



## รายงานการวิจัย

การพัฒนาสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผัก

Development of  $\text{TiO}_2$  Doped Ag Coating Material for Prolonging

Fresh Vegetables

วีระชัย แสงฉาย

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

พ.ศ. 2559

ชื่องานวิจัย	การพัฒนาสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผัก
ผู้วิจัย	วีระชัย แสงฉาย
คณะ	เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
ปี	2560

### บทคัดย่อ

โครงการงานวิจัยนี้ เป็นการเตรียมสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน (0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล) เคลือบบนพลาสติกด้วยการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ แล้วศึกษาโครงสร้างต่าง ๆ ด้วยเทคนิค XRD, SEM, EDX และ AFM และศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกด้วยการย่อยสลายเมทิลีนบลู พร้อมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *E.coli* และ *Fusarium moniliforme* ภายใต้แสงยูวี ณ เวลาต่าง ๆ ผลการทดลองพบว่า การเจือเงินลงไปบนไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลต่อโครงสร้างผลึก ขนาดผลึกของอะนาเทส ความขรุขระของผิว ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* และ *Fusarium moniliforme* โดยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีโครงสร้างผลึกแบบอะนาเทสที่มีขนาดผลึกอะนาเทสเล็กที่สุด และมีความขรุขระของผิวที่สูงที่สุด และแสดงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และแสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* และ *Fusarium moniliforme* ที่ดีที่สุด อีกทั้งเมื่อนำไปทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศได้นานมากขึ้น

**คำสำคัญ:** ไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน กระบวนการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ การยับยั้งเชื้อ ยืดอายุการเก็บรักษาผัก

**Research Title** Development of TiO<sub>2</sub> Doped Ag Coating Material for Prolonging Fresh Vegetables  
**Researcher** Weerachai Sangchay  
**Faculty** Industrial Technology  
**Year** 2017

### Abstract

The research was to prepare TiO<sub>2</sub>-doped Ag (0, 1, 3 and 5 %mol) films coated on plastic by microwave-assisted sol-gel method. The structure of films was characterized using XRD, SEM, EDX and AFM analysis. Along with photocatalytic testing on degradation aqueous solution methylene blue (MB). The antimicrobial has investigated against *E.coli* and *Fusarium moniliforme* using TiO<sub>2</sub>-doped Ag films coated on plastic prepared by microwave-assisted sol-gel method under UV irradiation with different time. The result showed that Ag has the effect on morphology structure, crystallization of anatase phase, surface roughness and photocatalytic activity against *E.coli* and *Fusarium moniliforme* of the films. The 5 %mol of Ag film showed the presence of an anatase phase with the smallest size, highest roughness and highest efficiency of photocatalytic activities and *E.coli* and *Fusarium moniliforme* antifungal activities. Moreover, this film can prolong fresh tomato shelf life.

**Keywords:** TiO<sub>2</sub>-doped Ag, Microwave-assisted sol-gel method, Antifungal activities, Prolonging fresh vegetables

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา พ.ศ. 2559 จึงสามารถดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ สำหรับการดำเนินโครงการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และบุคลากร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ได้ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือต่าง ๆ เป็นอย่างดี

คุณความดีหรือประโยชน์อันใดของโครงการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุพการีผู้มีพระคุณ ครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ และครูอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตั้งแต่แรกเริ่มจนถึงปัจจุบัน



วีระชัย แสงฉาย  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
ตุลาคม 2560

## สารบัญ

รายการ	หน้า
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 วิธีการวิจัย	12
2.2 วัสดุและสารเคมี	12
2.3 การเตรียมสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	13
2.4 การเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	14
2.5 การตรวจคุณสมบัติลักษณะ	16
2.6 การทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก	17
2.7 การทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ <i>E.coli</i>	20
2.8 การทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ <i>Fusarium moniliforme</i>	21
2.9 การทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ	21
บทที่ 3 ผลและการอภิปรายผล	
3.1 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติลักษณะต่าง ๆ	23
3.2 ผลการทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก	31
3.3 ผลการทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ <i>E.coli</i>	35
3.4 ผลการทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ <i>Fusarium moniliforme</i>	37
3.5 ผลการทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ	41
บทที่ 4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
4.1 สรุปผลการทดลอง	42
4.2 ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	โครงสร้างไทเทเนียมไดออกไซด์ a) อะนาเทส b) บรูไคต์ และ c) รูไทล์	3
1.2	กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของไทเทเนียมไดออกไซด์	4
1.3	การเปลี่ยนสถานะจากโซลเป็นเจล	5
1.4	ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ จากกระบวนการโซล-เจล	5
1.5	กระบวนการจุ่มเคลือบ	6
1.6	หลักการฆ่าเชื้อโรคของไทเทเนียมไดออกไซด์	6
1.7	ลักษณะ (a) ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ และ (b) ผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วย Fe <sup>3+</sup>	7
1.8	ขนาดผลึกของผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วยไนโตรเจน	8
1.9	ลักษณะผงไทเทเนียมไดออกไซด์	8
1.10	สมบัติการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อ <i>S.aureus</i> ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์	9
1.11	สมบัติการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	11
2.1	สารเคมีสำหรับการดำเนินงานวิจัย	12
2.2	ถุงพลาสติก ชนิด PP หนา	13
2.3	สารละลาย C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH ผสมกับ TTIP ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และ AgNO <sub>3</sub>	14
2.4	สารแขวนลอยคอลลอยด์น้ำนม	14
2.5	การรีฟลักซ์ด้วยเตาไมโครเวฟ	15
2.6	สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ	15
2.7	การเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ	16
2.8	ลักษณะของสลายสารละลายเมทิลีนบลู	18
2.9	ลักษณะการวางชิ้นงานก่อนทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู	19
2.10	ลักษณะชิ้นงานก่อนทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู	19
2.11	ตู้รับแสงยูวี	20
2.12	เครื่อง UV-Vis	20
2.13	การทดสอบการยึดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ โดย (A) ผลมะเขือเทศห่อด้วยถุงพลาสติกที่ไม่มีสารเคลือบ และ (B) ผลมะเขือเทศห่อด้วยถุงพลาสติกที่มีสารเคลือบ	22
3.1	ผล XRD ของ TP	23
3.2	ผล XRD ของ T1Ag	24
3.3	ผล XRD ของ T3Ag	24
3.4	ผล XRD ของ T5Ag	25
3.5	ผล EDX ของ TP	26

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	ผล EDX ของ T1Ag	27
3.7	ผล EDX ของ T3Ag	27
3.8	ผล EDX ของ T5Ag	28
3.9	ผล SEM ของ P	28
3.10	ผล SEM ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	30
3.11	ผล AFM ของของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	31
3.12	อัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	32
3.13	เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	34
3.14	ลักษณะของสารละลายเมทิลีนบลูหลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ณ เวลาการได้รับแสงยูวี 0 ชั่วโมง	34
3.15	ลักษณะของสารละลายเมทิลีนบลูหลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ณ เวลาการได้รับแสงยูวี 3.0 ชั่วโมง	35
3.16	อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ <i>E.coli</i> หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	36
3.17	เปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ <i>E.coli</i> หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	36
3.18	ภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ <i>E.coli</i> ที่รอดชีวิตหลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ภายใต้แสงยูวี ณ เวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที	37
3.19	อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ <i>Fusarium moniliforme</i> หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	39
3.20	เปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ <i>Fusarium moniliforme</i> หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน	39
3.21	ภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ <i>Fusarium moniliforme</i> ที่รอดชีวิตหลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ภายใต้แสงยูวี ณ เวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที	40
3.22	ลักษณะของเชื้อ <i>Fusarium moniliforme</i> ที่รอดชีวิตหลังการทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ภายใต้แสงยูวี 60 นาที	40
3.23	ลักษณะของผลมะเขือเทศที่ใช้ทดสอบภายใต้แสงยูวี ณ เวลาต่าง ๆ	41

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน	25
3.2	ค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน	31
3.3	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน	33
3.4	ลักษณะของผลมะเขือเทศ ภายใต้แสงยูวี ณ เวลาต่าง ๆ	41





## สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

สัญลักษณ์คำย่อ	ความหมาย
$C_0$	ความเข้มข้นเริ่มต้น
C	ความเข้มข้น ณ เวลาทดสอบ
$E_g$	แถบช่องว่างพลังงาน (eV)
EDX	Energy Dispersive X-ray Analysis
M	หน่วยความเข้มข้นเป็นโมลาร์
MB	สารละลายเมทิลีนบลู
P	ถุงพลาสติก
SEM	Scanning Electron Microscopy
TP	สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์โมล หรือ สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่มีการเจือเงิน
T1Ag	สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์โมล
T3Ag	สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์โมล
T5Ag	สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล
UV-Vis	Ultraviolet-Visible Spectrophotometer
XRD	X-Ray Diffractometry

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ฝักนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญประเภทหนึ่งของประเทศไทย โดยฝักสามารถทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายพันล้านบาท และฝักยังเป็นที่นิยมบริโภคกันทั่วไปทั้งในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้ ความต้องการบริโภคฝักนับวันจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสาเหตุหลักคือ จำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นและความสนใจในสุขภาพก็มีมากขึ้นด้วย ในการผลิตฝักถือได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสภาพพื้นที่และภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการผลิตฝักหลากหลายชนิด ตั้งแต่ภาคเหนือจนถึงภาคใต้ ส่วนฤดูกาลให้ผลผลิตฝักแต่ละชนิดก็ยังคงแตกต่างกันไปในแต่ละสภาพพื้นที่ของแต่ละภาค จึงเป็นข้อดีประการหนึ่งที่ส่งผลให้ประเทศไทยมีฝักหลากหลายชนิดหมุนเวียนออกสู่ตลาดตลอดทั้งปี สิ่งที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตฝักก็คือ กระบวนการหรือวิธีการในการเก็บรักษาฝักให้มีอายุการใช้งานได้นานขึ้น โดยสาเหตุของการเน่าเสียของฝัก นั้นอาจเกิดจากการเก็บเกี่ยว การขนส่งและเชื้อโรคบางชนิด ซึ่งเชื้อโรคมักพบในฝัก คือ เชื้อแบคทีเรียที่เรียกว่า เอสเชอริเชียโคไล (*Escherichia coli*, *E.coli*) โดยจะนำมาสู่สาเหตุของการเกิดอาหารเป็นพิษ ท้องเสีย และอาการเกี่ยวกับทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเชื้อราที่เป็นปัจจัยหนึ่งในการทำให้ฝักเกิดการเน่าเสีย เชื้อราที่พบบ่อย ๆ ได้แก่ *Fusarium oxysporum* (*Fusarium sp.*)

ปัจจุบันนักวิจัยได้มีการคิดค้นนำไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide,  $TiO_2$ ) มาประยุกต์สำหรับการใช้งานด้านต่าง ๆ เนื่องจากมีความเสถียรต่อสารเคมี ไม่มีความเป็นพิษ ราคาไม่แพงมาก และสมบัติพิเศษที่เป็นประโยชน์อีกหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำประสิทธิภาพโฟโตแคตะไลติกของไทเทเนียมไดออกไซด์ไปใช้อย่างกว้างขวางในการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ได้มีการศึกษาผลของไทเทเนียมไดออกไซด์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* (วีระชัย แสงฉาย, 2556; Sangchay et al., 2013; Sangchay, 2013) ในส่วนการการนำไทเทเนียมไดออกไซด์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* นั้น พบว่าเมื่อมีการเจือโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก (Iron, Fe) เงิน (Silver, Ag) และซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) (Sangchay, 2014; Sangchay, 2013; Sun et al., 2014) ลงไปจะช่วยส่งเสริมให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ดีขึ้น

ดังนั้น โครงการวิจัยในครั้งนี้เป็นการพัฒนาสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ หลังจากนั้นนำสารเคลือบที่ได้ไปตรวจหาลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือและเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) และ กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) เป็นต้น พร้อมทั้งนำไปทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู (Methylene blue, MB) เพื่อศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราภายใต้แสงยูวี (UV irradiation) พร้อมทั้งศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการสังเคราะห์สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ

1.2.2 ศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกและประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราภายใต้แสงยูวีของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน

1.2.3 ศึกษาการยึดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 สังเคราะห์สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ โดยขั้นตอนในการเตรียมดำเนินการตามงานวิจัยของผู้วิจัยที่ได้ดำเนินการมาก่อนหน้านี้ (Sangchay et al., 2015; Sangchay, 2016) โดยปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 โมลเปอร์เซ็นต์ (mol%) ของไทเทเนียมไดออกไซด์

1.3.2 ตรวจสอบโครงสร้างและคุณลักษณะต่าง ๆ ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ ด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เช่น SEM, XRD, AFM และ EDX เป็นต้น

1.3.3 ศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกด้วยการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูและศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ภายใต้แสงยูวี ณ เวลาต่าง ๆ

1.3.4 นำสูตรที่แสดงปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกด้วยการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูและประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ดีที่สุด มาศึกษาการยึดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ ภายใต้แสงยูวี ณ เวลาต่าง ๆ

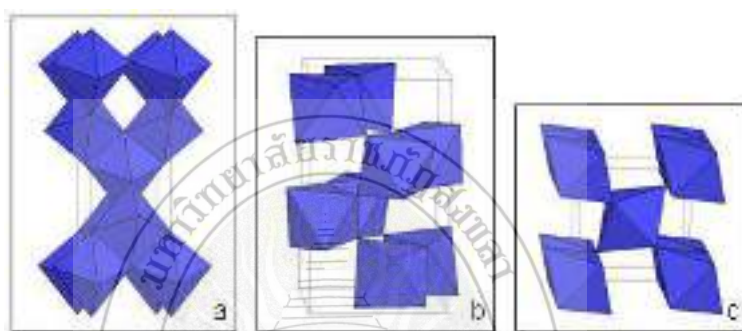
## 1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ เพื่อศึกษาศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราภายใต้แสงยูวี ซึ่งมีทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

### 1.4.1 ไทเทเนียมไดออกไซด์

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียมซึ่งอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน (Transition metal) (Carp et al., 2004) โดยเป็นสารกึ่งตัวนำในรูปผลึกอะนาทาส (Anatase) และมีสมบัติพิเศษทางโฟโตแคตะไลติก และสมบัติไฮโดรฟิลิกหรือสมบัติชอบน้ำที่สูง (พรนภา, 2005) หรือกล่าวง่าย ๆ ว่าเป็นสารที่สามารถถูกเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยแสงยูวี ซึ่งได้มีการศึกษาเป็นเวลานานถึงความสามารถในการกำจัดทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำ อากาศและสิ่งมีชีวิต โลหะไทเทเนียมมีเลขอะตอม 22 และน้ำหนักอะตอม 47.90 กรัมต่อโมล ซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้าง 3 แบบ แสดงดังรูปที่ 1.1 ได้แก่ รูไทล์ (Rutile) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบ Tetragonal อะ

นาเทส มีโครงสร้างผลึกแบบ Tetragonal และบรูไคต์ (Brookite) มีโครงสร้างผลึกแบบ Orthorhombic (Carp et al., 2004) โดยอะนาเทสมีแถบช่องว่างพลังงาน 3.22 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ซึ่งมากกว่ารูไทล์ (3.02 eV) อะนาเทสจึงมีสมบัติเป็นโฟโตแคตะลิสต์ (Photocatalis) ที่สูงกว่ารูไทล์ เพราะอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นของเฟสรูไทล์จะกลับมารวมตัวกับหลุมประจุบวกเร็วมากและเร็วกว่ากรณีของเฟสอะนาเทส จึงทำให้ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ และมีประสิทธิภาพต่ำ นอกจากนั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปเฟสอะนาเทสมีความเป็นผลึกสูงและพื้นที่ผิวมากที่สุด เมื่อเทียบกับเฟสอื่น ๆ (Yang et al., 2002) ซึ่งสมบัติเหล่านี้จะส่งผลต่อการเป็นโฟโตแคตะลิสต์ของไทเทเนียมไดออกไซด์



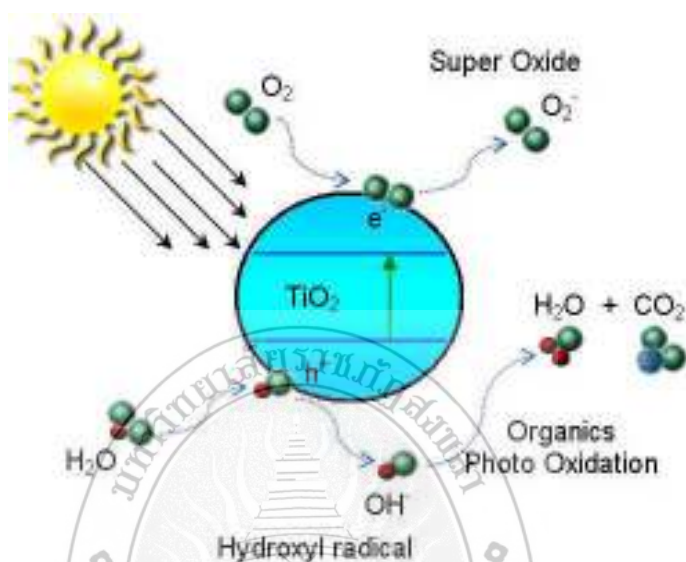
รูปที่ 1.1 โครงสร้างไทเทเนียมไดออกไซด์ a) อะนาเทส b) บรูไคต์ และ c) รูไทล์  
(ดัดแปลงมาจาก <http://www.vcharkarn.com/varticle/27809/> สืบค้นวันที่ 21/01/2559)

#### 1.4.2 ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก

ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกค้นพบโดย Fujishima เมื่อปี ค.ศ. 1967 เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยแสงยูวี โดยส่วนใหญ่วัสดุที่เป็นโฟโตแคตะลิสต์ จะเป็นวัสดุที่อยู่ในกลุ่มของเซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor) โดยหลักการเกิดปรากฏการณ์โฟโตแคตะไลติกมีรายละเอียดดังนี้ เมื่อวัสดุโฟโตแคตะลิสต์ถูกกระตุ้นด้วยแสงจะดูดซับพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าแถบช่องว่างพลังงาน ทำให้อิเล็กตรอนในแถบเวเลนซ์ถูกกระตุ้นและจะกระโดดขึ้นไปอยู่ในแถบการนำ ส่งผลให้ในแถบเวเลนซ์เกิดหลุมประจุบวก ( $h^+$ ) ขึ้น เมื่อสัมผัสกับความชื้นหรือน้ำจะก่อให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH\cdot$ ) และซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัลแอนไอออน ( $O_2^-$ ) ดังแสดงในสมการที่ (1.1) - (1.3) โดยในที่นี้ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นโฟโตแคตะลิสต์



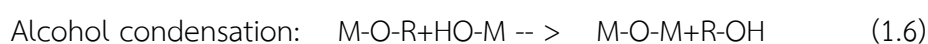
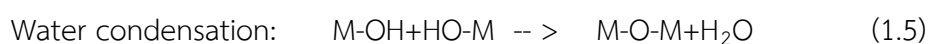
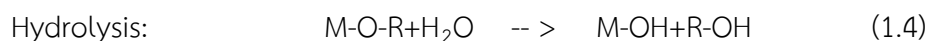
โดยไฮดรอกซิลเรดิคัลและซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัลแอนไอออนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดีสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ทำให้เกิดการสลายตัวได้ (จิราภรณ์, 2551) กลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 1.2



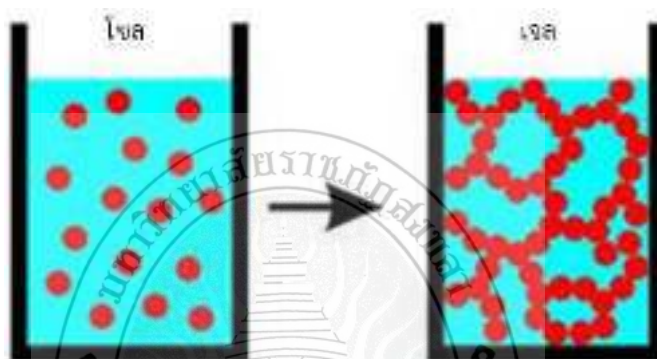
รูปที่ 1.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของไทเทเนียมไดออกไซด์ (ที่มา: [www-Photocatalytic.PGC Science.htm](http://www-Photocatalytic.PGC Science.htm) สืบค้นวันที่ 21/01/2559)

#### 1.4.3 กระบวนการโซล-เจล

กระบวนการวิธีโซล-เจล เป็นกระบวนการที่มีประโยชน์หลายอย่างในการผลิตเซรามิกแก้ว และโดยเฉพาะวัสดุที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง โดยทั่วไปกระบวนการโซล-เจล เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่เรียกว่า “โซล” ซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปของสารแขวนลอยที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมครอน (Micron,  $\mu\text{m}$ ) เป็นของแข็งที่เรียกว่า “เจล” ดังแสดงในรูปที่ 1.3 โดยปฏิกิริยาสำคัญในกระบวนการโซล-เจล มี 3 ปฏิกิริยา คือ Hydrolysis, Water condensation และ Alcohol condensation ดังสมการที่ (1.4) - (1.6) โดยมีปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ pH ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโมลของน้ำและโลหะ และอุณหภูมิ เป็นต้น ดังนั้นการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ในสภาวะที่ต่างกันจะทำให้โซลและเจลที่ได้มีสมบัติที่แตกต่างกัน

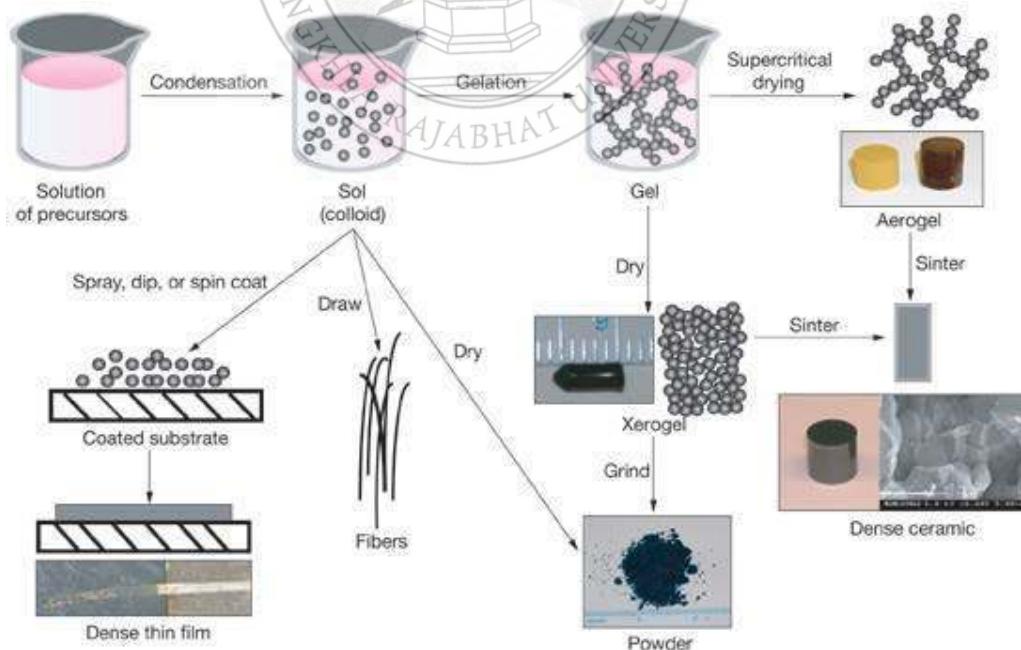


เมื่อ M แทนโลหะได้แก่ ซิลิคอน (Silicon, Si) เซอร์โคเนียม (Zirconium, Zr) ไทเทเนียม (Titanium, Ti) อะลูมิเนียม (Aluminium, Al) ตะกั่ว (Tin, Sn) ซีเรียม (Cerium, Ce) และ OR แทนกลุ่มอัลคอกซิล (Alkoxy group) ในกระบวนการผลิตทั้งจากสถานะที่เป็นโซล-เจล เมื่อเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เส้นใย (Fiber) แอโรเจล (Aerogel) ซีโรเจล (Xerogel) ผง (Powder) และ ฟิล์มเคลือบ (Coating film) เป็นวัสดุพิเศษสำหรับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ต่อไป (เล็ก, 2547; Brinker et al., 1990; Carp et al., 2004) ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.3 การเปลี่ยนสถานะจากโซลเป็นเจล

(ที่มา: <http://phys.suwan.ac.kr/jgyoon/lab/solgel.html> สืบค้นวันที่ 25/12/2558)

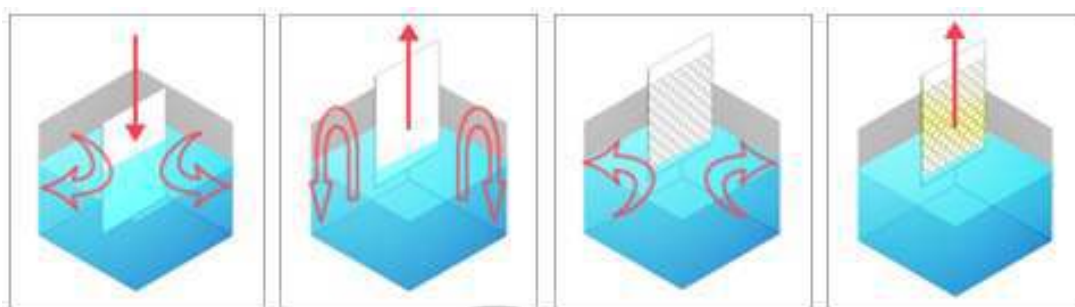


รูปที่ 1.4 ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ จากกระบวนการโซล-เจล

(ที่มา: <https://www.llnl.gov/str/May05/Satcher.html> สืบค้นวันที่ 25/12/2558)

#### 1.4.4 กระบวนการจุ่มเคลือบ

กระบวนการจุ่มเคลือบเป็นเทคนิคในการเคลือบผิววัสดุวิธีหนึ่ง โดยการจุ่มวัสดุฐาน (Substrate) ลงในของเหลว โดยความหนาของฟิล์มที่เคลือบในแต่ละครั้ง ขึ้นอยู่กับอัตราในการจุ่ม และความหนืดของของเหลว (รูปที่ 1.5)

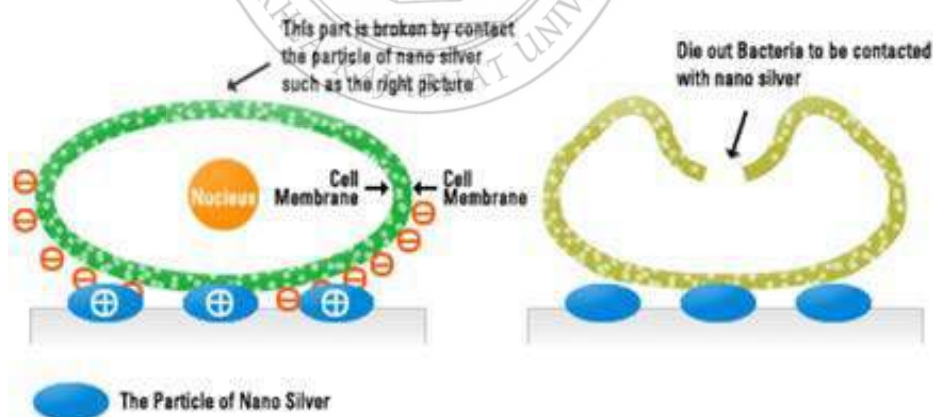


รูปที่ 1.5 กระบวนการจุ่มเคลือบ

(ที่มา: <http://www.sdicompany.com/en/principle/index.html> สืบค้นวันที่ 22/12/2558)

#### 1.4.5 หลักการฆ่าเชื้อโรคของไทเทเนียมไดออกไซด์

ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของไทเทเนียมไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนในการผสมผสานของไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาดของแบคทีเรีย และสารตัวเจือ โดยไทเทเนียมไดออกไซด์จะไปทำปฏิกิริยากับผนังเซลล์ของเชื้อโรคส่งผลให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย จึงทำให้ไม่สามารถดำรงชีวิตอีกต่อไปได้ ดังรูปที่ 1.6



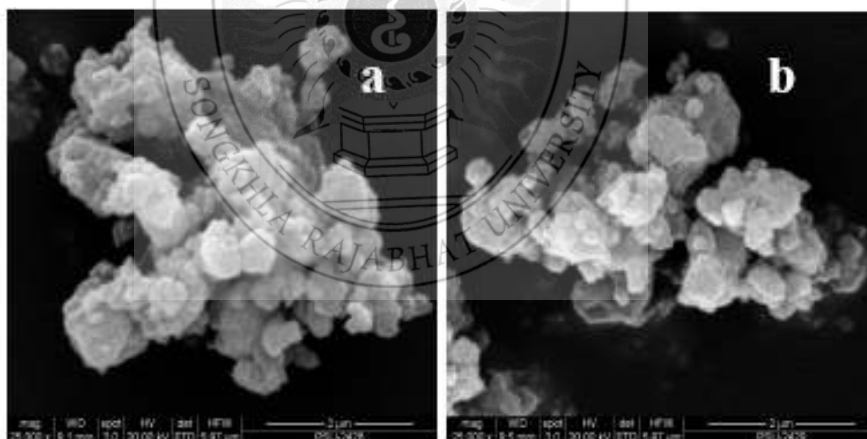
รูปที่ 1.6 หลักการฆ่าเชื้อโรคของไทเทเนียมไดออกไซด์

(ที่มา: <http://www.geocities.com/thanimwas/method.html> สืบค้นวันที่ 22/12/2558)

### 1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันได้เริ่มมีการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์ผงและสารเคลือบหรือฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำโดยใช้เตาไมโครเวฟ เนื่องจากการสังเคราะห์โดยใช้ไมโครเวฟจะมีข้อดีในด้านของการประหยัดเวลา และลดพลังงานในการสังเคราะห์ ตัวอย่างงานวิจัยในการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ เช่น

Saowaluk และคณะ (2011) ได้สังเคราะห์ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ และผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วย  $Fe^{3+}$  ด้วยกระบวนการโซล-เจล จากนั้นนำไปรีฟลักซ์ ด้วยไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 180 วัตต์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปอบให้แห้งโดยไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 100 วัตต์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปตรวจสอบโครงสร้าง ทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และการฆ่าเชื้อโรค *E.coli* เปรียบเทียบกับผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขายในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งก็คือ Degussa P25 ผลการทดลองพบว่า ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้มีขนาดเล็ก ประมาณ 8.3-8.4 ไมโครเมตร (รูปที่ 1.7) และมีพื้นที่ผิว 172.8-194.5 ตารางมิลลิเมตรต่อกรัม ซึ่งจะดีกว่า P25 และโครงสร้างของผงไทเทเนียมไดออกไซด์จะเป็นเฟสผสมระหว่างอะนาเทส และรูไทล์ เช่นเดียวกับ P25 ในส่วนผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และการฆ่าเชื้อโรค *E.coli* พบว่า ผงไทเทเนียมไดออกไซด์แสดงสมบัติที่ดีกว่าผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วย  $Fe^{3+}$  และ P25

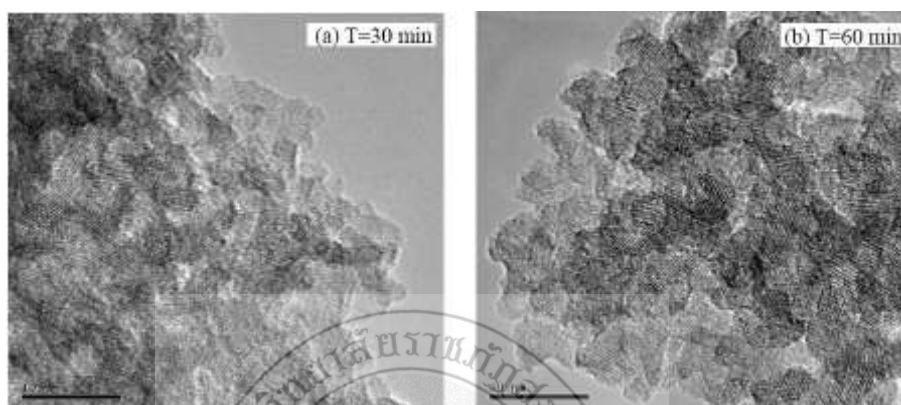


รูปที่ 1.7 ลักษณะ (a) ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ และ (b) ผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วย  $Fe^{3+}$   
(ที่มา: Saowaluk และคณะ (2011))

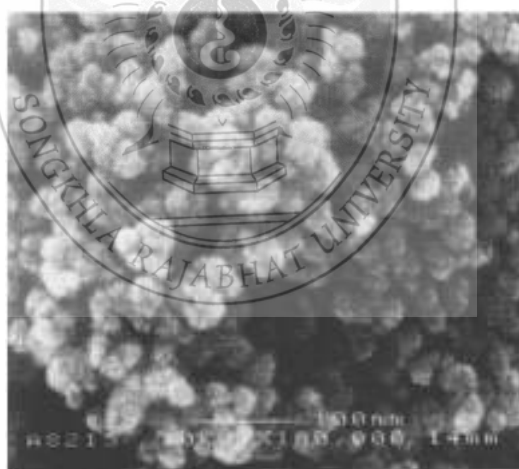
Zengxiu และคณะ (2010) สังเคราะห์ผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วยไนโตรเจน (Nitrogen; N) โดยการใช้ไมโครเวฟมาช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ และเวลาที่ใช้การสังเคราะห์เท่ากับ 20, 30, 40 และ 60 นาที ผลการทดลองพบว่า ขนาดผลึกของผงสังเคราะห์จะอยู่ในช่วง 5-10 นาโนเมตร (ดังรูปที่ 1.8) และโครงสร้างเฟสที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะเป็นเฟสอะนาเทส ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วยไนโตรเจนจะสูงกว่าไม่เจือด้วยไนโตรเจน Shirke



และคณะ (2011) สังเคราะห์ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโซล-เจล และนำไมโครเวฟมาช่วย โดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า โครงสร้างเฟสของผงสังเคราะห์มีเพียงเฟสอะนาเทส และมีขนาดผลึกอยู่ในช่วง 20-25 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1.9 จากรูปพบว่า ผงสังเคราะห์มีการกระจายตัวที่ดี พร้อมทั้งมีความบริสุทธิ์ที่สูง



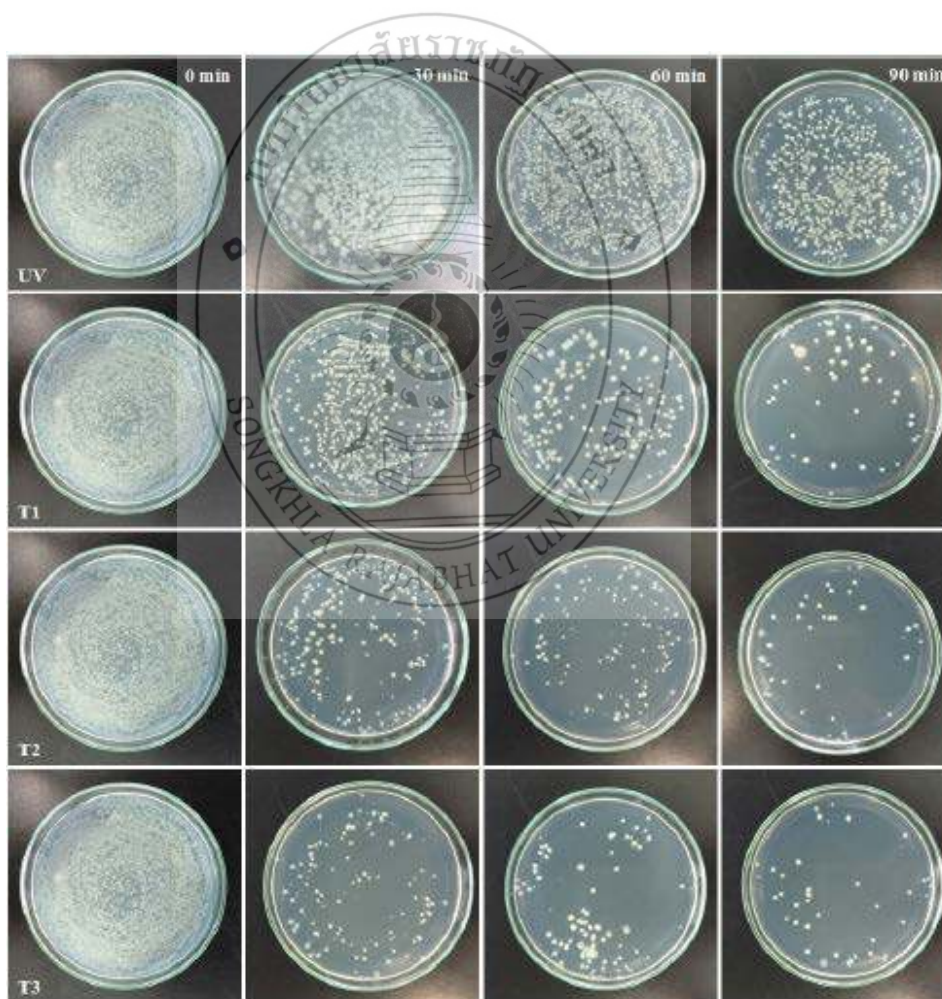
รูปที่ 1.8 ขนาดผลึกของผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วยไนโตรเจน  
(ที่มา: Zengxiu และคณะ (2010))



รูปที่ 1.9 ลักษณะผงไทเทเนียมไดออกไซด์  
(ที่มา: Shirke และคณะ (2011))

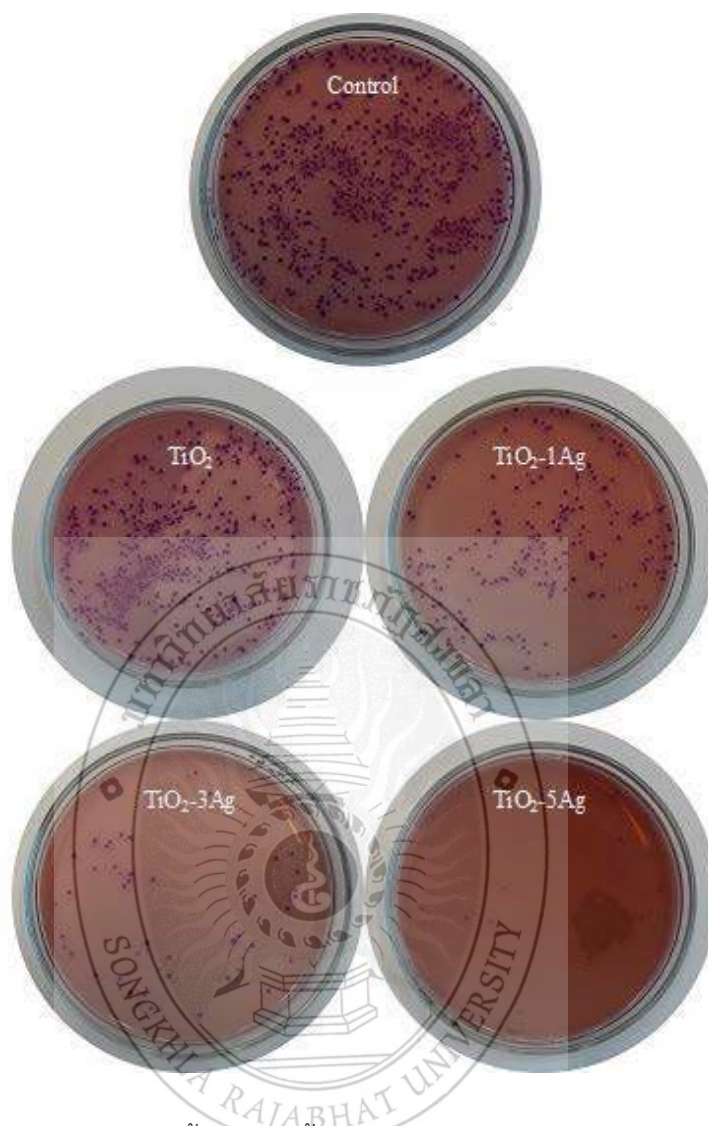
Sangchay และคณะ (2015) ศึกษาโครงสร้าง และประสิทธิภาพปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูภายใต้แสงยูวีและแสงฟลูออเรสเซนต์ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งจะใช้วิธีการโซล-เจลสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ผง แล้วนำไปรีฟลักซ์ด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับพลังงานเท่ากับ 180 วัตต์ เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาอบให้แห้งด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับพลังงานเท่ากับ 180 วัตต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟสของผงจะใช้

เครื่อง XRD และประสิทธิภาพปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายเมทิลีนบลูจะใช้เครื่อง UV-Vis ผลการทดลองพบว่า ผงสังเคราะห์แสดงเฟสอะนาเทสเพียงเฟสเดียว และมีขนาดผลึกเท่ากับ 20.7, 13.8 และ 9.3 นาโนเมตร สำหรับผงที่เตรียมจากการรีฟลักซ์ด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับพลังงานเท่ากับ 180 วัตต์ เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งผงที่เตรียมจากการรีฟลักซ์ด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับพลังงานเท่ากับ 180 วัตต์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูภายใต้แสงยูวีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 69 และ 36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในเวลา 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ นักวิจัยได้นำผงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟดังกล่าวมาทดสอบการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อ *E.coli* และ *S.aureus* ซึ่งพบว่าผงที่เตรียมจากการรีฟลักซ์ด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับพลังงานเท่ากับ 180 วัตต์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะแสดงสมบัติการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อ *E.coli* และ *S.aureus* ที่ดีที่สุด (Sangchay และคณะ (2015); Sangchay, 2016)



รูปที่ 1.10 สมบัติการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อ *S.aureus* ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์  
(ที่มา: Sangchay, 2015)

จากข้อมูลที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่าไทเทเนียมไดออกไซด์มีสมบัติในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรีย แต่หากต้องการให้สมบัติดังกล่าวมีประสิทธิภาพที่มากขึ้นอาจจะต้องมีการปรับปรุงโดยการผสมสารเจือลงไป ซึ่งสารเจือที่มีการศึกษาเพื่อเพิ่มสมบัติในการการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียของไทเทเนียมไดออกไซด์อีกชนิดหนึ่งได้แก่ เงิน นั่นเอง โดยตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มสมบัติในการการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียของไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน เช่น Kim และคณะ 2006 ได้มีการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ กับ  $\text{AgNO}_3$  ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำโดยวิธี Chemical Reduction Method เพื่อต้องการให้เป็นไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินแล้วนำมาทดลองยับยั้งหรือฆ่าแบคทีเรีย *E.coli* ผลการทดลองพบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดี แต่ไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว โดยมีค่าเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนงานวิจัยของ Shahab และคณะ 2009 ได้ศึกษาเกี่ยวกับผงของไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อฆ่าเชื้อ *E.coli* โดยใช้กระบวนการโซล-เจลในการเตรียมผง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าผงของไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ผ่านการเผาที่ 300 องศาเซลเซียส จะมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อที่ดีที่สุด เพราะผลมาจากการเกิดเฟสอะนาเทสที่ดี ส่งผลให้กระบวนการโฟโตแคตะไลติกดีตามไปด้วยนั่นเอง และ Sangchay, 2013 ได้สังเคราะห์ผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน โดยงานวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปการดำเนินงานวิจัยดังนี้ ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ และผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจ็ดด้วยเงิน (1-5 เปอร์เซ็นต์โมล) เตรียมด้วยกระบวนการโซล-เจล แล้วนำผงที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาต่อนาที ลักษณะโครงสร้างต่าง ๆ ของผงที่สังเคราะห์จะใช้เทคนิค SEM, XRD และ EDX ในการวิเคราะห์ ผลพบว่าผงมีลักษณะการรวมตัวกัน และโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์จะเป็นเฟสอะนาเทสเพียงอย่างเดียว แล้วนำผงไปทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลู พร้อมทั้งทดสอบสมบัติการฆ่าเชื้อ *E.coli* ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารเจือที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และสมบัติการฆ่าเชื้อ *E.coli* ที่ดี โดยผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจ็ดด้วยเงิน 5 เปอร์เซ็นต์โมล ( $\text{TiO}_2\text{-5Ag}$ ) ให้ค่าปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และสมบัติการฆ่าเชื้อ *E.coli* ที่สูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 52.30 และ 95.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 1.11)



รูปที่ 1.11 สมบัติการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อ *E.coli* ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน  
(ที่มา: Sangchay, 2013)

## บทที่ 2

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 2.1 วิธีการวิจัย

โครงการวิจัยในครั้งนี้เป็นการพัฒนาสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ หลังจากนั้นนำสารเคลือบที่ได้ไปตรวจหาลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือและเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ เช่น XRD, SEM, AFM และ EDX เป็นต้น พร้อมทั้งนำไปทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู เพื่อศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราภายใต้แสงยูวี พร้อมทั้งศึกษาการยึดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ

#### 2.2 วัสดุและสารเคมี

ในการดำเนินการงานวิจัยจะใช้สารเคมีเกรดสำหรับห้องปฏิบัติการ ซึ่งสารเคมีที่สำคัญ ๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้ Silver Nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ) บริษัท Chem-supply, Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) 36.5-38.0 เปอร์เซ็นต์ บริษัท RCL Labscan limited, Titanium (IV) Isopropoxide ( $\text{C}_{12}\text{H}_{28}\text{O}_4\text{Ti}$ , TTIP) บริษัท Aldrich chemistry, Hydrochloric Acid (HCl) 69-70 เปอร์เซ็นต์ บริษัท J.T.Baker (รูปที่ 2.1) และถุงพลาสติก ชนิด PP แบบหนา (Polypropylene, PP) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 สารเคมีสำหรับการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 2.2 ถุงพลาสติก ชนิด PP หนา

### 2.3 การเตรียมสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน

การเตรียมหรือการสังเคราะห์สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ ดัดแปลงมาจาก Sangchay et al., 2015; Sangchay, 2016 ที่มีการศึกษาไว้ก่อนแล้ว โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้ เริ่มต้น นำ  $C_2H_5OH$  ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ผสมกับ TTIP ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และ  $AgNO_3$  (0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล) กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารแบบแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) ด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที จนครบ 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 2.3) หลังจากนั้น เติมน้ำกลั่นปริมาตร 250 มิลลิลิตร และเติม HCl ปริมาตร 3 มิลลิลิตร (pH 3) แล้วกวนต่อไปอีกจนครบ 45 นาที ก็จะได้เป็นสารแขวนลอยคล้ายน้ำนม (รูปที่ 2.4) หลังจากนั้นนำสารละลายดังกล่าวไปรีฟลักซ์ (Reflux) ด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 180 วัตต์เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (รูปที่ 2.5) ภายหลังจากดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้นเสร็จก็จะได้สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ ได้แก่ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.3 สารละลาย  $C_2H_5OH$  ผสมกับ TTIP ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และ  $AgNO_3$



รูปที่ 2.4 สารแขวนลอยคอลลอยด์น้ำนม



รูปที่ 2.5 การรีฟลักซ์ด้วยเตาไมโครเวฟ



รูปที่ 2.6 สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ

#### 2.4 การเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน

นำถุงพลาสติก ชนิด PP แบบหนา มาทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น จำนวน 2 รอบ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำถุงพลาสติกมาจุ่มในสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.7 แล้วนำตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการก็จะได้สารเคลือบหรือฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ เคลือบบนถุงพลาสติกตามต้องการ โดยสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ มีกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้แทนการเรียกตัวอย่างชิ้นงานดังนี้ TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag ซึ่งหมายถึง สารเคลือบหรือฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน เคลือบบนถุงพลาสติก ที่ปริมาณเงิน



เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ และ กำหนดให้ P คือ อนุภาคนาโนที่ไม่มีการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน



รูปที่ 2.7 การเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ

## 2.5 การตรวจสอบคุณลักษณะ

### 2.5.1 X-Ray Diffractometry (XRD)

เทคนิค XRD (รุ่น X'Pert MPD, PHILIPS, Netherlands) ศึกษาโครงสร้างผลึกของเฟส และคำนวณหาขนาดของผลึกของแต่ละเฟสที่เกิดขึ้นของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินที่ปริมาณเงินต่าง ๆ โดยใช้สมการ Scherer (Khatamian et al., 2009; Sangchay, 2013; Sangchay, 2015; Sangchay, 2016; Sangchay et al., 2015; Sangchay et al., 2015; Sangchay et al., 2013) ดังสมการที่ (2.1)

$$t = 0.9 \lambda / \beta \cos \theta_B \quad (2.1)$$

เมื่อ  $t$  คือ ขนาดของผลึก (นาโนเมตร),  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ ( $\text{CuK}\alpha = 0.15406$  นาโนเมตร),  $\beta$  คือ Line width at half maximum height (เรเดียน) และ  $\theta$  คือ มุมสะท้อน (องศา)

### 2.5.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

ตรวจดูโครงสร้างจุลภาคพื้นผิวของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ (รุ่น Quanta 400, FEI, Czech Republic)

### 2.5.3 Atomic force microscopy (AFM)

ศึกษาความราบเรียบหรือความขรุขระของพื้นผิวสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ โดยพื้นที่กวาด  $1 \times 1$  ไมโครเมตร (SEIKO รุ่น SPA 400)

### 2.5.4 Energy Dispersive X-ray analysis (EDX)

ตรวจดูธาตุต่าง ๆ ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ (รุ่น Quanta400, FEI, Czech Republic)

### 2.5.5 Ultraviolet Visible spectrophotometer (UV-Vis)

โดยทำการสแกนที่ความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร และวัดปริมาณความเข้มสีของสารละลายเมทิลีนบลู เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแสงยูวี (แสงยูวีมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 310-400 นาโนเมตร) โดยเลือกความยาวคลื่นที่ 664 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่สารละลายเมทิลีนบลูสามารถดูดกลืนได้ดี (รุ่น GENESYS™ 10S)

## 2.6 การทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก

### 2.6.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ผล โดยเตรียมสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นอยู่ในช่วง  $0.5 \times 10^{-5}$  ถึง  $3 \times 10^{-5}$  โมลาร์ วัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร และเลือกความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร ในการวัดค่าการดูดกลืนสีของสารละลายเมทิลีนบลู

### 2.6.2 ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู

การทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูจะใช้สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ที่ปริมาณเงินต่าง ๆ โดยกำหนดขนาดชิ้นงานสำหรับการทดสอบ เท่ากับ  $3 \times 4$  เซนติเมตร ต่อสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น  $1 \times 10^{-5}$  โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (รูปที่ 2.8-2.10) นำชิ้นงาน และสารละลายเมทิลีนบลูใส่ในหลอดทดลองวางในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (เพื่อลดผลจากการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูของผง) หลังจากนั้นนำไปวางในตู้เพื่อรับแสงยูวีขนาด 110 วัตต์ ที่มีความเข้มแสง  $3.89 \text{ mW/cm}^2$  (รูปที่ 2.11) โดยความยาวคลื่นย่านยูวี (310-400 นาโนเมตร) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สุ่มเก็บตัวอย่างสารละลายเมทิลีนบลู ทุก ๆ 0.5 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูที่เปลี่ยนแปลงด้วยเครื่อง UV-Vis (รูปที่ 2.12) แล้วบันทึกผลเพื่อศึกษาอัตราการลดลงของความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูหรืออัตราการย่อย

สลายสารละลายเมทิลีนบลู ( $C/C_0$ ) (Sangchay, 2013) เมื่อเวลาในการรับแสงยูวีเพิ่มขึ้น ทำการทดลองสภาวะละ 3 ตัวอย่าง หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาคำนวนหาเปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย (Percentage of degradation) สารละลายเมทิลีนบลู โดยใช้สูตรดังสมการที่ (2.2) (Sangchay et al., 2013)

$$\text{Percentage of degradation} = 100 \times (C_0 - C) / C_0 \quad (2.2)$$

เมื่อ  $C_0$  คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น และ  $C$  คือ ความเข้มข้น ณ เวลาทดสอบ (ในการทดลองนี้ ใช้หน่วยเป็นโมลาร์)



รูปที่ 2.8 ลักษณะของสลายสารละลายเมทิลีนบลู



รูปที่ 2.9 ลักษณะการวางชิ้นงานก่อนทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู



รูปที่ 2.10 ลักษณะชิ้นงานก่อนทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู



รูปที่ 2.11 ตู้รับแสงยูวี



รูปที่ 2.12 เครื่อง UV-Vis

## 2.7 การทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ *E.coli*

การทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติก มีขั้นตอนในการดำเนินงานดัดแปลงมาจากงานวิจัยของผู้วิจัยในก่อนหน้านี้นี้ (Sangchay, 2015; Sangchay et al., 2015; Sangchay et al., 2013; Sangchay, 2013) โดยมีรายละเอียดพอสรุปได้ดังนี้ เริ่มต้นนำเชื้อใส่ลงในหลอดที่มีอาหารเหลว (Trypticase soy broth) แล้วนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมเชื้อแบคทีเรียลงใน 0.85 เปอร์เซ็นต์ NaCl (9 มิลลิลิตร) โดยใช้วิธี Serial dilution แล้วไปหยดบนอาหารแข็ง Macconkey

โดยใช้เทคนิค Spread plate แล้วนับจำนวนเชื้อ *E.coli* จนได้จำนวนเชื้อ *E.coli* อยู่ในช่วง 30-400 หลังจากที่ทำทราบความเข้มข้นเชื้อตั้งต้นแล้ว นำเชื้อที่ได้ไปเตรียมให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีความเข้มข้นเชื้อประมาณ  $10^5$  CFU/ml แล้วนำตัวอย่างชิ้นงานของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เจือเงินเคลือบบนพลาสติก ขนาดเท่ากับ 2.5x2.5 เซนติเมตร มาใส่ในน้ำเกลือ (มีเชื้อ *E.coli* ความเข้มข้น  $10^5$  CFU/ml จำนวน 10 มิลลิลิตร) ที่เตรียมไว้ผสมกัน จากนั้นนำไปปรับแสงยูวี ขนาด 110 วัตต์ เป็นเวลา 0, 20, 40, และ 60 นาที แล้วนำตัวอย่างเชื้อที่ผ่านการรับแสงยูวี ที่เวลาต่าง ๆ จำนวน 0.1 มิลลิลิตร หยดลงบนอาหารแข็งที่เตรียมไว้ แล้วทำการเกลี่ยให้เชื้อ *E.coli* กระจายทั่วบนจานเพาะเชื้อ แล้วนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลังจากบ่มแล้วโคโลนีของเชื้อ *E.coli* จะเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ หลังจากนั้นทำการบันทึกผลโดยการถ่ายรูปและนับจำนวนเชื้อ *E.coli* ที่เหลือ โดยทดสอบสถานะละ 3 ตัวอย่าง แล้วนำมารายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *E.coli* และเปอร์เซ็นต์การเสียชีวิตหรือการตายของเชื้อ *E.coli*

## 2.8 การทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme*

เริ่มต้นนำเชื้อ *Fusarium moniliforme* (ได้รับความอนุเคราะห์มาจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์) ใส่ลงในหลอดที่มี 0.85 เปอร์เซ็นต์ NaCl (9 มิลลิลิตร) ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ ทำการเขย่าให้เข้ากันจะได้เป็น suspension ของเชื้อที่ความเข้มข้น  $10^1$  CFU/ml ทำการเจือจางตัวอย่างต่อไปจนได้ระดับความเจือจางที่  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$  และ  $10^5$  CFU/ml ด้วย 0.85 เปอร์เซ็นต์ NaCl แล้วนำไปหยดบนอาหารแข็ง PDA โดยใช้เทคนิค Spread plate แล้วนับจำนวนเชื้อ *Fusarium moniliforme* จนได้จำนวนเชื้อ *Fusarium moniliforme* อยู่ในช่วง 10-150 โคโลนี หลังจากที่ทำทราบความเข้มข้นเชื้อตั้งต้นแล้ว นำเชื้อที่ได้ไปเตรียมให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีความเข้มข้นเชื้อประมาณ  $10^5$  CFU/ml แล้วนำตัวอย่างชิ้นงานของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจลที่ใช้โมโคโรเวฟ ขนาดเท่ากับ 2.5x2.5 เซนติเมตร มาใส่ในน้ำเกลือ (มีเชื้อ *Fusarium moniliforme* ความเข้มข้น  $10^5$  CFU/ml จำนวน 10 มิลลิลิตร) ที่เตรียมไว้ผสมกัน จากนั้นนำไปปรับแสงยูวี ขนาด 110 วัตต์ เป็นเวลา 0, 20, 40, และ 60 นาที แล้วนำตัวอย่างเชื้อที่ผ่านการรับแสงยูวี ที่เวลาต่าง ๆ จำนวน 0.1 มิลลิลิตร หยดลงบนอาหารแข็ง PDA ที่เตรียมไว้ แล้วทำการเกลี่ยให้เชื้อ *Fusarium moniliforme* กระจายทั่วบนจานเพาะเชื้อด้วยวิธีการ spread plate แล้วนำไปบ่มที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ภายหลังจากบ่มแล้วโคโลนีของเชื้อ *Fusarium moniliforme* จะเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ หลังจากนั้นทำการบันทึกผลโดยการถ่ายรูปและนับจำนวน *Fusarium moniliforme* ที่เหลือ โดยทดสอบสถานะละ 3 ตัวอย่าง แล้วนำมารายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *Fusarium moniliforme* และเปอร์เซ็นต์การเสียชีวิตหรือการตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme*

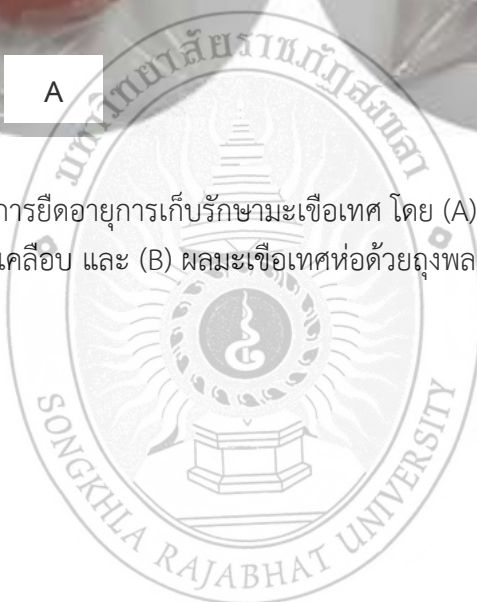
## 2.9 การทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ

นำสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติก ที่แสดงสมบัติโฟโตแคตะไลติกและสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่สูงที่สุดมาบรรจุมะเขือเทศ จากนั้นนำไปเก็บในตู้เย็นที่มีการติดตั้งระบบให้แสงยูวี โดยกำหนดระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับหลอดยูวี 30 เซนติเมตร

ทำการสังเกตและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของมะเขือเทศเป็นระยะเวลา 20 วัน โดยสุ่มเก็บผลทุก ๆ 5 วัน แล้วรายงานผลเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง โดยทำการทดลอง จำนวน 3 ครั้ง แล้วนำมา รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ตัวอย่างการทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ โดย (A) ผลมะเขือเทศห่อด้วยถุงพลาสติกที่ไม่มีสารเคลือบ และ (B) ผลมะเขือเทศห่อด้วยถุงพลาสติกที่มีสารเคลือบ



## บทที่ 3

### ผลและการอภิปรายผล

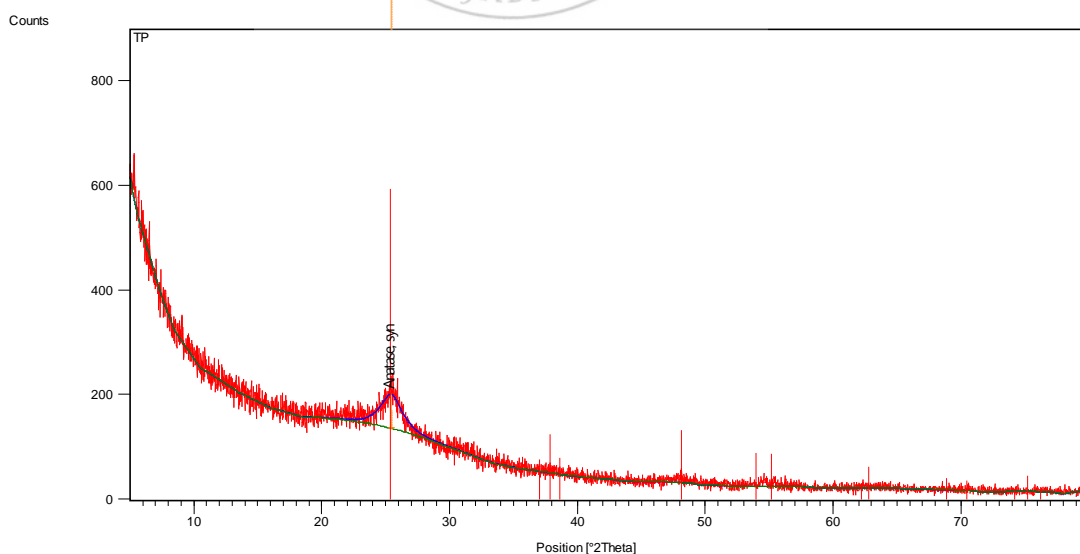
โครงการวิจัยในครั้งนี้เป็นการพัฒนาสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ หลังจากนั้นนำสารเคลือบที่ได้ไปตรวจหาลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือและเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ เช่น XRD, SEM, AFM และ EDX เป็นต้น พร้อมทั้งนำไปทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู เพื่อศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราภายใต้แสงยูวี พร้อมทั้งศึกษาการยึดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ

#### 3.1 ผลการตรวจสอบคุณลักษณะต่าง ๆ

หลังจากสังเคราะห์สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ เมื่อมีการแปรผันปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล แล้วนำสารเคลือบที่สังเคราะห์ขึ้นมาตรวจสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น XRD, SEM, AFM และ EDX ผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ดังนี้

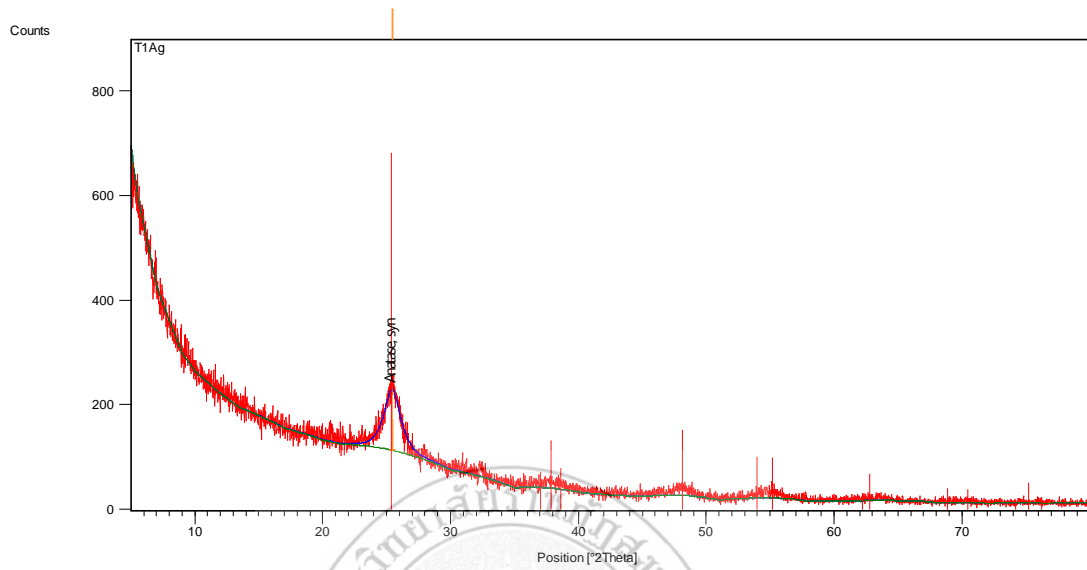
##### 3.1.1 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD

ผลการตรวจสอบโครงสร้างผลึกหรือเฟสที่เกิดขึ้นของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ เมื่อมีการแปรผันปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงดังรูปที่ 3.1-3.4 และเฟสที่ตรวจสอบพบด้วยเครื่อง XRD พร้อมทั้งปริมาณสามารถพิจารณาได้ดังตารางที่ 3.1

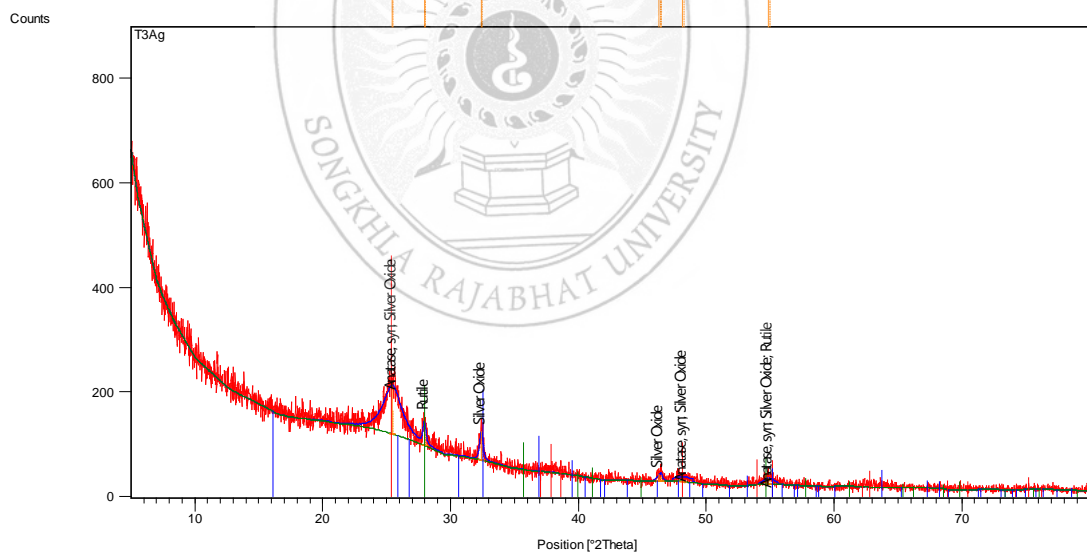


รูปที่ 3.1 ผล XRD ของ TP

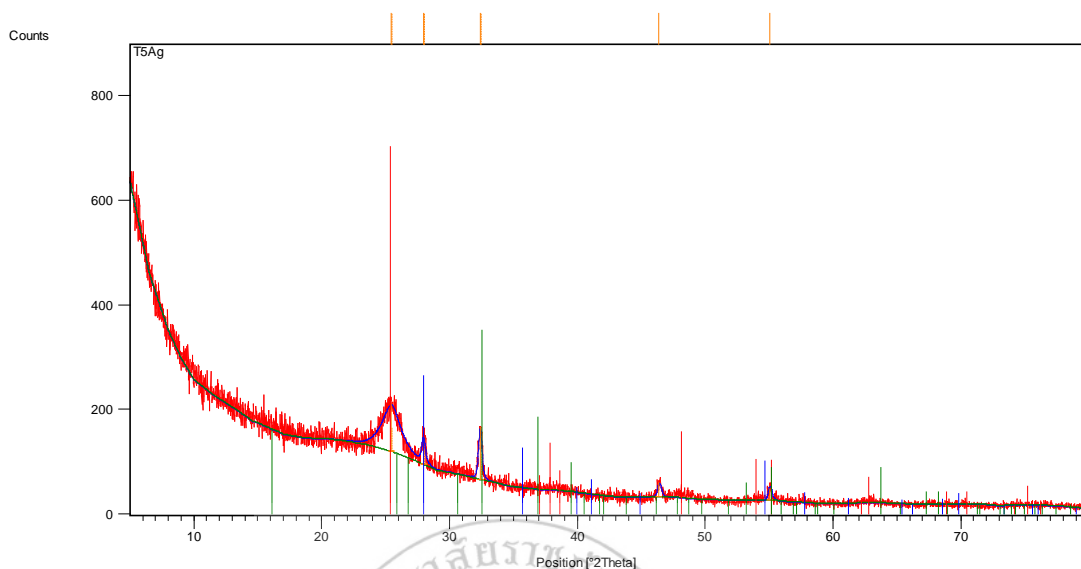




รูปที่ 3.2 ผล XRD ของ T1Ag



รูปที่ 3.3 ผล XRD ของ T3Ag



รูปที่ 3.4 ผล XRD ของ T5Ag

ตารางที่ 3.1 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน

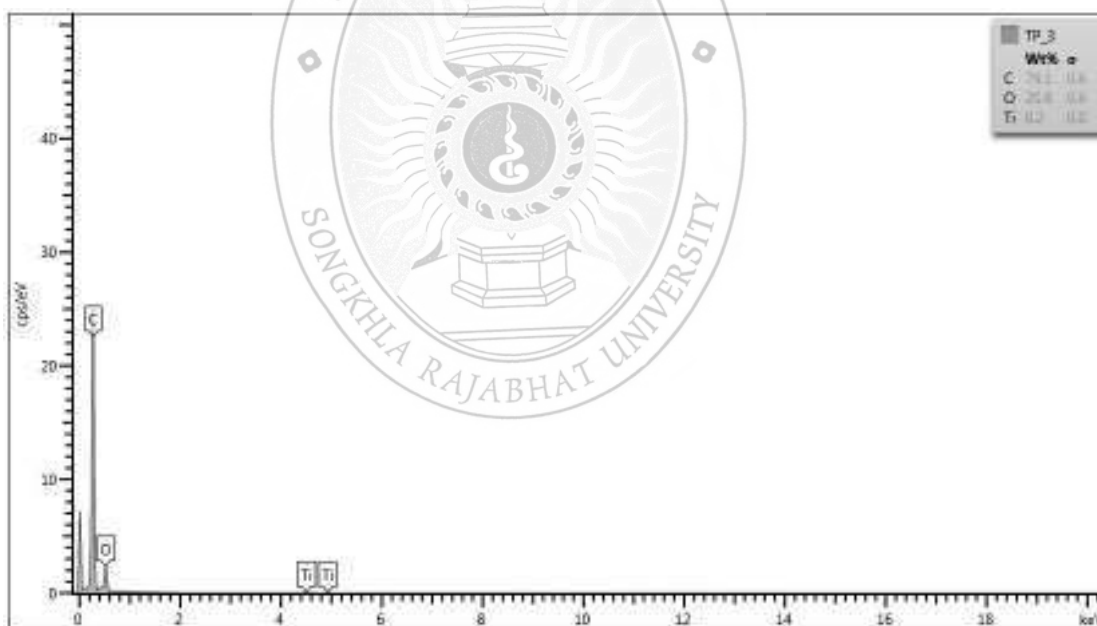
ตัวอย่าง	โครงสร้างผลึกหรือเฟส	ปริมาณ (%)
TP	TiO <sub>2</sub> -Anatase	38
T1Ag	TiO <sub>2</sub> -Anatase	36
T3Ag	TiO <sub>2</sub> -Anatase	33
	TiO <sub>2</sub> -Rutile	22
	Silver Oxide (AgO)	17
T5Ag	TiO <sub>2</sub> -Anatase	31
	TiO <sub>2</sub> -Rutile	24
	Silver Oxide (AgO)	20

จากรูปที่ 3.1-3.4 และตารางที่ 3.1 พบว่าสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน เมื่อมีการแปรผันปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล มีความแตกต่างกันของโครงสร้างผลึกหรือเฟสที่เกิดขึ้น โดย TP และ T1Ag จะเกิดเฉพาะเฟสอะนาเทสของไทเทเนียมไดออกไซด์เท่านั้น ส่วน T3Ag และ T5Ag จะเกิดเฟสรูไทล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์และเฟสของเงินเพิ่มเติมจากเฟสอะนาเทสของไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เมื่อมีการเจือเงินในปริมาณมากขึ้น เงินจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์จากอะนาเทสเป็นรูไทล์ และเมื่อพิจารณาในส่วนของคุณสมบัติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จะพบว่า เมื่อมีการเจือเงินลงไปไนไทเทเนียมไดออกไซด์จะส่งผลให้ปริมาณเฟสอะนาเทสของไทเทเนียมไดออกไซด์ลดลงแต่จะกลับไปเพิ่มปริมาณเฟสรูไทล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์แทน

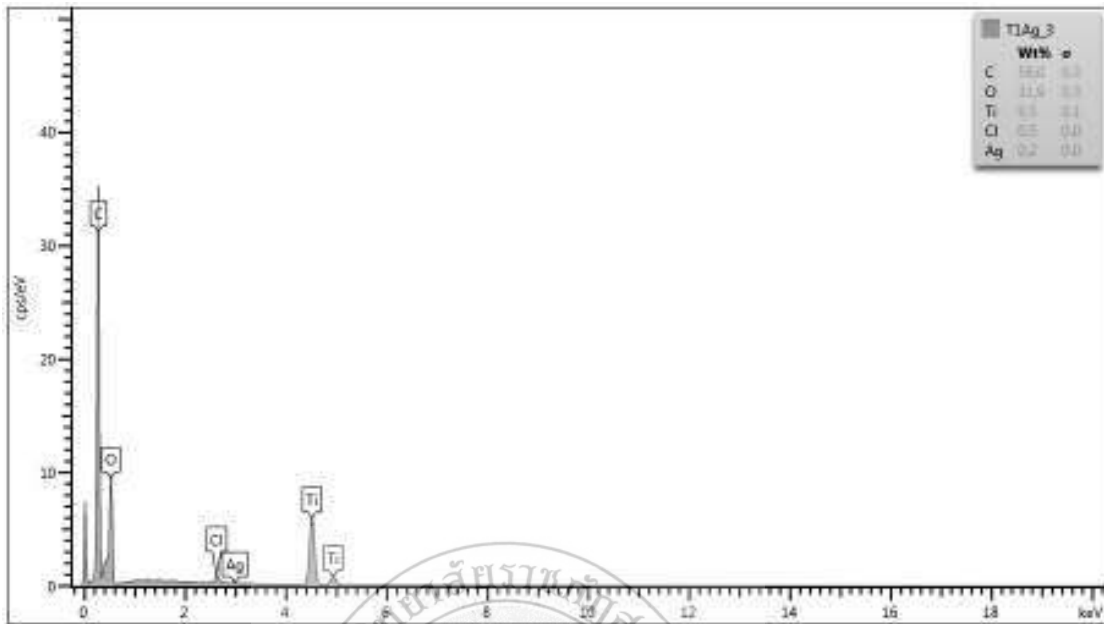
เมื่อนำข้อมูลจากการตรวจสอบด้วย XRD มาคำนวณหาขนาดผลึกของโครงสร้างเฟสอะนาเทสตามสมการของ Scherer ซึ่งขนาดผลึกอะนาเทสของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน เมื่อมีการแปรผันปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล มีค่าเท่ากับ 5.2, 4.8, 4.6 และ 4.0 นาโนเมตร ตามลำดับ พบว่าขนาดผลึกอะนาเทสของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน จะมีขนาดที่เล็กกว่าขนาดผลึกอะนาเทสของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่เจือเงิน และเมื่อปริมาณการเจือเงินที่มากขึ้น จะส่งผลให้ขนาดผลึกของอะนาเทสมีแนวโน้มที่เล็กลง ดังนั้นสรุปได้ว่าการเจือเงินลงในไทเทเนียมไดออกไซด์จะช่วยลดขนาดผลึกอะนาเทส และขนาดผลึกอะนาเทสที่เล็กที่สุดจะเกิดในสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag)

### 3.1.2 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง EDX

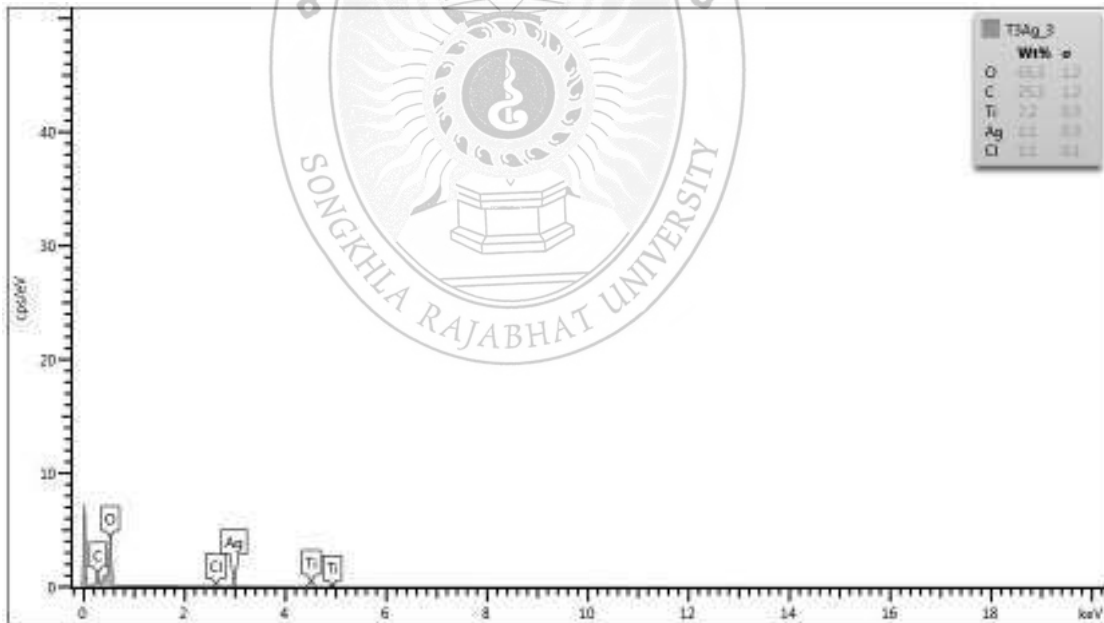
ผลการตรวจสอบธาตุด้วยเครื่อง EDX ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงดังรูปที่ 3.5-3.8 จากผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง EDX จะพบว่ามีเงินปรากฏในทุก ๆ ตัวอย่างที่มีการเจือเงินลงไป ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินมีเงินกระจายอยู่ในสารเคลือบ



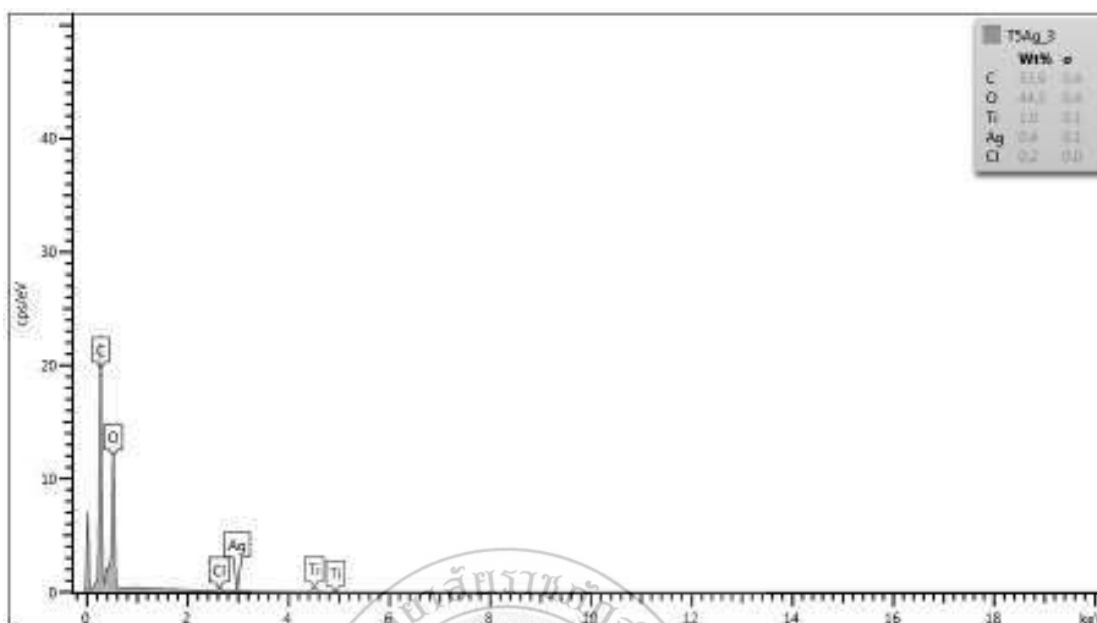
รูปที่ 3.5 ผล EDX ของ TP



รูปที่ 3.6 ผล EDX ของ T1Ag



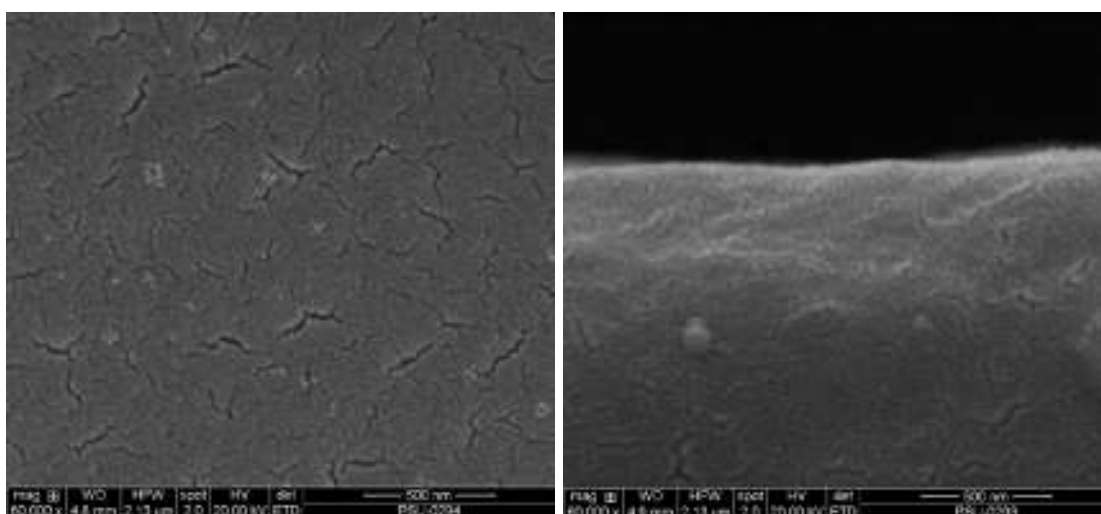
รูปที่ 3.7 ผล EDX ของ T3Ag



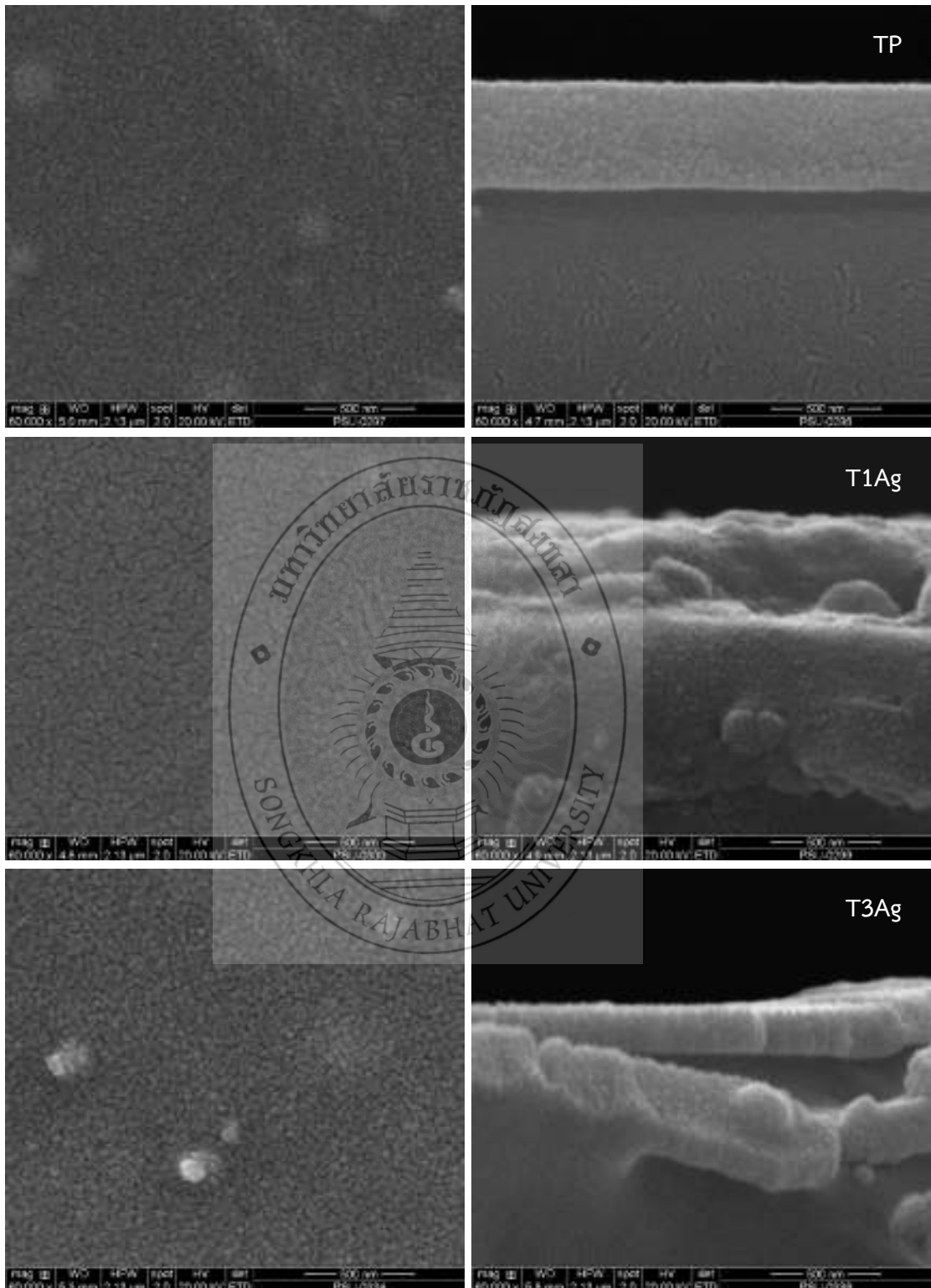
รูปที่ 3.8 ผล EDX ของ T5Ag

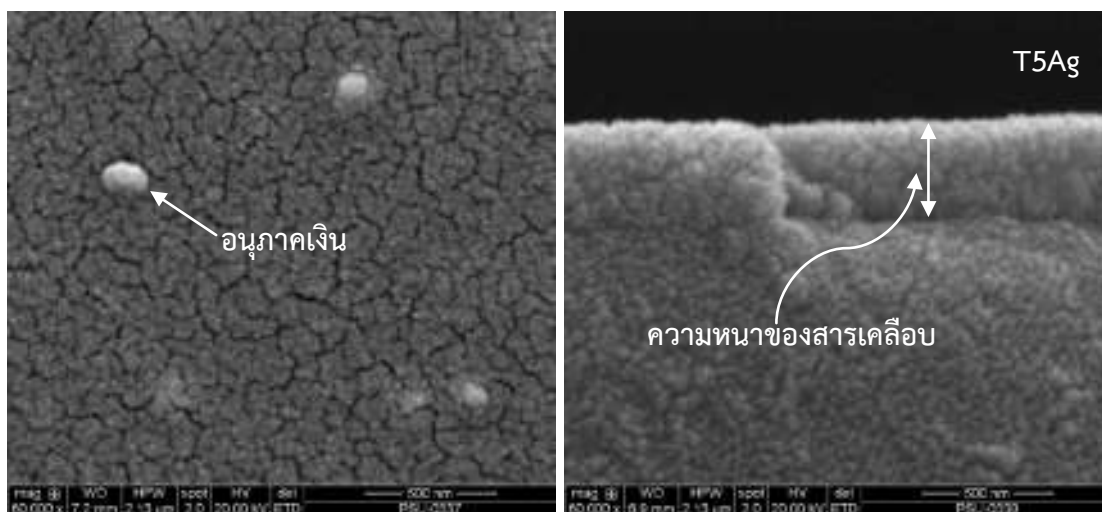
### 3.1.3 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM

ผลการตรวจสอบลักษณะผิวและความหนาของถุงพลาสติก (P) (รูปที่ 3.9) สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยายเท่ากับ 60,000 เท่า แสดงดังรูปที่ 3.10 จากผลการตรวจสอบพบว่ามีอนุภาคเงินปรากฏบนสารเคลือบ โดยจะสังเกตเห็นชัดเจนใน T5Ag เพราะมีการเงินในปริมาณที่สูงสุดในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ และสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน จะมีความหนาประมาณ 300-500 นาโนเมตร



รูปที่ 3.9 ผล SEM ของ P

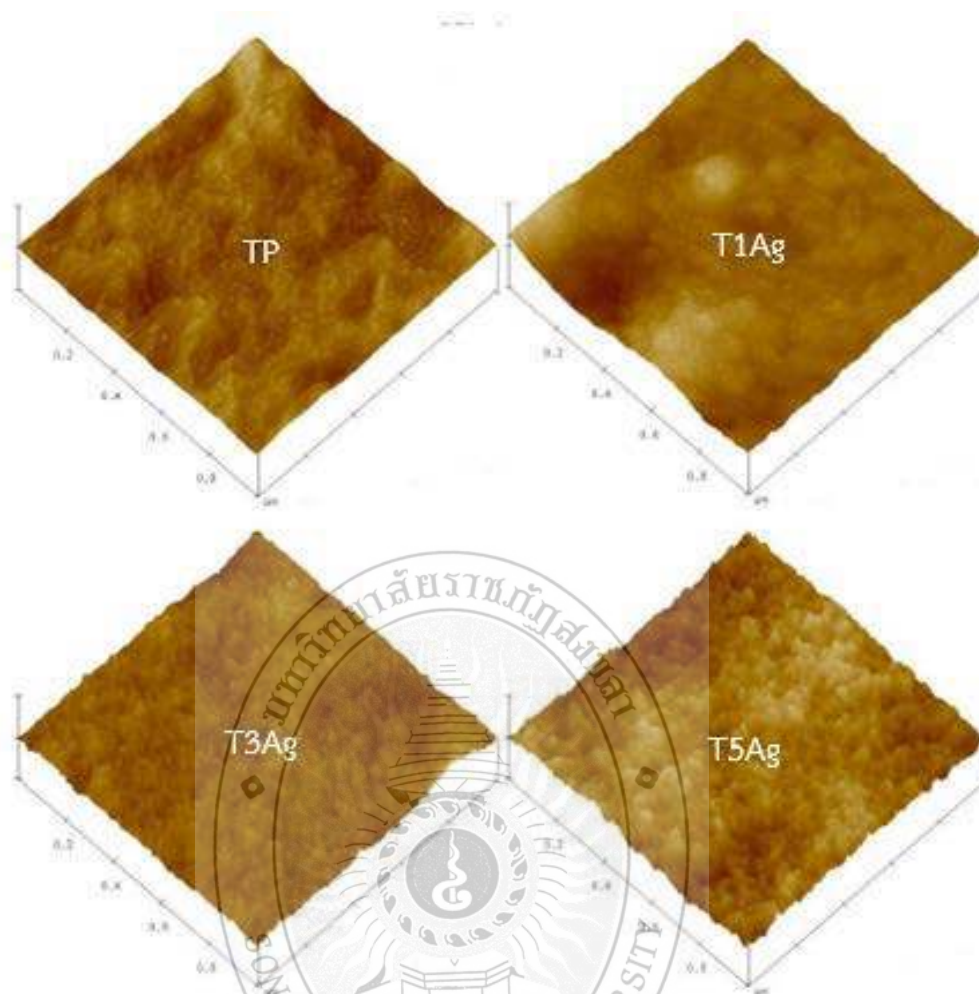




รูปที่ 3.10 ผล SEM ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน

### 3.1.4 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง AFM

ผลการตรวจสอบความขรุขระด้วยเครื่อง AFM ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจล ที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงดังรูปที่ 3.11 โดยจะพบว่าความขรุขระที่พื้นผิวของ TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag มีค่าเท่ากับ 2.011, 2.456, 4.3060 และ 6.315 นาโนเมตร ตามลำดับ จากข้อมูลสรุปได้ว่าความขรุขระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเงินเพิ่มขึ้น และสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag) มีขนาดความขรุขระของผิวฟิล์มสูงที่สุด



รูปที่ 3.11 ผล AFM ของของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน

### 3.2 ผลการทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก

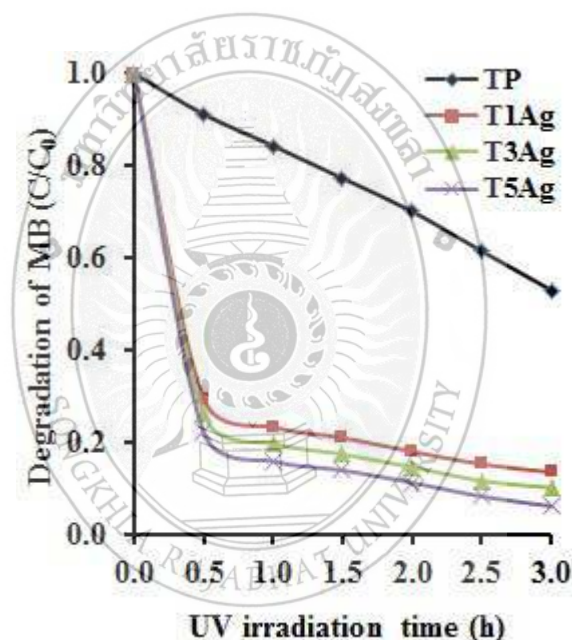
อัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน แสดงดังตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.12

ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน

Samples	Degradation of MB ( $C/C_0$ ) under UV irradiation time (h)						
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
TP	1.00	0.91	0.84	0.77	0.70	0.62	0.53
T1Ag	1.00	0.30	0.23	0.21	0.18	0.15	0.14
T3Ag	1.00	0.26	0.20	0.17	0.15	0.12	0.10
T5Ag	1.00	0.22	0.16	0.14	0.11	0.08	0.06



จากข้อมูลดังกล่าวปรากฏว่าการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินจะมีอัตราการย่อยสลายที่ต่ำกว่ากรณีไม่มีสารเจือเงิน เพราะการเจือเงินจะไปช่วยลดขนาดโครงสร้างเฟสอะนาเทส เมื่อเฟสอะนาเทสมีขนาดที่เล็กลงจะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ OH radical ได้ดีขึ้นจึงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกที่สูง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกจะขึ้นอยู่กับขนาดผลึกของอะนาเทสที่แนวโน้มลดลง ซึ่งเมื่อขนาดผลึกอะนาเทสลดลงทำให้มีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง (Lee et al., 2003; Zhang et al., 2007) และจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ ยังพบว่าเมื่อปริมาณเงินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินที่สูงขึ้น เพราะเมื่อเจือเงินมากขึ้น จะส่งผลให้ขนาดผลึกของโครงสร้างเฟสอะนาเทสมีขนาดที่เล็กลงนั่นเอง ดังนั้นผลการศึกษาสรุปได้ว่า อัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ของสารตัวอย่าง T5Ag > T3Ag > T1Ag > TP ตามลำดับ



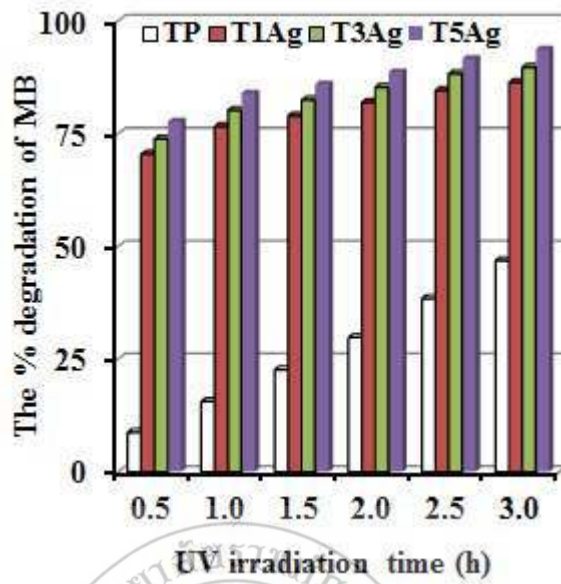
รูปที่ 3.12 อัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน

เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน (ตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.13) จากตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.13 ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเวลาในการได้รับแสงยูวีเพิ่มมากขึ้น (ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก) เนื่องจากโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เป็นเฟสอะนาเทสจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าโครงสร้างเฟสอื่น ๆ (Huang, et al., 2006; Zaleska et al., 2008) และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิของสารเจือ พบว่าประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน จะมีประสิทธิภาพมากกว่าไม่มีสารเจือ โดยประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน

เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag) จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน เท่ากับ 3 และ 1 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ เนื่องมาจากสารเงินจะช่วยลดขนาดผลึกของเฟสอะนาเทส ซึ่งเมื่อขนาดผลึกของเฟสอะนาเทสลดลงทำให้มีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น (Lee et al., 2003; Zheng et al., 2007) จึงทำให้มีประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูที่ดี หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า เมื่อเฟสอะนาเทสมีขนาดเล็กส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกที่ดีกว่า (Wang et al., 2005) โดยประสิทธิภาพการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ภายหลังจากได้รับแสงยูวีเป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 46.92, 86.39, 89.74 และ 93.78 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag) จะแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูที่ดีที่สุด หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าแสดงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกที่ดีที่สุดนั่นเอง โดยลักษณะของสารละลายเมทิลีนบลูหลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินก่อนได้รับแสงยูวี และหลังได้รับแสงยูวี 3.0 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 3.14 และ 3.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน

Samples	%Degradation of MB under UV irradiation time (h)						
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
TP	0.00	8.77	15.61	22.69	29.85	38.45	46.92
T1W	0.00	70.50	76.63	78.96	81.92	84.67	86.39
T3W	0.00	73.83	80.17	82.51	85.30	88.29	89.74
T5W	0.00	77.77	84.02	85.99	88.69	91.66	93.78



รูปที่ 3.13 เปอร์เซนต์การย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน



รูปที่ 3.14 ลักษณะของสารละลายเมทิลีนบลูหลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน  
ณ เวลาการได้รับแสงวี 0 ชั่วโมง



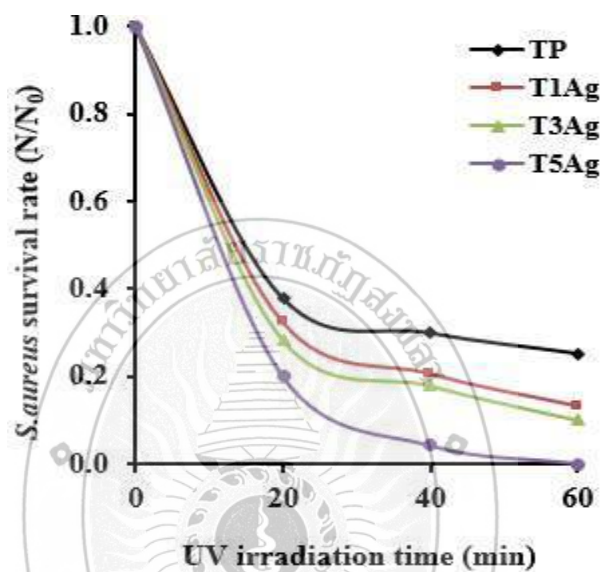
รูปที่ 3.15 ลักษณะของสารละลายเมทิลีนบลูหลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเงิน  
ณ เวลาการได้รับแสงยูวี 3.0 ชั่วโมง

### 3.3 ผลการทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ *E.coli*

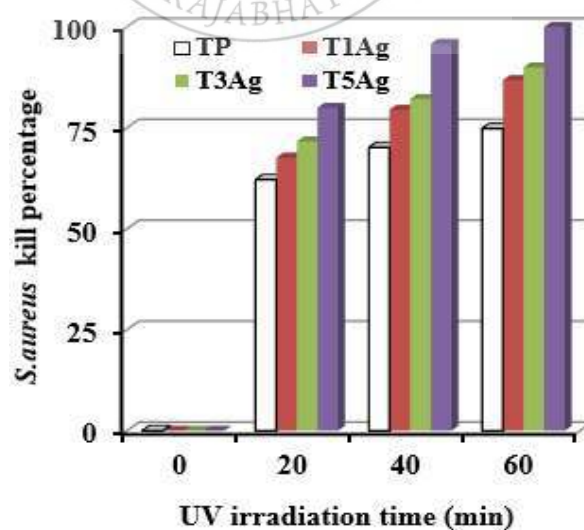
การศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อหรือการฆ่าเชื้อ *E.coli* ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก ภายใต้แสงยูวี ณ เวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที แสดงดังรูปที่ 3.16-3.17 โดยเป็นข้อมูลที่บ่งบอกถึงปฏิกิริยาของโฟโตแคตะไลติกในการยับยั้งหรือการฆ่าเชื้อ *E.coli* หรือ อัตราการรอดชีวิตหรือมีชีวิตรอดของเชื้อ *E.coli* และเปอร์เซ็นต์การฆ่าเชื้อ *E.coli* ตามลำดับ จากรูปที่ 3.16 พบว่าอัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *E.coli* ลดลง เมื่อเวลาในการได้รับแสงยูวีเพิ่มขึ้น และพบว่าเมื่อมีการเจือเงิน ส่งผลให้อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *E.coli* ลดลงมากกว่ากรณีที่ไม่มีการเจือเงิน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อมีการเจือเงินในปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *E.coli* มีแนวโน้มลดลงอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากการเจือเงินในไทเทเนียมไดออกไซด์จะไปช่วยลดขนาดเฟสอะนาเทสและเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยากับเชื้อ *E.coli* ได้มากขึ้น ส่งผลให้ผนังเชื้อ *E.coli* ถูกทำลายได้มากขึ้นนั่นเอง

จากรูปที่ 3.17 พบว่าเมื่อเวลาในการได้รับแสงยูวีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *E.coli* มากขึ้น และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเงินมากขึ้น จะส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *E.coli* เพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *E.coli* เกิดมาจากผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกที่สูงเนื่องมาจากเฟสอะนาเทสที่ผลึกขนาดเล็กลงและมีพื้นที่ผิวที่มาก จึงส่งผลให้ไปทำลายผนังเซลล์ของเชื้อ *E.coli* ได้ดีขึ้น (Kim et al., 2006; Ondok et al., 2010) เมื่อผนังเซลล์ของเชื้อ ถูกทำลายก็จะเสียชีวิตในที่สุด โดยเปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *E.coli* หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก ภายใต้แสงยูวีเป็นเวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับ 74.84, 86.84, 90.00 และ 100.00 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบน

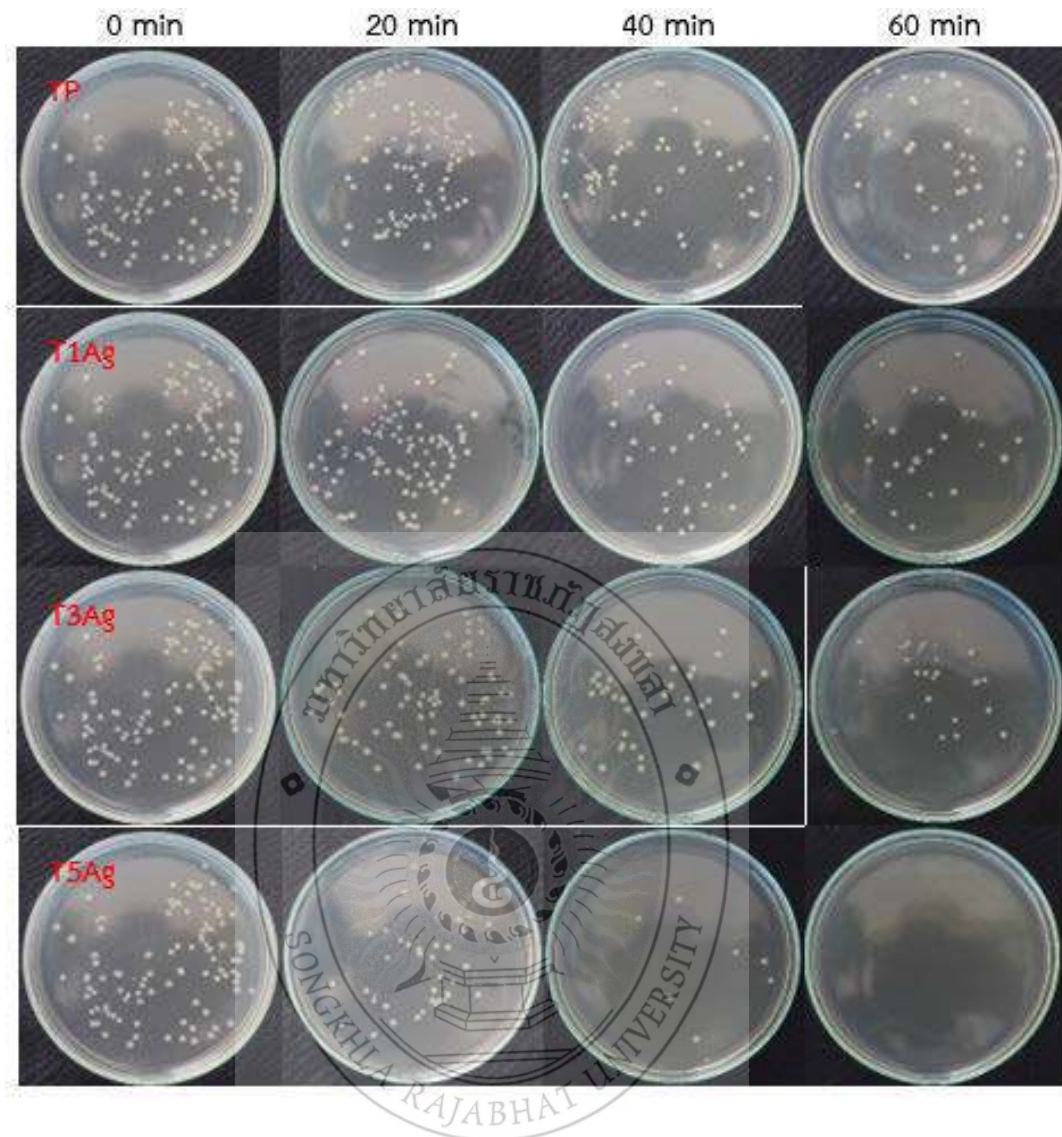
พลาสติก ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติก ที่ปริมาณการเจือเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag) จะแสดงสมบัติการยับยั้งหรือการฆ่าเชื้อ *E.coli* ที่ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ T3Ag, T1Ag และ TP ตามลำดับ โดยภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ *E.coli* ที่รอดชีวิตหลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติก ภายใต้แสงยูวี ณ เวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.16 อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *E.coli* หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน



รูปที่ 3.17 เปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *E.coli* หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน



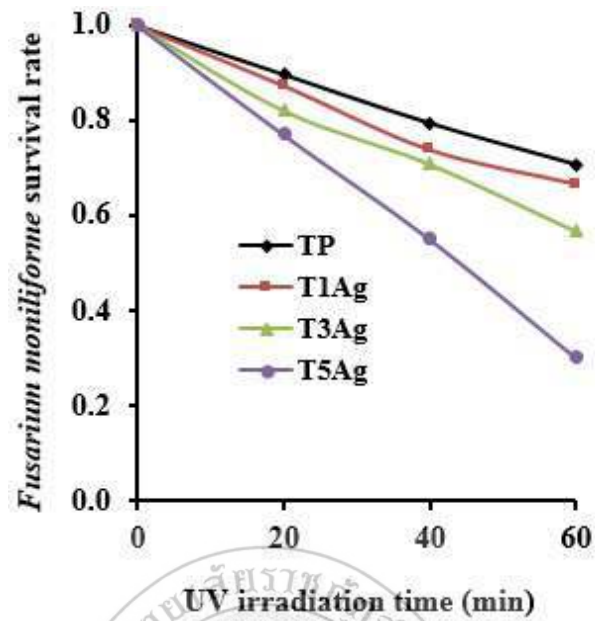
รูปที่ 3.18 ภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ *E. coli* ที่รอดชีวิตหลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ภายใต้แสงยูวี ณ เวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที

### 3.4 ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme*

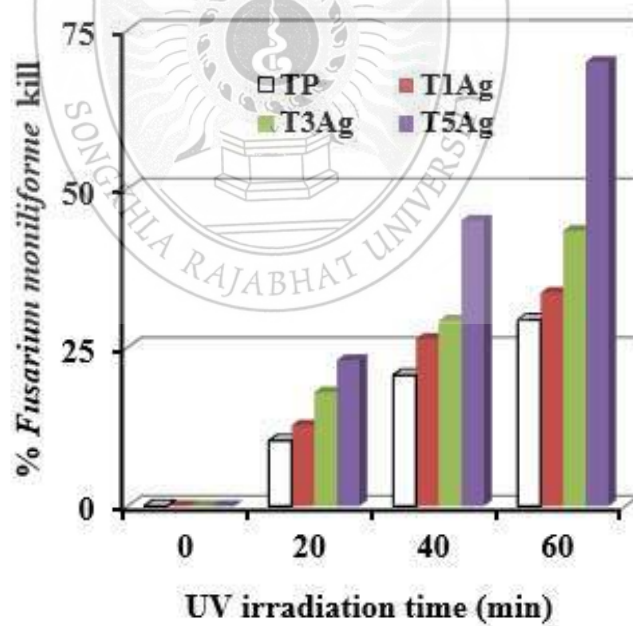
ผลการทดสอบหรือประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ ภายใต้แสงยูวี ณ เวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที จะรายงานผลอัตราการรอดชีวิตและเปอร์เซ็นต์การเสียชีวิตหรือการตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงดังรูปที่ 3.19 และ 3.20 ตามลำดับ จากรูปที่ 3.19 พบว่าอัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *Fusarium moniliforme* มีแนวโน้มการรอดชีวิตลดลงเมื่อมีการเงินลงไปในไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้น เนื่องจากเงินจะไปช่วยเพิ่มสมบัติโฟโตแคตะไลติก เมื่อสมบัติโฟโตแคตะไลติกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไปทำลายผนังเซลล์ของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ได้ดีขึ้น เมื่อผนังเซลล์ถูกทำลายลงเชื้อ *Fusarium moniliforme* ก็จะไม่

สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ หรือกล่าวง่าย ๆ ก็คือ เชื้อ *Fusarium moniliforme* จะตายเมื่อผนังเซลล์ ถูกทำลายนั่นเอง โดยอัตราการรอดชีวิต ณ เวลาการได้รับแสงยูวีต่าง ๆ เป็นดังนี้ อัตราการรอดชีวิต ของ T5Ag < T3Ag < T1Ag < TP ซึ่งเมื่อพิจารณาในส่วนของ T5Ag จะพบว่าอัตราการรอดชีวิตของ เชื้อ *Fusarium moniliforme* ต่ำสุด หลังทดสอบภายใต้แสงยูวี เป็นเวลา 60 นาที เนื่องมาจาก ขนาดผลึกของโครงสร้างอะนาเทสของ T5Ag มีขนาดเล็ก อีกทั้งยังมีความขรุขระของผิวสารเคลือบที่ สูงจึงช่วยในการส่งเสริมให้เกิดสมบัติโฟโตแคตะไลติกและการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่ สูงกว่า T3Ag, T1Ag และ TP ตามลำดับ สำหรับเปอร์เซ็นต์การเสียชีวิตหรือการตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* แสดงดังรูปที่ 3.20 ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเงินในไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับผล การศึกษาอัตราการรอดชีวิตของ *Fusarium moniliforme* ดังข้อมูลทีกล่าวมาแล้ว โดยเปอร์เซ็นต์ การตายของ *Fusarium moniliforme* หลังทดสอบด้วย TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag ภายใต้แสงยูวี 60 นาที เท่ากับ 29.37, 33.64, 43.40 และ 70.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากข้อมูลในรูปที่ 3.20 พบว่า T5Ag จะเป็นสารเคลือบที่มีเปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ดีที่สุด โดยเปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* เท่ากับ 0, 23.00, 45.00 และ 70.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับแสงยูวี เป็นเวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจล ที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่สูงที่สุด เนื่องมาจาก T5Ag แสดงสมบัติโฟโตแคตะไลติกในการทำลายหรือยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่ดีที่สุด เพราะมีโครงสร้างผลึกแบบอะนาเทสที่มีขนาดผลึกอะนาเทส ขนาดเล็ก และมีความขรุขระของผิวที่สูง

สำหรับภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่รอดชีวิตหลัง ทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ ไมโครเวฟ ภายใต้แสงยูวี ณ เวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที แสดงดังรูปที่ 3.21 และลักษณะของเชื้อ *Fusarium moniliforme* จากกล้องจุลทรรศน์ที่รอดชีวิตหลังการทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมได ออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจล ที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag) ภายใต้แสงยูวี ณ เวลา 60 นาที แสดงดังรูปที่ 3.22

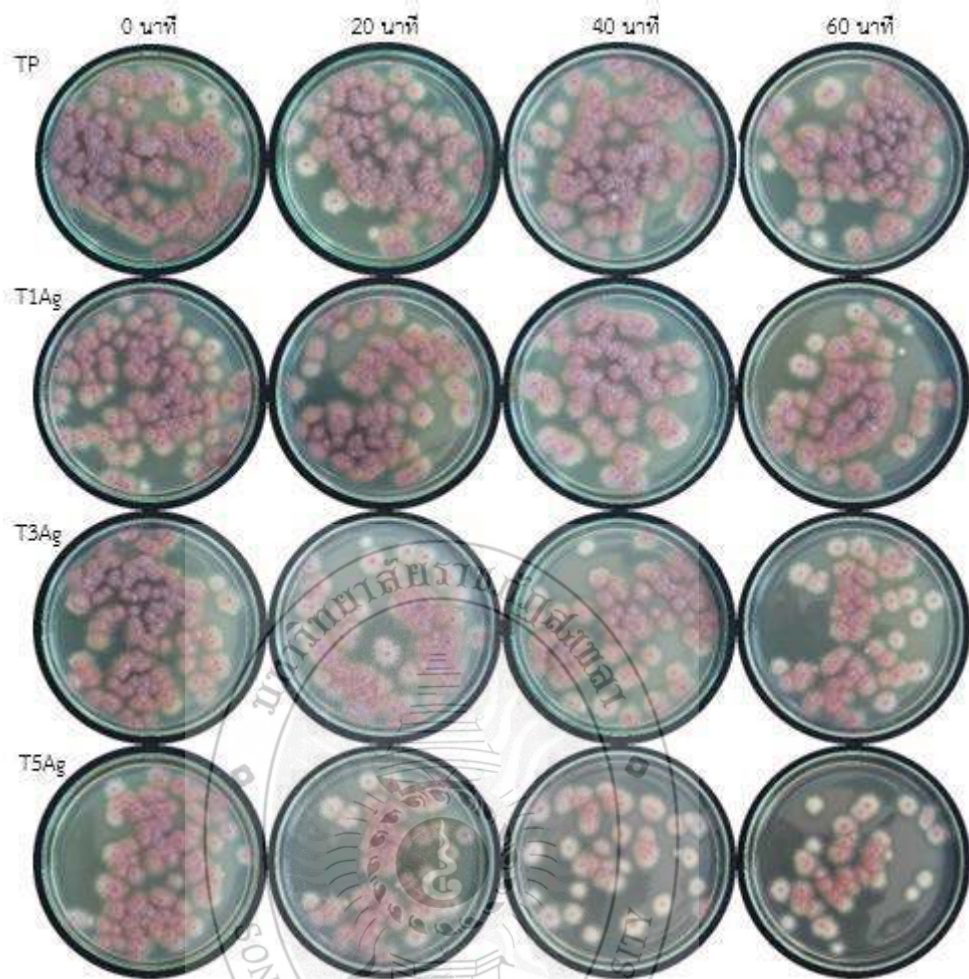


รูปที่ 3.19 อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *Fusarium moniliforme* หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน

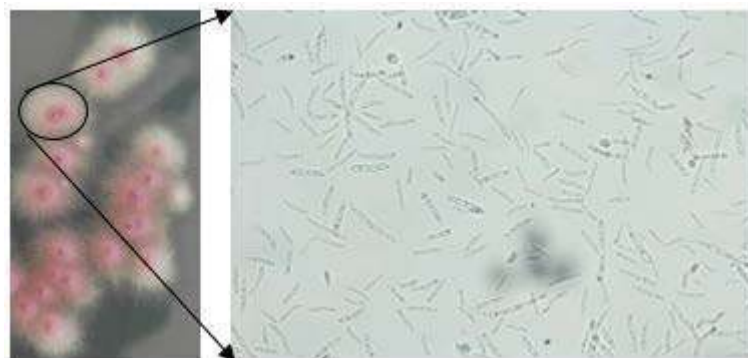


รูปที่ 3.20 เปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน





รูปที่ 3.21 ภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่รอดชีวิตหลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน ภายใต้แสงยูวี ณ เวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที



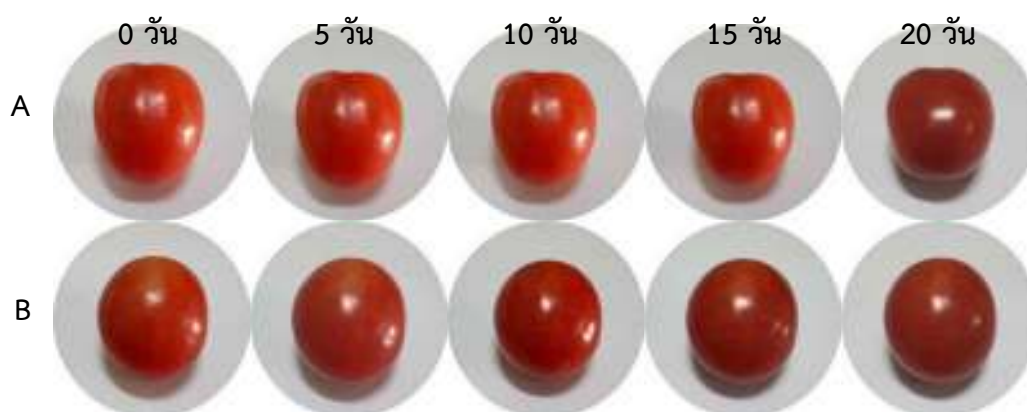
รูปที่ 3.22 ลักษณะของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่รอดชีวิตหลังการทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจล ที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงินเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ภายใต้แสงยูวี 60 นาที

### 3.5 ผลการทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ

ผลการทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ ด้วยการนำมะเขือเทศมาห่อด้วยถุงพลาสติกที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (กำหนดสัญลักษณ์ คือ A) เปรียบเทียบกับกรณีใช้ถุงพลาสติกที่ไม่มีสารเคลือบ (กำหนดสัญลักษณ์ คือ B) ณ เวลาการเก็บรักษาภายในตู้เย็น (ควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ณ เวลาการได้รับแสงยูวี 0-20 วัน แสดงดังตารางที่ 3.4 จากตารางดังกล่าวพบว่า ลักษณะของผลมะเขือเทศที่ห่อด้วยถุงพลาสติกที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล จะคงลักษณะปกติใกล้เคียงกับก่อนทดลองได้นานจนถึง 15 วัน หลังจากวันที่ 15 เป็นต้นไป ลักษณะของผลมะเขือเทศจะเริ่มมีอาการนึ่มและบวม แต่ในส่วนของลักษณะของผลมะเขือเทศที่ห่อด้วยถุงพลาสติกที่ไม่มีสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน พบว่าลักษณะของผลมะเขือเทศมีอาการนึ่มและบวมให้เห็นตั้งแต่การเก็บรักษาที่ระยะเวลาเพียง 5 วัน หลังจากนั้นก็แสดงอาการมากขึ้นจนในที่สุดก็มีน้ำออกมาพร้อมทั้งมีกลิ่นเน่าเสีย ดังนั้นการทดลองครั้งนี้ สรุปได้ว่าสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศได้นานถึง 15 วัน หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในยืดอายุการเก็บรักษาได้เพิ่มขึ้นจากเดิม เท่ากับ 200 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากการมีสมบัติโฟโตแคตะไลติกที่ดีดังที่กล่าวมาแล้ว โดยลักษณะของผลมะเขือเทศที่ใช้ทดสอบภายใต้แสงยูวี ณ เวลาต่าง ๆ สามารถพิจารณาได้ในรูปที่ 3.23

ตารางที่ 3.4 ลักษณะของผลมะเขือเทศ ภายใต้แสงยูวี ณ เวลาต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ลักษณะผลมะเขือเทศ ภายใต้แสงยูวี ณ เวลาต่าง ๆ				
	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน
A	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	มีอาการนึ่ม และบวมเล็กน้อย
B	ปกติ	มีอาการนึ่ม และบวมเล็กน้อย	มีอาการนึ่ม และบวมปานกลาง	มีอาการนึ่ม บวมมาก และมีน้ำออกมา	มีน้ำออกมา และมีกลิ่นเน่าเสีย



รูปที่ 3.23 ลักษณะของผลมะเขือเทศที่ใช้ทดสอบภายใต้แสงยูวี ณ เวลาต่าง ๆ โดย (A) ห่อด้วยถุงพลาสติกที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล และ (B) ห่อด้วยถุงพลาสติกที่ไม่มีสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน

## บทที่ 4

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยในครั้งนี้เป็นการพัฒนาสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ หลังจากนั้นนำสารเคลือบที่ได้ไปตรวจหาลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือและเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ เช่น XRD, SEM, AFM และ EDX เป็นต้น พร้อมทั้งนำไปทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู เพื่อศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราภายใต้แสงยูวี พร้อมทั้งศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ

#### 4.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาพบว่าสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0 และ 1 เปอร์เซ็นต์โมล จะเกิดเฉพาะเฟสอะนาเทส ส่วนสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล จะเกิดเฟสรูไทล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์และเฟสของเงิน และขนาดผลึกอะนาเทสของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน จะมีขนาดที่เล็กกว่าขนาดผลึกอะนาเทสของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่เงิน และเมื่อปริมาณการเงินที่มากขึ้น จะส่งผลให้ขนาดผลึกของอะนาเทสมีแนวโน้มที่เล็กลง สำหรับอัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินจะมีอัตราการย่อยสลายที่ดีกว่ากรณีไม่มีสารเงิน เมื่อปริมาณเงินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินที่สูงขึ้น และประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

ผลการศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อ *E.coli* พบว่าสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกสามารถยับยั้งเชื้อ *E.coli* ได้ดีกว่ากรณีที่ไม่มีการเงิน และเมื่อเพิ่มปริมาณเงินมากขึ้น จะส่งผลให้สมบัติการยับยั้งเชื้อ *E.coli* สูงขึ้นด้วย โดยเปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *E.coli* หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก ภายใต้แสงยูวีเป็นเวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับ 74.84, 86.84, 90.00 และ 100.00 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ สำหรับการยับยั้งหรือตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเงินในไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาอัตราการรอดชีวิตของ *Fusarium moniliforme* ดังข้อมูลที่กล่าวมาแล้ว โดยเปอร์เซ็นต์การตายของ *Fusarium moniliforme* หลังทดสอบด้วยสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ภายใต้แสงยูวี 60 นาที เท่ากับ 29.37, 33.64, 43.40 และ 70.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากข้อมูลในส่วนนี้ พบว่า สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล เคลือบบนพลาสติก แสดงสมบัติการยับยั้งเชื้อ *E.coli* และ *Fusarium moniliforme* ได้ดีที่สุด

สำหรับการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศพบว่า สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศได้นานถึง 15 วัน หรือ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในยืดอายุการเก็บรักษาได้เพิ่มขึ้นจากเดิม เท่ากับ 200 เปอร์เซ็นต์

#### 4.2 ข้อเสนอแนะ

ควรรนำสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติกที่สังเคราะห์ขึ้นไป ทดสอบในการยืดอายุการเก็บรักษาผักให้หลากหลายชนิด เพื่อนำผลมาเป็นข้อมูลในการดำเนินงาน วิจัย หรือ การเผยแพร่ข้อมูลต่อชุมชนในอนาคต



## เอกสารอ้างอิง

- พรนภา สุจริตวรกุล (2005). กระจกพิเศษทำความสะอาดตัวเอง, วารสารเซรามิก 71 ธ.ค.-ม.ค.
- จิราภรณ์ คำจันทร์ (2551). การพัฒนาสารเคลือบผิว  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2/\text{X}$  ระดับนาโน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วีระชัย แสงฉาย (2556). การสังเคราะห์ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ทำความสะอาดและเปลี่ยนสีด้วยตัวเอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เล็ก สีคง. (2547). วัสดุวิศวกรรมและอุตสาหกรรม, หน่วยไฮโดรทศศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- Brinker, C.J. and Scherer, G.W. (1990). *Sol-Gel Science - The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, Academic Press, New York.
- Carp, O., Huisman, C.L., and Reller, A. (2004). "Photoinduced reactivity of titanium dioxide." *Progress in Solid State Chemistry*, 32, 33-177.
- Huang, D., Liao, S., Liu, J., Dang, Z., and Petrik, L. (2006). "Preparation of visible-light responsive N-F-codoped  $\text{TiO}_2$  photocatalytic by a sol-gel-solvothermal method." *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 184, 282-288.
- Khatamian, M. and Irani, M. (2009). "Preparation and characterization of nanosized ZSM-5 zeolite using kaolin and investigation of kaolin content, crystallization time and temperature changes on the size and crystallinity of products." *Journal of the Iranian Chemical Society*, 6(1), 187-194.
- Kim, K.D, Han, D.N, Lee, J.B. and Kim, H.T. (2006). "Formation and characterization of Ag-deposited  $\text{TiO}_2$  nanoparticles by chemical reduction method." *Scripta Materialia*, 54, 43-146.
- Lee, M., Lee, G.D. and Hong, S.S. (2003). "A synthesis of titanium dioxides prepare by reverse microemulsion method using nonionic surfactant with different hydrophilic group and their photocatalytic activity." *Industry Engineering Chemistry*, 9(4), 412-418.
- Ondok, V., Musil, J., Meissner, M., Cerstvy, R. and Fajfrlik, K. 2010. Two-functional DC sputtered Cu-containing  $\text{TiO}_2$  thin films. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 209: 158-162.
- Sangchay, W. (2013). "Photocatalytic and antibacterial activity of Ag-doped  $\text{TiO}_2$  nanoparticles." *KKU Research Journal*, 18(5), 731-738.

- Sangchay, W. (2014). "Fe doped TiO<sub>2</sub> thin films coated on glass fiber to inhibit bacterial of *E. coli* preparation by sol-gel method." *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 9(4), 1593-1601.
- Sangchay, W. 2015. Fe doped TiO<sub>2</sub> thin films coated on glass fiber to inhibit bacterial of *E.coli* prepared by sol-gel method. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 9(4): 1593-1601.
- Sangchay, W. (2015). "Self-cleaning and antibacterial of *E.coli* properties of TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> composites thin films." *Engineering Journal Chang Mai University*, 22(2), 31-37.
- Sangchay, W. (2016). "Study of the photocatalytic and antibacterial activities of TiO<sub>2</sub> powder synthesized by microwave-assisted sol-gel method." *KKU Research Journal*, 21(1), 67-76.
- Sangchay, W. and Maneechot, N. (2015). "The effect of calcinations temperature of Fe-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles on microstructure and antibacterial of *Escherichia coli*." *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, 5(1), 1-14.
- Sangchay, W. and Rattanakun, T. (2015). "The efficiency of photocatalytic reaction in degradation methylene blue of TiO<sub>2</sub> powders prepared by microwave-assisted sol-gel method." *Engineering Journal Chiang Mai University*, 22(1), 18-26.
- Sangchay, W. and Ubonchonlakit, K. (2015). "Photocatalytic disinfection of water containing *E. coli* using Fe<sup>3+</sup> doped TiO<sub>2</sub> thin films coated on glass fibers." *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 10(1), 283-290.
- Sangchay, W., Khanghamano, M. and Ubolchollakhat, K. (2015). "Photocatalytic and antibacterial activities of TiO<sub>2</sub> powder synthesized by microwave-assisted sol-gel method." *SWU Engineering Journal*, 10(2), 19-27.
- Sangchay, W., Sikong, L. and Kooptarnond, K. (2013). "The photocatalytic and antibacterial activity of Cu-doped TiO<sub>2</sub> thin films." *Walailak Journal of Science and Technology*, 10(1), 19-27.
- Saowaluk, B., Weerawan, S., and Lek, S. (2011). "Antibacterial activity of TiO<sub>2</sub> and Fe<sup>3+</sup> doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized at low temperature." *Advanced Materials Research*, 214, 197-201.
- Shahab, A. A., Mohammad, P. and Azarnidokht, H. (2009). "Synthesis TiO<sub>2</sub>-Ag nanocomposites with sol-gel method and investigation of its antibacterial activity against *E.coli*." *Powder Technology*, 196, 241-245.

- Shirke, B.S., Korake, P.V., Hankare, P.P., Bamane, S.R., and Garadkar, K.M. (2011). "Synthesis and characterization of pure anatase TiO<sub>2</sub> nanoparticles." *Journal of Materials Science*, 22, 821-824.
- Sun, T., Hao, H., Hao, W.T., Yi, S.M., Li, X.P. and Li, J.R. (2014). "Preparation and antibacterial properties of titanium-doped ZnO from different zinc salts." *Nanoscale Research Letters*, 9(98), 1-12.
- Wang, J., Yin, S., Komatsu, M., and Sato, T. (2005). "Lanthanum and nitrogen co-doped SrTiO<sub>2</sub> powders as visible light sensitive photocatalyst." *Journal of the European Ceramic Society*, 25, 3207-3212.
- Yang, J., Li, D., Wang, X., Yang, X., and Lu, L. (2002). "Rapid synthesis of nanocrystalline TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> binary oxides and their photoinduced decomposition of methyl orange." *Journal of Solid State Chemistry*, 165, 193-198.
- Zaleska, A. (2008). "Doped-TiO<sub>2</sub>: a review." *Recent Patents on Engineering*, 2, 157-164.
- Zengxiu, Z., Kehua, Z., Wei, F., and Qiong, W. (2010). "Experimental study on nitrogen-doped nano-scale TiO<sub>2</sub> prepared by microwave-assisted process at low temperature." *Modern Applied Science*, 4(2), 95-100.
- Zheng, J., Yu, H., and Li, X. (2007). "Enhanced photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> nano structured thin film with a silver hierarchical configuration." *Applied Surface Science*, 254, 1630-1635.

ภาคผนวก





บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ในอุดมศึกษา ครั้งที่ 2  
Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IUT-TP Conference of Engineering and Technology

สมบัติโฟโตคะตะไลติกของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนพลาสติก  
The photocatalytic properties of TiO<sub>2</sub> coated on plastic

โจษิต อรรถพร และ พิษวี เก่งสูง

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

เลขที่ 4 ถนนราชพฤกษ์ ตำบลจตุรพักตรพิมาน อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี E-mail: www.wvut.sanguliyaboo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาคุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ (TiO<sub>2</sub>) และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์โครงสร้างที่สังเคราะห์แล้ว นำไปเคลือบบนพลาสติกด้วยวิธีการเคลือบแบบจุ่มเคลือบ แล้วนำพลาสติกที่เคลือบแล้ว ไปฉายรังสีด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนพลาสติกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น โดยใช้สารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนพลาสติกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น เป็นตัวชี้วัดในการศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนพลาสติกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ผลการวิจัยพบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนพลาสติกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ได้เป็นอย่างดี 85.78 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์, ไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์, 5 ชนิด

Abstract

The research was prepared TiO<sub>2</sub> doped with Ag (0.1, 1 and 5 %wt) thin films by sol-gel method and coated on a plastic with dip coating method. The structure of this film was characterized using XRD, EDS and SEM analysis. Along with experiments using photocatalytic in degradation aqueous solution methyl orange (MO) under UV light. The results showed that the Ag content increases. So, the result in a photocatalytic in degradation aqueous solution MO under UV light will be increase also. The TiO<sub>2</sub> doped with Ag equal 5 %wt thin film to the photocatalytic in degradation aqueous solution MO under UV light at a maximum. It is equal 85.78%.

Keywords: Photocatalytic properties, TiO<sub>2</sub>, doped with Ag, Thin film

1. บทนำ

ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกถูกค้นพบโดย Fujishiro เป็นปี ค.ศ. 1967 เป็นปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยแสง ซึ่งกลไกของ

ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกเป็นขบวนการที่สารประกอบกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ ทำปฏิกิริยากับพลังงานแสงที่ตกกระทบบนสารประกอบ (Valence Band, VB) ไปยังแถบการนำ (Conduction Band, CB) ส่งผลให้โมเลกุลของสารอินทรีย์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเกิดอนุมูลอิสระขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ (CO<sub>2</sub>) การบำบัดการปนเปื้อนทางสิ่งแวดล้อมที่เรียกว่า การบำบัดด้วยแสง (Photocatalytic) เป็นกระบวนการที่สารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนพลาสติกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ถูกย่อยสลายโดยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนพลาสติกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ผลการวิจัยพบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนพลาสติกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ได้เป็นอย่างดี 85.78 เปอร์เซ็นต์

โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนพลาสติกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ถูกย่อยสลายโดยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนพลาสติกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ผลการวิจัยพบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนพลาสติกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนินทรีย์ และ 5 ชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ได้เป็นอย่างดี 85.78 เปอร์เซ็นต์

**บทความเป็นใจ**

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
Proceedings of the 27th KMUTP Conference of Engineering and Technology

ภายใต้การนำของ ดร. ชัยวิทย์ บุญมาเลิศ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยศึกษาคุณสมบัติของโพลีเมอร์ชนิดต่างๆ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต เป็นต้น โดยศึกษาคุณสมบัติของโพลีเมอร์เหล่านี้ว่ามีสมบัติทางกายภาพและเคมีอย่างไรบ้าง และนำโพลีเมอร์เหล่านี้ไปใช้ในการผลิตชิ้นงานต่างๆ เช่น ชิ้นงานพลาสติก ชิ้นงานเคลือบผิว เป็นต้น

**2. วิธีการดำเนินงานวิจัย**

**2.1 วัตถุประสงค์การวิจัย**

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์โพลีเมอร์ชนิดใหม่ที่มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีกว่าโพลีเมอร์ชนิดเดิมที่มีอยู่ นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของโพลีเมอร์ชนิดใหม่นี้ด้วย

**2.2 การเตรียมสารตั้งต้นโพลีเมอร์ชนิดใหม่**

การเตรียมสารตั้งต้นโพลีเมอร์ชนิดใหม่ทำได้โดยนำเอาก๊าซเอทิลีนและคาร์บอนมอนอกไซด์มาป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส และใช้ความดันประมาณ 1-2 บาร์ เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ประมาณ 1 ชั่วโมง

**2.3 การเตรียมโพลีเมอร์ชนิดใหม่**

การเตรียมโพลีเมอร์ชนิดใหม่ทำได้โดยนำเอาโพลีเมอร์ชนิดเดิมที่มีอยู่มาผสมกับสารเติมแต่งต่างๆ แล้วนำส่วนผสมนี้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง

**2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติ**

- 2.4.1 X-Ray Diffraction (XRD) ใช้เครื่องมือรุ่น X'Trac MPD, PHILIPS, Netherlands เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของโพลีเมอร์ชนิดใหม่
- 2.4.2 Scanning Electron Microscope (SEM) ใช้เครื่องมือรุ่น Quanta 200, FEI, Czech Republic เพื่อวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของอนุภาคโพลีเมอร์
- 2.4.3 Energy Dispersive X-ray analysis (EDX) ใช้เครื่องมือรุ่น Quanta 200, FEI, Czech Republic เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโพลีเมอร์

**2.5 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงกลศาสตร์**

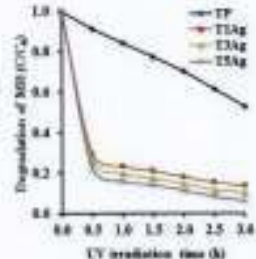
การทดสอบประสิทธิภาพเชิงกลศาสตร์ทำได้โดยนำเอาโพลีเมอร์ชนิดใหม่ไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง และเครื่องทดสอบแรงอัด



**บทคัดย่อ**

การนำอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser Ablation ที่ชื่อ 2  
*Proceeding of the 7<sup>th</sup> RAU-UTP Conference of Engineering and Technology*

อนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser Ablation ที่ชื่อ 2  
 โพลีเมอร์โพลีเอทิลีนไดออกไซด์ (PEO) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 5 และ 5 เปอร์เซ็นต์  
 โพลีเอทิลีนไดออกไซด์ (PEO) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 50,000 ส่วนผสมด้วยที่ 4 จาก  
 และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser Ablation ที่ชื่อ 2  
 ได้มีชื่อเรียกย่อว่า T1Ag และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser  
 Ablation ที่ชื่อ 2 และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser Ablation ที่ชื่อ 2  
 ความหนาแน่นประมาณ 300-500 นาโนเมตร



รูปที่ 3 อัตราการย่อยสลายของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser Ablation ที่ชื่อ 2



รูปที่ 4 SEM ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser Ablation ที่ชื่อ 2

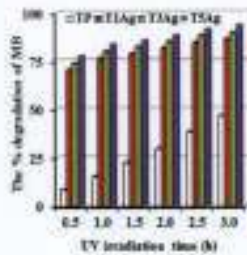
**3.2 ผลการทดสอบปฏิสัมพันธ์กับเซลล์มะเร็ง**

ผลการทดสอบปฏิสัมพันธ์กับเซลล์มะเร็ง  
 ผลการทดสอบปฏิสัมพันธ์กับเซลล์มะเร็ง  
 โพลีเอทิลีนไดออกไซด์ (PEO) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 5 และ 5 เปอร์เซ็นต์  
 โพลีเอทิลีนไดออกไซด์ (PEO) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 50,000 ส่วนผสมด้วยที่ 4 จาก  
 และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser Ablation ที่ชื่อ 2  
 ได้มีชื่อเรียกย่อว่า T1Ag และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser  
 Ablation ที่ชื่อ 2 และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser Ablation ที่ชื่อ 2  
 ความหนาแน่นประมาณ 300-500 นาโนเมตร

ผลการทดสอบปฏิสัมพันธ์กับเซลล์มะเร็ง  
 ผลการทดสอบปฏิสัมพันธ์กับเซลล์มะเร็ง  
 โพลีเอทิลีนไดออกไซด์ (PEO) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 5 และ 5 เปอร์เซ็นต์  
 โพลีเอทิลีนไดออกไซด์ (PEO) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 50,000 ส่วนผสมด้วยที่ 4 จาก  
 และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser Ablation ที่ชื่อ 2  
 ได้มีชื่อเรียกย่อว่า T1Ag และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser  
 Ablation ที่ชื่อ 2 และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Laser Ablation ที่ชื่อ 2  
 ความหนาแน่นประมาณ 300-500 นาโนเมตร

**บทบทนำ**

การปรับปรุงประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ โดยผงเคลือบสีฟ้า  
*Proceeding of the 2<sup>nd</sup> AMUTP Conference of Engineering and Technology*



รูปที่ 6 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของสารย้อมสีเมทิลีนบลูในผงเคลือบสีฟ้า



รูปที่ 7 ลักษณะการย่อยสลายของสีเมทิลีนบลูที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินในผงเคลือบสีฟ้าภายใต้แสงยูวี

**4. สรุปผลการทดลอง**

ผงเคลือบสีฟ้าที่ประกอบด้วย TFAg, TAg และ T5Ag สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย E. coli และ S. aureus ได้เป็นอย่างดี โดยผงเคลือบสีฟ้าที่ประกอบด้วย T5Ag มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย E. coli และ S. aureus ได้ดีกว่าผงเคลือบสีฟ้าที่ประกอบด้วย TFAg และ TAg นอกจากนี้ผงเคลือบสีฟ้าที่ประกอบด้วย T5Ag ยังสามารถย่อยสลายสารย้อมสีเมทิลีนบลูในน้ำได้เร็วกว่าผงเคลือบสีฟ้าที่ประกอบด้วย TFAg และ TAg

**5. ลัทธิการนำออก**

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย

**6. เอกสารอ้างอิง :**

- [1] A. Fujishiro, T.N. Rao, and D.A. Tryk, "Titanium dioxide photocatalysis," *J. Photochem. Photobiol. C*, vol. 1, pp. 1-21, 2000.
- [2] W. Sangsriyap, and T. Kattanasri, "The efficiency of photocatalytic reaction in degradation wastewater blue of TiO<sub>2</sub> powder prepared by microwave-assisted sol-gel method," *Engineering Journal Chiang Mai University*, vol. 23(1), pp. 10-20, 2012.
- [3] W. Sangsriyap, and P. Phansupoon, "Influence of WO<sub>3</sub> on photocatalytic and antibacterial of TiO<sub>2</sub> powder," *Engineering Journal Chiang Mai University*, vol. 23(1), pp. 119-129, 2016.
- [4] T. Marikawa, R. Asahi, T. Ohwaki, K. Aoki, K. Suzuki, and Y. Taga, T. (2011). "Visible-light photocatalytic/antibacterial/photocatalytic titanium dioxide," *EGO Review of Teyse CRD*, vol. 4(3), pp. 85-98, 2011.
- [5] S.M. Ghosh, and M. Tripathi, "A review of TiO<sub>2</sub> nanoparticles," *Chemical Science Bulletin*, vol. 56(16), pp. 1659-1667, 2011.
- [6] M.V. Kopylov, S. Mironov, M. Longhi, M. Cobari, L. Arghiz, and E. Sali, "Photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> mixed oxides in relation to electron transfer efficiency," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 183, pp. 657-669, 2016.
- [7] F. Benicewicz, M. Dondoska, A.A. Dabid, R. Taleghat, M. Fomenko, A. Inoue, T. Eosier, S. Liu, and W. Cai, "Optical structure and photocatalysis properties of Ce-doped TiO<sub>2</sub> thin films," *Applied Surface Science*, vol. 395, pp. 110-116, 2017.
- [8] W. Sangsriyap, "Photocatalytic and antibacterial activity of Ag-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles," *AKU Research Journal*, vol. 18(5), pp. 735-738, 2015.
- [9] W. Sangsriyap, "Self-cleaning and antibacterial of ZnO properties of ZnO, SnO<sub>2</sub> nanoparticles thin film," *Engineering Journal Chiang Mai University*, vol. 22(2), pp. 31-37, 2012.
- [10] W. Sangsriyap, "Study of the photocatalytic and antibacterial activities of TiO<sub>2</sub> powder synthesized by microwave-assisted sol-gel method," *AKU Research Journal*, vol. 21(1), pp. 87-94, 2018.
- [11] M. Khatami, and M. Inoue, "Preparation and characterization of synthesized ZSM-5 zeolite using factors and investigation of kinetic constant, crystallization time and temperature changes on the size and crystallinity of products," *Journal of the Iranian Chemical Society*, vol. 6(3), pp. 187-194, 2009.
- [12] M. Lee, G.D. Lee, and S.S. Hong, "A synthesis of titanium dioxide prepared by reverse co-precipitation method using

**บทความวิจัย**

การปรับปรุงการสังเคราะห์ไฮดรอกซีออกไซด์ของโลหะ  
*Proceedings of the 3<sup>rd</sup> AMUTP Conference of Engineering and Technology*

nanoscale surfactant with different hydrophilic groups and their photocatalytic activity." *Industry Engineering Chemistry*, vol. 9(4), pp. 412-418, 2003.

- [13] J. Zheng, H. Yu, and X. Li. "Enhanced photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> nano structured film films with a silver hierarchical configuration." *Applied Surface Science*, vol. 256, pp. 1678-1685, 2011.



**ศาสตราจารย์พิเศษ ดร.วิสิทวัน สอนแก้ว**

รองคณบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อดีตนายกสมาคมวิศวกรรมวัสดุแห่งประเทศไทย และอดีตนายกสมาคมวิศวกรรมวัสดุแห่งประเทศไทย ได้รับเลือกให้ดำรงตำแหน่งศาสตราจารย์พิเศษ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
Materials Engineering, New materials, Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) synthesis and application.





## สมบัติการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติก Antibacterial *E.coli* properties of $\text{TiO}_2$ -doped Ag thin film coated on plastic

วีระชัย แสงชาต (Weerachai Sangchay)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (จปท.) e-mail: weerachai.sangchay@kmutt.ac.th

### บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษารูปร่าง และสมบัติการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ภายใต้แสงยูวีบนฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน (0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์) เคลือบบนพลาสติก ซึ่งใช้วิธีการไทเทเนียม-เจลที่ขึ้นโครงสร้างที่ระดับพลังงาน 180 วัตต์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติก แสดงผลของนาโนผลึกที่ขึ้นโครงสร้างที่ระดับพลังงานแตกต่างกันได้แก่ 5.2, 4.8, 4.6 และ 4.0 นาโนเมตร สำหรับ TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag ตามลำดับ โดยฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติก ที่มีปริมาณเงินเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag) แสดงสมบัติการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ภายใต้แสงยูวีได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 60 นาที

**คำสำคัญ:** สมบัติการยับยั้งเชื้อ, ฟิล์มบาง, ไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน, *E.coli*

### Abstract

The purpose of this research was to study microstructure and antibacterial of *E.coli* under UV irradiation of  $\text{TiO}_2$ -doped Ag (0, 1, 3 and 5 %) thin film coated on plastic. Thin film was prepared by microwave-assisted sol-gel method. The prepared thin film was refluxed at 180 W for 3 h. The results show all samples reveal the anatase and rutile phase and has the crystallite size is 5.2, 4.8, 4.6 and 4.0 nm for TP, T1Ag, T3Ag and T5Ag, respectively. It was found that  $\text{TiO}_2$ -doped Ag thin film coated on plastic (T5Ag) were found to give the highest antibacterial *E.coli* properties is about 100% under UV irradiation, for 60 min.

**Keywords:** Antibacterial properties, Thin film,  $\text{TiO}_2$ -doped Ag, *E.coli*



1. บทนำ

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO<sub>2</sub>) เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้ประโยชน์กับตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยา... (text continues)

ดังนั้น งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา... (text continues)

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุเคมี

การดำเนินการวิจัยให้ทราบถึงการผสม... (text continues)

2.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์... (text continues)

ขั้นตอนที่ 1: การเตรียมไทเทเนียมคลอไรด์... (text continues)





ขั้นตอนที่ 2: การเตรียมโพลีเมอร์ไฮดรอกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้ เริ่มด้วย: พอลิเมอร์ค่าความสะอาดผิวอ่างเงิน จำนวน 2 50g แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้น: พอลิเมอร์อยู่ในสารละลายจากขั้นตอนที่ 1 แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่แห้ง การอบแห้งจะได้ฟิล์มบางโพลีเมอร์ไฮดรอกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก ซึ่งการคำนวณรายได้ในกรณีนี้ ได้กำหนด ด้วยปริมาณค่าที่บ่งชี้ว่าเป็นปริมาณที่ต่าง ๆ ดังนี้ TP, T3Ag, T3Ag และ T5Ag คือ ฟิล์มบางโพลีเมอร์ไฮดรอกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของ พอลิเมอร์

2.3 การตรวจสอบลักษณะ

การตรวจสอบลักษณะของฟิล์มบางโพลีเมอร์ไฮดรอกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกมีการใช้เครื่องมือต่าง ๆ โดยศาสตร์ ได้แก่ X-Ray Diffraction (XRD) (รุ่น X'Pert MPD, PHILIPS, Netherlands) เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกของผลึก และคำนวณขนาดของผลึกของผลึกที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการ Scherrer เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (รุ่น Quanta 400, FEI, Czech Republic) เพื่อตรวจสอบรูปร่างของฟิล์มบาง และเครื่องมือ Atomic Force Microscopy (AFM) (SEKO รุ่น SPA 400) เพื่อศึกษาความหยาบของฟิล์มบางโพลีเมอร์ไฮดรอกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก โดยที่ทำการวัด 1 x 1 ไมครอนเมตร

2.4 การทดสอบการยับยั้งเชื้อ E.coli

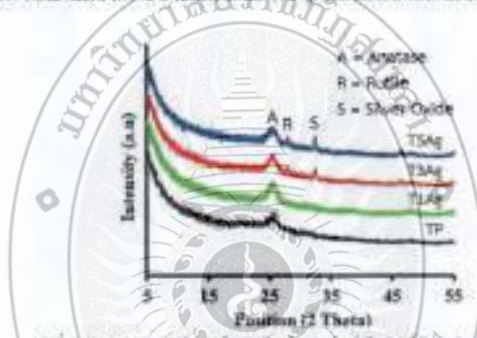
การทดสอบการยับยั้งเชื้อ E.coli ของฟิล์มบางโพลีเมอร์ไฮดรอกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้: เตรียมสารอาหารเจริญเชื้อแบคทีเรียในจานเพาะเชื้อ (Fig. 1) โดยนำหลอดเชื้อเพาะเชื้อที่ได้ไว้นี้ เริ่มเติมน้ำเชื้อลงในหลอดที่มีอาหารเมซ (Trypticase-soy broth) แล้วนำไปในตู้ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมเชื้อลงใน 0.85 ml ของเชื้อสาร (0.5 ml เชื้อ) โดยใส่ 0.2 ml ของ dilution แล้วไปหมักบนจานเพาะเชื้อ Mccoonkey โดยใช้เทคนิค spread plate แล้วนับจำนวนเชื้อ E.coli จนได้จำนวนเชื้อ E.coli อยู่ในช่วง 30-400 หลังจากที่ได้ทราบความเข้มข้นเชื้อตั้งต้นแล้ว นำเชื้อที่ได้นี้ไปเติมใส่ในจานเพาะเชื้อ 10 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีความเข้มข้นเชื้อประมาณ 10<sup>7</sup> CFU/ml แล้วนำตัวอย่างขึ้นวางบนฟิล์มบางโพลีเมอร์ไฮดรอกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติก ขนาดเท่ากับ 2.5x2.5 เซนติเมตร ยกเว้นน้ำเชื้อ (มีเชื้อ E.coli 10<sup>7</sup> CFU/ml) จำนวน 10 มิลลิลิตร ที่เตรียมไว้ก่อนหน้านี้ จากนั้นนำไปทิ้งในตู้ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที แล้วนำตัวอย่างเชื้อที่ผ่านการบ่มแล้วนี้ ที่เวลาต่าง ๆ จำนวน 0.1 มิลลิลิตร หมักลงในจานเพาะเชื้อที่เตรียมไว้ แล้วทำการนับจำนวนเชื้อ E.coli ที่เจริญขึ้นจากจานเพาะเชื้อ แล้วนำไปในตู้ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่แห้งเพื่อเชื้อ E.coli จะเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ หลังจากนั้นทำการนับอีกหนึ่งผลการอ่านรูปแบบการยับยั้ง E.coli ที่หมัก โดยทดสอบจำนวนเชื้อ 3 ตัวอย่าง แล้วนำผลการอ่านผลเป็นค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบเชื้อ E.coli และนำผลมาใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบเชื้อ E.coli



### 3. ผลการทดลอง

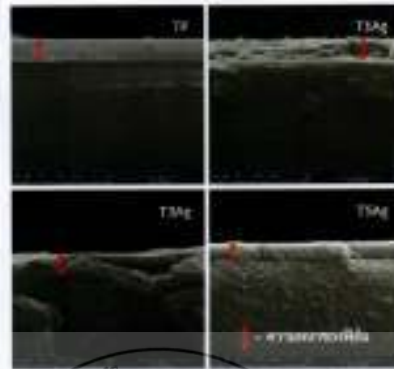
#### 3.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของ

ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางโพแทสเซียมไดออกไซด์ไอออนเลือกแบบพลาสมาสีกด้วยเครื่อง XRD พบว่าฟิล์มบางโพแทสเซียมไดออกไซด์ไอออนเลือกแบบพลาสมาสีกที่มีการแปรผันตามปริมาณเงินจะส่งผลให้เกิดโครงสร้างผลึกของโพแทสเซียมไดออกไซด์ที่ต่างกัน โดย TP และ T1Ag จะพบเพียงเฟสของโพแทสเซียมไดออกไซด์เท่านั้น ส่วน T3Ag และ T5Ag จะตรวจพบผลของโพแทสเซียมไดออกไซด์และเฟสของเงิน ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากลักษณะการสลายจะเข้าไปช่วยส่งเสริมให้เกิดการเกิดผลของโพแทสเซียมไดออกไซด์จากสถานะของฟิล์มบางโพแทสเซียมไดออกไซด์ในสารที่มีสถานะเงินที่มีปริมาณมากขึ้น ความสามารถในการตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD สามารถตรวจสอบผลของเงินสามารถนำมาคำนวณค่าขนาดผลึกของฟิล์มบางโพแทสเซียมไดออกไซด์ของฟิล์มบางของ TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag มีค่าเท่ากับ 5.2, 4.8, 4.6 และ 4.0 นาโนเมตร จากข้อมูลในส่วนนี้ ส่งผลให้ฟิล์มบางสามารถสรุปได้ว่า ฟิล์มบางโพแทสเซียมไดออกไซด์ไอออนเลือกแบบพลาสมาสีก ที่มีปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ (T5Ag) จะส่งผลให้เกิดฟิล์มบางที่มีผลดีที่สุด

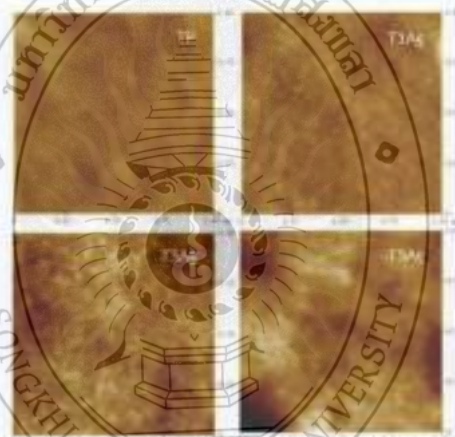


รูปที่ 1 ผล XRD ของฟิล์มบางโพแทสเซียมไดออกไซด์ไอออนเลือกแบบพลาสมาสีกต่างกัน

จากการศึกษาความหนาของฟิล์มบางโพแทสเซียมไดออกไซด์ไอออนเลือกแบบพลาสมาสีกด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย เท่ากับ 30,000 เท่า และผลดังรูป 2 พบว่าความหนาของฟิล์มบางประมาณ 300-500 นาโนเมตร ความขรุขระของผิวฟิล์มบางโพแทสเซียมไดออกไซด์ไอออนเลือกแบบพลาสมาสีก ที่ปริมาณเงินเท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ไม่ สามารถตรวจสอบได้ด้วย AFM ผลการตรวจสอบพบว่าความขรุขระมีค่าเท่ากับ 2.011, 2.656, 4.3060 และ 6.315 นาโนเมตร สำหรับฟิล์มบางโพแทสเซียมไดออกไซด์ไอออนเลือกแบบพลาสมาสีก ที่มีปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ไม่ สามารถวัดค่าความขรุขระขึ้นมาได้เป็นชิ้นขึ้นเนื่องฟิล์มบางเงิน โดยลักษณะของฟิล์มบางโพแทสเซียมไดออกไซด์ไอออนเลือกแบบพลาสมาสีก สามารถพิจารณาดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ภาพ SEM ของฟิล์ม EcoV ที่เคลือบไว้ที่กระดาษกรองและฟิล์มกรองแสงต่างชนิดกัน



รูปที่ 3 ภาพ AFM ของฟิล์ม EcoV ที่เคลือบไว้ที่กระดาษกรองและฟิล์มกรองแสงต่างชนิดกัน

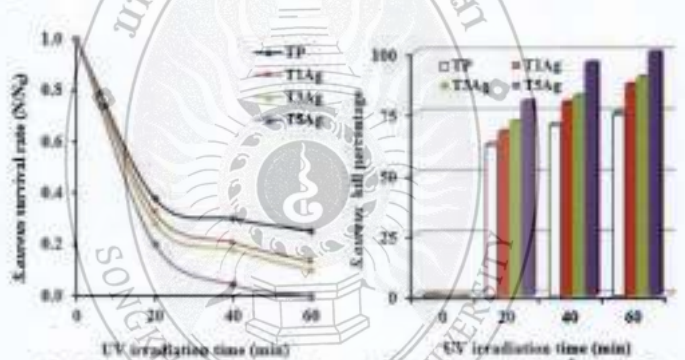
3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของ EcoV

การศึกษาด้านประสิทธิภาพของฟิล์ม EcoV ของฟิล์มกรองแสงชนิดเคลือบด้วยนาโนสตรักเจอร์พลาสม่า ภายใต้สภาวะที่ ความยาวคลื่นแสง 0, 20, 40 และ 60 นาฬิกา และที่รูปที่ 4-5 โดยเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการวัดค่าการส่งผ่านของ EcoV หรือ อัตราการลดทอนที่มีสีของฟิล์ม EcoV และแปลผลค่าการส่งผ่านของ EcoV ตามลำดับ จากรูปที่ 4 พบว่าอัตราการลดทอนของ EcoV ลดลง เมื่อเวลาในการได้วันแสงยูวีเพิ่มขึ้น และพบว่าเมื่อมีการ



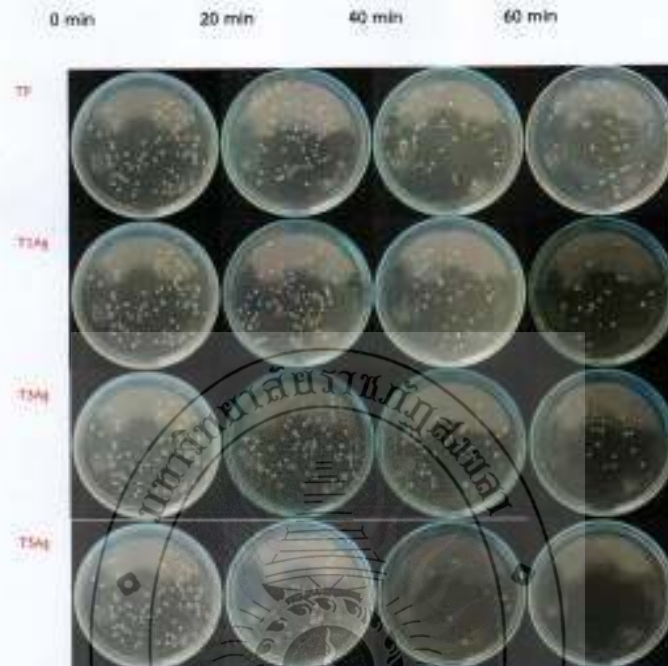
เจือจาง ส่งผลทำให้อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ E.coli ลดลงมากกว่ากรณีที่มีมีการเจือจาง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อมีการเจือจางในปริมาณน้อยขึ้น ส่งผลให้อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ E.coli มีแนวโน้มลดลงอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากการเจือจางในโพรงนิวมัลติสก็อตช่วยขจัดเศษซากเซลล์และเซลล์ที่ยังมีชีวิตในการทำปฏิกิริยากับเชื้อ E.coli ได้มากขึ้น ส่งผลให้มีเชื้อ E.coli ถูกทำลายได้มากขึ้นนั่นเอง

จากรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเวลาในการได้รับแสงยูวีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อ E.coli ลดลง และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น จะส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อ E.coli เพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อ E.coli มีผลมาจากผลของปฏิกิริยาฟิโตนอกโซลิกที่สูงขึ้นเนื่องจากพลังงานแสงที่ออกนอกเซลล์และผนังเซลล์มีมากขึ้น จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อ E.coli ได้เพิ่มขึ้น [20-21] เมื่อผนังเซลล์ของเชื้อถูกทำลายก็จะเปื่อยสลายไปในที่สุด โดยเปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อ E.coli หลังทดสอบด้วยปริมาณของนิวมัลติสก็อตที่เจือจางเจือจางน้อยลงเหลือเพียงครึ่งเดียว จากปริมาณของน้ำที่เติมเป็น 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์นั้นผล พบว่าน้ำที่เติมเป็น 0 เปอร์เซ็นต์จะมีผลต่ออัตราการรอดของเชื้อ E.coli ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่เติม 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์นั้นเอง (TSAg) จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการฆ่าเชื้อ E.coli ที่ใช้ฟิโตนอกโซลิก TSAg, TIAg และ TP ครบถ้วน โดยหากเพิ่มปริมาณน้ำที่เจือจางเชื้อ E.coli ที่รอดชีวิตหรือที่รอดรวมทั้งปริมาณนิวมัลติสก็อตที่เจือจางเหลือเพียงครึ่งเดียวจากปริมาณของน้ำที่เติมเป็น 0, 20, 40 และ 60 นาที แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ E.coli หลังทดสอบด้วยฟิโตนอกโซลิกของเจือจางเจือจางน้อยลงเหลือเพียงครึ่งเดียว จากปริมาณของน้ำที่เติมเป็น 0, 20, 40 และ 60 นาที ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

รูปที่ 5 อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ E.coli หลังทดสอบด้วยปริมาณนิวมัลติสก็อตที่เจือจางเจือจางน้อยลงเหลือเพียงครึ่งเดียว จากปริมาณของน้ำที่เติมเป็น 0, 20, 40 และ 60 นาที ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน



รูปที่ 6 ภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ E.coli ที่เพาะขึ้นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA ในจานเพาะเชื้อเป็นเวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที

#### 4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาการยับยั้งการเติบโตของเชื้อ E.coli โดยใช้ยาฆ่าเชื้อที่เป็นไฮดรอกซีฟีนอล (0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ในน้ำ) เพื่อศึกษาว่าผลของยาฆ่าเชื้อเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ E.coli บนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA อย่างไรบ้าง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ายาฆ่าเชื้อเหล่านี้มีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของเชื้อ E.coli ได้ในระดับหนึ่งที่ไม่มีการเจริญเติบโต และเมื่อเพิ่มปริมาณยาฆ่าเชื้อ จะยิ่งมีผลยับยั้งการเติบโตของเชื้อ E.coli สูงขึ้นด้วย โดยเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อ E.coli ที่ได้ผลยับยั้งการเติบโตของเชื้อ E.coli ที่ใช้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA ได้แสดงเป็นกราฟที่แสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ซึ่งค่าเท่ากับ 74.84, 86.84, 90.00 และ 100.00 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณของไฮดรอกซีฟีนอลในสารละลายที่ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

#### ผลการสรุป

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและโลหะ และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



### บทบรรณานุกรม

- [1] Chakhar, W., Ben Naceur, J., Ben Taleb, S., Ben Assaker, I. and Chtourou, R. 2017. Fe-doped TiO<sub>2</sub> nanorods with enhanced electrochemical properties as efficient photoanode materials. *Journal of Alloys and Compounds*, 708: 862-870.
- [2] Sangchay, W. and Uboncholakit, K. 2015. Photocatalytic disinfection of water containing *E.coli* using Fe<sup>3+</sup> doped TiO<sub>2</sub> thin films coated on glass fibers. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 10(1): 283-290.
- [3] Sangchay, W. 2015. Fe doped TiO<sub>2</sub> thin films coated on glass fiber to inhibit bacterial of *E.coli* prepared by sol-gel method. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 9(4): 1593-1601.
- [4] Angela, G.R. and Cesar, P. 2007. Absence of *E.coli* regrowth after Fe<sup>3+</sup> and TiO<sub>2</sub> solar photoassisted disinfection of water in CPC solar photoreactor. *Catalysis Today*, 129: 204-214.
- [5] Yingchun, M., Xiaolin, X., Kaizhan, E. and Ninghao, W. 2017. Preparation of novel Cu/TiO<sub>2</sub> microcrystal composite and antibacterial activities for *Escherichia coli* under visible light. *Ceramics International*, 43: 900-903.
- [6] Tandi, H., Mingbo, S. and Jiny, L. 2017. Inactivation of *E.coli* by nano-Cu/MWCNTs combined with hydrogen peroxide. *Science of the Total Environment*, 574: 818-828.
- [7] Sangchay, W., Sakong, L. and Kooptanond, K. 2013. The photocatalytic and antibacterial activity of Cu-doped TiO<sub>2</sub> thin films. *Wala-lee Journal*, 10(3): 19-27.
- [8] Gregor, Z., Muhammad, S.A., Peric, G., Jonez, Z. and Albin, F. 2017. Electron trapping energy states of TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> composite and their influence on photocatalytic degradation of bisphenol A. *Applied Catalysis B: Environmental*, 275-284.
- [9] Joseph, A.M., Dong, H.L. and Kang, J.H. 2017. Photocatalytic removal of gaseous nitrogen oxides using WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> particles under visible light irradiation: Effect of surface modification. *Chemical Engineering*, 182: 539-546.
- [10] Joanne, M.M., Suresh, C.P., John, M.K. and Laurence, W.C. 2011. Solar photocatalytic of *E.coli* and bacteriophages MS2, QX174 and PR772 using TiO<sub>2</sub>, ZnO and ruthenium based complexes in continuous flow system. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 170: 79-90.
- [11] Ganesh, P.A., Surya, R.A., Sridhar, K., Hari, J.K., Chan, H.P. and Cheri, S.K. 2016. Facile synthesis of ZnO flowers modified graphene like MoS<sub>2</sub> sheets for enhanced visible-light-driven photocatalytic activity and antibacterial properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 682: 208-215.
- [12] Sangchay, W. and Uboncholakit, K. 2016. Photocatalytic and antibacterial activity of ZnO powders prepared via sol-gel method. *KU Engineering Journal*, 43(1): 21-25.
- [13] Sangchay, W. 2015. Self-cleaning and antibacterial of *E.coli* properties of TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> composite thin films. *Engineering Journal Chiang Mai University*, 22(2): 31-37.



- [14] Mecca, M., John, K., Stefano, G., Cesar, P., Ivica, Z., Arnaud, M. and Sami, R. 2017. FeOx magnetization enhancing E.coli inactivation by orders of magnitude on Ag-TiO<sub>2</sub> nanotubes under sunlight. *Applied Catalysis B: Environmental*, 202: 438-445.
- [15] Poomma, P.V., Thilagavathy, J., Umadevi, M., Nayana, J. and Sathya, G.V. 2016. Synergistic effect of MgO/Ag co-doping on TiO<sub>2</sub> efficient antibacterial agents. *Materials Letters*, 184: 82-87.
- [16] Sangchay, W. 2013. Photocatalytic and antibacterial activity of Ag-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *KRU Research Journal*, 18(5): 731-738.
- [17] Sangchay, W. 2017. WO<sub>3</sub>-doped TiO<sub>2</sub> coating on charcoal activated with increase photocatalytic and antibacterial properties synthesized by microwave-assisted sol-gel method. *Journal of Nanotechnology*, 2017: 1-7.
- [18] Sangchay, W. 2016. Study of the photocatalytic and antibacterial activity of TiO<sub>2</sub> powder synthesized by microwave-assisted sol-gel method. *KRU Research Journal*, 21(1): 67-76.
- [19] Sangchay, W., Kiatphanom, M. and Ubochoyphet, K. 2016. Photocatalytic and antibacterial activity of TiO<sub>2</sub> powder synthesized by microwave-assisted sol-gel method. *SWU Engineering Journal*, 10(2): 13-27.
- [20] Kim, K.D., Han, D.N., Lee, J.B. and Kim, H.T. 2005. Formation and characterization of Ag deposited TiO<sub>2</sub> nanoparticles by chemical reduction method. *Scripta Materialia*, 54: 143-146.
- [21] Ondok, V., Musil, J., Melsner, M., Cerby, B. and Fajrik, K. 2010. Two-functional DC sputtered Cu-containing TiO<sub>2</sub> thin films. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 209: 158-162.

ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการเตรียมแบบโซล-เจลที่ใช้นาไมโครเวฟ  
*Fusarium Moniliforme* Antifungal Activities of  $TiO_2$ -Doped Ag Films Coated on Plastic Prepared by Microwave-Assisted Sol-Gel Method

วีระชัย แสงฉาย<sup>1\*</sup> อาชีวนะ บุณยะเจณี<sup>2</sup> และ ปริญญ์ญา ขันเที่ยง<sup>1</sup>  
Weerachai Sangchay<sup>1\*</sup> Arsuenta Bukeacheani<sup>2</sup> and Parnyaa Thubthainig<sup>1</sup>  
ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ่างทองสุรนารี อ.เมือง จ.สุรินทร์ 90000  
Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, Thailand, 90000  
Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, Thailand, 90000  
\*Corresponding author: weerachai.sang@su.ac.th and weerachai.sang@yaho.com

บทคัดย่อ  
งานวิจัยนี้ เป็นการเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมลเคลือบบนพลาสติกด้วยการใช้ไมโครเวฟ แล้วศึกษาโครงสร้างทางจุลทรรศน์เทคนิค XRD, SEM และ AFM และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ภายใต้แสงยูวี ณ เวลาต่าง ๆ และการทดสอบพบว่า การเจือเงินลงในไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลต่อโครงสร้างผลึก ขนาดผลึกของอนุภาค ความขรุขระของผิวฟิล์ม และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* โดยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการใช้ไมโครเวฟ ที่มีปริมาณเงินเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีโครงสร้างผลึกบนอนุภาคที่มีขนาดเล็กระนาบเล็กที่สุด และมีความขรุขระของผิวสูงที่สุด อีกทั้งยังแสดงผลประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่ดีที่สุด ซึ่งเท่ากับ 0, 23.00, 45.00 และ 70.00 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงยูวี 0, 20, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** การยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme*, ไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน, กระบวนการโซล-เจลที่ใช้นาไมโครเวฟ

Abstract

The research was prepared  $TiO_2$ -doped Ag 0, 1, 3 and 5 %mol films coated on plastic prepared by microwave-assisted sol-gel method. The structure of films is characterized using XRD, SEM and AFM analysis. The research has investigated the *Fusarium moniliforme* antifungal activities of  $TiO_2$ -doped Ag films coated on plastic prepared by microwave-assisted sol-gel method under UV irradiation with different time. The result showed that Ag has the effect on morphology structure, crystallization of anatase phase, surface roughness and *Fusarium moniliforme* antifungal activities of films. The  $TiO_2$ -doped Ag films sample with 5 %mol of Ag content showed the presence of an anatase phase has a smallest size, a highest roughness and highest effective of *Fusarium moniliforme* antifungal activities about 0, 23.00, 45.00 and 70.00 % under UV irradiation for 0, 20, 40 and 60 min, respectively.

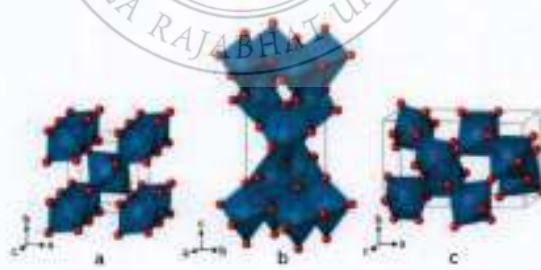
**Keywords:** Antifungal activities, *Fusarium moniliforme*,  $TiO_2$ -doped Ag, Microwave-assisted sol-gel method



### 1. บทนำ

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide,  $\text{TiO}_2$ ) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียมซึ่งอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน และมีสมบัติพิเศษทางโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic) หรือที่ง่าย ๆ ว่าเป็นสารที่สามารถถูกแรงปฏิกิริยาได้ด้วยแสงยูวี โดยไทเทเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึก 3 แบบ ได้แก่ รูไทต์ (rutile) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบ Tetragonal อนุกรมผลึก (Anatase) มีโครงสร้างผลึกแบบ Tetragonal และบรูไนต์ (Brookite) มีโครงสร้างผลึกแบบ Orthorhombic [1] (ดังรูปที่ 1) โดยโครงสร้างผลึกแบบอนุกรมผลึกมีขอบช่องว่างพลังงาน เท่ากับ 3.22 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ซึ่งมากกว่าโครงสร้างผลึกแบบรูไทต์ (3.02 eV) ดังนั้นโครงสร้างผลึกแบบอนุกรมผลึกจึงมีสมบัติเป็นโฟโตคะตะไลสต์ (Photocatalist) ที่สูงกว่าบรูไนต์ เพราะมีแถบพลังงานที่ต่ำกว่าของโครงสร้างผลึกแบบรูไทต์จะกีดกันความถี่ของพลาสม่าประจุบวกเร็วว่าการแผ่รังสีของอนุกรมอนุกรมผลึก จึงทำให้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้น ๆ และมีประสิทธิภาพต่ำ นอกจากนี้จากการศึกษาข้อมูลในอดีตพบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปโครงสร้างผลึกแบบอนุกรมผลึกมีความเป็นผลึกสูงและพื้นที่ผิวมากสุด เมื่อเทียบกับโครงสร้างผลึกแบบอื่น ๆ ซึ่งสมบัติเหล่านี้จะส่งผลต่อการเป็นโฟโตคะตะไลสต์ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกของไทเทเนียมไดออกไซด์ นอกจากนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดผลึกและพื้นที่ผิวของอนุกรมผลึกด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับสารที่ผสมหรือเจือจางกับไทเทเนียมไดออกไซด์ เพราะสารเจือจะไม่มีอิทธิพลต่อขนาดผลึกและพื้นที่ผิวของอนุกรมผลึกแบบอนุกรมผลึก ดังนั้นการที่นักวิจัยนิยมศึกษากับและเปรียบเทียบได้ศึกษาว่าในทางวิจัยก่อนหน้าเป็นการปรับปรุงโครงสร้างโฟโตคะตะไลติก ได้แก่ เฟลิก, ซอนดง, ฟังสอน, ลิงกาลี, คิงก และอื่น [2-7] เป็นต้น เพราะสารเจือเหล่านี้มีจำนวนมากปรุ่สมบัตินี้เป็นการช่วยยับยั้งเชื่อมต่อน้ำเชื่อมและเชื่อมสายของไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ดียิ่งขึ้น โดยสารเจือจะไปทำปฏิกิริยาในการไปทำลายหรือยับยั้งเชื่อมด้วยการทำลายพันธะของสายเชื่อม หลังจากนั้นเชื่อมก็ไม่สามารถสร้างขั้วได้และจะขยายในที่สุด

สำหรับวัสดุฟอโต้ไทเทเนียมไดออกไซด์หรือไทเทเนียมไดออกไซด์ใช้สารต่าง ๆ จะมีหลายหลายรูปทรง เช่น เส้น และ ผิวนั้น ซึ่งกระบวนการที่ใช้ในการเตรียม หรือ วิธีขึ้นรูปไทเทเนียมไดออกไซด์หรือสารต่าง ๆ มีหลากหลายวิธี เช่น การระเหยไอระเหย การไฮดรอลิซิส การสลายตัวของสารประกอบ และกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [8-10] เป็นต้น ซึ่งต่อกระบวนการหรือวิธีการใด ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่แตกต่างกัน สำหรับกระบวนการที่เสียค่าใช้จ่ายน้อย สารที่มีผลจะให้ได้จะมีคุณภาพสูง และเหมาะสำหรับกระบวนการผลิตอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ คือ กระบวนการไฮดรอลิซิส จากพอลิเมอร์ที่สามารถสังเคราะห์ที่ง่ายและสะดวกในครั้งนั้นเป็นการเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์เจือเงิน ที่ปริมาณเงินคือ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ในผลึก ตัวอย่างกระบวนการไฮดรอลิซิสที่ใช้โมโนไทเทเนียมไทโอเอทิล ไดไฮดริลโครงสร้างต่าง ๆ ของไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือที่เรียกว่าไปเคลือบแบบพลาสมา แต่ทั้งการศึกษาคุณสมบัติของต่าง ๆ ของฟิล์มตัวเคลือบหรือการวิเคราะห์ด้วย XRD, SEM และ AFM เป็นต้น พร้อมทั้งศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา ได้แก่ เชื้อ *Fusarium moniliforme* ด้วยฟิล์มเคลือบในภาพที่ 4



รูปที่ 1 โครงสร้างผลึกแบบต่าง ๆ ของไทเทเนียมไดออกไซด์ (a) รูไทต์, (b) อนุกรมผลึก และ (c) บรูไนต์ (ดัดแปลงมาจาก [1])

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 สารเคมี

ในการดำเนินการงานวิจัยใช้สารเคมีเกรดสำหรับห้องปฏิบัติการ ซึ่งสารเคมีที่สำคัญ ๆ มีดังนี้ Silver Nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ) บริษัท Chem-supply, Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) 96.5-98.0 เปอร์เซ็นต์ บริษัท RCL labscan limited, Titanium (IV) isopropoxide  $\text{IC}_3\text{H}_7\text{O}_4\text{Ti}$  (TIP) บริษัท Aldrich chemistry, Hydrochloric Acid (HCl) 69-70 เปอร์เซ็นต์ บริษัท J.T.Baker (รูปที่ 2) และพลาสติก ชนิด PP สมบูรณ์ (Polypropylene, PP) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 สารเคมีสำหรับการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3 พลาสติกชนิด PP

### 2.2 การเตรียมสารเคลือบโพลีเมธิลเมทาคริลเอทที่เจือเงิน

การเตรียมสารเคลือบโพลีเมธิลเมทาคริลเอทที่เจือเงินด้วยวิธีการโกลด์-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ คัดแปลงมาจากงานวิจัยของผู้นี้ซึ่งมีการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ [1]-[2] และมีการปรับปรุงขั้นตอนของการดำเนินงานนี้ด้วยการประชุมวิชาการระดับชาติ [13] โดยนำรายละเอียดการดำเนินงานดังต่อไปนี้ เริ่มต้น นำ  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ผสมกับ TIP ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ  $\text{AgNO}_3$  0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล) บรรจุใส่ขวดด้วยเครื่องกวนสารแบบแห้งแม่เหล็กด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที ระยะเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 4) หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาณ 250 มิลลิลิตร และเติม HCl ปริมาตร 3 มิลลิลิตร (รูปที่ 3) แล้วกวนต่อไปถึงเวลา 45 นาที ก็จะได้เป็นสารแขวนลอยคล้ายน้ำนม (รูปที่ 5) หลังจากนั้นนำสารแขวนลอยมาบรรจุใส่ขวดที่สะอาดด้วยสารเคมีเกรดสำหรับห้องปฏิบัติการ ปริมาตร 180 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ภายใต้การคุ้มครองการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมที่จะดำเนินการที่จะได้สารเคลือบโพลีเมธิลเมทาคริลเอทที่เจือเงินที่มีปริมาณเงินต่าง ๆ ได้แก่ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล

### 2.3 การเคลือบฟิล์มโพลีเมธิลเมทาคริลเอทที่เจือเงินบนพลาสติก

นำพลาสติกตามค่าความสะอาดด้วยน้ำกลั่น จำนวน 2 ชิ้น แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำพลาสติกมาชุบในสารเคลือบโพลีเมธิลเมทาคริลเอทที่เจือเงินที่ปริมาณเงินต่าง ๆ แล้วตั้งทิ้งไว้ที่แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง [13] โดยงานวิจัยในครั้งนี้ มีกำหนดวัสดุหลักชนิดที่ใช้เคลือบการเคลือบด้วยสารเงิน ดังนี้ TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag ซึ่งหมายถึง ฟิล์มโพลีเมธิลเมทาคริลเอทที่เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยการอบวนการโกลด์-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ ที่มีปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ

### 2.4 การตรวจสอบลักษณะ

การตรวจสอบลักษณะของฟิล์มโพลีเมธิลเมทาคริลเอทที่เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยการอบวนการโกลด์-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ มีการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ X-Ray Diffractometry (XRD) (รุ่น X'Pert MPD, PHILIPS,

Netherlands) เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกของโครงสร้างหรือผล และคำนวณพารามิเตอร์ของผลึกของแผ่นฟิล์มที่ผลิตขึ้น ด้วยหลักการ Scherer [14] นอกจากนี้ยัง ใช้ เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (รุ่น Quanta 400, FEI, Czech Republic) เพื่อตรวจดูโครงสร้างจุลภาคพื้นผิวและความหนาของฟิล์ม และเครื่อง Atomic Force Microscopy (AFM) (SEIKO รุ่น SPA 400) เพื่อศึกษาความหยาบของพื้นผิวของฟิล์มที่สังเคราะห์ขึ้น



รูปที่ 4 สารละลาย  $C_2H_5OH$  ผสมกับ TTP ปริมาณ 10 มิลลิกรัม และ  $AgNO_3$

รูปที่ 5 สารแขวนลอยคอลลอยด์น้ำนม

### 2.5 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme*

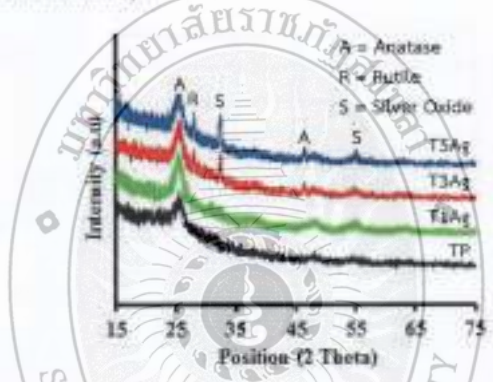
เริ่มต้นนำเชื้อ *Fusarium moniliforme* (กรมวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์) ใส่ลงในหลอดที่มี 0.85 เปอร์เซ็นต์ NaCl (9 มิลลิกรัม) ด้วยเทคนิคผสมคลุกเคล้า ทำการเขย่าให้เข้ากัน จะได้เป็น suspension ของเชื้อที่มีความเข้มข้น  $10^7$  CFU/ml ทำการเจือจางด้วยสารตั้งไปจนได้ระดับความเจือจางที่  $10^7$ ,  $10^6$ ,  $10^5$  และ  $10^4$  CFU/ml คือ 0.85 เปอร์เซ็นต์ NaCl แล้วนำไปทดสอบบนอาหารเพาะเชื้อ PDA โดยใช้เทคนิค Spread plate แล้วนับจำนวนเชื้อ *Fusarium moniliforme* จนได้จำนวนเชื้อ *Fusarium moniliforme* อยู่ในช่วง 10-150 โคลนิน หลังจากนั้นทำการความเข้มข้นตั้งต้นแล้ว นำเชื้อที่ได้ไปเทลงในโหลใสปริมาตร 10 มิลลิกรัม ซึ่งจะมีปริมาณเชื้อประมาณ  $10^7$  CFU/ml เพื่อนำตัวบ่งชี้ปริมาณของฟิล์มโพลีเมอร์ที่เคลือบออกไซด์เงินบนพลาสติกด้วยการอบการไหล-แห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ปริมาณ 25x25 เซนติเมตร มาใส่ในภาชนะที่มีเชื้อ *Fusarium moniliforme* ความเข้มข้น  $10^7$  CFU/ml จำนวน 10 มิลลิกรัมที่พร้อมไม่สมบูรณ์ จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 20, 40, และ 60 นาที แล้วนำตัวอย่างเชื้อที่ผ่านการอบแห้งนี้ ปริมาณ 3 จำนวน 20-30 มิลลิกรัม ทดสอบบนอาหารเพาะเชื้อ PDA ที่เตรียมไว้ แล้วทำการแยกเชื้อให้เชื้อ *Fusarium moniliforme* กระดาษที่บ่มจนเกาะเชื้อด้วยวิธีการ spread plate แล้วนำไปบ่มที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นจึงนับและโคโลนินของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ของเจริญบนอาหารเชื้อเชื้อ หลังจากนั้นทำการบันทึกผลสังเกตการเจริญและนับจำนวน *Fusarium moniliforme* ที่เฉลี่ย โดยทดสอบการลด 3 ตัวอย่าง แล้วนำมารายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการลดชีวิตของเชื้อ *Fusarium moniliforme* และเปอร์เซ็นต์การเสียชีวิตของอาหารเพาะเชื้อ *Fusarium moniliforme*

### 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 3.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของ

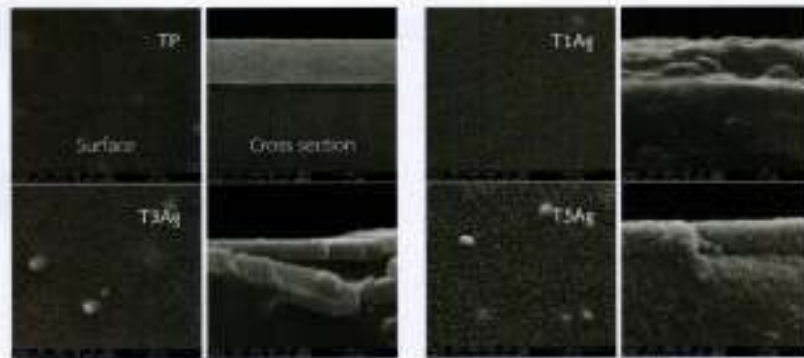
ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD ของ TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าฟิล์มโพลีเมอร์เคลือบออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกด้วยการอบการไหล-แห้งที่ใช้ไมโครเวฟ ฟูด้วยอย่างเฉพาะอุณหภูมิ

โครงสร้างผลึกหรือเฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเตรียมด้วยวิธีการนี้สามารถส่งผลให้เกิดเฟสอนาตาส์ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือปนเป็น 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล สำหรับ T3Ag และ T5Ag จะพบว่าขอบเขตผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์และเฟสของเงินเพิ่มขึ้นจาก TP และ T1Ag เนื่องมาจากอิทธิพลของเงินที่เป็นสารเจือปนในไทเทเนียมไดออกไซด์จะเข้าไปช่วยส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์จากเฟสอนาตาส์เป็นเฟสรูไทล์ และเมื่อปริมาณเงินมีปริมาณมากขึ้นในการเจือจะส่งผลคือ XRD สามารถตรวจสอบผลของเงิน ดังนั้นจากผลข้างต้นนี้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อมีการเจือเงินในไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีเงินอยู่ในฟิล์มถึงสี่ระดับที่ขึ้น สำหรับขนาดผลึกของโครงสร้างหรือเฟสของไทเทเนียมสามารถคำนวณได้ด้วยสมการของ Scherer โดยการนำผลจากเครื่อง XRD มาเป็นข้อมูลในการคำนวณ ผลการคำนวณขนาดผลึกของเฟสของไทเทเนียม TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag มีค่าเท่ากับ 5.2, 4.8, 4.6 และ 4.0 นาโนเมตร จากข้อมูลในส่วนนี้ พบว่าเมื่อมีการเจือเงินในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้ขนาดผลึกของเฟสอนาตาส์ลดลง เพราะเงินจะทำไปขัดขวางการเติบโตของขนาดผลึกของนาโนผลึก ดังนั้นจากข้อมูลของขนาดผลึกของนาโนผลึก สามารถสรุปได้ว่าฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag) มีขนาดผลึกโครงสร้างหรือเฟสอนาตาส์ที่เล็กที่สุด



รูปที่ 6 โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ (เคลือบมารวม 130)

ลักษณะพื้นผิวและการกระจายตัวของเงินในฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ ตรวจสอบด้วยเครื่องมือ SEM ที่มีกำลังขยาย 60,000 เท่า แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งพบว่าลักษณะพื้นผิวของ T3Ag และ T5Ag มีอนุภาคเงินปรากฏบนพื้นผิวฟิล์มอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะสอดคล้องกับการตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD ที่มีการตรวจสอบผลของเงินดังที่กล่าวมาแล้ว และความหนาของ TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag มีค่าประมาณ 300-500 นาโนเมตร การตรวจสอบความหยาบด้วยเครื่อง AFM ของผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจล ที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงดังรูปที่ 8 จากรูปที่ 8 พบว่าความหยาบที่พื้นผิวของ TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag มีค่าเท่ากับ 2.011, 2.456, 4.306 และ 6.315 นาโนเมตร ตามลำดับ จากข้อมูลสรุปได้ว่าความหยาบจะเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อปริมาณเงินเพิ่มขึ้น และฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโซล-เจลที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag) มีขนาดความหยาบสูงที่สุด



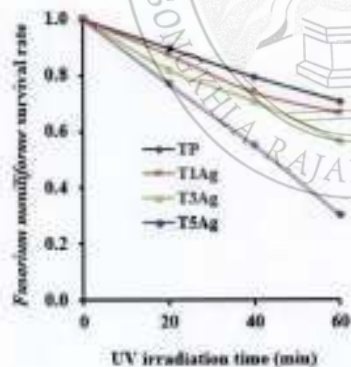
รูปที่ 7 ลักษณะพื้นผิวและความหนาของฟิล์มโพลีเอไมด์เคลือบทองแดงบนกระดาษฉนวนด้วยวิธีการไหล-เจดที่ใช้  
โพลีเอไมด์น้ำหนัก 6.00.000 (g/g)



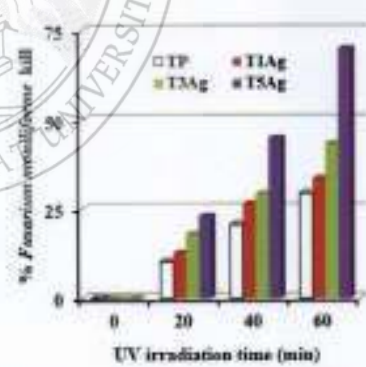
รูปที่ 8 ความขรุขระของฟิล์มโพลีเอไมด์เคลือบทองแดงบนกระดาษฉนวนด้วยวิธีการไหล-เจดที่ใช้โพลีเอไมด์  
น้ำหนัก 6.00.000 (g/g)

3.2 ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme*

ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ของฟิล์มโพลีเอทิลีนไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยวิธีการโกล-เจลที่ใช้นาโนโพลีเมอร์ ภายใต้แสงยูวี ณ เวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที จะรายงานผลอัตราการรอดชีวิตและเปอร์เซ็นต์การเสียชีวิตหรือการตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ซึ่งผลการศึกษานแสดงดังรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ จากรูปที่ 9 พบว่าอัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ในกรณีไม่มีการรอดชีวิตลดลงเมื่อมีการเจือเงินลงในโพลีเอทิลีนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้น เนื่องมาจากเงินจะไปช่วยเพิ่มสมบัติโฟโตแคตะโอลิก เมื่อสมบัติโฟโตแคตะโอลิกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไปทำลายผนังเซลล์ของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ได้ดีขึ้น เมื่อน้ำของตุ่มทำอาหารของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ก็จะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ หรือกล่าวง่าย ๆ ก็คือ เชื้อ *Fusarium moniliforme* จะตายเมื่อน้ำของตุ่มทำอาหารนั้นเอง โดอัตราการรอดชีวิต ณ เวลาการได้รับแสงยูวีต่าง ๆ เป็นดังนี้ อัตราการรอดชีวิตของ T5Ag < T3Ag < T1Ag < TP ซึ่งเมื่อพิจารณาในส่วนของ T5Ag พบว่าอัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ต่ำสุด น้อยเหลือภายใต้แสงยูวี เป็นเวลา 60 นาที เนื่องจากขนาดผลึกของโครงสร้างอนุภาคของ T5Ag มีขนาดเล็ก อีกทั้งยังมีความขรุขระของผิวสัมผัสสูงซึ่งช่วยในการส่งเสริมให้เกิดสมบัติโฟโตแคตะโอลิกและการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่สูงกว่า T3Ag, T1Ag และ TP ตามลำดับ สำหรับเปอร์เซ็นต์การเสียชีวิตหรือการตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* แสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเงินในโพลีเอทิลีนไดออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษารวดเร็วการรอดชีวิตของ *Fusarium moniliforme* ดังข้อมูลที่กล่าวมาแล้ว โดยเปอร์เซ็นต์การตายของ *Fusarium moniliforme* หลังทดสอบด้วย TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag ภายใต้แสงยูวี 60 นาที เท่ากับ 29.37, 33.64, 43.40 และ 70.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากข้อมูลในรูปที่ 10 พบว่า T5Ag จะเป็นฟิล์มที่มีเปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่สูงสุด โดยเปอร์เซ็นต์การตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme* เท่ากับ 0, 23.00, 45.00 และ 70.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับแสงยูวี เป็นเวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ ดังนั้นหากพิจารณาจากรูปที่ 9 และ 10 สามารถสรุปได้ว่าฟิล์มโพลีเอทิลีนไดออกไซด์เจือเงินเคลือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโกล-เจล ที่ใช้นาโนโพลีเมอร์ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 5 นาโนเมตร (T5Ag) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่สูงสุด เนื่องจากฟิล์มโพลีเอทิลีนไดออกไซด์ในการทำอาหารหรือยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ที่มีฟิล์มโครงสร้างผลึกแบบอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะมีความขรุขระของผิวสัมผัส

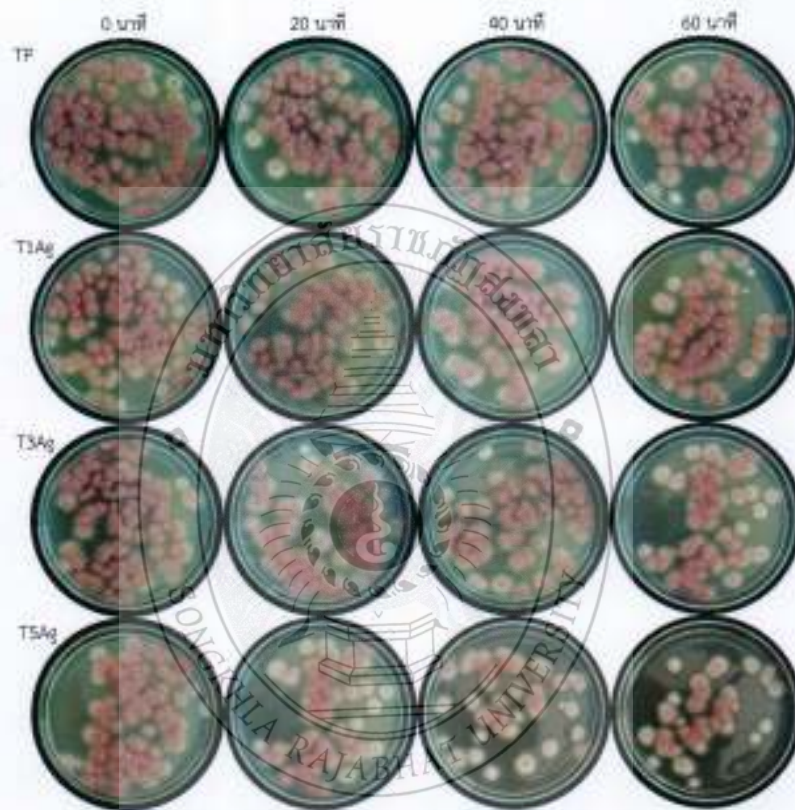


รูปที่ 9 อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ *Fusarium moniliforme*

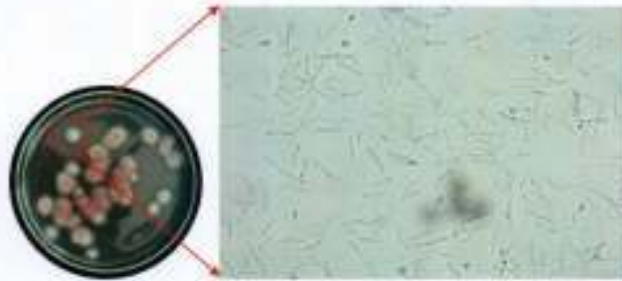


รูปที่ 10 เปอร์เซ็นต์การเสียชีวิตหรือการตายของเชื้อ *Fusarium moniliforme*

สำหรับภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ *Fusarium moniforme* ที่รอดชีวิตหลังทดลองด้วยพืชมโหระเห็ดบน โดออกไซด์เจือปนเคือบบนพลาสติกด้วยวิธีการโอบ-เจดที่ใช้ไมโครเวฟ (TP, T1Ag, T3Ag และ T5Ag) ภายใต้แสงยูวี ๒๖ เวลา 0, 20, 40 และ 60 นาที แสดงดังรูปที่ 11 และลักษณะของเชื้อ *Fusarium moniforme* จากกล้องจุลทรรศน์ที่รอดชีวิตหลังการทดลองด้วยพืชมโหระเห็ดบนโดออกไซด์เจือปนเคือบบนพลาสติกด้วยกระบวนการโอบ-เจดที่ใช้ไมโครเวฟ ที่ปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โมล (T5Ag) ภายใต้แสงยูวี ๒๖ เวลา 60 นาที แสดงดังรูปที่ 12 :



รูปที่ 11 จำนวนถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ *Fusarium moniforme* ที่รอดชีวิตหลังทดลองด้วยพืชมโหระเห็ดบน โดออกไซด์เจือปนเคือบบนพลาสติกด้วยวิธีการโอบ-เจดที่ใช้ไมโครเวฟ ภายใต้แสงยูวี ๒๖ เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 12 ลักษณะของเชื้อ *Fusarium moniliforme* ผลิตด้วยวิธีหมักของแข็งด้วย TSAg ภายใต้แสงยูวี 60 นาที

#### 4. สรุปผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ มีเป้าหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของไอโอดีเจนเนอโรนเคลือบบนพลาสติกด้วยวิธีการโซล-เจลที่ใช้ไม่เคลือบ ที่มีปริมาณไอโอดีเจนเนอโรน เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ในผล การศึกษาพบว่า ปริมาณเงินที่เจือลงในโพลิเมอร์ไอโอดีเจนเนอโรนสามารถลดการเจริญของราผล ความขรุขระพื้นผิวของฟิล์ม ซึ่งฟิล์มโพลิเมอร์ไอโอดีเจนเนอโรนเคลือบสามารถสังเคราะห์กระบวนการโซล-เจล ที่ใช้ไม่เคลือบ ที่มีปริมาณเงิน เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ในผล (T5Ag) มีโครงสร้างผลึกแบบอะนาคไทต์ที่มีขนาดผลึกอะนาคไทต์ขนาดเล็กที่สุด และมีความขรุขระของผิวที่สูงที่สุด สำหรับประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* สรุปได้ว่าการเจือเงินช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* โดย T5Ag แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Fusarium moniliforme* ซึ่งเท่ากับ 0, 75.0, 87.5 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงยูวี 0, 20, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีสนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัย พร้อมทั้งขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่สนับสนุนและเป็นที่ปรึกษาและเครื่องมือต่าง ๆ สำหรับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Landmann, M., Raus, E. and Schmidt, W.G. 2012. The electronic structure and optical response of rutile, anatase and brookite TiO<sub>2</sub>. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 24: 195503 (6 pp).
- [2] Sengchay, W. 2015. Fe doped TiO<sub>2</sub> thin films coated on glass fiber to inhibit bacterial of *E.coli* prepared by sol-gel method. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 9(4): 1593-1601.
- [3] Tianli, H., Minghao, S. and Jinyi, L. 2017. Inactivation of *E.coli* by nano-Cu/MWCNTs combined with hydrogen peroxide. *Science of the Total Environment*, 574: 818-828.
- [4] Gregor, Z., Muhammad, S.A., Pinar, D., Januz, Z. and Albin, P. 2017. Electron trapping energy states of TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> composites and their influence on photocatalytic degradation of bisphenol A. *Applied Catalysis B: Environmental*, 273-284.
- [5] Sengchay, W. and Ubolchoilakhat, K. 2016. Photocatalytic and antibacterial activity of ZnO powders



- prepared via sol-gel method. *KKU Engineering Journal*, 43(1): 21-25.
- [6] Sangchay, W. 2013. Photocatalytic and antibacterial activity of Ag-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *KKU Research Journal*, 18(5): 731-738.
- [7] Sangchay, W. 2017. WO<sub>3</sub>-doped TiO<sub>2</sub> coating on charcoal activated with increase photocatalytic and antibacterial properties synthesized by microwave-assisted sol-gel method. *Journal of Nanotechnology*, 2017: 1-7.
- [8] Palani, D., Suresh, Y., Satharandhan, K. and Mahabobkhan, R. 2017. Cytotoxicity and immunomodulatory effects of sol-gel combustion based titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) particles of large surface area on RAW 264.T macrophages. *Toxicology in Vitro*, xix: xxx-xxx.
- [9] Aichana, M., Pratima, C., Sheo, K.M. and Rajwesh, K.S. 2011. Structural, optical and charge transport study of rutile TiO<sub>2</sub> nanocrystals at two calcination temperatures. *Journal of Alloys and Compounds*, 508: 8433-8440.
- [10] Wang, P. 2017. Ag-AgBr/TiO<sub>2</sub>/RGO nanocomposite: synthesis, characterization, photocatalytic activity and aggregation evaluation. *Journal of Environmental Sciences*, 56: 202-213.
- [11] Sangchay, W. 2016. Study of the photocatalytic and antibacterial activity of TiO<sub>2</sub> powder synthesized by microwave-assisted sol-gel method. *KKU Research Journal*, 21(1): 67-76.
- [12] Sangchay, W., Khanshamsari, M. and Ubolchoolakhit, K. 2016. Photocatalytic and antibacterial activity of TiO<sub>2</sub> powder synthesized by microwave-assisted sol-gel method. *SWU Engineering Journal*, 10(2): 19-27.
- [13] วิจัย และนาย อรุณีศรี จันทร์. 2560. การสังเคราะห์ผงไดออกไซด์ไทเทเนียมด้วยวิธีโซลเจลที่ห้องปฏิบัติการวิจัย. น. 361-366. ใน รายงานการวิจัยโครงการวิจัยโครงสร้างและสมบัติของวัสดุนาโน. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี. 19 ตุลาคม 2560. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- [14] Mendi, A., Hojatiyan, R.M., Nemati, J., Aziz, M., Reza, S., Gelavizh, B. and Sahand, J. 2017. Enhanced photocatalytic degradation of tetracycline and real pharmaceutical wastewater using MWNT/TiO<sub>2</sub> nano-composite. *Journal of Environmental Management*, 186: 55-63.