

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและ  
การตรึงบนผ้าฝ้าย

SYNTHESIS OF TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES BY  
HYDROTHERMAL METHOD AND IMMOBILIZATION ON  
COTTON FABRICS

นางสาวศรสวรรค์ ดุขกรดำรง  
นางสาวศรีสุดา นฤมัย  
นางสาวสุหัตตรา ปานเรือง

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและ  
การตรึงบนผ้าฝ้าย

SYNTHESIS OF TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES BY  
HYDROTHERMAL METHOD AND IMMOBILIZATION ON  
COTTON FABRICS

นางสาวศรสวรรค์	อุษกรดำรง
นางสาวศรีสุดา	นฤภัย
นางสาวสุพัตรา	ปานเรือง

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

**SYNTHESIS OF TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES BY  
HYDROTHERMAL METHOD AND IMMOBILIZATION ON  
COTTON FABRICS**

**MISS SONSAWAN      RUECHUKORNDAMRONG**

**MISS SRISUDA      NARUPAI**

**MISS SUPATTRA      PANRUANG**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2013**

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและการตรึงบนผ้าฝ้าย

**Synthesis of titanium dioxide nanoparticles by hydrothermal method and immobilization on cotton fabrics**

ชื่อนักศึกษา นางสาวศรสวรรค์ อรุณกรดำรง

นางสาวศรีสุดา นฤภัย



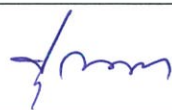
นางสาวสุพัตรา ปานเรือง

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปยุตธมา ศิริพันธ์ โนน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุพห์	
ดร.ปานไพลิน สีหาราช	
ผศ.ดร.ปยุตธมา ศิริพันธ์ โนน	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและการตรึงบนผ้าฝ้าย	
	Synthesis of titanium dioxide nanoparticles by hydrothermal method and immobilization on cotton fabrics	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวศรสวรรค์	ฤชกรดำรง
	นางสาวศรีสุดา	นฤภัย
	นางสาวสุพัตรา	ปานเรือง
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์ โนน	

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (Nano-TiO<sub>2</sub>) โดยใช้วิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) แล้วนำไปตรึงบนผ้าฝ้าย โดยในขั้นแรกศึกษาการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์โดยผสมไททาเนียมเตตระไอโซโพรพ็อกไซด์ (Titanium tetra isopropoxide, TIP) 5 กรัมในสารละลายกรด HNO<sub>3</sub> เข้มข้น 0.1 โมลาร์ 1 มิลลิลิตรและน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำเข้าเครื่องอัลตราโซนิกกำลังสูงเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงแยกอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ด้วยการปั่นเหวี่ยงที่อัตราเร็ว 8000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำอนุภาคที่ได้ไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในระบบน้ำกลั่นหรือระบบ 0.1 โมลาร์ NH<sub>4</sub>OH ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง ผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในทุกสภาวะประกอบด้วยโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสและรูไทล์ซึ่งมีความสามารถในการฟอกจากสีเมทิลีนบลูและต่อต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิด *Bacillus subtilis* และ *Escherichia coli* ในขั้นตอนที่สองนำผ้าฝ้ายมาปรับปรุงพื้นผิวให้มีประจุบวกแล้วมาปรับปรุงพื้นผิวด้วยไททาเนียมไดออกไซด์นาโนโซล โดยใช้สภาวะที่แตกต่างกัน ได้แก่ สภาวะหุบเคลือบและสภาวะหยดเคลือบแล้วนำผ้าฝ้ายมาทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 100 องศา เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในระบบน้ำกลั่นหรือระบบของผสมไททาเนียมไดออกไซด์นาโนโซลและน้ำกลั่น และระบบ NH<sub>4</sub>OH เข้มข้น 0.1 โมลาร์หรือระบบของผสมไททาเนียมไดออกไซด์นาโนโซลและ NH<sub>4</sub>OH เข้มข้น 0.1 โมลาร์ เพื่อปลูกผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวผ้าฝ้ายตัวอย่าง พบว่ามีการก่อตัวของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบผิวเส้นใยผ้าในทุกสภาวะ โดยสภาวะหยดเคลือบจะมีปริมาณอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> เกิดขึ้นมากกว่าในสภาวะหุบเคลือบ

คำสำคัญ : อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์, ผ้าฝ้าย, ปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล, ปรับปรุงพื้นผิวผ้า

<b>Title</b>	<b>Synthesis of titanium dioxide nanoparticles by hydrothermal method and immobilization on cotton fabrics</b>
<b>Students</b>	Miss Sonsawan Ruechukorndamrong Miss Srisuda Narupi Miss Supattra Panruang
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Industrial Chemistry
<b>Academic Year</b>	2013
<b>Advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Punnama Siriphannon

### ABSTARCT

This research studied on synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles by hydrothermal method and then immobilization onto cotton fabric. Firstly, the TiO<sub>2</sub> particles were synthesized by mixing 5 grams of titanium tetra isopropoxide (TIP) into 1 mL of 0.1 M HNO<sub>3</sub> and 100 mL of distilled water. This mixture was, consecutively, treated in high power ultrasonic for 10 min. The as - synthesized particles were separated by centrifugation at rotation speed of 8000 rpm for 5 min and then treated by hydrothermal reaction in distilled water or 0.1 M of NH<sub>4</sub>OH systems at 100 °C for 1 and 24 h. The TiO<sub>2</sub> crystals synthesized from all conditions were composed of anatase and rutile phases, In which they possessed the decolorization ability of methylene blue solution and antibacterial activities for *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli*. Secondly, the cotton fabrics were cationized and surface modified with TiO<sub>2</sub> nano sol using various conditions, i.e. dip-coating and drop-coating. The coated fabrics were hydrothermal treated in distilled water, TiO<sub>2</sub>-distilled water mixture and TiO<sub>2</sub>-0.1 M NH<sub>4</sub>OH mixture at 100 °C for 24 h in order to grow the TiO<sub>2</sub> nano particles on the cotton fabrics. It was found that the formation of TiO<sub>2</sub> nano particles was obtained in all treated samples, in which the drop-coating fabric contained higher amount of nano-TiO<sub>2</sub> than the drop-coating fabrics.

**Key word : TiO<sub>2</sub> nanoparticles , Cotton fabrics , Hydrothermal technique, Immobilization on cotton fabrics**

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์ โนน ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ท่านมอบให้ทั้งคำปรึกษา คำแนะนำ และความดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือทางด้านการดำเนินโครงการพิเศษนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์ และ ดร.ปานไพลิน สีหาราช ผู้ร่วมเป็นคณะกรรมการตรวจสอบให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์เพิ่มขึ้น ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี และ ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่เอื้อเพื่อความสะดวกอย่างเต็มประสิทธิภาพในด้าน อุปกรณ์ สารเคมี การดำเนินงานการวิเคราะห์ ตลอดจนให้คำแนะนำสำหรับการใช้เครื่องมือต่างๆ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา บุคคลในครอบครัว ตลอดจนบรรดาเพื่อนๆทุกคน สำหรับกำลังใจ ความห่วงใย ความปรารถนาดีที่มอบให้แก่คณะผู้จัดทำตลอดมา

นอกเหนือจากบุคคลที่ทางคณะผู้จัดทำได้กล่าวขอบพระคุณแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ทางคณะผู้จัดทำมิได้กล่าวถึงซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์สำหรับโครงการพิเศษฉบับนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ  
นางสาวศรสวรรค์ ฤทธิกรดำรง  
นางสาวศรีสุดา นฤภัย  
นางสาวสุพัตรา ปานเรือง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูป	ix
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	x
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ไททานเนียมไดออกไซด์	4
2.1.1 โครงสร้างผลึก	4
2.1.2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ	5
2.1.3 การสังเคราะห์โลหะออกไซด์	6
2.1.4 การประยุกต์ใช้ไททานเนียมไดออกไซด์	10

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 เส้นใย	12
2.2.1 เส้นใยฝ้าย	13
2.2.2 สมบัติของเส้นใยฝ้าย	14
2.2.3 การใช้ประโยชน์และการดูแลรักษาผ้าฝ้าย	16
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
<b>บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน</b>	<b>24</b>
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	24
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	24
3.3 การทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก	26
3.4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	27
3.5 การปลูกผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงในผ้าฝ้าย ด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล	28
3.6 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	30
3.6.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)	30
3.6.2 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)	30
3.7 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ผ้าฝ้ายตัวอย่าง	
3.7.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)	30
3.7.2 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)	31

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7.3 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสี (X-ray fluorescence, XRF)	31
3.8 การศึกษาการฟอกจางสีของสารละลายเมทิลีนบลู ด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	31
3.9 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย	31
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	<b>33</b>
4.1 ปฏิบัติการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	33
4.1.1 ผลการปรับเปลี่ยนสภาวะการทำปฏิกิริยา ไฮโดรเทอร์มอล	33
4.1.2 ผลการฟอกจางสีของสารละลายเมทิลีนบลู ด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	37
4.1.3 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทาน เชื้อแบคทีเรีย	39
4.2 ปฏิบัติการทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก	42
4.2.1 การตรึงอนุภาค Nano – TiO <sub>2</sub> บนผ้าฝ้าย	42
4.2.2 ผลการปรับเปลี่ยนสภาวะในการตรึงอนุภาค Nano-TiO <sub>2</sub> ลงบนผ้าฝ้ายโดยใช้ระบบไฮโดรเทอร์มอล	44
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>57</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	57
5.1.1 การสังเคราะห์อนุภาค Nano – TiO <sub>2</sub>	57
5.1.2 การตรึงอนุภาค Nano – TiO <sub>2</sub>	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	58

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก ก ข้อมูลเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันแพทเทิร์น (XRD Pattern) ของอนุภาค Nano-TiO <sub>2</sub>	63
ภาคผนวก ข เอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของผ้าฝ้าย	66
ภาคผนวก ค ค่าตัวเลขและกราฟมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลู	68
ภาคผนวก ง สมการและตัวอย่างการคำนวณข้อมูลต่างๆ	70

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีของไททาเนียมไดออกไซด์	5
ตารางที่ 2.2 ข้อดี – ข้อเสียของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากเส้นใย	13
ตารางที่ 3.1 สภาวะในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	27
ตารางที่ 3.2 สภาวะในการปลูกผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนพื้นผิวผ้าฝ้าย	29
ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงและเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีข้อมด้วย อนุภาค Nano-TiO <sub>2</sub> ที่เตรียมได้ที่สภาวะต่างๆ	38
ตารางที่ 4.2 ขนาดพื้นที่ในการต้านทานแบคทีเรียชนิด <i>Bacillus subtilis</i> และ <i>Escherichia coli</i>	39
ตารางที่ 4.3 การจำแนกตัวอย่างที่ได้จากการปรับเปลี่ยนกระบวนการสังเคราะห์ อนุภาค Nano-TiO <sub>2</sub> ลงบนเส้นใยฝ้ายภายใต้สภาวะต่างๆ	45
ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของผ้าตัวอย่างและอัตราส่วนโดยโมลของ TiO <sub>2</sub> /ZnO	55

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์	5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างเซลล์ลูก	14
รูปที่ 2.3 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผ้าฝ้าย	15
รูปที่ 2.4 การแยกเส้นใยออกจากผ้าฝ้าย	16
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก	26
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	28
รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการปลูกผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนผ้าฝ้าย ด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล	30
รูปที่ 4.1 ลักษณะวัฏภาคของผลึกและลักษณะสัณฐานวิทยาของ อนุภาค Nano-TiO <sub>2</sub> ในสภาวะต่างๆ	34
รูปที่ 4.2 ปฏิกริยาออกซิเดชันเชิงแสงระหว่างอนุภาค Nano-TiO <sub>2</sub> กับสารอินทรีย์	37
รูปที่ 4.3 พื้นที่ต้านทานเชื้อแบคทีเรีย <i>Bacillus subtilis</i> ของอนุภาค Nano-TiO <sub>2</sub> ที่เตรียมได้จากสภาวะต่างๆในตารางที่ 4.2 (a) ตัวอย่างที่ 1-4 (b) ตัวอย่างที่ 5-6	40
รูปที่ 4.4 พื้นที่ต้านทานเชื้อแบคทีเรีย <i>Escherichia coli</i> ของอนุภาค Nano-TiO <sub>2</sub> ที่เตรียมได้จากสภาวะต่างๆในตารางที่ 4.2 (a) ตัวอย่างที่ 1-4 (b) ตัวอย่างที่ 5-6	41
รูปที่ 4.5 สมการเคมีของปฏิกิริยาการทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก	42
รูปที่ 4.6 ภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวผ้าฝ้ายในกระบวนการตรึงอนุภาค Nano-TiO <sub>2</sub>	43
รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของ ผ้าฝ้ายเริ่มต้น (a) และผ้าที่ผ่านการทำให้มีประจุบวก (b)	44
รูปที่ 4.8 ลักษณะของสัณฐานวิทยาและผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของผ้า cotton ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวให้มีประจุบวก	46
รูปที่ 4.9 (a) - (h) ลักษณะของสัณฐานวิทยาและผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยผ้าที่ผ่านกระบวนการชุบเคลือบ	47
รูปที่ 4.10 (a) - (h) ลักษณะของสัณฐานวิทยาและผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยผ้าที่ผ่านกระบวนการหยดเคลือบ	51

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

TIP	:	Titanium treat isopropoxide
CHTAC	:	(3-chloro-2-hydroxypropy) trimethyl ammonium chloride solution
CH <sub>3</sub> COOH	:	Acetic acid
Nano-TiO <sub>2</sub>	:	Titaniumdioxide nanoparticles
TiO <sub>2</sub> -nano sol	:	Titaniumdioxide nanosolution
NH <sub>4</sub> OH	:	Ammonium hydroxide
NaOH	:	Sodium hydroxide
HNO <sub>3</sub>	:	Nitric acid
SEM	:	Scanning electron microscope
XRD	:	X-ray diffractometry
XRF	:	X-ray fluorescence
UV-vis	:	UV-visible spectrophotometer

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในด้านของการผลิตเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม อีกทั้งยังเป็นส่วนประกอบในการผลิตตกแต่งสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน ความต้องการใช้งานผลิตภัณฑ์สิ่งทอมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นมากตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนของประชากร เป็นผลให้กระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์สิ่งทอถูกพัฒนาจากหัตถกรรมในครัวเรือนไปสู่อุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญอย่างมากในเชิงพาณิชย์

วัตถุดิบที่สำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์สิ่งทอนั้น มีส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด คือ เส้นใย ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิต แรกเริ่มมนุษย์รู้จักการนำเส้นใยจากธรรมชาติมาใช้ผลิตเป็นเครื่องนุ่งห่มและเครื่องใช้สอยต่างๆ แต่เมื่อมีความต้องการผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณของเส้นใยในธรรมชาติมีไม่เพียงพอ อีกทั้ง เส้นใยธรรมชาติ ยังมีข้อด้อยหลายประการ เช่น ยับง่าย ไม่ทนทานต่อเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น จึงได้มีการคิดค้นสิ่งที่ใช้ทดแทน เส้นใยจากธรรมชาติ นั่นคือ เส้นใยสังเคราะห์ แต่เนื้อผ้าที่ผลิตได้จากเส้นใยสังเคราะห์นั้นดูดซับน้ำได้น้อยย่อยสลายได้ยาก ไม่ระบายความร้อนส่งผลให้เมื่อผลิตออกมาเป็นเครื่องนุ่งห่มจะทำให้ผู้สวมใส่มีความไม่สบายตัว จากสาเหตุนี้เองที่ทำให้ เส้นใยจากธรรมชาติ ยังคงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ

งานวิจัยจำนวนมากจึงให้ความสนใจมุ่งเน้นในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆมาปรับปรุงเพื่อให้ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติที่ดีขึ้น ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงนั้นประกอบไปด้วยสารเคมีที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ไคโตซาน [1] ฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon) [2] Poly (N-vinyl-2-pyrrolidone) [3] และสารเคมีที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น อนุภาคนาโนซิลิกา [4] อนุภาคนาโนซิลเวอร์ [5] อนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ [6] เป็นต้น

โครงการพิเศษนี้ สนใจที่จะปรับปรุงคุณภาพผ้าฝ้ายที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติด้วยอนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide nanoparticles, Nano-TiO<sub>2</sub>) เนื่องจาก Nano-TiO<sub>2</sub> มีสมบัติในด้านการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย สามารถต้านทานการเกิดกลิ่นป้องกันรังสีที่เกิดจากยูวี มีความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองได้ อีกทั้ง Nano-TiO<sub>2</sub> ถูกจัดไว้ในกลุ่มของสารสี

ปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง หรือการกลายพันธุ์ นอกจากนี้อนุภาคระดับนาโนยังสามารถแทรกเข้าสู่เส้นใยผ้าได้ง่าย ใช้ปรับปรุงคุณภาพผ้าในปริมาณน้อย

อย่างไรก็ตามการปรับปรุงผ้าฝ้ายโดยเคลือบอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ลงบนพื้นผิวของผ้าโดยตรงนั้น อาจไม่สามารถยึดติดกันได้ดี เป็นผลให้เกิดการหลุดร่อนของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ออกจากพื้นผิวของผ้าในระหว่างการใช้งานและการซักล้าง ทำให้ผ้ามีประสิทธิภาพที่ลดลง ดังนั้นโครงการพิเศษนี้จึงได้พัฒนาการปลูกอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บนผ้า โดยการปรับปรุงพื้นผิวของผ้าให้มีสภาพประจุบนพื้นผิวเป็นบวก เพื่อให้อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> สามารถยึดติดกับพื้นผิวของผ้าได้ดีขึ้น สำหรับปฏิกิริยาที่ใช้ในการปลูกอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ลงบนพื้นผิวของผ้า เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal reaction) ซึ่งข้อดีของปฏิกิริยานี้คือ สารเคมีที่ใช้ไม่มีความเป็นพิษ อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาค่า สูญเสียค่าใช้จ่ายสำหรับปฏิกิริยานี้น้อย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล
2. ศึกษาผลของสภาวะการปลูกผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บนผ้าฝ้ายต่อ โครงสร้างและสมบัติต่างๆ ในผ้าฝ้าย

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยมีปัจจัยศึกษา ได้แก่
  - 1.1 ระบบสารละลายที่ใช้ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ H<sub>2</sub>O กับ NH<sub>4</sub>OH
  - 1.2 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ 1 และ 24 ชั่วโมง
2. ปลูกผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนผ้า โดยมีปัจจัยศึกษา ได้แก่
  - 2.1 วิธีการเคลือบสารละลายโซล ได้แก่ วิธีชุบเคลือบ และ วิธีหยดเคลือบ
  - 2.2 สารละลายที่ใช้ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ สารละลายโซลผสมน้ำ-กลั่น น้ำกลั่น สารละลายโซลผสมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
  - 2.3 ระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล 1 และ 24 ชั่วโมง

3. นำอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์และผ้าฝ้ายที่ปลูกผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ในในสภาวะต่างๆ มาตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) เทคนิคการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบของธาตุ (X-ray fluorescence) เทคนิควัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometry) และทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้าย

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะและเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล
2. ทราบถึงสภาวะของการปลูกผลึกอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนพื้นผิวผ้า

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

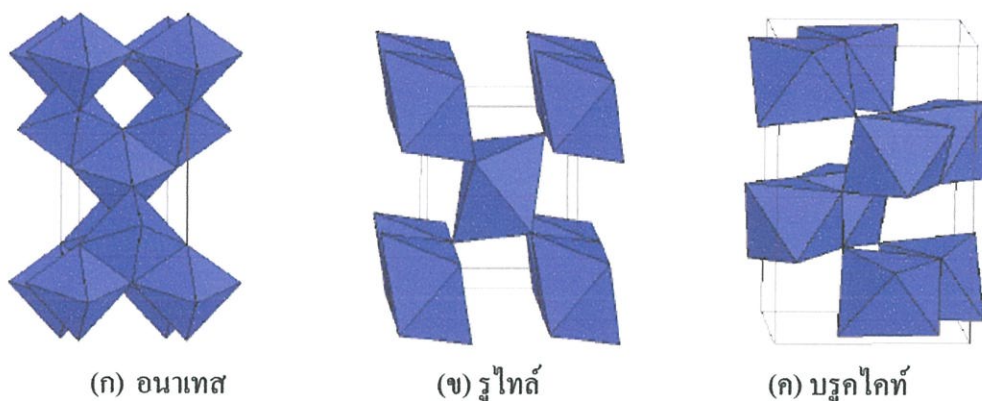
#### 2.1 ไททาเนียมไดออกไซด์ [5]

ไททาเนียมหรือไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียมซึ่งอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชันและเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type semiconductor) ที่มีความแข็งแรงทนต่อการกัดกร่อนของคลอรีนและน้ำทะเล เมื่อทำการผสมเข้ากับเหล็กและอะลูมิเนียมจะมีสีเงินขาวเบาและมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วไททาเนียมไดออกไซด์นั้นจะมีสีขาว ทึบแสง ไททาเนียมไดออกไซด์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารให้สีที่ปลอดภัยไม่มีอันตรายสามารถนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในสาขาต่าง ๆ เช่น เครื่องสำอาง ยาสีฟันและสารเคลือบผิว ซึ่งมักจะใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปแบบของผงเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพ

##### 2.1.1 โครงสร้างผลึก

ไททาเนียมไดออกไซด์ที่พบตามธรรมชาตินั้นมีโครงสร้างผลึก 3 ชนิดหลักด้วยกัน โดยโครงสร้างทั้ง 3 จะแสดงอยู่ในรูปแบบของ  $\text{TiO}_2$  ที่มีลักษณะเป็นปีระมิดฐานสี่เหลี่ยม 2 อันประกบกันหรือที่เรียกว่า ออกตะฮีดรอล (Octahedral) ซึ่งโครงสร้างผลึกทั้ง 3 ชนิดนี้มีความแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากการบิดตัวของแต่ละ ออกตะฮีดรอล ซึ่งโครงสร้างผลึกแบ่งได้ ดังนี้

- อนาเทส (Anatase) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนอล (Tetragonal) เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ส่วนยอดของแต่ละออกตะฮีดรอล ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก)
- รูไทล์ (Rutile) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนอล (Tetragonal) เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอล ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ข)
- บรูคไคท์ (Brookite) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ทั้งส่วนยอดและส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอล ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ค)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของไททานเนียมไดออกไซด์ [7]

แม้ว่าโครงสร้างผลึกของไททานเนียมมีอยู่หลายชนิดตามที่ได้กล่าวมาแล้วแต่โครงสร้างผลึกแบบอนาเทสและรูไทล์ เป็นโครงสร้างผลึกที่พบได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งโดยปกติแล้วโครงสร้างผลึกอนาเทสสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เป็นโครงสร้างผลึกรูไทล์ได้ เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 600 องศาเซลเซียส

### 2.1.2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

สมบัติทางเคมีโดยทั่วไปของไททานเนียมไดออกไซด์สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีของไททานเนียมไดออกไซด์ [8]

สมบัติ	รายละเอียด
สูตรโมเลกุล	TiO <sub>2</sub>
น้ำหนักโมเลกุล	79.866 กรัม / โมล
สถานะ สี	ของแข็งสีขาว
ความหนาแน่น	4.23 g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	1843 °C
จุดเดือด	2972 °C
การละลายในน้ำ	ไม่ละลาย
ดัชนีหักเห (n <sub>D</sub> )	2.488 (anatase) 2.583 (brookite) 2.609 (rutile)

สมบัติทางกายภาพของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์นั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการสังเคราะห์ โดยที่การสังเคราะห์ด้วยวิธี โซล - เจล (Sol - gel Technique) นั้นเป็นวิธีการสังเคราะห์ทางเคมีแบบเปียก (Wet -process) ชนิดหนึ่งที่มีความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากการสังเคราะห์สารที่ใช้อุณหภูมิต่ำและมีราคาถูก โดยไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้จากวิธี โซล - เจล นั้นจะมีขนาดอนุภาคระดับนาโน อย่างไรก็ตามการปรับสภาวะในการเตรียมด้วยวิธี โซล - เจล เช่น ชนิดของกรด ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิในการเผา จะทำให้ได้อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์มีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันด้วย

### 2.1.3 การสังเคราะห์โลหะออกไซด์ [9-10]

อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธีเช่นเดียวกับการสังเคราะห์ผงเซรามิกส์โลหะออกไซด์โดยทั่วไป สำหรับตัวอย่างของวิธีการสังเคราะห์ผงเซรามิกส์โลหะออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพนั้น สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

#### 1. วิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method)

วิธีการไฮโดรเทอร์มอลมักจะเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้อย่างมากในระดับห้องปฏิบัติการ สำหรับการเตรียมสารประกอบออกไซด์อย่างง่าย วิธีนี้จะเกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่สารจำพวกเกลือโลหะออกไซด์ โลหะไดออกไซด์ หรือผงโลหะที่อยู่ในรูปของสารละลายหรือสารแขวนลอย โดยปกติจะใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กระทำภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิ (มากกว่า 25 องศาเซลเซียส) และความดัน (มากกว่า 100 กิโลปาสกาล) ในอโตคลอว์ (Autoclave) ที่ทำด้วยเหล็กกล้ามีความแข็งแรง ทนทาน และสามารถทนต่ออุณหภูมิได้สูง การตกตะกอนภายใต้สภาวะดังกล่าวทำให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงปราศจากน้ำ มีลักษณะพิเศษที่โดดเด่นกล่าวคือ มีความสม่ำเสมอทางองค์ประกอบทางเคมีและขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการเผาหรือการบดย่อยอีก โดยทั่วไปขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์จะมีขนาดประมาณ 10 ถึง 12 นาโนเมตร มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ในช่วงที่แคบ

สำหรับปัจจัยที่ต้องทำการควบคุมสำหรับการสังเคราะห์ผงเซรามิกส์ในวิธีไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากันภายในอโตคลอว์

ข้อดีของวิธีไฮโดรเทอร์มอล

- ใช้อุณหภูมิต่ำ
- สารตั้งต้นไม่มีความเป็นพิษ
- สามารถทำได้ง่าย
- ประหยัดค่าใช้จ่าย

## 2. วิธีการตกตะกอน (Precipitation method)

การตกตะกอน เป็นการทำให้โมเลกุลหรือไอออนที่ละลายอยู่ในสารละลายสามารถแยกตัวออกจากสารละลายโดยอาศัยสารเคมีที่เรียกว่า ตัวตกตะกอน (Precipitant) ในปริมาณที่เหมาะสม หรือใช้วิธีการปรับเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิหรือความดัน เพื่อลดความสามารถในการละลายภายในระบบทำให้การตกตะกอนเกิดขึ้น

วิธีการตกตะกอน เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเซรามิกส์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์มีความบริสุทธิ์ที่สูง สามารถควบคุมสัณฐานวิทยา (Morphology) และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคได้ สำหรับวิธีการตกตะกอนนี้มีข้อเสียในเรื่องของการแยกตะกอนออกจากสารละลาย การทำให้ตะกอนแห้ง และการเผาแคลไซน์เพื่อให้ตะกอนมีวัฏภาคผลึก เพื่อให้ได้อนุภาคของเซรามิกส์ตามความต้องการ ซึ่งข้อเสียของวิธีการตกตะกอนจะกระทำให้ตะกอนและผงเซรามิกส์ที่ได้เกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate) โดยวิธีการแยกให้สารที่เกาะกลุ่มกันกลายเป็นอนุภาคเดี่ยวๆได้นั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ วิธีการบด (Milling) ชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการบดเพื่อแยกให้มีอนุภาคเดี่ยวๆนั้นอาจทำให้อนุภาคเกิดการปนเปื้อน และเมื่อบดจะทำให้อนุภาคเกิดการเสียดสีทำให้รูปร่างของอนุภาคเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถควบคุมขนาดของอนุภาคได้ จึงมีการใช้วิธีอัลตราโซนิก (Ultrasonic mixing) หรือใช้คลื่นเสียงทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นแทนวิธีการบด โดยเมื่อโมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นจะทำให้มี ฟอง (Bubble) เกิดขึ้น ต่อมาฟองจะเกิดการขยายตัวจนแตกออกและปลดปล่อยออกมาในรูปของพลังงานซึ่งจะไปกระทำให้อนุภาคเกิดการแตกตัวแยกออกจากกันทำให้อนุภาคที่ได้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างและปราศจากการปนเปื้อน

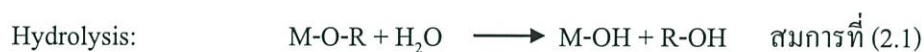
ในสมมูลเคมีสิ่งที่มีผลต่อผลลัพธ์ของการตกตะกอน คือ ความบริสุทธิ์ของสาร อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอัตราส่วนในการผสม วิธีการตกตะกอนสามารถใช้ได้ทั้งกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารที่ได้จากวิธีการตกตะกอนมีความเหมาะสมหรือไม่ขึ้นกับเงื่อนไข ต่อไปนี้

1. สารจะต้องมีการละลายที่ต่ำ (Low solubility) เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์ไม่เกิดการสูญเสียของตะกอนขนาดทำการล้าง
2. สารที่ได้จากการตกตะกอนต้องมีความบริสุทธิ์ที่สูง
3. ตะกอนที่ได้นั้นจะต้องมีขนาดพอเหมาะสามารถกรองออกได้ง่าย
4. สารที่ตกตะกอนได้นั้นต้องมีส่วนประกอบที่แน่นอนและจะต้องไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างขั้นตอนการทำให้แห้งหรือในขณะเผา

### 3. วิธีโซล-เจล (Sol-gel method)

โดยทั่วไปแล้ววิธีการโซล-เจลนั้นเป็นวิธีการสังเคราะห์อนุภาคเซรามิกส์โดยการเปลี่ยนสถานะของสารตั้งต้นจากของเหลวซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่เป็นสารแขวนลอยที่มีขนาดของอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมครอน หรือที่เรียกว่า “โซล” ให้กลายเป็นของแข็ง หรือที่เรียกว่า “เจล”

ปฏิกิริยาที่สำคัญสำหรับวิธีโซล-เจลนั้น มีด้วยกัน 3 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ปฏิกิริยาวอเตอร์คอนเดนเซชัน (Water condensation) และปฏิกิริยาแอลกอฮอล์คอนเดนเซชัน (Alcohol condensation) เป็นไปตามสมการที่ (2.1) – (2.3) ดังต่อไปนี้



เมื่อ M แทนหมู่โลหะ

OR แทนหมู่อัลคอกซี (Alkoxy group)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโซล-เจล คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ตัวเร่งของปฏิกิริยา อัตราส่วนโมลระหว่างน้ำกับโลหะ และอุณหภูมิ ซึ่งการควบคุมปัจจัยต่างๆเหล่านี้ในสภาวะที่ต่างกันย่อมส่งผลให้ โซล และ เจล ที่ได้นั้นมีสมบัติและโครงสร้างที่แตกต่างกัน

ในวิธีการผลิตทั้งในสภาวะที่เป็นโซล และสภาวะที่เป็นเจล เมื่อเข้าสู่กรรมวิธีการทำให้แห้งจะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างกันออกไป เช่น แอโรเจล (Aerogel) ผง (Powder) เป็นต้น

ข้อดีสำหรับวิธี โซล-เจนนั่น คือสามารถสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กอยู่ในช่วงประมาณ 20 ถึง 50 นาโนเมตรและอนุภาคที่ได้มีความบริสุทธิ์ที่สูง แต่วิธีโซล-เจล ยังคงมีข้อเสียอยู่นั่นคือ สารตั้งต้นที่นำมาใช้นั้นมักมีราคาที่สูง

#### 4. วิธีการทำให้แห้งแบบละออง (Spray – drying method)

การเตรียมอนุภาคเซรามิกส์โดยวิธีการทำให้แห้งแบบละอองนี้ทำโดยอาศัยเครื่องผลิตละออง (Atomizer) ซึ่งจะช่วยให้สารละลายเกิดการแตกกระจายตัวเป็นละอองหยดเล็กๆพร้อมฉีดเข้าสู่ห้องอบที่มีอุณหภูมิที่สูงมาก เพื่อทำให้ของเหลวที่ผสมอยู่กับหยดละอองเกิดการระเหยตัวอย่างรวดเร็ว จากนั้นจึงกระทำการกักเก็บกลุ่มก้อนของอนุภาคที่ได้ไว้ สำหรับวิธีการนี้ส่วนใหญ่จะใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เพราะน้ำจะช่วยพัดพาอนุภาคผงให้เคลื่อนที่ได้ดี มีความปลอดภัยสูง ต้นทุนในการใช้สำหรับการสังเคราะห์ที่ต่ำ สามารถใช้งานได้สะดวก และเหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ เกลของโลหะนั้นสามารถละลายตัวภายในน้ำได้ดีนั่นเอง แต่ยังคงมีการสังเคราะห์สารบางชนิดที่จะต้องใช้อัลกอฮอล์มาทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายแทนน้ำ

รูปร่างของอนุภาคสำหรับการสังเคราะห์นั้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการระเหยของสารละลาย ความชื้นตกค้างภายในอนุภาค ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ รูปแบบของละอองที่ถูกปล่อยออกจากเครื่องทำละออง การเคลื่อนที่ของละอองภายในห้องอบ การไหลและอุณหภูมิที่ใช้ นั่นเอง

#### 5. วิธีทำปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง (Solid – state reaction)

วิธีเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับค่านิยมในการนำมาใช้มากอีกวิธีหนึ่ง เนื่องมาจากสามารถเตรียมได้ง่าย ค่าใช้จ่ายสำหรับวิธีนี้สูญเสีย้น้อย ซึ่งทำได้โดยนำสารตั้งต้นที่อยู่ในสถานะของแข็งมาบดคลุกเคล้าจนกลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยอาจใช้เครื่องเขย่าหรือเครื่องบด จากนั้นนำไปอบแห้งและเผาตามอุณหภูมิกับเวลาที่เหมาะสม

สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีการนี้จะมีเนื้อหยาบ ความบริสุทธิ์ของสารต่ำ ไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันของสาร มักมีปัญหาในเรื่องการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน จึงต้องมีการนำมาบดย่อยเพื่อลดขนาดอีกครั้ง ซึ่งการบดย่อยจะส่งผลกระทบต่อสารผลิตภัณฑ์ทำให้รูปร่างของอนุภาคที่เตรียมได้เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถควบคุมได้ และทำให้มีการปนเปื้อนของสารผลิตภัณฑ์จากชุดอุปกรณ์ในการบดซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสมบัติของสารที่เตรียมได้

#### 6. วิธีระเหยแห้ง (Evaporation method)

การเตรียมอนุภาคเซรามิกส์โดยวิธีการนี้จะต้องอาศัยการระเหยของสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย หรือสารที่ไม่ต้องการออกจากตะกอนของสาร จนเหลือแต่เพียงตะกอนของสารที่ต้องการเท่านั้น ซึ่งทำได้โดยการนำสารละลายของโลหะต่างๆ ที่ต้องการมาผสมเข้าด้วยกันซึ่งจะเกิดการผสมเข้ากันในระดับโมเลกุล เพราะสารที่นำมาผสมทั้งหมดนั้นอยู่ในเฟสเดียวกัน เมื่อทำการให้ความร้อนแก่สารละลายผสมจนถึงสภาวะที่อุณหภูมิพอเหมาะ จะสามารถทำการกำจัดสารละลายหรือสารที่ไม่ต้องการออกจากตะกอนของสารออกได้ เหลือได้แต่ตะกอนของสารที่ยังคงมีส่วนผสมในระดับโมเลกุลเหมือนเดิม

### 2.1.4 การประยุกต์ใช้ไททานเนียมไดออกไซด์ [11-14]

สมบัติของไททานเนียมไดออกไซด์ที่ช่วยฟอกอากาศ กำจัดเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันคราบยืดเกาะพื้นผิว อีกทั้งไม่เสื่อมสภาพหลังการใช้งาน ทำความสะอาดง่าย ไม่ทิ้งสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม ทำให้นาโนไททานเนียมไดออกไซด์ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ถูกนำไปใช้ในสินค้าต่างๆ ทั้งสินค้าสุขภาพ เครื่องสำอาง เสื้อผ้า อาหารและเครื่องครัว ตลอดจนสินค้าเกี่ยวกับบ้านและสวน

#### 1. ความสามารถในการต้านแบคทีเรีย

ไททานเนียมไดออกไซด์ ไม่เพียงแต่ฆ่าแบคทีเรียได้เท่านั้น แต่ยังช่วยในการย่อยสลายซาก จึงไม่เกิดสารพิษจากซากของมันด้วย มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารต้านแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่จะทำงานเมื่อมีเซลล์แบคทีเรียสัมผัสกับพื้นผิว และที่สำคัญไททานเนียมไดออกไซด์จะไม่เกิดการเสื่อมประสิทธิภาพ หลังจากที่ทำลายเชื้อแบคทีเรีย ทำให้คงประสิทธิภาพการใช้งานที่ยาวนาน ไททานเนียมไดออกไซด์มีประสิทธิภาพด้านยับยั้งหรือต่อต้านการติดเชื้อ มากกว่าคลอรีน 3 เท่า และมากกว่า ไอโซน 1.5 เท่า

## 2. ความสามารถด้านการกำจัดกลิ่น

ด้านการกำจัดกลิ่น อนุภาคไฮดรอกซีที่เกิดจากไททาเนียมไดออกไซด์สามารถกำจัดโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ระเหยอยู่ในอากาศ (Volatile Organic Compounds หรือ VOCs) อันเป็นสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์โดยการทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของสารอินทรีย์เหล่านั้นให้แตกออกเป็นโมเลกุลเดี่ยวๆ จึงไม่เป็นอันตราย หรือส่งผลต่อร่างกายของมนุษย์ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ สามารถทำให้อากาศสะอาด ด้วยสมบัติการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

## 3. ความสามารถในการฟอกอากาศ

ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง จะสามารถกำจัดสารที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศได้ เช่น สารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารระเหยต่างๆ อีกทั้งยังช่วยป้องกันการเกิดเขม่า หรือคราบต่างๆ ที่จะเกาะติดบริเวณผนัง รวมไปถึงช่วยกำจัดสารประเภทที่สามารถทำลายชั้นบรรยากาศได้ เช่น ก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) และก๊าซเรื้อนกระจกประเภทอื่นทั้งทางตรงและทางอ้อม เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสงแล้วแม้แต่ในบริเวณที่มีมลภาวะสูง ไททาเนียมไดออกไซด์จะสามารถช่วยลดสารก่อมลภาวะได้

## 4. ความสามารถในการป้องกันการเกิดคราบ และสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง

ด้วยสมบัติของไททาเนียมไดออกไซด์ ในการทำความสะอาดตัวเองเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง เมื่อผนังด้านนอกของอาคารที่มักเกิดคราบเขม่าจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่มีส่วนประกอบเป็นน้ำมัน เมื่อผนังถูกทาทด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งมีสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ทำให้ผนังมีสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง โดยเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงไททาเนียมไดออกไซด์จะทำลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอน รวมทั้งฝุ่นผงต่างๆ ที่เกาะติดอยู่กับผนัง และจะถูกชะล้างออกจากผนังได้อย่างง่ายดายเมื่อฝนตกลงมา

## 5. ความสามารถในการทำน้ำสะอาด

สารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง หรือไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อเจอกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นต้นเหตุในการก่อมลภาวะให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายได้ เช่น ทำให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งไททาเนียมไดออกไซด์สามารถนำไปใช้ในขั้นตอนของการบำบัดน้ำเสียได้อันเนื่องมาจาก กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนั้นมี

ประสิทธิภาพสูงในการฆ่าแบคทีเรีย *Escherichia coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียในสิ่งปฏิกูลที่ปนเปื้อนมา  
กับน้ำ ได้เป็นอย่างดี

## 2.2 เส้นใย [15]

เส้นใยหมายถึงวัสดุหรือสารใดๆทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้นมีอัตราส่วน  
ระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 สามารถขึ้นรูปเป็นผ้าได้และต้อง  
เป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของผ้า ไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก โครงสร้างทางกายภาพหรือ  
โครงสร้างทางสัณฐาน (Morphology) ของเส้นใยนั้น สามารถกระทำการสังเกตได้จากกล้อง  
จุลทรรศน์ (Microscope) ที่มีกำลังขยาย 250-1000 เท่า โครงสร้างทางกายภาพนั้นครอบคลุมรวม  
ไปถึง ความยาว ขนาดหรือเส้นผ่านศูนย์กลาง รูปร่างภาคตัดขวาง (Cross - sectional shape) รูปร่าง  
ของผิวเส้นใย และความหยักของเส้นใยด้วย ประเภทของเส้นใยนั้นสามารถแยกประเภทได้หลาย  
แบบขึ้นอยู่กับลักษณะการแบ่ง ถ้าแบ่งลักษณะของเส้นใยจากแหล่งกำเนิดจะแบ่งได้เป็นสอง  
ประเภทใหญ่ๆ คือ

### 1. เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) ได้แก่

#### 1.1 เส้นใยจากพืช คือ เส้นใยเซลลูโลส ซึ่งมีอยู่ในส่วนต่างๆของพืช คือ

- เส้นใยจากเปลือกไม้ เช่น ป่าน ปอ ลินิน
- เส้นใยจากการหุ้มเมล็ด เช่น ฝ้าย นุ่น ไยมะพร้าว
- เส้นใยจากใบ เช่น สับปะรด ใบศรนารายณ์

1.2 เส้นใยจากสัตว์ คือ เส้นใยโปรตีนจากขนสัตว์ ซึ่งเป็นประเภทเกี่ยวกับโปรตีน  
ในเส้นผม เล็บหรือเขาสัตว์ และเส้นใยไหมซึ่งเป็นเส้นใยที่หุ้มรังของตัวอ่อน

#### 1.3 เส้นใยจากสินแร่ คือ ไยหิน ที่ได้จากหินหลายชนิด มีทั้งลักษณะที่สั้นและยาว

### 2. เส้นใยประดิษฐ์ (Man-made fibers) ได้แก่

#### 2.1 เส้นใยสังเคราะห์ เช่น โอลีฟินส์ พอลิเอสเตอร์ พอลิเอรามิด ไนลอน

#### 2.2 แร่และเหล็ก เช่น โลหะ แก้ว เซรามิก กราไฟต์

สมบัติของเส้นใยมีผลโดยตรงต่อสมบัติของผ้าที่ทำขึ้นจากเส้นใยนั้นๆ ผ้าที่ทำจากเส้นใย  
ที่แข็งแรงจะมีความแข็งแรงทนทานด้วย หรือเส้นใยที่สามารถดูดซับน้ำได้ดีจะส่งผลให้ผ้าสามารถ  
ดูดซับน้ำและความชื้นได้ดี เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในส่วนที่มีการสัมผัสกับผิวและดูดซับน้ำ  
ดังนั้นการที่เข้าใจสมบัติของเส้นใยจะช่วยทำให้สามารถทำนายสมบัติของผ้าที่มีเส้นใยนั้นๆเป็น

องค์ประกอบ รวมไปถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกชนิดของผลิตภัณฑ์ในเบื้องต้นได้ถูกต้องตามความต้องการของการนำไปใช้งาน โดยการคาดเดาจากองค์ประกอบความแตกต่างของเส้นใยขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการเรียงตัวของโมเลกุล ซึ่งส่วนผสมและความแตกต่างในปัจจุบันทั้งสามนี้ ทำให้เส้นใยมีสมบัติที่หลากหลายและแตกต่างกัน โดยสมบัติของเส้นใยจะมีผลต่อสมบัติของผ้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเส้นใยนั้น ทั้งในส่วนที่เป็นที่ต้องการและไม่ต้องการต่อการนำไปใช้งาน

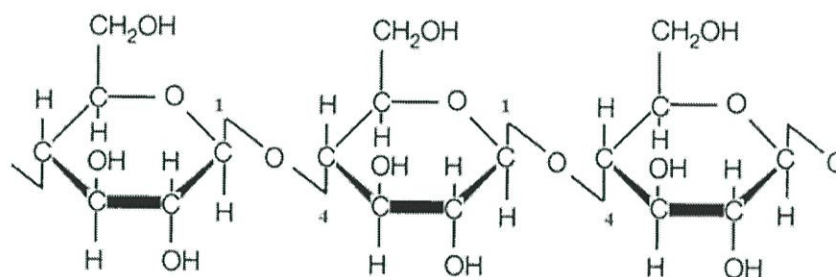
ตารางที่ 2.2 ข้อดี-ข้อเสียของผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากเส้นใย

เส้นใยธรรมชาติ	เส้นใยสังเคราะห์
<p>ข้อดี :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สวมใส่สบาย</li> <li>- ระบายเหงื่อได้ดี</li> <li>- ย้อมติดสีได้ง่าย</li> <li>- ย่อยสลายได้</li> </ul>	<p>ข้อดี :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีความแข็งแรงและคงทน</li> <li>- ทนต่อเชื้อรา</li> <li>- ไม่ยับง่าย</li> </ul>
<p>ข้อเสีย :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่ทนต่อเชื้อรา</li> <li>- สิ่งสกปรกเกาะติดง่าย</li> <li>- ยับง่าย</li> </ul>	<p>ข้อเสีย :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สวมใส่ไม่สบาย</li> <li>- ระบายเหงื่อได้ไม่ดี</li> <li>- ย่อยสลายได้ยาก</li> </ul>

### 2.2.1 เส้นใยฝ้าย [16]

ฝ้ายเป็นใยเก่าแก่ชนิดหนึ่งซึ่งรู้จักและใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณจนกระทั่งถึงปัจจุบัน แม้จะมีเส้นใยชนิดใหม่ๆ เกิดขึ้นมาก แต่ฝ้ายก็ยังคงเป็นเส้นใยที่ใช้กันมากที่สุด โดยจะพบผ้าฝ้ายหรือผ้าผสมใยฝ้ายอยู่ทั่วไป ฝ้ายมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Gossypium spp.* มีทั้งหมด 20 ชนิด แต่ที่นำมาปลูกเพื่อการค้าคือ *G. Herbaceum L.* , *G. Arboreum.* , *G. Hirsutum L.* และ *G. Barbadenes L.* ปัจจุบันประเทศที่ผลิตฝ้ายที่สำคัญคือ สหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียต สาธารณรัฐประชาชนจีน อินเดีย ตุรกี ปากีสถาน บราซิล สำหรับในประเทศไทยปลูกฝ้ายกันมากทางภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยองค์ประกอบหลักของเส้นใยฝ้ายนั้นก็คือ เซลลูโลส ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ที่เกิดจากเซลลูโลสมายึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีกลายเป็น โมเลกุลขนาดใหญ่มี

สูตรเป็น  $(C_6H_{10}O_5)_x$  โครงสร้างและการยึดเกาะของโมเลกุลแสดงในรูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติของเส้นใย กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat units) ยึดจับกันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำ คือ เซลโลไบโอส (Cellobiose) เกิดจากเบต้ากลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ C-O-C ในโมเลกุลเซลลูโลสจะประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่มากมายซึ่งทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่น ๆ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (Crystalline) ก่อนข้างมากคือ 85 - 95 % และระหว่างสายโมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เป็นระยะๆ ดังนั้นเซลลูโลสจึงไม่ละลายน้ำและมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.2 โครงสร้างเซลลูโลส [17]

### 2.2.2 สมบัติของเส้นใยฝ้าย [18]

โดยสมบัติต่างๆของเส้นใยฝ้ายมีดังต่อไปนี้

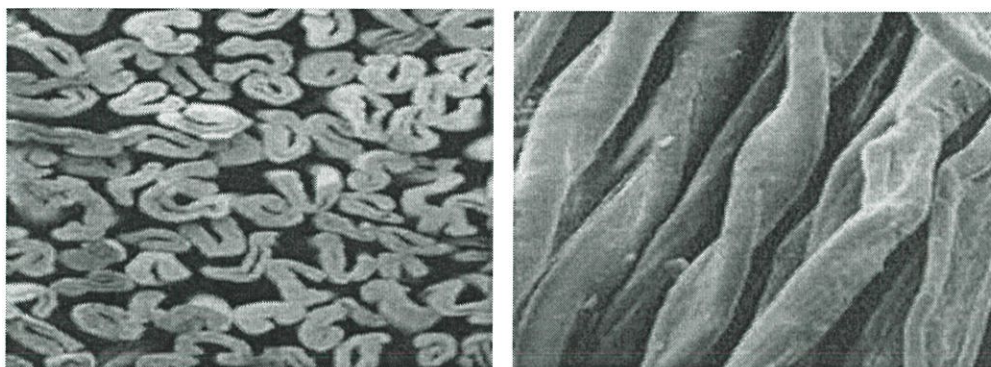
- รูปร่างและส่วนประกอบทางเคมี

เส้นใยฝ้ายนั้นเป็นใยสั้น (Staple) มีความยาวทั่วไปเฉลี่ย 0.3 - 5.5 ซม (1/8 - 2 ¼ นิ้ว) สีของใยฝ้ายมีตั้งแต่ขาวไปจนถึงเหลือง เทา ใยฝ้ายมีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลส 87 - 90% และสารอื่นๆ คือ ไขมันและความชื้น เซลลูโลสของฝ้ายเป็นโมเลกุลใหญ่ ประกอบไปด้วยกลูโคสในสายโซ่ พอลิเมอร์ถึง 9,000 -10,000 หน่วย

- สมบัติทางกายภาพ

ความยาวของเส้นใย 0.3- 5.5 ซม (1/8 - 2 ¼ นิ้ว) สีขาว ครีมน้ำตาลหรือเทา การสะท้อนแสงไม่ดึ้นก มีความมันต่ำ นอกจากฝ้ายที่ผ่านการชุบค่าง เส้นใยจะพองกลม ทำให้ความมันเพิ่มขึ้น

ความเหนียวขณะแห้งมีความเหนียว 3.0 - 5.0 กรัม/เดนเยอร์ เมื่อเปียกความเหนียวเพิ่มเป็น 3.6 - 6.0 กรัม/เดนเยอร์ ความคืนตัวต่ำ ฝ้ายจึงยับง่าย ความทนต่อการขัดถู และ ความคงรูปได้ไม่ดี ฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยด่าง (Mercerization) เมื่อซักฟอกจะหดตัว การดูดความชื้นได้ต่างๆ กันตามสภาวะลักษณะทั่วไปของฝ้ายแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.3 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย [19]

#### - สมบัติทางเคมี

ฝ้ายมีความคงทนต่อสารฟอกขาวทุกชนิด ทั้งชนิดที่เป็นสารฟอกขาวประเภทคลอรีน (Chlorine bleaching) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และสารฟอกขาวประเภทออกซิเจน (Oxygen bleaching) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีความทนต่อด่างได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดแก่ ทนต่อความร้อนและแสงแดดได้ดี แสงแดดไม่ทำอันตรายต่อผ้าที่ตากแดดจนแห้ง แต่ถ้าปล่อยให้ถูกแสงสว่างเป็นระยะเวลานานและตลอดเวลาจะทำให้เซลลูโลสถูกออกซิไดซ์ ซึ่งทำให้ผ้าลดความเหนียวได้ และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

#### - สมบัติทางชีวภาพ

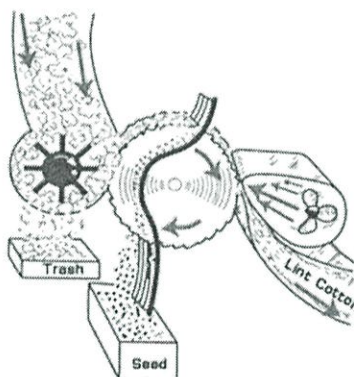
ฝ้ายที่อยู่ในสภาพเปียกชื้น และอับจะไม่ทนต่อเชื้อเห็ดเชื้อรา โดยราดำจะขึ้นได้ง่ายบนฝ้าย ทำให้เกิดจุดดำฝังแน่นในเส้นใย แบคทีเรียจะทำให้เสื้อผ้าที่หมักแช่ไว้นานๆ มีกลิ่นเหม็นและเปื่อยขาดได้ง่าย ตัวมอด ตัวด้วงไม่กัดกินฝ้าย แต่แมลงบางชนิด เช่น ตัวสามง่าม (Silverfish) จะชอบกัดกินฝ้าย โดยเฉพาะผ้าที่ลงแป้ง

#### - สมบัติในการติดไฟ: ติดไฟจะลุกไหม้อย่างรวดเร็ว

- สมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน: ฝ้ายเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี

### 2.2.3 การใช้ประโยชน์และการดูแลรักษาผ้าฝ้าย [20]

ผ้าฝ้ายมีความเหมาะสมที่จะใช้ประโยชน์หลายด้าน ทั้งการทำเป็นเสื้อผ้า เครื่องใช้ในบ้าน งานอุตสาหกรรม สำหรับการใช้ทำเสื้อผ้ามีความเหมาะสมอย่างยิ่ง เนื่องจากผ้าฝ้ายให้ความสบายในการสวมใส่หลายประการ เช่น เป็นตัวนำความร้อนที่ดีจึงไม่สะสมความร้อน คุณความเปียกชื้นดี และระเหยไปได้เร็ว จึงสามารถดูดซับความเปียกชื้นได้อยู่เรื่อยๆ คุณสมบัตินี้เรียกว่า Wickability ฝ้ายไม่สะสมประจุไฟฟ้าสถิต จึงเหมาะจะสวมใส่ในขณะทำกิจกรรมที่อากาศเย็นและมีความชื้นต่ำวิธีการให้ได้มาซึ่งผ้าฝ้ายนั้นทำได้โดยการนำดอกฝ้ายที่แก่เต็มที่ถูเก็บเกี่ยวแล้วนำมาแยกสิ่งปลอมปนที่ไม่ต้องการ (trash) ออก แล้วทำการแยกเมล็ดออกจากเส้นใยฝ้าย จากนั้นทำการสาวใยและหวีเส้นใย (combing) เพื่อแยกเส้นใยที่สั้นเกินไปออก



รูปที่ 2.4 การแยกเส้นใยออกจากดอกฝ้าย [21]

สำหรับการดูแลรักษานั้น ผ้าฝ้ายควรเก็บไว้ในที่แห้งและมีแสงสว่างน้อย ซึ่งจะทำให้ผ้าอยู่ในสภาพเดิมได้นาน อย่าเก็บผ้าฝ้ายไว้ในสถานที่อับชื้นและอู้น เพราะผ้าฝ้ายจะขึ้นราง่าย ซึ่งจะทำให้ผ้าเสื่อมคุณภาพและขาดเร็วกว่าปกติ

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Chao-HuaXue [22] ได้ศึกษาสมบัติไม่ชอบน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) ด้วยวิธีโซล-เจล (Sol-gel) โดยเตรียม โซลของไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$  sol) จากการนำเตตระบิวทิลไททานेट (Tetra butyl titanate) 8.5 มิลลิลิตร ในแอนไฮดรอสเอทานอล (Anhydrous ethanol) 20 มิลลิลิตร ผสมเข้ากับ กรดอะซิติก (Acetic acid) 5 มิลลิลิตร ในแอนไฮดรอสเอทานอล (Anhydrous ethanol) 20 มิลลิลิตร ปั่นกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำผ้าฝ้ายที่ล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล ไปแช่ในสารละลายโซลของไททาเนียมไดออกไซด์เป็นเวลา 10 นาทีล้างด้วยเอทานอล แล้วอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ทำการวัดพลังงานที่ลดลงของพื้นผิวโดยนำผ้าแช่ในสารละลายกรดสเตียริก (Stearic Acid) เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำไปอบและล้างด้วยอะซิโตน (Acetone) ผ้าอีกชิ้นแช่ในสารละลาย 1H,1H,2H,2H-Perfluorodecylchlorosilane (PFTDS) 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และล้างด้วยอะซิโตน นำตัวอย่างผ้าฝ้ายทั้งหมดมาตรวจวิเคราะห์ด้วยการวัดมุมสัมผัสน้ำ (Contact angles, CAs) เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) และเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี (UV-visible spectrophotometry) ผลจากการวัดมุมสัมผัสน้ำพบว่าผ้าที่ไม่ผ่านการรมวิธีจะเปียกน้ำ ส่วนผ้าที่แช่ในสารละลายโซลของไททาเนียมไดออกไซด์น้ำซึมผ่านเล็กน้อย ผ้าที่แช่ในสารละลาย PFTDS และกรดสเตียริก น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ภาพถ่ายจากเทคนิค SEM ผ้าที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซลของไททาเนียมไดออกไซด์ สารละลาย PFTDS และกรดสเตียริก จะปรากฏกลุ่มก้อนไททาเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวผ้าทำให้พื้นผิวมีความขรุขระเกิดขึ้น และสำหรับผ้าที่แช่ในสารละลาย PFTDS และกรดสเตียริก มีการป้องกันรังสียูวีได้ดีขึ้นกว่าผ้าตัวอย่างอื่นๆ

งานวิจัยของ K.T. Meilert และคณะ [23] ได้ศึกษาสมบัติการทำความสะอาดตัวเองของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ โดยเตรียมผ้า 2 ชนิดในการทดสอบ ผ้าชนิดที่ 1 (C2) ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) และล้างด้วยแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ผ้าชนิดที่ 2 (E) ผ้าที่ใส่สารเชื่อมโยงแทรกเข้าไปในช่องว่างของเซลลูโลส ทำการทดสอบการจางของสีผ้าโดยนำผ้าตัวอย่างแช่ในสารละลาย วัดความยืดเกาะของสารกับผิวผ้าโดยนำตัวอย่างผ้าแช่ใน สารละลาย กรดซัคซินิก (Succinic acid) กรด 1,2,3-โพรเพนไตรคาร์บอกซิลิก (1,2,3- propane tricarboxylic acid) หรือกรด 1,2,3,4-บิวเทนเตตระคาร์บอกซิลิก (1,2,3,4-butanetetracarboxylic acid) เข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมี  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  เข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานำผ้าที่ผ่านการแช่สารละลายกรดข้างต้นแช่ลงในสารแขวนลอยไททาเนียม ไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ล้างด้วยน้ำกลั่น ทำการตรวจวิเคราะห์และการทดสอบประสิทธิภาพการทำ

ความสะอาดของผ้าด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography, GC) เทคนิคการสะท้อนของลำแสง IR (Attenuated total reflection infrared spectroscopy, ATR-IR) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ (Elemental analysis) วัดขนาดของอนุภาคไททานเนียมไดออกไซด์ที่ติดอยู่บนผ้าด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy, TEM) และดูการเกิดพันธะของช่องว่างในเซลล์โลสด้วยเทคนิคเคมีคอลไอออไนซ์-เซชันแมสสเปกโตรเมตรี (Chemical ionization mass spectrometry, CI-MS) จากเทคนิค ATR-IR พบว่ามีการสั่นของโมเลกุลในกลุ่มของคาร์บอนิลของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ (RCOOR) และกรดคาร์บอกซิลิก (RCOOH) และการทดสอบสมบัติการทำความสะอาดตัวเองพบว่าผ้าชนิด C2 มีความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองที่ดีกว่าผ้าชนิด E

งานวิจัยของ Kamal K. Gupta และคณะ [24] ได้ศึกษาถึงการเคลือบผิวผ้าด้วยไททานเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธี โซล-เจล (sol-gel) โดยแบ่งการสังเคราะห์ไททานเนียมไดออกไซด์ที่นำมาเคลือบออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรกจะทำการสังเคราะห์ออกมาเป็นไททานเนียมไดออกไซด์นาโนโซล (TiO<sub>2</sub>Nano-sol) โดยใช้สารละลาย 2 ชนิดในการสังเคราะห์ได้แก่ ชนิดแรกใช้น้ำเป็นตัวกลาง โดยผสมสารไททานเนียมไอโซโพรพอกไซด์ (Titanium isopropoxide, TIP) และกรดไนตริก (Nitric acid) 2 มิลลิลิตร เข้ากับน้ำ 200 มิลลิลิตร ปั่นกวนเป็นเวลา 18 ชั่วโมง จะได้ไททานเนียมไดออกไซด์นาโนโซล (Nano-sol TiO<sub>2</sub> water) และชนิดที่สองใช้เอทานอลเป็นตัวกลาง โดยนำ TIP ผสมกับเอทานอลและ กรดอะซิติก ในอัตราส่วนโดยโมล 1 : 100 : 0.05 ตามลำดับ ปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง จะได้ไททานเนียมไดออกไซด์นาโนโซล (Nano-sol TiO<sub>2</sub> ethanol) นำผ้าที่จะมาทำการเคลือบไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาทีแล้วจึงนำมาแช่ลงในสารละลายไททานเนียมไดออกไซด์นาโนโซลเป็นเวลา 1 นาที และทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงล้างผ้าด้วยสารละลายโซดาแอส (Soda ash) และน้ำ DI จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ในออโตคลอว์ (Autoclave) เพื่อให้เกิดการสร้างผลึกของไททานเนียมไดออกไซด์ กระบวนการสังเคราะห์วิธีที่สอง คือการสังเคราะห์ออกมาเป็นอนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub> nanoparticles) โดยทำการผสมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) เข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในสารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับไททานเนียมเตตระไฮโดรโพรพอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ซึ่งอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : TIP คือ 12 : 1 ใส่ในภาชนะระบบปิด ให้อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จะได้อนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ นำไปเคลือบลงผิวผ้าด้วยเทคนิคการบิบบอัด-ทำให้แห้ง-ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยความร้อน (Pad-dry-cure) สารที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ทั้งหมดนั้นจะผ่านการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer, XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron

microscope, TEM) จากนั้นจึงนำไปทดสอบสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง (Self-cleaning) และการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย (Anti-microbial) สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และนาโนไททาเนียมไดออกไซด์โซล นั้นมีลักษณะเป็นผลึกเดี่ยว (Monocrystalline) มีสมบัติความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองที่รวดเร็ว โดยเกิดการทำความสะอาดตัวเองภายใน 48 ชั่วโมง

งานวิจัยของ Walid A. Daoud และคณะ [25] ได้ศึกษาถึงการยึดติดของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บนเส้นใยเซลลูโลส ที่ได้จากการสังเคราะห์ไททาเนียโซล ที่อุณหภูมิต่ำ โดยผ่านปฏิกิริยากำจัดน้ำ (Hydrolysis) และปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation) ซึ่งนำไททาเนียมไอโซโพรพอกไซด์ (Titanium isopropoxide) 10 กรัม กรดไนตริก (Nitric acid) 2 มิลลิลิตร และ น้ำ 200 มิลลิลิตร ปั่นกวนเข้าด้วยกันเป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำผ้าที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที มาจุ่มลงในสารละลายไททาเนียโซล 1 นาที จากนั้นล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) และน้ำ ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างผ้าไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และทดสอบความสามารถในการต้านทานแบคทีเรียภายใต้ รังสียูวี (UV radiation) แสงฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) และในที่มืด โดยผลที่ได้จากการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบการรวมตัวของอนุภาคครึ่งทรงกลมไททาเนีย ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรน 10 นาโนเมตรอยู่บนผิวผ้า และผลจากการต้านทานแบคทีเรียในสภาวะที่มีรังสียูวีจะสามารถต้านทานการเกิดแบคทีเรียได้ดีกว่าสภาวะอื่น

Wen-Jun Li และคณะ [26] ศึกษาถึงกลไกการโตและลักษณะการโตของผลึกออกไซด์ โดยสังเกตจากกลไกการโตของ ผงซิงค์ออกไซด์ (ZnO powder) ภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ซึ่งใช้สารละลายซิงค์อะซิเตดไดไฮเดรต ( $Zn(CH_3COO)_2$ ) หรือเตรียมซิงค์ไฮดรอกไซด์ ( $Zn(OH)_2$ ) โดยการเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ( $NH_4OH$ ) ลงในสารละลายคลอไรด์ จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ผสมเข้ากับน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส ผลึกจะเริ่มก่อตัวขึ้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ทำการล้าง กรอง และอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD) และเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ผลจากการทดสอบสามารถอนุมานได้ว่ารูปแบบของการโตของผลึกในสารละลายนำไปใช้เป็นหลักการพื้นฐานในการตั้งข้อสันนิษฐานของกลไกการเติบโตของผลึกชนิดอื่น โดยลักษณะการโตของผลึกต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการโตของผลึกกับการ

จัดเรียงตัวประกบกันของ โพลีฮีดรอน (Polyhedrol) ณ บริเวณรอยต่อของผลึก โดยอัตราเร็วของการโตระหว่างผิวหน้าผลึก กับ มุมของโพลีฮีดรอน ที่บริเวณรอยต่อของผลึกมีอัตราการโตที่รวดเร็ว ร่องลงมาคืออัตราเร็วระหว่างผิวหน้าผลึกกับรอยต่อที่เกิดจากการประสานกันของ โพลีฮีดรอน ที่บริเวณพื้นผิว และสำหรับบริเวณที่มีอัตราเร็วในการโตช้าสุดคือ ที่ผิวหน้าของผลึก กับผิวหน้าของโพลีฮีดรอน ซึ่งเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิว

Fernando Gordillo Delgado และคณะ [27] ศึกษาถึงการสร้างฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์โดยใช้เทคนิค โซล-เจล เพื่อนำไปใช้กับการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalytic) ซึ่งใช้ไททาเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ (Titanium tetra isopropoxide) ผสมเข้ากับกรดไนตริก (Nitric acid) โดยกำหนดอัตราส่วนของน้ำ : แอลคอกไซด์ (Alkoxide) คงที่เท่ากับ 3 เคลือบฟิล์มลงบนฐานรองซึ่งทำมาจากแก้วโดยใช้วิธีจุ่มเคลือบ (Dip-coating) นำไปอบที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 650 องศาเซลเซียส ทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย เครื่องการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer, XRD) ทดสอบสมบัติการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) และตรวจวัดปริมาณก๊าซของแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่มีรังสียูวีและปราศจากรังสียูวีด้วยเทคนิค โฟโตอะคูสติก (Photoacoustic, PA) ผลของการศึกษาพบว่าไททาเนียมไดออกไซด์สามารถแสดงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการกำจัดจุลินทรีย์ที่เป็นต้นเหตุให้แม่น้ำเกิดการปนเปื้อน

งานวิจัยของ Chong Qin และคณะ [28] ได้ศึกษาสมบัติการต้านทานแบคทีเรียของไททาเนียมอัลคอกไซด์ในไม้ประกอบโดยกระบวนการ โซล-เจล ซึ่งทำการเตรียมตัวอย่างโดยใช้กระป๋องไม้ให้มีขนาดรัศมี 20 มิลลิเมตร เส้นรอบวง 20 มิลลิเมตร และความยาว 3 มิลลิเมตร และแบ่งตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่ม นำตัวอย่างไปอบแห้งและชั่งน้ำหนัก ( $W_0$ ) จากนั้นนำตัวอย่าง 2 กลุ่มแรกแช่ในสารละลายโซเดียมโบรไมด์และโพแทสเซียมซัลเฟตอิ่มตัว แล้วให้ความชื้นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ จนได้ความชื้น (MC) อยู่ที่ 8.33 % และ 21.53% แล้วนำตัวอย่างกลุ่มที่ 3 ไปแช่ในน้ำกลั่นได้ค่าความชื้น (MC) 165% ส่วนกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 4 ไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ จากนั้นเตรียมสารละลายโซลจากเตตระไททาเนียม (TBT) กับเอทานอลที่อัตราส่วนปริมาตร 2:1 โมล และ TBT กับกรดอะซิติกที่อัตราส่วนปริมาตร 1 : 0.01 โมล จากนั้นนำตัวอย่างกลุ่มที่ 1 - 3 แช่ในสารละลายโซลที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้สูญญากาศที่ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล และไปอบที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงและนำมาอบต่อ

ที่อุณหภูมิ 65 และ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนัก (W1) กับวัดเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WPG1) จากนั้นนำตัวอย่างมาล้างด้วยน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วทำการอบและชั่งน้ำหนัก (W2) กับวัดเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WPG2) แล้วนำตัวอย่างมาแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำการอบและชั่งน้ำหนัก (W3) กับวัดเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WPG3) นำตัวอย่างทั้งหมดมาตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD) และทดสอบการต้านทานแบคทีเรีย พบว่ามีการสะสมของไททาเนียมไดออกไซด์ในเซลล์ลูเมนของตัวอย่าง และความเป็นอสังฐานของไททาเนียมไดออกไซด์ลดลงทำให้ค่า WPG มีเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของเชื้อ *E. Coli* บนไม้ประกอบขึ้นกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

งานวิจัยของ C.Su และคณะ [29] ศึกษาการเตรียม Sol-hydrothermal และโฟโตแคตาไลซิสของไททาเนียมไดออกไซด์ โดยใช้อัตราส่วนไททาเนียมบิวทอกไซด์: ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์: อะซิติกอะซิโตน เท่ากับ 1:1:0.01 ผสมกันแล้วปั่นกวน เมื่อได้ตะกอนสีขาวของไททาเนียมไดออกไซด์นำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นหยดกรดไนตริกพร้อมปั่นกวนเพื่อให้เกิดสารละลายโซล แล้วนำไปรีฟลักซ์ที่ 85°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลภายในออโตเคิลฟ โดยใช้อุณหภูมิที่ 150°C และ 200°C ในเวลาที่ต่างกัน จากนั้นนำมากรองโดยล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) วัดพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunaur Emmet Teller (BET) วิเคราะห์เฟสและขนาดของผลึกด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD) และวิเคราะห์โฟโตแคตาไลซิสด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (uv-visible spectrophotometer, UV-vis) ผลการวิเคราะห์จาก XRD พบว่าหลังจากไฮโดรเทอร์มอลแล้วจะพบเฟสของอนาเทสแล้วจึงเปลี่ยนเป็นรูไทล์ เมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นฟีกจะมีความชัดเจนมากขึ้น ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM พบว่าที่อุณหภูมิ 200 °C เวลา 1 ชั่วโมงจะเกิดเจลขึ้น และที่เวลา 3 ชั่วโมงผลึกมีลักษณะเป็นทรงกลมซึ่งเป็นผลึกของอนาเทส เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆลักษณะของผลึกจะเปลี่ยนเป็นแท่งเพิ่มขึ้น ซึ่งนั่นคือผลึกของรูไทล์แต่ขนาดพื้นที่ผิวของผลึกจะลดลง ผลจากการวิเคราะห์โฟโตแคตาไลซิสพบว่าที่อุณหภูมิ 150°C และ 200 °C ในเวลา 3 ชั่วโมงจะมีการดูดกลืนแสงที่ดีกว่า เวลา 5 ชั่วโมง

งานวิจัยของ Sanaz Naghibi และคณะ [30] ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (Nano-TiO<sub>2</sub>) โดยใช้ไททาเนียมเตตระไฮดรอกไซด์ (TTIP) เป็นสารตั้งต้น ละลายในสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (iPrOH) เติมกรดไฮโดรคลอริกเพื่อเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาและปรับค่า pH ของสารละลายผสมทำการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI water) เป็นสารละลายภายในระบบ ซึ่งทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ กำหนดค่า pH เป็น 7,9,10 และ 11 ตามลำดับ ทำการปรับปริมาตรน้ำ DI เป็น 36,40.5,45 และ 54 มิลลิลิตรตามลำดับ ปรับปริมาตรของ TTIP เป็น 3.79,5.05,7.58 และ 15.17ตามลำดับ ปรับช่วงของอุณหภูมิเป็น 100,130,160 และ 200°C ตามลำดับ และปรับระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอล เป็น 8,12,18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ โดยตัวแปรต่าง ๆ จะถูกจัดเข้าด้วยกันเพื่อทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิค Taguchi statistical ซึ่งจะได้ตัวอย่างอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมด 16 ตัวอย่าง ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (XRD) ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (TEM) และตรวจวัดความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกด้วยเมทิลีนบลูและวัดค่าด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงยูวี-วิสิเบิล (UV-Vis) สำหรับการตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างทั้งหมด 16 ตัวอย่างจะวิเคราะห์เทียบกับอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> เกรดทางการค้า (TiO<sub>2</sub>-P25) ผลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD คืออนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่สังเคราะห์ได้ทุกตัวเป็นโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสทั้งหมด โดยไม่มีผลึกรูไทล์หรือผลึกบรูคไคต์เจือปน เมื่อตรวจวิเคราะห์อนุภาคที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค TEM จะพบอนุภาคนาโนขนาดเล็กมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมบางๆ ขนาดประมาณ 2-12 นาโนเมตร และเมื่อทำการตรวจวัดค่าด้วยเทคนิค UV-Vis โดยใช้เมทิลีนบลูพบว่าปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงเมื่อมีขนาดของผลึก พื้นที่ผิว และโครงสร้างของรูพรุนบนอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกได้ดีที่สุดคืออนุภาคที่เตรียมได้จากการใช้น้ำ DI 45 มิลลิลิตร สาร TTIP 3.79 มิลลิลิตร ที่มีค่า pH เท่ากับ 9 ทำการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

งานวิจัย ยูวันดา เอี่ยมเผ่าจีน [31] ศึกษาการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano-ZnO) บนผ้าฝ้ายโดยใช้พอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิด (PPS) โดยเริ่มนำผ้าฝ้ายมาปรับปรุงให้มีประจุบวกด้วยสารละลาย 3-Chloro-2-hydroxypropyl trimethylammonium chloride จากนั้นนำผ้าฝ้ายมาทำการเคลือบผิวด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (LbL) แล้วนำผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวมาทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งก่อให้เกิดการตรึงอนุภาค Nano-ZnO อยู่บนผ้าฝ้าย โดยทำการปรับเปลี่ยนสภาวะในการปรับปรุงพื้นผิวผ้าฝ้าย จากนั้นทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ผ้าฝ้ายตัวอย่างด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (AAS) เครื่องเอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรมิเตอร์ (XPS) ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาแสดงให้เห็นว่าอนุภาค Nano-ZnO บางส่วนฝังตัวอยู่ในพื้นผิวเส้นใย และบางส่วนก่อตัวขึ้นมาจากพื้นผิวเส้นใย การศึกษาการเพิ่มปริมาณ ZnO บนผ้าฝ้ายโดยใช้ 2 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคการปลูกผลึกซ้ำและเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ แบบเคลือบผิวหลายชั้นเป็นการเพิ่มปริมาณ ZnO บนผ้าฝ้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการเพิ่มรอบในการจุ่มเคลือบจะทำให้มีปริมาณ PSS ที่เคลือบบนผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้น จึงมีจำนวนประจุลบสามารถยึดจับกับไอออน Zn มากขึ้น เมื่อนำไปไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบสจึงได้อนุภาค ZnO เพิ่มมากขึ้นบนพื้นผิวผ้าฝ้าย ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตรึงอนุภาค Nano-ZnO ที่สภาวะต่าง ๆ ถูกนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่าปริมาณ ZnO บนชิ้นผ้าฝ้ายตัวอย่างที่มากขึ้นจะให้สมบัติการต้านทานรังสียูวีและสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรียที่ดีขึ้น สารละลาย PPS มีประสิทธิภาพที่ดีในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้าย อีกทั้งการตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนผิวผ้าฝ้ายด้วยสารละลาย PPS ไม่ส่งผลต่อสมบัติการเปียก การซึมผ่านของไอน้ำ และสีของชิ้นผ้าฝ้าย ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการเกิดอนุภาค Nano-ZnO ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวผ้าฝ้ายอย่างมากที่สุดคือ ระยะเวลาในการแช่สารละลายซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต

## บทที่ 3

### การวิจัยและการดำเนินงาน

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ผ้าฝ้าย 100% cotton No.40 บริษัท พัฒนาผ้าไทย จำกัด
2. ทรីคลอโรโทไฮดรอกซีโพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์  
(3-chloro-2-hydroxypropyl)trimethyl ammonium chloride solution, CHTAC)  
บริษัท ALDRICH เกรดวิกิเคราะห์
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) บริษัท LAB-SCAN เกรดวิกิเคราะห์
4. กรดอะซิติก (Acetic acid, CH<sub>3</sub>COOH) บริษัท LAB-SCAN เกรดวิกิเคราะห์
5. ไททาเนียมเตตระไอโซโพรพ็อกไซด์ (Titanium tetra isopropoxide, TIP)  
บริษัท ALDRICH เกรดวิกิเคราะห์
6. กรดไนตริก (Nitric acid, HNO<sub>3</sub>) บริษัท SDFCL เกรดวิกิเคราะห์
7. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide, NH<sub>4</sub>OH)  
บริษัท LAB-SCAN เกรดวิกิเคราะห์
8. เมทิลีนบลู (Methylene blue) บริษัท LAB-SCAN เกรดวิกิเคราะห์
9. น้ำกลั่น (Water)
10. น้ำปราศจากไอออน (DI water)

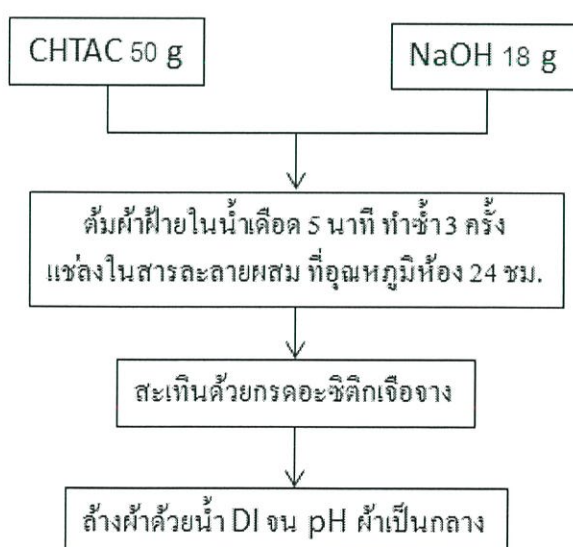
### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)  
บริษัท LEO รุ่น LEO 1455 VP
2. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)  
บริษัท BRUCKER AG รุ่น D8 ADVANCE
3. เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer)
4. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
5. เครื่องอัลตราโซนิคกำลังสูง รุ่น VCX 500 (500 watts) บริษัท Vibra cell
6. บีกเกอร์แก้ว ขนาด 50 และ 150 มิลลิลิตร
7. บีกเกอร์พลาสติก ขนาด 50 และ 150 มิลลิลิตร
8. กระจกตวง ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร
9. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร
10. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 25 มิลลิลิตร
11. ไมโครปิเปต ขนาด 1000 ไมโครลิตร
12. ขวดแก้วระบบปิด
13. หลอดหยด
14. แท่งแก้วคนสาร
15. กระจกนาฬิกา
16. ซ้อนตักสาร
17. แท่งแม่เหล็ก
18. กระจกน้ำกลั่น
19. กระจกทรง

20. นาฬิกาจับเวลา
21. pH meter
22. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
23. ตู้ดูดควัน
24. เครื่องปั่นกวน
25. เครื่องกรองลดความดัน

### 3.3 การทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก

1. นำผ้าฝ้ายมาต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 1 นาที 3 ครั้ง
2. เตรียมสารละลายผสมระหว่าง CHTAC กับ NaOH โดยชั่ง CHTAC 50 กรัม และ NaOH 18 กรัม ละลายในน้ำ DI ปริมาตร 1 ลิตร จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการต้มแล้วแช่ลงในสารละลายผสม ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. นำผ้าฝ้ายที่แช่ไว้ออกจากสารละลายผสม ล้างด้วยน้ำ DI แล้วจึงนำไปสะเทินด้วยกรดอะซิติกเจือจาง
5. แล้วล้างด้วยน้ำ DI จนกระทั่งมีค่า pH เป็นกลาง



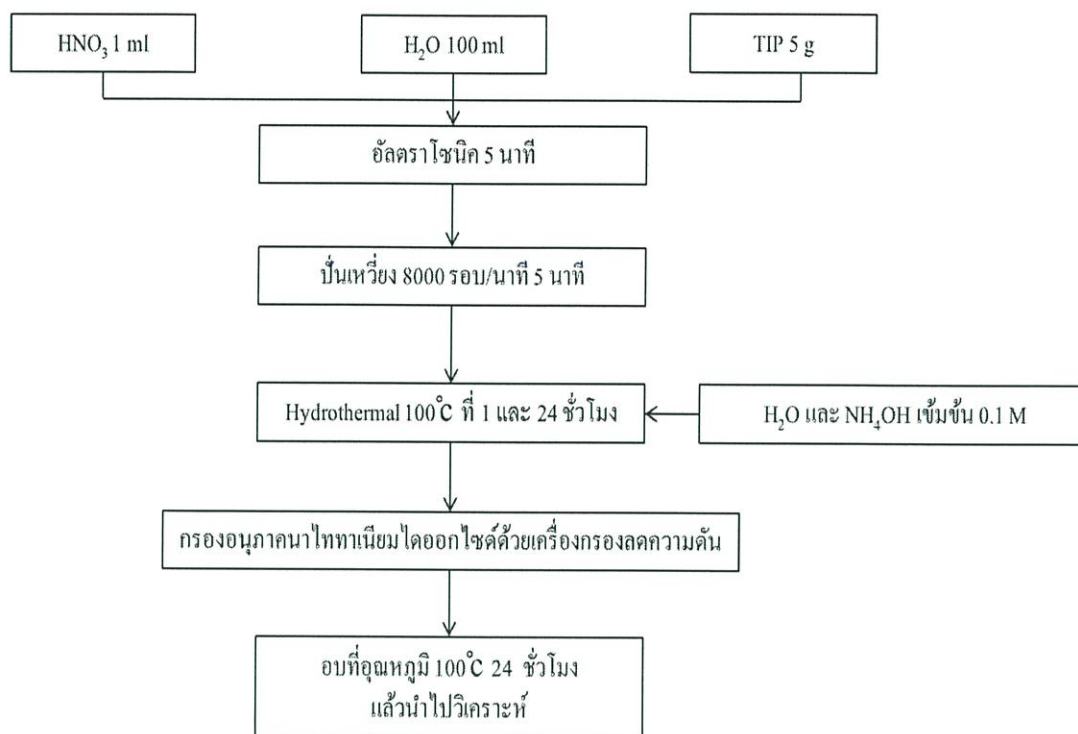
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก

### 3.4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

1. ผสมสารละลายกรด  $\text{HNO}_3$  1 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นที่มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งสาร TIP 5.00 กรัม ละลายในสารละลายกรด  $\text{HNO}_3$  จากข้อ 1
3. นำสารละลายผสมเข้าเครื่องอัลตราโซนิก โดยตั้งค่า Pulser 15:5 เป็นเวลา 5 นาที จะได้โซลที่มีลักษณะเป็นสารสีขาวขุ่น
4. นำโซลที่เตรียมได้ในข้อ 3 เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง โดยตั้งค่าความเร็ว 8000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที
5. นำตะกอนที่ได้ใส่ลงในขวดแก้วทนความดันที่บรรจุสารละลายที่ใช้ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ น้ำ และ  $\text{NH}_4\text{OH}$  เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ปิดฝาสนิท นำเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 3.1
6. กรองแยกตะกอนออกจากสารละลายด้วยเครื่องกรองลดความดัน นำตะกอนไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7. นำอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 3.1 สภาวะในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

สภาวะที่	ชื่อตัวอย่าง	ระบบไฮโดรเทอร์มอล	ระยะเวลาในการทำไฮโดรเทอร์มอล (ชม.)
1	$\text{TiO}_2$ - Sol before	-	-
2	$\text{TiO}_2$ - Sol after	-	-
3	$\text{TiO}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$ 1	$\text{H}_2\text{O}$	1
4	$\text{TiO}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$ 24		24
5	$\text{TiO}_2$ - NH 1	$\text{NH}_4\text{OH}$ เข้มข้น 0.1 M	1
6	$\text{TiO}_2$ - NH 24		24



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

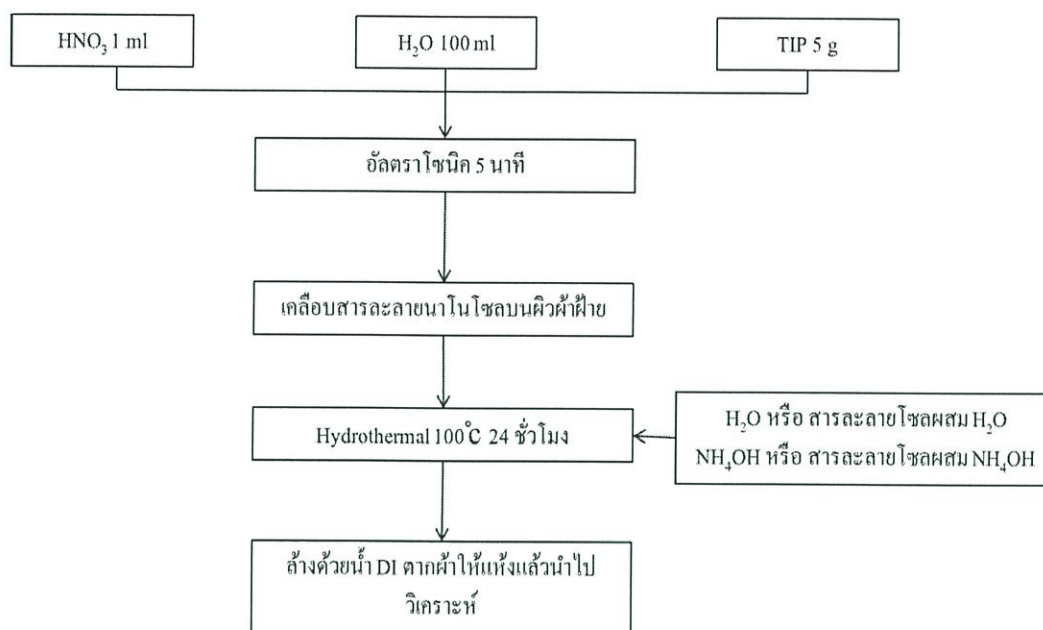
### 3.5 การปลูกผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงในผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล

1. ผสมสารละลายกรด  $\text{HNO}_3$  1 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นที่มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งสาร TIP 5.00 กรัม ละลายในสารละลายกรด  $\text{HNO}_3$  จากข้อ 1
3. นำสารละลายผสมเข้าเครื่องอัลตราโซนิค โดยตั้งค่า Pulser 15:5 เป็นเวลา 5 นาที จะได้โซลที่มีลักษณะเป็นสารสีขาวขุ่น
4. นำผ้าที่ผ่านกระบวนการทำพื้นผิวเป็นประจุบวกมาเคลือบด้วยสารละลายโซลที่เตรียมได้จากข้อ 3 เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำ DI ไล่ลงในขวดแก้วทนความดันที่บรรจุสารละลายที่ใช้ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ น้ำ สารละลายโซลผสมน้ำ สารละลายโซลผสมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปิดฝาสนิท นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 และ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 3.2
5. ล้างผ้าด้วยน้ำ DI ตากผ้าให้แห้ง จากนั้นนำผ้าที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 3.2 สภาวะในการปลูกผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนพื้นผิวผ้าฝ้าย

ลำดับ ที่	ชื่อตัวอย่าง	กระบวนการ สังเคราะห์	สารละลาย ไฮโดรเทอร์มอล	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1	Cot – Dr – H <sub>2</sub> O 1	Drop (หยดเคลื่อน)	H <sub>2</sub> O	1 hr
2	Cot – Dr – H <sub>2</sub> O Sol 1		H <sub>2</sub> O+Sol TiO <sub>2</sub> *	1 hr
3	Cot – Dr – H <sub>2</sub> O 24		H <sub>2</sub> O	24 hr
4	Cot – Dr – H <sub>2</sub> O Sol 24		H <sub>2</sub> O+Sol TiO <sub>2</sub>	24 hr
5	Cot – Dr – NH 1		NH <sub>4</sub> OH	1 hr
6	Cot – Dr – NH Sol 1		NH <sub>4</sub> OH+Sol TiO <sub>2</sub>	1 hr
7	Cot – Dr – NH 24		NH <sub>4</sub> OH	24 hr
8	Cot – Dr – NH Sol 24		NH <sub>4</sub> OH+Sol TiO <sub>2</sub>	24 hr
9	Cot – Di – H <sub>2</sub> O 1	Dip (ชุบเคลื่อน)	H <sub>2</sub> O	1 hr
10	Cot – Di – H <sub>2</sub> O Sol 1		H <sub>2</sub> O+Sol TiO <sub>2</sub>	1 hr
11	Cot – Di – H <sub>2</sub> O 24		H <sub>2</sub> O	24 hr
12	Cot – Di – H <sub>2</sub> O Sol 24		H <sub>2</sub> O+Sol TiO <sub>2</sub>	24 hr
13	Cot – Di – NH 1		NH <sub>4</sub> OH	1 hr
14	Cot – Di – NH Sol 1		NH <sub>4</sub> OH+Sol TiO <sub>2</sub>	1 hr
15	Cot – Di – NH 24		NH <sub>4</sub> OH	24 hr
16	Cot – Di – NH Sol 24		NH <sub>4</sub> OH+Sol TiO <sub>2</sub>	24 hr

\* Sol TiO<sub>2</sub> หมายถึง สารละลายผสมไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้และใช้สำหรับเป็น  
สารละลายในกระบวนการชุบเคลื่อนและหยดเคลื่อน



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการปลูกผลึกนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ลงบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล

### 3.6 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์อนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์

#### 3.6.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

นำอนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ในสภาวะต่างๆ โรยลงบนแผ่นเทปคาร์บอนที่เตรียมไว้แล้วเป่าให้ผงไม่เกาะตัวซ้อนเป็นชั้นหรือเกาะรวมตัวกัน จากนั้นนำตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ไปเคลือบด้วยอนุภาคทองแล้วนำไปวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

#### 3.6.2 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometry, XRD)

นำอนุภาคนาโนไททานเนียมที่เตรียมได้ในขั้นตอนที่ 3.4 ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยมุมตรวจวิเคราะห์ ( $2\theta$ )  $20^\circ - 65^\circ$  Step size  $0.04^\circ$ /step Step time 1 sec/step

### 3.7 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ผ้าฝ้ายตัวอย่าง

#### 3.7.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

นำผ้าฝ้ายก่อนและหลังการปลูกผลึกนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ไปติดลงบนแผ่นฟิล์มคาร์บอน จากนั้นนำตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ไปเคลือบด้วยอนุภาคทองนำไปวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

### 3.7.2 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)

นำผ้าฝ้ายก่อนและหลังการปลูกผลิตภัณฑ์นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ในขั้นตอนที่ 3.5 ตัดผ้าฝ้ายประมาณ 1x1 เซนติเมตร ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยมุมตรวจวิเคราะห์ ( $2\theta$ )  $20^\circ - 65^\circ$  Step size  $0.04^\circ$  degree/step Step time 1 sec/step

### 3.7.3 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสี (X-ray fluorescence, XRF)

ตัดผ้าตัวอย่างให้มีขนาดเล็กผสมเข้ากับ ZnO ให้มีปริมาณ 0.05 กรัม ทำการผสมเข้ากับผงบอริกแอซิด ให้มีปริมาณ 5 กรัม นำเข้าเครื่องผสมสารและอัดสารด้วยเครื่องลดความดัน ตรวจสอบบริเวณผิวหน้าของตัวอย่างไม่ให้มีรอยแตกร้าว จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณสารด้วยเทคนิค XRF

## 3.8 การศึกษาการฟอกจางสีของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub>

1. เตรียมสารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้น 0.1 g/L
2. ตวงสารละลายเมทิลีนบลู 20 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร
3. เติมอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ 0.0100 กรัม ลงในขวดที่มีสารละลายเมทิลีนบลูปิดปากขวดให้มิดชิดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ตั้งขวดรูปชมพู่ ไว้ภายใต้หลอดรังสียูวี 2 หลอด เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. แยกสารละลายเมทิลีนบลูออกจากอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ แล้วนำสารละลายไปตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

## 3.9 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย [32]

นำผ้าฝ้ายก่อนและหลังการปลูกผลิตภัณฑ์นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ ในขั้นตอนที่ 3.5 มาทดสอบเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย ตามมาตรฐาน CLSI-2014 [32] โดยใช้เชื้อ *Escherichia coli* และ *Bacillus coli* ในการทดสอบโดย

1. นำเชื้อมาผสมเข้ากับอาหารเลี้ยงเชื้อแบบกึ่งแข็ง จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อแบบกึ่งแข็งที่ทำการผสมเชื้อแบคทีเรียเรียบร้อยแล้วลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้นอยู่
2. วางชิ้นตัวอย่างลงบนจานลงบนพื้นผิวของวุ้นเลี้ยงเชื้อที่เตรียมได้จากข้อ 1. ในกรณีที่ทำตัวอย่างเป็นผง ให้ทำการเจาะวุ้นเลี้ยงเชื้อแล้วจึงนำผงใส่ลงไป ณ บริเวณที่วุ้นถูกเจาะ

สำหรับสารตัวอย่างที่เป็นฝ้าให้ทำการวางฝ้าปะลงบนพื้นผิวของวุ้นเลี้ยงเชื้อเลย โดยไม่ต้องผ่านการเจาะ

3. จากนั้นนำงานเพาะเชื้อที่เตรียมได้ใส่ในตู้อบอินคิวเบเตอร์ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 14 วัน จากนั้นนำออกมาตรวจดูพื้นที่ Clear Zone ณ บริเวณรอบ ๆ พื้นที่ของตัวอย่าง

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 ปฏิริยาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

ปฏิริยาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (Nano-TiO<sub>2</sub>) ด้วยวิธีโซล-เจล โดยใช้ไททาเนียมเตตระไฮดรอกไซด์ (TIP) เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิริยา กรดในตริกเป็นตัวเร่งปฏิริยาและใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ซึ่งปฏิริยาที่เกิดขึ้นแสดงในสมการที่ (4.1) – (4.2)

**TiO<sub>2</sub> Nano-Sol Reaction :**



**Water Condensation :**



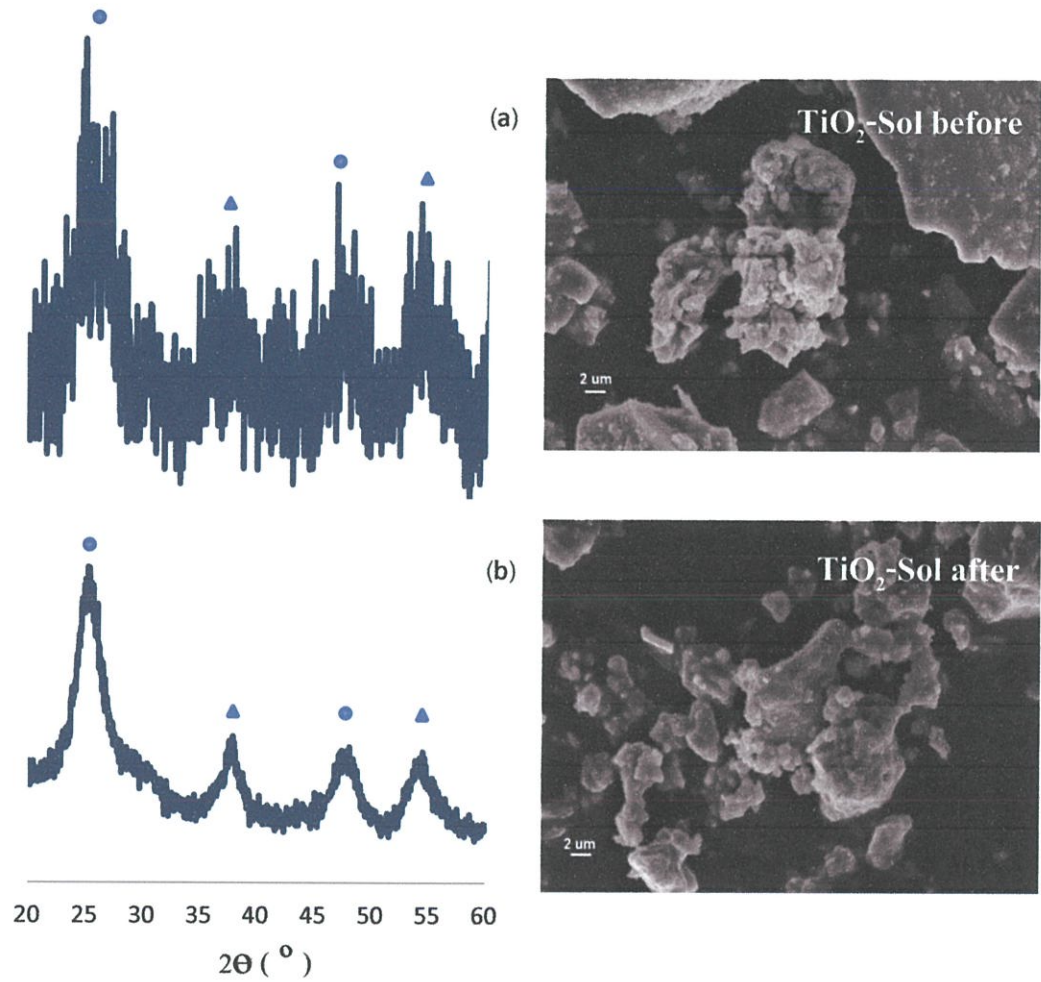
ในกระบวนการสังเคราะห์ Nano-TiO<sub>2</sub> ได้ศึกษาสภาวะในการสังเคราะห์ ดังนี้

- สภาวะของสารละลายที่ใช้ในระบบไฮโดรเทอร์มอล
- ระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอล

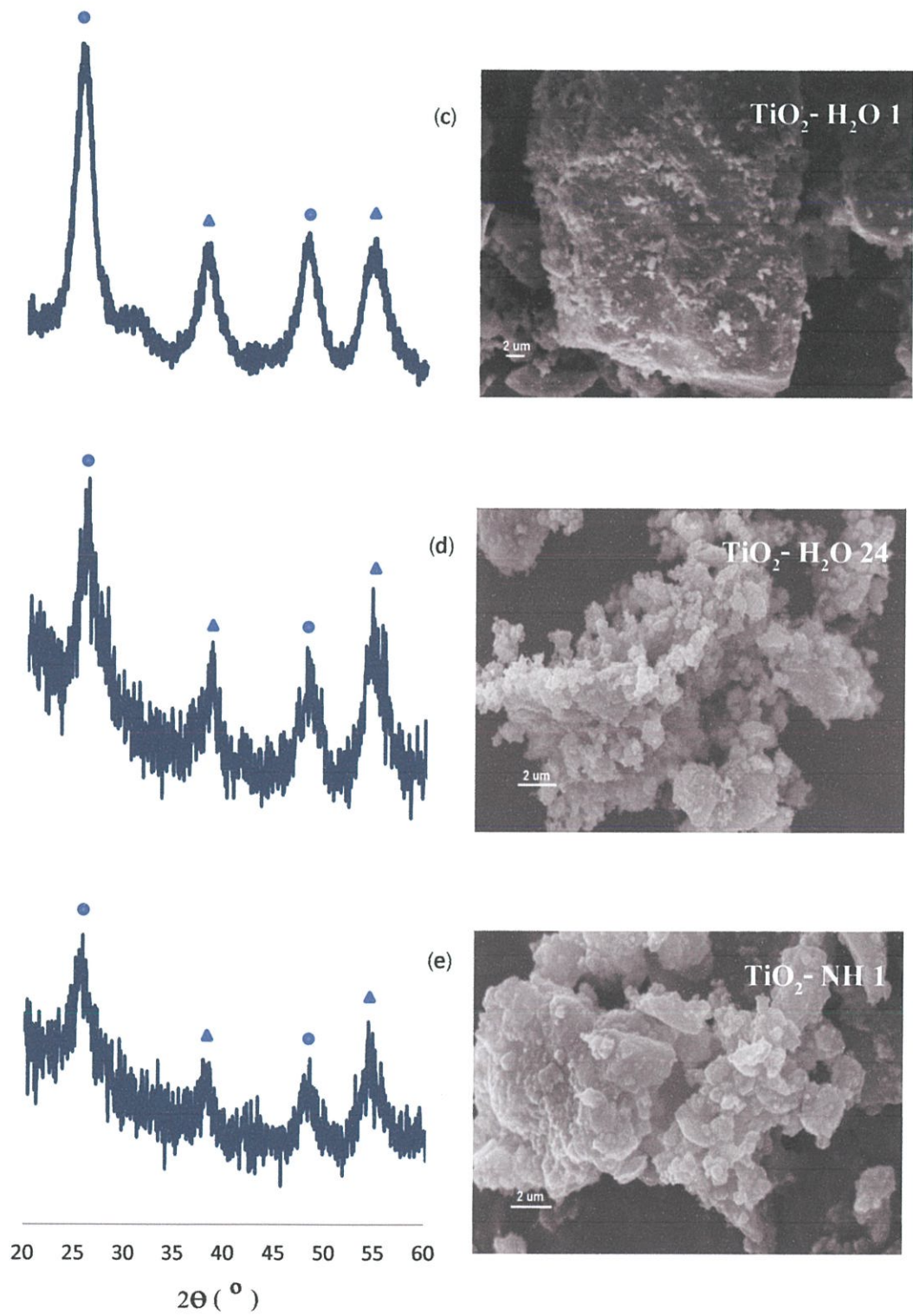
#### 4.1.1 ผลของการปรับเปลี่ยนสภาวะการทำปฏิริยาไฮโดรเทอร์มอล

ในการศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนสภาวะของสารละลายที่ใช้ในระบบ ไฮโดรเทอร์มอล ต่อการสังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้น้ำและแอม โมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร เป็นตัวกลางและผลของการปรับเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิริยาไฮโดรเทอร์มอลได้แก่ 1 และ 24 ชั่วโมง

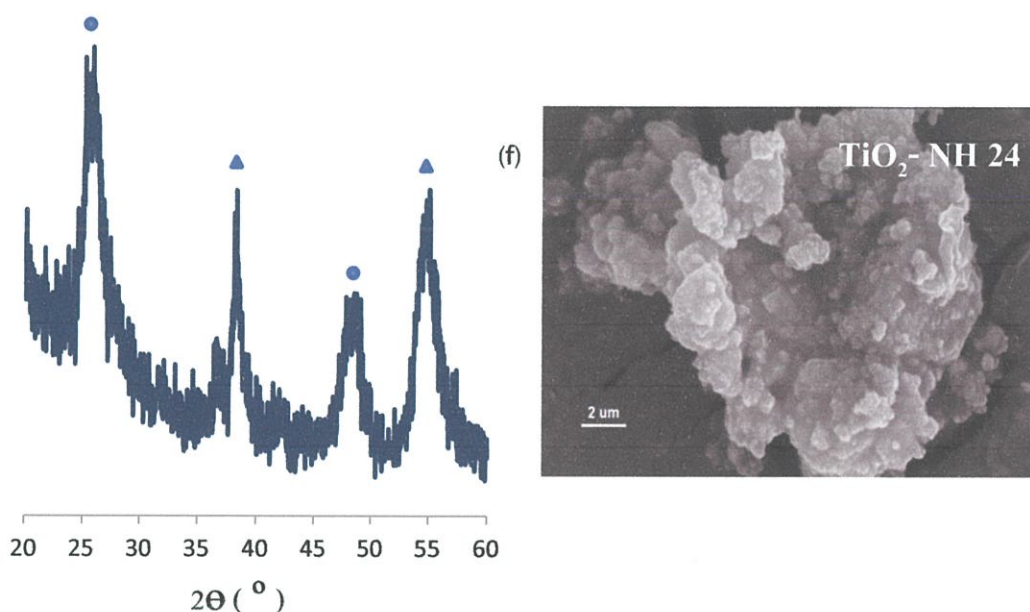
รูปที่ 4.1 (a) - (f) แสดงแผนภาพวงแหวนผลึกและลักษณะพื้นฐานวิทยาของอนุภาค TiO<sub>2</sub> - nano sol และพบว่ามีเกิดผลึกสีขาวขึ้นในสารละลายทุกสภาวะที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของลักษณะแผนภาพวงแหวนของผลึกจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD แต่ในรูป SEM ไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของลักษณะพื้นฐานวิทยาของผลึกที่สังเคราะห์ได้ เนื่องจากมีการเกาะตัวของผลึกขนาดเล็กเป็นกลุ่มก้อนในทุก ๆ สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์



รูปที่ 4.1 ลักษณะวัฏภาคของผลึกและลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาค Nano -  $\text{TiO}_2$  ในสถานะต่างๆ ( ▲ Anatase ● Rutile ) (a) อนุภาค Nano  $\text{TiO}_2$  ก่อนการ Sonic (b) อนุภาค Nano  $\text{TiO}_2$  หลังการ Sonic (c) อนุภาค Nano  $\text{TiO}_2$  Hydrothermal ด้วย  $\text{H}_2\text{O}$  1 ชั่วโมง (d) อนุภาค Nano  $\text{TiO}_2$  Hydrothermal ด้วย  $\text{NH}_4\text{OH}$  1 ชั่วโมง (e) อนุภาค Nano  $\text{TiO}_2$  Hydrothermal ด้วย  $\text{H}_2\text{O}$  24 ชั่วโมง (f) อนุภาค Nano  $\text{TiO}_2$  Hydrothermal ด้วย  $\text{NH}_4\text{OH}$  24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.1 (ต่อ)



รูปที่ 4.1 (ต่อ)

ในการสังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> เมื่อทำการผสมสารตั้งต้น TIP กรดไนตริก และน้ำกลั่นด้วยเครื่องปั่นกวนแล้วจะพบ Ti(OH)<sub>4</sub> nano sol เกิดขึ้นดังสมการที่ (4.1) เมื่อนำอนุภาค Ti(OH)<sub>4</sub> nano sol ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD จะพบพีคของไททาเนียมไดออกไซด์ขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแผนภาพ XRD ดังแสดงในรูปที่ 4.1(a) เมื่อนำสารผสม Ti(OH)<sub>4</sub> Nano sol เข้าสู่เครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที สารละลายผสมมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น อย่างไรก็ตามสันนิษฐานจากลักษณะของแผนภาพ SEM พบว่าผลึกยังไม่สมบูรณ์ เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD จะพบพีคของไททาเนียมไดออกไซด์ขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆตามแผนภาพ XRD ดังแสดงในรูปที่ 4.1(b) โดยพีคที่เกิดขึ้นสามารถบ่งบอกโครงสร้างผลึกของอนุภาค Nano - TiO<sub>2</sub> ได้ 2 โครงสร้างคือ รูไทล์ ที่  $2\theta = 38.910^\circ$   $56.202^\circ$  และอนาเทส ที่  $2\theta = 25.306^\circ$   $48.039^\circ$  จากนั้นนำสารละลายผสมเข้าสู่กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบสและน้ำกลั่นเพื่อเพิ่มความเสถียรให้แก่อนุภาค Nano- TiO<sub>2</sub>

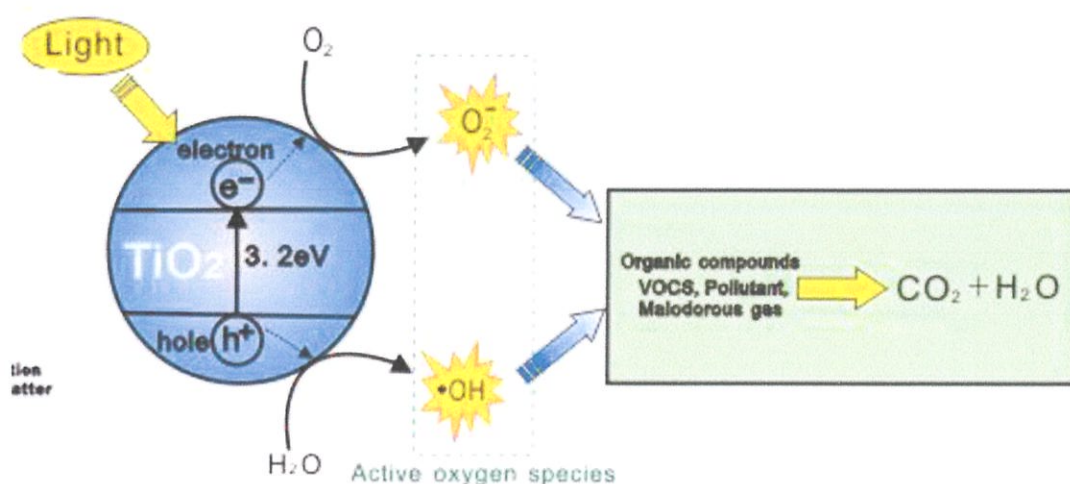
ผลึกที่ได้จากระบบไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้น้ำเป็นสารละลายในการสังเคราะห์ที่ 1 และ 24 ชั่วโมงเมื่อนำไปวิเคราะห์ได้ผล ดังแสดงในรูปที่ 4.1(c) และ 4.1(d) ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนสารละลายที่ใช้ในระบบไฮโดรเทอร์มอลเป็น NH<sub>4</sub>OH โดยปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการสังเคราะห์ที่ 1 และ 24 ชั่วโมง ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.1(e) และ 4.1(f) ตามลำดับ

จากแผนภาพ XRD ของ Nano-TiO<sub>2</sub> ที่ได้หลังการอัลตราโซนิก ไฮโดรเทอร์มอลด้วยน้ำ และไฮโดรเทอร์มอลด้วย NH<sub>4</sub>OH พีคขึ้นที่ตำแหน่ง  $2\theta = 38.910^\circ$   $56.202^\circ$  ซึ่งเป็นพีคของ โครงสร้างรูไทล์ และที่ตำแหน่ง  $2\theta = 25.306^\circ$   $48.039^\circ$  เป็นพีคของอนาเทสเซนเดียวกัน โดยสามารถยืนยันได้ว่าสามารถสังเคราะห์ไททานเนียมไดออกไซด์ได้ในทุกสภาวะ

อย่างไรก็ตามรูป SEM ไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของลักษณะสัณฐานวิทยาของ ผลึกที่สังเคราะห์ได้ เนื่องจากในทุกๆสภาวะมีการเกาะตัวของผลึกขนาดเล็กเป็นกลุ่มก้อน แต่สามารถบ่งบอกได้ว่าก่อนการโซนิครูปร่างของผลึกมีขนาดใหญ่ แต่เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการโซ- นิก พบว่าอนุภาคของผลึกมีขนาดเล็กลง จากนั้นเมื่อนำเข้าสู่กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลเพื่อ ปรับปรุงให้ผลึกมีความสมบูรณ์ด้วยสารละลายในระบบน้ำกลั่นและระบบเบส พบว่าในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ขนาดของผลึกมีการเกาะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น และเมื่อเพิ่มระยะเวลาไฮโดรเทอร์- มอลเป็น 24 ชั่วโมง ผลึกเกิดการฟุ้งตัวขึ้น สันนิษฐานได้ว่า ปฏิกริยาไฮโดรเทอร์มอลจะเกิดการ ละลายของสารและเกิดการก่อผลึกขึ้นใหม่ทำให้ผลึกที่เกาะตัวกันอย่างหนาแน่นเกิดการพ่นตัว และมีความหนาแน่นลดลง ทำให้อนุภาคมีขนาดที่เล็กลงกว่าที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

#### 4.1.2 ผลของการฟอกจางสีของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub>

ในการทดสอบอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่เตรียมได้จากสภาวะที่แตกต่างกันโดยนำไปทำ ปฏิกริยาออกซิเดชันเชิงแสงเพื่อฟอกจางสีสารละลายเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกริยาเชิงแสงเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นดังแสดงใน รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ปฏิกริยาออกซิเดชันเชิงแสงระหว่างอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> กับสารอินทรีย์ [33]

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงและเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีด้วยอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่เตรียมได้ที่สภาวะต่าง ๆ

สารตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง	การกำจัดสี (%)
TiO <sub>2</sub> - Sol before	0.131	17.15
TiO <sub>2</sub> - Sol after	0.125	20.95
TiO <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O 1	0.121	23.45
TiO <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O 24	0.114	27.90
TiO <sub>2</sub> - NH 1	0.101	36.05
TiO <sub>2</sub> - NH 24	0.086	45.60

จากตารางที่ 4.1 เมื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดสีพบว่า TiO<sub>2</sub>- Sol before มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีที่น้อยที่สุด คือ 17.15% หลังจากนั้นนำสารเข้าเครื่องอัลตราโซนิก (TiO<sub>2</sub>- Sol after) เพื่อให้อนุภาคเกิดการกระจายตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็กทำให้เปอร์เซ็นต์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 20.95% จากนั้นทำการปรับปรุงอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> โดยใช้ระบบไฮโดรเทอร์มอลซึ่งใช้ระบบน้ำกลั่นและระบบแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายภายในระบบซึ่งในระบบน้ำกลั่นที่ 1 ชั่วโมง (TiO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O 1) มีค่าเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นเป็น 23.45% เมื่อเพิ่มเวลาในการไฮโดรเทอร์มอลเป็น 24 ชั่วโมง (TiO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O 24) มีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีเป็น 27.90% ซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่ไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับ TiO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O 1 จากนั้นทำการปรับสภาวะสารละลายโดยใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่ 1 ชั่วโมง (TiO<sub>2</sub> - NH 1) เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีมีค่า 36.05% เมื่อเพิ่มเวลาในการไฮโดรเทอร์มอลเป็น 24 ชั่วโมง (TiO<sub>2</sub> - NH 24) มีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีเป็น 45.6% เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับ TiO<sub>2</sub> - NH 1 สาเหตุที่ค่าการกำจัดสีมีเปอร์เซ็นต์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาภายในระบบไฮโดรเทอร์มอล อันเนื่องมาจากสารละลายภายในระบบไฮโดรเทอร์มอลเกิดการละลายและสร้างผลึกขึ้นใหม่ทำให้เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> จะส่งผลให้มีขนาดเล็กลงทำให้มีพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดสีเพิ่มขึ้นและทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีระหว่างระบบไฮโดรเทอร์มอลในสภาวะน้ำและแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ทั้งใน

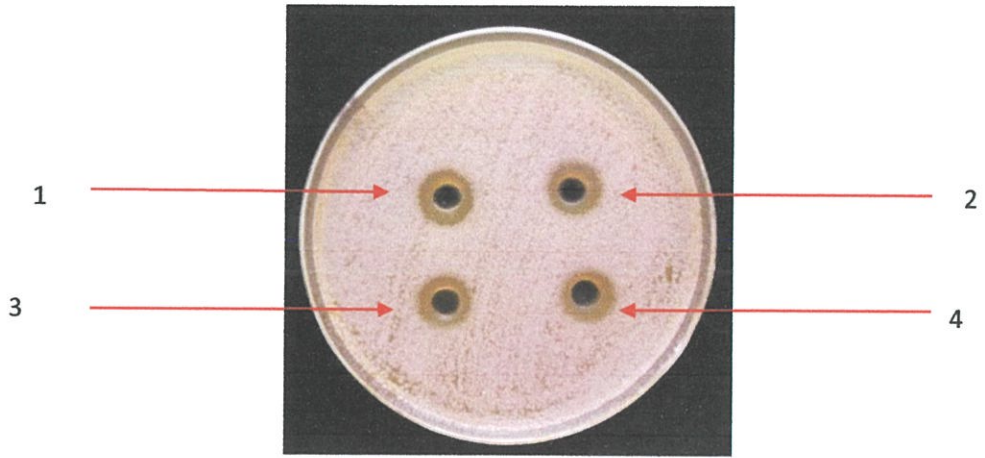
ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ( $\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  1) เปรียบเทียบ  $\text{TiO}_2\text{-NH}$  1) และ 24 ชั่วโมง ( $\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  24) เปรียบเทียบ  $\text{TiO}_2\text{-NH}$  24) มีค่าเปอร์เซ็นต์ที่ต่างกัน บ่งบอกได้ว่าอนุภาค Nano- $\text{TiO}_2$  ที่ใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ในระบบไฮโดรเทอร์มอลมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสียอมที่ดีที่สุด

#### 4.1.3 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

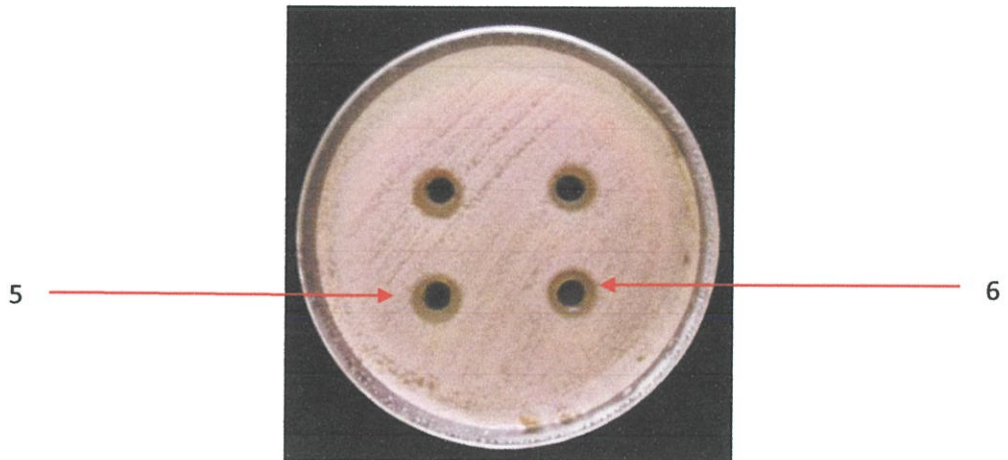
ในการทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของอนุภาค Nano- $\text{TiO}_2$  ที่เตรียมได้จากสภาวะที่แตกต่างกัน โดยใช้มาตรฐาน ISO CLSI 2014 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ขนาดพื้นที่ในการต้านทานแบคทีเรียทั้งแบคทีเรียชนิด *Bacillus subtilis* และ *Escherichia coli*

ตัวอย่างที่	ชื่อสารตัวอย่าง	ขนาดพื้นที่การยับยั้งเชื้อ (มิลลิเมตร)		หมายเหตุ
		<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Escherichia coli</i>	
1	$\text{TiO}_2\text{-Sol}$ before	7	8.5	มีฤทธิ์ยับยั้ง
2	$\text{TiO}_2\text{-Sol}$ after	7	9	มีฤทธิ์ยับยั้ง
3	$\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 1	7.5	9	มีฤทธิ์ยับยั้ง
4	$\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 24	7.5	9	มีฤทธิ์ยับยั้ง
5	$\text{TiO}_2\text{-NH}$ 1	7	7.5	มีฤทธิ์ยับยั้ง
6	$\text{TiO}_2\text{-NH}$ 24	7	7.5	มีฤทธิ์ยับยั้ง

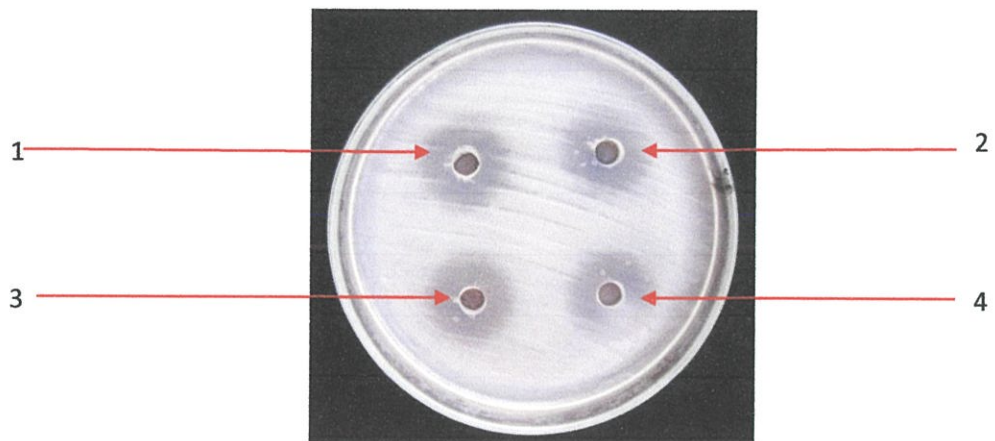


(a)

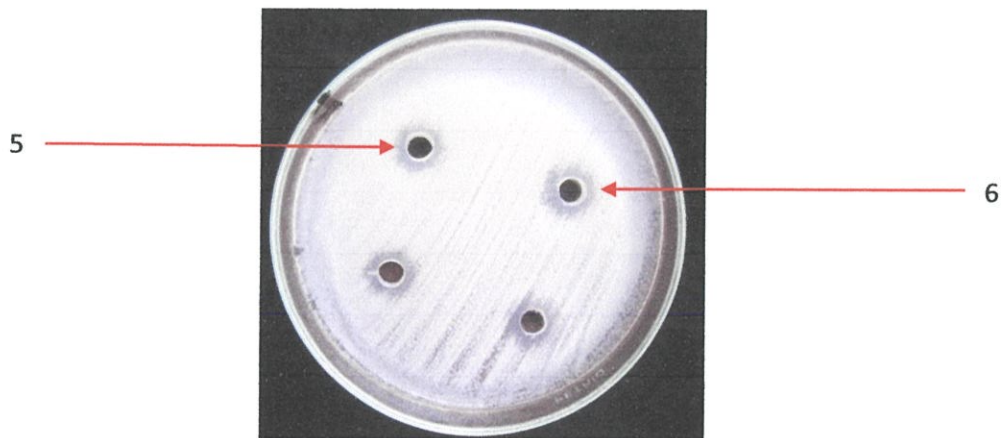


(b)

รูปที่ 4.3 พื้นที่ต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่เตรียมได้จากสภาวะต่าง ๆ ในตารางที่ 4.2 (a) ตัวอย่างที่ 1-4 (b) ตัวอย่างที่ 5-6



(a)



(b)

รูปที่ 4.4 พื้นที่ต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่เตรียมได้จากสภาวะต่าง ๆ ในตารางที่ 4.2 (a) ตัวอย่างที่ 1-4 (b) ตัวอย่างที่ 5-6

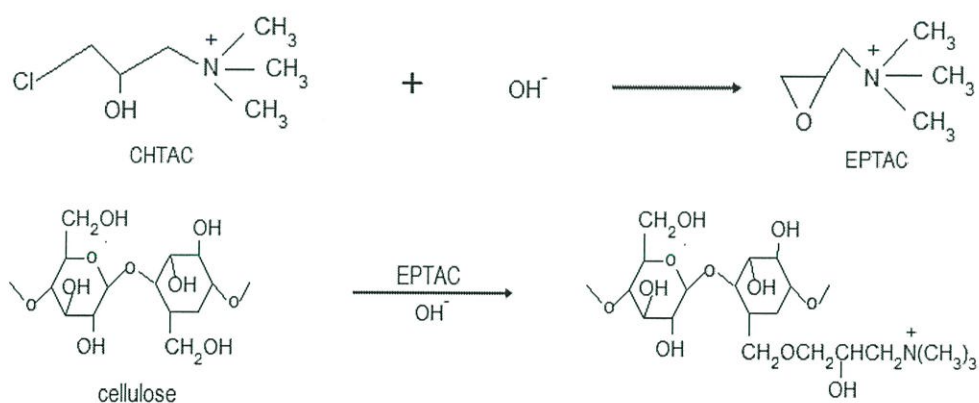
จากตารางที่ 4.2 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวก (*Bacillus subtilis*) และแกรมลบ (*Escherichia coli*) ของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ในสภาวะต่าง ๆ พบว่าอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ใกล้เคียงกัน โดยขนาดพื้นที่ของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

แกรมบวมมีค่าเฉลี่ย 7.7 มิลลิเมตร และขนาดพื้นที่ของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวมมีค่าเฉลี่ย 8.4 มิลลิเมตร

## 4.2 ปฏิกริยาการทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก

โดยปกติผ้าฝ้ายธรรมชาติมักจะมีการยึดติดกับสารปรับปรุงสมบัติและสารปรับแต่งสมบัติต่าง ๆ ได้ไม่ตึงนัก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้ผ้าฝ้ายมีประจุบวก เพื่อให้เกิดการยึดติดสารเคลือบผิวในขั้นตอนถัดไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวผ้าฝ้ายด้วยการแช่ผ้าฝ้ายในสารละลายผสมระหว่าง (3-chloro-2-hydroxypropyl)trimethylammonium chloride solution (CHTAC) กับ NaOH เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวผ้าฝ้ายดังปฏิกริยาที่แสดงในรูป 4.5

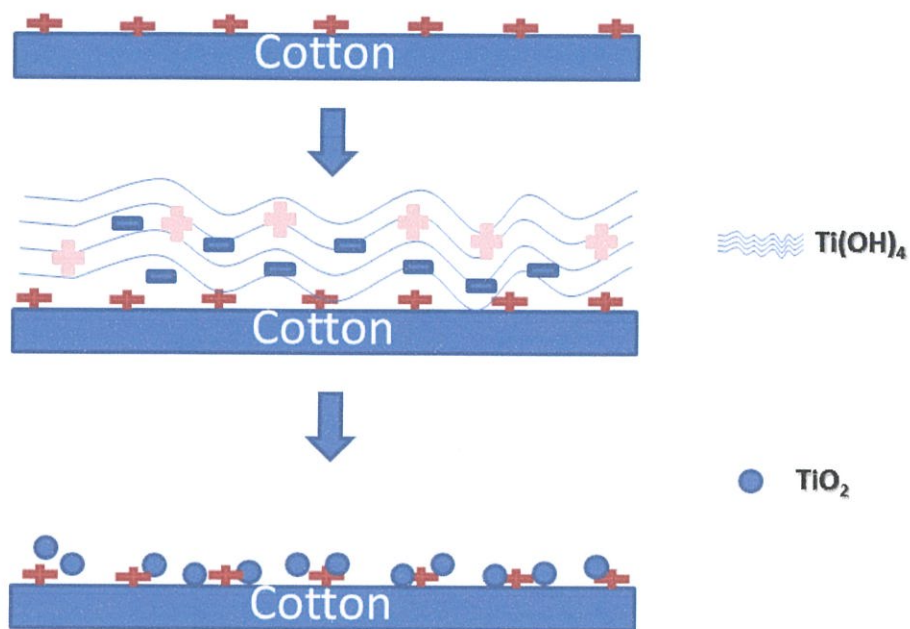
โดย CHTAC จะไปทำปฏิกริยากับ  $\text{OH}^-$  จาก NaOH ได้เป็น 2,3-epoxy propyl trimethylammonium chloride (EPTAC) จากนั้น EPTAC จะทำปฏิกริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของเซลลูโลส ได้หมู่ฟังก์ชันที่มีประจุบวกเกาะอยู่บนโครงสร้างของเซลลูโลสดังแสดงในสมการ



รูปที่ 4.5 สมการเคมีของปฏิกริยาการทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก

### 4.2.1 การตรึงอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> บนผ้าฝ้าย

เมื่อนำผ้าฝ้ายที่มีประจุบวกบนพื้นผิวมาเคลือบด้วยสารละลาย TiO<sub>2</sub> Sol ไอออนของ Ti(OH)<sub>4</sub> จะเข้าไปเกาะบนพื้นผิวผ้าฝ้ายกลายเป็นอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ก่อตัวอยู่บนเส้นใยของผ้าโดยการทำปฏิกริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ทำให้เกิดปฏิกริยาไฮโดรลิซิส ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 4.6

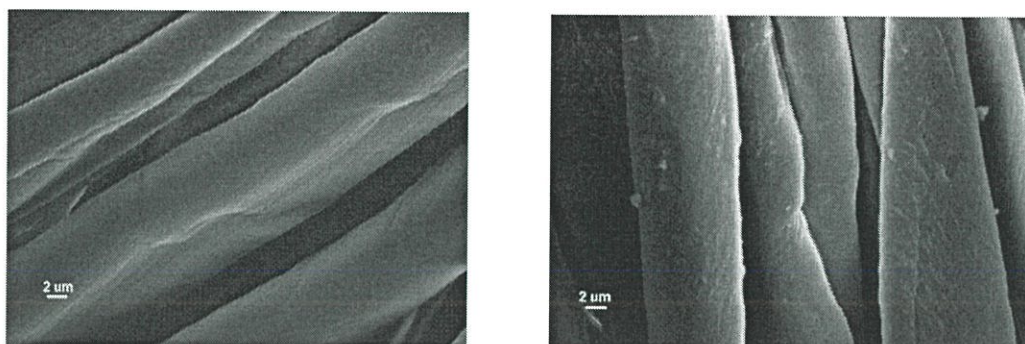


รูปที่ 4.6 ภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวผ้าฝ้ายในกระบวนการตรึงอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub>

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะที่นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวในขั้นตอนต่าง ๆ ไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่สภาวะเบสและน้ำกลั่น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในสมการต่อไปนี้



ลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวก่อนการตรึงอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> จากภาพ SEM จะเห็นได้ว่าผ้าฝ้ายเริ่มต้น (Cotton) และผ้าที่ผ่านการทำพื้นผิวให้มีประจุบวก (Cat-Cotton) จะมีพื้นผิวที่มีลักษณะเป็นลอนคลื่นดังแสดงในรูปที่ 4.7



(a)

(b)

รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายเริ่มต้น (a) และผ้าที่ผ่านการทำให้มีประจุบวก (b)

เมื่อนำผ้าฝ้ายที่มีประจุบวกมาทำการตรึงอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> โดยปัจจัยศึกษาสถานะในการตรึงอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> มีดังนี้

- กระบวนการสังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> บนพื้นผิวผ้า
- สภาพของสารละลายไฮโดรเทอร์มอลที่ใช้ในการปลูกผลึก Nano-TiO<sub>2</sub> ลงบนผิวผ้า
- ระยะเวลาในการทำไฮโดรเทอร์มอล

#### 4.2.2 ผลของการปรับเปลี่ยนสถานะในการสังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ลงบนผ้าฝ้ายโดยใช้ระบบไฮโดรเทอร์มอล

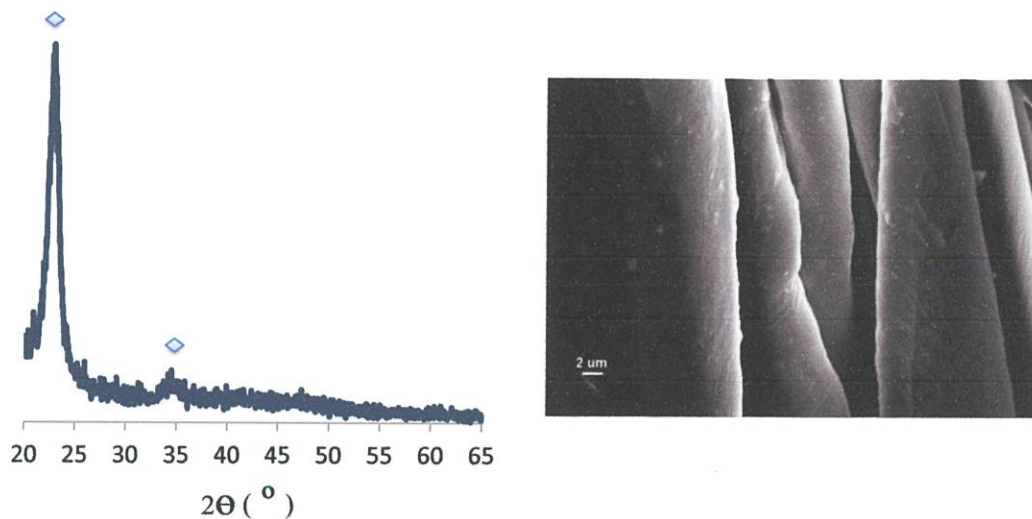
ในการศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนกระบวนการสังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> โดยแบ่งออกเป็นกระบวนการชุบเคลือบและกระบวนการหยดเคลือบ จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนสถานะของสารละลายที่ใช้ในระบบไฮโดรเทอร์มอล ต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนเส้นใยผ้าโดยใช้น้ำและแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 M เป็นสารละลายภายในระบบไฮโดรเทอร์มอล และการศึกษาการปรับเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในระบบไฮโดรเทอร์มอล ต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนเส้นใยผ้าโดยใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์ 1 และ 24 ชั่วโมง หลักการจำแนกกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนเส้นใยผ้าและสถานะที่เปลี่ยนแปลงแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงการจำแนกตัวอย่างที่ได้จากการปรับเปลี่ยนกระบวนการสังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ลงบนเส้นใยผ้าภายใต้สภาวะต่าง ๆ

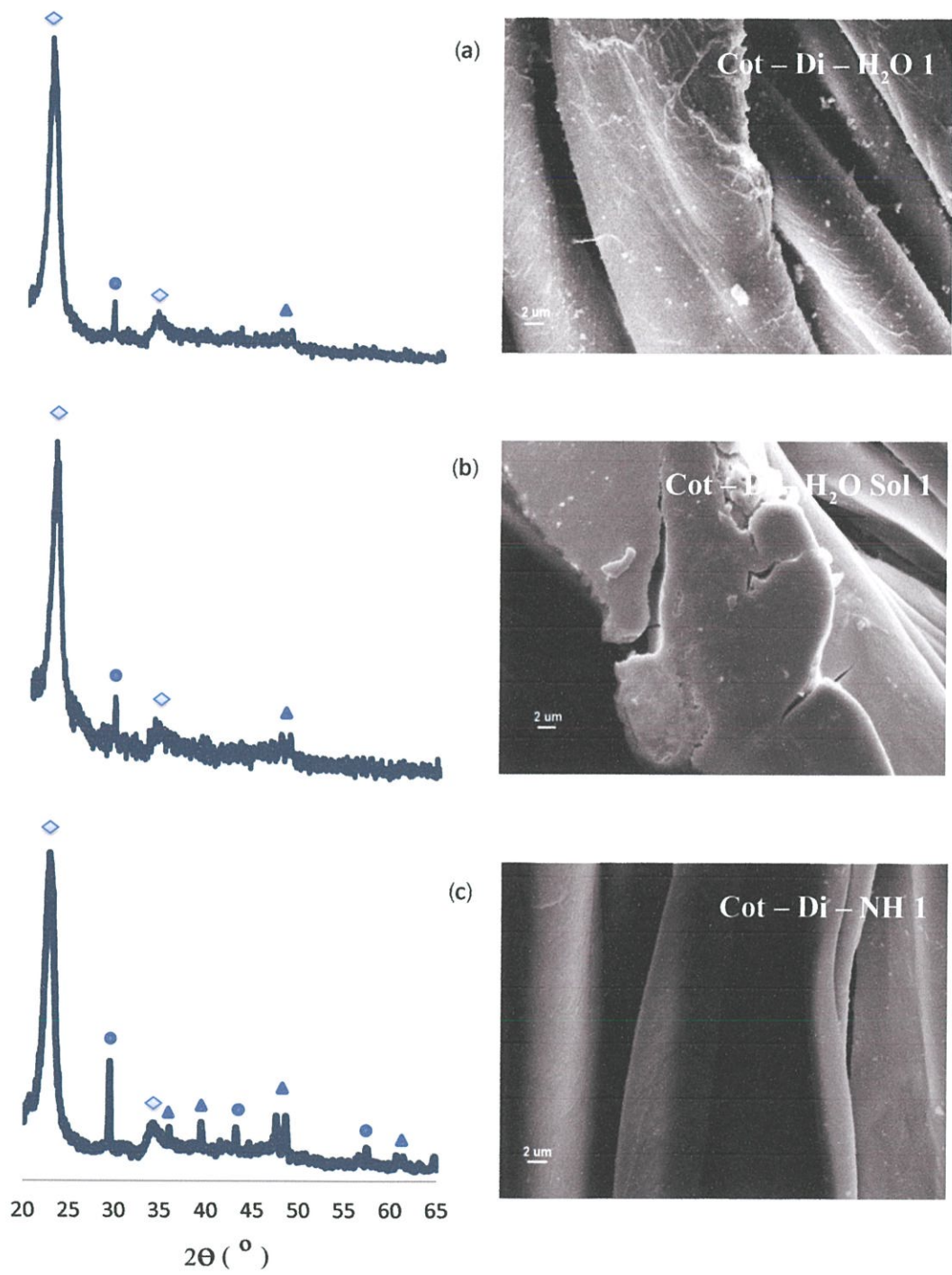
ลำดับ ที่	ชื่อตัวอย่าง	กระบวนการ สังเคราะห์	สารละลายไฮโดรเทอร์มอล	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1	Cot – Dr – H <sub>2</sub> O 1	Drop (หยดเคลือบ)	H <sub>2</sub> O	1 hr
2	Cot – Dr – H <sub>2</sub> O Sol 1		H <sub>2</sub> O+Sol TiO <sub>2</sub> *	1 hr
3	Cot – Dr – H <sub>2</sub> O 24		H <sub>2</sub> O	24 hr
4	Cot – Dr – H <sub>2</sub> O Sol 24		H <sub>2</sub> O+Sol TiO <sub>2</sub>	24 hr
5	Cot – Dr – NH 1		NH <sub>4</sub> OH	1 hr
6	Cot – Dr – NH Sol 1		NH <sub>4</sub> OH+Sol TiO <sub>2</sub>	1 hr
7	Cot – Dr – NH 24		NH <sub>4</sub> OH	24 hr
8	Cot – Dr – NH Sol 24		NH <sub>4</sub> OH+Sol TiO <sub>2</sub>	24 hr
9	Cot – Di – H <sub>2</sub> O 1	Dip (ชุบเคลือบ)	H <sub>2</sub> O	1 hr
10	Cot – Di – H <sub>2</sub> O Sol 1		H <sub>2</sub> O+Sol TiO <sub>2</sub>	1 hr
11	Cot – Di – H <sub>2</sub> O 24		H <sub>2</sub> O	24 hr
12	Cot – Di – H <sub>2</sub> O Sol 24		H <sub>2</sub> O+Sol TiO <sub>2</sub>	24 hr
13	Cot – Di – NH 1		NH <sub>4</sub> OH	1 hr
14	Cot – Di – NH Sol 1		NH <sub>4</sub> OH+Sol TiO <sub>2</sub>	1 hr
15	Cot – Di – NH 24		NH <sub>4</sub> OH	24 hr
16	Cot – Di – NH Sol 24		NH <sub>4</sub> OH+Sol TiO <sub>2</sub>	24 hr

\* Sol TiO<sub>2</sub> หมายถึง สารละลายผสมไททานเนียม ไดออกไซด์ที่เตรียมได้และใช้สำหรับเป็น  
สารละลายในกระบวนการชุบเคลือบและหยดเคลือบ

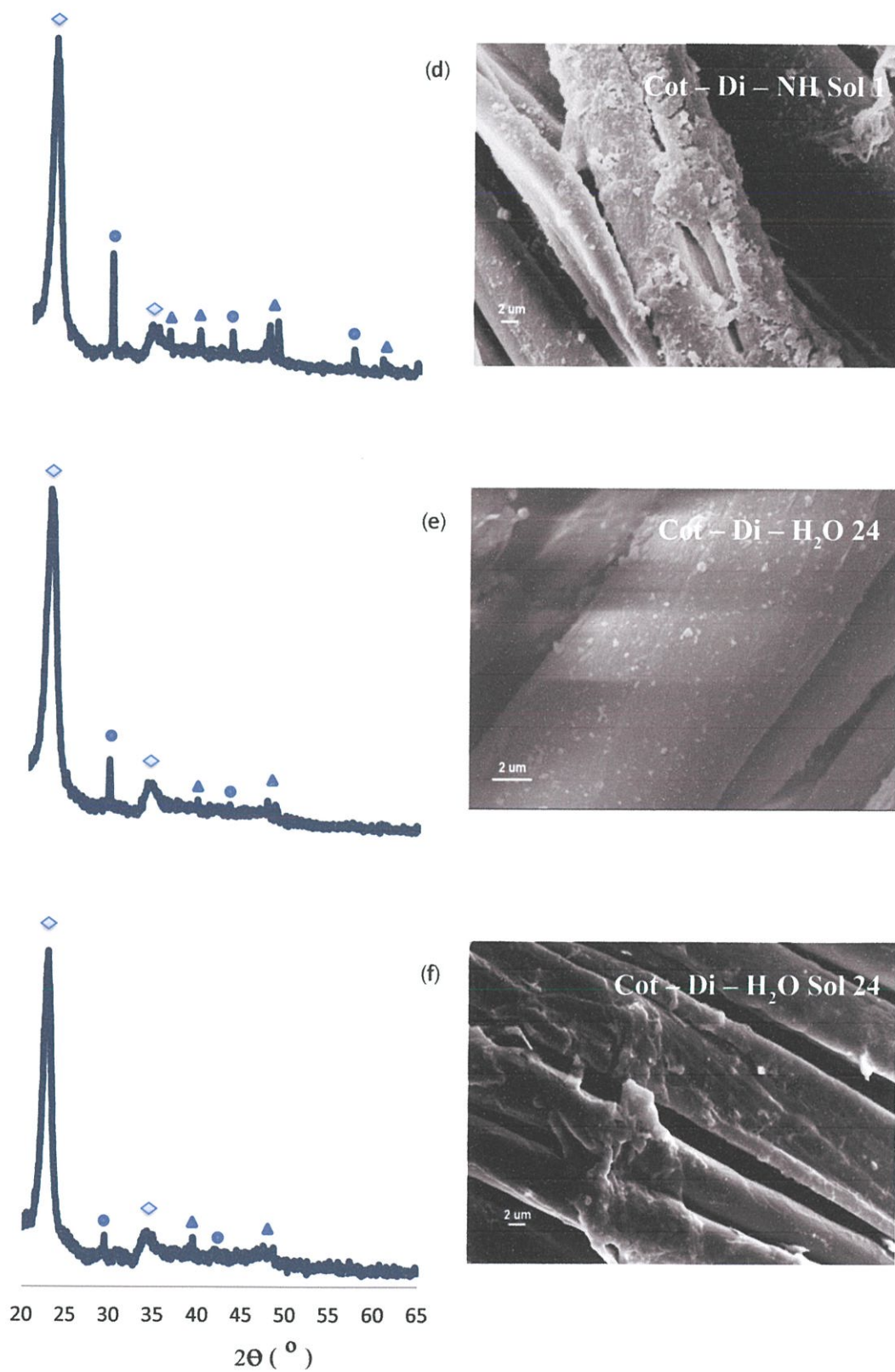
เมื่อนำผ้าฝ้ายตัวอย่างไปทดสอบในสภาวะต่างๆแล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ข้อมูลที่ได้สามารถบอกได้ว่ามีอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> เกิดขึ้นจริงบนพื้นผ้าฝ้ายสังเกตได้จากพีกต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกราฟ XRD เมื่อทำการเปรียบเทียบกับพีกของผ้าเปล่าที่มีค่า  $2\theta = 22.5^{\circ}$  และ  $34.7^{\circ}$  พบว่ามีพีกของไททาเนียมไดออกไซด์ปรากฏอยู่ในทุกสภาวะของการทำไฮโดรเทอร์มอลดังแสดงในรูปที่ 4.8 แล้วนำตัวอย่างผ้าไปทำการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วย SEM เพื่อดูลักษณะของเส้นใยผ้าที่ผ่านการสังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ลงบนเส้นใยผ้าเพื่อเทียบกับลักษณะของผ้าเปล่าเพื่อดูลักษณะของผ้าที่เปลี่ยนแปลงไปโดยแยกกระบวนการออกเป็น 2 กระบวนการที่สังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> โดยอยู่ภายใต้สภาวะต่าง ๆ ซึ่งแบ่งเป็นกระบวนการชุบเคลือบดังแสดงในรูปที่ 4.9 (a) - (h) และกระบวนการหยดเคลือบดังแสดงในรูปที่ 4.10 (a) - (h)



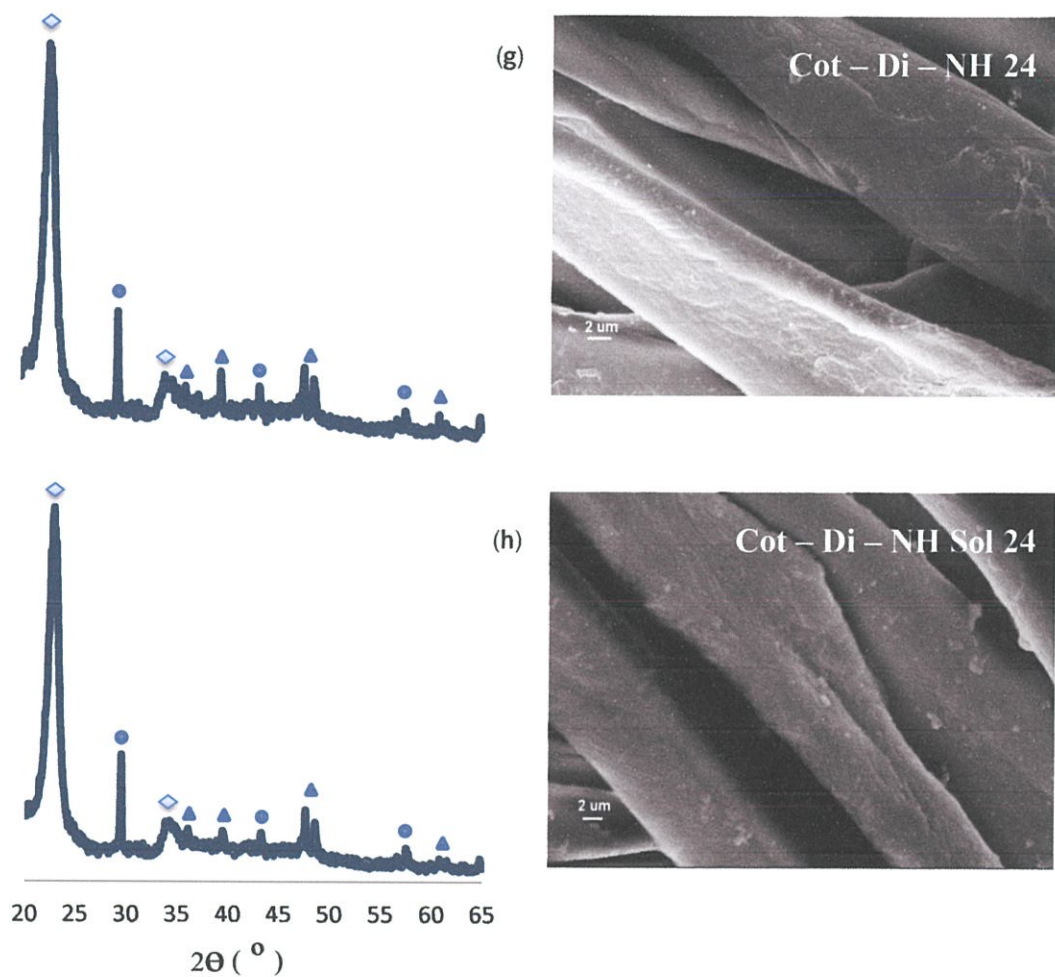
รูปที่ 4.8 ลักษณะของสัณฐานวิทยาและผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของผ้า cotton ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวให้มีประจุบวก (  $\diamond$  cotton )



รูปที่ 4.9 (a)–(h) ลักษณะของสัณฐานวิทยาและผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยผ้าที่ผ่านกระบวนการชุบเคลือบ (  $\diamond$  cotton  $\blacktriangle$  Anatas  $\bullet$  Rutile )



รูปที่ 4.9 (a) – (h) (ต่อ)

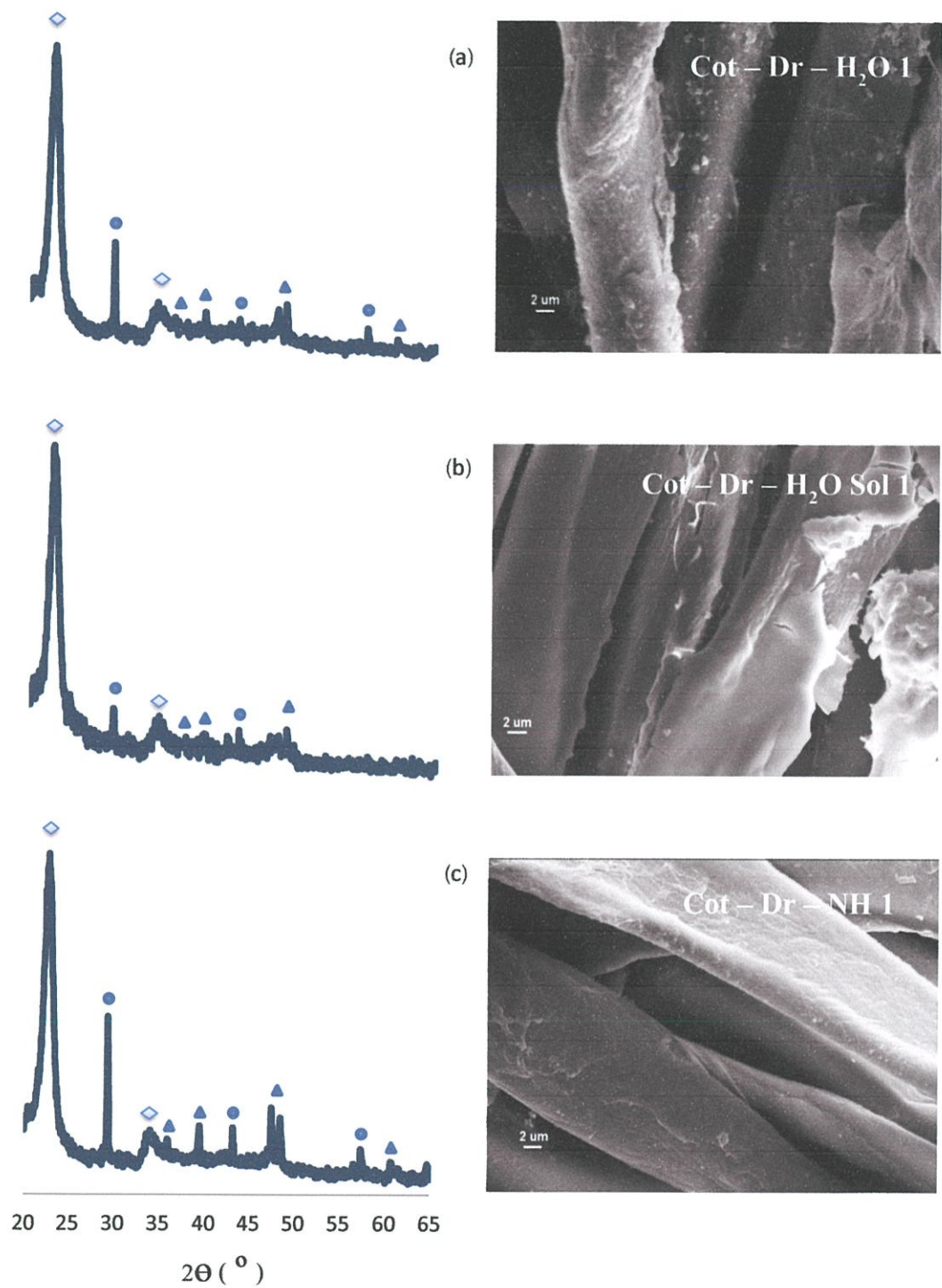


รูปที่ 4.9 (a) – (h) (ต่อ)

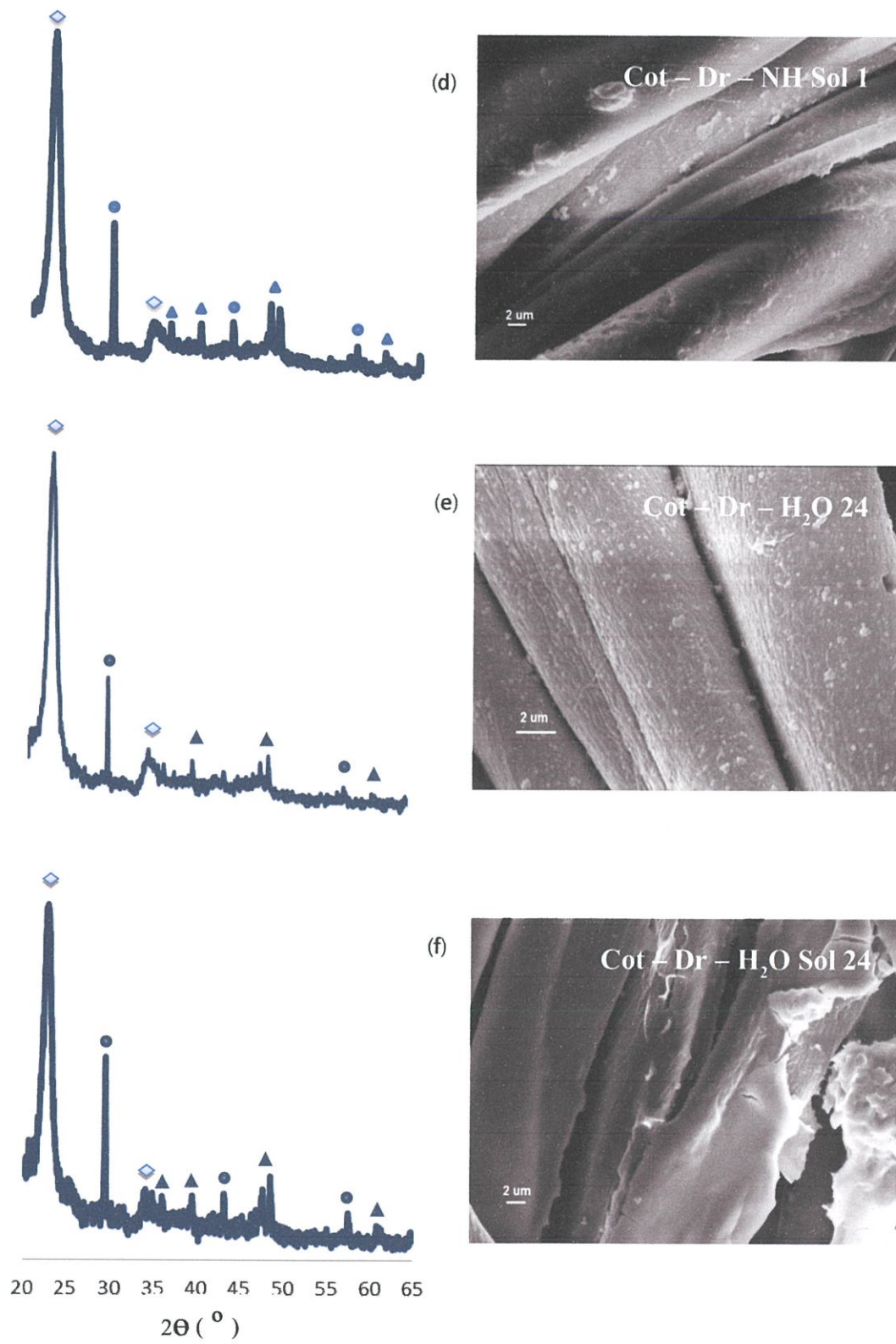
จากการศึกษาการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วย SEM เพื่อคุณลักษณะของเส้นใยผ้าที่ผ่านการสังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ลงบนเส้นใยผ้าโดยการชุบเคลือบ โดยใช้ น้ำกลั่น และ น้ำกลั่นผสม TiO<sub>2</sub>- sol ในระบบไฮโดรเทอร์มอล เมื่อนำผ้าที่ผ่านการเคลือบมาเปรียบเทียบกับลักษณะของผ้าเปล่า ผลที่ได้จะเห็นอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> เคลือบอยู่บนผิวผ้า และยังเห็นรอยแตกที่มีลักษณะคล้ายรอยแตกร้าวของเซรามิกและในบางบริเวณของพื้นผิวเส้นใยจะพบอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> กระจายตัวเกาะอยู่ทั่วบริเวณพื้นผิวของเส้นใยผ้าสามารถยืนยันได้ว่ามีอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> เคลือบอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยจริง โดยตำแหน่งของพีกที่ได้จากแผนภาพ XRD รูปที่ 4.9 (a)-(b),(e)-(f) สามารถบ่งบอกได้ถึงโครงสร้างของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่เกิดขึ้นได้ 2 โครงสร้าง คือ รูไทล์ ที่ 2θ = 27.244°

และอนาเทส ที่  $2\theta = 38.570^\circ$   $47.87^\circ$  และที่เวลา 24 ชั่วโมงจะทำให้อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> สามารถเคลือบพื้นผิวผ้าได้ดียิ่งขึ้น

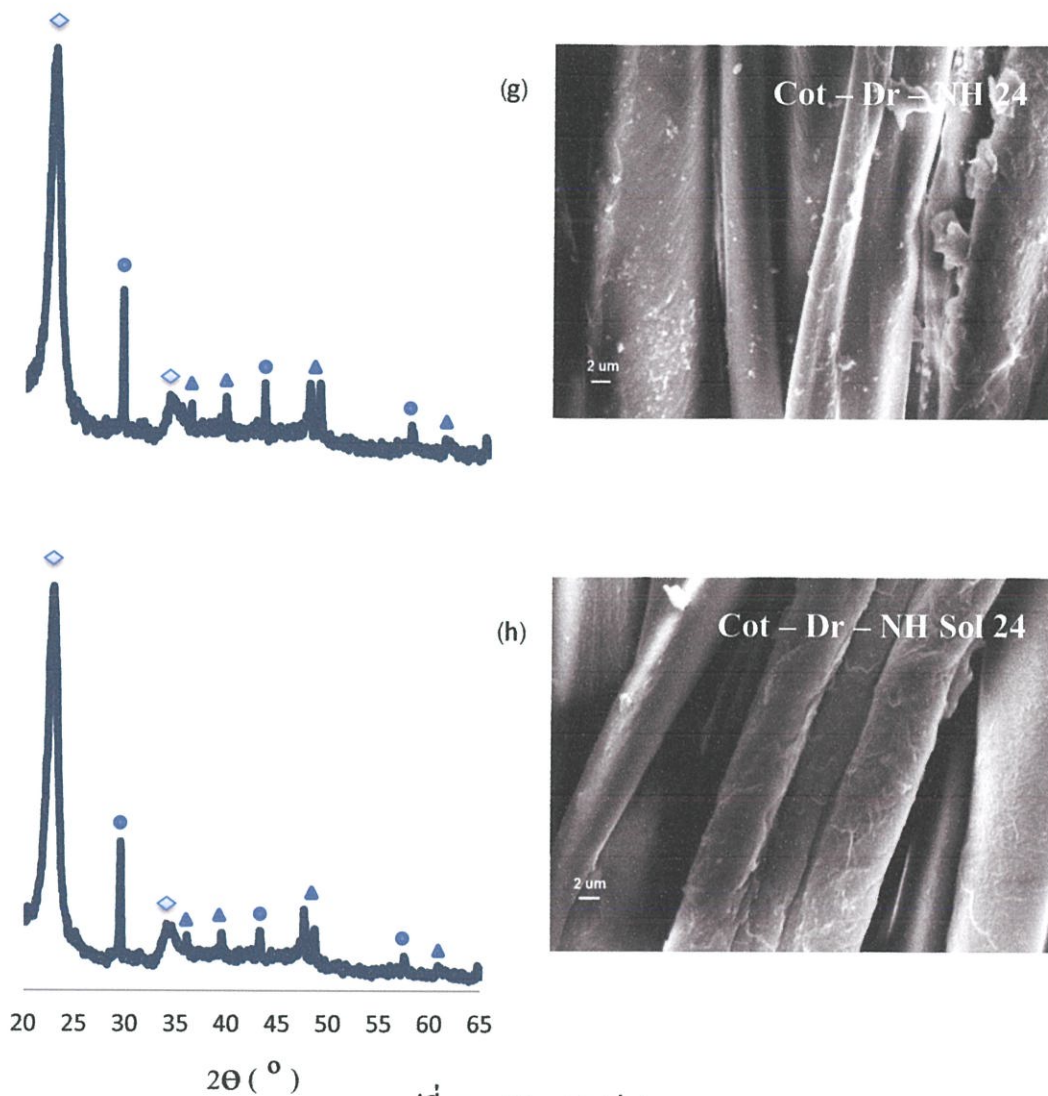
ทำการปรับเปลี่ยนสารละลายในระบบไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้สารละลาย NH<sub>4</sub>OH และสารละลาย NH<sub>4</sub>OH ผสม TiO<sub>2</sub>- sol จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพบว่ามีความคล้ายคลึงกับการชุบเคลือบที่ใช้น้ำในระบบไฮโดรเทอร์มอล แต่จะมีการกระจายตัวของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> บนพื้นผิวผ้าน้อยกว่าในน้ำ ซึ่งจากแผนภาพ XRD รูปที่ 4.9 (c)-(d), (g)-(h) จะพบตำแหน่งพีกของโครงสร้างรูไทล์ที่  $2\theta = 27.244^\circ$   $43.725^\circ$   $56.202^\circ$  และโครงสร้างอนาเทสที่  $2\theta = 38.570^\circ$   $47.870^\circ$   $48.039^\circ$   $62.112^\circ$  ซึ่งมีสัญญาณของพีกเอกลักษณ์ของรูไทล์และอนาเทสที่มีความชัดเจนมากกว่าในระบบสารละลายที่ใช้น้ำที่มีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ เนื่องจากถูกบดบังด้วยสัญญาณของพีกผ้า จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าในระบบสารละลายที่ใช้เบสจะมีปริมาณการก่อผลึกของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> บนผ้าที่มีปริมาณมากกว่าในระบบที่ใช้น้ำ



รูปที่ 4.10 (a)–(h) ลักษณะของสัณฐานวิทยาและผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการหยดเคลือบ ( ◆ cotton ▲ Anatase ● Rutile )



รูปที่ 4.10 (a) – (h) (ต่อ)



รูปที่ 4.10 (a) – (h) (ต่อ)

กระบวนการสังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ลงบนพื้นผิวผ้า ในกระบวนการหัดเคลือบ โดยใช้น้ำกลั่นและน้ำกลั่นผสม TiO<sub>2</sub>- sol ในระบบไฮโดรเทอร์มอล จากการวิเคราะห์หลักฐาน วิทยาพบว่าเกิดการก่อผลึกของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> เคลือบบนพื้นผิวของผ้า แต่ในน้ำที่ผสม TiO<sub>2</sub>- sol จะมีชั้นเคลือบที่หนากว่าในน้ำที่ไม่ได้ผสม TiO<sub>2</sub>- sol ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (a)-(b),(e)-(f) โดยมีการยืนยันการเคลือบของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> บนผิวผ้าจากแผนภาพ XRD รูปที่ 4.10 (a)-(b),(e)-(f) ซึ่งพบตำแหน่งพิกของรูไทล์ที่  $2\theta = 27.51^\circ$   $30.12^\circ$   $35.12^\circ$   $38.12^\circ$   $40.12^\circ$   $43.725^\circ$   $45.12^\circ$   $48.039^\circ$   $50.12^\circ$   $56.202^\circ$  และอนาเทสที่  $2\theta = 47.87^\circ$   $48.039^\circ$   $62.112^\circ$

ทำการปรับเปลี่ยนสารละลายในระบบไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้สารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  และสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  ผสม  $\text{TiO}_2$ - sol จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพบการเคลือบของอนุภาค  $\text{Nano-TiO}_2$  ที่บริเวณเส้นใยผ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (c)-(d), (g)-(h) และเมื่อวิเคราะห์จากแผนภาพ XRD รูปที่ 4.10 (c)-(d), (g)-(h) จะพบตำแหน่งพีกของรูไทล์ที่  $2\theta = 27.51^\circ$   $43.725^\circ$   $56.202^\circ$  และอนาเทสที่  $2\theta = 38.570^\circ$   $47.870^\circ$   $48.039^\circ$   $62.112^\circ$  ซึ่งพบว่าพีกมีความชัดเจนมากขึ้นกว่าในระบบที่ใช้น้ำ จึงสามารถสันนิษฐานได้ถึงปริมาณการก่อผลึกของอนุภาค  $\text{Nano-TiO}_2$  ที่เพิ่มขึ้น

ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในกระบวนการสังเคราะห์อนุภาค  $\text{Nano-TiO}_2$  ลงบนพื้นผิวผ้าโดยกระบวนการหยดเคลือบ เมื่อให้เวลาในการทำไฮโดรเทอร์มอลเพิ่มขึ้นกลับไม่พบเห็นความเปลี่ยนแปลงปริมาณของอนุภาค  $\text{Nano-TiO}_2$  ที่เคลือบอยู่บนเส้นใยผ้าได้อย่างชัดเจน

จากการวิเคราะห์สภาวะของกระบวนการสังเคราะห์อนุภาค  $\text{Nano-TiO}_2$  ลงบนพื้นผิวผ้าในกระบวนการชุบเคลือบและหยดเคลือบ จากการเปรียบเทียบจากรูป SEM สามารถเห็นถึงความแตกต่างได้ว่ากระบวนการหยดเคลือบมีการปริมาณอนุภาค  $\text{Nano-TiO}_2$  ที่มากกว่าวิธีการชุบเคลือบเนื่องจากวิธีการหยดเคลือบของการบังคับให้สารตั้งต้นไปเกาะอยู่บนผิวผ้าในปริมาณมากเกินพอ เพราะฉะนั้นเมื่อนำไปปลูกผลึกจะมีปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นชัดเจนกว่าวิธีการชุบเคลือบ แต่อย่างไรก็ตามสันนิษฐานได้ว่าผลึกที่เกิดขึ้นเกิดการยึดเกาะตัวกับเส้นใยทางเคมีบนพื้นผิวร่วมกับการยึดเกาะเชิงกายภาพ ซึ่งในกรณีการชุบเคลือบจะมีการยึดเกาะด้วยแรงเชิงประจุเท่านั้น เมื่อนำไปปลูกผลึกจึงมีการยึดเกาะทางเคมีเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยกว่าวิธีการหยดเคลือบ

แต่ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD และ SEM ยังคงไม่สามารถบ่งบอกได้ว่ามีปริมาณของอนุภาค  $\text{Nano-TiO}_2$  นั้นมีอยู่บนพื้นผิวผ้าได้มากน้อยเท่าใด จึงได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของอนุภาค  $\text{Nano-TiO}_2$  ด้วยเทคนิค XRF แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของผ้าตัวอย่างและอัตราส่วนโดยโมลของ  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$

ลำดับ ที่	ชื่อตัวอย่าง	กระบวนการ สังเคราะห์	องค์ประกอบทางเคมี (wt%)			อัตราส่วนโดยโมล $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$
			$\text{TiO}_2$	ZnO	อื่นๆ	
1	Cot – Dr – $\text{H}_2\text{O}$ 1	Drop (หยดเคลือบ)	1.46%	39.9%	58.64	0.0373
2	Cot – Dr – $\text{H}_2\text{O}$ Sol 1		3.47%	38.9%	57.63	0.0908
3	Cot – Dr – $\text{H}_2\text{O}$ 24		0.972%	34.0%	65.03	0.0292
4	Cot – Dr – $\text{H}_2\text{O}$ Sol 24		5.14%	38.7%	56.16	0.1329
5	Cot – Dr – NH 1		0.912%	41.0%	58.09	0.0226
6	Cot – Dr – NH Sol 1		6.28%	32.9%	60.82	0.1945
7	Cot – Dr – NH 24		1.21%	41.1%	57.69	0.0299
8	Cot – Dr – NH Sol 24		5.22%	36.5%	58.28	0.1456
9	Cot – Di – $\text{H}_2\text{O}$ 1	Dip (ชุบเคลือบ)	1.08%	40.2%	58.72	0.0273
10	Cot – Di – $\text{H}_2\text{O}$ Sol 1		3.57%	36.2%	60.23	0.1005
11	Cot – Di – $\text{H}_2\text{O}$ 24		0.879%	40.5%	58.62	0.0221
12	Cot – Di – $\text{H}_2\text{O}$ Sol 24		3.98%	40.0%	56.02	0.1352
13	Cot – Di – NH 1		0.762%	42.7%	56.538	0.0181
14	Cot – Di – NH Sol 1		3.52%	37.0%	59.48	0.0968
15	Cot – Di – NH 24		2.20%	29.9%	67.90	0.0749
16	Cot – Di – NH Sol 24		2.78%	36.6%	56.62	0.1888

จากตารางที่ 4.4 ค่าของอัตราส่วนโดยโมล  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  เพื่อดูปริมาณของอนุภาค Nano- $\text{TiO}_2$  ในตัวอย่างผ้าที่เตรียมได้ในทุกๆสภาวะ จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อปรับเปลี่ยนสารละลายในการทำไฮโดรเทอร์มอลจากน้ำกลั่นไปเป็นสารละลายเบส ระยะเวลาในการทำไฮโดรเทอร์มอลที่เพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมงเป็น 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณของอนุภาค Nano- $\text{TiO}_2$  ที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลจากภาพ SEM ที่ไม่สามารถเห็นความแตกต่างของปริมาณอนุภาค Nano- $\text{TiO}_2$  ได้อย่างชัดเจนและในกระบวนการหยดเคลือบจะมีแนวโน้มของอัตราส่วนโดยโมล

TiO<sub>2</sub>/ZnO อยู่ในช่วงระหว่าง 0.02-0.19 ซึ่งมีช่วงระหว่างของปริมาณอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่มากกว่ากระบวนการหยดเคลือบที่มีปริมาณอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> อยู่ในช่วงระหว่าง 0.02 – 0.18

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF นั้นเป็นตัวช่วยยืนยันการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD และ SEM บอกถึงอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> บนพื้นผิวผ้าอีกวิธีหนึ่ง ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ทั้ง 3 ขั้นตอน คือ สามารถบ่งบอกได้ว่าในตัวอย่างผ้ามีการเคลือบด้วยอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> อยู่บริเวณพื้นผิวของเส้นใย ซึ่งกระบวนการหยดเคลือบจะมีประสิทธิภาพในการเกาะของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่ดีกว่ากระบวนการชุบเคลือบ

จากการทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวก (*Bacillus subtilis*) และแกรมลบ (*Escherichia coli*) ของผ้าตัวอย่างที่สภาวะต่างๆ ไม่เกิดพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น บริเวณตัวอย่างผ้าที่นำไปทดสอบอาจจะมึปริมาณตัวอย่างไททาเนียมไดออกไซด์ที่นำไปทดสอบเกิดการเกาะตัวอยู่ในปริมาณน้อยและไม่สม่ำเสมอจึงไม่ส่งผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และอีกสาเหตุหนึ่งเนื่องจากผ้าไม่มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เมื่อทำการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย สารละลายเชื้อจะถูกดูดซับอยู่บนผ้าตัวอย่างในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ไม่สามารถมองเห็นการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ได้อย่างชัดเจน

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 การสังเคราะห์อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub>

- การปรับเปลี่ยนสารละลายภายในระบบและระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอล ในระบบสารละลายเบสที่ระยะเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง จะมีโครงสร้างผลึกของรูไทล์และอนาเทสที่มีความชัดเจนและมีค่าเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสีของสารละลายเมทิลีนบลูที่สูงกว่าในระบบสารละลายน้ำกลั่นที่ระยะเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง แต่อนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ของทั้ง 2 ระบบมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน

##### 5.1.2 การตรึงอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> บนผ้าฝ้าย

- การปรับปรุงพื้นผิวผ้าฝ้ายทำให้ผ้าฝ้ายมีประจุบวก เมื่อนำไปเคลือบด้วยสารละลาย Ti(OH)<sub>4</sub> เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลจะก่อให้เกิดอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ตรึงอยู่บนพื้นผิวผ้าฝ้าย
- การปรับเปลี่ยนกระบวนการตรึงอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ลงบนผ้าฝ้าย ในกระบวนการหยดเคลือบจะมีการเคลือบของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่ยึดติดบนเส้นใยผ้าได้ดีสามารถมองเห็นสีฐานวิทยาของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่เคลือบยึดติดกับเส้นใยได้ชัดเจนกว่ากระบวนการชุบเคลือบ
- การปรับเปลี่ยนสารละลายภายในระบบและระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอล ในระบบสารละลายเบสและเบสที่มีการผสม TiO<sub>2</sub> - nano sol ที่ในระยะเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณพีคของโครงสร้างผลึกรูไทล์และอนาเทสเกิดเพิ่มขึ้น มีความสูงของพีกรูไทล์ที่สูงขึ้นกว่าในสารละลายระบบน้ำกลั่นและน้ำกลั่นที่มีการผสม TiO<sub>2</sub> - nano sol ที่ในระยะเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง เมื่อตรวจวัดด้วยเทคนิค XRF พบว่ามีปริมาณอัตราส่วนโดยโมลของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ที่ใกล้เคียงกัน แต่ในระบบที่มีการผสม TiO<sub>2</sub> - nano sol ลงไป จะมีปริมาณอัตราส่วนโดยโมลที่มากกว่าในระบบสารละลายที่ไม่เติม TiO<sub>2</sub> - nano sol

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการตรึงอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub> ลงบนผ้าจากเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ เช่นผ้าไหม ผ้าลินิน เป็นต้น
2. ปรับเปลี่ยนกรดที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโซล-เจล เช่น กรดแอซติก กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น
3. ปรับเปลี่ยนสารละลายภายในระบบไฮโดรเทอร์มอล เช่น เอทานอล
4. ทำการทดสอบด้วยเทคนิคอื่นๆ เช่น การหาปริมาณอนุภาคด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (AAS)

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Kiagus Dahlan, Setia Utami Dewi, Ai Nurlaila, Djarwani Soejokom. "Synthesis and Characterization of Calcium Phosphate/Chitosan Composites" International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS Vol: 12 No: 01
- [2] "ผ้าชุดปฏิบัติการกันน้ำกันน้ำมัน" สืบค้นจาก: <http://www.ttp.com.th/Anti-Bacteria.html>  
[19 ตุลาคม 2556]
- [3] Ana Paula Serafini Immich, Pedro Henrique Hermes de Araújo, Luiz Henrique Catalani, Selene M. A. Guelli Ulson de Souza<sup>1</sup>, Antônio Augusto Ulson de Souza<sup>1</sup> "Coating of cotton yarn with poly(vinyl alcohol) and poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) crosslinked via ultraviolet radiation" Journal of Applied Polymer Science Volume 119, Issue 5, pages 2560 – 2567  
สืบค้นจาก: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.32980/full> [19 ตุลาคม 2556]
- [4] Zou, H.; Wu, S.; Shen, J. "Polymer/silica nanocomposites: Preparation, characterization, properties, and applications." Chem. Rev. 2008, 108, 3893–3957
- [5] J. M.Kohlera, L. Abahmanea, J. Wagnera, J. Albertb and G. Mayerb. "Preparation of metal nanoparticles with varied composition for catalytic applications in microreactors" Chemical Engineering Science vol. 63, 2008, pp. 5048-5055.
- [6] Boffetta P, Gaborieau V, Nadon L, Parent M-E, Weiderpass E, Siemiatycki J. (2001). "Exposure to titanium dioxide and risk of lung cancer in a population-based study from Montreal" Scand. J. Work Environ. Health 27:227-232
- [5] สุพิณ แสงสุข, (2550) "ไททาเนียมไดออกไซด์", นักวิจัยสถาบันวิจัยโลหะวัสดุและฐานการจัดการความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สนับสนุนโดย สกว.)  
สืบค้นจาก: <http://161.200.134.28/News-Detail.asp?TID=5&ID=3> [10 ตุลาคม 2556]
- [7] "Titanium" สืบค้นจาก: [www.en.wikipedia.org/wiki/titanium](http://www.en.wikipedia.org/wiki/titanium) [15 ตุลาคม 2556]
- [8] อัครวัตติ ศิริสุข และ ปิยะสาร ประเสริฐธรรม, "โครงการสมบัติและการประยุกต์ใช้ของฟิล์มบางของไททาเนียมไดออกไซด์", ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2552.

- [9] ชัชวาล สุขมัน, วารินดา ฐูแจ้งแรง และ จิราพรรณ ใจสมุทร, 2552. “Effect of Concentration on Titania Physical Properties”, RMUTK Engineering Journal Vol.1No.1, 16-19 August.
- [10] Dr. Akira Fujishima และคณะ. “Titanium dioxide photocatalysis fundamental and applications” สืบค้นจาก: บทความวิทยุกระจายเสียงรายการสาระยามบ่ายครั้งที่ 22 มิถุนายน 2545 [19 ตุลาคม 2556]
- [11] ชลดา ชีรการณวงศ์. “วัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์: การสังเคราะห์ โครงสร้าง และการประยุกต์ใช้” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม – มีนาคม 2555
- [12] National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), “Apatite/TiO<sub>2</sub> Photocatalyst for air purification and antibacterial/antimold/antifouling.” dated 26 February 2009 สืบค้นจาก: [http://www.aist.go.jp/aist\\_e/event/ev20033047/paint.html](http://www.aist.go.jp/aist_e/event/ev20033047/paint.html) [15 ตุลาคม 2556]
- [13] “Nanotechnology” สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้อ มหาวิทยาลัยมหิดล สืบค้นจาก: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit5-1.html> [10 ตุลาคม 2556]
- [14] “Textile Research and Development Unit” หน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาสิ่งทอ สืบค้นจาก: <http://www.mtec.or.th/laboratory/textiles/index.php/knowledge/18-fibers> [15 ตุลาคม 2556]
- [15] ผศ.ดร.อภิชาติ สนธิสมบัติ “สมบัติของเส้นใยสิ่งทอ” สืบค้นจาก: [www.en.rmutt.ac.th/prd/2013/Intro\\_cotton\\_flax\\_wool\\_silk.pdf](http://www.en.rmutt.ac.th/prd/2013/Intro_cotton_flax_wool_silk.pdf) [10 ตุลาคม 2556]
- [16] ผศ.ดร.ชเนษฎ์ ม้าลำพอง. “เส้นใยฝ้าย Cotton Fiber” พืชไรเพื่ออุตสาหกรรม II สืบค้นจาก: [agri.kps.ku.ac.th/agron/file/cottonfiber-indusii.pdf](http://agri.kps.ku.ac.th/agron/file/cottonfiber-indusii.pdf) [19 ตุลาคม 2556]
- [17] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และคณะ “เซลลูโลส” สืบค้นจาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0612/cellulose> [19 ตุลาคม 2556]
- [18] Ratchada Fongchaiya “สมบัติเส้นใย” สืบค้นจาก: <http://www.scribd.com/> Fiber [19 ตุลาคม 2556]
- [19] อ.ดร.ดรชณี พัทธวรกร “เทคโนโลยีสิ่งทอ (Textile technology)” เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สืบค้นจาก: [epg.science.cmu.ac.th/induschem/article-download.php?id=448](http://epg.science.cmu.ac.th/induschem/article-download.php?id=448) [19 ตุลาคม 2556]

[20] นางสาว ธนิตา นุญหล่อ “การดูรักษาผ้าและจัดเก็บ” คณะวิทยาการจัดการ สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา สืบค้นจาก: <http://www.cotton.bizdsign.com/page5.html>

[15 ตุลาคม 2556]

[21] “เส้นใย (Fibers)” หน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาสิ่งทอ

สืบค้นจาก: <http://www.mtec.or.th/laboratory/textiles/index.php/knowledge/18-fibers>

[15 ตุลาคม 2556]

[22] Chao-Hua Xue, Shun-Tian Jia, Hong-Zheng Chen and Wang “Superhydrophobic cotton fabrics prepared by sol-gel coating of TiO<sub>2</sub> and surface hydrophobization” College of Resource and Environment, Shaanxi University of Science and Technology, Xi’an, Science and technology of advanced materials, 1 September 2008

[23] K.T. Meilert, D.Laub, J. Kiwi “Photocatalytic self-cleaning of modified cotton textiles by TiO<sub>2</sub> clusters attached by chemical spacers” Laboratory of Photonics and Interface, Institute of Chemical Science and Engineering, Switzerland, Journal of Molecular Catalysis, 4 June 2005

[24] Kamal K Gupta, Manjeet Jassal & Ashwini K Agrawal “Sol – gel derived titanium dioxide finishing of cotton fabric for self cleaning” Department of Textile Technology, Indian Institute of Technology, New Delhi, India

[25] Walid A. Daoud, John H. Xin, Yi-He Zhang “Surface functionalization of cellulose fibers with titanium dioxide nanoparticles and their combined bactericidal activities” Nanotechnology Centre, ICT, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Hong Kong, 8 November 2005

[26] Wen – Jun Li, Er-wei-Zhuo, Zhi-Wen Yin “Growth mechanism and growth habit of oxide crystals” Shanghai Institute of Ceramic, Chinese Academy of Science, R&D Center, Jia Ding, Shanghai, China, 25 January 1999

[27] Fernando Gordillo Delgado, Katherine Villa Gomez, Claudia Mejia Morales “Titanium dioxide nanocrystalline bactericidal thin films grown by sol – gel technique” Optoelectronic Laboratory, Quindio University, Apo, Quindio, Colombia, 10 March 2008

[28] Chong Qiu Wenbo Zhang “Antibacterial property of titanium alkoxide/poplar wood composite prepared by sol-gel process” college of Material Science and Technology, Beijing Forestry University, Qinghua East Road, Beijing, china, 27 August 2012

[29] C. Su, C.-M. Tseng, L.-F. Chen, B.-H. You “Sol–hydrothermal preparation and photocatalysis of titanium dioxide” Institute of Organic and Polymeric Materials, National Taipei University of Technology, Taipei 106, Taiwan, 28 September 2005

[30] Sannz Naghibi, Mohammad Ali Faghihi Sani “Application of the statistical Taguchi method to optimize TiO<sub>2</sub> nanoparticles synthesis by the hydrothermal assisted sol-gel technique” Department of Materials Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, 26 August 2013

[31] นางสาววันดา เอี่ยมเผ่าจีน “การตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายโดยใช้พอลิไสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดพอลิอิเล็กโทรไลต์” วิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553

[32] A. Varesano, C. Vineis, A. Aluigi and F. Rombaldoni. “Antimicrobial polymers for textile products” CNR-ISMAL, Institute for Macromolecular Studies, National Research Council of Italy, Corso Giuseppe Pella 16, 13900 Biella, Italy

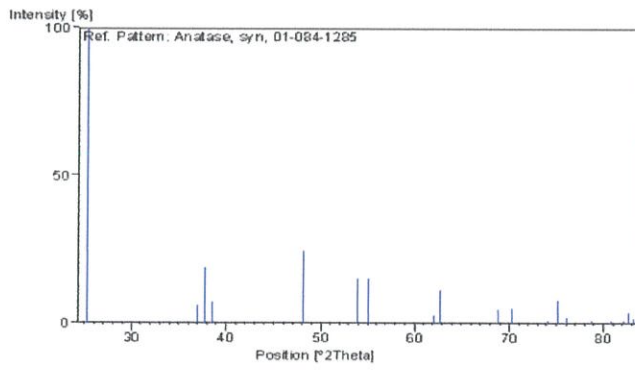
[33] St. Gobain Quartz “photocatalysis”

สืบค้นจาก: <http://www.davidonindustries.com/page.php/id/151> [25 มีนาคม 2557]

ภาคผนวก ก

ข้อมูลเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันแพทเทิร์น (XRD pattern) ของอนุภาค Nano-TiO<sub>2</sub>

### 1. ข้อมูลเอกลักษณ์แร่แพทเทิร์นของไททานเนียมไดออกไซด์มาตรฐาน (เฟสอนาเทส)

<p><b>Name and formula</b></p> <p>Reference code: 01-084-1285</p> <p>Mineral name: Anatase, syn</p> <p>ICSD name: Titanium Oxide</p> <p>Empirical formula: O<sub>2</sub>Ti</p> <p>Chemical formula: TiO<sub>2</sub></p> <p><b>Comments</b></p> <p>ICSD collection code: 202242</p>	<p><b>Subfiles and Quality</b></p> <p>Subfiles: Inorganic</p> <p>Mineral</p> <p>Alloy, metal or intermetallic</p> <p>Corrosion</p> <p>Modelled additional pattern</p> <p>Pharmaceutical</p> <p>Quality: Calculated (C)</p>																																																																																																																																												
<p><b>Crystallographic parameters</b></p> <p>Crystal system: Tetragonal</p> <p>Space group: I41/amd</p> <p>Space group number: 141</p> <p>a (Å): 3.7848</p> <p>b (Å): 3.7848</p> <p>c (Å): 9.5124</p> <p>Alpha (°): 90.0000</p> <p>Beta (°): 90.0000</p> <p>Gamma (°): 90.0000</p> <p>Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 3.89</p> <p>Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 136.26</p> <p>Z: 4.00</p> <p>RIR: 4.99</p>	<p><b>Peak list</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>h</th> <th>k</th> <th>l</th> <th>d [Å]</th> <th>2Theta[deg]</th> <th>I [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>3.51666</td><td>25.306</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>2.43056</td><td>36.954</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>4</td><td>2.37810</td><td>37.800</td><td>18.8</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2.33237</td><td>38.570</td><td>7.2</td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>1.89240</td><td>48.039</td><td>24.6</td></tr> <tr><td>6</td><td>1</td><td>0</td><td>5</td><td>1.69982</td><td>53.894</td><td>15.2</td></tr> <tr><td>7</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>1.66644</td><td>55.064</td><td>15.2</td></tr> <tr><td>8</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>1.49319</td><td>62.112</td><td>2.7</td></tr> <tr><td>9</td><td>2</td><td>0</td><td>4</td><td>1.48077</td><td>62.692</td><td>11.3</td></tr> <tr><td>10</td><td>1</td><td>1</td><td>6</td><td>1.36402</td><td>68.767</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>11</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>1.33813</td><td>70.291</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>12</td><td>1</td><td>0</td><td>7</td><td>1.27897</td><td>74.067</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>13</td><td>2</td><td>1</td><td>5</td><td>1.26457</td><td>75.055</td><td>7.9</td></tr> <tr><td>14</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>1.25065</td><td>76.038</td><td>2.1</td></tr> <tr><td>15</td><td>2</td><td>0</td><td>6</td><td>1.21528</td><td>78.669</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>8</td><td>1.18905</td><td>80.756</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>17</td><td>3</td><td>0</td><td>3</td><td>1.17222</td><td>82.163</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>18</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>1.16619</td><td>82.680</td><td>3.9</td></tr> <tr><td>19</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>1.16067</td><td>83.160</td><td>1.7</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Stick Pattern</b></p> 	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	1	1	0	1	3.51666	25.306	100.0	2	1	0	3	2.43056	36.954	6.0	3	0	0	4	2.37810	37.800	18.8	4	1	1	2	2.33237	38.570	7.2	5	2	0	0	1.89240	48.039	24.6	6	1	0	5	1.69982	53.894	15.2	7	2	1	1	1.66644	55.064	15.2	8	2	1	3	1.49319	62.112	2.7	9	2	0	4	1.48077	62.692	11.3	10	1	1	6	1.36402	68.767	4.8	11	2	2	0	1.33813	70.291	5.2	12	1	0	7	1.27897	74.067	0.5	13	2	1	5	1.26457	75.055	7.9	14	3	0	1	1.25065	76.038	2.1	15	2	0	6	1.21528	78.669	0.1	16	0	0	8	1.18905	80.756	0.4	17	3	0	3	1.17222	82.163	0.5	18	2	2	4	1.16619	82.680	3.9	19	3	1	2	1.16067	83.160	1.7
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]																																																																																																																																							
1	1	0	1	3.51666	25.306	100.0																																																																																																																																							
2	1	0	3	2.43056	36.954	6.0																																																																																																																																							
3	0	0	4	2.37810	37.800	18.8																																																																																																																																							
4	1	1	2	2.33237	38.570	7.2																																																																																																																																							
5	2	0	0	1.89240	48.039	24.6																																																																																																																																							
6	1	0	5	1.69982	53.894	15.2																																																																																																																																							
7	2	1	1	1.66644	55.064	15.2																																																																																																																																							
8	2	1	3	1.49319	62.112	2.7																																																																																																																																							
9	2	0	4	1.48077	62.692	11.3																																																																																																																																							
10	1	1	6	1.36402	68.767	4.8																																																																																																																																							
11	2	2	0	1.33813	70.291	5.2																																																																																																																																							
12	1	0	7	1.27897	74.067	0.5																																																																																																																																							
13	2	1	5	1.26457	75.055	7.9																																																																																																																																							
14	3	0	1	1.25065	76.038	2.1																																																																																																																																							
15	2	0	6	1.21528	78.669	0.1																																																																																																																																							
16	0	0	8	1.18905	80.756	0.4																																																																																																																																							
17	3	0	3	1.17222	82.163	0.5																																																																																																																																							
18	2	2	4	1.16619	82.680	3.9																																																																																																																																							
19	3	1	2	1.16067	83.160	1.7																																																																																																																																							
<p><b>References</b></p> <p>Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)</p> <p>Structure: Burdett, J.K., Hughbanks, T., Miller, G.J., Richardson, J.W., Peak list</p>																																																																																																																																													

## 2. ข้อมูลเอกซเรย์แพทเทิร์นของไททานเนียมไดออกไซด์มาตรฐาน (เฟลรูไทด์)

<p><b>Name and formula</b></p> <p>Reference code: 01-077-0445</p> <p>Mineral name: Rutile, syn</p> <p>ICSD name: Titanium Oxide</p> <p>Empirical formula: O<sub>2</sub>Ti</p> <p>Chemical formula: TiO<sub>2</sub></p> <p><b>Comments</b></p> <p>ICSD collection code: 202242</p>	<p><b>Subfiles and Quality</b></p> <p>Status: Diffraction data collected at non ambient temperature</p> <p>Subfiles: Inorganic</p> <p>Mineral</p> <p>Alloy, metal or intermetallic</p> <p>Corrosion</p> <p>Modelled additional pattern</p> <p>Pharmaceutical</p> <p>Quality: Calculated (C)</p>																																																																																																																																																										
<p><b>Crystallographic parameters</b></p> <p>Crystal system: Tetragonal</p> <p>Space group: P42/mnm</p> <p>Space group number: 136</p> <p>a (Å): 4.6255</p> <p>b (Å): 4.6255</p> <p>c (Å): 2.9859</p> <p>Alpha (°): 90.0000</p> <p>Beta (°): 90.0000</p> <p>Gamma (°): 90.0000</p> <p>Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4.15</p> <p>Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 63.88</p> <p>Z: 2.00</p> <p>RIR: 3.35</p>	<p><b>Peak list</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>h</th> <th>k</th> <th>l</th> <th>d [Å]</th> <th>2Theta[deg]</th> <th>I [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>3.27072</td><td>27.244</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>2.50862</td><td>35.764</td><td>43.0</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>2.31275</td><td>38.910</td><td>6.2</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2.20518</td><td>40.891</td><td>16.6</td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>2.06859</td><td>43.725</td><td>5.9</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>1.70040</td><td>53.874</td><td>43.0</td></tr> <tr><td>7</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>1.63536</td><td>56.202</td><td>11.6</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>1.49295</td><td>62.123</td><td>5.9</td></tr> <tr><td>9</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>1.46271</td><td>63.555</td><td>5.1</td></tr> <tr><td>10</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>1.43432</td><td>64.966</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>11</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>1.36997</td><td>68.427</td><td>12.3</td></tr> <tr><td>12</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1.35815</td><td>69.106</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>13</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>1.31357</td><td>71.806</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>14</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td><td>1.28288</td><td>73.804</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>15</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td><td>1.25431</td><td>75.776</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>16</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>1.21059</td><td>79.033</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>17</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>1.17870</td><td>81.615</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>18</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>1.15638</td><td>83.538</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>19</td><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>1.12185</td><td>86.728</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>20</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>1.10259</td><td>88.634</td><td>3.3</td></tr> <tr><td>21</td><td>3</td><td>3</td><td>0</td><td>1.09024</td><td>89.908</td><td>1.6</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Stick Pattern</b></p>	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	1	1	1	0	3.27072	27.244	100.0	2	1	0	1	2.50862	35.764	43.0	3	2	0	0	2.31275	38.910	6.2	4	1	1	1	2.20518	40.891	16.6	5	2	1	0	2.06859	43.725	5.9	6	2	1	1	1.70040	53.874	43.0	7	2	2	0	1.63536	56.202	11.6	8	0	0	2	1.49295	62.123	5.9	9	3	1	0	1.46271	63.555	5.1	10	2	2	1	1.43432	64.966	0.3	11	3	0	1	1.36997	68.427	12.3	12	1	1	2	1.35815	69.106	6.5	13	3	1	1	1.31357	71.806	0.6	14	3	2	0	1.28288	73.804	0.2	15	2	0	2	1.25431	75.776	1.3	16	2	1	2	1.21059	79.033	0.7	17	3	2	1	1.17870	81.615	1.9	18	4	0	0	1.15638	83.538	1.3	19	4	1	0	1.12185	86.728	0.5	20	2	2	2	1.10259	88.634	3.3	21	3	3	0	1.09024	89.908	1.6
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]																																																																																																																																																					
1	1	1	0	3.27072	27.244	100.0																																																																																																																																																					
2	1	0	1	2.50862	35.764	43.0																																																																																																																																																					
3	2	0	0	2.31275	38.910	6.2																																																																																																																																																					
4	1	1	1	2.20518	40.891	16.6																																																																																																																																																					
5	2	1	0	2.06859	43.725	5.9																																																																																																																																																					
6	2	1	1	1.70040	53.874	43.0																																																																																																																																																					
7	2	2	0	1.63536	56.202	11.6																																																																																																																																																					
8	0	0	2	1.49295	62.123	5.9																																																																																																																																																					
9	3	1	0	1.46271	63.555	5.1																																																																																																																																																					
10	2	2	1	1.43432	64.966	0.3																																																																																																																																																					
11	3	0	1	1.36997	68.427	12.3																																																																																																																																																					
12	1	1	2	1.35815	69.106	6.5																																																																																																																																																					
13	3	1	1	1.31357	71.806	0.6																																																																																																																																																					
14	3	2	0	1.28288	73.804	0.2																																																																																																																																																					
15	2	0	2	1.25431	75.776	1.3																																																																																																																																																					
16	2	1	2	1.21059	79.033	0.7																																																																																																																																																					
17	3	2	1	1.17870	81.615	1.9																																																																																																																																																					
18	4	0	0	1.15638	83.538	1.3																																																																																																																																																					
19	4	1	0	1.12185	86.728	0.5																																																																																																																																																					
20	2	2	2	1.10259	88.634	3.3																																																																																																																																																					
21	3	3	0	1.09024	89.908	1.6																																																																																																																																																					
<p><b>References</b></p> <p>Primary reference: <i>Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)</i></p> <p>Structure: Seki, H., Ishizawa, N., Mizutani, N., Kato, M., <i>Yogyo Kyokaiishi (J. Ceram. Assoc. Jpn.)</i>, <b>92</b>, 219, (1984)</p>																																																																																																																																																											

ภาคผนวก ข  
เอกซเรย์ดีฟแฟรกชันของผ้าฝ้าย

## ข้อมูลเอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรคชันของผ้าฝ้าย

Lattice Plane									
101		10 $\bar{1}$		021		002		040	
2 $\theta$ (°)	(Å)	2 $\theta$ (°)	(Å)	2 $\theta$ (°)	(Å)	2 $\theta$ (°)	(Å)	2 $\theta$ (°)	(Å)
14.7	6.01	16.6	5.35	20.6	4.31	22.5	3.94	34.7	2.58
12.3	7.19	20.1	4.42	-	-	21.9	4.06	34.7	2.58
11.7	7.55	20.7	4.29	-	-	20.7	4.29	-	-
12.1	7.31	20.6	4.31	-	-	20.6	4.31	-	-
15.6	5.67	15.6	5.67	-	-	22.2	4.00	-	-
15.6	5.67	15.6	5.67	20.2	4.39	22.5	3.95	-	-

## กราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรคชันของผ้าฝ้าย

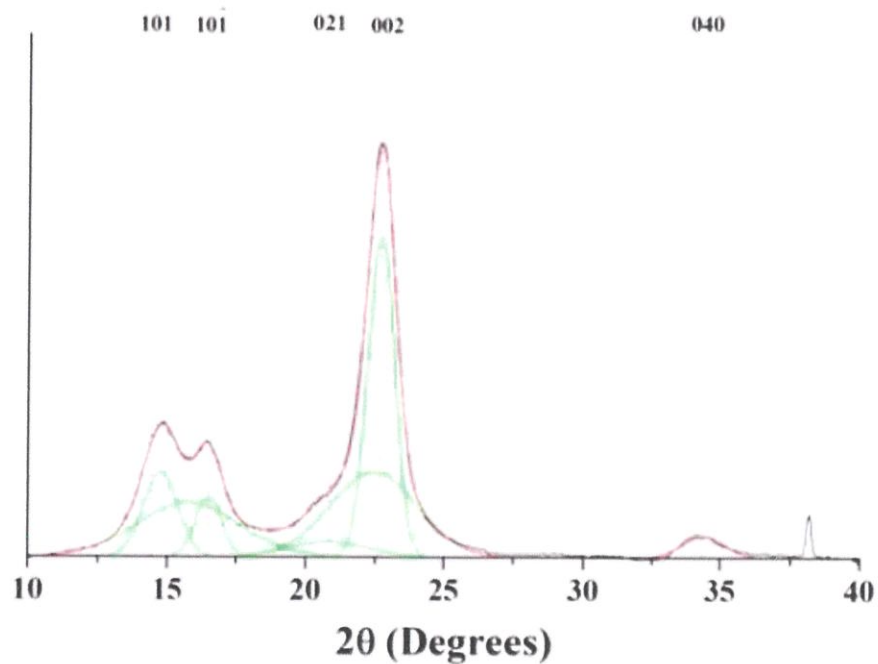


FIGURE 4. X-ray diffraction patterns  
 — smoothed raw data. — fitted curve. and  
 — deconvoluted crystalline peaks of un-mercerized cotton fabric

ภาคผนวก ก

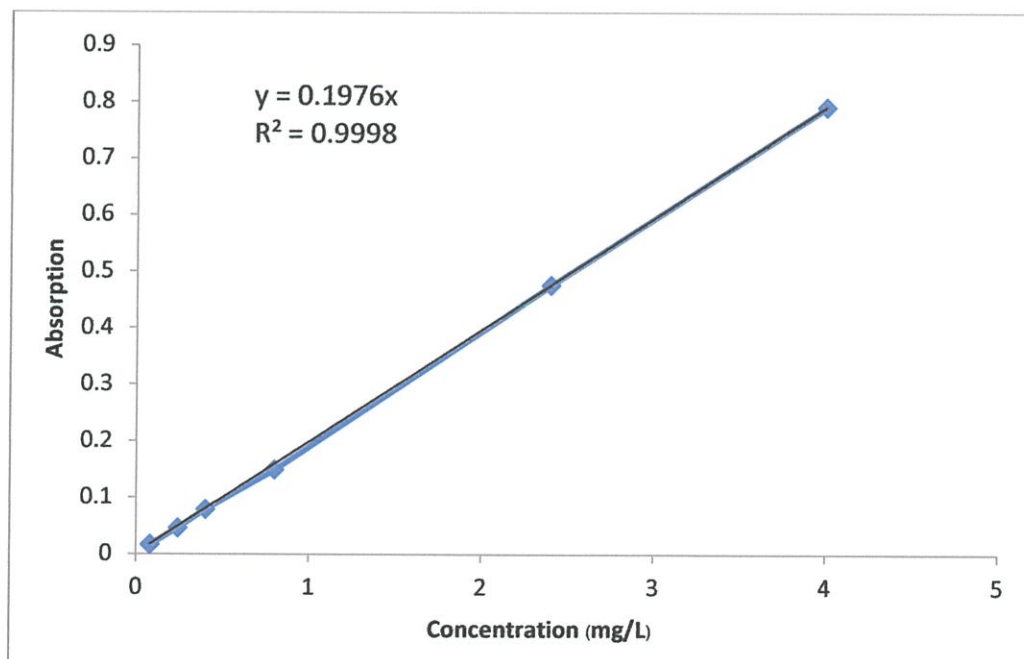
ค่าตัวเลขและกราฟมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลู

### ตารางค่าความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลู

สารละลายเมทิลีนบลูก่อนเจือจาง ค่าดูดกลืนแสงมีค่า 1.68

สารละลายเมทิลีนบลู (mL)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.1	0.017
0.3	0.046
0.5	0.079
1	0.149
3	0.476
5	0.791

### กราฟค่าความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลู



ภาคผนวก ง

สูตรและตัวอย่างการคำนวณข้อมูลต่างๆ

1. การคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) 30% เข้มข้น 0.1 M

( $\text{NH}_4\text{OH}$  30% ,  $D = 0.892$ )

$$\text{ในสาร } 100 \text{ cm}^3 \text{ มีค่า } 30 \text{ cm}^3 \times 0.892 \text{ g/cm}^3 = 26.76 \text{ g}$$

$$\text{Mol} = \frac{26.76 \text{ g}}{35 \text{ g/mol}} = 0.7646 \text{ mol}$$

$$\text{ในสาร } 100 \text{ mL} \text{ มีค่า } 0.7646 \text{ mol}$$

$$\text{ในสาร } 1000 \text{ mL} \text{ มีค่า } \frac{0.7646 \times 1000}{100} = 7.646 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{เข้าสู่สูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

$$= \frac{(0.1)(100)}{7.646}$$

$$= 1.3079 \text{ mL}$$

2. การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลของ  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$

สูตรคำนวณ  $\frac{\text{มวลของ } \text{TiO}_2 \times \text{จำนวน\%ของTiO}_2}{\text{มวลของ } \text{ZnO} \times \text{จำนวน\%ของ } \text{ZnO}}$

ตัวอย่าง

$$\text{TiO}_2 = 1.46 \% , \text{ZnO} = 39.9\%$$

$$= \frac{47.867 \times 1.46 \%}{81.3697 \times 39.9\%}$$

$$= 0.0373$$

3. การคำนวณหาค่าความเข้มข้นจากสมการที่ได้จากกราฟความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลู

$$\text{สมการจากกราฟมาตรฐาน } y = 0.1976x$$

โดย  $y$  แทน ค่าการดูดกลืนแสง

x แทน ค่าความเข้มข้น

ตัวอย่าง

สารตัวอย่าง  $\text{TiO}_2\text{-Sol}$  before มีค่าดูดกลืน 0.131

$$0.131 = 0.1976 x$$

$$x = \frac{0.131}{0.1976}$$

$$x = 0.6630$$

4. การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีด้วยอนุภาค Nano- $\text{TiO}_2$  ที่เตรียมได้

$$\text{สูตรคำนวณ} \quad \frac{(a - b)}{a} \times 100$$

โดย a แทน ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น

b แทน ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่คำนวณได้

ตัวอย่าง

ค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูเริ่มต้นมีค่า 20 mg/L

สารตัวอย่าง  $\text{TiO}_2\text{-Sol}$  before มีค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้ 0.6630

$$= \frac{(20 - 0.6630)}{20} \times 100$$

$$= 17.15 \%$$