

บทที่ 4

ผลการวิจัย

บทนี้กล่าวถึงข้อมูลที่ได้จากการทดลองตามแนวทางการศึกษาในบทที่ 3 ประกอบด้วย ผลของระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ ผลของอัตราไหลแก๊สออกซิเจน และ ผลทดสอบการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ผลของระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ

ส่วนนี้เป็นการเสนอผลการศึกษาโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบ เมื่อแปรค่าระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ กำหนดให้อัตราไหลแก๊สอาร์กอน ต่อแก๊สออกซิเจนคงที่เท่ากับ 1 sccm : 6 sccm กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 220 W เคลือบนาน 120 min และ แปรค่าระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ (d_{st}) เท่ากับ 10 cm, 12 cm, 14 cm, 16 cm และ 18 cm ตามลำดับ เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา และลักษณะพื้นผิว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้เมื่อแปรค่าระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบ กับวัสดุรองรับต่าง ๆ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่ามีลักษณะใส ส่องผ่านแสงได้ดี มีสีม่วง หรือ เขียวอ่อน ๆ เปลี่ยนไปตามระยะห่างของเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ (d_{st}) ดังแสดงในภาพที่ 4-1

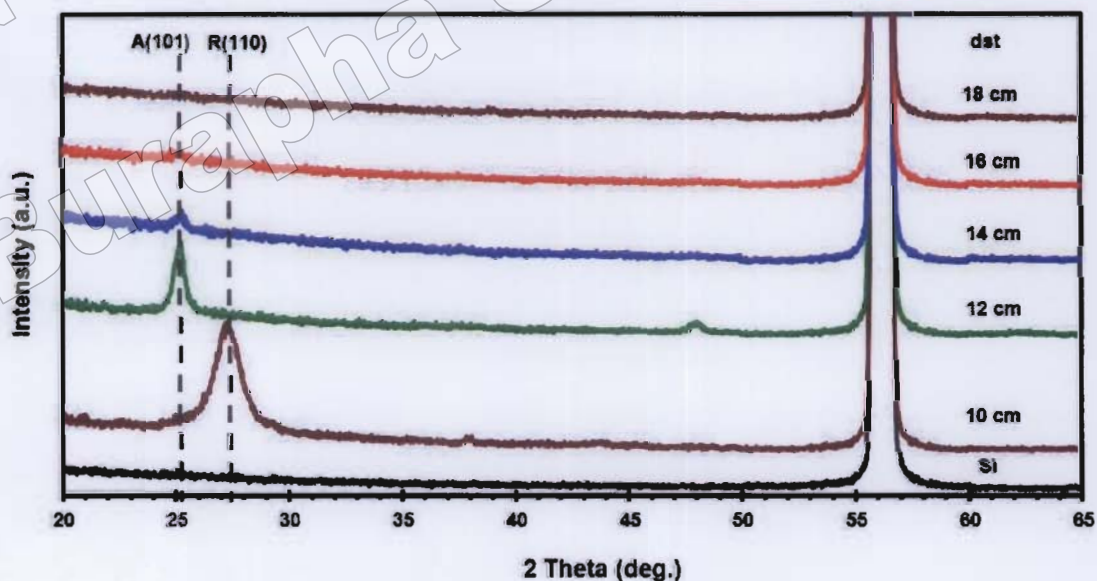


ภาพที่ 4-1 ลักษณะของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ เมื่อเคลือบด้วยระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ

2. โครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีรีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง โดยแปรค่าระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ ได้แก่ 10 cm, 12 cm, 14 cm, 16 cm และ 18 cm มีผลการทดลองดังนี้

ภาพที่ 4-2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ โดยแปรค่าระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ระยะ d_s เท่ากับ 10 cm มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุม 27.50° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ ระนาบ (110) เมื่อเพิ่มระยะ d_s เท่ากับ 12 cm และ 14 cm พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุม 25.24° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส ระนาบ (101) สำหรับระยะ d_s เท่ากับ 16 cm พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เริ่มปรากฏลักษณะ โครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous) และที่ระยะ d_s เท่ากับ 18 cm ไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ ส่วนที่มุม 56.50° เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซิลิกอนซึ่งใช้เป็นวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4-2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อเคลือบด้วยระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถหาได้จากระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกที่มีโครงสร้างแบบรูไทล์และแบบอนาเทส เนื่องจากฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้นั้น มีลักษณะของโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์และแบบอนาเทสโดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้โดยการแปรค่าระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ จะมีค่าคงที่แลตทิซตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 และเลขที่ 89-4921 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-1

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถคำนวณได้จากสมการของ Scherrer โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่เตรียมได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ จะมีขนาดผลึกเพิ่มขึ้นตามความเข้มของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยที่ระยะ d_{110} เท่ากับ 10 cm มีขนาดผลึก 13.62 nm เมื่อเพิ่มระยะ d_{110} เท่ากับ 12 cm ขนาดผลึกจะมีค่าเท่ากับ 29.60 nm และระยะ d_{110} เท่ากับ 14 cm ขนาดผลึกจะมีค่าเท่ากับ 33.92 nm สำหรับระยะ d_{110} เท่ากับ 16 cm และ 18 cm ไม่สามารถคำนวณขนาดผลึกได้ เนื่องจากไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วยระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ

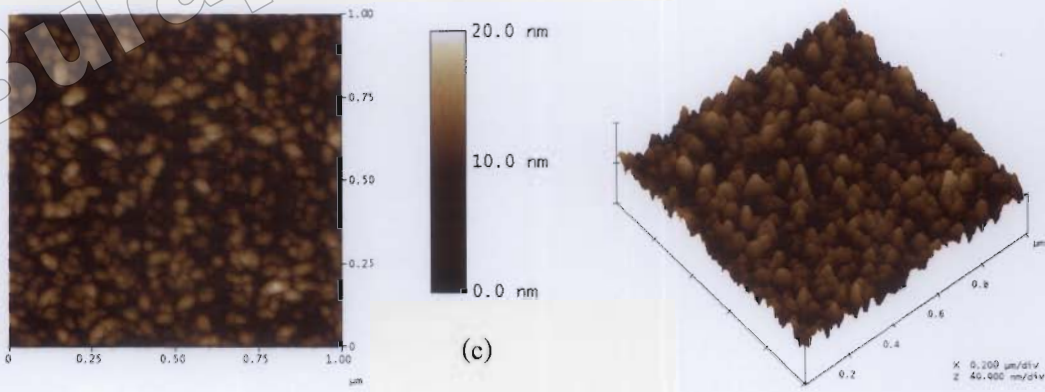
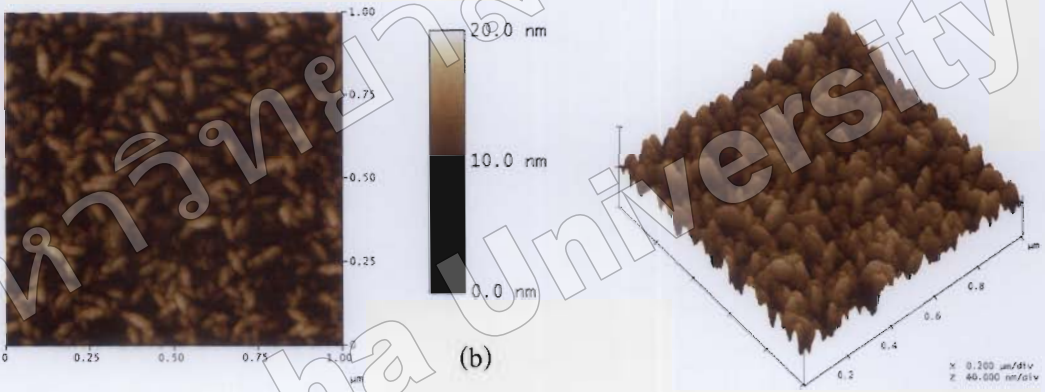
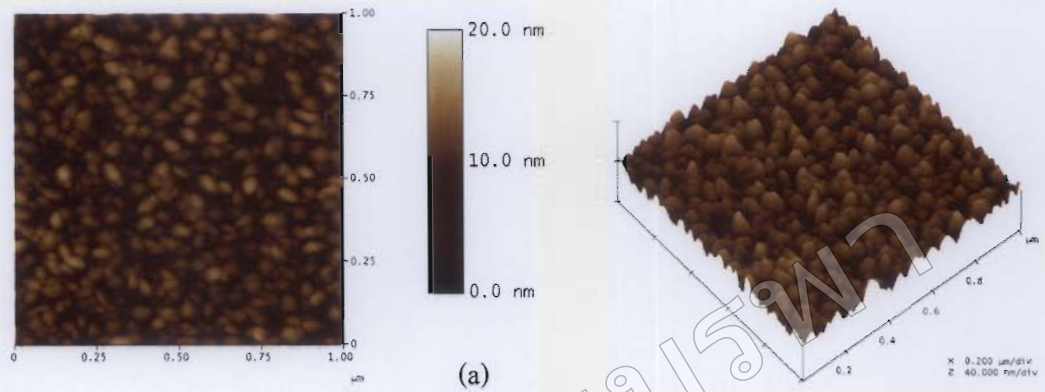
ระยะห่างระหว่าง เป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ (cm)	a (Å)	c (Å)	เฟส
JCPDS (89-4920)	4.584	2.953	rutile
JCPDS (89-4921)	3.777	9.501	anatase
10	4.609	2.939	rutile
12	3.786	9.671	anatase
14	3.789	9.522	anatase
16	-	-	amorphous
18	-	-	amorphous

ตารางที่ 4-2 ขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วยระยะห่างระหว่าง
เป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ

ระยะห่างระหว่าง เป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ (cm)	Intensity (a.u.)	β (องศา)	Crystallite size (nm)	เฟส
10	1542	0.60	13.62	rutile
12	1177	0.28	29.60	anatase
14	550	0.24	33.92	anatase
16	-	-	-	amorphous
18	-	-	-	amorphous

3. ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ภาพที่ 4-3 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งเคลือบที่ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยระยะ d_s เท่ากับ 10 cm ฟิล์มมีเกรน ขนาดเล็ก กลมมน กระจายอยู่ทั่วบริเวณบนผิวหน้าฟิล์ม (ภาพที่ 4-3 (a)) เมื่อเพิ่มระยะ d_s เท่ากับ 12 cm และ 14 cm พื้นผิวฟิล์มมีลักษณะขรุขระ เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นปลายแหลมกระจายอย่าง สม่ำเสมอทั่วผิวหน้าฟิล์ม (ภาพที่ 4-3 (b) และ ภาพที่ 4-3 (c)) ส่วนระยะ d_s เท่ากับ 16 cm เกรนของ ฟิล์มมีขนาดเล็กปลายแหลมบางบริเวณสูงบางบริเวณต่ำกระจายทั่วผิวหน้าฟิล์ม (ภาพที่ 4-3 (d)) และสุดท้ายที่ระยะ d_s เท่ากับ 18 cm พบว่าเกรนของฟิล์มส่วนใหญ่มีลักษณะกลมมนกระจายตัว ทั่วผิวหน้าฟิล์มและมีเกรนของฟิล์มในลักษณะแหลมสูงผสมอยู่ทั่วไป (ภาพที่ 4-3 (e))



ภาพที่ 4-3 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วยระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

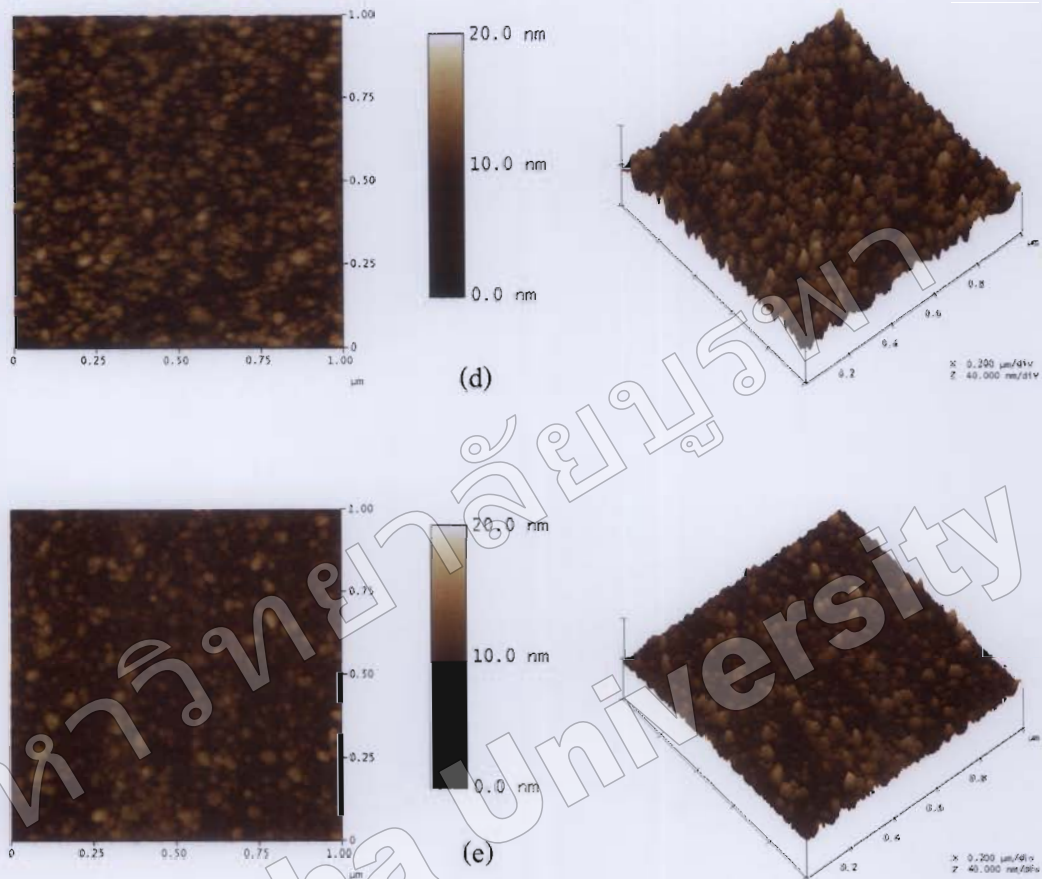
(a) $d_{st} = 10$ cm

(b) $d_{st} = 12$ cm

(c) $d_{st} = 14$ cm

(d) $d_{st} = 16$ cm

(e) $d_{st} = 18$ cm



ภาพที่ 4-3 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วยระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

(a) $d_{st} = 10 \text{ cm}$

(b) $d_{st} = 12 \text{ cm}$

(c) $d_{st} = 14 \text{ cm}$

(d) $d_{st} = 16 \text{ cm}$

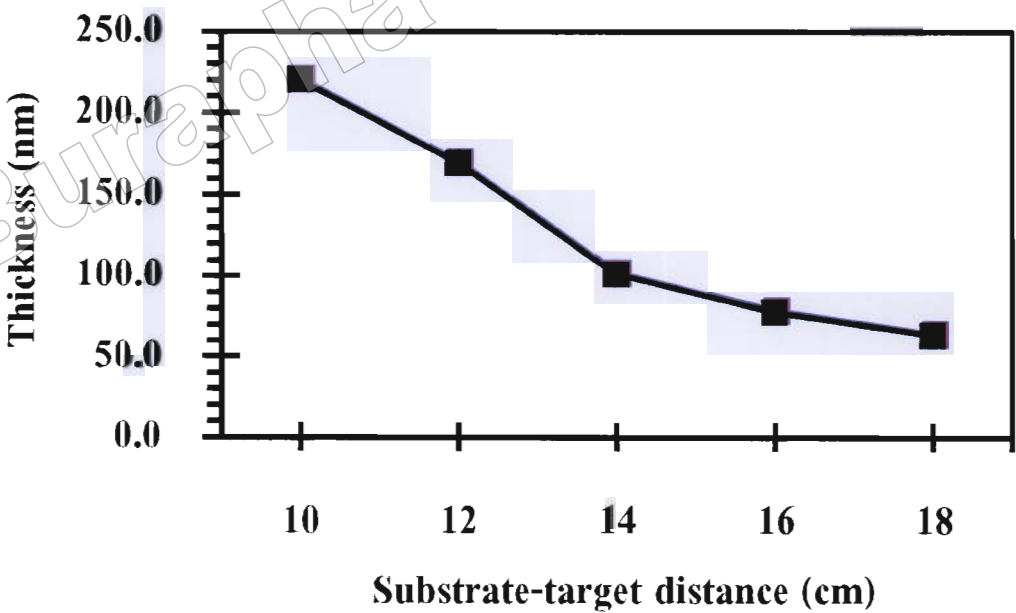
(e) $d_{st} = 18 \text{ cm}$

สำหรับความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ พบว่าเมื่อระยะ d_{st} เพิ่มขึ้น ความหนาฟิล์มมีค่าลดลงจาก 220 nm เป็น 63 nm (ภาพที่ 4-4) ส่วนความหยาบผิวเฉลี่ยของฟิล์มเคลือบที่ระยะ d_{st} เท่ากับ 10 cm มีความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ 3.33 nm เมื่อเพิ่มระยะ d_{st} เท่ากับ 12 cm ฟิล์มมีความหยาบผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.37 nm ซึ่งเป็นค่ามากที่สุด และความหยาบผิวเฉลี่ยของ

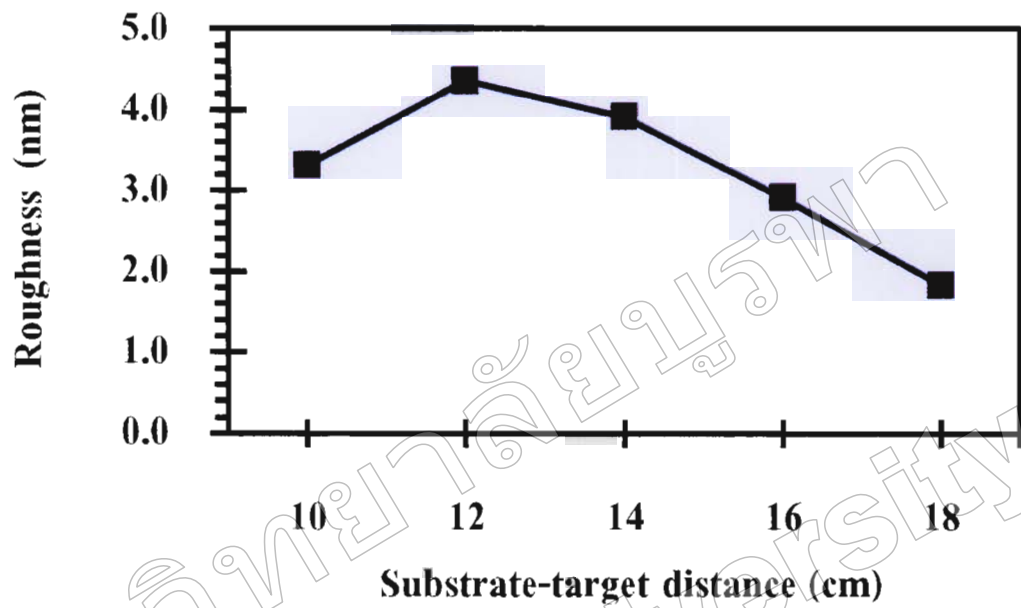
ฟิล์มลดลงจาก 3.92 nm เป็น 1.83 nm เมื่อระยะ d_{st} เพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4-5) ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วยระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ

ระยะห่างระหว่าง เป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ (cm)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)
10	220	3.33
12	169	4.37
14	101	3.92
16	78	2.92
18	63	1.83



ภาพที่ 4-4 ความหนาของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วยระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ



ภาพที่ 4-5 ความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วยระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ

ผลของอัตราไหลแก๊สออกซิเจน

ส่วนนี้จะเป็นการเสนอผลการศึกษาโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีอีพ็อกซี ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง โดยกำหนดให้อัตราไหลแก๊สอาร์กอนคงที่เท่ากับ 1 sccm ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 12 cm กำลังไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 220 W เวลาเคลือบคงที่เท่ากับ 120 min และแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm, 4 sccm และ 6 sccm ตามลำดับ มีผลดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้จากการแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่ามีลักษณะใสสว่างแสงได้ดี มีเงดสีม่วงอ่อน ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4-6

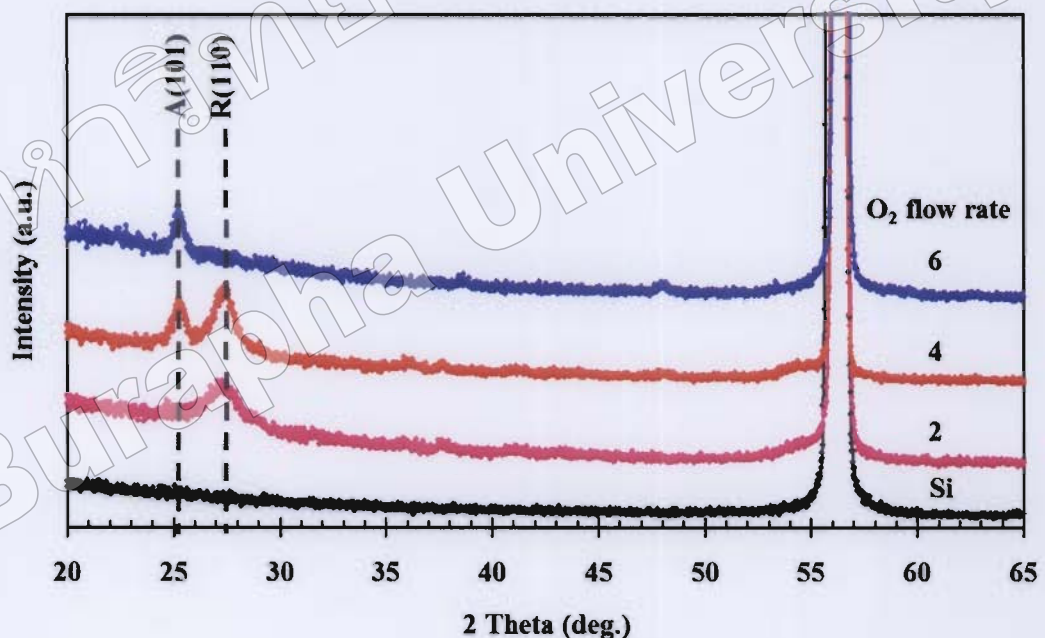


ภาพที่ 4-6 ลักษณะของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์

เมื่อเคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

2. โครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ภาพที่ 4-7 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากเทคนิค XRD ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เคลือบบนแผ่นซิลิกอน โดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 27.30° ตรงกับไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ระนาบ (110) ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4 sccm ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 25.28° และ 27.34° ตรงกับไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทรสนาบ (101) และเฟสรูไทล์ระนาบ (110) ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 และเลขที่ 89-4920 ตามลำดับ สุดท้ายเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มเป็น 6 sccm ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 25.26° ตรงกับไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทรสนาบ (101) ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 โดยที่มุม 56.50° เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของซิลิกอนซึ่งเป็นวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4-7 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถหาได้จากระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกที่มีโครงสร้างแบบรูไทล์และแบบอนาเทส เนื่องจากฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้มีลักษณะของโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์และแบบอนาเทส ซึ่งสามารถทราบได้จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ จะมีค่าคงที่แลตทิซตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 และเลขที่ 89-4921 ตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4-4

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถคำนวณได้จากสมการของ Scherrer โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ จะมีขนาดผลึกเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm ฟิล์มบางมีโครงสร้างแบบรูไทล์ ขนาดผลึกเท่ากับ 11.67 nm เมื่อเพิ่มอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 4 sccm ฟิล์มบางมีโครงสร้างแบบรูไทล์ผสมแบบอนาเทส โดยมีขนาดผลึกเท่ากับ 18.58 nm และ 20.61 nm ตามลำดับ ส่วนอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 6 sccm โครงสร้างแบบอนาเทส ขนาดผลึกเท่ากับ 28.07 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-4 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สออกซิเจน (sccm)	a (Å)	c (Å)	เฟส
JCPDS (89-4920)	4.584	2.953	rutile
JCPDS (89-4921)	3.777	9.501	anatase
2	4.616	2.915	rutile
4	3.788	9.535	anatase
	4.610	2.936	rutile
6	3.780	9.535	anatase

ตารางที่ 4-5 ขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วย
อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สออกซิเจน (sccm)	Intensity (a.u.)	β (องศา)	Crystallite size (nm)	เฟส
2	640	0.012	11.67	rutile
4	613	0.007	20.61	anatase
	697	0.008	18.58	rutile
6	690	0.005	28.07	anatase

3. ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ภาพที่ 4-8 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ พบว่าฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm พื้นผิวของฟิล์มมีเกรนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วผิวหน้าฟิล์ม สำหรับฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 4 sccm พื้นผิวมีเกรนขนาดเล็กใหญ่ปะปนกันกระจายอยู่บางบริเวณ ส่วนฟิล์มเคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 6 sccm พื้นผิวมีลักษณะขรุขระ ทำให้ฟิล์มที่ได้มีพื้นที่ผิวมากที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ได้เมื่อใช้อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่ำ

สำหรับความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นความหนาฟิล์มมีค่าลดลง จาก 171 nm เป็น 136 nm (ภาพที่ 4-9) ขณะที่ความหยาบผิวเฉลี่ยของฟิล์มมีเพิ่มขึ้นจาก 2.00 nm เป็น 5.42 nm (ภาพที่ 4-10) ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วย
อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สออกซิเจน (sccm)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)
2	171	2.00
4	155	4.70
6	136	5.42

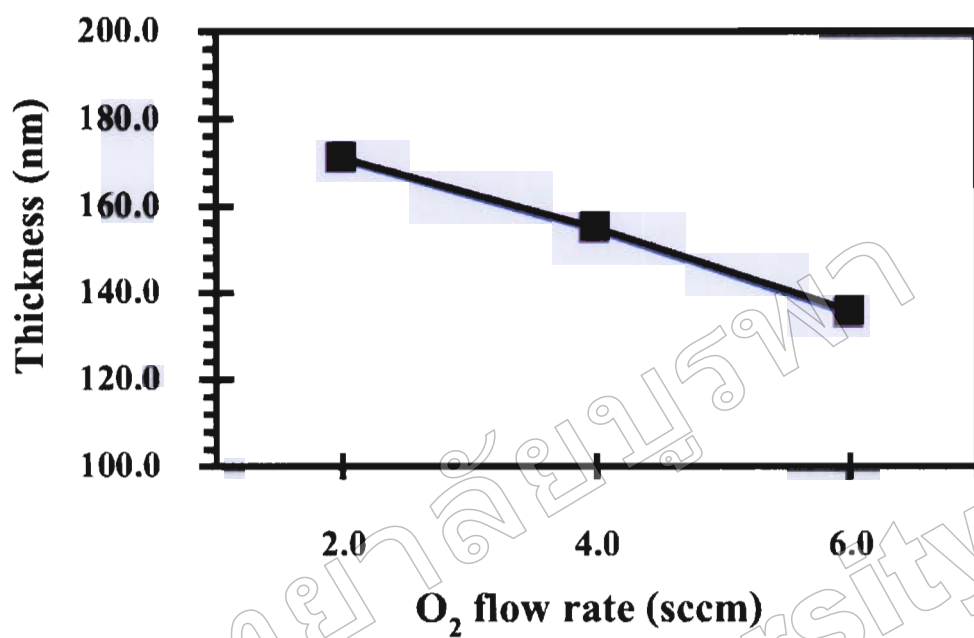


ภาพที่ 4-8 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์
เมื่อเคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

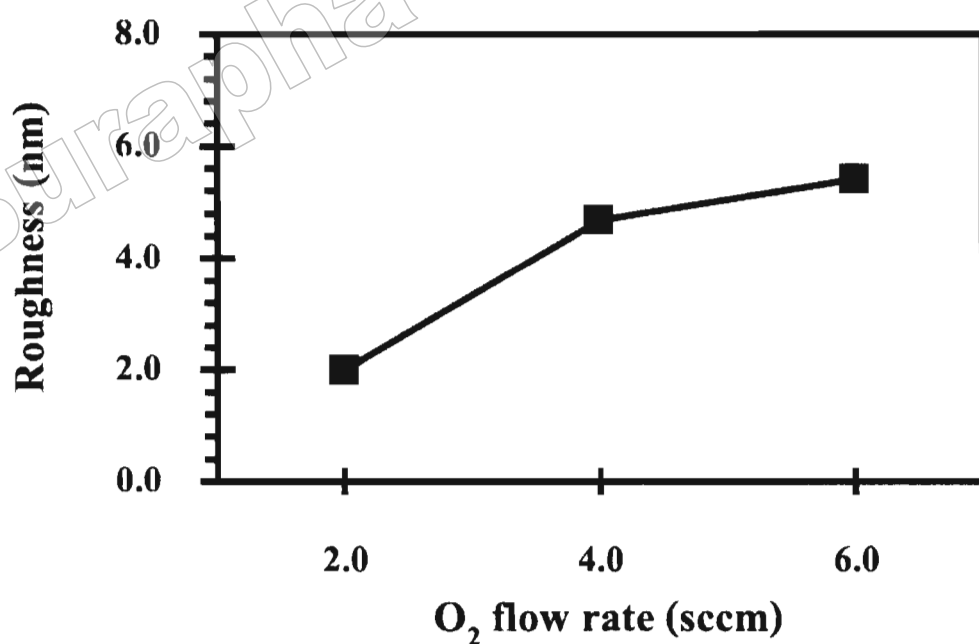
(a) 2 sccm

(b) 4 sccm

(c) 6 sccm



ภาพที่ 4-9 ความหนาของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วย
อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ



ภาพที่ 4-10 ความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเคลือบด้วย
อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

ผลทดสอบการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

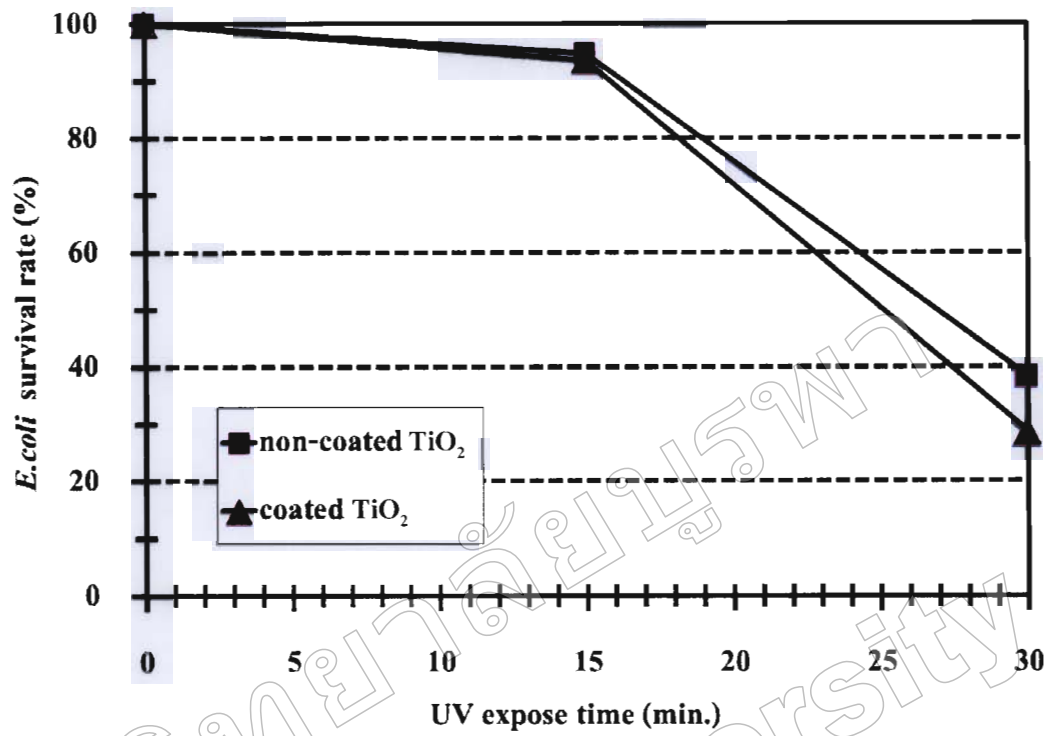
ส่วนนี้เป็นการเสนอผลการศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ โครงสร้างแบบนาเทส ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตที่เวลาต่าง ๆ กัน ซึ่งฟิล์มบางที่เคลือบได้สามารถเตรียมด้วยวิธีอีพ็อกซี ดีซี แมกนีตรอน สปีดเดอร์ โดยกำหนดให้อัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 1 sccm : 6 sccm ระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 12 cm กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 220 W และใช้เวลาเคลือบนาน 120 min ซึ่งจากการทดลองข้างต้น เงื่อนไขดังกล่าวจะทำให้ได้ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบนาเทส จากนั้นนำฟิล์มบางที่เคลือบได้มาทำการศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* มีผลดังนี้

ผลการทดสอบเบื้องต้น

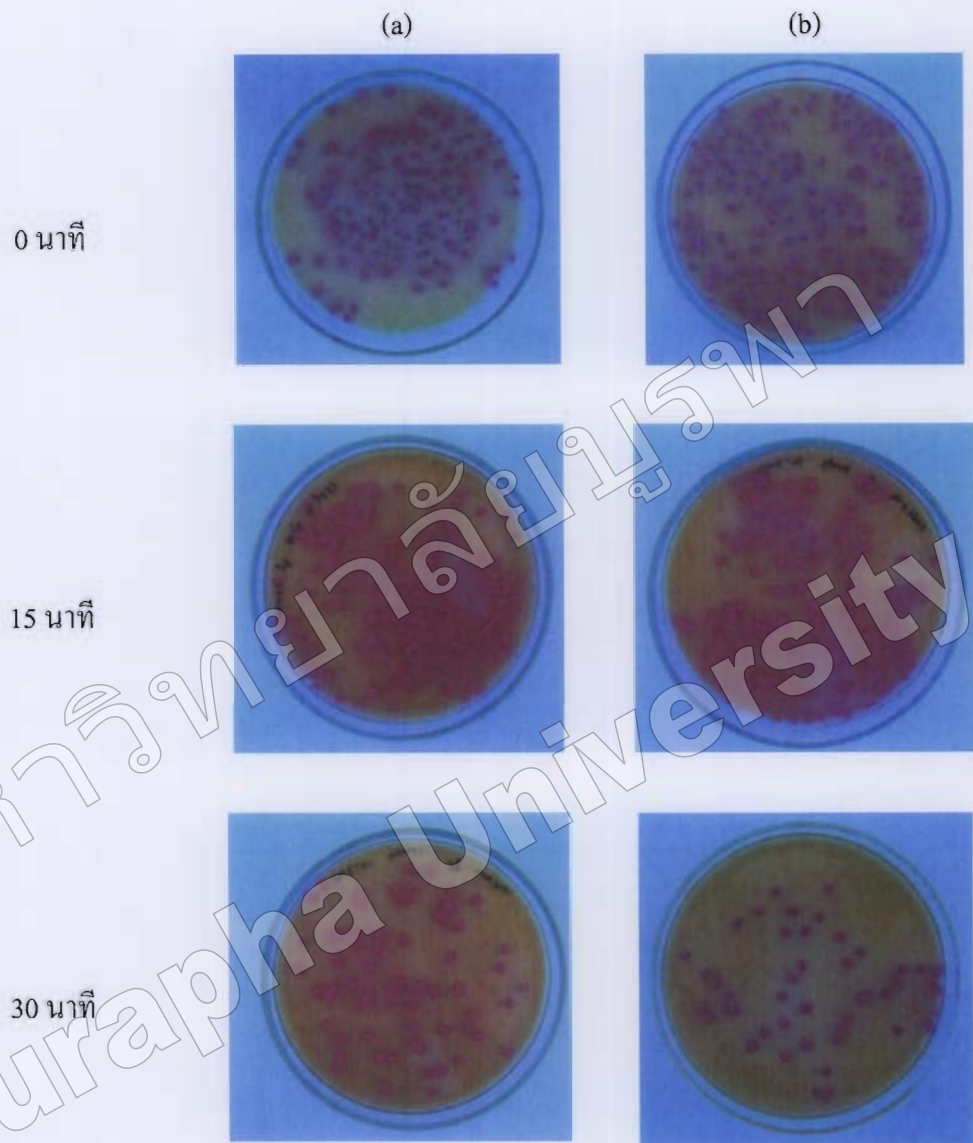
การทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* โดยการไม่ฉายรับแสงอัลตราไวโอเล็ตบนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เวลา 0 นาที ถึง 30 นาที พบว่าจำนวนเชื้อ *E. coli* เริ่มต้นบนกระจกไม่เคลือบฟิล์มและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์มีจำนวนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 19.40×10^5 CFU/ml และ 18.80×10^5 CFU/ml ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป จำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดชีวิตบนกระจกไม่เคลือบฟิล์มและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์จะค่อย ๆ ลดลง และมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งตารางที่ 4.7 แสดงอัตราการรอดตายของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อไม่ได้ฉายรับแสงที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4-11 ส่วน โคโลนีและลักษณะของเชื้อ *E. coli* แสดงดังภาพที่ 4-12

ตารางที่ 4-7 จำนวนโคโลนีของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อไม่ฉายรับแสงอัลตราไวโอเล็ต ที่เวลาต่าง ๆ

เวลาที่ใช้ในการทดลอง (นาที)	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	
	ไม่เคลือบฟิล์ม TiO_2	เคลือบฟิล์ม TiO_2
0	19.40×10^5	18.80×10^5
15	18.40×10^5	17.60×10^5
30	7.50×10^5	5.40×10^5



ภาพที่ 4-11 อัตราการรอดตายของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อไม่ฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต ที่เวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 4-12 ลักษณะของเชื้อ *E. coli* เมื่อไม่ฉายรังสีแสงอัลตราไวโอเลต ที่เวลาต่าง ๆ

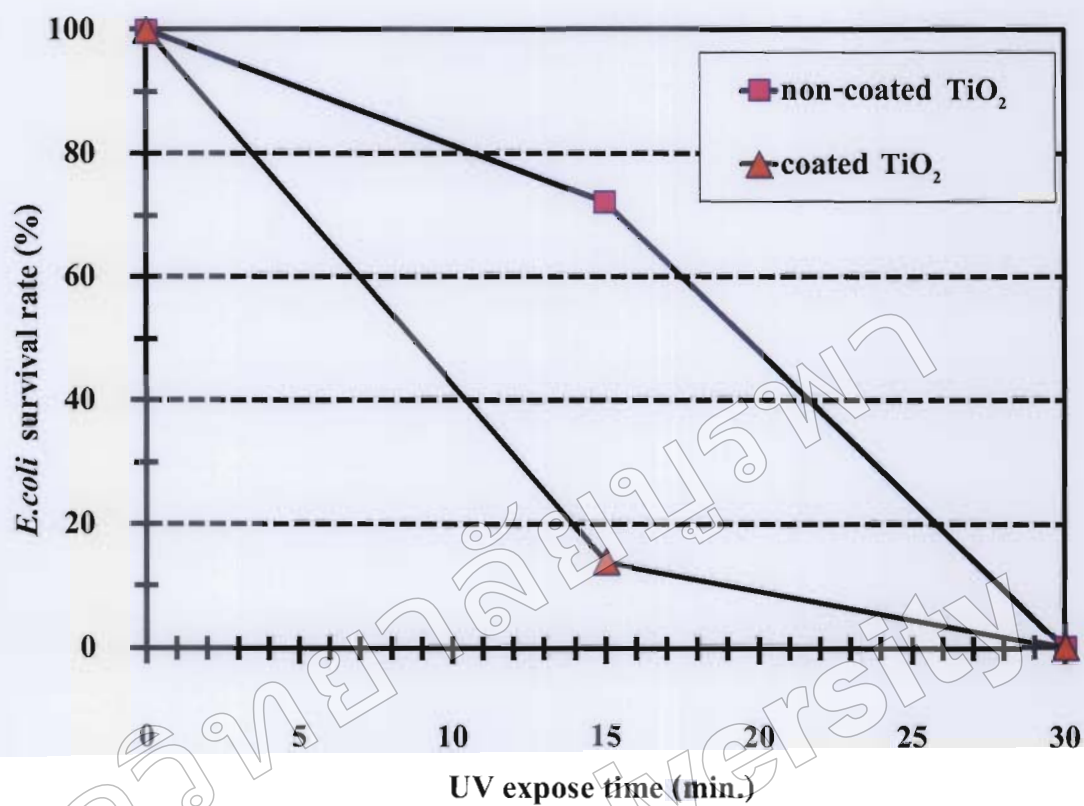
(a) กระเจกไม่เคลือบฟิล์ม

(b) กระเจกเคลือบฟิล์ม

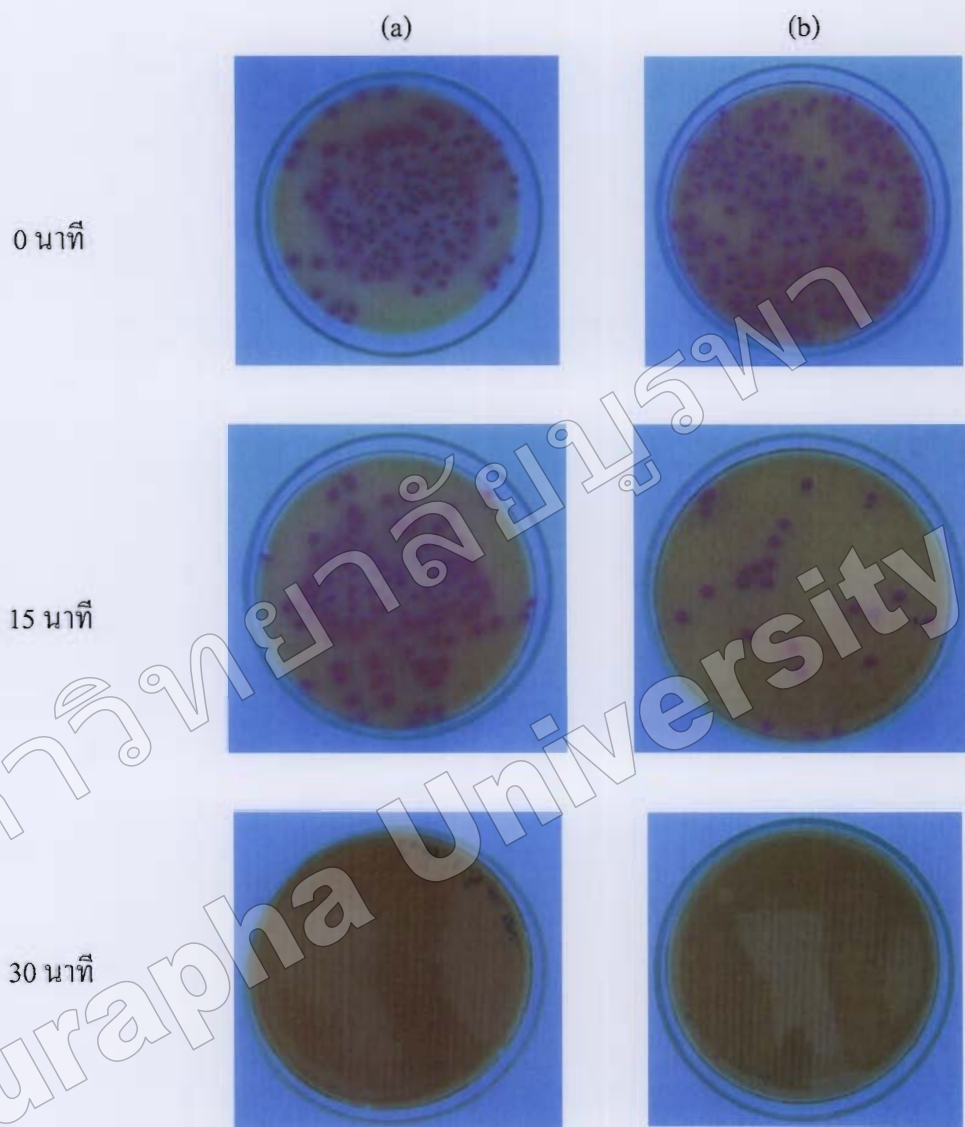
ตารางที่ 4-8 แสดงจำนวนโคโลนีของเชื้อ *E. coli* ที่รอดตาย เมื่อฉายรังแสงอัลตราไวโอเลตที่เวลาต่าง ๆ กัน เปรียบเทียบผลระหว่างกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่ากระจกเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อถูกฉายรังแสงมีความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่ากระจกไม่เคลือบฟิล์ม ซึ่งตารางที่ 4-8 ได้แสดงค่าเปรียบเทียบของจำนวนเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์ม เมื่อนำไปฉายรังแสงอัลตราไวโอเลตที่เวลา 0 นาที ถึง 30 นาที พบว่าจำนวนเชื้อ *E. coli* ก่อนฉายรังแสงอัลตราไวโอเลตบนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มมีจำนวนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 19.40×10^5 CFU/ml และ 18.80×10^5 CFU/ml ตามลำดับ เมื่อนำไปฉายรังแสงอัลตราไวโอเลต พบว่าจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดบนกระจกเคลือบฟิล์มมีค่าน้อยกว่าบนกระจกไม่เคลือบฟิล์ม และไม่พบจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่รอดตายเมื่อฉายแสงเป็นเวลานาน 30 นาที ขณะที่กระจกไม่เคลือบฟิล์มเมื่อฉายรังแสงที่เวลาต่าง ๆ มีจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดตายลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งอัตราการรอดตายของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มเมื่อได้รับการฉายแสงที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4-13 ส่วนโคโลนีและลักษณะของเชื้อ *E. coli* แสดงดังภาพที่ 4-14

ตารางที่ 4-8 จำนวนโคโลนีของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อฉายรังแสงอัลตราไวโอเลต ที่เวลาต่าง ๆ

เวลาที่ใช้ในการทดลอง (นาที)	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	
	ไม่เคลือบฟิล์ม TiO_2	เคลือบฟิล์ม TiO_2
0	19.40×10^5	18.80×10^5
15	14.00×10^5	2.60×10^5
30	0	0



ภาพที่ 4-13 อัตราการรอดตายของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต ที่เวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 4-14 ลักษณะของเชื้อ *E. coli* เมื่อฉายรังสีแสงอัลตราไวโอเล็ต ที่เวลาต่างๆ

(a) กระดาษไม่เคลือบฟิล์ม

(b) กระดาษเคลือบฟิล์ม

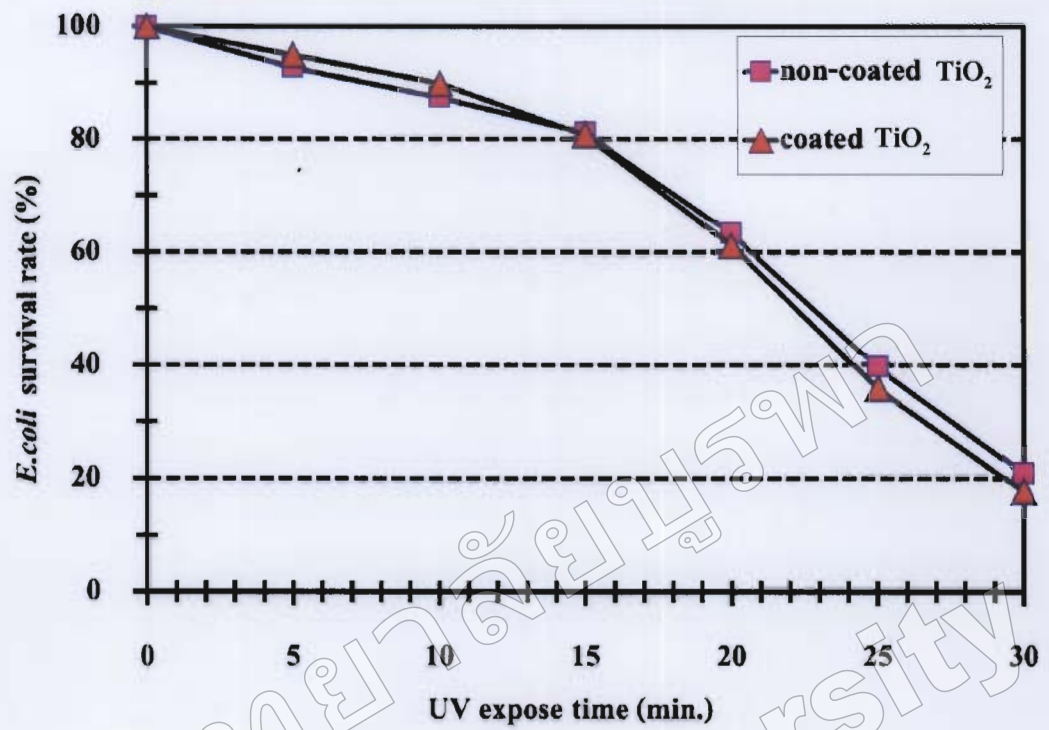
ผลการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

จากผลการทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ในเบื้องต้น พบว่าแสงอัลตราไวโอเล็ตมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ในส่วนนี้ เป็นการศึกษาผลการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ที่เวลาต่าง ๆ กัน มีผลดังนี้

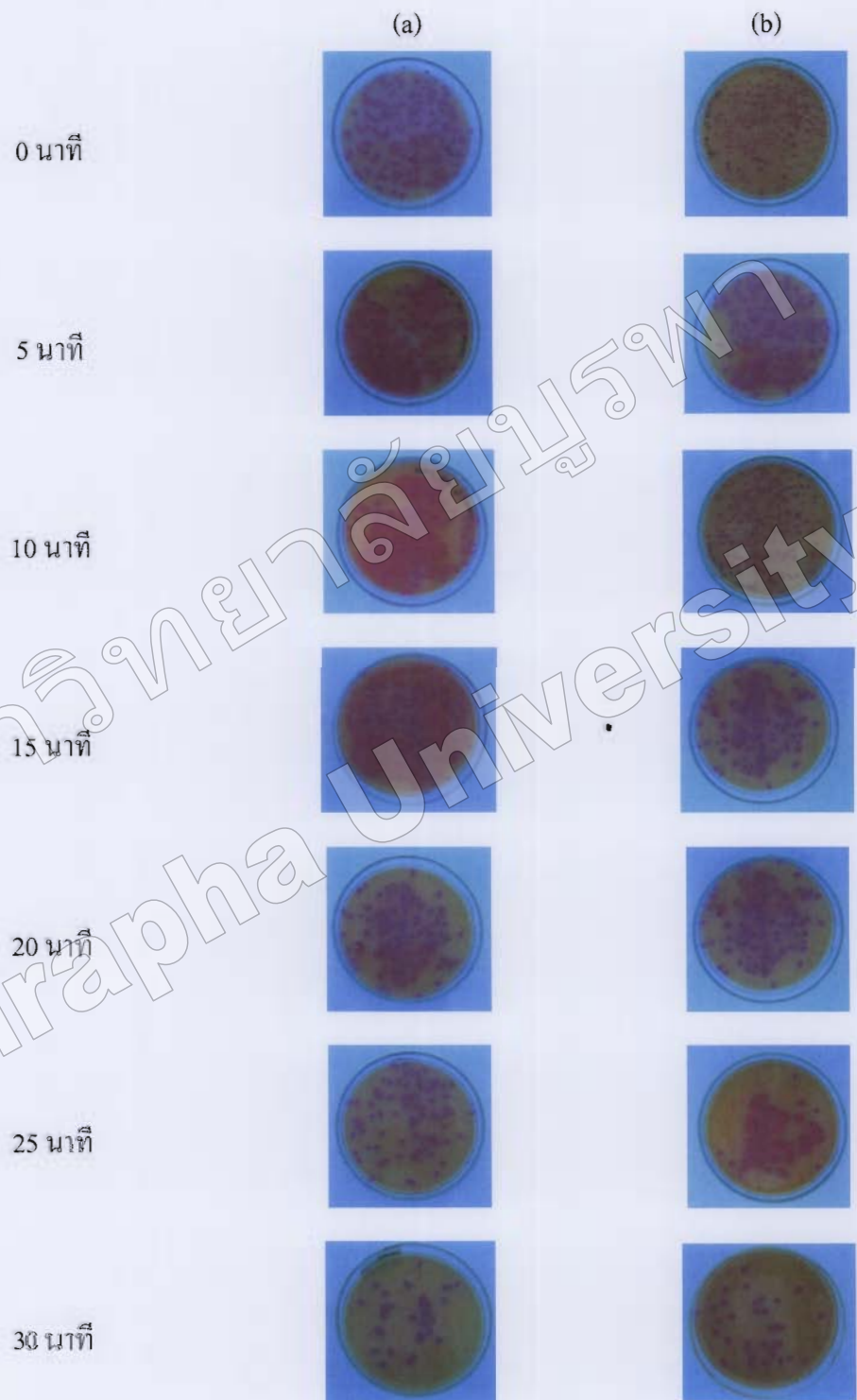
การทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* โดยการไม่ฉายรับแสงอัลตราไวโอเล็ต บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เวลา 0 นาที ถึง 30 นาที พบว่าจำนวนเชื้อ *E. coli* เริ่มต้นบนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีจำนวนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 20.70×10^5 CFU/ml และ 19.80×10^5 CFU/ml ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป จำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดชีวิตบนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ จะค่อย ๆ ลดลงและมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งตารางที่ 4.9 แสดงอัตราการรอดตายของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อไม่ได้ฉายรับแสง ที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4-15 ส่วน โคลโลนีและลักษณะของเชื้อ *E. coli* แสดงดังภาพที่ 4-16

ตารางที่ 4-9 จำนวนโคลโลนีของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อไม่ฉายรับแสงอัลตราไวโอเล็ต ที่เวลาต่าง ๆ

เวลาที่ใช้ในการทดลอง (นาที)	จำนวนโคลโลนี (CFU/ml)	
	ไม่เคลือบฟิล์ม TiO_2	เคลือบฟิล์ม TiO_2
0	20.70×10^5	19.80×10^5
5	19.20×10^5	18.80×10^5
10	18.10×10^5	17.80×10^5
15	16.80×10^5	16.00×10^5
20	13.10×10^5	12.10×10^5
25	8.20×10^5	7.10×10^5
30	4.30×10^5	3.50×10^5



ภาพที่ 4-15 อัตราการรอดตายของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อไม่ฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต ที่เวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 4-16 ลักษณะของเชื้อ *E. coli* เมื่อไม่ฉายรังสีแสงอัลตราไวโอเลต ที่เวลาต่าง ๆ

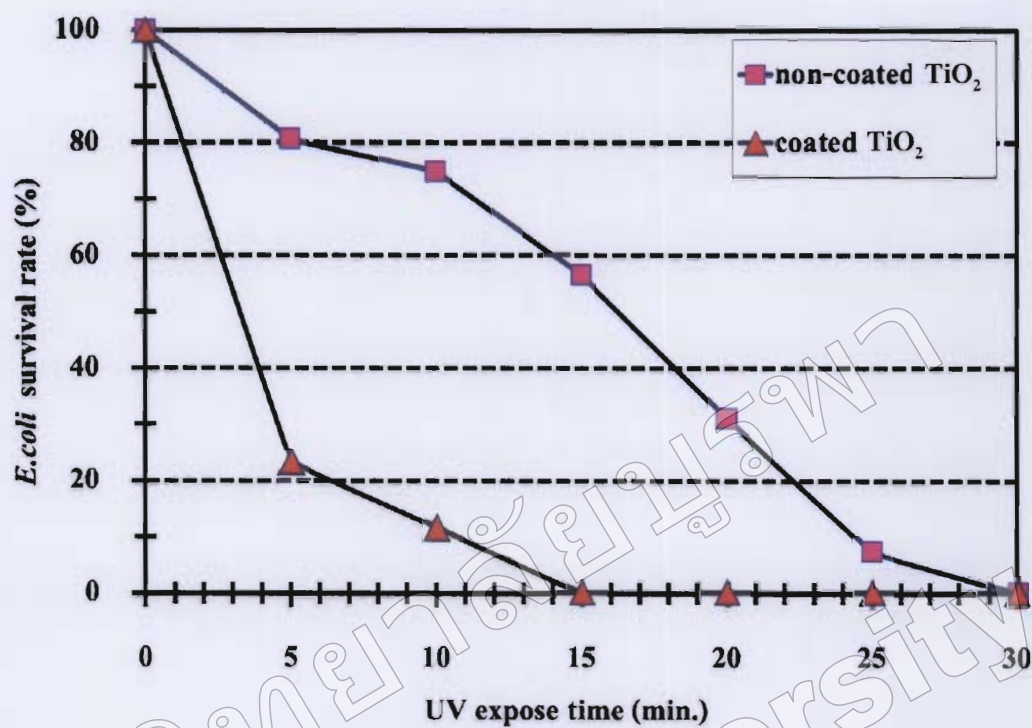
(a) กระเจกไม่เคลือบฟิล์ม

(b) กระเจกเคลือบฟิล์ม

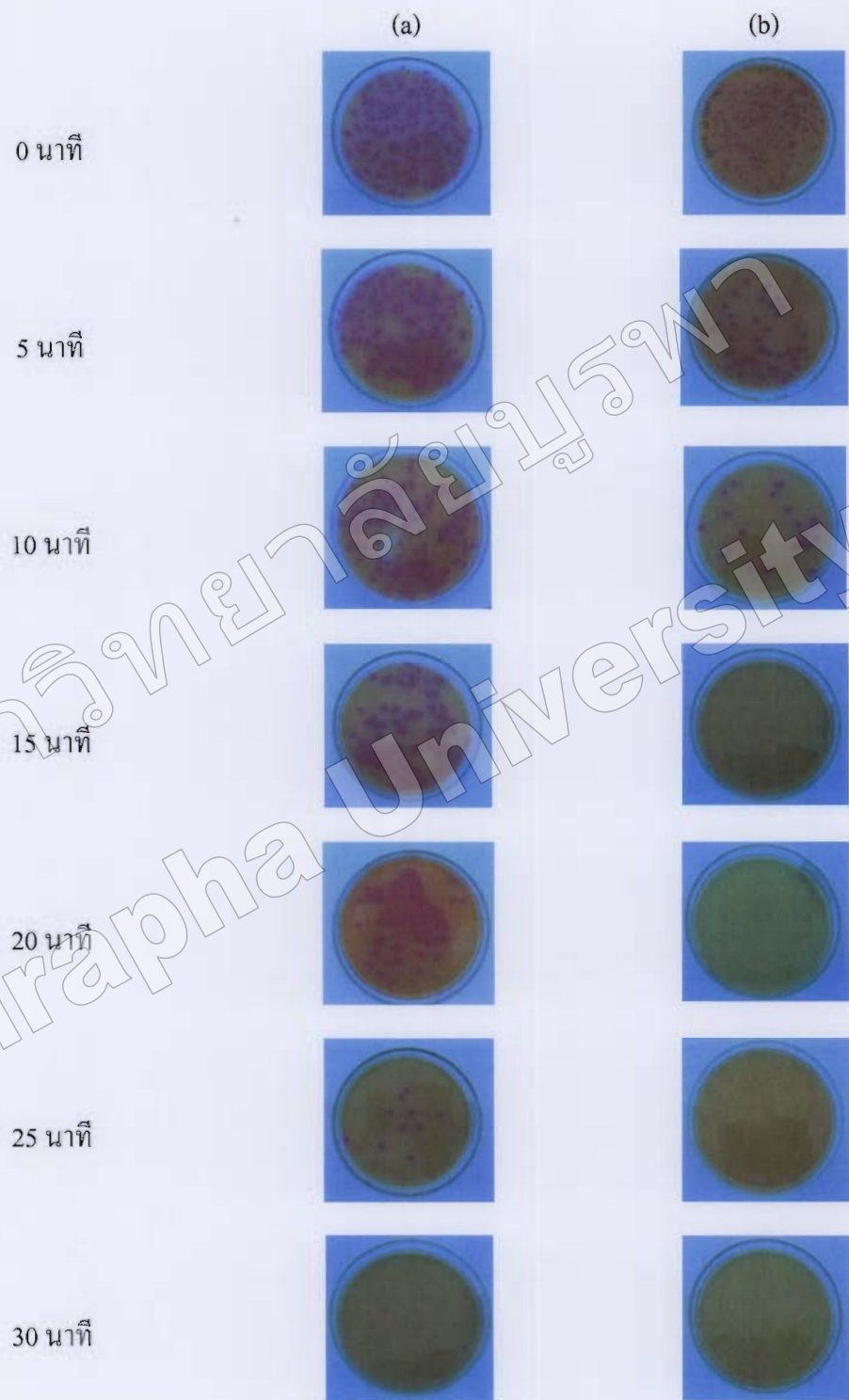
ตารางที่ 4-10 แสดงจำนวนโคโลนีของเชื้อ *E. coli* ที่รอดตายเมื่อฉายรังแสงอัลตราไวโอเลตที่เวลาต่าง ๆ เปรียบเทียบผลระหว่างกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่ากระจกเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อถูกฉายรังแสงมีความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่ากระจกไม่เคลือบฟิล์ม ซึ่งตารางที่ 4-10 ได้แสดงค่าเปรียบเทียบของจำนวนเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์ม เมื่อนำไปฉายรังแสงอัลตราไวโอเลตที่เวลา 0 นาที ถึง 30 นาที พบว่าจำนวนเชื้อ *E. coli* ก่อนฉายรังแสงอัลตราไวโอเลตบนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์ม มีจำนวนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยคือ 20.70×10^5 CFU/ml และ 19.80×10^5 CFU/ml ตามลำดับ เมื่อนำไปฉายรังแสงอัลตราไวโอเลต พบว่าจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดบนกระจกเคลือบฟิล์มมีค่าน้อยกว่าบนกระจกไม่เคลือบฟิล์ม และไม่พบจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่รอดตายเมื่อฉายแสงเป็นเวลานาน 15 นาที ขณะที่กระจกไม่เคลือบฟิล์มและถูกฉายรังแสงที่เวลาต่าง ๆ มีจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดตายค่อย ๆ ลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และไม่พบจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่รอดตายเมื่อฉายแสงเป็นเวลานาน 30 นาที ซึ่งอัตราการรอดตายเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ และถูกฉายรังแสงที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4-17 ส่วนโคโลนีและลักษณะของเชื้อ *E. coli* แสดงดังภาพที่ 4-18

ตารางที่ 4-10 จำนวนโคโลนีของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อฉายรังแสงอัลตราไวโอเลต ที่เวลาต่าง ๆ

เวลาที่ใช้ในการทดลอง (นาที)	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	
	ไม่เคลือบฟิล์ม TiO_2	เคลือบฟิล์ม TiO_2
0	20.70×10^5	19.80×10^5
5	16.70×10^5	4.60×10^5
10	15.50×10^5	2.30×10^5
15	11.74×10^5	0
20	6.40×10^5	0
25	1.00×10^5	0
30	0	0



ภาพที่ 4-17 อัตราการรอดตายของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อฉายรับแสงอัลตราไวโอเล็ต ที่เวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 4-18 ลักษณะของเชื้อ *E. coli* เมื่อฉายรังสีแสงอัลตราไวโอเลต ที่เวลาต่าง ๆ

(a) กระงกไม่เคลือบฟิล์ม

(b) กระงกเคลือบฟิล์ม