การศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของ N-TiO_2 โฟโตคะตะไลติก เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Mycobacterium tuberculosis*

Study and Testing the Efficiency of N-TiO_2 Photocatalyst for *Mycobacterium Tuberculosis* Growth Inhibition

เฉลิมพล ประสาทงาม[1], สุขเกษม วัชรมัยสกุล[2] และ เสวียน คำหอม[3]
Chalermpol Prasartngam[1], Sukasem Watcharamaisakul[2]* and Swian Kamhorm[3]
[1]สาขาวิชานวัตกรรม วิศวชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
[2]ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวกลศาสตร์ทางการแพทย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
[3]สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา
[1]School of Biomedical Innovation Engineering, Suranaree University of Technology
[2]Center of Excellence in Biomechanics Medicine, Suranaree University of Technology
[3]The Office of Disease Prevention and Control 9, Nakhon Ratchasima province
*Correspondence to: E-mail: sukasem@sut.ac.th
(Article submitted: September 29, 2020; Final version accepted: December 30, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาวิธีการยับยั้งเชื้อ *Mycobacterium tuberculosis* (MTB) ที่ยังคงเป็นปัญหาสำคัญของสาธารณสุขทั่วโลก โดยใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลติกเร่งปฏิกิริยา ด้วยแสงที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นสูงและประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถสลายหรือกำจัดโมเลกุลของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ให้กลายเป็นโมเลกุลที่มีความเสถียร งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรค (MTB: H37Rv) โดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยใช้ชิ้นงาน N-TiO_2 ที่เตรียมด้วยกระบวนการโซล-เจล และนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานฟองน้ำด้วยกระบวนการจุ่มเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทดสอบโดยการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UVC) และแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible light) ลงบนจานใส่ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2 เพื่อให้เกิดการปล่อยประจุยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ที่กระจายตัวอยู่บนจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้องและในบรรยากาศห้องความดันลบ ผลการศึกษา พบว่า กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนั้น ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ภายใต้การฉายแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 60 และ 100 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาฉายแสงด้วยแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับแสงอัลตราไวโอเลตที่ระยะเวลา 30 นาที พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTBได้ร้อยละ 100

คำสำคัญ: การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB, N-TiO_2, โฟโตคะตะไลติก, กระบวนการโซล-เจล, กระบวนการจุ่มชิ้นงาน

Abstract

The purpose of the study was to develop a method for inhibition of Mycobacterium Tuberculosis (MTB), which is a major global public health problem. An advanced oxidation reaction with a photocatalytic process was conducted. The method could breakdown or eliminate molecules of an organic and inorganic substance to be stable molecules. The research examined the inhibition efficiency of MTB (H37Rv) by using N-TiO_2 as a photocatalyst prepared by a sol-gel process and formed by a dipping process with a sponge substrate. The inhibition of tuberculosis was tested under ultraviolet light (UVC) and visible light irradiation with an N-TiO_2 photocatalyst at room temperature in a negative pressure room. The results showed that N-TiO_2 catalysts could inhibit MTB under visible light irradiation

at three and five hours (60% and 100%) respectively. Besides, irradiation by using visible light and ultraviolet light together about 30 minutes inhibited MTB 100%.

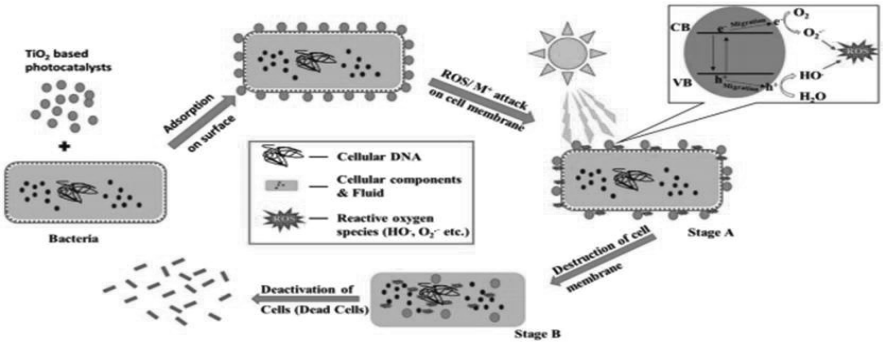
Keywords: MTB growth inhibition, N-TiO_2, photocatalytic process, sol-gel process, dipping process

บทนำ

วัณโรคเป็นโรคติดต่อที่เป็นปัญหาสำคัญทางการแพทย์และสาธารณสุขทั่วโลก [1] เนื่องจากเป็นโรคติดต่อทางเดินหายใจจากคนสู่คน (Airborne transmission) สถานพยาบาลเป็นสถานที่ผู้ป่วยไปรับบริการสุขภาพหรือสถานที่แออัดจึงมีความเสี่ยงสูงในการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคไปสู่บุคคลอื่น ๆ [2] ดังนั้น การป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค (MTB) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อแผนการดำเนินงานควบคุมวัณโรค ปัจจุบันนิยมยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB โดยการใช้แสงอัลตราไวโอเลตโดยเฉพาะ UVC เนื่องจากให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือเชื้อโรคต่าง ๆ รวมถึงเชื้อ MTB อย่างไรก็ตามการใช้แสงอัลตราไวโอเลตยังคงมีข้อจำกัด เรื่องการนำเข้าจากต่างประเทศและมีค่าใช้จ่ายสูง และหากนำไปใช้ไม่ถูกวิธีอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้

ปี ค.ศ.1972 กระบวนการโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic process) หรือกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ได้รับความสนใจอย่างมากซึ่งถูกค้นพบโดยนักวิจัยชาวญี่ปุ่น ได้แก่ Fujishima, Honda and Kikuchi ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากระตุ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น กล่าวคือ เมื่อโมเลกุลของสารปนเปื้อนถูกดูดติดไว้บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยโมเลกุลที่ถูกดูดติดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านของการจัดเรียงตัวอิเล็กตรอนและบางพันธะของโมเลกุลเริ่มสลายตัว [3] ปัจจุบันกระบวนการโฟโตคะตะไลติกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายด้าน เช่น การบำบัดน้ำเสีย การกำจัดมลพิษในอากาศ รวมไปถึงการฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ [4] การนำไปประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งนิยมใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นหลัก เนื่องจากมีแถบช่องว่างของพลังงาน (Energy band gap) แคบและมีประสิทธิภาพที่สามารถสลายสารประกอบอินทรีย์เกือบทุกชนิดได้ อย่างไรก็ตามไทเทเนียมไดออกไซด์ยังคงมีข้อจำกัด เรื่องการใช้งานได้เพียงภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต (Ultra Violet, UV) เท่านั้น เนื่องจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและหลุมอิเล็กตรอนในไทเทเนียมไดออกไซด์อย่างรวดเร็วหลังจากการกระตุ้นด้วยแสง ดังนั้นจึงมีการเติมสารจำพวกไอออนของโลหะและอโลหะบางชนิด เช่น Ag^+, Fe^{3+}, Zn^{2+}, C, S และ N เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียม โดยสารที่ผสมเข้าไปนั้นจะเป็นตัวกักเก็บอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นไม่ให้กลับมารวมตัวกับหลุมประจุบวกในแถบเวเลนซ์ ช่วยให้เกิดการถ่ายเทของอิเล็กตรอนสูงขึ้น ทำให้สามารถตอบสนองต่อแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) [5]

ปัจจุบันพบงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตคตะไลติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างกว้างขวางในทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคอลที่เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกที่บริเวณแถบวาเลนส์นั้นจะไปทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย และก่อให้เกิดการสูญเสียโพแทสเซียมไอออน นอกจากนี้ยังมีเรดิคอลอีกหลายชนิดที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ เช่น เปอร์ออกไซด์เรดิคอล โดยเฉพาะเรดิคอลประจุลบสามารถทำลายเยื่อหุ้มฟอสโฟลิพิดในผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ [6] ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า เรดิคอลเหล่านี้สามารถทำลายได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก (Gram positive) และแกรมลบ (Gram negative) [7] ดังนั้น ผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญที่จะศึกษาการนำกระบวนการโฟโตคะตะไลติกมาประยุกต์ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมในการกำจัดเชื้อชนิดนี้ เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีปลอดเชื้อทั้งในแหล่งชุมชนแออัด สถานที่สาธารณะ รวมถึงสถานพยาบาลต่าง ๆ ที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายของเชื้อวัณโรค



รูปที่ 1 กลไกการกำจัดเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก [6]

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเข้มของแสง และระยะเวลาที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Mycobacterium tuberculosis ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Mycobacterium tuberculosis ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2 โดยใช้แสง UVC และ LED

ขอบเขตงานวิจัย

1. ความเข้มของแสงที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB โดยใช้ LED 1772 ลักซ์ และ LED ร่วมกับ UVC 1785 ลักซ์

2. เวลาที่ใช้แสง UVC และ LED ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB 0.5, 3 และ 5 ชั่วโมง

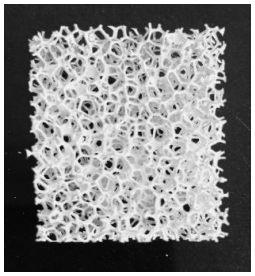
3. ปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของเชื้อ MTB 103 CFU/ml

4. การวัดปริมาณการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2 โดยใช้วิธีการ Colony counter

วัสดุและวิธีการทดลอง

การสังเคราะห์ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2

การสังเคราะห์ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2 ดำเนินการด้วยกระบวนการเตรียมแบบโซล-เจล จากนั้นนำผง N-TiO_2 ที่ได้จากการเผามาขึ้นรูปด้วยกระบวนการจุ่มชิ้นงาน โดยการนำสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมกับผง N-TiO_2 และน้ำ DI โดยใช้เครื่องบดแบบลูกบอลบดให้ละเอียดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้วสารละลายที่ได้จะถูกจุ่มด้วยฟองน้ำขนาดกว้าง 2 ซม. ยาว 3 ซม. สูง 0.5 ซม. จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จะได้ชิ้นงาน N-TiO_2 ออกมาดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2 [8]

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ MTB

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสามารถเตรียมได้จากสูตร Ogawa ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ไข่เป็นหลัก มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

การเตรียมสารละลายเกลือ (Mineral salt solution) สามารถเตรียมด้วยการใช้ Sodium glutamate 5 กรัม ผสมกับ Potassium dihydrogen phosphate anhydrous ($KH2PO_4$) 15 กรัม น้ำ DI 500 มิลลิลิตร Glycerol 30 มิลลิลิตร และ 2% Malachite green 30 มิลลิลิตร โดยใช้ความร้อน ก่อนนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 lb นาน 15 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นก่อนนำไปเติม Whole egg homogenate 1,000 มิลลิลิตร ทำให้แข็งตัวที่ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และสามารถนำไปเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงเตรียม 2% Malachite green ซึ่งสามารถเตรียมด้วยการใช้ Malachite green dye 2 กรัม ในน้ำ DI 100 มิลลิลิตร ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ ก่อนนำไปอบบ่มต่อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นเตรียมไข่ Whole egg homogenate ซึ่งสามารถเตรียมได้จากนำไข่ไก่ใหม่ อายุไม่เกิน 7 วัน มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำผสมสบู่อ่อนและใช้แปรงถูเปลือกไข่เบา ๆ จากนั้นเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ 70 % ก่อนนำไข่มาตอกในภาชนะสะอาด ตรวจดูคุณภาพไข่ทุกฟองก่อนนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว จากนั้นกรองไข่ที่ปั่นไข่แดงและไข่ขาวจนเป็นเนื้อเดียวกันด้วยผ้าก๊อซสะอาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ หลังจากฆ่าเชื้อทำความสะอาดเสร็จแล้วจึงทำการเตรียมอาหารแข็งผสมไข่ (Ogawa media) ซึ่งสามารถเตรียมได้จากผสมสารละลายเกลือ 600 มิลลิลิตร, 2% Malachite green 20 มิลลิลิตร และ ไข่ 1,000 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้ฟองอากาศในอาหารลอยตัวออก แบ่งอาหารไข่ที่เตรียมได้ใส่จานเพาะเลี้ยงเชื้อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 x15 มิลลิเมตร แบบแยกพื้นที่จานเป็น 2 ส่วน ชนิดปราศจากเชื้อ (Petri Dish, Dia.90 x 15 mm., 2 Compartments, Sterile) ประมาณจานละ 30 มิลลิลิตร อบนึ่งที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 55-60 นาที โดยใช้ตู้อบร้อนเพื่อทำให้อาหารแข็งตัว

การเพาะเลี้ยงเชื้อ MTB

หลังจากเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแล้ว กระบวนการถัดมา คือ การหยอดเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยนำโคโลนีของเชื้อ MTB มาตรฐาน (H37RV) ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งชนิด Lowenstein-Jensen medium จำนวน 1 plastic loop ใส่ลงในหลอดพลาสติกใสก้นกลมฝาเกลียวขนาด 10 มิลลิลิตร ที่มี glass bead บรรจุอยู่ก้นหลอดประมาณ 5-7 เม็ด ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว นำไปผสมด้วยเครื่องเขย่า (Vortex mixer) นาน 1 นาที เพื่อให้เชื้อแตกตัว ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที เติมน้ำกลั่นประมาณ 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปผสมด้วยเครื่องเขย่าอีกครั้ง ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที ดูดเชื้อจากส่วนใสด้านบนโดยใช้ปิเปตต์ (Sterile Plastic Pasteur Pipette) ใส่หลอดพลาสติกใสฝาเกลียว ขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับความขุ่นของเชื้อด้วยน้ำกลั่นให้ได้เท่าความขุ่นมาตรฐาน McFarland no.1 โดยใช้เครื่องวัดความขุ่น (DEN-1B Densitometer) เป็นตัววัด ซึ่งจะมีปริมาณเชื้อเท่ากับ 10^7 CFU/ml แล้วทำการเจือจาง (dilute) เชื้อด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งให้ได้ความเข้มข้น 10^3 CFU/ml จากนั้นใช้ปิเปตต์อัตโนมัติ (Automatic Pipette) ดูดเชื้อความเข้มข้น 10^3 CFU/ml ที่เตรียมได้ จำนวน 50 ไมโครลิตร ใส่ลงบนผิวอาหารจานเพาะเลี้ยงเชื้อแต่ละส่วน แล้วใช้ sterile loop ป้าย (streak) เชื้อให้ทั่วพื้นผิวอาหารเลี้ยงเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อจนครบทั้งสองส่วน เพื่อนำไปใช้สำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป โดยเมื่อสิ้นสุดขั้นตอนการทดลอง ก็ปิดฝาจานเพาะเลี้ยงเชื้อให้สนิท แล้วนำไปบ่มเลี้ยงเชื้อในตู้อบ (Incubator) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

การอ่านผลเพาะเลี้ยงเชื้อ MTB

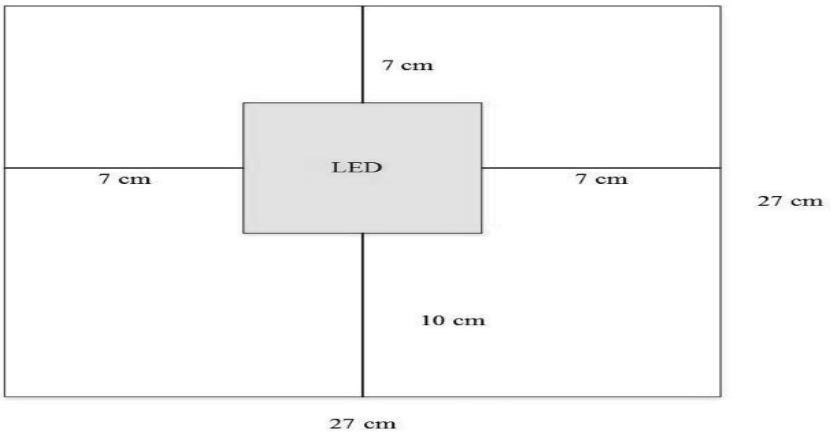
การอ่านผลเพาะเลี้ยงเชื้อจะอ่านผลเมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 3 (ภายหลังจากการทดลองเป็นระยะเวลา 21 วัน) ซึ่งเชื้อจะเจริญ (Growth) สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงทำการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อด้วยเครื่อง Colony Counter

การศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB

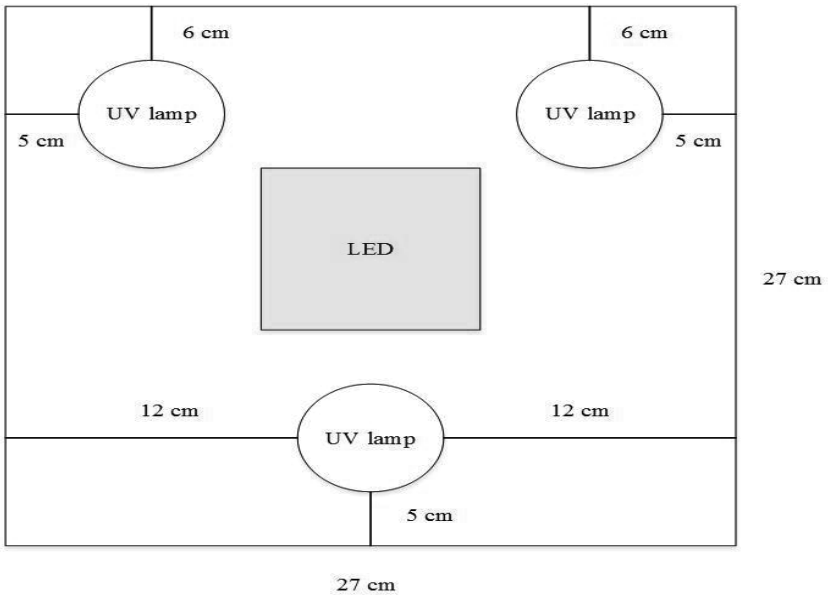
ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองในการศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB

ลำดับที่	ความเข้มของแสง (ลักซ์)	เวลา (ชั่วโมง)	แหล่งกำเนิดแสง	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและตัวเร่งปฏิกิริยา (ซม.)
1	1,772	3	LED	N-TiO_2	10
2	1,772	5	LED	N-TiO_2	10
3	1,785	0.5	LED+UVC	N-TiO_2	10

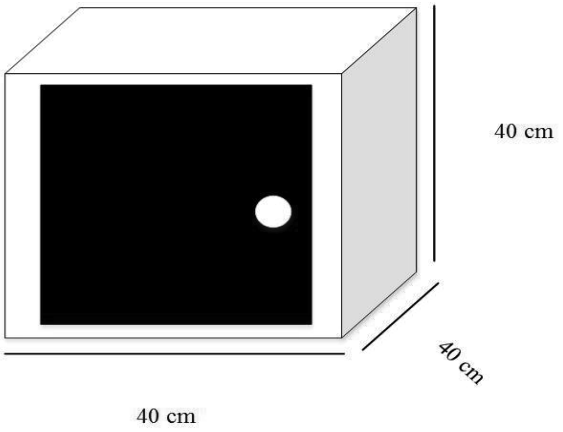
จากตารางที่ 1 พบว่า การออกแบบการทดลองในการศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ในจานเพาะเชื้อที่แบ่งเป็นสองด้านโดยกำหนดให้หนึ่งด้านถูกปิดฝาเพื่อไม่ให้ได้รับแสงและทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการทดลองจะถูกแบ่งออกได้ 3 การทดลองด้วยกัน โดยจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ ตามประเภทของแหล่งกำเนิดแสงซึ่งในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 จะใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible light) โดยใช้หลอด LED ที่ความเข้มแสง 1,772 ลักซ์ ฉายแสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2 เป็นระยะเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 ส่วนในการทดลองที่ 3 จะเป็นการทดลองใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับแสงอัลตราไวโอเลต (LED + UVC) ฉายแสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2 ระยะเวลา 30 นาที ค่าความเข้มแสง 1,785 ลักซ์ ดังรูปที่ 4 การทดลองทั้งหมดจะถูกทดลองด้วยชุดทดลองดังรูปที่ 5 และ 6 โดยการฉายแสงจะมีระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับตัวเร่งปฏิกิริยา 10 เซนติเมตร



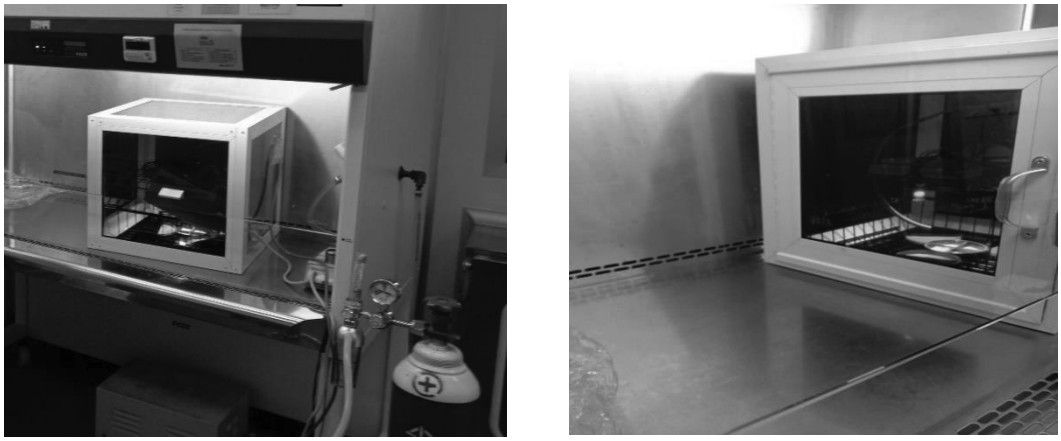
รูปที่ 3 การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า



รูปที่ 4 การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลต ร่วมกับแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า



รูปที่ 5 กล่องทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการโฟโตคะตะไลติก



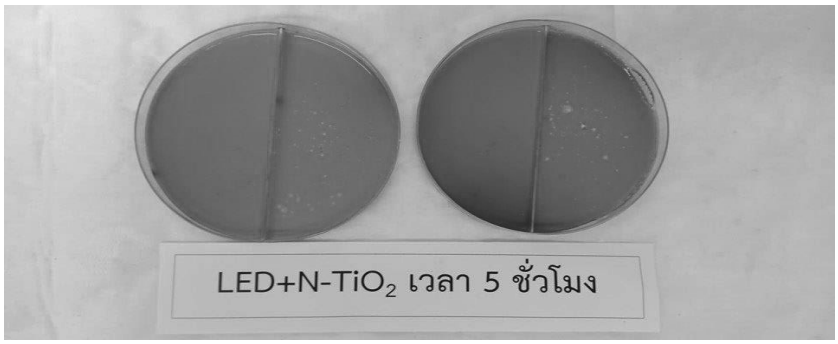
รูปที่ 6 ชุดทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

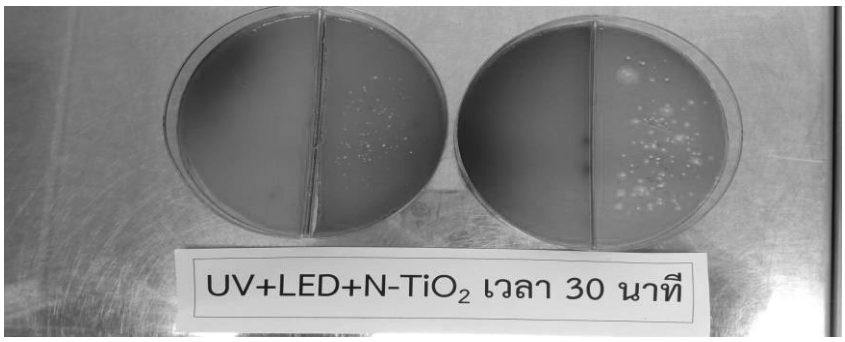
เมื่อนำชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2 มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต (UVC) และแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) โดยตารางที่ 2 แสดงผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB หลังกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB หลังกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

ลำดับที่	แหล่งกำเนิดแสง	ตัวเร่งปฏิกิริยา	เวลา (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB (%)
1	LED	N-TiO_2	3	60
2	LED	N-TiO_2	5	100
3	LED+UVC	N-TiO_2	0.5	100

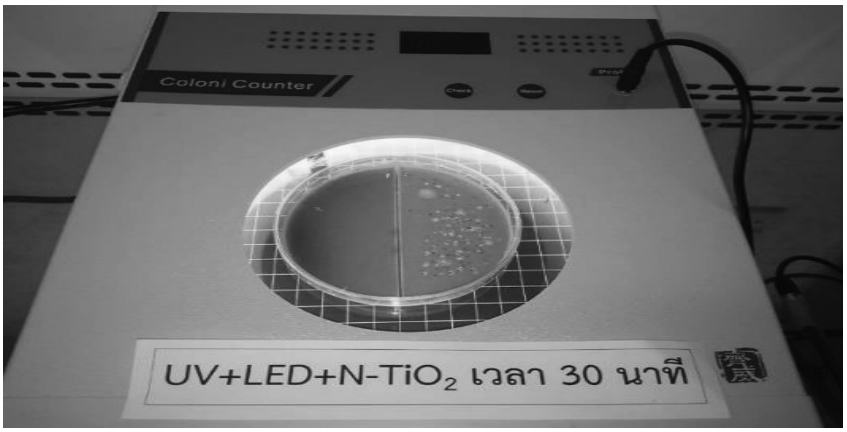


รูปที่ 7 ผลของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 5 ชั่วโมงโดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO_2



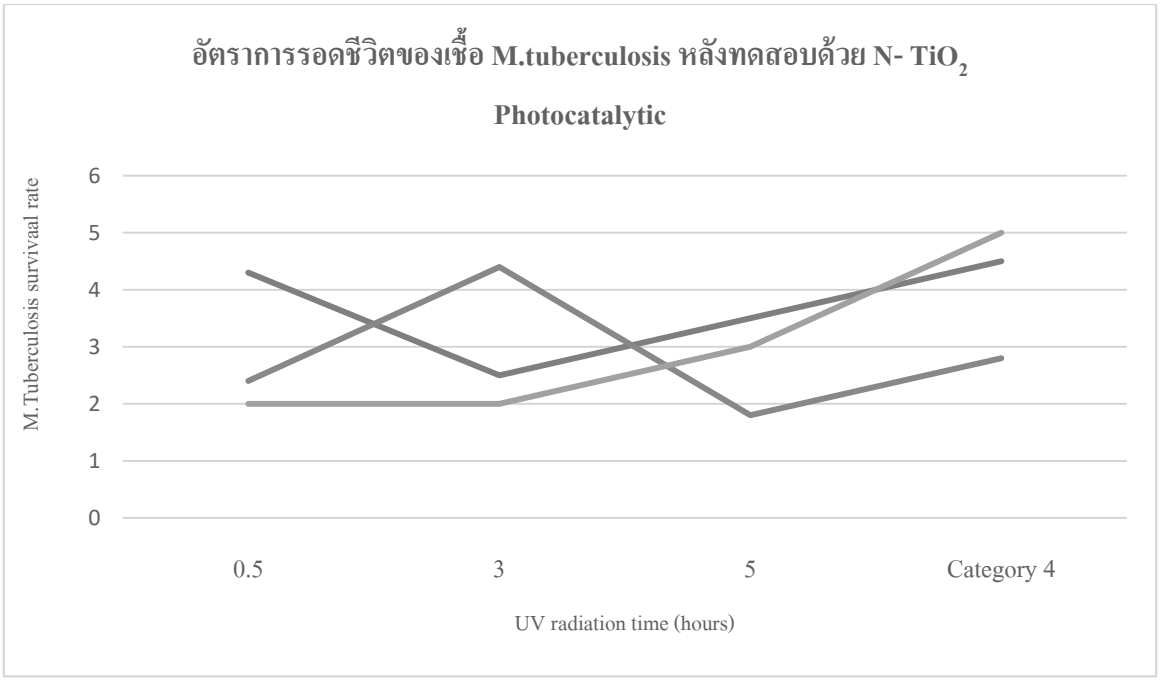
รูปที่ 8 ผลของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 30 นาที โดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเลต (UVC) และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO_2

รูปที่ 9 การนับจำนวนเชื้อด้วยเครื่อง Colony counter ของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 5 ชั่วโมงโดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา. ด้วยแสง N-TiO_2



รูปที่ 10 การนับจำนวนเชื้อด้วยเครื่อง Colony counter การฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 30 นาที โดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเลต (UVC) และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO_2

จากรูปที่ 9 และ 10 แสดงการนับจำนวนเชื้อ MTB ด้วยเครื่อง Colony counter ซึ่งจานเพาะเชื้อที่ใช้ทดสอบนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองด้าน ด้านซ้ายจะถูกทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ส่วนด้านขวาจะถูกปิดไว้ไม่ให้ได้รับแสงและประจุจากกระบวนการโฟโตคะตะไลติกได้ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า การทดลองที่ 1 และ 2 เมื่อฉายแสงด้วยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO_2 โดยการใช้หลอดไฟชนิด LED พบว่า ที่ขนาดความเข้มแสง 1,772 ลักซ์ เมื่อฉายแสงครบ 3 ชั่วโมง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ได้ร้อยละ 60 และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสงโดยการใช้หลอดไฟชนิด LED เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ได้ร้อยละ 100 ดังรูปที่ 7 นอกจากนี้ เมื่อฉายแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับแสงอัลตราไวโอเลตและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO_2 เป็นระยะเวลา 30 นาที สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ได้ร้อยละ 100 ดังแสดงในรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าการใช้แสงอัลตราไวโอเลตร่วมด้วยจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น ด้วยระยะเวลาการฉายแสงที่ลดลงจากเดิม 10 เท่า



บทสรุป

การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB โดยการใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลติกร่วมกับชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO_2 ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UVC) และแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible light) พบว่า การใช้แสงอัลตราไวโอเลตและแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่านั้นจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ทั้งสองกรณี ผลการทดลอง พบว่า เมื่อฉายแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO_2 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ได้เพียงร้อยละ 60 อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสงมากขึ้นนั้นก็สามารถให้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ทั้งหมดที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ขณะที่การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลต ค่าความเข้มแสง 1,785 ลักซ์ ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO_2 พบว่า มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น สามารถกำจัดเชื้อได้ร้อยละ 100 โดยใช้ระยะเวลาเพียง 30 นาที จากผลการศึกษาแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ได้ เหมาะสมที่จะนำมาศึกษาและพัฒนาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับงานปลอดเชื้อต่อไป เพื่อลดข้อจำกัดของแหล่งกำเนิดแสงแบบอัลตราไวโอเลต เรื่อง การนำเข้าจากต่างประเทศและมีค่าใช้จ่ายที่สูง รวมไปถึงการนำไปใช้ไม่ถูกวิธีที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้

เอกสารอ้างอิง

1. B.P. Vareldzis, J. Grosset, and I.de Kantor. Drug-resistant tuberculosis: laboratory issues, World Health Organization recommendations. Tubercle and Lung Disease 1994; 75(1): 1-7.
2. Pio, Antonio, and Pierre Chaulet. Tuberculosis handbook, No. WHO/TB/98.253: World Health Organization, 1998.
3. Fujishima, Honda and Kikuchi. TiO2 photoelectrochemistry and photocatalysis. Nature 1972; (238.5358): 37-38.

4. Chunmei Zhu, Liangyan Wang, Linren Kong, et al. Photocatalytic degradation of AZO dyes by supported TiO_2+ UV in aqueous solution. Chemosphere 2000; 41(3): 303-309.

5. Tugaoen, H. O. N., Garcia-Segura, Hristovski, et al. Challenges in photocatalytic reduction of nitrate as a water treatment technology. Science of The Total Environment 2017; 599:1524-1551.

6. Omatoyo K. Dalrymple, Elias Stefanakos, Maya A. Trotz and D. Yogi Goswami. A review of the mechanisms and modeling of photocatalytic disinfection. Applied Catalysis B: Environmental 2010; 98(1-2): 27-38.

7. P. Anil Kumar Reddy, P. Venkata Laxma Reddy, Eilhann Kwon, Ki-Hyun Kim, Tahmina Akter, and Sudhakar Kalagara. Recent advances in photocatalytic treatment of pollutants in aqueous media. Environment international 2016; 91: 94-103.

8. A. Sinchangreed, and S. Watcharamaisakul. Preparation of N-TiO2 photocatalytic synthesized by sol-gel method for inhibitive formation of carcinogen in foods, Suranaree Journal of Science and Technology. In press 2021.