCAP กับเครื่องฟอกอากาศที่นิยมใช้งาน 2 แบบ (AP_1 และ AP_2) ในห้องทดสอบขนาด 126 ลบ.ม. ผลการทดสอบของ LCAP ที่ใช้แผ่นกรองแบบ Anti-bacteria ปกติ (LCAP_B) พบว่า สามารถขจัด PM2.5 และ PM10 ได้ใกล้เคียงกับ AP_2 แต่แผ่นกรองแบบ Formaldehyde (LCAP_F) นั้นสามารถขจัด TVOC ได้ดีกว่า AP_2 โดย LCAP_B สามารถขจัด PM2.5 และ PM10 จากระดับคุณภาพอากาศที่เป็นอันตราย (ประมาณ 700 ไมโครกรัม/ลบ.ม.) ให้อยู่ในระดับที่ดีมากได้ในระยะเวลา 82 และ 62 นาที ตามลำดับ สำหรับการนำแผ่นกรองกลับมาใช้ใหม่ของเครื่องฟอกอากาศราคาประหยัดสามารถขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC ได้ดีกว่า AP_2 พบว่าแผ่นกรองที่ทำความสะอาดด้วยเครื่องดูดฝุ่นและเครื่องเป่าลม (LCAP_BCV) สามารถขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC ได้ดีกว่าแผ่นกรองที่สักรอก (LCAP_BD) เพียงเล็กน้อยประมาณ 0.38% 0.34% และ 1.79% ตามลำดับ แผ่นกรองที่ทำความสะอาดด้วยผงซักฟอก (LCAP_BCD) สามารถขจัด TVOC ได้ดีกว่า LCAP_BD และ LCAP_B ประมาณ 26.44% และ 21.01% ตามลำดับ แต่ LCAP_BCD สามารถขจัด PM2.5 และ PM10 ได้ต่ำกว่า LCAP_BD ประมาณ 5.96% และ 5.73% ตามลำดับ และการทำงานร่วมกันของ LCAP สามเครื่อง (LCAP_T) สามารถขจัด PM2.5 และ PM10 ให้อยู่ในระดับคุณภาพอากาศที่ดีมากได้ในระยะเวลา 36 และ 28 นาที ตามลำดับ ข้อดีของ LCAP ที่ดีกว่า AP_1 และ AP_2 คือ มีแบตเตอรี่ภายในตัวและทำงานร่วมกันแบบ Master-Slave โดย LCAP-Slave นั้นไม่จำเป็นต้องมีเซ็นเซอร์ตรวจจับมลพิษ

คำสำคัญ: แผ่นกรองอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่ การลดระดับ PM2.5 PM10 และกลิ่นต่าง ๆ ที่ไม่พึงประสงค์ภายในห้องเครื่องฟอกอากาศราคาประหยัด

การอ้างอิงบทความ: วิศวิทย์ ราชณรงค์, สรรพสิทธิ์ ทองมี และ ศวิสกร ไชยสุนทร, “การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศราคาประหยัดที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และแผ่นกรองใช้ซ้ำในการปรับปรุงคุณภาพอากาศ,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 35, ฉบับที่ 4, หน้า 1-14, เลขที่บทความ 254-037726, ต.ค.-ธ.ค. 2568.



A Study on the Efficiency of a Low-Cost Air Purifier Using a Microcontroller and Reusable Filters for Air Quality Improvement

Vissavavit Rachnarong*, Sappasit Thongmee and Sawatsakorn Chaiyasoonthorn

Department of Electronics Technology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 8516 4533, E-mail: vissavavit@gmail.com

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2025.03.004

Received 30 September 2024; Revised 20 December 2024; Accepted 28 January 2025; Published online: 12 March 2025

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This study investigates the removal efficiency of PM_{2.5}, PM₁₀ and Total Volatile Organic Compounds (TVOC) using a Low-cost Air Purifier (LCAP). The filtration efficiency and Clean Air Delivery Rate (CADR) of both standard and reusable filters in the LCAP were compared with those of two popular air purifier models (AP_1 and AP_2) in a 126 m³ test chamber. The test results indicate that the LCAP equipped with a standard antibacterial filter (LCAP_B) removes PM_{2.5} and PM₁₀ at a level comparable to AP_2, while the LCAP equipped with a formaldehyde filter (LCAP_F) exhibits superior TVOC removal efficiency compared to AP_2. Specifically, LCAP_B reduces PM_{2.5} and PM₁₀ from hazardous levels (approximately 700 µg/m³) to an excellent air quality level within 82 and 62 minutes, respectively. For reusable filters, the results show that LCAP outperforms AP_2 in removing PM_{2.5}, PM₁₀, and TVOC. The filter cleaned with a vacuum cleaner and blower (LCAP_BCV) demonstrates a slight improvement in removal efficiency over the dirty filter (LCAP_BD), with increases of approximately 0.38%, 0.34%, and 1.79% for PM_{2.5}, PM₁₀, and TVOC, respectively. The filter cleaned with detergent (LCAP_BCD) improves TVOC removal by approximately 26.44% and 21.01% compared to LCAP_BD and LCAP_B, respectively. However, LCAP_BCD is less effective in removing PM_{2.5} and PM₁₀ than LCAP_BD, with reductions of approximately 5.96% and 5.73%, respectively. Furthermore, the combined operation of three LCAP units (LCAP_T) achieves excellent air quality levels, reducing PM_{2.5} and PM₁₀ within 36 and 28 minutes, respectively. The advantages of LCAP over AP_1 and AP_2 include an internal battery and a Master-Slave operation, where LCAP-Slave units do not require pollution sensors.

Keywords: Reusable Filters, Reducing Indoor Level of PM_{2.5}, PM₁₀ and TVOC, Low-cost Air Purifier

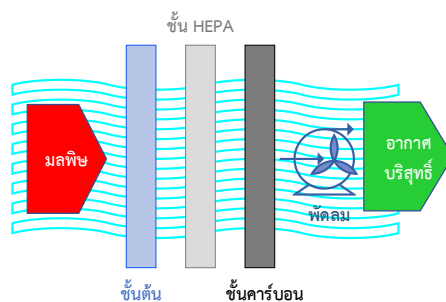
Please cite this article as: V. Rachnarong, S. Thongmee, and S. Chaiyasoonthorn, "A study on the efficiency of a low-cost air purifier using a microcontroller and reusable filters for air quality improvement," *The Journal of KMUTNB*, vol. 35, no. 4, pp. 1–14, ID. 254-037726, Oct.-Dec. 2025 (in Thai).

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 ในประเทศไทยนับวันจะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นและเกิดขึ้นมากในช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน ของทุกปี [1] สิ่งที่จะช่วยป้องกันฝุ่นละอองเหล่านี้และรวมไปถึงกลิ่นต่าง ๆ ที่ไม่พึงประสงค์ (TVOC) ในที่พักอาศัย คือ เครื่องฟอกอากาศ ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อทุกคนที่อาศัยอยู่โดยไม่ได้อีก [2] เครื่องฟอกอากาศในปัจจุบันมีหลากหลายยี่ห้อให้เลือกใช้งาน ที่ราคาแตกต่างกันไปตามประสิทธิภาพและฟังก์ชันการใช้งาน และอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญ คือ แผ่นกรองอากาศซึ่งมีให้เลือกใช้อยู่หลายชนิดตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน เช่น แบบ HEPA ที่ใช้กันทั่วไปซึ่งสามารถดักจับอนุภาคขนาดเล็ก 0.3 ไมครอนได้ แบบ Anti-bacteria ซึ่งเป็นแผ่นกรองแบบ HEPA Carbon ที่เพิ่มชั้นด้านเชื้อแบคทีเรียที่ชั้นต้น แบบ Formaldehyde ที่เพิ่มชั้นฟอกสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่ชั้นต้น และแบบ Hospital Grade เป็นกรองแบบ HEPA กรด H13 การทำงานของการฟอกอากาศแสดงดังรูปที่ 1

แผ่นกรองเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างมากและเป็นขยะเหลือใช้จากการใช้งาน บทความนี้จะได้สังเกตเห็นความสำคัญในการศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นกรองที่นำกลับมาใช้งานใหม่ โดยการนำแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานมาอย่างยาวนานแล้วมาทำความสะอาดจากการดูดฝุ่น เป่าลม และทำความสะอาดด้วยผงซักฟอกซึ่งช่วยขจัดสิ่งสกปรก ลดเชื้อโรค และเชื้อแบคทีเรียได้ดี [3]

วัตถุประสงค์ของบทความนี้ คือ การออกแบบเครื่องฟอกอากาศราคาประหยัด (Low-Cost Air Purifier; LCAP) ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากบทความที่ได้ทำการศึกษา



รูปที่ 1 พื้นฐานของการฟอกอากาศ

[4]-[6] นำมาพัฒนาให้สะดวกต่อการใช้งานและมีเสถียรภาพยิ่งขึ้น เช่น เชื่อมต่ออุปกรณ์ให้แน่นหนา ทนต่อการสั่นสะเทือน ง่ายในการเคลื่อนย้าย บำรุงรักษาได้ง่าย ทำงานได้โดยใช้แบตเตอรี่ บันทึกค่าได้ต่อเนื่อง สามารถทำงานในโหมดอัตโนมัติกลางคืนหรือกลางวัน ปรับแต่งโปรแกรมหรืออุปกรณ์เพิ่มเติมได้ และทำงานร่วมกันได้แบบ Master-Slave โดย Slave นั้นไม่จำเป็นต้องมีเซ็นเซอร์ตรวจจับ PM2.5 PM10 และ TVOC ซึ่งทำให้ประหยัดงบประมาณได้เมื่อต้องใช้เครื่องกรองอากาศสำหรับพื้นที่เดียวกันที่มีขนาดใหญ่ โดย LCAP นั้นประดิษฐ์ขึ้นจากชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง และสามารถทำงานร่วมกันตามการออกแบบได้ซึ่งเหมาะกับการศึกษาพัฒนาต่อยอดสำหรับการประเมินประสิทธิภาพเครื่องฟอกอากาศ [7], [8] ได้นำ LCAP มาเปรียบเทียบกับเครื่องที่นิยมใช้งาน (AP) ซึ่งบทความนี้ได้นำมาทดสอบ 3 แบบ คือ AP_1 [9], AP_2 [10] และ พัดลม DIY_AP ข้อมูลจำเพาะของ AP แต่ละแบบถูกแสดงดังตารางที่ 1 และทดสอบแผ่นกรองอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่ ในห้องทดสอบ

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องฟอกอากาศ

เครื่องฟอก	ขนาด ก×ข×ส (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	รูปทรงแผ่นกรอง	แรงลม (ระดับ)	โอโซน	ระบบตรวจจับ	วัสดุแผ่นกรอง	จอแสดงผล
AP_1	12.8×38.5×38	3.4	สี่เหลี่ยม	3	มี	ไม่มี	HEPA Carbon	ไม่มี
AP_2	24×24×52	4.8	กระบอก	3	ไม่มี	PM2.5	HEPA Carbon	มี
DIY_AP	$\pi \times (10)^2 \times 29.4$	1.1	กระบอก	ปรับมือ	ไม่มี	ไม่มี	HEPA Carbon	ไม่มี
LCAP	21.9×21.9×40.4	3.3	กระบอก	5	มี	PM/TVOC/CO ₂	HEPA Carbon	มี

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

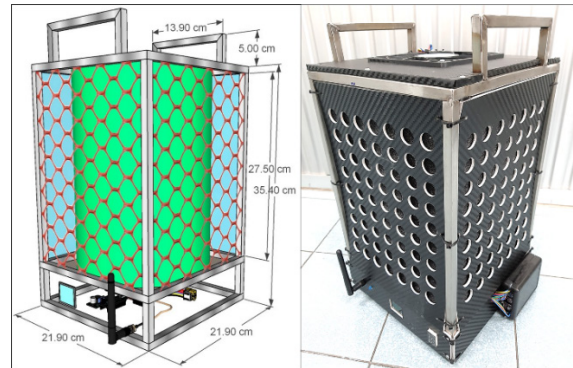
2.1 วัสดุ อุปกรณ์และหลักการทำงานของ LCAP

เครื่องฟอกอากาศ LCAP มีรายละเอียดวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้ 1) ขนาด $21.9 \times 21.9 \times 40.4$ ซม. และน้ำหนัก 3.3 กก. โดย LCAP มีการกรอง 2 ชั้น คือ ชั้นนอก (ส่วนของฝา) เป็นแผ่นกรองชนิดคาร์บอน และชั้นในเป็นไส้กรองรูปทรงกระบอกชนิด HEPA และคาร์บอน แสดงดังรูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ LCAP ถูกแสดงดังรูปที่ 3 2) ควบคุมการทำงานโดยบอร์ด Arduino Mega 2560 ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์ PMS3003 SGP30 RTC MICS6814 และ BME280 ส่งข้อมูลไปยังโมดูล Micro SD Card Adapter จอ OLED และ LCAP Slave และควบคุมโมดูลขับพัดลมและ Relay เปิด-ปิด Ionizer สาเหตุที่ใช้ Arduino Mega 2560 เพราะมีพอร์ตอินพุตเอาต์พุต และพอร์ตการสื่อสาร 3) เซ็นเซอร์วัดฝุ่นละอองรุ่น PMS3003 [11] ที่ใช้หลักการการกระเจิงของแสงโดยมีเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิด วัดปริมาณออกมาเป็นหน่วยเป็นไมโครกรัม/ลบ.ม. 4) เซ็นเซอร์รุ่น SGP30 [12] ใช้วัดปริมาณ TVOC มีหน่วยเป็น *ppb* ซึ่งการแปลงเป็นหน่วย มิลลิกรัม/ลบ.ม. [13] สามารถหาได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

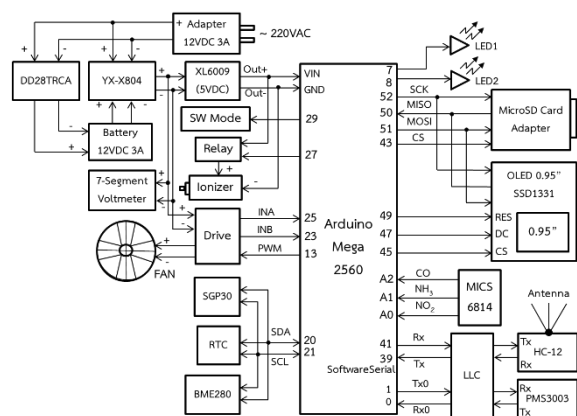
$$\left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}\right) = \frac{MW}{24.45} \times (\text{ppm}) = \frac{MW \times 10^3}{24.45} \times (\text{ppb}) \quad (1)$$

เมื่อ *MW* คือ น้ำหนักโมเลกุล มีหน่วยเป็น กรัม/โมล

5) โมดูล Real Time Clock (RTC) สำหรับนับวันและเวลาที่ใช้ไอซีเบอร์ DS3231 6) เซ็นเซอร์รุ่น MICS6814 สำหรับวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) และแอมโมเนีย (NH₃) ทั้งหมดมีหน่วยเป็น *ppm* 7) เซ็นเซอร์ BME280 สำหรับวัดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ความชื้น (%RH) และความดัน (hPa) 8) โมดูล Micro SD Card Adapter ทำหน้าที่รับข้อมูล วัน-เวลา อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณฝุ่นละออง และก๊าซต่าง ๆ มาบันทึกลงใน Micro SD Card 9) จอ OLED ขนาด 0.95 นิ้ว ใช้

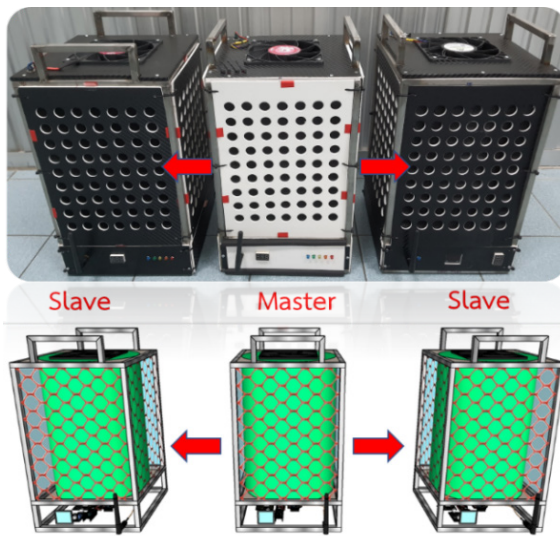


รูปที่ 2 เครื่องฟอกอากาศต้นแบบ LCAP



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ LCAP

IC:SSD-1331 ความละเอียด 96×64 pixel ทำหน้าที่รับข้อมูลมาแสดงผล วัน-เวลา อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณฝุ่นละออง และก๊าซ 10) SW Mode สำหรับปรับโหมดการทำงาน กลางวัน หรือกลางคืน เพื่อควบคุมการทำงานของโมดูลขับพัดลมแบบอัตโนมัติ แสดงสถานะโหมดโดย LED2 11) Motor Drive ใช้ IC VNH2SP30 สามารถรองรับ V_{max} 41 โวลต์ I_{max} 30 แอมแปร์ นำไปขับพัดลม Brushless 12 โวลต์ 2.7 แอมแปร์ ที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที 12) Ionizer ตัวกำเนิดไอออนลบ ความหนาแน่น 3 โมลที่ 10 ซม. ใช้แรงดัน 5 โวลต์ ใช้งานเพื่อควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายของจุลชีพ [14] 13) โมดูล Relay 1 Ch. ใช้สำหรับ เปิด-ปิด Ionizer 14) โมดูลปรับระดับแรงดัน (LLC) จาก 3.3 โวลต์ เป็น 5 โวลต์ และในทางตรงกันข้าม เพื่อรับส่ง

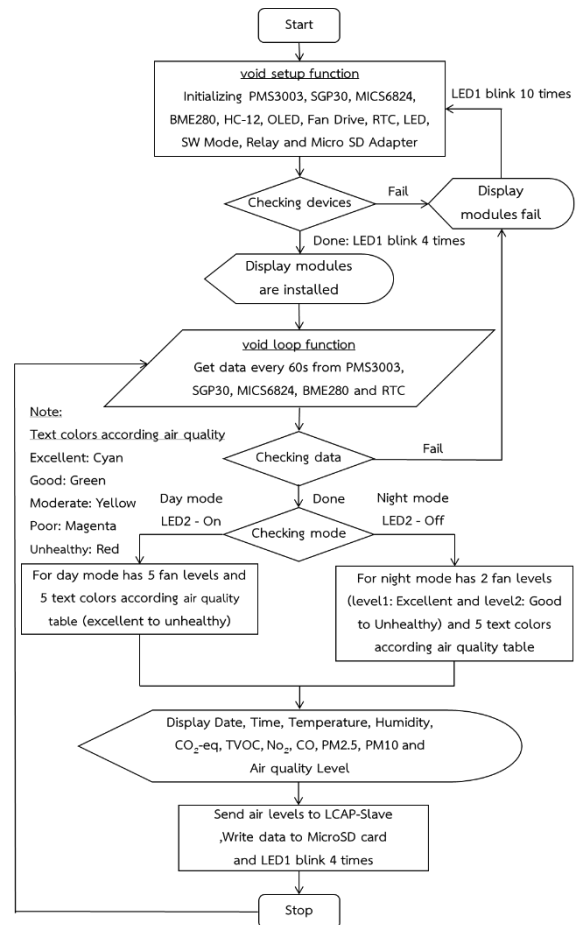


รูปที่ 4 การสื่อสารแบบ Master – Slave ของ LCAP

ข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ PMS3003 และ HC-12 15) LCAP สามารถสื่อสารแบบ Master - Slave ได้ผ่านโมดูล HC-12 ที่สื่อสารไร้สายแบบอนุกรม ย่านความถี่ 433 เมกะเฮิรตซ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการฟอกอากาศ ดังรูปที่ 4 16) โมดูล XL6009 ปรับเปลี่ยนระดับแรงดันขึ้นและลง จาก 3–32 โวลต์ เป็น 5–35 โวลต์ ที่ I_{max} 3 แอมแปร์ 17) โมดูล YX-X804 ทำหน้าที่สวิตช์แรงดันเพื่อป้องกันอุปกรณ์กรณีไฟดับไม่ให้เกิดความเสียหายและทำงานได้ต่อเนื่อง รองรับแรงดัน 12–48 โวลต์ 18) โมดูล DD28CRTA ทำหน้าที่ชาร์จไฟให้กับแบตเตอรี่ กรณีที่แบตเตอรี่มีแรงดันต่ำ 19) AC/DC Adapter แรงดัน 12 โวลต์ และกระแส 3 แอมแปร์ 20) โมดูล 7-Segment Voltmeter ทำหน้าที่แสดงระดับแรงดันที่เข้ามาในวงจร รองรับแรงดัน 2.5–32 โวลต์ และ 21) หลอด LED1 แสดงสถานะการทำงานของ LCAP และ LED2 แสดงโหมดอัตโนมัติแบบกลางวันหรือกลางคืน

ผังงานการทำงานของโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ของ LCAP ที่ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่อพ่วง แสดงดังรูปที่ 5 โดยผังงานถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

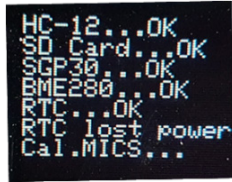
ส่วนที่ 1 ฟังก์ชัน Void Setup การทำงานเริ่มต้นที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่อพ่วง PMS3003, SGP30, MICS6824, BME280, HC-12, OLED,



รูปที่ 5 ผังงานโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

Fan Drive, RTC, LED, SW Mode, Relay และ Micro SD Adapter ตามการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 3 และตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ ให้เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์สมบูรณ์หรือไม่ ด้วยระบบตรวจสอบหากไม่สมบูรณ์โปรแกรมจะแสดงสถานะของอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ทำงานผิดพลาดทางจอ OLED และ LED1 กระพริบ 10 ครั้ง ทำให้สามารถกลับไปตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อใหม่ได้ ซึ่งหากเชื่อมต่อสมบูรณ์โปรแกรมจะแสดงสถานะทางจอ OLED ว่าอุปกรณ์ตามที่กล่าวมาถูกติดตั้งเหมาะสม แสดงดังรูปที่ 6 (ก) และ LED1 กระพริบ 4 ครั้ง

ส่วนที่ 2 ฟังก์ชัน Void Loop ไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลจากอุปกรณ์ต่อพ่วง PMS3003, SGP30, MICS6824,



(ก)



(ข)

รูปที่ 6 จอแสดงผล OLED (ก) แสดงสถานการณ์เชื่อมต่อและ (ข) ค่าต่าง ๆ ที่วัดได้

BME280 และ RTC ทุก ๆ 60 วินาที ซึ่งเซ็นเซอร์วัดฝุ่นจะทำงานได้แม่นยำในช่วงนี้ [15] ถ้าข้อมูลที่ได้รับมาหรืออุปกรณ์ต่อพ่วงผิดพลาด โปรแกรมจะแสดงสถานะของอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ทำงานผิดพลาดทางจอ OLED และแสดงสถานะ LED1 กระพริบ 10 ครั้ง และกลับไปตรวจสอบการเชื่อมต่อใหม่อีกครั้ง ถ้ารับข้อมูลถูกต้องไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบโหมดการทำงาน ซึ่งมีอยู่ 2 โหมด คือ โหมดกลางวัน (LED2-On) และโหมดกลางคืน (LED2-Off) โดยความแตกต่างระหว่าง 2 โหมดนี้ คือ การควบคุมโมดูลขับพัดลม โหมดกลางวันโมดูลขับพัดลมจะทำงาน 5 ระดับที่ความเร็วรอบของพัดลม 15% 30% 65% 85% และ 100% ตามระดับคุณภาพอากาศที่วัดได้ในตารางที่ 2 และโหมดกลางคืนทำงาน 2 ระดับ ที่ความเร็ว 15% (ระดับดีมาก) และ 30% (ระดับดี) ถึง มีผลกระทบ ตามระดับคุณภาพอากาศ) และแสดงข้อมูลความชื้น อุณหภูมิ CO₂-eq, TVOC, CO, PM_{2.5}, PM₁₀ และระดับผลกระทบตามโหนดบอกระดับคุณภาพอากาศที่วัดได้ทางจอ OLED แสดงดังรูปที่ 6 (ข) จากนั้น LCAP-Master ส่งข้อมูลระดับคุณภาพอากาศให้ LCAP-Slave แล้วบันทึกค่าข้อมูลที่ได้ใน Micro SD Card และแสดงสถานะ LED1 กระพริบ 4 ครั้ง เมื่อการบันทึกข้อมูลเสร็จสิ้น

2. วิธีทดสอบอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องฟอกอากาศ

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LCAP, AP₁, AP₂, AP₃ และ DIY_AP ในห้องทดสอบของบทความนี้ ใช้การคำนวณประสิทธิภาพในการกรอง (Filtration Efficiency; E_F)

และการซาบซึม (Permeability; P) หรือการซอน (Penetration) [16] ของปริมาณ PM_{2.5} PM₁₀ และ TVOC หาได้จากสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$E_F = (1 - P) \times 100\% \quad (2)$$

$$P = C_{out}/C_{in} \quad (3)$$

เมื่อ C_{in} และ C_{out} คือ ปริมาณ PM_{2.5} PM₁₀ และ TVOC ก่อนผ่านการกรอง และหลังผ่านการกรองตามลำดับ

ค่าคงที่การตกตะกอน (Decay Constant) [17] สามารถหาได้จากสมการที่ (4) ดังนี้

$$C_{t_i} = C_{t_0} e^{-k t_i} \text{ particles/m}^3 \quad (4)$$

เมื่อ C_{t_i} C_{t_0} และ C_{t_i} คือ ปริมาณ PM_{2.5} PM₁₀ และ TVOC ณ เวลาเริ่มต้น และในช่วงเวลา t_i ตามลำดับ t_i คือ เวลา ณ ลำดับที่ i มีหน่วยเป็น min และ k คือ ค่าคงที่การตกตะกอนมีหน่วยเป็น min^{-1}

อัตราการส่งอากาศบริสุทธิ์ (Clean Air Delivery Rate; CADR) [17] ของเครื่องฟอกอากาศ ในการกรองปริมาณ PM_{2.5} PM₁₀ และ TVOC หาได้จากสมการที่ (5) ดังนี้

$$CADR = V(k_i - k_n) \text{ m}^3/\text{min} \quad (5)$$

เมื่อ V คือ ขนาดของห้องมีหน่วยเป็น m^3 , k_i คือ ค่าคงที่การตกตะกอน เมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศ และ k_n คือ ค่าคงที่การตกตะกอนตามธรรมชาติ (ไม่มีเครื่องกรอง)

2.2.2 ดัชนีคุณภาพอากาศ

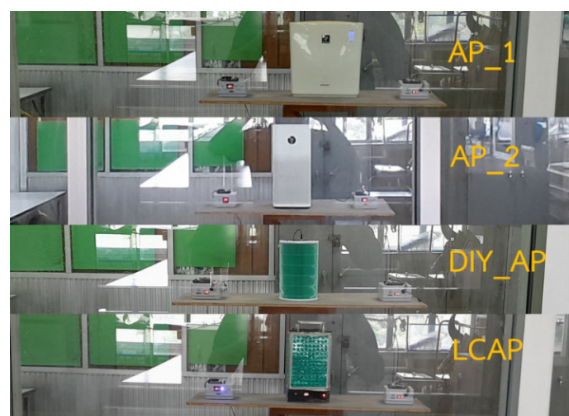
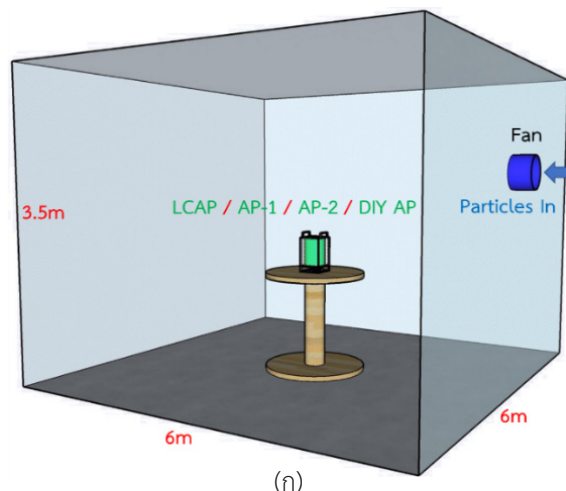
ระดับของดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index; AQI) ถูกแบ่งตามผลกระทบต่อสุขภาพออกเป็น 5 ระดับ โดยปริมาณ PM_{2.5} และ PM₁₀ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง [18] และ TVOC คิดเป็นค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง [19] แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับ AQI ของ PM2.5 PM10 และ TVOC

คุณภาพอากาศ	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ดีมาก	0-25	0-50	< 0.3
ดี	26-37	51-80	0.3-0.9
ปานกลาง	38-50	81-120	1.0-2.9
เริ่มมีผลกระทบ	51-90	121-180	3.0-9.9
มีผลกระทบ	≥ 91	≥ 181	≥ 10.0

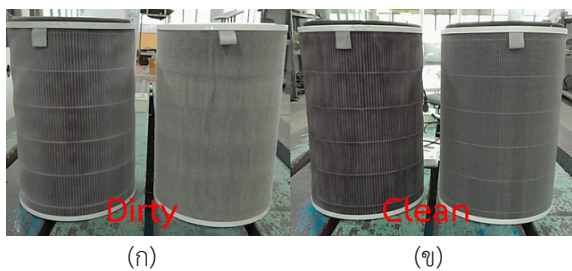
2.2.3 วิธีการดำเนินงาน

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองอากาศ LCAP และ AP แบบต่าง ๆ ในการขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC ในบทความนี้ได้ทำการทดสอบวัดผลในห้องทดสอบ ขนาด 126 ลบ.ม. (6×6×3.5 ม.) ที่มีสภาพแวดล้อมเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 7 โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้ 1) นำเครื่องกรองอากาศ LCAP, DIY_AP, AP_1 และ AP_2 วางไว้บริเวณกลางห้องที่ความสูง 1 เมตร 2) จัดเตรียมวัตถุที่ก่อให้เกิด PM2.5 PM10 และ TVOC ในการทดสอบแต่ละครั้งด้วยการใช้ธูปจำนวน 30 ดอกเป็นแหล่งกำเนิด 3) เปิดพัดลมดูดอากาศจากการจุ่มธูป เข้าไปในห้องทดสอบ (ปริมาณ PM2.5 PM10 และ TVOC อยู่ในระดับมีผลกระทบโดยสังเกตจากเครื่องวัดมลพิษ [13]) จนธูปดับ และปิดพัดลมดูดอากาศ 4) เปิดเครื่องกรองอากาศที่ใช้ทดสอบระยะเวลา 3 ชั่วโมง โหมดความเร็วของพัดลมสูงสุด โดยใช้แผ่นกรองและเครื่องวัดมลพิษเดียวกัน [13] ในแต่ละการทดลองย่อย และทำความสะอาดห้องทดสอบ เครื่องกรองและเครื่องวัดทุกครั้ง ที่ทดสอบ 5) บันทึกผลการทดสอบจากการสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 60 วินาที ซึ่งเซ็นเซอร์วัดฝุ่นทำงานได้แม่นยำในช่วงนี้ [15] และ 6) เปรียบเทียบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LCAP และ AP จาก 3 รูปแบบการทดลองดังนี้ 6.1) รูปแบบแผ่นกรองอากาศแบบปกติที่เป็นแผ่นกรองใหม่ไม่เคยผ่านการใช้งาน มี 3 แบบ คือ HEPA Carbon สีเทาอ่อน Anti-bacteria สีม่วง และ Formaldehyde สีเขียว (ดูได้จากสีของแผ่นกรองชั้นต้น) 6.2) แผ่นกรองอากาศที่สกปรกที่เกิดจากการใช้งานมายาวนาน และที่ทำความสะอาดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่มี 2 แบบ



รูปที่ 7 ลักษณะของห้องทดสอบการขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC (ก) แบบจำลอง และ (ข) ห้องจริง

คือ แบบ Anti-bacteria และ Hospital Grade สีเทาเข้ม ดังรูปที่ 8 โดยแผ่นกรองที่นำกลับมาใช้ใหม่มีวิธีทำความสะอาด 2 วิธี คือ ทำความสะอาดด้วยเครื่องดูดฝุ่นและเครื่องเป่าลม โดยทำความสะอาดจนไม่มีฝุ่นจับที่ไส้กรอง และทำความสะอาดด้วยผงซักฟอกโดยมีขั้นตอนดังนี้ นำกรองอากาศที่สกปรกแช่ในน้ำอุ่นที่ผสมกับผงซักฟอก 1 ช้อนตวง 15 นาที จากนั้นแช่ในน้ำอุ่นอีก 15 นาที นำผ้าขนหนูมาห่อทั้งด้านในและนอกทิ้งไว้จนหมาด แล้วตากแผ่นกรองไว้ในที่ร่มจนแห้ง (ใช้เวลา 1 วัน) 6.3) การทำงานร่วมกันของ LCAP เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกรอง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 8 ลักษณะแผ่นกรองอากาศ (ก) ที่สกปรก และ (ข) ที่ถูกทำความสะอาดแล้วด้วยผงซักฟอก

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดสอบเครื่องกรอง LCAP และ AP แบบต่าง ๆ นั้น จะทำการทดสอบหาประสิทธิภาพในการกรอง (E_F) และ อัตราการส่งอากาศบริสุทธิ์ ($CADR$) ที่ได้จากการวัดปริมาณ PM_{2.5} PM₁₀ และ TVOC ที่ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง ช่วงเวลาการสูดตัวอย่างทุก ๆ 60 วินาที ที่การทำงานของพัดลมในโหมดความเร็วสูงสุดในห้องทดสอบขนาด 126 ลบ.ม. ที่อุณหภูมิและความชื้นเฉลี่ย 34.70 องศาเซลเซียส และ 66.80%RH ตามลำดับ โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 รูปแบบ ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.4 ได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

3.1 การขจัดโดยใช้แผ่นกรองแบบปกติ

การทดสอบแผ่นกรองแบบปกติสำหรับ AP₁ ใช้แผ่นกรองแบบ HEPA Carbon ส่วน LCAP, AP₂ และ DIY_AP ใช้แผ่นกรองแบบ Anti-bacteria (_B) และ Formaldehyde (_F) ผลการทดสอบ E_F และ $CADR$ จากการวัดปริมาณ PM_{2.5} PM₁₀ และ TVOC แสดงดังรูปที่ 9 (ก)-(ข) และ ตารางที่ 3 สำหรับเครื่องกรอง LCAP_B มีค่า $E_F = 89.34\%$, $CADR = 279.36$ ลบ.ม./ชม. และ $E_F = 89.42\%$, $CADR = 278.40$ ลบ.ม./ชม. ของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ตามลำดับ ที่ใช้เวลาในการขจัด 1 ชม. และจากผลการทดสอบ LCAP_B ใช้เวลาในการขจัดฝุ่นละอองจากระดับคุณภาพอากาศที่เป็นอันตราย (ประมาณ 700 ไมโครกรัม/ลบ.ม.) ให้ลดลงมาถึงระดับดีมากสำหรับ PM_{2.5} (24 ไมโครกรัม/ลบ.ม.) คือ 82 นาที และสำหรับ PM₁₀ (49 ไมโครกรัม/ลบ.ม.) คือ 62 นาที แสดงดังรูปที่ 9 (ข) และ (ข) ตามลำดับ สำหรับเครื่อง

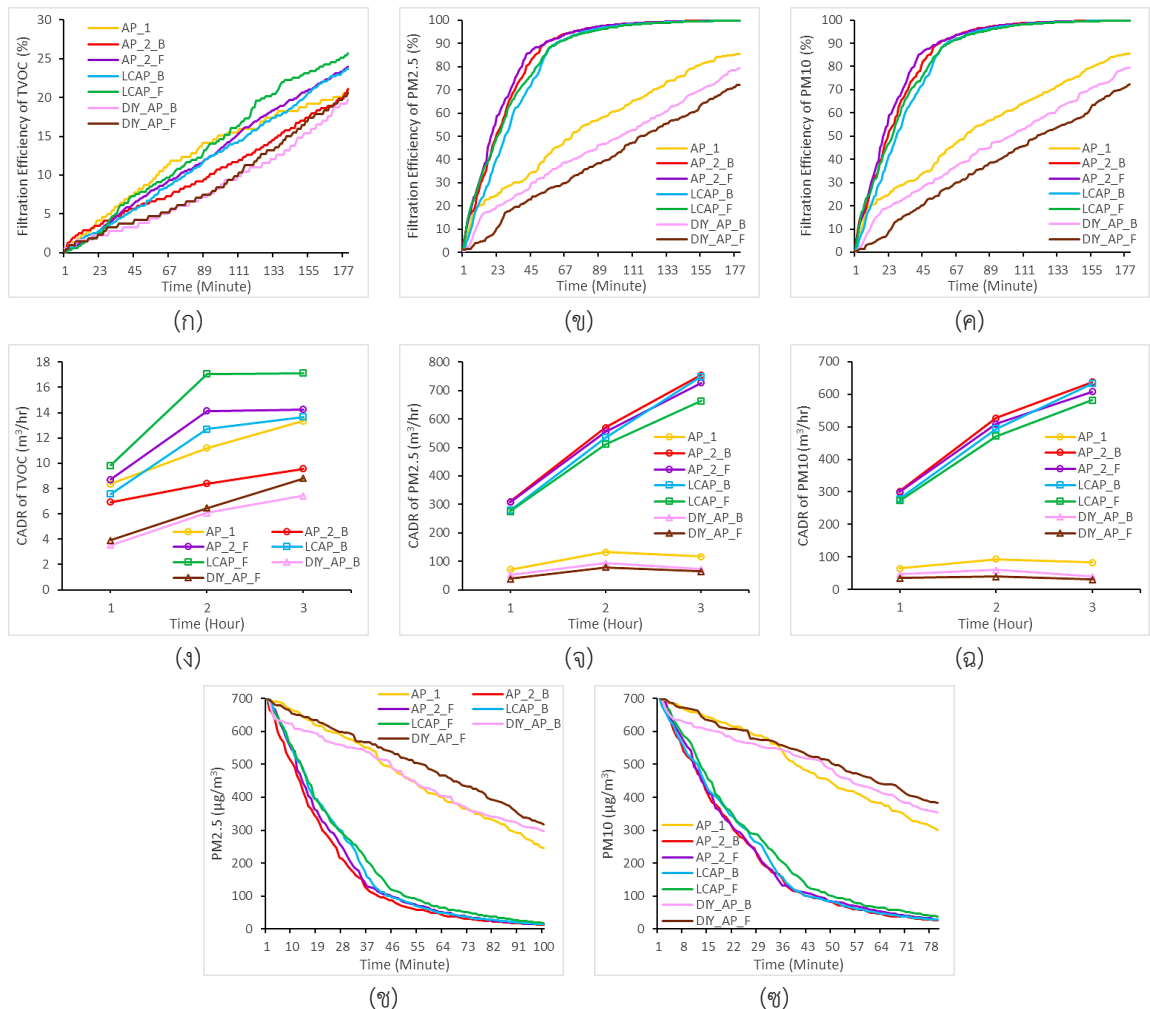
LCAP_F มีค่า $E_F = 25.73\%$ และ $CADR = 17.13$ ลบ.ม./ชม. ของ TVOC ที่ใช้เวลาในการขจัด 3 ชม.

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบแผ่นกรองแบบปกติ

เครื่องวัด	3 ชั่วโมง		1 ชั่วโมง			
	TVOC		PM _{2.5}		PM ₁₀	
	E_F	$CADR$	E_F	$CADR$	E_F	$CADR$
	(%)	(m ³ /h)	(%)	(m ³ /h)	(%)	(m ³ /h)
AP_1	21.00	13.34	44.15	70.63	42.55	65.21
AP_2_B	21.14	9.57	91.62	309.65	91.23	302.05
DIY_AP_B	19.78	7.42	35.75	52.99	33.61	46.98
LCAP_B	23.67	13.68	89.34	279.36	89.42	278.40
AP_2_F	24.02	14.25	91.52	308.08	91.06	299.64
DIY_AP_F	20.66	8.81	27.88	38.43	27.28	35.51
LCAP_F	25.73	17.13	89.03	275.65	89.01	273.62

เมื่อนำ LCAP มาเปรียบเทียบกับ AP แบบต่าง ๆ พบว่า LCAP สามารถขจัด PM_{2.5} และ PM₁₀ ได้ดีกว่า AP₁ และ DIY_AP แต่น้อยกว่า AP₂ ประมาณ 2.28% และ 1.81% ตามลำดับ (AP₂ ใช้เวลาในการขจัดฝุ่นละอองจากระดับคุณภาพอากาศที่เป็นอันตรายให้ลดลงมาถึงระดับดีมากสำหรับ PM_{2.5} คือ 81 นาที และ PM₁₀ คือ 61 นาที ซึ่งมีการขจัดต่างจาก LCAP เพียง 1 นาที) เนื่องจากพัดลมดูดอากาศของ AP₂ ครอบคลุมช่องของแผ่นกรองอากาศได้ทั่วถึงกว่าพัดลมดูดอากาศของ LCAP โดยเส้นผ่านศูนย์กลางช่องดูดอากาศของ AP₂ และ LCAP ยาว 14.5 ซม. และ 12 ซม. ตามลำดับ และพบว่า LCAP สามารถขจัด TVOC ได้ดีกว่า AP₁, DIY_AP และดีกว่า AP₂ ประมาณ 2.53% เนื่องจาก LCAP ได้ถูกออกแบบให้รอบฝาชั้นนอกมีแผ่นกรองคาร์บอนติดอยู่ทำให้สามารถขจัด TVOC ได้ดีกว่า AP₂ และ AP นั้นไม่มีเซ็นเซอร์ตรวจจับ TVOC ติดอยู่ เพราะอาจทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มมากขึ้น เมื่อ TVOC มีค่ามากแต่ PM มีค่าน้อย ในโหมดอัตโนมัติเครื่องกรองจะไม่ทำงาน

จากผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของแผ่นกรอง Anti-bacteria สามารถขจัด PM_{2.5} และ PM₁₀ ได้ดีกว่า



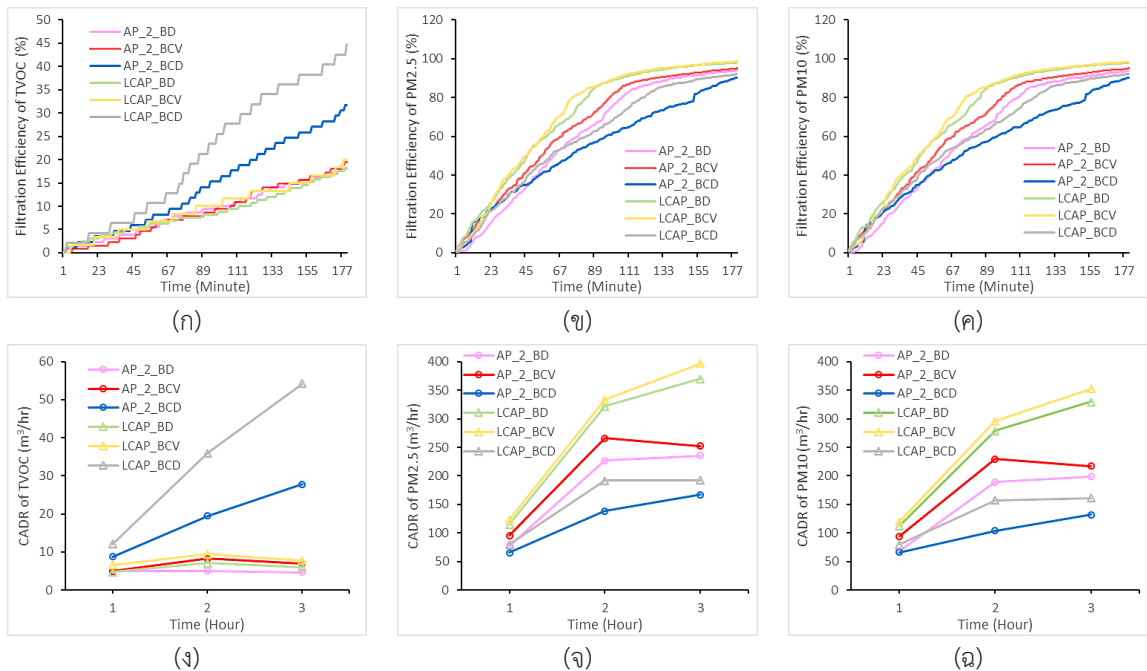
รูปที่ 9 ผลการขจัดของ LCAP และ AP แบบต่าง ๆ ระยะเวลา 3 ชม. ที่ใช้แผ่นกรองอากาศแบบปกติ (ก) E_F ของ TVOC (ข) E_F ของ PM2.5 (ค) E_F ของ PM10 (ง) $CADR$ ของ TVOC (จ) $CADR$ ของ PM2.5 และ (ฉ) $CADR$ ของ PM10 และระยะเวลาที่เครื่องกรองใช้ในการขจัด (ช) PM2.5 และ (ซ) PM10

แผ่นกรอง Formaldehyde แต่แผ่นกรอง Formaldehyde สามารถขจัด TVOC ได้ดีกว่าแผ่นกรอง Anti-bacteria

3.2 การขจัดโดยใช้แผ่นกรองแบบนำกลับมาใช้ใหม่

การทดสอบแผ่นกรองแบบนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับ LCAP และ AP_2 ใช้แผ่นกรองแบบ Anti-bacteria (_B) และ Hospital Grade (_H) โดยนำแผ่นกรองที่สกปรก (_BD และ _HD) มาทำความสะอาด 2 วิธี คือ ทำความสะอาด

ด้วยเครื่องดูดฝุ่นและเครื่องเป่าลม (_BCV และ _HCV) และทำความสะอาดด้วยผงซักฟอก (_BCD และ _HCD) ผลการทดสอบ E_F และ $CADR$ จากการวัดปริมาณ PM2.5 PM10 และ TVOC ที่ใช้เวลาในการขจัด 3 ชม. แสดงดังรูปที่ 10 และ 11 และตารางที่ 4 สำหรับเครื่องกรอง LCAP_BCV มีค่า $E_F = 98.44\%$, $CADR = 396.88$ ลบ.ม./ชม. และ $E_F = 98.30\%$, $CADR = 352.23$ ลบ.ม./ชม. ของ PM2.5 และ PM10 ตามลำดับ สำหรับเครื่องกรอง LCAP_HCD มี

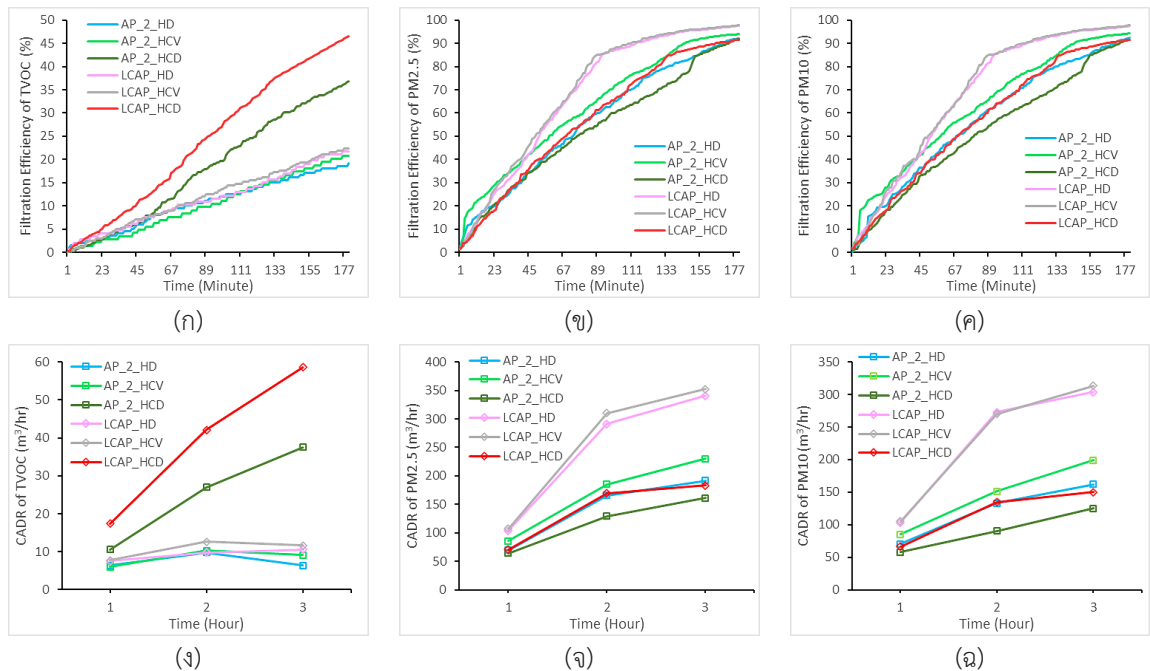


รูปที่ 10 ผลการขจัดของ LCAP และ AP_2 จากแผ่นกรองอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่แบบ Anti-bacteria (B) ระยะเวลาระยะเวลา 3 ชม. (ก) E_F ของ TVOC (ข) E_F ของ PM2.5 (ค) E_F ของ PM10 (ง) $CADR$ ของ TVOC (จ) $CADR$ ของ PM2.5 และ (ฉ) $CADR$ ของ PM10

ค่า $E_F = 46.55\%$ และ $CADR = 58.58$ ลบ.ม./ชม. ของ TVOC และจากผลการนำแผ่นกรองอากาศกลับมาใช้ใหม่ของ LCAP พบว่า LCAP_BCV และ LCAP_HCV สามารถขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC ได้ดีกว่า LCAP_BD และ LCAP_HD ประมาณ 0.30% 0.27% และ 1.22% ตามลำดับ จากผลการทดสอบเห็นได้ว่าทั้ง LCAP และ AP_2 ที่ใช้แผ่นกรองที่ทำความสะอาดด้วยเครื่องดูดฝุ่นและเครื่องเป่าลมไม่ได้ช่วยให้ประสิทธิภาพในการขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC นั้นดีขึ้นมากเท่าที่ควร ซึ่งพบว่า สามารถขจัดได้ดีกว่าแผ่นกรองแบบสกรปรกเพียงเล็กน้อย และ LCAP_BCD และ LCAP_HCD สามารถขจัด TVOC ได้ดีกว่า LCAP_BD และ LCAP_HD ประมาณ 26.44% และ 24.78% ตามลำดับ แต่ LCAP_BCD และ LCAP_HCD สามารถขจัด PM2.5 และ PM10 ได้ต่ำกว่า LCAP_BD และ LCAP_HD ประมาณ 6.02% และ 5.84% ตามลำดับ ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการนำกรอง PM ชนิดแผ่นติดไว้ที่ไส้กรองเพิ่มจะ

สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการขจัด PM2.5 และ PM10 ให้ดีขึ้นได้และยังช่วยให้สามารถยืดอายุการใช้งานของไส้กรองให้เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ในการทำความสะอาดแผ่นกรองด้วยผงซักฟอกนั้นเหมาะสมเป็นวิธีที่ใช้ทำความสะอาด เนื่องจากวิธีนี้ช่วยลดเชื้อโรค เชื้อแบคทีเรีย และสิ่งสกปรกที่ตกค้างต่างๆ ในแผ่นกรองออกได้ดี

เมื่อนำ LCAP เปรียบเทียบกับ AP_2 พบว่า LCAP_BCV สามารถขจัด PM2.5 และ PM10 ได้ดีกว่า AP_2_BCV ประมาณ 3.37% และ 3.28% ตามลำดับ และพบว่า LCAP_HCD สามารถขจัด TVOC ได้ดีกว่า AP_2_HCD ประมาณ 9.73% สาเหตุที่ LCAP นั้นสามารถขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC ได้ดีกว่า AP_2 เนื่องจากความเร็วของพัดลมดูดอากาศของ LCAP นั้นเร็วกว่า AP_2 จึงทำให้ LCAP สามารถดูดฝุ่นละอองที่เกาะติดอยู่ที่แผ่นกรองได้ดีกว่า AP_2 แต่มีข้อเสีย คือ เสียงพัดลมของ LCAP จะดังกว่า AP_2 และพบว่า แผ่นกรองแบบ Anti-bacteria สามารถขจัด PM2.5



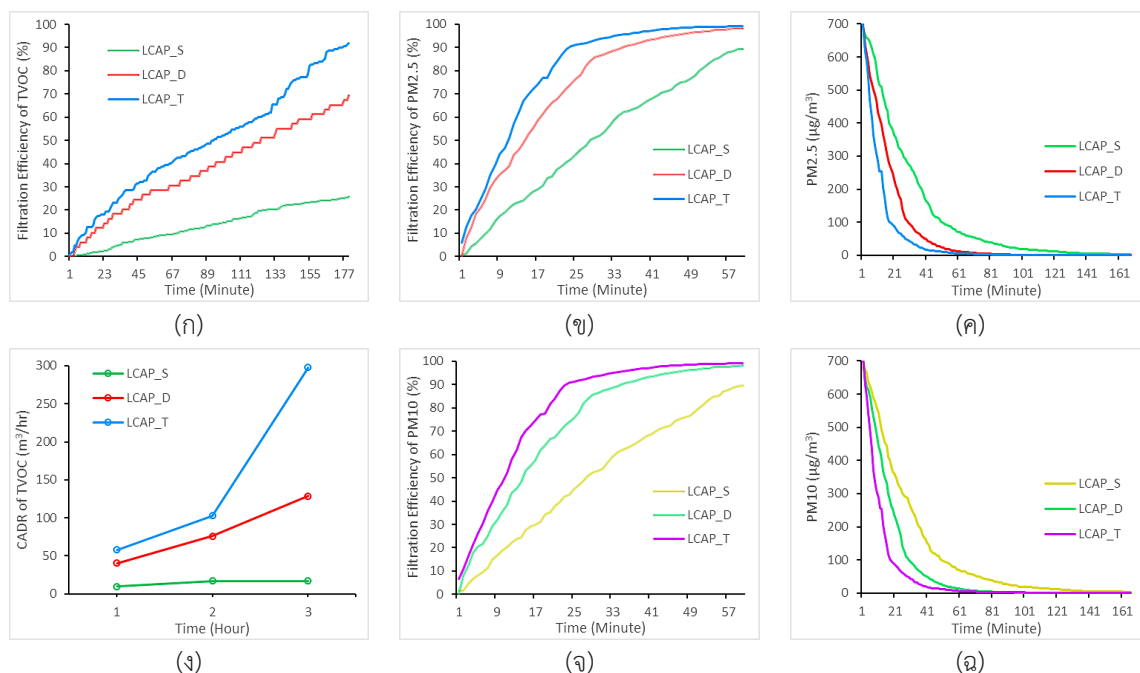
รูปที่ 11 ผลการจัดของ LCAP และ AP_2 จากแผ่นกรองอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่แบบ Hospital Grade (H) ระยะเวลา 3 ชม. (ก) E_F ของ TVOC (ข) E_F ของ PM2.5 (ค) E_F ของ PM10 (ง) CADR ของ TVOC (จ) CADR ของ PM2.5 และ (ฉ) CADR ของ PM10

และ PM10 ได้ดีกว่าแผ่นกรองแบบ Hospital Grade แต่แผ่นกรองแบบ Hospital Grade สามารถจัด TVOC ได้ดีกว่าแผ่นกรองแบบ Anti-bacteria

เมื่อนำ LCAP เปรียบเทียบกับ AP_2 พบว่า LCAP_BCV สามารถจัด PM2.5 และ PM10 ได้ดีกว่า AP_2_BCV ประมาณ 3.37% และ 3.28% ตามลำดับ และพบว่า LCAP_HCD สามารถจัด TVOC ได้ดีกว่า AP_2_HCD ประมาณ 9.73% สาเหตุที่ LCAP นั้นสามารถจัด PM2.5 PM10 และ TVOC ได้ดีกว่า AP_2 เนื่องจากความเร็วของพัดลมดูดอากาศของ LCAP นั้นเร็วกว่า AP_2 จึงทำให้ LCAP สามารถดูดฝุ่นละอองที่เกาะติดอยู่ที่แผ่นกรองได้ดีกว่า AP_2 แต่มีข้อเสีย คือ เสี่ยงพัดลมของ LCAP ดังว่า AP_2 พบว่าแผ่นกรองแบบ Anti-bacteria สามารถจัด PM2.5 และ PM10 ได้ดีกว่าแผ่นกรองแบบ Hospital Grade แต่แผ่นกรองแบบ Hospital Grade สามารถจัด TVOC ได้ดีกว่าแผ่นกรองแบบ Anti-bacteria

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบแผ่นกรองแบบนำกลับมาใช้ใหม่

เครื่องวัด	TVOC		PM2.5		PM10	
	E_F	CADR	E_F	CADR	E_F	CADR
	(%)	(m³/h)	(%)	(m³/h)	(%)	(m³/h)
AP_2_BD	17.97	4.61	93.97	235.45	93.80	199.00
AP_2_BCV	19.53	7.03	95.07	252.03	95.02	216.92
AP_2_BCD	31.76	27.81	90.30	166.84	90.23	132.08
LCAP_BD	18.24	6.05	98.06	369.71	97.96	329.41
LCAP_BCV	20.03	7.77	98.44	396.88	98.30	352.23
LCAP_BCD	44.68	54.25	92.10	192.67	92.23	160.93
AP_2_HD	19.10	6.35	92.03	191.62	92.31	162.22
AP_2_HCV	20.83	9.09	94.14	230.22	94.26	199.05
AP_2_HCD	36.82	37.51	89.86	161.23	89.66	124.89
LCAP_HD	21.77	10.58	97.56	340.77	97.49	303.55
LCAP_HCV	22.41	11.62	97.78	352.50	97.69	313.57
LCAP_HCD	46.55	58.58	91.49	183.27	91.52	149.93



รูปที่ 12 ผลการจัดจากการทำงานร่วมกันของ LCAP (ก) E_F และ (ข) $CADR$ ของ TVOC ระยะเวลา 3 ชม. (ค) E_F ของ PM2.5 และ (ง) E_F ของ PM10 ระยะเวลา 1 ชม. และระยะเวลาที่ใช้ในการขจัด (จ) PM2.5 และ (ฉ) PM10

3.3 การขจัดมลพิษจากการทำงานร่วมกันของ LCAP

การทดสอบการทำงานร่วมกันของ LCAP 1 เครื่อง (S), 2 เครื่อง (D) และ 3 เครื่อง (T) ผลการทดสอบ E_F และ $CADR$ จากการวัด PM2.5 PM10 และ TVOC แสดงดังรูปที่ 12 (ก)-(ง) และตารางที่ 5 และจากผลการขจัดของ LCAP_S, LCAP_D และ LCAP_T ใช้เวลาในการขจัดฝุ่นละอองจากระดับคุณภาพอากาศที่เป็นอันตรายให้ลดลงมาถึงระดับดีมากสำหรับ PM2.5 คือ 92 50 และ 36 นาที ตามลำดับ และสำหรับ PM10 คือ 72 41 และ 28 นาที ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 12 (จ) และ (ฉ) จากผลการทำงานร่วมกันของ LCAP จำนวน 3 เครื่อง พบว่า ยิ่งจำนวนของ LCAP เพิ่มขึ้นยิ่งสามารถช่วยให้ขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC นั้นได้ดีขึ้นตามมา และข้อดีของ LCAP ที่ดีกว่า AP แบบต่าง ๆ คือ การทำงานร่วมกันแบบ Master-Slave โดย LCAP Master เป็นเครื่องวัดศูนย์กลางและส่งข้อมูลไปยัง LCAP Slave โดย LCAP Slave นั้นไม่จำเป็นต้องมีเซ็นเซอร์ตรวจวัด PM2.5

PM10 และ TVOC ซึ่งทำให้ประหยัดงบได้ดี เมื่อต้องใช้เครื่องกรองอากาศสำหรับพื้นที่เดียวกันที่มีขนาดใหญ่ โดย AP ในบางรุ่นนั้นสามารถทำงานร่วมกันได้ แต่ภายในเครื่องกรอนั้นมีเซ็นเซอร์ตรวจวัด PM2.5 ติดอยู่ทุกเครื่อง ซึ่งการใช้งานเครื่องกรองในพื้นที่เดียวกันนั้นอาจไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งเซ็นเซอร์นี้ทุกเครื่อง เพราะไม่ได้ช่วยให้ประหยัดงบประมาณเท่าที่ควร

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการทำงานร่วมกันของ LCAP

เครื่องวัด	3 ชั่วโมง		1 ชั่วโมง			
	TVOC		PM2.5		PM10	
	E_F	$CADR$	E_F	$CADR$	E_F	$CADR$
	(%)	(m³/h)	(%)	(m³/h)	(%)	(m³/h)
LCAP_S	25.73	17.13	89.03	275.7	89.01	273.6
LCAP_D	69.39	128.8	98.06	494	97.96	485.7
LCAP_T	92.01	297.9	99.18	602.7	99.12	591.1

4. สรุป

การศึกษาประสิทธิภาพของ LCAP ที่พัฒนาขึ้นกับ AP แบบต่าง ๆ ในห้องทดสอบที่มีสภาพแวดล้อมเดียวกัน ที่ใช้แผ่นกรองแบบปกติ ผลการทดสอบพบว่า LCAP สามารถขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC ได้ดีกว่า AP_1 และสามารถขจัด PM2.5 และ PM10 ได้ใกล้เคียงกับ AP_2 แต่ LCAP นั้นสามารถขจัด TVOC ได้ดีกว่า AP_2 เนื่องจาก LCAP ได้ถูกออกแบบให้กรองฝุ่นชั้นนอกมีแผ่นกรองคาร์บอนติดอยู่และมีเซ็นเซอร์ตรวจจับ TVOC ผลการทดสอบแผ่นกรองแบบนำกลับมาใช้ใหม่ของ LCAP สามารถขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC ได้ดีกว่า AP_2 เนื่องจากความเร็วของพัดลมดูดอากาศนั้นเร็วกว่า โดยพบว่า ทั้ง LCAP และ AP_2 ที่ใช้แผ่นกรองที่ทำความสะอาดด้วยเครื่องดูดฝุ่นและเครื่องเป่าลมไม่ได้ช่วยให้ประสิทธิภาพการขจัดมลพิษดีขึ้นมากเท่าที่ควร และแผ่นกรองที่ทำความสะอาดด้วยผงซักฟอกสามารถขจัด TVOC ได้ดีกว่าแผ่นกรองแบบสกปรกและแบบปกติ แต่สามารถขจัด PM2.5 และ PM10 ได้ต่ำกว่าแผ่นกรองแบบปกติ สามารถแก้ไขได้โดยนำกรองฝุ่นละอองชนิดแผ่นดัดที่ใส่กรองเพิ่มทำให้สามารถขจัด PM ให้ดีขึ้นได้ และผลการทำงานร่วมกันของ LCAP พบว่า ยิ่งจำนวน LCAP เพิ่มขึ้นยิ่งสามารถช่วยขจัด PM2.5 PM10 และ TVOC ได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ministry of Public Health. (2023, Jan.). *Operation manual of medicine and public health in case of PM2.5 in 2023*. [Online] (in Thai). Available: <https://multimedia.anamai.moph.go.th/associates/ebook/>.
- [2] S. Limptosuwan, A. Praphanphat, V. Tanwandee, P. Raiubsr, and P. Hirunkitti, "Factors affecting Bangkok's decision to purchase air purifiers," *Journal of Value Chain Management and Business Strategy*, vol. 2, no. 1, pp. 1–13, Jan. – Mar. 2023 (in Thai).
- [3] Y. Piladee and S. Rattanadilok Na Phuket,

"Stains removal efficiency and foam characteristic of liquid detergents by using different surfactant ratios," in *Proceedings of 60th Kasetsart University Annual Conference*, vol. 60, pp. 510–517, 21–23 Feb. 2022 (in Thai).

- [4] A. Deephang, C. Addoddorn, and T. Aekkuerkul, "The design and construction of automatic 3 speed level mobile air filter controlled by microcontroller," *Udon Thani Rajabhat University Journal of Sciences and Technology*, vol. 10, no. 3 pp. 63–79, Sep.–Dec. 2022 (in Thai).
- [5] K. Donchai, "Development of a dust filter PM2.5 version 4 of Chiangrai Technical College," *Vocational Education Innovation and Research Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 11–22, Jul.–Dec. 2022 (in Thai).
- [6] T. Sanhan, J. Dikae, and C. Panyindee, "Small low-cost air purifier controlled by an android smartphone," *NBTC Journal*, vol. 5, no. 5, pp. 319–333, Dec. 2021 (in Thai).
- [7] V. Asanavijit, P. Intra, W. Rattanachan, and P. Hansapiromchoke, "Evaluation of the filtration efficiency of aerosol particles of the commercial air purifiers for indoor use," *Ladkrabang Engineering Journal*, vol. 38, no. 4, pp. 11–22, Dec. 2021 (in Thai).
- [8] H. J. Kim, B. Han, C. G. Woo, Y. J. Kim, G. T. Lim, and W. G. Shin, "Air cleaning performance of a novel electrostatic air purifier using an activated carbon fiber filter for passenger cars," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53, no. 6, pp. 5867–5874, Nov.–Dec. 2017.
- [9] Sharp Corporation. (2011, Jun.). *Sharp FU-A28TA air purifier operation manual*.



- [Online] (in Thai). Available: https://www.sharpthai.co.th/backoffice/img/download_center/th/FU-A28TA.pdf.
- [10] Beijing Smartmi Electronic Technology Co., Ltd., Beijing, China. (2020, Sep.). *Mi air purifier 3H user manual*. [Online]. Available: <https://fcc.report/FCC-ID/2AP98-ACM65C/4918506.pdf>.
- [11] T. Zheng, M. H. Bergin, K. K. Johnson, S. N. Tripathi, S. Shirodkar, M. S. Landis, R. Sutaria, and D. E. Carlson, "Field evaluation of low-cost particulate matter sensors in high- and low-concentration environments," *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 11, no. 8, pp. 4823–4846, 2018.
- [12] G. Yurko, J. Roostaei, T. Dittrich, L. Xu, M. Ewing, Y. Zhang and G. Shreve, "Real-time sensor response characteristics of 3 commercial metal oxide sensors for detection of BTEX and chlorinated aliphatic hydrocarbon organic vapors," *Chemosensors*, vol. 7, no. 3, Sep. 2019.
- [13] V. Rachnarong, "A study of air quality effect by creating a device detect PM2.5, TVOC and CO2-eq," *Journal of Engineering and Digital Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 37–48, Jul.–Dec. 2021 (in Thai).
- [14] T. Hanond, Y. Chantarasuk, S. Puangpan, N. Waropastrakul, S. Wongwajana, R. Sermswan, and S. Wongratanacheewin, "Efficacy of ion generator against bacteria and fungi," *Srinagarind Medical Journal*, vol. 26, no. 4, pp. 302–308, Jul.–Aug. 2011 (in Thai).
- [15] V. Rachnarong, "Performance evaluation of low-cost particulate matter sensors for PM2.5 and PM10 measurement," *Engineering and Technology Horizons*, vol. 40, no. 3, 2023 (in Thai).
- [16] The Household Air Cleaner, *Japan Electrical Manufacturers Association Standard 1467*, 1995.
- [17] Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners, *ANSI/AHAM AC-1-2006*, Association of Home Appliance Manufacturers Washington, D.C., USA, 2006.
- [18] Air Quality and Noise Management Bureau. (2023, May 16). *Thailand's air quality Information in 2023*. Pollution Control Department, Bangkok, Thailand. [Online] (in Thai). Available: https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2023/06/pcdnew-2023-06-02_09-43-56_071099.pdf.
- [19] C. Meyer, (2024, Jan.). *Overview of TVOC and Indoor Air Quality*. Renesas Electronics Corporation. [Online]. Available: <https://www.renesas.com/us/en/document/whp/overview-tvoc-and-indoor-air-quality>.