

นวัตกรรมเซลล์ไฟฟ้าเคมีผ่านชั้นไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> ภายใต้การเร่งด้วยแสงเพื่อการฆ่าเชื้อบน  
อุปกรณ์ทางการแพทย์ชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

Innovative Photo-Electrocatalytic Cells Utilizing FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> for Sterilizing  
Polyvinyl Chloride (PVC) Medical Devices

เศรษฐพล พรหมมานันท์, ธาราทิพย์ สว่างปาน  
สัณญญา กล่อมเกลี้ยง, ฉัตรชัย พลเขียว, ชาติชาย แจ่มเสน  
51 หมู่ที่ 6 ตำบลบ่อเงิน อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี 12140  
Tharatip.saw@pcshspt.ac.th

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของจุลชีพบนอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ทำจากพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ป่วย เนื่องจากกระบวนการฆ่าเชื้อแบบดั้งเดิมอาจทำให้วัสดุเสื่อมสภาพหรือก่อให้เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตราย โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบเซลล์ไฟฟ้าเคมีภายใต้การเร่งด้วยแสง (Photoelectrocatalytic system: PEC) สำหรับการฆ่าเชื้อบนพื้นผิว PVC โดยมุ่งเน้นการออกแบบระบบและกลไกการทำงานที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง ระบบที่พัฒนาขึ้นใช้ชั้นไฟฟ้ากึ่งตัวนำแบบหลายชั้น FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> ซึ่งสามารถตอบสนองต่อพลังงานแสงและศักย์ไฟฟ้าได้พร้อมกัน ส่งผลให้เกิดสารออกซิแดนท์ในสารละลาย ได้แก่ กรดไฮโปคลอรัส (HClO) และไฮโปคลอไรต์ไอออน (ClO<sup>-</sup>) ที่มีสมบัติในการทำลายจุลชีพ การทดลองศึกษาประสิทธิภาพของระบบ PEC ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน รวมถึงรูปแบบการไหลเวียนของสารละลายและชนิดของแสงที่ใช้ พร้อมทั้งประเมินผลกระทบของกระบวนการฆ่าเชื้อต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของ PVC ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบ PEC ที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แสงหรือไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และช่วยลดการเสื่อมสภาพของวัสดุ PVC เมื่อเทียบกับกระบวนการฆ่าเชื้อแบบดั้งเดิม โครงการนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีโฟโตอิเล็กโทรคะตะไลติกในการประยุกต์ใช้เป็นแนวทางใหม่สำหรับการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: เชื้อเคลบเซลลา นิวโมเนีย (*Klebsiella pneumoniae*), โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride), เทคนิคโฟโตอิเล็กโทรคะตะไลติก (Photoelectrocatalytic Technique)

1. บทนำ

เชื้อ *Klebsiella pneumoniae* เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมลบที่สามารถพบได้ในร่างกายมนุษย์ ซึ่งสามารถอาศัยอยู่ในระบบทางเดินหายใจและทางเดินอาหารของมนุษย์โดยไม่ทำให้เกิดโรคในภาวะปกติ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายอ่อนแอหรือถูกกดทับ เช่น ในผู้ป่วยที่มีการใช้ยาปฏิชีวนะหรืออยู่ในสถานพยาบาลเป็นเวลานาน เชื้อแบคทีเรียชนิดนี้อาจกลายเป็นเชื้อก่อโรคได้ โดยการติดเชื้อสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในปอด (ปอดอักเสบ), ทางเดินปัสสาวะ, หรือใน

กระแสเลือด (bacteremia) และยังมีแนวโน้มที่จะพัฒนาเป็นการติดเชื้อรุนแรง (sepsis) ซึ่งหากไม่ได้รับการรักษาอย่างทันท่วงทีอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต

(Elizabeth Thottacherry, 2022) และจากการที่การแพร่กระจายสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายในสถานพยาบาล โดยเฉพาะในสถานที่ที่มีผู้ป่วยที่ใช้อุปกรณ์การแพทย์ที่ซ้ำๆ เช่น เข็มฉีดยา สายสวนปัสสาวะ หรืออุปกรณ์ช่วยหายใจ ทำให้ผู้ป่วยที่ใช้เครื่องมือเหล่านี้มีความเสี่ยงสูงที่จะติดเชื้อหากอุปกรณ์ไม่ได้รับการทำความสะอาดหรือฆ่าเชื้ออย่างถูกวิธี (Elizabeth Thottacherry, 2022)

โดยจากปัญหานี้ของเชื้อ *Klebsiella pneumoniae* และการติดเชื้อในสถานพยาบาลทำให้เทคโนโลยีทางการแพทย์ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาและลดการแพร่กระจายของเชื้อ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น สายสวนปัสสาวะ

และอุปกรณ์ช่วยหายใจที่ทำจากพลาสติก PVC (Polyvinyl Chloride) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่น และทนทานเนื่องจากมีสารเชื่อมประสานระหว่าง โมเลกุล Vinyl chloride คือ Phthalates แต่จะสามารถหลุดออกจากโครงสร้าง PVC หากมีการฆ่าเชื้อ ด้วยเอทานอลและการใช้ความร้อน ซึ่งสาร Phthalates ดังกล่าวมีคุณสมบัติคล้ายกับฮอร์โมนในร่างกาย ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบฮอร์โมนและอาจเป็นอันตราย ต่อระบบสืบพันธุ์ (สุสิทธิ์ ปัทมาและปริณดา, 2013) นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า Phthalates ยังสามารถ ส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลางและทำให้ การรับรู้บกพร่องได้ (Benedikt Maric, 2024)

ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการฆ่า เชื้อที่ใช้แก๊ส Ethylene Oxide (EO) แทนการใช้ความร้อน แก๊ส EO มีความสามารถในการฆ่าเชื้อที่มี ประสิทธิภาพโดยไม่ทำลายคุณสมบัติของวัสดุอุปกรณ์ แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียคือการใช้แก๊ส EO ต้องการ บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในการปฏิบัติงาน เนื่องจาก แก๊สนี้มีความเสี่ยงในการรั่วไหลและอาจส่งผลกระทบต่อ สุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการ ใช้แก๊ส EO ยังสูงทั้งในด้านค่าอุปกรณ์และการ ดำเนินการ (สุวิทย์, ไม่ปรากฏปี)

ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ ในการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ไม่เป็นอันตราย ต่อสุขภาพและต้นทุนต่ำจึงมีความจำเป็น โดยหนึ่งใน เทคโนโลยี ที่ ใ้ ด้ รั บ ความ สน ใจ คือ เทคโนโลยี โฟโตอิเล็กโทรคะตะไลติก (Photoelectrocatalytic) ซึ่งคือใช้สารกึ่งตัวนำเป็นขั้วไฟฟ้าในเซลล์ไฟฟ้าเคมี เมื่อ ถูกกระตุ้นด้วยพลังงานแสงและไฟฟ้า จะทำให้เกิด กระบวนการโฟโตอิเล็กโทรคะตะไลติก และถ้า เกิดปฏิกิริยาในสารละลายน้ำที่มีไฮดรอกซิลของคลอรีน (Cl<sup>-</sup>) ยังสามารถทำให้เกิดกรดไฮโปคลอรัส (HClO) และ ไฮโปคลอไรต์ไฮดรอกไซด์ (ClO<sup>-</sup>) ที่มีความสามารถในการ ฆ่าเชื้อสูง เนื่องจาก HClO เป็นสารออกซิไดซ์ที่มี ประสิทธิภาพสูงในการทำลายเชื้อโรค นอกจากนี้ HClO ยังออกฤทธิ์ได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดอ่อนถึง กลาง (pH 5-7) และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจาก เมื่อสลายตัวจะกลายเป็นน้ำ (H<sub>2</sub>O) และคลอรีน (Cl<sup>-</sup>) ที่ไม่เป็นอันตราย ส่วน ClO<sup>-</sup> แม้จะมีความสามารถในการ ฆ่าเชื้อที่น้อยกว่า HClO แต่ยังคงทำหน้าที่เป็นสาร

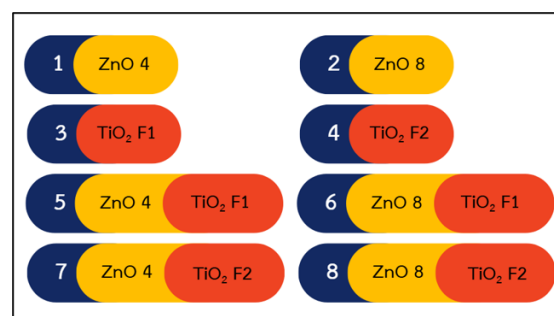
ออกซิไดซ์และสามารถทำลายโครงสร้างของเชื้อโรคได้ ในระดับหนึ่ง (Daniel Krall., 2013)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นทำให้การพัฒนา อุปกรณ์ฆ่าเชื้อที่ใช้เทคนิคโฟโตอิเล็กโทรคะตะไลติก เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการติดเชื้อใน สถานพยาบาลที่มีศักยภาพ สามารถช่วยลดความเสี่ยง ในการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ปลอดภัยต่อผู้ป่วยหรือ บุคลากรทางการแพทย์ที่ใช้อุปกรณ์ทางการแพทย์ใน สถานพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีจุดเด่น เหนือกว่าเทคนิคอื่นคือการใช้พลังงานที่น้อยลงทำให้มี ค่าใช้จ่ายต่ำ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสามารถ ลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่สามารถเกิดจาก กระบวนการทำความสะอาดได้

## 2. วิธีการดำเนินงาน

### 2.1 การพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติของ ขั้วไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub>

ตัดกระจกนำไฟฟ้า FTO ขนาด 2x3 เซนติเมตร กำหนดพื้นที่ทำงาน 1x1 เซนติเมตร แล้ว ทำความสะอาดก่อนเคลือบชั้น ZnO ด้วยเทคนิคสเปรย์ ฟันเคลือบจำนวน 4 และ 8 ชั้น จากนั้นเคลือบชั้น TiO<sub>2</sub> ด้วยเทคนิคจุ่มเคลือบ โดยใช้สารละลาย TiO<sub>2</sub> จำนวน 2 สูตร ก่อนนำไปอบและเผาตามเงื่อนไขของแต่ละสูตร ทำให้ได้ขั้วไฟฟ้าทั้งหมด 8 รูปแบบ หลังจากนั้นบันทึก รี สายไฟ เคลือบอีพ็อกซีบริเวณที่ไม่ใช้งาน และศึกษา คุณสมบัติของขั้วไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืน แสง (UV-Vis), photocurrent response และ Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) ดังภาพ



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงชุดทดลองของขั้วไฟฟ้าที่มี เงื่อนไขแตกต่างกัน 8 ชุด

### 2.2 การศึกษาความสามารถในการผลิต HClO

นำขั้วไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการศึกษาขั้น ก่อนมาทดสอบในระบบ PEC โดยใช้สารละลาย NaCl เป็นอิเล็กโทรไลต์ ใช้ขั้วสแตนเลสเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย จ่าย

ศักย์ไฟฟ้า 2.5 V พร้อมฉายแสง LED เก็บตัวอย่างทุก 20 นาที จนครบ 120 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮโปคลอรัส (HClO) ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

### 2.3 การศึกษาความสามารถในการทนเกลือของ *K. pneumoniae*

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ที่มีความเข้มข้น NaCl แตกต่างกันได้แก่ 0.85, 3, 5 และ 7% (w/v) เติมน้ำเชื้อ *K. pneumoniae* แล้วบ่มที่ 37°C เป็นเวลา 18–24 ชั่วโมง เพื่อศึกษาความสามารถในการเจริญของเชื้อภายใต้ความเข้มข้นของเกลือที่แตกต่างกัน และใช้ผลที่ได้กำหนดความเข้มข้น NaCl ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองในระบบ PEC

### 2.4 การศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อ *K. pneumoniae*

เตรียมสารละลายเชื้อ *K. pneumoniae* ในสารละลาย NaCl แล้วนำมาทดสอบในระบบ PEC โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นเป็นขั้วทำงานและขั้วสแตนเลสเป็นขั้วช่วย ภายใต้ศักย์ไฟฟ้า 2.5 V และแสง LED เก็บตัวอย่างตามช่วงเวลาเพื่อนำไปเพาะเชื้อด้วยวิธี spread plate และนับจำนวนโคโลนี หลังพบว่าสามารถกำจัดเชื้อได้ภายใน 20 นาที จึงทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มความละเอียดของช่วงเวลาและลดความเข้มข้นของ NaCl เพื่อหาระยะเวลาที่กำจัดเชื้อได้อย่างสมบูรณ์

### 2.5 การศึกษาการฆ่าเชื้อบนอุปกรณ์ทางการแพทย์

นำท่อช่วยหายใจที่ปนเปื้อน *K. pneumoniae* มาทดสอบในระบบ PEC ภายใต้เงื่อนไขเดียวกับการทดลองก่อนหน้านี้ เก็บตัวอย่างเชื้อจากพื้นผิวท่อตามช่วงเวลา นำมาเพาะเลี้ยงด้วยวิธี spread plate และนับจำนวนโคโลนีเพื่อประเมินประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อบนอุปกรณ์จริง

### 2.6 การพัฒนารูปแบบของเซลล์ PEC

ออกแบบและสร้างเซลล์ PEC จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ เซลล์ 1 ห้องไม่มีระบบนำวน เซลล์ 1 ห้องมีระบบนำวน และเซลล์ 2 ห้องมีระบบนำวน จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละแบบโดยทดสอบการกำจัดเมทิลินบลูภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน และวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทิลินบลูด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

### 2.7 การศึกษาความเร็วของระบบนำวน

นำเซลล์ PEC ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำวนแตกต่างกัน ได้แก่ 40, 50 และ 60 sec/min โดยประเมินประสิทธิภาพการกำจัดเมทิลินบลูจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

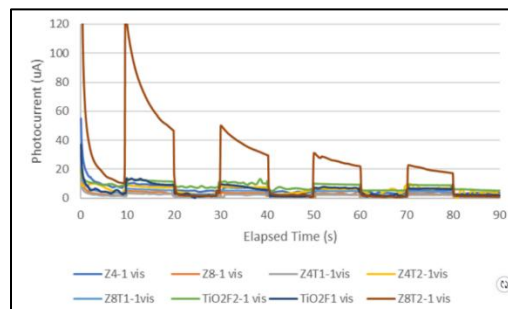
### 2.8 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ PVC

นำแผ่น PVC มาฆ่าเชื้อด้วยระบบ PEC ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด และเปรียบเทียบกับ การฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง Autoclave จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณสารพหาลาเลทที่หลุดออกจากพลาสติกด้วยเครื่อง GC-MS เพื่อประเมินผลกระทบของกระบวนการฆ่าเชื้อต่อวัสดุ

## 3. ภาพผลและอภิปรายผล

### 3.1 การพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติของขั้วไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub>

จากผลการทดสอบ photocurrent response ภายใต้แสงช่วงที่มองเห็น พบว่าขั้วไฟฟ้าสูตร Z8T2-1 vis หรือ FTO/ZnO 8 ชั้น/TiO<sub>2</sub> สูตร 2 แสดงค่ากระแสโฟโตสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น สะท้อนถึงประสิทธิภาพในการแยกและถ่ายโอนประจุที่ดีกว่า ซึ่งคาดว่าเกิดจากโครงสร้าง heterojunction ระหว่าง ZnO และ TiO<sub>2</sub> ที่เหมาะสม ส่งผลให้ลดการเกิด recombination ของอิเล็กตรอน-โฮล และเพิ่มศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวขั้วไฟฟ้า

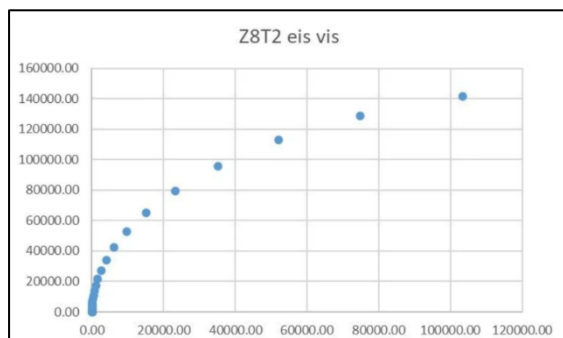


ภาพที่ 2 ผลการทดสอบ photocurrent ของขั้วไฟฟ้าทั้งแปดรูปแบบ

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) ภายใต้การฉายแสงพบว่า ขั้วไฟฟ้า Z8T2 มีค่า charge transfer resistance (RCT) ต่ำ แสดงถึงประสิทธิภาพการถ่ายโอนประจุและการแยกประจุที่ดี ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคลอไรด์ในระบบ PEC ได้

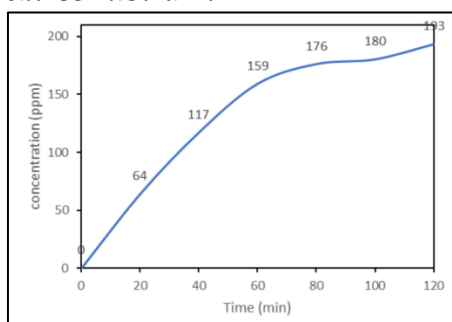
อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 3 ผลการทดสอบ EIS ของขั้วไฟฟ้าที่เคลือบด้วย ZnO 8 ชั้นและ TiO<sub>2</sub> สูตรที่สอง

### 3.2 การศึกษาความสามารถในการผลิต HClO ของขั้วไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> ภายใต้เซลล์ PEC

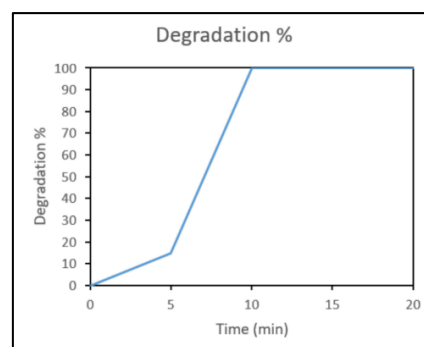
จากผลการทดลองระบบโฟโตอิเล็กโทรเคมี (PEC) ที่ใช้ขั้วไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> สามารถผลิตกรดไฮโปคลอรัส (HClO) ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้การฉายแสงและการจ่ายศักย์ไฟฟ้า โดยปริมาณ HClO เพิ่มขึ้นตามประสิทธิภาพการแยกประจุของขั้วไฟฟ้า ซึ่งสัมพันธ์กับค่ากระแสโฟโตที่สูงจากโครงสร้าง ZnO/TiO<sub>2</sub> heterojunction และผลการวิเคราะห์ EIS ที่แสดงค่า charge transfer resistance (RCT) ต่ำ ส่งผลให้การออกซิเดชันของ Cl<sup>-</sup> และการสร้าง HClO เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 4 ผลการทดสอบความสามารถในการผลิต HClO เมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที

### 3.3 การศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อ K. Pneumoniae ของขั้วไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> ภายใต้เซลล์ PEC

จากรูป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้สารละลาย NaCl 0.5% w/v ในการกำจัดเชื้อพบว่าเชื้อถูกกำจัดจนหมดภายในระยะเวลา 15 นาที



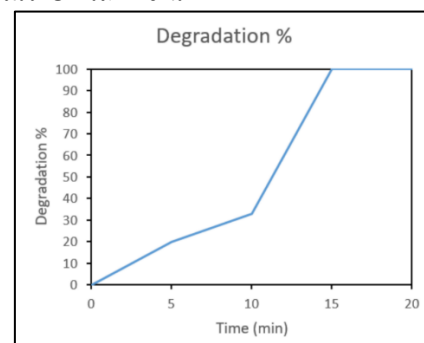
ภาพที่ 5 ผลการศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อ K. Pneumoniae ของขั้วไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> ภายใต้เซลล์ PEC



ภาพที่ 6 การเจริญเติบโตของเชื้อตามเวลาที่ผ่านไป 120 นาที

### 3.4 การศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อ K. Pneumoniae บนอุปกรณ์ทางการแพทย์ของขั้วไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> ภายใต้เซลล์ PEC

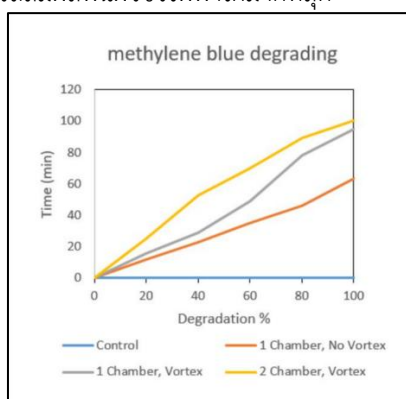
จากรูป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้สารละลาย NaCl 0.5% w/v ในการกำจัดเชื้อบนอุปกรณ์ทางการแพทย์พบว่าเชื้อถูกกำจัดจนหมดภายในระยะเวลา 20 นาที



ภาพที่ 7 ผลการศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อ K. Pneumoniae ของขั้วไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> ภายใต้เซลล์ PEC บนอุปกรณ์ทางการแพทย์

### 3.5 การพัฒนารูปแบบของเซลล์ PEC ที่เหมาะสมกับการฆ่าเชื้อ

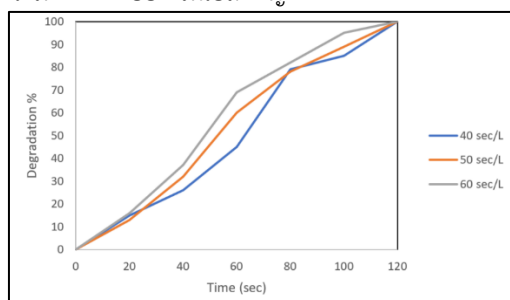
จากรูป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเซลล์ในรูปแบบของ 1 ห้องไม่มีระบบน้ำวนให้ประสิทธิภาพในการกำจัด Methylene Blue น้อยที่สุดเนื่องจากว่าสารละลายไม่สัมผัสผิวหน้าขั้วไฟฟ้าอย่างทั่วถึง ชุดการทดสอบที่ให้ ประสิทธิภาพดีขึ้นมากคือ 1 ห้องมีระบบน้ำวน และชุดการทดลองที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 2 ห้องมีระบบ น้ำวนเนื่องจากระบบจะทำให้สารละลายสามารถสัมผัสพื้นผิวขั้วไฟฟ้าได้มากที่สุด



ภาพที่ 8 ผลการทดลองการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูในเวลา 120 นาที

### 3.6 การศึกษาความเร็วของระบบน้ำของเซลล์ PEC ที่เหมาะสมกับการฆ่าเชื้อ

จากรูป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็วของปั้มน้ำทั้งสามการทดสอบมีประสิทธิภาพในการกำจัด Methylene Blue เพียงเล็กน้อยซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

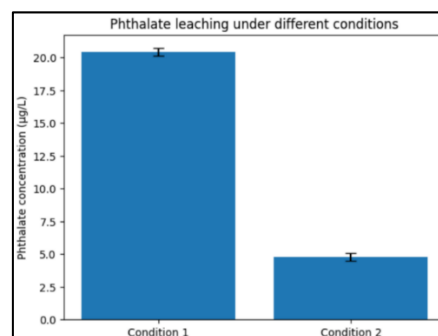


ภาพที่ 9 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบน้ำวนรูปแบบที่แตกต่างกัน

### 3.7 การศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากกระบวนการฆ่าเชื้อของขั้วไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> ภายใต้กระบวนการ PEC

ผลการทดลองพบว่า การฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการโฟโตอิเล็กโทรคะตะไลซิส (PEC) ทำให้เกิดการชะล้างสาร phthalate เพียง  $4.8 \pm 0.3 \mu\text{g/L}$  ซึ่ง

ต่ำกว่าการฆ่าเชื้อด้วย autoclave ( $20.4 \pm 0.3 \mu\text{g/L}$ ) ประมาณ 4 เท่า เนื่องจากกระบวนการ PEC ทำงานที่อุณหภูมิใกล้เคียงห้อง จึงลดการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์และการแพร่ของสารเดิมแต่งออกจากวัสดุ PVC ได้ดีกว่า autoclave



ภาพที่ 10 กราฟแสดงผลการหลุดของสารพทาเลตภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน

## 4. สรุปผล

การศึกษาพบว่าขั้วไฟฟ้า FTO/ZnO/TiO<sub>2</sub> สูตร Z8T2-1 vis มีประสิทธิภาพสูงสุดในการแยกและถ่ายโอนประจุ ส่งผลให้สามารถผลิตกรดไฮโปคลอรัส (HClO) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการกำจัดเชื้อ *Klebsiella pneumoniae* โดยเชื้อสามารถทนต่อสารละลาย NaCl ได้ถึง 5% w/v แสดงให้เห็นว่าฤทธิ์การฆ่าเชื้อเกิดจาก HClO ไม่ใช่ความเข้มข้นของเกลือ ระบบ PEC สามารถกำจัดเชื้อได้หมดภายใน 10–20 นาที ทั้งในสารละลายและบนพื้นผิวอุปกรณ์ทางการแพทย์ นอกจากนี้ เซลล์แบบ 2 ห้องร่วมกับระบบน้ำวน ให้ประสิทธิภาพสูงสุด และกระบวนการ PEC ยังช่วยลดการชะล้างสาร phthalate ได้ประมาณ 4 เท่า เมื่อเทียบกับการฆ่าเชื้อด้วย autoclave แสดงถึงศักยภาพในการฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพพร้อมทั้งรักษาคุณสมบัติของวัสดุ PVC ได้เป็นอย่างดี



## 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้และความกรุณาและการสนับสนุนจากหลายภาคส่วน ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สุกัญญา กลมเกลี้ยง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และติดตามการดำเนินงานวิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดระยะเวลาการศึกษา

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย พลเชื้อ จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย แจ่มเสน จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ได้กรุณาถ่ายทอดองค์ความรู้ให้คำปรึกษาทางวิชาการ และข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาโครงการวิจัยฉบับนี้

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมและให้การสนับสนุน จนโครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี

## 6. เอกสารอ้างอิง

ฉัตรชัย. (2017). การทำลายเซลล์จุลชีพโดยการใช้อนุมูลอิสระในกระบวนการโฟโตเคมี. วารสารเคมีและวัสดุศาสตร์, 22(1), 45-56.

ลีพร และ ปริณดา. (2013). ปัญหาของสาร Vinyl Chloride และผลกระทบต่อสุขภาพ. วารสารวิจัยและพัฒนาการแพทย์, 18(3), 210-219.

สุวิทย์. (ไม่ปรากฏปี). การใช้แก๊ส Ethylene Oxide ในการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทางการแพทย์: ประสิทธิภาพและข้อควรระวัง. วารสารการแพทย์และสาธารณสุข, 25(2), 122-135.

โชติวิทย์ วิริยะชัยเลิศ และ ฉัตรชัย พลเชื้อ. (2016). การผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรต์ด้วยกระบวนการโฟโตอิเล็กโทรคะตะไลติกโดยใช้ขั้วไฟฟ้าผสมทังสเตนออกไซด์/บิสมีทวานาเดท. Science and Technology RMUTT Journal, 7(1), 58-65.

Daniel Krall. (2013). Production and Utilization of Hypochlorous Acid in Water Disinfection. Journal of Water Process Engineering, 1(3), 65-74.

Elizabeth Thottacherry. (2022). Klebsiella pneumoniae Infections: Clinical Impact and Treatment. Journal of Infection and Public Health, 15(7), 849-859.