วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 : หน้า 17-23 (2561)
www.eeat.or.th

การบำบัดจุลินทรีย์บนพื้นผิว ด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่น

Antimicrobial Surface by Photocatalytic Oxidation

Chaiwat Naunchan* Kowit Suwannahong and Sulak Sumitsawan***[*]**
ชัยวัฒน์ นวลจันทร์* โกวิท สุวรรณหงส์ และ สุลักษณ์ สุมิตสวรรค์***[*]**
*สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
**ภาควิชาอาชีวอนามัยความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น กาญจนบุรี 71170
***ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[*]E-mail : sulak.sumit@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

การสัมผัสเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดที่ปนเปื้อนบนพื้นผิว ก่อให้เกิดการติดเชื้อโรคจากการสัมผัสเชื้อจุลินทรีย์นั้นและนำไปสู่การรักษาด้วยยาฆ่าเชื้อจนทำให้เกิดการดื้อยา ตามข้อมูลของงานวิจัยจากสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข เชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิวที่ก่อให้เกิดการติดเชื้ออันดับต้นๆ คือ อีโคไล (*E.Coli)* ซึ่งลักษณะเป็นจุลินทรีย์แกรมลบที่ทำให้เกิดการติดเชื้อจุลินทรีย์แกรมลบมักทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินปัสสาวะ และถุงน้ำดี ดังนั้นเพื่อลดปัญหาการก่อให้เกิดการติดเชื้อโรคต่อผู้สัมผัสเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิว ผู้วิจัยจึงคิดวิธีการบำบัดจุลินทรีย์บนพื้นผิวด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่น

จากการทบทวนวรรณกรรมการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิว โดยส่วนใหญ่ใช้กระบวนการโฟโตไลซิส ส่วนในทางวิศวกรรมนิยมใช้กระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่น ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาฟิล์ม TiO_2/LDPE ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นวัสดุชนิดเดียวกันกับที่สามารถบำบัดก๊าซโทลูอีนในอากาศ และการบำบัดสีและสารประกอบอินทรีย์ในน้ำได้

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการต่อยอด การนำกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่น ด้วยแผ่นฟิล์ม TiO_2/LDPE+Cu3% (โด๊ปด้วยโลหะทองแดง) โดยใช้ด้วยแสง UV เทียบกับแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible light) ด้วยหลอด LED เป็นแหล่งพลังงานในการฉายแสงในระยะห่างเท่ากัน โดยฉายลงไปในหลอดทดลองที่มีเชื้อ *E.Coli* Dilutent + แผ่นฟิล์ม TiO_2/LDPE+Cu3% เทียบกับการฉายแสงกับหลอดทดลองที่มีเชื้อ *E.Coli* Dilutent แต่ไม่มีแผ่นฟิล์ม TiO_2/LDPE+Cu3% ในหลอดทดลอง เพื่อดูความสามารถในการบำบัดเชื้อ *E.Coli* ของกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่น เร่งกระบวนการด้วยแสง UV และ LED จากการศึกษาพบผลลัพธ์ที่ได้คือ เชื้อจะเริ่มตายและมีจำนวนลดลงเมื่อเวลาในการฉายแสงที่ 120 นาที และ 220 นาทีขึ้นไป ตามลำดับ โดยเชื้อลดลงคิดเป็นร้อยละ 78 (การเร่งกระบวนการด้วยแสง UV) และร้อยละ 40 (การเร่งกระบวนการด้วยแสง LED) จากผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ โดยนำแผ่นฟิล์ม TiO_2/LDPE+Cu3% ไปติดบนพื้นผิวสัมผัส เช่น โต๊ะตรวจ ราวไม้กั้นเตียง ใน รพ./คลินิค หรือให้เอกชนต่อยอดไปในเชิงพาณิชย์ได้ งานดังกล่าวคาดว่าและมุ่งหวังที่สามารถต่อยอดนำไปใช้งานได้จริง แต่ต้องมีการพัฒนาแผ่นฟิล์มให้มีการเติมโลหะหนักเพิ่มเพื่อสามารถตอบสนองกับการเร่งกระบวนการด้วยแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจากหลอด LED แทนการใช้แสงจาก UV ต่อไป

คำสำคัญ : การบำบัดจุลินทรีย์บนพื้นผิว; โฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่น; อีโคไล; แสงจากหลอด LED; ยูวี

Abstract

Contacting of some microorganisms contaminated on the surface could cause illness to human and lead to the use of antibiotic drugs. Misusing of antibiotics can cause of drug resistant bacteria which needs more antibiotic dosage or new drugs and lead to ineffective treatment and extra costs. Health Systems Research Institute indicated that a top-infecting microorganism is *E.Coli*, which is a gram-negative organism. Most infections are Gram-negative bacteria, which often cause gastrointestinal illness. urinary tract and gall bladder. In order to reduce the incidence of infection on exposed microorganisms, this study had devised a method for treating microorganisms on the surface with photocatalytic oxidation using titanium dioxide (TiO_2) doped with copper and embed in low density polyethylene (TiO_2/LDPE)

Generally, surface microbial therapy is photolysis process. In contrast, photocatalytic oxidation is usually applied in pollutants degradation. In previous work, TiO_2/LDPE films were used to treat gaseous toluene, color and organic compounds in water effectively.

In this study, TiO_2 doped with 3% copper oxide were embedded on LDPE film and employed as the photocatalyst. UV light and visible light were used and compared the effectiveness of photocalytic activity to inhibit the growth of *E.Coli* in test tubes. The results showed that microorganisms were beginning to die and decreased with time of exposure at 120 minutes and 220 minutes, under UV and visible light irradiation, respectively. Photocatalysis reaction under UV light decreased 78% and 40% under LED light. The results indicate the possibility of applying TiO_2/LDPE + Cu3% film to the contact surface such as bedside panel or working table in the hospital/clinic to reduce the incident of bacterial contamination and drug resistant bacteria.

Keywords : Antimicrobial surface; Photocatalytic Oxidation; *E.Coli*; LED; UV

บทนำ

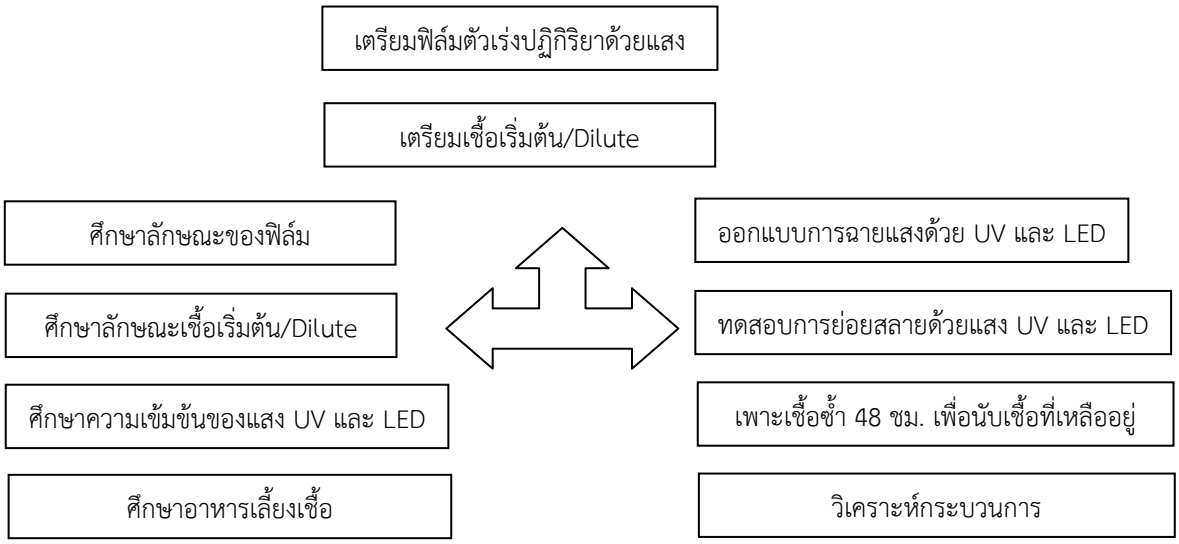
ปัญหาการติดเชื้อโรคในสถานที่ต่างๆ รวมถึงในโรงพยาบาลส่วนมากเกิดจากการสัมผัสเชื้อโรคบนพื้นผิว เช่น ราวบันได โต๊ะ เตียง และลูกบิดประตู [1] จนนำไปสู่การต้องเข้ารับการรักษาเช่นโรคติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร ผู้ป่วยหลายคนต้องมีการรักษาจนเกิดการดื้อยา มีค่ารักษาพยาบาลทั้งประเทศถึงปีละกว่า 2,500-6,000 ล้านบาท [2] ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้วิธีบำบัดเชื้อบนพื้นผิวด้วยวิธี Photolysis และใช้น้ำยาฆ่าเชื้อ [3] ด้วยเหตุดังกล่าวจึงได้ทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดจุลินทรีย์บนพื้นผิว โดยใช้เชื้อ *E.Coli* ในการจำลองหาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง Ultraviolet (UV) และแสงที่ตามองเห็นได้ เช่น แสงจากหลอด Light Emitting Diode (LED) บนแผ่นฟิล์ม Light Density Polyethylene (LDPE) ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) 15% และสารประกอบทองแดงผสมในปริมาณ 3% ในการช่วยย่อยสลายจุลินทรีย์บนพื้นผิว

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของแสง UV และ LED ต่อกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่น เทียบกัน เพื่อดูประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการบำบัดจุลินทรีย์บนพื้นผิว เมื่อใช้งานจริง ด้วยการฉายแสง UV เทียบกับแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจากหลอด LED ในระดับความสูงเท่ากัน ลงไปยังในหลอดที่มีเชื้อ *E.Coli* ที่มีการ Dilute แล้ว + แผ่นฟิล์ม TiO_2/LDPE+Cu3% เทียบกับการฉายแสงกับหลอดที่มีเชื้อ *E.Coli* ที่มีการ Dilute เหมือนกัน แต่ไม่มีแผ่นฟิล์ม TiO_2/LDPE+Cu3% ในหลอดทดลอง เพื่อดูความสามารถในการบำบัดเชื้อ *E.Coli* ของแผ่นฟิล์ม TiO_2/LDPE+Cu3% ด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่น

โดยจากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ากระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่น ที่นิยมใช้ในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมด้วยฟิล์ม TiO_2/LDPE เร่งกระบวนการด้วยแสง UV คือ นำไปบำบัดก๊าซโทลูอีนในอากาศ และการบำบัดสีและสารประกอบอินทรีย์ในน้ำ [3] โดยการเติมโลหะหนักเช่น ทองแดง หรือเหล็ก

ลงใน TiO_2 สามารถทำให้กระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่นเกิดขึ้นได้ด้วยแสง Visible จากเดิมที่ต้องใช้แสง UV [4] และยังพบว่าค่าเชื้อ *E.Coli* เริ่มต้นที่ต่ำจะได้ผลการบำบัดที่สูง โดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าค่าความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อกระบวนการออกซิเดชั่น [5]

แผนการดำเนินงานวิจัย



อุปกรณ์และวิธีการ

1. เตรียมเชื้อจุลินทรีย์ *E.Coli* ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10^7 CFU/ml ไปบ่มเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม.

2. เจือจางเชื้อด้วยวิธี Serial Dilution เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ 10^2 CFU/ml

3. ตัดฟิล์ม TiO_2/LDPE+Cu3% ขนาด $1 cm^2$ เพื่อใส่ลงไปใน Tube ทดลอง

4. พร้อมเท Diluent 10^2 CFU/ml ลง Tube ทดลอง 5 ชุด

- ชุดควบคุม (Absorption) ไม่ฉายแสง UV/LED และไม่มีแผ่นฟิล์มจำนวน 48 หลอด
- ชุดฉายแสงที่ 1 ฉายแสง UV แต่ไม่ใส่แผ่นฟิล์ม (Photolysis) จำนวน 24 หลอด
- ชุดฉายแสงที่ 2 ฉายแสง UV มีแผ่นฟิล์ม (Photocatalytic by UV) จำนวน 24 หลอด
- ชุดฉายแสงที่ 3 ฉายแสง LED มีแผ่นฟิล์ม (Photocatalytic by LED) จำนวน 24 หลอด

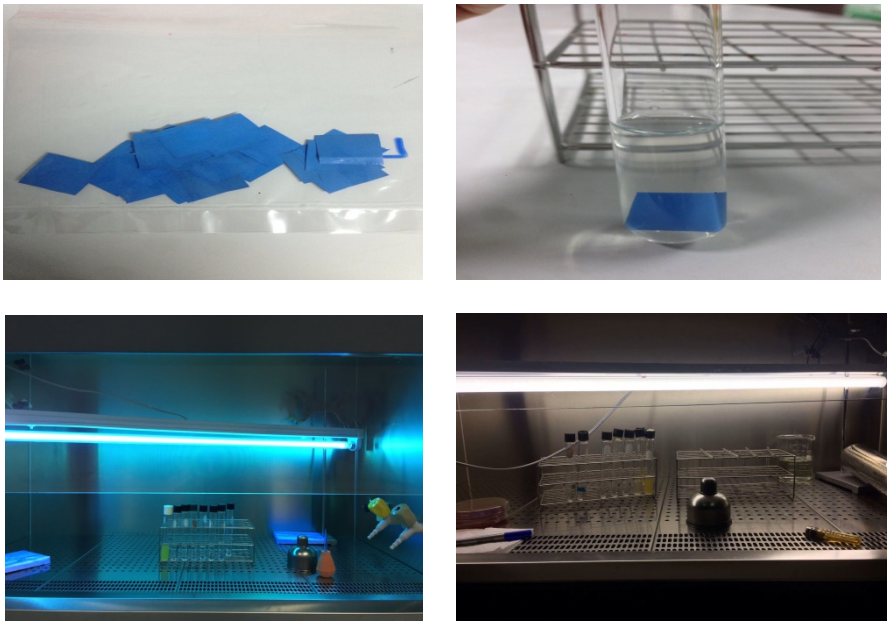
5. นำ Tube ไปฉายแสง UV หรือ LED ในเวลาที่ต่างกันคือ 0 30 60 90 120 150 180 210 และ 240 นาที จำนวน 3 ซ้ำ

6. นำเชื้อในขั้นตอนที่ 5 หลังจากที่ผ่านการรับแสงที่ช่วงเวลาต่างๆ ดูดออกมา จำนวน 0.1 ml หยดลงบนอาหารแข็ง MacConkey agar โดยใช้เทคนิค Spread plate แล้วนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชม. หลังจากนั้นนับจำนวนเชื้อที่ยังคงเหลือ ใช้วิธีการนับโคโลนีหน่วยเป็น (CFU)/mL แล้วบันทึกค่าไว้

ผลการทดลองและวิจารณ์

เตรียมฟิล์ม TiO_2/LDPE+Cu3% ขนาด 1 cm^2 ใส่ลงไปใน Tube Diluent 10^2 CFU/ml โดยตรงแล้วนำไปฉายแสงแต่ละช่วงเวลาโดยมีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังแสดงในตารางที่ 1

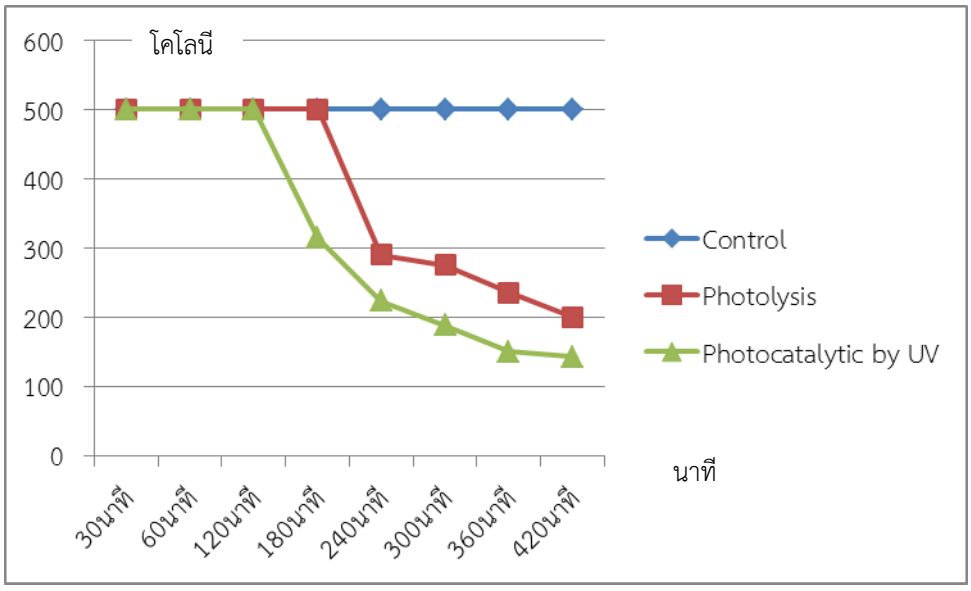
ผลการทดลองออกซิเดชั่น ด้วยแสง UV-C และ LED สามารถบำบัดจุลินทรีย์ในของเหลวได้ ต่างกันตรงที่แสง UV-C จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่าดังผลในรูปที่ 2 และ 3



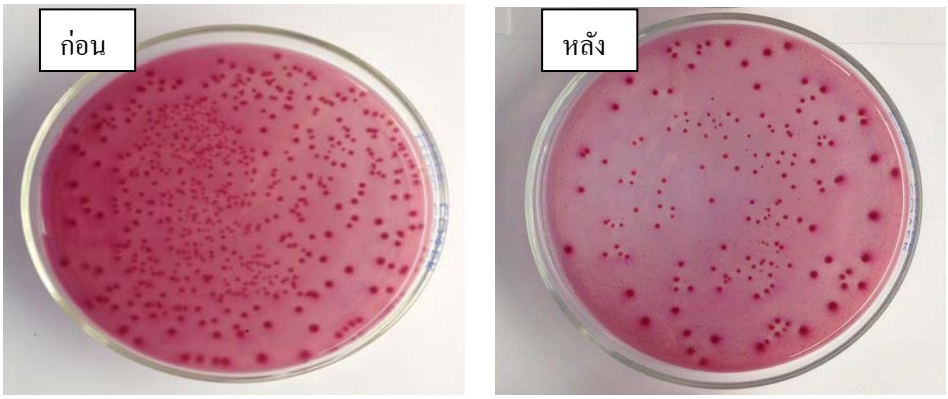
รูปที่ 1 การเตรียมฟิล์มตัวเร่งปฏิกิริยา และเตรียมขั้นตอนการฉายแสง UV และ LED

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ในการทดลอง

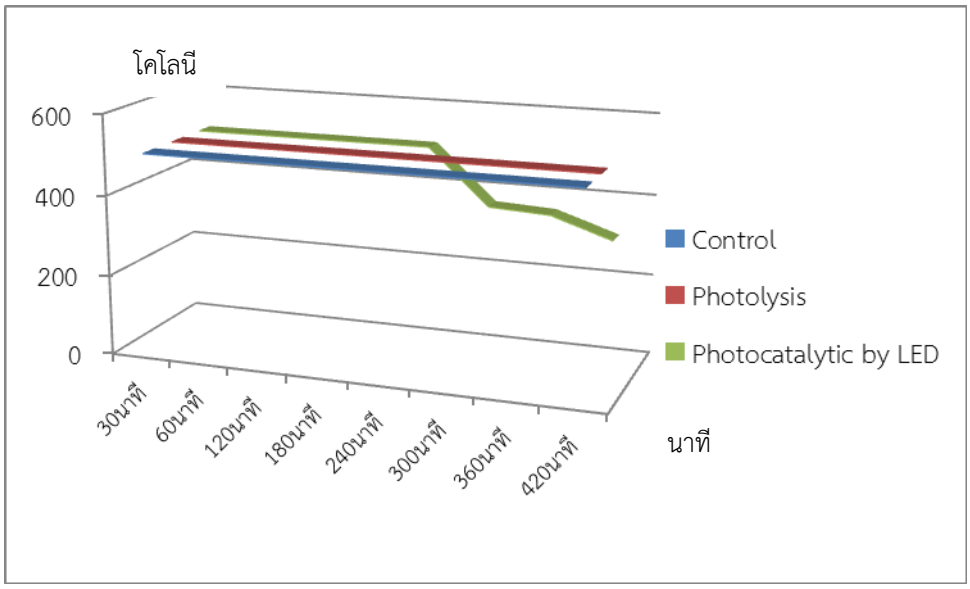
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
Film LDPE $TiO_2Cu3\%$	ตัดแบ่งเป็นชิ้นขนาด 1 cm^2 จำนวน 72 แผ่นสำหรับ UV และอีก 72 แผ่น สำหรับ LED
อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์	24 – 26 องศาเซลเซียส 48 – 62 เปอร์เซ็นต์
ความเข้มของเชื้อเริ่มต้น ความเข้มของเชื้อ Dilute	10^9 10^2
พลังงานของแสง UV / LED	UV-C T836 W. / LED18 W.
ความเข้มของ UV / LED	4.2 mW/cm^3 และ 20 mW/cm^3 ตามลำดับ
เวลาในการฉายแสง ความสูงของการฉายแสง	30 – 420 นาทีตามลำดับ 25 cm.



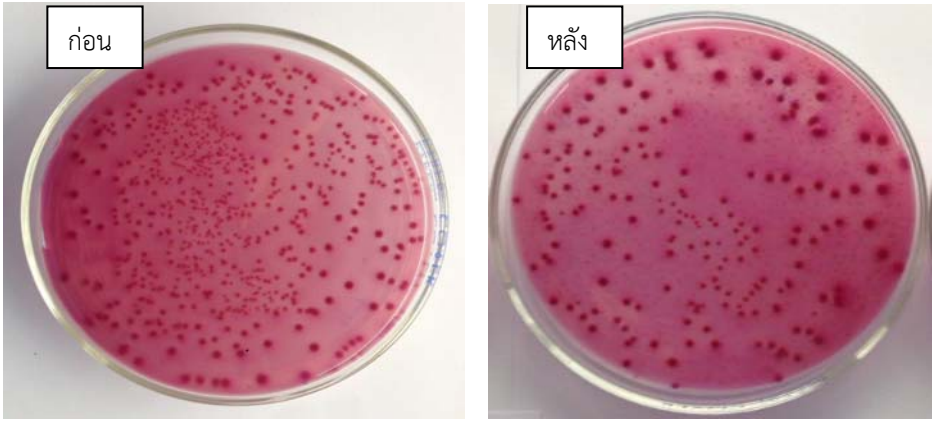
รูปที่ 2 แสดงผลการทดลอง Photolysis เทียบกับ Photocatalytic by UV-C



รูปที่ 3 กระบวนการ Photocatalytic by UV ก่อน และหลัง



รูปที่ 4 แสดงผลการทดลอง Photolysis เทียบกับ Photocatalytic by LED



รูปที่ 5 กระบวนการ Photocatalytic by LED ก่อน และหลัง

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าผลของกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่นที่ฉายด้วยแสง UV และ LED ใน Diluent Tube จำนวน 3 ซ้ำ จะมีการเจริญเติบโตของเชื้อตั้งแต่ระยะเวลา 0 นาที โดยเชื้อจะเริ่มตายและมีจำนวนลดลงเมื่อเวลาในการฉายแสงเพิ่มขึ้น โดยเชื้อลดลงคิดเป็นร้อยละ 78 และ 40 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sikong และคณะ [6] แสดงให้เห็นว่าการใช้แสง UV สามารถฆ่าเชื้อ *E.Coli* ได้ดีกว่าแสงจากหลอด LED เนื่องจากแสง UV (254 นาโนเมตร) มีพลังงานสูงกว่าทำให้เกิดการแยกระหว่างอิเลคตรอนและโฮลได้มากกว่าการใช้แสง LED แต่อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้แสง LED กับตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ที่เติมทองแดงหรือโลหะหนัก พบว่าการเติมโลหะหนักส่งผลให้อัตรารอดของเชื้อลดลง [7] การฉายแสง LED มีความสามารถในการฆ่าเชื้อได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพได้เช่นเดียวกัน แต่ใช้ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่มากกว่าการใช้แสง UV ซึ่งการใช้แสง LED มีความปลอดภัยต่อมนุษย์มากกว่าแสง UV นอกจากนี้ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความสูงของแหล่งจ่ายแสง จำนวนหลอดไฟ จำนวนวัตต์ และตำแหน่งของการวาง Diluent Tube อีกด้วย

สรุป

แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชั่นได้เกือบจะทันที ความเข้มข้นของเชื้อจะค่อยๆ ลดลงตามเวลาในการทำปฏิกิริยา หลังจากที่เกิดอัตราการย่อยสลายสูงสุดการเปลี่ยนแปลงจะเริ่มชะลอตัวลง และเข้าสู่ช่วงสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลงที่เสถียร ในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงกับฟิล์ม TiO_2/LDPE+Cu3% ที่ใช้นี้สามารถประยุกต์ใช้พลังงานแสงช่วง Visible Light (400 นาโนเมตร) ความเข้มแสง 20 mW/cm^3 เป็นแหล่งพลังงานแสง ได้ค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานที่เป็นแสง UV (254 นาโนเมตร) และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ TiO_2/LDPE โดยการปรับปรุงเติมโลหะหนักเพิ่มเข้าไป เพื่อเพิ่มความสามารถในการเกิดปฏิกิริยากับแสงช่วง Visible Light ได้ดีมากกว่านี้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.สุทธิพร ธเนศสกุลวัฒนา ผอ.สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย นักวิทยาศาสตร์ในศูนย์บริการและตรวจสอบมาตรฐานคุณภาพอาหาร น้ำและผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่สนับสนุนเอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้อำนวยการโรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ นายแพทย์ไชยเวช ธนไพศาล และรองผู้อำนวยการฝ่ายบริหาร นางสาวจารุวรรณ รัศมิทัต ที่ให้การสนับสนุนในการทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยครั้งนี้ ให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Health Systems Research Institute. 2015. Thailand Antimicrobial Resistance Containment and Prevention Program. 1: 11-12. (in Thai)

[2] Health Systems Research Institute. 2015. Thailand Antimicrobial Resistance Containment and Prevention Program. 1, 9. (in Thai)

[3] Lumyai Premchit, et al. 1992. Study of UV light application to control contamination in clean medicine production room of Khon Kaen hospital, Khon Kaen Hospital Medical Journal. 1: 41-43. (in Thai)

[4] Klanarong Intawong. 2015. Study of TiO_2/LDPE film on gaseous toluene degradation by photocatalytic oxidation, Master degree thesis. 1: 61-81. (in Thai)

[5] Sasicha Chansu, et al. 2014. Synthesis of CuO_2-TiO_2 photocatalysts and their photocatalytic properties, Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University. 3: 53-67. (in Thai)

[6] Lek Sikong, et al. 2010. Photocatalytic Activity and Antibacterial Behavior of Fe^{3+}-Doped TiO_2/SnO_2 Nanoparticles. Energy Research Journal. 1: 120-125.

[8] Angelina Stoyanova, et al., 2013. Photocatalytic and antibacterial activity of Fe-doped TiO_2 nanoparticles prepared by nonhydrolytic sol-gel method. Bulg. Chem. Commun. 45: 497-504.