

ผลของความเร็รรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองและพัดลมดูดอากาศต่อประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองด้วยเครื่องฟอกอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

Effects of filter motor speed and air suction fan speed on dust reduction efficiency using a solar-powered air purifier

สถาพร ทองวิก¹, ประภาพร ประเสริฐพงศ์¹ และอภิสิทธิ์ ภัคดีแก้ว^{1*}

Sataporn Tongvic¹, Prapaporn Prasertpong¹ and Aphisik Pakdeekaew^{1*}

Received: 7 March 2025 ; Revised: 15 May 2025 ; Accepted: 20 June 2025

บทคัดย่อ

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในหลายพื้นที่ ดังนั้น การพัฒนาเครื่องฟอกอากาศที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนจึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดผลกระทบดังกล่าว งานวิจัยนี้พัฒนาเครื่องฟอกอากาศที่ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น โดยออกแบบให้มีผ้าเปียกชุ่มน้ำเป็นตัวกรองเพื่อดักจับอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของความเร็รรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองและพัดลมดูดอากาศต่อประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศ โดยทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ของตัวแปร ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความเร็รรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองและพัดลมดูดอากาศที่ 50% 75% และ 100% ขณะที่ตัวแปรตาม คือ ร้อยละของการลดฝุ่นละออง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเร็รรอบพัดลมที่สูงขึ้นช่วยเพิ่มอัตราการไหลเวียนของอากาศ ทำให้ฝุ่นละอองถูกดูดเข้าสู่ระบบมากขึ้น ในขณะที่ความเร็รรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองมีผลต่อการลดการสะสมของฝุ่นบนตัวกรอง โดยค่าที่เหมาะสมช่วยลดการอุดตันและเพิ่มประสิทธิภาพการกรองฝุ่นละอองอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์พบว่า ความสัมพันธ์ของสองปัจจัยส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศอย่างชัดเจน โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองคือ ความเร็รรอบมอเตอร์ผ้ากรองที่ 75% และพัดลมดูดอากาศที่ 75% ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณฝุ่นละออง การศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงระบบกรองอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยคำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบอย่างเป็นองค์รวม

คำสำคัญ: เครื่องฟอกอากาศพลังงานแสงอาทิตย์, ความเร็รรอบพัดลม, ความเร็รรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรอง, การทดลองแบบแฟคทอเรียล

Abstract

Air pollution is a major problem affecting public health in many areas. Therefore, the development of efficient and sustainable air purifiers is an important approach to reduce such impacts. This research developed a solar-powered air purifier that uses a wet cloth as a filter to capture small dust particles. The objective was to study the effects of the filter motor speed and air suction fan speed on the dust reduction efficiency of the air purifier, using a factorial experimental design to analyze the main factors and their interactions. The independent variables were the speeds of the filter motor and the air suction fan, tested at 50%, 75%, and 100%, while the dependent variable was the percentage of dust reduction. The experimental results showed that a higher fan speed increased the air flow rate, causing more dust to be drawn into the system, while the filter motor speed helped reduce dust accumulation on the filter. An optimal speed significantly reduced clogging and improved dust filtration efficiency. In addition, the analysis

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

* Corresponding author; Aphisik Pakdeekaew, E-mail: aphisik.p@en.rmUTT.ac.th

of the main factors and their interactions revealed that the relationship between the two factors significantly affected the efficiency of the air purifier. The optimal settings from the experiment were a filter motor speed of 75% and an air suction fan speed of 75%, which yielded the highest efficiency in reducing dust particles. This study can serve as a guideline for designing and improving air filtration systems to be more efficient by holistically considering the factors affecting the system.

Keywords: Solar-powered air purifier, air suction fan speed, filter motor speed, factorial experiment

บทนำ

ปัญหาฝุ่นละอองในอากาศได้กลายเป็นวิกฤตสิ่งแวดล้อมและสุขภาพที่สำคัญในยุคปัจจุบัน โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นของประชากรและการจราจรสูง ฝุ่นละอองขนาดเล็ก เช่น PM_{2.5} ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน สามารถแทรกซึมเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและเข้าสู่กระแสเลือด ส่งผลให้เกิดโรคร้ายแรง อาทิ โรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงโรคมะเร็งปอด (Basith *et al.*, 2022; Krittanawong *et al.*, 2023) การลดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจึงเป็นความท้าทายสำคัญที่ต้องการแนวทางการแก้ไขอย่างเร่งด่วน เพื่อปกป้องสุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชาชน

งานวิจัยหลายชิ้นได้เน้นย้ำถึงผลกระทบของฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่อสุขภาพ เช่น Basith *et al.* (2022) และ Krittanawong *et al.* (2023) พบว่าฝุ่นละออง PM_{2.5} ส่งผลให้เกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ หลอดเลือดแข็งตัว ความดันโลหิตสูง กล้ามเนื้อหัวใจตาย โรคหลอดเลือดสมอง การเกิดลิ่มเลือด และการกำเริบของภาวะหัวใจล้มเหลวในกลุ่มเสี่ยง นอกจากนี้ การทบทวนวรรณกรรมของ Tran *et al.* (2023) ยังชี้ให้เห็นว่าการลดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศสามารถช่วยลดอัตราการเกิดโรคทางเดินหายใจได้อย่างมีนัยสำคัญ การจัดการกับปัญหานี้จึงเป็นประเด็นสำคัญทั้งในระดับนโยบายและการพัฒนาเทคโนโลยี

การใช้เครื่องฟอกอากาศเป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมในการลดปริมาณฝุ่นละอองภายในอาคาร อย่างไรก็ตาม เครื่องฟอกอากาศทั่วไปมักใช้พลังงานไฟฟ้าสูง ซึ่งนำไปสู่ต้นทุนด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้นและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การพัฒนาเครื่องฟอกอากาศที่ใช้พลังงานทางเลือก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถลดการพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานฟอสซิลและสนับสนุนการใช้พลังงานสะอาดและยั่งยืน

งานวิจัยของ Kadam *et al.* (2021) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในอุปกรณ์ฟอกอากาศ โดยพบว่าระบบฟอกอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สามารถดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่องถึง 14 ชั่วโมง และยังคง

ประสิทธิภาพในการลดฝุ่นละอองได้เทียบเท่ากับระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าทั่วไป ขณะที่ Ganesh *et al.* (2022) ชี้ให้เห็นว่าการผสมเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับการออกแบบระบบฟอกอากาศสามารถเพิ่มความสามารถในการกรองฝุ่นละอองและลดต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างยั่งยืน

ในด้านเทคนิคการดักจับฝุ่นละออง การใช้น้ำเป็นสื่อกลางในการดักจับฝุ่นได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพ โดย วีระ พันอินทร์ (2561) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองด้วยอุปกรณ์ดักจับฝุ่นแบบเปียก (Wet Scrubber) ที่ออกแบบสำหรับโรงสีข้าวชุมชน ซึ่งสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้น้ำที่ถูกล้างชำระจู่ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคฝุ่น (อรรถกร อาสนคำ และคณะ, 2561) และการใช้ระบบสกรับเบอร์แบบเปียกในกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (อิทธิพล กุลวงศ์, 2558) แม้ว่าปัจจุบันจะยังไม่มียานวิจัยที่กล่าวถึงการใช้ผ้าเปียกหมุนชุบน้ำในการดักจับฝุ่นโดยตรง แต่หลักการใช้น้ำเพื่อดักจับอนุภาคฝุ่นได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูง โดยน้ำสามารถจับอนุภาคฝุ่นละอองได้ดี เนื่องจากคุณสมบัติในการรวมตัวและเพิ่มมวลให้อนุภาค ซึ่งทำให้อนุภาคเหล่านั้นตกลงสู่พื้นได้ง่ายขึ้น (Polat *et al.*, 2002; Johnson *et al.*, 2020) ด้วยเหตุนี้ การนำผ้าเปียกหมุนชุบน้ำมาใช้เป็นตัวกลางในการดักจับฝุ่นละอองจึงเป็นแนวคิดที่น่าสนใจ และมีแนวโน้มว่าจะสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเทคนิคการดักจับฝุ่นละอองด้วยน้ำ มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นระบบฟอกอากาศที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้หมุนผ้ากรองและความเร็วของพัดลมดูดอากาศกับประสิทธิภาพการลดฝุ่นละออง ยังคงมีอยู่อย่างจำกัด งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะเติมเต็มช่องว่างทางวิชาการดังกล่าว โดยการศึกษาผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้ เพื่อพัฒนาเครื่องฟอกอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและตอบสนองต่อปัญหาฝุ่นละอองในอากาศได้อย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. เครื่องฟอกอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้พัฒนาเครื่องฟอกอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบขึ้น ดัง Figure 1 เพื่อศึกษาศักยภาพในการลดฝุ่นละอองระดับห้องปฏิบัติการ



Figure 1 Solar-powered air purifier.

เครื่องฟอกอากาศนี้ใช้แผงโซลาร์เซลล์ (Solar panel) ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Off-grid โดยต่อร่วมกับฟิวส์ (Fuse) เบรกเกอร์ (Circuit Breaker) และโซลาร์ชาร์จเจอร์ (Solar charge controller) เพื่อควบคุมการจ่ายไฟให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่กำลังต่อเชื่อมกับวงจร ได้แก่ พัดลมดูดอากาศ และมอเตอร์หมุนผ้ากรอง รายละเอียดของอุปกรณ์เหล่านี้แสดงดัง Table 1

Table 1 Equipment details.

Equipment	Specification
Solar panel	DC solar panel, Model: TYNB, 30W
Fuse	Tongou, Model: RT18-32, 30A
DC circuit breaker	TAXNELE, Model: TXBD1-63
Solar charge controller	PWM, Model: NEW, 10A12V/ 24V + 2 USB 5V
Air suction fan	8" square exhaust fan
Dust filter cloth	50x100cm, thickness 6mm, fine filter 2.3 μ
Filter cloth rotating motor	DC motor, Model: XD-3240, 12V 30W
Particle Counter	XIAOMI, Model: GH-A13, PM2.5: $\pm$ 15%, $\pm$ 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

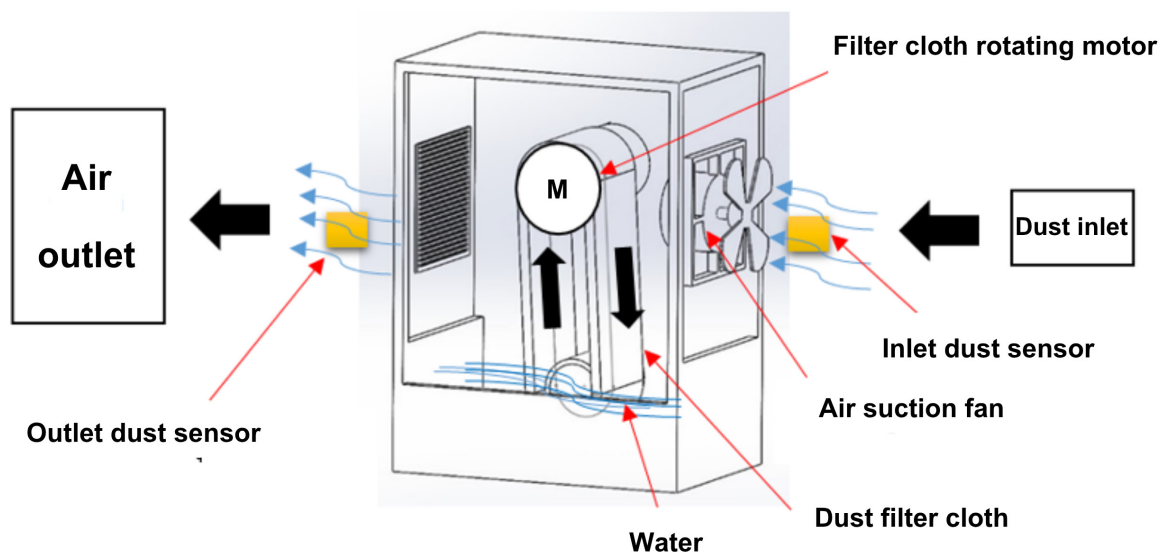


Figure 2 Solar-powered air purifier diagram.

Figure 2 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายในเครื่องฟอกอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องดังกล่าวทำงานโดยอาศัยแผงโซลาร์เซลล์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์พัดลมดูดอากาศและมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของแผ่นผ้ากรอง

กระบวนการทำงานเริ่มจากพัดลมดูดอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในเครื่อง อากาศที่เข้าสู่ตัวเครื่องจะถูกส่งผ่านแผ่นผ้ากรองซึ่งทำหน้าที่ดักจับฝุ่นละออง จากนั้นมอเตอร์จะหมุนแผ่นผ้ากรองลงสู่ด้านล่าง โดยส่วนล่างของแผ่นผ้ากรองจะสัมผัสกับอ่างน้ำ เพื่อชำระล้างฝุ่นละอองที่ติดอยู่บนแผ่นผ้ากรองให้ตกลงสู่อ่างน้ำ หลังจากทำความสะอาด

แล้ว แผ่นผ้ากรองจะหมุนกลับขึ้นสู่ด้านบนเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการกรองอากาศรอบถัดไป นอกจากนี้ จะมีชุดทำความสะอาดแผ่นผ้ากรองก่อนที่แผ่นผ้ากรองจะหมุนกลับขึ้นสู่ตำแหน่งเริ่มต้น เพื่อให้มั่นใจว่าแผ่นผ้ากรองปราศจากฝุ่นสะสม อากาศที่ผ่านการกรองจะถูกระบายออกทางช่องระบายอากาศ ซึ่งติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองเพื่อประเมินคุณภาพของอากาศก่อนปล่อยออกสู่ภายนอก โดยระบบทั้งหมดนี้ใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งบนตัวเครื่อง

2. การวางแผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เลือกใช้ การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบของหลายปัจจัยต่อผลลัพธ์ โดยเฉพาะกับการวิเคราะห์ผลรวมของปัจจัย (ประพจน์ สัทสน์ ณ อยุรยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551) ซึ่งระบบฟอกอากาศนี้มีองค์ประกอบหลักที่ส่งผลต่อการดักจับฝุ่นอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ พัดลมดูดอากาศ ซึ่งควบคุมปริมาณอากาศที่ไหลเข้าสู่ระบบ และ มอเตอร์หมุนผ้ากรอง ซึ่งส่งผลต่อการดักจับฝุ่นละอองในอากาศ การเปลี่ยนค่าความเร็วของทั้งสองส่วนนี้อาจไม่ส่งผลอย่างอิสระ แต่มีผลกระทบร่วมกัน ดังนั้นการใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลจะช่วยให้สามารถประเมินทั้งผลเดี่ยว (Main Effects) และผลรวม (Interaction) ของทั้ง 2 ปัจจัยได้อย่างเป็นระบบ และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้จากข้อมูลเชิงสถิติที่น่าเชื่อถือได้

ในส่วนของการทดลอง งานวิจัยนี้ใช้วิธีการโปรยและคลุกเคล้าผงซีเมนต์กับอากาศภายในห้องปิดขนาด 30 m³ ให้เกิดการฟุ้งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและควบคุมปริมาณฝุ่น PM2.5 ให้มีค่าประมาณ $30 \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอากาศ ปริมาณฝุ่นละอองได้รับการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดค่าฝุ่น PM2.5 ยี่ห้อ XIAOMI รุ่น GH-A13 ความละเอียดในการวัด PM2.5 อยู่ที่ $\pm 15\%$ ($\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) วัดค่าการไหลของอากาศด้วยเครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ TESTO 440 dP ความแม่นยำอยู่ที่ $\pm(0.3^\circ\text{C} + 0.3\% \text{ of mv})$ ความละเอียดที่ 0.1°C

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล ได้มีการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้งในแต่ละเงื่อนไขของการทดลอง ซึ่งเป็นจำนวนซ้ำขั้นต่ำที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ผลด้วยสถิติ ANOVA ภายใต้แผนการทดลองแบบ Factorial ที่ใช้ศึกษาผลกระทบของหลายปัจจัยร่วมกัน โดยการควบคุมตัวแปรแวดล้อมให้คงที่ เช่น ความเข้มข้นของฝุ่นที่เข้าสู่ระบบ เพื่อให้ค่าที่ได้สะท้อนผลลัพธ์ของตัวแปรที่สนใจได้อย่างแม่นยำ จำนวน 3 ซ้ำต่อเงื่อนไขยังช่วยลดความผันแปรของค่าฝุ่นที่วัดได้ และไม่ส่งผล

ให้เกิดค่าเบี่ยงเบนที่สูงเกินไป ซึ่งได้รับการยืนยันจากการตรวจสอบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการแจกแจงของ Residual plots ที่ปรากฏในบทวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้กำหนดตัวแปรอิสระที่สนใจศึกษา 2 ตัวแปร โดยกำหนดเป็นร้อยละ 50 75 และ 100 ของค่าความเร็วสูงสุดของแต่ละอุปกรณ์ตามลำดับ ได้แก่ ความเร็วรอบของมอเตอร์หมุนผ้ากรอง 650 rpm 975 rpm และ 1,300 rpm ตามลำดับ และความเร็วรอบของพัดลมดูดอากาศ 950 rpm (1,519.7 m³/h) 1,425 rpm (1,584.4 m³/h) และ 1,900 rpm (1,625.8 m³/h) ตามลำดับ ส่วนตัวแปรตามที่จะเก็บค่ามาคือ ปริมาณฝุ่นละอองขาเข้าและขาออกจากเครื่องฟอกอากาศ แผนการทดลองดังที่กล่าวมาแสดงดัง Figure 2

Table 2 Factorial design of experiment.

Condition*	Speed	
	Filter motor	Air suction fan
1*	50% (650 rpm)	50% (950 rpm)
2*	50% (650 rpm)	75% (1,425 rpm)
3*	50% (650 rpm)	100% (1,900 rpm)
4*	75% (975 rpm)	50% (950 rpm)
5*	75% (975 rpm)	75% (1,425 rpm)
6*	75% (975 rpm)	100% (1,900 rpm)
7*	100% (1,300 rpm)	50% (950 rpm)
8*	100% (1,300 rpm)	75% (1,425 rpm)
9*	100% (1,300 rpm)	100% (1,900 rpm)

*The experiment was repeated 3 times for each test condition.

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ปริมาณฝุ่นละอองทั้งขาเข้าและขาออกจากเครื่องฟอกอากาศ (จากการทดลอง 3 ซ้ำ) ถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองด้วยเครื่องฟอกอากาศพลังงานแสงอาทิตย์พิจารณาได้จากร้อยละของการลดปริมาณฝุ่นละอองตามสมการที่ 3 ซึ่งบ่งชี้ถึงปริมาณฝุ่น PM2.5 ที่ระบบกรองอากาศนี้สามารถลดลงได้ในรูปแบบร้อยละเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฝุ่นก่อนเข้าสู่ระบบกรองอากาศ

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (1)$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (2)$$

$$\bar{X}_R = \left| \frac{\bar{X}_{In} - \bar{X}_{Out}}{\bar{X}_{In}} \right| \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล, i และ N คือ จำนวนข้อมูล, X_i คือ ข้อมูลดิบ, $S.D.$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล, $\bar{X}_{In}$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝุ่นขาเข้าเครื่องฟอกอากาศ, $\bar{X}_{Out}$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝุ่นขาออกจากเครื่องฟอกอากาศ, $\bar{X}_R$ คือ ร้อยละของการลดฝุ่นละออง

ผลจากการทดลองนี้ได้รับการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนภายใต้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ เพื่อตรวจสอบผลของความเร็วยรอบพัดลมดูดอากาศ (%Fan) ความเร็วยรอบมอเตอร์หมั่นผ้ากรอง (%Motor) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (%Fan $\times$ %Motor) ต่อร้อยละของการลดฝุ่นละออง โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% (p -value < 0.05)

ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากผลการทดลองที่แสดงใน Figure 3 พบว่าปริมาณฝุ่นละอองที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องฟอกอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตามระดับของความเร็วยรอบมอเตอร์หมั่นผ้ากรองและความเร็วยรอบพัดลม ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ โดยแสดงผลเป็นกราฟแท่งเพื่อสะท้อนแนวโน้มของการลดลงของฝุ่นละอองในแต่ละเงื่อนไข ค่าที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง พร้อมแถบสีแดงที่ระบุค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ปริมาณฝุ่นละอองลดลงในทุกเงื่อนไขที่ทดสอบ ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศในการกรองฝุ่น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากค่าปริมาณฝุ่นละอองขาเข้าอาจมีความแปรปรวนระหว่างการทดลอง เพื่อให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น จึงมีการคำนวณร้อยละของการลดลงของฝุ่นละอองในแต่ละเงื่อนไข ซึ่งแสดงผลใน Figure 4 วิธีการนี้ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศได้อย่างเป็นระบบและลดผลกระทบของความผันแปรของค่าฝุ่นละอองขาเข้าต่อผลลัพธ์ของการทดลอง

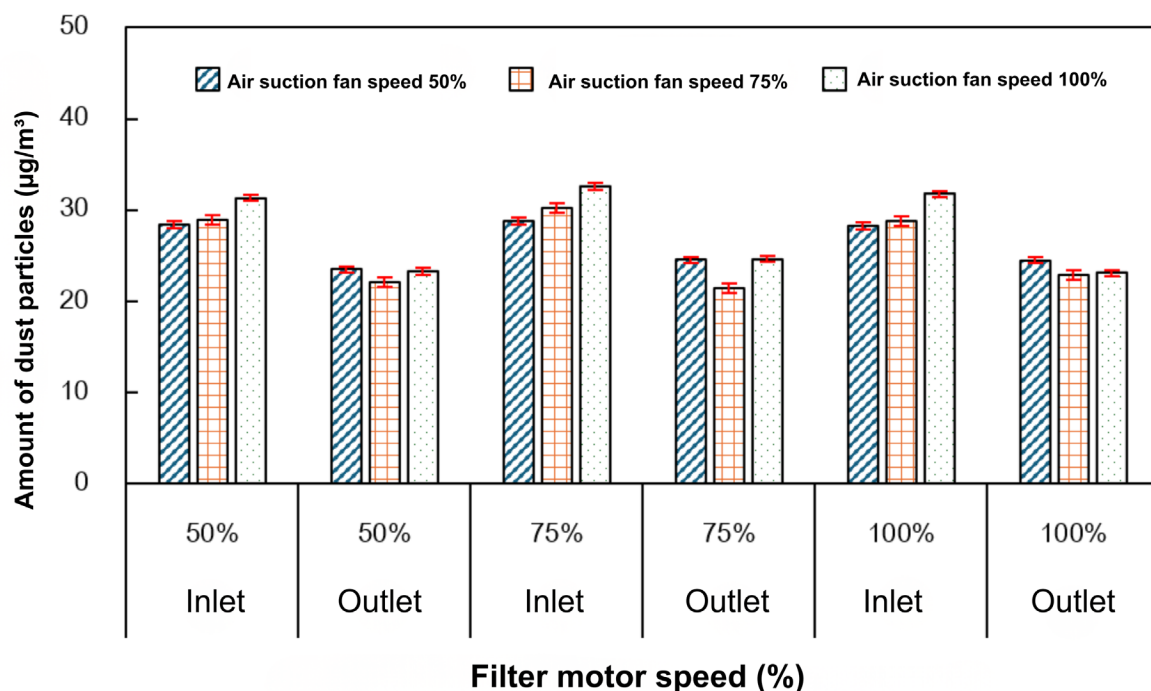


Figure 3 Amount of dust particles entering and exiting the solar air purifier in each experimental condition.

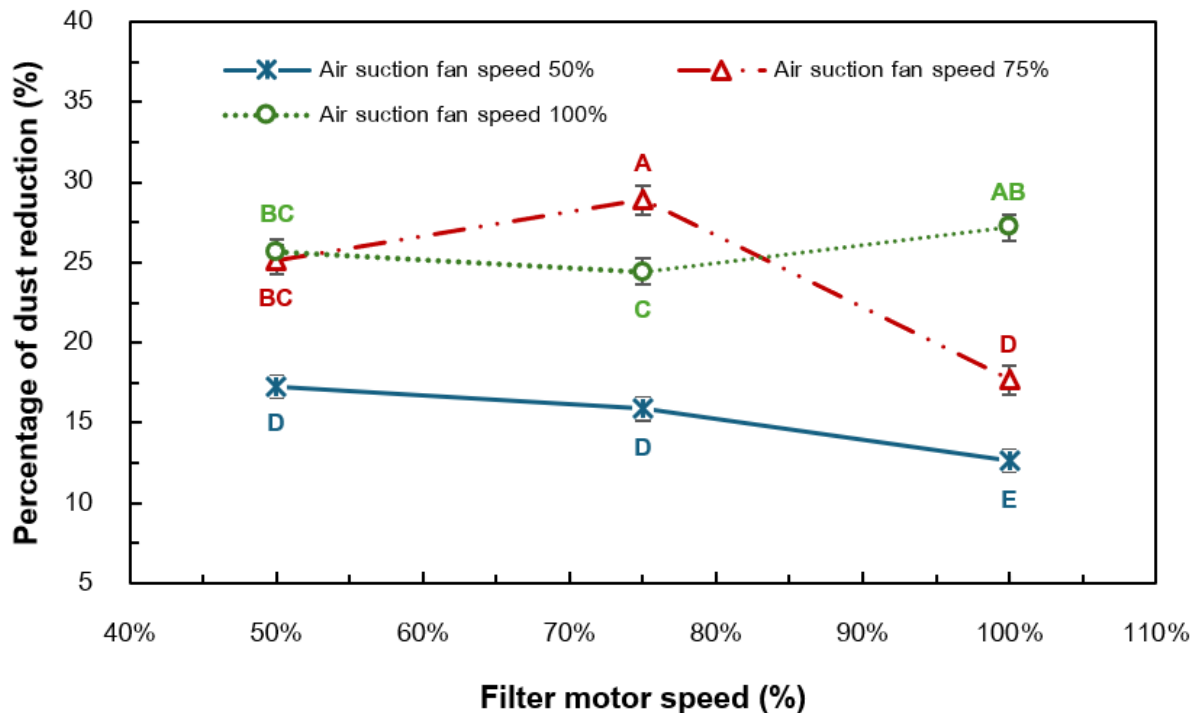


Figure 4 Percentage of dust reduction in each experimental condition.

Figure 3 แสดงให้เห็นว่าปริมาณฝุ่นละอองขาออกจากเครื่องฟอกอากาศลดลงในทุกเงื่อนไขการทดลอง โดยเฉพาะเมื่อใช้ความเร็วรอบพัดลมสูงขึ้น การปรับความเร็วรอบพัดลมให้สูงขึ้นช่วยเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ ทำให้ฝุ่นละอองถูกดูดเข้าสู่ระบบกรองได้มากขึ้น ในทางตรงข้าม หากความเร็วรอบพัดลมสูงเกินไป อาจทำให้ระยะเวลาที่อากาศสัมผัสกับระบบกรองลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองลดลงได้ (วิสูตร อาสนวิจิตร และคณะ, 2564) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเร็วรอบของพัดลมเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ เพราะประสิทธิภาพของการดักจับฝุ่นละอองยังขึ้นอยู่กับการหมุนของผ้ากรองด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบใน Figure 4 (อักษรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)) พบว่าไม่มีค่าความเร็วรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองใดที่ให้ผลลัพธ์สูงสุดในทุกระดับของความเร็วรอบพัดลมอย่างเด่นชัด แต่พบว่าความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 75% มีแนวโน้มที่ดีในหลายเงื่อนไข อาจเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนและการหมุนเวียนของผ้ากรองที่ช่วยลดการสะสมของฝุ่นละออง อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าของความเร็วรอบมอเตอร์เพียงอย่างเดียว แต่ยังได้รับผลกระทบจากความเร็วรอบพัดลมด้วย เช่น ที่ความเร็วรอบพัดลม 100% ค่าความเร็วรอบมอเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดอาจแตกต่างจากเงื่อนไขอื่น ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นถึง

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร (Interaction Effect) ดังนั้น การกำหนดค่าที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองร่วมกันแทนที่จะพิจารณาเพียงค่าหนึ่งค่าตามลำพัง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ของประสิทธิภาพการลดฝุ่นละออง ดังแสดงใน Table 3 พบว่า ความเร็วรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรอง (Motor speed) และความเร็วรอบพัดลมดูดอากาศ (Fan speed) ส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) โดยเฉพาะความเร็วรอบมอเตอร์ซึ่งมีค่า F-value สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของระบบอย่างเด่นชัด นอกจากนี้ ยังพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบมอเตอร์และความเร็วรอบพัดลมมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของทั้งสองปัจจัยต้องพิจารณาร่วมกัน มิฉะนั้นอาจทำให้ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นลดลงได้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลการทดลองดังกล่าวไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้องและปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรอิสระดัง Figure 5

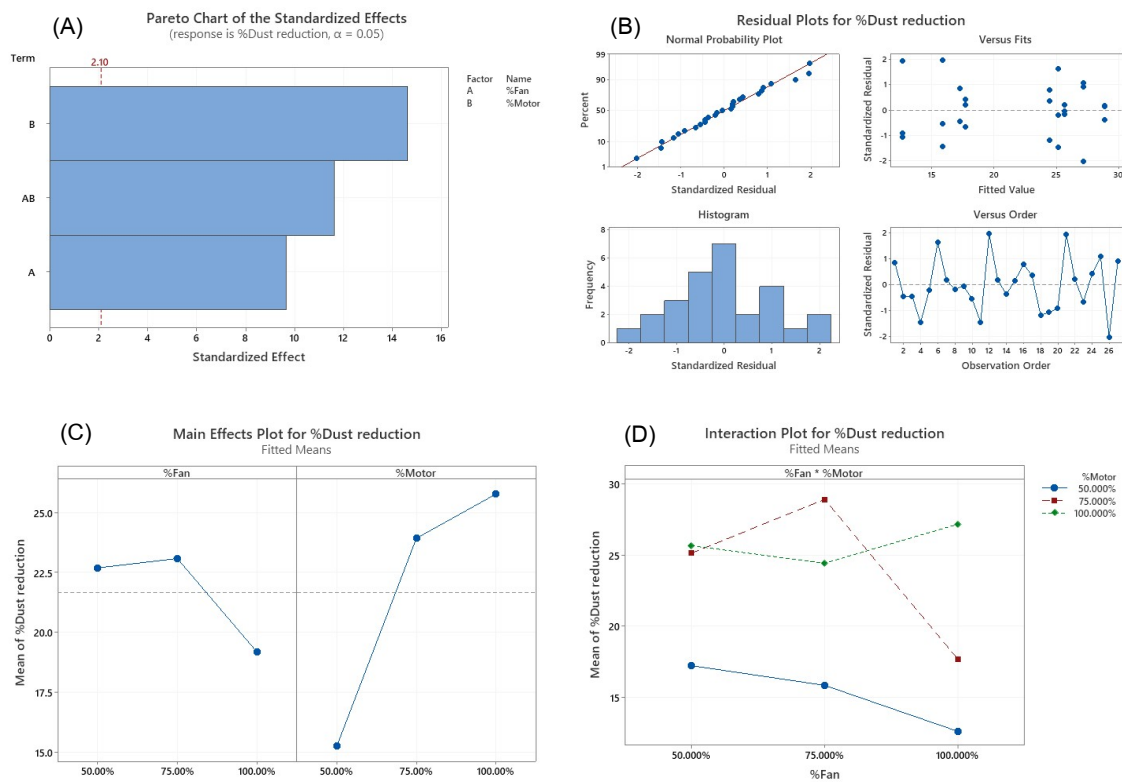


Figure 5 The impact of independent variables on the percentage of dust reduction.

Table 3 Analysis of variance (ANOVA) for dust reduction efficiency.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
Fan speed (%Fan)	2	83.19	41.60	57.54	<0.001
Filter motor speed (%Motor)	2	566.36	283.18	391.71	<0.001
Fan $\times$ Motor	4	157.04	39.26	54.31	<0.001
Error	18	13.01	0.723	—	—
Total	26	819.61	—	—	—

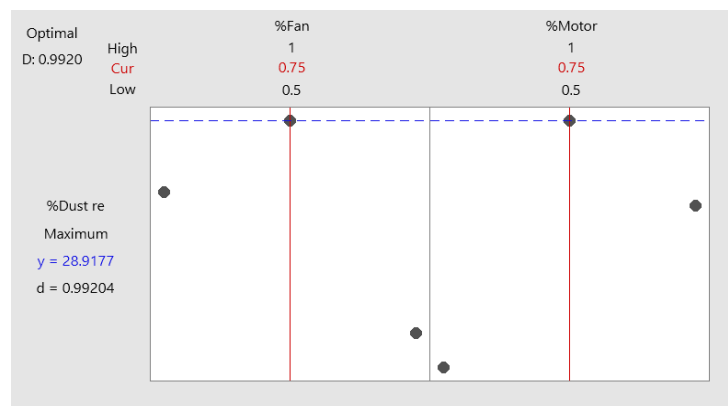


Figure 6 Optimum value for solar air purifier operation.

จากผลการวิเคราะห์ Factorial ANOVA ในโปรแกรม Minitab (Figure 5 และ Table 3) พบว่า ความเร็วรอบพัดลมดูดอากาศ (%Fan) และความเร็วรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรอง (%Motor) ส่งผลต่อร้อยละการลดฝุ่นละอองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะความเร็วรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองที่แสดงอิทธิพลเชิงสถิติสูงกว่าปัจจัยอื่น (สอดคล้องกับ Pareto chart ดัง Figure 5A) นอกจากนี้ ยังพบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบพัดลมและความเร็วรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรอง (%Fan $\times$ %Motor) มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศไม่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพียงลำพัง แต่ขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันของทั้งสองปัจจัย ในส่วนของ Residual Plots (Figure 5B) ยังแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวที่เป็นปกติ ซึ่งยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ผลการทดลอง และช่วยสนับสนุนข้อสรุปเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ได้อย่างมีนัยสำคัญ

จากการวิเคราะห์ Main Effect Plot (Figure 5C) พบว่า ทั้งความเร็วรอบพัดลมและความเร็วรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะความเร็วรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรอง มีแนวโน้มส่งผลต่อค่าการลดลงของฝุ่นละอองมากที่สุด ซึ่งหมายความว่า การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองให้เหมาะสมมีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากนี้ Main Effect Plot ยังแสดงให้เห็นว่า ในบางระดับของปัจจัยหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงของอีกปัจจัยอาจส่งผลกระทบมากขึ้นหรือชัดเจนขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มที่พบใน Interaction Plot จากการวิเคราะห์ Interaction Plot (Figure 5D) พบว่า เส้นกราฟของบางค่าปัจจัยมีแนวโน้มตัดกัน ซึ่งบ่งบอกถึงปฏิสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความเร็วรอบพัดลมและมอเตอร์หมุนผ้ากรอง โดยเฉพาะที่ระดับความเร็วรอบพัดลม 75% และ 100% ที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบมอเตอร์ส่งผลต่อค่าการลดลงของฝุ่นละอองอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบพัดลมสูงขึ้น แรงลมที่มากขึ้นสามารถช่วยพัดฝุ่นละอองให้เข้าสู่ผ้ากรองได้ดีขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม หากความเร็วรอบมอเตอร์ไม่เหมาะสม ฝุ่นละอองอาจสะสมบนผ้ากรองและลดประสิทธิภาพของการกรองได้ ดังนั้น การเลือกค่าพารามิเตอร์ของทั้งสองปัจจัยต้องพิจารณาไปพร้อมกันมิฉะนั้นอาจทำให้ประสิทธิภาพการกรองฝุ่นลดลงได้

เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละการลดฝุ่นละอองระหว่างเงื่อนไขการทดลอง ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (Tukey's HSD) ที่ระดับนัยสำคัญ 95%

($p < 0.05$) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เงื่อนไขการทำงานที่ความเร็วรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรอง 75% และความเร็วรอบพัดลม 75% ให้ประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองสูงที่สุด (28.92%) และอยู่ในกลุ่มสถิติสูงสุด (A) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพดังกล่าวไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเงื่อนไขที่ใช้ความเร็วรอบมอเตอร์และพัดลมที่ 100% (AB) สะท้อนให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วรอบของทั้งสองอุปกรณ์จนถึงระดับสูงสุดไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นอย่างชัดเจน ในทางกลับกัน เงื่อนไขที่ใช้ความเร็วรอบพัดลมต่ำร่วมกับความเร็วรอบมอเตอร์สูง โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 100% และความเร็วรอบพัดลม 50% ให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุด (12.64%) และอยู่ในกลุ่มสถิติต่ำสุด (E) ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบไม่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพียงลำพัง แต่ขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันของความเร็วรอบมอเตอร์และพัดลม ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ ANOVA ที่พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์ค่าเหมาะสมที่สุด พบว่า ค่าความเร็วรอบพัดลมที่ 75% และความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 75% เป็นค่าที่ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณฝุ่นละอองสูงที่สุด อยู่ที่ 28.92% (Figure 6) เนื่องจากเป็นจุดสมดุลระหว่างอัตราการไหลของอากาศและความสามารถในการจับฝุ่นของผ้าเปียก ความเร็วรอบพัดลม 75% ทำให้ฝุ่นเข้าสู่ระบบอย่างเพียงพอ ไม่เร็วเกินไปจนลดโอกาสที่ฝุ่นจะจับกับผ้ากรอง ส่วนความเร็วรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองที่ 75% ส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนผ้าที่พอดี ช่วยลดการสะสมฝุ่น และยังคงความชื้นที่เพียงพอสำหรับดักจับฝุ่นละเอียดได้ดี อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้ดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่ระดับความเข้มข้นของฝุ่นขาเข้าอยู่ในช่วง $30 \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ดังนั้นค่าที่เหมาะสมที่พบจึงมีความจำเพาะกับระดับฝุ่นในช่วงดังกล่าว หากใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นของฝุ่นต่างกันออกไป เช่น พื้นที่ก่อสร้าง หรือในชนบท อาจต้องปรับค่าพารามิเตอร์ใหม่ งานวิจัยในอนาคตควรขยายผลการศึกษาในหลายระดับฝุ่นและพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติที่สามารถปรับค่าการทำงานให้เหมาะสมตามสภาพอากาศได้แบบเรียลไทม์ (Real-time)

จากการตรวจสอบลักษณะการไหลของอากาศในระบบ (Figure 1 และ 2) พบว่า มีอากาศบางส่วนไม่ได้ไหลผ่านผ้ากรองโดยตรง แต่เล็ดลอดผ่านช่องว่างด้านข้างแทน ปรากฏการณ์นี้ทำให้ฝุ่นบางส่วนไม่ถูกดักจับโดยผ้ากรอง และส่งผลต่อประสิทธิภาพการกรองโดยรวมการออกแบบในอนาคตควรมีการเพิ่มแผ่นบังค้ำทิศทางลมและซีลขอบผ้ากรองให้แน่นหนาขึ้น เพื่อลดการรั่วไหลของอากาศและเพิ่ม

อัตราการดักจับฝุ่น การศึกษานี้ช่วยยืนยันว่าการคำนึงถึงความสัมพันธ์ของความเร็รรอบพัดลมและความเร็รรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองได้ นอกจากนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีด้านการกรอง และการควบคุมอัตโนมัติจะเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยให้เครื่องฟอกอากาศสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่าความเร็รรอบพัดลมและความเร็รรอบมอเตอร์หมุนผ้ากรองเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศอย่างมีนัยสำคัญ การเลือกค่าที่เหมาะสมของทั้งสองปัจจัยสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณฝุ่นละอองได้สูงสุด จากผลการวิเคราะห์ พบว่าค่าความเร็รรอบพัดลมที่ 75% และความเร็รรอบมอเตอร์ที่ 75% เป็นค่าที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด การศึกษานี้ช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของระบบและสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงเครื่องฟอกอากาศในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายสันติ ศรีทองสุข นางสาวพรทิพย์ สร้อยวงศ์ และนายประกาศิต โสหา นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ช่วยเหลือในส่วนของการเก็บผลการทดลอง และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่เอื้อเฟื้อสถานที่ ตลอดจนให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). *การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง*. สำนักพิมพ์ทอป.

วิสูตร อาสนวิจิตร, พานิช อินต๊ะ, วิสาข์นภัสต์ รัตนจันทร์, และ พัทธนันท์ หรรษาภิรมย์โชค. (2564). การประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคละอองลอยภายในอากาศของเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์สำหรับใช้ภายในอาคารที่พักอาศัย. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 38(4), 166–177.

วีระ พันอินทร์. (2561). การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองด้วยระบบบำบัดอากาศแบบเปียกสำหรับโรงสีข้าวชุมชน. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 11(1), 61–73.

อรรถกร อาสนคำ, ชัญญุช จันทพิมพ์, และ พิเชษฐ์ ทานิล. (2561). การเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคฝุ่นผ่านหินขนาดเล็กด้วยการสเปรย์น้ำที่มีประจุไฟฟ้า. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 25(3), 178–189.

อิทธิพล กุลวงศ์. (2558). *การเปรียบเทียบคุณลักษณะการทำงานและสมรรถนะของอุปกรณ์ดักฝุ่นแบบเปียกชนิดอีเจ็คเตอร์กับชนิดคอคอด* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท บัณฑิต, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี].

Basith, S., Manavalan, B., Shin, T. H., Park, C. B., Lee, W. S., Kim, J., & Lee, G. (2022). The impact of fine particulate matter 2.5 on the cardiovascular system: A review of the invisible killer. *Nanomaterials*, 12(15), 2656.

Ganesh, P. K., Santosh, R., Srimannarayana, N. K., Sriramkrishnan, N. K., & Manu, D. K. (2022). Solar outdoor air purifier with air quality monitor. *i-manager's Journal on Communication Engineering and Systems*, 11(1), 6–12.

Johnson, B. D., Kranck, K., & Muschenheim, D. K. (2020). Physicochemical factors in particle aggregation. In *The biology of particles in aquatic systems* (2nd ed., pp. 75–96). CRC Press.

Kadam, R., Pojta, O., Jagtap, K., & Shoor, S. (2021). Fabrication and design of solar powered air purifier for improving air quality index. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 8(4), 525–534.

Krittanawong, C., Qadeer, Y. K., Hayes, R. B., Wang, Z., Thurston, G. D., Virani, S., & Lavie, C. J. (2023). PM2.5 and cardiovascular diseases: State-of-the-art review. *International Journal of Cardiology Cardiovascular Risk and Prevention*, 200217.

Polat, M., Polat, H., Chander, S., & Hogg, R. (2002). Characterization of airborne particles and droplets. *Particle & Particle Systems Characterization*, 19(1), 38–46.

Tran, H. M., Tsai, F. J., Lee, Y. L., Chang, J. H., Chang, L. T., Chang, T. Y., Chung, K. F., Kuo, H. P., Lee, K. Y., Chuang, K. J., & Chuang, H. C. (2023). The impact of air pollution on respiratory diseases in an era of climate change: A review of the current evidence. *Science of the Total Environment*, 166340.