KKU Res. J. 2012; 17(2):236-244
http : resjournal.kku.ac.th

การกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศของเครื่องฟอกอากาศที่ใช้หลักการทำงานต่างกัน

Airborne Microorganism Removals Using Air Purifiers with Different Principles

ยุพรัตน์ หลิมมงคล[1], ชุลีย์วัลย์ ธัญญศิรินนท์[1], รจฤดี โชติกาวินทร์[2], พิพัฒน์ ศรีเบญจลักษณ์[3] และ ภารดี ช่วยบำรุง[4]*
Yuparat Limmongkon[1], Chuleewan Thunyasirinon[1], Rotruedee Chotigawin[2], Pipat Sribenjalux[3], Paradee Chuaybamroong[4]*

[1] นักศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ (นานาชาติ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[2] อาจารย์ ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
[3] รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการตรวจวินิจฉัยทางห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[4] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
**Corresponding author: paradee@tu.ac.th*

Received September 17,2010
Accepted March 20,2012

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ทดสอบการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ (*Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger*, *Penicillium citrinum*) ด้วยเครื่องฟอกอากาศแบบที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลสิส แบบไฟฟ้าสถิต แบบรังสีอัลตราไวโอเล็ต และแบบรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีแผ่นกรองอนุภาคขั้นต้น ด้วยการพ่นจุลินทรีย์เข้าไปในห้องจำลองขนาด 2×2×2 เมตร แล้วทำการเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศด้วยแอนเดอร์สัน อิมแพคเตอร์เพื่อเปรียบเทียบจำนวนจุลินทรีย์ในช่วงที่ไม่ได้เปิดเครื่องฟอกอากาศ กับช่วงที่เปิดเครื่องฟอกอากาศ และช่วงหลังปิดเครื่องฟอกอากาศไปแล้ว อย่างละ 3 ซ้ำ พบว่า เครื่องฟอกอากาศแบบโฟโตคะตะไลสิสและแบบไฟฟ้าสถิตมีความสามารถในการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศที่ใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 76-98 และ 80-99 ตามลำดับ) ส่วนแบบรังสีอัลตราไวโอเล็ตนั้นกำจัดจุลินทรีย์ด้อยกว่าชนิดอื่น (ร้อยละ 39-89) จึงมีการเพิ่มแผ่นกรองอนุภาคขั้นต้นเพื่อจับอนุภาคก่อนฉายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่าการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 54-95 (ขึ้นกับระยะเวลาที่ใช้และชนิดของจุลินทรีย์)

Abstract

Airborne microorganism (*Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger*, and *Penicillium citrinum*) removals using a photocatalytic air purifier, electrostatic air purifier, ultraviolet air purifier, and ultraviolet air purifier with a pre-filter were compared in this study. The experiment was conducted in a 2×2×2 m chamber by injecting each microorganism into the chamber. The microorganism concentration was collected using an Andersen impactor. The concentration before turning-on the air purifier was compared to that during turning-on and that during turning-off periods. The triplicate results revealed that the PCO and ESP air purifiers yielded

the highest efficiency (76-98% and 80-99%, respectively) while the ultraviolet air purifier showed the lowest efficiency (39-89%). The pre-filter was thus added to the ultraviolet air purifier to confine the microorganisms and the ultraviolet light was irradiated onto it. It was found that the removal efficiency was increased to 54-95%, depending on duration time and microorganism types.

คำสำคัญ : เครื่องฟอกอากาศ, การกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ, เชื้อราและแบคทีเรียในอากาศ
Keywords: Air purifiers, Airborne microorganism removal, fungi and bacteria in the air

1. บทนำ

ประชาชนในปัจจุบันใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ภายในอาคารมากถึงร้อยละ 90 ของเวลาทั้งหมด (1) โอกาสที่จะสัมผัสกับมลพิษภายในอาคาร รวมถึงมลพิษจากภายนอกที่รั่วไหลเข้ามาปนเปื้อนอากาศภายในจึงมีมากขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าอาคารนั้นไม่มีการระบายหรือการเจือจางมลพิษอย่างเหมาะสมและพอเพียง สิ่งที่ตามมาก็คือผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เช่น การระคายเคืองต่อเยื่อบุตา จมูก โรคหอบหืด รวมทั้งส่งผลต่อสภาวะในการทำกิจกรรมต่างๆภายในอาคาร เกิดความอ่อนเพลีย ขาดสมาธิในการทำงาน ฯลฯ คุณภาพอากาศภายในอาคารจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องการความใส่ใจ โดยประเทศไทยพบความชุกของการเกิดกลุ่มอาการป่วยเหตุอาคาร (Sick building syndrome, SBS) อยู่ในช่วงร้อยละ 25 -26 (2) ใกล้เคียงกับระดับที่องค์การอนามัยโลกกำหนดว่าสามารถก่อให้เกิดปัญหาและควรต้องมีการปรับปรุงแก้ไข ทั้งนี้จุลินทรีย์ในอากาศจัดเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของการเกิดกลุ่มอาการป่วยเหตุอาคารดังกล่าว (3) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การติดเชื้อในโรงพยาบาล (Nosocomial diseases) ที่ส่งผลต่อการสูญเสียทั้งทางตรง เช่น ค่ารักษาพยาบาลที่สูงขึ้น และทางอ้อม เช่น การสูญเสียทรัพยากรมนุษย์ การพักฟื้นที่ใช้เวลานาน (4) แนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยป้องกันและควบคุมการสะสมมลพิษทางอากาศคือการเลือกใช้เครื่องฟอกอากาศที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสภาพพื้นที่การใช้งาน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องฟอกอากาศต่างชนิดกันนั้นเป็นสิ่งที่กระทำได้ยาก เนื่องจากเครื่องฟอกอากาศแต่ละชนิดมีการใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างหลากหลายกันออกไป เช่น มีการใช้รังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อทำลายสารพันธุกรรมของเซลล์จุลินทรีย์ (5) หรือมีการใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลสิสซึ่งสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลที่สามารถออกซิไดซ์ผนังเซลล์จุลินทรีย์จนทำให้ตายในที่สุด (6) หรือมีการใช้ไฟฟ้าสถิตที่ดักจับอนุภาคด้วยการชาร์จประจุให้ เป็นต้น การออกแบบรูปทรงและรูปแบบการใช้งานจึงต้องแตกต่างกันไปด้วยการจะเปรียบเทียบว่าชนิดใดเหนือกว่าชนิดใดในลักษณะที่ตัวแปรต่างๆไม่ได้ถูกควบคุมไว้ให้เหมือนกันจึงเป็นสิ่งที่กระทำได้ลำบาก ในการศึกษานี้จึงพยายามที่จะควบคุมรูปร่าง ลักษณะ และอัตราการดูดอากาศของเครื่องฟอกอากาศให้คงที่เท่ากันทุกครั้ง โดยใช้โครงของเครื่องฟอกอากาศโครงเดียวกันในการศึกษาการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ โดยเปรียบเทียบหลักการทำงานของเครื่องฟอกอากาศที่ต่างกัน 4 แบบ คือ แบบที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลสิส แบบไฟฟ้าสถิต และแบบรังสีอัลตราไวโอเล็ต รวมไปถึงแบบรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีแผ่นกรองอนุภาคขั้นต้น (Pre-filter) อยู่ร่วมด้วย ผลที่ได้จะช่วยให้ข้อมูลที่เป็นข้อเท็จจริงเพื่อผู้บริโภคสามารถนำไปใช้พิจารณาประกอบการตัดสินใจในการเลือกบริโภคสินค้าที่ใช้เทคโนโลยีหลากหลายให้ตรงกับความต้องการต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 เครื่องฟอกอากาศ

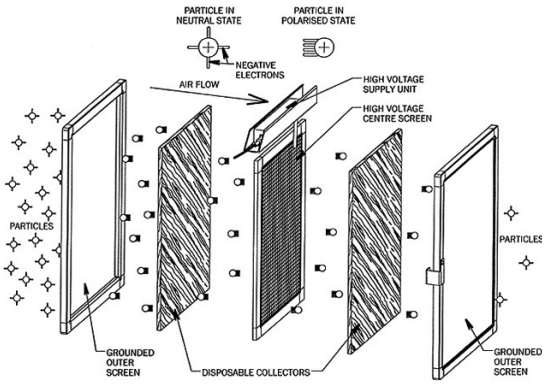
เครื่องฟอกอากาศที่ใช้ นำมาจากชนิดอิเลคโทรนิคแอร์ฟิลเตอร์ รุ่น PT-600 ของบริษัทอัลไพน์ จำกัด นำมาดัดแปลงโดยนำแผ่นกรองอิเลคโทรนิคสำหรับวิธีไฟฟ้าสถิตออกแล้วเปลี่ยนเป็นแผ่นกรองโฟโตคะตะลิสต์ โดยใช้แผ่นกรอง HEPA ที่เคลือบด้วยไทเทเนียมได

ออกไซด์ (ปริมาณ 3140 mg/m^2) แล้วฉายด้วยแสง UV-A (3.2 mW/cm^2) ด้วยหลอดไฟแบล็คไลท์ (Sylvania F36W-T8/BLB) จำนวน 4 หลอด เพื่อใช้เป็นเครื่องฟอกอากาศชนิดโฟโตคะตะไลสิส (PCO) (รูปที่ 1) ส่วนการเปลี่ยนเป็นชนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UVC) ทำโดยใช้หลอดไฟแบล็คไลท์ (Sylvania Germicidal lamp 20W) ที่ให้รังสี UV-C จำนวน 4 หลอด ความเข้มแสง 3.7 mW/cm^2 บรรจุไว้แทน (รูปที่ 2)

รูปที่ 1 เครื่องฟอกอากาศชนิดโฟโตคะตะไลสิส (PCO)

รูปที่ 2 เครื่องฟอกอากาศชนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UVC)

โดยชนิดไฟฟ้าสถิต (ESP) นั้น ใช้ชุดแผ่นกรองอิเลคโทรนิคที่มีมากับตัวเครื่อง ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นตาข่ายลวดซึ่งด้านบนมีเข็มสำหรับรับกระแสไฟฟ้าแรงสูงขนาด 5500-6700 โวลท์จากอุปกรณ์แปลงไฟฟ้า (High voltage supply unit) แผ่นตาข่ายนี้ถูกประกบด้านซ้าย-ขวาด้วยแผ่นรองรับอนุภาคที่ทำจากใยแก้วจำนวน 2 คู่ (รูปที่ 3)

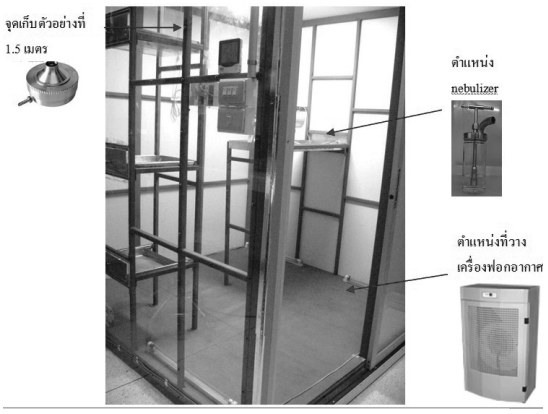


รูปที่ 3 องค์ประกอบของชุดแผ่นกรองอิเลคโทรนิคในเครื่องฟอกอากาศ (อนุเคราะห์ภาพโดยบริษัท อัลไพน์ จำกัด)

อัตราการดูดอากาศที่ใช้ในการศึกษานี้ทั้งหมดอยู่ที่ 418 ft^3/min ซึ่งมาจากการวัดความเร็วลมที่ช่องทางเข้าของอากาศ (Inlet) ด้วย Hot wire anemometer (Airflow Developments Ltd., model TA5-Flexible probe) คูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเข้าของอากาศ

2.2 การกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ

การศึกษาการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศกระทำในห้องจำลองขนาด 2×2×2 เมตร (รูปที่ 4) จุลินทรีย์ที่ใช้ได้แก่ *Bacillus subtilis* และ *Staphylococcus epidermidis* สำหรับเป็นตัวแทนของแบคทีเรีย และ *Aspergillus niger* กับ *Penicillium citrinum* สำหรับเป็นตัวแทนของเชื้อรา เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดจัดซื้อมาจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยในรูปของผงแห้ง นำมาผสมกับน้ำกลั่นปราศจากเชื้อแล้วเพาะในอาหาร blood agar สำหรับ *S. epidermidis* อาหาร Tryticase Soy Agar สำหรับ *B. subtilis* และอาหาร Saubouraud Dextrose Agar สำหรับเชื้อรา เมื่อจุลินทรีย์เจริญเติบโตเต็มที่ก็จะเขี่ยเชื้อมาผสมกับน้ำกลั่นเพื่อนำไปพ่นในห้องจำลองต่อไป โดยกรณีของ *B. subtilis* จะใช้เฉพาะสปอร์ของเชื้อเท่านั้น ซึ่งรายละเอียดของการเตรียมเชื้อและการเพาะเลี้ยงสามารถศึกษาได้ในยุพรัตน์ และคณะ (7) การทดสอบยืนยันชนิดของเชื้อทั้งก่อนและระหว่างการทดลองใช้วิธี Conventional method สำหรับเชื้อแบคทีเรีย (8, 9) และวิธี Microscopic examination by slide culture method สำหรับเชื้อรา (10, 11)

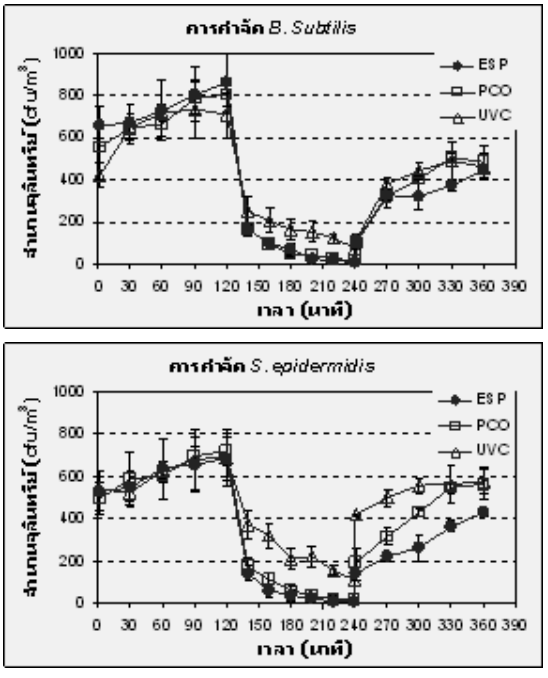


รูปที่ 4 ห้องจำลองที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองเริ่มจากการใช้เครื่อง Nebulizer (BGI. Incorp., model MRE-CN 25) พ่นเชื้อจุลินทรีย์ทีละชนิด (ความเข้มข้นของจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 10^4-10^7 cfu/mL) เข้าไปในห้องจำลอง นาน 6 ชั่วโมง โดยเปิดพัดลมในห้องให้เกิดการผสมตัวอย่างทั่วถึง ซึ่งใน 2 ชั่วโมงแรกยังไม่มีการเปิดเครื่องฟอกอากาศแต่มีการเก็บตัวอย่างอากาศทุกๆ 30 นาทีที่ระดับความสูง 1.5 เมตรด้วย Single-stage impactor (SKC, Inc., model Biostage) นาน 3 นาที ตามวิธีการของ NIOSH method 0800 (12) จากนั้นจึงเปิดเครื่องฟอกอากาศและเก็บตัวอย่างต่อเนื่องทุก 30 นาทีอีก 2 ชั่วโมงก่อนปิดเครื่องฟอกอากาศ และยังคงเก็บตัวอย่างต่อไปอีก 2 ชั่วโมง โดยตลอด 6 ชั่วโมงที่ทำการศึกษานั้น เครื่อง Nebulizer ยังคงพ่นจุลินทรีย์อยู่ตลอดเวลา อุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดลองอยู่ที่ 25±1°C และ 55±5%RH ตามลำดับ ซึ่งหลังจากเสร็จสิ้นการศึกษากับจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง ได้ทำการฆ่าเชื้อในห้องจำลองโดยเปิดไฟอัลตราไวโอเล็ตชนิดซี (UVC) ทิ้งไว้ 4-6 ชั่วโมง และตรวจสอบการฆ่าเชื้อด้วยการเก็บตัวอย่างอากาศมาเพาะหาเชื้อที่ยังอาจหลงเหลืออยู่จนแน่ใจว่าห้องปลอดเชื้อแล้ว จึงดำเนินการศึกษากับจุลินทรีย์ชนิดที่สอง สาม และสี่ ต่อไปตามลำดับ ทั้งหมดทำการศึกษา 3 ซ้ำในแต่ละชนิดของเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ ยกเว้นการใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับแผ่นกรองอนุภาคขั้นต้น (Pre-filter: efficiency = 25-30% หรือ MERV = 6-7) มีการศึกษาซ้ำเดียว

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ผลการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *B. subtilis* และ *S. epidermidis* จากการใช้เครื่องฟอกอากาศ 3 ชนิด (PCO, ESP และ UVC) แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งผลที่นำเสนอมาจากค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ โดยเวลา 1-120 นาทีเป็นสภาวะก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศ ส่วนเวลาที่ 121-240 นาทีเป็นสภาวะระหว่างการเปิดเครื่องฟอกอากาศ และเวลาที่ 241 นาทีเป็นต้นไปนั้นปิดเครื่องฟอกอากาศแล้ว โดยจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นนั้นอยู่ในช่วงของ 687-864 cfu/m^3 หรือ colony forming unit ต่อปริมาตรอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร

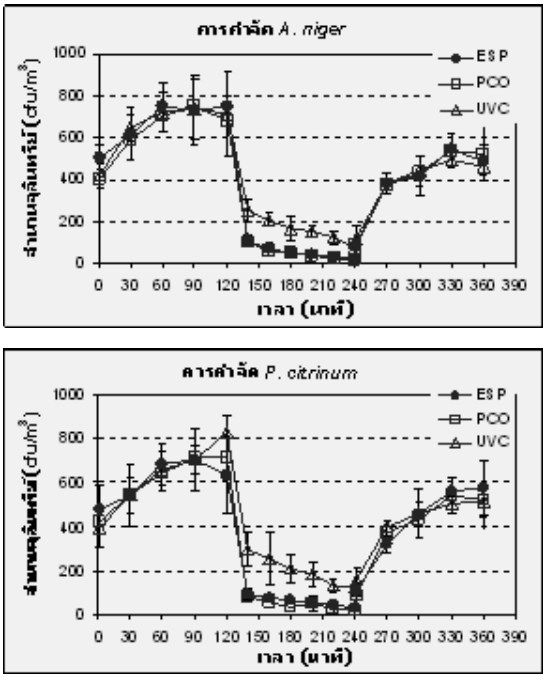


รูปที่ 5 จำนวนแบคทีเรียที่พบก่อนเปิด-ระหว่างเปิด-และหลังปิดเครื่องฟอกอากาศทั้ง 3 ชนิด

จากรูปจะเห็นได้ว่าเครื่องฟอกอากาศ ESP และ PCO ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อ *B. subtilis* และ *S. epidermidis* ที่ใกล้เคียงกัน โดยความแตกต่างนั้นไม่มีนัย

สำคัญทางสถิติ (p-value = 0.97 และ 0.58 ตามลำดับ) ขณะที่ UVC ให้ประสิทธิภาพที่ด้อยกว่า ESP และ PCO อย่างเห็นได้ชัด (p-value = 0.00 และ 0.01 ตามลำดับ) โดยจำนวนเชื้อแบคทีเรียที่พบใน 3 ซ้ำนั้นอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันจนความแตกต่างนั้นไม่มีนัยสำคัญ (p-value = 0.93-0.99 สำหรับ *B. subtilis* และ p-value = 0.62-0.95 สำหรับ *S. epidermidis*) จากการใช้เครื่องฟอกอากาศ 3 ชนิด

ในกรณีของเชื้อราทั้ง *A. niger* และ *P. citrinum* (รูปที่ 6) พบว่าเครื่องฟอกอากาศ PCO และ ESP สามารถกำจัดเชื้อราทั้งสองได้ใกล้เคียงกัน (p-value = 0.84 และ 0.55 ตามลำดับ) แต่เครื่องฟอกอากาศชนิด UVC มีประสิทธิภาพด้อยกว่า PCO และ ESP อย่างชัดเจน (p-value = 0.01 และ 0.00 ตามลำดับ) (จำนวนเชื้อราเริ่มต้น 635-910 cfu/m^3) โดยจำนวนเชื้อราที่พบใน 3 ซ้ำจากการใช้เครื่องฟอกอากาศ 3 ชนิดนั้นอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน (p-value = 0.20-0.86 สำหรับ *A. niger* และ p-value = 0.09-0.78 สำหรับ *P. citrinum*)



รูปที่ 6 จำนวนเชื้อราที่พบก่อนเปิด-ระหว่างเปิด-และหลังปิดเครื่องฟอกอากาศชนิดต่างๆ

ทั้งนี้ การทำงานของเครื่องฟอกอากาศ ESP มาจากการที่เข็มอิเลคโทรดได้รับกระแสไฟฟ้าแรงสูงขนาด 5500-6700 โวลท์จาก high-voltage supply unit ที่ติดอยู่ทางด้านบน (รูปที่ 3) ซึ่งกระแสไฟฟ้าแรงสูงจะก่อให้เกิดการแตกตัวของอากาศที่อยู่ในบริเวณ กลายเป็นประจุบวกและประจุลบ (อิเลคตรอน) ขึ้น เมื่ออนุภาคของฝุ่นละอองหรือจุลินทรีย์ผ่านเข้ามาในเครื่องฟอกอากาศ ประจุเหล่านี้ก็จะเข้าไปเกาะติดหรือถ่ายเทประจุให้ ทำให้ฝุ่นหรือจุลินทรีย์นั้นมีประจุขึ้นมา ซึ่งมันจะเคลื่อนที่ต่อไปยังแผ่นรองรับที่ประกบอยู่ทั้งสองข้างเพื่อคายประจุให้ ทำให้ฝุ่นละอองหรือจุลินทรีย์เกาะติดอยู่กับแผ่นรองรับ ไม่ได้ไหลตามกระแสอากาศออกจากเครื่องฟอกอากาศไป จึงมีเฉพาะอากาศสะอาดเท่านั้นที่ออกไปจากเครื่อง อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบได้ก็คือ ฝุ่นบางชนิดอาจรับประจุได้ง่ายและก็คายประจุให้กับสิ่งแวดล้อมอื่นๆได้ไวเช่นกัน ทำให้ตัวมันไม่มีประจุ จึงไม่ไปเกาะติดกับแผ่นรองรับอนุภาคแต่เคลื่อนตัวออกไปพร้อมกับกระแสอากาศเลย หรือฝุ่นบางชนิดอาจรับประจุยาก ทำให้ตัวมันไม่มีประจุ จึงไม่ไปเกาะติดกับแผ่นรองรับอนุภาคอีกเช่นกัน (13) ซึ่งจากรูปที่ 5 และ 6 เห็นได้ชัดว่าทันทีที่เปิดเครื่องฟอกอากาศในนาทีที่ 120 จำนวนจุลินทรีย์นั้นลดลงอย่างรวดเร็ว และค่อยๆลดลงไปเรื่อยๆตลอดช่วงเวลาที่เปิดให้เครื่องฟอกอากาศทำงาน แสดงว่าทั้งแบคทีเรียและเชื้อราในการศึกษานี้ สามารถรับประจุได้ดีทั้งสิ้น

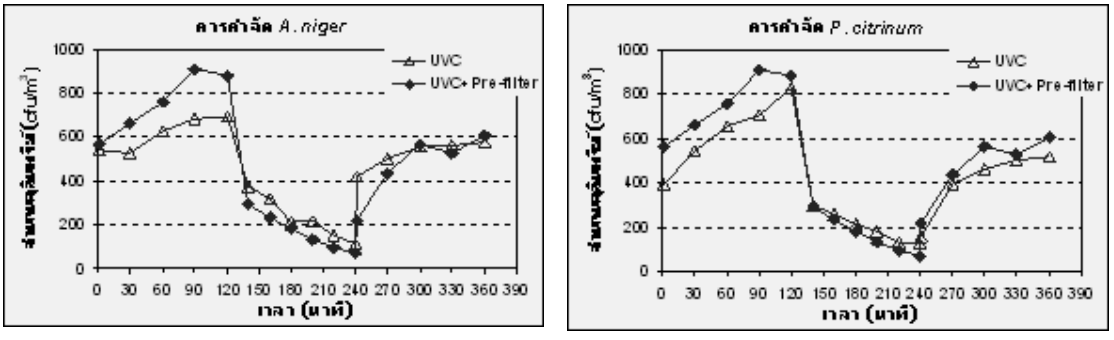
ในกรณีของเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลสิส เกิดจากการที่แสง UVA มาตกกระทบบนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนแผ่นกรอง ทำให้อิเลคตรอนที่ปกติจะอยู่เฉพาะในชั้นพลังงานต่ำ (ชั้นวาเลนซ์) ในไทเทเนียมไดออกไซด์ดูดพลังงานนั้นเอาไว้จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดข้ามช่องว่างของชั้นพลังงานไปสู่ชั้นพลังงานที่สูงกว่าได้ (ชั้นคอนดักชั่น) ทิ้งให้เกิดเป็นรูว่างอยู่ในชั้นพลังงานเดิม ซึ่งรูว่างนี้สามารถทำปฏิกิริยากับละอองไอน้ำ หรือไฮดรอกไซด์ที่มาจากการแตกตัวของน้ำ กลายเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (°OH) ส่วนอิเลคตรอนที่ขึ้นไปอยู่ในชั้นคอนดักชั่นแล้วก็สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อยู่รอบๆกลายเป็นอนุมูลซุเปอร์ออกไซด์ (O_2^-) ซึ่งทั้งคู่ล้วนแต่เป็นตัวออก-

ซีไดซ์และตัวรีดิวซ์ที่รุนแรง สามารถสลายผนังเซลของจุลินทรีย์จนทำให้องค์ประกอบภายในเซลรั่วไหลออกมา และทำลายจุลินทรีย์จนตายได้ในที่สุด (6) ซึ่งชัดเจนว่า ทันทีที่เปิดเครื่องฟอกอากาศชนิดนี้ จำนวนจุลินทรีย์นั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัดดังในรูปที่ 5-6

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้รังสี UVC ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้น (180-280 นาโนเมตร) ที่มีพลังงานสูงที่สุดในรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วยกัน ที่สามารถทำลายโครงสร้าง DNA ของเซลจุลินทรีย์ได้ (5) พบว่าเครื่องฟอกอากาศที่ใช้รังสี UVC ให้ประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าเครื่องฟอกอากาศที่ใช้หลักการทำงานชนิดอื่น โดยเป็นไปได้ว่าอัตราการดูดอากาศที่ 418 ft^3/min ทำให้จุลินทรีย์เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วเกินกว่าที่รังสี UVC จะกำจัดได้ทัน ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเพิ่มเติมโดยใส่แผ่นกรองขั้นต้นหรือ Pre-filter เข้าไปในเครื่องฟอกอากาศแล้วฉายแสง UVC ลงบนแผ่นกรองนั้นอีกที ผลการศึกษาพบว่า การกำจัดจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้รังสี UVC แต่เพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 7 และ 8 โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำจัด *S. epidermidis* ที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.03) ขณะที่จุลินทรีย์ชนิดอื่นที่แม้จะสังเกตเห็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น แต่ความแตกต่างนั้นยังไม่มีความสำคัญในเชิงสถิติ แสดงว่าแผ่นกรองขั้นต้นที่ใช้ยังไม่เพียงพอในการดักจับอนุภาคเอาไว้ได้ อาจต้องพิจารณาแผ่นกรองที่ให้ประสิทธิภาพสูงกว่านี้

เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศด้วยเครื่องฟอกอากาศชนิดต่างๆในรูปของร้อยละ พบว่า เครื่องฟอกอากาศชนิด ESP สามารถกำจัด *B. subtilis*, *S. epidermidis* และ *A. niger* ได้ดีกว่าเครื่องฟอกอากาศชนิดอื่นๆ ซึ่งปัจจัยในเรื่องของความยากง่ายในการชาร์จ (หรือถ่ายเท) ประจุให้กับจุลินทรีย์แต่ละชนิดนั้น การศึกษานี้ยังไม่ได้ครอบคลุมไปถึง ขณะที่การใช้เครื่องฟอกอากาศชนิด PCO สามารถกำจัดเชื้อรา *P. citrinum* ได้ดีที่สุดแต่ความแตกต่างนั้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชนิด ESP (p-value = 0.43) ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

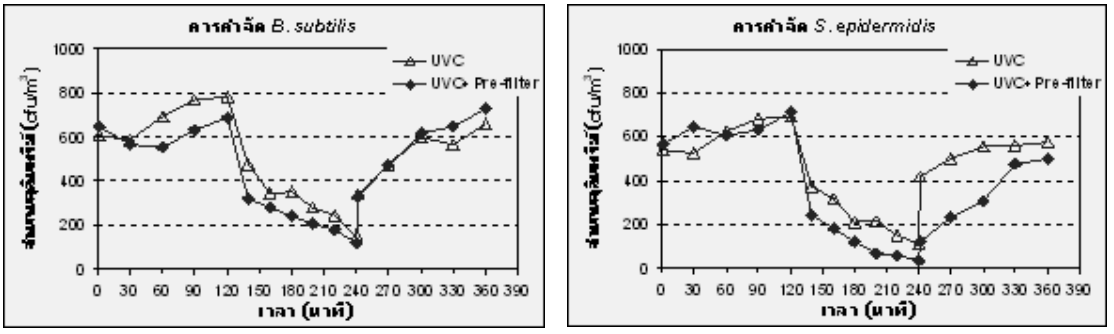
ในแง่ของจุลินทรีย์ชนิดใดถูกกำจัดได้ง่ายหรือยากกว่ากัน การศึกษานี้พบว่าเครื่องฟอกอากาศ ESP สามารถกำจัด *S. epidermidis* ออกจากกระแสอากาศได้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ *B. subtilis* และ *A. niger* โดย *P. citrinum* นั้นถูกกำจัดได้ยากที่สุด ทั้งนี้ *S. epidermidis* นั้นเป็น vegetative bacteria ชนิดแกรมบวกที่ไม่ทนทานในสิ่งแวดล้อม (14) จึงถูกกำจัดได้ง่ายที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าเครื่องฟอกอากาศชนิด ESP สามารถกำจัดเชื้อ *S. epidermidis* ได้ดีกว่า *B. subtilis*, *A. niger* และ *P. citrinum* จากจำนวน 35,311-33,616 cfu/m^3 ให้เหลือน้อยกว่า 500 cfu/m^3 ได้ภายในเวลา 30-40 นาที (7) นอกจากนี้ ยังเป็นไปได้ว่าอัตราการรับหรือคายประจุของจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีไม่เท่ากัน จึงอาจส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดจุลินทรีย์ออกจากกระแสอากาศของเครื่องฟอกอากาศชนิด ESP แตกต่างกันไปด้วย แต่เนื่องจากการศึกษาในแนวลึกในส่วนนี้ไม่ได้กระทำ จึงยังไม่อาจสรุปผลที่ชัดเจนได้ ส่วนเครื่องฟอกอากาศชนิด PCO สามารถกำจัด *B. subtilis* ได้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ *S. epidermidis* และ *A. niger* โดย *P. citrinum* นั้นถูกกำจัดได้ยากที่สุด ซึ่งในกรณีของ *B. subtilis* ที่ถูกกำจัดได้มากที่สุดนั้น เป็นไปได้ว่ารังสี UVA ไปทำลายโมเลกุล



รูปที่ 7 จำนวนเชื้อราก่อนเปิด-ระหว่างเปิด-และหลังปิดเครื่องฟอกอากาศชนิด UVC ที่ไม่มี และมีแผ่นกรองขั้นต้น

ตารางที่ 1 การลดลงของจุลินทรีย์เมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศชนิด ESP, PCO, UVC และ UVC ร่วมกับ Pre-filter

เครื่องฟอกอากาศ	เปิดเครื่องฟอกนาน (นาที)	การลดลงของจุลินทรีย์ในอากาศ (%)			
		B. subtilis	***S. epidermdis***	***A. niger***	***P. citrinum***
จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น		864 cfu/m^3	687 cfu/m^3	751 cfu/m^3	635 cfu/m^3
ชนิด ESP	20	80.9	79.5	86.1	85.5
	40	88.4	91.9	90.4	88.0
	60	92.1	94.8	93.6	89.9
	80	97.2	96.5	94.2	91.8
	100	98.2	98.8	95.8	93.1
	120	99.1	99.4	97.9	95.0
จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น		806 cfu/m^3	724 cfu/m^3	679 cfu/m^3	715 cfu/m^3
ชนิด PCO	20	79.0	76.1	85.2	88.8
	40	88.1	84.5	91.2	92.2
	60	94.1	92.3	92.9	95.0
	80	95.1	95.1	94.7	92.7
	100	97.0	97.3	96.5	96.7
	120	98.3	97.8	97.7	97.2
จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น		784 cfu/m^3	692 cfu/m^3	712 cfu/m^3	825 cfu/m^3
ชนิด UVC	20	39.1	45.9	64.6	63.8
	40	56.0	53.9	71.0	68.8
	60	54.9	69.6	76.8	74.5
	80	64.1	68.4	78.5	78.0
	100	68.9	77.9	83.1	83.9
	120	80.5	83.8	89.3	84.4
จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น		687 cfu/m^3	714 cfu/m^3	910 cfu/m^3	881 cfu/m^3
ชนิด UVC + Pre-filter	20	53.5	65.9	64.9	66.7
	40	59.0	74.6	84.1	73.8
	60	64.5	83.1	82.7	79.4
	80	70.0	89.9	88.1	85.0
	100	73.6	91.6	90.8	89.1
	120	82.5	95.0	92.1	91.8



รูปที่ 8 จำนวนเชื้อแบคทีเรียก่อนเปิด-ระหว่างเปิด-และหลังปิดเครื่องฟอกอากาศชนิด UVC ที่ไม่มี และมีแผ่นกรองขั้นต้น

ที่ไวต่อการรับแสง (photosensitive molecule) ภายในเซลของมัน จึงทำให้มันเกิดการบอบช้ำและถูกกำจัดจากอนุมูลอิสระของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลสิสได้ง่าย (15) โดย ภารดี และคณะ (16) ได้ทดลองใช้แสง UVA อย่างเดียวฉายลงบนแผ่นกรองที่มี *B. subtilis* เกาะติดอยู่ พบว่า *B. subtilis* ถูกกำจัดไปได้ 40% ขณะที่เชื้อรา *A. niger* และ *P. citrinum* นั้นแทบไม่ถูกกำจัดเลย แสดงว่าเชื้อราเหล่านี้ไม่มี photosensitizer ต่อรังสี UVA ภายในเซลของมัน นอกจากนี้ Griest และคณะ (17) ยังอธิบายเพิ่มเติมอีกว่าอนุมูลอิสระไปทำลายผนังของสปอร์ของ *B. subtilis* ที่เป็นชนิด hydrophobic จนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังเซลโดยยอมให้ผนังด้านในที่เป็นชนิด hydrophilic ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้ จนนำมาซึ่งการทำลายเซลในที่สุด ซึ่งแตกต่างจากผนังเซลของเชื้อรา

สำหรับเครื่องฟอกอากาศชนิด UVC พบว่ากำจัดเชื้อราได้มากกว่าเชื้อแบคทีเรีย โดยกำจัด *A. niger* ได้มากกว่า *P. citrinum* และสามารถกำจัดแบคทีเรีย *S. epidermidis* ได้ดีกว่า *B. subtilis* โดยเชื้อราทั้งสองชนิดนี้น่าจะเป็นชนิดที่ไวต่อการถูกทำลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจาก Levetin และคณะ (18) ได้ทดลองติดหลอดไฟ UVC ไว้ในระบบปรับอากาศ (air handling unit: AHU) ภายในตึกสี่ชั้น พบว่าเชื้อราในชั้นที่ทำการศึกษามีการลดลงของ *Aspergilllus versicolor* มากที่สุดถึง 98.5% รองลงมาได้แก่ *Cladosporium* (ไม่ทราบสปีชีส์) 93.9% และ *Penicillium* 87.8% ขณะที่หลอดไฟ UVC ดังกล่าว ไม่สามารถกำจัด *Cladosporium cladosporioides* ได้เลย เนื่องจากพบการเพิ่มจำนวนของเชื้อดังกล่าวหลังจากติดหลอดไฟ95%เช่นเดียวกับ *Hyalodendron* ที่พบเพิ่มจำนวนขึ้นมาอีก 37% แสดงว่าเชื้อราหรือจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความทนทานที่ไม่เท่ากันและสุดท้ายเครื่องฟอกอากาศชนิด UVC ร่วมกับ Pre-filter สามารถกำจัด *S. epidermidis* ได้มากกว่าเชื้อชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.03) รองลงมาได้แก่ *P. citrinum* และ *A. niger*

4. สรุป

เครื่องฟอกอากาศชนิดโฟโตคะตะไลสิสและชนิดไฟฟ้าสถิตมีความสามารถในการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศที่ใกล้เคียงกันแม้ว่าจะมีหลักการทำงานที่ต่างกัน ส่วนชนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ตนั้นกำจัดจุลินทรีย์ด้อยกว่าชนิดอื่นโดยสันนิษฐานว่าอากาศที่ไหลผ่านเครื่องฟอกมีความเร็วสูงเกินกว่าที่รังสีจะทำลายได้ทัน เมื่อนำแผ่นกรองอากาศอนุภาคขั้นต้นมาดักจับอนุภาคก่อนใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่าสามารถกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศได้ดีขึ้น ซึ่งรายละเอียดเพิ่มเติมยังต้องมีการศึกษาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท อัลไพน์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องฟอกอากาศและข้อมูลโดยไม่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัย ขอขอบคุณคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทดลอง และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่สนับสนุนทุนวิจัยจากรายได้พิเศษ (สัญญาเลขที่ ทอ.11/2551)

6. เอกสารอ้างอิง

(1) U.S. Environmental Protection Agency, Office of air and radiation, indoor environment division. An office building occupant's guide to indoor air quality. Washington, D.C.;1997.

(2) Nuttapong Laemun. The prevalence rate and associated factors of sick building syndrome among health care workers in hospitals with inadequate ventilation [MS thesis].Bangkok: Chulalongkorn University; 2005. Thai.

(3) US. Environmental Protection Agency, Office of air and radiation, indoor environment division. Indoor air facts no. 4 (revised) sick building syndrome. Washington, DC. ; 1991.

(4) Loesunthorn P. Epidemiology: epidemiology and infection control in hospitals. 7th ed. Bangkok: Chulalongkorn University; 2009.

(5) Beggs CB, Noakes CJ, Sleigh PA, Fletcher LA, Kerr KG. Methodology for determining the susceptibility of airborne microorganisms to irradiation by an upper-room UVGI system. Aerosol Sci. 2006;37: 885–902.

(6) Chotigawin R. Disinfection efficiency of TiO_2 immobilized high efficiency particulate air filters for hospital airborne microorganisms [PhD thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2009.

(7) Limmongkon Y, Sribenjalux P, Chuaybamroong P. Capability of electronic-filter air purifier on airborne microorganism removal. J Med Tech Phy Ther. 2009;21(3): 246-56. Thai.

(8) Hoos WE, Bannerman TL. Staphylococcus and micrococcus. In: Murray PR, Barron EJ, Pfaller MA, Tenover FC, Yolken RH, editors. Manual of clinical microbiology. 7th ed. Washington, DC: ASM; 1999.

(9) Logan NA, Turnbull PCB. Bacillus and recently derived genera. In: Murray PR, Barron EJ, Pfaller MA, Tenover FC, Yolken RH, editors. Manual of clinical microbiology. 7th. ed. Washington, DC: ASM; 1999.

(10) Harris JL. Modified method for fungal slide culture. J Clin Microbiol. 1986;24(3): 460-1.

(11) Sigler L, Kennedy MJ. Aspergillus, Fusarium and Other Opportunistic Moniliaceous Fungi. In: Murray PR, Barron EJ, Pfaller MA, Tenover FC, Yolken RH, editors. Manual of clinical microbiology. 7th. ed. Washington, DC: ASM; 1999.

(12) NIOSH. Bioaerosal sampling (indoor air) [Internet]. 2009 [cited 2009 Jun 29]. Available from: http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/0800. pdf.

(13) Cooper CD, Alley FC. Air pollution control: A design approach. 2nd ed. Illinois: Waveland; 1994.

(14) Lin CY, Li CS. Inactivation of microorganisms on the photocatalytic surfaces in air. Aerosol Sci and Technol. 2003;37: 939-46.

(15) Pal A, Pehkonen SO, Yu LE, Ray MB. Photocatalytic inactivation of Gram-positive and Gram-negative bacteria using fluorescent light. J. Photochem. Photobiol. A: Chem. 2007;186**:** 335-41.

(16) Chuaybamroong P, Chotigawin R, Supothina S, Sribenjalux P, Larpkiattaworn S, Wu CY. Efficacy of photocatalytic HEPA filter on microorganism removal. Indoor Air. 2010;20(3): 246-54.

(17) Greist HT, Hingorani SK, Kelly K, Goswami DY. Using scanning electron microscopy to visualize photocatalytic mineralization of airborne microorganisms. Proceedings of Indoor air 2002; 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. California;2002. P. 712-7.

(18) Levetin E, Shaughnessy R, Rogers CA, Scheir R. Effectiveness of germicidal UV radiation for reducing fungal contamination within air-handling units. Appl Environ Microbiol. 2001;67(8): 3712-5.