

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์เส้นใยนาโนของพอลิไวนิลอะซิเตตที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์

เป็นองค์ประกอบโดยวิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

SYNTHESIS OF POLYVINYLACETATE NANOFIBER COMPOSITE  
WITH TITANIUMDIOXIDE NANOPARTICLES BY  
ELECTROSPINNING



T117352

ขวัญฤดี เกิดสังข์

นาฏตินันท์ พรหมเพชร

น้ำผึ้ง คำนวนศิษฐ์

เลขหมู่

เลขทะเบียน 117352

วันเดือนปี 20 ก.ค. 2554

b. 12340509  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2553  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาสาระของเอกสารนี้ส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS OF POLYVINYLACETATE NANOFIBER COMPOSITE  
WITH TITANIUMDIOXIDE NANOPARTICLES BY  
ELECTROSPINNING**

**KHWUNRUDEE KOEDESANG**

**NADTINAN PROMPHET**

**NAMPHUENG KAMNUANSIN**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE  
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE IN  
INDUSTRIAL CHEMISTRY**

**FACULTY OF SCIENCE**

**KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LALKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงการพิเศษ** การสังเคราะห์เส้นใยนาโนของพอลิไวน์ลอะซิเตตที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบโดยวิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต  
 Synthesis of polyvinylacetate nanofiber composite with titaniumdioxide nanoparticles by electrospinning

**ชื่อนักศึกษา** นางสาวขวัญฤดี เกิดสังข์ 50050294  
 นางสาวนาฏตินันท์ พรหมเพชร 50050334  
 นางสาวน้ำผึ้ง คำนวนศิลป์ 50050335

**ปริญญา** วิทยาศาสตรบัณฑิต

**สาขาวิชา** เคมีอุตสาหกรรม

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ดร.ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** อ.สุจินต์ ตันติพิสิฏกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ	
ดร.มนตรี ทองคำ	
ดร.ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร	
อ.สุจินต์ ตันติพิสิฏกุล	

**ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์เส้นใยนาโนของพอลิไวนิลอะซิเตดที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบโดยวิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวขวัญฤดี	เกิดสังข์	50050294
	นางสาวนาฏดินันท์	พรหมเพชร	50050334
	นางสาวน้ำผึ้ง	คำนวนศิลปี	50050335
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2553		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล		

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากพอลิไวนิลอะซิเตดโดยใช้วิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตและมีการปลูกอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์บริเวณผิวเส้นใย โดยแปรค่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอพอกไซด์ที่ 0, 6, 12 และ 24 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ละลายในสารละลายเมทานอลโดยผสมพอลิไวนิลอะซิเตด 15 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ในสารละลาย นำสารละลายไปฉีดเป็นเส้นใยโดยให้ศักย์ไฟฟ้า 16 กิโลโวลต์ ตั้งอัตราการไหลของปั่น 0.8 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง แล้วทำการปลูกอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์โดยแช่ในสารละลายแอมโมเนีย พีเอช 13 และฉายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ศึกษาพื้นฐานของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์และเส้นใยด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) และ Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (EDX) จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเส้นใยนาโนที่แช่ในสารละลายแอมโมเนียเกิดการเสียสภาพไม่สามารถเกิดผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ และจากการฉายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเส้นใยนาโนไม่เสียสภาพ แต่ไม่สามารถเกิดผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์ได้เช่นเดียวกัน

**คำสำคัญ :** วิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต, เส้นใยนาโน, ไทเทเนียมไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Synthesis of Polyvinylacetate Nanofiber Composite with Titaniumdioxide Nanoperticle by Electrospinning	
<b>Students</b>	Miss Khwunrudee Koedsang	50050294
	Miss Nadtinan Promphet	50050334
	Miss Namphueng Kamnuansin	50050335
<b>Degree</b>	Bachelor of Science	
<b>Major</b>	Industrial Chemistry	
<b>Academic Year</b>	2010	
<b>Advisor</b>	Dr. Pesak Rungrojchaipon	
<b>Co-Advisor</b>	Mrs. Sujin Tuntipisitkul	

## ABSTRACT

For this study, we prepared nanofiber from polyvinylacetate by electrospinning and the titaniumdioxide ( $\text{TiO}_2$ ) nanoparticles have been grown on the nanofibers. Titaniumisoperpoxide solution with various concentration at 0, 6, 12 and 24 percent (w/v) were prepared and dissolved in methanol and polyvinylacetate. Then mixture solution were electrospun by electrospinning with applied voltage of 16 kV and flow rate 0.8 ml/hr. The  $\text{TiO}_2$  nanoparticles were grown by soaked in ammonia solution at pH 13 and ultraviolet radiation. The morphology and crystallinity of  $\text{TiO}_2$  and fibers membranes were analyzed by SEM and EDX, the nanofibers destroyed by ammonia and ultraviolet radiation cause the  $\text{TiO}_2$  nanoparticles have not been grown on the nanofibers

**Keywords** : electrospinning, nanofiber,  $\text{TiO}_2$

## II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ก็เพราะความกรุณาจาก ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร และ อ.สุจินต์ ตัณฑพิสิษฐกุล ที่ให้โอกาสในการเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ เป็นผู้ให้ความรู้ สอนทักษะในการทำงาน จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ และ ดร.มนตรี ทองคำ ที่ช่วยเป็น คณะกรรมการในการสอบและตรวจทาน แก้ไข ให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปได้

ขอบคุณอาจารย์ สาขาวิชาเคมี และเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ

ขอบคุณเพื่อนที่คอยเป็นกำลังใจเวลาขาดกำลังใจ เป็นที่ปรึกษาเวลาเกิดปัญหา รวมทั้ง บุคคลรอบข้างที่ทำให้กำลังใจตลอดเวลาที่ต้องการ ของคุณบุคคลที่ไม่อาจกล่าวชื่อได้สำหรับความปรารถนาดีที่มีให้มาตลอด ขอขอบคุณที่คอยให้ที่พักในยามเหน็ดเหนื่อย คอยกระตุ้นให้ทำงานและคำแนะนำที่ช่วยให้ผ่านพ้นเรื่องราวต่างๆมาได้

ขอบคุณบุคคลที่ไม่อาจกล่าวชื่อได้ ที่คอยกดดันให้ทำทุกอย่างจนสำเร็จมาได้ เป็นตัวเร่งให้ทุกอย่างผ่านไปได้ และคอยโทรมาให้กำลังใจอยู่บ่อยครั้ง

ขอบคุณความพยายาม ความรับผิดชอบ ความอดทนอดกลั้น และความกล้า ที่เป็นแรงผลักดันให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว ที่ให้โอกาสในการศึกษา และเรียนรู้ทุกสิ่งทุกอย่าง และกำลังใจในการทำทุกสิ่งทุกอย่างให้ผ่านไปได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 เส้นใยนาโน	3
2.1.1 พอลิไวนิลอะซีเตต	3
2.1.2 การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	5
2.1.3 การทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์	5
2.1.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะเส้นใย	6
2.2 ไทเทเนียมไดออกไซด์	7
2.2.1 คุณสมบัติทางเคมีไทเทเนียมไดออกไซด์	7
2.2.2 ไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโน	7
2.2.3 ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของไทเทเนียม	9
2.3 การนำเส้นนาโนพอลิไวนิลอะซีเตตที่ปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้ประโยชน์ 9	
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย</b>	15
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	15
3.2 สารเคมี	16
3.3 วิธีการทดลอง	16
3.3.1 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลอะซิเตต	16
3.3.2 การเตรียมเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	16
3.3.3 การปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์	17
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	
4.1 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนโดยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	18
4.2 การปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนเส้นใยนาโน	21
4.2.1 การปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการไฮโดรไลซิสด้วย แอมโมเนีย	21
4.2.1.1 ศึกษาพื้นฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	21
4.2.1.2 วิเคราะห์ผลึกด้วย Energy dispersive X-ray (EDX)	23
4.2.2 การปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต	26
4.2.2.1 ศึกษาพื้นฐานด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	26
4.2.2.2 วิเคราะห์ผลึกด้วย Energy dispersive X-ray (EDX)	28
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	32
<b>ภาคผนวก ก</b>	34
<b>ภาคผนวก ข</b>	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงสมบัติของพอลิไวนิลอะซีเตต	4
ตารางที่ 2-2 แสดงสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์	7
ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณไทเทเนียมที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Energy dispersive X-ray (EDX) ของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตตที่ปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการไฮโดรไลซิสด้วยแอมโมเนีย	25
ตารางที่ 4-2 แสดงปริมาณไทเทเนียมที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Energy dispersive X-ray (EDX) ของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตตที่ปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการส่องผ่านด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต(UV)	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
VI  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 ปฏิบัติการเตรียมพอลิไวนิลอะซิเตด	4
รูปที่ 2-2 ภาพแสดงการผลิตเส้นใยโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	6
รูปที่ 3-1 เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ป็นนิง	16
รูปที่ 4-1 แสดงลักษณะเส้นใยนาโนบนแผ่นโลหะรองรับ	18
รูปที่ 4-2 แสดงลักษณะเส้นใยนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอพอกไซด์ แตกต่างกันดังนี้ (a) 0 เปอร์เซ็นต์ (b) 6 เปอร์เซ็นต์ (c) 12 เปอร์เซ็นต์ และ (d) 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ	19
รูปที่ 4-3 กราฟแสดงขนาดของเส้นใยนาโนที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอพอกไซด์ แตกต่างกันดังนี้ (a) 12 เปอร์เซ็นต์ (b) 24 เปอร์เซ็นต์	20
รูปที่ 4-4 แสดงลักษณะลักษณะพื้นฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตดที่แช่เส้นใยนาโนในสารละลายแอมโมเนียเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีไทเทเนียมไอโซเพอพอกไซด์เข้มข้นต่างๆดังนี้ (a-1) เข้มข้น 0% กำลังขยาย 1000 เท่า (a-2) เข้มข้น 0% กำลังขยาย 5000 เท่า (b-1) เข้มข้น 6% กำลังขยาย 1000 เท่า (b-2) เข้มข้น 6% กำลังขยาย 5000 เท่า (c-1) เข้มข้น 12% กำลังขยาย 1000 เท่า (c-2) เข้มข้น 12% กำลังขยาย 5000 เท่า (d-1) เข้มข้น 24% กำลังขยาย 1000 เท่า และ (d-2) เข้มข้น 24% กำลังขยาย 5000 เท่า ตามลำดับ	22
รูปที่ 4-5 แสดงองค์ประกอบธาตุในเส้นใยนาโน (a) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอพอกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง (b) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอพอกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง (c) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอพอกไซด์ 24 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง ด้วยวิธี Energy dispersive X-ray (EDX)	24
รูปที่ 4-6 แสดงลักษณะพื้นฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตด ที่ฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอพอกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ต่างๆดังนี้ (a-1) 30 นาที กำลังขยาย 5000 เท่า (a-2) 30 นาที กำลังขยาย 10000 เท่า (b-1) 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 5000 เท่า และ (b-2) 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 10000 เท่า ตามลำดับ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-7 แสดงลักษณะสัณฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตด ที่ฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเลต(UV) ที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์พอกไซด์ 24 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเลต(UV)ต่างๆดังนี้ (a-1) 30 นาที กำลังขยาย 5000 เท่า (a-2) 30 นาที กำลังขยาย 10000 เท่า (b-1) 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 5000 เท่า และ(b-2) 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 10000 เท่า ตามลำดับ	27
รูปที่ 4-8 Energy dispersive X-ray (EDX) แสดงองค์ประกอบธาตุในเส้นใยนาโน (a) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์พอกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ในตู้รังสียูวี 30 นาที (b) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์พอกไซด์ 24 เปอร์เซ็นต์ในตู้รังสียูวี 30 นาที	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นเทคโนโลยีหนึ่งทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เทคโนโลยีนี้จะเกี่ยวข้องกับทั้ง วัสดุ โครงสร้างและอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กมากระดับนาโนเมตรซึ่งเท่ากับ  $10^{-9}$  ของเมตร “เส้นใยนาโน (nanofiber)” เป็นส่วนหนึ่งของนาโนเทคโนโลยีที่อยู่ในกลุ่มของวัสดุนาโน (Nanomaterial) ทำให้มีข้อดีคือมีอัตราส่วนระหว่างพื้นผิวต่อปริมาตร (surface-to-volume ratio) สูงนอกจากนี้เส้นใยนาโนจะมีขนาดของรูพรุนที่เล็ก ส่งผลทำให้มีสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้าหรือสมบัติทางชีวภาพ ที่ดีมากเหมาะสำหรับงานเฉพาะด้านซึ่งต้องการความได้เปรียบของขนาดที่เล็กมาก ๆ[1]

การนำนาโนเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ในการผลิตสิ่งของมาใช้เริ่มมีให้เห็นตั้งแต่ก่อน ปี ค.ศ. 2000 และเริ่มเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างของการพัฒนาที่เกิดขึ้นในรอบทศวรรษ เช่น

ผ้าอัจฉริยะ (intelligent textiles) มีเซ็นเซอร์ฝังอยู่ภายใน ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อตรวจสอบของเหลวในร่างกาย อาทิ เลือดและเหงื่อเพื่อตรวจสอบและติดตามผลสุขภาพของผู้ป่วยที่กำลังพักฟื้นอยู่ในโรงพยาบาล ผู้ป่วยที่เป็นโรคเรื้อรังและนักกีฬาที่มีอาการบาดเจ็บ ครีมทากันแดดที่ใช้สารกันแดดที่มีอนุภาคเล็กจิ๋ว ทำให้ผิวไม่ขาวหลอกแบบเดิมและกันแดดได้ดีกว่าเดิม ลูกเทนนิสที่ทำจากวัสดุนาโนมีความทนทานมากกว่าเดิม นอกจากนี้เส้นเอ็นของไม้เทนนิสที่ทำจากเส้นใยนาโนมีความเหนียวทนทานและแข็งแรงมากขึ้น การเชื่อมกระดูกหักด้วยวัสดุที่ทำจากนาโนเทคโนโลยีจะได้อายุที่มีน้ำหนักเบา ทนทาน แข็งแรง เมื่อนำไปยึดกระดูกทำให้ไม่รู้สึกกระด้างเกือบเท่ากับวัสดุขนาดใหญ่แบบเดิม[2]

การผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยนาโนด้วยไฟฟ้าสถิตหรืออิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) เป็นกระบวนการที่สามารถผลิตเส้นใยนาโนได้ยาวและต่อเนื่อง ใช้อุปกรณ์ในการผลิตที่ง่าย มีความซับซ้อนน้อยและมีราคาไม่สูงมาก สามารถควบคุมขนาดและปริมาณการเกิดเส้นใยได้[3]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตตและได้ทำการปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) บนผิวหน้าของเส้นใยเนื่องจากคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย ทำให้เส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ ทำให้มีการนำเส้นใยนาโนไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่นๆ

ไทเทเนียมไดออกไซด์ มีสมบัติในการดูดซับพลังงานในช่วงคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ต(UV) กล่าวคือเป็นสารที่ถูกทำปฏิกิริยาได้ด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งโดยปรกติมักจะมีการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมกันแดดไม่วางกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือสีทาบ้านเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิด คุณสมบัติเด่นอีกอย่างหนึ่งของไททาเนียมไดออกไซด์คือการย่อยสลายสารอินทรีย์เมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ต[4]

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาการเตรียมเส้นใยนาโนจากพอลิไวนิลอะซีเตตโดยวิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (electrospinning)
- 2) ศึกษาการปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) บนผิวของเส้นใยนาโน

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) สังเคราะห์เส้นใยนาโนจากพอลิไวนิลอะซีเตต เข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ ที่ผสมกับไทเทเนียมไอโซพธอกไซด์เข้มข้น 0, 6, 12 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยวิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning)
- 2) ศึกษาการปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) บริเวณผิวหน้าของเส้นใยนาโน
- 3) ศึกษาสัณฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
- 4) วิเคราะห์ผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธี Energy dispersive X-ray (EDX)

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพื่อสร้างนวัตกรรมใหม่ๆทางด้านเทคโนโลยีนาโนเพื่อเป็นประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ และผลิตภัณฑ์เยื่อกรอง
- 2) สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนาโนไฟเบอร์ไปใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาเส้นใยนาโนที่มีศักยภาพที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ
- 3) ทราบสภาวะตัวแปรที่เหมาะสมที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยนาโนเพื่อให้ได้เส้นใยนาโนที่มีประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เส้นใยนาโน (Nanofiber)

เส้นใยนาโนหรือนาโนไฟเบอร์(Nanofiber) คือ เส้นใยสังเคราะห์ที่มีขนาดเล็กมีความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร(อยู่ในช่วง 1 ถึง 100 นาโนเมตร) มีลักษณะเด่น คือ เป็นเส้นใยที่พื้นที่จำเพาะ (พื้นที่ผิวต่อปริมาตร)สูงมาก สมบัตินี้เองทำให้มีผู้สนใจศึกษาวิธีการผลิตเส้น ใยที่มีขนาดนาโนเมตรจำนวนมาก เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ โดยเส้นใยนาโนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 นาโนเมตร จะมีขนาดเล็กกว่าและมีอัตราส่วนพื้นผิวตามความยาวของเส้น ใยต่อปริมาตร เป็น 1,000 เท่าของเส้นผม นอกจากนี้เส้นใยนาโนจะมีรูพรุนที่เล็กส่งผลทำให้เส้นใยนาโนมีสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า หรือสมบัติทางชีวภาพที่ดีมาก เหมาะสำหรับงานเฉพาะด้านซึ่งต้องการความได้เปรียบของขนาดที่เล็กมากๆ ทั้งนี้ขึ้นกับวิธีการและสารที่นำมาประดิษฐ์ ปัจจุบันเริ่มมีการประยุกต์ใช้เส้นใยนาโนทางด้านต่างๆอย่างกว้างขวาง การประยุกต์ใช้งานของเส้นใยนาโน พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้และความเข้ากันได้ทางชีวภาพ เช่น งานทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ ผ้าปิดแผล ระบบนำส่งยา ระบบการกรองอย่างละเอียด สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลายด้าน ในปัจจุบันมีหลายวิธีที่ใช้ในการผลิตเส้น ใยพอลิเมอร์ระดับนาโน เทคนิคที่นำมาใช้ในการเตรียมเส้นใยนาโน มีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีการมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป เช่น เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) หรือ การปั่นเส้น ใยด้วยไฟฟ้าสลับเป็นทางเลือกใหม่ที่สามารถใช้เตรียมเส้นใยนาโนของวัสดุพอลิเมอร์และสารอนินทรีย์ออกไซด์หลากหลายชนิดสำหรับประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ เกษษกรรม วิศวกรรม การทหาร และอื่นๆ เทคนิคการดึงยัด (Drewing) และการสังเคราะห์แบบเทมเพลต(Template - synthesis) ฯลฯ [5]

#### 2.1.1 พอลิไวนิลอะซิเตต(Polyvinyl acetate)

พอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl acetate) หรือ พอลิเอทิล เอทานอเอต (poly ethyl ethanoate) เป็นพอลิเมอร์ที่มีแขนงหนาแน่น มีลักษณะ โมเลกุลแบบอะแทกติก ไม่มีความเป็นผลึก จึงมีลักษณะอ่อนนิ่มมากจนเป็นของเหลวข้นหนืด สีขุ่นขาว เมื่อแห้งจะใส เนื่องจากความอ่อนนิ่มจนมีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด จึงไม่สามารถหล่อขึ้นรูปด้วยวิธีแม่พิมพ์ใดๆ ได้

สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลอะซิเตต อ่อนนิ่ม ง่ายต่อการทำเป็นอิมัลชัน อุณหภูมิของการหล่อแม่พิมพ์ต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะหล่อขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส เมื่อแห้งจะมีความโปร่งใสมากขึ้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นซึ่งสมบัติของพอลิไวนิลอะซิเตตได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2-1

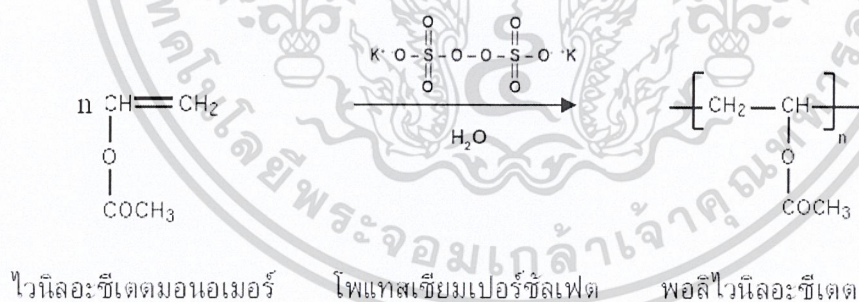
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน เรซินชนิดนี้ใช้ทำกาวในรูปของอีมีลชัน สำหรับติดไม้ กระจก ผ้า และหนังเทียม มักเรียก กาวชนิดนี้ว่า กาวลาเท็กซ์ ใช้เป็นสารเหนียวในหมากฝรั่ง ทำสีและเคลือบหลอดไฟเว็บบสำหรับถ่ายรูปใน สมัยก่อน [6]

ตารางที่ 2-1 แสดงสมบัติของพอลิไวนิลอะซีเตต[7]

โครงสร้างที่ซ้ำกัน(Repeat unit)	$-\left[ \text{CH}_2 - \underset{\begin{array}{c}   \\ \text{O} \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}}{\text{CH}} \right]-$
สูตรทางเคมีของหน่วยที่ซ้ำกัน(Repeat unit)	$(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2)_n$
มวลโมเลกุลของหน่วยที่ซ้ำกัน(Repeat unit)	86.09 g/mol
อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature)	30°C
ความหนาแน่นของส่วนอสัณฐาน ที่ 25 องศาเซลเซียส (Amorphous density at 25°C)	1.19 g/cm <sup>3</sup>



รูปที่ 2-1 ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิไวนิลอะซีเตต [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning)

Electrospinning ซึ่งย่อมาจาก Electrostatic Spinning การผลิตเส้นใยโดยการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) ต่างจากวิธีผลิตเส้นใยอื่นๆ คือ กระบวนการนี้จะใช้แรงทางไฟฟ้าแทนแรงทางกล พอลิเมอร์เหลวอาจจะอยู่ในรูปสารละลายหรือพอลิเมอร์หลอมเหลวที่อยู่ในรูขนาดเล็กจะถูกทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่ผิวหน้าโดยสนามไฟฟ้าความแรงสูง เนื่องจากประจุที่เกิดขึ้นมีขั้วเหมือนกันจึงเกิดแรงผลักระหว่างประจุเกิดขึ้น แรงผลักนี้เรียกว่า Repulsive Coulombic Force เมื่อแรงผลักมีมากจนสามารถเอาชนะแรงตึงผิวของพอลิเมอร์เหลวได้ พอลิเมอร์เหลวจะถูกฉีดออกมา และจะเปลี่ยนเป็นเส้นใยโดยการระเหยออกของตัวทำละลาย ในปัจจุบันเทคนิคนี้กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากกระบวนการผลิตเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตมีข้อดีหลายประการ เช่น เส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กมาก โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่หลายสิบนานโนเมตรจนถึงประมาณ 1-2 ไมโครเมตร จึงมักจะถูกเรียกว่าเส้นใยขนาดนาโน (Nanofibers) หรือ อิเล็กโตรสปินนาโนไฟเบอร์ (Electrospun Nanofibers) มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (Surface-to-volume Ratio) สูงมากกว่า 1,000 เท่าเมื่อเทียบกับเส้นใยในระดับไมโครเมตร (Microfibers) มีน้ำหนักเบา ผืนผ้าที่ได้จากเส้นใยนี้จะมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมากทำให้มีการส่งผ่านของของเหลวหรือแก๊สได้ดี

### 2.1.3 การทำงานของระบบอิเล็กโตรสปินนิง

การทำงานของระบบอิเล็กโตรสปินนิงแสดงในรูปที่ 2-2(ก) เมื่อยังไม่ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบสารละลายจำนวนหนึ่งจะรวมตัวกันเป็นหยดรูปร่างครึ่งทรงกลมที่บริเวณปลายเข็ม โลหะอันเป็นผลเนื่องมาจากแรงตึงผิว (surface tension) แต่เมื่อให้ความต่างศักย์กำลังสูงจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าครอบคลุมส่วนปลายของเข็มโลหะและมีประจุเกิดขึ้นที่ผิวของสารละลาย จึงเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) ขึ้นในทิศตรงกันข้ามกับแรงตึงผิว ดังนั้น ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดแรงผลักมากกว่าแรงตึงผิว จะส่งผลให้รูปร่างครึ่งทรงกลมของสารละลายที่อยู่ปลายเข็มยื่นออกมาเป็นรูปร่างทรงกรวยที่เรียกว่า “กรวยของเทเลอร์” (Taylor’s cone) และเมื่อสนามไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่ามากขึ้นจนกระทั่งถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่งจะเกิดแรงขับเคลื่อนให้สารละลายพุ่งออกมาเป็นลำ (solution jet) ต่อมาลำของสารละลายนี้จะยืดออกจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงถึงระดับนาโนเมตร แล้วตกลงบนวัสดุรองรับในลักษณะที่ไม่เกิดการถักทอ (non-woven nanofiber) ความไม่เสถียรของการบิดโค้งของเส้นใยอธิบายได้จากรูปขยายในรูปที่ 2-2(ข) บริเวณที่ลำของสารละลายได้ยืดออกมาห่างจากจุดเริ่มต้นระยะหนึ่ง พบว่า สารละลายถูกเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ผิวของสารละลาย และด้วยสนามไฟฟ้าภายนอกที่เกิดจากความต่างศักย์ระหว่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับที่เป็นตัวนำ จึงส่งผลให้เกิดลำของประจุขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงเกิดแรงที่ไม่สมดุล ทำให้ลำสารละลายยืดออกในรูปที่ 2-2 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3) สภาพแวดล้อม สภาพแวดล้อมมีผลต่อสารละลายและทำให้ลักษณะของเส้นใยเปลี่ยนไป เช่นในกรณีที่มีความชื้นในระบบสูงจะเกิดปรากฏการณ์คล้ายกับมีการควบแน่นเป็นหยดน้ำบนผิวของเส้นใยทำให้เกิดรูพรุนบนเส้นใยในปริมาณมากขึ้น

ดังนั้นการนำวิธีอิเล็กโตรสปินนิงมาใช้ประดิษฐ์เส้นใยนาโนต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งหากมีระบบที่ควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ได้เหมาะสมและแม่นยำจะส่งผลให้การประดิษฐ์เส้นใยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เส้นใยนาโนที่เตรียมด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิงมีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆซึ่งอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา เพื่อให้ใช้งานได้จริง เช่น ด้านการแพทย์และสุขภาพ ด้านวัสดุศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีชีวภาพ และด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และพลังงาน เป็นต้น[9]

## 2.2 ไทเทเนียมไดออกไซด์( $Ti_2O$ )

### 2.2.1 คุณสมบัติทางเคมีไทเทเนียมไดออกไซด์

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2-2 ตารางที่ 2-2 แสดงสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์[10]

สมบัติ	ไทเทเนียมไดออกไซด์( $Ti_2O$ )
สูตรทางเคมี	$Ti_2O$
มวลโมเลกุล	79.866 กรัมต่อโมล
ลักษณะทางกายภาพ	ของแข็งสีขาว
ความหนาแน่น	4.23 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	1843 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	2972 องศาเซลเซียส

### 2.2.2 ไททาเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโน

#### 1.ความสามารถในการต้านแบคทีเรีย

ไททาเนียมไดออกไซด์ไม่เพียงแต่ฆ่าแบคทีเรียได้เท่านั้น แต่ยังช่วยในการย่อยสลายซากของมันด้วย ไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนั้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารต้านแบคทีเรียชนิดอื่นๆ เนื่องจากปฏิกิริยาจะทำงานเมื่อมีเซลล์แบคทีเรียสัมผัสกับพื้นผิว หรือเมื่อแบคทีเรียแพร่กระจายไปบนพื้นผิวนอกจากนี้สารพิษที่เกิดจากการตายเซลล์ก็จะถูกทำลายจากการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของไททาเนียมไดออกไซด์ด้วย และที่สำคัญไททาเนียมไดออกไซด์จะไม่เกิดการเสื่อมประสิทธิภาพหลังจากที่ทำลายเชื้อแบคทีเรีย ทำให้มีไม่จำกัดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการใช้งานที่ยาวนาน โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงประสิทธิภาพด้านยับยั้งหรือต่อต้านการติดเชื้อ ไททาเนียมไดออกไซด์จะมีความสามารถมากกว่า คลอรีน 3 เท่า และมากกว่า ไอโซน 1.5 เท่า

## 2. ความสามารถด้านการกำจัดกลิ่น

ด้านการกำจัดกลิ่นอนุภาคไฮดรอกซีที่เกิดจากไททาเนียมไดออกไซด์สามารถกำจัดโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ระเหยอยู่ในอากาศ (Volatile Organic Compounds หรือ VOCs) อันเป็นสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ โดยการทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของสารเหล่านั้น ด้วยวิธีการนี้จะทำให้สารอินทรีย์ที่ระเหยอยู่ในอากาศแตกออกเป็นโมเลกุลเดี่ยวจึงไม่สามารถทำอันตราย หรือส่งผลต่อร่างกายมนุษย์ได้ นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการฟอกอากาศให้สะอาด โดยการกำจัดโมเลกุลของสารที่ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ตัวอย่างเช่น กลิ่นบุหรี กลิ่นยาสูบ สารประเภท ฟอรัมาดีไฮด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ยูรีน กลิ่นอุจจาระ น้ำมันเชื้อเพลิง และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอีกหลายชนิดในอากาศ ไททาเนียมไดออกไซด์สามารถทำให้อากาศสะอาดจาก ควัน เกสรดอกไม้ แบคทีเรีย และไวรัส รวมถึงก๊าซอันตราย ด้วยคุณสมบัติของการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

## 3. ความสามารถในการฟอกอากาศ

ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงจะสามารถกำจัดสารที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศได้ เช่น สารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ ควินบุหรี รวมถึงสารระเหยต่าง ๆ ที่ออกมาจากอาคาร รวมทั้งโครงสร้างของตึกได้ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันเขม่า และคราบดำต่าง ๆ ที่จะเกาะผนังบ้าน รวมถึงช่วยกำจัดสารประเภทที่ทำลายชั้นบรรยากาศ เช่น ก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) และก๊าซเรือนกระจกประเภทอื่น รวมถึงก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทั้งทางตรง และทางอ้อมเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง ในบริเวณที่มีมลภาวะสูง ไททาเนียมไดออกไซด์จะช่วยลดสารก่อมลภาวะเหล่านี้ได้

## 4. สามารถป้องกันการเกิดหยดน้ำและคราบต่างๆรวมทั้งทำให้เกิดสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง

ผนังด้านนอกของอาคารที่ถูกปกคลุมด้วยคราบเขม่าจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่มีส่วนประกอบเป็นน้ำมัน เมื่อผนังตึกถูกทาด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีสมบัติการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง จะทำให้ผนังมีคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง โดยเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง ไททาเนียมไดออกไซด์จะทำลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอน รวมทั้งฝุ่นผงต่าง ๆ ที่เกาะติดอยู่กับผนัง และจะถูกชะล้างออกจากผนังอย่างง่ายดายเมื่อฝนตกลงมา ทำให้ผนังตึกดูสะอาดและใหม่อยู่เสมอ

## 5. ความสามารถในการทำน้ำสะอาด

สารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (ไททาเนียมไดออกไซด์) ร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ก่อมลภาวะให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายได้ เช่น ทำให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ รวมถึงมีคุณสมบัติในการด้านแบคทีเรีย เทค โน โดยนี้มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารอินทรีย์

อันตราย และช่วยฆ่าแบคทีเรียหลายชนิดรวมถึงไวรัสในขั้นตอนที่สองของการบำบัดน้ำเสีย โครงการต้นแบบแสดงให้เห็นว่า กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนั้นมีประสิทธิภาพสูงในการฆ่าแบคทีเรีย Escherichia coli ซึ่งเป็นแบคทีเรียในอุจจาระที่ปนเปื้อนในน้ำ ได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้เป็นอย่างดีในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย[11]

### 2.2.3 ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ของไทเทเนียมไดออกไซด์

โฟโตคะตะไลติก ออกซิเดชัน ( Photocatalytic Oxidation) เป็นกระบวนการทางเคมี โดยใช้พลังงานจากแสง UV ในการเกิดปฏิกิริยาร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในที่นี้คือ สารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) เมื่อสารกึ่งตัวนำถูกอนุภาคของแสงที่มีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) ตกลงบนผิวหน้าอนุภาคสารกึ่งตัวนำ ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำไฟฟ้า (e-LB) และทิ้งช่องว่างในแถบวาเลนซ์ไว้ ซึ่งเรียกว่า โฮล ( $h+VB$ ) ซึ่งทั้ง e-LB และ  $h+VB$  มีบทบาทมากในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน e-LB ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ที่ดูดติดผิว ทำให้  $\text{O}_2$  เปลี่ยนไปเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออนเรดิคัล ( $\text{O}_2^-$ ) ส่วน  $h+VB$  สามารถรับอิเล็กตรอน (Oxidize) จากโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในสารละลายโดยตรงหรือ ไฮดรอกซิลไอออน (hydroxyl ion:  $\text{OH}^-$ ) ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\text{OH}\cdot$ ) และยังทำให้โมเลกุลของน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ที่ดูดติดผิว เปลี่ยนเป็น  $\text{OH}\cdot$  ด้วยเช่นกัน ซึ่ง  $\text{OH}\cdot$  เป็นสารที่มีอำนาจออกซิไดซ์สูง และมีความไวในการทำปฏิกิริยาสูง และทำหน้าที่สลายโมเลกุลสารอินทรีย์ที่อยู่ใกล้ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วน  $\text{O}_2^-$  สามารถที่จะทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ซึ่งสารตระกูลออกซิเจนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเหล่านี้ สามารถทำลายโครงสร้างและยับยั้งชีวเคมีของแบคทีเรียและเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัส อนุมูลไฮดรอกซิลและโมเลกุลของออกซิเจน จะทำให้สารประกอบอินทรีย์ถูกกำจัดเป็นออกไซด์ จนในที่สุดจะกลายเป็น  $\text{CO}_2$  และ น้ำ รวมทั้งจะไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันสลายก๊าซพิษต่างๆ และสารก่อมะเร็ง เช่น Formaldehyde [12]

## 2.3 การนำเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตดที่ปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์มาประยุกต์ใช้ มีดังนี้

### 2.3.1 หน้ากากอนามัย

ผลิตจากผ้าที่ได้จากเทคโนโลยีนาโนทั้งสองด้าน โดยผ้าชั้นกลางทำจากเส้นใยพอลิไวนิลอะซิเตดที่ปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากคุณสมบัติที่มีความเป็นรูพรุนสูงสามารถระบายอากาศได้ดี อีกทั้งไทเทเนียมไดออกไซด์ยังมีคุณสมบัติป้องกันและยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

### 2.3.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

สามารถผลิตเสื้อผ้าที่มีคุณสมบัติป้องกันแบคทีเรียและเชื้อรา การกำจัดกลิ่นทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง อีกทั้งยังสามารถป้องกันรังสี UV ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 เลื่อกาว์กันเชื้อโรค

เป็นการประยุกต์ใช้ อุตสาหกรรมสิ่งทอทางการแพทย์ร่วมกับเทคโนโลยีนาโนที่มีการปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ ที่เป็นจุดประสงค์หลักของการพัฒนาเลื่อกาว์เพื่อป้องกันการติดเชื้อ อีกทั้งความสามารถในการระบายอากาศ และการกำจัดกลิ่นและทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง โดยเลื่อกาว์ที่ใช้ในปัจจุบันจะต้องปลอดเชื้อโรค โดยหลังจากใช้งานแล้ว จะต้องผ่านการซักด้วยคลอรีนและอบด้วยอุณหภูมิสูงเพื่อฆ่าเชื้อ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวใช้ต้นทุนค่อนข้างสูง หากสามารถพัฒนาเส้นใยที่ป้องกันการติดเชื้อได้ภายในตัว ก็จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนซักล้างนี้ไปได้มาก

### 2.3.4 เยื่อกรองชนิดนาโน (Nanofiltration)

การใช้เส้นใยนาโนมาทำเป็นไส้กรอง จากคุณสมบัติของเส้นใยนาโนที่มีความเป็นรูพรุนที่ละเอียดของเส้นใย นำมาใช้ในการดักจับอนุภาคขนาดเล็ก โดยประสิทธิภาพของการกรองจะขึ้นกับความละเอียดของเส้นใย เนื่องจากพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของเส้นใยจะมีผลต่อการดักจับอนุภาคที่กรองยิ่งความละเอียดของเส้นใยมีสูง ความสามารถในการดักจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะเพิ่มขึ้น ไปด้วย อีกทั้งคุณสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของไทเทเนียมไดออกไซด์ยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบางชนิดในน้ำที่นำมากรองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### W. Jeerapong (2004)[13]

เทคนิคโซล-เจลและการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตได้ถูกใช้ร่วมกันเพื่อผลิตเส้นใยคอมโพสิตขนาดนาโนของไทเทเนียม (IV) ออกไซด์กับโพลีไวนิลไพโรลิโดนจากสารละลายที่ประกอบด้วยโพลีไวนิลไพโรลิโดนและไทเทเนียมเตตระไฮดรอกไซด์เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยคอมโพสิตที่ได้อยู่ในช่วง 145 ถึง 350 นาโนเมตร เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพลีไวนิลไพโรลิโดนเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเพิ่มขึ้นโดยมีการกระจายตัวของขนาดที่กว้างมากขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นแม่เหล็กส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลงแต่มีการกระจายตัวของขนาดที่แคบลง การเผาเส้นใยคอมโพสิตเหล่านี้ในอากาศที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสส่งผลให้ได้เส้นใยอานาเทสไทเทเนียมขนาดนาโนที่มีรูโกล์ปะปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ความเป็นผลึกและปริมาตรรูโกล์ของเส้นใยไทเทเนียมเพิ่มขึ้นในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางลดลงเมื่ออุณหภูมิการเผาในอากาศสูงขึ้น การเติมซิลิกอนลงไปบนเส้นใยไทเทเนียมทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลงในขณะที่ความเป็นผลึกพื้นที่ผิวและความเสถียรทางความร้อนของเส้นใยเพิ่มขึ้น ในท้ายที่สุดการเติมซิลิกอนเข้าไปในเส้นใยไทเทเนียมส่งผลให้ได้ความว่องไวของการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ในการสลายตัวของเมทิลีนบลูที่มีค่าสูงขึ้น

### C.Nuanchan (2004)[14]

เจลาตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการแพทย์ในอนาคตอันใกล้ จึงเลือกเจลาตินมาผลิตเส้นใยนาโนโดยใช้กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตโดยการเตรียมสารละลายเจลาตินในระบบตัวทำละลายเดี่ยวและตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วนต่างๆ ก่อนที่จะปั่นเส้นใยนาโนเจลาตินด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ตัวทำละลายที่คือ กรดอะซิติก และตัวทำละลายผสมที่ใช้ได้แก่ กรดอะซิติก/ ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ กรดอะซิติก/เอทิลีนไกลคอล กรดอะซิติก/ฟอร์มัลดีไฮด์ และกรดอะซิติก/ ไตรฟลูออโรเอทานอล จากนั้นจึงศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆของสารละลายเจลาติน ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายเจลาติน ชนิดของตัวทำละลาย และสมบัติของสารละลาย (ความหนืด แรงตึงผิว และความนำไฟฟ้า) ซึ่งส่งผลต่อสัณฐานวิทยาและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเจลาติน จากการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่เตรียมได้ในระบบตัวทำละลายเดี่ยวโดยอาศัยเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเจลาตินในกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นจาก 15 ถึง 29 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถผลิตเส้นใยเจลาตินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเพิ่มขึ้นจาก 214 นาโนเมตรเป็น 840 นาโนเมตร ในขณะที่ในระบบตัวทำละลายผสมพบว่า สมบัติของตัวทำละลายมีผลอย่างมากต่อสัณฐานวิทยาและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ผลิตได้โดยเฉพาะเส้นใยเจลาตินที่เตรียมจากสารละลายผสมระหว่าง กรดอะซิติก/ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ ที่อัตราส่วนระหว่างกรดอะซิติกต่อไคเมทิลซัลฟอกไซด์เป็น 97:3 ถึง 91:9 จะทำให้เส้นใยเจลาติน ที่เตรียมได้มีความเรียบ ปราศจากปม และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไคเมทิลซัลฟอกไซด์ในตัวทำละลายผสมเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิย ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Sineenat Siri (2007)[15]

เส้นใยนาโนชนิดใหม่ผลิตได้จากการอิเลคโตรสปินโพลิเมอร์เดี่ยวหรือผสมของโพลิคาโพรแลคโตน (poly-( $\Sigma$ -caprolactone), PCL) และโพลิแลคไต์โคคาโพรแลคโตนโคไกลโกลิด์ (poly-(L-lactide-co-caprolactone-co-glycolide), PLCG) การผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิคอิเลคโตรสปินจากโพลิเมอร์ทั้งสองชนิดทำได้โดยการฉีดสารละลายโพลิเมอร์แต่ละชนิดสลับกันเป็นชั้น (แบบฉีดสลับ) และการฉีดสารละลายโพลิเมอร์ทั้งสองชนิดพร้อมกัน (แบบฉีดผสม) ผลที่ได้จากการฉีดสาร PCL ด้วยเทคนิคอิเลคโตรสปินพบว่าได้เส้นใยที่สมบูรณ์ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย  $652.28 \pm 297.40$  นาโนเมตร ส่วนผลจากการอิเลคโตรสปินสาร PLCG และสาร PCL กับ PLCG ทั้งแบบฉีดสลับและแบบฉีดผสม พบว่าได้เส้นใยร่วมกับเม็ดปิดขนาดนาโนเมตรและหยดของสาร PLCG โดยขนาดเส้นใยเฉลี่ยจากการฉีดสาร PLCG และสาร PCL กับ PLCG แบบฉีดสลับและแบบฉีดผสม มีค่าเท่ากับ  $127.93 \pm 84.50$ ,  $399.21 \pm 361.09$  และ  $586.42 \pm 418.95$  นาโนเมตร ตามลำดับ แม้ว่าอิเลคโตรสปินสาร PCL-PLCG แบบฉีดผสมจะได้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่าการอิเลคโตรสปินสาร PCL-PLCG แบบฉีดสลับ แต่ผลที่ได้จากการอิเลคโตรสปิน สารแบบฉีดผสมมีปริมาณของเม็ดปิดและหยดของสาร PLCG ในปริมาณที่ต่ำกว่าแบบฉีดสลับ ทำให้ค่าที่เส้นใยที่มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเกิดจากการผสมกันของโพลิเมอร์ทั้งสองชนิดหลังการฉีด สำหรับสมบัติทางชีวภาพของเส้นใยอิเล็กโตรสปินที่ได้ต่อการยึดเกาะและการเจริญของเซลล์อยู่ในระหว่างการดำเนินการศึกษา

### J.Wan Ju (2008)[16]

เทคนิคโซล-เจลและการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าผลิตได้ถูกใช้ร่วมกันเพื่อผลิตเส้นใยคอมโพสิตขนาดนาโนของแมงกานีสเพอร์ไรต์กับพอลิไวนิลอะซิเตดจากสารละลายที่ประกอบด้วยพอลิไวนิลอะซิเตดและแมงกานีสไนเตรต (manganese(II)nitrate) และไอออนไนเตรต โนนาไฮเดรต (iron(III) nitrate nonahydrate) เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยคอมโพสิตที่ได้อยู่ในช่วง 160 ถึง 200 นาโนเมตร เมื่อเผาเส้นใยคอมโพสิตเหล่านี้ในอากาศที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ได้เส้นใยเปลี่ยนจากออสถฐานไปเป็นผลึกของแมงกานีสเพอร์ไรต์ในรูปควิบิกสไปเนล เมื่ออุณหภูมิในการเผาเส้นใยคอมโพสิตสูงขึ้นส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยกลายเป็นผลึกสูงขึ้น ทำให้สมบัติความเป็นแม่เหล็กของเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### J. Young Park (2008)[17]

เป็นการศึกษาเส้นใยพอลิไวนิลอะซิเตดโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตโดยใช้สารละลายเอทานอล เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 10 wt% จะทำให้เส้นใยที่ได้เกิดปมหรือบิด (bead) ในขณะที่ความเข้มข้นมากกว่า 25 wt% จะทำให้ปมที่เกิดขึ้นลดลงแต่เส้นใยที่ได้ไม่สมบูรณ์ เมื่อระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับฉากรับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะลดลงแต่เส้นใยที่ได้ไม่เสถียรในขณะเดียวกันที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับฉากรับมากกว่าหรือเท่ากับ 10 เซนติเมตร ทำให้กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่เพียงพอในการเกิดเส้นใยทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลของสารละลายเพิ่มขึ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเพิ่มขึ้น สำหรับสถานะที่เหมาะสมความเข้มข้นของสารละลาย 15 wt% ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับฉากรับ 10 เซนติเมตร อัตราการไหลของสารละลาย 100 ไมโครลิตรต่ออนาทีและศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ทำให้ได้เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 700 นาโนเมตร

### R. Pesak (2009) [18]

การปลูกซิงค์ออกไซด์ (ZnO) บนเส้นใยนาโนของ PEO/CA โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (electrospinning) โดยใช้สารละลาย PEO/CA ที่ประกอบไปด้วยซิงค์ออกไซด์ แม้ว่าโครงสร้างและรูปร่างของเส้นใยจะแตกต่างกัน ในการทอเส้นใยจะมีซิงค์ออกไซด์บรรจุอยู่บนผิวของเส้นใย อย่างไรก็ตามในการทอเส้นใย ผลึกของซิงค์ออกไซด์จะอยู่ที่ภายในโครงสร้างของเส้นใย ซึ่งวัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษาวิธีการปลูกซิงค์ออกไซด์บนเส้นใยนาโนอย่างง่าย โดยใช้สารละลายของพอลิเมอร์สองชนิดคือ PEO และ CA และสารประกอบ Zinc- acetate โดยวิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (electrospinning) โครงสร้างและผลึกของซิงค์ออกไซด์ และเนื้อเยื่อของเส้นใยถูกวิเคราะห์โดยวิธี SEM และ XRD ซิงค์ออกไซด์ จะใช้เวลาในการเติบโตระหว่าง 4-30 ชั่วโมง และเส้นผ่านศูนย์กลางจะทำการวัดโดยใช้โปรแกรม imageJ จะวัดที่เวลา 4, 8 และ 24 ชั่วโมง ในเวลา 4 ชั่วโมง เส้นผ่านศูนย์กลางวัดได้  $42.01 \pm 8.09$  ความยาววัดได้  $174.90 \text{ nm} \pm 42.86$  ที่ 8 ชั่วโมง เส้นผ่านศูนย์กลางวัดได้  $111.80 \text{ nm} \pm 26.03$  ความยาววัดได้  $360 \pm 36.24$  และที่เวลา 24 ชั่วโมง เส้นผ่านศูนย์กลางวัดได้  $110.05 \text{ nm} \pm 18.72$  และความยาววัดได้คือ  $423 \text{ nm} \pm 66.7$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ศิวพร จำปาอ่อน, ทิพย์ภวรรณ จันทร์ศรี, สุกัญญา หมั่นรัมย์ (2009)[19]

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากไนลอน 6,6 ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตและมีการปลูกอนุภาคซิงค์ออกไซด์บริเวณผิวนเส้นใย โดยแปรค่าความเข้มข้นของซิงค์อะซิเตตที่ 0,6,12, และ 25 เปอร์เซ็นต์(w/w) ละลายในกรดฟอร์มิกเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์ โดยผสมไนลอน 10เปอร์เซ็นต์ (w/v) ในสารละลาย จากนั้นนำสารละลายไปฉีดเป็นเส้นใยโดยให้ศักย์ไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ ใช้เวลาในการฉีด 30 ชั่วโมง และทำการปลูกซิงค์ออกไซด์โดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 12 ความเข้มข้น 0.01 M ศึกษาสัณฐานของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และเส้นใยด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) และ Energy Dispersive Fluorescence Spectrometer จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเส้นใยนาโนที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในเส้นใยมากที่สุด อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาเส้นใยที่เวลา 24 ชั่วโมง เพื่อศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียโดยใช้ *E.coli* แทนแบคทีเรียแกรมบวก และ *S.aureus* แทนแบคทีเรียแกรมลบ พบว่าที่สภาวะความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ดีที่สุดคือมีขนาดของ clear zone ของ *E.coli* 1.23 cm. และ *S.aureus* 1.33 cm. ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องแก้ว
2. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า รุ่น C-MAC HS7 บริษัท IKA
3. แท่งแม่เหล็ก
4. เครื่องชั่ง รุ่น Precisa 205 A บริษัท เมโทร โลยีเทคนิคคอลจำกัด
5. ตู้อบ (Oven) รุ่น FT01/124 บริษัท LABQUIP INTERNATIONAL LIMITED
6. เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (High-voltage power supply) รุ่น 39-0907 บริษัท ORMOND BEACH
7. หลอดชนิดยา ขนาด 30มิลลิลิตร บริษัท TOP
8. เข็มชนิดยา เบอร์ 19 บริษัท HAMILTON
9. แผ่นรองรับเส้นใย (Aluminium foil)
10. Syringe pump รุ่น 23069 บริษัท FARMINGDALE
11. อุปกรณ์โลหะทองแดงที่ใช้รองรับเส้นใย
12. แวนขยาย กำลังขยาย 50 เท้า
13. กระจายยูนิเวอร์แซล บริษัท EMD Chemicals Inc.
14. เครื่องอัลตราโซนิก บริษัท NDI รุ่น 136H
15. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) บริษัท LEO รุ่น 1455 VP
16. เครื่อง autoclave บริษัท HIRAYAMA รุ่น HA-300MIV
17. เซซิกเคเตอร์
18. ไมโครปิเปต
19. Energy dispersive X-ray (EDX) รุ่น EDX-720 บริษัท SHIMADZU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 สารเคมี

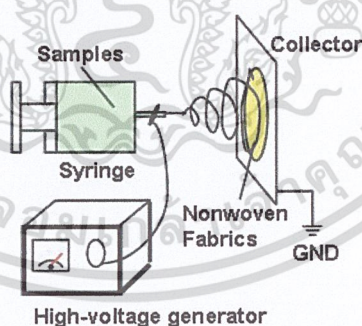
1. พอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinylacetate)
2. ไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ ( $C_{12}H_{28}O_4Ti$ )
3. เมทานอล ( $CH_3OH$ )
4. กรดอะซิติก ( $CH_3COOH$ )
5. แอมโมเนีย ( $NH_3$ )

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลอะซิเตต

1. ละลายพอลิไวนิลอะซิเตต 1.5 กรัม ในเมทานอล 10 มิลลิลิตร
2. นำสารละลายพอลิไวนิลอะซิเตตในข้อ 1 เดิมกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร
3. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 2 มาผสมด้วยสารละลายไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0,6,12 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
4. นำไปปั่นจนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ไล้ฟองอากาศด้วยเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา 15 นาที

#### 3.3.2 การเตรียมเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 3-1 เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ปั่น

1. ติดตั้งเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ปั่น ดังรูป 3-1 ประกอบด้วย แหล่งให้กำเนิดศักย์ไฟฟ้า, หลอดฉีดยา, เข็มฉีดยาเบอร์ 19, แผ่นรองรับเส้นใย (Aluminium foil)
2. นำสารละลายพอลิไวนิลอะซิเตตที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.1 บรรจุในหลอดฉีดยาขนาด 30 มิลลิลิตร
3. ตั้งอัตราการไหลของปั๊ม 0.8 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ระยะห่างระหว่างปลายเข็ม และแผ่นโลหะรองรับเส้นใย 10 เซนติเมตร จากนั้นค่อยๆ ปรับศักย์ไฟฟ้าจนถึง 16 กิโลโวลต์
4. นำเส้นใยที่เก็บในเดซิกเกตเตอร์

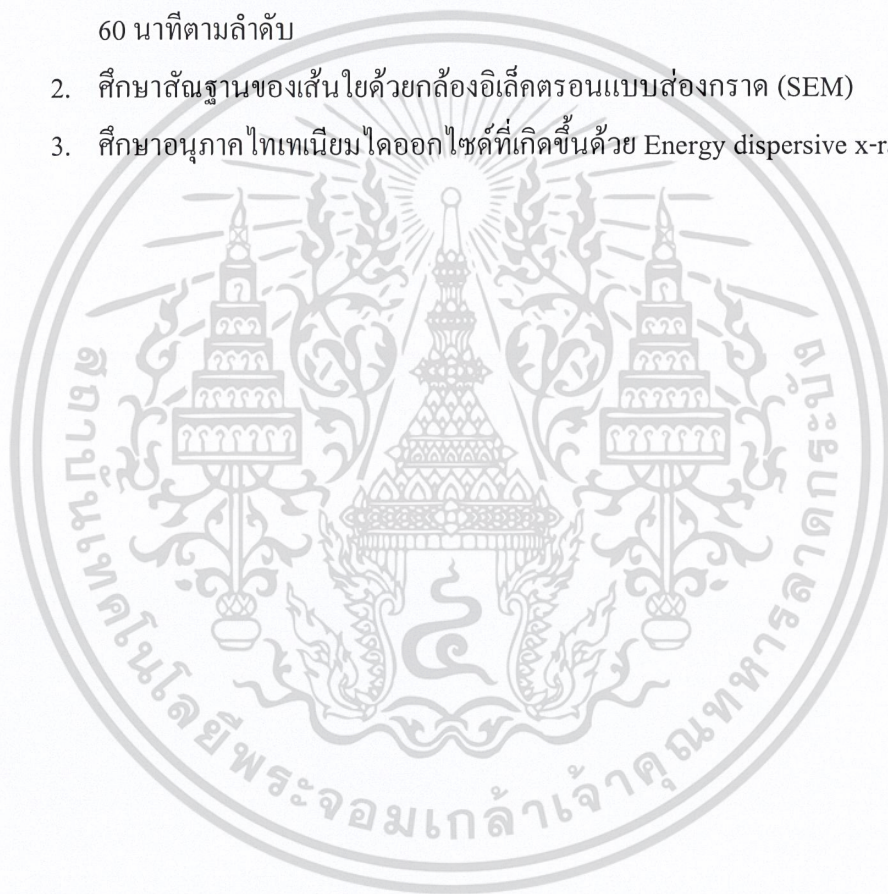
3.3.3 การปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์บริเวณผิวเส้นใยนาโน

3.3.3.1 การปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการไฮโดรไลซิสด้วย แอมโมเนีย

1. นำเส้นใยที่เตรียมได้แช่ในสารละลายแอมโมเนีย เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. ศึกษาสัณฐานของเส้นใยด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
3. ศึกษาอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วย Energy dispersive x-ray (EDX)

3.3.3.2 การปลูกอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการส่องผ่านด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต

1. นำเส้นใยที่เตรียมได้ไปวางในตู้ที่มีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ตู้UV) เป็นเวลา 30 นาที และ 60 นาทีตามลำดับ
2. ศึกษาสัณฐานของเส้นใยด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
3. ศึกษาอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วย Energy dispersive x-ray (EDX)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

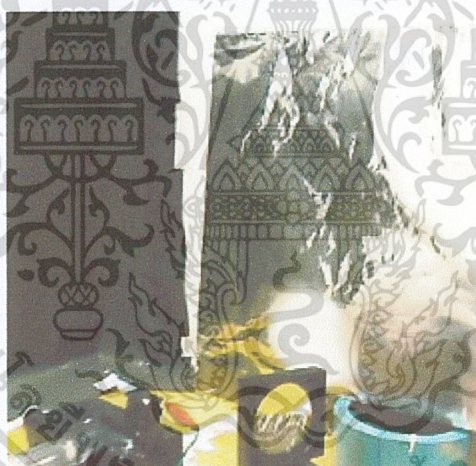
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากพอลิไวนิลอะซิเตตด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยโดยไฟฟ้าสถิต หรืออิเล็กโตรสปินนิง แล้วทำการปลูกโทเทเนียมไดออกไซด์ บริเวณผิวเส้นใยนาโนซึ่งผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

#### 4.1 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนโดยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

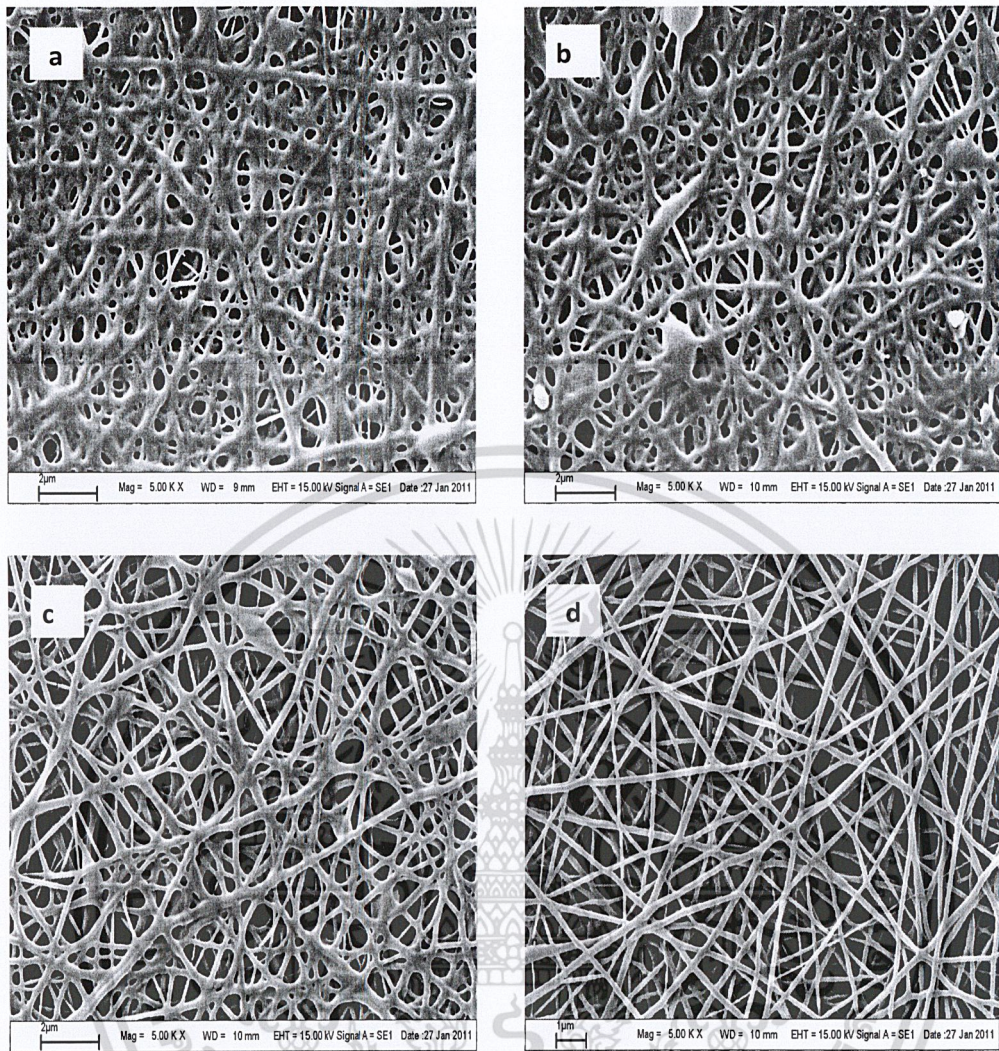
เมื่อบรรจุสารละลายพอลิไวนิลอะซิเตต ลงในหลอดฉีดยาและให้ความต่างศักย์จนถึง 16 กิโลโวลต์และอัตราการไหลของปั๊มที่ 0.8 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จะพบว่าพอลิเมอร์ที่บรรจุอยู่ในหลอดฉีดยาสะสมบริเวณปลายเข็มเรียกว่า Taylor cone และเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้ามีมากกว่าแรงตึงผิวของสารละลายทำให้เกิดเส้นใยพุ่งออกมาจากปลาย Taylor cone โดยตัวทำละลายจะระเหยออกไปเกิดเป็นเส้นใยกระจายตัวเป็นวงบนแผ่นโลหะทองแดงรองรับเส้นใย ดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แสดงลักษณะเส้นใยนาโนบนแผ่นโลหะรองรับ

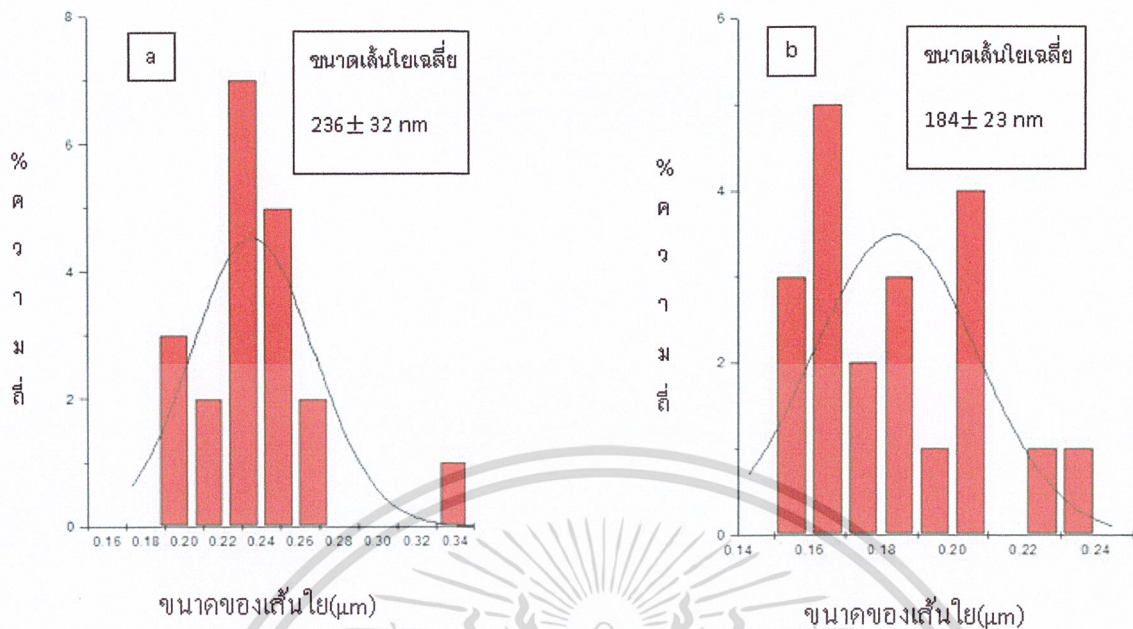
หลังจากนั้นทำการศึกษาสัณฐานเส้นใยนาโนที่เกิดขึ้น ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ผลที่ได้ดังรูปที่ 4-2 และมีการศึกษานาโนของเส้นใยด้วยโปรแกรม imagej จากนั้นหาขนาดเฉลี่ยของเส้นใยด้วยโปรแกรม origin ผลที่ได้ดังรูปที่ 4-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-2 แสดงสัณฐานเส้นใยนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ แตกต่างกันดังนี้ (a) 0 เปอร์เซ็นต์ (b) 6 เปอร์เซ็นต์ (c) 12 เปอร์เซ็นต์ และ (d) 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



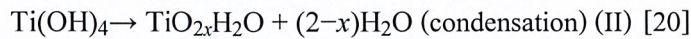
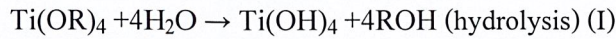
รูปที่ 4-3 กราฟแสดงขนาดของเส้นใยนาโนที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเฟอรॉพอกไซด์ แตกต่างกันดังนี้ (a) 12 เปอร์เซ็นต์ (b) 24 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4-2 และ 4-3 แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเฟอรॉพอกไซด์ที่ 0% และ 6% เส้นใยมีการเชื่อมติดกันเป็นกิ่งก้าน มีเม็ดบีด (beads) ปรากฏอยู่บนเส้นใย ที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเฟอรॉพอกไซด์ 12% แสดงให้เห็นถึงลักษณะของความเป็นเส้นที่ตรงและยาวขึ้น มีเม็ดบีด (beads) ปรากฏอยู่บนเส้นใยแต่เม็ดบีดมีขนาดเล็กกว่า ส่วนที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเฟอรॉพอกไซด์ 24% แสดงให้เห็นถึงลักษณะของเส้นใยที่ตรงและยาวมากขึ้น มีกิ่งก้านน้อยลง และไม่มีเม็ดบีด (beads) ปรากฏอยู่บนเส้นใย เมื่อนำเส้นใยมาวิเคราะห์ขนาดด้วยโปรแกรม imagej จากนั้นหาขนาดเฉลี่ยของเส้นใยด้วยโปรแกรม origin พบว่า เส้นใยมีขนาดเล็กลงเมื่อไทเทเนียมไอโซเฟอรॉพอกไซด์ มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เนื่องการเติมไทเทเนียมไอโซเฟอรॉพอกไซด์ซึ่งเป็นสารไม่มีขั้วลงไปในพอลิไวนิลอะซิเตตซึ่งเป็นสารมีขั้ว ส่งผลให้ความหนืดลดลงได้ ทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลต่อขนาดของเส้นใย โดยที่กราฟ (a) เส้นใยที่มีไทเทเนียมไอโซเฟอรॉพอกไซด์เป็นองค์ประกอบเข้มข้น 12 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดเฉลี่ยของเส้นใย  $236 \pm 32 \text{ nm}$  (b) เส้นใยที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบเข้มข้น 24 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดเฉลี่ยของเส้นใย  $184 \pm 23 \text{ nm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบริเวณเส้นใยนาโน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนบริเวณเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตด โดยการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายแอมโมเนีย

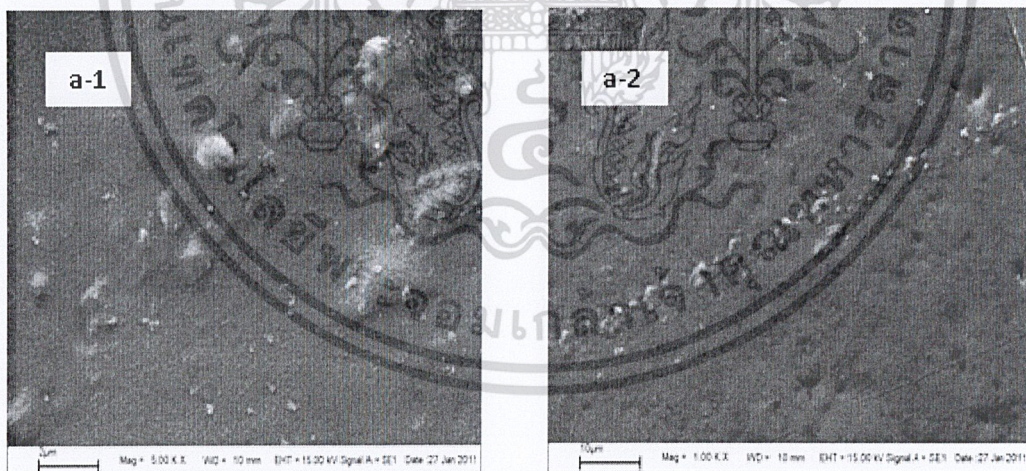


และโดยการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต(UV) เพื่อให้เกิดเป็นอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์บริเวณผิวเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ขึ้น โดยทำการแปรผันความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์พอกไซด์ และระยะเวลาในการแช่เส้นใยนาโนในสารละลายแอมโมเนียและระยะเวลาในการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต(UV) จากนั้นนำเส้นใยที่เตรียมได้ศึกษาพื้นฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตด โดยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ศึกษาผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นบริเวณเส้นใยนาโน โดย Energy dispersive X-ray (EDX)

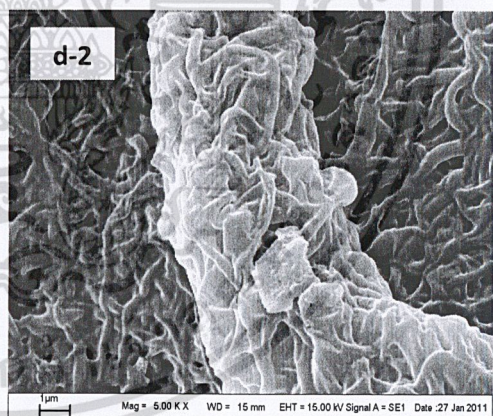
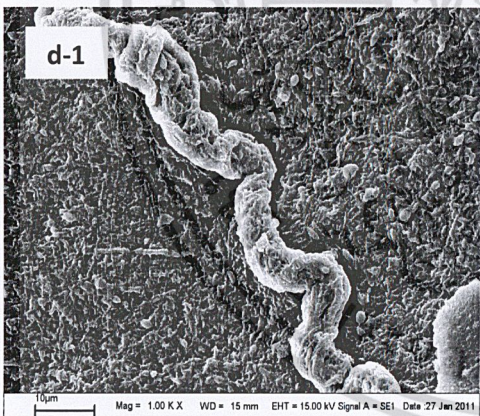
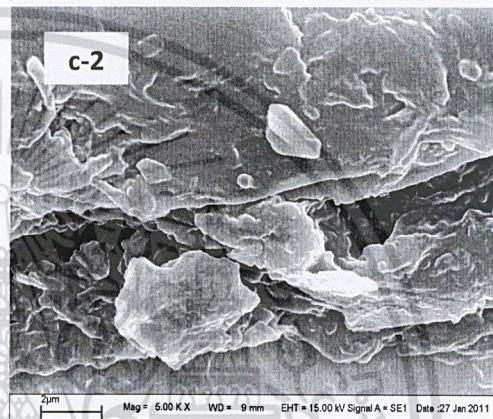
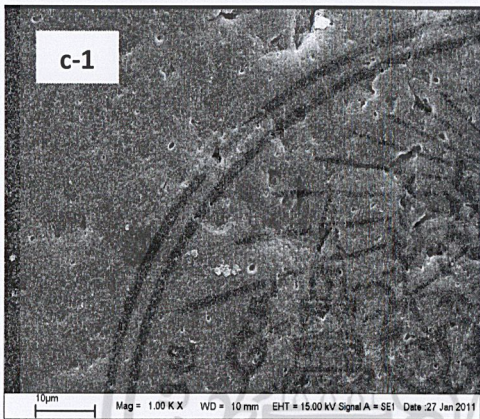
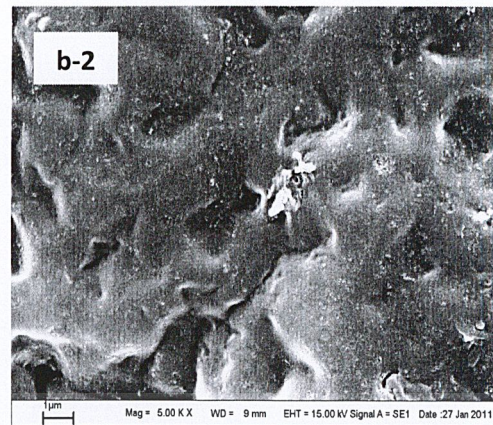
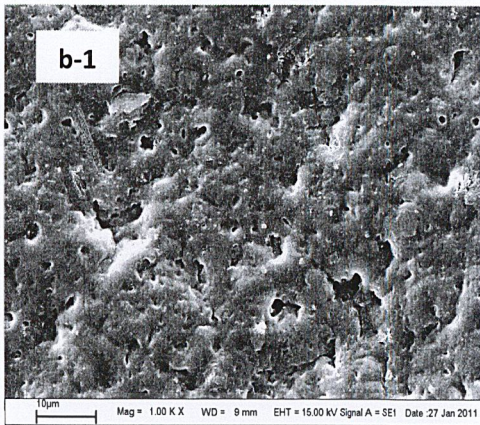
### 4.2.1 การปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการไฮโดรไลซิสด้วยแอมโมเนีย

#### 4.2.1.1 ศึกษาพื้นฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การศึกษาลักษณะของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตด และลักษณะของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากขบวนการไฮโดรไลซิสบนเส้นใยนาโน โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลาการแช่ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์พอกไซด์ต่างๆ ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4-4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



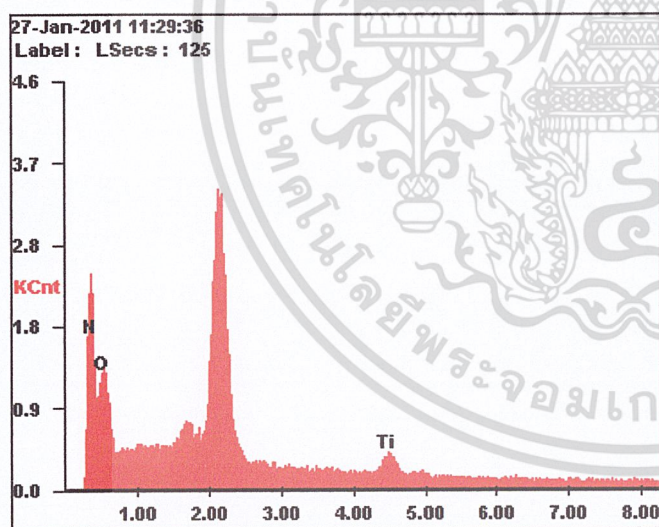
รูปที่ 4-4 แสดงลักษณะสัณฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตด ที่แช่เส้นใยนาโนในสารละลายเอมโมเนียเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ เข้มข้นต่างๆดังนี้ (a-1) เข้มข้น 0% กำลังขยาย 1000 เท่า (a-2) เข้มข้น 0% กำลังขยาย 5000 เท่า (b-1) เข้มข้น 6% กำลังขยาย 1000 เท่า (b-2) เข้มข้น 6% กำลังขยาย 5000 เท่า (c-1) เข้มข้น 12% กำลังขยาย 1000 เท่า (c-2) เข้มข้น 12% กำลังขยาย 5000 เท่า (d-1) เข้มข้น 24% กำลังขยาย 1000 เท่า และ (d-2) เข้มข้น 24% กำลังขยาย 5000 เท่า ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-4 ผลการศึกษาสัณฐานของเส้นใยนาโนด้วย SEM แสดงให้เห็นถึงลักษณะของเส้นใยที่เสียหายเนื่องจากการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายแอมโมเนีย โดยที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์พอกไซด์ 0% จะมีลักษณะเป็นแผ่นที่ไม่ป็นเส้นใย พื้นผิวขรุขระเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์พอกไซด์เป็น 6 %, 12% และ 24% ลักษณะของแผ่นที่เกิดจากการเสียหายของเส้นใยและมีความขรุขระของพื้นผิวเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้น 6% จะมีลักษณะความขรุขระของพื้นผิวเป็นหลุมเพิ่มขึ้น ส่วนที่ความเข้มข้น 12% จะมีลักษณะความขรุขระของพื้นผิวเป็นแผ่นซ้อนกันเป็นชั้นๆ และที่ความเข้มข้น 24% จะมีลักษณะของแผ่นและความขรุขระของพื้นผิวเป็นการเชื่อมติดกันของเส้นใยบางส่วน ทำให้มีความขรุขระของพื้นผิวที่มากและยังคงสามารถมองเห็นความเป็นเส้นใยทำให้ทราบว่าเส้นใยเสียหายเนื่องจากการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายแอมโมเนีย โดยเปลี่ยนสภาพจากเส้นใยเป็นแผ่น แต่จาก SEM ไม่พบผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์บนแผ่นพอลิไวนิลอะซีเตต

#### 4.2.1.2 วิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบธาตุด้วย Energy dispersive X-ray (EDX)

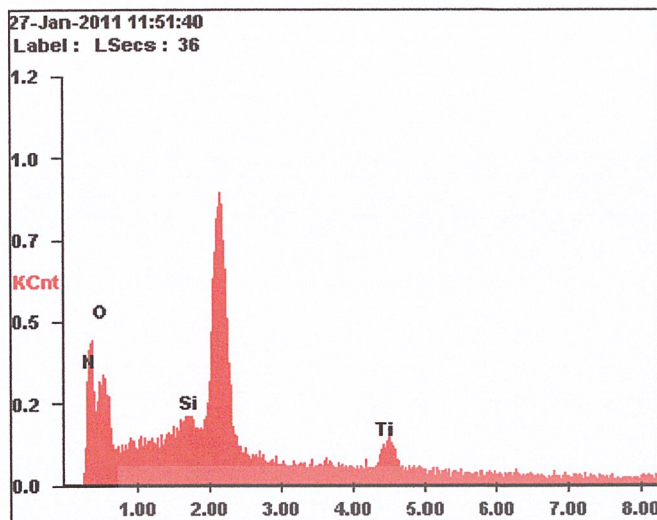
ผลจากการศึกษาสัณฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตต ที่มีอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบด้วยวิธีการไฮโดรไลซิสด้วยแอมโมเนีย จึงได้นำเส้นใยนาโนที่สภาวะดังกล่าวมาการศึกษาองค์ประกอบธาตุด้วยวิธี Energy dispersive X-ray (EDX) ได้ผลดังรูป 4-5



Element	Weight %	Atomic %
N	44.75	50.75
O	46.75	46.42
Ti	08.51	02.82

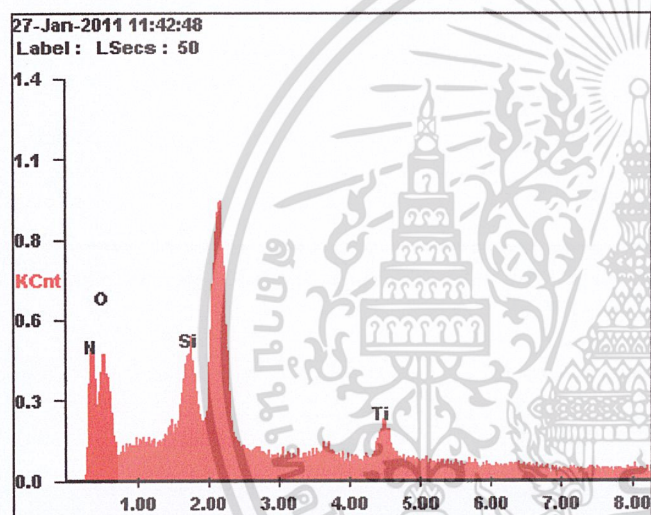
(a) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์พอกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Element	Weight %	Atomic %
N	36.71	44.04
O	46.71	49.05
Ti	12.17	04.27

(b) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเทอร์พอกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง



Element	Weight %	Atomic %
N	28.16	36.57
O	45.74	52.02
Ti	20.52	07.79

(c) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเทอร์พอกไซด์ 24 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง

รูปที่ 4-5 แสดงองค์ประกอบธาตุในเส้นใยนาโน (a) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเทอร์พอกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง (b) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเทอร์พอกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง (c) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเทอร์พอกไซด์ 24 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง ด้วยวิธี Energy dispersive X-ray (EDX)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการศึกษาองค์ประกอบของธาตุในเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตต โดยแปรค่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ ระยะเวลาการแช่ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง ด้วย Energy dispersive X-ray (EDX) พบว่าที่ความเข้มข้นไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของไทเทเนียม 8.51 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของไทเทเนียม 12.17 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ 24 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายแอมโมเนีย 24 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของไทเทเนียม 20.52 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4-1 ซึ่งแสดงว่าความเข้มข้นของไทเทเนียมที่ใส่ลงไปบนเส้นใยกับหลังจาก เปลี่ยนให้เป็นไทเทเนียมไดออกไซด์และได้ตรวจวัดโดยใช้EDX นั้นสัมพันธ์กัน แต่อาจมีบ้างที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากการกระจายตัวของสารไทเทเนียมในเส้นใย ทำให้มีความคลาดเคลื่อนบ้าง หรืออาจเกิดจากการที่สารละลายไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ละลายไปกับสารละลายแอมโมเนีย

ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณไทเทเนียมที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Energy dispersive X-ray (EDX) ของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตตที่ปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการไฮโดรไลซิสด้วยแอมโมเนีย

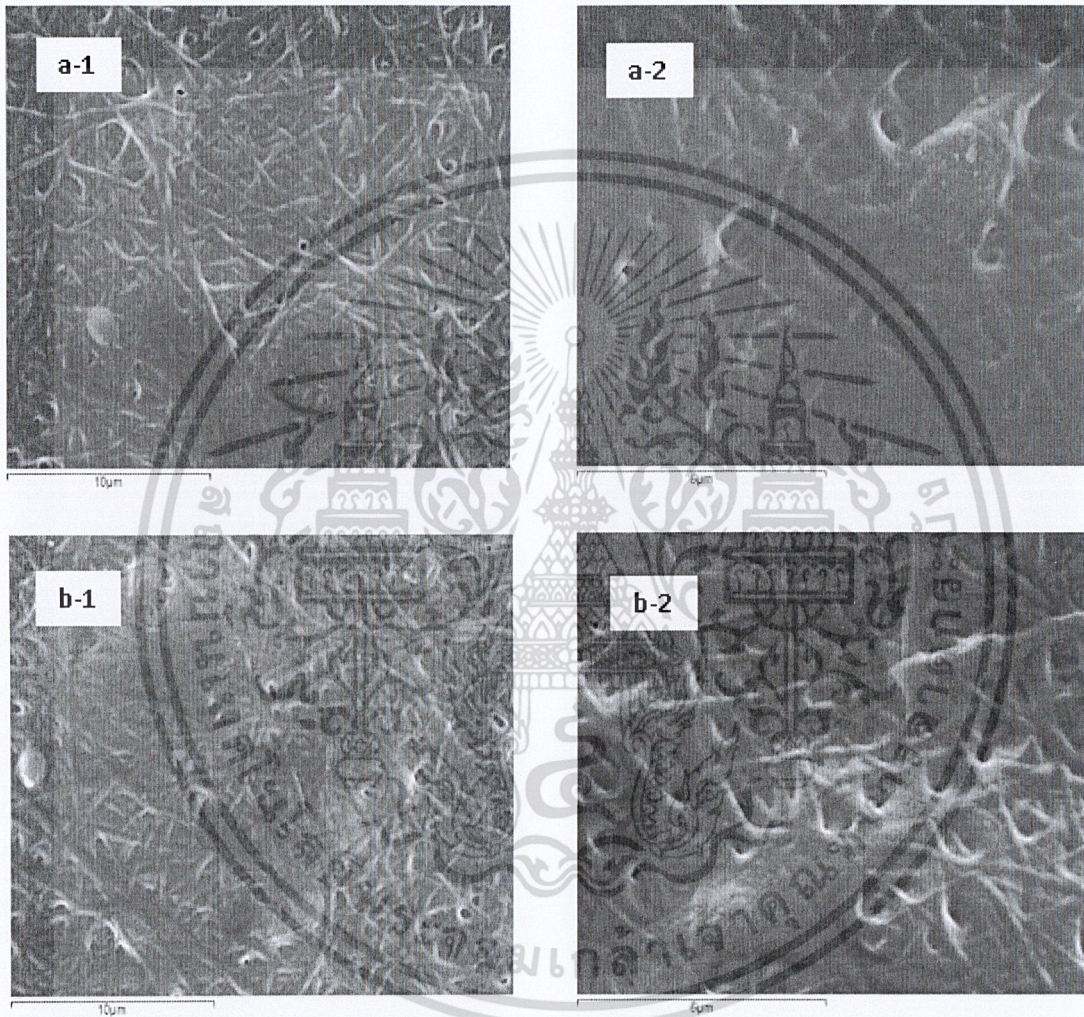
ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์	ปริมาณ ไทเทเนียมที่วิเคราะห์ได้(wt%)
6%	8.51
12%	12.17
24%	20.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเลต

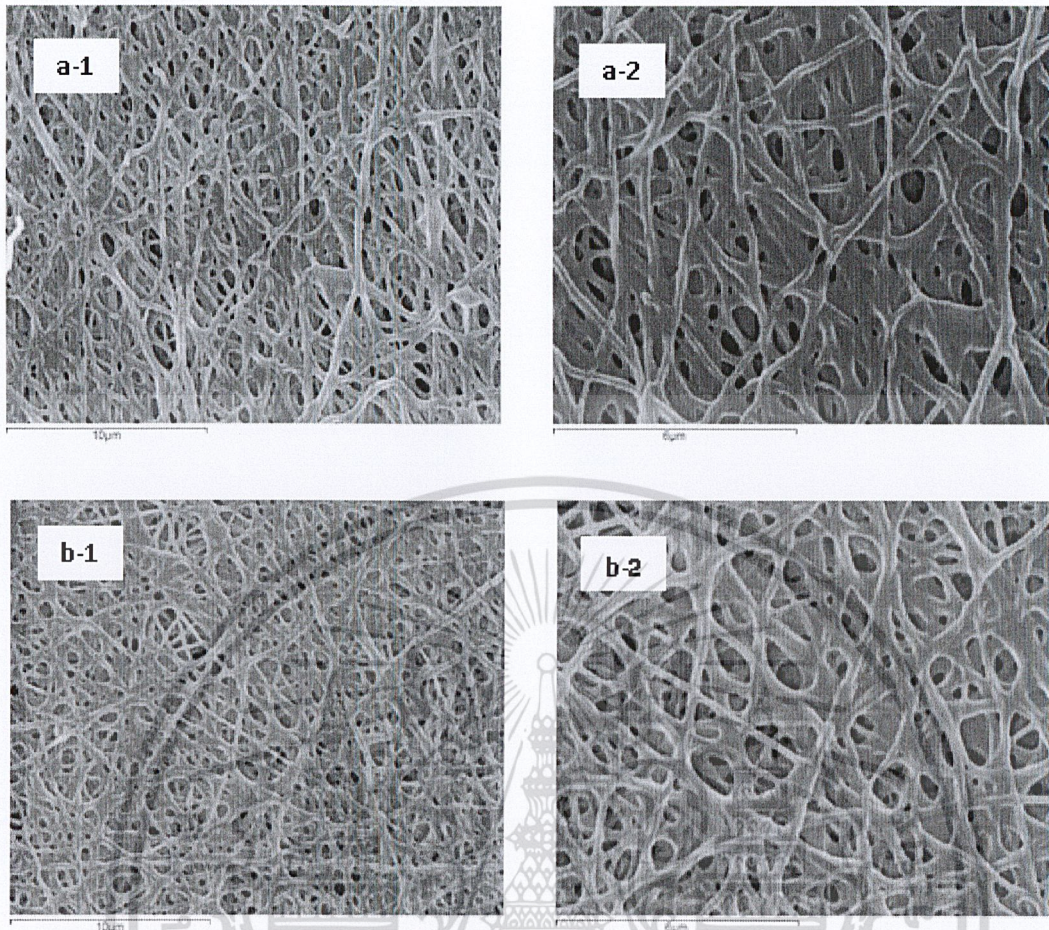
##### 4.2.2.1 ศึกษาพื้นฐานด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การศึกษาพื้นฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตต และลักษณะของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเลต โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลา 30 และ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอพอกไซด์ 12 % และ 24 % ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4-6 และ 4-7



รูปที่ 4-6 แสดงลักษณะพื้นฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตต ที่ฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเลต(UV) ที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอพอกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (UV)ต่างๆดังนี้ (a-1) 30 นาที กำลังขยาย 5000 เท่า (a-2) 30 นาที กำลังขยาย 10000 เท่า (b-1) 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 5000 เท่า และ(b-2) 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 10000 เท่า ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-7 แสดงลักษณะพื้นฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตด ที่ฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต(UV) ที่ความเข้มของไทเทเนียมไอโซเพอร์ออกไซด์ 24 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)ต่างๆดังนี้ (a-1) 30 นาที กำลังขยาย 5000 เท่า (a-2) 30 นาที กำลังขยาย 10000 เท่า (b-1) 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 5000 เท่า และ(b-2) 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 10000 เท่า ตามลำดับ

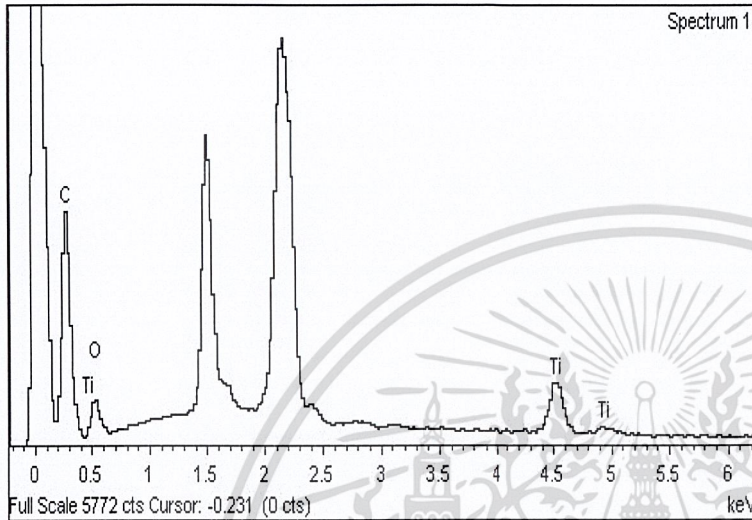
จากรูปที่ 4-6 ถึง 4-7 ผลการศึกษาพื้นฐานของเส้นใยนาโนด้วย SEM พบว่าเมื่อความเข้มของไทเทเนียมไอโซเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น เส้นใยจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากขึ้น มีการเชื่อมติดกันของเส้นใยแต่ละเส้นน้อยลง เส้นใยมีลักษณะที่เป็นผิวเรียบ ไม่พบเม็ดบีด(beads)อยู่บนเส้นใย อาจเป็นเพราะเมื่อความเข้มของสารละลายไทเทเนียมไอโซเพอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มขึ้น ไปอีกปมก็จะหายไป การลดแรงตึงผิวของสารละลายโดยการเติมตัวทำละลายหรือสารเคมีอื่นเข้าไปในระบบก็อาจทำให้ปริมาณของปมที่เกิดขึ้นลดลงได้ และค่าความหนืดที่ลดลง จะทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง แสดงให้เห็นว่าความเข้มของไทเทเนียมไอโซเพอร์ออกไซด์มีผลต่อขนาดของเส้นใย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเส้นใยไม่ถูกทำลายด้วยรังสียูวีและไม่สามารถพบผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์เช่นเดียวกันกับการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

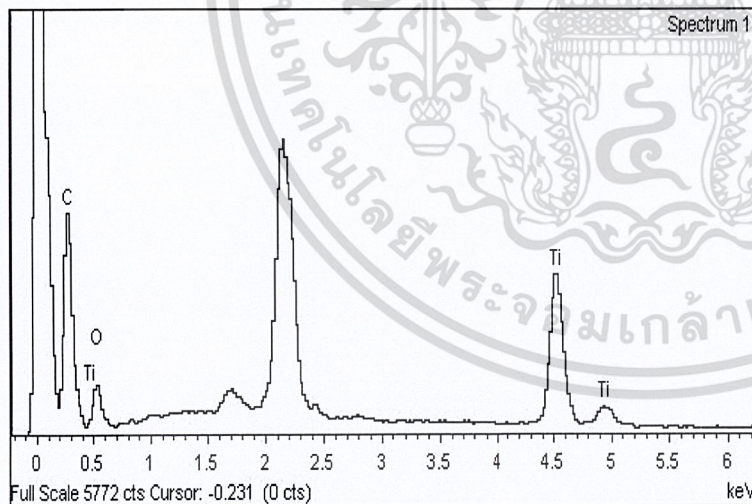
#### 4.2.2.2 วิเคราะห์ปริมาณด้วย Energy dispersive X-ray (EDX)

ผลจากศึกษาสัณฐานของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซิเตดที่มีอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบด้วยวิธีการฉายรังสียูวีจึงได้นำเส้นใยนาโนที่สภาวะดังกล่าวมาทำการศึกษาองค์ประกอบธาตุด้วยวิธี Energy dispersive X-ray (EDX) ได้ผลดังรูป 4-8



Element	Weight %	Atomic %
C	60.96	70.70
O	30.94	26.94
Ti	8.11	2.36

(a) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ ในตัวรังสียูวี 30 นาที



Element	Weight %	Atomic %
C	51.38	65.51
O	29.71	28.44
Ti	18.90	6.04

(b) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ 24 เปอร์เซ็นต์ ในตัวรังสียูวี 30 นาที

**รูปที่ 4-8** Energy dispersive X-ray (EDX) แสดงองค์ประกอบธาตุในเส้นใยนาโน (a) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ในตัวรังสียูวี 30 นาที (b) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ 24 เปอร์เซ็นต์ในตัวรังสียูวี 30 นาที

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการศึกษาองค์ประกอบของธาตุในเส้นใยนาพอลิไวนิลอะซีเตต โดยแปรค่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ ในระยะเวลาการอยู่ในตู้รังสียูวี ด้วย Energy dispersive X-ray (EDX) พบว่าความเข้มข้นไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ ในตู้รังสียูวี 30 นาที มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของไทเทเนียม 8.11 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ 24 เปอร์เซ็นต์ ในตู้รังสียูวี 30 นาที มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของไทเทเนียม 18.90 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4-2 ซึ่งแสดงว่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ที่ใส่ลงไป在线ใยกับหลังจากเปลี่ยนให้เป็นไทเทเนียมไดออกไซด์และได้ตรวจวัดโดยใช้ EDX นั้นสัมพันธ์กัน แต่อาจมีบ้างที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากการกระจายตัวของสารไทเทเนียม在线ใย ทำให้มีความคลาดเคลื่อนบ้าง หรืออาจเกิดจากการที่ไทเทเนียมอาจเกิดปฏิกิริยากับรังสียูวี

ตารางที่ 4-2 แสดงปริมาณไทเทเนียมที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Energy dispersive X-ray (EDX) ของเส้นใยนาพอลิไวนิลอะซีเตตที่ปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต(UV)

ความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์	ปริมาณไทเทเนียมที่วิเคราะห์ได้(wt%)
12%	8.11
24%	18.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์เส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตต ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยมีอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบเพื่อศึกษาวิธีการปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์บนผิวหน้าของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตต

5.1.1 จากงานวิจัยพบว่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์มีผลต่อขนาดของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตต คือจากการสังเคราะห์เส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตต ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต มีขนาดเฉลี่ยของเส้นใยดังนี้ เส้นใยที่มีไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์เป็นองค์ประกอบ 12 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดเฉลี่ยของเส้นใย  $236 \pm 32$  nm และ เส้นใยที่มีไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์เป็นองค์ประกอบ 24 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดเฉลี่ยของเส้นใย  $184 \pm 23$  nm

5.1.2 ผลจากการศึกษาสัณฐานเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตต ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเมื่อปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการไฮโดรไลซิสด้วยแอมโมเนีย นั้น จะทำให้เส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตตถูกไฮโดรไลซิสเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้เส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้เสียสภาพดังนั้นจึงไม่สามารถเกิดเป็นผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์บนผิวหน้าเส้นใยได้

5.1.3 จากการศึกษาสัณฐานเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตต ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเมื่อปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการฉายรังสียูวี พบว่าเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตตที่สังเคราะห์ได้ยังคงสภาพเส้นใยอยู่ แต่ก็ไม่สามารถเกิดเป็นผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์บนผิวหน้าเส้นใยได้

5.1.4 ผลจากการศึกษาอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นบริเวณเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตตหลังจากการแช่ในสารละลายแอมโมเนียด้วย Energy Dispersive X-ray Analyzer (EDX) พบว่าปริมาณไทเทเนียมที่มีในเส้นใยจะแปรผันตามปริมาณไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ที่ใส่ลงไป

5.1.5 ผลจากการศึกษาอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นบริเวณเส้นใยนาโนพอลิไวนิลอะซีเตตหลังจากการฉายรังสียูวีด้วย Energy Dispersive X-ray Analyzer (EDX) พบว่าปริมาณไทเทเนียมที่มีในเส้นใยจะแปรผันตามปริมาณไทเทเนียมไอโซเพอร์ฟอกไซด์ที่ใส่ลงไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากงานวิจัย สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ และผลิตภัณฑ์เยื่อกรอง เป็นต้น อีกทั้งสามารถศึกษาต่อได้โดยการเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์หรือโลหะออกไซด์เป็นชนิดอื่น เพื่อการพัฒนาเส้นใยนาโนที่มีศักยภาพที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ ให้หลากหลายมากขึ้น

5.2.2 จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไทเทเนียมไอโซเพอร์พอกไซด์ทำให้ปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น สามารถที่จะพัฒนาต่อ โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไทเทเนียมไอโซเพอร์พอกไซด์เพื่อให้ได้เส้นใยนาโนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

5.2.3 ในขั้นตอนการคิดเพื่อสังเคราะห์เส้นใยพอลิไวนิลอะซิเตต ควรมีการศึกษาสถานะต่างๆ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มที่บรรจุสารละลายพอลิเมอร์กับแผ่นโลหะรองรับเส้นใย และอัตราการไหลของปั๊มที่ควบคุมการไหลของพอลิเมอร์แต่ละชนิด

5.2.4 จากผลการวิจัยพบว่า ในการปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการแช่ในสารละลายแอมโมเนียซึ่งทำให้เส้นใยถูกทำลาย เนื่องจากสมบัติที่ไม่ทนต่อสารเคมีและตัวทำละลาย อีกทั้งทนความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ จึงควรมีการศึกษาถึงวิธีที่เหมาะสมและไม่เป็นการทำลายเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Cristina., P. Ivan., R. Kevin. 2007. "Nanomaterials and Nanoparticles: Sources and Toxicity". *Biointerphases*. 2. (4), MR17 - MR172.
- [2] [Online].Available : <http://www.Nano.kku.ac.th>
- [3] G.M. Whitesides., B. Grzybowski. 2002. Self-Assembly at All Scales. *Science*. 295.
- [4] [Online].Available : <http://www.vcharkarn.com/varticle/38129>
- [5] วลัยพร หงษ์โรจน์ววัฒน์. 2548. โพลีเมอร์นาโนไฟเบอร์โดยใช้เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2548.
- [6] [Online].Available : <http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK28/chapter8/t28-8-13.htm#sect4>
- [7] [Online].Available : [http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl\\_acetate](http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_acetate)
- [8] [Online].Available : <http://csic.diw.go.th:82/cms/images/stories/ptf/Manual/VAM.pdf>
- [9] [Online].Available : <http://www.nano.kku.ac.th/ssmg/?q=node/35>
- [10] [Online].Available : <http://azom.com/Details.asp?ArticleID=1179>
- [11] [Online].Available : <http://dcool.iqetweb.com/index.php?mo=3&art=332708>
- [12] [Online].Available : <http://www.magicnano.com/photocatalytic.html>
- [13] W. Jeerapong. 2004. Effects of synthesis parameters and secondary metal doping on physical and chemical properties of the electrospun titanium (IV) oxide nanofibers. Thesis (M.Eng.). Chulalongkorn University 2004.
- [14] C. Nuanchan. 2004. Effects of processing parameters on morphology and diameter of electrospun gelatin nanofibers. Thesis (M.Sc.). Chulalongkorn University 2004.
- [15] S.Sineenat.2004.Single and composite electrospun PLA and PLCG fibers and their biological properties.Journal of Electrospun nanofiber and applications.1(1) : 29-40
- [16] J.Wan ju.2008.Electrospun MnFe2O4 nanofiber : preparation and morphology.Composites Science and Technology.68(7-8),1704-1709
- [17] J.Young Park.2008.Optimization of the electrospinning condition for preparation of nanofibers from polyvinylacetate(PVAc) in ethanol solution.Journal of Industrial and Engineering chemistry,14(6),707-713

- [18] C. Suparak, R. Pesak, W. Saowakon. 2009. Morphology Investigation of Zinc Oxide – Nanorod Grown on Hybrid Ultrafine Fiber of Polyethylene Oxide/Cellulose Acetate. Journal of Microscopy Society of Thailand 2009. 23(1), 119-122.
- [19] ศิวพร จำปาอ่อน.,ทิพย์วรรณ จันทร์ศรี.,สุกัญญา หมั่นธัม.2009.การสังเคราะห์เส้นใยนาโนของไนลอน 6,6 ที่มีอนุภาคซิงค์ไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบโดยวิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- [20] S. Mahshid.2007. Synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles by hydrolysis and peptization of titanium isopropoxide solution. Journal of Materials Processing Technology. 189 ,296–300



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก  
สารเคมี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>)

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเก่าแก่ชนิดหนึ่งเท่ากับโลกของเรา และเป็นหนึ่งใน 50 ชนิดของสารที่ผลิตมากที่สุดทั่วโลก

### ลักษณะโดยทั่วไป

มีสีขาว ทึบแสง เกิดเองตามธรรมชาติมี 2 รูปแบบ ใหญ่ คือ รูไทล์และอานาเทส ทั้ง 2 รูปแบบมีไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์อยู่กับสารปนเปื้อนต้องผ่านกระบวนการทางเคมีจึงจะนำสารปนเปื้อนออกได้เหลือไว้แต่ไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์

### การใช้งาน

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารสีที่มีสีขาวมีประโยชน์สำหรับการใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากมันไม่มีกลิ่นและมีความสามารถในการดูดซับรังสี UV ได้ในหลายผลิตภัณฑ์ตั้งแต่สีทาบ้านไปจนถึงอาหารและเครื่องสำอางในกลุ่มเครื่องสำอางใช้เพื่อหลายวัตถุประสงค์ ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารสีที่มีสีขาว เป็นตัวที่ทำให้เกิดการทึบแสงและเป็นตัวป้องกันแสงแดด

### ความมีพิษและอันตราย

ไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารสีที่ปลอดภัย ไม่ใช่สารที่อยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็ง สารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ สารที่ทำให้ตัวอ่อนในครรภ์เกิดความผิดปกติ หรือสารที่มีพิษ ด้วยเหตุนี้จึงสรุปได้ว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่ใช่สารที่มีพิษ โดยทั่วไปมีความปลอดภัยในการใช้กับอาหาร ยา สี และเครื่องสำอาง แต่นี่ไม่ใช่ข้อยุติสำหรับการโต้แย้ง ความปลอดภัยของไทเทเนียมไดออกไซด์ในอีกรูปแบบหนึ่งยังไม่ได้กล่าวถึง หนึ่งในรูปแบบของแร่ หรือการสกัดแร่รวมถึงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ควรคำนึงถึงคือ อนุภาคขนาดเล็กหรืออนุภาคนาโน ด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทำให้สามารถทำแร่ให้มีขนาดเล็กได้อย่างที่ไม่เคยเป็นมาก่อน ขณะที่หลายส่วนซึ่งชนกับเทคโนโลยีใหม่ บางส่วนเตือนถึงอันตรายที่ซ่อนอยู่ภายในที่มาถึงร่างกายของเรา มีการศึกษาพบว่าอนุภาคขนาดเล็กของไทเทเนียมไดออกไซด์รูปแบบอานาเทส ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร ก่อให้เกิดโรคได้

นอกจากนี้การบาดเจ็บต่อเซลล์ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ยิ่งขนาดอนุภาคเล็ก ความเป็นพิษก็ยิ่งมากขึ้น โดยขนาด 70 นาโนเมตร สามารถแทรกผ่านถุงลมในปอดได้ ขนาด 50 นาโนเมตร สามารถแทรกผ่านเซลล์ได้ และขนาด 30 นาโนเมตร สามารถแทรกเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางได้ ผลการสรุปนี้เกี่ยวข้องกับผู้บริโภค เนื่องจากอุตสาหกรรมเครื่องสำอางกำลังใช้สารสีขนาดเล็กเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ในสารกันแดดและเครื่องสำอางที่ให้สี อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกใช้ในสารกันแดดเนื่องจากไม่มีสี และแม้ว่าจะมีขนาดเล็กก็ยังสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ มีบริษัทเครื่องสำอางหลายบริษัทที่เพิ่มทุนในการใช้อนุภาคนาโนของโลหะออกไซด์ อย่างไรก็ตามอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในฐานะที่เป็นสารกันแดดมีขนาดเล็กก็อาจจะสามารถแทรกผ่านเซลล์ และนำไปสู่การเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสภายในเซลล์ได้ และก่อให้เกิดความเสียหายแก่ DNA เมื่อได้รับแสง และเป็นที่น่ากลัวว่าจะก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนัง การศึกษา

โดยการใส่สารกันแดดที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กทุกวันเป็นเวลา 2-4 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าผิวหนังสามารถดูดซับอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กได้ อนุภาคเหล่านี้พบได้ในชั้นของผิวหนังภายใต้แสงอุตราไวโอเลต สำหรับอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในการสะท้อนหรือดูดกลืนแสงอุตราไวโอเลตได้เพื่อปกป้องผิว ดังนั้นผู้บริโภคจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้ผลิตภัณฑ์ที่อนุภาคของสารสีขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นสารกันแดดหรือเครื่องสำอางที่ให้สี

### องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

ผลิตภัณฑ์นี้ถูกเตรียมขึ้น ผลิตภัณฑ์นี้ไม่บรรจุสารใดๆที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพหรือสิ่งแวดล้อม ตามคำจำกัดความของคำสั่งประชาคมเศรษฐกิจยุโรปเลขที่ 6 548/EEC และไม่บรรจุสารใดๆซึ่งมีขีดจำกัดในการสัมผัสผลิตภัณฑ์ต้องความเข้มข้นในการทำงานเท่ากับหรือสูงกว่าขีดจำกัดการสัมผัสผลิตภัณฑ์ในการทำงานซึ่งระบุไว้ในคำสั่งประชาคมเศรษฐกิจยุโรปเลขที่ 99/45/EC

### ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

ไม่จัดว่าเป็นอันตรายตามเกณฑ์ของกฎข้อบังคับ

### มาตรการปฐมพยาบาล

การสูดดม คือ : เคลื่อนย้ายไปยังที่ที่อากาศบริสุทธิ์

สัมผัสกับผิวหนัง คือ : ล้างด้วยน้ำและสบู่เพื่อความไม่ประมาท ถอดเสื้อผ้าที่ปนเปื้อนและทำความสะอาดก่อนนำมาใช้อีกครั้ง ถ้าการระคายเคืองที่ผิวหนังยังคงอยู่ให้โทรตามแพทย์

สัมผัสกับตา คือ : ล้างด้วยน้ำ ถ้าการระคายเคืองที่ตายังคงอยู่ให้ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ

การกลืนกิน คือ : ดื่มน้ำหนึ่งหรือสองแก้ว ไม่ควรให้อะไรทางปากกับผู้ที่ไม่มีสติ ปรึกษาแพทย์ถ้ามี

### ความจำเป็นมาตรการในการดับเพลิง

การสลายตัวด้วยความร้อน การเผาไหม้ทำให้เกิดควันพิษดังนี้ : คาร์บอนออกไซด์ สารดับเพลิงที่เหมาะสม คือ : คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>), สารเคมีแห้ง, ละอองน้ำ

อันตรายเฉพาะในระหว่างการดับเพลิง คือ : เป็นสิ่งที่ติดไฟได้ ไหม้รุนแรงพร้อมความร้อนจัด ฝุ่นที่ความเข้มข้นพอเพียงสามารถเกิดเป็นส่วนผสมที่ระเบิดได้กับอากาศ อย่าใช้น้ำที่ฉีดเป็นลำน้ำที่ฉีดเป็นลำโดยตรงไปที่วัตถุนี้จะทำให้ส่วนผสมของฝุ่นลอยที่มีศักยภาพที่จะระเบิดได้

อุปกรณ์ป้องกันพิเศษสำหรับนักดับเพลิง คือ : สวมเครื่องช่วยหายใจและชุดป้องกัน

### มาตรการเมื่อมีการปล่อยสารโดยอุบัติเหตุ

#### ข้อพึงระวังส่วนบุคคล

- ใช้อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ • กำจัดแหล่งกำเนิดของประกายไฟทั้งหมดออกจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ควรมีระบบระบายอากาศที่เพียงพอเหมาะสม
- หลีกเลี่ยงการหายใจเอาฝุ่นเข้าไป

#### วิธีการในการทำความสะอาด

- กวาดหรือตักใส่ภาชนะที่เหมาะสมก่อนนำไปทิ้ง
- ใช้น้ำฉีดเพื่อคุณให้มีฝุ่นน้อยที่สุด

### การจัดการและการเก็บรักษา

#### การจัดการ

อย่าสูดดมฝุ่น อย่าสูดหายใจไอ/หมอกหรือแก๊ส หลีกเลี่ยงการสัมผัสตาผิวหนังและเสื้อผ้า ล้างออกให้สะอาดหลังจับต้อง ห้ามเข้าใกล้ความร้อนและแหล่งกำเนิดประกายไฟ ต่อสายดินภาชนะโลหะทั้งหมดระหว่างเก็บและหีบจับ ควรมีระบบระบายอากาศที่เพียงพอเหมาะสม ปิดภาชนะบรรจุให้สนิท ไอโมโนเมอร์(Monomer)สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อวัสดุโคนความร้อนในระหว่างขั้นตอนกระบวนการ โพรดดูชนิดของการระบายอากาศที่จำเป็นในตอนี่ 8 เมื่อวัสดุนี้ถูกหลอมละลายในกระบวนการให้กลายพลาสติกอาจปล่อย โพร ์วินิลไซโคลเฮกแซน(4-Vinylcyclohexene)ออกมา (หมายเลขจดทะเบียน CAS เลขที่ 100-40-3) เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะเช่นนี้ให้มีการระบายอากาศอย่างพอเพียงเพื่อป้องกันการสัมผัสถูกต้อง โพร ์วินิลไซโคลเฮกแซน (4-Vinylcyclohexene) สูงกว่าค่ามาตรฐานความปลอดภัยของ ACGIH TWA ซึ่งเท่ากับ 0.1 ppm

#### ข้อเสนอแนะในการป้องกันไฟไหม้และการระเบิด

หลีกเลี่ยงฝุ่นละอองที่มีความเข้มข้นสูงในอากาศและฝุ่นละอองที่สะสมบนอุปกรณ์ฝุ่นละอองที่ลอยแขวนในอากาศของวัสดุนี้สามารถก่อตัวเป็นระเบิดฝุ่นได้เมื่อหีบจับหรือปฏิบัติการกับวัสดุนี้ อาจต้องการเครื่องถ่ายเทไอเสียเฉพาะที่เพื่อควบคุมละอองฝุ่นและลดการสัมผัสกับไอน้ำเพื่อป้องกันการระเบิดละอองฝุ่น ใช้วิธีสร้างพันธะและถ่ายประจุลงดินสำหรับกระบวนการที่อาจสร้างกระแสไฟฟ้าสถิตป้องกันการอุปกรณ์ทั้งหลายจากการระเบิดตามแนวปฏิบัติในแนวปฏิบัติของสมาคมการป้องกันเพลิงแห่งชาติ (NFPA) เลขที่ NFPA-68 และNFPA-69 สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าปฏิบัติตามข้อบังคับท้องถิ่นและการจัดจำแนกชั้นทางไฟฟ้าของ N PA-70 (รหัสทางด้านไฟฟ้าแห่งชาติ) ประเภท II หน่วย 2 กลุ่ม G.

#### การจัดเก็บ

สภาพการเก็บคือ คือ : ห้ามเข้าใกล้ความร้อนและแหล่งกำเนิดประกายไฟ วัสดุสามารถไหม้ได้ จำกัดการเก็บไว้ในตัวอาคารไว้เฉพาะในบริเวณที่ได้รับการอนุมัติซึ่งมีเครื่องฉีดน้ำฝอยอัตโนมัติจำนวนมากติดตั้งอยู่ หลีกเลี่ยงแหล่งที่ทำให้เกิดการลุกไหม้ทั้งหมด เก็บห่างจากความร้อนสูงเกินปกติ(ตัวอย่างเช่นท่อส่งไอน้ำเครื่องทำความร้อน)ห่างจากแหล่งกำเนิดการลุกไหม้และห่างจากวัสดุที่พอมจะเข้าทำปฏิกิริยาเคมี

เอกสาร อุดมทุมิในการเก็บรักษา คือ : < 60 องศาเซลเซียส ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมการสัมผัสสาร/การป้องกันส่วนบุคคล

### การควบคุมการสัมผัส

การป้องกันอันตรายต่อตา คือ: แว่นตานิรภัย เครื่องป้องกันตาที่ใส่ต้องไม่กีดขวางกับเครื่องช่วยหายใจที่ใช้

การป้องกันอันตรายต่อมือ คือ: ถุงมือลาเท็กซ์

การป้องกันระบบทางเดินหายใจ คือ: ต้องปฏิบัติตามโปรแกรมการป้องกันระบบหายใจถูกต้องตามเงื่อนไขกฎเกณฑ์ของ OSHA 1910.134 และ ANSI Z88.2 หรือเทียบเท่าเมื่อใดก็ตามที่สภาพการทำงานจำเป็นต้องมีการใช้เครื่องช่วยหายใจ

มาตรการป้องกัน คือ: สถานที่ปฏิบัติงานที่เก็บหรือใช้วัสดุนี้ควรจัดให้มีอุปกรณ์ล้างตาฉุกเฉิน

มาตรการทางวิศวกรรม คือ: ใช้ระบบดูดอากาศเฉพาะที่ที่มีความเร็วในการจับต่ำสุด 150 ฟุต/นาที (0.75 ม/วินาที) ที่จุดเกิดฝุ่นหรือละออง สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบการติดตั้งการใช้และการบำรุงรักษาระบบดูดอากาศเสียโปรดดูที่เอกสารฉบับปัจจุบันเรื่อง Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice จัดพิมพ์โดย American Conference of Governmental Industrial Hygienists

### สมบัติทางกายภาพและเคมี

สถานะทางกายภาพ	ผง
สี	สีขาว
กลิ่น	กลิ่นฉุนหวาน
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	N/A
จุดหลอมเหลว/ช่วงของจุดหลอมเหลว	132 - 149 องศาเซลเซียส
ขีดจำกัดล่างของการระเบิด	N/A
ขีดจำกัดบนของการระเบิด	N/A
ความดันไอ	N/A
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของไอ	N/A
ความสามารถในการละลายน้ำ	ไม่ละลาย
ความหนาแน่นสัมพัทธ์	0.42 g/cm <sup>3</sup>
อัตราการระเหย	N/A
เปอร์เซ็นต์ในการระเหยเป็นไอ	0 %
จุดวาบไฟ	N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความเสถียรและความไวต่อปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาอันตราย : ไม่ทราบข้อมูลใดๆ

เสถียร

สารเคมีที่ควรหลีกเลี่ยง : การสัมผัสกรดอัลคาไล(alkalies)และสารที่ทำให้เกิดการออกซิเดชันรุนแรง เป็นเวลานานอาจทำให้เกิดหรือละลายโพลีเมอร์

สารอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : การให้ความร้อนที่อุณหภูมิเหนืออุณหภูมิที่ทำให้เกิดการสลายตัว จะทำให้มีอะคริลิกมอนอเมอร์ปลดปล่อยออกมา

ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ : ผลิตภัณฑ์จะไม่เกิดกระบวนการโพลีเมอไรเซชัน

## ข้อมูลทางพิษวิทยา

ความเป็นพิษทางปากแบบ : LD50 หนู > 5,000 mg/kg

เฉียบพลัน

ความเป็นพิษต่อการสูดดม : LC50 หนู ผุ่นที่แพร่ขนาดความเข้มข้นสูงสุด3.4มก./ล. เป็นเวลา4ชั่วโมง

แบบเฉียบพลัน : ไม่ทำให้เกิดการตายเลยแก่สัตว์ที่ทดลองทั้ง24ตัว(ตัวผู้ 12ตัวเมีย 12)

ความเป็นพิษทางผิวหนัง : LD50 กระจ่าง > 5,000 mg/kg

แบบเฉียบพลัน

ระคายเคืองต่อผิว : กระจ่าง การระคายเคืองแบบเล็กน้อยๆ

ระคายเคืองต่อตา : กระจ่าง การระคายเคืองแบบเล็กน้อยๆ

ความเป็นพิษแบบกึ่งเรื้อรัง : การศึกษาหนูด้านการสูดดมผงที่มีส่วนประกอบคล้ายคลึงกับอะคริลิก (acrylic) ที่ความเข้มข้น 6 mg/m<sup>3</sup> เป็นเวลาวันละ 6 ชั่วโมง สัปดาห์ละ 5 วัน เป็นระยะเวลา 13 สัปดาห์แสดงให้เห็นอาการอักเสบในปอด การค้นพบดังกล่าวเหล่านี้ตรงกับผลจากการสัมผัสสูงที่สุดของความเข้มข้นสูงที่ได้รับ รายงานสำหรับผุ่นที่ไม่สามารถละลายได้เช่นผุ่นไทเทเนียมไดออกไซด์ (titaniumdioxid)และผุ่นไททเนออร์ ไม่คาดว่าสารรักษาระดับความเข้มข้นของผุ่นในอากาศให้อยู่ภายใต้ขีดจำกัดในการสัมผัสสูงที่สุดที่แนะนำจะทำให้เกิดผลเสียหายภายในปอด

## ข้อมูลเชิงนิเวศน์

ไม่มีข้อมูลของผลิตภัณฑ์นี้ปรากฏ

## สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการกำจัด

การกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้เฉพาะในกรณีที่มีการร้องขอเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้  
ใส่ลงในถุงที่ผนึกแน่น ไม่มีอากาศเข้าได้ สำหรับการกำจัด ให้ส่งวัสดุนี้เผาในเตาเผาที่ได้รับอนุญาตตามกฎหมาย

## ข้อมูลการขนส่ง

การจัดประเภทสำหรับการขนส่งทางถนนและทางรถไฟ : Not regulated (Not dangerous for transport)

การจัดประเภทสำหรับการขนส่งทางทะเล (IMO/IMDG) : Not regulated (Not dangerous for transport)

การจัดประเภทสำหรับการขนส่งทางอากาศ (IATA/ICAO) : Not regulated (Not dangerous for transport)

## ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

### ฉลาก

การจัดประเภทและการติดฉลากนี้ เป็นไปตามตามกฎข้อบังคับ

เครื่องหมายอันตรายและเครื่องบ่งชี้อันตราย

ไม่จัดว่าเป็นอันตรายตามเกณฑ์ของกฎข้อบังคับ

ประกอบด้วย คือ: Butyl methacrylate

อาจก่อให้เกิดอาการแพ้

มีเอกสารข้อมูลความปลอดภัยแจกให้สำหรับผู้ประกอบวิชาชีพตามที่ร้องขอ

พระราชบัญญัติควบคุมสารพิษ (TSCA) ประเทศสหรัฐอเมริกา (TSCA) คือ: ส่วนประกอบทั้งหมดของผลิตภัณฑ์นี้ล้วนเป็นไปตามบัญชีรายชื่อที่แจ้งเงื่อนไขของพระราชบัญญัติการควบคุมสารอันตรายของอเมริกา (TSCA) ของบัญชีรายการสารเคมี

## พอลิไวนิลอะซิเตต

### การผลิตพอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl acetate)

สัดส่วนวัตถุดิบหลัก : ไวนิลอะซิเตตมอนอเมอร์ 48% น้ำ 48% และอื่นๆ จำพวกสารริเริ่มและสารหน่วง

ปริมาณการใช้ไวนิลอะซิเตตมอนอเมอร์ : ประมาณ 24,000 ตัน

### กระบวนการผลิต

พอลิไวนิลอะซิเตตเกิดจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk) หรือแบบแขวนลอย (Suspension) หรือ แบบอิมัลชัน (Emulsion) แต่เนื่องจากพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์มีปฏิกิริยาที่ค่อนข้างรุนแรง ทำให้กระบวนการผลิตส่วนใหญ่เลือกใช้กระบวนการอิมัลชัน โดยกระบวนการนี้ทำในถังปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor) ที่มีตัวห่อหุ้ม (Jacket) ทำหน้าที่หล่อเย็นและให้ความร้อน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือ ไวนิลอะซิเตตมอนอเมอร์ น้ำ และสารริเริ่ม ได้แก่ ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส (Hydroxyethylcellulose) พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethyleneglycol) และ โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่สภาวะ 75 - 80°C เป็นเวลา 2 - 4 ชั่วโมง เนื่องจากปฏิกิริยามีการคายความร้อนอย่างรุนแรงดังนั้นในการทำปฏิกิริยาควรป้องกันไม่ให้เกิดภาวะใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอนอเมอร์ที่ละน้อยและอย่างช้าๆ ซึ่งปฏิกิริยาสามารถยับยั้งได้โดยการเติมสารหน่วง (Inhibitor) คือ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate) ผลิตรกัณฑ์พอลิไวนิล อะซีเตตจะมีสภาพหนืด (Latex) จากนั้นส่งไปดีแคนเตอร์ (Decanter) และนำไปอบด้วยเครื่องอบแห้งจนได้ พอลิเมอร์แข็ง

### ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ (Vinyl acetate monomer, VAM)

สูตรเคมี	สูตรโครงสร้าง
$C_4H_6O_2$	$  \begin{array}{c}  \text{O} \\     \\  \text{CH}_2=\text{CH}-\text{O}-\text{C}-\text{CH}_3  \end{array}  $

ชื่อเรียกอื่น (Synonyms)	การจัดประเภทตามข้อกำหนด EU
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1-อะซีทอกซีเอทิลีน (1-Acetoxyethylene)</li> <li>▪ อะซีติกแอซิด เอทิลีน เอสเตอร์ (Acetic acid ethenyl ester)</li> <li>▪ อะซีติกแอซิด ไวนิล เอสเตอร์ (Acetic acid vinyl ester)</li> <li>▪ อะซีทอกซีอีทีน (Acetoxyethene)</li> <li>▪ อะซีโทเอทิลีน (Acetoethylene)</li> <li>▪ อะทิลีน อะซีเตต เอทิลีน เอทานอเอต (Athenyl acetate ethenyl ethanoate)</li> <li>▪ พอนอล (Ponal)</li> <li>▪ ไวนิล เอ มอนอเมอร์ (Vinyl a monomer)</li> <li>▪ ไวนิลอะซีเตต เฮชคิว (Vinyl acetate HQ)</li> <li>▪ ไวนิลเอทานอเอต (Vinyl ethanoate)</li> </ul> <p>คำย่อ: RP 251, RP 251 (Ester), VAC, VAM</p>	<p><b>การจำแนกประเภทของสาร (Classification)</b> ไวไฟสูง F; R11</p> <p><b>ข้อความบอกความเสี่ยง (R-phases)</b> R11 ไวไฟสูง</p> <p><b>ข้อความบอกมาตรการความปลอดภัย (S-phases)</b> S2 เก็บให้พ้นมือเด็ก S16 เก็บให้ห่างจากแหล่งกำเนิดพลังงานอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดการลุกไหม้ ห้ามสูบบุหรี่ S23 ไม่หายใจเอาก๊าซ/ฟุ้ง/ไอระเหย/ละอองเข้าไป ไป (ผู้ผลิตต้องระบุคำอธิบายที่เหมาะสม) S29 ห้ามเททิ้งในท่อระบายน้ำ S33 ใช้มาตรการป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิต</p> <p><b>สัญลักษณ์และการบ่งชี้ความเป็นอันตราย</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>F – ไวไฟสูง</p> </div>
CAS Number: 108-05-4	
EC Number (EINECS): 203-545-4	
Index Number: 607-023-00-0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลักษณะสมบัติและความเป็นอันตรายของไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์

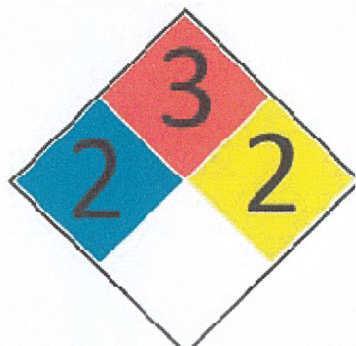
### 1. สมบัติทางกายภาพ

สภาพปรากฏ และกลิ่น	ของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่นหอมฉุน
จุดหลอมเหลว	-93°C
จุดเดือด	73°C
จุดวาบไฟ	-8 °C ในถ้วยปิด
อุณหภูมิวิกฤต	246oC
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ 20°C (น้ำเท่ากับ 1)	0.934
ความหนาแน่นไอสัมพัทธ์ที่ 20°C (อากาศเท่ากับ 1)	2.97
ความเข้มข้นที่สามารถรับกลิ่นได้	0.11 ppm
ความสามารถในการละลายน้ำ (ที่ 20°C)	2.3 g/l
ความดันไอ ที่ 20°C	0.12 atm (89.1 มิลลิเมตรปรอท)
40°C	0.29 atm (222.1 มิลลิเมตรปรอท)
60°C	0.64 atm (487.4 มิลลิเมตรปรอท)
แรงตึงผิว (ที่ 20°C)	23.6 mN/m
อัตราการระเหย (เทียบ BuAc = 1)	8.9 g/m <sup>2</sup> -hr
ค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี ที่ 25°C (ค่าแสดงสมมูลของสารที่ปรากฏในสถานะก๊าซและสถานะของเหลว)	4.46 x 10 <sup>-4</sup> atm-m <sup>3</sup> /mol
เวลาครึ่งชีวิต	
อากาศ	6 ชั่วโมง
น้ำ	4 วัน
ดิน	15 ชั่วโมง

### 2. สมบัติในการติดไฟ

National Fire Protection Association, NFPA ได้ระบุดัชนีบ่งชี้อันตรายของสารเคมีโดยพิจารณาจากตัวแปร 4 ตัว คือ ผลต่อสุขภาพอนามัย ความไวไฟ ความไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งได้กำหนดช่วงคะแนนระหว่าง 0 – 4 และข้อมูลพิเศษ โดยไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์มีดัชนีบ่งชี้อันตรายตามมาตรฐานของ NFPA ดังแสดงในรูปที่ 1-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความรุนแรงตามมาตรฐาน NFPA ของไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ มีดังนี้  
สีน้ำเงิน แสดงความเป็นอันตรายด้านสุขภาพระดับ 2 :

อันตรายปานกลาง

สีแดง แสดงความไวไฟระดับ 3 : ไวไฟสูง

สีเหลือง แสดงความไวต่อปฏิกิริยาระดับ 2 : ปฏิกิริยาเคมี

รุนแรง

สีขาว แสดงข้อมูลพิเศษ : ไม่มี

รูปที่ 1-1 ฉลาก NFPA ของไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์

<p><b>ขีดจำกัดของการระเบิดในอากาศ (% โดยปริมาตร)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ขีดจำกัดล่าง (Lower Explosive Limit, LEL) : 2.6%</li> <li>▪ ขีดจำกัดบน (Upper Explosive Limit, UEL) : 13.4%</li> </ul>
<p>ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ : ลูกไฟติดไฟได้ ดังนั้นควรเก็บห่างจากแหล่งกำเนิดประกายไฟ</p>
<p><b>จุดวาบไฟ (ในถ้วยปิด) : -8°C</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ จัดอยู่ในวัตถุอันตรายประเภทที่ 3 ของเหลวไวไฟ (Flammable Liquid) กลุ่มการบรรจุ II ตามประกาศมติคณะกรรมการวัตถุอันตราย เรื่อง การขนส่งวัตถุอันตรายทางบก พ.ศ. 2545 (ของเหลวที่มีจุดวาบไฟน้อยกว่า 23°C และจุดเดือดมากกว่า 35°C)</li> </ul>
<p><b>อุณหภูมิติดไฟด้วยตัวเอง : 402°C</b></p> <p>ค่าความร้อนสำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้ (ที่ 25°C) : 2,079 kJ/mol</p> <p>ค่าความร้อนสำหรับการระเหย (1 atm) : 367.9 J/g</p> <p>ค่าความร้อนสำหรับปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน : 89.1 kJ/mol</p>
<p><b>ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ การเผาไหม้สมบูรณ์ ในที่มีอากาศมากเกินไป จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ</li> <li>▪ การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ กรดอะซิติก อะโครลีน (Acrolein) และออกไซด์ของไนโตรเจน</li> </ul>
<p><b>การทำปฏิกิริยา</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ทำปฏิกิริยารุนแรงกับ กรดแก่ เบสแก่ ซิลิกา อลูมินา สารประกอบเปอร์ออกไซด์ สารออกซิไดซ์ สารอัลคาไลด์ และสารประกอบอะโซ (Azo Compounds)</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ข้อมูลด้านพิษวิทยา

#### 3.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

- ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์สามารถซึมผ่านเข้าร่างกายทางผิวหนังได้
- การสัมผัสทางการกลืนกิน (ซึ่งไม่ใช่กรณีที่เกิดขึ้นง่ายนัก) จะมีผลต่อการหายใจและระคายเคืองในปาก ลำคอ หลอดอาหาร และกระเพาะอาหาร
- การสัมผัสทางการหายใจ จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ลำคอ จมูก และดวงตา ถ้าสูดดมในปริมาณมากอาจทำให้เกิดอาการปวดบวม คลื่นไส้ และปวดศีรษะ
- การสัมผัสทางผิวหนัง จะทำให้เกิดการพองของผิวหนัง สารนี้สามารถซึมผ่านชั้นผิวหนังได้
- การสัมผัสทางตา ทำให้เกิดการระคายเคือง ตาแดง ปวดตา ถ้าสารนี้สัมผัสดวงตาโดยตรงจะทำให้เกิดแผลไหม้ที่ตา และตาบอดได้
- อวัยวะที่ได้รับผลกระทบคือ ระบบประสาทส่วนกลาง ปลายประสาท เส้นประสาท ปอด ผิวหนัง ตา และจมูก

#### 3.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

- International Agency for Research on Cancer (IARC) ระบุให้ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์อยู่ในกลุ่ม 2B 2 คือ มีความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (Possibly Carcinogenic to Humans) ซึ่งยังมีหลักฐานไม่เพียงพอสำหรับการก่อมะเร็งในมนุษย์ แต่มีหลักฐานการเกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง
- EPA ไม่จัดไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ว่าเป็นสารที่มีความเป็นไปได้ที่จะก่อมะเร็งในมนุษย์ 3
- ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผู้ปฏิบัติงาน
- สำหรับการศึกษานิสัตว์ทดลอง :
- ปริมาณความเข้มข้นของไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ในอากาศ ที่ 0.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (mg/m<sup>3</sup>) จะทำให้เกิดแผลในโพรงจมูกของหนูทดลอง
- ปริมาณไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ที่หนูทดลองได้รับไม่ควรเกิน 1.0 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม/วัน และหากได้รับไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ติดต่อกันเป็นเวลานานจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและระบบไตในหนูทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ระดับความเป็นพิษในสิ่งมีชีวิต

NIOSH REL	4 ppm	ความเป็นพิษ (Toxicity)
NIOSH REL-C1	5 mg/m <sup>3</sup>	
(15 นาทีระหว่างทำงาน)		
		LD <sub>50</sub> (Oral, Rat) 2,920 mg/kg
		LD <sub>50</sub> (Dermal, Rabbit) 2,335 mg/kg
		LC <sub>50</sub> (Inhalation, Mouse) 1,550 ppm ในเวลา 4 ชั่วโมง
ค่าความเข้มข้นแนะนำสำหรับการวางแผนโต้ตอบเหตุฉุกเฉิน (Emergency Response Planning Guideline Values, ERPG) 3 สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในหัวข้อ “อักษรย่อและคำอธิบาย”		
ERPG 1	5 ppm	
ERPG 2	75 ppm	
ERPG 3	500 ppm	
IDLH	ไม่ระบุ	

#### 5. ระดับความเป็นพิษในน้ำ

- ค่าความเป็นพิษในน้ำ (LC50) : สำหรับในน้ำทะเลที่ความเข้มข้นของ ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ เกินกว่า 14 ppm ตลอด 96 ชั่วโมงจะทำให้ปลา Bluegill ตายครึ่งหนึ่งของทั้งหมด (14 ppm / 96 hr/ Bluegill / 50% killed / Sea Water)
- Log Kow : 0.73
- Log BCF in Fish : 0.32 - 0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยรวม

ผลกระทบ	ค่าที่คำนวณได้	หน่วย
ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรลดลง (Abiotic Depletion)	0.029	kg Sb eq
ศักยภาพที่ทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential, GWP100)	1.93	kg CO <sub>2</sub> eq
ศักยภาพที่ทำให้ชั้น โอโซนลดลง (Ozone Layer Depletion, ODP)	0.000000209	kg CFC-11 eq
ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity)	0.645	kg 1,4-DB eq
ความเป็นพิษในแหล่งน้ำจืด (Fresh Water Aquatic Ecotoxicity)	0.131	kg 1,4-DB eq
ความเป็นพิษในแหล่งน้ำทะเล (Marine Aquatic Ecotoxicity)	671	kg 1,4-DB eq
ความเป็นพิษในดิน (Terrestrial Ecotoxicity)	0.00673	kg 1,4-DB eq
ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเคมีโดยใช้แสง (Photochemical Oxidation)	0.00197	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
ศักยภาพที่ทำให้เกิดฝนกรด (Acidification)	0.00954	kg SO <sub>2</sub> eq
ปรากฏการณ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำ (Eutrophication)	0.000934	kg PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> eq

## 7. ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา

- ความคงตัวทางเคมี : เป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายทั้งตัวเองและสารเคมีชนิดอื่นแต่มีความเสถียรเมื่อมีส่วนประกอบของสารหน่วงที่เหมาะสมภายใต้อุณหภูมิ และความดันปกติ
- สารที่เข้ากันไม่ได้ : กรดแก่ ต่างแก่ สารออกซิไดซ์ สารประกอบเปอร์ออกไซด์ และ สารประกอบอะโซ
- สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง : ความร้อน แสง และการสูญเสียสารหน่วงปฏิกิริยา
- ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน : อาจเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่เป็นอันตราย เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงแดดหรือความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีและวัสดุที่ไม่สามารถเก็บร่วมกับไวน์โลหะซีเตตมอนอเมอร์
▪ ยางไนไตรต์ (Nitrile Rubber)
▪ ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)
▪ นีโอพรีน (Neoprene) ยอมรับได้ในระยะเวลาการใช้งานสั้นๆ
▪ พอลิยูรีเทน (Polyurethane)
▪ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)
▪ คลอริเนเตดพอลิไวนิลคลอไรด์ (CPVC)
▪ ซิลิโคน (Silicone)
▪ ท่อ-สายยางไทกอน (Tygon Tubing)
▪ กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)
▪ กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid)
▪ กรดไนตริก (Nitric acid)
▪ กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)
▪ โอเลียม (Oleum)
▪ สารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Peroxides)
▪ ซิลิกา (Silica)
▪ อลูมินา (Alumina)
▪ สารออกซิไดซ์ (Oxidizing agents)
▪ สารละลายอัลคาไล (Alkali solution)
▪ สารประกอบอะโซ (Azo compounds)

## 8. ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันและการป้องกัน

ไวน์โลหะซีเตตมอนอเมอร์ค่อนข้างไวต่อการเกิดปฏิกิริยา และอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่ (Chain Polymerization) ที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งนำไปสู่การเกิดพอลิเมอไรเซชันได้ด้วยตนเอง การเกิดพอลิเมอไรเซชันนี้จะเกิดการคายพลังงานความร้อน ( $\Delta H$ ) 89.1 kJ/mol (1,035 J/g) พลังงานความร้อนปริมาณมากนี้จะเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้เร็วยิ่งขึ้น จนอาจไม่สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาได้ (Runaway Reaction) และนำไปสู่การระเบิดของถังเก็บหรือถังปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เกณฑ์พิจารณาระดับความรุนแรงของปฏิกิริยาคายความร้อน

$\Delta H < 210$  J/g คายความร้อนน้อย

$210 < \Delta H < 630$  J/g คายความร้อนปานกลาง

$\Delta H > 630$  J/g คายความร้อนรุนแรง

### 8.1 สาเหตุการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยตัวเอง

- การเสื่อมสภาพของสารหน่วง (Inhibitor)
- ปริมาณออกซิเจนหรืออากาศที่มีมากเกินไปจนความจำเป็น ทำให้ไวไนลอะซีเตตมอนอเมอร์ซึ่งเป็นสารเปอร์ออกไซด์ฟอร์มเมอร์ (Peroxide Former\*) กลุ่ม C ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์ได้ง่าย ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน
- มีการปนเปื้อนของสารเปอร์ออกไซด์ฟอร์มเมอร์กลุ่ม B หรือ C
- ได้รับการกระตุ้นจากแสงแดด หรือความร้อน
- เกิดจากระบบหล่อเย็นที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการควบคุมอุณหภูมิของถังเก็บหรือถังปฏิกรณ์ให้อยู่ในช่วงของอุณหภูมิที่ปลอดภัย (25 - 50°C)

หมายเหตุ: (Peroxide Former \*) สามารถจำแนกเป็น 3 กลุ่ม

กลุ่ม A : กลุ่มของสารเคมีที่สามารถเกิดเปอร์ออกไซด์ได้เมื่อสัมผัสกับอากาศ โดยไม่จำเป็นต้องมีความเข้มข้นสูง

กลุ่ม B : กลุ่มของสารเคมีที่สามารถเกิดเปอร์ออกไซด์ได้เมื่อมีความเข้มข้นพอดีและสัมผัสกับอากาศ

กลุ่ม C : กลุ่มของมอนอเมอร์ที่ก่อตัวเป็นสารจำพวกเปอร์ออกไซด์และอาจทำตัวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของการเกิดพอลิเมอไรเซชัน

### 8.2 การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

8.2.1. การเติมสารหน่วง (Inhibitor) สารหน่วงที่ใช้คือ ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone, HQ) หรือ ไดฟีนิลเอมีน (Diphenylamine, DPA) หรือ พอลิไฮดรอกซีฟีนอล (Polyhydroxyphenol) หรือ อะมิโนฟีนอล (Aminophenol) ซึ่งปัจจุบัน ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์สามารถแบ่งเป็น 3 เกรด โดยแบ่งตามระยะเวลาการเก็บรักษา และปริมาณสารหน่วง คือ

- เกรดต่ำ : เติมไฮโดรควิโนน 3 - 7 ppm สำหรับการใช้งานภายในระยะเวลา 2 เดือน
- เกรดกลาง : เติมไฮโดรควิโนน 12 - 17 ppm สำหรับการเก็บรักษาไว้ใช้งานนาน 4 เดือน
- เกรดสูง : เติมไดฟีนิลเอมีน 200 - 300 ppm สำหรับการเก็บรักษาไว้ใช้งานนาน 1 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.2. ควรมีการสุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจหาปริมาณสารหน่วงที่ลดลงระหว่างการเก็บ โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของสารหน่วง มีดังนี้

- ออกซิเจน : การเก็บ ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ไว้ที่สภาวะที่มีออกซิเจนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารหน่วง แต่อาจทำให้เกิดการระเบิดได้ เนื่องจาก ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์มีจุดวาบไฟค่อนข้างต่ำ ดังนั้น การเก็บ ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์จะต้องพิจารณาถึงชนิดและปริมาณของสารหน่วง
- สารปนเปื้อน : อะซีทัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) ที่ปนเปื้อนเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ จะเกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ ซึ่งใช้เป็นสารเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้
- ความชื้นใน ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ : จะทำให้เกิดไฮโดรไลซิสและมีผลต่อคุณภาพของ ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์
- แสง : เมื่อ ไวนิลอะซีเตตมอนอเมอร์ได้รับแสงแดด ก่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่โปร่งแสง ไม่มีสี และเกิดขึ้นเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

8.2.3. ควรมีการตรวจสอบระบบและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของถังเก็บอย่างสม่ำเสมอ ต้องมีอุปกรณ์พ่นน้ำติดตั้งด้านบนของถังเก็บ 2 เพื่อให้งานสามารถทำงานได้เมื่ออุณหภูมิภายในถังเก็บสูงขึ้น โดยเฉพาะช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์ร้อนและแดดจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข  
การใช้เครื่องมือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

### ศึกษาพื้นฐานของสัณยด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM): เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดหนึ่ง ที่ถ่ายภาพชิ้นงานโดยอาศัยหลักการกราดไปบนพื้นผิวตัวอย่างด้วยลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด (Electron gun) เมื่ออิเล็กตรอนดังกล่าวกระทบกับผิวชิ้นงานที่ประกอบไปด้วยอะตอมต่างๆ จะปล่อยสัญญาณที่สามารถนำไปประมวลผลและให้ข้อมูลเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ, องค์ประกอบของพื้นผิว และคุณสมบัติอื่นๆ เช่น คุณสมบัติการนำไฟฟ้า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดติดตั้ง Spray Aperture เพื่อควบคุมปริมาณอิเล็กตรอนและระบบเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมลำอิเล็กตรอนและโฟกัส และนับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 กล้องจุลทรรศน์ดังกล่าวติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุต่างๆ บนพื้นผิวตัวอย่างได้

ส่วนประกอบพื้นฐานของ SEM ซึ่งควรจะทราบถึงหลักการและเหตุผลพร้อมคำอธิบายตามความจำเป็นมีดังนี้

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun)
2. เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอน (Electromagnetic lens) และขดลวดควบคุมการเคลื่อนของลำแสงอิเล็กตรอน (Scan coil)
3. ช่องตัวอย่าง (Specimen Chamber)
4. อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Collector & scintillator)
5. อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (Imaging photographic devices)

#### 1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun)

อยู่ด้านปลายบนสุดของ Column ซึ่งต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูงที่ต่อจากถังแปลงไฟฟ้าแรงสูงซึ่งแปลงจาก 110volts หรือ 220volts เป็นไฟฟ้าที่มีความดันไฟฟ้าสูงคือระหว่าง 1-30 Kilovolts ซึ่งเพียงพอสำหรับ SEM แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนประกอบด้วยลวดโลหะ Tungsten ที่บิดเป็นรูปตัววีเรียกว่า filament และล้อมด้วยโลหะรูปกรวย (Wehneltcylinder) มีรูอยู่ปลายกรวยเมื่อกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 1000 volts จะไปเข้ามาสู่ filament ลวดตัววี้ดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูง ประจุอิเล็กตรอนก็จะกระจายออกมาในสถานะสูญญากาศภายใน column ประจุอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจะถูกดึงดูดด้วยแผ่นขั้วบวก (anodeplate) ที่อยู่ด้านล่างของ electrongun ประจุอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกดึงผ่านรูของกรวยไปยังทิศทางที่กำหนด คือลงสู่สนามแม่เหล็กที่สามารถรวบรวมประจุอิเล็กตรอนที่มีอยู่ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นเพียงพอสำหรับฉายลงบนตัวอย่าง Electrongun ซึ่งมี filament และ Wehnelt cylinder อยู่ภายในสามารถทำให้ขยับเขยื้อนได้ด้วยสกรูที่อยู่รอบๆ ด้านนอก electrongun ทั้งนี้เพื่อปรับให้ electrongun อยู่ในแนวตรงได้ ศูนย์กลางหรือตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กของเลนส์สนามแม่เหล็กภายใน column ใน SEM สมัยใหม่นอกจากจะมีปุ่มหรือสกรูที่ช่วยปรับ electrongun ให้ได้ศูนย์แล้วยังมีขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณแผ่น anode เพื่อจะช่วยปรับลำแสงอิเล็กตรอนให้อยู่แนวตรงใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีหลอดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ศูนย์กลางของสนามแม่เหล็กในเลนส์ชุดแรกขดลวดดังกล่าวเรียกว่า alignmentcoil ซึ่งสามารถควบคุมและปรับ

ได้ตามต้องการโดยหมุนและปรับปุ่ม (alignmentknobs) บนแผงของ consoleunit เหตุที่ต้องปรับ electrongun ก็เพื่อให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์เป็นรูปทรงกระบอกที่ไม่บิดเบี้ยวหรือเขวออกไปจากศูนย์กลางหากมีการบิดของลำแสงอิเล็กตรอนออกนอกทิศทางอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primaryelectron) บางส่วนจะถูกกั้นออกไปซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondaryelectron)

## 2. เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอน (electronmagnic lens & scancoils)

เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็น ได้ลำแสงดังกล่าวไปตกกระทบบนผิวตัวอย่างและจะใช้สนามแม่เหล็กขับหรือผลักให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างในแนวที่ต้องการเป็นบริเวณรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ละจุดมี aperture ซึ่งเป็นโลหะประเภททองขาวทองเหลืองมีรูขนาดต่างๆกัน (50um-400um) และสามารถเปลี่ยนได้ตามขนาดที่ต้องการ aperture ดังกล่าวมักจะจัดไว้ในเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ละจุดภายในบริเวณที่ไร้สนามแม่เหล็กของเลนส์ aperture เหล่านี้ทำหน้าที่กำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่ผ่านสนามแม่เหล็กของเลนส์แต่ละจุดให้มีรูปกรวยที่สมมาตร aperture ของเลนส์สุดท้ายก่อนที่ลำแสงอิเล็กตรอนจะมาสัมผัสกับตัวอย่างเป็น aperture พิเศษเรียกว่า objectiveaperture มีไว้เพื่อกำหนดลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปกรวยขนาดเล็กที่มีความสมมาตรที่สุด และกำหนดขนาดและปริมาณของอิเล็กตรอนให้กระทบจุดต่างๆ บนผิวตัวอย่างเพื่อให้ภาพที่มีความลึกมากกว่าปกติ ขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้กราดไปบนผิวของตัวอย่างขึ้นส่วนหรืออุปกรณ์นี้เรียกว่า scancoils ซึ่งควบคุม โดยระบบ ไฟฟ้าและยังควบคุมการกราดของลำแสงที่เป็นเส้นในจอรับภาพ (CRT) ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทาง และเวลาเดียวกันกับลำแสงอิเล็กตรอน

## 3. ช่องใส่ตัวอย่าง (specimenchamber)

ของ SEM เป็นช่องว่างใต้เส้นผ่าศูนย์กลางที่สำคัญของช่องใส่ตัวอย่างคือฐานวางตัวอย่างและปุ่มควบคุมโดยใช้เฟืองขนาดต่างๆเพื่อเลื่อนฐานนี้ให้เลื่อน ไปมาภายในช่องตัวอย่างได้อย่างน้อย 6 ทิศทางฐานวางตัวอย่างที่มีส่วนประกอบและคุณสมบัติเหล่านี้เรียกว่า goniometerstage

## 4. อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (collector & scintillator)

เป็นแท่งแก้วใสมีปลายมกลทำด้วยพลาสติกฉาบผิวด้วยอลูมิเนียมและส่วนปลายของแท่งนี้ล้อมด้วยตาข่ายโลหะที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุบวกขนาด 30-250 โวลต์ เพื่อดึงดูดประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิอันเกิดจากปฏิกิริยา ระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับผิวของตัวอย่าง

## 5. อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (imaging & photographicdevices)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพและภาพที่ปรากฏบนจอ CRT ก็พร้อมที่จะทำการบันทึก อุปกรณ์สร้างภาพประกอบด้วยท่อนำแสงและเครื่องขยายและเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนให้เป็นแสงไฟฟ้การสร้างภาพเริ่มจากประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งประจุอิเล็กตรอนชุดนี้จะถูกจับและรวบรวมไว้แล้วนำสู่แท่งแก้วใสประเภท ท่อนำแสงในลักษณะของแสงแสงที่ผ่านท่อแท่งแก้วนี้จะเคลื่อนไปสู่เครื่องขยายแสง

(photomultiplier) ซึ่งจะเปลี่ยนแสงชนิด photons นี้ไปเป็นอิเล็กตรอนอีกครั้งหนึ่ง อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏในจอภาพ (CRT) ที่ติดตั้งไว้บน console unit

### **หลักการการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)**

การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงได้ดังภาพประกอบ 1-2 เริ่มจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งเรียกว่า ปืนอิเล็กตรอน (electron gun) ผลิตอิเล็กตรอนออกมา แล้วถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ในช่วง 1-30 kV (บางครั้งสูงถึง 50 kV) ให้เคลื่อนที่ตามคอลัมน์และถูกบังคับทิศทางด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) 2 ชุด ชุดแรกเรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์อันแรก (first condenser lens) ทำหน้าที่ในการบีบลำอิเล็กตรอนให้มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง (demagnification) ส่วนเลนส์ชุดสุดท้ายจะเป็นเลนส์วัตถุ (objective lens) ทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิวของวัตถุเป้าหมาย โดยมีคอยด์กวาดภาพ (scan coil) ทำหน้าที่กวาดลำอิเล็กตรอนบนผิววัตถุในกรอบสี่เหลี่ยม อิเล็กตรอนที่มีกำลังสูงตกกระทบผิววัตถุจะเกิดอันตรกิริยาและส่งสัญญาณต่าง ๆ ซึ่งสัญญาณที่สำคัญได้แก่

#### **สัญญาณที่เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนกระทบผิวตัวอย่าง**

อิเล็กตรอนจาก Column ของ SEM เราเรียกว่า Primary Electron เมื่อตกกระทบผิวตัวอย่างจะมีสัญญาณหลายอย่างเกิดขึ้น แต่พอจะแบ่งเป็นกลุ่มได้สองกลุ่มคือ

#### **1. Inelastic Scattering**

- a. Secondary Electrons
- b. X-Rays
- c. Auger Electrons
- d. Phonons
- e. Transmitted Electron
- f. Cathodoluminescence

#### **2. Elastic Scattering**

- a. Back Scattered Electrons

สัญญาณที่นำมาใช้ประโยชน์ใน SEM มี 4 ชนิดได้แก่

1. Secondary Electrons (SE) เป็นอิเล็กตรอนพลังงานต่ำที่เกิดจาก Primary Electrons ไปชนเอาอิเล็กตรอนที่ผิวตัวอย่างหลุดออกมา โดยจะหลุดออกจากผิวตัวอย่างที่ความลึกจากพื้นผิวไม่เกิน 10 นาโนเมตร ให้ภาพที่มีรายละเอียดสูง ความเข้มของ SE จะขึ้นกับมุมที่ Primary Electrons ตกใส่ และสภาพพื้นผิวตัวอย่าง ให้ภาพที่มีรายละเอียดสูงภาพที่ได้จาก SE เรียกว่า Secondary Electron Image, SEI

2. Back Scattered Electrons (BSE) คือ Primary Electrons ที่กระเจิงกลับออกมาจากผิวตัวอย่าง กล่าวคือเมื่อ Primary Electrons วิ่งเข้าไปใกล้หรือเข้าชนนิวเคลียสของอะตอมบนผิวตัวอย่างก็จะเกิดการเปลี่ยนทิศทางกระเจิงกลับออกมาจากผิวตัวอย่าง โดย BSE จะเกิดมากกับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ความเข้มของสัญญาณ BSE

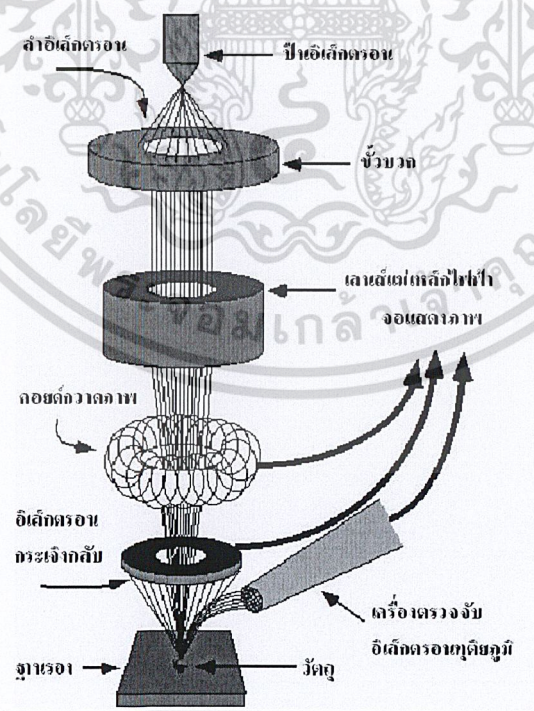
จะขึ้นกับมุมที่ Primary Electrons ตกใส่ตัวอย่าง และยังขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุที่ผิวตัวอย่าง ภาพที่ได้จาก BSE เราเรียกว่า Back Scattered Electron Image (BEI) หรือ Primary Electron Image

3.Characteristic X-ray เกิดจากการที่เมื่ออิเล็กตรอนวงในของธาตุตัวอย่างถูกชนโดย Primary Electrons จนหลุดออกไป ก็จะเกิดเป็นระดับชั้นพลังงานที่ว่าง ทำให้อิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานสูงกว่าระดับพลังงานลง พร้อมกันนี้ก็จะปล่อยพลังงานในรูป X-Ray ออกมา พลังงานของ X-Ray ที่ได้จะมีรูปแบบของระดับพลังงานเฉพาะตัวแตกต่างกันไปในแต่ละธาตุเรียกว่า Characteristic X-Ray ดังนั้นจึงสามารถทำให้วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบที่ผิวตัวอย่างโดยอาศัยประโยชน์จากการวิเคราะห์พลังงานหรือความยาวคลื่นของ X-ray ที่เกิดขึ้นนี้

4.Cathodoluminescence ธาตุบางชนิดเมื่อได้รับการถ่ายทอดพลังงานจาก Primary Electrons ก็จะปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสงในช่วงที่ตาเห็นหรืออาจเลยไปถึงช่วง UV ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในตัวอย่างบางชนิดเท่านั้น

**วิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)**

ตั้งเตรียมตัวอย่างโดยเคลือบผิวตัวอย่างด้วยโลหะ เช่น ทองคำ และใช้อิเล็กตรอนขนาดเล็กมาก โฟกัสและกราดไปตามผิวตัวอย่างทำให้เกิดภาพที่มีความเข้มของเงาต่างกัน อิเล็กตรอนที่กระจายจากตัวอย่างจะถูกตรวจจับด้วยเครื่องตรวจจับอิเล็กตรอนส่งไปยังหลอดภาพโทรทัศน์ เพื่อให้ปรากฏเป็นภาพขึ้นในจอภาพ ผู้ศึกษาจะศึกษาจากภาพในจอรับภาพหรือบันทึกภาพจากกล้องถ่ายภาพที่อยู่ตรงส่วนล่างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นสมควรขอใช้โดยขอขานด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Energy dispersive x-ray (EDX)

### ศึกษาอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วย Energy dispersive x-ray (EDX)

Energy dispersive X-ray spectroscopy เรียกว่า EDX หรือ EDS เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุจากพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับสารที่กำลังศึกษามักจะใช้ร่วมกับเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

### หลักการของ Energy dispersive x-ray (EDX)

เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีด้วยการวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อให้ลำแสงพลังงานสูงตกกระทบยังพื้นผิวของสารตัวอย่าง (Incident high - kV beam) จะทำให้อิเล็กตรอนชั้นนอกของอะตอมสารหลุดออกไปเป็นอิเล็กตรอนชั้นในและคายพลังงานที่มีความถี่สูงออกมาในภาพประกอบของรังสีเอกซ์โดยพลังงานที่คายออกมาจะมีค่าเฉพาะเจาะจงกับชนิดของอะตอมหรือธาตุ มีการวิเคราะห์ดังนี้คือ

- อ่านค่าพลังงานของรังสีเอกซ์บนสเปกตรัมการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ตรวจวัดได้ซึ่งจะรายงานค่าความเข้มของรังสีบนแกนตั้งและค่าพลังงานของรังสีบนแกนนอน
- พลังงานของรังสีเอกซ์ที่คายออกมาเนื่องจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุหนึ่ง ๆ จะมีความเฉพาะเจาะจงแยกแยะจากของธาตุอื่น ๆ ได้
- แม้ว่าจะมีการซ้อนทับกันของตำแหน่งพีคแต่ส่วนใหญ่สามารถทราบได้ว่ามีธาตุใดเป็นส่วนประกอบ โดยพิจารณาจากตำแหน่งและความเข้มของพีคข้างเคียง
- ในกรณีที่ไม่เกิดการชนอิเล็กตรอนปฐมภูมิก็เคลื่อนที่ช้าลงและสูญเสียพลังงานจนในภาพประกอบรังสีเอกซ์เมื่อวิ่งผ่านอะตอมต่างๆ ในชิ้นงาน ในกรณีนี้พลังงานของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะไม่เฉพาะเจาะจงกับชนิดของอะตอมในชิ้นงาน

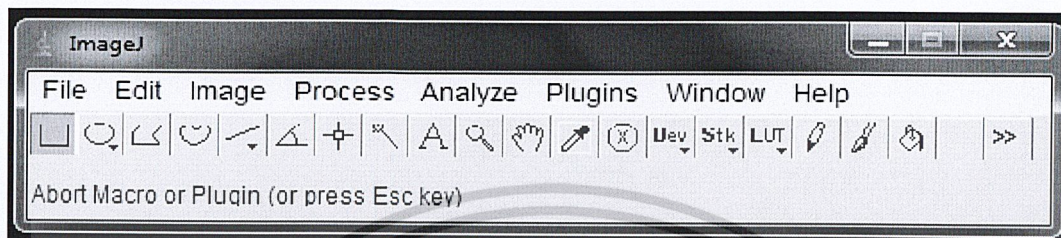
รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จะเป็นพื้นฐานในสเปกตรัมการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์และเรียกว่า เบรมสตราลุง (Continuum radiation หรือ Bremsstrahlung)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

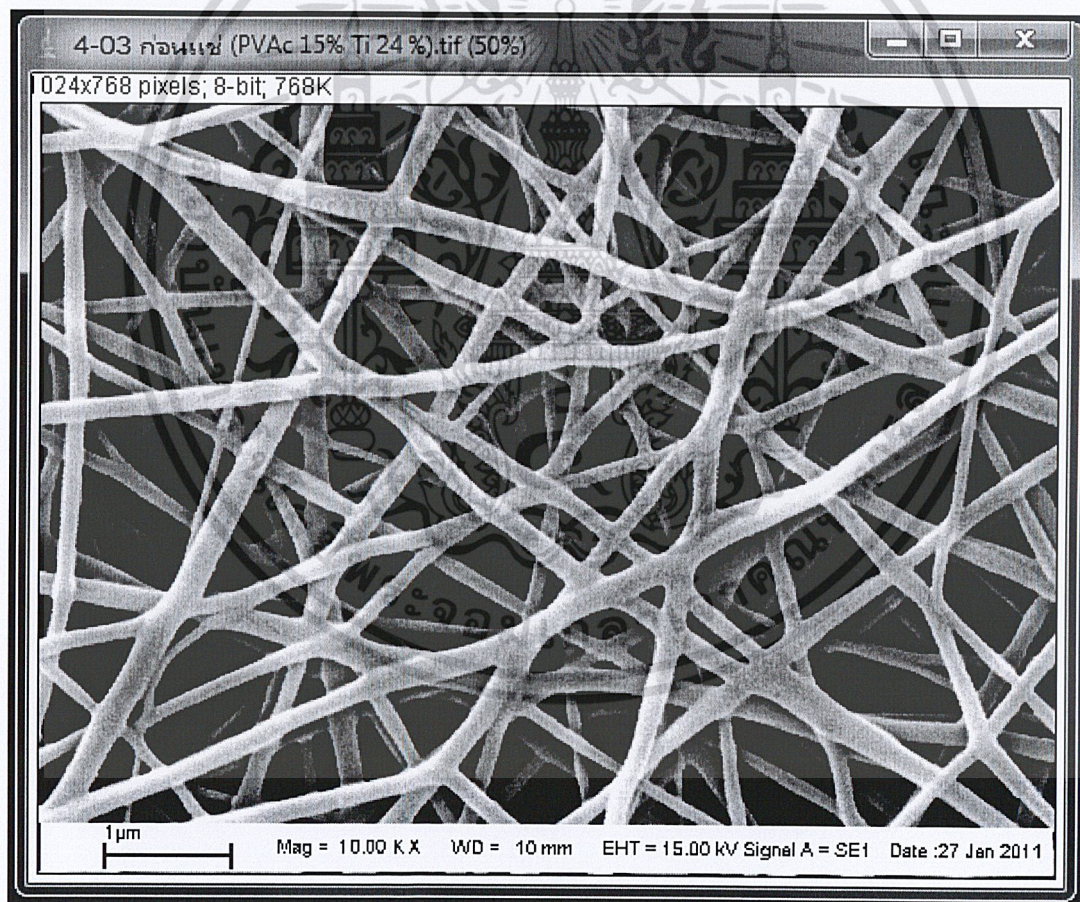
## การวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ ร่วมกับโปรแกรม Origin

### วิธีการใช้โปรแกรม ImageJ

1. เปิดโปรแกรม ImageJ ดังรูป 1-3 จากนั้นเปิดภาพที่ต้องการวิเคราะห์โดยไปที่ File > Open ตัวอย่างภาพที่ต้องใช้วิเคราะห์ดังรูป 1-4



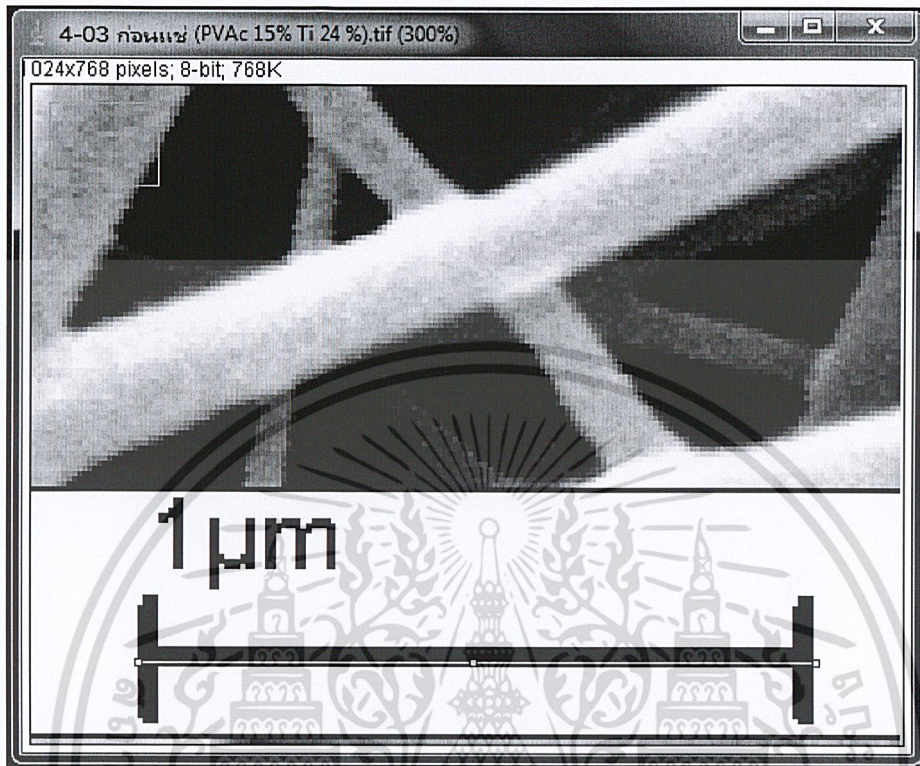
รูป 1-3 โปรแกรม ImageJ



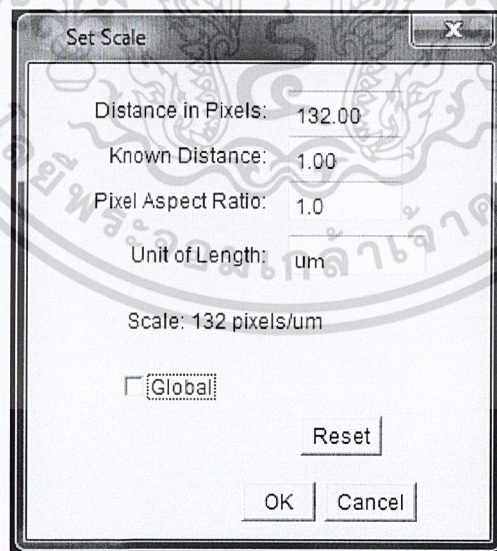
รูป 1-4 ตัวอย่างภาพ

2. การ set scale เพื่อเทียบอัตราส่วนของขนาดภาพ โดยใช้เครื่องมือ Magnifying glass เพื่อขยายภาพ เอกสารนี้ใช้เอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากนั้นใช้เครื่องมือ Straight line selection คลิกที่บเส้นขนาด 1  $\mu\text{m}$  ดังรูป 1-5 จากนั้นไปที่ Analyze > ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ผลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Set Scale ใส่ค่า Known Distance : 1 ใส่หน่วย Unit of length : um (um ใช้แทนหน่วย  $\mu\text{m}$ ) แล้วกด ok  
 ดังรูปที่ 1-6



รูปที่ 1-5 ภาพหลังการขยายและคลิกลากเพื่อ Set Scale



รูปที่ 1-6 การตั้งค่าเพื่อ Set Scale

3. วัดขนาดเส้นใยโดยใช้เครื่องมือ Straight line selection คลิกลากวัดเส้นใย ดังรูป 1-7 จากนั้นคลิก  
 Analyze > Measure > Analyze > Label (ทำการวัดประมาณ 20 ครั้ง) เมื่อวัดเสร็จแล้วคลิก Analyze >  
 Summarize จะได้ผลดังรูป 1-8



รูปที่ 1-7

Results					
File	Edit	Font			
	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	206.081	152.667	251.693	-65.772	0.162
2	152.709	59.556	200.499	-126.838	0.170
3	184.644	2.842171E-13	252.970	-82.569	0.170
4	162.901	0.444	248.537	-27.646	0.181
5	165.619	4	248.552	-28.610	0.190
6	119.307	0	197.500	-22.932	0.213
7	135.405	17.667	176.624	39.806	0.233
8	135.045	30.333	192.086	-107.103	0.204
9	123.413	1.667	155.580	-121.329	0.201
10	197.775	44	253.473	-19.799	0.206
11	178.678	36.333	253.917	-51.710	0.183
12	184.550	8	253.995	-63.435	0.166
13	152.004	15	222.343	-36.870	0.184
14	210.205	80	254	-9.090	0.194
15	116.053	8.111	174.978	-57.724	0.173
16	188.002	4.667	254	-56.310	0.160
17	197.124	28.333	253.673	-63.435	0.165
18	149.641	9.444	234.419	-22.166	0.222
19	128.837	0.667	184.412	-41.987	0.206
20	156.064	4.092726E-12	212.859	-35.911	0.221
Mean	162.203	25.044	223.805	-49.992	0.190
SD	30.000	37.336	33.685	39.364	0.022
Min	116.053	0	155.580	-126.838	0.160
Max	210.205	152.667	254	39.806	0.233

รูปที่ 1-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรม Origin

โปรแกรมในชุด OpenOffice.org ประกอบด้วย

1. โปรแกรม OpenOffice.org Writer เป็นโปรแกรมประมวลผลคำ สำหรับสร้างงานเอกสาร เช่น การเขียนรายงาน การเขียนจดหมายและหนังสือ การจดบันทึก โบรชัวร์ เป็นต้น มีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับ Microsoft Word

2. โปรแกรม OpenOffice.org Calc เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ สามารถสร้างแผนภูมิ และใช้เครื่องมือต่างๆ วิเคราะห์ในเชิงคณิตศาสตร์เพื่อใช้สำหรับการตัดสินใจต่างๆ โดยมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับ Microsoft Excel

3. โปรแกรม OpenOffice.org Impress เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการนำเสนองาน ช่วยให้เราสร้างงานนำเสนอได้ง่ายๆ ด้วยเครื่องมือต่างๆ ในการวาดภาพ เขียนแผนผัง ภาพเคลื่อนไหว โดยมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับ Microsoft PowerPoint

4. โปรแกรม OpenOffice.org Base เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างและจัดการฐานข้อมูลเช่นเดียวกับ Microsoft Access

5. โปรแกรม OpenOffice.org Draw เป็นโปรแกรมวาดภาพที่รองรับทั้งเวกเตอร์และบิตแมพ สามารถสร้างไดอะแกรม วัตถุ 3 มิติได้ง่ายๆ มีลักษณะคล้ายๆ กับ Corel Draw 6. โปรแกรม OpenOffice.org Math เป็นโปรแกรมสำหรับพิมพ์สมการคณิตศาสตร์และสัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ มีลักษณะคล้ายๆ Microsoft Equation

### การใช้งานร่วมกับ Microsoft Office

ไฟล์ของ Microsoft Office นั้นจะสามารถเปิดกับ OpenOffice.org ได้ แต่จะต้องมีการจัดรูปแบบใหม่บ้าง เช่น ขนาดตัวอักษร รูปแบบและตารางอาจจะมีการขยับจากตำแหน่งเดิม สูตรที่อยู่ในไฟล์ของ Microsoft Excel อาจจะมีบางสูตรหายไปบ้าง Animation ที่ตั้งไว้ใน PowerPoint อาจจะมีการผิดเพี้ยนไป เป็นต้น แต่โดยทั่วไปก็ถือว่าใช้งานร่วมกันได้ดีไม่มีปัญหา แต่ไฟล์ของ OpenOffice.org ไปเป็นฟอร์ตแมตแบบ .pdf ซึ่งเป็นความสามารถที่ Microsoft Office ไม่มี เพื่อให้ผู้ใช้ที่มีโปรแกรม Adobe Acrobat Reader อ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้