การกำจัดแบคทีเรีย *Staphylococcus epidermidis* ในอากาศ ด้วยแผ่นฟอกอากาศโฟโตคะตะไลติก

Removal of *Staphylococcus epidermidis* Using Photocatalytic Air Purifier Sheet

พรรณิกา วนะรมย์ [1] วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ [2] วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี [3]

Punnika Wanarom [1] Wongpun Limpaseni [2] and Wiboonluk Pungrasmi [3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นฟอกอากาศโฟโตคะตะไลติกในการกำจัดแบคทีเรีย *S. epidermidis* ในอากาศ โดยทำการทดลองในห้องทดลองจำลองขนาด 1 ลบ.ม. (1,000 ลิตร) ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิคงที่ 25 ± 2°ซ และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 ± 5 ในการทดลองใช้แผ่นฟอกอากาศที่มีปริมาณของธาตุซิลิกอนออกไซด์และไททาเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 54.67 และ 33.07 โดยน้ำหนักขนาด 0.23 ตร.ม. ช่วงเวลาทำปฏิกิริยา 120 นาที ทำการแปรเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสง 2 ประเภทที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสง 3.6 6.9 และ 9.2 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. และหลอดแบล็คไลท์ความเข้มแสง 119 233 และ 300 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. ผลการทดลองพบว่า หลอดแบล็คไลท์ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรีย *S. epidermidis* ในอากาศได้ดีกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยแสงจากหลอดแบล็คไลท์ที่ความเข้มแสง 300 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 81.84 ส่วนแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มแสง 9.2 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 64.15

ABSTRACT

The research aim to study the efficiency of Air purifier sheet to removal *S. epidermidis* bacteria in the indoor air. The experiment used 1 m^3 chamber (1,000 Liter). Controlled temperature was at 25±2 °c and relative humidity was at 60 ±5 %. Air purifier sheet used in this study consisted of SiO_2 and TiO_2 which were 54.67 and 33.07% by weight and the area of air purifier sheet was 0.23 m^2. The reaction time was 120 minutes. This experiment used two light sources. First was Fluorescent lamp whose intensity was 3.6, 6.9 and 9.2 μW/cm^2. Another was Blacklight lamp whose intensity was

Key Words : Photocatalytic process, Indoor air, *S. epidermidis*

e-mail address : Cinnamon.fai@gmail.com

[1] ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[1] Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok

[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[3] Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok

119, 299 and 300 μW/cm^2.The result that showed the removal efficiency of Blacklight lamp was higher than Fluorescent lamp. The best removal efficiency of *S. epidermidis* bacteria using Blacklight lamp intensity 300 μW/cm^2 was 81.84% and Fluorescent lamp intensity 9.2 μW/cm^2 was 64.15%.

คำนำ

ปัจจุบันพบว่าคนส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับคุณภาพอากาศภายในอาคารมากขึ้น โดยจากการศึกษาขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) พบว่ามลพิษอากาศภายในอาคารมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์มากกว่ามลพิษภายนอกอาคาร ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการทำงานของมนุษย์ แหล่งกำเนิดมลพิษที่ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร ได้แก่ กิจกรรมของมนุษย์ และสิ่งของเครื่องใช้ อุปกรณ์ต่างๆ เช่น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้สำนักงานต่างๆ เครื่องปรับอากาศ พรมปูพื้น เป็นต้น รวมถึงมลพิษอากาศจากภายนอกที่ปนเปื้อนเข้าสู่อาคารด้วย ซึ่งมลพิษที่สำคัญในอากาศจะประกอบไปด้วย อนุภาคแขวนลอยในอากาศ ฝุ่นละออง และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น ไรฝุ่น รา แบคทีเรีย และไวรัส เป็นต้น โดยมลพิษเหล่านี้จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบการหมุนเวียนของโลหิตและหัวใจ ระบบประสาท ระบบการทำงานของไต ทำให้ภูมิต้านทานของร่างกายลดต่ำลง และยังเป็นสาเหตุของการก่อมะเร็งในมนุษย์ด้วย (ณัฐพงศ์ แหละหมัน, 2548)

ในอดีตได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการควบคุมจุลินทรีย์ในอากาศ เช่น การใช้รังสีอัลตราไวโอเลต การใช้พลังงานความร้อน และการกรอง เป็นต้น แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่โดยมีการนำเอากระบวนการโฟโตคะตะไลติก ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการใช้แสงอัลตราไวโอเลตมาใช้กำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ โดยแสงอัลตราไวโอเลต (แสงยูวี) ที่ฉายลงไปยังไททาเนียมไดออกไซด์จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic) ที่มีคุณสมบัติในการกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอากาศ และฆ่าเชื้อโรคที่สัมผัสกับพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ (เทียนฉาย สถิรภิวงศ์, 2554) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในอากาศของแผ่นฟอกอากาศที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในสภาวะที่กระตุ้นด้วยแสงจากแหล่งกำเนิดแสงต่างชนิดกัน และมีช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกัน โดยเชื้อแบคทีเรียที่นำมาศึกษา คือ *Staphylococcus epidermidis* และทำศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตคะไลติก เช่น ชนิดของแบคทีเรีย ความเข้มแสง เวลาทำปฏิกิริยา เป็นต้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- ห้องทดลองจำลองที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแบบทีละเท (Batch Chamber) โดยเป็นห้องปิด ทำจากวัสดุอะคริลิกทึบแสงทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีขนาดกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 1×1×1 เมตร มีปริมาตรเท่ากับ 1 ตร.ม. หรือ 1,000 ลิตร (ดังรูปที่ 1) ติดตั้งหลอดไฟเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงบริเวณผนังด้านบนของห้อง โดยแปรเปลี่ยนระหว่างหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสง 3.6 6.9 และ 9.2 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. และหลอดแบล็คไลท์ที่มีความเข้มแสง 119 233 และ 300 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม.

- แผ่นฟอกอากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นแผ่นฟอกอากาศโฟโตคะตะไลติก มีขนาด 0.23 ตร.ม. โดยทำการติดตั้งในแนวตั้งที่บริเวณผนังด้านในของห้องทดลองจำลอง

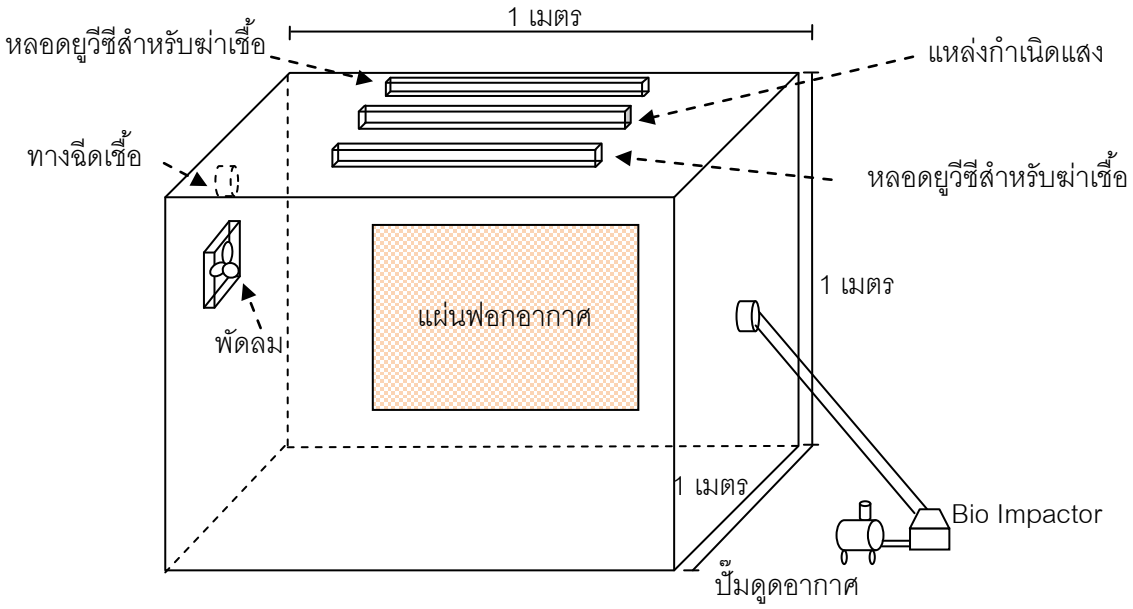


Figure 1 The photocatalytic chamber

วิธีการวิจัย แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

<u>การทดลองส่วนที่ 1</u> *การศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศ*

วิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ X-ray fluorescence spectrometer (XRF) และวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

<u>การทดลองส่วนที่ 2</u> *การทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นฟอกอากาศในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย*

1) เตรียมหัวเชื้อเริ่มต้นของแบคทีเรีย *S. epidermidis* โดยเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic Soy Agar (TSA) และบ่มที่อุณหภูมิ 30-37 ^{o}ซ เป็นเวลา 12-24 ชม. วัดความเข้มข้นเริ่มต้นของแบคทีเรียโดยเทียบความขุ่นให้เท่ากับ McFarland Standard No. 0.5 (10^{8} โคโลนี / มล.) จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่น และปรับความเข้มข้นของแบคทีเรียจนได้ปริมาณ 10^{5} โคโลนี / มล.

2) ฆ่าเชื้อแบคทีเรียภายในห้องทดลองโดยใช้หลอดยูวีซีเป็นเวลา 1-2 ชม. ก่อนทำการทดลอง จากนั้นเริ่มเดินระบบการไหลของอากาศแบบทีละเทภายในห้องทดลองจำลอง และใช้ Nebulizer ฉีดเชื้อแบคทีเรียที่เตรียมไว้ปริมาณ 100 มล. เข้าในห้องทดลอง แล้วปล่อยให้แบคทีเรียผสมกับอากาศภายในห้องทดลองเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างแบคทีเรียภายในห้องด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA ที่บรรจุอยู่ในเครื่อง Bio Impactor ชนิดชั้นเดียว (Single stage impactor) เพื่อวัดปริมาณแบคทีเรียเริ่มต้น ที่อัตราการไหลของอากาศ 28.3 ลิตร/นาที เป็นเวลา 1 นาที

3) เริ่มการทดลองโดยเปิดแสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ และเก็บตัวอย่างแบคทีเรียภายในห้องที่เวลา 15 30 45 60 75 90 105 และ 120 นาที โดยแต่ละชุดทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4) ฆ่าเชื้อแบคทีเรียภายในห้องทดลองหลังทำการทดลองด้วยหลอดยูวีซีเป็นเวลา 1-2 ชม. จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างแบคทีเรียซ้ำ เพื่อเป็นการยืนยันว่าปราศจากเชื้อแบคทีเรียในห้องทดลอง

5) เปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอดแบล็คไลท์ แล้วทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 2-4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

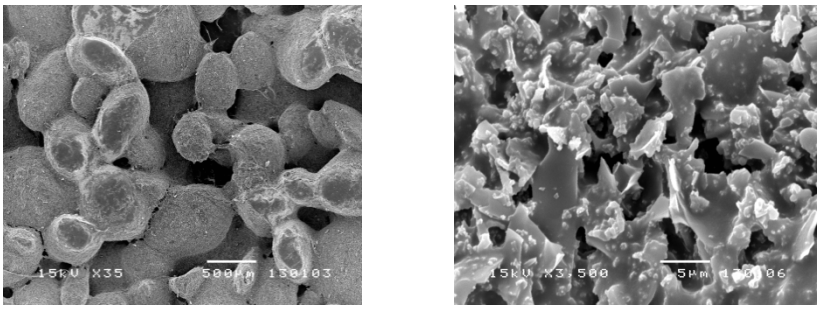
การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์ X-ray fluorescence spectrometer (XRF) แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดในแผ่นฟอกอากาศ คือ SiO_2 และ TiO_2 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 54.67 และ 33.07 โดยน้ำหนัก โดยธาตุ SiO_2 มีผลช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับแผ่นฟอกอากาศเพื่อให้โมเลกุลของสารอินทรีย์และจุลินทรีย์สามารถเกาะติดผิวได้มากขึ้น ส่วนธาตุ TiO_2 มีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีในกระบวนการโฟโตคะตะไลติกและสามารถฆ่าเชื้อโรคได้เช่นกัน

Table 1 Elemental compositions of air purifier sheet

องค์ประกอบทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)											
Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	MnO_2	Fe_2O_3	ZrO_2	Nb_2O_5
1.95	0.3	3.38	54.67	0.04	3.52	1.03	33.07	0.13	1.84	0.01	0.01

และเมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟอกอากาศด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ผลการทดลองจากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของแผ่นฟอกอากาศไม่เรียบ มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนกระจัดกระจายไปทั่ว โดยเมื่อส่องดูที่กำลังขยาย 35 และ 3,500 เท่าพบว่า ลักษณะโครงสร้างรูพรุนของแผ่นฟอกอากาศมีลักษณะไม่แน่นอนและไม่สมมาตร มีรูหลายขนาดกระจายอยู่ทั่วพื้นที่ของแผ่นฟอกอากาศ โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกนั้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณรูพรุนเหล่านี้ เนื่องจากเป็นบริเวณที่เกิดการเกาะติดของสารอินทรีย์และจุลินทรีย์ โดยเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกจะมีผลกำจัดจุลินทรีย์ให้ลดลงได้ ดังนั้นหากแผ่นฟอกอากาศมีพื้นผิวความเป็นรูพรุนมาก ก็น่าจะส่งผลให้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกเกิดได้ดีด้วย



a) 35 เท่า b) 3,500 เท่า

Figure 2 The Surface morphology of air purifier sheet by Scanning Electron Microscope (SEM).

ประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรีย *S. epidermidis* ด้วยแผ่นฟอกอากาศโฟโตคะตะไลติก

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรีย *S. epidermidis* กับเวลา ในสภาวะที่กระตุ้นด้วยแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มแสงต่างๆ กัน โดยการทดลอง Baseline คือ การปิดไฟและทำการทดลองในสภาวะที่ไม่มีแผ่นฟอกอากาศ ผลการทดลองพบว่าการลดลงตามธรรมชาติของ *S. epidermidis* ในอากาศภายในห้องทดลอง (baseline) มีอัตราการกำจัดเท่ากับร้อยละ 27.97 ส่วนการทดลองโดยแผ่นฟอกอากาศเพียงอย่างเดียวจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับร้อยละ 34.25 และเมื่อทำการทดลองโดยเปิดแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับแผ่นฟอกอากาศ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียที่ความเข้มแสง 3.6 6.9 และ 9.2 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ตามความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 54.19 61.30 และ 64.15 ตามลำดับ

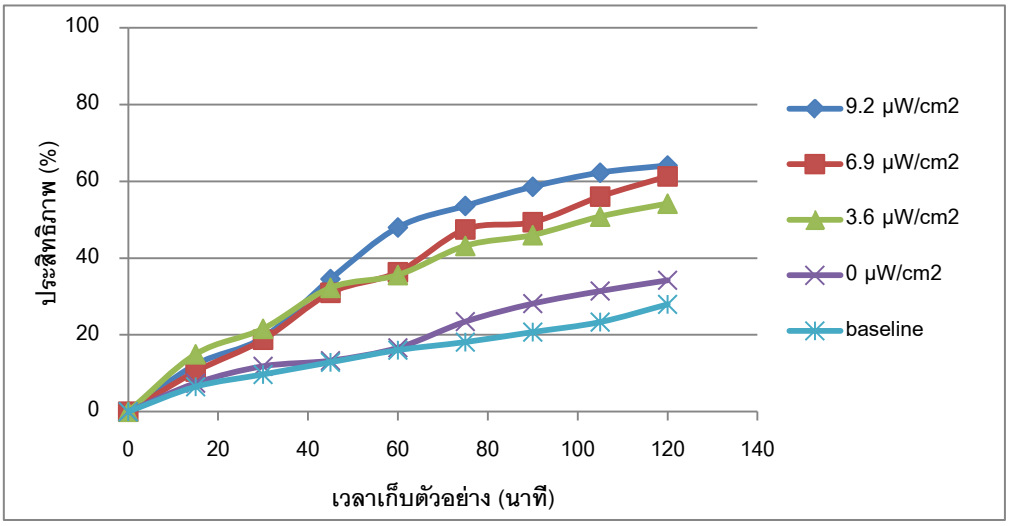


Figure 3 The *S. epidermidis* removal efficiency of air purifier sheet using Fluorescent lamp as a light source at different intensity UV light.

เมื่อทำการทดลองด้วยแหล่งกำเนิดแสงหลอดแบล็คไลท์ร่วมกับแผ่นฟอกอากาศ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียที่ความเข้มแสง 119 233 และ 300 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุดคือ ความเข้มแสง 300 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. มีค่าเท่ากับร้อยละ 81.84 รองลงมาคือ ความเข้มแสง 223 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. เท่ากับร้อยละ 77.43 และความเข้มแสง 119 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. ให้การกำจัดเท่ากับร้อยละ 74.96 ดังจะเห็นได้ว่า จะเห็นได้ว่าเมื่อให้ความเข้มแสงที่ต่างกันประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียไม่แตกต่างกันมากนัก

โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแบล็คไลท์ร่วมกับแผ่นฟอกอากาศ พบว่าหลอดแบล็คไลท์มีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียดีกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยหลอดแบล็คไลท์จะกำจัดแบคทีเรียได้สูงที่สุดที่ความเข้มแสง 300 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 81.84

ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถกำจัดแบคทีเรียได้ดีที่สุดเมื่อใช้ความเข้มแสงยูวีเท่ากับ 9.2 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 64.15

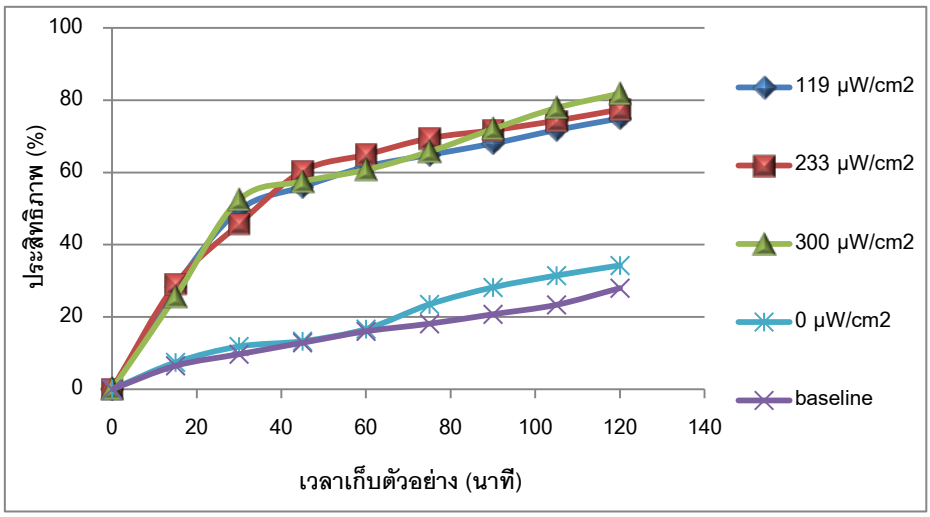


Figure 4 The *S. epidermidis* removal efficiency of air purifier sheet using Blacklight lamp as a light source at different intensity UV light.

สรุป

ในการกำจัดแบคทีเรีย *S. epidermidis* ด้วยแผ่นฟอกอากาศโฟโตคะตะไลติกเมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแบล็คไลท์ที่ความเข้มแสงต่างกัน พบว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีที่สุดเมื่อใช้ความเข้มแสงยูวีเท่ากับ 9.2 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. มีค่าเท่ากับร้อยละ 64.15 ส่วนหลอดแบล็คไลท์จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีที่สุดเมื่อใช้ความเข้มแสงเท่ากับ 300 ไมโครวัตต์ / ตร.ซม. มีค่าเท่ากับร้อยละ 81.84 และจะเห็นได้ว่าหลอดแบล็คไลท์สามารถกำจัดแบคทีเรีย *S. epidermidis* ได้ดีกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเป็นไปตามกลไกของกระบวนการโฟโตคะตะไลติก คือ เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มแสงยูวีจะทำให้มีพลังงานในการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลติกเพิ่มขึ้นด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย เอื้อเฟื้อเครื่องมือเครื่องใช้และอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งการให้ความรู้และคำแนะนำในด้านต่างๆ จากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบคุณบริษัท ไอเคเอส จากัด ในการเอื้อเฟื้อแผ่นฟอกอากาศชิเซ็น แอร์คลีน เพื่อใช้ในการวิจัย และขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

ณัฐพงษ์ แหละหมัน. 2548. **อัตราชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกลุ่มอาการป่วยเหตุอาคารของเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานภายในอาคารของโรงพยาบาลที่มีการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เทียนฉาย สถิรภิวงศ์. 2554. **การกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยด้วยแผ่นฟอกอากาศโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซีส**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Chuaybamroong, P., Thunyasirinon, C., Supothina, S., Sribenjalux, P. and Wu, C.Y. 2011. Performance of photocatalytic lamps on reduction of culturable airborne microorganism concentration. **Chemosphere**. 83: 730–735.

U.S. EPA. 1995. **The inside story** [Online]. Available from: http://epa.gov/iaq/pubs/insidest.html [2011, May 15]

Vohra, A., Goswami, D.Y., Deshpande, D.A. and Block, S.S. 2006. Enhanced photocatalytic disinfection of indoor air. **Applied Catalysis B: Environmental**. 65: 57–65.