

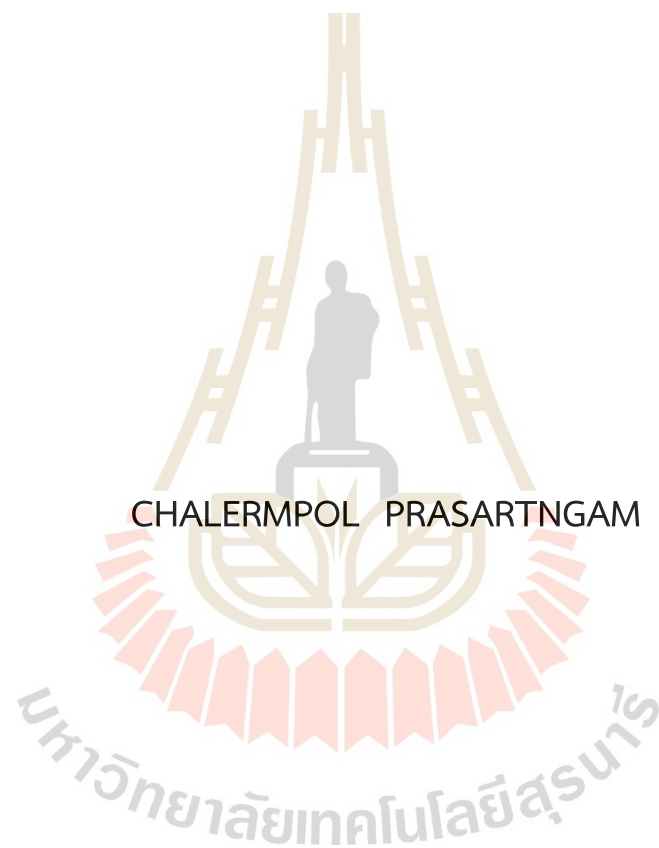
การศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของ N-TiO₂ โฟโตคะตะไลติก
ในการกำจัดเชื้อไวรัส



นายเฉลิมพล ประสาทงาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรม วิศวกรรมแพทย์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2564

STUDY AND TESTING THE EFFICIENCY OF N-TiO₂ PHOTOCATALYST
FOR TUBERCULOSIS DISPOSAL



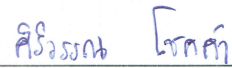
CHALERMPOL PRASARTNGAM

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering in Biomedical Innovation Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2021

การศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของ N-TiO₂ โฟโตคะตะไลติกในการกำจัดเชื้อวัณโรค

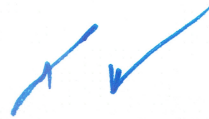
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.ศิริวรรณ โชคคำ)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.สุขเกษม วัชรชัยสกุล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.อนันต์ กมลอินทร์)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เฉลิมพล ประสาทงาม : การศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของ N-TiO₂ โฟโตคะตะไลติก
ในการกำจัดเชื้อวัณโรค (STUDY AND TESTING THE EFFICIENCY OF N-TiO₂
PHOTOCATALYST FOR TUBERCULOSIS DISPOSAL) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเกษม วัชรมัยสกุล, 62 หน้า.

คำสำคัญ: ไนโตรเจน-ไทเทเนียมไดออกไซด์/กระบวนการโฟโตคะตะไลติก/เชื้อวัณโรค

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาวิธีการกำจัดเชื้อวัณโรค (*Mycobacterium tuberculosis* : MTB: H37Rv) ที่ยังคงเป็นปัญหาสำคัญของสาธารณสุขทั่วโลก โดยใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลติกเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นสูงและประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถสลายหรือกำจัดโมเลกุลของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ให้กลายเป็นโมเลกุลที่มีความเสถียร งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อวัณโรค ด้วยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง โดยใช้ชิ้นงาน N-TiO₂ ที่เตรียมด้วยกระบวนการโซล-เจล และนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานฟองน้ำ ด้วยกระบวนการจุ่มเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทดสอบโดยการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible light) ลงบนงานใส่ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ เพื่อให้เกิดการปล่อยประจุไปกำจัดเชื้อวัณโรคที่กระจายตัวอยู่บนงานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้อง และในบรรยากาศห้องความดันลบ ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนั้น ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ สามารถกำจัดเชื้อวัณโรคภายใต้การฉายแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมงและ 5 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 60 และ 100 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาฉายแสงด้วยแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ระยะเวลา 30 นาที พบว่าสามารถกำจัดเชื้อวัณโรคได้ร้อยละ 100

สาขาวิชา นวัตกรรม วิศวกรรมแพทย์
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

CHALERMPOL PRASARTNGAM : STUDY AND TESTING THE EFFICIENCY OF N-TiO₂
PHOTOCATALYST FOR TUBERCULOSIS DISPOSAL. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
SUKASEM WATCHARAMAISAKUL, Ph.D., 62 PP.

Keyword: N-TiO₂/PHOTOCATALYTIC PROCESS/MYCOBACTERIUM TUBERCULOSIS

The purpose of the study was to develop a method for disposal of *Mycobacterium Tuberculosis* (MTB: H37Rv), 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 disposal efficiency of *Mycobacterium Tuberculosis* by using N-TiO₂ as a photocatalyst prepared by a sol-gel process and formed by a dipping process with a sponge substrate. The tuberculosis disposal was tested under ultra violet light (UVC) and visible light irradiation with an N-TiO₂ photocatalyst at room temperature in a negative pressure room. The results showed that N-TiO₂ catalysts could dispose *Mycobacterium Tuberculosis* 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 disposed *Mycobacterium Tuberculosis* 100%.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลดังต่อไปนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขเกษม วัชรมัยสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรุณาอบรมสั่งสอน ให้ความรู้ และให้คำปรึกษาแก่ผู้วิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการศึกษาและการจัดทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ โชคคำ ประธานกรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อ่อนลณี กมลอินทร์ กรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางขอบเขตของวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

คณาจารย์สาขาวิชาสัตวกรรม วิศวชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่กรุณาให้ความรู้และให้คำปรึกษาในการทำการศึกษาวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เปิดโอกาสทางการศึกษาให้สำหรับการเข้าศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

นายเสวียน คำหอม หัวหน้ากลุ่มห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ด้านควบคุมโรค สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 นครราชสีมา และเจ้าหน้าที่กลุ่มห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ด้านควบคุมโรค สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 นครราชสีมาทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ สำหรับการทำวิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด ให้การอุปการะและอบรมเลี้ยงดูตลอดจนส่งเสริมการศึกษาและทักษะในด้านต่าง ๆ ตลอดมา อีกทั้งกัลยาณมิตรของผู้เขียนทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยตลอดมา ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เฉลิมพล ประสาทงาม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ประวัติความเป็นมาของวัณโรค	5
2.2 ระบาดวิทยาและการเกิดโรค	7
2.2.1 การแพร่กระจายเชื้อวัณโรค	8
2.3 สถานการณ์วัณโรค	8
2.4 การจำกัดความผู้ป่วยวัณโรค	9
2.4.1 จำแนกตามผลการตรวจทางแบคทีเรีย	9
2.4.2 จำแนกตามอวัยวะที่เป็นโรค	9
2.4.3 จำแนกตามสถานะติดเชื้อ HIV	9
2.4.4 จำแนกผู้ป่วยตามการดื้อยาวัณโรค	10
2.5 การจำกัดความผู้สัมผัสวัณโรค	10
2.6 การขึ้นทะเบียนผู้ป่วยวัณโรค	11
2.6.1 การขึ้นทะเบียนผู้ป่วยวัณโรคที่ไวต่อยา	11
2.7 วิธีการตรวจทางห้องปฏิบัติการ	11
2.7.1 การตรวจหาเชื้อ Acid fast bacilli ด้วยกล้องจุลทรรศน์	11
2.7.2 การเพาะเลี้ยงเชื้อและพิสูจน์ยืนยันชนิดของเชื้อ (Mycobacterial culture and identification)	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7.3	การทดสอบคุณสมบัติไวต่อยาของเชื้อ (Drug susceptibility testing)	13
2.7.4	การตรวจทางอนุชีววิทยา.....	13
2.7.5	การส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการเพื่อวินิจฉัยวัณโรค.....	14
2.8	กระบวนการโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic process).....	15
2.8.1	ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก	15
2.8.2	กลไกการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก	16
2.9	การทำลายเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก.....	18
2.10	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.10.1	งานวิจัยผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับวัณโรค.....	20
2.10.2	งานวิจัยวิธีการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย	21
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1	สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์	25
3.2	อุปกรณ์.....	27
3.3	การทดลอง.....	29
3.3.1	การสังเคราะห์ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO ₂	29
3.3.2	การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อวัณโรค.....	30
3.3.3	การเพาะเลี้ยงเชื้อวัณโรค.....	31
3.3.4	การนับจำนวนโคโลนี.....	31
3.3.5	การศึกษาความสามารถในการกำจัดเชื้อวัณโรค	31
4	ผลการศึกษาและการอภิปรายผล	35
4.1	บทนำ.....	35
4.2	การขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO ₂	35
4.3	ผลการศึกษาการเลี้ยงเชื้อวัณโรคในงานเพาะเชื้อ.....	35
4.4	ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมของแหล่งกำเนิดแสง	38
4.5	ผลการศึกษาความเข้มข้นของเชื้อวัณโรค	39
4.6	ผลการศึกษาการกำจัดเชื้อวัณโรค	41
5	สรุปผลการวิจัย	44
5.1	การกำจัดเชื้อวัณโรค	44
5.2	ข้อเสนอแนะ	44

รายการอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	50
ประวัติผู้เขียน	62



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การใช้ยารักษาวัณโรค.....	6
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์แบคทีเรีย	18
2.3 งานวิจัยที่ใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลติกเพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรีย	24
3.1 สารเคมี.....	25
3.2 อุปกรณ์	27
3.3 การออกแบบการทดลองในการศึกษาความสามารถในการกำจัดเชื้อวัณโรค	31
4.1 ผลการทดสอบการกำจัดเชื้อวัณโรคหลังกระบวนการโฟโตคะตะไลติก.....	41



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	การตรวจทางห้องปฏิบัติการเพื่อวินิจฉัยโรค 14
2.2	โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ 15
2.3	กลไกการเกิดปฏิกิริยาต่างๆในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก..... 17
2.4	กลไกการกำจัดเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 19
2.5	โครงสร้างของเมมเบรน และกลไกในการทำลายแบคทีเรียแกรมลบ 19
2.6	โครงสร้างของเมมเบรน และกลไกในการทำลายแบคทีเรียแกรมบวก 20
2.7	โครงสร้างของ Pulse UV light system 22
2.8	กราฟเปรียบเทียบผลของการกำจัดเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เกรดการค้า (TiO ₂ P25) กับ (Ag-TiO ₂ P25)..... 23
2.9	กราฟเปรียบเทียบผลของการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย E. coli K-12 ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกระหว่าง AgBr-Ag-Bi ₂ WO ₆ กับสารชนิดอื่น ๆ 23
2.10	ลักษณะของ Photoreactor ที่ใช้ในการกำจัดเชื้อ E. coli..... 24
3.1	การเตรียมชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO ₂ 30
3.2	การกำจัดเชื้อวัณโรคโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า..... 32
3.3	การกำจัดเชื้อวัณโรคโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า 33
3.4	กล่องทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 33
3.5	ชุดทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อวัณโรคด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 34
4.1	ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO ₂ 35
4.2	การเลี้ยงเชื้อวัณโรคในจานเพาะเชื้อแบบช่องเดียว โดยใส่อาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 20 มิลลิลิตร 36
4.3	การเลี้ยงเชื้อวัณโรคในจานเพาะเชื้อแบบช่องเดียว โดยใส่อาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 50 มิลลิลิตร 37
4.4	การเลี้ยงเชื้อวัณโรคในจานเพาะเชื้อแบบ 2 ช่อง โดยใส่อาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 50 มิลลิลิตร 37
4.5	หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 วัตต์..... 38
4.6	หลอด LED 20 วัตต์ 39
4.7	หลอด LED 10 วัตต์ 39
4.8	ความเข้มข้นของเชื้อวัณโรค ที่ 10 ⁶ CFU/ml..... 40
4.9	ความเข้มข้นของเชื้อวัณโรค ที่ 10 ³ CFU/ml..... 40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ผลของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 5 ชั่วโมง โดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO ₂	41
4.11 ผลของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 30 นาที โดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO ₂	42
4.12 การนับจำนวนเชื้อด้วยเครื่อง Colony counter ของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 5 ชั่วโมงโดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO ₂	42
4.13 การนับจำนวนเชื้อด้วยเครื่อง Colony counter ของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 30 นาที โดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO ₂	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

วัณโรคเป็นโรคติดต่อที่เป็นปัญหาสำคัญทางการแพทย์และสาธารณสุขทั่วโลก (Vareldzis, B. P. & Grosset, 1994) จากรายงานวัณโรคของโลก (Global Tuberculosis Report) ปี พ.ศ. 2560 องค์การอนามัยโลกคาดประมาณอุบัติการณ์ผู้ป่วยวัณโรค (รายใหม่และกลับเป็นซ้ำ) ของโลกสูงถึง 10.4 ล้านคนมีจำนวนผู้ป่วยวัณโรค เสียชีวิต 1.7 ล้านคน และในจำนวนนี้มีผู้ป่วยวัณโรคที่ติดเชื้อเอชไอวี 1.03 ล้านคนคิดเป็นร้อยละ 10 ของ ผู้ป่วยวัณโรคทั้งหมด โดยมีผู้เสียชีวิตปีละ 0.4 ล้านคน สำหรับผู้ป่วยวัณโรคดื้อยาหลายขนาน RR/MDR-TB ได้ถูกคาดการณ์ว่าจะมี 6 แสนคน พบในผู้ป่วยใหม่คิดเป็นร้อยละ 4.1 และในผู้ป่วยที่เคยรักษามาก่อน คิดเป็นร้อยละ 19 ในจำนวนนี้เป็น MDR-TB 4.9 แสนคน (Gandhi, N. R. & Nunn, 2010)

สำหรับประเทศไทย องค์การอนามัยโลกจัดให้เป็น 1 ใน 14 ประเทศที่ปัญหาวัณโรค มีผู้ป่วยวัณโรคทั่วไปสูง มีผู้ป่วยวัณโรคที่ติดเชื้อเอชไอวีสูง (Pawlowski et al., 2012) และมีผู้ป่วยวัณโรคดื้อยาหลายขนานสูงมากที่สุดในระดับโลก คาดประมาณว่ามีผู้ป่วยรายใหม่และกลับเป็นซ้ำ (อุบัติการณ์) 119,000 รายต่อปี คิดเป็นอัตรา 172 ต่อแสนประชากร โดยมีผู้ป่วยวัณโรคที่ติดเชื้อเอชไอวีร่วมด้วยประมาณ 10,000 ราย และมีผู้ป่วยวัณโรคดื้อยา RR/MDR-TB 4,700 คนต่อปี สำนักวัณโรครายงานผลการดำเนินงานวัณโรคของประเทศไทย ปี 2559 พบว่า มีผู้ป่วยขึ้นทะเบียนรักษาวัณโรค (ผู้ป่วยรายใหม่และกลับเป็นซ้ำ) 70,114 ราย ผู้ป่วยวัณโรคที่สัมพันธ์กับการติดเชื้อเอชไอวี 6,794 ราย ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 11 ของผู้ที่เข้ารับบริการตรวจหาเชื้อเอชไอวี วัณโรคดื้อยาหลายขนาน 955 ราย และวัณโรคดื้อยาหลายขนานชนิดรุนแรงมาก 13 ราย (Gandhi, N. R., & Nunn, 2010)

องค์การอนามัยโลกได้จัดทำยุทธศาสตร์ยุติวัณโรค โดยกำหนดเป้าหมายของยุทธศาสตร์ยุติวัณโรคไว้ในปี พ.ศ. 2578 โดย 1) ลดอุบัติการณ์วัณโรคให้ต่ำกว่า 10 ต่อแสนประชากร และ 2) ลดจำนวนผู้ป่วยวัณโรคเสียชีวิตลงจากเดิมร้อยละ 95 เทียบกับปี พ.ศ.2558 (Uplekar, M., & Weil, 2015)

สำหรับประเทศไทยได้มีการจัดทำแผนปฏิบัติการในระดับชาติด้านการต่อต้านวัณโรค พ.ศ. 2560 – 2564 แผนปฏิบัติการระดับชาติด้านการต่อต้านวัณโรค เพื่อการป้องกันดูแลรักษาและควบคุมวัณโรค พ.ศ. 2560 – 2564 ฉบับนี้มีเป้าประสงค์ คือ “ลดอัตราอุบัติการณ์ของวัณโรคลงร้อยละ 12.5 ต่อปี จาก 171 ต่อประชากร 100,000 คน ในปี พ.ศ. 2557 ให้เหลือ 88 ต่อประชากรจำนวน 100,000 คน เมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2564” และเพื่อให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ยุติวัณโรค (End TB Strategy) ที่แนะนำโดยองค์การอนามัยโลก แผนปฏิบัติการฉบับนี้ มีองค์ประกอบ 5 ยุทธศาสตร์ที่สำคัญพร้อมเป้าประสงค์และมาตรการภายใต้แต่ละยุทธศาสตร์ ดังนี้ (Tangkuha et al., 2020)

ยุทธศาสตร์ที่ 1 เร่งรัดค้นหาผู้ติดเชื้อวัณโรคและผู้ป่วยวัณโรคให้ครอบคลุมโดยการคัดกรองจากกลุ่มเสี่ยง

เป้าประสงค์ เพื่อเร่งรัดการค้นหาผู้ป่วยวัณโรคให้ได้ครอบคลุมร้อยละ 100 โดยให้กลุ่มเสี่ยงได้รับการคัดกรองรวมถึงได้รับการวินิจฉัยด้วยการตรวจที่รวดเร็ว โดยการคัดกรองด้วยภาพรังสีทรวงอกร่วมกับเทคโนโลยีอนุชีววิทยา รวมทั้งการเข้าถึงการดูแลรักษาที่เป็นมาตรฐานและมีการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อที่ดีด้วยมาตรการ ดังนี้

1.1 เพิ่มการเข้าถึงการวินิจฉัยวัณโรคที่รวดเร็วโดยเทคโนโลยีอนุชีววิทยา โดยเฉพาะในกลุ่มเสี่ยงต่าง ๆ เช่น ผู้สัมผัส ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยโรคเรื้อรัง ผู้ต้องขัง ผู้ที่ติดเชื้อเอชไอวี และแรงงานข้ามชาติ

1.2 ค้นหาผู้ติดเชื้อวัณโรคที่เป็นกลุ่มเป้าหมายสำคัญ คือ เด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี ซึ่งอยู่รวมบ้านกับผู้ป่วยวัณโรคผู้ติดเชื้อเอชไอวี เพื่อให้ได้รับการรักษาวัณโรคระยะแฝง

1.3 ขยายความครอบคลุมการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาลและชุมชน

1.4 สนับสนุนให้หน่วยงานทั้งภาคเอกชนและภาคประชาสังคมมีส่วนร่วมในการรับผิดชอบวินิจฉัย และดูแลรักษา รวมถึงการส่งต่อผู้ป่วยวัณโรค

ยุทธศาสตร์ที่ 2 ลดการเสียชีวิตในผู้ป่วยวัณโรค

เป้าประสงค์ เพื่อลดอัตราการตายของผู้ป่วยวัณโรคลงร้อยละ 50 ภายใน พ.ศ. 2564 เมื่อเทียบกับ พ.ศ. 2557 ด้วยมาตรการ ดังนี้

2.1 ส่งเสริมผู้ป่วยวัณโรคทั้งผู้ใหญ่และเด็ก ให้ได้รับการรักษาอย่างครบถ้วนด้วยสูตรยาที่มีคุณภาพและมาตรฐาน

2.2 เร่งรัดการดำเนินงานผสมผสานวัณโรคและโรคเอดส์ ทั้งด้านการวางแผนงานร่วมกัน การเร่งรัดค้นหาการให้ยาป้องกันวัณโรค การให้ยาเพื่อป้องกันโรคติดเชื้อฉวยโอกาส และการให้ยาต้านไวรัสในผู้ป่วยวัณโรคทุกรายที่ติดเชื้อเอชไอวีร่วมด้วย

2.3 พัฒนาและปรับปรุงคุณภาพการบริหารจัดการวัณโรคดี้อย่างทั่วถึงทั้งประเทศ

ยุทธศาสตร์ที่ 3 พัฒนาศักยภาพของบุคลากรเพื่อการป้องกัน ดูแลรักษาและควบคุมวัณโรค

เป้าประสงค์ เพื่อสร้างความเข้มแข็งในความเป็นผู้นำ และศักยภาพการบริหารจัดการเชิงยุทธศาสตร์ของการป้องกัน ดูแลรักษา และควบคุมวัณโรค ด้วยมาตรการ ดังนี้

3.1 พัฒนาระบบฐานข้อมูลผู้ป่วยวัณโรครายบุคคลบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่สามารถเชื่อมโยงการใช้ประโยชน์ ทั้งสำหรับหน่วยงานสนับสนุนงบประมาณ หน่วยงานด้านการติดตามประเมินผล หน่วยงานให้บริการ และหน่วยงานนโยบาย ได้อย่างเป็นเอกภาพ

3.2 เพิ่มคุณภาพสำหรับการพัฒนาบุคลากรด้านวัณโรค ให้มีศักยภาพและแรงจูงใจในการดำเนินงานวัณโรค

ยุทธศาสตร์ที่ 4 สร้างกลไกในการจัดการและบริหารเชิงยุทธศาสตร์อย่างยั่งยืน

เป้าประสงค์ เพื่อสร้างความยั่งยืนของการสนับสนุนเชิงนโยบายอย่างจริงจัง (Political commitment) ด้วยการระดมทรัพยากรในการดำเนินงาน ป้องกัน ดูแลรักษา และควบคุมวัณโรค ด้วยมาตรการ ดังนี้

4.1 จัดตั้งคณะกรรมการให้ข้อเสนอทางด้านวิชาการเพื่อขับเคลื่อนแผนปฏิบัติการระดับชาติในการต่อต้านวัณโรค พ.ศ. 2560-2564

4.2 ร่วมกับแผนงานโรคเอดส์ และมาลาเรีย สร้างกองทุนพิเศษเพื่อดำเนินงานโรคมาลาเรีย เอดส์ และวัณโรค ต่อเนื่องกันหลังจากได้รับการสนับสนุนของกองทุนโลกสิ้นสุดลงรวมทั้งพัฒนาระบบสนับสนุนเบี้ยยังชีพแก่ผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่จากแหล่งทุนต่าง ๆ ของภาครัฐ ภาคประชาสังคม และภาคเอกชน

4.3 ส่งเสริมการใช้ข้อบังคับกฎหมาย และพระราชบัญญัติที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวัณโรคอย่างเหมาะสม

ยุทธศาสตร์ที่ 5 ส่งเสริมการวิจัยและการพัฒนานวัตกรรมการป้องกัน ดูแลรักษาและควบคุมวัณโรค

เป้าประสงค์ เพื่อเร่งรัดการศึกษาวิจัยที่สามารถชี้แนะแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานวัณโรค รวมทั้งส่งเสริมนวัตกรรมสำหรับการพัฒนางานให้สอดคล้องกับสถานการณ์ของพื้นที่ด้วยมาตรการ ดังนี้

5.1 พัฒนาแผนวิจัยวัณโรคในระดับชาติ โดยการมีส่วนร่วมของหน่วยงานผู้ให้ทุนแก่หน่วยงานวิจัย และหน่วยงานสนับสนุนด้านการวิจัย

5.2 ส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมการดำเนินงานวัณโรคอย่างเป็นระบบยุทธศาสตร์และสามารถประยุกต์ใช้ขยายผลอ้างอิงในภาพรวมของเขตและประเทศได้

วัณโรคเป็นโรคติดต่อทางอากาศจากคนสู่คน (Airborne transmission) (Nardell et al., 2016) โดยเมื่อผู้ป่วยวัณโรคปอด หลอดลม หรือกล่องเสียงทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เช่น ไอ จาม พูดเสียงดัง ตะโกน ร้องเพลงหรือหัวเราะ จะทำให้เกิดละอองที่เป็นฝอย (Droplet nuclei) ฟุ้งกระจายได้ และทำให้ผู้ที่อยู่หรืออาศัยบริเวณใกล้เคียงนั้น สูดดมเอาอากาศที่ปนเปื้อนเชื้อวัณโรคเข้าไปภายในร่างกายของตน (Feller et al., 2009) ดังนั้น สถานพยาบาลเป็นสถานที่ผู้ป่วยไปรับบริการสุขภาพจึงมีความเสี่ยงสูงในการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคไปสู่บุคคลอื่น ๆ อีกทั้งในสถานพยาบาลประกอบด้วยบุคลากรที่ปฏิบัติหน้าที่ในสถานพยาบาลผู้ป่วยอื่น ๆ และญาติที่ไปรับบริการสุขภาพในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ผู้ป่วยวัณโรคยังสามารถแพร่กระจายเชื้อให้กับบุคคลใกล้ชิดทั้งในครอบครัว หรือในชุมชน ขณะที่ทำกิจกรรมต่าง ๆ ร่วมกัน ดังนั้นการควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อแผนการดำเนินงานควบคุมวัณโรค (Wampande, Eddie M, & Mupere, 2015)

ในปัจจุบันการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกนั้นกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นวิธีที่ปลอดภัยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และต้นทุนต่ำ (Hüsken, Götz, & Martin Hunger, 2009) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการนำกระบวนการโฟโตคะตะไลติกไปใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น การกำจัดมลพิษ การบำบัดน้ำเสีย รวมไปถึงการฆ่าเชื้อโรคดั่งที่กล่าวมาข้างต้น (Sugunan, & Abhilash, 2010) ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีและบรรลุนวัตกรรมศาสตร์ ข้อที่ 5 เรื่องส่งเสริมการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมการป้องกัน ดูแลรักษาและควบคุมวัณโรค ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้โฟโตคะตะไลติกเพื่อการกำจัดเชื้อวัณโรค การศึกษาในครั้งนี้จึงนำไนโตรเจน-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (N-TiO₂) ที่ผ่านการสังเคราะห์ด้วยวิธีการโซล-เจล จนมีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก เพื่อการกำจัดเชื้อวัณโรค ซึ่งเป็นภัยอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อวัณโรค ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ โดยใช้แสง UVC และ LED

1.1.2 เพื่อศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดเชื้อวัณโรค

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ในการศึกษาการกำจัดเชื้อวัณโรค ในครั้งนี้จะใช้ชิ้นงาน N-TiO₂ ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการโซล-เจล เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1.3.2 ศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองการกำจัดเชื้อวัณโรค ด้วยแหล่งกำเนิดแสง LED เป็นระยะเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง และ UVC ร่วมกับ LED เป็นระยะเวลา 30 นาที

1.3.3 ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ที่ 10 ซม.

1.3.4 ปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของเชื้อวัณโรค 10³ CFU/ml

1.3.5 วัดปริมาณการกำจัดเชื้อวัณโรค โดยใช้วิธีการ Colony counter

1.3.6 ความเข้มของแสงที่ใช้ในการกำจัดเชื้อวัณโรค โดยใช้ LED 1,772 ลักซ์ และ LED ร่วมกับ UVC 1,785 ลักซ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

1.4.2 สามารถกำจัดเชื้อวัณโรคด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก โดยมีชิ้นงาน N-TiO₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้แหล่งกำเนิดแสง LED และ UVC

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมาของวัณโรค

วัณโรคเป็นโรคที่ปรากฏหลักฐานการค้นพบรอยโรคครั้งแรกจากกระดูกส่วนที่เป็นสันหลังของมัมมี่ในประเทศอียิปต์ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วง 2,400 ปีก่อนคริสตกาล จากงานเขียนของชาวกรีกโบราณในช่วงประมาณ 460 ปีก่อน คริสตกาล โดย Hipopocrates ได้จดบันทึกไว้ว่าในยุคนั้นเป็นช่วงที่มีการระบาดของโรคอย่างกว้างขวาง อาการของโรคคล้ายคลึงกับกาฬโรค จึงเรียกโรคนั้นว่า “White plague” (Armocida et al., 2020) นอกจากนี้ยังมีชื่อเรียกอื่นว่า “Consumption” หรือ “Phthisis” ในส่วนคำว่า “Tuberculosis” นั้นได้เริ่มใช้ในช่วงไม่กี่ปีผ่านมา

ความก้าวหน้าทางด้านวิทยาการทางการแพทย์ได้เริ่มต้นในปี ค.ศ. 1895 นักวิทยาศาสตร์ชื่อว่า Wilhelm Konrad von Roentgen ได้ค้นพบการตรวจวินิจฉัยรอยโรคโดยการ X-ray ทำให้ทราบถึงความรุนแรงของโรค (Frith, & John, 2014) ในเวลาต่อมาเมื่อนักแบคทีเรียวิทยาชาวฝรั่งเศสชื่อว่า Albert Calmette และ Camille Guérin ได้ร่วมกันคิดค้นวัคซีนป้องกันวัณโรค โดยในปี ค.ศ. 1921 ได้มีการพัฒนาวัคซีนจากเชื้อแบคทีเรียที่อ่อนฤทธิ์ แต่ยังคงประสิทธิภาพในการกระตุ้นให้ร่างกายเกิดภูมิคุ้มกันได้ โดยใช้ชื่อว่า Bacille Calmette Guérin (BCG) จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1924 ได้เริ่มนำวัคซีนป้องกันวัณโรคมานี้มาใช้แก่ ทารกแรกเกิดมาจนถึงปัจจุบันนี้ (Hawgood, & Barbara J., 1999)

ในปี ค.ศ. 1943 นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันชื่อว่า Selman A. Waksman ได้ค้นพบยา Streptomycin นั้นสามารถให้คุณสมบัติในการฆ่าเชื้อวัณโรค และมีการค้นพบการดื้อยาเมื่อรักษาด้วย Streptomycin เพียงอย่างเดียว (Wainwright, & Milton, 1991) ยาวัณโรคชนิดอื่นที่นำมาใช้รักษาได้แก่ Isoniazid ค้นพบในปี ค.ศ. 1952 Pyrazinamide ค้นพบในปี ค.ศ. 1954 และ Rifampicin ค้นพบในปี ค.ศ. 1963 โดยตัวยาเหล่านี้ยังคงใช้รักษาวัณโรคมารวมถึงทุกวันนี้ และได้มีการพัฒนาตัวยาให้ดีขึ้นเรื่อยมา โดยการรักษาจะให้ยาอย่างน้อย 3 ชนิด เพื่อลดอัตราการดื้อยา และเพิ่มประสิทธิภาพของยา ซึ่งการรักษาจะได้ผลดีนั้น ถ้ามารับการรักษาในระยะเริ่มแรกและจะต้องกินยาอย่างสม่ำเสมอเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือน รวมไปถึงต้องพักผ่อนให้เพียงพอและรับประทานอาหารที่มีโปรตีนและวิตามินสูง เพื่อช่วยเพิ่มความต้านทานโรค การใช้ยารักษาวัณโรคที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.1 (Blomberg, Bjørn, & Bernard Fourie, 2003)

ตารางที่ 2.1 การใช้ยารักษาวัณโรค

	60 วันแรก	120 วันหลัง
สูตร 1	Isoniazid 300 mg Rifampicin 300 mg Pyrazinamide 1,000 mg Ethambutol 800 mg	Isoniazid 300 mg Rifampicin 300 mg
สูตร 2	Isoniazid 300 mg Rifampicin 450 mg Pyrazinamide 1,000 mg Ethambutol 800 mg	Isoniazid 300 mg Rifampicin 450 mg
สูตร 3	Isoniazid 300 mg Rifampicin 600 mg Pyrazinamide 1,500 mg Ethambutol 800 mg	Isoniazid 300 mg Rifampicin 600 mg

การรักษาในระยะเข้มข้น เนื่องจากช่วง 2 เดือนแรกของการรักษา ถือเป็นช่วงสำคัญ เพราะเป็นการให้ยาอย่างเข้มข้น (Intensive phase) โดยมุ่งหวังให้มีการตัดการแพร่กระจายเชื้อจากผู้ป่วย กล่าวคือ การตรวจเสมหะภายหลังการรักษาเดือนที่ 2 ไม่ควรจะพบเชื้อวัณโรคและตรวจเสมหะเป็นลบแล้วให้การรักษาในระยะต่อเนื่อง (Continuation phase) ด้วย HR ต่อไป ถ้ายังคงพบเชื้อวัณโรคเมื่อรักษาครบ 2 เดือนแรก ให้ขยายการรักษา โดยให้ยา 4 ชนิด (HRZE หรือ HRZS) ต่อไปอีก 1 เดือน แต่ถ้ารักษาไป 3 เดือนแล้ว โดนใช้ยา 4 ชนิด ดังกล่าวแล้ว ยังคงตรวจพบเชื้อ ก็คงให้ยาเพียง 2 ชนิด (HR) ต่อไป และพิจารณาส่งผู้ป่วยหรือเสมหะ เพื่อตรวจการดื้อยาของเชื้อวัณโรค (Susceptibility test) และการตรวจพิเศษอื่น ๆ ต่อไป (ถ้าผลเสมหะเป็นบวกควรหยุดยา Streptomycin เพื่อหลีกเลี่ยงผลข้างเคียง และใช้ยาเดิมของ Intensive phase ต่อไป และควรส่งสถานบริการสาธารณสุขเฉพาะเพื่อรับการรักษาต่อไป)

ข้อควรระวัง

- (1) ไม่ควรใช้ Ethambutol ในเด็ก เพราะเด็กจะบอกเรื่องอาการข้างเคียงทางตาไม่ได้
- (2) ไม่ควรใช้ Streptomycin ในหญิงตั้งครรภ์
- (3) ในผู้สูงอายุ ไม่ควรใช้ Streptomycin เกิน 750 มิลลิกรัม/วัน

ยาวัณโรคชนิดที่มียาหลายขนานรวมอยู่ในเม็ดเดียวกัน (Fixed drug combination) ให้การให้ยา ตามน้ำหนักตัวดังนี้

- < 40 กก. ใช้ยา Rifater 3 เม็ด
- 40-50 กก. ใช้ยา Rifater 4 เม็ด
- > 40 กก. ใช้ยา Rifater 5 เม็ด

ควรแนะนำให้ผู้ป่วยวัณโรคปอดรับประทานยาวัณโรคทั้งหมดในมือเดียวช่วงก่อนนอน ถ้าเกิดอาการข้างเคียงใด ๆ ส่งพบแพทย์พิจารณาตามความเหมาะสม

ผลและอาการข้างเคียงของยาวัณโรคชนิดต่าง ๆ ที่ใช้บ่อย

(1) ไอโซโนอาซิด (Isoniazid, INH) เป็นยาสำหรับรับประทาน มีความสำคัญเพราะประสิทธิภาพสูง ดูดซึมได้ดีจากทางเดินอาหารซึมเข้าสู่เนื้อของร่างกายทั่วไป มีผลเป็นพิษที่สำคัญต่ำ และราคาถูก การแพ้ยาที่สำคัญคือ การเป็นพิษต่อตับและระบบประสาท พิษต่อตับจะทำให้เกิดการอักเสบ มักจะเกิดกับคนสูงอายุหรือมีโรคตับอยู่ก่อน พิษต่อระบบประสาทมีประสาทส่วนปลายอักเสบเวียนศีรษะชักซึมและประสาทตาอักเสบ (Goldman, & Allan, 1972)

(2) อีธัมบิวตอล (Ethambutol) เป็นยาสำหรับรับประทาน มีประสิทธิภาพทัดเทียมหรือดีกว่า PAS แต่อาการแพ้ยาน้อยกว่า และรับประทานง่าย การแพ้ยาที่สำคัญคือ ประสาทตาอักเสบ ทำให้มีตาบอดสีหรือตามัว (Deng et al., 1995)

(3) สเตรพโตมัยซิน (Streptomycin) เป็นยาสำหรับฉีดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อของร่างกาย แต่มีความสามารถในการเข้าสู่น้ำ และไขสันหลังในระดับต่ำ ขับออกทางไต และส่วนหนึ่งถูกทำลายในร่างกาย ผลเป็นพิษที่สำคัญต่อประสาทสมองคู่ที่แปดและไต พิษต่อประสาทสมองคู่ที่แปดทำให้มีอาการเวียนศีรษะ สมรรถภาพทางการทรงตัวเสื่อม มีเสียงในหูและอาจทำให้ หูหนวก พิษต่อไต ทำให้การทำงานของไตเสื่อม ควรหลีกเลี่ยงหรือใช้ความระมัดระวังในหญิงมีครรภ์โดยเฉพาะใน 3 เดือนแรก (Davies, Julian, Walter Gilbert, & Luigi Gorini, 1964)

(4) ริฟแอมปีซิน (Rifampicin) เป็นยาสำหรับรับประทานมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการทำลายและระงับการเจริญของเชื้อวัณโรค ดูดซึมได้ดีจากลำไส้ ถูกขับออกทางน้ำดีและปัสสาวะ (Acocella et al., 1978)

2.2 ระบาดวิทยาและการเกิดโรค

วัณโรค (Tuberculosis หรือ TB) เป็นโรคติดต่อที่สามารถแพร่เชื้อได้ในอากาศ ซึ่งเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย ชื่อ *Mycobacterium tuberculosis* ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.8 μm วัณโรคเกิดได้ในทุกส่วนร่างกาย ส่วนใหญ่มักเกิดบริเวณปอดคิดเป็นร้อยละ 80 ซึ่งสามารถแพร่เชื้อได้ง่าย หลังหายใจเอาอนุภาคของวัณโรคเข้าสู่ร่างกายทางปากหรือจมูกเข้าสู่ถุงลมฝอย อาจก่อให้เกิดการติดเชื้อเฉพาะที่ขึ้น ซึ่งพบได้ในอวัยวะอื่น ๆ ได้แก่ ต่อม้ำเหลือง เยื่อหุ้มปอด ข้อต่อกระดูกสันหลังช่องท้อง ระบบสืบพันธุ์ ระบบทางเดินปัสสาวะและระบบประสาท เป็นต้น (Thakur et al., 2017) เชื้อ *Mycobacterium* สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) *Mycobacterium tuberculosis complex* (MTBC) เป็นสาเหตุของวัณโรคในคนและสัตว์มีจำนวนสายพันธุ์ทั้งหมด 8 สายพันธุ์ โดยที่พบบ่อยที่สุด คือ สายพันธุ์ *Mycobacterium tuberculosis* และสายพันธุ์อื่นที่พบบ่อยเช่นกันในกลุ่มนี้คือ *Mycobacterium africanum* สามารถพบได้ในแถบทวีปแอฟริกา และ *Mycobacterium bovis* ที่มักก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ในสัตว์ ซึ่งติดต่อจากสัตว์สู่คนได้ โดยการบริโภคนมที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและเป็นสายพันธุ์ที่นำมาผลิตเป็นวัคซีนบีซีจี (Wirth et al., 2008)

(2) Nontuberculous mycobacteria (NTM) มีจำนวนสายพันธุ์ประมาณ 140 สายพันธุ์ เช่น *Mycobacterium avium complex* (MAC) พบในสิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ หรือพบในสัตว์ปีก เช่น ไก่และนก โดยส่วนใหญ่ไม่ก่อโรคในคน (Katoch et al., 2004)

(3) *Mycobacterium leprae* เป็นสาเหตุของโรคเรื้อน *Mycobacterium tuberculosis* มีลักษณะเป็นแท่ง มีความหนาประมาณ 0.3 ไมโครเมตร ยาวประมาณ 2-5 ไมโครเมตร เมื่อย้อมด้วยวิธี Ziehl-Neelsen จะติดสีแดง เชื้อวัณโรคไม่มีแคปซูล ไม่สร้างสปอร์และไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยธรรมชาติจะอาศัยออกซิเจนเพื่อการเจริญเติบโต เชื้อวัณโรคที่อยู่ในละอองฝอยของผู้ป่วยที่ไอหรือจามออกมา สามารถอาศัยอยู่ในอากาศได้นานกว่า 30 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อวัณโรคถูกทำลายด้วยหลายปัจจัยอัน ได้แก่ แสงแดด ความร้อน สารเคมีบางชนิด และแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยแสงแดดสามารถทำลายเชื้อวัณโรคในเสมหะได้โดยใช้เวลาประมาณ 20-30 ชั่วโมง เชื้อวัณโรคในเสมหะแห้งที่ไม่ถูกแสงแดดสามารถมีชีวิตได้นานกว่า 6 เดือน ความร้อนสามารถทำลายเชื้อวัณโรคได้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป เป็นระยะเวลา 20 นาที (Monot et al., 2009)

2.2.1 การแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

วัณโรคเป็นโรคติดต่อจากคนสู่คนโดยมีอากาศเป็นตัวกลาง (Airborne transmission) โดยเมื่อผู้ป่วยวัณโรคทำให้เกิดละอองฝอยที่กระจายออกมา ละอองฝอยที่มีขนาดใหญ่มากนั้นจะตกลงสู่พื้นดินและแห้งไป ส่วนละอองที่มีขนาดเล็กประมาณ 1-5 ไมโครเมตร จะลอยและกระจายอยู่ในอากาศและมีการแพร่กระจายไปยังที่ต่าง ๆ ภายในอาคารหรือห้องซึ่งหากผู้สูดดม หรือหายใจเอาละอองที่มีเชื้อวัณโรคเข้าไป อนุภาคขนาดใหญ่จะติดอยู่ที่บริเวณจมูกหรือลำคอ ซึ่งส่วนใหญ่ไม่ก่อให้เกิดโรค แต่อุณหภูมิขนาดเล็ก ๆ นั้นจะสามารถเข้าไปสู่ถุงลมปอดได้ (Fogel, & Nicole, 2015)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค สามารถแบ่งได้เป็น 3 ด้าน ดังนี้

1. ปัจจัยทางด้านผู้ป่วยวัณโรค เช่น การป่วยเป็นวัณโรคปอด กล้องเสียง หรือหลอดลม ในระยะที่มีเชื้อในเสมหะ ผู้ป่วยที่มีแผลโพรงในปอดจะมีเชื้อจำนวนมาก เมื่อมีอาการจาม ไอ หรืออาการอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดการหายใจแรง ๆ
2. ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ในสถานที่ปิดมิดชิดและคับแคบ แสงแดดส่องไม่ถึง อากาศถ่ายเทไม่สะดวก และการขาดระบบระบายอากาศภายในอาคาร เป็นต้น
3. ปัจจัยด้านระบบบริการ เช่น การวินิจฉัยโรค การทำการรักษาล่าช้า การทำหัตถการที่ทำให้เกิดละอองฝอย การขนส่งตัวอย่างที่ไม่เหมาะสม การทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ไม่ทั่วถึง เป็นต้น

2.3 สถานการณ์วัณโรค

องค์การสหประชาชาติได้กำหนดเป้าหมายสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable development goals : SDGs) ในปี พ.ศ. 2558 ที่จะบรรลุในอีก 9 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2573) หนึ่งในเป้าหมายนั้น คือ การยุติการแพร่ระบาดของวัณโรค ขนาดปัญหาและผลการควบคุมวัณโรคจากรายงานวัณโรคของโลกในปี พ.ศ. 2560 (Global tuberculosis report 2017) โดยองค์การอนามัยโลกนั้นประมาณอุบัติการณ์ผู้ป่วยวัณโรค (รายใหม่และกลับเป็นซ้ำ) ของโลก สูงถึง 10.4 ล้านคน และอาจมีจำนวนผู้ป่วยวัณโรคเสียชีวิตสูงถึง 1.7 ล้านคนสำหรับจำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่ติดเชื้อเอชไอวี

1.03 ล้านคน คิดเป็น ร้อยละ 10 ของผู้ป่วยวัณโรคทั้งหมดโดยเสียชีวิตปีละ 400,000 คน สำหรับจำนวนผู้ป่วยวัณโรคดื้อยา RR/MDR-TB คาดว่าจะมี 6 แสนคน โดยเป็นผู้ป่วยรายใหม่ร้อยละ 4.1 และผู้ป่วยที่เคยรักษามาก่อนร้อยละ 19 ในจำนวนนี้เป็น MDR-TB 4.9 แสนคน (Sachs, & Jeffrey D., 2012)

2.4 การจำกัดความผู้ป่วยวัณโรค

ผู้ที่น่าจะเป็นวัณโรค (Presumptive TB) หมายถึง ผู้ที่แสดงอาการเข้าได้กับวัณโรค เช่น ไอทุกวันเกินกว่า 2 สัปดาห์ ไอเป็นเลือด น้ำหนักลดผิดปกติ มีไข้ เหงื่อออกมากผิดปกติในตอนกลางคืน เป็นต้น (Raizada et al., 2014)

ผู้ติดเชื้อวัณโรคระยะแฝง (Latent TB infection) หมายถึง ผู้ที่ได้รับเชื้อและติดเชื้อวัณโรคแฝงอยู่ในร่างกาย แต่ร่างกายมีภูมิคุ้มกันสามารถต่อสู้กับเชื้อ สามารถยับยั้งการแบ่งตัวของเชื้อโรควัณโรคได้ ไม่มีอาการผิดปกติใดๆ และไม่สามารถแพร่เชื้อสู่ผู้อื่นได้ (Horsburgh Jr, & C. Robert, 2010)

ผู้ป่วยวัณโรค (TB disease) หมายถึง ผู้ที่ได้รับเชื้อและติดเชื้อวัณโรคแฝงอยู่ในร่างกายแต่ภูมิคุ้มกันไม่สามารถยับยั้งการแบ่งตัวของเชื้อวัณโรคได้ เกิดพยาธิสภาพที่ทำให้ป่วยเป็นโรควัณโรค อาจแสดงอาการหรือไม่แสดงอาการก็ได้ (Lewinsohn, & David M., 2006)

การจำแนกประเภทของผู้ป่วย สามารถจำแนกประเภทได้ดังนี้

2.4.1 จำแนกผลตามการตรวจทางแบคทีเรีย

1. ผู้ป่วยที่พบเชื้อวัณโรค (bacteriologically confirmed TB case : B+) หมายถึง ผู้ป่วยวัณโรคที่มีสิ่งส่งตรวจผลเป็นบวก โดยวิธี Culture หรือ Smear microscopy หรือวิธีการอื่น ๆ ที่ได้รับการรับรองจาก WHO เช่น Line probe assay, TB-LAMP และ Xpert MTB/RIF เป็นต้น (Barroso et al., 2002)

2. ผู้ป่วยที่ไม่พบเชื้อวัณโรค (Clinically diagnosed TB case : B-) หมายถึง ผู้ป่วยวัณโรคที่มีสิ่งส่งตรวจผลเป็นลบ หรือไม่มีผลตรวจ แต่ผลการตรวจชิ้นเนื้อหรือผลการเอกซเรย์ผิดปกติเข้าได้กับวัณโรคร่วมกับอาการแสดงทางคลินิก และแพทย์ให้รักษาด้วยสูตรยารักษาวัณโรค (Rao et al., 2015)

หมายเหตุ : ผู้ป่วยที่มีผลตรวจสิ่งส่งตรวจเป็นลบ (B-) แม้ว่าจะเริ่มรักษาไปแล้ว ต่อมาทราบผลเพาะเลี้ยงเชื้อเป็นบวก ให้จัดประเภทเป็นผู้ป่วยที่มีผลเป็นบวกเช่นกัน (B+)

2.4.2 จำแนกตามอวัยวะที่เป็นวัณโรค

1. วัณโรคปอด คือ ผู้ป่วยที่มีร่องรอยพยาธิสภาพของวัณโรคในเนื้อปอด หรือบริเวณแขนงของหลอดลม โดยมีผลตรวจเสมหะเป็นบวกหรือลบก็ได้ Miliary TB จัดเป็นวัณโรคปอด เนื่องจากการพบร่องรอยพยาธิสภาพอยู่ในปอด

2. วัณโรคนอกปอด คือ ผู้ป่วยที่มีพยาธิสภาพของวัณโรคที่บริเวณอวัยวะอื่น ๆ ที่ไม่ใช่บริเวณเนื้อปอด เช่น ช่องท้อง ระบบทางเดินปัสสาวะ ต่อม้ำเหลือง กระดูกและข้อ เยื่อหุ้มสมอง ผิวหนัง เป็นต้น โดยมีผลตรวจเป็นลบหรือบวกก็ได้

2.4.3 จำแนกตามสถานะติดเชื้อ HIV

1. ผู้ป่วยวัณโรคที่ติดเชื้อ HIV (HIV positive TB patient) หมายถึง ผู้ป่วยวัณโรคที่มีผลการตรวจ HIV เป็นบวก

2. ผู้ป่วยวัณโรคที่ไม่ติดเชื้อ HIV (HIV negative TB patient) หมายถึง ผู้ป่วยวัณโรคที่มีผลการตรวจ HIV เป็นลบ

3. ผู้ป่วยวัณโรคที่ไม่ทราบสถานะติดเชื้อ HIV หมายถึง ผู้ป่วยวัณโรคที่ไม่ได้ตรวจ HIV หรือไม่ทราบผลตรวจ HIV

2.4.4 จำแนกผู้ป่วยตามการดื้อยาวัณโรค

1. Mono resistant TB หมายถึง วัณโรคดื้อยาตัวใดตัวหนึ่งเพียงขนานเดียวในกลุ่ม First line drug

2. Polydrug-resistant TB หมายถึง วัณโรคดื้อยาในกลุ่ม First line drug มากกว่าหนึ่งขนานที่ไม่ใช่ H (Isoniazid) และ R (Rifampicin) พร้อมกัน

3. Multidrug-resistant TB หมายถึง วัณโรคดื้อยาหลายขนาน ที่ดื้อยา R และ H พร้อมกัน และอาจจะดื้อต่อยาขนานอื่น ๆ

4. Pre-extensively drug-resistant TB หมายถึง วัณโรคดื้อยาหลายขนานชนิดรุนแรง คือ MDR-TB ที่ดื้อยารักษาวัณโรคในกลุ่ม Second-line injectables หรือ Fluoroquinolones อย่างใดอย่างหนึ่ง (ไม่รวม Streptomycin; S เพราะเป็นยา First line drug)

5. Rifampicin-resistant TB (RR-TB) หมายถึง วัณโรคดื้อยา Rifampicin ซึ่งตรวจพบโดยวิธี Phenotypic หรือ genotypic และอาจดื้อยาวัณโรคอื่นร่วมด้วย ซึ่งอาจเป็น MDR-TB, Polydrug resistant TB, Mono drug resistant TB, Pre-XDR-TB หรือ XDR-TB ก็ได้

6. Extensively drug-resistant TB (XDR-TB) หมายถึง วัณโรคดื้อยาหลายขนานชนิดรุนแรงมาก คือ MDR-TB ที่ดื้อยาในกลุ่ม Second-line injectable และ Fluoroquinolones พร้อมกัน

2.5 การจำกัดความผู้สัมผัสวัณโรค

ผู้สัมผัสวัณโรค หมายถึง บุคคลที่ใกล้ชิดหรือสัมผัสกับผู้ป่วยที่แพร่เชื้อ สัมผัสวัณโรคจากการอยู่ร่วมกัน ทำกิจกรรมด้วยกัน (Teixeira et al., 2001) ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการตรวจคัดกรองเพื่อค้นหาวัณโรค ได้แก่

1. ผู้สัมผัสวัณโรคร่วมบ้าน หมายถึง บุคคลที่อาศัยอยู่ร่วมบ้านกับผู้ป่วยหรือถ้ำนอนอาศัยห้องเดียวกัน มีโอกาสรับและติดเชื้อสูงมากกว่าผู้ที่อาศัยในบ้านเดียวกันแต่นอนแยกห้องไม่นับรวมญาติพี่น้องที่อาศัยอยู่นอกบ้านแต่ไปมาหาสู่เป็นครั้งคราวและนับระยะเวลาที่อยู่ร่วมกับผู้ป่วยก็วันก็ได้ในช่วงระหว่าง 3 เดือนที่ผ่านมา

2. ผู้ที่สัมผัสใกล้ชิด (Close contact) หมายถึงบุคคลที่ไม่ใช่ผู้อยู่อาศัยร่วมบ้าน แต่อยู่ร่วมกันในพื้นที่เฉพาะ อาทิเช่น ทำงานที่เดียวกัน โดยใช้เกณฑ์เฉลี่ยวันละ 8 ชั่วโมง หรือ 120 ชั่วโมง ใน 1 เดือน และนับระยะเวลาที่อยู่ร่วมกับผู้ป่วยก็วันก็ได้ในช่วงระหว่าง 3 เดือนที่ผ่านมา นอกจากนี้ยังพบว่าผู้สัมผัสวัณโรคที่เป็นอายุน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเด็กที่มีอายุน้อยกว่า 5 ปี มีโอกาสเสี่ยงสูงที่จะติดเชื้อและป่วยเป็นวัณโรค

2.6 การขึ้นทะเบียนผู้ป่วยวัณโรค

2.6.1 การขึ้นทะเบียนผู้ป่วยวัณโรคที่ไวต่อยา

1. ผู้ป่วยใหม่ (New; N) หมายถึง ผู้ป่วยที่ไม่เคยรักษาวัณโรคมาก่อน หรือรักษาเป็นระยะเวลาน้อยกว่า 1 เดือน (ได้แก่ P หรือ EP, B- หรือ B+)
2. ผู้ป่วยกลับเป็นซ้ำ หมายถึง ผู้ป่วยที่เคยรักษาและได้รับการประเมินผลว่ารักษาหายหรือรักษาครบ แต่กลับมาป่วยเป็นวัณโรค (ได้แก่ EP หรือ P, B- หรือ B+)
3. ผู้ป่วยรักษาซ้ำภายหลังล้มเหลว หมายถึง ผู้ป่วยที่เคยรักษาและมีประวัติผลการรักษาครั้งล่าสุดว่าล้มเหลวจากการรักษา
4. ผู้ป่วยรักษาซ้ำภายหลังขาดการรักษา หมายถึง ผู้ป่วยที่มีประวัติเคยรักษาและขาดการรักษาตั้งแต่ 2 เดือนติดต่อกันขึ้นไป และกลับมารักษาอีกครั้ง (ได้แก่ EP หรือ P, B- หรือ B+)
5. ผู้ป่วยรับโอน หมายถึง ผู้ป่วยขึ้นทะเบียนรักษาที่สถานพยาบาลแห่งอื่นแล้วโอนมาให้รักษาต่อที่สถานพยาบาลปัจจุบัน (เมื่อสิ้นสุดการรักษาต้องแจ้งผลการรักษาทั้งหมดให้สถานพยาบาลที่โอนมารับทราบด้วย)
6. ผู้ป่วยอื่น ๆ หมายถึง ผู้ป่วยที่ไม่สามารถจัดกลุ่มเข้าประเภทข้างต้น เช่น
 - ผู้ป่วยที่ได้รับยารักษาวัณโรคจากคลินิกหรือหน่วยงานเอกชนแล้ว ตั้งแต่ 1 เดือนขึ้นไป โดยที่ยังไม่เคยขึ้นทะเบียนในฐานข้อมูลมาก่อน
 - ผู้ป่วยที่ไม่สามารถทราบประวัติการรักษาในอดีต
 - ผู้ป่วยที่เคยเข้ารับการรักษามาก่อนแต่ไม่ทราบผลของการรักษาครั้งล่าสุด

2.7 วิธีการตรวจทางห้องปฏิบัติการ

การตรวจทางห้องปฏิบัติการนั้นควรเริ่มด้วยขั้นตอนการตรวจคัดกรองทางคลินิกที่เหมาะสมเพื่อระบุผู้ที่น่าจะเป็นวัณโรค ร่วมกับการใช้การตรวจจากทางห้องปฏิบัติการ ในการยืนยันผลการวินิจฉัย ส่วนการวินิจฉัยวัณโรคทางห้องปฏิบัติการ คือ การตรวจหาตัวเชื้อหรือส่วนประกอบของเชื้อวัณโรค ทั้งนี้ขั้นตอนการตรวจทางห้องปฏิบัติการจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องผ่านการรับรองมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ เช่น Laboratory accredit (LA) หรือ ISO 15189 เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ผลการตรวจนั้นถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งทำให้ผู้เข้ารับรักษามั่นใจกับการรายงานผลการตรวจ

การตรวจหาเชื้อวัณโรคหรือส่วนประกอบของเชื้อวัณโรคจากสิ่งส่งตรวจ ไม่ว่าจะเป็นสารคัดหลั่งจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น เสมหะ น้ำจากกระเพาะ หนอง น้ำไขสันหลัง หรือตัวอย่างที่ได้มาจากอวัยวะที่สงสัยว่าจะติดเชื้อวัณโรค เช่น ชิ้นเนื้อจากต่อมน้ำเหลือง หรือตรวจการตอบสนองของร่างกายต่อการติดเชื้อจากสิ่งส่งตรวจ เช่น เลือด น้ำเหลือง การตรวจทางห้องปฏิบัติการนอกจากจะช่วยยืนยันในการตรวจวินิจฉัยวัณโรคแล้ว ยังใช้ในการติดตามการรักษา การตรวจควมมีชีวิตของเชื้อ และตรวจสอบรูปแบบการดื้อยาของเชื้อวัณโรค ซึ่งวิธีการตรวจทางห้องปฏิบัติการแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

2.7.1 การตรวจหาเชื้อ Acid fast bacilli ด้วยกล้องจุลทรรศน์

1. การตรวจเสมหะหรือสิ่งส่งตรวจก่อนนำมาดูผ่านกล้องจุลทรรศน์ต้องทำ Smear และนำมาย้อมสีโดยวิธี Ziehl-neelsen ซึ่งเป็นการตรวจวินิจฉัยวัณโรคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่

ปี ค.ศ. 1882 เป็นต้นมา เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก ได้ผลตรวจภายใน 24 ชั่วโมง เชื่อที่พบมักมีลักษณะเป็นแท่งติดสีแดง เนื่องจากในผนังเซลล์ของเชื้อมี mycolic acid เมื่อถูกย้อมด้วยสี Carbol fuchsin แล้วจะเกิดสารประกอบต่าง ๆ ที่มีลักษณะเชิงซ้อนของสีที่ผนังเซลล์ของตัวเชื้อ ทำให้เชื้อที่ย้อมติดสีแล้วนั้นไม่สามารถล้างออกด้วยแอลกอฮอล์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด จึงเรียกว่า “เชื้อติดสีทนกรด” ซึ่งในการตรวจหาเชื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์นั้นจะต้องมีจำนวนเชื้อประมาณ 5,000 เซลล์/มิลลิลิตรขึ้นไป

2. การตรวจหาเชื้อ Acid fast bacili (AFB) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบเรืองแสงมีหลักการติดสีเช่นเดียวกับวิธีการย้อมด้วย ZN แต่มีความแตกต่างด้วยการใช้สารที่สามารถเรืองแสงได้ในการย้อม เช่น Auramine-O จากนั้นจึงนำมาทำการตรวจด้วยกล้องที่มีคุณสมบัติสามารถตรวจจับสารเรืองแสงได้ เชื้อที่ตรวจพบมีลักษณะเป็นรูปแท่งที่เรืองแสงสีเหลืองบนพื้นดำ ซึ่งกล้องจุลทรรศน์แบบเรืองแสงที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ

- Conventional mercury vapor fluorescence microscope เป็นกล้องจุลทรรศน์ แบบเรืองแสง ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ทำจากหลอดบรรจุไอปรอท เนื่องจากหลอดมีอายุการใช้งานกว่า 200 ชั่วโมง และมีราคาแพง รวมถึงต้องใช้งานในห้องที่บดแสงหรือห้องมืด ซึ่งไม่เป็นที่นิยมใช้มากนักในปัจจุบัน

- Light-emitting diode (LED) fluorescence microscope เป็นกล้องที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดแบบ LED ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยทำให้มีอายุการใช้งานของหลอดประมาณ 30,000 ชั่วโมง

ข้อดีและข้อเสียของกล้องจุลทรรศน์แบบเรืองแสงเทียบกับกล้องจุลทรรศน์แบบ LED คือ กล้องจุลทรรศน์แบบเรืองแสงมีราคาถูก ส่วนกล้องจุลทรรศน์แบบ LED มีราคาแพงกว่าแต่สามารถใช้งานได้ทั้งสองแบบ คือ ใช้ทั้งแบบกล้องจุลทรรศน์แบบเรืองแสงและกล้องจุลทรรศน์แบบ LED มีความรวดเร็วในการตรวจหาเชื้อ AFB มากกว่า เมื่อย้อมด้วย Auramine-O เทียบกับ ZN การตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ LED เหมาะกับการตรวจสไลด์มากกว่า 30 สไลด์ต่อวัน

ข้อจำกัดในการตรวจหาเชื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์ คือ ไม่สามารถแยกเชื้อที่พบระหว่าง Mycobacterium tuberculosis complex และ Non-tuberculous mycobacteria นั้น ไม่สามารถแยกชนิดการดื้อยาของเชื้อและไม่สามารถแยกได้ระหว่างเชื้อที่มีชีวิตหรือเชื้อที่ตายแล้วได้

2.7.2 การเพาะเลี้ยงเชื้อและพิสูจน์ยืนยันชนิดของเชื้อ (Mycobacterial culture and identification)

การเพาะเลี้ยงเชื้อวัณโรคจากสิ่งส่งตรวจเป็นการตรวจที่มีความไวและความจำเพาะสูง โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงเชื้อ เมื่อตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดเชื้อปนเปื้อนแล้วยังพบว่าเชื้อที่มีชีวิตอยู่ไม่เกิน 10 เซลล์ ก็สามารถเพาะเชื้อขึ้น นอกจากนี้วิธีการเพาะเลี้ยงเชื้อยังถือว่าเป็นวิธีมาตรฐาน (Gold standard) โดยทั่วไปการเพาะเลี้ยงเชื้อวัณโรคสามารถทำได้ในอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อทั้งอาหารชนิดเหลว และชนิดแข็ง การเพาะเลี้ยงเชื้อบนอาหารชนิดแข็งเชื้อเจริญได้ช้ากว่าการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารชนิดเหลว การเพาะเลี้ยงเชื้อนอกจากจะเป็นการทดสอบการมีชีวิตของเชื้อแล้ว ยังสามารถนำเชื้อที่เพาะขึ้นไปจำแนกชนิดและทดสอบการดื้อยาของเชื้อต่อไปได้ อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงเชื้อด้วยอาหารเหลวจำเป็นต้องเพาะเลี้ยงด้วยอาหารแข็งที่มีไข่เป็นส่วนประกอบร่วมด้วย เนื่องจากเชื้อวัณโรคบางสายพันธุ์เจริญเติบโตได้ดีในอาหารแข็ง

2.7.3 การทดสอบคุณสมบัติไวต่อยาของเชื้อ (Drug susceptibility testing)

การทดสอบคุณสมบัติไวต่อยาของเชื้อวัณโรคเป็นการทดสอบทางห้องปฏิบัติการว่าเชื้อวัณโรคสายพันธุ์ที่นำมาทดสอบนั้นมีไวต่อยาที่ใช้ทดสอบหรือไม่ เรียกว่า “Phenotypic DST” (World Health Organization, 2008) การทดสอบการดื้อยาของเชื้อวัณโรคในห้องปฏิบัติการใช้การเจริญของเชื้อในอาหารที่มีส่วนผสมของยาเทียบกับอาหารที่ไม่มียา โดยการทดสอบทำได้ทั้งในอาหารเหลวและอาหารแข็ง การทดสอบคุณสมบัติไวต่อยาของเชื้อวัณโรคในอาหารแต่ละชนิดมีดังนี้

1. การทดสอบคุณสมบัติไวต่อยาของเชื้อวัณโรคในอาหารแข็ง ได้แก่ อาหารที่เตรียมจากไข่ เช่น Löwenstein-Jensen สามารถทดสอบยาทั้ง SL-DST และ FL-DST ใช้เวลาในการอ่านผล 4-6 สัปดาห์ หรืออาหารที่เตรียมจาก Agar เช่น M7H11 และ MiddleBrook 7H10 (M7H10) สามารถทดสอบยาทั้ง SL-DST และ FL-DST ใช้เวลาในการอ่านผลประมาณ 4 สัปดาห์ FL-DST สามารถทดสอบความไวต่อยา EMB, INH, Sm และ RIF การทดสอบยา RIF และ INH มีความน่าเชื่อถือมากกว่าร้อยละ 90 ส่วน SL-DST สามารถทดสอบความไวต่อยา Cfz, Km, Am, Lfx, Ofx, Cm, Mfx, Eto, Pto, Cs, PAS และ Lzd (การทดสอบยา Lfx กับ Ofx มีความน่าเชื่อถือมากกว่าร้อยละ 90)

2. การทดสอบคุณสมบัติไวต่อยาของเชื้อวัณโรคในอาหารเหลว ที่นิยมใช้คือ เครื่อง BACTEC 960 system ซึ่งใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Mycobacterial growth indicator tube สามารถทดสอบคุณสมบัติไวต่อยาได้ทุกขนาน โดยใช้เวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ สำหรับ SLD สามารถทดสอบคุณสมบัติไวต่อยา เช่น Am, Km, Cm, Lfx, Mfx, Ofx เป็นต้น ส่วนวิธีการอื่นมีการศึกษาเพื่อการใช้งานในบางหน่วยงานเท่านั้น เช่น Microscopic observation drug susceptibility testing (MODS)

2.7.4 การตรวจทางอณูชีววิทยา

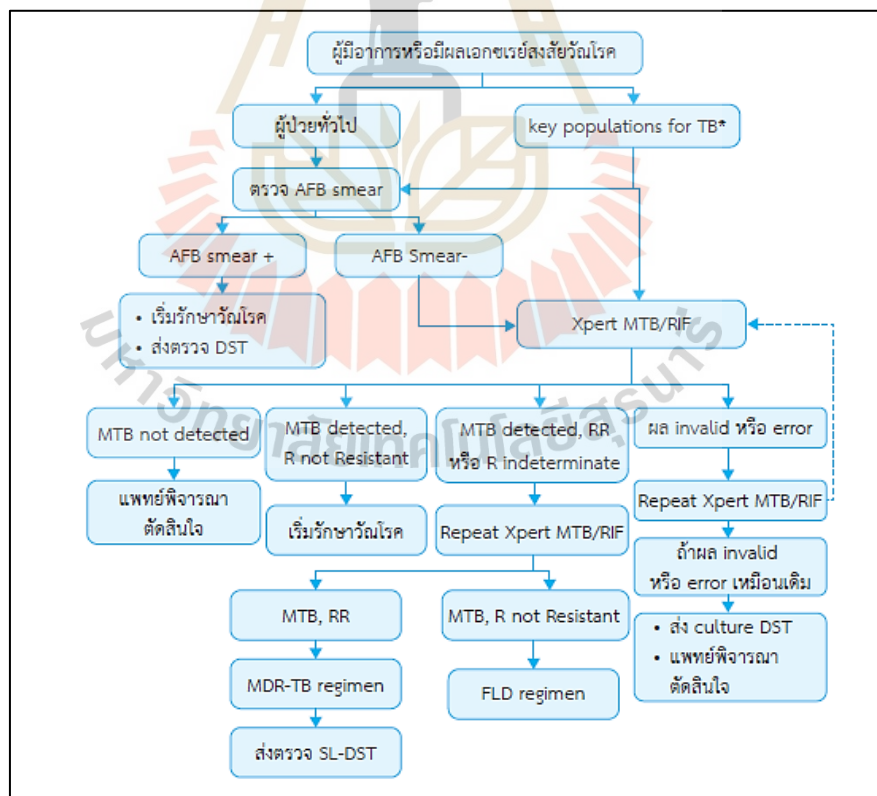
การตรวจหาเชื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์สามารถทดสอบได้รวดเร็ว แต่ความไวต่ำและไม่สามารถจำแนกได้ว่าเชื้อที่พบเป็นเชื้อ NTM หรือ MTBC ส่วนการตรวจโดยการเพาะเลี้ยงเชื้อวัณโรคมีความไวและความจำเพาะ แต่ใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงและรายงานผล จึงได้มีการคิดค้นการตรวจด้วยวิธี Nucleic acid amplification assays (NAA) โดยนำเอาส่วนประกอบของกรดนิวคลีอิกของเชื้อ MTB มาทำการเพิ่มจำนวน DNA ของเชื้อที่เป็นกลุ่มเป้าหมาย เพื่อให้สามารถตรวจพบได้ง่ายขึ้น การตรวจด้วยวิธีนี้มีความไวร้อยละ 80 และความจำเพาะร้อยละ 98-99% ตามลำดับ ทำให้สามารถตรวจพบเชื้อได้เร็วขึ้น ปัจจุบันการตรวจทางอณูชีววิทยาที่องค์การอนามัยโลกแนะนำมีเทคนิค 2 วิธีการด้วยกัน คือ

- เทคนิคทางอณูชีววิทยาในการตรวจหาเชื้อวัณโรคทั้งแบบ Isothermal amplification เช่น Real-time PCR และ Loop-mediated isothermal amplification ที่เป็น Cartridge-based เช่น Xpert MTB/RIF assay เป็นต้น

- เทคนิค Amplification and reverse hybridization เช่น Line probe assay ใช้ในการตรวจหาเชื้อวัณโรคดื้อยา

2.7.5 การส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการเพื่อวินิจฉัยวัณโรค

- ผู้มีอาการหรือมีผลเอกซเรย์สงสัยวัณโรค ควรส่งเสมหะ 2 ตัวอย่างเพื่อตรวจ AFB smear ถ้าผลเป็นบวก วินิจฉัยวัณโรค ให้เริ่มการรักษาและส่งตรวจด้วยวิธีการ DST แต่ถ้าผล AFB smear เป็นลบ ส่งเสมหะตรวจวิธี Xpert MTB/RIF
- กลุ่มเสี่ยงที่เป็น Key populations เมื่อสงสัยวัณโรค แนะนำให้ส่งตรวจทั้งวิธี AFB smear และ Xpert MTB/RIF
- ตัวอย่างเสมหะที่ผลตรวจเป็นบวก และมีผลดื้อต่อยา Rifampicin หรือผล R indeterminate แนะนำให้ตรวจยืนยันด้วย Rapid test ซ้ำ ถ้าผลยืนยันเป็น MDR-TB หรือ RR-TB ควรส่งตรวจ SL-DST และพิจารณาการรักษาผู้ป่วยด้วยสูตรดื้อยา Shorter MDR ถ้าผลตรวจ Xpert MTB/RIF ซ้ำ ไม่ดื้อยา RIF แนะนำให้รักษาด้วยสูตรยา FLD ก่อน และส่งตรวจเพาะเลี้ยงเชื้อและทดสอบความไวต่อยา
- ถ้าผลการทดสอบเป็น Error หรือ Invalid ควรตรวจ Xpert MTB/RIF ซ้ำอีกครั้ง กรณีให้ผลเหมือนเดิม ซึ่งแปลผลไม่ได้จึงควรส่งตรวจเพาะเลี้ยงเชื้อและทดสอบความไวต่อยา
- สำหรับ FL-LPA แนะนำให้ใช้ตัวอย่างจากเสมหะ AFB smear บวก
- สำหรับการตรวจเพื่อการวินิจฉัยวัณโรคในเด็กให้ดูรายละเอียดของวัณโรคในเด็ก



รูปที่ 2.1 การตรวจทางห้องปฏิบัติการเพื่อวินิจฉัยวัณโรค (Manabe et al., 2015)

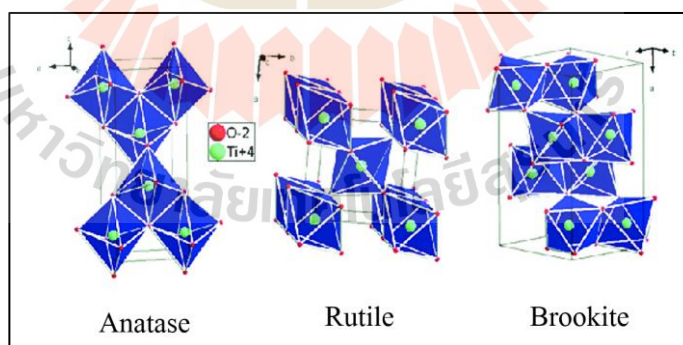
2.8 กระบวนการโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic process)

กระบวนการโฟโตคะตะไลติก เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากระตุ้นทำให้ปฏิกิริยานั้น ๆ เกิดได้เร็วขึ้น กล่าวคือ เมื่อโมเลกุลของสารปนเปื้อนถูกดูดติดไว้บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยโมเลกุลที่ถูกดูดติดเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านของการจัดเรียงตัวอิเล็กทรอนิกส์และบางพันธะของโมเลกุลเริ่มสลายตัว ดังนั้นกระบวนการโฟโตคะตะไลติกจะประกอบไปด้วยสองขั้นตอน คือ การดูดติด (Adsorption) และการฉายแสง (Irradiation) (Pelaez et al., 2012)

2.8.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลติกนั้น จะมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ โลหะตัวนำ เช่น ทองแดง นิกเกิล โครเมียม เป็นต้น และสารกึ่งตัวนำ เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ แคดเมียมซัลไฟด์ สังกะสีออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของสารกึ่งตัวนำประกอบด้วยแถบวาเลนซ์ (Valence band) และแถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) ที่อยู่โดยไม่ติดกันถูกกั้นด้วยช่องว่างแถบพลังงาน (Band gap) ซึ่งมีแถบพลังงานกันอยู่ (Yu et al., 2010)

เนื่องจากโลหะทรานซิชันอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับพลังงานกระตุ้นให้อยู่ในระดับสถานะกระตุ้นจะกลับสู่สภาวะพื้นได้ง่ายและรวดเร็วกว่าในสารกึ่งตัวนำ เพราะในโลหะทรานซิชันไม่มีแถบพลังงานระหว่างระดับชั้นพลังงาน ดังนั้นจึงนิยมใช้สารกึ่งตัวนำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก สารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาใช้มีหลายชนิด หนึ่งในสารที่นิยมใช้ คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากราคาไม่แพงไม่เป็นพิษ ความสามารถในการละลายต่ำ ความเสถียรสูงและทนทานต่อการกัดกร่อน โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปผลึก 3 รูป คือ รูไทล์ (Rutile) อนาเทส (Anatase) และบรูคไคต์ (Brookite) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ (Mo, Shang-Di, & W. Y. Ching, 1995)

จากรูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้งสามชนิดนี้มีความแตกต่างกัน ซึ่งรูไทล์มีความเสถียรมากที่สุด รองลงมา คือ บรูคไคต์ ส่วนอนาเทสมีความเสถียรต่ำที่สุด บรูคไคต์ไม่เป็นที่นิยมใช้กัน เนื่องมาจากทำให้บริสุทธิ์ได้ยาก ส่วนรูไทล์ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็น

ตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะเกิดการรวมตัวกันใหม่ (Recombination) ของอิเล็กตรอนและโฮลง่ายและ เป็นสารดูดซับที่มีความสามารถในการดูดกลืนต่ำกว่าอนาเทส

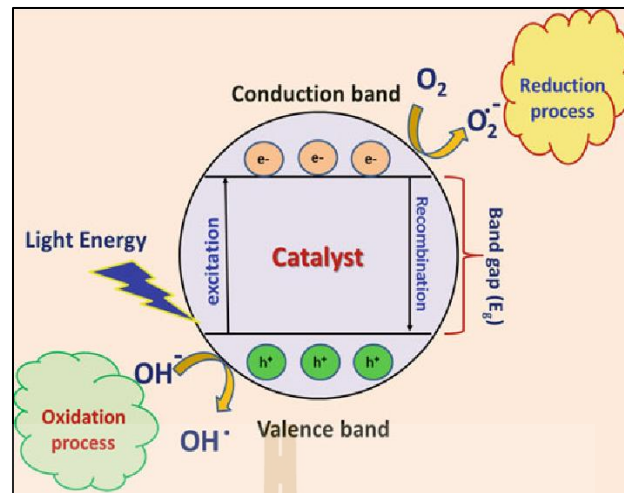
2.8.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสงปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นโดยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งใน โลหะทรานซิชันและสารกึ่งตัวนำ จะประกอบด้วยแถบวาเลนซ์ (Valence band) และแถบการนำ ไฟฟ้า (Conduction band) ดังรูปที่ 2.3 โดยที่ในโลหะทรานซิชันจะมีแถบวาเลนซ์และแถบการนำ ไฟฟ้าอยู่ติดกัน ส่วนในสารกึ่งตัวนำแถบวาเลนซ์และแถบการนำไฟฟ้าจะถูกกั้นด้วยแถบพลังงาน สารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับพลังงานโดยการฉายแสงด้วยพลังงานแสงที่มากกว่าแถบพลังงาน อิเล็กตรอน ในสารกึ่งตัวนำจะถูกกระตุ้นให้เคลื่อนที่จากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำไฟฟ้าทำให้เกิดโฮล (Hole) ขึ้นที่แถบวาเลนซ์ ลักษณะนี้ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ซึ่งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้น ได้สองแบบ คือ อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแถบการนำไฟฟ้าไปยังตัวรับอิเล็กตรอน (เกิดเป็นปฏิกิริยา รีดักชัน) หรืออิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากตัวให้อิเล็กตรอนในสารละลายไปยังโฮลในแถบวาเลนซ์ (เกิดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน) การเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล แสดงดังสมการที่ 2.1-2.4 แสดงให้เห็น ถึงกระบวนการเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสง



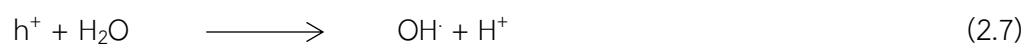
สำหรับสมการที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาการกลับมารวมตัวกันใหม่ของ อิเล็กตรอนกับโฮล ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วจนกลายเป็นตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาทำให้ ประสิทธิภาพกระบวนการเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสงต่ำลงในตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะทรานซิชัน การกลับมารวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮลเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วมากเนื่องจากไม่มีแถบพลังงาน โดยแตกต่างจากการเกิดปฏิกิริยาในสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานเป็นตัวขัดขวางการกลับมารวมตัวกัน ใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮล ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนกับโฮลนานขึ้น ดังนั้นจะเห็นว่าการกลับมารวมตัว กันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮลเป็นสิ่งสำคัญมากในปฏิกิริยาที่จะต้องให้ความสนใจในการขัดขวาง การรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮล ซึ่งตัวที่จะทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนหลัก ๆ คือ ออกซิเจนและ ไฮโดรเจนไอออน (H+) ส่วนตัวที่ทำปฏิกิริยากับโฮล คือน้ำและไฮดรอกไซด์ไอออน (OH.)

เมื่อเกิดคู่อิเล็กตรอนกับโฮลขึ้น โฮลจะเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ผิวของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยา และจะกลายเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง ซึ่งสามารถออกซิไดซ์ สารอินทรีย์ได้โดยตรง ดังสมการที่ 2.3 หรือทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radical, OH) ไฮดรอกซิลเรดิคัลนี้จะไปออกซิไดซ์สารอินทรีย์อีกทีหนึ่งซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่สำคัญ ดังสมการที่ 2.4



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก (Banerjee et al., 2014)

นอกจากนี้ไฮไลต์ยังสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นไฮดรอกซิลเรดิคัลได้เช่นกัน ดังสมการ 2.7 ส่วนอิเล็กตรอนที่ผิวของสารกึ่งตัวนำจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับออกซิเจนที่บริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัล (Superoxide radical) ตามสมการที่ 2.8 ถ้าหากสภาวะในการทดลองมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ ไฮโดรเจนไอออนซึ่งเกิดจากการแตกตัว จะมีบทบาทเข้ามาจับอิเล็กตรอนแทน เกิดเป็นไฮโดรเจนเรดิคัล (Hydrogen radical) ดังสมการที่ 2.12 ซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัลที่เกิดขึ้นจะไปทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นไฮโดรเจน-เปอร์ออกไซด์ซึ่งก่อให้เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัลต่อไป ไฮดรอกซิลเรดิคัลนี้เป็นตัวออกซิไดซ์หลักในปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก เพราะไฮดรอกซิลเรดิคัลเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงมาก โดยสมการแสดงการเกิดเรดิคัลต่าง ๆ เป็นดังนี้

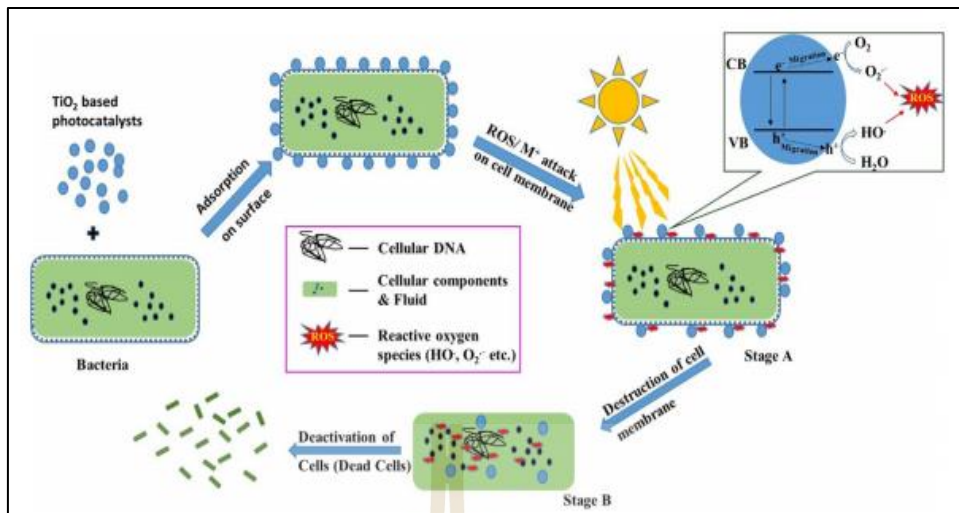


2.9 การทำลายเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการฟอตคะตะไลติก

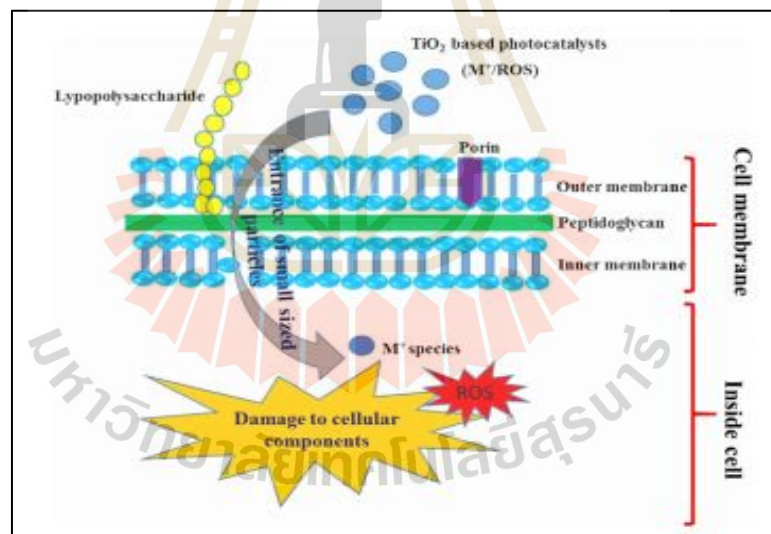
แบคทีเรียถูกจัดให้เป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีผลต่อมลพิษทางน้ำ เช่น E.coli จะเป็นแบคทีเรียที่บ่งบอกถึงการปนเปื้อนในน้ำได้ดี (Edberg et al., 2000) มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดแบคทีเรียด้วยกระบวนการฟอตคะตะไลติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งไทเทเนียมได-ออกไซด์นั้นถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างกว้างขวางในทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัลที่เกิดจากปฏิกิริยาฟอตคะตะไลติกที่บริเวณแถบวาเลนสนั้นจะไปทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย และก่อให้เกิดการสูญเสียโพแทสเซียมไอออน นอกจากนี้ยังมีเรดิคัลอีกหลาย ๆ ชนิดที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ เช่น เปอร์ออกไซด์เรดิคัล โดยเฉพาะเรดิคัลประจุลบนั้นสามารถทำลายเยื่อหุ้มฟอสโฟลิพิดในผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 นอกจากนี้ยังพบว่าเรดิคัลเหล่านี้สามารถได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก (Gram positive) และแบคทีเรียแกรมลบ (Gram negative) ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6 ซึ่งแบคทีเรียทั้งสองชนิดถูกจำแนกความแตกต่างด้วยการย้อมสีวิธี Gram จัดเป็น Differential stain ที่สำคัญที่สุดในการจำแนกแบคทีเรีย โดยการย้อมสีนี้จะแบ่งแบคทีเรียออกเป็น 2 พวก ซึ่งขึ้นอยู่กับการติดสี แบคทีเรียที่ติดสี Crystal violet (สีน้ำเงินหรือม่วง) หลังจากการล้างด้วยแอลกอฮอล์ เรียกว่า “Gram-positive” ส่วนพวกที่ไม่ติดสีของ Crystal violet แต่ติดสีที่ย้อมทับ (Counter stain) ของ Safranin (สีแดง) เรียกว่า “Gram-negative” นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์แบคทีเรียที่แตกต่างกันระหว่างแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (Gram, & Christain, 1884)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์แบคทีเรีย

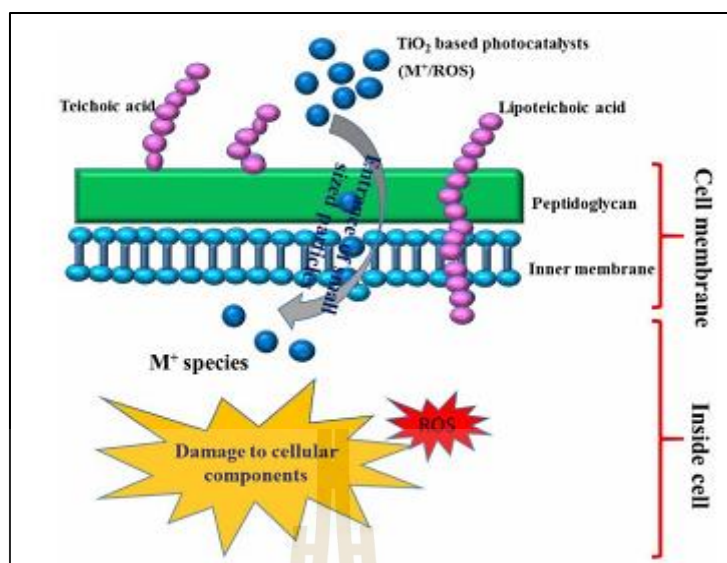
องค์ประกอบทางเคมี	แบคทีเรียแกรมบวก	แบคทีเรียแกรมลบ
Peptidoglycan	+	+
Teichoic acid/teichuronic acid	+	-
Polysaccharide	+	+
Protein	+ หรือ -	+
Lipid	-	+
Lipopolysaccharide	-	+
Lipoprotein	-	+



รูปที่ 2.4 กลไกการกำจัดเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก (Dalrymple et al., 2010)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเมมเบรน และกลไกในการทำลายแบคทีเรียแกรมลบ (Reddy, & P. Anil Kumar, 2016)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเมมเบรน และกลไกในการทำลายแบคทีเรียแกรมบวก (Reddy, & P. Anil Kumar, 2016)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 งานวิจัยผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับวัณโรค

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจำนวนมากได้กล่าวถึงผลกระทบของวัณโรค มีดังต่อไปนี้ ผลการศึกษาประสบการณ์ชีวิตของผู้ป่วยวัณโรคปอด ที่ได้รับผลกระทบจากความล่าช้าในการเข้ารับการรักษา พบว่าเกิดผลกระทบทั้งต่อผู้ป่วยเอง อาทิเช่น ผู้ป่วยมีอาการรุนแรง ก่อนเข้ารับการรักษาส่งผลต่อชีวิตประจำวัน รวมไปถึงการทำงานที่ผู้ป่วยจำเป็นต้องหยุดงาน หรือต้องออกจากงานชั่วคราว นอกจากนี้ผู้ป่วยกล่าวถึงผลกระทบต่อตนเองในอนาคตในกรณีที่ผู้ป่วยมีระยะเวลาของความล่าช้าในการเข้ารับการรักษา จะส่งผลให้ผู้ป่วยมีความรุนแรงของโรคเพิ่มมากขึ้น จนอาจทำให้ถึงแก่ชีวิต ในขณะที่ผลกระทบต่อผู้อื่นนั้น ผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความคิดเห็น认为自己สามารถแพร่เชื้อวัณโรคให้กับคนใกล้ชิด โดยเฉพาะสมาชิกในครอบครัว ชุมชน หรือสังคมของตนเองได้

งานวิจัยเกี่ยวกับวัณโรคในเรือนจำแสดงให้เห็นถึงความรุนแรงของโรคนี้ที่สามารถแพร่เชื้อได้ง่าย โดยเฉพาะสถานที่แออัด พบว่าอัตราการป่วยเป็นวัณโรคในผู้ต้องขังสูงกว่าประชากรทั่วไป 3.2 เท่า ผู้ต้องขังโดยเฉลี่ยมีอายุน้อยกว่าผู้ป่วยทั่วไป (36.5 และ 45 ปี) ซึ่งช่วงอายุที่น้อยกว่าส่งผลให้ตอบสนองต่อการรักษาได้ดีกว่าผู้ป่วยทั่วไป (กัมปนาท ฉายชูวงศ์, 2020)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความชุกและการสูญเสียทางสุขภาพของผู้ป่วยวัณโรคในเรือนจำและทัณฑสถาน เขตกรุงเทพมหานคร 7 แห่ง ปี พ.ศ.2560 ในรูปแบบการศึกษาย้อนหลัง ในผู้ต้องขังจำนวน 222 คน ที่เข้ารับการรักษาวัณโรคปอด และคัดกรองวัณโรคเชิงรุก พบว่ามีผู้ป่วยวัณโรค 6.81 คน ต่อประชากร 1000 คน โดยพบว่าเป็นวัณโรคคือยาร้อยละ 0.90 และพบในผู้ป่วยชายมากกว่าเพศหญิง 21.20 เท่า (Targoolpua, & Rujira, 2020)

ผู้ป่วยวัณโรคหรือผู้ป่วยเรื้อรังที่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวจะรู้สึกเสียสภาพลักษณะตลอดจนฐานะทางการเงินลดลง ส่งผลให้ผู้ป่วยไม่สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสังคมได้อย่างเหมาะสม เกิดความผิดปกติทางด้านอารมณ์ ทำให้มีการแยกตัวจากสังคมมากขึ้น (Thaniwattananon, & P. Chailungka, 2020)

ผู้ป่วยวัณโรคจะแสดงออกถึงความรู้สึกที่ไม่ต้องการให้เพื่อนบ้านหรือเพื่อนร่วมงาน รู้สึกว่าป่วยเป็นโรค ผู้ป่วยไม่ต้องการให้อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน หรือเจ้าหน้าที่สถานีอนามัยมาเยี่ยมที่บ้านหรือให้คำแนะนำใด ๆ เนื่องจากเกรงว่าเพื่อนบ้านจะรับรู้และรังเกียจ ถือเป็นอุปสรรคในการเปิดเผยตนเองของผู้ป่วย ดังนั้นจึงต้องมีการใช้บุคลากรจำนวนมากในการรักษา ไม่ว่าจะเป็นที่เลี้ยงที่คอยควบคุม กำกับและดูแลการกินยา และช่วยปกปิดข้อมูลของผู้ป่วยไว้เป็นความลับเพื่อช่วยส่งเสริมให้ผู้ป่วยวัณโรคมีทัศนคติที่ดี มีกำลังใจและมีความตระหนักถึงความสำคัญในการกินยาอย่างต่อเนื่องจนครบตามแผนการรักษา (Choowong, & Jiraporn, 2019)

2.10.2 งานวิจัยวิธีการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย

การกำจัดเชื้อแบคทีเรียนั้นมีมากมายหลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก คือ การกำจัดเชื้อด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การใช้ความร้อน การใช้แสง และการกำจัดเชื้อด้วยวิธีทางเคมี เช่น การใช้สารเคมี ในบางครั้งอาจจะใช้วิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมีร่วมกัน ซึ่งในปัจจุบันการฆ่าเชื้อด้วยวิธีทางเคมีนั้นเป็นที่นิยมใช้ในสถานพยาบาล บ้านเรือนและในชีวิตประจำวันเนื่องจากทำได้รวดเร็ว ไม่มีกระบวนการที่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตามสารเคมีที่ใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้บางชนิดนั้นมีพิษและอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สัตว์เลี้ยง รวมไปถึงมนุษย์ จึงต้องระมัดระวังในการใช้งานรวมถึงจำกัดและควบคุมปริมาณเพื่อลดโอกาสอันก่อให้เกิดอันตราย จากการศึกษาการควบคุมป้องกันวัณโรค ซึ่งถือได้ว่าเป็นเชื้อโรคซึ่งเกิดจากแบคทีเรียชนิดหนึ่งนั้น ศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคของสหรัฐอเมริกาได้กล่าวถึงแนวทางที่ 2 ตามมาตรการป้องกันของโปรแกรมการควบคุมการติดเชื้อวัณโรค (Jensen et al., 2005) ซึ่งเป็นการควบคุมด้านสิ่งแวดล้อม วิธีเหล่านี้จะช่วยลดการแพร่กระจายและลดความเข้มข้นของเชื้อวัณโรคในอากาศเพื่อลดโอกาสการติดเชื้อในอากาศลง ได้แก่

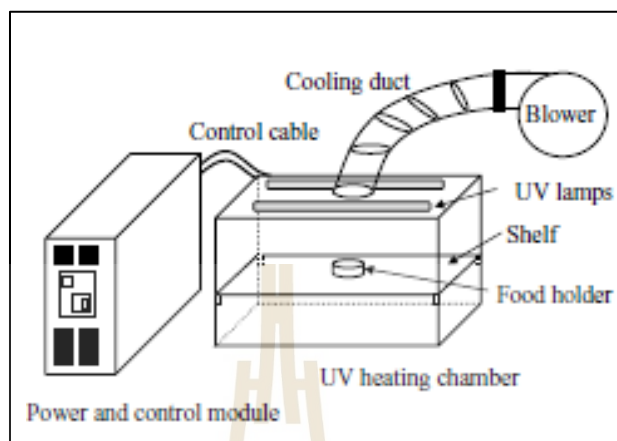
1) การระบายอากาศแบบทั่วไป (General ventilation) ตัวอย่างของวิธีการนี้จะเน้นเรื่องของการทำให้เจือจางและการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น การใช้ห้องความดันลบและการควบคุมการไหลของอากาศภายในอาคาร เป็นต้น

2) การระบายอากาศแบบเฉพาะที่ (Local exhaust ventilation) เป็นวิธีการควบคุมสิ่งปนเปื้อนหรือเชื้อโรคจากแหล่งกำเนิดไปกำจัดทันทีก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ เช่น Ventilated booth และ exterior hoods เป็นต้น

3) การฆ่าเชื้อโรคในอากาศ เป็นวิธีการกำจัดเชื้อก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศทั้งวิธีทางกายภาพและทางเคมี เช่น การฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต และการกรองอากาศ เป็นต้น

จากงานวิจัยเรื่อง Pulse uv-light treatment of corn meal for inactivation of aspergillus niger spores ของ Soojin Jun และคณะ (Jun et al., 2003) ได้ทำการศึกษาการฆ่าเชื้อ Aspergillus niger spores ในอากาศที่ปนเปื้อนในอาหารจำพวกธัญพืช โดยเฉพาะข้าวโพดโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตแบบพัลส์ ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งในส่วนของวิธีการทดลองระบุไว้ก่อน

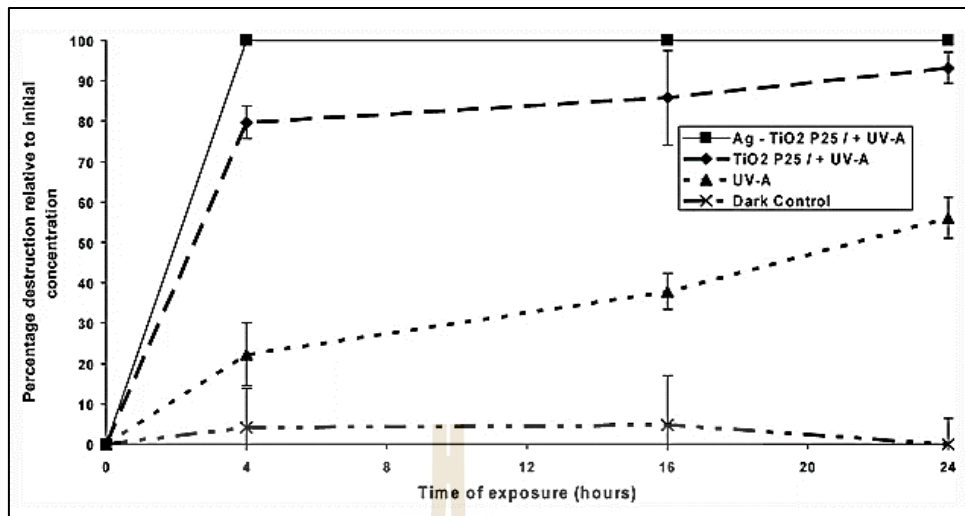
จะปลุกถ่ายเชื้อ *Aspergillus niger* spores ในข้าวโพดนั้น ข้าวโพดจำนวน 30 กรัมจะถูกนำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตในตู้ชีวนิรภัย เป็นเวลาติดต่อกัน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ Pulse uv light system (Jun et al., 2003)

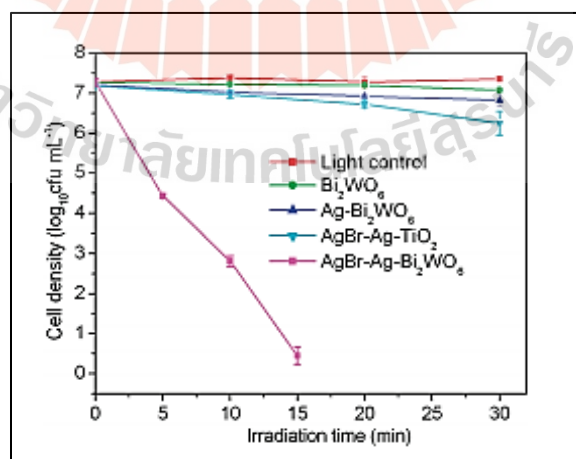
อย่างไรก็ตามวิธีการดังที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาในการกำจัดเชื้อไวรัส เนื่องจากใช้ระยะเวลาที่นาน ซึ่งปัจจุบันการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะติคนั้นกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน รวมไปถึงไม่มีสารพิษตกค้างอีกด้วย

จากงานวิจัยเรื่อง Enhanced photocatalytic inactivation of bacterial spores on surfaces in air ของ Vohra และคณะ (Vohra et al., 2005) ได้นำกระบวนการโฟโตคะตะไลติกเพื่อกำจัดแบคทีเรีย ชนิด *B. cereus* ด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV-A) โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เกรดการค้าเปรียบเทียบกับไทเทเนียมไดออกไซด์ผสมกับธาตุเงิน (Ag-TiO_2 P25) หลังจากผ่านการฉายแสงเป็นเวลา 24 ชั่วโมงพบว่า สารไทเทเนียมไดออกไซด์ผสมกับธาตุเงิน (Ag-TiO_2 P25) สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ 100 % โดยใช้เวลาเพียง 4 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์เกรดการค้า นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการฉายแสง UV-A กับการไม่ฉายแสงในกล่องที่พบว่าทั้งสองกรณีนั้นสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้การอย่างไรก็ตามการฉายแสงด้วย UV-A นั้นให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการไม่ฉายแสงในกล่องที่บ ดังรูปที่ 2.8



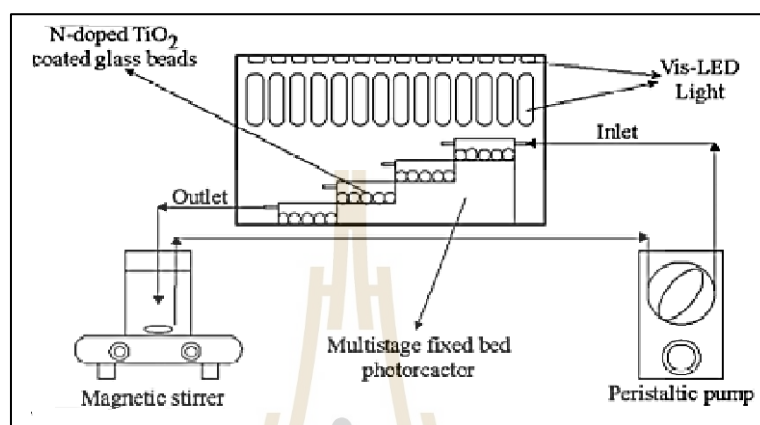
รูปที่ 2.8 กราฟเปรียบเทียบผลของการกำจัดเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เกรดการค้า (TiO_2 P25) กับ (Ag-TiO_2 P25) (Vohra et al., 2005)

จากงานวิจัยเรื่อง Effective photocatalytic disinfection of *E. coli* K-12 using $\text{AgBr-Ag-Bi}_2\text{WO}_6$ nanojunction system irradiated by visible Light ของ Zhang และคณะ (Zhang et al., 2010) ได้ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง $\text{AgBr-Ag-Bi}_2\text{WO}_6$ เพื่อใช้ในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* K-12 ด้วย Visible light พบว่า สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ภายในระยะเวลา 15 นาที ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟเปรียบเทียบผลของการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* K-12 ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกระหว่าง $\text{AgBr-Ag-Bi}_2\text{WO}_6$ กับสารชนิดอื่น ๆ (Zhang et al., 2010)

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่นำ N-TiO₂ มาประยุกต์ใช้ต่อยอดและพัฒนาเพื่อความสะดวกต่อการใช้งานโดยการ Coating ด้วยอะคริลิกให้ชิ้นงานมีขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร และสูง 15 มิลลิเมตร และนำไปใช้ใน Photoreactor เพื่อกำจัดเชื้อ E. coli ในน้ำดื่ม ภายใต้การใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Ajiboye et al., 2021) ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะของ Photoreactor ที่ใช้ในการกำจัดเชื้อ E. coli (Ajiboye et al., 2021)

นอกจากนี้ มีการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ และไทเทเนียมได-ออกไซด์ผสมที่สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.3





ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่ใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลติกเพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรีย

ตัวเร่งปฏิกิริยา	เชื้อแบคทีเรีย	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพ (%)	อ้างอิง
Rutile TiO ₂	E. coli	180	64.00	(Song et al., 2015)
Ag-TiO ₂ nanoparticles	E. coli	180	100.00	(Sreeja, & Shetty, 2016)
TiO ₂ -2%GO nanocomposites	E. coli	90	100.00	(Wang et al., 2016)
TiO ₂	Cryptosporidium	300	82.10	(Abeledo-Lamiero et al., 2016)
Ag-TiO ₂ /ZnO	S. Aureus	120	99.90	(Tallosoy et al., 2014)
(Fe,N) doped TiO ₂	E. coli	480	94.50	(He et al., 2009)
TiO ₂ nanotube	E. coli	50	95.00	(Ng et al., 2010)

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์

ตารางที่ 3.1 สารเคมี

สารเคมี	รูปสารเคมี
น้ำกลั่น (Deionized water)	
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	
อาหารเลี้ยงเชื้อ (Nutrient media)	
ไทเทเนียม มอนอล-บิวทอกไซด์ (Titanium (IV) butoxide)	

ตารางที่ 3.1 สารเคมี (ต่อ)

สารเคมี	รูปสารเคมี
เอทานอล (Ethanol)	
กรดแอสติติก (Acetic acid)	
แอมโมเนียมไนเตรต (Ammonium nitrate)	
ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO ₂ (N-TiO ₂ photocatalyst sample)	
หลอดไฟแอลอีดี (Warm white LED)	

3.2 อุปกรณ์



ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์	รูปวัสดุและอุปกรณ์
หลอดไฟยูวีซี (UVC light)	
ถังออกซิเจน (Oxygen tank)	
ตู้อบเชื้อ (Incubator)	
ตู้ปลอดเชื้อ (Bio safety cabinet)	
ไม้พันสำลีปราศจากเชื้อ (Swab)	

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ (ต่อ)

วัสดุและอุปกรณ์	รูปวัสดุและอุปกรณ์
จานเพาะเชื้อ (Petri dish)	
กล่องทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic box)	
ปลั๊กพ่วง (Plug)	
ชุดคลุมปฏิบัติการ (PPE Gown)	
เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)	

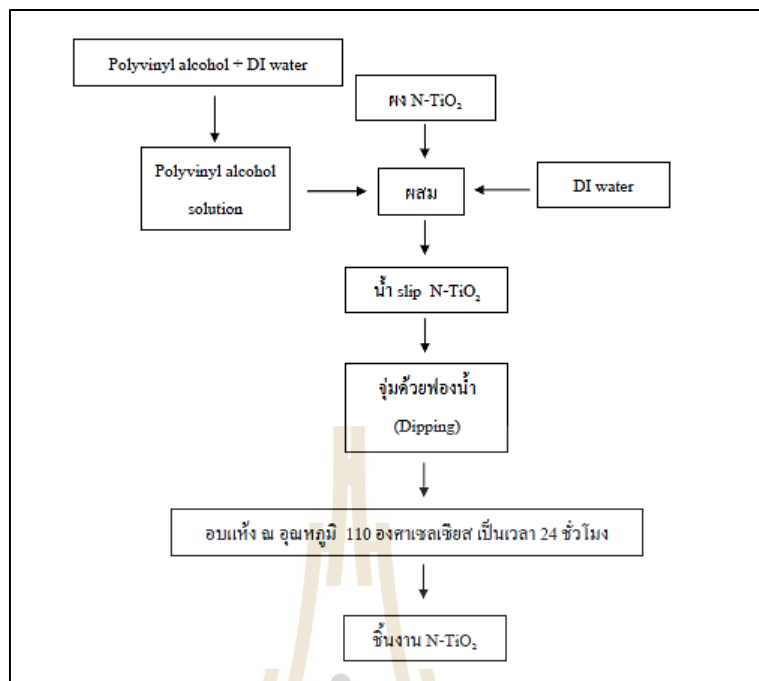
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ (ต่อ)

วัสดุและอุปกรณ์	รูปวัสดุและอุปกรณ์
เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux meter)	
เครื่องนับจำนวนโคโลนี (Colony counter)	

3.3 การทดลอง

3.3.1 การสังเคราะห์ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂

การสังเคราะห์ชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ ดำเนินการด้วยกระบวนการเตรียมแบบโซล-เจล จากนั้นนำผง N-TiO₂ ที่ได้จากการเผามาขึ้นรูปด้วยกระบวนการจุ่มชิ้นงาน โดยการนำสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมกับผง N-TiO₂ และน้ำ DI โดยใช้เครื่องบดแบบลูกบอลบดให้ละเอียดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้วสารละลายที่ได้จะถูกจุ่มด้วยฟองน้ำ ขนาดกว้าง 2 ซม. ยาว 3 ซม. และสูง 0.5 ซม. จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จะได้ชิ้นงาน N-TiO₂ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเตรียมชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂

3.3.2 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อวัณโรค

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสามารถเตรียมได้จากสูตร Ogawa ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ใช้เป็นหลัก ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

การเตรียมสารละลายเกลือ (Mineral salt solution) สามารถเตรียมได้โดยใช้ Sodium glutamate 5 กรัม ผสมกับ Potassium dihydrogen phosphate anhydrous (KH₂PO₄) 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 ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยใช้ Malachite green dye 2 กรัม ในน้ำ DI 100 มิลลิลิตร ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ ก่อนนำไปบ่มต่อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นเตรียมไข่ Whole egg homogenated ซึ่งสามารถเตรียมได้จากไข่ไก่ที่ใหม่ อายุไม่เกิน 7 วัน มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำผสมสบู่อ่อนและใช้แปรงถูเปลือกไข่เบา ๆ จากนั้นเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ 70 % ก่อนนำไข่มาตอกในภาชนะสะอาด ตรวจสอบคุณภาพไข่ทุกฟองก่อนนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว จากนั้นกรองไข่ที่ปั่นให้ได้ไข่แดงและไข่ขาวเข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วยผ้าก๊อชสะอาดที่ฆ่าเชื้อแล้ว หลังจากฆ่าเชื้อทำความสะอาดเสร็จแล้วจึงทำการเตรียมอาหารแข็งผสมไข่ (Ogawa media) ซึ่งสามารถเตรียมได้จากผสมสารละลายเกลือ 600 มิลลิลิตร, 2% Malachite green 20 มิลลิลิตร และ ไข่ 1,000 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้ฟองอากาศในอาหารลอยตัวออก แบ่งอาหารไข่ที่เตรียมได้ใส่จานเพาะเลี้ยงเชื้อพลาสติกขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลาง 90 x 15 มิลลิเมตร แบบแยกพื้นที่งานเป็น 2 ส่วน ชนิดปราศจากเชื้อ (Petri Dish, Dia. 90 x 15 mm., 2 Compartments, Sterile) ประมาณจานละ 30 มิลลิลิตร และอบนิ่งที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 55-60 นาที โดยใช้ตู้อบร้อนเพื่อทำให้อาหารแข็งตัว

3.3.3 การเพาะเลี้ยงเชื้อวัณโรค

หลังจากเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแล้ว กระบวนการถัดมาคือการหยอดเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยนำโคโลนีของเชื้อวัณโรคมาตรฐาน (H37RV) ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งชนิด Lowenstein-Jensen medium มาจำนวน 1 Plastic loop ใส่ลงในหลอดพลาสติกใสก้นกลมฝาเกลียวขนาด 10 มิลลิลิตร ที่มี Glass bead บรรจุอยู่ก้นหลอดประมาณ 5-7 เม็ดและผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว นำไปผสมด้วยเครื่องเขย่า (Vortex mixer) นาน 1 นาที เพื่อให้เชื้อแตกตัว ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที เติมน้ำกลั่นประมาณ 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปผสมด้วยเครื่องเขย่าอีกครั้ง ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที ดูดเชื้อจากส่วนใสด้านบนโดยใช้ปิเปตต์ (Sterile Plastic Pasteur Pipette) ใส่หลอดพลาสติกใสฝาเกลียวขนาด 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 โดยเมื่อสิ้นสุดขั้นตอนการทดลองปิดฝาจานเพาะเลี้ยงเชื้อให้สนิทแล้วนำไปบ่มเลี้ยงเชื้อในตู้อบ (Incubator) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

3.3.4 การนับจำนวนโคโลนี

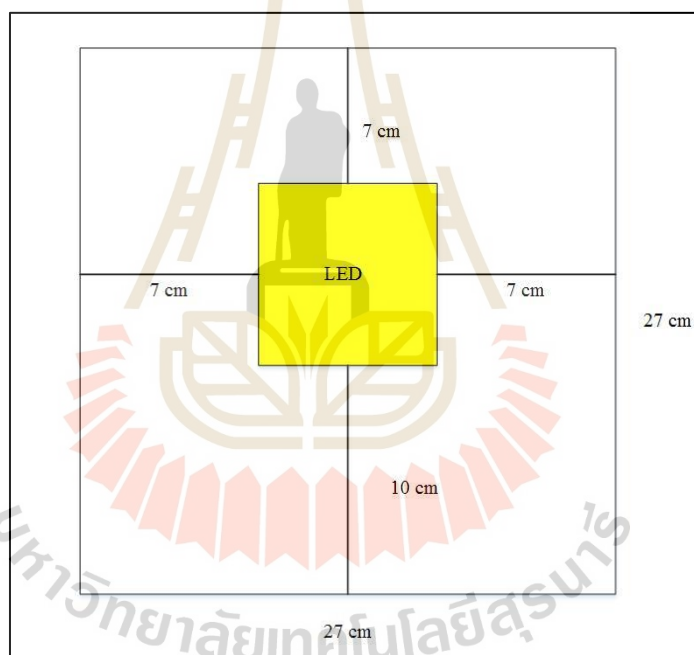
ในการนับโคโลนีของเชื้อวัณโรคมาตรฐาน (H37RV) จะทำการนับโดยใช้เครื่องนับจำนวนโคโลนีมาช่วยในการนับ ซึ่งสามารถนับได้ 2 แบบโดยการใช้ปากกามาร์กจุด หรือใช้การกดปุ่มบนตัวเครื่องมีจอแสดงค่าจำนวนโคโลนีที่นับได้ด้วยจอ LED ซึ่งขณะทำการนับจำนวนโคโลนีจะมีเสียงแจ้งเตือนทุกครั้งที่ทำกรนับ เครื่องประกอบด้วยเข็มปากกาสแตนเลสสำหรับการใช้นับจำนวนมีหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์สำหรับให้แสงสว่าง มีเครื่องมือปั๊ม Zero เพื่อลบค่าจำนวนที่นับ วิธีการนับจะทำการสังเกตโคโลนีของเชื้อวัณโรค ด้วยตาเปล่าหรือแว่นขยายและใช้ปากกามาร์กจุดที่เป็นบริเวณของเชื้ออาศัยอยู่ในจานเพาะเชื้อ และจดบันทึกจำนวนที่ได้หลังจากนับจำนวนโคโลนีจนครบหมดแล้ว

3.3.5 การศึกษาความสามารถในการกำจัดเชื้อวัณโรค

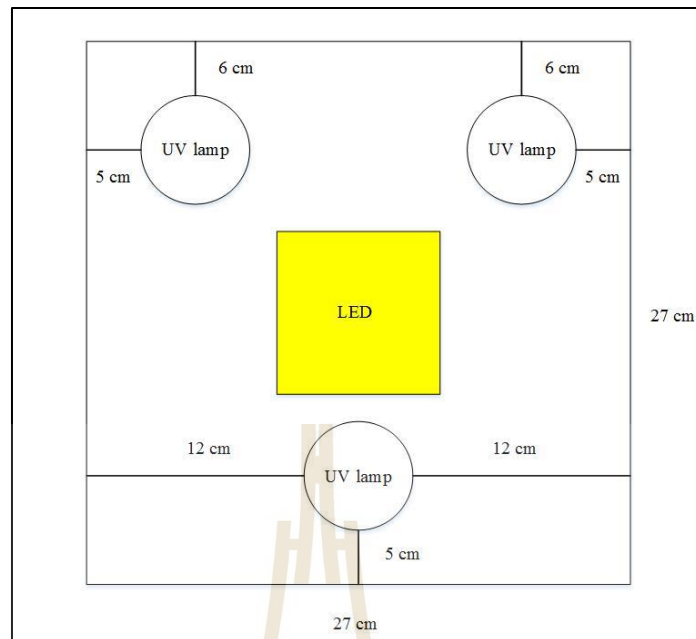
ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดลองในการศึกษาความสามารถในการกำจัดเชื้อวัณโรค

ลำดับ	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

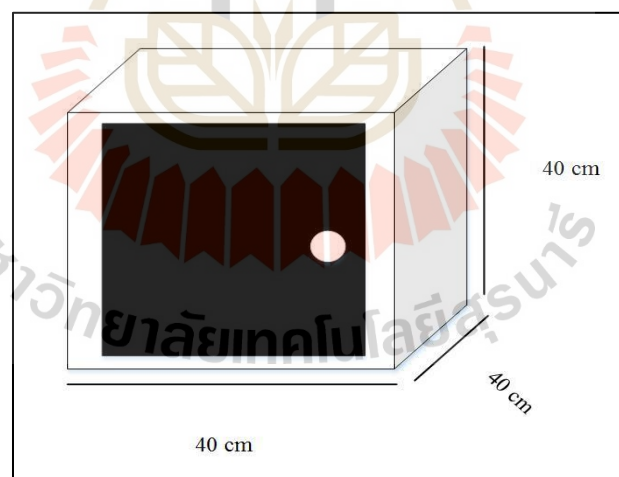
จากตารางที่ 3.3 แสดงถึงการออกแบบการทดลองในการศึกษาความสามารถในการกำจัดเชื้อไวรัสโรค ในจานเพาะเชื้อที่แบ่งออกเป็นสองด้านโดยกำหนดให้หนึ่งด้านถูกปิดฝาเพื่อไม่ให้ได้รับแสงและทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการทดลองจะถูกแบ่งออกได้ 3 การทดลองด้วยกัน โดยจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ ตามประเภทของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 จะใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible light) โดยใช้หลอด LED ที่ความเข้มแสง 1,772 ลักซ์ ฉายแสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ เป็นระยะเวลา 3 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ ดังรูปที่ 3.2 ส่วนในการทดลองที่ 3 จะเป็นการทดลองใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ต (LED+UVC) ฉายแสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ เป็นระยะเวลา 30 นาที ที่ค่าความเข้มแสง 1,785 ลักซ์ ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งการทดลองทั้งหมดจะถูกทดลองด้วยชุดทดลอง ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 โดยการฉายแสงจะมีระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับตัวเร่งปฏิกิริยา 10 เซนติเมตร



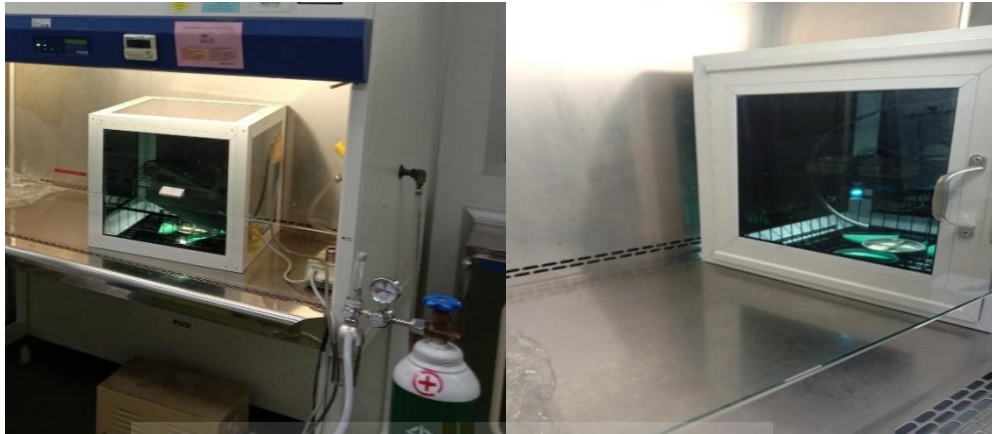
รูปที่ 3.2 การกำจัดเชื้อไวรัสโรคโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า



รูปที่ 3.3 การกำจัดเชื้อไวรัส โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต
ร่วมกับแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า



รูปที่ 3.4 กล่องทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการโฟโตคะตะไลติก



รูปที่ 3.5 ชุดทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อไวรัสด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก



บทที่ 4

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะแสดงถึงผลของการศึกษาการกำจัดเชื้อวัณโรค ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเชื้อ 10^3 CFU/ml ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกโดยใช้ชั้นงาน N-TiO₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แหล่งกำเนิดแสงชนิด LED และ UVC จากผลการศึกษสามารถอธิบายผลได้ดังนี้

4.2 การขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂

เพื่อความสะดวกในการประยุกต์ใช้งานในการกำจัดเชื้อวัณโรค ผง N-TiO₂ จึงถูกนำขึ้นรูปเป็นชั้นงาน ด้วยวิธีการจุ่มชั้นงาน ซึ่งพบว่าสัดส่วนของสารละลายสำหรับการจุ่มชั้นงานที่เหมาะสมที่สุดต่อการขึ้นรูป คือ การใช้สารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) 2.2 มิลลิลิตร และผสมกับผง N-TiO₂ 5 กรัม และน้ำ DI 5 มิลลิลิตร เมื่อจุ่มชั้นงานในสารละลายที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าผง N-TiO₂ สามารถยึดเกาะบนพื้นผิวของฟองน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ได้อย่างสะดวก ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ชั้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂

4.3 ผลการศึกษาการเลี้ยงเชื้อวัณโรคในงานเพาะเชื้อ

การเพาะเลี้ยงเชื้อวัณโรค โดยทั่วไปจะเป็นการเพาะเลี้ยงในขวดเพาะเชื้อซึ่งเป็นระบบปิดที่สามารถควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อได้ง่าย โดยการหยอดเชื้อด้วย Pipette ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีลักษณะปลายแหลมและกดหยอดเชื้อใส่ลงในขวดแก้วที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วปิดฝาขวด แต่ใน

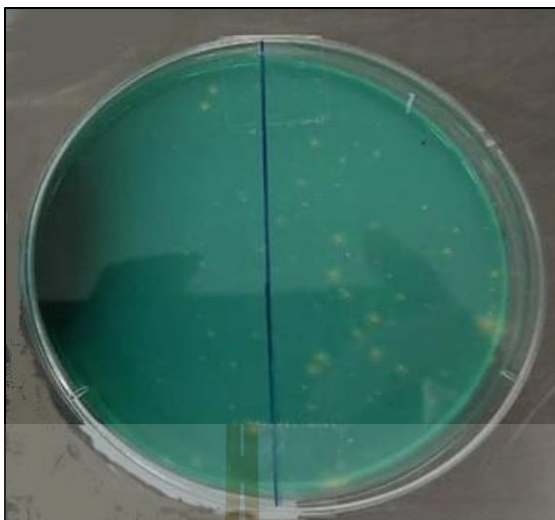
การทดลองครั้งนี้จะมีความแตกต่างออกไปเนื่องจากขวดเพาะเชื้อมีขนาดเล็ก และเมื่อทำการทดสอบไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จะเปลี่ยนการเลี้ยงเชื้อวัณโรค จากในขวดเป็นจานเพาะเชื้อ โดยแบ่งเป็น 3 การทดลองย่อย ๆ ดังนี้

1. เลี้ยงในจานเพาะเชื้อแบบช่องเดียว โดยใส่อาหารอาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 20 มิลลิลิตร และเลี้ยงเชื้อวัณโรคไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เมื่อครบกำหนดของการเลี้ยงเชื้อวัณโรค ปรากฏว่าอาหารเลี้ยงเชื้อมีความขุ่นลดลงซึ่งพื้นผิวแสดงลักษณะที่แห้ง และมีรอยแตก เมื่อทำการสำรวจเชื้อวัณโรคที่ทำการเพาะเลี้ยงลงในอาหารบนจานเพาะเชื้อแบบช่องเดียว พบว่าเชื้อวัณโรคไม่มีการเจริญเติบโตขึ้นเป็นโคโลนี ดังรูปที่ 4.2



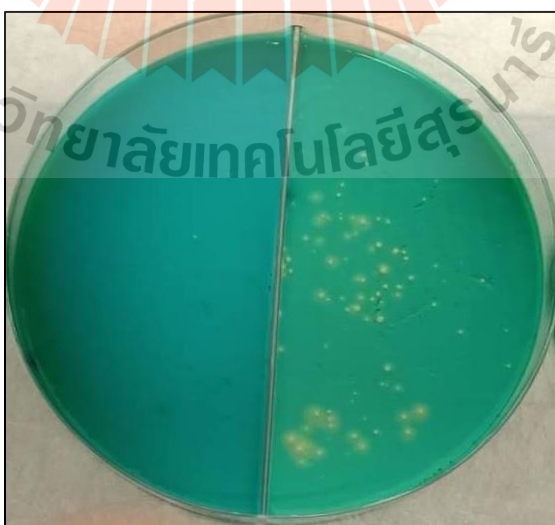
รูปที่ 4.2 การเลี้ยงเชื้อวัณโรคในจานเพาะเชื้อแบบช่องเดียวโดยใส่อาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 20 มิลลิลิตร

2. เลี้ยงในจานเพาะเชื้อแบบช่องเดียว โดยใส่อาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 50 มิลลิลิตร และเลี้ยงเชื้อวัณโรคไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เมื่อครบกำหนดของการเลี้ยงเชื้อวัณโรค ปรากฏว่าอาหารเลี้ยงเชื้อนั้นยังคงสภาพความขุ่นและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรค แต่เมื่อทำการทดลองพบว่า เชื้อมีการเจริญเติบโตข้ามมายังด้านที่ทดสอบ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลและยากต่อการจำแนกการกำจัดเชื้อวัณโรค ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเลี้ยงเชื้อวัณโรคในงานเพาะเชื้อแบบช่องเดียว โดยใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ
จำนวน 50 มิลลิลิตร

3. เลี้ยงในงานเพาะเชื้อแบบ 2 ช่อง โดยแบ่งครึ่งใส่อาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 50 มิลลิลิตร และเลี้ยงเชื้อวัณโรค วัที่อุณหภูมิต่ำ 37 องศาเซลเซียส เมื่อครบกำหนดของการเลี้ยงเชื้อปรากฏว่าอาหารเลี้ยงเชื้อนั้นยังคงสภาพความชื้นและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรคและมีเชื้อวัณโรคเจริญเติบโตขึ้นกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแยกกันชัดเจนกับด้านที่ทดสอบ และเหมาะสมต่อการทดลองการกำจัดเชื้อวัณโรค ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเลี้ยงเชื้อวัณโรคในงานเพาะเชื้อแบบ 2 ช่อง โดยใส่อาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 50 มิลลิลิตร

จากการศึกษาทั้งหมด 3 การทดลองแสดงให้เห็นว่า การเพาะเลี้ยงเชื้อวัณโรค ในจานเพาะเชื้อนั้นสามารถทำได้ แต่จำเป็นต้องมีการควบคุมดูแลอาหารเลี้ยงเชื้อที่เพียงพอ ซึ่งปริมาณอาหารเลี้ยงเชื้อวัณโรค ที่เหมาะสมนั้นมีปริมาณอยู่ที่ 50 มิลลิลิตร

4.4 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมของแหล่งกำเนิดแสง

ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนั้น โดยหลักการแล้วย่อมต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสง เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นการศึกษาแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ จึงเป็นสิ่งสำคัญในการศึกษาครั้งนี้เน้นศึกษาแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า จึงสามารถแบ่งการทดลองออกได้ 3 ส่วน ซึ่งผลการศึกษาเป็นดังนี้

1. แสงวอร์มไวท์ (Warm white) จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 วัตต์ ซึ่งมีความสว่างเท่ากับ 1,100 ลักซ์ ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เมื่อนำมาทดสอบในตู้ทดลองเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงปรากฏว่าอุณหภูมิสะสมภายในตู้ทดลองสูงถึง 42.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิสะสมที่สูงเกินไปอาจทำให้เชื้อวัณโรค ตายได้ในขณะที่ทำการทดลองและอีกประการหนึ่งคือขนาดของหลอดไฟนั้นมีความยาวมาก เวลาใส่ในตู้ทดลองจะทำให้ตัวหลอดมีระยะใกล้จานเพาะเชื้อมากเกินไป



รูปที่ 4.5 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 วัตต์

2. แสงวอร์มไวท์ (Warm White) จากหลอด LED 20 วัตต์ ซึ่งมีความสว่างเท่ากับ 2,300 ลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 เมื่อนำมาทดสอบในตู้ทดลองเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงปรากฏว่าอุณหภูมิสะสมภายในตู้ทดลองสูงถึง 48 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิสะสมที่สูงเกินไปอาจทำให้เชื้อวัณโรคตายได้ ในขณะที่ทำการทดลอง



รูปที่ 4.6 หลอด LED 20 วัตต์

3. แสงวอร์มไวท์ (Warm White) จากหลอด LED 10 วัตต์ ซึ่งมีความสว่างเท่ากับ 1,700 ลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เมื่อนำมาทดสอบในตู้ทดลองเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงปรากฏว่าอุณหภูมิสะสมภายในตู้อยู่ที่ 36 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิสะสมที่เหมาะสม ไม่ทำให้เชื้อวัณโรคตายในขณะทำการทดลอง



รูปที่ 4.7 หลอด LED 10 วัตต์

4.5 ผลการศึกษาความเข้มข้นของเชื้อวัณโรค

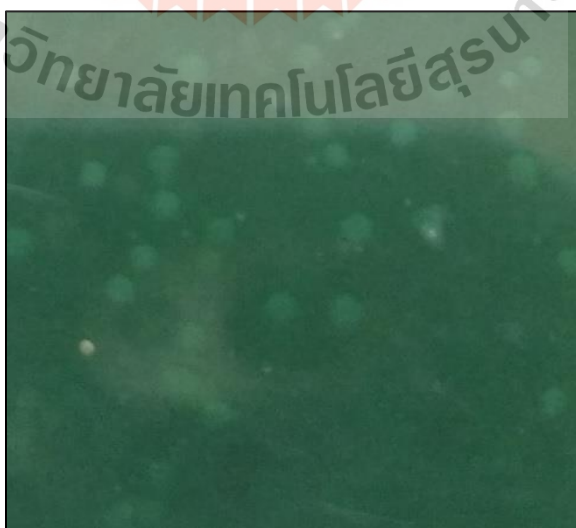
จากการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของเชื้อวัณโรคที่ 2 ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ 10^6 และ 10^3 CFU/ml พบว่า หลังจากที่ใช้แสงเลี้ยวเชื้อวัณโรค ที่ความเข้มข้น 10^6 CFU/ml นั้น ในงานเพาะเชื้อมีการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรค ขึ้นเป็นจำนวนมากจนไม่สามารถระบุจำนวนโคโลนี

ของเชื้อวัณโรค ได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 4.8 อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดต่อการนับจำนวนในภายหลังได้ ทำให้ยากต่อการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ใช้ในกระบวนการกำจัดเชื้อวัณโรค

ในขณะการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของเชื้อวัณโรคที่ความเข้มข้น 10^3 CFU/ml ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่อยู่ในระดับใกล้เคียงกับการแพร่กระจายของเชื้อวัณโรค ที่เกิดจากการไอหรือจามของผู้ป่วยวัณโรคพบว่า ในจานเพาะเชื้อที่มีการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรค กระจายตัวชัดเจนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถระบุจำนวนและตำแหน่งของแต่ละโคโลนีได้อย่างชัดเจน เหมาะแก่การนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในกระบวนการกำจัดเชื้อวัณโรค ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของเชื้อวัณโรค ที่ 10^6 CFU/ml



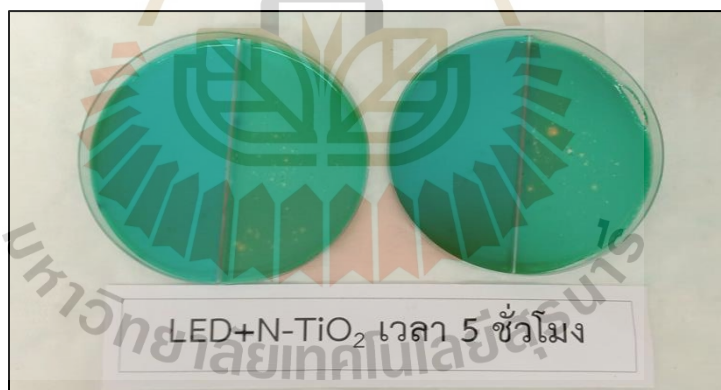
รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของเชื้อวัณโรค ที่ 10^3 CFU/ml

4.6 ผลการศึกษาการกำจัดเชื้อไวรัส

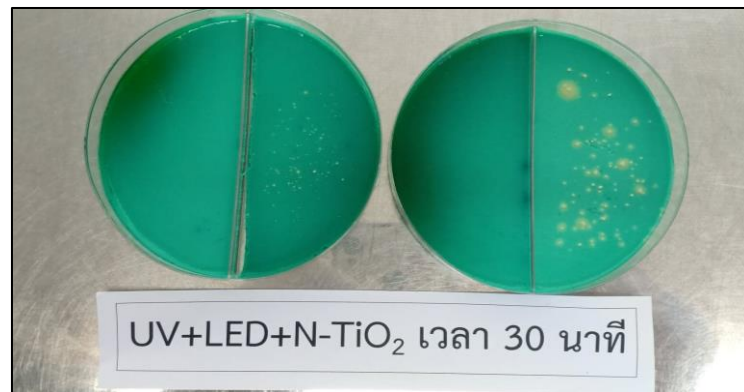
เมื่อนำชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ มาทดสอบความสามารถในการกำจัดเชื้อไวรัสด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) โดยตารางที่ 4.1 แสดงผลการกำจัดเชื้อไวรัส หลังกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการกำจัดเชื้อไวรัสหลังกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

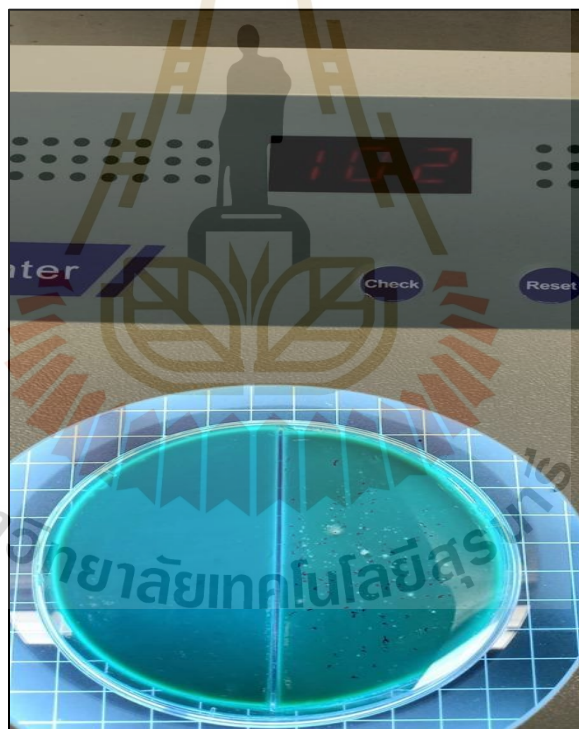
ลำดับ	แหล่งกำเนิดแสง	ตัวเร่งปฏิกิริยา	เวลา (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อไวรัส (%)
1	Warm White LED 10 Watt	N-TiO ₂	3	60
2	Warm White LED 10 Watt	N-TiO ₂	5	100
3	Warm White LED 10 Watt +UVC 10 Volt 3 Watt	N-TiO ₂	0.5	100



รูปที่ 4.10 ผลของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 5 ชั่วโมงโดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂



รูปที่ 4.11 ผลของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 30 นาที โดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂



รูปที่ 4.12 การนับจำนวนเชื้อด้วยเครื่อง Colony counter ของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 5 ชั่วโมงโดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂



รูปที่ 4.13 การนับจำนวนเชื้อด้วยเครื่อง Colony counter ของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 30 นาที โดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเลต (UVC) และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂

จากรูปที่ 4.12 และ รูปที่ 4.13 แสดงการนับจำนวนเชื้อไวรัสด้วยเครื่อง Colony counter ซึ่งงานเพาะเชื้อที่ใช้ทดสอบนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองฝั่ง โดยฝั่งซ้ายมือจะถูกทดสอบการกำจัดเชื้อไวรัสด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ส่วนฝั่งขวามือจะถูกปิดไว้ไม่ให้ได้รับแสงและประจุ จากกระบวนการโฟโตคะตะไลติกได้ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าในการทดลองที่ 1 เป็นการทดลองโดยใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ โดยมีระยะห่างที่ 10 ซม. พบว่าที่ขนาดความเข้มแสง 1,772 ลักซ์ เมื่อฉายแสงครบ 3 ชั่วโมง สามารถกำจัดเชื้อไวรัสคิดเป็นร้อยละ 60 และในการทดลองที่ 2 เมื่อฉายแสงด้วยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂ โดยการใช้หลอดไฟชนิด LED ที่ขนาดความเข้มแสง 1,772 ลักซ์ ที่ระยะห่าง 10 ซม. เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสงเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมงสามารถกำจัดเชื้อไวรัส คิดเป็นร้อยละ 100 ดังรูปที่ 4.10 นอกจากนี้ในการทดลองที่ 3 เมื่อฉายแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับแสงอัลตราไวโอเลตและตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂ เป็นระยะเวลา 30 นาที สามารถกำจัดเชื้อไวรัสได้ คิดเป็นร้อยละ 100 ดังแสดงในรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า การใช้แสงอัลตราไวโอเลตร่วมด้วยนั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้นด้วยระยะเวลาการฉายแสงที่ลดลงจากเดิม 10 เท่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Molla และคณะ (Molla et al., 2015) ที่ได้ศึกษาทดลองสลายเมทิลีนบลูด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก โดยใช้สารนาโนคอมโพสิต Ag-In-Ni-S เพื่อศึกษาความเข้มข้นของแสงและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าการใช้แสงอาทิตย์ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงสามารถสลายเมทิลีนบลูได้เร็วกว่าการไม่ใช้แสงใด ๆ (Dark condition) ถึง 6 เท่า และการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าจากหลอดไฟ 100 วัตต์ ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงสามารถสลายเมทิลีนบลูได้เร็วกว่าการไม่ใช้แสงใด ๆ (Dark condition) 3 เท่า นอกจากนี้ ยังพบว่า ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงที่น้อยกว่าจะสามารถให้ประสิทธิภาพในการสลายเมทิลีนบลูได้ต่ำกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 การกำจัดเชื้อไวรัส

การกำจัดเชื้อไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์โดยการใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลติกร่วมกับชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible light) พบว่าการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่านี้จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อไวรัสทั้งสองกรณี จากผลการทดลองพบว่าเมื่อฉายแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂ สามารถกำจัดเชื้อไวรัสได้เพียงร้อยละ 60 อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสงมากขึ้นนั้นก็สามารถให้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและสามารถกำจัดเชื้อไวรัสได้ทั้งหมดที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ในขณะที่การกำจัดเชื้อไวรัสด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂ พบว่าให้ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นโดยสามารถกำจัดเชื้อได้ถึงร้อยละ 100 ในระยะเวลาเพียง 30 นาทีเท่านั้น จากผลการศึกษาแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าในกระบวนการโฟโตคะตะไลติกในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อไวรัสได้ ซึ่งเหมาะที่จะนำมาศึกษาและพัฒนาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับงานปลอดเชื้อต่อไปเพื่อลดข้อจำกัดของแหล่งกำเนิดแสงแบบอัลตราไวโอเล็ตในเรื่องของการนำเข้าจากต่างประเทศและมีค่าใช้จ่ายที่สูง รวมไปถึงการนำไปใช้ไม่ถูกวิธีซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลติกเพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่นซึ่งก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ เช่น E. coli, Staphylococcus aureus, Clostridium perfringens เป็นต้น
2. สามารถนำไปพัฒนาเป็นต้นแบบนวัตกรรมสำหรับเทคโนโลยีปลอดเชื้อในอนาคตได้
3. ด้วยสถานการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในปัจจุบันจึงทำให้งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอด และประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคตามสถานที่เสี่ยงต่าง ๆ เช่น โรงพยาบาล รถโดยสารสาธารณะ และสถานที่ราชการต่าง ๆ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- กัมปนาท ฉายชวงษ์. (2020). ประสิทธิภาพชีวิตของผู้ป่วยวัณโรคปอดที่ได้รับผลกระทบจากความล่าช้าในการเข้ารับการรักษาประเทศไทย. *วารสารสหวิชาการเพื่อสุขภาพ*, 1(2), 77-90.
- Abeledo-Lameiro, M. J., Ares-Mazás, E., & Gómez-Couso, H. (2016). Evaluation of solar photocatalysis using TiO₂ slurry in the inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts in water. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 163, 92-99.
- Acocella, G. (1978). Clinical pharmacokinetics of rifampicin. *Clinical pharmacokinetics*, 3(2), 108-127.
- Ajiboye, Timothy O., Stephen O. Babalola, and Damian C. Onwudiwe. Photocatalytic Inactivation as a Method of Elimination of *E. coli* from Drinking Water. *Applied Sciences* 11.3 (2021): 1313.
- Armocida, E., & Martini, M. (2020). Tuberculosis: a timeless challenge for medicine. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, 61(2), E143.
- Banerjee, S., Pillai, S. C., Falaras, P., O'shea, K. E., Byrne, J. A., & Dionysiou, D. D. (2014). New insights into the mechanism of visible light photocatalysis. *The journal of physical chemistry letters*, 5(15), 2543-2554.
- Barroso, D. E., Carvalho, D. M., Santos, O. H., Nascimento, F. A., Werneck, G. L., & Netto, M. A. (2002). The effect of subcapsular meningococcal B+ C vaccine on the prognosis of patients with meningococcal disease. *Scandinavian journal of infectious diseases*, 34(6), 417-420.
- Blomberg, B., & Fourie, B. (2003). Fixed-dose combination drugs for tuberculosis. *Drugs*, 63(6), 535-553.
- Choowong, J. (2019). กลยุทธ์การลดการตีตราของผู้ป่วยวัณโรคปอดเสมหะบวกรายใหม่ในชุมชนจังหวัดตรัง (Strategies for reduction of stigma in people with new smear positive pulmonary tuberculosis patients in Trang province). *Journal of Health Research and Innovation-วารสาร วิจัย และ นวัตกรรม ทาง สุขภาพ*, 2(1).
- Dalrymple, O. K., Stefanakos, E., Trotz, M. A., & Goswami, D. Y. (2010). A review of the mechanisms and modeling of photocatalytic disinfection. *Applied Catalysis B: Environmental*, 98(1-2), 27-38.
- Davies, J., Gilbert, W., & Gorini, L. (1964). Streptomycin, suppression, and the code. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 51(5), 883.

- Deng, L., Mikusová, K., Robuck, K. G., Scherman, M., Brennan, P. J., & McNeil, M. R. (1995). Recognition of multiple effects of ethambutol on metabolism of mycobacterial cell envelope. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 39(3), 694-701.
- Edberg, S. C. L., Rice, E. W., Karlin, R. J., & Allen, M. J. (2000). Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of applied microbiology*, 88(S1), 106S-116S.
- Feller, L., Wood, N. H., Khammissa, R. A. G., Meyerov, R., Lemmer, J., & Chikte, U. M. E. (2009). Tuberculosis Part 4: control of Mycobacterium tuberculosis transmission in dental care facilities: communication corner. *South African Dental Journal*, 64(9), 408-410.
- Fogel, N. (2015). Tuberculosis: a disease without boundaries. *Tuberculosis*, 95(5), 527-531.
- Frith, J. (2014). History of tuberculosis. Part 2-the sanatoria and the discoveries of the tubercle bacillus. *Journal of Military and Veterans Health*, 22(2), 36-41.
- Gandhi, N. R., Nunn, P., Dheda, K., Schaaf, H. S., Zignol, M., Van Soolingen, D., ... & Bayona, J. (2010). Multidrug-resistant and extensively drug-resistant tuberculosis: a threat to global control of tuberculosis. *The Lancet*, 375(9728), 1830-1843.
- Goldman, A. L., & Braman, S. S. (1972). Isoniazid: a review with emphasis on adverse effects. *Chest*, 62(1), 71-77.
- Gram, Christian. Ueber die isolirte Färbung der Schizomyceten in Schnitt- und Trockenpräparaten. *Fortschritte der Medicin* 2 (1884): 185-189.
- Hawgood, B. J. (1999). Doctor Albert Calmette 1863–1933: founder of antivenomous serotherapy and of antituberculous BCG vaccination. *Toxicon*, 37(9), 1241-1258.
- He, R. L., Wei, Y., & Cao, W. B. (2009). Preparation of (Fe, N)-doped TiO₂ powders and their antibacterial activities under visible light irradiation. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 9(2), 1094-1097.
- Horsburgh Jr, C. R., Goldberg, S., Bethel, J., Chen, S., Colson, P. W., Hirsch-Moverman, Y., ... & Tuberculosis Epidemiologic Studies Consortium. (2010). Latent TB infection treatment acceptance and completion in the United States and Canada. *Chest*, 137(2), 401-409.
- Hüsken, G., Hunger, M., & Brouwers, H. J. H. (2009). Experimental study of photocatalytic concrete products for air purification. *Building and environment*, 44(12), 2463-2474.
- Jensen, P. A., Lambert, L. A., Iademarco, M. F., & Ridzon, R. (2005). *Guidelines for preventing the transmission of Mycobacterium tuberculosis in health-care settings*, 2005.

- Jun, Soojin, et al. Pulsed UV-light treatment of corn meal for inactivation of *Aspergillus niger* spores. *International Journal of Food Science & Technology* 38.8 (2003): 883-888.
- Katoch, V. M. (2004). Infections due to non-tuberculous mycobacteria (NTM). *Indian Journal of Medical Research*, 120, 290-304.
- Lewinsohn, D. M., Tydeman, I. S., Frieder, M., Grotzke, J. E., Lines, R. A., Ahmed, S., ... & Lewinsohn, D. A. (2006). High resolution radiographic and fine immunologic definition of TB disease progression in the rhesus macaque. *Microbes and infection*, 8(11), 2587-2598.
- Manabe, Y. C., Zawedde-Muyanja, S., Burnett, S. M., Mugabe, F., Naikoba, S., & Coutinho, A. (2015, January). Rapid improvement in passive tuberculosis case detection and tuberculosis treatment outcomes after implementation of a bundled laboratory diagnostic and on-site training intervention targeting mid-level providers. In *Open forum infectious diseases* (Vol. 2, No. 1). Oxford University Press.
- Mo, S. D., & Ching, W. Y. (1995). Electronic and optical properties of three phases of titanium dioxide: Rutile, anatase, and brookite. *Physical review B*, 51(19), 13023.
- Molla, Aniruddha, Meenakshi Sahu, and Sahid Hussain. Under dark and visible light: fast degradation of methylene blue in the presence of Ag-In-Ni-S nanocomposites. *Journal of Materials Chemistry A* 3.30 (2015): 15616-15625.
- Monot, M., Honoré, N., Garnier, T., Zidane, N., Sherafi, D., Paniz-Mondolfi, A., ... & Cole, S. T. (2009). Comparative genomic and phylogeographic analysis of *Mycobacterium leprae*. *Nature genetics*, 41(12), 1282-1289.
- Nardell, E. A., Williams, C. M., Bell, A. J., Malinga, L., Ramsheh, M. Y., Bakir, A., ... & Barer, M. (2016). TB airborne transmission: first gene expression signatures of captured, uncultured *M. tuberculosis* from human source aerosol. In D107. *TUBERCULOSIS INFECTION AND DISEASE: EPIDEMIOLOGY AND DIAGNOSIS* (pp. A7934-A7934). American Thoracic Society.
- Ng, J., Zhang, X., Zhang, T., Pan, J. H., Du, J. H. A., & Sun, D. D. (2010). Construction of self-organized free-standing TiO₂ nanotube arrays for effective disinfection of drinking water. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85(8), 1061-1066.
- Pawlowski, A., Jansson, M., Sköld, M., Rottenberg, M. E., & Källenius, G. (2012). Tuberculosis and HIV co-infection. *PLoS pathogens*, 8(2), e1002464.
- Pelaez, M., Nolan, N. T., Pillai, S. C., Seery, M. K., Falaras, P., Kontos, A. G., ... & Dionysiou, D. D. (2012). A review on the visible light active titanium dioxide photocatalysts for environmental applications. *Applied Catalysis B: Environmental*, 125, 331-349.

- Raizada, N., Sachdeva, K. S., Nair, S. A., Kulsange, S., Gupta, R. S., Thakur, R., ... & Paramsvan, C. N. (2014). Enhancing TB case detection: experience in offering upfront Xpert MTB/RIF testing to pediatric presumptive TB and DR TB cases for early rapid diagnosis of drug sensitive and drug resistant TB. *PLoS one*, 9(8), e105346.
- Rao, M., Valentini, D., Poiret, T., Dodoo, E., Parida, S., Zumla, A., ... & Maeurer, M. (2015). B in TB: B cells as mediators of clinically relevant immune responses in tuberculosis. *Clinical Infectious Diseases*, 61(suppl_3), S225-S234.
- Reddy, P. A. K., Reddy, P. V. L., Kwon, E., Kim, K. H., Akter, T., & Kalagara, S. (2016). Recent advances in photocatalytic treatment of pollutants in aqueous media. *Environment international*, 91, 94-103.
- Sachs, J. D. (2012). From millennium development goals to sustainable development goals. *The lancet*, 379(9832), 2206-2211.
- Song, M. S., Vijayarangamuthu, K., Han, E., Jeon, K. J., & Seo, J. W. (2016). Enhancement of photocatalytic disinfection of surface modified rutile TiO₂ nanocatalyst. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 33(8), 2392-2395.
- Sreeja, S., & Shetty, V. (2016). Microbial disinfection of water with endotoxin degradation by photocatalysis using Ag@ TiO₂ core shell nanoparticles. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(18), 18154-18164.
- Sugunan, A., Guduru, V. K., Uheida, A., Toprak, M. S., & Muhammed, M. (2010). Radially oriented ZnO nanowires on flexible poly-L-lactide nanofibers for continuous-flow photocatalytic water purification. *Journal of the American Ceramic Society*, 93(11), 3740-3744.
- Tallósy, S. P., Janovák, L., Ménesi, J., Nagy, E., Juhász, Á., Balázs, L., ... & Dékány, I. (2014). Investigation of the antibacterial effects of silver-modified TiO₂ and ZnO plasmonic photocatalysts embedded in polymer thin films. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(19), 11155-11167.
- Tangkuha, P. (2020). ภาวะการระบาดของโรคเอดส์ ปี ที่ 32 ฉบับ ที่ 3 ตั้งแต่ เดือน มิถุนายน-กันยายน 2563. *Thai AIDS Journal*, 32(3), 79-131.
- Targoolpua, R., Kitphati, R., Trikunakornwong, A., & Songin, A. (2020). Prevalence and Disability Adjusted Life Years (DALYs) among Tuberculosis-ความชุกและการสูญเสียปีสุขภาวะ (DALYs) ของผู้ป่วยวัณโรคในเรือนจำ และ ทัณฑสถานเขตกรุงเทพมหานคร ปี พ. ศ 2560. *Journal of Health Science-วารสาร วิชาการ สาธารณสุข*, 29(1), 5-14.
- Teixeira, L., Perkins, M. D., Johnson, J. L., Keller, R., Palaci, M., do Valle Dettoni, V., ... & Dietze, R. (2001). Infection and disease among household contacts of patients with multidrug-resistant tuberculosis. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 5(4), 321-328.

- Thakur, H., Kaur, N., Sabherwal, P., Sareen, D., & Prabhakar, N. (2017). Aptamer based voltammetric biosensor for the detection of Mycobacterium tuberculosis antigen MPT64. *Microchimica Acta*, 184(7), 1915-1922.
- Thaniwattananon, P., & Chailungka, P. (2020). Health problems and use of complementary healing methods in HIV/AIDS patients in hospitals in Songkhla province, southern Thailand. *Songklanagarind Medical Journal*, 25(4), 283-294.
- Uplekar, M., Weil, D., Lonroth, K., Jaramillo, E., Lienhardt, C., Dias, H. M., ... & Raviglione, M. (2015). WHO's new end TB strategy. *The Lancet*, 385(9979), 1799-1801.
- Vareldzis, B. P., Grosset, J., De Kantor, I., Crofton, J., Laszlo, A., Felten, M., ... & Kochi, A. (1994). Drug-resistant tuberculosis: laboratory issues: World Health Organization recommendations. *Tubercle and Lung Disease*, 75(1), 1-7.
- Vohra, A., Goswami, D. Y., Deshpande, D. A., & Block, S. S. (2005). Enhanced photocatalytic inactivation of bacterial spores on surfaces in air. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 32(8), 364.
- Wainwright, M. (1991). Streptomycin: discovery and resultant controversy. *History and philosophy of the life sciences*, 97-124.
- Wang, G., Feng, W., Zeng, X., Wang, Z., Feng, C., McCarthy, D. T., ... & Zhang, X. (2016). Highly recoverable TiO₂-GO nanocomposites for stormwater disinfection. *Water research*, 94, 363-370.
- Wampande, E. M., Mupere, E., Jaganath, D., Nsereko, M., Mayanja, H. K., Eisenach, K., ... & Joloba, M. L. (2015). Distribution and transmission of Mycobacterium tuberculosis complex lineages among children in peri-urban Kampala, Uganda. *BMC pediatrics*, 15(1), 1-7.
- Wirth, T., Hildebrand, F., Allix-Béguet, C., Wölbeling, F., Kubica, T., Kremer, K., ... & Niemann, S. (2008). Origin, spread and demography of the Mycobacterium tuberculosis complex. *PLoS pathogens*, 4(9), e1000160.
- World Health Organization. (2008). *Policy guidance on drug-susceptibility testing (DST) of second-line antituberculosis drugs* (No. WHO/HTM/TB/2008.392). World Health Organization.
- Yu, H., Irie, H., & Hashimoto, K. (2010). Conduction band energy level control of titanium dioxide: toward an efficient visible-light-sensitive photocatalyst. *Journal of the American Chemical Society*, 132(20), 6898-6899.
- Zhang, L.-S., et al., Effective photocatalytic disinfection of E. coli K-12 using AgBr- Ag-Bi₂WO₆ nanojunction system irradiated by visible light: the role of diffusing hydroxyl radicals. *Environmental science & technology*, 2010. 44(4): p. 1392-1398.

ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

เฉลิมพล ประสาทงาม. (2021). การศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของ N-TiO₂ โฟโต คะ ตะไลติก ในการกำจัดเชื้อไวรัสโรค. The office of disease prevention and control 9th Nakhon Ratchasima Journal, 27(1), 36-45.



การศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของ N-TiO₂ โฟโตคะตะไลติก เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Mycobacterium tuberculosis

Study and Testing the Efficiency of N-TiO₂ Photocatalyst for Mycobacterium Tuberculosis

Growth Inhibition

เฉลิมพล ประสาทงาม¹, สุขเกษม วัชรามัยสกุล^{2*} และ เสวียน คำหอม³

Chalermpol Prasartngam¹, Sukasem Watcharamaisakul^{2*} and Swian Kamhom³

¹สาขาวิชาวิศวกรรม วิศวกรรมแพทย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

²ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีววิทยาศาสตร์ทางการแพทย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

³สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา

¹School of Biomedical Innovation Engineering, Suranaree University of Technology

²Center of Excellence in Biomechanics Medicine, Suranaree University of Technology

³The 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) โดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยใช้ชั้นงาน N-TiO₂ ที่เตรียมด้วยกระบวนการโซล-เจล และนำไปขึ้นรูปเป็นชั้นงานฟองน้ำด้วยกระบวนการจุ่ม เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทดสอบโดยการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible light) ลงบนงานใส่ชั้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ เพื่อให้เกิดการปล่อยประจุยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ที่กระจายตัวอยู่บนงานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้องและในบรรยากาศห้องความดันลบ ผลการศึกษา พบว่า กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนั้น ชั้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ภายใต้การฉายแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 60 และ 100 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาฉายแสงด้วยแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ระยะเวลา 30 นาที พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ได้ร้อยละ 100

คำสำคัญ: การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB, N-TiO₂, โฟโตคะตะไลติก, กระบวนการโซล-เจล, กระบวนการจุ่มชั้นงาน

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-TiO₂ 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-TiO₂ photocatalyst at room temperature in a negative pressure room. The results showed that N-TiO₂ 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%.

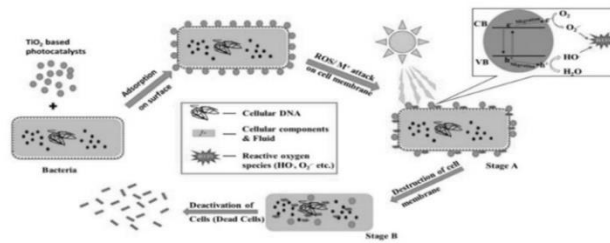
Keywords: MTB growth inhibition, N-TiO₂, photocatalytic process, sol-gel process, dipping process

บทนำ

วัณโรคเป็นโรคติดต่อที่เป็นปัญหาสำคัญทางการแพทย์และสาธารณสุขทั่วโลก⁽¹⁾ เนื่องจากเป็นโรคติดต่อทางเดินหายใจจากคนสู่คน (Airborne transmission) สถานพยาบาลเป็นสถานที่ผู้ป่วยไปรับบริการสุขภาพหรือสถานที่แออัดจึงมีความเสี่ยงสูงในการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคไปสู่บุคคลอื่น ๆ⁽²⁾ ดังนั้น การป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค (MTB) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อแผนการดำเนินงานควบคุมวัณโรค ปัจจุบันนิยมยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB โดยการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต โดยเฉพาะ UVC เนื่องจากให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือเชื้อโรคต่าง ๆ รวมถึงเชื้อ MTB อย่างไรก็ตามการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตยังคงมีข้อจำกัดเรื่องการนำเข้ามาจากต่างประเทศและมีค่าใช้จ่ายสูงและหากนำไปใช้ไม่ถูกวิธีอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้

ปี ค.ศ.1972 กระบวนการโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic process) หรือกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ได้รับความสนใจอย่างมากซึ่งถูกค้นพบโดยนักวิจัยชาวญี่ปุ่น ได้แก่ Fujishima, Honda and Kikuchi ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากระตุ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น กล่าวคือ เมื่อโมเลกุลของสารปนเปื้อนถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยโมเลกุลที่ถูกดูดซับจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านของการจัดเรียงตัวอิเล็กตรอนและบางพันธะของโมเลกุลเริ่มสลายตัว⁽³⁾ ปัจจุบันกระบวนการโฟโตคะตะไลติกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายด้าน เช่น การบำบัดน้ำเสีย การกำจัดมลพิษในอากาศ รวมไปถึงการฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ⁽⁴⁾ การนำไปประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งนิยมใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นหลัก เนื่องจากมีแถบช่องว่างของพลังงาน (Energy band gap) แคบและมีประสิทธิภาพที่สามารถสลายสารประกอบอินทรีย์เกือบทุกชนิดได้ อย่างไรก็ตามไทเทเนียมไดออกไซด์ยังคงมีข้อจำกัด เรื่องการใช้งานได้เพียงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet, UV) เท่านั้น เนื่องจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและหลุมอิเล็กตรอนในไทเทเนียมไดออกไซด์อย่างรวดเร็วหลังจากการกระตุ้นด้วยแสง ดังนั้นจึงมีการเติมสารจำพวกไอออนของโลหะและอโลหะบางชนิด เช่น Ag⁺, Fe³⁺, Zn²⁺, C, S และ N เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียม โดยสารที่ผสมเข้าไปนั้นจะเป็นตัวกักเก็บอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นไม่ให้กลับมารวมตัวกับหลุมประจุบวกในแถบเวเลนซ์ ช่วยให้เกิดการถ่ายเทของอิเล็กตรอนสูงขึ้น ทำให้สามารถตอบสนองต่อแสงที่มองเห็นได้ (Visible light)⁽⁵⁾

ปัจจุบันพบงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างกว้างขวางในทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัลที่เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกที่บริเวณแถบวาเลนซ์นั้นจะไปทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย และก่อให้เกิดการสูญเสียโพแทสเซียมไอออน นอกจากนี้ยังมีเรดิคัลอีกหลายชนิดที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ เช่น เปอร์ออกไซด์เรดิคัล โดยเฉพาะเรดิคัลประจุลบสามารถทำลายเยื่อหุ้มฟอสโฟลิพิดในผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้⁽⁶⁾ ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า เรดิคัลเหล่านี้สามารถทำลายได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก (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-TiO₂
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Mycobacterium tuberculosis ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ โดยใช้แสง UVC และ LED

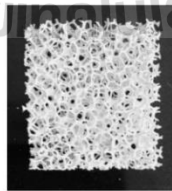
ขอบเขตงานวิจัย

1. ความเข้มของแสงที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB โดยใช้ LED 1772 ลิกซ์ และ LED ร่วมกับ UVC 1785 ลิกซ์
2. เวลาที่ใช้แสง UVC และ LED ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB 0.5, 3 และ 5 ชั่วโมง
3. ปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของเชื้อ MTB 10³ CFU/ml
4. การวัดปริมาณการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ โดยใช้วิธีการ Colony counter

วัสดุและวิธีการทดลอง

การสังเคราะห์ชั้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂

การสังเคราะห์ชั้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ ดำเนินการด้วยกระบวนการเตรียมแบบโซล-เจล จากนั้นนำผง N-TiO₂ ที่ได้จากการเผามาขึ้นรูปด้วยกระบวนการจุ่มชั้นงาน โดยการนำสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมกับผง N-TiO₂ และน้ำ DI โดยใช้เครื่องบดแบบลูกบอลบดให้ละเอียดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้วสารละลายที่ได้จะถูกจุ่มด้วยฟองน้ำขนาดกว้าง 2 ซม. ยาว 3 ซม. สูง 0.5 ซม. จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จะได้ชั้นงาน N-TiO₂ ออกมาดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชั้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂⁽⁸⁾

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ MTB

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสามารถเตรียมได้จากสูตร Ogawa ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ใช้เป็นหลัก มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

การเตรียมสารละลายเกลือ (Mineral salt solution) สามารถเตรียมด้วยการใช้ Sodium glutamate 5 กรัม ผสมกับ Potassium dihydrogen phosphate anhydrous (KH₂PO₄) 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 ซึ่งสามารถเตรียมได้จากไข่ไก่ใหม่ อายุไม่เกิน 7 วัน มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำผสมสบู่อ่อนและใช้แปรงถูเปลือกไข่เบา ๆ จากนั้นเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ 70 % ก่อนนำไข่มาตอกในภาชนะสะอาด ตรวจสอบคุณภาพไข่ทุกฟองก่อนนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว จากนั้นกรองไข่ที่ปั่นไข่แดงและไข่ขาวจนเป็นเนื้อเดียวกันด้วยผ้าก๊อชสะอาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ หลังจากฆ่าเชื้อทำความสะอาดเสร็จแล้วจึงทำการเตรียมอาหารแข็งผสมไข่ (Ogawa media) ซึ่งสามารถเตรียมได้จากผสมสารละลายเกลือ 600 มิลลิลิตร, 2% Malachite green 20 มิลลิลิตร และ ไข่ 1,000 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้ฟองอากาศในอาหารลอยตัว ออก แบ่งอาหารไข่ที่เตรียมได้ใส่จานเพาะเลี้ยงเชื้อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 x 15 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 ใส่ลงในหลอดพลาสติกใส่ก้นกลมฝาเกลียวขนาด 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 ตูดเชื้อจากส่วนใสด้านบนโดยใช้ปิเปตต์ (Sterile Plastic Pasteur Pipette) ใส่หลอดพลาสติกใส่ฝาเกลียว ขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับความชื้นของเชื้อด้วยน้ำกลั่นให้ได้เท่าความชื้นมาตรฐาน McFarland no.1 โดยใช้เครื่องวัดความชื้น (DEN-1B Densitometer) เป็นตัววัด ซึ่งจะมีปริมาณเชื้อเท่ากับ 10⁷ CFU/ml แล้วทำการเจือจาง (dilute) เชื้อด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งให้ได้ความเข้มข้น 10³ CFU/ml จากนั้นใช้ปิเปตต์อัตโนมัติ (Automatic Pipette) ตูดเชื้อความเข้มข้น 10³ CFU/ml ที่เตรียมได้ จำนวน 50 ไมโครลิตร ใส่ลงบนผิวอาหารจานเพาะเลี้ยงเชื้อแต่ละส่วน แล้วใช้ sterile loop ป้าย (streak) เชื้อให้ทั่วพื้นผิวอาหารเลี้ยงเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อจนครบทั้งสองส่วน เพื่อนำไปใช้สำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป โดยเมื่อสิ้นสุดขั้นตอนการทดลอง ก็ปิดฝาจานเพาะเลี้ยงเชื้อให้สนิท แล้วนำไปบ่มเลี้ยงเชื้อในตู้อบ (Incubator) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

การอ่านผลเพาะเลี้ยงเชื้อ MTB

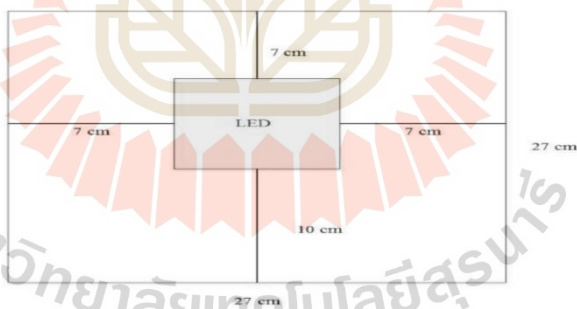
การอ่านผลเพาะเลี้ยงเชื้อจะอ่านผลเมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 3 (ภายหลังจากการทดลองเป็นระยะเวลา 21 วัน) ซึ่งเชื้อจะเจริญ (Growth) สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงทำการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อด้วยเครื่อง Colony Counter

การศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB

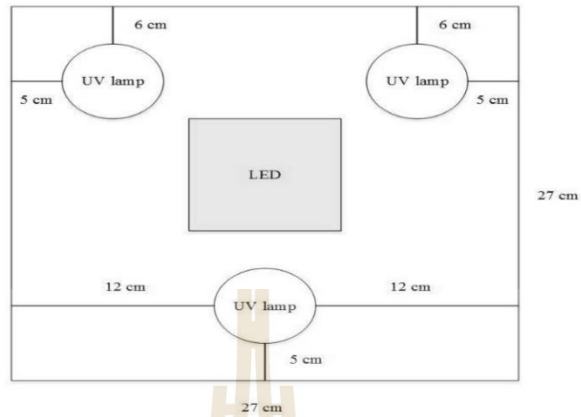
ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองในการศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB

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

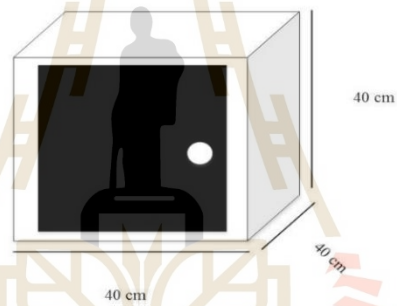
จากตารางที่ 1 พบว่า การออกแบบการทดลองในการศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ในจานเพาะเชื้อที่แบ่งเป็นสองด้านโดยกำหนดให้หนึ่งด้านถูกปิดฝาเพื่อไม่ให้ได้รับแสงและทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการทดลองจะถูกแบ่งออกได้ 3 การทดลองด้วยกัน โดยจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ ตามประเภทของแหล่งกำเนิดแสงซึ่งในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 จะใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible light) โดยใช้หลอด LED ที่ความเข้มแสง 1,772 ลักซ์ ฉายแสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ เป็นระยะเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 ส่วนในการทดลองที่ 3 จะเป็นการทดลองใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ต (LED + UVC) ฉายแสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ 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 โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต ร่วมกับแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า



รูปที่ 5 กล่องทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการโฟโตคะตะไลติก



รูปที่ 6 ชุดทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

เมื่อนำชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) โดยตารางที่ 2 แสดงผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB หลังกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB หลังกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

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



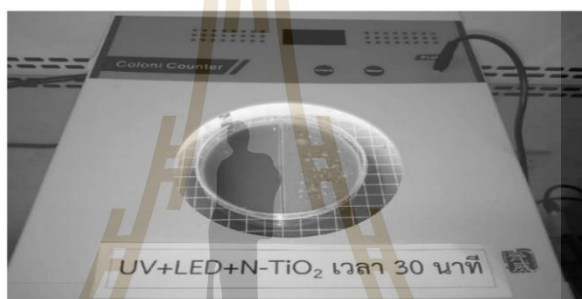
รูปที่ 7 ผลของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 5 ชั่วโมงโดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂



รูปที่ 8 ผลของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 30 นาที โดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂

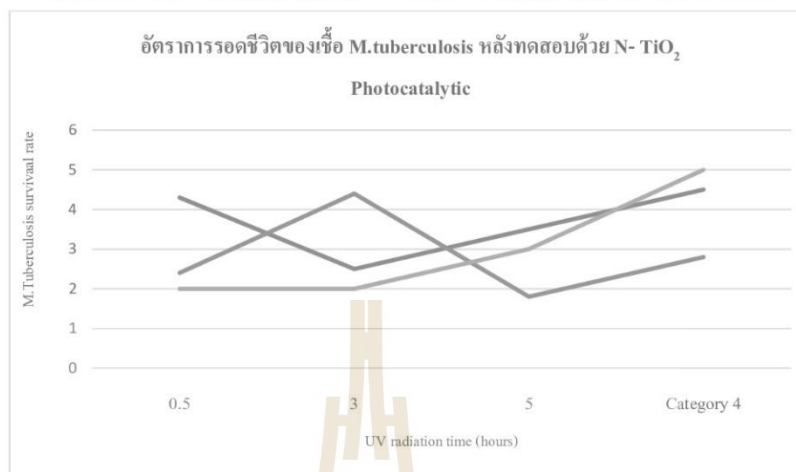


รูปที่ 9 การนับจำนวนเชื้อด้วยเครื่อง Colony counter ของการฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 5 ชั่วโมงโดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยแสง N-TiO₂



รูปที่ 10 การนับจำนวนเชื้อด้วยเครื่อง Colony counter การฉายแสงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก 30 นาที โดยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (LED) ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยแสง N-TiO₂

จากรูปที่ 9 และ 10 แสดงการนับจำนวนเชื้อ MTB ด้วยเครื่อง Colony counter ซึ่งงานเพาะเชื้อที่ใช้ทดสอบนั้น จะถูกแบ่งออกเป็นสองด้าน ด้านซ้ายจะถูกทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ส่วนด้านขวาจะถูกปิดไว้ไม่ให้ได้รับแสงและประจุจากกระบวนการโฟโตคะตะไลติกได้ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า การทดลองที่ 1 และ 2 เมื่อฉายแสงด้วยการใช้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂ 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 เมื่อฉายแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ตและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂ เป็นระยะเวลา 30 นาที สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ได้ร้อยละ 100 ดังแสดงในรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมด้วยจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น ด้วยระยะเวลาการฉายแสงที่ลดลงจากเดิม 10 เท่า



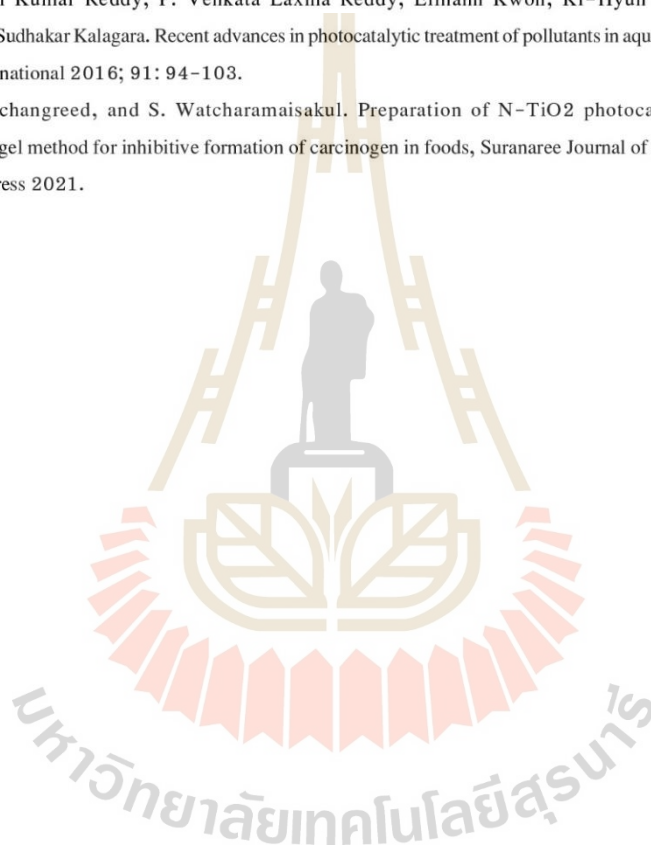
บทสรุป

การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB โดยการใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลติกร่วมกับชิ้นงานตัวเร่งปฏิกิริยา N-TiO₂ ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต (UVC) และแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible light) พบว่า การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่านั้นจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ทั้งสองกรณี ผลการทดลอง พบว่า เมื่อฉายแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ MTB ได้เพียงร้อยละ 60 อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสงมากขึ้นนั้นก็ สามารถให้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ทั้งหมดที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ขณะที่การยับยั้ง การเจริญเติบโตของเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ค่าความเข้มแสง 1,785 ลักซ์ ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง N-TiO₂ พบว่า มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น สามารถกำจัดเชื้อได้ร้อยละ 100 โดยใช้ระยะเวลาเพียง 30 นาที จากผลการศึกษาแสงที่มองเห็น ด้วยตาเปล่าในกระบวนการโฟโตคะตะไลติกงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของ เชื้อ MTB ได้ เหมาะสมที่จะนำมาศึกษาและพัฒนาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับงานปลอดเชื้อต่อไป เพื่อลดข้อจำกัดของแหล่ง กำเนิดแสงแบบอัลตราไวโอเล็ต เรื่อง การนำเข้าจากต่างประเทศและมีค่าใช้จ่ายที่สูง รวมไปถึงการนำไปใช้ไม่ถูกวิธีที่อาจ ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้

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 TiO₂ + 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.



ประวัติผู้เขียน

นายเฉลิมพล ประสาทงาม เกิดเมื่อวันที่ 23 สิงหาคม พ.ศ. 2520 ณ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านบางแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา ในปีการศึกษา 2532 และสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนเซนต์หลุยส์ อำเภอเมืองจังหวัดฉะเชิงเทรา ในปีการศึกษา 2535 และสำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ จากวิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ในปีการศึกษา 2538 หลังจากนั้นได้ศึกษาต่อระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยศรีปทุม สำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2544 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชานวัตกรรม วิศวกรรมศาสตร์ สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2561 ประวัติการทำงานเคยดำรงตำแหน่งนายช่างเทคนิคแพทย์ ชั้น 3 โรงพยาบาลภูมิพลอดุลยเดช พอ.บอ. ในปี พ.ศ. 2539 - 2545 ดำรงตำแหน่ง เซอร์วิส เอนจิเนียร์ บริษัท โซวิค จำกัดในปี พ.ศ. 2545 - 2547 และดำรงตำแหน่งกรรมการผู้จัดการ บริษัท พีเอ็มซี เมดิคอล เซอร์วิส จำกัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 - ปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับ การตีพิมพ์เผยแพร่ ดังปรากฏในภาคผนวก ก



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี