



ประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศชนิดนาโนคอนไฟน์คะตะไลติก ออกซิเดชันในการลดปริมาณฝุ่นละอองและจุลินทรีย์ในอากาศภายใน ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การแพทย์

Efficiency of Nano-confined Catalytic Oxidation Air Purifier to Reduce Amount of Particulate Matter and Airborne Microorganisms in Medical Science Laboratory

พรเพ็ญ กำณารายณ์* สุนทรี สวนทับทิม

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

Pornpen Gamnarai* Suntaree Suantubtim

Faculty of Medicine, Thammasat University, Pathum Thani 12120

Received 30 Deember 2021; Received in revised 29 August 2022; Accepted 9 September 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีเป้าหมายในการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศชนิดนาโนคอนไฟน์คะตะไลติกออกซิเดชันซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ในเครื่องฟอกอากาศ การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศทำโดยตรวจวัดก่อนการเปิดเครื่องฟอกอากาศ และหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศที่เวลา 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง และ 14 วัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศในการเปิดใช้งานในระยะเวลาสั้นและระยะเวลายาวต่อเนื่อง โดยทำการตรวจวัดภายในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การแพทย์ จำนวน 3 ห้องปฏิบัติการ ได้แก่ห้องปฏิบัติการชีวเคมี ห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ และห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา ซึ่งจากผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศหลังจากเปิดเครื่องฟอกอากาศ พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศได้ตั้งแต่ชั่วโมงแรกของการเปิดใช้งาน และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานดัชนีคุณภาพอากาศในประเทศไทย พบว่าสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองจากระดับไม่ปลอดภัยเป็นระดับดีได้ภายในหลังจากเปิดเครื่องฟอกอากาศเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศกับมาตรฐานค่าดัชนีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศจากระดับ แย่ หรือแย่มาก เป็นระดับปานกลางได้ในชั่วโมงที่ 6 ภายหลังจากเปิดเครื่องฟอกอากาศเช่นเดียวกัน ส่วนกรณีเปิดเครื่องฟอกอากาศในระยะยาวและต่อเนื่องเป็นเวลา 14 วัน โดยไม่เปิดระบบปรับอากาศพบว่าสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองและปริมาณเชื้อราได้ดี

คำสำคัญ: เครื่องฟอกอากาศ; สภาพแวดล้อม; ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การแพทย์

Abstract

This research aims to study the efficiency of nano-confine catalytic oxidation air purifiers (NCCO), a new air purifier technology. Air purifier efficiency was measured by comparing the amount of particulate matter and airborne microorganisms before and after turning on the air purifier (after 1 hour, 6 hours, and 14 days) in three medical science laboratories, biochemistry, anatomy, and microbiology laboratory. The results significantly reduced the amount of particulate matter and airborne microorganisms in the first hour of operation. When compared to the Air Quality Index (AQI) standards in Thailand, it was found that the amount of particulate matter from unsafe to good levels can be reduced after 6 hours of turning on the air purifier. Similarly, by comparing the number of airborne microorganisms by Index of Microbial Air Contamination (IMA), the number of bacteria and fungi was reduced from bad or very bad to moderate at 6 hours after turning on the air purifier. Turning on the air purifier for a long time and continuously for 14 days without an air conditioning system can reduce the amount of particulate matter and fungi.

Keywords: Air purifier; Environmental; Medical science laboratory

1. บทนำ

ปัญหามลพิษทางอากาศภายในอาคารจัดเป็นปัญหาสำคัญที่มีการศึกษาและหาวิธีการในการแก้ปัญหาอย่างต่อเนื่องตลอดหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากมลพิษในอากาศจัดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานภายในอาคารเป็นอย่างมาก จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามลพิษเหล่านี้เกิดได้จากสองสาเหตุหลัก ได้แก่ กิจกรรมของผู้อาศัยอยู่ในอาคาร เช่น การทำความสะอาด การใช้วัสดุบางอย่างในระหว่างการก่อสร้างหรือปรับปรุง และการทำงานกับสารอินทรีย์ระเหยง่าย รวมทั้งการสะสมของเชื้อราหรือเชื้อแบคทีเรียที่เกิดจากการระบายอากาศที่ไม่เหมาะสม และอีกหนึ่งสาเหตุหลักเกิดจากมลพิษภายนอกอาคารที่มีการรั่วไหลเข้าสู่ตัวอาคาร ซึ่งแม้ว่ามลพิษเหล่านี้ภายในอาคารจะมีปริมาณน้อยแต่เมื่อมีการสัมผัสในระยะเวลานาน มักก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้เช่นกัน [1] อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถควบคุมปริมาณมลพิษภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานภายในอาคาร ทำให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อ

หาวิธีการต่างๆ ในการควบคุมหรือลดปริมาณมลพิษดังกล่าวกันอย่างกว้างขวาง หนึ่งในนั้นได้แก่การใช้เครื่องฟอกอากาศ ซึ่งเครื่องฟอกอากาศที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ทำให้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศเป็นจำนวนมาก เช่นการศึกษาเครื่องฟอกอากาศชนิดที่มีความจำเพาะต่อการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ ในงานวิจัยของ Limmongkon Y et al. [2] ซึ่งทำการศึกษาความสามารถของเครื่องฟอกอากาศชนิดอิเล็กทรอนิกส์ในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ ซึ่งพบว่าเครื่องฟอกอากาศสามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้จนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานภายใน 30-40 นาที ยกเว้นเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ที่ต้องใช้เวลานานกว่านั้นในการกำจัด หรืองานวิจัยอีกหนึ่งชิ้นของ Limmongkon Y et al. [3] ซึ่งทำการทดสอบการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศกับเครื่องฟอกอากาศชนิดใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ชนิดไฟฟ้าสถิต ชนิดใช้รังสีอัลตราไวโอเลต และชนิดใช้รังสีอัลตราไวโอเลตที่มีแผ่นกรองอนุภาคชั้นต้นพบว่าเครื่องฟอกอากาศชนิดโฟโตคะตะไลซิสและชนิด

ไฟฟ้าสถิตมีความสามารถในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ชนิดใช้รังสีอัลตราไวโอเลตมีประสิทธิภาพในการกำจัดจุลินทรีย์ต่ำกว่า และเมื่อเพิ่มแผ่นกรองอนุภาคก่อนฉายด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตพบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ส่วนงานวิจัยที่ทำการศึกษาศักยภาพของเครื่องฟอกอากาศต่อการลดปริมาณฝุ่นละอองหรือมลพิษในอากาศ ได้แก่งานวิจัยของ Hacker DW และ Sparrow EM [4] ได้ทำการศึกษาศักยภาพของเครื่องฟอกอากาศชนิดใช้แผ่นกรอง HEPA ควบคู่กับการใช้ไฟฟ้าสถิต และชนิดใช้แผ่นกรอง HEPA และ pre filter ที่มีการใช้งานทั่วไปในท้องตลาดต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นละอองในภาชนะนอนหลับของผู้มีอาการภูมิแพ้และหอบหืด พบว่าเครื่องฟอกอากาศชนิดใช้แผ่นกรอง HEPA ควบคู่กับการใช้ไฟฟ้าสถิตมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฝุ่นละอองได้ถึง 99% ในขณะที่ส่วนหนึ่งในวิจัยของ Hyeon-Ju Oh et al. [5] ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศชนิดใช้แผ่นกรอง HEPA ร่วมกับแผ่นกรองคาร์บอนที่มีส่วนผสมของถ่านกัมมันต์ในสถานรับเลี้ยงเด็กพบว่าเครื่องฟอกอากาศสามารถลดปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} PM₁₀ เชื้อรา และเชื้อแบคทีเรียในอากาศลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทดสอบด้วยการติดตั้งเครื่องฟอกอากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ซึ่งจากงานวิจัยเหล่านี้พบว่ายังมีงานวิจัยเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่มีการศึกษาศักยภาพของเครื่องฟอกอากาศชนิดที่สามารถลดปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศภายในเครื่องเดียวกัน เนื่องจากความสามารถหรือความจำเพาะของแต่ละเทคโนโลยีที่ใช้ในเครื่องฟอกอากาศมีความแตกต่างกันรวมทั้งมีข้อดีและข้อจำกัดหลายๆ ด้าน เช่นเครื่องฟอกอากาศชนิดใช้แผ่นกรองที่มีความนิยมใช้งานมากที่สุด ซึ่งมีกลไกการทำงานโดยการนำอากาศผ่านเข้าเครื่องและแผ่นกรองเพื่อดักจับอนุภาคฝุ่นละออง สารมลพิษต่างๆ ก่อนจะปล่อยอากาศที่บริสุทธิ์ออกมา โดยแผ่นกรองที่นิยมใช้ได้แก่แผ่นกรองชนิด HEPA ซึ่งสามารถดักจับอนุภาคใน

อากาศขนาด 0.3 ไมครอนได้ถึง 99.97% แต่มีข้อจำกัดต่อการดักจับสารอินทรีย์ หรือสารเคมีระเหยง่าย ส่วนเครื่องฟอกอากาศชนิดใช้ไอออน ถึงแม้จะมีคุณสมบัติในการกำจัดกลิ่นและกำจัดเชื้อโรคในอากาศได้ดีแต่ต้องมีการใช้ไอออนในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากปริมาณไอออนที่สูงเกินไปสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ เครื่องฟอกอากาศชนิดใช้ไฟฟ้าสถิตจะทำให้อนุภาคของฝุ่นละอองหรือมลพิษในอากาศเปลี่ยนเป็นประจุลบและตกตะกอนลงสู่แผ่นดักจับ จึงทำให้อากาศที่ผ่านระบบนี้ปราศจากมลพิษแต่ยังมีข้อจำกัดในการต้องทำความสะอาดแผ่นดักจับตะกอนบ่อยครั้ง ในขณะที่เครื่องฟอกอากาศชนิดใช้ผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดกลิ่นและดักจับสารเคมีระเหยง่ายได้ดี แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถกำจัดหรือดักจับอนุภาคฝุ่นละออง หรือเชื้อราหรือแบคทีเรียในอากาศ ในขณะที่เครื่องฟอกอากาศชนิดใช้แสงอัลตราไวโอเลต สามารถกำจัดเชื้อราหรือเชื้อแบคทีเรียในอากาศได้ดี แต่แสงอัลตราไวโอเลตต้องสัมผัสกับตัวเชื้อโดยตรงจึงจะได้ผลดี ส่วนเครื่องฟอกอากาศชนิดนาโนคอนไฟน์คตะไลติกออกซิเดชันมีการวิจัยถึงประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศชนิดนี้พบว่าสามารถลดปริมาณฝุ่นละออง กลิ่น สารเคมีระเหยง่าย คาร์บอนหรือได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6,7]

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีเป้าหมายในการศึกษาศักยภาพของเครื่องฟอกอากาศชนิดนาโนคอนไฟน์คตะไลติกออกซิเดชัน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ในเครื่องฟอกอากาศในปัจจุบัน ซึ่งมีคุณสมบัติในการลดปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศได้ภายในเครื่องเดียวกัน โดยทำการตรวจวัดปริมาณของฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศภายในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การแพทย์ ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีกิจกรรมต่างๆ ในการปฏิบัติงานที่ก่อให้เกิดมลพิษในอากาศที่หลากหลาย เช่นฝุ่นละออง เชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ สารเคมีระเหยง่าย รวมทั้งสารก่อให้เกิดภูมิแพ้ต่างๆ

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้เครื่องฟอกอากาศ ยี่ห้อ bMOLA รุ่น BM300 ซึ่งเป็นเครื่องฟอกอากาศที่ใช้เทคโนโลยีชนิดนาโนคอนไฟน์คะตะไลติกออกซิเดชัน (nano-confined catalytic oxidation; NCCO) เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยคุณสมบัติการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Active Oxygen ร่วมกับการดูดซับและเร่งปฏิกิริยาของ Zeolite ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีรูพรุนระดับอนุภาคนาโน (Nanopore) และทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ Active Oxygen สารระเหยและสารมลพิษต่างๆ ไว้ภายในรูพรุนที่เหมาะสมสำหรับการเร่งปฏิกิริยา พร้อมทั้งย่อยสลายสารมลพิษต่างๆ แยกตัวให้เป็นโมเลกุลของน้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์

(CO_2) [6,8] โดยเครื่องฟอกอากาศมีหลักการทำงานเบื้องต้นดังนี้ โดยเส้นผม ใยผ้า และขนสัตว์ต่างๆ จะถูกดักจับด้วย Pre-Filter ส่วนอนุภาค PM10 กลิ่นควันบุหรี่ และละอองไอน้ำมัน จะถูกดักจับด้วย Static Filter อนุภาค PM2.5 เชื้อไวรัส เชื้อรา แบคทีเรียที่ดูดผ่าน HEPA Filter จะถูกกำจัดด้วย Active Oxygen รวมทั้งสลายสารอินทรีย์ระเหยง่าย (TVOC) ได้ในขั้นตอนนี้ ส่วน NCCO reactor จะกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ สารเคมี และสารระเหยต่างๆ ใน Nanopore ที่มีสารเร่งปฏิกิริยาอยู่ภายในและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อให้แตกตัวเป็นโมเลกุลของน้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปล่อยอากาศบริสุทธิ์สู่พื้นที่ภายนอก [6] (Figure 1)

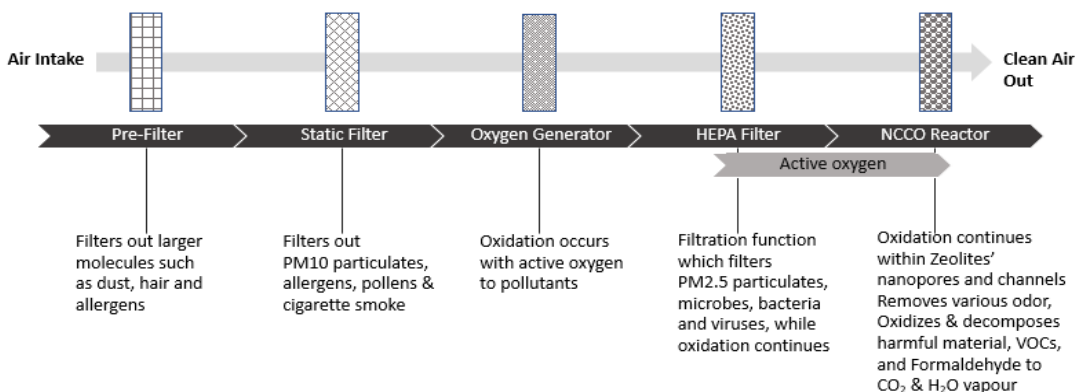


Figure 1 Summary of nano-confined catalytic oxidation air purification technology.

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องฟอกอากาศในระยะเวลาที่แตกต่างกัน โดยการตรวจวัดหาปริมาณของฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศก่อนและหลังการเปิดเครื่องฟอกอากาศ ซึ่งการตรวจวัดก่อนการเปิดเครื่องฟอกอากาศ ใช้เป็นค่าพื้นฐานสำหรับแสดงถึงปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศที่เกิดขึ้นในแต่ละห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศภายหลังการเปิดเครื่องฟอกอากาศที่ระยะเวลาแตกต่างกัน โดยทำการตรวจวัดปริมาณฝุ่น

ละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศในแต่ละห้องปฏิบัติการภายหลังจากการเปิดใช้งานในระยะเวลาสั้นเมื่อเปิดใช้งานเครื่องฟอกอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และที่เวลา 6 ชั่วโมง ตามระยะเวลาการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่รวมทั้งภายหลังจากการเปิดเครื่องฟอกอากาศเป็นระยะเวลา 14 วัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศเมื่อมีการเปิดใช้งานระยะเวลายาวนานต่อเนื่องกัน ติดตั้งเครื่องฟอกอากาศในห้องปฏิบัติการจำนวน 3 ห้องปฏิบัติการเพื่อแสดงถึงปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศที่เกิดขึ้นในแต่ละห้องปฏิบัติการที่มีปริมาณแตกต่าง

ต่างกัน รวมทั้งติดตั้งเครื่องฟอกอากาศให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ของห้องปฏิบัติการ โดยเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องฟอกอากาศชนิดตั้งพื้นมีอัตราการเร็วในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ถูกดูดผ่านเครื่องฟอกอากาศ (Cleaning Air Delivery Rate; CADR) เท่ากับ 413 CFM สำหรับขนาดพื้นที่ห้องไม่เกิน 80 ตารางเมตรต่อเครื่อง เมื่อใช้การเปิดเครื่องในระดับความแรงลมระดับสูง (Highest Fan Speed) โดยเครื่องฟอกอากาศที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องใหม่เพิ่งเริ่มเปิดการใช้งาน โดยติดตั้งเครื่องฟอกอากาศในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จำนวน 3 ห้องปฏิบัติการได้แก่ ห้องปฏิบัติการชีวเคมี ขนาดพื้นที่ในการทดสอบ 420 ตารางเมตร (4,520.8 ตารางฟุต) จัดวางเครื่องฟอกอากาศจำนวน 8 เครื่อง ส่วนห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา มีขนาดพื้นที่ในการทดสอบและการจัดวางเครื่องฟอกอากาศเช่นเดียวกันกับห้องปฏิบัติการชีวเคมี ในขณะที่ห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ มีขนาดพื้นที่ 68 ตารางเมตร (731.9 ตารางฟุต) จัดวางเครื่องฟอกอากาศจำนวน 1 เครื่อง

2.1 การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองและสภาพแวดล้อมในอากาศ

การเก็บตัวอย่างสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิ และความชื้น) อนุภาคฝุ่นละอองในอากาศ (PM_{2.5}, PM₁₀, Total suspended particulate; TSP) ในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 ซึ่งเป็นเดือนที่มีปริมาณฝุ่นละอองในอากาศสูงเกินค่ามาตรฐานดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่องวัดฝุ่นละอองยี่ห้อ TSI รุ่น Dust Trak DRX Aerosol Monitor 8533 ซึ่งใช้หลักการ Light scattering โดยติดตั้งเครื่องวัดในระดับความสูงเท่ากับระดับ

การหายใจของผู้ปฏิบัติงานความสูงประมาณ 1.50 เมตร ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ตำแหน่งของห้องที่ใช้ทดสอบเครื่องฟอกอากาศ รวมทั้งทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมและอัตราการไหลของอากาศภายในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องมือ Indoor Air Quality Monitor model 7575 ตามมาตรฐานการเก็บตัวอย่างอากาศของ Singapore Standard SS 554: 2016 และ 2009 [9,10] ทำการตรวจวัดสภาพแวดล้อมรวมทั้งปริมาณฝุ่นละอองในอากาศก่อนการเปิดเครื่องฟอกอากาศ และหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง และ 14 วัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศในกรณีการเปิดใช้งานในระยะเวลาสั้น และระยะเวลายาวนานต่อเนื่อง โดยทำการตรวจวัดสภาพแวดล้อมรวมทั้งปริมาณฝุ่นละอองในอากาศสำหรับห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ ในวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ.2564 โดยเก็บตัวอย่างอากาศก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศในช่วงเวลา 9.00 น. เก็บตัวอย่างอากาศภายหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เวลา 10.00 น. ส่วนห้องปฏิบัติการชีวเคมีทำการเก็บตัวอย่างอากาศในวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2564 โดยเก็บตัวอย่างอากาศก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศเวลา 9.00 น. เก็บตัวอย่างอากาศภายหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เวลา 10.00 น. และ 6 ชั่วโมง เวลา 16.00 น. ในขณะที่ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา เก็บตัวอย่างอากาศก่อนเริ่มเปิดเครื่องฟอกอากาศในวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2564 เวลา 9.00 น. และเก็บตัวอย่างอากาศภายหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศระยะเวลาต่อเนื่อง 14 วัน ในวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2564 เวลา 16.00 น. รวมทั้งทำการเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้กับค่ามาตรฐาน โดยใช้ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยเป็นเกณฑ์ [11] ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ระดับ (Table 1)

Table 1 Thailand Air Quality index.

AQI	PM2.5	PM10	AQI category	Actions to protect your health
0-25	0-25	0-50	Very good	Enjoy your usual outdoor activity
26-50	26-37	51-80	good	Enjoy your usual outdoor activity
51-100	38-50	81-120	Moderate	<u>Sensitive groups</u> should reduce prolonged or heavy exertion outdoors: people with heart and lung disease, children and older adults
101-200	51-90	121-180	Unhealthy	<u>Sensitive groups</u> should avoid prolonged or heavy exertion outdoors. <u>Everyone</u> should reduce prolonged or heavy exertion outdoors.
>200	≥ 91	≥ 181	Very unhealthy	<u>Everyone</u> should avoid all physical activity outdoors.

2.2 การเก็บตัวอย่างเพื่อบันทึกปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ

ส่วนการเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศใช้วิธีการ Andersen single stage impactor ด้วยเครื่อง Bio-stage Sampler ตามมาตรฐานการเก็บตัวอย่างอากาศของ Singapore Standard SS 554: 2009 และ 2016[9,10] โดยนำจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการเก็บตัวอย่างแล้วเข้าอบในตู้อบเพาะเชื้อ อุณหภูมิ 36 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ± 2 ชั่วโมงสำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย TSA (Tryptic soy agar) ส่วน SDA (Sabouraud dextrose agar) ซึ่งเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเชื้อรา บ่มที่อุณหภูมิ 22-25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3-5 วัน หลังจากนั้นตรวจนับจุลินทรีย์ โดยนับปริมาณโคโลนี (Colony) ที่มีขนาดใหญ่มองเห็นด้วย

ตาเปล่า หรือแว่นขยาย และทำการเปรียบเทียบจำนวนโคโลนีที่นับได้กับค่ามาตรฐาน โดยดัชนีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ (The Index of Microbial Air Contamination, IMA) [12] โดยดัชนีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 2 ซึ่งการเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศทำโดยเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ 1 ชั่วโมงก่อนการเปิดเครื่องฟอกอากาศ และหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศที่เวลา 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง และ 14 วัน ของแต่ละห้องปฏิบัติการในช่วงระยะเวลาเดียวกันกับการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศในกรณีการเปิดใช้งานในระยะเวลาสั้น และระยะเวลายาวต่อเนื่อง

Table 2 Maximum acceptable levels of index of microbial air contamination; IMA in environments at risk.

IMA Valves	CFU/m ³ /h	Classes	In place at risk
0-5	0-9	Very good	Ultra clean room; reverse isolation, operating room for joint replacement, some procedure of electronics and pharmaceutical industries
6-25	10-39	Good	Clean room; conventional operating theatres, continuous care unit, dialysis unit
26-50	40-84	Fair	Day hospital, hospital wards, food industries, kitchens, laboratory
51-75	85-124	Poor	Facilities
≥ 76	≥ 125	Very poor	-

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistic) แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อแสดงถึงปริมาณของฝุ่นละอองในอากาศ และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่พบ และเปรียบเทียบกับระดับค่ามาตรฐาน รวมทั้งใช้สถิติ Paired t-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศในช่วงเวลา ก่อนการเปิดเครื่องฟอกอากาศกับหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศ ในช่วงระยะเวลาต่างกัน

3. ผลการวิจัย

จากผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อม ปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศภายในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การแพทย์ ในขณะก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศ พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยามีปริมาณสูงที่สุด เนื่องจากห้องปฏิบัติการดังกล่าวไม่ได้เปิดระบบปรับอากาศในขณะทำการตรวจวัด ในขณะที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5, PM10, TSP) พบว่ามีปริมาณสูงที่สุดในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ ส่วนเชื้อแบคทีเรียพบมากที่สุดในห้องปฏิบัติการชีวเคมี และเชื้อราพบมากที่สุดในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา ส่วนการตรวจวัดสภาพแวดล้อมปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศในระยะเวลาต่างกันว่าที่ 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง และ 14 วัน พบว่าปริมาณฝุ่นละอองและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลดลง (Table 3)

Table 3 The average of microorganisms and environmental conditions in laboratory

Laboratories	Air purifier ^b Sampling	Temperature (°C ±SD)	Humidity (%RH±SD)	PM2.5 (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	TSP (µg/m ³)	Bacteria (CFU/m ³ /h ±SD)	Fungi (CFU/m ³ /h ±SD)
Biochemical	before	27.0 ± 0.31	37.0 ± 0.31	10.0 ± 0.63	11.2 ± 1.09	13.0 ± 0.31	704.2 ± 6.91	110.0 ± 1.14
	After (1 hour)	27.0 ± 0.31	37.0 ± 0.31	1.4 ± 0.51	1.0 ± 0.31	1.4 ± 0.51	368.0 ± 2.60	8.8 ± 0.80
	After (6 hour)	27.0 ± 0.31	37.0 ± 0.31	1.0 ± 0.31	1.0 ± 0.31	2.0 ± 0.31	42.8 ± 0.8	50.0 ± 2.21
Microbiological ^a	before	31.0 ± 0.32	51.0 ± 0.94	40.4 ± 2.54	33.8 ± 1.31	34.0 ± 1.14	26.6 ± 1.86	311 ± 41.7
	After (14 day)	27.0 ± 0.32	70.8 ± 0.32	2.4 ± 0.74	3.6 ± 0.74	7.0 ± 1.26	25.0 ± 0.31	68.2 ± 0.31
Anatomical	before	22.0 ± 0.57	51.1 ± 0.60	60.0 ± 0.57	60.0 ± 0.57	60.2 ± 1.15	99.6 ± 1.28	251 ± 1.58
	After (6 hour)	21.06 ± 0.58	54.3 ± 0.65	25.3 ± 0.82	25.3 ± 0.82	26.0 ± 1.00	57.0 ± 1.58	85.0 ± 1.00

^a not open air condition, ^b AQI outdoor 94-100 µg/m³

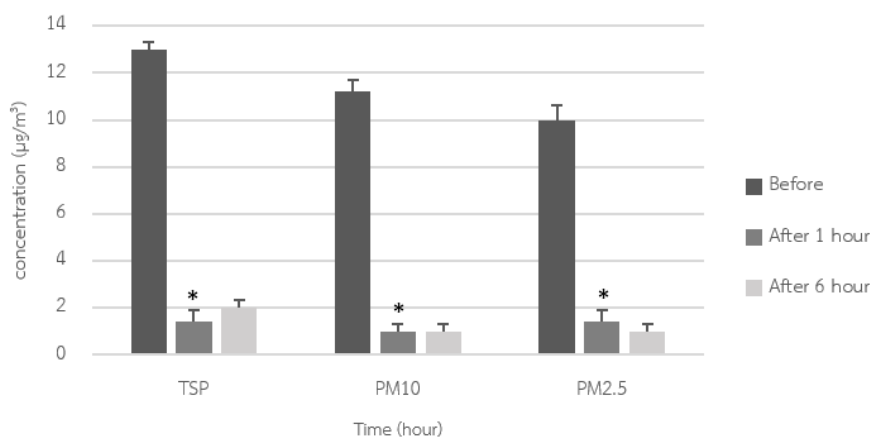
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองในอากาศภายในห้องปฏิบัติการช่วงระยะเวลาก่อนและหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศพบว่าหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศในระยะเวลาสั้นและระยะยาวต่อเนื่อง โดยตรวจวัดที่ 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง และ 14 วัน พบว่าห้องปฏิบัติการทั้ง 3 ห้องปฏิบัติการมีปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 PM10 และTSP ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value <0.05) (Table 4) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศในระยะเวลาสั้นสำหรับห้อง

ปฏิบัติการชีวเคมี พบว่าปริมาณฝุ่นละอองในอากาศลดลงตั้งแต่ชั่วโมงแรกของการเปิดใช้งาน (Figure 2) นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้กับค่ามาตรฐาน โดยใช้ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยเป็นเกณฑ์ พบความแตกต่างในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ซึ่งภายหลังจากเปิดเครื่องฟอกอากาศเป็นเวลา 6 ชั่วโมงสามารถลดปริมาณ PM2.5 จากระดับไม่ปลอดภัย เป็นระดับดีได้ (Table 4)

Table 4 Relationship between the averages of environmental conditions in laboratory sampling period.

Laboratories	Air purifier ^b Sampling	PM2.5			PM 10			TSP	
		$\bar{X}$ (µg/m ³)	AQI category	p-value*	$\bar{X}$ (µg/m ³)	AQI category	p-value*	$\bar{X}$ (µg/m ³)	p-value*
Biochemical	before	10.0	Very good	0.001*	11.2	Very good	0.000*	13.0	0.000*
	After (1 hour)	1.4	Very good		1.0	Very good		1.4	
	After (6 hour)	1.0	Very good	0.000*	1.0	Very good	0.000*	2.0	0.000*
Microbiological ^a	before	40.4	Moderate	0.000*	33.8	Very good	0.000*	34.0	0.000*
	After (14 day)	2.4	Very good		3.6	Very good		7.0	
Anatomical	before	60.0	Unhealthy	0.000*	60.0	Good	0.000*	60.2	0.000*
	After (6 hour)	25.3	Good		25.3	Very good		26.0	

*statistical significance at level 0.05



*statistical significance at level 0.05

Figure 2 Summary of environmental conditions in biochemical laboratory sampling period.

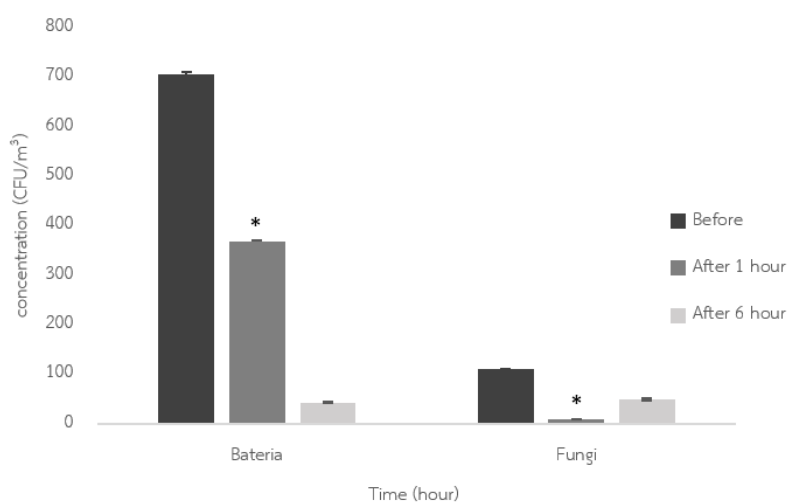
ผลการเปรียบเทียบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ ในกรณีหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศในระยะเวลาสั้นโดยตรวจวัดที่ 1 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมง พบว่าห้องปฏิบัติการชีวเคมี และห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) (Table 5) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศในระยะเวลาสั้นสำหรับห้องปฏิบัติการชีวเคมี พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศลดลงตั้งแต่ชั่วโมงแรกของการเปิดใช้งาน (Figure 3) แต่เมื่อตรวจวัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศภายหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศในระยะเวลายาวและต่อเนื่อง จำนวน 14 วันโดยไม่เปิดระบบปรับอากาศ

อากาศในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา พบว่าปริมาณเชื้อรา มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ปริมาณเชื้อแบคทีเรียไม่มีความแตกต่างจากการตรวจวัดก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ตรวจวัดได้กับค่ามาตรฐานโดยใช้ค่าดัชนีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ พบว่าในห้องปฏิบัติการชีวเคมีและห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์สามารถลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศจากระดับ แยก หรือแย่มาก เป็นระดับปานกลางได้ในชั่วโมงที่ 6 หลังเปิดเครื่องฟอกอากาศ (Table 5)

Table 5 Relationship between amounts of microorganism in laboratory at sampling period.

Laboratories	Air purifier Sampling ^b	Bacteria			Fungi		
		(CFU/m ³ /h)	IMA	p-value*	(CFU/m ³ /h)	IMA	p-value*
Biochemical	before	704.2	Very poor	0.000*	110.0	Poor	0.000*
	After (1 hour)	368.0	Very poor		8.8	Very good	
	After (6 hour)	42.8	Fair	0.000*	50.0	Fair	0.000*
Microbiological ^a	before	26.6	Good	0.347	311	Very poor	0.005*
	After (14 day)	25.0	Good		68.2	Fair	
Anatomical	before	99.6	Poor	0.000*	251	Very poor	0.000*
	After (6 hour)	57.0	Fair		85.0	poor	

*statistical significance at level 0.05



*statistical significance at level 0.05

Figure 3 Summary of airborne microorganism in biochemical laboratory sampling period.

4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการตรวจวัดสภาพแวดล้อม ฝุ่นละออง และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศหลังจากเปิดเครื่องฟอกอากาศชนิดนาโนคอนไฟน์คตะไลติกออกซิเดชัน (nano-confined catalytic oxidation; NCCO) พบว่า มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศได้ตั้งแต่ชั่วโมงแรกของการเปิดใช้งานเครื่อง โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kwok A et al. [6] ซึ่งทำการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องฟอกอากาศชนิดเดียวกันกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งเป็นงานวิจัยชิ้นเดียวที่มีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศชนิดนาโนคอนไฟน์คตะไลติกออกซิเดชันต่อการลดปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 โดยทดสอบในกลุ่มผู้สูบบุหรี่ ซึ่งทำการติดตั้งเครื่องฟอกอากาศในพื้นที่ห้องจำลองสำหรับการทดสอบในกลุ่มผู้สูบบุหรี่ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศและภายหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศ พบว่า เครื่องฟอกอากาศชนิดนี้สามารถลดปริมาณฝุ่นละอองได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง รวมทั้งสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองได้ตั้งแต่ 10 นาทีแรกภายหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศ ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวใช้สภาวะเงื่อนไขในการทดสอบใกล้เคียงกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งเปรียบเทียบสภาวะก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศและหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศเช่นเดียวกัน โดยพบว่า เครื่องฟอกอากาศมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศได้ตั้งแต่ชั่วโมงแรกของการเปิดใช้งานเครื่องฟอกอากาศ และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานดัชนีคุณภาพอากาศในประเทศไทย พบว่าในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ เครื่องฟอกอากาศสามารถลดปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 จากระดับไม่ปลอดภัยเป็นระดับดีได้ภายหลังจากการเปิดเครื่องฟอกอากาศเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งจากประกาศกรมอนามัย [13] ให้คำแนะนำในการปฏิบัติตนสำหรับประชาชนเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศภายนอกอาคาร กรณีตรวจพบปริมาณฝุ่น

ละออง PM2.5 ระดับไม่ปลอดภัย (ระดับ PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง 51-70 มคก./ลบ.ม.) ซึ่งจัดเป็นระดับที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพค่อนข้างมาก แนะนำให้ประชาชนทั่วไปหลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมภายนอกอาคารและควรสวมหน้ากากป้องกันฝุ่นละออง ในขณะที่บุคคลกลุ่มเสี่ยงหรือมีโรคประจำตัวควรงดกิจกรรมนอกบ้าน และจากผลการวิจัยเมื่อทำการเปิดเครื่องฟอกอากาศเป็นเวลา 6 ชั่วโมงสามารถลดปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 เป็นระดับดี (ระดับ PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง 26-37 มคก./ลบ.ม.) ซึ่งจัดเป็นระดับที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพเพียงเล็กน้อยถึงปานกลาง ประชาชนทั่วไปและบุคคลกลุ่มเสี่ยงสามารถทำกิจกรรมนอกบ้านได้ ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นเครื่องฟอกอากาศจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศเพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพได้ ส่วนปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศในห้องปฏิบัติการทั้ง 3 ห้องปฏิบัติการเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน Singapore Standard SS 554: 2009 และ 2016 [9,10] พบว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศเฉพาะห้องปฏิบัติการชีวเคมีเท่านั้นที่มากกว่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศไม่เกิน 500 CFU/m³) ส่วนห้องปฏิบัติการอื่นๆ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศทั้งก่อนและหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศกับมาตรฐานค่าดัชนีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ โดยระดับการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับห้องปฏิบัติการทั่วไป ควรอยู่ในระดับปานกลาง (26-50 CFU/m³/h) ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศพบว่าในห้องปฏิบัติการชีวเคมีและห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ เมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศสามารถลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศจากระดับแยะ หรือแยะมาก เป็นระดับปานกลางได้ในชั่วโมงที่ 6 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [12] ส่วนกรณีเปิดเครื่องฟอกอากาศในระยะยาวและต่อเนื่อง เป็นเวลา 14 วัน โดยไม่เปิดระบบปรับอากาศพบว่าสามารถลดปริมาณฝุ่นละออง

และปริมาณเชื้อราได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน แต่ขณะที่ปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศไม่มีความแตกต่างกันระหว่างก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศ และภายหลังเปิดเครื่องฟอกอากาศ

แต่อย่างไรก็ตามเครื่องฟอกอากาศชนิดนาโนคอนไฟน์คตะไลติกออกซิเดชั่น มีคุณสมบัติสามารถกำจัดสารเคมีระเหยง่ายได้ดี เช่น สารฟอร์มัลดีไฮด์ แอมโมเนีย โพลูอิน และย่อยสลายแตกตัวให้เป็นโมเลกุลของน้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ [6,7] ดังนั้นจึงยังต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศชนิดนาโนคอนไฟน์คตะไลติกออกซิเดชั่น ต่อการลดปริมาณสารเคมีระเหยง่าย เช่น สารฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารมลพิษสำคัญที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ รวมทั้งต้องมีการตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศในระยะเวลาที่ละเอียดมากขึ้น หรือตรวจวัดในระยะเวลาดำเนินแบบเรียลไทม์ (Real-time) เพื่อให้สามารถทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศได้อย่างถูกต้องแม่นยำขึ้น รวมทั้งต้องมีการจำกัดสถานที่ทดสอบให้อยู่สภาพที่ปราศจากปัจจัยจากภายนอก เช่น ปัจจัยจากปริมาณฝุ่นละอองภายนอกอาคาร เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทแรพพอท จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องฟอกอากาศและรายละเอียดของแต่ละข้อมูล ซึ่งไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณคณะแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการศึกษาทดสอบ

6. References

- [1] Tran V-V, Park D. and Lee Y-C., 2020. Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality. *Int J Environ Res Public Health*. 17(8): 2927
- [2] Limmongkon Y, Sribenjalux P. and Chuaybamroong P., 2009. Capability of Electronic-filter Air Purifier on Airborne Microorganism Removal. *J Med Tech Phy Ther*. 21: 246-256. (in Thai)
- [3] Limmongkon Y, Thunyasirion C, Chotigawin R, Sribenjalux P, and Chuaybamroong P., 2012. Airborne Microorganism Removals Using Air Purifiers with Different Principles. *KKU Res. J*. 17(2): 236-244. (in Thai)
- [4] Hacker DW and Sparrow EM., 2005. Use of Air-cleaning Devices to Create Airborne Particle-free Spaces Intended to Alleviate Rhinitis and Asthma during sleep. *Indoor Air*. 15(6): 420-431.
- [5] H.J. Oh, I.S. Nam, H. Yun, J. Kim, J. Yang and J.R. Sohn, 2014. Characterization of Indoor Air Quality and Efficiency of Air Purifier in Childcare Centers, Korea. *Building and Environment*, 82: 203-214.
- [6] Kwok A, Hong C, and Kwok E., 2021. Evaluation of Nano-confined Catalytic Oxidation Air Purification Technology on Eliminating Marijuana Chemicals and Odour. *SN Appl. Sci*. 3(10): 808
- [7] Leung A and Kwok E, 2012. Evaluation of the Nano-confined Catalytic Oxidation

- Technology for Air Purification and Odor Reduction. Adv Mater Res. 550: 607–615
- [8] Kwong C.W., Chao C.Y.H., Hui K.S. and Wan M.P., 2008. Catalytic Ozonation of Toluene Using Zeolite and MCM-41 Materials. Environ Sci Technol. 42(22): 8504–8509
- [9] Singapore, 2016. Singapore Standard SS 554: 2016 Code of Practice for Indoor Air Quality for Air-Conditioned Buildings. [online] Available source: <http://www.enviresearch.co.th/wp-content/uploads/2020/01/Indoor-Air-2016.pdf>, Jun, 7, 2022 (in Thai)
- [10] Singapore, 2009. Singapore Standard SS 554: 2009 Code of Practice for Indoor Air Quality for Air-Conditioned Buildings. [online] Available source: <http://www.enviresearch.co.th/wp-content/uploads/2020/01/Indoor-Air-2009.pdf>, Jun, 7, 2022. (in Thai)
- [11] Air Quality and Noise Management Bureau, Pollution Control Department., 2021. Thailand’s Air Quality nformation. [online] Available source: http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php, Sep, 7, 2021. (in Thai)
- [12] Pasquarella C, Pitzurra O and Savino A, 2000. The Index of Microbial Air Contamination. J Hosp Infect. 46(4): 241-256.
- [13] Sripaung N and Anantagulnathi P, 2021. Manual for Surveillance, Prevention, and Control of Diseases and Health Threats Caused by PM2.5. Nonthaburi: Division of Occupational and Environmental Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health; pp.31-35. (in Thai)