วารสาร
เทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด
JOURNAL OF MEDICAL TECHNOLOGY AND PHYSICAL THERAPY

นิพนธ์ต้นฉบับ
ORIGINAL ARTICLE

ความสามารถของเครื่องฟอกอากาศชนิดอิเลคโทรนิคฟิลเตอร์ในการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ

ยุพรัตน์ หลิมมงคล[1], พิพัฒน์ ศรีเบญจลักษณ์[2], ภารดี ช่วยบำรุง[3*]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการทดสอบความสามารถของเครื่องฟอกอากาศชนิดอิเลคโทรนิคฟิลเตอร์ที่ใช้หลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตในการกำจัดเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Penicillium citrinum* และเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus epidermidis* และ *Bacillus subtilis* ออกจากกระแสอากาศภายในห้องทดลองขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร การศึกษาใช้การพ่นเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปในห้องทดลองทีละชนิด และทำการเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศที่ระดับความสูง 2 ระดับ คือ 0.5 เมตรและ 1.5 เมตร เพื่อศึกษาปัจจัยด้านระยะห่างที่อาจมีผลต่อการทำงาน เนื่องจากเครื่องฟอกอากาศนั้นตั้งอยู่ที่พื้น (ความสูง 0.67 เมตร) โดยวัตถุประสงค์หลักเป็นการเปรียบเทียบความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในอากาศในสภาวะที่ไม่ได้ใช้เครื่องฟอกอากาศ กับสภาวะที่ใช้เครื่องฟอกอากาศเป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า เครื่องฟอกอากาศสามารถกำจัดจุลินทรีย์ความเข้มข้นตั้งต้น 34,000 - 80,000 cfu/m^3 ให้อยู่ภายในเกณฑ์มาตรฐานที่ 500 cfu/m^3 ได้ภายในระยะเวลา 30-40 นาที ยกเว้น *B. subtilis* ที่ต้องใช้เวลานานกว่านั้น โดยจำนวนจุลินทรีย์ที่ความสูงทั้งสองระดับแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

คำสำคัญ: เครื่องฟอกอากาศ, การกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ, เชื้อราในอากาศ, แบคทีเรียในอากาศ, ละอองลอยชีวภาพ

[1]หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[2]ศูนย์วิจัยและพัฒนาการตรวจวินิจฉัยทางห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[3]ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
*ผู้รับผิดชอบบทความ

07 246 10/16/09, 2:24 PM
Black

วารสาร
เทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด
JOURNAL OF MEDICAL TECHNOLOGY AND PHYSICAL THERAPY

นิพนธ์ต้นฉบับ
ORIGINAL ARTICLE

Capability of electronic-filter air purifier on airborne microorganism removal

Yuparat Limmongkon[1], Pipat Sribenjalux[2], Paradee Chuaybamroong[3*]

Abstract

The performance of the electronic-filter air purifier that uses the principle of electrostatic field on airborne fungi (*Aspergillus niger* and *Penicillium citrinum*) and bacteria (*Staphylococcus epidermidis* and *Bacillus subtilis*) removals was tested in this study. The experiment was conducted in the 8-m^3 chamber by injecting each type of microorganism and sampling the bioaerosol at two height levels, 0.5 and 1.5 m. Since the air purifier was located at the floor with the height of 0.67 m, the microbe concentrations at these two height levels were observed for any difference in its performance. However, the main objective was to compare the microbe concentrations when turning on the air purifier and turning off for duration of 4 hours. The results were that the air purifier could remove the microbes from the initial concentrations of 34,000 - 80,000 cfu/m^3 to comply with the recommended concentration of 500 cfu/m^3 within 30-40 min except for *B. subtilis* that needed longer time. The height level did not affect the performance of the air purifier in this study at the level of confidence of 99 %.

Keywords: Air purifier, Airborne microorganism removal, Airborne fungi, Airborne bacteria, bioaerosol

[1]Ph.D Program in Public Health, Khon Kaen University

[2]Centre for Research and Development of Medical Diagnostic Laboratories, Faculty of Associated Medical Sciences, Khon Kaen University

[3]Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, KlongLuang, Pathumthani, 12121

*Corresponding author (e-mail: paradee@tu.ac.th)

07 247 10/16/09, 2:24 PM
Black

บทนำ

สภาพความเป็นอยู่และการใช้ชีวิตของคนไทยในสังคมปัจจุบัน มีการเปลี่ยนแปลงต่างไปจากอดีตเป็นอย่างมาก เช่นเดียวกับลักษณะของที่อยู่อาศัยและอาคารสถานที่ได้เปลี่ยนจากเรือนไม้โปร่ง หลังคาสูง มีหน้าต่างระบายอากาศรอบด้านเป็นอาคารปิดมิดชิดใช้เครื่องปรับอากาศแทนอากาศธรรมชาติ ปัญหาที่ตามมาคือ ความเจ็บป่วยที่เกิดจากการหายใจเอาสารมลพิษที่สะสมอยู่ภายในอาคาร เช่น ฝุ่นขนาดเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน โอโซน ฟอร์มาลดีไฮด์ สารอินทรีย์ระเหยง่าย ธาตุกัมมันตรังสีเรดอน และจุลินทรีย์ต่างๆไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส รวมถึงสารก่อภูมิแพ้ทั้งหลาย เช่น ไรฝุ่น ขน/รังแคของสัตว์เลี้ยงภายในบ้าน เป็นต้น โดยปัจจุบันพบว่า บุคคลส่วนใหญ่ใช้ชีวิตอยู่ภายในอาคารมากถึงร้อยละ 90 ของเวลาทั้งหมด[1] หากสถานที่นั้นไม่มีการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนด้วยอากาศสะอาดจากภายนอกอย่างพอเพียง ปัญหาดังกล่าวก็จะยิ่งทวีความรุนแรงยิ่งๆขึ้นได้

ความพยายามในการแก้ปัญหาสารปนเปื้อนภายในอาคารอย่างหนึ่งคือ การใช้เครื่องฟอกอากาศ โดยที่นิยมใช้กันทั่วไปสามารถจำแนกได้เป็นชนิดที่ใช้แผ่นกรองอากาศ ชนิดไฟฟ้าสถิต ชนิดให้ประจุไอออน ชนิดใช้โอโซน และชนิดโฟโตคะตะลิสต์ โดยชนิดที่ใช้ประจุไอออนนั้น Grinshpun et al.[2] ได้ศึกษาประสิทธิภาพเครื่องฟอกอากาศแบบตั้งอยู่กับที่ พบว่า ภายในเวลา 5-6 นาทีสามารถกำจัดอนุภาคได้เกือบร้อยละ 90 และเมื่อเพิ่มเวลาเป็น 10-12 นาที สามารถกำจัดอนุภาคได้ร้อยละ 100 โดยที่ชนิดของประจุ (บวกและลบ) ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานแต่อย่างใด ส่วนการใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดไฟฟ้าสถิตนั้น Hacker and Sparrow[3] พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นแตกต่างกันในแต่ละยี่ห้อ โดยจากการเปิดเครื่องฟอกอากาศทิ้งไว้ 8 ชั่วโมงในห้องนอนขนาด 3.7 x 3.0 x 2.4 เมตร พบปริมาณฝุ่นลดลงร้อยละ 95.9, 38 และ 73.4 สำหรับเครื่องฟอกอากาศ 3 ยี่ห้อ ตามลำดับ และเมื่อใช้แผ่นกรอง HEPA filter ควบคู่ไปกับการใช้ไฟฟ้าสถิตด้วยนั้น พบว่ามีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 99.5 - 99.9 ขณะที่เครื่องฟอกอากาศที่มีแต่ HEPA และ pre-filter กำจัดฝุ่นได้ร้อยละ 97.3 สำหรับเครื่องฟอกอากาศชนิดที่ใช้โอโซน Hubbard et al.[4] พบว่าในกรณีที่มี terpene (ส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาดพื้นและเครื่องสุขภัณฑ์ที่มีน้ำมันสนเป็นส่วนประกอบหลัก) อยู่ในบรรยากาศด้วย จะก่อให้เกิดละอองสารอินทรีย์ทุติยภูมิ (secondary organic aerosol) ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตรที่สามารถเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ในปริมาณตั้งแต่ 160 ถึง 1,149 ไมโครกรัม/ชั่วโมง จึงมีกระแสไม่แนะนำให้ใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดนี้เกิดขึ้น

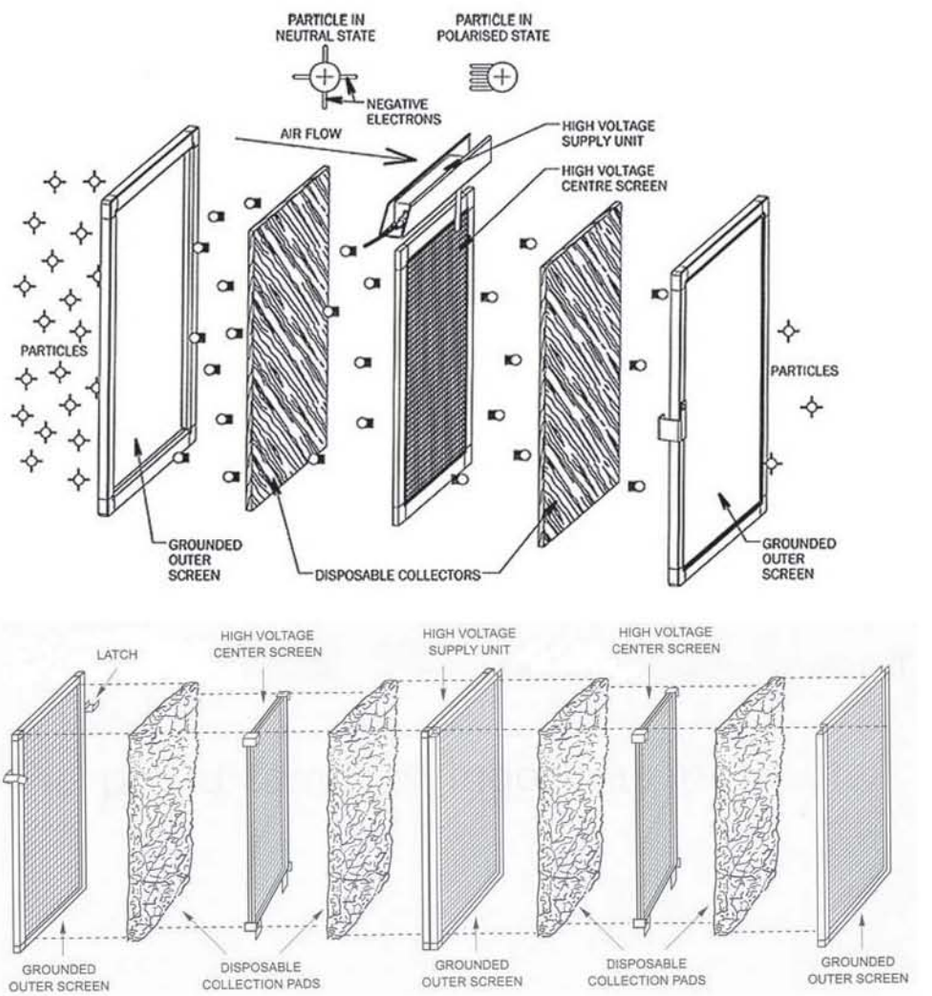
การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การกำจัดฝุ่นละออง ควันบุหรี่ และไอระเหยของสารเคมีมากกว่าการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ ในกรณีที่เป็นการกำจัดจุลินทรีย์นั้น พบการใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดโฟโตคะตะลิสต์[5] ชนิดรังสี UV-C[6] และชนิดแผ่นกรอง HEPA filter[7] โดยแทบไม่ปรากฏข้อมูลของการใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดไฟฟ้าสถิตทั้งๆที่มีจำหน่ายอยู่โดยทั่วไปในท้องตลาด คณะผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาเครื่องฟอกอากาศชนิดอิเลคโทรนิคฟิลเตอร์ที่ใช้หลักการไฟฟ้าสถิตที่มีจำหน่ายในประเทศมาทดสอบความสามารถในการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ โดยเลือกศึกษากับเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Penicillium citrinum* ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีสปอร์และทนทานในสิ่งแวดล้อมสูง โดย *Aspergillus* นั้นเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาการติดเชื้อในโรงพยาบาล[8] และศึกษากับเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus epidermidis* และ *Bacillus subtilis* ซึ่ง *Bacillus* มีความทนทานและสร้างสปอร์ได้เช่นกัน โดยจุลินทรีย์ทั้งหมดนี้เป็นตระกูลที่พบได้มากที่สุดในบรรยากาศทั่วไปภายในอาคารและในโรงพยาบาล[9] ผลการศึกษาวิจัยที่ได้จะช่วยสร้างความกระจ่างและให้ข้อมูลที่เป็นข้อเท็จจริง เพื่อผู้บริโภคสามารถนำไปใช้พิจารณาประกอบการตัดสินใจในการเลือกบริโภคสินค้าได้

วัสดุและวิธีการศึกษา

การทดลองนี้ใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดอิเลคโทรนิคฟิลเตอร์ (Alpine Electronic Air Filter, model PT-400) ซึ่งใช้หลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิต โดยชุดแผ่นกรองประกอบไปด้วยแผ่นตาข่ายลวดที่ด้านบนมีเข็มสำหรับรับกระแสไฟฟ้าแรงสูงขนาด 5,500 - 6,700 โวลท์ที่มาจากอุปกรณ์แปลงไฟฟ้า แผ่นตาข่ายนี้ถูกประกบด้วยแผ่นรองรับอนุภาคที่ทำจากใยแก้วด้านซ้าย-ขวาจำนวน 2 คู่ **(รูปที่ 1)** ซึ่งเมื่อเปิดเครื่อง กระแสไฟฟ้าแรงสูงที่ไหลผ่านมาทางเข็มจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบนแผ่นใยแก้วคู่ใน อนุภาคที่ผ่านเข้ามา

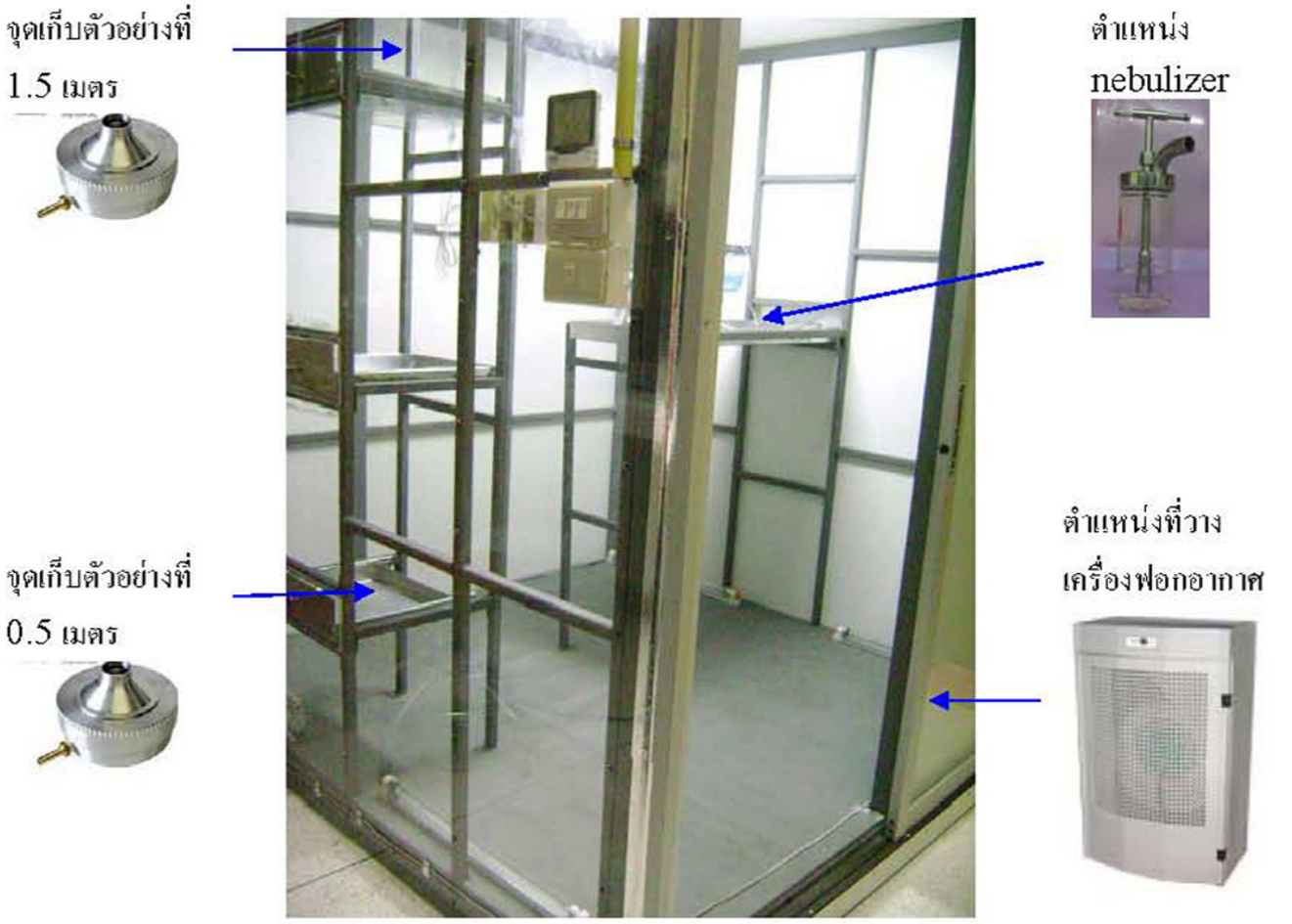
07 248 10/16/09, 2:24 PM
Black

ในบริเวณสนามไฟฟ้าก็จะถูกชาร์จประจุให้และจะเคลื่อนตัวไปเกาะยังแผ่นรองรับคู่นอกที่เป็นกลาง(ไม่มีประจุ) ทำให้แยกตัวออกจากกระแสอากาศได้ ดังนั้นอนุภาคที่ถูกดูดเข้าเครื่องฟอกอากาศมาจึงถูกกักด้วยการเกาะติดอยู่กับแผ่นรองรับคู่นอก อากาศที่ปล่อยออกจากเครื่องไปจึงเป็นอากาศที่ปราศจากอนุภาค ซึ่งเครื่องฟอกอากาศดังกล่าวสามารถปรับระดับความแรงของการดูดอากาศได้ 3 ระดับตามคู่มือการใช้งานของบริษัทที่ระบุไว้ที่ 200, 400 และ 600 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ในที่นี้ได้ศึกษาที่ระดับความแรงต่ำสุดที่ 200 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที แต่อย่างไรก็ตาม จากการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศที่ช่องทางเข้าด้านหน้าโดยใช้ hot wire anemometer (Airflow Developments Ltd., model TA5-Flexible probe) วัดความเร็วลมแล้วคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเข้าของอากาศ พบอัตราการไหลเข้าของอากาศอยู่ที่ 33.8 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที โดยในการศึกษาได้วางเครื่องฟอกอากาศดังกล่าวไว้ภายในห้องจำลองขนาด 2 x 2 x 2 เมตร บริเวณมุมห้อง ภายในห้องมีการพ่นจุลินทรีย์โดยใช้ nebulizer (BGI. Incorp., model MRE-CN 25) ที่ระดับความสูง 0.8 เมตรและใช้พัดลมตั้งโต๊ะขนาดเล็กเป่าให้จุลินทรีย์กระจายตัวให้ทั่วห้อง **(รูปที่ 2)**



รูปที่ 1 องค์ประกอบของชุดแผ่นกรองอิเลคโทรนิคในเครื่องฟอกอากาศ (อนุเคราะห์ภาพโดยบริษัท อัลไพน์ จำกัด)

07 249 10/16/09, 2:24 PM
Black



รูปที่ 2 ห้องทดลอง

การศึกษาเริ่มต้นด้วยการพ่นเชื้อจุลินทรีย์ *Aspergillus niger* (TISTR 3012), *Penicillium citrinum* (TISTR 3437), *Staphylococcus epidermidis* (TISTR 518) และ *Bacillus subtilis* (TISTR 687) ในห้องทดลองทีละชนิด นานครั้งละ 130 นาที เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวจัดซื้อมาจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยในรูปของผงแห้ง นำมาเพาะเลี้ยงและทดสอบยืนยันทั้งก่อนและระหว่างการทดลองโดยใช้วิธี conventional method[10, 11] สำหรับเชื้อแบคทีเรียและใช้วิธี microscopic examination by slide culture method[12, 13] สำหรับเชื้อรา ซึ่งขั้นตอนการเตรียมเชื้อแบคทีเรียทำโดยนำเชื้อแบคทีเรียมาผสมกับน้ำกลั่นที่ปราศจากเชื้อให้เข้ากันดี แล้วใช้ปิเปตหยดเชื้อดังกล่าว 1 หยดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ blood agar สำหรับ *S. epidermidis* เกลี่ยให้ทั่ว แล้วนำไปบ่มเพาะเชื้อที่ 35-37° C นาน 1 วัน ส่วน *B. subtilis* ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase Soy Agar (TSA) แล้วนำไปบ่มเพาะเชื้อที่ 37°C นาน 7 วัน โคโลนีของ *S. epidermidis* ที่ขึ้นใหม่จากการเพาะเชื้อหลังจากถูกเจือจางด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อให้มีความเข้มข้น 10^4 - 10^7 cfu/mL แล้ว สามารถนำไปใส่ขวด nebulizer เพื่อใช้พ่นใน chamber ได้เลย แต่โคโลนีของ *B. subtilis* หลังจากเจือจางด้วยน้ำกลั่นแล้ว ต้องนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่ 80°C นาน 10 นาทีเพื่อกำจัด vegetative cell ให้เหลือแต่สปอร์ก่อน โดยนำสปอร์ที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายไปปั่นด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็ว 2000 รอบ/นาทีนาน 5 นาที จากนั้นจึงถ่ายสปอร์ไปผสมกับน้ำกลั่นปราศจากเชื้อให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 10^4-10^7 cfu/mL ก่อนนำไปใส่ในขวด nebulizer [14, 16]

ในส่วนของเชื้อรา หลังจากผสมผงเชื้อราแห้งกับน้ำกลั่นปราศจากเชื้อให้เข้ากันดีแล้ว จึงหยดสารละลายลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Saubouraud Dextrose Agar (SDA) เกลี่ยให้ทั่ว แล้วนำไปอบเพาะเชื้อ โดย *P. citrinum* เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 25°C นาน 7 วัน จากนั้นเขี่ยสปอร์ที่ได้ นำไปผสมกับน้ำกลั่นและนำไปปั่นที่ความเร็ว 2,000 รอบ/นาที นาน 5 นาที ก่อนจะนำเฉพาะสปอร์ไปผสมกับน้ำกลั่นปราศจากเชื้อให้มี

07 250 10/16/09, 2:24 PM
Black

ความเข้มข้น 10^4-10^7 cfu/ml [14] เพื่อนำไปใช้พ่นเชื้อด้วย nebulizer ได้ ส่วน *A. niger* หลังจากหยดสารละลายบนอาหารเลี้ยงเชื้อและเกลี่ยให้ทั่วแล้ว นำไปอบเพาะเชื้อที่ 37°C จนกว่า mycelia ขึ้นจนเต็มเพลท (ใช้เวลาประมาณ 3 วัน) จากนั้นจึงเขี่ยสปอร์ไปผสมกับน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 10^4-10^7 cfu/mL เพื่อนำไปใช้พ่นใน chamber ด้วย nebulizer เช่นกัน [15]

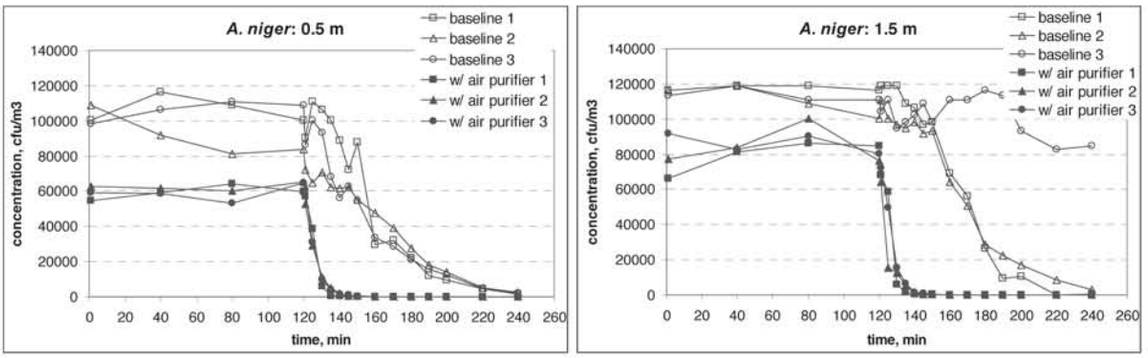
ระหว่างที่มีการพ่นเชื้อด้วย nebulizer ใน chamber ได้มีการเก็บตัวอย่างอากาศที่ระดับความสูง 0.5 เมตร และ 1.5 เมตร โดยใช้ single-stage impactor (SKC, Inc., model Biostage) ที่ภายในบรรจุจานอาหารเลี้ยงเชื้อ Saubouraud Dextrose Agar สำหรับเชื้อราและ Trypticase Soy Agar สำหรับแบคทีเรีย ใช้อัตราการดูดอากาศ 28.3 ลิตรต่อนาทีนาน 30 วินาที หลังจากหยุดพ่นจุลินทรีย์แล้วก็ยังคงเก็บตัวอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆอีก 110 นาทีโดยยังไม่มีการเปิดเครื่องฟอกอากาศ เพื่อสังเกตรูปแบบการลดลงตามธรรมชาติ (natural decay) ข้อมูลที่ได้ใช้เป็น baseline ไว้สำหรับเปรียบเทียบกับการเปิดเครื่องฟอกอากาศ หลังจากนั้นจึงเริ่มการทดลองใหม่โดยพ่นเชื้อจุลินทรีย์ในลักษณะเดิมอีก 130 นาที แต่ในครั้งนี้ได้เปิดเครื่องฟอกอากาศในนาทีที่ 120 ในขณะที่ยังคงพ่นเชื้อจุลินทรีย์อยู่ และทำการเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกับในช่วงแรก ที่ความสูงสองระดับเพื่อศึกษาว่าในกรณีที่วางเครื่องฟอกอากาศไว้กับพื้น (ความสูง 0.67 เมตร) การกำจัดจุลินทรีย์ที่ระดับ breathing zone จะให้ผลแตกต่างหรือเหมือนกับที่ระดับของเครื่องฟอกอากาศมากน้อยเพียงใด โดยการศึกษาในแต่ละชุดได้กระทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง

เมื่อเสร็จสิ้นการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้ง ได้นำจานอาหารเลี้ยงเชื้อไปบ่มเพาะและทดสอบยืนยันชนิดเชื้อ โดยจานอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา *Aspergillus niger* ถูกนำไปบ่มเพาะที่อุณหภูมิ 37 ± 1 °C นาน 24 ชั่วโมง (ระยะเวลาบ่มเพาะที่นานกว่านี้ พบปัญหาสปอร์ของเชื้อราแผ่ขยายขึ้นปกคลุมไปทั่ว ยากต่อการนับจำนวนโคโลนี) ส่วนเชื้อรา *Penicillium citrinum* นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 25 ± 1 °C นาน 48 ชั่วโมง จำนวนโคโลนีที่นับได้เมื่อหารด้วยปริมาตรอากาศที่ดูดเข้าเครื่องมือจะได้เป็นความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในหน่วยของ cfu (colony forming unit) ต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ เมื่อเสร็จสิ้นการศึกษาในแต่ละชุดการทดลอง มีการฆ่าเชื้อภายในห้องทดลองด้วยการเปิดหลอดไฟ UV-C ขนาด 20 วัตต์ (SYLVANIA G20W) ที่ติดไว้โดยรอบ นาน 3-4 ชั่วโมงแล้วสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อการตรวจสอบจุลินทรีย์อีกครั้งซึ่งไม่พบจำนวนจุลินทรีย์หลงเหลืออยู่อีก อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดลองในช่วงที่ทำการศึกษา (ธันวาคม 2551) อยู่ในช่วง 25.2 - 27.5 °C และร้อยละ 43 - 65 ตามลำดับ สถิติที่ใช้วิเคราะห์คือ independent-sample t-test (SPSS software version 9)

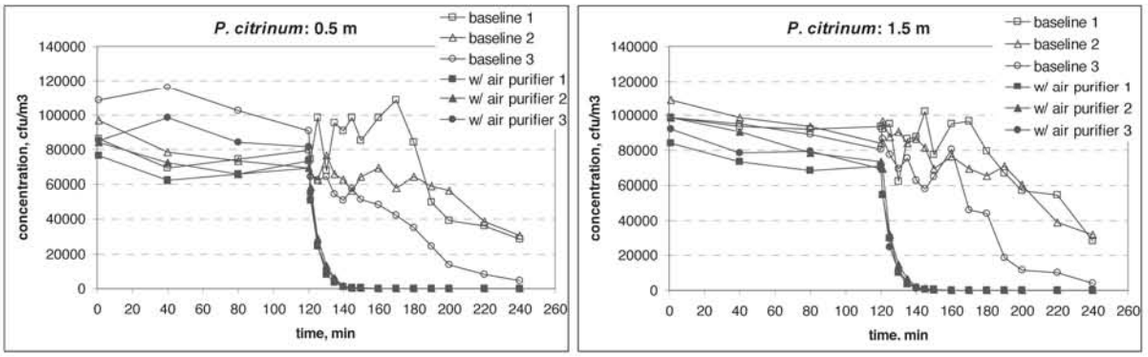
ผลการศึกษา

ความเข้มข้นของ *Aspergillus niger* ที่ระดับความสูง 0.5 เมตรและ 1.5 เมตรจากการศึกษาทั้ง 3 ครั้ง แสดงไว้ใน **รูปที่ 3** ส่วนความเข้มข้นของ *Penicillium citrinum* แสดงไว้ใน **รูปที่ 4** เช่นเดียวกับความเข้มข้นของ *Staphylococcus epidermidis* แสดงไว้ใน **รูปที่ 5** และความเข้มข้นของ *Bacillus subtilis* แสดงไว้ใน **รูปที่ 6** โดยในรูปได้เปรียบเทียบเส้น baseline ที่ไม่มีการเปิดเครื่องฟอกอากาศ (หมายเลข 1-3 มาจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง) กับการทดลองที่มีการเปิดเครื่องฟอกอากาศในนาทีที่ 120 โดยจะเห็นได้ว่า ทันทีที่เปิดเครื่องฟอกอากาศ จำนวนจุลินทรีย์นั้นลดลงอย่างรวดเร็วทั้งๆ ที่ยังมีการพ่นเชื้ออยู่ โดยภายในเวลา 5 นาที (นาทีที่ 125) จำนวนจุลินทรีย์นั้นลดลงกว่าครึ่งยกเว้น *B. subtilis* ที่ลดลงเพียง 14% **(ตารางที่ 1)** และเมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศนาน 25-30 นาที พบจำนวนจุลินทรีย์ลดลงได้ ร้อยละ 99 สำหรับ *A. niger, P. citrinum* และ *S. epidermidis* ส่วน *B. subtilis* นั้นต้องใช้เวลานาน 80 นาทีจึงจะลดได้ ร้อยละ 99 ทั้งนี้ จำนวน *A. niger, P. citrinum, S. epidermidis* และ *B. subtilis* ที่ระดับความสูง 0.5 เมตรกับ 1.5 เมตรนั้นมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P = 0.288, 0.450, 0.418 และ 0.186 ตามลำดับ) แสดงว่าเครื่องฟอกอากาศดังกล่าวสามารถกำจัดจุลินทรีย์ในระบบปิด ที่ระยะรัศมี 2 เมตรได้เป็นอย่างดีเมื่อใช้อัตราการดูดอากาศ 33.8 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ตามที่วัดได้จริงที่ช่องทางเข้าของเครื่องฟอกอากาศ

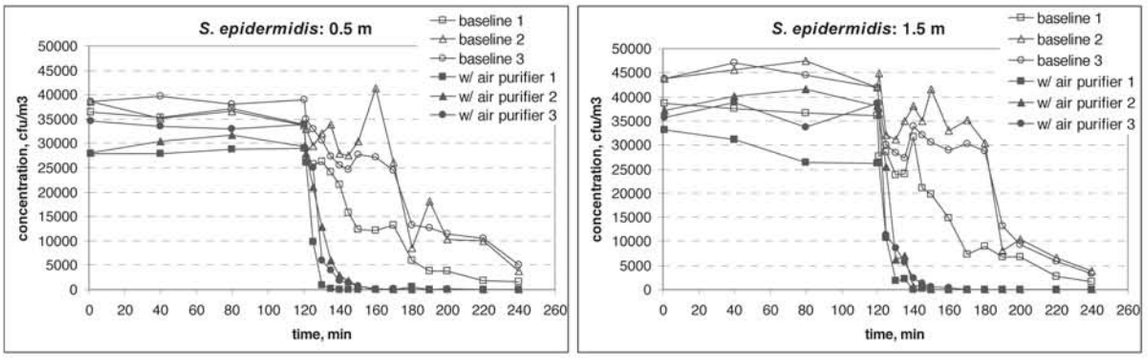
07 251 10/16/09, 2:25 PM
Black



รูปที่ 3 ความเข้มข้นของ *Aspergillus niger* ในสภาวะที่ไม่ได้เปิดกับเปิดเครื่องฟอกอากาศ ที่ความสูง 0.5 และ 1.5 เมตร

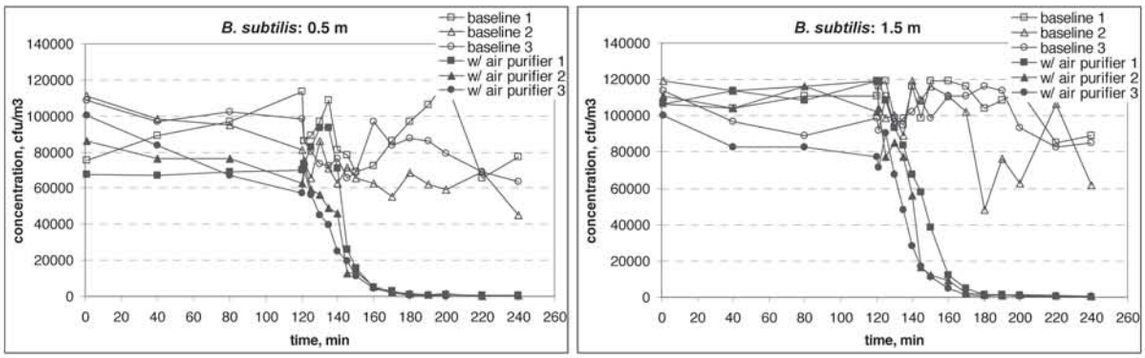


รูปที่ 4 ความเข้มข้นของ *Penicillium citrinum* ในสภาวะที่ไม่ได้เปิดกับเปิดเครื่องฟอกอากาศ ที่ความสูง 0.5 และ 1.5 เมตร



รูปที่ 5 ความเข้มข้นของ *Staphylococcus epidermidis* ในสภาวะที่ไม่ได้เปิดกับเปิดเครื่องฟอกอากาศ ที่ความสูง 0.5 และ 1.5 เมตร

07 252 10/16/09, 2:25 PM
Black



รูปที่ 6 ความเข้มข้นของ *Bacillus subtilis* ในสภาวะที่ไม่ได้เปิดกับเปิดเครื่องฟอกอากาศ ที่ความสูง 0.5 และ 1.5 เมตร

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

เครื่องฟอกอากาศชนิดอิเลคโทรนิคฟิลเตอร์ที่ใช้หลักการของไฟฟ้าสถิตนั้นมีความสามารถในการกำจัดจุลินทรีย์ออกจากกระแสอากาศได้เป็นอย่างดี ถึงแม้การเปรียบเทียบกับเครื่องฟอกอากาศชนิดอื่นที่มีผู้ทดลองไว้แล้วไม่สามารถกระทำได้โดยตรงเนื่องจากความแตกต่างของรายละเอียดในการศึกษาทดลอง แต่ในภาพรวม เครื่องฟอกอากาศชนิดนี้สามารถให้ประสิทธิภาพการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศได้ในช่วงร้อยละ 99 - 100 ขึ้นกับระยะเวลาที่ใช้และชนิดของจุลินทรีย์ โดย Kudo et al.[6] ทดสอบเครื่องฟอกอากาศชนิดไฟโตคะตะไลสิสโดยใช้ TiO_2 70 m^2/g ร่วมกับแสง UVA black light ความเข้มแสง 4 mW/cm^2 เป็นเวลา 90 นาทีสำหรับห้องขนาด 31.3 m^3 พบว่าสามารถกำจัด Influenza virus A, *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้ร้อยละ 99, 99.95 และ 99.94 ตามลำดับ ขณะที่งานวิจัยของ Foarde et al.[16] ทดสอบเครื่องฟอกอากาศ Amway รุ่น E2526J ที่มีแผ่นกรอง foam prefilter, fine particulate filter และ activated carbon filter อยู่ภายในกับเชื้อ *B. subtilis, S. epidermis, Penicillium chrysogenum, Cladosporium sphaerospermum* และ bacteriophage MS2 พบประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวอยู่ในช่วงร้อยละ 95 - 98 นอกจากนี้ Foarde et al.[17] ยังใช้เครื่องฟอกอากาศที่มี pre-filter ชนิดประสิทธิภาพร้อยละ 30 และ HEPA filter กับจุลินทรีย์ *B. subtilis, P. chrysogenum,* และ bacteriophage MS2 ในห้องทดลองขนาด 2.44 x 2.44 x 2.44 หรือ 13.8 m^3 พบว่า ภายในเวลา 10 นาที จุลินทรีย์ลดลงจากมากกว่า 1000 cfu ลงไปเหลือประมาณ 50 cfu สำหรับ *B. subtilis* และเหลือน้อยกว่า 10 cfu สำหรับ *P. chrysogenum* ตามลำดับ ส่วน bacteriophage MS2 นั้น ลดลงจาก 10^7 pfu (plaque forming unit) เหลือประมาณ 10^6 pfu

ในการทดลองนี้ เครื่องฟอกอากาศมีความสามารถในการกำจัด *S. epidermidis* ออกจากกระแสอากาศได้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ *P. citrinum* และ *A. niger* โดย *B. subtilis* นั้นถูกกำจัดได้ยากที่สุด ทั้งนี้ *S. epidermidis* นั้นเป็น vegetative bacteria ชนิดแกรมบวกที่ไม่ค่อยทนในสิ่งแวดล้อม ขณะที่ *B. subtilis* ซึ่งถึงแม้จะเป็นแบคทีเรียแกรมบวกแต่ก็เป็นชนิดที่สร้างสปอร์และทนทานสูง โดยจากรูปแบบการลดลงตามธรรมชาติหรือเส้น baseline ของ *B. subtilis* **(รูปที่ 6)** ที่ถึงแม้เวลาจะผ่านไปจนครบ 240 นาทีแล้วก็ตาม การลดลงตามธรรมชาติก็ยังคงเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับ *S. epidermidis, A. niger* และ *P. citrimum* ซึ่งการที่ *B. subtilis* มีการฟุ้งกระจายตัวสูง น่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ *B. subtilis* ถูกกำจัดได้ช้ากว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น รวมถึงเป็นไปได้ว่าจำนวน *B. subtilis* ตั้งต้นนั้นสูงกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นด้วยเช่นกัน **(ตารางที่ 1)**

07 253 10/16/09, 2:25 PM
Black

ตารางที่ 1 จำนวนจุลินทรีย์ที่ระดับความสูง 1.5 เมตรในสภาวะที่เปิดเครื่องฟอกอากาศ

นาทีที่	*A. niger* *	*P. citrinum* *	*S. epidermidis* *	*B. subtilis* *
1	1087 ± 183 (76820)	1286 ± 104 (90883)	500 ± 28 (35311)	1495 ± 76 (105671)
40	1168 ± 17 (82569)	1131 ± 124 (79936)	515 ± 68 (36415)	1385 ± 225 (97876)
80	1300 ± 102 (91878)	1060 ± 85 (74891)	469 ± 108 (33150)	1411 ± 250 (99686)
120	1136 ± 63 (80300)	1005 ± 30 (71057)	476 ± 100 (33616)	1353 ± 298 (95585)
121	964 ± 59 (68129), 15.1 %	831 ± 119 (58738), 17.3 %	463 ± 86 (32692), 2.8 %	1315 ± 343 (92901), 3.2 %
125	490 ± 322 (34653), 56.8 %	406 ± 55 (28686), 59.6 %	214 ± 117 (15105), 55.1 %	1272 ± 224 (89913), 13.6 %
130	156 ± 69 (11029), 86.3 %	168 ± 32 (11905), 83.2 %	76 ± 49 (5401), 83.9 %	1136 ± 186 (80300), 29.3 %
135	63 ± 39 (4422), 94.5 %	72 ± 21 (5090), 92.8 %	68 ± 35 (4838), 85.6 %	929 ± 268 (65681), 29.3 %
140	16 ± 6 (1164), 98.5 %	19 ± 6 (1363), 98.1 %	14 ± 18 (967), 97.1 %	646 ± 285 (45691), 50.8 %
145	8 ± 5 (552), 99.3 %	11 ± 4 (747), 98.9 %	12 ± 9 (820), 97.6 %	356 ± 336 (25136), 73.0 %
150	8 ± 2 (552), 99.3 %	6 ± 3 (431), 99.4 %	3 ± 5 (191), 99.4 %	257 ± 219 (18135), 80.5 %
160	2 ± 1 (143), 99.8 %	0.7 ± 1 (48), 99.9 %	1.3 ± 2 (95), 99.7 %	122 ± 52 (8614), 90.7 %
170	1.7 ± 1 (119), 99.9 %	0 ± 0 (0), 100 %	0.7 ± 1 (48), 99.9 %	42 ± 26 (2971), 96.8 %
180	1.7 ± 1 (119), 99.9 %	2 ± 2 (143), 99.8 %	0 ± 0 (0), 100 %	15 ± 5 (1090), 98.8 %
190	1 ± 1 (72), 99.9 %	0.7 ± 1 (48), 99.9 %	0.34 ± 1 (28), 99.9 %	18 ± 3 (1288), 98.6 %
200	1.7 ± 1 (119), 99.9 %	1.3 ± 1 (95), 99.9 %	0 ± 0 (0), 100 %	13 ± 7 (943), 99.0 %
220	1.7 ± 1 (119), 99.9 %	0± 0 (0), 100 %	0 ± 0 (0), 100 %	9 ± 5 (649), 99.3 %
240	0.3 ± 0.6 (24), 99.9 %	0 ± 0 (0), 100 %	0 ± 0 (0), 100 %	4 ± 2 (311), 99.7 %

* จำนวนจุลินทรีย์เฉลี่ยจาก 3 ครั้งในหน่วยของโคโลนี (cfu/m^3) และ ร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์จากนาทีที่ 120 (ก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศ)

07 Black 254 10/16/09, 2:25 PM

ในแง่ของมาตรฐานจุลินทรีย์ในอากาศ องค์การอนามัยโลกได้แนะนำจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดภายในอาคารไว้ที่ 500 cfu/m^3 [18] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ดังกล่าว เครื่องฟอกอากาศนี้สามารถลดจำนวน *A. niger, P. citrinum* และ *S. epidermidis* ให้อยู่ภายในเกณฑ์ได้ภายในเวลา 30-40 นาที จากความเข้มข้นเริ่มต้น 34,000 - 80,000 cfu/m^3 โดยประมาณ (นาทีที่ 120) **(ตารางที่ 1)** แต่ต้องใช้เวลาถึง 2 ชั่วโมง จึงจะลด *B. subtilis* ให้อยู่ในเกณฑ์ดังกล่าวได้ แต่อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ หากห้องนั้นมีปริมาตรที่แตกต่างออกไป หรือมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน รวมถึงต้องไม่มีการนำจุลินทรีย์เข้ามาในบรรยากาศใหม่ด้วยทั้งนี้ ความเข้มข้นตั้งต้นของจุลินทรีย์ในที่นี้สูงกว่าความเข้มข้นที่พบได้ในบรรยากาศจริง โดยความเข้มข้นสูงสุดที่ยังจัดว่าเป็นระดับปกติของจำนวนแบคทีเรียรวมในอาคารบ้านเรือนในประเทศฟินแลนด์ในฤดูหนาวนั้นอยู่ที่ 5,000 cfu/m^3 [19] ขณะที่ในประเทศโปแลนด์นั้นมีรายงานจำนวนแบคทีเรียรวมอยู่ที่ 178 - 4,751 cfu/m^3 และจำนวนเชื้อรารวม 49 - 16,968 cfu/m^3 จากบ้านที่มีปัญหาพบเชื้อราภายในบ้าน[20] สำหรับในประเทศไทยนั้น กฤษณียา สังขจันทรานนท์และคณะ[9] ได้สำรวจโรงพยาบาลแห่งหนึ่งและรายงานจำนวนจุลินทรีย์รวมที่พบสูงสุดไว้ที่ 915 cfu/m^3 ที่แผนกผู้ป่วยแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก และ 844 cfu/m^3 ที่บริเวณรอตรวจผู้ป่วยนอก ซึ่งต่ำกว่าความเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นอันมาก การศึกษาในสภาวะความเป็นจริงนอกเหนือจากในห้องจำลองจึงเป็นสิ่งที่ควรต้องศึกษาต่อไป

โดยสรุปแล้ว เครื่องฟอกอากาศชนิดอิเลคโทรนิคฟิลเตอร์ที่ศึกษาในการทดลองนี้ สามารถกำจัดจุลินทรีย์ออกจากกระแสอากาศได้ดีกว่าและรวดเร็วกว่าการปล่อยให้จุลินทรีย์นั้นลดจำนวนลงตามธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีที่อากาศนั้นมีการนำจุลินทรีย์เข้ามาใหม่อยู่ตลอดเวลา จนไม่มีโอกาสเกิดการลดลงตามธรรมชาติได้ โดยเครื่องฟอกอากาศนี้สามารถกำจัดได้ทั้งเชื้อราและแบคทีเรียที่มีความทนทานในสิ่งแวดล้อมสูง ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ได้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศนั้นอยู่ในช่วงของ 30-40 นาที แต่อาจมีความแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมของแต่ละที่ได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท อัลไพน์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องฟอกอากาศและข้อมูลทั้งๆ ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องใดๆ ในงานวิจัย และขอขอบคุณคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. EPA. An Office Building Occupant's Guide to Indoor Air Quality. EPA-402-K-97-003 October 1997. Washington, D.C: Office of Air and Radiation, Indoor Environment Division, 1997.
2. Grinshpun SA, Mainelis G, Trunov M, Adhikari A, Reponen T, Willeke K. Evaluation of ionic air purifiers for reducing aerosol exposure in confined indoor spaces. Indoor Air 2005; 15: 235-45.
3. Hacker DW, Sparrow EM. Use of air-cleaning devices to create airborne particle-free spaces intended to alleviate rhinitis and asthma during sleep. Indoor Air 2005; 15: 420-31.
4. Hubbard HF, Coleman BK, Sarwar G, Corsi RL. Effects of an ozone-generating air purifier on indoor secondary particles in three residential dwellings. Indoor Air 2005; 15: 432-44.
5. Kudo T, Kudo Y, Ruike A, Hasegawa A, Kitano M, Anpo M. The design of highly active rectangular column-structured titanium oxide photocatalysts and their application in purification systems. Catalyst Today; 2007: 122: 14-9.
6. Griffiths WD, Bennett A, Speight S, Parks S. Determining the performance of a commercial air purification system for reducing airborne contamination using model micro-organism: a new test methodology. J Hosp Infect 2005; 61: 242-7.
7. Foarde KK, Myers EA, Hanley JT, Ensor DE, Roessler PF. Methodology to perform clean air delivery rate type determinations with microbiological aerosols. Aerosol Sci Technol 1999; 30: 235-45.

07 255 10/16/09, 2:25 PM
Black

8. Alberti C, Bouakline A, Ribaud P, Lacroix C, Rousselot P, Leblanc T, et al. Relationship between environmental fungal contamination and the incidence of invasive aspergillosis in haematology patients. J Hosp Infect 2001; 48: 198-206.
9. กฤษณียา ศังขจันทรานนท์, เนสินี ไชยเอีย, พิพัฒน์ ศรีเบญจลักษณ์, ภารดี ช่วยบำรุง. ชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ก่อโรคในโรงพยาบาลและการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องมือการเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศ. วารสารการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม 2549; 29: 113-24.
10. Hoos WE, Bannerman TL. *Staphylococcus* and *Micrococcus*. In: Murray PR, Barron EJ, Pfaller MA, Tenover FC, Yolken RH, ed. Manual of Clinical Microbiology 7th. ed. Washington, DC: ASM, 1999: 264-82.
11. Logan NA, Turnbull PCB. *Bacillus* and recently derived genera. In: Murray PR, Barron EJ, Pfaller MA, Tenover FC, Yolken RH, ed. Manual of Clinical Microbiology 7th. ed. Washington, DC: ASM, 1999: 357-69.
12. Harris JL. Modified method for fungal slide culture. J Clin Microbiol 1986; 24: 460-1.
13. Sigler L, Kennedy MJ. *Aspergillus*, *Fusarium* and other opportunistic *Moniliaceous* Fungi. In: Murray PR, Barron EJ, Pfaller MA, Tenover FC, Yolken RH, ed. Manual of Clinical Microbiology 7th. ed. Washington, DC: ASM, 1999: 357-69.
14. Lin C-Y, Li C-S. Inactivation of microorganisms on the photocatalytic surfaces in air. Aerosol Sci Technol 2003; 37: 939-46.
15. Vohra A, Goswami DY, Deshpande DA, Block SS. Enhanced photocatalytic disinfection of indoor air. Appl Catal B: Environ 2006; 32: 364-70.
16. Foarde KK, Myers EA, Hanley JT, Ensor DE, Roessler PF. Development of a method for measuring single-pass bioaerosol removal efficiencies of a room air cleaner. Aerosol Sci Technol 1999; 30: 223-34.
17. Foarde KK, Myers EA, Hanley JT, Ensor DE, Roessler PF. Development of a method for measuring single-pass bioaerosol removal efficiencies of a room air cleaner. Aerosol Sci Technol 1999; 30: 223-34.
18. Kalogerakis N, Paschali D, Lekaditis V, Pantidou A, Eleftheriadis K, Lazaridis M. Indoor air quality - bioaerosol measurements in doestic and office premises. J Aerosol Sci 2005; 36: 751-61.
19. Reponen T, Nevalainen A, Jantunen M, Pellikka M, Kalliokoski P. Normal range criteria for indoor air bacteria and fungal spores in a subarctic climate. Indoor Air 1992; 2: 26-31.
20. Górny RL, Dutkiewicz J. Bacterial and fungal aerosols in indoor environment in Central and Eastern European countries. Ann Agric Environ Med 2002; 9: 17-23.

07 256 10/16/09, 2:25 PM
Black