

การลดจำนวนแบคทีเรียในอากาศของโรงพยาบาลโดยใช้เครื่องฟอกอากาศชนิด อิเล็กทรอนิกส์ที่เสริมและไม่เสริมปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

กคนางค์ จันทรทิพย์¹, พิพัฒน ศรีเบญจลักษณ์², การดี ช่วยบำรุง^{1 *}

Received: March 19, 2013

Revised & Accepted: July 10, 2013

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้หลักการชาร์จประจุให้กับอนุภาค ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปเกาะยังแผ่นรองรับซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าภายในตัวเครื่อง อนุภาคจึงแยกตัวออกจากกระแสอากาศได้ การศึกษากระทำโดยนำเครื่องฟอกอากาศไปวางไว้บริเวณที่นักรถตรวจผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลศรีนครินทร์และบริเวณห้องพักรักษาผู้ป่วยแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวกแล้วเก็บตัวอย่างอากาศที่ระยะห่างจากเครื่องฟอกอากาศ 0.5, 1 และ 2 เมตร เพื่อศึกษาจำนวนแบคทีเรียรวมในอากาศในช่วงก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศ เปรียบเทียบกับจำนวนที่พบระหว่างที่เปิดเครื่องฟอกอากาศ และจำนวนหลังจากที่ปิดเครื่องฟอกอากาศไปแล้ว โดยมีการนำแผ่นรองรับอนุภาคของเครื่องฟอกอากาศอิเล็กทรอนิกส์ไปเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ แล้วบรรจุกลับเข้าไปในเครื่องฟอกอากาศใหม่และกระตุ้นด้วยแสงจากหลอดไฟแบล็คไลท์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส จากนั้นนำไปใช้งานในลักษณะเดิมทุกประการเพื่อการเปรียบเทียบ ผลการศึกษาพบว่าการมีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสร่วมด้วย ช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียในอากาศอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่จำนวนคนในบริเวณนั้นมีไม่มากจนเกินไป โดยพบการลดลงของแบคทีเรียในอากาศสูงสุดที่แผนกผู้ป่วยนอกที่ระยะห่าง 0.5 เมตรร้อยละ 59 ในซ้ำที่ 1 และร้อยละ 73 ในซ้ำที่ 2 (เฉลี่ยทั้งหมดจากสองซ้ำทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่ายจากการเปิดเครื่องฟอกอากาศนาน 50 นาที คือ ร้อยละ 53) และที่ห้องพักรักษาผู้ป่วยแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวกพบการลดลงของแบคทีเรียสูงสุดร้อยละ 82 ในซ้ำที่ 1 และร้อยละ 83 ในซ้ำที่ 2 ที่ระยะห่าง 0.5 เมตร เช่นกัน (เฉลี่ยทั้งหมดจากสองซ้ำทั้งในและนอกเวลาเยี่ยมจากการเปิดเครื่องฟอกอากาศนาน 50 นาที คือ ร้อยละ 58) ขณะที่เครื่องฟอกอากาศที่ไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสลดจำนวนแบคทีเรียในอากาศได้สูงสุดร้อยละ 34-40 ที่แผนกผู้ป่วยนอก (เฉลี่ยร้อยละ 22) และร้อยละ 35-64 ที่ห้องผู้ป่วยแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก (เฉลี่ยร้อยละ 33) ที่ระยะห่าง 0.5 เมตรเช่นเดียวกัน โดยระยะห่างจากเครื่องฟอกอากาศยิ่งมาก ยิ่งทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานลดลง

คำสำคัญ: การกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ, เครื่องฟอกอากาศ, แบคทีเรียในอากาศโรงพยาบาล, โฟโตคะตะไลซิส, ไทเทเนียมไดออกไซด์

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

²ศูนย์วิจัยและพัฒนาการตรวจวินิจฉัยทางห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* ผู้รับผิดชอบบทความ



Reduction of airborne bacteria in hospital using electronic air purifier with and without photocatalysis reactions

Kakanang Chantharathip¹, Pipat Sribenjalux², Paradee Chuaybamroong^{1*}

Abstract

In this study, an electronic air purifier was used with the principle that particles are charged and migrate to the receiving filter which has lower electrical potential. Thus, the particles can be separated from the air stream. The electronic air purifier was placed in the waiting area of the OPD and burn unit in Srinagarind hospital. The total airborne bacteria samplings were conducted before, during, and after the operation of the air purifier at the distances of 0.5, 1 and 2 m from the air purifier. The photocatalysis study was also performed by coating the receiving filter of the air purifier with titanium dioxide and filled it back to the air purifier unit. By using black light lamps irradiating onto the filter surface, the photocatalysis reactions were provoked; and the airborne bacterial samplings were performed in the same manner as indicated above. The results showed that with the photocatalysis, the effectiveness of air purifier was improved especially in the non-crowded area. The highest bacteria reduction from photocatalysis at a distance of 0.5 m at the OPD waiting area was 59 % in the first run and 73 % in the second run (average of 53 % from a 50-min operation both runs, morning section and afternoon section). The highest bacteria reduction at the Burn unit was 82 % in the first run and 83 % in the second run with the average of 58 % from a 50-min operation in both runs, during visiting time and not visiting time. However, without the photocatalysis, an electronic air purifier could reduce the airborne bacteria at the same distance for the highest as 34-40 % from two runs at the OPD's waiting area (average of 22 %). In the Burn unit, the air purifier without photocatalysis revealed the highest reduction as 35-64 % from two runs with the average of 33 %. The farther from the air purifier, the less effectiveness was found.

Keywords: Airborne microorganism removal, Air purifier, Airborne bacteria in hospital, Photocatalysis, Titanium dioxide

¹Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

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

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

บทนำ

การติดเชื้อในโรงพยาบาลยังคงเป็นปัญหาที่ต้องการการแก้ไขมาโดยตลอด ทั้งในแง่ของผู้มารับบริการ และบุคลากรผู้ให้บริการ วิธีการหนึ่งที่สามารถกระทำได้โดยไม่จำเป็นต้องปรับปรุงสถานที่หรือตัวอาคาร คือการใช้เครื่องฟอกอากาศที่ใช้การดูดอากาศเข้ามาภายในเครื่องเพื่อกำจัดอนุภาคหรือสิ่งปนเปื้อนด้วยหลักการทำงานต่างๆกัน ก่อนจะปล่อยอากาศสะอาดออกจากตัวเครื่องไป ซึ่งเครื่องฟอกอากาศมีอยู่หลากหลายชนิด ทั้งชนิดที่ใช้แผ่นกรองประสิทธิภาพสูง (high efficiency particulate air filter หรือ HEPA filter) เป็นตัวดักจับอนุภาค ชนิดที่ใช้ไอออนเป็นตัวออกซิไดส์สารมลพิษ ชนิดที่ใช้ประจุไอออนเป็นตัวย่อยสลายอนุภาคและพาไปเกาะยังพื้นผิวที่มีความต่างศักย์ต่ำกว่า (ทั้งในและนอกเครื่องฟอก) ชนิดที่ใช้สารโฟโตคะตะลิสต์เป็นตัวก่อให้เกิดอนุมูลอิสระสำหรับสลายสารอินทรีย์และจุลินทรีย์ และชนิดอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ประจุกับอนุภาคก่อนจะพาไปเกาะยังแผ่นกรองรับที่อยู่ภายในเครื่อง เป็นต้น⁽¹⁾

การศึกษาความสามารถในการกำจัดหรือลดจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศ ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาภายในห้องจำลองที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆเอาไว้ เช่น Grinshpun และคณะ⁽²⁾ ศึกษาการกำจัดแบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* โดยใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดปล่อยประจุไอออนในห้องจำลองขนาด 1.2 เมตร x 1.0 เมตร x 2.2 เมตร โดยพบว่าในสภาพอากาศนิ่ง จุลินทรีย์ลดลงครึ่งหนึ่งหลังจากเปิดเครื่องฟอกอากาศนาน 15 นาที และลดลงเกือบทั้งหมดหลังจากเปิดเครื่องนานหนึ่งชั่วโมงครึ่ง หรือการศึกษาของยูพรัตน์ หลิมมงคลและคณะ⁽³⁾ ที่ศึกษาเครื่องฟอกอากาศชนิดอิเล็กทรอนิกส์ในห้องจำลองขนาด 2 เมตร x 2 เมตร x 2 เมตร ในการกำจัดเชื้อรา *Aspergillus niger*, *Penicillium citrinum* แบคทีเรีย *Staphylococcus epidermidis* และสปอร์ของ *Bacillus subtilis* โดยพบว่าเครื่องฟอกอากาศสามารถกำจัดจุลินทรีย์ความเข้มข้น 34,000-80,000 colony forming unit (cfu)/ลูกบาศก์เมตร ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 500 cfu/ลูกบาศก์เมตรได้ภายในเวลา 30-40 นาที (ยกเว้นสปอร์ของ *B. subtilis*) อย่างไรก็ตาม ยังคงมีการศึกษาน้อยมากที่กระทำในสถานที่จริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงพยาบาลที่มีจำนวนผู้มารับการตรวจรักษาอย่างหนาแน่นและมีแนวโน้มที่จะแพร่เชื้อได้มากกว่าในสถานที่หรือในสถานการณ์อื่นๆ การศึกษานี้จึงสนใจศึกษาการลดจำนวนของแบคทีเรีย

รวมในอากาศของโรงพยาบาลศรีนครินทร์ จังหวัดขอนแก่น บริเวณห้องตรวจของแผนกผู้ป่วยนอกและห้องผู้ป่วยพักฟื้นแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก ทั้งในช่วงที่มีจำนวนคนหนาแน่นเปรียบเทียบกับช่วงที่ไม่หนาแน่น โดยใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดอิเล็กทรอนิกส์ที่หาซื้อได้ง่ายในประเทศเนื่องจากผลิตและจัดจำหน่ายโดยคนไทย เปรียบเทียบระหว่างการใช้งานตามสภาพที่ผลิตมาจากบริษัท และการดัดแปลงโดยเสริมปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์เข้าไปเพื่อผลในการเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์เป็นปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระในกลุ่มของไฮดรอกซิล ($^{\circ}\text{OH}$) และซูเปอร์ออกไซด์ ($^{\circ}\text{O}_2^-$) สามารถสลายสารอินทรีย์และทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์จนตายไปในที่สุดได้⁽⁴⁾

วัสดุและวิธีการศึกษา

เครื่องฟอกอากาศชนิดอิเล็กทรอนิกส์ (Alpine Electronic Air Filter, model PT-600) ใช้หลักการชาร์จประจุให้กับอนุภาค (รวมถึงจุลินทรีย์ในอากาศด้วย) จากนั้นอนุภาคที่มีประจุจะเคลื่อนตัวไปยังแผ่นกรองรับอนุภาคที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า และเกาะติดอยู่ที่แผ่นกรองรับนั้น ทำให้เหลือเฉพาะอากาศสะอาดไหลออกจากเครื่องไป

การเสริมปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์กระทำโดยนำแผ่นกรองรับอนุภาคซึ่งเป็นแผ่นใยแก้ว (เฉพาะแผ่นแรกแผ่นเดียว) มาจุ่มเคลือบในสารแขวนลอยไทเทเนียมไดออกไซด์ (Degussa P25) ความเข้มข้น 5 % โดยน้ำหนัก ที่ผสมเหล็ก AgNO_3 ความเข้มข้น 0.1 % โดยใช้ Dispersant 3005 เป็นสารยึดติด (binder) เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำแผ่นใยแก้วที่ผึ่งแห้งแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 1 ชั่วโมง แล้วบรรจุกลับเข้าไปในชุดแผ่นกรองใหม่ โดยทางด้านหน้าภายในเครื่องฟอกอากาศมีการติดหลอดไฟแบล็คไลท์ (Sylvania F36W-T8/BLB) จำนวน 4 หลอด (รูปที่ 1) ซึ่งวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดเอได้ 3.2 mW/cm^2 โดยใช้เครื่อง radiometer (Vilber Lourmat, Germany, model VLX-3W)

การทดลองกระทำที่โรงแผนกผู้ป่วยนอกอายุรกรรม (รูปที่ 2) และห้องผู้ป่วยแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก (รูปที่ 3) โดยเก็บตัวอย่างแบคทีเรียรวมในอากาศที่ระยะห่างจากเครื่องฟอกอากาศไปทางด้านหน้าของเครื่องเป็นระยะ 0.5, 1 และ 2 เมตร ใช้อุปกรณ์อิมแพคเตอร์ชนิดชั้นเดียว (SKC Inc., model Biostage) ที่ภายในบรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase

soy agar เก็บตัวอย่างจุดละ 2 นาที่ในอัตราการดูดอากาศ 28.3 ลิตร/นาที่ ที่ระดับความสูง 1.2 เมตร ในแต่ละระยะห่างมีการเก็บตัวอย่างอากาศทุกๆ 10 นาที่ เป็นเวลานาน 100 นาที่ โดยนาที่ที่ 0, 10 และ 20 เป็นการเก็บตัวอย่างในขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่องฟอกอากาศ จากนั้นจึงเปิดเครื่องและเก็บตัวอย่างในนาที่ที่ 30 ถึง 70 จึงปิดเครื่อง และเก็บตัวอย่างต่อไปอีก 3 ครั้ง คือในนาที่ที่ 80, 90 และ 100 ไม่ว่าจะใช้แผ่นรองรับอนุภาคที่เคลือบหรือไม่เคลือบ หลอดไฟแบล็คไลท์ภายในเครื่องฟอกอากาศนั้นเปิดไว้เหมือนกันเพื่อควบคุมสถานะของการทดลองให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยบริเวณห้องตรวจผู้ป่วยนอกเก็บตัวอย่างในช่วงเช้าที่มีจำนวนผู้มารับบริการหนาแน่น (เวลา 7.30-11.30 น.) จำนวน 2 ชั่วโมง (ต่างวัน) เปรียบเทียบกับช่วงบ่ายที่มีผู้มารับบริการน้อย (เวลา 12.30-16.30 น.) จำนวน 2 ชั่วโมง (ต่างวัน) เช่นกัน ส่วนห้องผู้ป่วยแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก เก็บตัวอย่างในช่วงนอกเวลาเยี่ยม (เวลา 14.00-15.40 น. และเวลา 18.30-20.10 น. เปรียบเทียบกับ 9.00-10.40 น. และ 14.00-15.40 น.) 2 ชั่วโมง และในช่วงเวลาให้ญาติเข้าเยี่ยม (เวลา 11.20-13.00 น. และ 16.20-18.00 น.) จำนวน 2 ชั่วโมง (ต่างวัน) ศึกษาในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน 2555

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการเก็บตัวอย่างแล้ว นำไปบ่มเพาะที่อุณหภูมิ 37 °ซ เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง และรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีที่ปรากฏ (colony forming unit: cfu) โดยนับเฉพาะโคโลนีที่เป็นแบคทีเรียทั้งหมดตาม Manual of Clinical Microbiology⁽⁵⁾ และปรับแก้จำนวนที่นับได้ตามวิธีของ Macher และ Burge⁽⁶⁾ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ผ่านรูของอิมแพคเตอร์มาตกลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่อยู่ข้างใต้ อาจมีมากกว่า 1 โคโลนี แต่มีเพียงโคโลนีเดียวที่ขึ้นปรากฏบนอาหารนั้น



รูปที่ 1 การเสริมประสิทธิภาพโฟโตคะตะไลซิสบนแผ่นรองรับอนุภาคของเครื่องฟอกอากาศอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2 ตำแหน่งเครื่องฟอกอากาศบริเวณหน้าห้องตรวจผู้ป่วยนอก



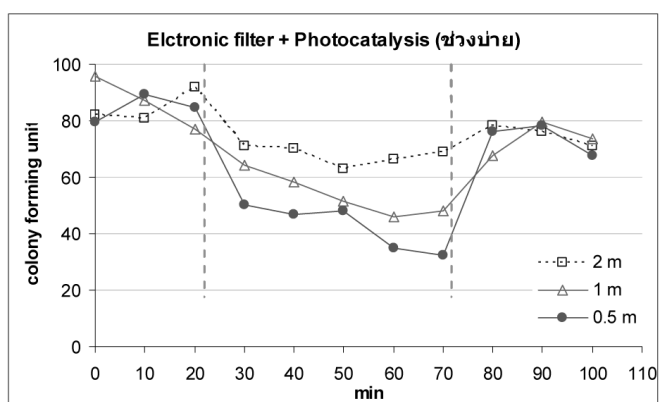
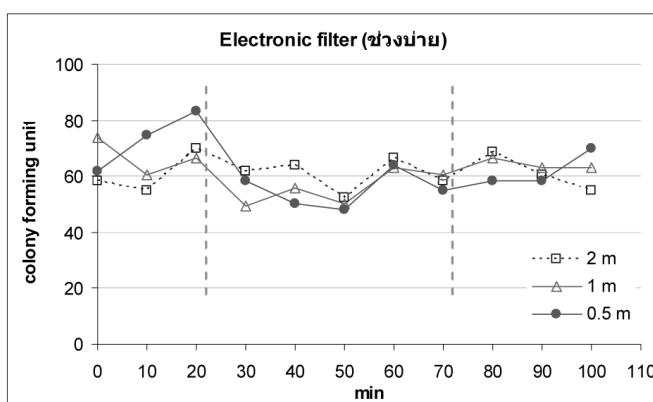
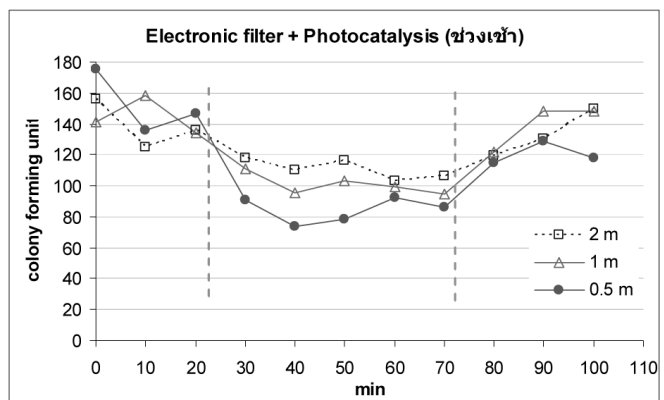
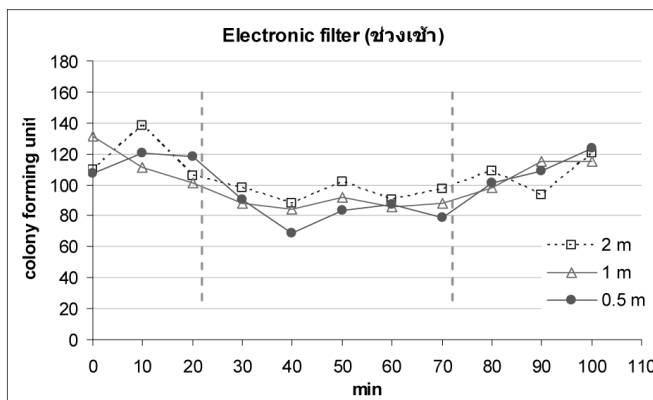
รูปที่ 3 ตำแหน่งเครื่องฟอกอากาศในห้องผู้ป่วยแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก

ผลการศึกษา

จำนวนแบคทีเรียรวมที่บริเวณโถงหน้าห้องตรวจผู้ป่วยนอกก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศ ระหว่างเปิดเครื่องฟอก และหลังจากปิดเครื่องฟอกอากาศไปแล้วแสดงผลได้ดัง **รูปที่ 4** โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มีและมียูทิลิตี้ไฟโตะคะตะไลซิสในสองช่วง คือช่วงเช้าที่มีผู้มาใช้บริการมาก (30-81 คน) และช่วงบ่ายที่มีจำนวนคนน้อยกว่า (7-37 คน)

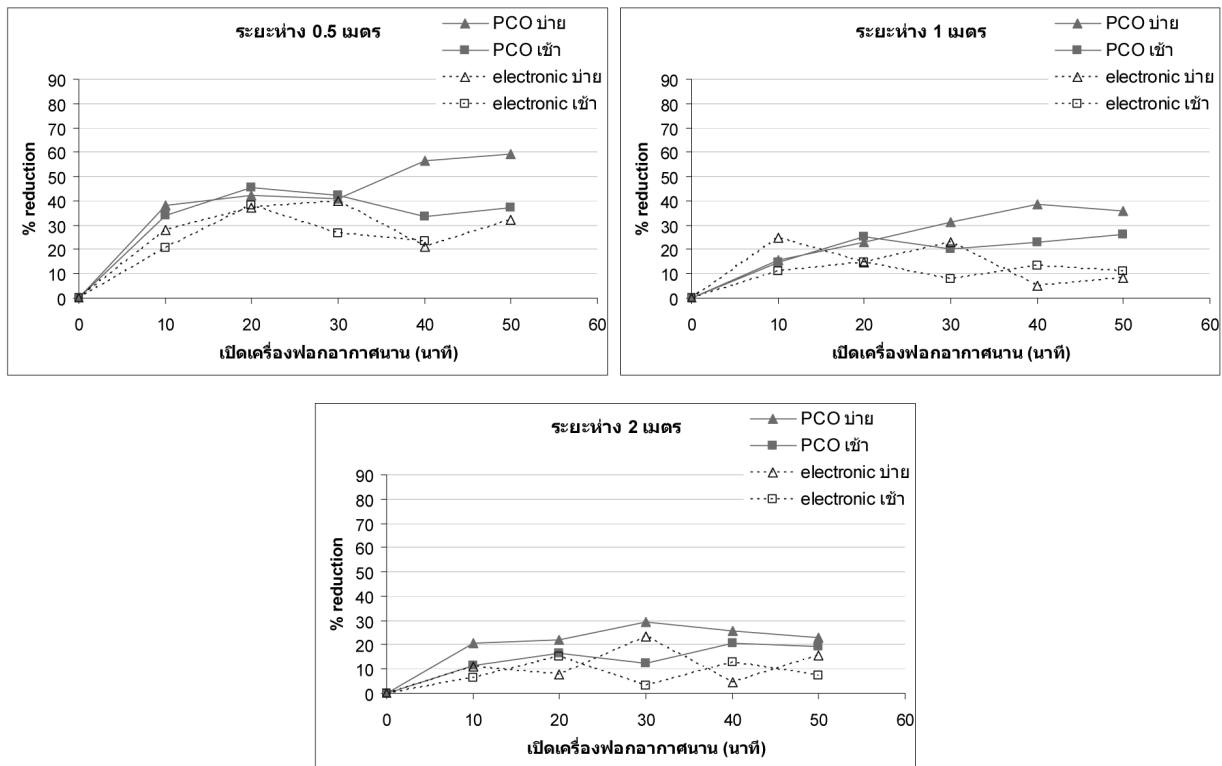
ผลการศึกษาพบว่าทันทีที่เปิดเครื่องฟอกอากาศหลังนาฬิกาที่ 20 จำนวนแบคทีเรียที่เรี่ยนั้นลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เครื่องฟอกอากาศที่เสริมยูทิลิตี้ไฟโตะคะตะไลซิสที่ระยะห่าง 0.5 เมตร และหลังจากปิดเครื่องฟอกอากาศหลังนาฬิกาที่ 70 จำนวนแบคทีเรียที่เรี่ยนั้นกลับมาเพิ่มจำนวนขึ้นเช่นเดิม ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียที่เรี่ยนั้นเสนอได้ดัง **รูปที่ 5** เทียบกับจำนวนแบคทีเรียที่พบในนาฬิกาที่ 20 โดยพบว่าการมียูทิลิตี้ไฟโตะคะตะไลซิสบนแผ่นรองรับอนุภาค ให้ผลในการกำจัด

แบคทีเรียในอากาศดีกว่าการไม่มียูทิลิตี้ไฟโตะคะตะไลซิส ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียของยูทิลิตี้ไฟโตะคะตะไลซิสในช่วงบ่ายนั้นดีกว่าในช่วงเช้า เป็นไปได้ว่าในช่วงบ่ายมีจำนวนคนและแบคทีเรียที่เรี่ยตั้งต้น 77-96 cfu (นาฬิกาที่ 0 ถึง 20) น้อยกว่าจำนวนตั้งต้นในช่วงเช้าที่พบ 125-175 cfu แต่กรณีที่ใช้เครื่องฟอกอากาศอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มียูทิลิตี้ไฟโตะคะตะไลซิส การกำจัดแบคทีเรียระหว่างช่วงเช้ากับช่วงบ่ายที่แผนกผู้ป่วยนอกแทบจะไม่แตกต่างกัน ($P = 0.314$) แม้ว่าช่วงเช้าจะมีจำนวนแบคทีเรียตั้งต้น (101-138 cfu) มากกว่าช่วงบ่าย (55-83 cfu) ก็ตาม แต่สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือที่ระยะห่างจากเครื่องฟอกอากาศ 0.5 เมตร การเปิดเครื่องฟอกอากาศนาน 10-50 นาทีสามารถกำจัดแบคทีเรียได้เฉลี่ย ร้อยละ 39-47 (จากเครื่องฟอกที่มียูทิลิตี้ไฟโตะคะตะไลซิสในช่วงเช้าและบ่าย) ขณะที่ระยะห่าง 1 เมตรกำจัดได้เฉลี่ย ร้อยละ 21-29 และ 2 เมตรกำจัดได้เฉลี่ย ร้อยละ 16-24



หมายเหตุ เปิดเครื่องฟอกอากาศหลังนาฬิกาที่ 20 จนถึงนาฬิกาที่ 70

รูปที่ 4 จำนวนแบคทีเรียในอากาศในช่วงก่อนเปิด-ระหว่างเปิด-หลังปิดเครื่องฟอกอากาศ บริเวณแผนกผู้ป่วยนอกที่ระยะห่างจากเครื่องฟอกอากาศต่างกัน (ครั้งที่ 1)

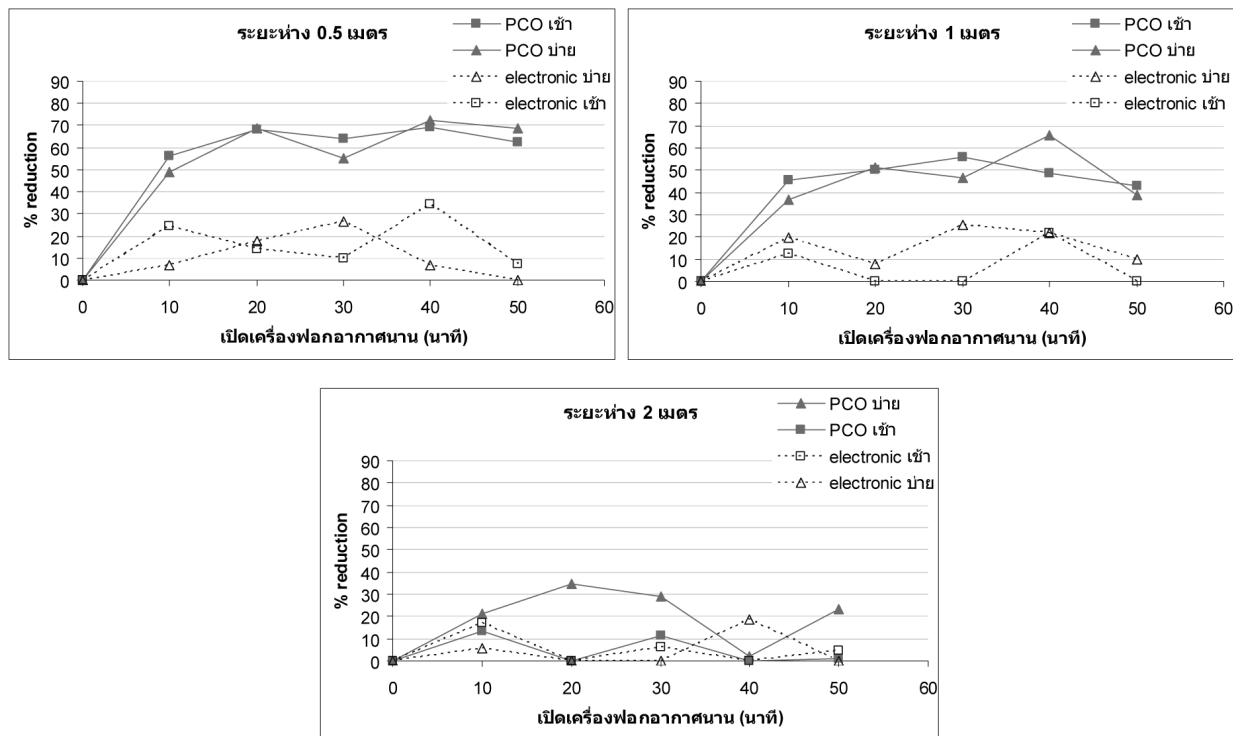


หมายเหตุ PCO คือ เครื่องฟอกอากาศอิเล็กทรอนิกส์ที่เสริมปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส, electronic คือเครื่องฟอกอากาศที่ไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

รูปที่ 5 การลดลงของแบคทีเรียในอากาศระหว่างที่เปิดเครื่องฟอกอากาศที่มีและไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในระยะห่างต่างๆ บริเวณห้องตรวจผู้ป่วยนอก สองช่วงเวลา (ครั้งที่ 1)

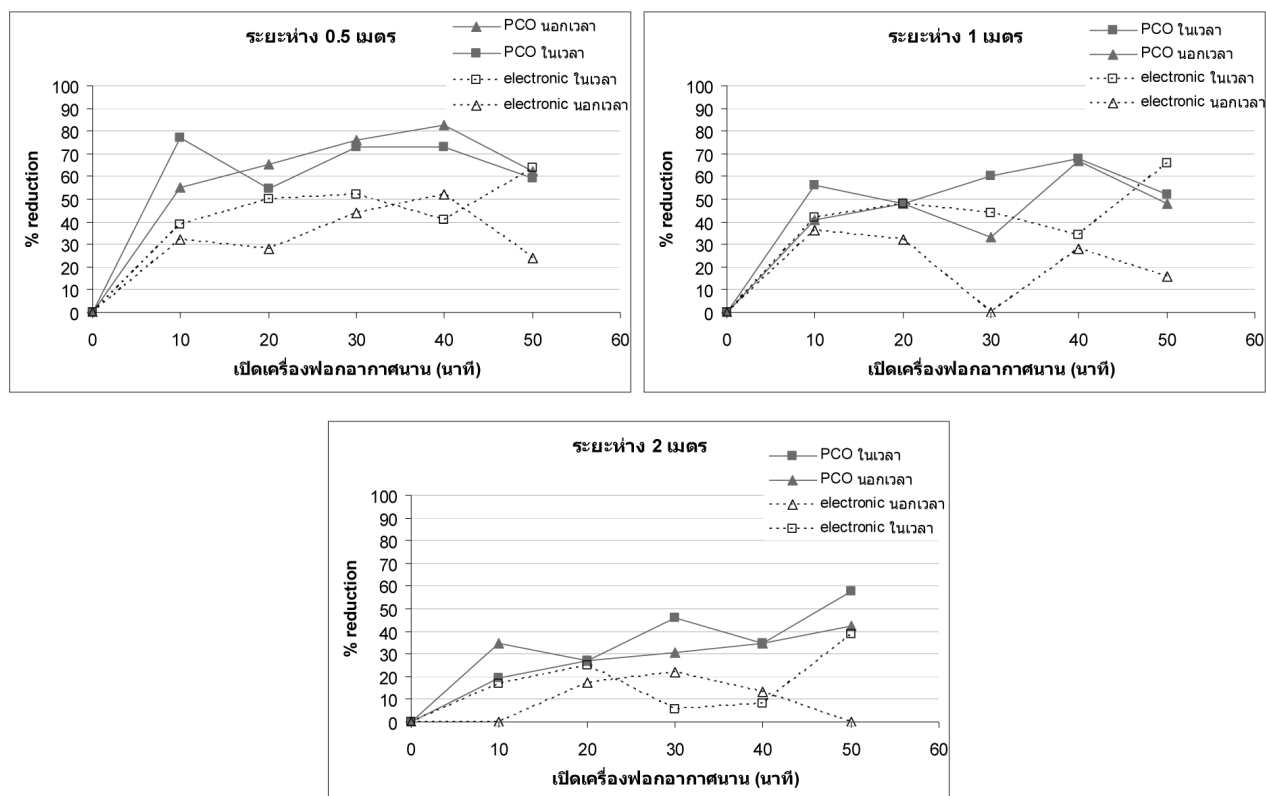
ในการศึกษาครั้งที่ 2 ที่บริเวณหน้าห้องตรวจผู้ป่วยนอก (**รูปที่ 6**) พบว่าการมีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสให้ผลในการลดจำนวนแบคทีเรียในอากาศได้มากกว่าเครื่องฟอกอากาศที่ไม่มีปฏิกิริยาอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะที่ระยะห่าง 0.5 เมตร การมีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสลดจำนวนแบคทีเรียได้เฉลี่ย ร้อยละ 63-64 (จากการเปิดเครื่องฟอกอากาศนาน 10-50 นาทีทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ส่วนที่ไม่มีปฏิกิริยาในระยะห่างเดียวกันลดได้เฉลี่ย ร้อยละ 12-18 ขณะที่ระยะห่าง 1 เมตร ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสลดได้เฉลี่ย ร้อยละ 48-49 ที่ไม่มีปฏิกิริยาลดได้เฉลี่ย ร้อยละ 7-17 โดยระหว่างช่วงเช้ากับช่วงบ่ายยังคงแทบไม่มีความแตกต่างกัน ($P = 0.121-1.000$) ขณะที่ระยะห่าง 2 เมตร การมีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสพบการลดลงของแบคทีเรียในช่วงบ่ายมีมากกว่าช่วงเช้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.048$) ซึ่งในช่วงเช้าลดได้เฉลี่ย ร้อยละ 5 ช่วงบ่ายลดได้เฉลี่ย ร้อยละ 22 ทั้งนี้จำนวนคนในช่วงเช้ามี 29-65 คน จำนวนแบคทีเรียตั้งแต่ต้น 56-90 cfu ส่วนในช่วงบ่ายมีจำนวนคนลดลงเหลือ 10-39 คน และมีจำนวนแบคทีเรียตั้งแต่ต้น 44-69 cfu

เมื่อเปลี่ยนสถานที่ไปเป็นห้องผู้ป่วยแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก และเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาให้ญาติเข้าเยี่ยม (จำนวนคนระหว่างเก็บตัวอย่าง 11-18 คน) และนอกเวลาเยี่ยม (จำนวนคน 11-13 คน) (**รูปที่ 7**) ผลการศึกษาพบว่าการใช้เครื่องฟอกอากาศแต่ละชนิดในเวลาเยี่ยมและนอกเวลาเยี่ยมให้ผลที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในเชิงสถิติ ($P = 0.061-1.000$) แม้ว่าในกรณีของเครื่องฟอกอากาศอิเล็กทรอนิกส์ที่ระยะห่าง 1 เมตร จะดูเหมือนมีความแตกต่างกันพอสมควรก็ตาม โดยที่ระยะห่าง 0.5 เมตร การมีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสสามารถลดแบคทีเรียได้เฉลี่ย ร้อยละ 67-68 (จากการเปิดเครื่องฟอกอากาศนาน 10-50 นาทีทั้งในและนอกเวลาเยี่ยม) ขณะที่การไม่มีปฏิกิริยา ลดแบคทีเรียได้เฉลี่ย ร้อยละ 36-49 และเมื่อเก็บตัวอย่างห่างจากเครื่องฟอกอากาศไปเป็นระยะ 1 เมตร การลดลงของแบคทีเรียจากการมีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสลดลงเหลือเฉลี่ย ร้อยละ 47-57 ส่วนการไม่มีปฏิกิริยา พบประสิทธิภาพเฉลี่ย ร้อยละ 22-47 และเมื่อถอยห่างจากเครื่องฟอกอากาศไปเป็น 2 เมตร พบจำนวนแบคทีเรียลดลงเฉลี่ย ร้อยละ 34-37 จากการมีปฏิกิริยา และเหลือเฉลี่ย ร้อยละ 10-19 จากที่ไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส



หมายเหตุ PCO คือเครื่องฟอกอากาศอิเล็กทรอนิกส์ที่เสริมปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส, electronic คือเครื่องฟอกอากาศที่ไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

รูปที่ 6 การลดลงของแบคทีเรียในอากาศระหว่างที่เปิดเครื่องฟอกอากาศที่มีและไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในระยะห่างต่างๆ บริเวณห้องตรวจผู้ป่วยนอก สองช่วงเวลา (ครั้งที่ 2)

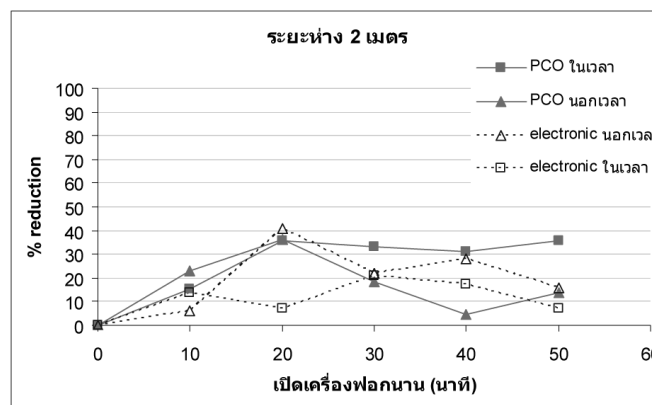
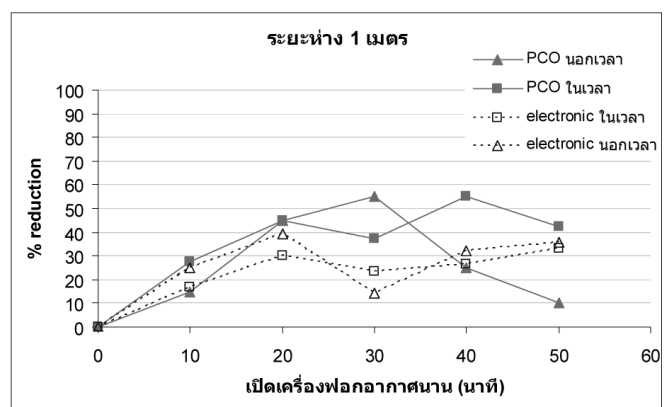
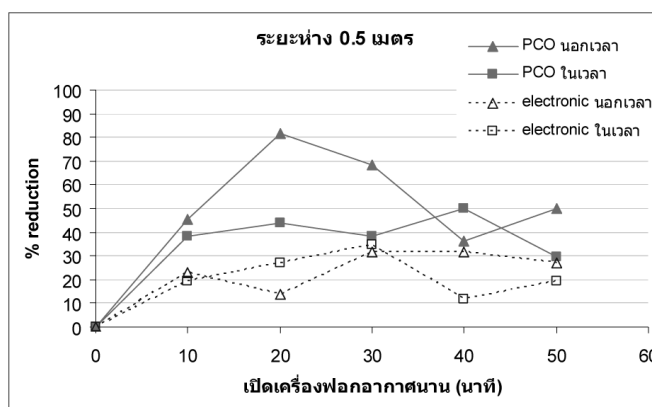


หมายเหตุ PCO คือเครื่องฟอกอากาศอิเล็กทรอนิกส์ที่เสริมปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส, electronic คือเครื่องฟอกอากาศที่ไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

รูปที่ 7 การลดลงของแบคทีเรียในอากาศระหว่างที่เปิดเครื่องฟอกอากาศที่มีและไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในระยะห่างต่างๆ ในห้องผู้ป่วยแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก ในและนอกเวลาเยี่ยม (ครั้งที่ 1)

ในการศึกษาครั้งที่ 2 (รูปที่ 8) พบว่าที่ระยะห่าง 0.5 เมตร การลดจำนวนแบคทีเรียจากการใช้เครื่องฟอกอากาศที่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในช่วงเวลาเย็นกับนอกเวลาเย็นเห็นความแตกต่างที่ค่อนข้างชัดเจนแม้ว่าในเชิงสถิติแล้ว พบค่า $P = 0.278$ ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม โดยนอกเวลาเย็นมีจำนวนคนทั้งสิ้น 9-15 คน ขณะที่ในเวลาเย็นมีจำนวนคน 13-25 คน ซึ่งความแตกต่างของการกำจัดแบคทีเรียระหว่างในเวลาเย็นและนอกเวลาเย็นนี้ไม่พบในการใช้เครื่องฟอกอากาศอิเล็กทรอนิกส์ ($P = 0.802$) โดยการลดลงของแบคทีเรียที่ระยะห่าง 0.5 เมตร จากการมีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในและนอกเวลาเย็น คือ ร้อยละ

40-56 (เฉลี่ยจากการเปิดเครื่องนาน 10-50 นาที) ขณะที่การไม่มีปฏิกิริยาพบการลดลงเฉลี่ย ร้อยละ 22-25 เมื่อเพิ่มระยะห่างเป็น 1 เมตร การลดลงของแบคทีเรียในอากาศพบเหลือ ร้อยละ 30-42 จากการมีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส และ ร้อยละ 26-29 จากที่ไม่มีปฏิกิริยา และเมื่อเพิ่มระยะห่างออกไปอีกเป็น 2 เมตร พบว่าการลดลงของแบคทีเรียเหลือเพียง ร้อยละ 19-30 จากการมีปฏิกิริยา และ ร้อยละ 13-23 จากการไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสร่วมด้วย แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องฟอกอากาศขึ้นอยู่กับตำแหน่งหรือระยะห่างจากเครื่องฟอกอากาศเป็นสำคัญด้วย



เหตุ PCO คือเครื่องฟอกอากาศอิเล็กทรอนิกส์ที่เสริมปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส, electronic คือเครื่องฟอกอากาศที่ไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

รูปที่ 8 การลดลงของแบคทีเรียในอากาศระหว่างที่เปิดเครื่องฟอกอากาศที่มีและไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในระยะห่างต่างๆ ในห้องผู้ป่วยแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก ในและนอกเวลาเย็น (ครั้งที่ 2)

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้พบว่าการมีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสสามารถลดจำนวนแบคทีเรียรวมในอากาศได้ดีกว่าการไม่มีปฏิกิริยา สอดคล้องกับการศึกษาของ Grinshpun และคณะ⁽⁷⁾ ที่ใช้เครื่องฟอกอากาศชนิดที่ปล่อยประจุไอออนร่วมกับปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสจากไทเทเนียมไดออกไซด์ภายในห้อง

จำลอง โดยพบว่าประจุไอออนเพียงอย่างเดียวลดจำนวนแบคทีเรียในอากาศได้ ร้อยละ 80 ภายในเวลา 30 นาที ขณะที่ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสสามารถกำจัดแบคทีเรียได้ ร้อยละ 90 ภายในเวลา 10-60 นาที (ขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์) ซึ่งในกรณีที่ilogรตรวจผู้ป่วยนอกในการศึกษานี้ พบว่าการมีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสร่วมกับการจับอนุภาคด้วยประจุไอออน

สามารถลดจุลินทรีย์ได้สูงสุด ร้อยละ 59 (ซ้ำที่ 1) และ ร้อยละ 73 (ซ้ำที่ 2) ที่ระยะห่าง 0.5 เมตร และเฉลี่ยทั้งหมดทั้งสองซ้ำสองช่วงเวลา (เช้าและบ่าย) ตลอดการเปิดเครื่องฟอกอากาศนาน 50 นาที สามารถลดแบคทีเรียลงได้ ร้อยละ 53 ส่วนที่ไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสทำได้สูงสุด ร้อยละ 40 (ซ้ำที่ 1) และ ร้อยละ 34 (ซ้ำที่ 2) และเฉลี่ยทั้งหมดทั้งสองซ้ำสองช่วงเวลา คือ ร้อยละ 22 ที่ระยะห่าง 0.5 เมตรเช่นเดียวกัน โดยในซ้ำที่ 1 พบว่าการมีหรือไม่มีปฏิกิริยาไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างในเรื่องของการลดจำนวนแบคทีเรียมากนัก ซึ่งเป็นไปได้ว่าในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เริ่มจากการใช้เครื่องฟอกอากาศที่เสริมปฏิกิริยาก่อน เก็บตัวอย่างตั้งแต่ 7.30-9.30 น. มีจำนวนคน 47-81 คน (ค่ากลาง median คือ 70 คน) จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นเครื่องฟอกอากาศที่ไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส เก็บตัวอย่างตั้งแต่ 9.30-11.30 น. มีจำนวนคนเหลือเพียง 30-68 คน (ค่ากลาง median คือ 38 คน) ซึ่งช่วงที่มีคนมาก มีการเดินผ่านไปผ่านมาหรือมีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของแบคทีเรียมาก การกำจัดแบคทีเรียด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสจึงไม่เกิดประสิทธิภาพเท่าที่ควรหรือประสิทธิภาพนั้นลดลงจนใกล้เคียงกับการไม่มีปฏิกิริยาเช่นเดียวกับในช่วงบ่าย ระหว่างที่เปิดเครื่องฟอกอากาศที่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส (เวลา 12.30-14.30 น.) ผู้มาใช้บริการจำนวน 14-37 คน (ค่ากลาง median 30 คน) ซึ่งมากกว่าช่วงที่ใช้เครื่องฟอกอากาศที่ไม่มีปฏิกิริยา 3 เท่า (เวลา 14.30-16.30 น. มีจำนวนคน 7-12 คน หรือค่ากลาง median 9 คน) จำนวนคนที่มากกว่า หรือมีการฟุ้งกระจายของอากาศที่มากกว่าน่าจะเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของการเสริมปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสมากนัก นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งที่ 1 ในช่วงที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในช่วงเช้า อากาศมีอุณหภูมิ 27.1-28.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 58-64 ส่วนช่วงบ่ายอากาศมีอุณหภูมิ 29.2-29.6°C ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 49-51 ซึ่งความชื้นที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสนั้นไม่ควรเกิน ร้อยละ 50 เนื่องจากความชื้นที่มากเกินไปจะทำให้ละอองไอน้ำไปเกาะกับ active site ของไทเทเนียมไดออกไซด์ จนไม่เหลือพื้นที่ให้เกิดปฏิกิริยากับเซลล์ของจุลินทรีย์ได้⁽⁸⁾ โดยความเร็วลม ณ จุดเก็บตัวอย่างแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา ตั้งแต่ 0.06 เมตร/วินาทีไปจนถึง 0.37 เมตร/วินาที จึงไม่ชัดเจนว่าความเร็วลมมีผลต่อการทำงานของเครื่องฟอกอากาศทั้งสองอย่างไร

การศึกษาที่แผนกผู้ป่วยนอกในครั้งที่ 2 เริ่มจากการใช้เครื่องฟอกอากาศที่ไม่มีปฏิกิริยาก่อน ระหว่างนั้นมีจำนวนคน 34-65 คน (ค่ากลาง median = 51 คน) จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นเครื่องฟอกอากาศที่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดยจำนวนคนลดเหลือ 29-42 คน (ค่ากลาง median = 35 คน) ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสเหนือกว่าการศึกษาในครั้งแรกเพราะจำนวนคนมีน้อยกว่า แต่ถ้าเปรียบเทียบกับการศึกษาในช่วงบ่ายของครั้งแรก จำนวนคนนั้นใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพในครั้งที่สองกลับดีกว่า จึงสันนิษฐานว่าความชื้นในอากาศน่าจะมีผลทำให้เกิดความแตกต่าง เพราะในครั้งที่สอง ในช่วงที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส อากาศในช่วงเช้ามืดอุณหภูมิ 26.6-27°C ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 46-52 ในช่วงบ่ายมีอุณหภูมิ 27.8-28.2°C ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 42-44 ซึ่งต่ำกว่าในครั้งแรก ความชื้นที่น้อยกว่าอาจเป็นสาเหตุให้การศึกษาในครั้งที่สองมีประสิทธิภาพเหนือกว่าครั้งแรกทั้งๆที่จำนวนคนใกล้เคียงกัน โดยความเร็วลมในการศึกษาครั้งที่สอง อยู่ในช่วง 0.05-0.53 เมตร/วินาที ซึ่งไม่แตกต่างจากครั้งแรกมากนัก

สำหรับการศึกษาในห้องผู้ป่วยแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวกซึ่งเป็นห้องปิดและมีจำนวนคนที่มีน้อยกว่ามาก พบว่าประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องฟอกอากาศอิเล็กทรอนิกส์ทั้งที่มีและไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสดีกว่าที่แผนกผู้ป่วยนอก โดยที่ระยะห่างจากเครื่องฟอกอากาศ 0.5 เมตร การไม่มีปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสลดแบคทีเรียในอากาศได้สูงสุด ร้อยละ 64 (ครั้งที่ 1) และ ร้อยละ 35 (ครั้งที่ 2) โดยเฉลี่ยทั้งสองครั้งทั้งในและนอกเวลาเยี่ยมตลอดการเปิดเครื่องฟอกอากาศนาน 50 นาที คือ ร้อยละ 33 ขณะที่เครื่องฟอกอากาศที่มีปฏิกิริยาสามารถลดแบคทีเรียในอากาศได้สูงสุด ร้อยละ 83 (ครั้งที่ 1) และ ร้อยละ 82 (ครั้งที่ 2) และเฉลี่ยทั้งหมดทั้งสองครั้งสองช่วงเวลาตลอดการเปิดนาน 50 นาที คือ ร้อยละ 58 ที่ระยะห่าง 0.5 เมตร เช่นเดียวกัน โดยประสิทธิภาพการใช้งานในช่วงเวลาเยี่ยมกับนอกเวลาเยี่ยมให้ผลที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากจำนวนคนที่ใกล้เคียงกัน (นอกเวลามีค่ากลาง median 11 คน ในเวลามีค่ากลาง median 15 คน) และการเข้มงวดในเรื่องของการนำเชื้อจุลินทรีย์เข้ามาแพร่กระจายน่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องอยู่มาก โดยการเข้าเยี่ยมในแต่ละครั้ง ญาติผู้ป่วยจะต้องสวมเสื้อคลุมที่ทางโรงพยาบาลจัดเตรียมไว้ให้ ต้องถอดรองเท้าและ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้บริหารและบุคลากรของ
โรงพยาบาลศรีนครินทร์ทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการศึกษาอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณบริษัทอัลไพน์
จำกัด ที่เอื้อเฟื้อเครื่องฟอกอากาศและแผ่นรองรับอนุภาคโดย
ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการศึกษาใดๆทั้งสิ้น และขอขอบคุณนาง
สาวกฤษณียา สังข์จันทร์พานนท์ ที่ช่วยประสานงานและช่วย

1. EPA. Guide to Air Cleaners in the Home. EPA-402-F-08-004 May 2008. Washington D.C: Office of Air and Radiation. Indoor Environments Division (6609J). 2008
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. ยุพรัตน์ หลิมมงคล, พิพัฒน์ ศรีเบญจลักษณ์, การดี ช่วยบำรุง. ความสามารถของเครื่องฟอกอากาศชนิดอิเล็กโทรนิคฟิลเตอร์ในการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ. *วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด* 2553; 21: 246-56.
4. Ibáñez JA, Litter MI, Pizarro RA. Photocatalytic bactericidal effect of TiO_2 on *Enterobacter cloacae* comparative study with other gram (-) bacteria. *J Photochem Photobiol A: Chemistry* 2003; 157: 81-85.
5. Murray PR, Barron EJ, Pfaller MA, Tenover FC, Tenover RH. *Manual of Clinical Microbiology* 7th. ed. Washington, DC: American Society for Microbiology, 1999: 357-69.
6. Macher JM, Burge HA. Sampling Biological Aerosols. In: *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants*. 9th ed. Ohio: ACGIH, 2001: 661-701.
7. Grinshpun SA, Adhikari A, Honda T, Kim KY, Toivola M, Rao KSR, Reponen T. Control of aerosol contaminants in indoor air: combining the particle concentration reduction with microbial inactivation. *Environ Sci Technol* 2007; 41: 606-12.
8. Goswami DY, Trivedi DM, Block SS. Photocatalytic disinfection of indoor air. *J Sol Energy Eng* 1995; 119: 92-6.