



โฟม निकเกิลเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อย่อยสลายสีย้อมอินทรีย์และกำจัดแบคทีเรียในอากาศ

Titanium Dioxide-Coated Nickel Foam for Degradation of Organic Dye and Removing Airborne Bacteria

ณัฐชา เจริญใหญ่^{1*}, นันทกาญจน์ มุรติ² และสมพงศ์ โอทอง³

Natcha Charoenyai^{1*}, Nantakan Muensit² and Sompong O-thong³

¹ นักศึกษาระดับปริญญาโท, หลักสูตรวิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

¹ Graduate student, Department of Science for Industry, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus.

² รองศาสตราจารย์ ดร., สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

² Associate Professor, Ph.D., Division of Physical Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus.

³ รองศาสตราจารย์ ดร., สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ

³ Associate Professor, Ph.D., Department of Biology, Faculty of Science, International College, Thaksin University.

*Corresponding author, E-mail: 6310220068@email.psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำกระบวนการโฟโตแคตะไลติกมาใช้โดยมี โทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโฟม निकเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้แสงยูวีชนิดเอ ความยาวคลื่น 350-400 นาโนเมตร เพื่อหาความสามารถในการสลายสีย้อมอินทรีย์และการกำจัดแบคทีเรียรวมในอากาศ จากการศึกษาปริมาณสีย้อมที่สลายตัวและจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียรวมในอากาศที่ผ่านกระบวนการนี้ พบว่าได้ประสิทธิภาพสลายสีย้อมประมาณ 50 % และประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียรวมในอากาศเกือบ 100% นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาโฟม निकเกิล เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์นี้ยังสามารถใช้งานซ้ำได้โดยไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ วัสดุจากการศึกษานี้จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ทางด้านการฟอกอากาศกำจัดเชื้อโรคเป็นอย่างยิ่ง

คำสำคัญ: สีย้อมอินทรีย์, แบคทีเรียในอากาศ, โฟโตแคตะไลติก, โทเทเนียมไดออกไซด์

Abstract

This research studies the photocatalytic process using a titanium dioxide-coated nickel foam as a photocatalyst under UVA (wavelength 350-400 nm). This is to determine the activity of the degradation of organic dye and removing airborne bacteria. From the study, the organic dye was degraded for about 50% and almost all the airborne bacteria was removed. Furthermore, the titanium dioxide-coated nickel foam can be reused with constant efficiency. The material is highly potential for usage in an air sterilizing purification.

Keywords: Organic dye, Airborne bacteria, Photocatalytic process, Titanium dioxide

บทนำ

การกำจัดเชื้อโรคในอากาศได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา เป็นหนึ่งในเป้าหมายสำคัญเพื่อคุณภาพอากาศที่ดี ตัวเร่งปฏิกิริยาโฟโตแคตะลิสต์ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีศักยภาพในการนำไปใช้ในการกำจัดมลพิษทั้งในน้ำและในอากาศ HU,H., และคณะผู้วิจัยได้เตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ชนิดฟิล์มเคลือบบนตัวรองรับโฟมนิกเกิลโดยเทคนิคโซล-เจลขึ้นมาเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาความยากลำบากในการแยกอนุภาคแขวนลอยออกจากระบบหลังจากทำปฏิกิริยา (HU,H.,et al.,(2007)) ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนโฟมนิกเกิลมาใช้เป็นโฟโตแคตะลิสต์ในกระบวนการโฟโตแคตะไลติกหรือการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในการกำจัดเชื้อโรคในอากาศ โดยโฟโตแคตะไลซิสของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ภายใต้การกระตุ้นของแสงยูวีชนิดเอ ถือเป็นหนึ่งในทางเลือกเพื่อใช้กำจัดเชื้อโรคในอากาศทั้ง แบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา จากความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการกำจัดเชื้อโรคด้วยการหยุดกิจกรรมการดำเนินชีวิตและกิจกรรมในการเพิ่มจำนวน เนื่องจากเชื้อโรครวมถึงไวรัสล้วนมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด เช่น นิวคลีโอไทด์, กรดนิวคลีอิก (DNA/RNA), โพลีแซ็กคาไรด์, ไขมัน, กรดอะมิโน และโปรตีน เป็นต้น การทำลายสารอินทรีย์อันซึ่งเป็นองค์ประกอบของเชื้อโรคจึงนำไปสู่การกำจัดเชื้อโรคในอากาศได้ โฟโตแคตะไลซิสเป็นการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงที่กระทบบนพื้นผิวโฟโตแคตะลิสต์กระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอน (e^-) ที่แถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) ซึ่งจะส่งอิเล็กตรอนไปยังโมเลกุลออกซิเจน (O_2) เป็นปฏิกิริยารีดักชันและที่แถบเวเลนซ์ (Valance band) เกิดประจุบวก (h^+) หลังจากที่มีอิเล็กตรอนหลุดออกไปจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำ (H_2O) เกิดผลผลิตได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัล ($\text{Superoxide radical anion: O}_2^{\cdot-}$) และ ไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radical: $\cdot\text{OH}$) ตามลำดับ สารเหล่านี้เป็นสารอนุมูลอิสระที่เป็นอนุพันธ์ของออกซิเจน (Reactive oxygen species; ROS) มีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์รุนแรงสามารถสลายสารอินทรีย์ได้ ให้ผลผลิตสุดท้ายคือน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยเหตุนี้โฟโตแคตะไลซิสจึงถูกนำมาใช้เพื่อกำจัดเชื้อโรคบนพื้นผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ (Ahmadi, Bhardwaj, Kim, & Kumar, 2021)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารอนุมูลอิสระออกซิเจนจากกระบวนการโฟโตแคตะไลติก โดยมีไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนโฟมนิเกิลเป็นโฟโตแคตะลิสต์เพื่อย่อยสลายสีย้อมอินทรีย์และกำจัดแบคทีเรียในอากาศ

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

กระบวนการเร่งปฏิกิริยาภายใต้แสงอาทิตย์ของซีเรียมออกไซด์เจือไทเทเนียมไดออกไซด์ ($\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$) พบว่าการเร่งปฏิกิริยาด้วย $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$ ภายใต้แสงอาทิตย์สามารถกำจัดสีย้อมโรดามีนบี (Rhodamine B) ได้ 99.89% ภายในเวลาทดลอง 8 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียของวัสดุดังกล่าวโดยทดสอบการต้านแบคทีเรีย *Escherichia coli* (*E. coli*) ได้ผลว่าสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้เนื่องจากการออกซิไดซ์ที่รุนแรงจึงเป็นคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเองของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง โดยมีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Kasinathan, Kennedy, Elayaperumal, Henini, & Malik, 2016) ในการศึกษาการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ บนตัวรองรับโฟม $\beta\text{-SiC}$ ($\text{TiO}_2/\beta\text{-SiC}$ foam) เพื่อทดสอบการกำจัดสีย้อมโรดามีนบี ภายใต้แสง UVC (ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร) เป็นเวลา 120 นาที โดยกำจัดได้กว่า 90% เมื่อทำการทดสอบกำจัดสีย้อมซ้ำ 10 ครั้งต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดยไม่มีการทำความสะอาด $\text{TiO}_2/\beta\text{-SiC}$ foam และไม่มีการเปลี่ยนวัสดุใหม่ พบว่าในการทดสอบแต่ละครั้งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากแสดงว่าไม่มีการสูญเสียอนุภาค TiO_2 บ่งชี้ว่าวัสดุมีความคงตัวที่ดีบนวัสดุรองรับ (Allé, Fanou, Robert, Adouby, & Drogui, 2020) การศึกษากระบวนการโฟโตแคตะไลติกบนพื้นผิวเซรามิกที่เคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ในการยับยั้งแบคทีเรียที่เวลาต่างๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกและการก่อสร้างที่ต้องมีการกำจัดจุลินทรีย์ พบว่ากระเบื้องเซรามิกที่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่นำมาทดสอบได้ทุกชนิด (Bonetta, Bonetta, Motta, Strini, & Carraro, 2013) ในการทดสอบการกำจัดแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการติดเชื้อที่บริเวณแผลผ่าตัดด้วยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์โครงสร้างอะนาเทสในกระบวนการโฟโตแคตะไลติก เมื่อใช้ฟิล์มไทเทเนียมเคลือบบนวัสดุไทเทเนียมบริสุทธิ์และบนสแตนเลส SUS316 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้อย่างสมบูรณ์ที่เวลา 90 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ (Shiraishi et al., 2005)

จากการทบทวนวรรณกรรมจะเห็นได้ว่ากระบวนการโฟโตแคตะไลติกด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงยูวีสามารถสลายสารอินทรีย์และกำจัดแบคทีเรียได้ โดยทดสอบจากสีย้อมอินทรีย์และแบคทีเรียชนิดต่างๆ และสำหรับการนำไปใช้งานจริงนั้นจะต้องมีการประเมินประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อมีการใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยาซ้ำ

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะและประสิทธิภาพของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโพลีเมทิลจากแหล่งผลิตที่เลือกนำมาใช้ โดยศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมอินทรีย์คือโรดามีนบี ด้วยกระบวนการโฟโตแคตะไลติก และศึกษาประสิทธิภาพการสลายสารอินทรีย์ของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโพลีเมทิลเมื่อมีการใช้งานซ้ำ รวมทั้งทดสอบการกำจัดแบคทีเรียรวมในอากาศที่ผ่านกระบวนการโฟโตแคตะไลติก

1. การทดสอบคุณลักษณะของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโพลีเมทิล

ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโพลีเมทิลรวม จากแหล่งผลิตที่เลือกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้ JEOL รุ่น JSM-5800 LV (SEM 5800)

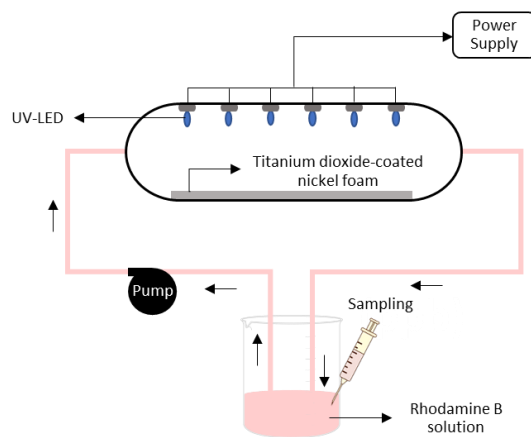
2. การศึกษาการเกิดโฟโตแคตะไลซิสของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโพลีเมทิล

ในการศึกษานี้ใช้เครื่องปฏิกรณ์ปริมาตร 350 ml โดยมีอัตราการไหลของสารละลายสีย้อม 50 mL/min ใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟแอลอีดี (LED) ความยาวคลื่น 350-400 นาโนเมตร มีความเข้มแสง 6.178 mW/cm² ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดแสง (UV Spectrometer) รุ่น CX-Chroma2 โดยมีไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโพลีเมทิลที่ผนังของเครื่องปฏิกรณ์ (Wall-Reactor) ดังรูปที่ 1 เป็นเวลา 180 นาที ตรวจวัดความเข้มข้นสีย้อมด้วยเครื่องวัดสี (Microprocessor Photo Colorimeter) ทำการวัดค่าแสงส่องผ่าน (Transmittance, %T) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ทุก 60 นาที ค่า %T เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, A) โดยกำหนดให้มีความสัมพันธ์ดังสมการ (1) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่ทราบความเข้มข้นกับสารละลายเริ่มต้นคือ สารละลายสีย้อมโรดามีนบี คำนวณหาความเข้มข้นของสีย้อมตามสมการที่ (2) (Natarajan et al., 2011; Salehi et al., 2012)

$$A_t = 2 - \log \%T_t \quad (1)$$

$$C_t = \frac{A_t}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

กำหนดให้ A_0 และ A_t คือค่าการดูดกลืนแสงของเมื่อเริ่มต้นและที่เวลาต่างๆ ตามลำดับ T_t คือค่าแสงส่องผ่านที่วัดได้ของสารละลายสีย้อมโรดามีนบี ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และ C_t แสดงความเข้มข้นของสารละลายที่เวลาต่างๆ

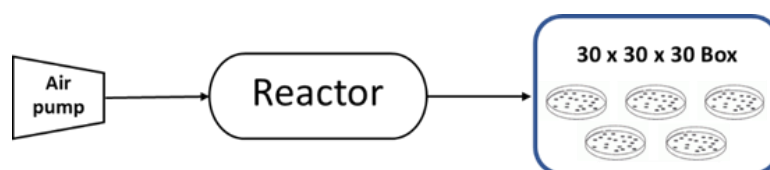


รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสีย้อมโรมินปี

3. การทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคในอากาศ

ทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อโรคในอากาศโดยทดสอบจากแบคทีเรียรวมในอากาศด้วยจานเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (Compact Dry TC) โดยทั้งแบคทีเรียแกรมลบ (Gram negative bacteria) ได้แก่ *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca* และ *Pseudomonas aeruginosa* แบคทีเรียแกรมบวก (Gram positive bacteria) ได้แก่ *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* และ *Lactobacillus lactis* การทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อโรคดังกล่าวโดยสารอนุพันธ์ออกซิเจนที่ถูกผลิตจากอากาศปกติผ่านกระบวนการโฟโตแคตะไลติกเป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที โดยเก็บตัวอย่างครั้งละ 5 ตัวอย่าง เพาะเลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Standard Agar และ Tetrazolium โดยบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะให้โคโลนีสีแดง เปรียบเทียบกับเชื้อโรคในอากาศที่ไม่ผ่านกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 3 L/min ในกล่องอะคริลิกขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร ดังแสดง รูปที่ 2 ผลการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในอากาศแสดงโดยอัตราการรอดชีวิต (Survival ratio) คำนวณจากจำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย (Colony forming units: CFUs) ดังสมการ (3) (Shiraishi et al., 2009)

$$\text{Survival ratio at } \alpha \text{ minutes (\%)} = \frac{\text{CFUs at } \alpha \text{ min}}{\text{CFUs at 0 min}} \times 100 \quad (3)$$



รูปที่ 2 ชุดอุปกรณ์ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียในอากาศ

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

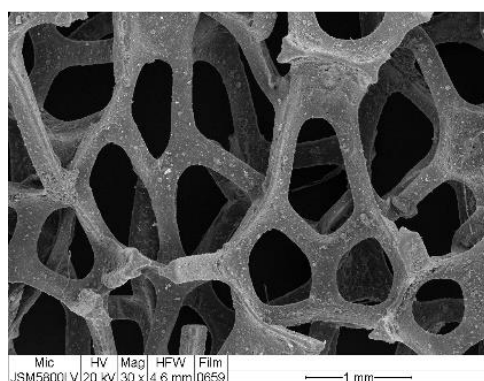
นำข้อมูลความเข้มข้นสีย้อมโรดามีนบีและจำนวนโคโลนีแบคทีเรียรวมในอากาศมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยสถิติทดสอบ Tukey HSD (Tukey Honest Significant Differences) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสลายสีย้อมกับการทดลองควบคุม และเปรียบเทียบการกำจัดแบคทีเรียในอากาศที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 26

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนโพนิกเกลในการย่อยสลายสีย้อมอินทรีและกำจัดแบคทีเรียในอากาศแสดงดังนี้

1. คุณลักษณะของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโพนิกเกล

จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนโพนิกเกลมีลักษณะคล้ายโครงร่างตาข่ายซึ่งทำให้มีพื้นที่ผิวมากกว่ารูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะพื้นผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโพนิกเกล

2. การกำจัดสีย้อมอินทรี

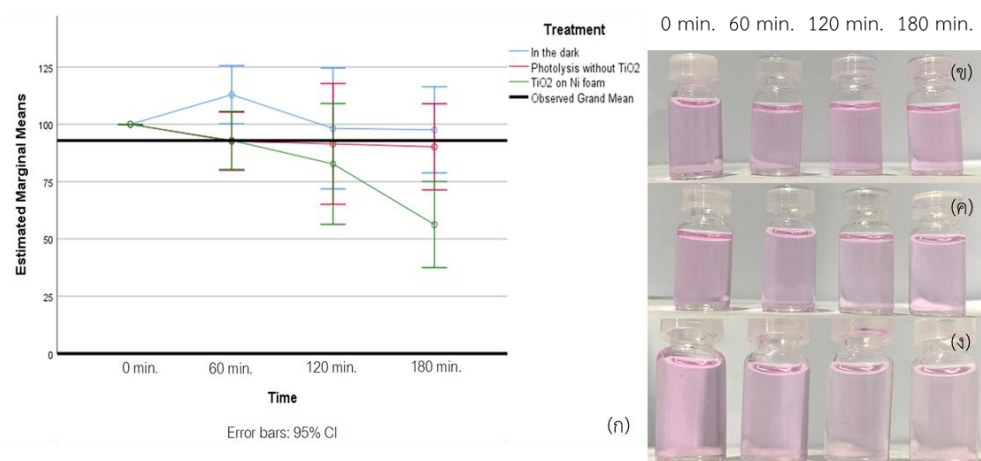
ในการทดสอบการเกิดโฟโตแคตะไลซิสของตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยสังเกตสารอนุพันธ์ออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากการจางลงของสีย้อมอินทรีโรดามีนบีโดยมีการทดลองในสภาวะที่ไม่มีแสง (In the dark) และมีแสงแต่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Photolysis) เป็นการทดลองควบคุม จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารละลายสีย้อมในกระบวนการโฟโตแคตะไลซิสของไทเทเนียมไดออกไซด์บนโพนิกเกลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 (F-test = 8.241, P-value = 0.019) เมื่อเทียบกับการทดลองควบคุมดังตารางที่ 1 หลังผ่านไป 180 นาที ความเข้มข้นของสีย้อมโรดามีนบีเหลือ 56.25% (ประสิทธิภาพการสลายสีย้อมอินทรี 43.75%) ดังรูปที่ 4 ทั้งนี้ความเป็นรูปพรรณที่ไม่เท่ากันของโพนิกเกลอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเกิดโฟโตแคตะไลซิสต่างกัน (Löffler et al., 2020)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสลายสารละลายสีของไทเทเนียมไดออกไซด์บนโฟมนิกเกิล

Treatment	Value Label	N	ความเข้มข้นเฉลี่ย (%) $\pm$ SD
1	In the dark	3	97.59 $\pm$ 21.39 ^a
2	Photolysis	3	90.18 $\pm$ 6.49 ^a
3	TiO ₂ on Ni foam	3	56.25 $\pm$ 5.55 ^b
F-test			8.241
P-value			0.019

Note Significant at the 0.05 level.

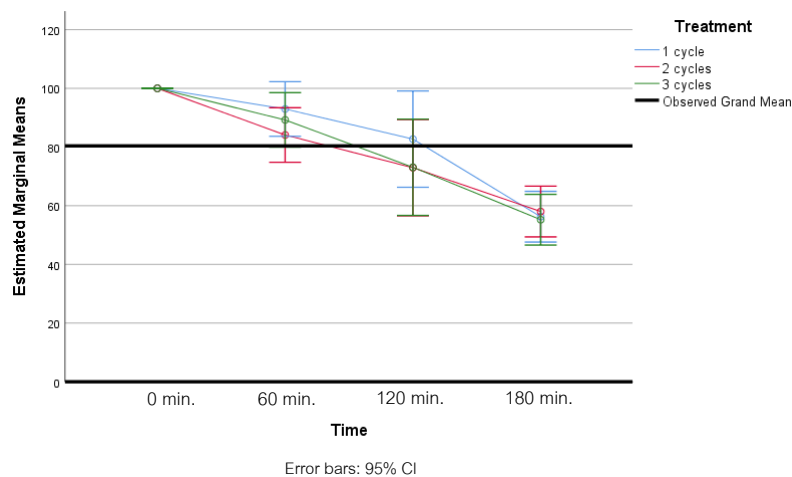
ANOVA F-test, and Tukey HSD (Tukey Honest Significant Differences) for performing multiple pairwise-comparison between the means of groups.



รูปที่ 4 (ก) ประสิทธิภาพการกำจัดสีของโรดามีนบี และสีของสารละลาย (ข) ในสถานะที่ไม่มีแสง (In the dark) (ค) สถานะมีแสงแต่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Photolysis) (ง) โฟโตแคตะไลซิสไทเทเนียมไดออกไซด์บนนิกเกิลโฟม

3. ประสิทธิภาพของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโฟมนิกเกิลเมื่อมีการใช้งานซ้ำ

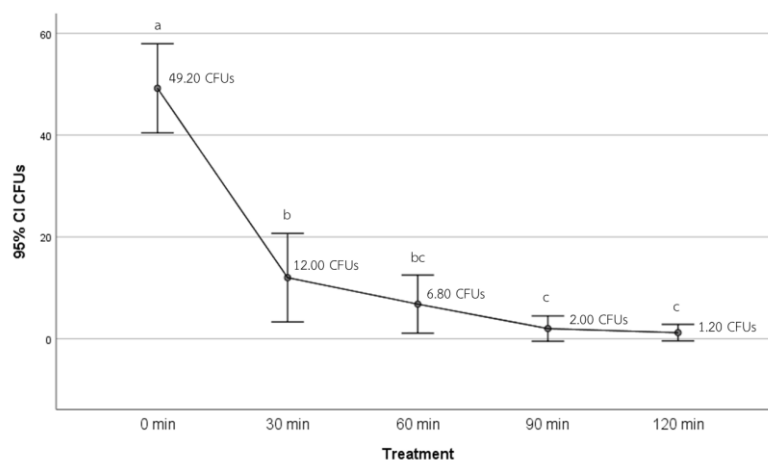
ผลของการทดสอบความเสถียรของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโฟมนิกเกิล เมื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ ดังแสดงรูปที่ 5 พบว่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาล้างแต่ละครั้ง



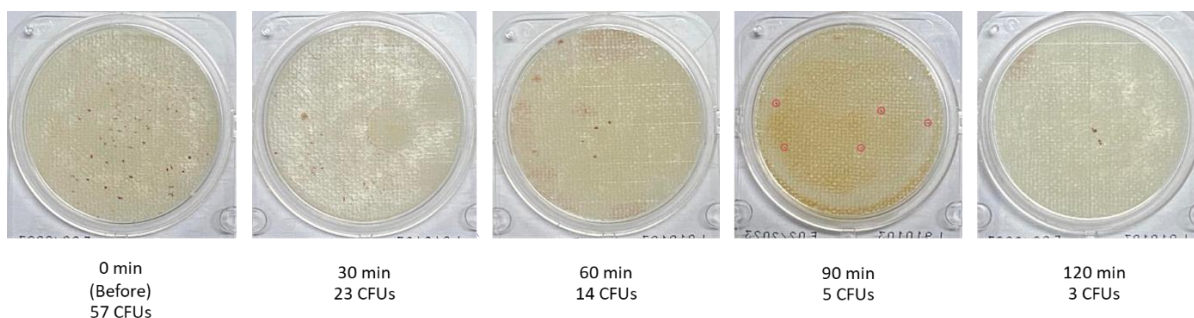
รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมโรดามินบีของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนโพรเมติกเจล เมื่อมีการใช้งานซ้ำ 3 รอบ

4. ประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียในอากาศ

การทดสอบความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียรวมในอากาศที่ผ่านกระบวนการโฟโตแคตะไลติกที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 นาที เปรียบเทียบกับอากาศที่ไม่ผ่านกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง จากรูปที่ 6 ผลการทดสอบพบว่าแบคทีเรียในอากาศที่ผ่านโฟโตแคตะไลซิสน้อยกว่าแบคทีเรียในอากาศปรกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยจำนวนโคโลนีแบคทีเรียลดลงอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ 30 นาทีแรกของการทดสอบและมีแนวโน้มลงที่เวลาทดสอบเพิ่มขึ้น แบคทีเรียในอากาศก่อนเริ่มทำปฏิกิริยา (0 นาที) และอากาศที่ผ่านโฟโตแคตะไลซิส 120 นาที มีจำนวนแบคทีเรียเฉลี่ย 49.20 โคโลนี และ 1.2 โคโลนี ตามลำดับ คิดเป็นอัตราการรอดชีวิตเท่ากับ 0.024 % หรือมีประสิทธิภาพการกำจัด 99.98% จากรูปที่ 7 เป็นผลทดสอบที่เลือกมาจากตัวอย่างที่มีจำนวนโคโลนีเหลือมากที่สุดของช่วงเวลานั้น ๆ เพื่อแสดงถึงการรอดชีวิตของแบคทีเรียในอากาศลดลงเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6 จำนวนโคโลนีเฉลี่ยของแบคทีเรียรวมในอากาศที่แต่ละเวลาทดสอบ



รูปที่ 7 ผลการกำจัดแบคทีเรียรวมในอากาศที่เวลาทดสอบ 0, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการนำกระบวนการโฟโตแคตะไลติกมาใช้โดยมี ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโพลีเมทิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้แสงยูวีชนิดเอ ความยาวคลื่น 350-400 นาโนเมตร จากการศึกษาคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนโพลีเมทิลมีพื้นที่ผิวมากเนื่องจากมีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย เมื่อนำมาทดสอบการเกิดโฟโตแคตะไลซิสภายใต้แสงยูวีชนิดเอ พบว่าสามารถสลายสีย้อมอินทรีย์และกำจัดแบคทีเรียรวมในอากาศได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีประสิทธิภาพในการสลายสีย้อม 43.75% ที่เวลา 180 นาทีและประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียรวมในอากาศ 99.98% โดยไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นโพลีเมทิลมีประสิทธิภาพคงที่เมื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ วัสดุจากการศึกษานี้จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ทางด้านการฟอกอากาศกำจัดเชื้อโรคเป็นอย่างยิ่ง

กิตติกรรมประกาศ

โครงการแพลตฟอร์มการศึกษาระดับปริญญาโท และการวิจัยพัฒนานวัตกรรมของภาคอุตสาหกรรม (Triple helix master degree integrated platform for research, development and innovation in industry) ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากหน่วย บริหารและจัดการทุน - หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคน และทุนด้านการพัฒนา สถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม (บพค.) สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.)

เอกสารอ้างอิง

Ahmadi, Y., Bhardwaj, N., Kim, K.-H., & Kumar, S. (2021). Recent advances in photocatalytic removal of airborne pathogens in air. Science of The Total Environment, 794, 148477. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148477



- Allé, P. H., Fanou, G. D., Robert, D., Adouby, K., & Drogui, P. (2020). Photocatalytic degradation of Rhodamine B dye with TiO₂ immobilized on SiC foam using full factorial design. *Applied Water Science*, 10(9), 1-9.
- Bonetta, S., Bonetta, S., Motta, F., Strini, A., & Carraro, E. (2013). Photocatalytic bacterial inactivation by TiO₂-coated surfaces. *AMB Express*, 3(1), 1-8.
- HU, H., XIAO, W., YUAN, J., SHI, J., CHEN, M., & SHANG GUAN, W. (2007). Preparations of TiO₂ film coated on foam nickel substrate by sol-gel processes and its photocatalytic activity for degradation of acetaldehyde. *Journal of Environmental Sciences*, 19(1), 80–85. doi:10.1016/s1001-0742(07)60013-8
- Kasinathan, K., Kennedy, J., Elayaperumal, M., Henini, M., & Malik, M. (2016). Photodegradation of organic pollutants RhB dye using UV simulated sunlight on ceria based TiO₂ nanomaterials for antibacterial applications. *Scientific reports*, 6(1), 1-12.
- Löffler, F. B., Altermann, F. J., Bucharsky, E. C., Schell, K. G., Vera, M. L., Traid, H., ... Litter, M. I. (2020). Morphological characterization and photocatalytic efficiency measurements of pure silica transparent open-cell sponges coated with TiO₂. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 17(4), 1930–1939. doi:10.1111/ijac.13504
- Salehi, M., Hashemipour, H., & Mirzaee, M. (2012). Experimental Study of Influencing Factors and Kinetics in Catalytic Removal of Methylene Blue with TiO₂ Nanopowder. *American Journal of Environmental Engineering*, 2(1), 1–7. doi:10.5923/j.ajee.20120201.01
- Shiraishi, K., Koseki, H., Tsurumoto, T., Baba, K., Naito, M., Nakayama, K., & Shindo, H. (2008). Antibacterial metal implant with a TiO₂-conferred photocatalytic bactericidal effect against *Staphylococcus aureus*. *Surface and Interface Analysis*, 41(1), 17–22. doi:10.1002/sia.2965
- Van Grieken, R., Marugán, J., Sordo, C., & Pablos, C. (2009). Comparison of the photocatalytic disinfection of *E. coli* suspensions in slurry, wall and fixed-bed reactors. *Catalysis Today*, 144(1-2), 48–54. doi:10.1016/j.cattod.2008.11.017