

# การประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคละอองลอยในอากาศของเครื่องฟอกอากาศ เชิงพาณิชย์สำหรับใช้ภายในอาคารที่พักอาศัย

## Evaluation of the Filtration Efficiency of Aerosol Particles of the Commercial Air Purifiers for indoor use

วิสูตร อาสนวิจิตร<sup>1\*</sup>, พานิช อินต๊ะ<sup>1</sup>, วิสาขน์ภัสร์ รัตนจันทร์<sup>1</sup> และ พัชรนันท์ ทรราชภิรมย์โชค<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล  
ล้านนา ป่าป๋อง ดอยสะเก็ด เชียงใหม่ 50220

<sup>2</sup>คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Visut Asanavijit<sup>1\*</sup>, Panich Intra<sup>1</sup>, Wisanapat Rattanachan<sup>1</sup> and Pattanun Hansapiromchoke<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Unit of Applied Electric Field in Engineering, College of Integrated Science and Technology,  
Rajamangala University of Technology Lanna, Papong, Doisaket, Chiangmai, 50220, Thailand

<sup>2</sup>Faculty of Education, Kasetsart University, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

\*Corresponding Author E-mail: iamvisut@gmail.com

Received: Aug 12, 2021; Revised: Nov 27, 2021; Accepted: Dec 25, 2021

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของบทความฉบับนี้คือเพื่อประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคละอองลอยในอากาศของเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์สำหรับใช้ภายในอาคารที่พักอาศัยที่มีขนาดและหลักการที่แตกต่างกันจำนวน 5 เครื่อง โดยแบ่งเป็นเครื่องฟอกหลักการไฟฟ้าสถิตหรือประจุไฟฟ้าหรือไอออนจำนวน 4 เครื่อง และเครื่องฟอกอากาศแบบแผ่นกรองจำนวน 1 เครื่อง ในการศึกษาได้ทดสอบประสิทธิภาพการกรองของอนุภาคฝุ่นของเครื่องฟอกทั้ง 5 เครื่องตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2015 กับเครื่องกำเนิดอนุภาคละอองลอยภายในห้องทดสอบขนาด 6 m × 6 m × 3 m ใช้เครื่องวัดฝุ่นแบบเรียลไทม์วัดค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคฝุ่นภายในห้องทดสอบในช่วงเวลา 120 นาที จากการทดลองพบว่าค่าการลดลงของความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคฝุ่นแปรผันตรงกับระยะเวลาการทดสอบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาการทดสอบที่นานขึ้นทำให้อากาศภายในห้องที่ยังคงมีอนุภาคฝุ่นแขวนลอยอยู่หมุนเวียนผ่านเข้าไปในเครื่องฟอกซ้ำที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรอากาศของเครื่องฟอกคงที่ในช่วงระยะเวลาของการทดสอบ โดยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคฝุ่นสูงสุดในกรณีที่มีการตกตะกอนของฝุ่นตามธรรมชาติของเครื่องฟอก A, B, C, D และ E เท่ากับ 61.30, 65.63, 81.73, 77.39 และ 72.75 % ที่ 120 นาที ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกรองอนุภาคฝุ่นสูงสุดในกรณีที่ไมรวมการตกตะกอนตัวของฝุ่นตามธรรมชาติของเครื่องฟอกอากาศ A, B, C, D และ E เท่ากับ 13.19, 22.91, 59.02, 49.03 และ 38.88 % ที่ 120 นาที ตามลำดับ และในการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่า CADR ของ A, B, C, D และ E มีค่าประมาณ 4.47, 7.58, 24.36, 17.82 และ 13.7 ft<sup>3</sup>/h ตามลำดับ

คำสำคัญ: ละอองลอย, ฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน, ฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน, เครื่องฟอกอากาศ

## Abstract

The aim of this paper is to evaluation of the filtration efficiency of aerosol particles of the commercial air purifiers for indoor use purifiers with different sizes and principles e.g., 4 electrostatic air purifiers and 1 HEPA filter air purifier. In this study, the filtration efficiency of aerosol particles of five commercial indoor air purifiers were tested by the ANSI/AHAM AC-1-2015 standard test method with the aerosol particle generators inside the 6 m × 6 m × 3 m test chamber. The real-time particle counter was used for measuring the number and mass concentrations of aerosol particles inside the test chamber within testing time of 120 min It was found from the experiment that the decrease in the mass concentration of the aerosol particles is proportional to the increase in testing time. Due to the longer testing time, room air that still retains suspended aerosol particles recirculates through the air purifier at a constant air volumetric flow rate of the purifier for the duration of the testing time. The maximum particle filtration efficiency in the case of combining particle natural decay of the A, B, C, D and E purifiers is about 61.30, 65.63, 81.73, 77.39 and 72.755 % at 120 min respectively, and the maximum particle filtration efficiency in the case of excluding particle natural decay of the A, B, C, D and E purifiers is about 13.19, 22.91, 59.02, 49.03 and 38.88 % at 120 min respectively. Finally, in this experiment, it was shown that the CADR values of A, B, C, D and E purifiers were about 4.47, 7.58, 24.36, 17.82 and 13.7 ft<sup>3</sup>/h, respectively.

**Keyword:** Aerosol, PM2.5, PM10, Air Purifier

## 1. บทนำ

การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ทั่วประเทศทั่วโลกด้วยยอดผู้ติดเชื้อถึง 42,916,332 ราย และเสียชีวิต 1,154,301 ราย สำหรับประเทศไทยมีผู้ติดเชื้อ 3,731 ราย และเสียชีวิต 59 ราย ข้อมูล ณ วันที่ 26 ตุลาคม 2563 [1] อีกทั้งในช่วงที่มีการการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ได้เกิดปัญหาหมอกควันมีค่าฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานทั้งในกรุงเทพและหลายจังหวัดในภาคเหนือ ทำให้มีค่าดัชนีคุณภาพอากาศ AQI (Air Quality Index) ของประเทศไทยสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของโลกต่อเนื่องการหลายวัน [2] สารมลพิษที่สำคัญคืออนุภาคฝุ่นละอองลอยขนาดเล็ก (particulate matter) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร หรือที่เรียกว่า PM 2.5 ฝุ่นละอองลอยขนาดเล็กคือการรวมกันของโมเลกุล (molecular) หรือกลุ่มโมเลกุลของสารหรือสารประกอบต่างๆ รวมไปถึงสารมลพิษชีวภาพที่อาจจะเป็นเชื้อรา ไวรัส หรือแบคทีเรีย ที่ลอยอยู่กับฝุ่นละอองในอากาศที่เราหายใจเข้าไป เนื่อง PM2.5 จะมีการตกตะกอนค่อนข้างช้าถึงช้ามาก (ระดับชั่วโมง ถึง วัน) จนในบางครั้งถือว่าเป็นประเภทลอยในอากาศอย่างถาวร จึงสามารถแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิด

หรือบรรยากาศเข้าสู่ที่พักอาศัย สำนักงาน โรงพยาบาล รวมไปถึงสถานศึกษา [3]

ฝุ่นละอองลอยขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตรจะเป็นตัวก่อปัญหาแก่สุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชากร เนื่องจากสามารถผ่านระบบทางเดินหายใจเข้าไปได้ลึกลงไปถึงจนถึงระดับถุงลมปอด ซึ่งจะสามารถสะสมได้ตลอดไปไม่สามารถขับออกจากร่างกาย การหายใจปกติ อนุภาคขนาดเล็กจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 ไมครอน จะเข้าไปอยู่ในทางเดินหายใจบริเวณคอตั้งเสียง ในขณะที่อนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมครอน สามารถผ่านเข้าไปถึงบริเวณถุงลมปอดไปจนถึงระดับเซลล์ในร่างกายได้สารเคมีหรือแก๊สบางชนิดที่ผ่านเข้ามาในระบบทางเดินหายใจร่วมกับอนุภาคเหล่านี้ จะถูกละลายรวมกับเนื้อเยื่อเมือกของเนื้อเยื่อบริเวณนั้นๆ หรือเยื่อเมือกของถุงลมปอดแล้วไหลผ่านเข้าไปสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ทำให้เกิดการเสียหายต่อเนื้อเยื่อบริเวณต่างๆ ของร่างกาย อนุภาคบางตัวอาจมีสารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) หรือสารก่อกลายพันธุ์ (mutagen) รวมอยู่ด้วย เช่น อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซลและปิโตรเลียม ซึ่งผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษทางอากาศจาก PM 10 และ PM 2.5

มาจากองค์ประกอบทางเคมีต่างชนิดปนเปื้อนอยู่ สารเคมีบางตัวมีคุณสมบัติออกซิแดนท์ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น สารโลหะที่มีคาร์บอน กรดเกลือ สารมลพิษอินทรีย์ รวมไปถึงสารมลพิษชีวภาพที่อาจจะเป็นเชื้อราไวรัส หรือแบคทีเรีย โดยการหายใจเอา PM 10 และ PM 2.5 เข้าไปจะกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงระบบภูมิคุ้มกันของระบบหายใจ ทำให้เกิดการอักเสบหรือโรคมะเร็ง เช่น ไอ เจ็บคอ การหายใจผิดปกติ ตลอดจนทำให้โรคหัวใจกำเริบได้ ส่งผลให้การตายจากโรคทางเดินหายใจมีอัตราเพิ่มสูงขึ้น [4]–[6]

ซึ่งการศึกษาวิจัยถึงการตอบสนองของเซลล์เยื่อผิวของทางเดินหายใจจากการกระตุ้นด้วยสารก่อภูมิแพ้โดยอุนัขย วิจัยเขตคำนวณ และคณะ [7] จากการศึกษาของท่านพบว่าการกั้ตัวของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก (PM 2.5) ในถุงลมปอดจะก่อให้เกิดอันตรายต่อเม็ดเลือดขาว เพราะเม็ดเลือดขาวจะกินอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กเข้าไปเพื่อจะทำลายโดยกลไกทางชีวเคมี สามารถทำให้เกิดการอักเสบของถุงลมปอด เม็ดเลือดขาวจะถูกกระตุ้นและจะหลั่งสารเร่งกระบวนการอักเสบออกมาสู่กระแสเลือดไปที่ตับ ไชกระดูกและเกิดการกระตุ้น และส่งเสริมการตกตะกอนของเลือดที่เป็นสาเหตุของอุบัติการณ์ของโรคหัวใจล้มเหลว ซึ่งจากผลการวิจัยจากต่างประเทศรายงานถึงกลไกการกระตุ้นการหลั่งสารกระตุ้นการอักเสบ โดยอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กจะสามารถเร่งให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระและทำให้เกิดภาวะความเครียดออกซิเดชั่น ทำให้เกิดการทำลายเม็ดเลือดขาวในปอด ส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างฉับพลันต่อปอดทำให้ปอดอักเสบ ทั้งนี้ในบุคคลที่มีสุขภาพแข็งแรงและปกติกลไกการป้องกันในร่างกายจะช่วยป้องกันความเสียหายได้ แต่บุคคลที่มีปัญหาทางเดินหายใจ เช่นผู้ที่ เป็นโรคหอบหืด ผู้ที่เป็นโรคภูมิแพ้เรื้อรังหรือมีการอักเสบทางเดินหายใจ หรือผู้ที่หายใจเอาสารมลพิษในอากาศ เช่น ควันบุหรี่ หรือสูดไอโซน ความสามารถในการป้องกันตนเองอาจจะไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจำทำให้เสี่ยงต่อการที่ปอดจะเสียหายและเป็นอันตรายจากสารมลพิษอากาศได้ นอกจากนี้ ข้อมูลเกี่ยวกับฝุ่น PM2.5 ในอากาศมีส่วนทำให้เชื้อไวรัสโควิด-19 แพร่หรือระบาดได้ดีขึ้น ได้นำเสนอโดย Srivastava [8]

พบว่าฝุ่น PM2.5 ที่มีเชื้อไวรัสโควิด-19 ที่เกิดจากการจามและไอเป็นตัวกลางสำคัญในการแพร่กระจายของไวรัสเข้าสู่ร่างกายผ่านระบบทางเดินหายใจ ทำให้เชื้อไวรัสโควิด-19 แพร่หรือระบาดได้ดีขึ้น จากรายงานการวิจัยพบว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ในประเทศจีนที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  จะมีจำนวนผู้ติดเชื้อไวรัสโควิด-19 รายวันในประเทศจีนเพิ่มขึ้น 2.24% จากรายงานวิจัย [8] ไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่จะมีขนาดอนุภาคหลากหลายอยู่ระหว่าง 60–140 นาโนเมตร มีการปะปนอยู่ในละอองฝอยที่เกิดจากการไอ จาม ดังนั้นหากพิจารณาผลกระทบทางสุขภาพจากอนุภาคละอองลอยขนาดในช่วง 15–700 นาโนเมตร

จากการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 และปัญหาฝุ่น PM2.5 ดังกล่าว ทำให้เครื่องฟอกอากาศภายในอาคารจึงมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับสถานที่ทำงาน โรงพยาบาล โดยเฉพาะห้องปลอดความเป็นพิษ และที่พักรักษา โดยเครื่องฟอกอากาศภายในอาคารจะช่วยในการขจัดปัญหาเรื่องเชื้อโรค โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรีย ควันบุหรี่ ฝุ่นและกลิ่นต่างๆ สามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็ก 0.01 ไมครอน ที่ปะปนอยู่ในอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของโรคเชื้อหุ้มสมองอักเสบ โรคปอดอักเสบ และโรคทางเดินหายใจอื่นๆ เช่น โรคภูมิแพ้ โรคหอบหืด ตามที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ในปัจจุบันเครื่องฟอกอากาศภายในอาคารมีทั้งแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานภายในที่พักรักษาและอุตสาหกรรม โดยแบบที่เหมาะสมกับพักรักษาเป็นแบบแผ่นกรองและการใช้ไฟฟ้าสถิตเป็นระบบที่ไส้กรองสามารถถอดเปลี่ยนหรือล้างทำความสะอาดได้บ่อยครั้งตามที่ต้องการ จึงไม่เป็นที่สะสมของสิ่งสกปรกและเชื้อโรค และยังช่วยประหยัดวัสดุสิ้นเปลืองและช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ส่วนแบบที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมเป็นเครื่องฟอกอากาศระบบเปลี่ยนไส้กรอง ซึ่งมีไส้กรองหลายชั้นหลายแบบ ตั้งแต่ไส้กรองหยาบ (Pre-filter) ไส้กรองปานกลาง (Medium filter) ไส้กรองละเอียด (HEPA filter) และไส้กรองกลิ่น (Carbon filter) มีเครื่องขนาดเล็กและใหญ่ให้เลือกใช้ให้เหมาะกับงานแต่ละประเภท ในการกรองกลิ่น ฝุ่น ไอสารระเหย และอื่นๆ

แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องฟอกอากาศภายในอาคารที่มีจำหน่ายในประเทศส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคในการกรองฝุ่นด้วยแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง (High-efficiency particulate air) หรือ HEPA Filter ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นที่สูงถึง 99.97% ที่อนุภาคขนาด 0.3 ไมครอน แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องฟอกอากาศที่ใช้แผ่นกรองเหล่านี้ยังมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อปีที่สูง โดยเฉลี่ย 3,000–6,000 บาท ต่อปี สำหรับการเปลี่ยนแผ่นกรองปีละ 1–2 ครั้ง [9] อีกทั้ง เครื่องฟอกอากาศที่ใช้แผ่นกรองนี้ยังทำให้เกิดขยะจากแผ่นกรองเสื่อมสภาพหรือขยะติดเชื้อหากใช้ในโรงพยาบาลที่มีปริมาณสูงซึ่งขยะแผ่นกรองเหล่านี้ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และต้องกำจัดด้วยวิธีการเผา ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศตามมา สำหรับโรงพยาบาลและสำนักงานขนาดใหญ่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและบริการจากตัวแทนจำหน่ายในราคาค่อนข้างสูง เช่น ค่าใช้จ่ายสำหรับการล้างและทำความสะอาดตัวกรอง หรือค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนตัวกรองอากาศใหม่ จึงทำให้มีการใช้งานในจำนวนที่จำกัดทำให้ไม่สามารถขยายให้มีการใช้งานในส่วนสำนักงานพื้นที่ทำงานหรือศูนย์ประชุมขนาดใหญ่ได้มากขึ้น สำหรับเทคนิคการกรองด้วยสนามไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าปัจจุบันยังเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่และกำลังเป็นที่น่าสนใจอย่างมากสำหรับการนำมาใช้ในบ้านและในอาคาร เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคสูงเทียบเท่าแผ่นกรองแบบ HEPA สามารถกำจัดเชื้อโรคหรือแบคทีเรียได้ด้วยสนามไฟฟ้าสถิต มีขนาดเล็กกะทัดรัดกว่าเครื่องฟอกอากาศแบบแผ่นกรองเมื่อเทียบกับขนาดของการบำบัดอากาศต่อพื้นที่ใช้งาน จึงช่วยประหยัดวัสดุสิ้นเปลืองและช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและไม่ก่อให้เกิดขยะจากแผ่นกรองเสื่อมสภาพหรือขยะติดเชื้อ แต่เครื่องฟอกอากาศหลักการไฟฟ้าสถิตยังมีราคาค่อนข้างสูงอยู่ในหลักหลายหมื่นบาทเมื่อเทียบกับหลักการการกรองด้วยแผ่นกรอง HEPA อย่างไรก็ตาม เครื่องฟอกอากาศภายในอาคารที่ใช้เทคนิคต่างๆ เหล่านี้มีลักษณะโครงสร้าง เทคนิค วิธีการ การทำงาน ลักษณะการใช้งาน ขนาดที่เหมาะสมกับห้องและราคาต่อขนาดห้องแตกต่างกันออกไป อีกทั้งผู้ใช้ยังไม่สามารถทราบถึง

ประสิทธิภาพการบำบัดหรือการกรองอนุภาคฝุ่นละอองของเครื่องฟอกแต่ละขนาดของเครื่องหรือแต่ละแบบว่ามีความเหมาะสมกับขนาดห้องที่ใช้และการทำงานอย่างไรในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์การประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคละอองลอยในอากาศของเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์สำหรับใช้ภายในอาคารที่พักอาศัยที่ใช้หลักการไฟฟ้าสถิตหรือประจุไฟฟ้าหรือไอออนโดยมีขนาดมิติของเครื่องต่างกัน โดยเปรียบเทียบกับเครื่องฟอกอากาศแบบแผ่นกรองอากาศ HEPA ทั่วไปทดสอบในพื้นที่ใช้งานขนาดเดียวกัน จำนวน 5 เครื่อง โดยแบ่งเป็นเครื่องฟอกหลักการไฟฟ้าสถิตหรือประจุไฟฟ้าหรือไอออนจำนวน 4 เครื่อง และเครื่องฟอกอากาศแบบแผ่นกรองจำนวน 1 เครื่อง เพื่อเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้บริโภคในการเลือกซื้อเครื่องฟอกอากาศแบบหลักการไฟฟ้าสถิตและแบบแผ่นกรองให้เหมาะสมกับการใช้งานภายในอาคาร

## 2. หลักการของเครื่องฟอกอากาศ

### 2.1. เครื่องฟอกอากาศแบบแผ่นกรอง

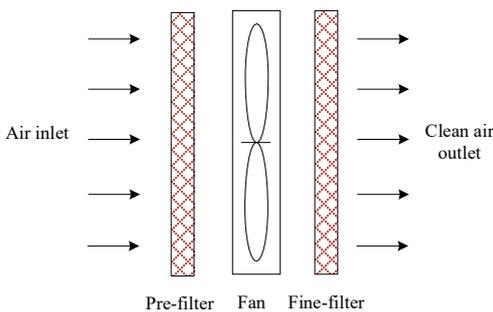
รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบและหลักการของเครื่องฟอกอากาศแบบแผ่นกรอง เครื่องฟอกอากาศแบบแผ่นกรองจะประกอบด้วยแผ่นกรองหยาบ (Pre-filter) แผ่นกรองละเอียด (Fine filter) และพัดลมสำหรับดึงอากาศ โดยพัดลมจะดึงอากาศผ่านแผ่นกรองหยาบเพื่อกรองอนุภาคขนาดใหญ่ก่อนจากนั้นอากาศทั้งหมดจะผ่านแผ่นกรองละเอียดเพื่อกรองอนุภาคขนาดเล็ก โดยการกรองอนุภาคแผ่นกรองเส้นใยไฟเบอร์ (Fibrous filter) จะพิจารณาการดักกรองอนุภาคด้วยเส้นใยเดี่ยว (Single fiber) ซึ่งประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยว (Single-fiber efficiency) จะถูกนิยามเป็นอัตราส่วนของจำนวนอนุภาคที่กระทบเส้นใยต่อจำนวนอนุภาคที่จะกระทบหากเส้นกระแส (Streamlines) ไม่ถูกเบี่ยงเบนไปรอบเส้นใย ถ้ารัศมีของเส้นใย  $R_f$  กำจัดทุกอนุภาคที่อยู่ภายในชั้นความหนา  $Y$  แสดงดังรูปที่ 2 โดยประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยว  $\eta$  จะถูกนิยามดังสมการที่ (1) ที่ได้มาจาก [4],[10]

$$\eta = \frac{Y}{R_f} \quad (1)$$

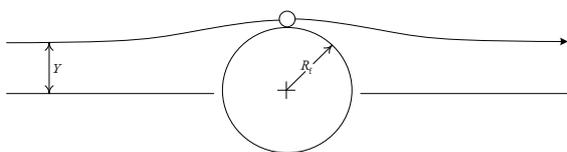
ประสิทธิภาพโดยรวมหรือประสิทธิภาพรวม  $E$  ของแผ่นกรองที่ประกอบด้วยหลายเส้นใยในแผ่นสามารถอธิบายตามความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยวได้ดังสมการที่ (2) ที่ได้มาจาก [4],[10]

$$E = 1 - \exp\left[\frac{-4\eta\alpha L}{\pi d_f(1-\alpha)}\right] \quad (2)$$

เมื่อ  $\alpha$  คือความแข็งหรือความหนาแน่นของตัวกรอง (1-ความพรุน (Porosity))  $L$  คือความลึกหรือความหนาของตัวกรองและ  $d_f$  คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยปกติแล้วเส้นการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะถูกเบี่ยงเบนจากเส้นกระแสเนื่องจากหลายกลไกผลที่ตามมาคืออนุภาคจะชนกับพื้นผิวของเส้นใยและจะเกาะติดหรือสะสมอยู่บนเส้นใย โดยกลไกสำคัญที่ทำให้อนุภาคเกาะติดหรือสะสมตัวอยู่บนเส้นใยคือกลไกการแพร่ (Diffusion) กลไกการกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อย (Inertial impaction) กลไกการสกัดกั้น (Interception) กลไกการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravitational settling) และกลไกการดึงดูดด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic attraction) ซึ่งประสิทธิภาพการสะสมตัวของอนุภาคบนแผ่นกรองจะขึ้นอยู่กับ ขนาดของอนุภาค ความหนาแน่น รูปร่าง ประจุไฟฟ้า ความเร็วของการไหล และคุณสมบัติทางกลของทางไฟฟ้าของตัวกรอง ตัวกรองโดยปกติทั่วไปที่ใช้จะประกอบด้วย ใยแก้ว (Fiber glass) หรือ พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate)



รูปที่ 1 หลักการของเครื่องฟอกอากาศแบบแผ่นกรอง



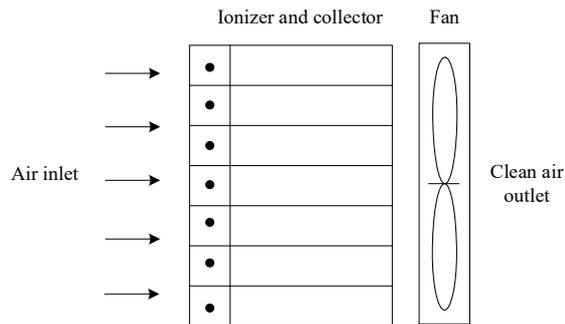
รูปที่ 2 การดักกรองอนุภาคด้วยเส้นใยเดี่ยว

## 2.2.เครื่องฟอกอากาศแบบไฟฟ้าสถิต

เครื่องฟอกอากาศแบบไฟฟ้าสถิตใช้กระบวนการการกรองอนุภาคแขวนลอยออกจากการไหลของอากาศโดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นภายใต้สนามไฟฟ้า รูปที่ 3 แสดงหลักการของเครื่องฟอกอากาศหลักการไฟฟ้าสถิต สนามไฟฟ้าจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ดิสชาร์จอิเล็กโทรด (Discharge electrode) และ คอลเลกชันอิเล็กโทรด (Collection electrode) เมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับดิสชาร์จอิเล็กโทรดโดยใช้คอลเลกชันอิเล็กโทรดเป็นกราวด์จะทำให้เกิดปรากฏการณ์คอโรนาดีสชาร์จ (Corona discharge) ขึ้นโดยรอบๆ ดิสชาร์จอิเล็กโทรด ไอออน (Ion) และอิเล็กตรอน (Electron) จะถูกสร้างขึ้นบริเวณที่เกิดคอโรนาดีสชาร์จและทำให้เกิดการไหลของกระแสไอออนผ่านช่องว่างระหว่างดิสชาร์จอิเล็กโทรดกับคอลเลกชันอิเล็กโทรด เมื่อมีอากาศที่มีอนุภาคแขวนลอยไหลผ่านเข้ามาในช่องว่างจะทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับไอออน ไอออนก็จะเกาะติดกับอนุภาคที่ไหลเข้ามาหรือที่เรียกว่าการอัดประจุอนุภาคเป็นผลทำให้อนุภาคที่มีประจุถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยแรงไฟฟ้าสถิตหรือที่เรียกว่าแรงकुलอมบีไปตกบนคอลเลกชันอิเล็กโทรดและถูกสะสมตัวอยู่บนคอลเลกชันอิเล็กโทรด โดยอนุภาคเหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากคอลเลกชันอิเล็กโทรดโดยการล้างทำความสะอาด โดยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของเครื่องฟอกอากาศหลักการไฟฟ้าสถิต  $\eta$  สามารถประมาณค่าได้จากสมการ Deutsch-Anderson ดังสมการที่ (3) ที่ได้มาจาก [11]

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{2\pi dLZ_p E}{Q}\right) \quad (3)$$

โดยมีรายละเอียดของการนำมาใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคดังนี้ เมื่อ  $L$  คือความยาวของอิเล็กโทรดของชุดกรองอนุภาค  $d$ คือระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดของชุดกรองอนุภาค  $Z_p$ คือความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของอนุภาค  $E$  คือสนามไฟฟ้า  $Q$  คืออัตราการไหลของชุดกรองอนุภาค



รูปที่ 3 หลักการทำงานของเครื่องฟอกอากาศแบบไฟฟ้าสถิต

### 3. ระเบียบวิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคละอองลอยในอากาศของเครื่องฟอกอากาศภายในอาคารเชิงพาณิชย์ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีขนาดและหลักการทำงานแตกต่างกันจำนวน 5 เครื่อง โดยแบ่งเป็นเครื่องฟอกหลักการไฟฟ้าสถิตหรือประจุไฟฟ้าหรือไอออนจำนวน 4 เครื่อง และเครื่องฟอกอากาศแบบแผ่นกรองจำนวน 1 เครื่อง โดยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการฟอกอากาศสำหรับพื้นที่ใช้งานตั้งแต่ 1–279 ตารางเมตร และมีเทคโนโลยีที่แตกต่างกันถึง 3 รูปแบบ ประกอบด้วยเทคโนโลยีโคโรนาดีซชาร์จ (Corona Discharge) ที่จะทำการปล่อยประจุไอออนลบเสมือนช่วงฟ้าผ่าเพื่อขจัดเชื้อโรค และสิ่งที่เป็นพิษในอากาศได้ เทคโนโลยีฆ่าเชื้อในอากาศและบนพื้นผิว ที่มีระบบปล่อยประจุไอออนลบ (Photo Catalytic Ionization) และเทคโนโลยีแผ่นกรอง 3 ชั้นคือ แผ่นกรองอากาศขั้นต้น (Pre-Filters) เป็นกลุ่มแผ่นกรองอากาศขั้นต้น มีหน้าที่ดักจับฝุ่นขนาดใหญ่ก่อนจะผ่านเข้าสู่แผ่นกรองชั้นถัดไป แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูงกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอน (HEPA) และแผ่นกรองดูดซับ สารเคมี และกลิ่นไม่พึงประสงค์ (Carbon) โดยมีขนาดของระบบกำลังไฟฟ้าใช้งานที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.03–66 วัตต์ เพื่อนำมาทดสอบถึงประสิทธิภาพการบำบัดหรือการกรองอนุภาคฝุ่นละอองของเครื่องฟอกแต่ละแบบว่ามีความเหมาะสมกับขนาดห้องและการใช้งานอย่างไร โดยทดสอบกับพื้นที่ใช้งานขนาดเท่ากัน รูปที่ 4(ก) แสดง

แผนภาพการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องฟอกอากาศ ในการทดสอบการกรองอากาศของเครื่องฟอกอากาศทำการทดสอบโดยใช้เครื่องกำเนิดละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (Atomizer aerosol generator) ของบริษัท TSI (TSI Incorporated, Minnesota, USA) โมเดล 3076 สร้างอนุภาค Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat (DEHS) ในการทดสอบ รูปที่ 5 แสดงกราฟการกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ของอนุภาคละอองลอย DEHS ที่วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบสแกนความเคลื่อนที่ได้ (Scanning mobility particle sizer) จากรูปอนุภาคละอองลอย DEHS มีการกระจายขนาดในช่วงขนาด 0.015–1  $\mu\text{m}$  มีค่าความเข้มข้นเชิงมวล (Mass concentration) ของอนุภาคละอองลอยประมาณ 330  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และมีความเข้มข้นเชิงจำนวน (Number concentration) ของละอองลอยประมาณ 7,000 particles/cm<sup>3</sup> ในการวิจัยนี้ได้ทดสอบเครื่องฟอกทั้งหมดภายในห้องจำลองขนาดมิติ 6m × 6m × 3m หรือประมาณ 36 ตารางเมตร เป็นห้องที่มีขนาดมิติใกล้เคียงกับห้องนอนหรือห้องพักผ่อนภายในบ้าน [12] ซึ่งสอดคล้องตามกฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกความตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หมวด 2 ส่วนที่ 2 ข้อ 20 และข้อ 22 ว่าด้วยเรื่องห้องนอนในอาคารได้ระบุไว้ว่า ห้องนอนควรกว้างไม่น้อยกว่า 2.5 เมตร ความสูงไม่น้อยกว่า 2.6 เมตร มีพื้นที่ภายในห้องไม่น้อยกว่า 8 ตารางเมตร เพื่อให้ได้ข้อมูลประสิทธิภาพของการใช้งานจริงของแต่ละเครื่อง โดยวิธีการทดสอบได้อ้างอิงตามวิธีการมาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2015 [10] ในการทดสอบนี้ได้สร้างละอองลอยภายในห้องและมีการวัดความเข้มข้นละอองลอยที่ความสูงประมาณ 0.7 เมตร ด้วยเครื่องวัดฝุ่น DustTrak DRX Aerosol Monitor ของบริษัท TSI โมเดล 8533 ที่อัตราการไหลการเก็บตัวอย่าง 1.0 L/min โดยทำเป็นเวลา 120 นาทีโดยไม่มีการเปิดเครื่องฟอกอากาศ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติใช้งานของเครื่องฟอกอากาศที่ทดสอบทั้ง 5 เครื่อง

คุณสมบัติใช้งาน	เครื่องฟอกอากาศที่ทดสอบ				
	A	B	C	D	E
เทคโนโลยี	โคโรนาไดชาร์จ	Photo Catalytic Ionization	แผ่นกรอง Filter Pre, HEPA ,Carbon	Photo Catalytic Ionization	Photo Catalytic Ionization
ระบบปล่อยประจุ	ประจุไอออนลบ	ประจุไอออนลบ	ไม่มี	ประจุไอออนลบ	ประจุไอออนลบ
ระบบแจ้งซ่อมบำรุง	มี	มี	มี	มี	มี
ระบบกำจัดกลิ่น	มี	มี	ไม่มี	มี	มี
ผลิตอากาศบริสุทธิ์	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	550 ลบ.ม./ ชั่วโมง	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
ระบบไฟฟ้าใช้งาน	220V, 50Hz	220V, 50Hz	220V, 50Hz	220V, 50Hz	220V, 50Hz
กำลังไฟฟ้าใช้งาน	<0.03 วัตต์	30 วัตต์	66 วัตต์	30 วัตต์	30 วัตต์
ขนาดเครื่อง (ก × ย × ส)	5.6×6.4×2.4 cm <sup>3</sup>	11.6 ×12.8×4.8 cm <sup>3</sup>	26.6×26.6×73.5 cm <sup>3</sup>	16.5×17.8×16.5 cm <sup>3</sup>	22.9×30.5×30.5 cm <sup>3</sup>
พื้นที่ใช้งาน	1 ตรม.	30 ตรม.	60 ตรม.	139 ตรม.	279 ตรม.

เพื่อวัดความเข้มข้นอนุภาคละอองลอยขณะที่ยังไม่มี การฟอกอากาศเพื่อเก็บข้อมูลการตกตะกอนของอนุภาค ฝุ่นตามธรรมชาติ หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบโดย สร้างอนุภาคตัวอย่างที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่าเดิมโดยทำ การเปิดเครื่องบำบัดและทำการวัดความเข้มข้นอนุภาค ละอองลอยทุก 1 นาทีและหาค่าเฉลี่ยทุก 10 นาทีเป็นเวลา 120 นาทีเพื่อเก็บข้อมูลการตกตะกอนตัวของอนุภาคฝุ่น ขณะเปิดเครื่องฟอกอากาศและนำข้อมูลการวัดความ เข้มข้นละอองลอยที่ได้จากการวัดในขณะที่เครื่องดับแบบ ปิด (การตกตะกอนตัวของอนุภาคฝุ่นตามธรรมชาติ) และ เปิด (การตกตะกอนตัวของอนุภาคฝุ่นขณะเปิดเครื่องฟอก อากาศ) หาค่าประสิทธิภาพการกรองหรือการตกตะกอน อนุภาคของเครื่องเทียบกับเวลาการบำบัดและทำการ ทดลองซ้ำ 3 การทดลองต่อเครื่อง รูปที่ 4(ข) แสดงรูปถ่าย ขณะทำทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดอากาศ โดย ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคฝุ่นของเครื่องฟอกที่ไม่รวม การตกตะกอนตัวของฝุ่นตามธรรมชาติ  $\eta_r$  คำนวณได้ดัง สมการที่ (4) ที่ได้มาจาก [13]

$$\eta_r = \left(1 - \frac{c_t}{c_n}\right) \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ  $c_t$  คือความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคของการ ตกตะกอนตัวของอนุภาคฝุ่นขณะเปิดเครื่องฟอกอากาศ และ  $c_n$  คือความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคของการ ตกตะกอนตัวของอนุภาคฝุ่นตามธรรมชาติ และค่า ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคฝุ่นของเครื่องฟอกที่รวม การตกตะกอนตัวของฝุ่นตามธรรมชาติ  $\eta_n$  สามารถ คำนวณได้ดังสมการที่ (5) ที่ได้มาจาก [13]

$$\eta_n = \left(1 - \frac{c_0}{c_i}\right) \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ  $c_0$  คือความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคของการ ตกตะกอนของอนุภาคฝุ่นขณะเปิดเครื่องฟอกอากาศที่เวลา ที่ 0 นาทีและ  $c_i$  คือความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคของ การตกตะกอนตัวของอนุภาคฝุ่นขณะเปิดเครื่องฟอก อากาศที่เวลาที่  $i$  นาที สำหรับสมรรถนะของเครื่องฟอก อากาศสามารถประเมินได้ด้วยค่า CADR (Clean Air Delivery Rate) ตามมาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2015 ค่า CADR คืออัตราการส่งอากาศสะอาดคำนวณจากขนาด ของห้องทดสอบ (Test Chamber) การตกตะกอนตัวของฝุ่น ขณะเปิดเครื่องฟอกอากาศและการตกตะกอนตัวของฝุ่น ตามธรรมชาติ ในห้องทดสอบ (natural decay) โดยค่า

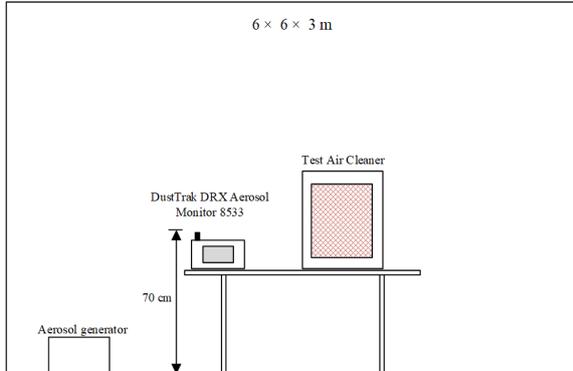
CADR ของเครื่องฟอกอากาศคำนวณได้ดังสมการที่ (6) ที่ได้มาจาก [14],[15]

$$CADR = V(k_t - k_n) \tag{6}$$

เมื่อ  $V$  คือขนาดของห้องทดสอบ ( $\text{ft}^3$ )  $k_t$  คือการตกตะกอนตัวของฝุ่นขณะเปิดเครื่องฟอกอากาศและ  $k_n$  คือการตกตะกอนตัวของฝุ่นตามธรรมชาติ โดยค่าการตกตะกอนตัวของฝุ่นขณะเปิดเครื่องฟอกอากาศและการตกตะกอนของฝุ่นตามธรรมชาติคำนวณได้ดังสมการที่ (7) ที่ได้มาจาก [14],[15]

$$k = \frac{(\sum_1^n t_i \ln C_{t_i}) - \frac{(\sum_1^n t_i)(\sum_1^n \ln C_{t_i})}{n}}{\sum_1^n t_i^2 - \frac{(\sum_1^n t_i)^2}{n}} \tag{7}$$

เมื่อ  $C_t$  คือความเข้มข้นของฝุ่นที่เวลา  $t$  และ  $n$  คือจำนวนของจุดข้อมูลที่ใช้ในการถดถอย (Regression) ซึ่งค่า  $k$  คือค่าคงที่การตกตะกอนมีหน่วยเป็น  $\text{min}^{-1}$  และ  $t$  คือเวลามีหน่วยเป็นนาที

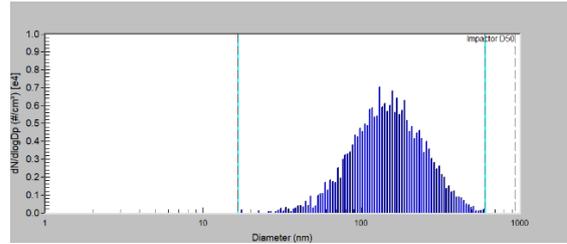


(ก)



(ข)

รูปที่ 4 (ก) ไลดอะแกรมทดสอบ และ (ข) ภาพถ่ายทดสอบ



รูปที่ 5 การกระจายขนาดของอนุภาค DEHS.

ตารางที่ 2 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศในการศึกษา

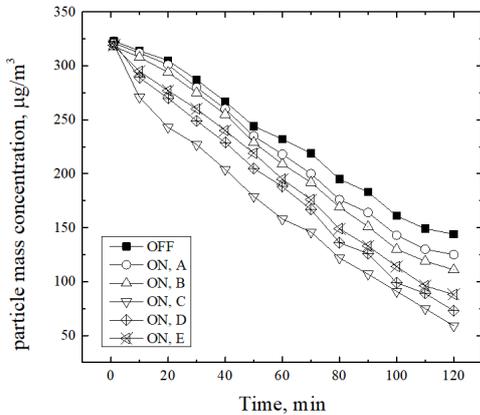
ตัวแปร	ช่วงการวิเคราะห์
ชนิดของอนุภาค	Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat
ความเข้มข้นของอนุภาค	320–330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ขนาดอนุภาค	<1.0 $\mu\text{m}$
ความชื้นสัมพัทธ์ทดสอบ	50–70 %RH
ทดสอบความดันบรรยากาศ	1 atm
อุณหภูมิในขณะที่ทดสอบ	25°C

จากตารางที่ 2 แสดงเงื่อนไขในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศ โดยแสดงของตัวแปรและช่วงการวิเคราะห์ที่ทดสอบ ในการทดสอบนี้จะอนุภาคชนิด Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat ความเข้มข้นของจำนวนอนุภาค ในช่วง 320–330  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ขนาดอนุภาคน้อยกว่า 1.0 ไมโครเมตร จะควบคุมอุณหภูมิในขณะที่ทดสอบที่ 25°C ความดันบรรยากาศขณะทดสอบที่ 1 atm และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องขณะทดสอบ 50–70 %RH

#### 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

รูปที่ 6 แสดงการลดลงของปริมาณฝุ่นรวมภายในห้องทดสอบในขณะที่เปิดเครื่องฟอกอากาศในช่วงเวลา 1–120 นาที จากรูปจะเห็นความแตกต่างระหว่างการปิด/เปิดเครื่องฟอก ในกรณีที่ปิดเครื่องฟอกค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นนาที่ที่ 1 เท่ากับ 323  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อเวลาผ่านไป 120 นาทีอนุภาคฝุ่นมีการลดลงตามธรรมชาติเหลือ 144  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  การลดลงหรือการตกตะกอนของฝุ่นโดยธรรมชาติเกิดจากกลไกการแพร่กระจายของอนุภาค (Particle diffusion) สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1  $\mu\text{m}$  และการแพร่กระจายกับการตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วง (Gravitational settling) ของ

อนุภาคสำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า  $0.1 \mu\text{m}$  โดยเมื่อเปิดเครื่องฟอกจะเห็นค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นมีการลดลงอย่างต่อเนื่องหมายความว่าเครื่องฟอกสามารถลดความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นภายในห้องจำลองลงได้



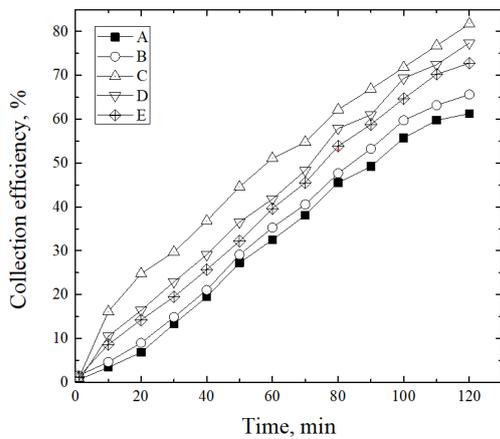
รูปที่ 6 การลดลงของปริมาณฝุ่นรวมภายในห้องทดสอบ

จากรูปที่ 3 เมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศ A ค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นรวมนาที่ที่ 1 เท่ากับ  $321 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อเวลาผ่านไป 120 นาทีฝุ่นรวมลดลงเหลือ  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศ B ค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นรวมนาที่ที่ 1 เท่ากับ  $318 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อเวลาผ่านไป 120 นาทีฝุ่นรวมลดลงเหลือ  $111 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศ C ค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นรวมนาที่ที่ 1 เท่ากับ  $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อเวลาผ่านไป 120 นาทีฝุ่นรวมลดลงเหลือ  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศ D ค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นรวมนาที่ที่ 1 เท่ากับ  $322 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อเวลาผ่านไป 120 นาทีฝุ่นรวมลดลงเหลือ  $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศ E ค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นรวมนาที่ที่ 1 เท่ากับ  $319 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อเวลาผ่านไป 120 นาทีฝุ่นรวมลดลงเหลือ  $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$  จากผลการทดสอบพบว่าค่าการลดลงของความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคฝุ่นแปรผันตรงกับระยะเวลาการทดสอบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาการทดสอบที่นานขึ้นทำให้อากาศภายในห้องที่ยังคงมีอนุภาคฝุ่นแขวนลอยอยู่หมุนเวียนผ่านเข้าไปในเครื่องฟอกซ้ำที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรอากาศของเครื่องฟอกคงที่ในช่วงระยะเวลาของการทดสอบ ซึ่งการหมุนเวียนอากาศนี้ทำให้อากาศที่ยังมีอนุภาคแขวนลอยค้างอยู่ถูกคัดกรองด้วยตัวกรองเส้นใยหรือตัวกรองไฟฟ้าสถิตและทำให้ความเข้มข้น

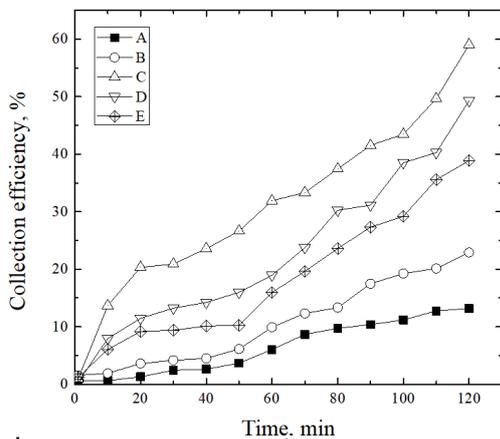
เชิงมวลของอนุภาคฝุ่นภายในห้องลดลงต่อเนื่องซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tintachart et al. [13] ที่ได้รายงานว่าการลดลงของความเข้มข้นของอนุภาคแปรผันตรงกับระยะเวลาในการใช้งานของเครื่องฟอกอากาศเช่นกัน

ในขณะที่ได้ปิดและเปิดเครื่องฟอกในช่วงเวลา 1-120 นาทีของอนุภาคฝุ่นในขณะที่ปิดและเปิดเครื่องฟอกที่เวลาต่างๆ รูปที่ 7-8 แสดงประสิทธิภาพการกรองอนุภาคฝุ่นของเครื่องฟอกที่รวมและไม่รวมการตกตะกอนตัวของฝุ่นตามธรรมชาติ ในกรณีที่รวมการตกตะกอนของฝุ่นตามธรรมชาติจะให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคฝุ่นของเครื่องฟอกสูงสุดเท่ากับ 61.30, 65.63, 81.73, 77.39 และ 72.755 % ที่ 120 นาทีสำหรับเครื่องฟอกอากาศ A, B, C, D และ E ตามลำดับ ในกรณีที่ไม่วรวมการตกตะกอนตัวของฝุ่นตามธรรมชาติจะให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคฝุ่นของเครื่องฟอกสูงสุดเท่ากับ 13.19, 22.91, 59.02, 49.03 และ 38.88 % ที่ 120 นาทีสำหรับเครื่องฟอกอากาศ A, B, C, D และ E ตามลำดับ ตามมาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2015 ประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคฝุ่นในอากาศของเครื่องทดสอบกำหนดให้ต้องไม่ต่ำกว่า 99 % จึงจะยอมรับตามมาตรฐานนี้ รูปที่ 9 อัตราการปล่อยอากาศสะอาด (CADR) ของเครื่องฟอกอากาศ A, B, C, D และ E จากรูปพบว่าค่า CADR สำหรับของเครื่องฟอกอากาศ A, B, C, D และ E มีค่าเท่ากับ 4.47, 7.58, 24.36, 17.82 และ  $13.7 \text{ ft}^3/\text{h}$  ตามลำดับ และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของค่า CADR สำหรับของเครื่องฟอกอากาศ A, B, C, D และ E จากการทดลองเท่ากับ 0.146, 0.126, 0.510, 0.388 และ 0.439 ตามลำดับ จากค่า CADR แสดงให้เห็นว่าค่า CADR มีความสัมพันธ์กับขนาดและอัตราการปล่อยอากาศของเครื่องฟอกอากาศ ( $\text{ft}^3/\text{h}$ ) เครื่องฟอกอากาศที่มีอัตราการปล่อยอากาศออกจากเครื่องสูงก็จะมีค่า CADR สูงและมีค่าประสิทธิภาพการกรองที่สูงขึ้นตาม ในการเลือกใช้เครื่องฟอกอากาศจำเป็นต้องพิจารณาขนาดห้องที่ใช้งานต้องเหมาะสมกับขนาดห้องที่กำหนดตามคุณสมบัติของเครื่องฟอกอากาศปกติกำหนดเป็น ตารางเมตร เมื่อเทียบกับเครื่องฟอกอากาศที่มีขนาดตารางเมตรเท่ากันควรเลือกเครื่องที่มีค่า CADR สูงที่สุดและมีเอกสารรับรองว่าผ่านการทดสอบมาตรฐานที่มี

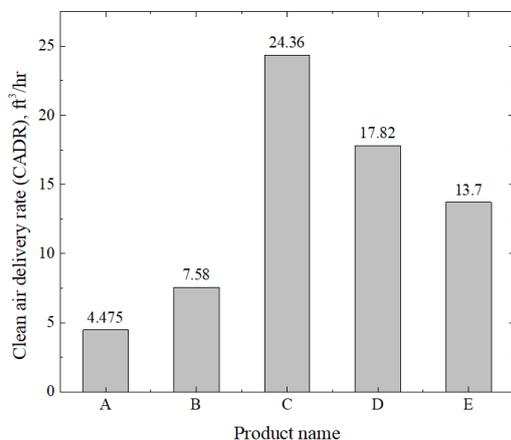
ความน่าเชื่อถือ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานได้ตรงตามความเหมาะสมของพื้นที่ใช้งาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการกรองที่รวมผลการตกตะกอนของฝุ่นตามธรรมชาติของเครื่องในช่วงเวลา 1–120 นาที



รูปที่ 8 ประสิทธิภาพการกรองที่ไม่รวมการตกตะกอนของฝุ่นตามธรรมชาติของเครื่องในช่วงเวลา 1–120 นาที



รูปที่ 9 อัตราการปล่อยอากาศสะอาดของเครื่องฟอก

## 5. สรุปผล

ในบทความฉบับนี้ได้นำเสนอการประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคละอองลอยในอากาศของเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์สำหรับใช้ภายในอาคารที่พักอาศัยที่มีขนาดและหลักการที่แตกต่างกันจำนวน 5 เครื่อง ได้แก่ เครื่องฟอกอากาศ A, B, C, D และ E เพื่อเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้บริโภคในการเลือกซื้อหรือเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการกรองของอนุภาคฝุ่นของเครื่องฟอกทั้ง 5 เครื่องตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2015 กับเครื่องกำเนิดอนุภาคละอองลอยภายในห้องทดสอบขนาด  $6\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3\text{ m}$  ในการทดสอบใช้เครื่องกำเนิดละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์สร้างอนุภาค Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat (DEHS) ที่มีการกระจายขนาดในช่วงขนาด  $0.015\text{--}1\ \mu\text{m}$  ที่ค่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคละอองลอยประมาณ  $330\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  และมีความเข้มข้นเชิงจำนวนของละอองลอยประมาณ  $7,000\ \text{particles}/\text{cm}^3$  เครื่องวัดฝุ่นได้ถูกใช้วัดค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคฝุ่นภายในห้องทดสอบ จากผลการทดสอบพบว่าค่าการลดลงของความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคฝุ่นแปรผันตรงกับระยะเวลาการทดสอบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาการทดสอบที่นานขึ้นทำให้อากาศภายในห้องที่ยังคงมีอนุภาคฝุ่นแขวนลอยอยู่หมุนเวียนผ่านเข้าไปในเครื่องฟอกซ้ำที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรอากาศของเครื่องฟอกคงที่ในช่วงระยะเวลาของการทดสอบ โดยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคฝุ่นในกรณีนี้ที่รวมการตกตะกอนของฝุ่นตามธรรมชาติจะให้ของเครื่องฟอกสูงสุดเท่ากับ 61.30, 65.63, 81.73, 77.39 และ 72.755 % ที่ 120 นาที สำหรับเครื่องฟอกอากาศ A, B, C, D และ E ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกรองอนุภาคฝุ่นในกรณีที่ไม่รวมการตกตะกอนของฝุ่นตามธรรมชาติของเครื่องฟอกสูงสุดเท่ากับ 13.19, 22.91, 59.02, 49.03 และ 38.88 % ที่ 120 นาที เครื่องฟอก A, B, C, D และ E ตามลำดับ ในการทดสอบนี้พบว่าค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศ A, B, C, D และ E มีค่าเท่ากับ 4.47, 7.58, 24.36, 17.82 และ 13.7  $\text{ft}^3/\text{h}$  ตามลำดับ และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard

Deviation) ของค่า CADR สำหรับของเครื่องฟอกอากาศ A, B, C, D และ E จากการทดลองเท่ากับ 0.146, 0.126, 0.510, 0.388 และ 0.439 ตามลำดับ

ดังนั้น ในการเลือกใช้เครื่องฟอกอากาศจำเป็นต้องพิจารณาเลือกขนาดเครื่องฟอกอากาศให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ใช้งานที่ได้กำหนดตามคุณสมบัติของเครื่องฟอกอากาศนั้นๆ ปกติกำหนดเป็นตารางเมตร ข้อพิจารณาเมื่อเทียบกับเครื่องฟอกอากาศที่มีขนาดพื้นที่ใช้งานตารางเมตรเท่ากัน ควรเลือกเครื่องฟอกอากาศที่มีค่า CADR (Clean Air Delivery Rate) สูงที่สุดและมีเอกสารรับรองว่าผ่านการทดสอบมาตรฐานที่น่าเชื่อถือ เช่น มาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2015 และอื่นๆ เป็นต้น

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมภายใต้โครงการนี้ ได้รับการสนับสนุนจากเงินจากโครงการการจัดการเมืองเชิงระบบในภาวะฉุกเฉินเพื่อรับผลกระทบของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ภายใต้การสนับสนุนของหน่วยบริหารและจัดการทุนวิจัยและนวัตกรรมด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) และขอขอบคุณหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] *COVID-19 situation report*, Department of Disease Control, Oct. 24, 2020. [Online]. Available: <https://covid19.ddc.moph.go.th/>
- [2] D. Thepnuan, N. Yabueng, S. Chantara, T. prapamontol and Y. I. Tsai, "Simultaneous Determination of Carcinogenic PAHs and Levoglucosan Bound to PM2.5 for Assessment of Health Risk and Pollution Sources during a Smoke Haze Period," *Chemosphere*, vol. 257, 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127154.
- [3] P. Intra, *Electrostatic aerosol measurement and control technology*, Chula Press, Bangkok, Thailand, 2019.
- [4] WC. Hinds, *Aerosol Technology*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1999.
- [5] A. Fushimi, S. Hasegawa, K. Takahashi, Y. Fujitani, K. Tanabe and S. Kobayashi, "Atmospheric Fate of Nuclei-mode Particles Estimated from the Number Concentrations and Chemical Composition of Particles Measured at Roadside and Background Sites," *Atmospheric Environment*, vol.42, no.5, pp.949-959, 2008, doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.10.019.
- [6] P. Intra and T. Siri-achawawath, "Development of an Online Particulate Monitoring System for Measurement of the Mass and Number Concentrations and Size Distributions of Ambient PM10, PM2.5 and sub-400 nm Particles," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol.41, no.6, pp.1339-1347, 2019.
- [7] U. Vinitketkumnun, T. Chewonarin and N. Chunram, "Oxidative damage to DNA from alveolar lung cell lines by air-borne particulate matter PM 2.5 & PM 10 extractable from Chiang Mai and Lumphun," The Thailand Research Fund, Bangkok, Thailand, final Rep. 2007.
- [8] A. Srivastava, "COVID-19 and Air pollution and Meteorology-an Intricate Relationship: A Review," *Chemosphere*, vol.263, 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128297.
- [9] When do I need to replace the air filter, Khaosod Online, Jan. 3, 2020 [Online] Available: [https://www.khaosod.co.th/pr-news/news\\_3313589](https://www.khaosod.co.th/pr-news/news_3313589),
- [10] K. Willeke and P.A. Baron, *Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1993.
- [11] H. J. White, "Particle charging in electrostatic precipitation," *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. 70, no. 2, pp. 1186-1191, 1951, doi: 10.1109/T-AIEE.1951.5060545.

- [12] Ministerial regulations Issue 55. (2000). *Building Control Act 1979*. Available: [https:// download.asa.or.th/03media/04law/cba/mr/mr43-55-upd68.pdf](https://download.as.or.th/03media/04law/cba/mr/mr43-55-upd68.pdf)
- [13] K. Tintachart, W. Norkaew, A. Yawootti and P. Intra, "Modification and Field Testing of an Indoor Electrostatic Air Purifier," *Journal of KMUTNB*, vol. 27, no.1, pp. 31–46, 2017.
- [14] 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.
- [15] H. Kim, B. Han, C. G. Woo, Y. Kim, G. 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, 2017, doi: 10.1109/TIA.2017.2745499.