

การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนของไทย

**SYNTHESIS DEVELOPMENT OF NANOFIBERS FROM NATURAL THAI  
LEUCOXENE MINERAL**

มณฑิยรัชชัย กลั่นบุบผา

**MONTIANCHAI KLANBOOBPHA**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

# การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนของไทย

มณเฑียรชัย กลั่นบุบผา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

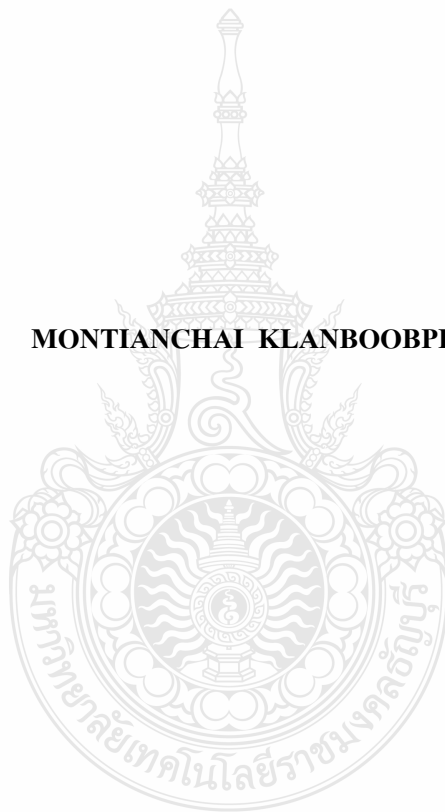
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

**SYNTHESIS DEVELOPMENT OF NANOFIBERS FROM NATURAL THAI  
LEUCOXENE MINERAL**

**MONTIANCHAI KLANBOOBPHA**



**A THESIS SUBMITTED IN FULFILMENT OF THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF MASTER ENGINEERING  
IN INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI**

**2011**

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้า และวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายมณฑิรชัย กลั่นบุบผา



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนของไทย
นักศึกษา	นายมณฑิรชัย กลั่นนุบผา
รหัสประจำตัว	124970404013-0
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. สรพงษ์ ภาสุปรีย์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษา การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนของไทย เพื่อเตรียมวัสดุเส้นใยนาโนโดยใช้วัตถุดิบที่หาได้ภายในประเทศที่มีราคาถูก ด้วยชุดตั้งปฏิบัติการที่ออกแบบและผลิตขึ้นโดยฝีมือคนไทย

การสังเคราะห์ใช้วิธีการเตรียมแบบไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้แห้งให้เย็นตัวลง ล้างด้วยกรดที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (Freezed dryer) และนำผงที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100-1,000 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุนาโนที่เตรียมได้ทางกายภาพและทางเคมีด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะภายใต้สภาวะไนโตรเจน (BET) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและส่องผ่าน (SEM, TEM) เครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) และเครื่องเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)

ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า วัสดุที่ได้หลังจากการสังเคราะห์มีลักษณะรูปร่างเป็นเส้นใยนาโนไททานิค ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12-58 นาโนเมตร มีความยาวประมาณ 3-22 ไมโครเมตร เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส พบว่ามีเฟสหลักแบบ TiO<sub>2</sub> (B) ที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส มีเฟสหลักเป็นเฟสอนาเทสและที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่ามีเฟสหลักแบบรูไทล์ การเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน โดยวิธีนี้ทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นกว่า 50 เท่า (~50 ตร.ม./กรัม) เมื่อเทียบกับสารตั้งต้น (แร่ลูโคซีน ~0 ตร.ม./กรัม) วิธีการเตรียมนี้เป็นวิธีการเตรียมที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากวัสดุราคาถูกภายในประเทศด้วยชุดตั้งปฏิบัติการที่ออกแบบและผลิตขึ้นโดยฝีมือคนไทย

คำสำคัญ : ไททานียมไดออกไซด์ แร่ลูโคซีน เส้นใยนาโน ไฮโดรเทอร์มอล

**Thesis Title:** SYNTHESIS DEVELOPMENT OF NANOFIBERS FROM NATURAL THAI LEUCOXENE MINERAL

**Student Name:** Mr. Montianchai Klanboobpha

**Student ID:** 124970404013-0

**Degree Award:** Master of Engineering

**Study Program:** Industrial Engineering

**Year of Achievement:** 2010

**Thesis Advisors:** Dr. Kittipong Kimapong  
Dr. Sorapong Pavasupree

### ABSTRACT

The aim of this thesis was to study the synthesis development of nanofibers from natural Thai leucoxene mineral for preparation of nanostructured materials from low cost material using autoclave unit (Thai made)

The synthesis hydrothermal preparation at 120°C for 72 hours with stirring, followed natural cooling to room temperature. The obtained products were washed with 0.1 M HCl aqueous solution, followed with distilled water several times. Subsequently, the products were freeze-dried. The samples were calcined in air for 2 h at 100-1,000°C. The resulting nanostructured materials were characterized by Brunauer-Emmett-Teller (BET) specific surface area, scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM), X-Ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF).

The size of prepared nanofibers was about 12-15 nm in width and about 3-22 μm in length. The BET specific surface area of the prepared sample was about 55 m<sup>2</sup>/g, while the BET specific surface area of the starting material (leucoxene mineral) was about 0 m<sup>2</sup>/g. The calcination temperatures range of 200-700°C, the as-synthesized nanofibers were dehydrated and mainly recrystallized into the metastable form of TiO<sub>2</sub> (B). At 800-900°C the crystalline phase was anatase phase, and rutile phase was mainly present at 1,000°C. This preparation method provided a simple route to fabricate nanostructured materials from low cost material using autoclave unit (Thai made) via environmental friendly process.

**Keywords :** TiO<sub>2</sub>, Leucoxene mineral, Nanofibers, Hydrothermal

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
งานวิจัย และ ดร. สรพงษ์ ภาสุปรีช์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือในงาน  
ด้านต่างๆ ทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ เพิ่มทักษะการทำงานและตรวจแก้จนวิทยานิพนธ์เสร็จ  
สมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัทลินแร่สาคร จำกัด ที่สนับสนุนแร่ลูโคซีน ในการทำงานวิจัยใน  
ครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และคณะกรรมการการ  
วิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศูนย์เทคโนโลยีวัสดุและโลหะแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์  
ใช้เครื่องวิเคราะห์ TEM, XRF, XRD, BET specific surface area และ TGA

ขอกราบขอบพระคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความ  
อนุเคราะห์ใช้เครื่องวิเคราะห์ SEM

ขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ เครื่องทดสอบ และสถานที่ในการ  
ดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ณัฏฐ์ ศรีสวัสดิ์ และอาจารย์พรรณราย รังงาม ภาควิชา  
วิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์  
เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีน และเครื่องทดสอบแรงดึง สำหรับใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ กลุ่มวิจัย Nanotechnology for textile and polymer research group  
(Nano Tep) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ขอขอบคุณ พี่ๆ ทุกคน เพื่อนๆ ทุกคน และน้องๆ ทุกคน ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและ  
โลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี แม้มิได้เอ่ยนามก็ตามขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง ใน  
ความกรุณาให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เป็นอย่างสูง และครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจ และ  
ส่งเสริม และสนับสนุนการศึกษาที่ดีตลอดมา จนสำเร็จการศึกษา

มณเฑียรชัย กลั่นบุบผา

15 พฤษภาคม 2554

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย	4
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)	13
2.3 วัสดุนาโน (Nanomaterials)	15
2.4 ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO <sub>2</sub> )	21
2.5 แร่ลูโคซีน (Leucoxene)	26
2.6 1D Nanostructured	29
2.7 การสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal Synthesis)	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	37
3.1 การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์	37
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	42
3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในสังเคราะห์	44
3.4 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์	47
3.5 ขั้นตอนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนด้วยเครื่องสังเคราะห์ ขนาด 4 ลิตร	48
3.6 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเส้นใยนาโน	51
3.7 การนำเส้นใยนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปใช้ผสมในพลาสติก	55



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8 การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติของเส้นใยโพลีโพรพิลีนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์	58
3.9 การทดสอบสมบัติเชิงกลบางประการของวัสดุโพลีโพรพิลีนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์	60
บทที่ 4 ผลการทดลอง	65
4.1 สภาพที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร	65
4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตรที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (ครั้งที่ 1)	68
4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตรที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (ครั้งที่ 2)	74
4.4 การนำเส้นใยนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปใช้ผสมในโพลีโพรพิลีน	87
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	96
5.1 เส้นใยนาโน	96
5.2 ผลกระทบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้จากแร่ลูโคซีนในเส้นใย PP	97
5.3 ข้อเสนอแนะ	98
เอกสารอ้างอิง	99
ภาคผนวก	
ก ผลการทดสอบ	105
ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	116
ประวัติผู้เขียน	155

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพต่างๆ ไปของไททาเนียมไดออกไซด์	23
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของแร่ลูโคซีน	29
3.1 เงื่อนไขการทดลอง	44
4.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี	71
4.2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี	76
4.3 ค่าอุณหภูมิในการให้ความร้อนต่อมุมของเฟสหลัก	84
4.4 ผลของมุมที่วัดได้กับเฟสที่เกิดขึ้น โดยเปรียบเทียบกับ JEOL JDX-3530	89



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	มูลค่าผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีทั่วโลกในปี 2558	1
1.2	กรอบยุทธศาสตร์การพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย	2
1.3	ลักษณะของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยนาโน	3
1.4	Process Of The Nanofibers From Natural Rutile Sand.	5
2.1	อนุภาคนาโนที่ได้จาก กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	6
2.2	เส้นใยนาโนที่ได้จากเครื่อง SEM ที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส , 700 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ1,000 องศาเซลเซียส	8
2.3	ลักษณะของเส้นใยนาโน	8
2.4	ลักษณะของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์เป็นเวลา 120 ชั่วโมง	9
2.5	ลักษณะของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	9
2.6	กระบวนการผลิตวัสดุนาโนไททานเนียมไดออกไซด์แบบกระบวนการซัลเฟต และกระบวนการคลอไรด์	11
2.7	กระบวนการผลิตวัสดุนาโนไททานเนียมไดออกไซด์แบบไฮโดรเทอร์มอลที่ใช้วัสดุ ราคาถูก และเป็นวิธีที่ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม	12
2.8	การเปรียบเทียบขนาดของสิ่งต่างๆ	14
2.9	ขนาดของวัสดุนาโนเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผม	15
2.10	เส้นใยนาโนจากแร่รูไทล์	16
2.11	อนุภาคนาโนของซีเลเนียม	17
2.12	วัสดุประกอบแตงนาโนที่ได้จาก Silica Xerogel	18
2.13	ท่อนาโนคาร์บอน	19
2.14	หมุดควอนตัมที่ได้จากแคดเมียมเทลลูไรด์กับซิงค์ ซัลเฟต	20
2.15	ฟิล์มบางนาโนจากหยดน้ำ	21
2.16	ผงของไททานเนียมไดออกไซด์	23
2.17	การเชื่อมต่อกันของแต่ละออกไซด์ของเฟสรูไทล์ (a) เฟสอนาเทส (b) และเฟสบรูคไคท์ (c)	24
2.18	การนำไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ ของไททานเนียมไดออกไซด์	26
2.19	แร่ดูโคซีน	27
2.20	Typical Morphologies of one-Dimensional Nanostructures : Nanowires , Nanorods, Nanotube, and Nanobelts	29

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.21	เป็นแผนภาพวิธีการเกิดโครงสร้างแบบ 1 มิติ 6 วิธี	30
2.22	ภาพที่ได้จากโครงสร้าง 1-Dimensional โดยใช้เครื่อง TEM และ SEM	32
2.23	แผนผังการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	34
2.24	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	36
3.1	กระบวนการผลิตวัสดุนาโนไททานเนียมไดออกไซด์การแบบไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ที่ใช้วัสดุราคาถูกลง และเป็นวิธีที่ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม	38
3.2	(a) และ (b) ลักษณะของ Autoclave ซึ่งปริมาตรขนาด 80 มิลลิลิตร	38
3.3	กระบวนการสังเคราะห์ขนาดห้องปฏิบัติการ	39
3.4	เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร	39
3.5	ฐานเครื่องสังเคราะห์	40
3.6	การติดตั้งตัวกวนด้วยสนามแม่เหล็ก	40
3.7	ลักษณะตัวกวนด้วยสนามแม่เหล็ก	41
3.8	ถังสังเคราะห์ปริมาตร 4 ลิตร ถังสังเคราะห์ถัง ทำมาจากเทปลอน หุ้มด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม	41
3.9	ฝาปิด	41
3.10	ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องสังเคราะห์	42
3.11	วิธีการทดลอง	43
3.12	เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร	44
3.13	ชุดกรองแบบสุญญากาศ	44
3.14	เครื่องทำให้แห้งเยือกแข็ง	45
3.15	เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	45
3.16	เครื่องเผา	46
3.17	เครื่องกวน	46
3.18	ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ (M)	47
3.19	การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ (M)	47
3.20	ขั้นตอนการเตรียมสารใส่ใน Autoclave	48
3.21	การกรองแบบสุญญากาศ	49
3.22	การนำไปทำการทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dry)	49
3.23	การนำสารที่ได้ไปให้ความร้อนในเตาเผา	50

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24 เครื่อง XRD	51
3.25 เครื่อง XRF	52
3.26 เครื่อง SEM	53
3.27 การเตรียมกริด	54
3.28 เครื่อง TEM	54
3.29 เครื่อง BET	55
3.30 เครื่องผสมแบบปิด Haake Rheodrive Mixer	56
3.31 เครื่องบดพลาสติก	56
3.32 ลักษณะพลาสติกที่บดด้วยเครื่องบดพลาสติก	57
3.33 เครื่องอัดรีดเส้นใยขนาดเล็ก (Small Scale Fiber Extrusion)	57
3.34 ลักษณะเส้นใยที่ได้จากการขึ้นรูป	58
3.35 กระดาษรูปตัว C ขนาด 2.5 เซนติเมตร	58
3.36 เครื่อง Tensile Tester	59
3.37 เครื่องตรวจวัดความแตกต่างของพลังงาน Perkins-Elmer DSC TAC 7	60
3.38 เครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสาร Perkins-Elmer TGA 7	60
3.39 ชิ้นงานทดสอบความแข็ง แบบร็อกเวลล์	61
3.40 เครื่องทดสอบความแข็ง แบบร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test) รุ่น DXT-1	61
3.41 เครื่องทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index ,MFI)	62
3.42 ชิ้นทดสอบการทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256	63
3.43 เครื่องบดชิ้นงาน	63
3.44 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก	64
4.1 ลักษณะของสารที่ได้จากการสังเคราะห์	65
4.2 ลักษณะของสารเมื่อตัดออกมา	66
4.3 ลักษณะของวัสดุที่ผ่านการอบไล่ความชื้นเรียบร้อยแล้ว	66
4.4 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	67
4.5 เส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้	67
4.6 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (a) เส้นใยที่แขวนลอยอยู่ ด้านบน (b) เส้นใยบางส่วนที่อยู่ด้านล่างผสมกับแร่ลูโคซีนที่ละลายไม่หมด	68
4.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ Leucoxene, As-Synthesized, 150 องศาเซลเซียส	70

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส , 700 องศาเซลเซียส และ 1,000 องศาเซลเซียส	71
4.9 ภาพถ่าย SEM ของแร่ลูโคซีนที่กำลังขยาย 50 เท่า	71
4.10 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่กำลังขยาย (a) 5,000 และ (b) 20,000 เท่า	72
4.11 ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนที่กำลังขยาย (a) 15,000 เท่า และ (b) 150,000 เท่า	72
4.12 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ (a) 400 องศาเซลเซียส และ (b) 700 องศาเซลเซียส	73
4.13 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ (a) 1,500 เท่า และ (b) 5,000 เท่า	74
4.14 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ Leucoxene, As-Synthesizd, 100 องศาเซลเซียส	75
4.15 ภาพถ่าย SEM ของแร่ลูโคซีนที่กำลังขยาย 50 เท่า	76
4.16 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่กำลังขยาย (a) 5,000 เท่า และ (b) 20,000 เท่า	77
4.17 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่กำลังขยาย (a) 10,000 เท่า และ (b) 200,000 เท่า	77
4.18 ลักษณะการเกิดท่อนาโนและเส้นใยนาโน	78
4.19 โครงสร้างผลึกของอนาเทส (a), รูไทล์ (b), บรูคไคท์ (c) และ TiO <sub>2</sub> (B) (d)	79
4.20 ลำดับขั้นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ	79
4.21 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ที่อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส ; A = Anataes TiO <sub>2</sub> , B = TiO <sub>2</sub> (B)	80
4.22 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า และ 20,000 เท่า โดย (a) กับ (b) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ (c) กับ (d) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	81
4.23 ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่ (a) กับ (b) 400 องศาเซลเซียส และ (c) กับ (d) 700 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย (a) กับ (c) 15,000 เท่า และ (b) กับ (d) ที่กำลังขยาย 150,000 เท่า	82
4.24 การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างท่อนาโนกับเส้นใยนาโน โดย (a) P-25, (b) ท่อนาโน, (c) ท่อนาโนที่ 600 องศาเซลเซียส [79], (d) แร่ลูโคซีน, (e) เส้นใยนาโน, (f) เส้นใยนาโนที่ 700 องศาเซลเซียส	83
4.25 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ที่อุณหภูมิ 800-1,000°C ;A=Anatases TiO <sub>2</sub> , R=Rutile TiO <sub>2</sub>	84

## สารบัญรูป (ต่อ)

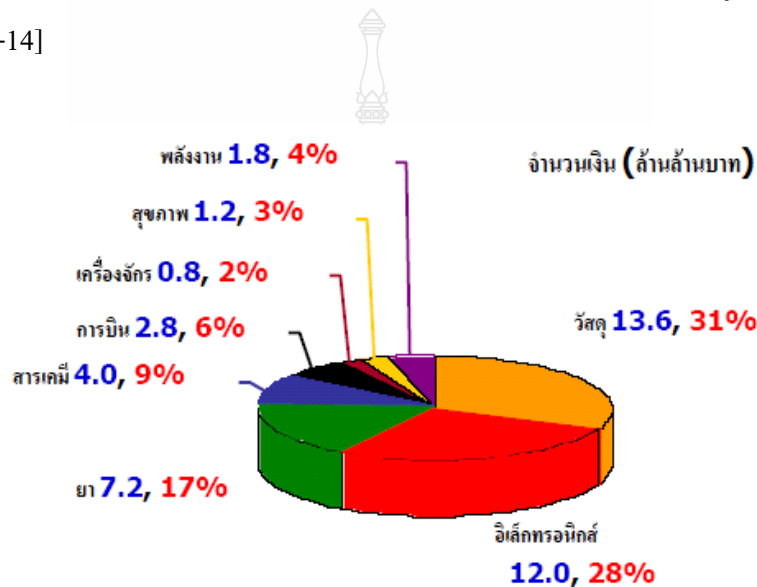
รูปที่	หน้า	
4.26	ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย (a) 5,000 และ (b) 20,000 เท่า	85
4.27	ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะกับอุณหภูมิที่ใช้ให้ความร้อนเส้นใยนาโนที่เตรียมได้	86
4.28	ลักษณะเส้นใยที่ได้จากการขึ้นรูป	87
4.29	ค่าแรงที่ใช้สูงสุดในการดึงเส้นใย	88
4.30	ค่าระยะยืดของเส้นใย	88
4.31	ภาพ SEM ของผิวเส้นใยสูตรต่างๆ (a) PP-nm 0.1% [b] PP- $\mu$ m 1.0% และ (c) PP100% ที่กำลังขยายขนาด 500 เท่า	90
4.32	ภาพ SEM ของผิวภาคตัดขวางของสูตร (a) PP-nm 1.0% และ (b) PP- $\mu$ m 0.1% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า และ (c) PP 100% ที่กำลังขยายขนาด 100,000 เท่า	91
4.33	อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใย PP (Degradation Temperature, Td)	92
4.34	ค่าความแข็งของโพพิโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ ตามมาตรฐาน ADTMD 785	93
4.35	ค่าทนต่อแรงกระแทกของโพพิโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ	94
4.36	ค่าดัชนีการไหลของโพพิโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ	95

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจและความสำคัญอย่างยิ่งกับวัสดุนาโน (มูลค่าผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีทั่วโลกในปี 2558 แสดงดังรูปที่ 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ท่อนาโนและเส้นใยนาโน ซึ่งมีสมบัติพิเศษหลายประการ เช่น สมบัติด้านเคมี สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก และสมบัติด้านการเสริมแรง เป็นต้น [1-4] แต่วัสดุท่อนาโน และเส้นใยนาโนมีราคาค่อนข้างสูง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ [5-14]



มูลค่าผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีทั่วโลกในปี 2558 คาดว่าจะมีมูลค่าสูงถึง 40 ล้านล้านบาท!

ที่มา National Science Foundation (NSF)

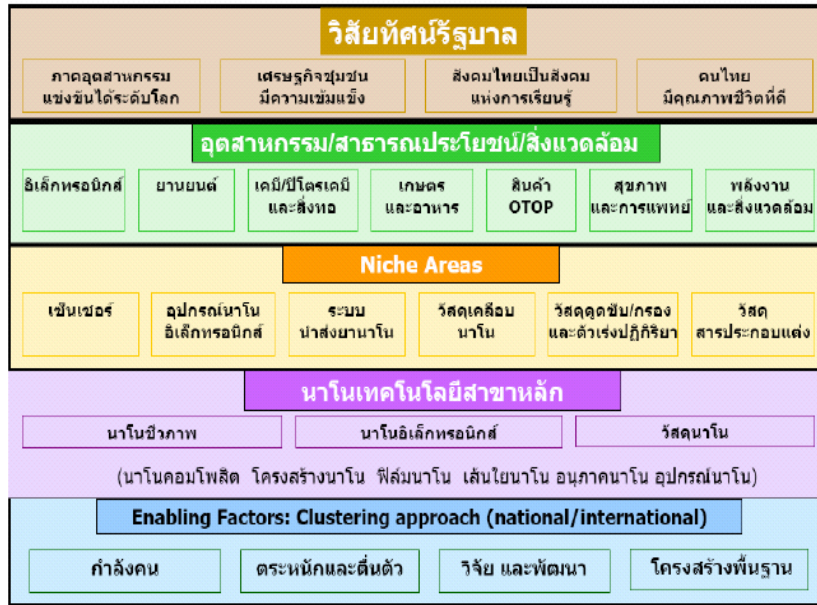
รูปที่ 1.1 มูลค่าผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีทั่วโลกในปี 2558 [15-16]

ถ้าเราสามารถสังเคราะห์วัสดุเส้นใยนาโนได้จากวัตถุดิบในประเทศที่มีราคาถูก เช่น วัสดุจำพวกแร่ก็จะเป็นการเพิ่มศักยภาพทางด้านวัสดุนาโนของประเทศเพื่อเป็นวัสดุพื้นฐานในการวิจัยพัฒนาสินค้าและผลิตภัณฑ์ที่มีการแข่งขันอย่างมากมายในปัจจุบันและอนาคตเป็นการเพิ่มมูลค่าแรงของประเทศและเป็นการเตรียมความพร้อมในการแข่งขันทางด้านวัสดุนาโนลดการนำเข้าวัสดุนาโนจากต่างประเทศหรือแม้กระทั่งเป็นสินค้าส่งออกได้ซึ่งตรงตามมติของคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2550 ที่ผ่านมาคณะรัฐมนตรีมีมติอนุมัติในหลักการของแผนกลยุทธ์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ พ.ศ. 2549-2556 ดังรูปที่ 1.2



**กรอบยุทธศาสตร์การพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย  
ปีพ.ศ. 2547 – 2556 (10 ปี)**

Source: NANOTEC



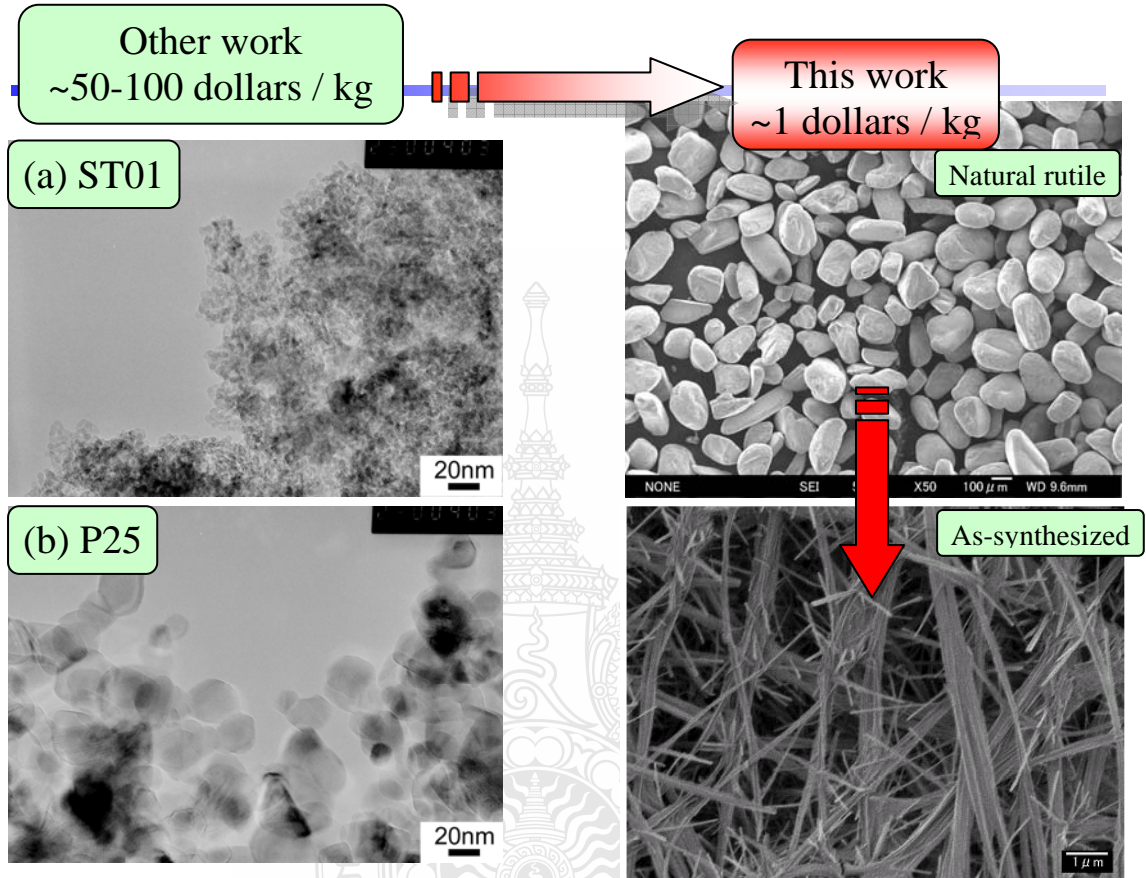
รูปที่ 1.2 กรอบยุทธศาสตร์การพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย [15-16]

โดยกรอบยุทธศาสตร์การพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทยมีเป้าหมายหลักที่จะให้ประเทศไทยสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้ประโยชน์จากนาโนเทคโนโลยี คิดเป็นร้อยละ 1 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ซึ่งมูลค่าเฉลี่ยประมาณ 100,000 ล้านบาท และหวังให้ประเทศไทยสามารถยกระดับสุขภาพและสิ่งแวดล้อมของคนไทยเข้าใกล้ระดับมาตรฐานโลก โดยการพัฒนาวัสดุอุปกรณ์ และระบบที่เกี่ยวข้องกับการแพทย์และสุขภาพด้วยนาโนเทคโนโลยี นอกจากนี้ยังมีเป้าหมายให้ระดับการศึกษาและวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของไทยอยู่ในระดับแนวหน้าของภูมิภาคอาเซียน

โดยการวิจัยนี้มีพื้นฐานการวิจัยและพัฒนาต่อยอดจาก งานวิจัยในระดับปริญญาโท-เอก ของอาจารย์ ดร. สรพงษ์ ภาวสุปรีย์ (Kyoto University) ที่ค้นพบวิธีการสังเคราะห์นาโนไฟเบอร์โดยใช้แร่รูไทล์จากประเทศออสเตรเลียเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ [17-19] ซึ่งเป็นงานวิจัยฉบับแรกที่รายงานเกี่ยวกับการสังเคราะห์เส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ โดยใช้แร่รูไทล์เป็นสารตั้งต้นที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นหลายฉบับ ที่ทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์หรือท่อนาโน โดยใช้อุณหภูมิเผาไหม้เส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์เป็นสารตั้งต้น ซึ่งแร่รูไทล์จะมีราคาถูกกว่าประมาณ 50-100 เท่า [17-18] เพราะฉะนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่ง ถ้าเราสามารถสังเคราะห์วัสดุเส้นใยนาโนจากวัตถุดิบที่หาได้ในประเทศที่มีราคาถูก

แต่เนื่องจากในการสังเคราะห์ในปัจจุบันนี้ สามารถทำการสังเคราะห์ได้ในขนาดห้องทดลองเท่านั้นทำให้ในการสังเคราะห์แต่ละครั้งนั้นได้ปริมาณเส้นใยนาโนประมาณ 0.2-0.5 กรัมต่อครั้ง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดว่าจะทดลองขยายขนาดการสังเคราะห์ประมาณ 20-30 เท่าโดยใช้เครื่องสังเคราะห์ขนาด 2-3 ลิตร มาทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนที่มีอยู่ภายในประเทศ มาทำการทดลองสังเคราะห์ ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ลักษณะของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยนาโน [17]

## 1.2 วัตถุประสงค์วิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อเตรียมวัสดุเส้นใยนาโนโดยใช้วัตถุดิบที่หาได้ในประเทศที่มีราคาถูกจำพวกแร่ เช่น แร่ลูโคซีนจากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ เช่นขนาด รูปร่าง โครงสร้างผลึก พื้นที่ผิวจำเพาะ ฯลฯ ของวัสดุเส้นใยนาโนที่เตรียมได้

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ทำการทดลองขยายขนาดการผลิตประมาณ 20-30 เท่า (จากเดิม 80 ลบ.ซม.) เพื่อผลิตวัสดุเส้นใยนาโนจากวัตถุดิบที่หาได้ในประเทศไทย ที่มีราคาถูกจำพวกแร่ เช่น แร่ลูโคซีน ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร

1.3.2 ทำการเตรียมวัสดุเส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 100,120 และ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

1.3.3 ทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของเส้นใยนาโนที่ผลิตจากแร่ลูโคซีนโดยวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค

- การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction Spectroscopy, XRD)
- วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวาวของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy, XRF)
- การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)
- การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)
- เครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET)

1.3.4 เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของวัสดุเส้นใยนาโนที่ผลิตจากแร่ลูโคซีน กับวัสดุนาโนที่มีขายตามท้องตลาด

1.3.5 ทดสอบสมบัติเชิงกลบางประการของการเติมเส้นใยนาโนในพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) เกรดเส้นใย

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เข้าใจเทคนิค และเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน

1.4.2 ได้เรียนรู้วิธีการสังเคราะห์ เพื่อศึกษาองค์ประกอบของรูปร่าง ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและโครงสร้างผลึกของเส้นใยนาโน

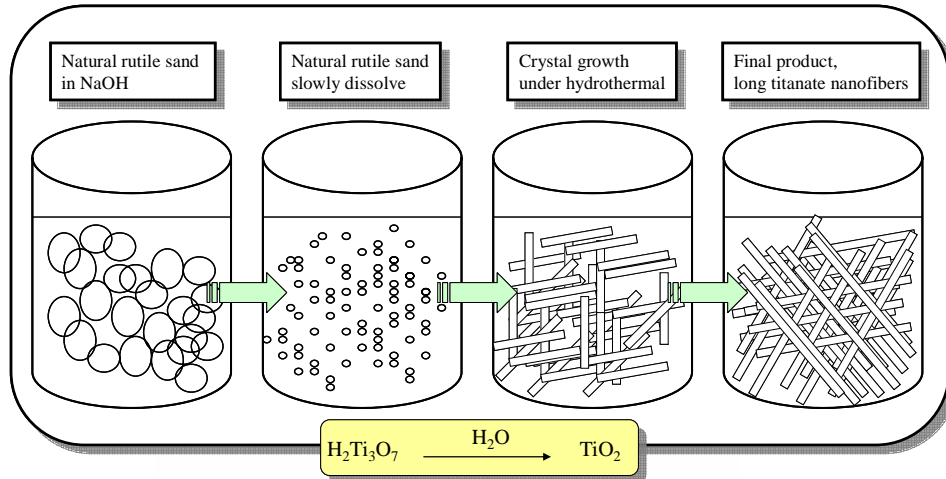
1.4.3 ได้วัสดุเส้นใยนาโนที่ผลิตจากวัตถุดิบราคาถูกในประเทศเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าแร่ของประเทศ

### 1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 รวบรวมข้อมูล และวางแผนการดำเนินงาน

1.5.3 ออกแบบระบบการเตรียมวัสดุเส้นใยนาโนโดยใช้วัตถุดิบที่หาได้ในประเทศที่มีราคาถูก  
 จำพวกแร่ คือ แร่ลูโคซีนจากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยการปรับปรุงและพัฒนาจากแร่ [17-19]  
 ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 Process Of The Nanofibers From Natural Rutile Sand. [17-19]

1.5.4 ดำเนินการจัดเตรียมวัตถุดิบ เช่น แร่ลูโคซีน อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.5.5 ทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุเส้นใยนาโน

1.5.6 ทำการวิเคราะห์ศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุเส้นใยนาโนที่เตรียมได้ เช่น พื้นที่ผิวจำเพาะ โดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ผิวภายใต้สภาวะในโตรเจนเหลว โครงสร้าง โดยใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและแบบส่องผ่าน และเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน องค์ประกอบของวัสดุโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ฯลฯ

1.5.7 เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของวัสดุเส้นใยนาโนที่เตรียมได้ กับวัสดุนาโนที่มีขายตามท้องตลาด เพื่อศึกษาแนวโน้มในการนำมาประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

1.5.8 สรุปผลการทดลอง

## บทที่ 2

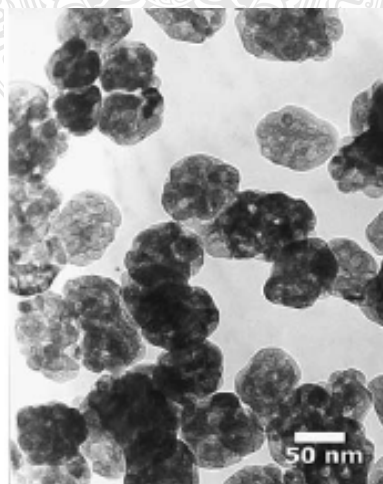
### งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันนี้มีการสังเคราะห์หรือการเตรียม ไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) หลากหลายวิธีมาก ซึ่งแต่ละวิธีนั้น มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง เช่น

##### 2.1.1 Hydrothermal Synthesis of Nanocrystalline and Mesoporous Titania from Aqueous Complex Titanyl Oxalate Acid Solutions. [1]

Kolen'Ko และคณะ ได้ศึกษาการสังเคราะห์ผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และไททาเนียมไดออกไซด์ มีรูพรุนจากสารละลายกรดของไททานิวออกซาเลต ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งผลึกนาโนอนาเทสและรูไทล์มีโครงสร้างและอนุภาค 13-15 นาโนเมตร ผลของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลมีต่อลักษณะการสร้างตัว, องค์ประกอบของเฟส, ขนาดอนุภาค, โครงสร้าง และคุณสมบัติของสารซึ่งภายใต้สภาวะของปฏิกิริยา ไฮโดรลิซิสที่อุณหภูมิสูง ที่มีความเข้มข้นของสารละลาย 0.28 โมลาร์ จะเกิดไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีรูพรุน ซึ่งมีอนุภาคประมาณ 60-100 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.1 และมีขนาดของรูพรุนมีค่าประมาณ 7-27 นาโนเมตร โดยที่กลไกการสร้างตัวของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีรูพรุนได้พิจารณาการเกิดผลึกซ้ำและการเกาะตัวกันของเกรนในตอนเริ่มต้น จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลมีผลกับองค์ประกอบของเฟสพื้นที่ผิว และขนาดของอนุภาค



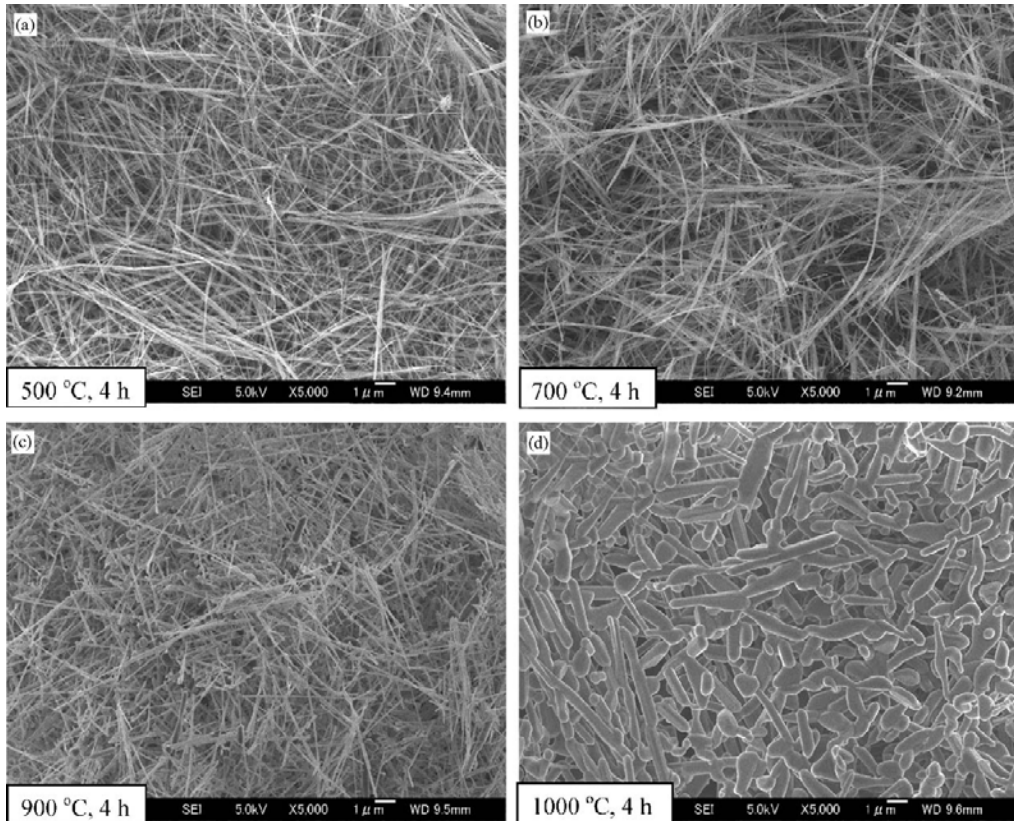
รูปที่ 2.1 อนุภาคนาโนที่ได้จาก กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) [1]

### 2.1.2 The Effect The Preparation Condition of TiO<sub>2</sub> Colloids on Their Surface Structure. [2]

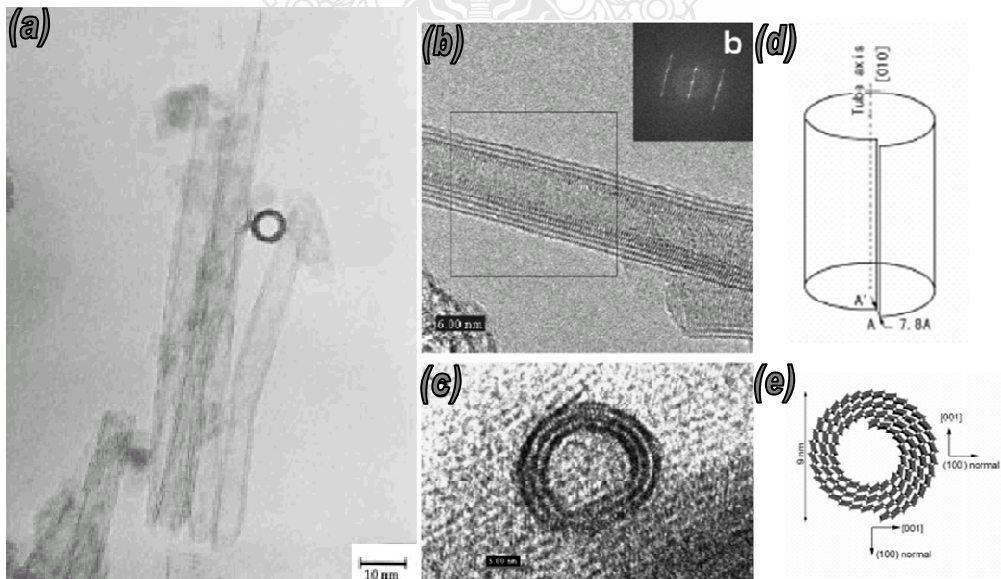
Zaban และคณะ ได้ศึกษาเรื่องผลของการสังเคราะห์คอลลอยด์ไททาเนียมไดออกไซด์ ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยได้ศึกษาอิทธิพลของการใช้กรดไนตริกและกรดแอสติค ระหว่างการสังเคราะห์ ซึ่งมีผลกระทบต่อโครงสร้างผลึกคอลลอยด์รวมทั้งการศึกษาเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านแบบดาร์คฟิลด์ (Dark-Field TEM) โครงสร้างพื้นผิวที่แตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์กระตุ้นด้วยสี จากผลการศึกษาโครงสร้างพบว่าไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณอนาเทส 92.6% และรูทิล 7.4% เมื่อใช้กรดแอสติคพบว่ามีปริมาณอนาเทส 93.2% และ รูทิล 6.8% ค่าเฉลี่ยของอนุภาคไม่แตกต่างกันมากมีค่าประมาณ 12-13 นาโนเมตร

### 2.1.3 Synthesis of Titanate , TiO<sub>2</sub> (B) , and Anatase TiO<sub>2</sub> Nanofibers from Natural Rutile Sand[25]

S. Pavasupree และคณะ ได้ศึกษาเรื่องการสังเคราะห์เส้นใยนาโนไททาเนตจะใช้วิธีไฮโดรเทอร์มอล (150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง) โดยใช้แร่รูทิลเป็นสารตั้งต้น เส้นใยนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20-100 นาโนเมตร และยาว 10-100 ไมโครเมตร และนำมาเผาให้ความร้อนที่ 400-700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง แล้วใช้เครื่อง XRD, SEM, TEM, SAED, HRTEM BET และ Surface Area ในการทดสอบสมบัติของเส้นใยนาโนไททาเนตโดยวิธีนี้เป็นการสังเคราะห์ได้โครงสร้างนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์แบบ 1 มิติ (One Dimensional (1-D)) โดยใช้วัสดุราคาถูกลงจากรูปที่ 2.2 เป็นลักษณะของเส้นใยนาโนที่ใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด(SEM) ในการวิเคราะห์การสังเคราะห์แบบ 1 มิติ (One Dimensional (1-D)) เช่น ท่อนาโน (Nanotubes) อนุภาคแท่งนาโน (Nano Rods) และลวดนาโน (Nano Wires) ซึ่งได้รับความสนใจในการพิจารณาถึงสมบัติ และประโยชน์การนำไปใช้ [3-6] โดยเป็นโลหะออกไซด์ผสม เช่น TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub> และ ZnO [3-10] วัสดุที่มีส่วนประกอบของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) สามารถนำไปใช้เป็นแผ่นโซลาร์เซลล์, ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย, เป็นสารกึ่งตัวนำ, เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [11-16] ท่อนาโน และลวดนาโนที่ได้จากไททาเนียมไดออกไซด์ สามารถสร้างโดยการนำผงไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ [17-30] ด้านราคาของไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีราคาสูง [20, 23-24] สามารถใช้แร่รูทิลจากธรรมชาติมาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [21] โดยราคาของแร่รูทิลที่ใช้มีราคาต่ำ < US\$1/ kg และราคาของผงรูทิล และอนาเทส จะมีราคาเป็น 1/50 และ 1/100 เท่าของราคาผงนาโนปกติ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นเส้นใยนาโนของไททาเนต(รูป 2.2) [21] ส่วนวิธีการสังเคราะห์แบบใช้การแลกเปลี่ยนไอออนจะสามารถผลิตเส้นใยนาโนไททาเนต, อนุภาคนาโนและอนาเทส, อนุภาคนาโนและผงนาโนได้ [22]

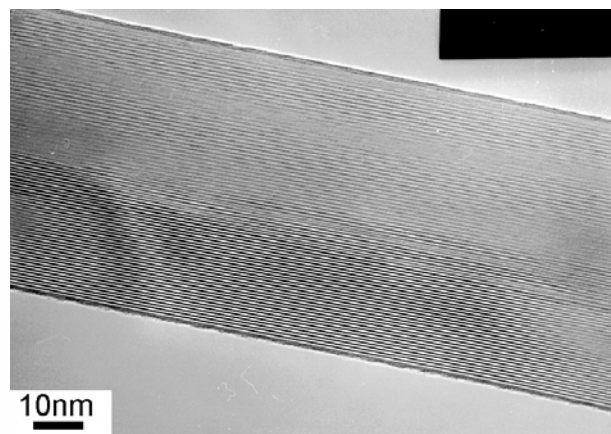


รูปที่ 2.2 เส้นใยนาโนที่ได้จากเครื่อง SEM ที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500°C, 700°C, 900°C และ 1,000°C [25]



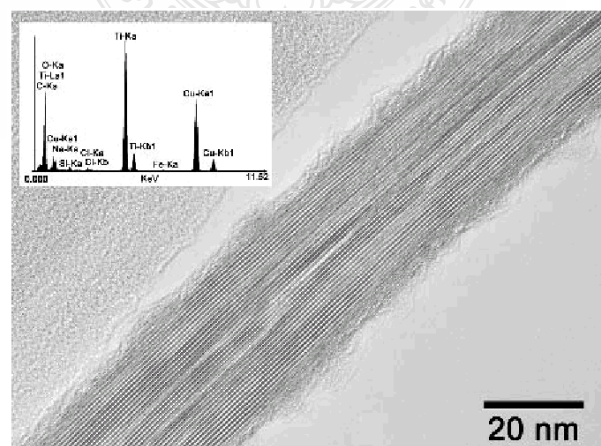
รูปที่ 2.3 ลักษณะของเส้นใยนาโน [17-18]

จากรูปที่ 2.3 Dr. Kasuga ได้ค้นพบวิธีการเตรียมท่อนาโนจากไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) เป็นคนแรกของโลก (a) รูปท่อนาโนได้จาก ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านตรวจสอบ [17-18] (b) ภาพที่ได้จากเครื่อง HRTEM ที่แสดงโครงสร้างของท่อนาโน ซึ่งมีผนังหลายชั้น แต่ละชั้นมีช่องขนาด 0.78 นาโนเมตร (c) ภาพถ่ายตัดขวางของท่อนาโน ซึ่งมีลักษณะม้วนเป็นวงกลม (d) แสดงลักษณะการพันรอบเส้นอ้างอิงจาก ผนังของท่อนาโน (e) โครงสร้างของท่อนาโนไททาเนตโดยผลึกจะแสดงตำแหน่งของอะตอม ซึ่งขึ้นอยู่กับชั้นของไททาเนต ( $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ )



รูปที่ 2.4 ลักษณะของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์เป็นเวลา 120 ชั่วโมง [21]

จากรูปที่ 2.4 ภาพจากเครื่อง TEM ที่แสดง ลักษณะของเส้นใยนาโน ที่แสดงจากกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง [21]



รูปที่ 2.5 ลักษณะของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง [21]



จากรูปที่ 2.5 ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) โดยรูปแบบนี้จะเริ่มตั้งแต่เม็ดของแร่รูไทล์ จนถึงการสังเคราะห์เส้นใยนาโนไททานิค ด้วยวิธี ไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงโดยใช้แท่งแม่เหล็กกวนผสมสาร แล้วใช้ท่อ นาโนไททานิค มาเปรียบเทียบกับสมบัติของสาร [21]

#### 2.1.4 Heating-sol-gel Template Process for the Growth of TiO<sub>2</sub> Nanorods with Rutile and Anatase Structure. [7]

Lei Miao และคณะได้ศึกษาเรื่อง Heating-sol-gel template process for the growth of TiO<sub>2</sub> nanorods with rutile and anatase structure ซึ่ง อนุภาคแท่งนาโน(Nanorods TiO<sub>2</sub>) ที่เกาะตัวกัน อย่างหนาแน่นจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 150-200 นาโนเมตร และมีความยาวอยู่ในระดับ ไมครอนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ โซ-เจล (Heating-sol-gel) ลักษณะของอนุภาคแท่ง นาโน (Nanorods) จะเกิดโครงสร้างผลึกนาโนหลายๆผลึกที่เกาะตัวกันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 นาโนเมตร ที่อยู่ในรูปหลายเหลี่ยมจากเทคนิคการแพร่กระจายของรังสีเอ็กซ์จะบอกการเป็นเฟส อนุภาคของอนุภาคแท่งนาโนที่มีรูปร่างที่แน่นอนและมีความเป็นผลึกสูง

#### 2.1.5 Hydrothermal Synthesis and Photoluminescence of TiO<sub>2</sub> Nanowires. [26]

การสังเคราะห์ เส้นลวดนาโน(TiO<sub>2</sub> Nanowires) ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล และมีคุณสมบัติในการเรืองแสง ซึ่ง เส้นลวดนาโนที่อยู่ในเฟสอนาเทสสามารถสังเคราะห์ได้ด้วย กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลโดยมีเครื่องทดสอบคุณสมบัติด้วยเครื่อง XRD, TEM และ High Resolution Electron Microscopy ในการวิเคราะห์ เส้นลวดนาโนโดยพบว่าเป็นผลึกสูงมีเส้น ผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 30-45 นาโนเมตร และมีความยาวในระดับไมครอนซึ่งมีสีที่แสดงไว้ใน การกระตุ้นที่ 413 นาโนเมตร ที่ฟลักแสดงสีฟ้า- สีเขียวที่ฟลัก 487 นาโนเมตร

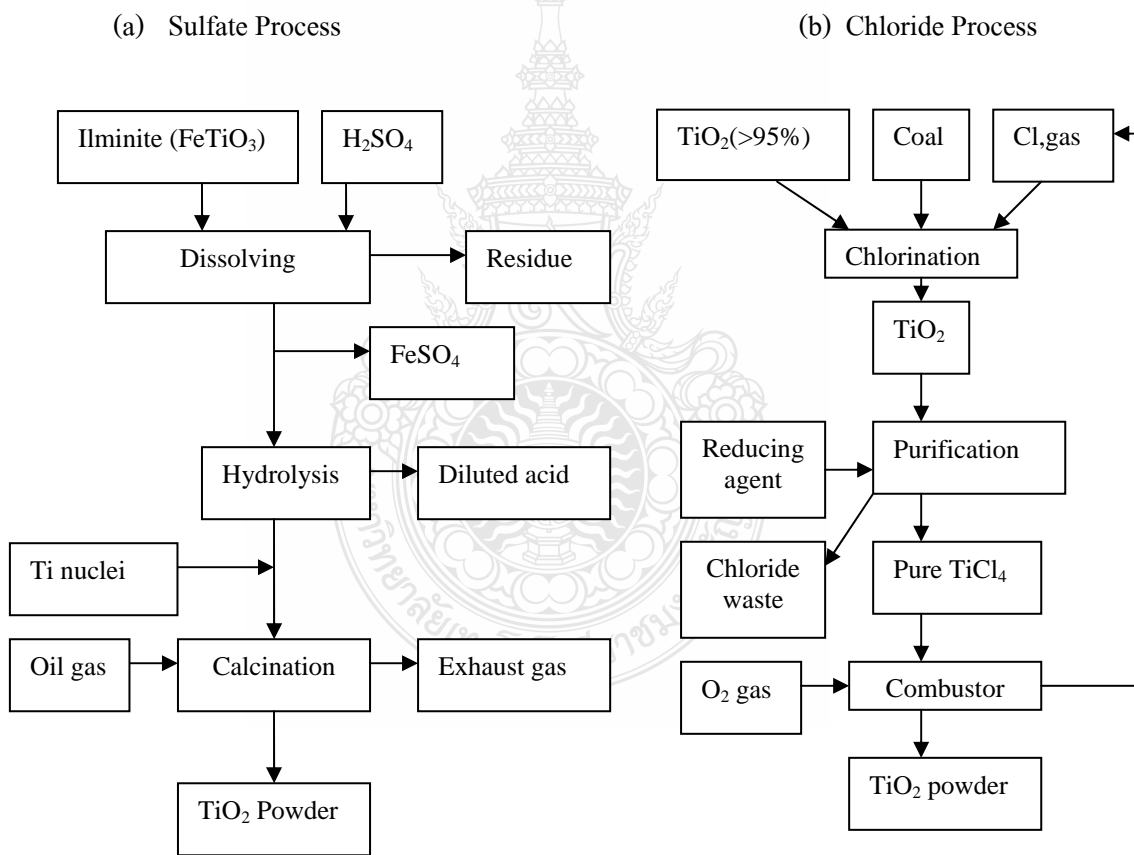
#### 2.1.6 Titanium Oxide Nanotubes, Nanofibers, and Nanowires. [27]

การสังเคราะห์โครงสร้างนาโนไททานิคแบบ Low-dimensional เกิดจากปฏิกิริยา ระหว่างผงไททานิคไดออกไซด์กับสารละลายต่างโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลในการ สังเคราะห์โครงสร้างของวัสดุนาโนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้โครงสร้างของวัตถุดิบ, ความเข้มข้น ของสารละลายที่เป็นค่าอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาซึ่งสามารถควบคุมการเกิด โครงสร้างนาโนได้ก่อนนาโนไททานิค จะมีขนาด 10 นาโนเมตร โดยการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มอล ที่ทำปฏิกิริยากับผงไททานิคไดออกไซด์ในเฟสอนาเทส หรือเฟสรูไทล์กับ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในช่วงอุณหภูมิที่ 100-160 องศาเซลเซียส เส้นใยนาโนเกิดจากการ เชื่อมต่อของโครงสร้างไททานิคไดออกไซด์ออสันฐาน(TiOSO<sub>2</sub>) ที่สังเคราะห์ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 100-160 องศาเซลเซียส จะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวสูงในถึงปฏิกิริยา จะเกิดผลึกหรือไททานิคไดออกไซด์ ออสันฐานในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ขึ้นไป เส้นลวดนาโนจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-10 นาโนเมตร โดยเตรียมได้

จากอนุภาคไททานเนียมไดออกไซด์ในสารละลาย โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โครงสร้างนาโนเหล่านี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD), HRTEM, SAED, EDS และ IR

### 2.1.7 Direct Synthesis of an Anatase-TiO<sub>2</sub> Nanofiber/Nanoparticle Powder. [31]

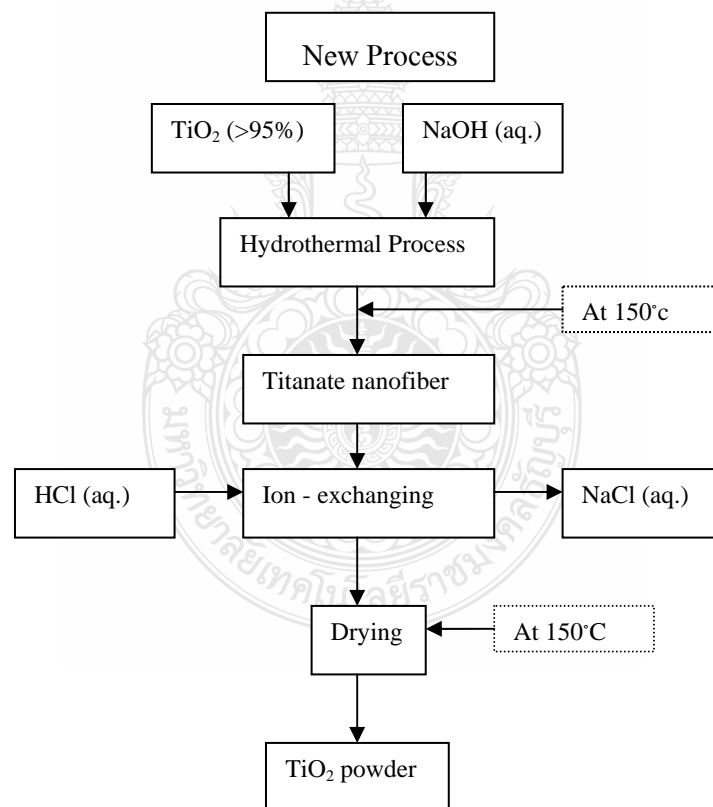
Yoshikazu Suzuki และคณะได้ศึกษาเรื่อง Direct synthesis of an anatase-TiO<sub>2</sub> nanofiber/nanoparticle powder ปัจจุบันการสังเคราะห์เส้นใยนาโนมีหลายวิธีมาก ในความเป็นจริงแล้ว ในอุตสาหกรรมการผลิตไททานเนียมไดออกไซด์ ในปัจจุบันนี้มีเพียงแค่ 2 วิธีเท่านั้นที่ถูกที่สุดในโลก คือ กระบวนการซัลเฟต (Sulfate Process) และกระบวนการคลอไรด์ (Chloride Process) ดังรูปที่ 2.6 แต่ทั้ง 2 วิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้นทุนจากเครื่องมือวัตถุดิบมีราคาสูง วิธีการเตรียมหรือสังเคราะห์มีความยุ่งยากและหลายขั้นตอน แถมยังเกิดมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตวัสดุนาโนไททานเนียมไดออกไซด์แบบกระบวนการซัลเฟต (Sulfate Process) และกระบวนการคลอไรด์ (Chloride Process) [31]

จากการพัฒนาการสังเคราะห์นาโนไททาเนียมไดออกไซด์( $\text{TiO}_2$ )ของ Sorapong Pavasupree และคณะ ได้คิดกระบวนการขึ้นมาใหม่จากกระบวนการเดิม คือ กระบวนการซัลเฟต (Sulfate Process)และ กระบวนการคลอไรด์ (Chloride Process) โดยเป็นการสังเคราะห์เส้นใยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )โดยวิธี ไฮโดรเทอร์มอลที่แสดงดังรูปที่ 2.7 วิธีการดังกล่าวจะมีข้อเด่นที่แตกต่างจากวิธีต่างๆ ก็คือ

- ต้นทุน เครื่องมือวัสดุ และสารเคมี มีราคาถูกหาซื้อได้ง่ายในประเทศ
- วิธีการสังเคราะห์ง่าย และสะดวกไม่ยุ่งยาก
- ใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ต่ำมาก (ประมาณ 100-150 องศาเซลเซียส) เทียบกับการสังเคราะห์แบบอื่น
- ไม่เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม
- มีโอกาสที่จะขยายขนาดการผลิตเป็นหลักกิโลกรัมได้



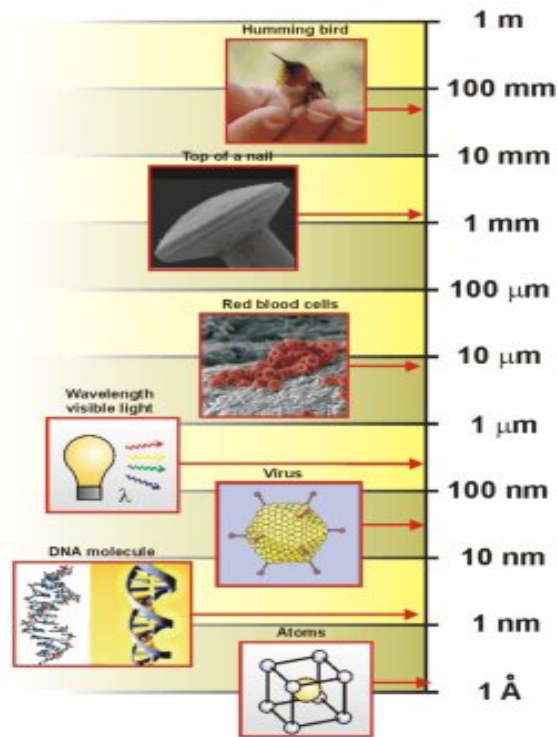
รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์แบบไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ที่ใช้วัสดุราคาถูก และเป็นวิธีที่ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม [31]

### 2.1.8 Synthesis of TiO<sub>2</sub> Nanotubes and its Photocatalytic Activity for H<sub>2</sub> Evolution. [33]

ท่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้มาจากการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นสารตั้งต้น ซึ่งมีประโยชน์เกี่ยวกับการค้า การวิเคราะห์ใช้หลักการดูดซับหรือการดึงออกของแก๊สไนโตรเจน แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), วิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) จากการตรวจสอบพบว่า โครงสร้างของท่อนาโนไททาเนตมีขนาดระหว่าง 10-20 นาโนเมตร ในการให้ความร้อนจะส่งผลโครงสร้างของเฟส, รูปแบบ, พื้นที่ผิวจำเพาะ และการเคลื่อนที่ของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงท่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์จะเริ่มเป็นเฟสบรูคไทต์ (TiO<sub>2</sub> (B)) จะเกิดที่การให้ความร้อนที่ 300 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 400 องศาเซลเซียส ท่อนาโนจะเริ่มมีการเปลี่ยนอนุภาคนาโนเป็นเฟสอนาเทสผสมรวมกันระหว่างท่อนาโนที่เป็นเฟสไททาเนียมไดออกไซด์(B)(TiO<sub>2</sub> (B)) และอนุภาคนาโนที่เป็นเฟสอนาเทสแล้วจะเปลี่ยนไปเป็นเฟสรูไทต์ เมื่อความร้อนที่สูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียสขึ้นไป การเคลื่อนที่ของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงจากตัวอย่างที่เตรียมไว้จะประเมินค่าจากการเกิดแก๊สไฮโดรเจนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ซึ่งผลจากการทดลอง พบว่า การเกิดแก๊สไฮโดรเจนจะใช้ท่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงเพื่อจะได้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนมากที่สุด

## 2.2 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)

นาโนเทคโนโลยี หมายถึง เทคโนโลยีที่มีการประยุกต์ และเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้าง การสังเคราะห์วัสดุ และอุปกรณ์การจัดการเครื่องจักร หรือผลิตภัณฑ์ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับอะตอมหรือโมเลกุล (ประมาณ 1.0-100 นาโนเมตร) รวมถึงการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้างวัสดุที่อยู่ในระดับที่เล็กมาก หรือการจัดเรียงอะตอมหรือโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ และถูกต้อง ทำให้โครงสร้างของวัสดุหรือสารมีสมบัติพิเศษขึ้นทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งทำให้มีประโยชน์ต่อผู้ใช้สอย และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้อีกด้วย [35]



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบขนาดของสิ่งต่างๆ [36]

ขนาดวัสดุนาโน (Nanomaterials) จะมีขนาดตั้งแต่ 0.1–100 นาโนเมตร ดังแสดงการเปรียบเทียบขนาดของสิ่งต่างๆ ในรูปที่ 2.8 วัสดุนาโนที่มีขนาดเล็ก สามารถนำไฟฟ้า ความร้อน และแสงได้ดีกว่าวัสดุเดิม นอกจากนี้ยังมีสมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติเชิงแสง สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงเคมี และการเร่งปฏิกิริยาดีขึ้น ข้อได้เปรียบของวัสดุนาโนเกิดจากการเชื่อมของเกรนจำนวนมากอย่างต่อเนื่องทำให้ วัสดุนาโนมีความยืดหยุ่นจึงไม่เกิดการแตกหักง่าย ในกรณีของเซรามิกซึ่งเป็นวัสดุนาโนผสม และการเชื่อมต่อเป็นคลัสเตอร์ที่แข็งแรงของอนุภาคขนาดเล็ก ทำให้เกิดการซ้อนทับของกลุ่มเมฆอิเล็กตรอนซึ่งเหนี่ยวนำปรากฏการณ์ควอนตัม ทำให้การนำไฟฟ้าและแสงดีขึ้น การพยายามที่จะสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร นั่นคือนาโนเทคโนโลยีจะหมายถึงวิทยาศาสตร์ประยุกต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับสิ่งที่มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร [37] ได้แก่

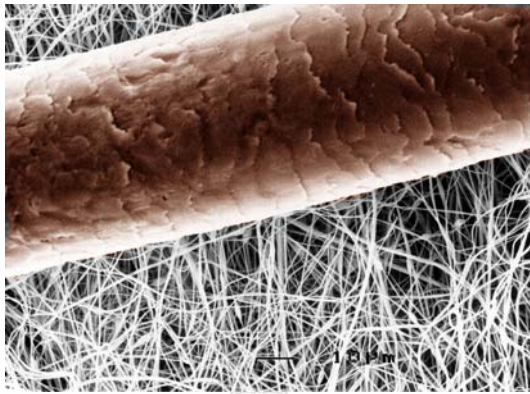
2.2.1 การพัฒนาวิจัย และเทคโนโลยีที่ระดับของอะตอม โมเลกุล หรือไมโครโมเลกุล อยู่ในระดับขนาดประมาณ 1-100 นาโนเมตร

2.2.2 การสร้างและใช้โครงสร้าง เครื่องมือ และระบบที่มีคุณสมบัติและหน้าที่ใหม่ เนื่องจากมีขนาดเล็กมาก

2.2.3 ความสามารถในการควบคุมหรือจัดการเปลี่ยนแปลงได้ในระดับของอะตอม

## 2.3 วัสดุนาโน (Nanomaterials) [37]

วัสดุนาโนเป็นวัสดุนาโนเป็นได้ทั้ง โลหะ เซรามิก พอลิเมอร์และคอมโพสิต ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นมาโดยการดัดแปลงการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลในช่วงขนาด 1-100 นาโนเมตร ซึ่งเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นผม ประมาณ 1 แสนเท่าดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ขนาดของวัสดุนาโนเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผม [38]

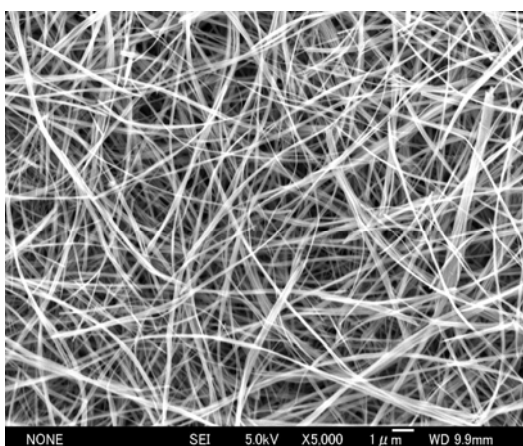
คุณสมบัติทางแม่เหล็กจะแตกต่างจากวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในระดับที่เราคุ้นเคย วัสดุนาโนประกอบด้วยเส้นใยนาโน (Nanofibers) อนุภาคนาโน (Nanoparticles) วัสดุประกอบแตงนาโน (Nanocomposites) ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) หมดควอนตัม (Quantum Dots) ฟิล์มบางนาโน (Nanofilms) โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.3.1 เส้นใยนาโน (Nanofiber) [39]

เส้นใยนาโน คือ เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ไม่มีส่วนประกอบจากเส้นใยนาโน โดยเส้นใยนาโนจะมีจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้าสูงมาก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวสัมผัสได้ง่ายการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มีโครงสร้างคล้ายคลึงเส้นใยชีวภาพสามารถทำอวัยวะเทียม เนื้อเยื่อเทียมสามารถใช้ทำวัสดุเสริมแรงรูพรุนที่เกิดจากเส้นใยนาโนสามารถใช้ในระบบนำส่งยาได้ดีการสังเคราะห์เส้นใยนาโนสามารถทำได้โดยใช้วิธี พอลิเมอร์ไรเซชัน(Polymerization), โซล-เจล(Sol-gel ) อิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning )และไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ดังรูปที่ 2.10 เป็นตัวอย่างเส้นใยนาโนที่ได้จากแร่รูไทล์

### ประโยชน์ของเส้นใยนาโน

- ในผ้าที่มีส่วนประกอบของเส้นใยนาโนจะยับได้ยากเพราะอนุภาคของเส้นใยนาโนจะไปแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยผ้าทำให้เนื้อผ้าไม่หดเข้าเกิดรอยยับ
- เมื่อผสมลงในอุปกรณ์จะทำให้อุปกรณ์มีความแข็งแรง ทนทาน เช่น ไม้กอล์ฟ
- ใช้ผลิตเป็นตัวกรองแบบพิเศษสำหรับกรองอากาศและของเหลว
- เส้นใยนาโนที่ผลิตจากไทเทเนียมไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับแสงแดดได้เร็วขึ้น เพราะมีพื้นผิวหน้าสัมผัสมาก ช่วยในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียและลดกลิ่นอับได้ดี



รูปที่ 2.10 เส้นใยนาโนจากแมงมุม [40]

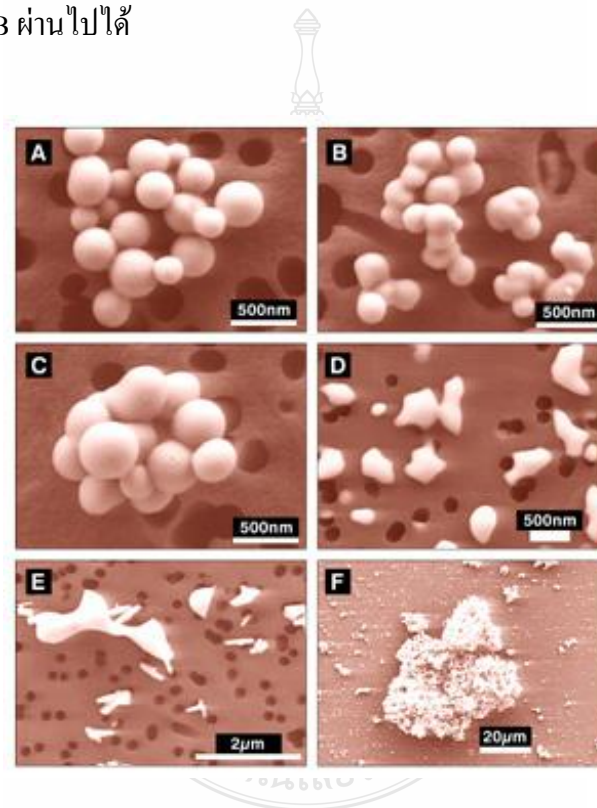
### 2.3.2 อนุภาคนาโน (Nanoparticles) [41]

อนุภาคนาโนเป็นเม็ดลิปิดขนาดเล็กจิ๋ว (อินทรีย์สารประเภทไขมัน) ซึ่งเท่ากับ  $10^{-9}$  เมตร วิธีที่สามารถบอกลักษณะของอนุภาคนาโนได้ดีที่สุดคือ การเปรียบเทียบกับไลโปโซมและอิมัลชันไลโปโซมและนาโนโซม (อนุภาคนาโน) นั้นมีขนาดที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากทั้งสองมีเส้นผ่าศูนย์กลางราว 20–1,000 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามไลโปโซมประกอบด้วยเยื่อหนึ่งชั้นหรือมากกว่าแต่อนุภาคนาโนมีเยื่อเพียงแค่ชั้นเดียว ภายในไลโปโซม บรรจุด้วยน้ำจึงเป็นตัวนำสารเก็บกักความชื้นได้ดีในขณะที่ภายในอนุภาคนาโนบรรจุด้วยน้ำมัน ซึ่งรูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างอนุภาคนาโนของซีเลเนียม

#### ประโยชน์ของอนุภาคนาโน

- เป็นตัวนำสารเก็บกักน้ำมันหรืออินทรีย์สารในอุดมคติได้ดี แกนกลางของอนุภาคนาโนสามารถบรรจุน้ำมันสำหรับเครื่องสำอางได้อย่างหลากหลาย (รวมทั้งสารสกัดจากพาราเรย์, มิรีฟีกาด้วย) และสารที่ละลายในน้ำมัน (อย่างเช่น วิตามินเอ วิตามินอี สารป้องกันรังสียูวี และน้ำหอม)

- เพิ่มความเสถียรทางเคมีของสารประกอบเหล่านี้ไม่ให้มีการออกซิเดชันกับ ออกซิเจน ในอากาศได้ด้วยการจัดเก็บไว้ในอนุภาคนาโนเหล่านี้
- มีปริมาณพื้นที่ผิวของอนุภาคมากสามารถนำไปใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีและการใช้เป็นตัวกรองแบบพิเศษ เช่น ใช้ทองคำนาโนในการลด เวลาในการหมักไวน์
- อนุภาคนาโนของเงินมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เครื่องนุ่งห่ม และฟอกอากาศได้
- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง เช่น อนุภาคนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ โดยเมื่อบำบัดน้ำจะปล่อยให้แสงในช่วงที่ตามองเห็นผ่านได้แต่ไม่ยอมให้รังสี UVA และ UVB ผ่านไปได้



รูปที่ 2.11 อนุภาคนาโนของซิลิเนียม (Nanoparticles) [42]

### 2.3.3 วัสดุประกอบแตงนาโน (Nanocomposites) [43]

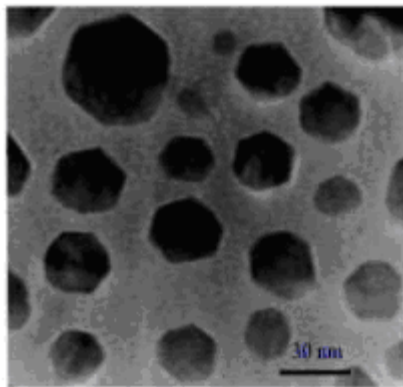
วัสดุประกอบแตงนาโน เป็นวัสดุประกอบแตงชนิดหนึ่งที่มีการนำหลักการใดหลักการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีมาใช้ โดยอาจเป็นการนำเอาวัสดุนาโนที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรมาใช้เป็นวัสดุกระจาย หรืออาจเป็นการเติมวัสดุอื่นๆ ลงไปในวัสดุต่อเนื่องที่มีสมบัติในระดับนาโนเมตร อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปพบว่าวัสดุประกอบแตงนาโนนั้นมีสมบัติพิเศษ หรือแตกต่างไปจากวัสดุประกอบแตงปกติที่เคยมีมา เช่น มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า หรือแม้แต่มีรูปลักษณะที่



แตกต่างออกไปจากวัสดุประกอบแต่ง ซึ่งมีองค์ประกอบแบบเดียวกันแต่ไม่มีส่วนที่มีลักษณะเป็นนาโนเทคโนโลยี วัสดุประกอบแต่งอาจมีโครงสร้างเป็นชั้นที่เรียงกันอย่างแนบสนิทและเป็นระเบียบหรือหากยังสังเกตในระดับที่เล็กลงไปถึงระดับนาโนเมตร เราจะพบว่ามีอนุภาคขนาดเล็กระดับนาโนเมตรซึ่งเป็นวิฤภาคการกระจายจะแทรกตัวอยู่ในเนื้อเมททริกซ์ของพอลิเมอร์ซึ่งถือว่าเป็นวิฤภาคต่อเนื่องนั้น โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนตาข่ายที่เชื่อมโยงไปมาทั้งนี้ประเด็นที่ต้องพิจารณาคือความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) ระหว่างวิฤภาคการกระจายกับวิฤภาคต่อเนื่องโดยได้แสดงตัวอย่างวัสดุประกอบแตงนาโนที่ได้จาก Silica xerogel (Nanocomposite) ดังรูปที่ 2.12

ประโยชน์ของวัสดุประกอบแตงนาโน

- ควบคุมอัตราการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ของอาหาร
- ป้องกันการรั่วซึมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ในขวดเบียร์และน้ำอัดลม
- ป้องกันการสูญเสียอากาศภายในยางรถยนต์และลูกบอลอัดลม
- เพิ่มมูลค่าทางธรรมชาติ
- ป้องกันการติดไฟและการทนความร้อนของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์และยานยนต์



รูปที่ 2.12 วัสดุประกอบแตงนาโนที่ได้จาก Silica Xerogel (Nanocomposite) [44]

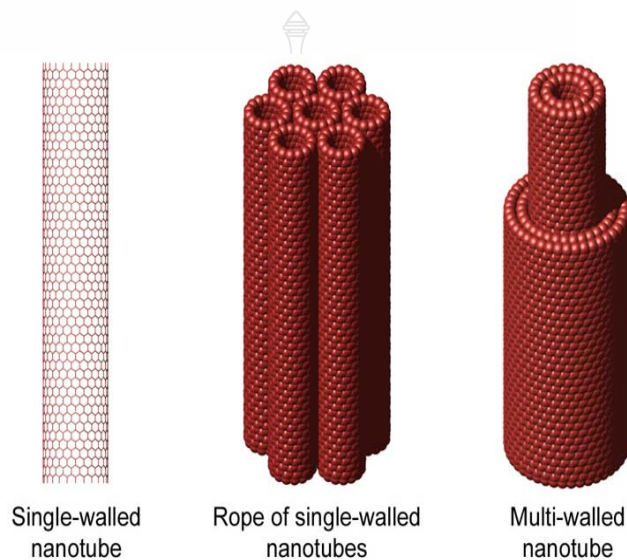
#### 2.3.4 ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) [40, 45-46]

ท่อนาโนคาร์บอนมีโครงสร้างเป็นทรงกระบอก (Cylindrical shape) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยมีขนาดระดับนาโนเมตรมีความยาวประมาณ 1 ล้านเท่าของความกว้างของมันท่อนาโนคาร์บอนมีด้วยกัน 2 ชนิด คือชนิดที่มีผนังซ้อนกัน 2-50 ชั้นเรียกว่า Multi-Walled Carbon Nanotube (MWCNT) และชนิดที่มีผนังเดียวเรียกว่า Single-Walled Carbon Nanotube (SWCNT) โดยลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนจะมีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนที่ยาวเพียง 0.14 นาโนเมตรจึงทำให้ท่อนาโนคาร์บอนแข็งแรงกว่าเพชรและกราไฟต์ มีความยืดหยุ่นสูงนอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าทองแดงโดยนำไฟฟ้าได้ดีมากตามแนวยาวของท่อแต่เป็น

จำนวนของท่อและท่อนต่ออุณหภูมิสูงได้ถึง 2,800 องศาเซลเซียส ภายใต้สุญญากาศและ 750 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะปกติ สามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากปลายท่อในภาวะสุญญากาศได้

ประโยชน์ของท่อนาโนคาร์บอน

- นำมาใช้ในอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ผลิตรจอภาพของโน้ตบุ๊ก พีดีเอและเกมส์
- ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด (Probe) หรือใช้เป็นปิเปตขนาดเล็กมากสำหรับปลดปล่อยสารหรือโมเลกุล (Ultra-small Pipette) เข้าสู่เซลล์เป้าหมายได้
- สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านไบโออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อประโยชน์ในการวิจัยด้านการแพทย์ใช้เป็นสารเสริมแรงให้วัสดุมีความแข็งแรงกว่าปกติ



รูปที่ 2.13 ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) [47]

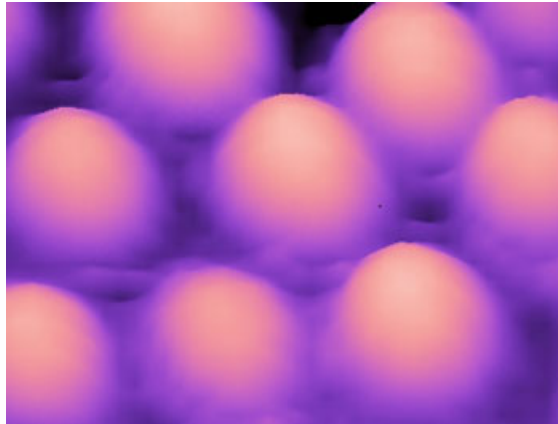
### 2.3.5 หมุดควอนตัม (Quantum Dots) [40]

หมุดควอนตัม (Quantum Dots) เป็นกลุ่มก้อนของสารกึ่งตัวนำ เช่น CdSe CdTe InP และอื่นๆ ที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวของหมุดควอนตัมคือ คุณสมบัติเชิงแสงเนื่องจากหมุดควอนตัมจะมีสีที่แตกต่างกันไปตามขนาดและส่วนประกอบของอนุภาคหมุดควอนตัมสามารถดูดซับแสง และปลดปล่อยแสงออกมาได้อย่างรวดเร็วซึ่งได้แสดงตัวอย่างของหมุดควอนตัม ดังรูปที่ 2.14 หมุดควอนตัมที่ได้ จากแคดเมียมซัลไฟด์ในดิลกับซิงค์ซัลไฟด์

ประโยชน์ของหมุดควอนตัม

- สามารถนำมาใช้แทนสีย้อมฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Dyes) ที่ใช้ในการติดฉลากและย้อมสีเซลล์สิ่งมีชีวิตได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถพัฒนาต่อยอดขึ้นไปเป็นวิธีการรักษาโรคมะเร็งแบบใหม่ได้ในอนาคต

- สามารถใช้หมุดควอนตัมเป็นไดโอดเปล่งแสงแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor LEDs) หรือนำไปใช้แทนแสงเลเซอร์ในอุปกรณ์โทรคมนาคมแบบไฟเบอร์ออปติก
- สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น นาโนคอมพิวเตอร์แบบควอนตัมได้



รูปที่ 2.14 หมุดควอนตัมที่ได้จากแคดเมียมเซเลไนด์กับซิงค์ ซัลไฟด์ (Cadmium Selenide Core and a Zinc Sulphide) (Quantum Dots) [48]

### 2.3.6 ฟิล์มบางนาโน (Nanofilms) [49]

ลักษณะของฟิล์มบางนาโนได้แสดงตัวอย่างไว้ดังรูปที่ 2.15 ฟิล์มบางนาโนจากหยดน้ำ โดยฟิล์มบางนาโนมีคุณสมบัติพิเศษ ได้แก่ สร้างชั้นวัสดุที่มีความบางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร บนผิวให้มีสมบัติตามที่ต้องการเทคนิคที่ใช้มีหลายวิธี เช่น การตกสะสมไอทางกายภาพ (Physical Vapor Deposition , PVD) การตกสะสมไอทางเคมี (Chemical Vapor Deposition , CVD) และการสปัตเตอริง (Sputtering) ซึ่งการตกสะสมไอทางกายภาพ และการสปัตเตอริงเป็นเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางภายใต้สุญญากาศส่วนการตกสะสมไอทางเคมีหรือแก๊สเกิดปฏิกิริยาบนผิวสับสเตรท (Substrate) ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้น ขึ้นกับอุณหภูมิของสับสเตรท และอุณหภูมิของผนังภายในความดันรวมและความดันย่อยของไอ อัตราการไหลของไอ และตัวกระตุ้นภายนอกเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ แสงและพลาสมาการใช้ประโยชน์จากสมบัติใหม่ๆ ในระดับนาโนวัสดุที่ใช้เคลือบมีหลากหลายชนิด เช่น พอลิเมอร์ โลหะ เซรามิก สารกึ่งตัวนำนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย

ประโยชน์ของฟิล์มบางนาโน

- เชิงออปติก ได้แก่การจับแสง การกันแสง และกันแสงอัลตราไวโอเล็ต ความทึบแสง และโปร่งแสง การเรืองแสง ความสามารถในการป้องกันแสงสะท้อน

- เซิงกล ได้แก่การป้องกันรอยขีดข่วน รอยถลอก เพิ่มความแข็งแรง ช่วยหล่อลื่น และเป็นชิ้นส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์เซิงกลขนาดไมโคร (Micro Electronic Mechanical System) ที่เรียกอวาระบบเมมส์ (MEMS )
- เซิงอิเล็กทรอนิกส์นำไฟฟ้า เช่น กักเก็บพลังงานหรือไฟฟ้า เป็นฉนวนไฟฟ้า จอภาพ เซลล์แสงอาทิตย์แบบโคงงอได้ และอิเล็กทรอนิกส์ เช่น อินเดียมทินออกไซด์ (Indium Tin Oxide, ITO)
- เซิงเคมี ได้แก่ความสามารถในการกันน้ำ กันหมอก การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมี กันการแพร่ผ่าน และกันเชื้อโรค
- เซิงอุณหภูมิ ได้แก่การป้องกันการสั่นสะเทือนของอะตอม และการกันความร้อน
- เซิงแม่เหล็ก ใช้ในการเก็บข้อมูล เช่น สปินทรอนิกส์

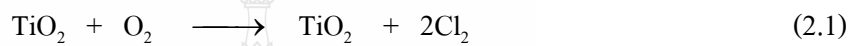


รูปที่ 2.15 ฟิล์มบางนาโนจากหยดน้ำ (Namofilms) [50]

## 2.4 ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>)

ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารเก่าแก่ชนิดหนึ่งเท่ากับโลกของเรา และเป็นหนึ่งใน 50 ชนิดของสารที่ผลิตมากที่สุดในโลก [40] ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) อยู่ในรูปของผลึกที่สำคัญ 3 รูปคือ บรูคไคท์ (Brookite) รูไทล์ (Rutile) และอนาเทส (Anatase) ไททาเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติแต่ได้มาจากอิลเมไนท์ (Ilmenite) ซึ่งเป็นแร่สีดำชนิดหนึ่งเป็นพวกไอรอนไททาเนต (Iron Titanate, FeTiO<sub>3</sub>) หรือแร่ลูโคซีน (Leucoxene) สารประกอบประเภทไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) เป็นหนึ่งในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการออกซิเดชัน [50-51] ซึ่งโดยลำพังแล้วไททาเนียมไดออกไซด์จะไม่มีประสิทธิภาพสมบูรณ์ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่หากออกไซด์ของโลหะอัลคาไลด์ อื่นๆ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม รวมอยู่ด้วย จะทำให้วัสดุผสมที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งที่ว่องไว (Active Site) เกิดขึ้นจากตำหนิ (Defect) ในโครงสร้างของสารประกอบไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อมีออกไซด์ชนิดอื่นปะปนอยู่ด้วย ลักษณะโดยทั่วไปมีสีขาวทึบแสง เกิดเองตามธรรมชาติมี 2 รูปแบบ ใหญ่ๆ ได้แก่ รูไทล์ (Rutile) และอนาเทส (Anatase) โดยรูไทล์มีดัชนีหักเหความหนาแน่นสูงกว่าอนาเทส ทั้ง 2 รูปแบบ มีไททาเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ผสมอยู่กับสารปนเปื้อน จากการศึกษาที่ผ่านมาได้ศึกษาการนำผลึกมาใช้ ในการ

ทดลองโฟโตคะไลซิสเพียง 2 รูป คือ รูทูล์ และอนาเทส ซึ่งรูทูล์ไม่เหมาะสมที่จะมาเป็นตัว คตะ ลิสเพราะเกิดการรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮลสูงและมีความสามารถในการดูดซับต่ำกว่า อนาเทส ในปัจจุบันจึงนิยมใช้อนาเทสมากกว่าแบบอื่น ไททาเนียมไดออกไซด์มีช่องว่างแถบพลังงาน เท่ากับ 3.2 eV จึงจำเป็นต้องใช้แสง UV เป็นแหล่งพลังงานในการกระตุ้นอิเล็กตรอนกับโฮล ซึ่งแสงที่ ใช้ต้องมีความยาวคลื่นให้พลังงานมากกว่าพลังงานแถบช่องว่าง ได้แก่ แสงที่มีความยาวคลื่น 400 nm หรือน้อยกว่า [52] ต้องผ่านกระบวนการทางเคมีจึงจะนำสารปนเปื้อนออกได้เหลือไว้แต่ไททาเนียม ไดออกไซด์บริสุทธิ์ โดยในปัจจุบันสามารถเตรียม ไททาเนียมไดออกไซด์(TiO<sub>2</sub>) ได้จากกรรมวิธีที่ เรียกว่า กรรมวิธีคลอไรด์ (Chloride Process) โดยการนำแร่อิเลเมนต์ไปทำปฏิกิริยากับคลอรินภายใต้ สภาวะที่เหมาะสม จะได้ TiO<sub>4</sub> นำ TiO<sub>4</sub> ไปกลั่นเพื่อให้บริสุทธิ์จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส จะได้ TiO<sub>2</sub> ดังสมการ



อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ ที่มีระดับในระดับนาโนเมตรจะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิว ต่อปริมาตร (Surface of Volume) สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งจะทำให้ อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มีจำนวนอะตอมอยู่บริเวณผิวหน้าสูงมากส่งผลในปฏิกิริยาเคมี บนพื้นผิวหน้าได้ง่ายกว่าไททาเนียมไดออกไซด์ ปกติและเป็นการส่งเสริมการแยกตัวระหว่าง อิเล็กตรอนกับโฮล ของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ ให้ออกจากกันได้ดีขึ้น โดยที่ค่าศักย์รีดอกซ์ ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาโดยแสงของไททาเนียมไดออกไซด์ จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลงนอกจากนี้ในบางกรณียังพบว่าอนุภาคนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ ที่ผ่านการดัดแปลงองค์ประกอบหรือโครงสร้างอนุภาคสามารถเร่งปฏิกิริยาได้จากการกระตุ้นด้วย แสงแดดแทนที่จะต้องใช้แสง UV ซึ่งจะทำให้การนำอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ไปใช้งาน มีความสะดวกมากขึ้น [16]

ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารที่มีสีขาว เกล็ดธรรมดา ไม่ไวต่อผลิตภัณฑ์ต่างๆ ไม่เป็นพิษ และไม่เหลือกลิ่นที่มีสมบัติการไหลดี ไม่มีกลิ่นและมีความสามารถในการดูดซับถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม สารที่ปลอดภัย สารชนิดนี้พบได้ในหลายผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ สีทาบ้าน ไปจนถึงเครื่องสำอาง

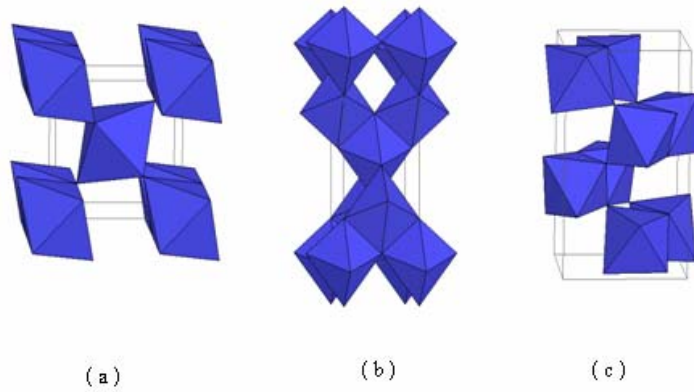
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพต่างๆ ไปของไททาเนียมไดออกไซด์ [52]

ชื่อ	Titanium dioxide	
สูตรโมเลกุล	TiO <sub>2</sub>	
น้ำหนักโมเลกุล	79.9 amu	
ลักษณะและสี	ของแข็งสีขาว	
จุดเดือด	2,500°C	
จุดหลอมเหลว	1,830°C	
สมบัติเฉพาะของเฟส	รูไทล์	อนาเทส
- ดัชนีหักเห (refractive index)	1.903	2.49
- ความหนาแน่น (gcm <sup>-3</sup> )	1.903	3.84



รูปที่ 2.16 ผงของไททาเนียมไดออกไซด์ [53]

รูปที่ 2.16 แสดงผงของไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาว โดยไททาเนียม ไดออกไซด์ที่อยู่ในเฟสรูไทล์และอนาเทสจะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเตตระกอนอล (Tetragonal) ซึ่งประกอบด้วยแต่ละหน่วยของออกตะฮีดรัล (TiO<sub>6</sub><sup>2-</sup>) ในแต่ละออกตะฮีดรัลนั้นจะประกอบด้วย Ti<sup>4+</sup> อยู่ตรงกลางและจะถูกล้อมรอบโดย O<sup>2-</sup> แต่การเชื่อมต่อกันแต่ละออกตะฮีดรัลในแต่ละ 2 เฟสนั้นจะแตกต่างกันออกไป ในกรณีของเฟสรูไทล์นั้นจะเกี่ยวข้องกับการใช้ขอบและมุมของออกตะฮีดรัลในการเชื่อมต่อ โดยด้านที่อยู่ตรงข้ามกันของออกตะฮีดรัลจะถูกเชื่อมต่อกันให้เกิดเป็นเส้นตรง (Linear Chain) และแต่ละเฟสนั้นจะถูกเชื่อมต่อกันโดยใช้ออกซิเจนที่อยู่ตรงมุมร่วมกัน ส่วนในกรณีของเฟสอนาเทสนั้น การเชื่อมต่อกันของแต่ละออกตะฮีดรัลจะเกี่ยวข้องกับการใช้ขอบเขตร่วมกันเท่านั้น [17] การเชื่อมต่อกันของแต่ละออกตะฮีดรัลของรูไทล์, อนาเทส และบรึคไคท์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การเชื่อมต่อกันของแต่ละออกไซด์คริสตัลของเพรสรูไทล์ (a) เฟสอนาเทส (b) และเฟสรูคไทล์ (c) [54]

### 2.4.1 สมบัติเฉพาะตัวของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) [51]

#### ก. ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalysts)

ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalysts) เมื่อได้รับแสง UV ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตรโดยกลไกในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงจะเกิดขึ้นจากการที่ e<sup>-</sup> ของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) ที่ได้รับพลังงานจากแสงจะมีพลังงานสูงขึ้นและย้ายจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้า และโฮล (h<sup>+</sup>) ที่อยู่ในแถบวาเลนซ์จะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีกับสารต่างๆที่สัมผัสกับอนุภาคไททาเนียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากคุณสมบัติของปฏิกิริยามีความสามารถในการกำจัดทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ในน้ำ อากาศและสิ่งมีชีวิตจึงนำมาผลิตเป็นเสื้อผ้านาโนเคลือบอนุภาค TiO<sub>2</sub> เมื่อกำจัดเชื้อโรค และกลิ่นอับ

#### ข. ค่าความหนืด

อนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์ที่แพร่กระจายสู่พอลิเมอร์หลอมเหลวนั้นสามารถเปรียบเทียบได้ว่าเป็นสารแขวนลอยโดยความหนืดของสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย เช่น ความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวปริมาตรบางส่วนปฏิกิริยาระหว่างไททาเนียมไดออกไซด์ และพอลิเมอร์ รูปร่างและการกระจายตัวของอนุภาค เป็นต้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามปริมาตรจนกระทั่งถึงขีดจำกัดค่าหนึ่งที่ว่าสภาวะไม่สามารถไหลได้อีก ความเข้มข้นของฟิลเลอร์ (Filler) สูงทำให้อนุภาคเข้าใกล้กันและกันมากขึ้น ความเป็นไปได้ที่จะเกิดการชนกันสูงขึ้นภายใต้การเฉือนและทำให้เกิดการไหลไปรวมกัน

#### ค. ความทึบแสงและความขาว (Opacity and whiteness)

ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) ให้เกิดการกระจายตัวของแสงที่มองเห็นออกไป โดยการกระจายของแสงนี้เป็นไปได้เพราะว่าวงสีขาวของไททาเนียมไดออกไซด์สามารถทำให้แสงเลี้ยวเบนออกไปได้โดยเมื่อแสงผ่านระหว่างหรือใกล้อนุภาคของวงสีบางส่วนก็อาจจะดูดซับเอาไว้

แสงส่วนที่เหลือก็จะหักเห สะท้อนกระจายออกไปจากความสัมพันธ์ของค่าความแข็งของสีว่าดี โดย การแพร่กระจายของไททานเนียมไดออกไซด์ ไปสู่เม็ดสีเข้มข้นตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยพบว่า ตัวอย่างที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ จะมีประสิทธิภาพในการกระจายตัวแข็งที่สุด

ง. ความทึบแสงและความแข็งแรงของสี

ความทึบแสง และความแข็งแรงของสีที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้เวลาในการกระจายมากขึ้น โดยการรวมตัวกันของผงสีก็จะค่อยๆลดลงด้วยวิธีการใช้วิศวการแพร่กระจายจะเป็นความสัมพันธ์แบบตรงกับคุณสมบัติที่ต้องการตัวอย่างเช่น การรวมตัวกันของอนุภาคหลายๆขนาดที่เกาะกลุ่มกัน

จ. การแพร่กระจายของไททานเนียมไดออกไซด์

ค่าของไททานเนียมไดออกไซด์จะดีที่สุดที่จะนำไปใช้ต่อเมื่อมีการแพร่กระจายที่ดีของอนุภาคของผงสีมักติดกันในระหว่างการผลิตและจัดเก็บ ผลก็คือ จะเกิดการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคมากขึ้น มีหลากหลายเทคนิคที่สามารถใช้เพื่อลดเกาะตัวกันเหล่านี้เพื่อให้ได้ขนาดที่ ได้รับ ได้ราคาเหมาะสม

ฉ. ความสามารถในการทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

ปฏิกิริยาทางแสงตามธรรมชาติของไททานเนียมไดออกไซด์ อาจมีสาเหตุจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นสารอินทรีย์เมื่อสัมผัสกับแสงอาทิตย์และสภาพแวดล้อม ผลที่ตามมา ก็คือสูญเสียความแข็งแรงทางกายภาพ และการสูญเสียชั้นพื้นผิวที่เป็นสีขาวไป (เกิดการสูญเสียของไททานเนียมไดออกไซด์และ เรซินที่แยกตัวออกมาซึ่งสามารถถูกลบออกจากผิวหน้าได้)

การปรับปรุงความสามารถในการทนทานต่อสภาพแวดล้อมของชิ้นส่วนพลาสติกที่ใช้งานภายนอก ทำได้โดยการเคลือบด้วยสารอินทรีย์อย่างอูมิเนียม หรือ ซิลิกา บนผิวของไททานเนียมไดออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวกันระหว่าง ไททานเนียมไดออกไซด์และเรซินให้เกิดการเสื่อมสภาพทางเคมีของแสงให้น้อยที่สุด และไททานเนียมไดออกไซด์ ประเภทที่เคลือบผิวนี้มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง

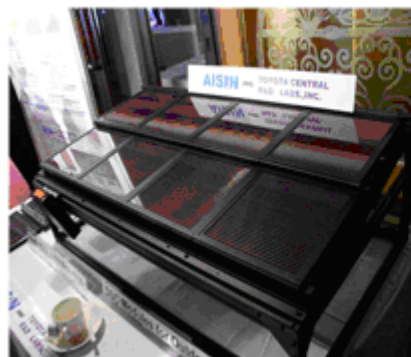
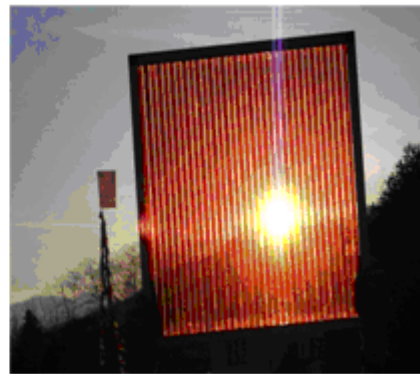
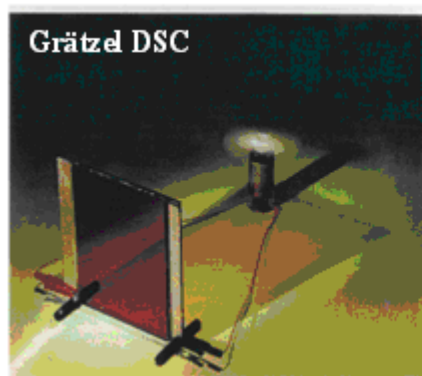
**2.4.2 การประยุกต์ใช้งานของไททานเนียมไดออกไซด์ในอุตสาหกรรม**

ที่สำคัญที่สุดของไททานเนียมไดออกไซด์ในอุตสาหกรรม คือ การใช้ไททานเนียมไดออกไซด์ในรูปแบบผงเพื่อใช้เป็นเม็ดสีสำหรับสร้างความขาวและความทึบแสงให้กับผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น สีหรือสารเคลือบต่างๆ พลาสติก หมึกพิมพ์ เส้นใย อาหาร เครื่องสำอาง ซึ่งไททานเนียมไดออกไซด์ เป็นสารที่ใช้ผลิตเป็นเม็ดสีขาวมากที่สุด ไททานเนียมไดออกไซด์มีความขาวมาก และมีดัชนีหักเหสูงมากรองจากเพชร ดัชนีหักเหแสงนี้เป็นตัวกำหนดความทึบแสงของสารที่มีเม็ดสีนี้อยู่ด้วย ค่าดัชนีหักเหที่สูงของไททานเนียมไดออกไซด์จึงไม่จำเป็นต้องมีเม็ดสีจำนวนมากเพื่อทำให้เกิดสีขาวทึบบนวัตถุที่ต้องการ ค่าดัชนีการหักเหที่สูงและสีขาวของไททานเนียมไดออกไซด์ ทำให้อันเป็นตัวทึบแสงที่มีประสิทธิภาพสูงไททานเนียมไดออกไซด์ จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวทำให้ทึบแสงสำหรับสารเคลือบผิวแก้วและเครื่องปั้นดินเผา เครื่องสำอาง ครีมกันแดด กระจก และสี ข้อดีอีกประการของสารนี้คือ ความทนทานต่อการซีดของสีเมื่อสัมผัสกับแสงอัลตราไวโอเล็ต



ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) เป็นวัสดุที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ดังรูปที่ 2.18 เป็นผลิตภัณฑ์ ดังต่อไปนี้

- ใช้เป็นครีมรักษาผิวเพราะไททาเนียมไดออกไซด์ มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อแบคทีเรีย
- ใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์
- ใช้เป็นสีทาบ้าน
- ทำเสื่อนาโนปลอดเชื้อ และกลิ่น
- ใช้เป็นครีมกันแดด
- ใช้ทำเป็นส่วนประกอบของไม้กอล์ฟ ฯลฯ



รูปที่ 2.18 การนำไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ ของไททาเนียมไดออกไซด์ [55]

## 2.5 แร่ลูโคซีน (Leucosene) [56]

### 2.5.1 แหล่งกำเนิดและการเกิด

- ประเทศไทยพบปนอยู่บนลานแร่ดิบุกในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ภูเก็ต ตะกั่วป่า
- ต่างประเทศ แหล่งที่พบคือ แหล่งชายฝั่งด้านเหนือของรัฐนิวเซาท์เวลส์ และด้านใต้ของรัฐควีนแลนด์ ทำให้ออสเตรเลียเป็นแหล่งผลิตที่ใหญ่ที่สุด แหล่งอื่นพบในรัฐเวอร์จิเนียตะวันออกเฉียงเหนือของรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา

การเกิด : พบเกิดในหินแกรนิต เพกมาไทต์ ไนส์ ไมกาชีสต์ นอกจากนี้ยังพบในทรายร่วมกับแมกนีไทต์ เซอร์คอน และโมนาไซต์เป็นจำนวนมากไม่น้อยนอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ด้วยกรรมวิธีเวอร์เนียล (Verneuil Process) มักพบอยู่ในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

#### 2.5.2 คุณสมบัติของแร่ลูโคซีน

- สมบัติทางฟิสิกส์ : รูปผลึกเป็นแบบเททราโกนาล มักเกิดเป็นแท่งคล้ายรูปเข็มวาวคล้ายเพชร กิ่งโลหะมืดเล็กๆ สีน้ำตาล
- สมบัติทางเคมี : สูตรเคมี ( $\text{TiO}_2$ )



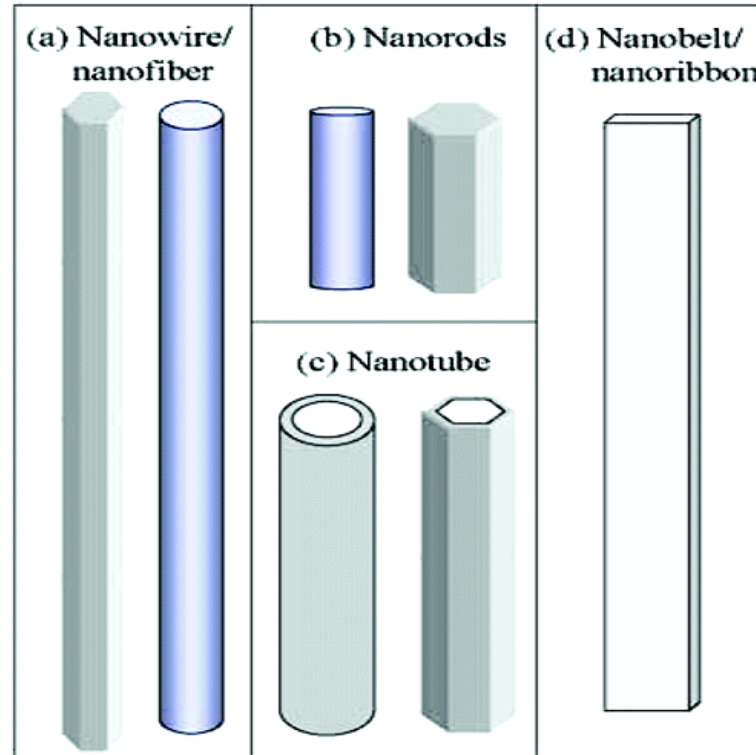
รูปที่ 2.19 แร่ลูโคซีน (Leucosene) [57]

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของแร่ลูโคซีน [58]

Compositio% (Typical)	Iimentin	Rutile	Leucoxene	Zircon	Sillimanite	Monazite
TiO <sub>2</sub>	59.88	94.04	79.65	0.30	0.12	RE <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 57.5%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.98	3.36	7.5	0.86	1.0	ThO <sub>2</sub> 7.96%
FeO	8.4	Nil	0.47	Nil	Nil	Acid Insolubles
T/Fe	25.34	Nil	5.60	Nil	Nil	5.05%
SiO <sub>2</sub>	0.83	0.58	4.18	30.33	36.58	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	Nil	0.06	Nil	Nil	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.16	0.65	3.31	2.51	61.62	-
ZrO <sub>2</sub>	Traces	0.64	0.65	64.81	0.18	-
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2	0.36	0.28	Nil	Nil	-
MgO	0.79	Nil	1.1	Nil	Nil	-
MnO	0.4	0.05	Traces	Nil	Nil	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.028	0.35	0.46	Nil	28.21
Na <sub>2</sub> O	Nil	Nil	Traces	0.03	Nil	-
K <sub>2</sub> O	Nil	Nil	Nil	0.02	Nil	-
CaO	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	-
LOI at 900°C	0.98	0.22	2.38	0.3	0.47	-
Specific Gravity	4.20	4.25	3.50	4.69	3.27	5.14
Guarantee	58%TiO <sub>2</sub>	92%TiO <sub>2</sub>	75%TiO <sub>2</sub>	64%ZrO <sub>2</sub>	60%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-

## 2.6 1D Nanostructured [59]

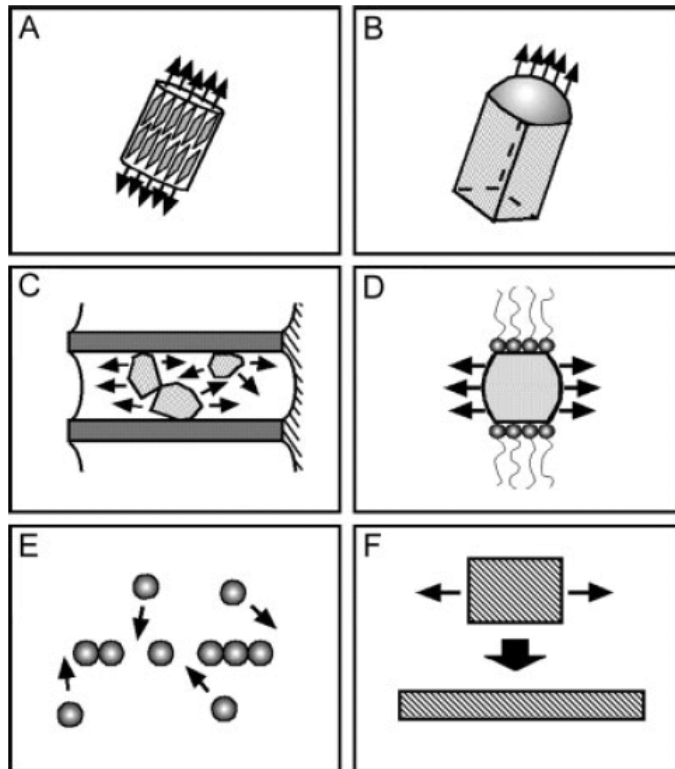
### 2.6.1 One-Dimensional Nanostructured Materials.



รูปที่ 2.20 Typical Morphologies of One-Dimensional Nanostructures : Nanowires , Nanorods, Nanotube, and Nanobelts [59]

ในปัจจุบันได้กล่าวถึงโครงสร้างของนาโนในลักษณะต่างๆ เช่นลวดนาโน (Nanowire) นาโนไฟเบอร์ (Nanofiber) Nanobelt และ Nanoribbon เป็นต้น โดยลวดนาโน (Nanowire) มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรงมีทิศทางการเติบโตอย่างจำเพาะทางด้านข้าง และเติบโตในแนวตั้ง Nanorod จะมีลักษณะโครงสร้างและการเติบโตเหมือนลวดนาโนแต่จะมีความยาวที่สั้นกว่า ท่อนาโนมีโครงสร้างแบบ 1 มิติ ซึ่งจะมีช่วงกลางภายในมีลักษณะเหมือนท่อ Nanobelt/nanoribbon มีโครงสร้าง 1 มิติ โดยด้านข้างแบนเหลี่ยมดังรูปที่ 2.20

2.6.2 การสังเคราะห์ One-Dimensional Nanostructured Materials. [60]



รูปที่ 2.21 เป็นแผนภาพวิธีการเกิดโครงสร้างแบบ 1 มิติ 6 วิธี [60]

จากรูปที่ 2.21 มีรายละเอียดดังนี้

- A. กำหนดธาตุที่มีเลขอะตอมเหมือนกันทำให้เกิดการตกผลึกของแข็ง
- B. กระบวนการไอน้ำของเหลว-ของแข็ง ซึ่งจะใช้หยดของแข็งเล็กๆ ในการเก็บกัก
- C. การควบคุมการเกิดโดยใช้แผ่นเจาะเป็นแม่แบบ
- D. การควบคุมการเกิดโดยใช้สารเคมี
- E. การเกิดเข้าตามช่องว่างของโครงสร้างนาโน 0 มิติ
- F. การลดขนาดโครงสร้าง 1 มิติ

การลดขนาดโครงสร้าง 1 มิติ

โครงสร้าง 1 มิติของโลหะออกไซด์ที่ได้จากวิธีการทำจากแผนภาพรูปที่ 2.18 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.19 ดังนี้

รูปที่ 2.22 (a) [62] เป็นท่อนาโนของอนาเทสที่ได้จากการสลายตัวของ  $TiCl_4$  กับ ขี้ขาวของ Alumina Membrane (AAM)

รูปที่ 2.22 (b) [63] ท่อนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผนังนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ทำการสังเคราะห์โดยใช้แผ่นแม่แบบ (Template) และแบบกระบวนการ ไอ-ของเหลว-ของแข็ง

(Catalyst-Free Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD))

รูปที่ 2.22 (c) [64] ท่อนาโนของ โพรโตเนียไททาเนต (Protonated Titanate) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกมากกว่า 10-15 นาโนเมตร และยาว 20-400 นาโนเมตร เมื่อนำมาผ่านกระบวนการไอโครเทอร์มอล โดยใช้ปฏิกิริยา ระหว่างแร่รูไทล์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และเผาที่อุณหภูมิ 500°C ในสภาวะบรรยากาศของอาร์กอน (Argon) จะได้เป็นท่อนาโนของอนาเทสที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่ออยู่ระหว่าง 10-15 นาโนเมตร

รูปที่ 2.22 (d) [65] เป็นเส้นใยนาโนไททาเนต (ยาว 10-500 ไมโครเมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20-50 นาโนเมตร) ที่ได้จากกระบวนการ ไอโครเทอร์มอล โดยใช้แร่รูไทล์ เป็นสารตั้งต้น

รูปที่ 2.22 (e) [66] ท่อนาโนที่ได้จากกระบวนการ ไอโครเทอร์มอล ระหว่าง วาดีเนียม (V) Alkoxide ได้ Primary Alkyl Amines

รูปที่ 2.22 (f) [67] ท่อนาโนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยโดยได้จากการสังเคราะห์ระหว่าง ซิงค์ออกไซด์ และสารผสมระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

รูปที่ 2.22 (g) [68] ลวดนาโนของแมกนีเซียมออกไซด์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 นาโนเมตร ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Boron Oxide-assisted Catalytic Growth

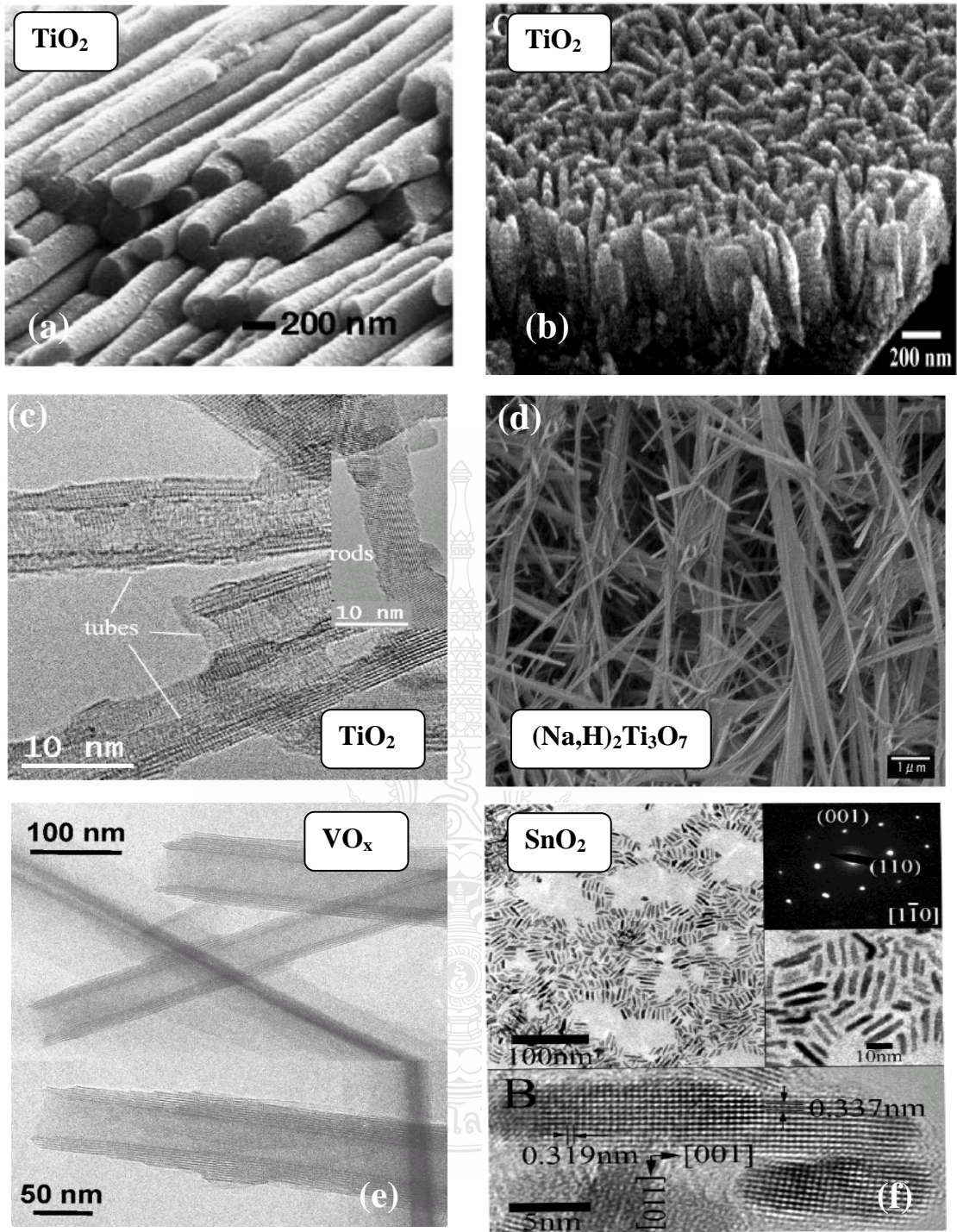
รูปที่ 2.22 (h) [69] ลวดนาโนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 นาโนเมตรและยาว 30 นาโนเมตรที่ได้จากการสังเคราะห์ของโลหะออกไซด์

รูปที่ 2.22 (i) [70] แสดงลักษณะของท่อนาโนที่ได้จากผลึกของทั้งสแตนนออกไซด์ ซึ่งมีความยาวมากมีคุณสมบัติให้แสงสว่างที่อุณหภูมิห้อง

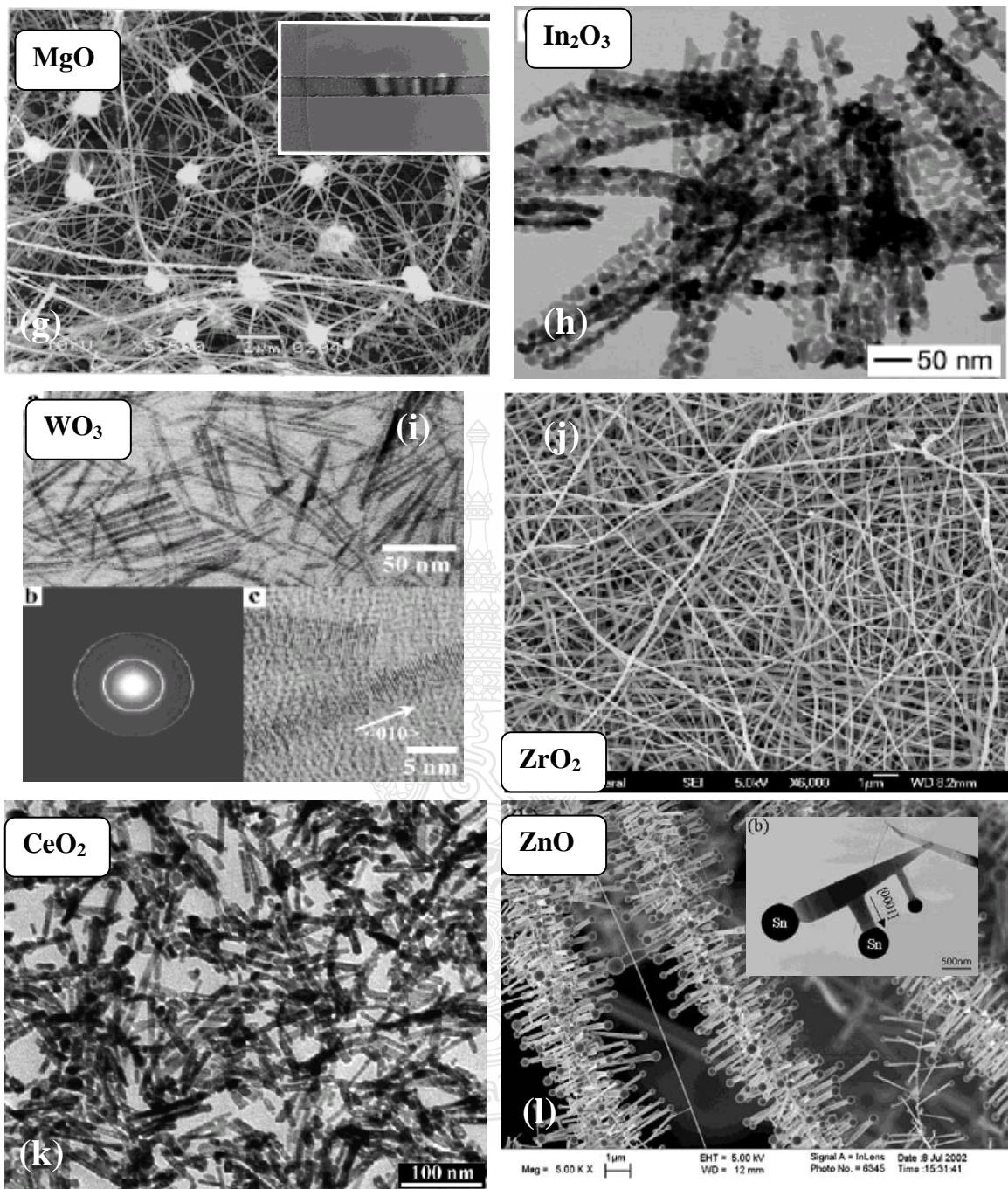
รูปที่ 2.22 (j) [72] เส้นใยที่ประกอบขึ้นจาก PVA/Zirconium Oxychloride ที่ผ่านกระบวนการโซล-เจล และเทคนิค อิเล็กโตรสปินนิง และนำเส้นใยต้นแบบไปเผาจะได้เส้นใยนาโนซิงออกไซด์ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50-200 นาโนเมตร

รูปที่ 2.22 (k) [73] ไอออนบวกของ Surfactant Cetyltrimethylammonium Bromide (CTMABr) ที่เจริญเติบโตโดยตรงและผลึกของท่อนาโน

รูปที่ 2.22 (l) [74] ลวดนาโนและริบบอนนาโนของซิงค์ออกไซด์ ที่ได้จากกระบวนการระเหยของสารผสมระหว่าง ซิงค์ออกไซด์ และ ทินไดออกไซด์ (SnO<sub>2</sub>) ที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส จากกระบวนการ ไอ-ของเหลว-ของแข็ง



รูปที่ 2.22 ภาพที่ได้จากโครงสร้าง 1-Dimensional โดยใช้เครื่อง TEM และ SEM [61-72]

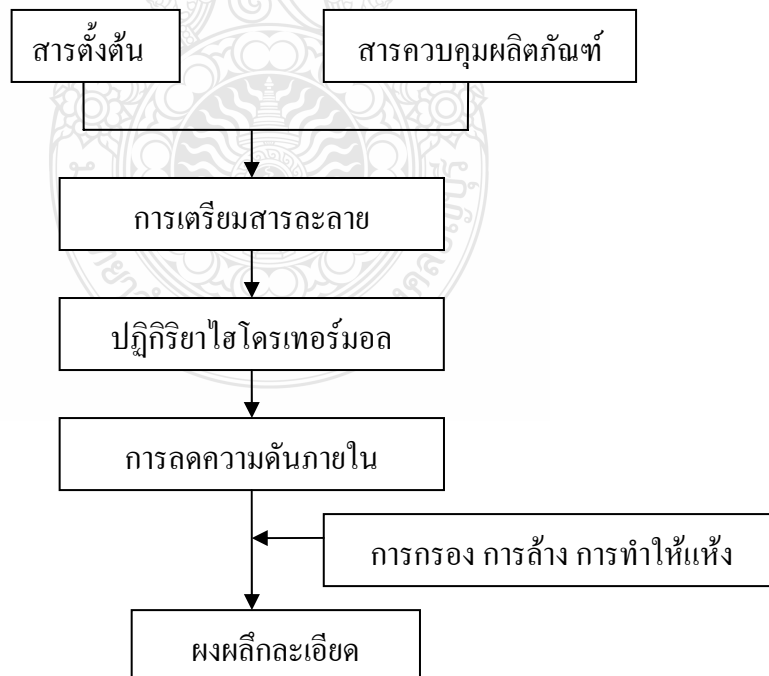


รูปที่ 2.22 (ต่อ) ภาพที่ได้จากโครงสร้าง 1-Dimensional โดยใช้เครื่อง TEM และ SEM [61-72]



## 2.7 การสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal Synthesis)

การสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เป็นกระบวนการที่สารละลายหรือสารแขวนลอยของสารตั้งต้นในน้ำ เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงในภาชนะภายใต้ความดัน [73] เป็นการสังเคราะห์ทางเคมีของผลึก หรือผงเซรามิกออกไซด์ที่ปราศจากน้ำที่แตกต่างจากกระบวนการอื่นๆ เช่น ซอล-เจล หรือการตกตะกอนร่วมโดยอาศัยอุณหภูมิและความดันในการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในรูป 2.23 อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 100 องศาเซลเซียส จนถึง อุณหภูมิวิกฤต ที่ 374 องศาเซลเซียส และความดันสูงถึง 15 MPa สภาวะจำเพาะที่ใช้ในการรักษาเฟสของสารละลายให้เกิดการเคลื่อนย้ายมวล เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนเฟส ผลโดยรวมของความดันและอุณหภูมิสามารถลดพลังงานอิสระสำหรับการเกิดเฟสที่เสถียรได้ที่ความดันปกติ [30] กลไกของกระบวนการเกิดอนุภาคเซรามิกออกไซด์อธิบายได้เป็น กระบวนการละลายและการตกตะกอน หรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงภายใน (In-situ) กลไกของการละลายและการตกตะกอนเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของสารตั้งต้นซึ่งเป็นออกไซด์ ไฮดรอกไซด์หรือองค์ประกอบของออกไซด์สามารถละลายเข้าสู่สารละลาย เกิดเป็นสารละลายอิ่มตัว เกิดเป็นปฏิกิริยาภายใต้สภาวะดังกล่าวข้างต้น และตกตะกอนเป็นอนุภาคของผลิตภัณฑ์ แรงกระตุ้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยามาจากความแตกต่างของการละลายได้ระหว่างเฟสออกไซด์และสารตั้งต้นที่ละลายได้น้อยที่สุด หรือสารอินทรีย์มีเดียท



รูปที่ 2.23 แผนผังการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [73]

ในหลายกรณี สารตั้งต้นแขวนลอยไม่สามารถละลายได้เพียงพอในน้ำ จึงต้องเติมมิเนอร์ราไลเซอร์ (Mineralizer) เช่น เบส หรือกรด อนุภาคเซรามิกเกิดโดยผ่านกลไกการเปลี่ยนแปลงภายในที่อนุภาคแขวนลอยเกิดพอลิมอร์ฟิค (Polymorphic) หรือการเปลี่ยนแปลงเฟสทางเคมี [74] ในบางกรณีกลไกอาจเกิด ทั้งสองกรณีขึ้นกับสภาวะการสังเคราะห์ [75-76] กระบวนการสังเคราะห์ไฮโดรเทอร์มอลของผงอนุภาคเซรามิกมีข้อได้เปรียบ 2 ประการคือ สามารถกำจัดหรือลดให้น้อยลงของขั้นตอนการเผาแคลไซต์ ที่อุณหภูมิสูงและการใช้สารตั้งต้นราคาไม่แพงโดยเฉพาะออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ ผงอนุภาคอิเล็กตรอนของเซรามิกของแบเรียมไททานเนต ( $\text{BaTiO}_3$ ) เลดเซอร์โคเนตไททานเนต (PZT) เลดแลนทานัมเซอร์โคเนตไททานเนต (PLZT) บิสมัทโซเดียมไททานเนต (BNT) บิสมัทแลนทานัมโซเดียมไททานเนต (BLNT) ซิงค์ออกไซด์ ( $\text{ZnO}$ ) และทินไดออกไซด์ ( $\text{SnO}_2$ ) และทินไดออกไซด์ ( $\text{SnO}_3$ )

### 2.7.1 ข้อได้เปรียบของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [77]

- กระบวนการนี้ใช้สารตั้งต้นที่มีราคาไม่แพง ได้แก่ ออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ คลอไรด์ แอซีเตต และไนเตรต หรืออาจจะแอลกอฮอล์ ในบางกรณี
- สารตั้งต้นที่ระเหยที่อุณหภูมิก่อนการเกิดปฏิกิริยา สามารถควบคุมแน่นระหว่างกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เพื่อรักษาปริมาณสัมพันธ (Stoichiometry) ของปฏิกิริยาเกิดเป็นผงเฟอร์โรอิเล็กทริกหลายองค์ประกอบ ที่มีความบริสุทธิ์สูงได้
- กระบวนการนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส ในกรณีที่เทพลอนเป็นภาชนะบรรจุสารภายในจะใช้อุณหภูมิไม่เกิน 250 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของเทพลอน การใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้ภายใต้ความดันจะพอเพียงที่สลายตัวสารตั้งต้นที่เสถียรและป้องกันการรวมตัวกันของสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมักเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง ในปฏิกิริยาโซลิดสเตต (Solid-state)
- กระบวนการนี้สามารถผลิตอนุภาคสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ที่ควบคุมการกระจายของขนาดสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อน เช่น การสังเคราะห์ผงเซรามิกเพอโรสไปต์ ( $\text{ABO}_3$ ) ที่เจือด้วยโลหะหลายชนิด ได้ขนาดไมโครเมตร หรือนาโนเมตร โดยควบคุมกระบวนการเกิดนิวเคลียส และการเติบโต
- ผงเซรามิกที่ผลิตด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลไม่ต้องผ่านขั้นตอนพรีเซนเตอริงหรือการเผาแคลไซต์ กระบวนการนี้มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ผงเลดเซอร์โคเนตไททานเนต ที่มีความบริสุทธิ์สูงและองค์ประกอบที่แน่นอน
- การสังเคราะห์กระทำภายในระบบปิดซึ่งสารเคมี สามารถนำกลับมาใช้ได้ จึงเป็นกระบวนการที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม
- กระบวนการนี้สามารถขยายกำลังผลิตสู่ระบบอุตสาหกรรม ในราคาที่ต้นทุนต่ำ ผงเซรามิกมีคุณภาพและความบริสุทธิ์สูงเหมือนเดิม

### 2.7.2 ข้อดีของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

- เครื่องมือราคาค่อนข้างแพง
- มีข้อควรระวังเกี่ยวกับกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความดันสูง
- การสึกกร่อนของเครื่องมือที่เกิดจากกรดหรือเบสที่เป็นมิเนอรัลไลเซอร์



รูปที่ 2.24 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [78-81]



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโน และขั้นตอนการนำเส้นใยนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปใช้ผสมในพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) เกรดเส้นใยและเปรียบเทียบกับเส้นใยนาโนที่มีขายในท้องตลาด

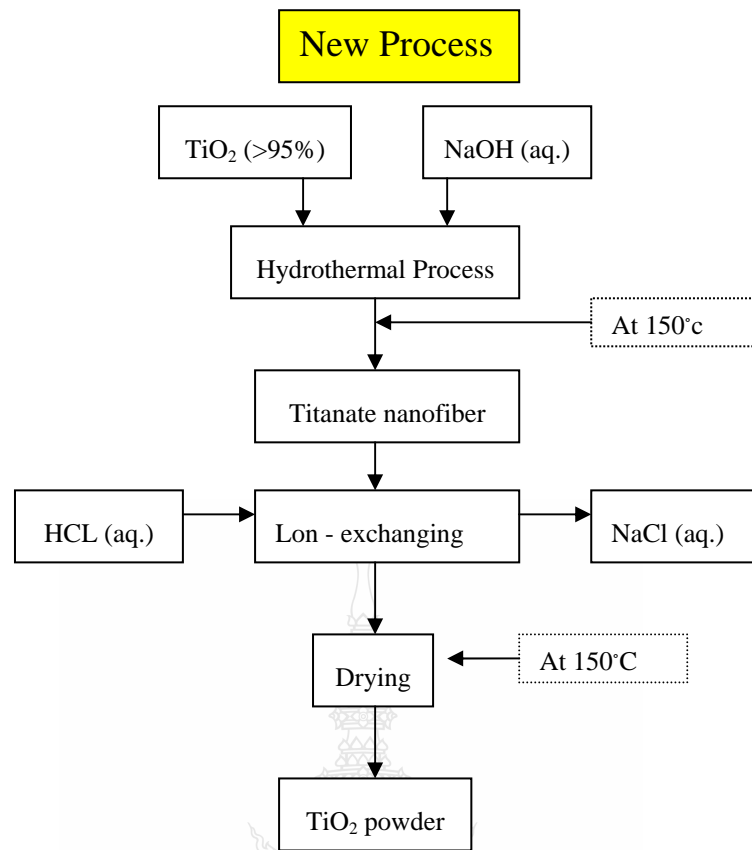
#### 3.1 การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์

จากการที่ Yoshikazu Suzuki และคณะได้ศึกษาเรื่อง Direct Synthesis Of An Anatase-TiO<sub>2</sub> Nanofiber/Nanoparticle Powder กล่าวว่าปัจจุบันการสังเคราะห์เส้นใยนาโนมีหลายวิธีมากในความเป็นจริงแล้ว ในอุตสาหกรรมการผลิตไทเทเนียมไดออกไซด์ ในปัจจุบันนี้มีเพียงแค่ 2 วิธีเท่านั้นที่ถูกต้องที่สุดในโลก คือ กระบวนการซัลเฟต (Sulfate Process) และกระบวนการคลอไรด์ (Chloride Process) แต่ทั้ง 2 วิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้นทุนจากเครื่องมือวัตถุดิบมีราคาสูง วิธีการเตรียมหรือสังเคราะห์มีความยุ่งยากและหลายขั้นตอน แล้วยังเกิดมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม

และจากการพัฒนาการสังเคราะห์นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) ของ Sorapang Pavasupree และคณะ ได้คิดกระบวนการขึ้นมาใหม่จากกระบวนการเดิม คือ กระบวนการซัลเฟต (Sulfate Process) และกระบวนการคลอไรด์ (Chloride Process) โดยเป็นการสังเคราะห์เส้นใยนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) โดย

วิธี ไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ที่แสดงดังรูปที่ 3.1 วิธีการดังกล่าวจะมีข้อเด่นที่แตกต่างจากวิธีต่างๆ ก็คือ

- ต้นทุน เครื่องมือ วัสดุและสารเคมี มีราคาถูก หาซื้อได้ง่ายในประเทศ
- วิธีการสังเคราะห์ง่าย และสะดวก ไม่ยุ่งยาก
- ใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ต่ำมาก (ประมาณ 100-150 องศาเซลเซียส) เมื่อเทียบกับการสังเคราะห์ แบบอื่น
- ไม่เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม
- มีโอกาสที่จะขยายขนาดการผลิตเป็นหลักกิโลกรัมได้



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์การแบบไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ที่ใช้วัสดุราคาถูก และเป็นวิธีที่ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม [31]

แต่เนื่องจากในการสังเคราะห์ในปัจจุบันนี้ สามารถทำการสังเคราะห์ได้ในขนาดห้องทดลอง เท่านั้นทำให้ในการสังเคราะห์แต่ละครั้งนั้นได้ปริมาณเส้นใยนาโนประมาณ 0.2-0.5 กรัมต่อครั้ง โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีลักษณะและขนาดดังรูปที่ 3.2 และมีกระบวนการสังเคราะห์ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 (a) และ (b) ลักษณะของถังปฏิกรณ์ (Autoclave) ซึ่งปริมาตรขนาด 80 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.3 กระบวนการสังเคราะห์ขนาดห้องปฏิบัติการ

จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์โดยทำการทดลองขยายขนาดการสังเคราะห์ประมาณ 20-30 เท่า ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร ดังรูปที่ 3.4 มาทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน



รูปที่ 3.4 เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร

จากรูปที่ 3.4 เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญคือ

### 3.1.1 ฐานเครื่อง

มีขนาดกว้าง 290 มม. ยาว 600 มม. สูง 300 มม. ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ติดตั้งกระบอกลให้ความร้อนที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมหนา 1 มม. ม้วนให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 250 มม. สูง 350 มม. และหุ้มด้วยฮีทเตอร์ขนาด 2,500 วัตต์ 220 โวลต์ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ฐานเครื่องสังเคราะห์

ด้านล่างติดตั้งตัวกวนด้วยสนามแม่เหล็กสามารถปรับความเร็วรอบในการกวนสารได้ 0-100 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 การติดตั้งตัวกวนด้วยสนามแม่เหล็ก



เป็นแม่เหล็กตัวกวนด้วย  
สนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.7 ลักษณะตัวกวนด้วยสนามแม่เหล็ก

### 3.1.2 ถังสังเคราะห์

ทำมาจากเทปลอน (PTFE) มีปริมาตร 4 ลิตร หุ้มด้วยเหล็กไร้สนิมและมีฝาปิด ดังรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 ถังสังเคราะห์ปริมาตร 4 ลิตร ถังสังเคราะห์ทำมาจากเทปลอน หุ้มด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม



รูปที่ 3.9 ฝาปิด



### 3.1.3 ระบบควบคุม

ประกอบด้วย อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์ควบคุมชุดกวน ไฟแสดงสถานะการทำงานของเครื่อง ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องสังเคราะห์

## 3.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองได้ดำเนินการวิจัย โดยมีขั้นตอนที่ดำเนินการแบ่งออกเป็น 3 ระยะการทดลอง คือ

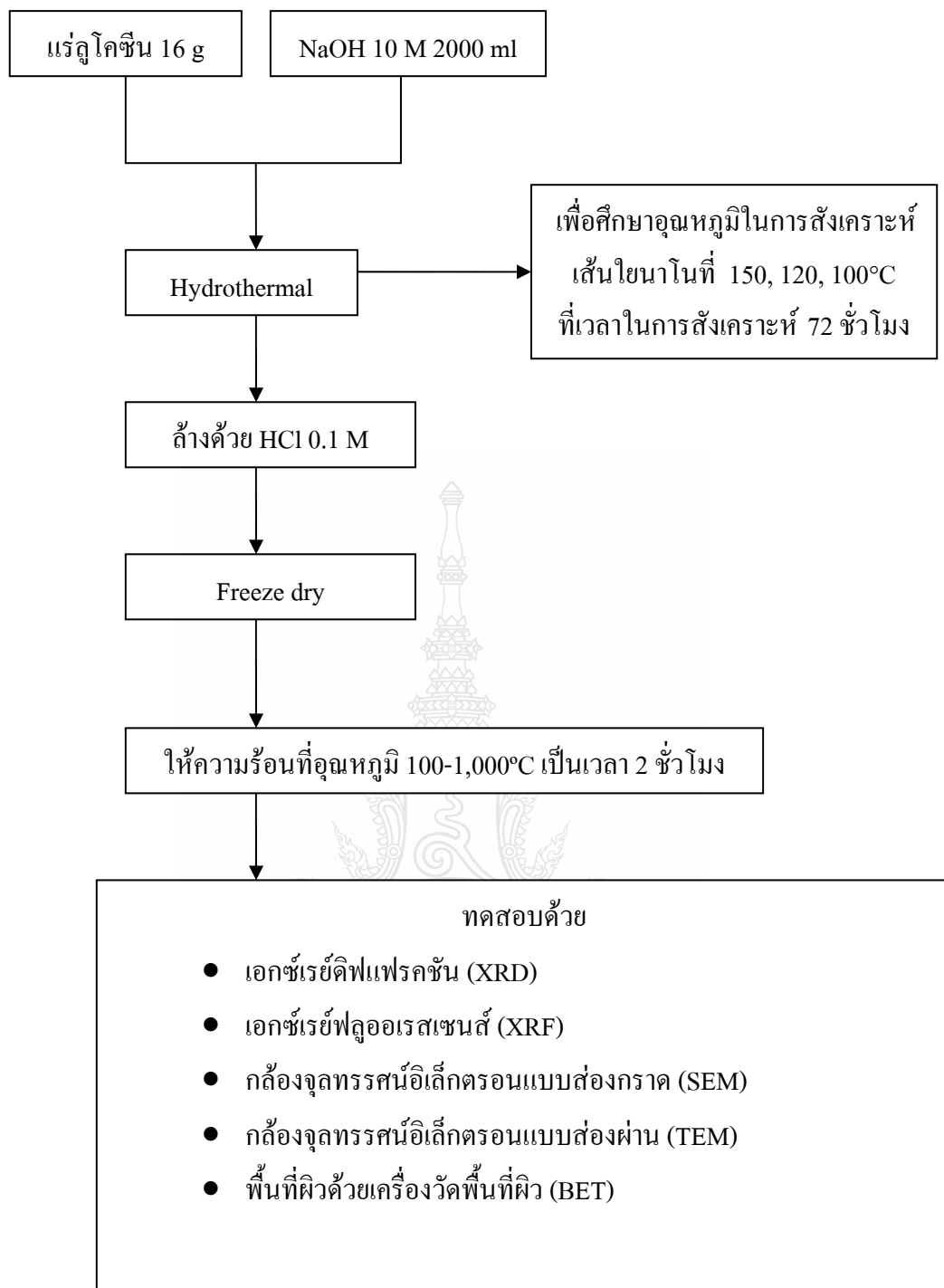
3.2.1 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยนาโน ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ และที่นำไปให้ความร้อนในอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.11

3.2.3 การนำเส้นใยนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปใช้ผสมในพลาสติก

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลอง

ครั้งที่	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)
1	72	150
2	72	120
3	72	100



รูปที่ 3.11 วิธีการทดลอง

### 3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในสังเคราะห์

#### 3.3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

- ก. แร่ลูโคซีน (Leucosene)
- ข. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- ค. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

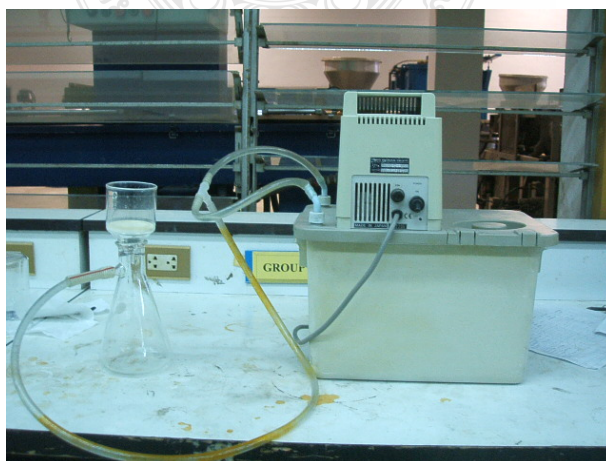
#### 3.3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์

- ก. เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร

- ข. ชุดกรองแบบสุญญากาศ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ชุดกรองแบบสุญญากาศ

ค. เครื่องทำให้แห้งแบบเยือกแข็งยี่ห้อ Flexi-Dry ดังรูปที่ 3.14



เครื่อง Freeze Dry



เครื่องทำเยือกแข็ง

รูปที่ 3.14 เครื่องทำให้แห้งเยือกแข็ง

ง. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

จ. เตาเผาซีร็อก CARBOLITE ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 เครื่องเผา

ฉ. เครื่องกวนสาร รุ่น Hotplate Stirrer HTS-1003 ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 เครื่องกวน

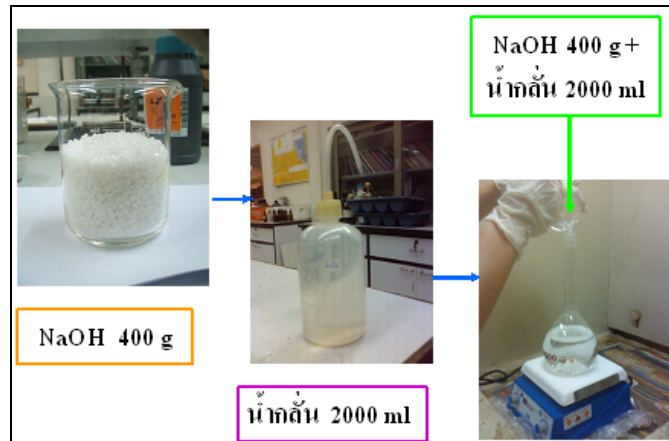
- ซ. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
- ช. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM)
- ฅ. เครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD)
- ญ. เครื่องตรวจสอบการวาวของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy, XRF)
- ฎ. เครื่องวัดพื้นผิวจำเพาะ

### 3.4 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์

#### 3.4.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ดังรูปที่ 3.18

ก. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม

ข. เติมน้ำกลั่นปริมาณ 2,000 มิลลิลิตร

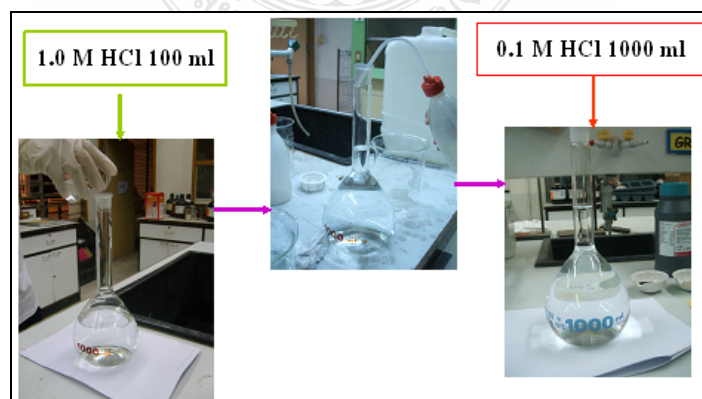


รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์

#### 3.4.2 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ดังรูปที่ 3.19

ก. นำกรดไฮโดรคลอริกมา 83.54 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1.0 โมลาร์

ข. นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1.0 โมลาร์ มา 100 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์



รูปที่ 3.19 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์

### 3.5 ขั้นตอนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร

3.5.1 ใส่แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนสารลงไปในถังสังเคราะห์ (Autoclave) ของเครื่องสังเคราะห์ที่ทำมาจากเทปลอนจากนั้นค่อยๆ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ลงไปในถังสังเคราะห์ของเครื่องสังเคราะห์ด้วยปริมาตร 2 ลิตร และใส่แร่ลูโคซีนลงไปในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 16 กรัม แล้วจึงปิดฝาถังของเครื่องสังเคราะห์ให้แน่น ดังแสดงขั้นตอนดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ขั้นตอนการเตรียมสารใส่ใน Autoclave

3.5.2 นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องสังเคราะห์

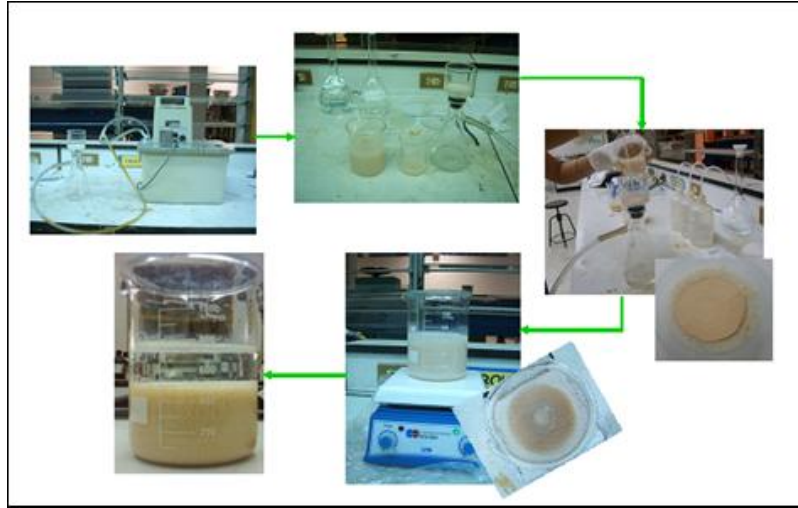
3.5.3 เปิดเครื่องและตั้งอุณหภูมิในการสังเคราะห์ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

3.5.4 ทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีการไฮดรותרมอล เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ต่อเนื่องกัน

3.5.5 เมื่อครบ 72 ชั่วโมง แล้วเปิดเครื่องสังเคราะห์และปล่อยให้เย็นตัวด้วยบรรยากาศ

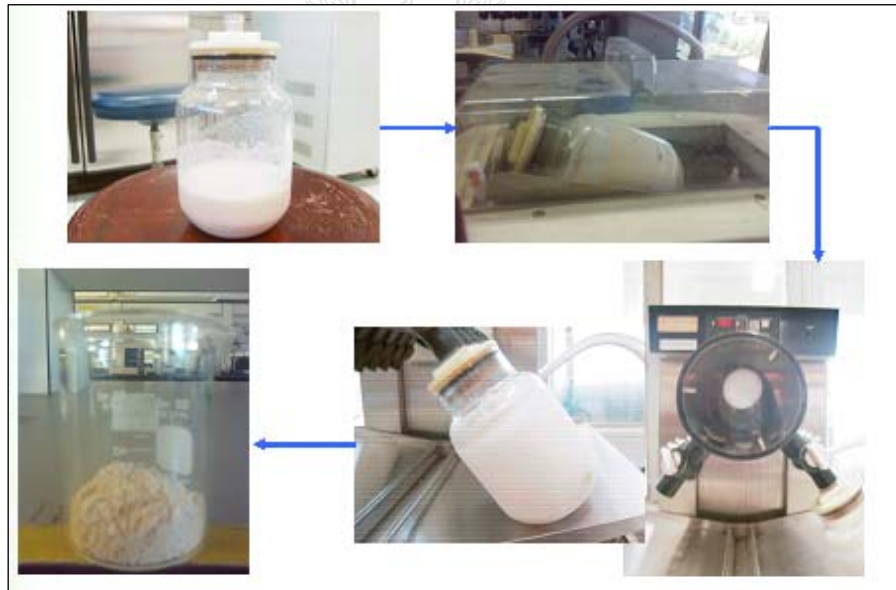
3.5.6 เมื่อเย็นตัวแล้ว จึงเปิดฝาถังเครื่องสังเคราะห์ซึ่งจะพบว่าแร่ลูโคซีนที่ใส่ลงไปนั้นกลายเป็นสารซึ่งจะสังเกตเห็นเป็นสีขาวเหลือง

3.5.7 ทำการล้างสารที่ได้ โดยวิธีการกรองแบบสุญญากาศ กรองและปรับสภาพความเป็นกลาง (pH) ด้วยกรดอ่อนความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การกรองแบบสุญญากาศ

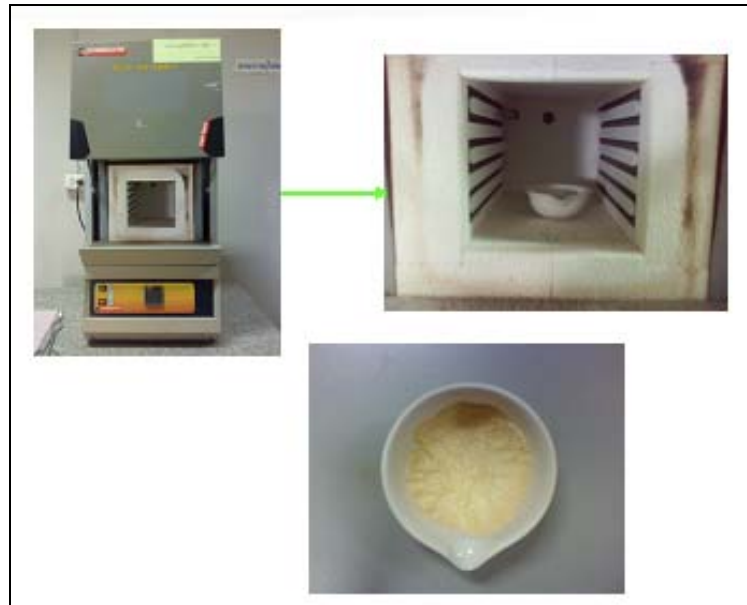
3.5.8 เมื่อล้างและปรับ ภาพความเป็นกลาง (pH) เรียบร้อยแล้วจึงนำสารที่ได้จากการเตรียมไปทำการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dry) ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การนำไปทำการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dry)



3.5.9 นำสารที่ได้ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 700 และ 1,000 องศาเซลเซียส อย่างละ 1 กรัม ไปให้ความร้อนในเตาเผา ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การนำสารที่ได้ไปให้ความร้อนในเตาเผา

3.5.10 จากนั้นจึงไปวิเคราะห์ และตรวจสอบ เพื่อศึกษาองค์ประกอบของรูปร่าง ขนาดพื้นที่ผิว เฉพาะและโครงสร้างผลึกของเส้นใยนาโนด้วยวิธี

- ก. วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction Spectroscopy, XRD)
- ข. วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวาวของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy, XRF)
- ค. การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)
- ง. การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy), TEM
- จ. การวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเครื่อง BET

### 3.6 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเส้นใยนาโน

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีและทางกายภาพของเส้นใยนาโน โดยเส้นใยนาโนที่ศึกษา คือ เส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งใช้เวลาในการสังเคราะห์ที่เท่ากัน และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่กำหนด เพื่อศึกษาสมบัติของเส้นใยนาโน ดังนี้

#### 3.6.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของของเส้นใยนาโนด้วยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD)

เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) เป็นเครื่องมือที่วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเส้นใยนาโน โดยนำตัวอย่างที่ไม่เผาและที่เผาอุณหภูมิ 400, 700 และ 1,000 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ดังนี้

- ก. บดตัวอย่างที่เตรียมไว้ให้ละเอียดแล้วใส่ลงในเบ้าแก้วโดยเกลี่ยให้เต็มแล้วกดให้แน่น
- ข. นำตัวอย่างเข้าเครื่องXRD ดังรูปที่ 3.24 เพื่อวิเคราะห์ฟลักที่เกิดขึ้น โดยเทียบกับตารางค่ามาตรฐาน โดยทำที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ



รูปที่ 3.24 เครื่อง XRD

### 3.6.2 เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-Ray Fluorescence Spectrometry, XRF)

เทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-Ray Fluorescence Spectrometry) หรือ เทคนิค XRF เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการให้ความร้อนมาวิเคราะห์ดังนี้

- ก. บดตัวอย่างที่เตรียมไว้ให้ละเอียดแล้วใส่ลงในบีกเกอร์โดยเกลี่ยให้เต็มแล้วกดให้แน่น
- ข. นำตัวอย่างเข้าเครื่อง XRF ดังรูปที่ 3.25 เพื่อวิเคราะห์การหาชนิดและปริมาณของธาตุโดยทำที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ



รูปที่ 3.25 เครื่อง XRF

### 3.6.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยนาโนที่ยังไม่ผ่านการให้ความร้อน และเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 700 และ 1,000 องศาเซลเซียสโดยทำการทดลองดังนี้

- ก. นำตัวอย่างมาวางบนสตัป (Stub) ด้วยเทปสองหน้าหรือกาว
- ข. นำตัวอย่างไปฉาบผิวด้วยทอง โดยเครื่องฉาบทอง (Ion Sputter)
- ค. นำตัวอย่างไปส่องดูโครงสร้างทางกายภาพด้วยเครื่อง SEM ดังรูปที่ 3.26 โดยทำการทดสอบที่สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย คลองห้า



รูปที่ 3.26 เครื่อง SEM

### 3.6.4 การเตรียมสารสำหรับการวิเคราะห์การกระจายพลังงานของรังสีเอ็กซ์ (DES)

การวิเคราะห์การกระจายพลังงานของรังสีเอ็กซ์ (DES) ใช้ในการศึกษาตัวอย่าง เพื่อศึกษาหาปริมาณธาตุขององค์ประกอบของแร่ลิวโคซีน เส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ โดยทำการทดลองดังนี้

- ก. นำตัวอย่างมาวางบน Stub ด้วยเทปสองหน้าหรือกาว
- ข. นำตัวอย่างไปฉาบผิวด้วยทอง โดยเครื่อง Ion Sputter
- ค. นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS ทำการทดสอบเครื่อง SEM โดยทำการทดสอบที่สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย คลองห้า

### 3.6.5 การเตรียมตัวอย่างสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาตัวอย่างผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างของเส้นใยนาโนว่าจะมีลักษณะที่เป็นท่อหรือว่าเป็นเส้นตรงโดยจะนำเส้นใยนาโนที่ไม่เผา และเส้นใยนาโนที่เผาที่อุณหภูมิ 400, 700 และ 1,000 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลอง ดังนี้

- ก. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ในหลอดทดลอง โดยใส่สารละลายเอทานอล
- ข. ทำให้ตัวอย่างแตกตัว โดยใส่ในเครื่องอัลตราโซนิกส์ นาน 30 นาที
- ค. หยดสารละลายที่เตรียมไว้ลงบนกริดทองแดง
- ง. ทำให้กริดแห้ง โดยใช้คอมไฟส่องให้ความร้อน
- จ. นำกริดที่เตรียมได้ดังรูปที่ 3.27 ไปวิเคราะห์ด้วย เครื่อง TEM ดังรูปที่ 3.28 โดยทำการทดสอบที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ



รูปที่ 3.27 การเตรียมกริด



รูปที่ 3.28 เครื่อง TEM

### 3.6.6 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิว (BET)

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของเส้นใยนาโนโดยอาศัยการวัดปริมาตรแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของเส้นใยนาโนที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนอุณหภูมิ 400 และ 700 องศาเซลเซียส แล้วนำมาวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของเส้นใยนาโนด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิว (BET) ดังรูปที่ 3.29 โดยทำการทดสอบที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ



รูปที่ 3.29 เครื่อง BET

### 3.7 การนำเส้นใยนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปใช้ผสมในพลาสติก

#### 3.7.1 วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองคือ

ก. ไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคไมโครเมตร จากบริษัทแอลดริช (Aldrich) Titanium (II) oxide, -325 mesh 99.9%

ข. ไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโนเมตร จากบริษัทนิปปอน เอโรซอล (Nippon Aerosol) เกรด AP 25 (Degussa P-25 A mixture of Crystalline Anatase 80% And Rutile 20% phase)

ค. ไททาเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโนเมตร ที่ได้จากการสังเคราะห์แร่ลูโคซีน

ง. โพลีโพรพิลีนเกรดเส้นใย จากบริษัทเอชเอ็มซี โพลีเมอร์ (HMC Polymer Co.,Ltd) เกรด HP561R Polypropylene Homopolymer Resin For Spunbond Fiber

#### 3.7.2 เครื่องมือที่ใช้ในการผสมวัสดุ

ก. เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer)

ข. เครื่องบดพลาสติก

#### 3.7.3 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นเส้นใยโพลีโพรพิลีน

ก. เครื่องอัดรีดเส้นใยขนาดเล็ก (Small Scale Fiber Extrusion)

ข. เครื่องม้วนเก็บเส้นใย

#### 3.7.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเส้นใยโพลีโพรพิลีน

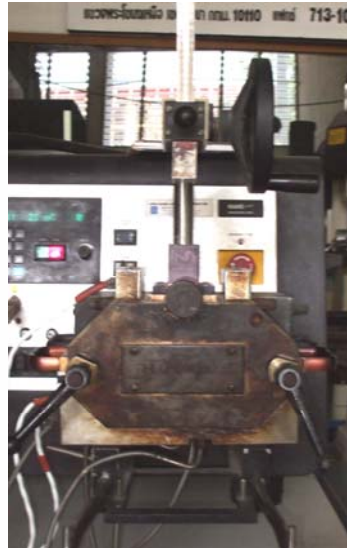
ก. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Tester)

ข. เครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสาร (Thermo Gravimetric Analysis: TGA)

ค. เครื่องวัดความแตกต่างของพลังงาน (Differential Scanning Calorimeter: DSC)

### 3.7.5 วิธีการเตรียมเส้นใยโพลีโพรพิลีน

การเตรียมเส้นใยโพลีโพรพิลีนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำได้โดยเริ่มจากการใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) ดังรูปที่ 3.30 ผสมพลาสติกโพลีโพรพิลีนกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 0.1%, 0.5% และ 1.0% โดยสภาวะที่ใช้ในการผสมคืออุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วใบกวน 40 รอบ/นาที เวลาที่ใช้ในการผสม 8 นาที



รูปที่ 3.30 เครื่องผสมแบบปิด (Haake Rheodrive Mixer)

จากนั้นนำโพลีโพรพิลีน ที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เย็นตัวแล้วไปบดให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องบดพลาสติก ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 เครื่องบดพลาสติก



รูปที่ 3.32 ลักษณะพลาสติกที่บดด้วยเครื่องบดพลาสติก

และนำเม็ดที่ได้ดังรูปที่ 3.32 ไปขึ้นรูปให้เป็นเส้นใย ม้วนเก็บด้วยเครื่องอัดรีดเส้นใยขนาดเล็ก (Small Scale Fiber Extrusion) ดังรูปที่ 3.33 โดยสภาวะที่ใช้ในการดึงเส้นใย และม้วนเก็บคืออุณหภูมิ 200 °C Piston Speed 1.03-1.2 mm/min Take up Speed 55 rpm Diameter Die 1 mm



รูปที่ 3.33 เครื่องอัดรีดเส้นใยขนาดเล็ก (Small Scale Fiber Extrusion)





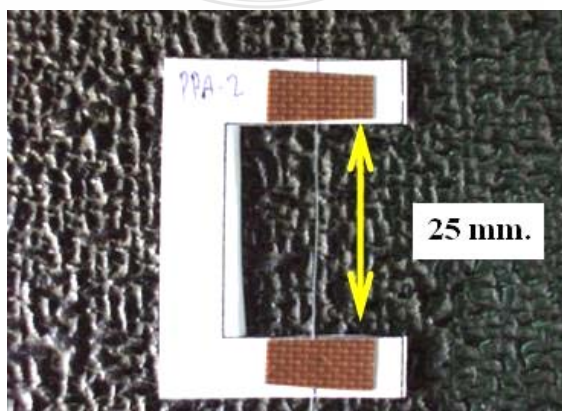
รูปที่ 3.34 ลักษณะเส้นใยที่ได้จากการขึ้นรูป

### 3.8 การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติของเส้นใยโพลีโพรพิลีนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์

หลังจากได้เส้นใยดังรูปที่ 3.34 แล้ว นำเส้นใยไปเตรียมการทดสอบตามวิธีการทดสอบต่างๆ คือ ทดสอบแรงดึง (Tensile Tester) ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสารด้วย เครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสาร (Thermo Gravimetric Analysis : TGA) และนำเม็ดโพลีโพรพิลีนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้อีกส่วนหนึ่งไปขึ้นรูปเพื่อเตรียมการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลบางประการของวัสดุที่ได้ตามวิธีการทดสอบต่างๆ คือ การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก การทดสอบความแข็งผิวโดยวิธี ร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness) ทดสอบค่าดัชนีการไหล (MFI)

#### 3.8.1 การเตรียมเส้นใยตัวอย่างเพื่อทดสอบแรงดึงของเส้นใย (Tensile Tester) เครื่องทดสอบแรงดึงของเส้นใย (Tensile Tester)

ก. เตรียมเส้นใยยาว 2.5 เซนติเมตร ด้วยการจิ้งเส้นใยบนกระดาษที่ตัดเป็นรูปตัว C ขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.35 โดยเตรียมแบบทังละ 10 ตัวอย่าง



รูปที่ 3.35 กระดาษรูปตัว C ขนาด 2.5 เซนติเมตร

ข. นำเส้นใยที่เตรียมไว้ทดสอบด้วยเครื่อง Tensile Tester ดังรูปที่ 3.36 โดยนำตัวอย่าง หนีบที่หัวจับยึด และกดเซตค่าแรงดึงที่เครื่องให้เป็นศูนย์ และกด “เริ่ม” เพื่อเริ่มการทดสอบการ ทดสอบเสร็จสิ้นเมื่อเส้นใยตัวอย่างขาดออกจากกัน

สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

- อุณหภูมิ	23°C
- Tensile Speed	50 mm./min.
- Load Cell	10 N.
- Gage Length	25 mm.



รูปที่ 3.36 เครื่อง Tensile Tester

### 3.8.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเส้นใย

หาอุณหภูมิการหลอมตัว (Melting Temperature;  $T_m$ ) ของเส้นใยโดยใช้เครื่อง DSC มี ขั้นตอน การวิเคราะห์ดังนี้

ก. เตรียมตัวอย่าง โดยการตัดเส้นใยเป็นชิ้นเล็กๆ ให้ได้น้ำหนักประมาณ 3-5 กรัม

ข. นำมาทดสอบโดยเครื่อง DSC ดังรูปที่ 3.37 โดยให้ความร้อนในอัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที จากอุณหภูมิ 40-250 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.37 เครื่องตรวจวัดความแตกต่างของพลังงาน Perkins-Elmer DSC TAC 7

### 3.8.3 หาอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใย โดยใช้เครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสาร (TGA)

- ก. เตรียมตัวอย่าง โดยการตัดเส้นใย เป็นชิ้นเล็กๆ ให้ได้น้ำหนักประมาณ 3-5 กรัม
- ข. นำมาทดสอบ ด้วยเครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสาร(TGA) ดังรูปที่ 3.38 โดยให้ความร้อนในอัตรา 20 องศาเซลเซียส/นาที จากอุณหภูมิ 50-600 องศาเซลเซียส

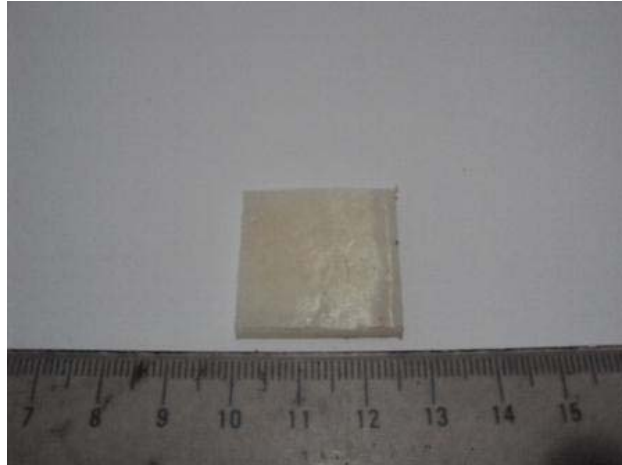


รูปที่ 3.38 เครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสาร Perkins-Elmer TGA 7

## 3.9 การทดสอบสมบัติเชิงกลบางประการของวัสดุโพลีโพรพิลีนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์

### 3.9.1 การทดสอบความแข็งแรงโดยใช้วิธีแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardnes)

- ก. เตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยกระบวนการอัด (Compression Moulding) ให้มีผิวเรียบ ทั้งพื้นผิว และมีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มม. จากนั้นเกลี่ยให้ได้ชิ้นงานขนาด 25x25 มม. ดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 ชิ้นงานทดสอบความแข็ง แบบร็อกเวลล์

ข. ทำการทดสอบความแข็ง ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงแบบร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test) รุ่น DXT-1 ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 เครื่องทดสอบความแข็ง แบบร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test) รุ่น DXT-1

ค. กดปุ่มเลือกขนาดของหัวกด และน้ำหนักกดทับหลัก (Major Load)

ง. ข้อจำกัดในการเลือกช่วงสเกลคือ ถ้าสเกลที่อ่านได้มีค่ามากกว่า 115 หมายความว่า ชิ้นงานนั้นมีพื้นผิวแข็งเกินไปที่จะอ่านค่าได้ ซึ่งความผิดพลาดสำหรับค่าที่เกินช่วงนี้จะมีอยู่สูง เพราะฉะนั้นควรเลือกหัวกดให้มีขนาดเล็กลง หรือเลือกน้ำหนักกดทับหลัก (MINOR LOAD) ให้มีค่ามากขึ้น

จ. กำหนดค่า LDT เป็นเวลา 15 นาที และกดปุ่ม PLT ซึ่งเครื่องจะกำหนดโดยอัตโนมัติ เป็น 15 วินาที สำหรับพลาสติก

จ. กดปุ่ม LOAD ซ้ำอีกครั้งเพื่อให้หน้าปัดแสดงค่าสเกลช่วงที่อ่านแบบ HRF หรือ HRC พร้อมทั้ง SET ศูนย์ไปโดยอัตโนมัติ

ข. จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบมาวางบนแท่นรอง (ANVIL)

ค. หมุนก้านส่งน้ำหนัก โดยสังเกตจากไฟสีแดงจะขึ้นจากตำแหน่งต่ำสุดจนถึงตำแหน่ง SET แล้วจึงหยุดหมุน

ง. ไฟตำแหน่ง SET\_จะเลื่อนไปที่ตำแหน่ง START แล้วเครื่องจะทำการอ่านค่าความแข็งโดยขณะที่ไฟ START ติดอยู่เครื่องทดสอบก็จะวางน้ำหนักกรอจนไฟที่ตำแหน่ง START กับ จึงอ่านค่าที่ได้บนหน้าปัดและรอเวลาในการให้น้ำหนักตามที่ได้อ่านค่าไว้

### 3.9.2 ทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index ,MFI) ตามมาตรฐาน D 1238



รูปที่ 3.41 เครื่องทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index ,MFI)

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบค่าดัชนีการไหลดังรูปที่ 3.41

วิธีทดลอง

ก. เลือกเงื่อนไขให้เหมาะสมกับการทดลอง ในการทดลองนี้จะใช้ อุณหภูมิ 230°C น้ำหนักโหลด (Weight) 2.16 กิโลกรัม

ข. ตั้งอุณหภูมิและรออย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้อุณหภูมิตั้งที่จากนั้นชั่งสารประมาณ 8 กรัม

ค. ใส่ตัวอย่างลงในเครื่อง (Cylinder) ภายในเวลา 1 นาที โดยจะค่อยๆ ใส่ลงไปให้เม็ดพลาสติกไหลเรียงลงไปที่ตะแกรง อาจจะใช้แท่งเหล็กช่วยกดพลาสติกลงไป เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการหลอมละลายและเกิดการอุดตัน

ง. นำแท่งกด (Piston) มาวางบน Cylinder

จ. วางน้ำหนักบน แท่งกด(Piston) ประคองแท่งกด(Piston)ไม่ให้ลื่นพร้อมกับเริ่มจับเวลา หลังจากนาฬิกาที่ 6-8 แล้ว รอยขีดด้านล่างของแท่งกด(Piston) Piston ควรอยู่ภายใน Cylinder ถ้าไม่อยู่ต้องทำใหม่

ข. เริ่มเก็บตัวอย่าง เริ่มจับเวลาในการไหลออกมาของ ซีนทดสอบ แต่ละอันซึ่งอาจจะ เป็น 30 วินาที หรือ 1 นาที แต่ในการทดลองนี้จะเก็บตัวอย่างทุกๆ 5 วินาที

ค. ทิ้งไว้ให้ตัวอย่าง เย็น ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาค่าดัชนีการไหล

### 3.9.3 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256

การเตรียมซินทดสอบขนาดความกว้าง 12.7 มม. ยาว 63.5 มม. และหนา 3.17. ดังรูปที่ 3.42 จากนั้นนำไปทำการบากซินทดสอบตามมาตรฐาน ด้วยเครื่องบากซินงานดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.42 ซีนทดสอบการทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256



รูปที่ 3.43 เครื่องบากซินงาน

โดยมีขั้นตอนในการเตรียมคือ

ก. วางชิ้นงานในแนวนอน บนที่ใส่ชิ้นงานแล้วจับชิ้นงานด้วยตัวยึดและให้ชิ้นงานสัมผัสกับใบมีด

ข. เปิดเครื่อง ใบมีดจะเลื่อนขึ้นลงด้วยความเร็ว 0.3-0.7 ม./วินาที

ค. หมุนแท่นที่วางชิ้นงาน เพื่อให้ชิ้นงานเคลื่อนไปข้างหน้าใบมีดจะบากชิ้นงานตามที่ต้องการ (2.54 มม.)

หลังจากทำการบากชิ้นทดสอบตามมาตรฐานแล้วต้องพักชิ้นทดสอบไว้ 1 วัน จากนั้นจึงทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทกดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

โดยขั้นตอนการทดสอบคือ

ก. ทำการวัดความกว้างและหนาของแต่ละชิ้นทดสอบ

ข. เลือกชนิดค้อนที่พลังงานต่ำสุด (2 จูล) และทำการจับยึดกับเครื่อง

ค. ยกค้อนให้แขนอยู่ในตำแหน่งขึ้น

ง. วางชิ้นทดสอบที่มีความลึกของรอยบากตามมาตรฐาน โดยให้ตรงมุมแหลมของรอยอยู่ตรงตำแหน่งของตัวจับชิ้นงาน

จ. กดปุ่มที่อยู่ข้างเครื่องพร้อมๆ กัน

ฉ. ถ้าตัวอย่างไม่เกิดการแตกหัก ให้เปลี่ยนค้อนที่มีค่าพลังงานสูงขึ้น จนกว่าจะทำให้ตัวอย่างแตกหัก

ช. ถ้าเกิดการแตกหัก อ่านค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตก

ซ. นำค่าพลังงาน (J) มาคำนวณ ตามมาตรฐาน ASTM D 256

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

หลักการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน สามารถทำการสังเคราะห์ได้ในขนาดห้องทดลองเท่านั้นทำให้ในการสังเคราะห์แต่ละครั้งนั้นได้ปริมาณเส้นใยนาโนประมาณ 0.2-0.5 กรัมต่อครั้ง โดยทำการทดลองขยายขนาดการสังเคราะห์ประมาณ 20-30 เท่า ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร มาทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน

#### 4.1 สภาพที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร

4.1.1 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนของไทยด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (ครั้งที่ 1)

พบว่าแร่ที่ใส่ลงไปนั้นกลายเป็นสารสีขาวขุ่นออกเหลืองดังรูป ที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะของสารที่ได้จากการสังเคราะห์

จากนั้นตัดสารใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นเจือจางอยู่ โดยพบว่าแร่ลูโคซีนทำปฏิกิริยาได้หมดเกิดปฏิกิริยาอยู่ที่ก้นของถังปฏิกรณ์ (Autoclave) ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาเส้นใยมีสีครีมและเส้นใยจะตกตะกอนไม่ฟู ดังรูปที่ 4.2





รูปที่ 4.2 ลักษณะของสารเมื่อตัดออกมา

ซึ่งแตกต่างจากการเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่ลูโทลที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส [17-19] ที่มีลักษณะที่ฟูคาดว่าเกิดจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมที่สูงและปริมาณแร่ลูโทลที่มากเกินไป

จากนั้นขั้นตอนต่อไปให้ทำการกรองเอาสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกก่อน แล้วนำสารที่ได้ใส่ในน้ำกลั่นกวน 1 ชั่วโมงจากนั้นทำการกรองทำซ้ำ 5 ครั้ง โดยใช้กระดาษลิตมัสตรวจสอบความเป็นกลางของสาร หลังจากนั้นนำสารเป็นกลางแล้ว ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่ออบจนแห้งแล้วก็จะได้เป็นลักษณะเป็นผงจับเป็นก้อนเล็กๆ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ลักษณะของวัสดุที่ผ่านการอบไล่ความชื้นเรียบร้อยแล้ว

#### 4.1.2 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโทลของไทยโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (ครั้งที่ 2)

โดยพบว่าแร่ลูโทลทำปฏิกิริยาได้มากขึ้นซึ่งยังคงมีปริมาณของแร่ลูโทลที่ไม่เกิดปฏิกิริยาอยู่ที่ก้น ถังปฏิกรณ์ (Autoclave) จะเหลือบางส่วนที่น้อยมากที่ละลายไม่หมด เส้นใยจะแขวนลอยกระจายอยู่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เส้นใยมีสีครีมเข้มไม่มาก และเส้นใยจะฟูมากกว่าการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

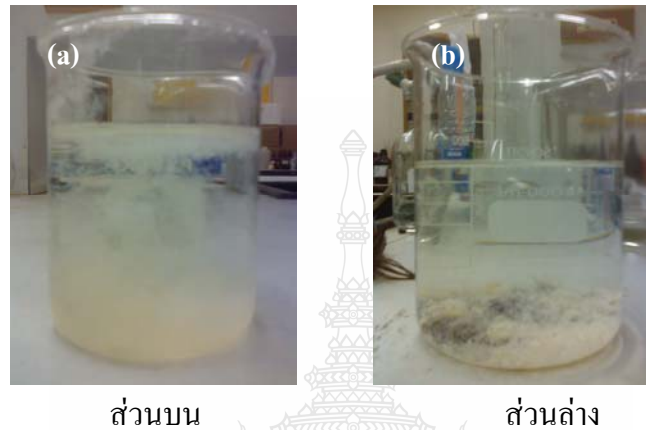
ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับเส้นใยที่ได้จากการเตรียมจากแร่ลูโทลที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส [17-19] ขั้นตอนต่อไปให้ทำการกรองเอาสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกก่อนโดยนำเส้นใยนาโนที่ได้นำไปใส่ใน กรดความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วทำการกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองเอาสารละลายออกทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วนำผงนาโนที่ได้ใส่ในน้ำกลั่นกวน 1 ชั่วโมงจากนั้นทำการกรองทำซ้ำ 5 ครั้งโดยใช้กระดาษลิตมัส ตรวจสอบความเป็นกลางของสาร หลังจากนั้นนำผงนาโนเป็นกลางแล้วไปทำให้แห้งด้วยวิธีแบบเยือกแข็ง (Freezed Dryer) จะพบว่าส่วนที่สังเคราะห์ได้เป็นเส้นใยนาโนมีปริมาณมาก ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้

#### 4.1.3 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนของไทยโดยใช้กระบวนการ ไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (ครั้งที่ 3)

พบว่าแร่ลูโคซีนทำปฏิกิริยาได้น้อยซึ่งยังคงมีปริมาณของแร่ลูโคซีนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาอยู่ที่ก้นของถังปฏิกรณ์ (Autoclave) มีบางส่วนของเส้นใยที่แขวนลอยอยู่ด้านบนและบางส่วนที่อยู่ด้านล่างผสมกับแร่ลูโคซีนที่ละลายไม่หมด และปะปนอยู่ในเนื้อของส่วนที่เกิดปฏิกิริยาเส้นใยมีสีครีมและเส้นใยจะฟูเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

(a) เส้นใยที่แขวนลอยอยู่ด้านบน

(b) เส้นใยบางส่วนที่อยู่ด้านล่างผสมกับแร่ลูโคซีนที่ละลายไม่หมด

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ดีกว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยเกิดเป็นผงลักษณะคล้ายผงแป้งในปริมาณที่มากกว่า และปริมาณแร่ลูโคซีนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาน้อยกว่า

#### 4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตรที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (ครั้งที่ 1)

จากการวิเคราะห์ ตรวจสอบและศึกษาสมบัติต่างของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอ็กซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction Spectroscopy, XRD) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM) นั้นมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

#### 4.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่พบในตัวอย่างดังตารางที่ 4.1

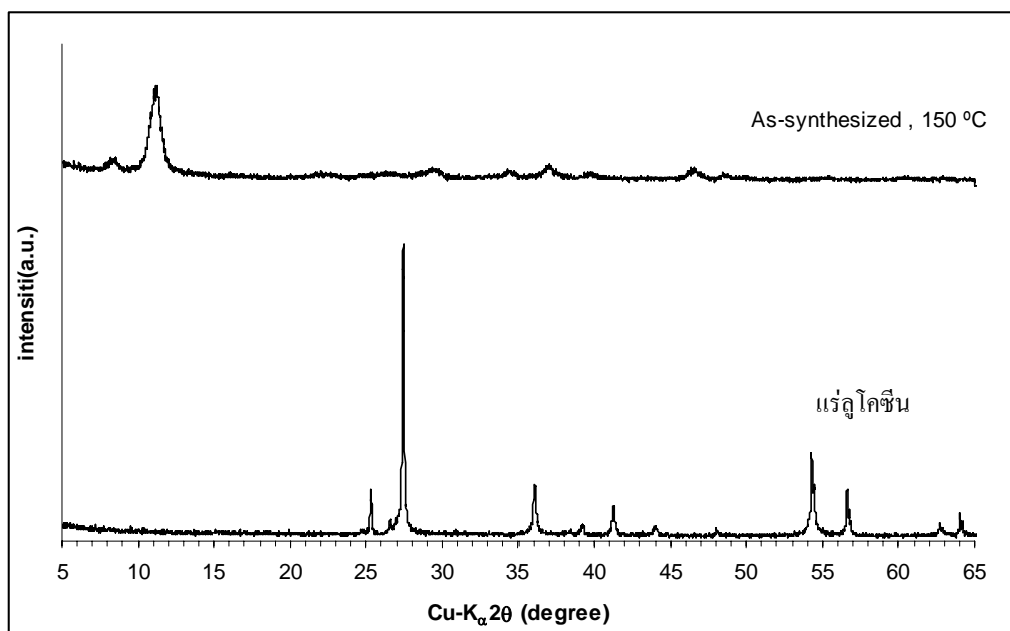
ตารางที่ 4.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี

ธาตุ	ปริมาณธาตุ(%wt)
TiO <sub>2</sub>	72.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.72
SiO <sub>2</sub>	0.17
ZrO <sub>2</sub>	0.03
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24
CaO	0.08
Na <sub>2</sub> O	26.52

จากตารางที่ 4.1 พบว่าวัสดุที่ได้มีส่วนประกอบหลักคือไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) ประมาณ 72.25 %wt และมี เหล็กออกไซด์ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ซิลิกา(SiO<sub>2</sub>), เซอร์โคเนียมออกไซด์ ( ZrO<sub>2</sub>), นีโอเบียมออกไซด์(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) และ โซเดียมออกไซด์ (Na<sub>2</sub>O) เป็นสารมลทินที่ยังเหลืออยู่หลังจากการสังเคราะห์

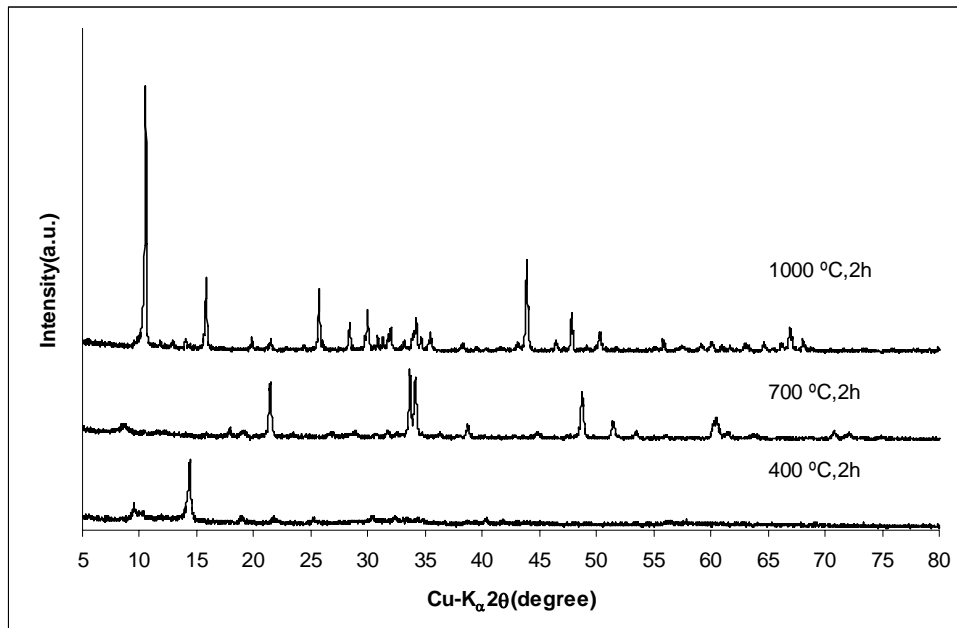
#### 4.2.2 ผลการตรวจสอบเฟสของสารที่ได้จากการสังเคราะห์แร่ลูโคซีน โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

การศึกษาทดสอบหาโครงสร้างผลึกของวัสดุนาโนที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ในการแสดงรูปแบบของแร่ลูโคซีนก่อนสังเคราะห์ และที่สังเคราะห์ได้ ดังรูปที่ 4.3 โดยนำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล JEOL ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ Leucoxene, As-synthesized, 150°C

จากกราฟจะสังเกตได้ว่าแร่ลูโคซีนที่ไม่ผ่านการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ Hydrothermal จะพบเฟสหลักที่ตำแหน่ง 25.34°, 27.44°, 36.12°, 41.28°, 54.3°, 56.64°, 64.06° และ 69.02° โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ JEOL ไฟล์เลขที่ 89-4920 ปรากฏเป็นเฟสรูไทล์โดยมีมุมที่ตำแหน่ง 41.28° ที่จะตรงกับเฟสไททานิตด้วย และจากการสังเกตพิกของแร่ลูโคซีนของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ พบว่าค่าความเข้มสูงสามารถอธิบายได้ว่ามีความเป็นผลึกสูง และจากฐานของพิกที่แคบแสดงว่ามีขนาดอนุภาคใหญ่ สำหรับโครงสร้างผลึกที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จากการศึกษาทดสอบหาโครงสร้างผลึก ปรากฏเป็นเฟสของโซเดียมไฮโดรเจนไททานิต (Sodium Hydrogen Trititanate) นั้นแสดงว่าเส้นใยนาโนที่ฝังไม่ผ่านการเผา ยังคงมีความชื้นปะปนอยู่ (มีโมเลกุลของน้ำปะปนอยู่ภายในเส้นใยนาโน) และจากตัวอย่างสองชนิดนี้พบว่ามีค่าความเข้มต่ำและฐานของพิกที่ค่อนข้างกว้างอธิบายได้ว่าจากที่ความเข้มต่ำเนื่องจากความเป็นผลึกของสารมีค่าต่ำ และจากฐานของพิกที่ค่อนข้างกว้าง อธิบายได้ว่าไททานิตที่เตรียมได้อาจจะมีขนาดของเส้นใยที่เล็กซึ่งเป็นไปตามสมการของเชอร์เรอร์ (Scherrer Equation) [83] เมื่อให้ความร้อนที่สูงเส้นใยจะเริ่มเปลี่ยนเป็นไปเป็นเฟสโซเดียมอะซิเตท (Sodium Acetate ( $C_2H_3NaO_2$ )) ปะปนกับเฟสโซเดียมไททานีออกไซด์ (Sodium Titanium Oxide ( $Na_4Ti_5O_{12}$ )) เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงจะมีเฟสเดียวคือโซเดียมไททานีออกไซด์ (Sodium Titanium Oxide ( $Na_2Ti_3O_7$ )) ดังรูปที่ 4.8



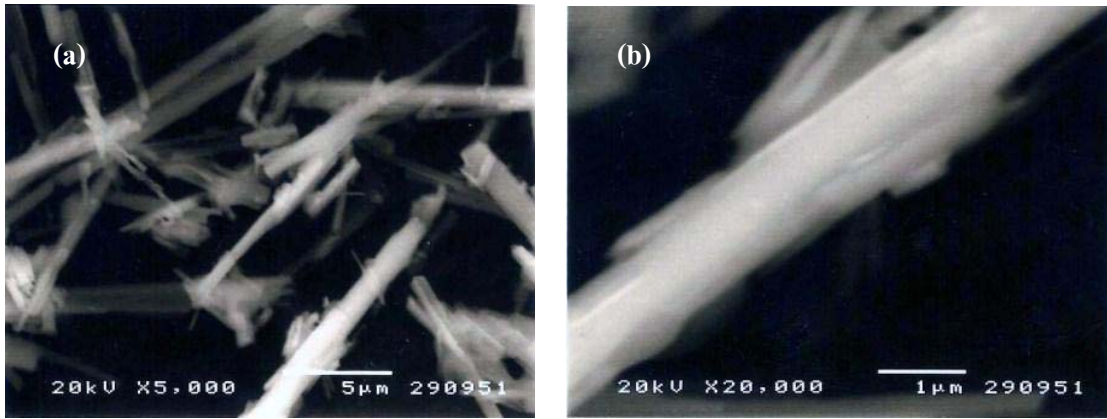
รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 700 และ 1,000 องศาเซลเซียส

#### 4.2.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)



รูปที่ 4.9 ภาพถ่าย SEM ของแร่ลู่โคชิน ที่กำลังขยาย 50 เท่า

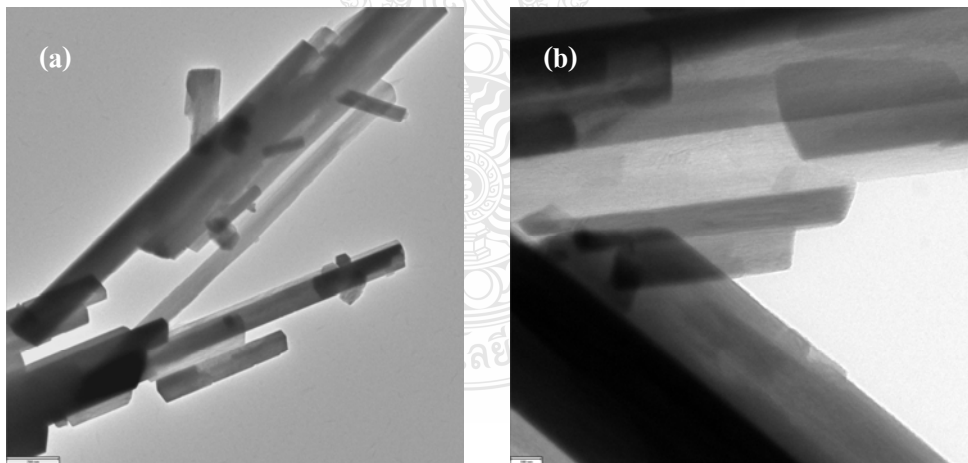
จากรูปที่ 4.9 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแร่ลู่โคชินก่อนการสังเคราะห์ โดยสามารถหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้จากการวัดและเปรียบเทียบกับสเกลผลที่ได้จากการเปรียบเทียบพบว่าแร่ลู่โคชินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 115-358 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่กำลังขยาย (a) 5,000 เท่า และ (b) 20,000 เท่า

รูปที่ 4.10 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สามารถวัดค่าความยาวของเส้นใยได้โดยจากการวัดเทียบขนาดสเกลในรูปกับความยาวของเส้นใยนาโนโดยพบว่าความยาวของเส้นใยไททานเนียมมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1-14 ไมโครเมตร

#### 4.2.4 การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)

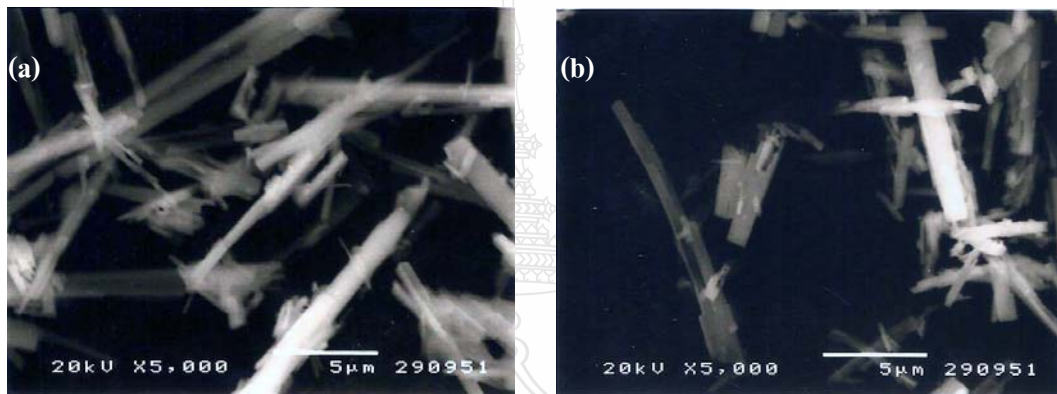


รูปที่ 4.11 ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิ 150°C ที่กำลังขยาย (a) 15,000 เท่า และ (b) 150,000 เท่า

รูปที่ 4.11 เป็นภาพถ่ายที่แสดงผลจากการวิเคราะห์เส้นใยไททานเนียมไดออกไซด์เฟสไททานตที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่กำลังขยายเท่ากับ 200,000 เท่าพบว่าเส้นใยไททานเนียมไดออกไซด์เฟสไททานตมีโครงสร้างภายในเป็นของแข็ง ไม่กลวง เป็นกลุ่มมัดเส้นใย

จากรูปที่ 4.11 พบว่าเส้นใยไททานเนียมไดออกไซด์เฟสไททานเนตนั้นหนึ่งเส้น จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 243-820 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำเส้นใยไททานเนตนี้ไปหาค่าพื้นที่ผิว โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้การดูดซับไนโตรเจน (BET) พบค่ามีค่าอยู่ที่ 9.58 m<sup>2</sup>/g ในขณะที่พื้นที่ผิวของแร่ลูโคซีนเท่ากับ 0 m<sup>2</sup>/g นอกจากนี้เส้นใยไททานเนียมไดออกไซด์เฟสไททานเนต จะมีค่า Cross-sectional Area เท่ากับ 16.2 Å<sup>2</sup>/molecule ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 20 Å<sup>2</sup> (2×10<sup>-9</sup> m.) จัดอยู่ในกลุ่มของ Micropore ตามทฤษฎีของ Langmuir [83] ในการจำแนกขนาดของรูพรุนโดยอาศัยสมบัติด้านการดูดซับและการควบแน่นในรูพรุน

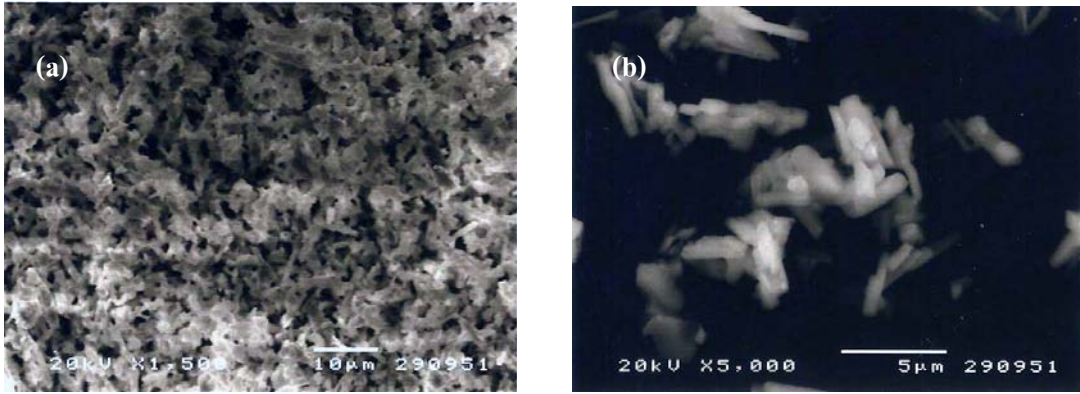
#### 4.2.5 ผลการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส, 700 องศาเซลเซียส และ 1,000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย SEM ของ เส้นใยที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ (a) 400 องศาเซลเซียส และ (b) 700 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.12 ภาพถ่าย SEM พบว่าเส้นใยที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ 700 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง พบว่าเมื่อให้ความร้อนที่สูงเส้นใยจะเริ่มเปลี่ยนเป็นไปเป็นเฟสโซเดียมอะซิเตต (Sodium Acetate (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub> Na O<sub>2</sub>)) ปะปนกับเฟสโซเดียมไททานเนียมออกไซด์ (Sodium Titanium Oxide (Na<sub>4</sub> Ti<sub>5</sub> O<sub>12</sub>)) แต่ลักษณะโครงสร้างยังคงเป็นแบบเส้นใยอยู่ซึ่งแตกต่างกับท่อนาโนถึงแม้ว่าโครงสร้างของท่อนาโนจะดีกว่า เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงแต่ท่อนาโนไททานเนียมไดออกไซด์เฟสไททานเนต มีไอออนของ ค่าง(alkali)อิสระที่ไม่มีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง (อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส) และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเฟสอานาเทส [17, 20] และจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนดังรูปที่ 4.13 เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง





รูปที่ 4.13 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย (a) 1,500 เท่า และ (b) 5,000 เท่า

### 4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตรที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (ครั้งที่ 2)

#### 4.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่พบในตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.2

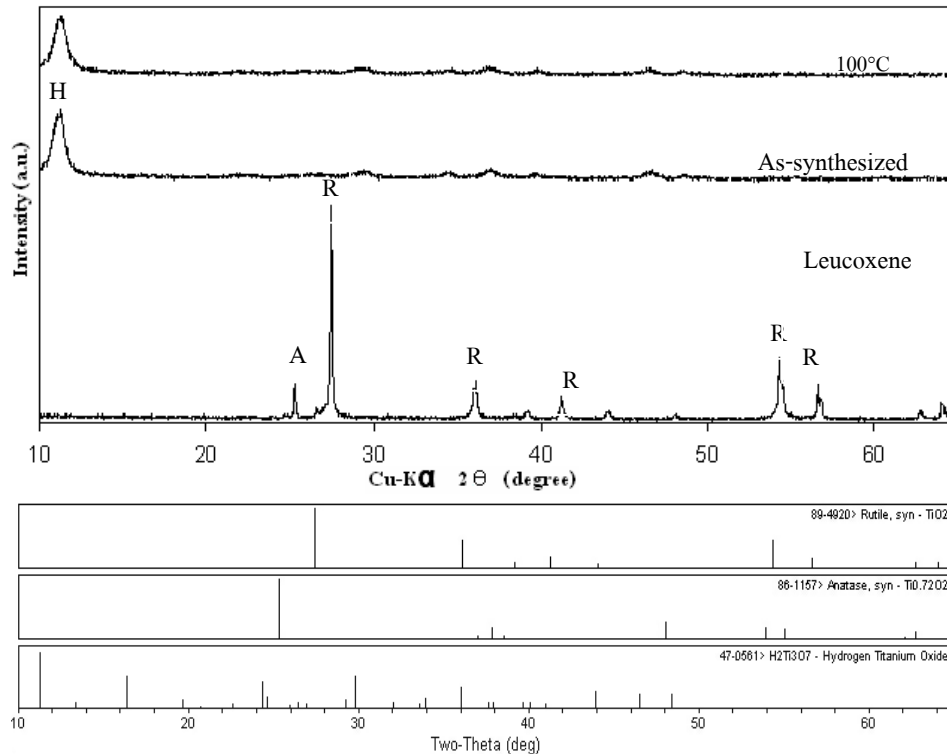
ตารางที่ 4.2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี

ธาตุ	ปริมาณธาตุ(%wt)
TiO <sub>2</sub>	96.93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.26
SiO <sub>2</sub>	0.17
ZrO <sub>2</sub>	0.28
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17
CaO	0.08

จากตารางที่ 4.2 พบว่าวัสดุที่ได้มีส่วนประกอบหลักคือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) ประมาณ 96.93%wt และมีเหล็กออกไซด์ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ซิลิกา(SiO<sub>2</sub>), เซอร์โคเนียมออกไซด์( ZrO<sub>2</sub>), นีโอเบียมออกไซด์(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) เป็นสารมลทินที่ยังเหลืออยู่หลังจากการสังเคราะห์

### 4.3.2 เส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์เฟสไททานเนต [TiO<sub>2</sub> (titanate) Nanofibers]

จากการศึกษาทดสอบหาโครงสร้างผลึกของวัสดุนาโนที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ในการแสดงรูปแบบของแร่ลูโคซีนก่อนสังเคราะห์ที่สังเคราะห์ได้เป็นเส้นใยนาโน และที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.5 โดยนำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล JEOL JDX-3530 เลขที่ไฟล์ 47-0561, 06-1157 และ 89-4920 ได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ Leucoxene, As-synthesized, 100 °C

จากรูปที่ 4.14 ผล XRD จะสังเกตได้ว่าแร่ลูโคซีนที่ไม่ผ่านการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) จะพบเฟสหลักที่ตำแหน่ง 26.0°, 36.5°, 40.1°, 54.5° และ 57.0° โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ JEOL JDX-3530 ไฟล์เลขที่ 89-4920 ปรากฏเป็นเฟสรูไทล์โดยมีมุมที่ตำแหน่ง 25.2° ที่จะตรงกับเฟสอนาตาส (เมื่อเทียบกับ JOEL JDX-3530 ไฟล์เลขที่ 86-1157) และจากการสังเกต พีคของแร่ลูโคซีน ของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ พบว่าค่าความเข้มสูงสามารถอธิบายได้ว่ามีความเป็นผลึกสูง และจากฐานของพีคที่แคบแสดงว่ามีขนาดอนุภาคใหญ่ สำหรับเส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบเฟสหลักที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 11.5° และเส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่ามีเฟสหลักที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 11.5° เมื่อเปรียบเทียบกับ JEOL JDX-3530 ไฟล์เลขที่

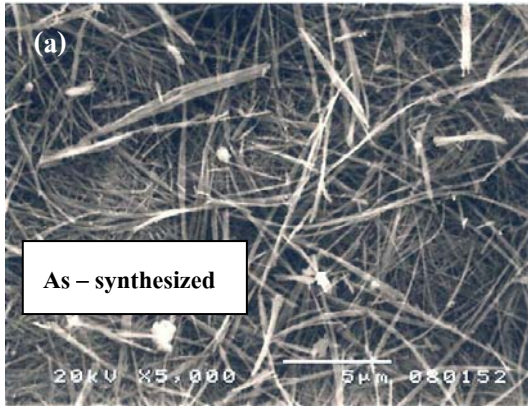
47-0561 ปรากฏเป็นเฟสของไฮโดรเจนไททาเนียมไดออกไซด์ (Hydrogen Titanium Dioxide (ไททานेट,  $H_2Ti_3O_7$ )) นั้นแสดงว่าเส้นใยนาโนที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมินี้ยังคงมีความชื้นปะปนอยู่ (มีโมเลกุลของน้ำปะปนอยู่ภายในเส้นใยนาโน) และจากตัวอย่างสองชนิดนี้พบว่ามีความเข้มข้นและฐานของฟิสิกส์ที่ค่อนข้างกว้างอธิบายได้ว่าจากความเข้มข้นเนื่องจากความเป็นผลึกของสารมีค่าต่ำ และจากฐานของฟิสิกส์ที่ค่อนข้างกว้างอธิบายได้ว่าวัสดุที่เตรียมได้อาจจะมีขนาดของเส้นใยที่เล็กซึ่งเป็นไปได้ตามสมการของเชอร์เรอร์ (Scherrer Equation)

จากข้อมูลข้างต้นจะเป็นข้อมูลสนับสนุนทฤษฎีของกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) โดยจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงเฟสทางเคมี หรืออนุภาคแขวนลอยเกิดพอลิมอร์ฟิค (Polymorphic) เป็นผลมาจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารมิเนอราไลเซอร์ (Mineralizer) เพื่อให้อนุภาคของแร่ลูโคซีนผ่านกลไกการเปลี่ยนแปลงภายใน [74]



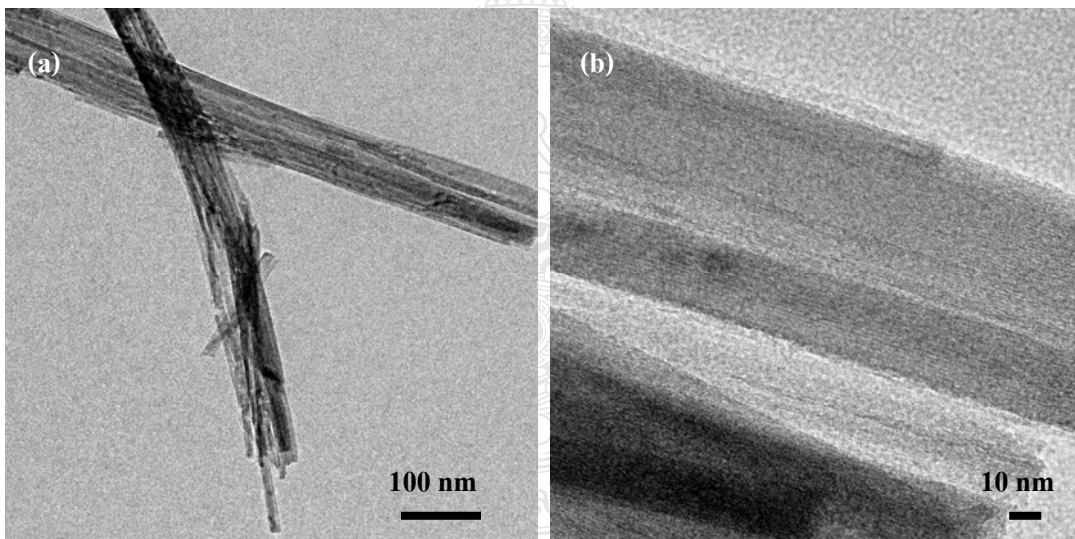
รูปที่ 4.15 ภาพถ่าย SEM ของแร่ลูโคซีนที่กำลังขยาย 50 เท่า

จากรูปที่ 4.15 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแร่ลูโคซีนก่อนการสังเคราะห์ โดยสามารถหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้จากการวัดและเปรียบเทียบกับสเกล ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบพบว่าแร่ลูโคซีนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 115 - 358  $\mu\text{m}$ .



รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่กำลังขยาย (a) 5,000 และ (b) 20,000 เท่า

รูปที่ 4.16 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สามารถวัดหาค่าความยาวของเส้นใยนาโนได้โดยจากการวัดเทียบขนาดสเกลในรูปกับความยาวของเส้นใยนาโนโดยพบว่าความยาวของเส้นใยนาโนไททานตมีค่าเฉลี่ย 3-22  $\mu\text{m}$

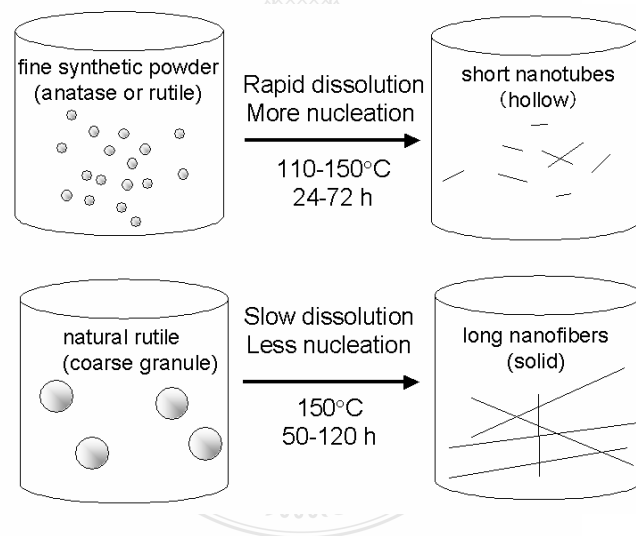


รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนที่กำลังขยาย (a) 10,000 เท่า และ (b) 200,000 เท่า

รูปที่ 4.17 เป็นภาพถ่ายที่แสดงผลจากการวิเคราะห์เส้นใยนาโนที่เตรียมได้เฟสไททานตที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่กำลังขยายเท่ากับ 200,000 เท่า พบว่าเส้นใยนาโนไททานตนิยมนิโคออกไซด์เฟสไททานตมีโครงสร้างภายในเป็นของแข็ง ไม่กลวง เป็นกลุ่มมัด เส้นใยสามารถวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนาโนได้โดยจากการวัดเทียบขนาดสเกลในรูป

จากรูปที่ 4.17 พบว่าเส้นใยนาโนที่เตรียมได้เฟสไททานเนตนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 12-58 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำเส้นใยนาโนที่เตรียมได้นี้ไปหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้การดูดซับไนโตรเจน (BET) พบว่ามีค่าอยู่ที่ 55 m<sup>2</sup>/g ในขณะที่พื้นที่ผิวจำเพาะของแร่รูไทซินเท่ากับ 0 m<sup>2</sup>/g ซึ่งเรื่องนี้เป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะให้กับวัสดุ (จำพวกแร่) โดยให้อยู่ในขนาดนาโน ซึ่งทำให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของแร่รูไทซินเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 เท่าโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แบบง่าย (1 step) และเป็นวิธีที่ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม

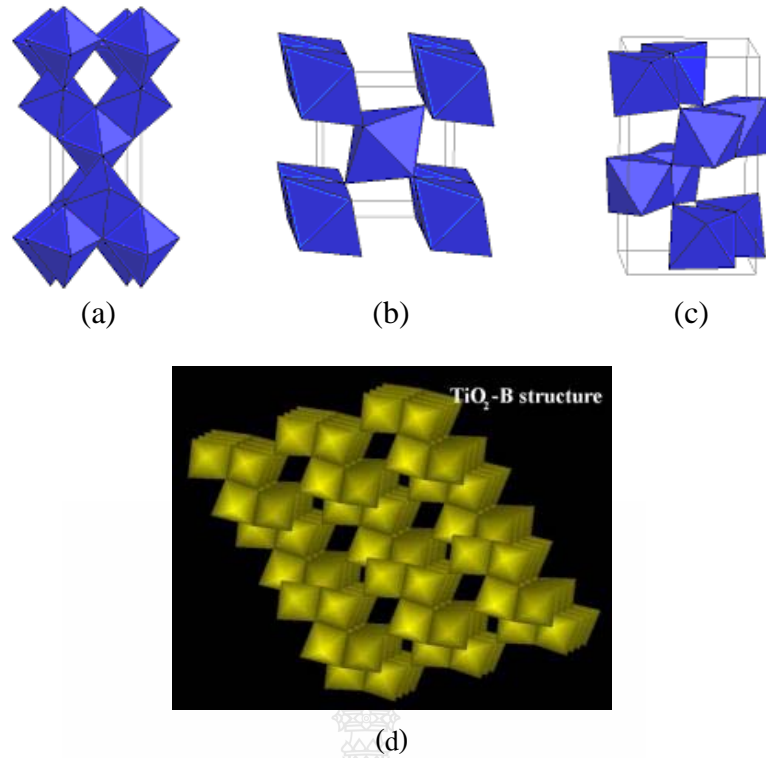
โดยทั่วไปกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล จะทำที่อุณหภูมิสูงเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 100 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า) หรือในสารละลายด่างแก่ (Conc. NaOH (aq) ซึ่งผลที่ได้จะเป็นเส้นใยนาโนที่มีความยาวมากซึ่งคล้ายกับท่อนาโนเพราะเกิดผลึกแบบเดียวกันในสภาวะนี้ โดยข้อเท็จจริงนี้สามารถอธิบายได้ด้วยวิธีการเกิด (Formation) ดังรูปที่ 4.18 แร่รูไทซินจะมีลักษณะหยาบ และละลายได้ในปริมาณหนึ่งในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งการสังเคราะห์นิวเคลียสและสนับสนุนการเกิดผลึกในทิศทางแบบ 010 ของไททานเนต [21]



รูปที่ 4.18 ลักษณะการเกิดท่อนาโนและเส้นใยนาโน [16]

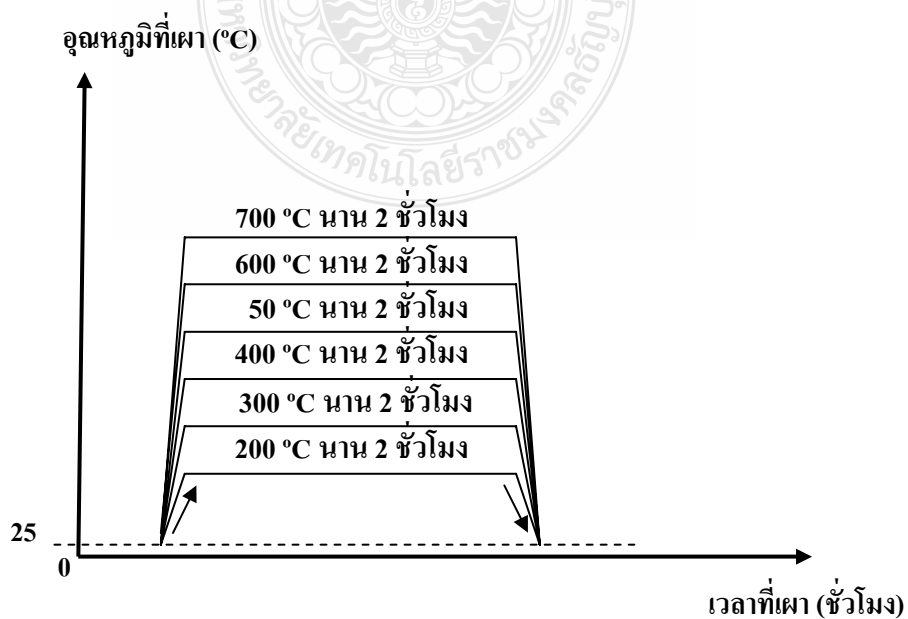
#### 4.3.3 เส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์เฟสไททานเนียมไดออกไซด์ (B) [TiO<sub>2</sub> (B) nanofibers]

ผงนาโนที่ได้หลังจากนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งเส้นใยนาโนที่เตรียมได้เมื่อนำไปให้ความร้อนนี้จะเกิดการสูญเสียความชื้น (สูญเสีย น้ำ; H<sub>2</sub>O) และรูปแบบของผลึกจะเปลี่ยนแปลงจากเฟสไททานเนตไปเป็นเฟสไททานเนียมไดออกไซด์ (B) (Titanium oxide), TiO<sub>2</sub> (B) [17-19] ซึ่งรูปแบบของสารส่วนใหญ่มีด้วยกัน 4 แบบ คือ อนุภาค (tetragonal), ปรกติโคท (orthorhombic), รูไทล์ (tetragonal) และไททานเนียมไดออกไซด์ (B) (monoclinic) แสดงดังรูปที่ 4.19



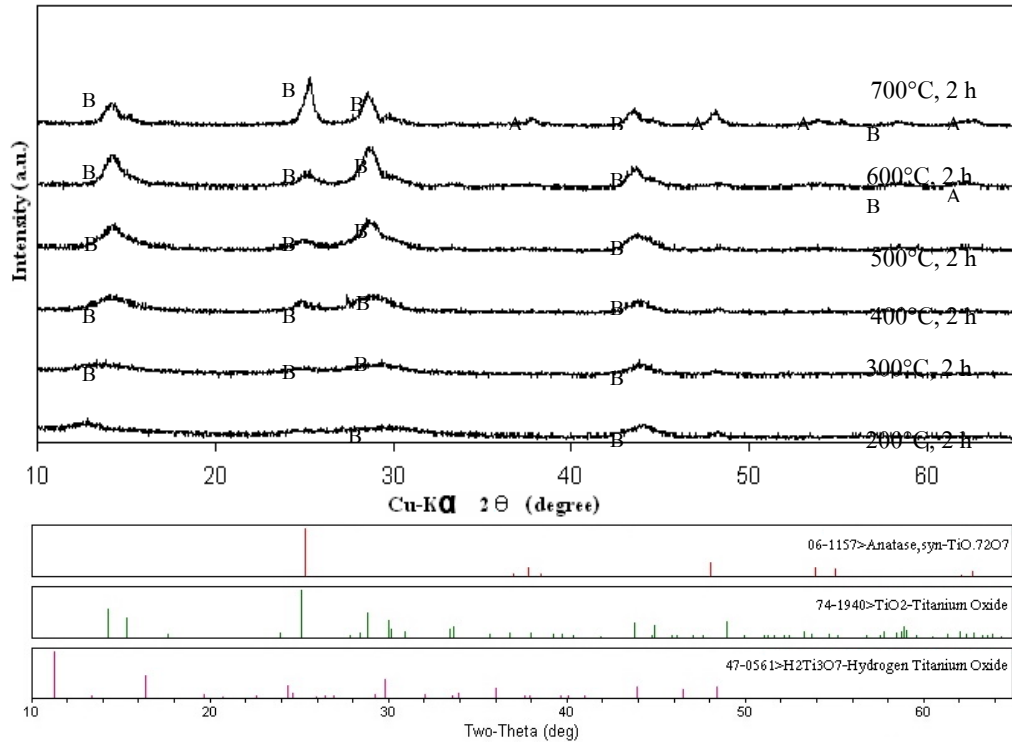
รูปที่ 4.19 โครงสร้างผลึกของอนาเทส (a), รูไทล์ (b), บรูก์ไคท์ (c) และ TiO<sub>2</sub> (B) (d) [27]

จากนั้นนำสารที่ผ่านการล้างให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดและน้ำแล้วทำให้แห้งนำไป โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง (ดังรูปที่ 4.30) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นผงแป้งที่อยู่ในเฟสของ ไททานเนียมไดออกไซด์ (B) (TiO<sub>2</sub> (B))



รูปที่ 4.20 ลำดับขั้นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

เส้นใยนาโนที่เตรียมได้ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลเมื่อนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์โครงสร้างของผลึก จะได้ผลดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ที่อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส;

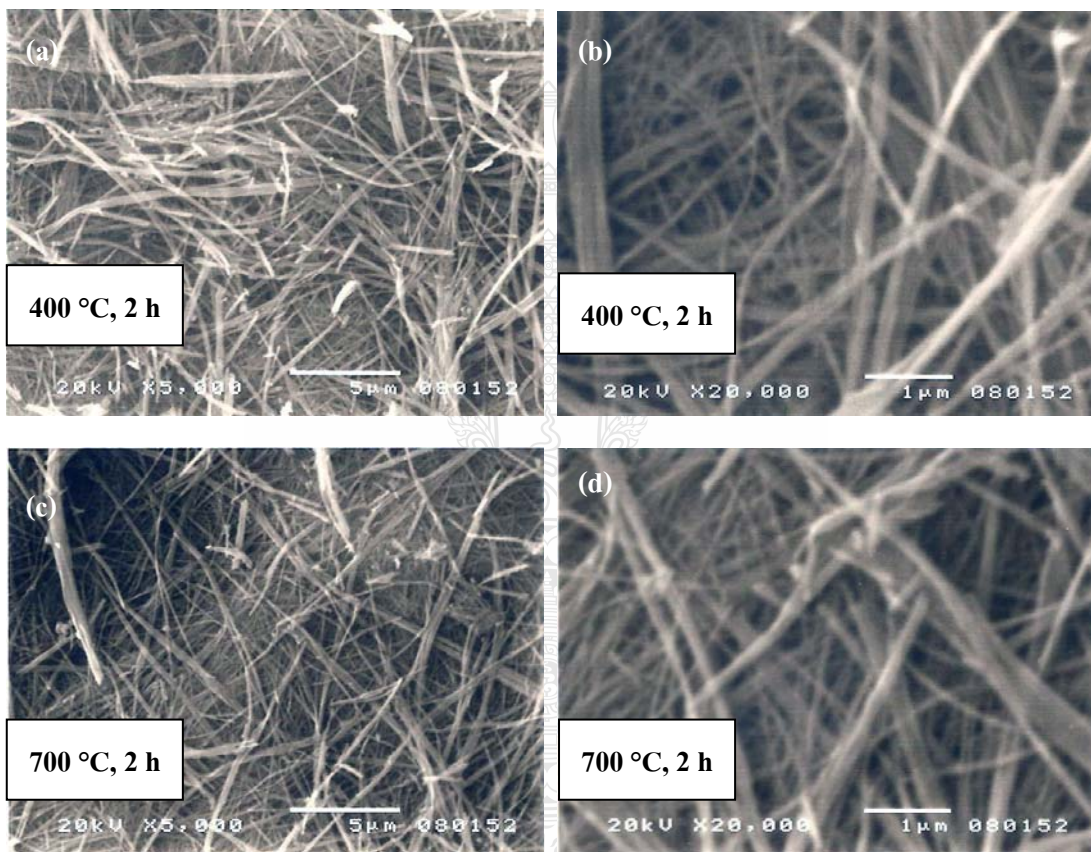
A = anatase TiO<sub>2</sub>, B = TiO<sub>2</sub> (B)

รูปที่ 4.21 เป็นกราฟที่ได้จากเครื่อง XRD ของเส้นใยนาโนที่นำไปให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ 700 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสังเกตจะพบว่า มีเฟสหลักที่ตำแหน่ง 2θ ที่อุณหภูมิให้ความร้อนต่างๆ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิในการให้ความร้อนต่อมุมของเฟสหลัก

อุณหภูมิในการเผา (°C)	มุม 2θ (องศา)
200	25.5, 28.9, 43.8
300	14.3, 25.1, 28.9, 43.8
400	14.3, 25.1, 28.9, 43.8
500	14.3, 25.1, 28.9, 43.8
600	14.3, 25.1, 28.9, 43.8, 58.4, 62.9
700	14.3, 15.3, 25.1, 28.9, 30.0, 38.0, 44.7, 48.0, 53.8, 55.1, 58.4, 62.9

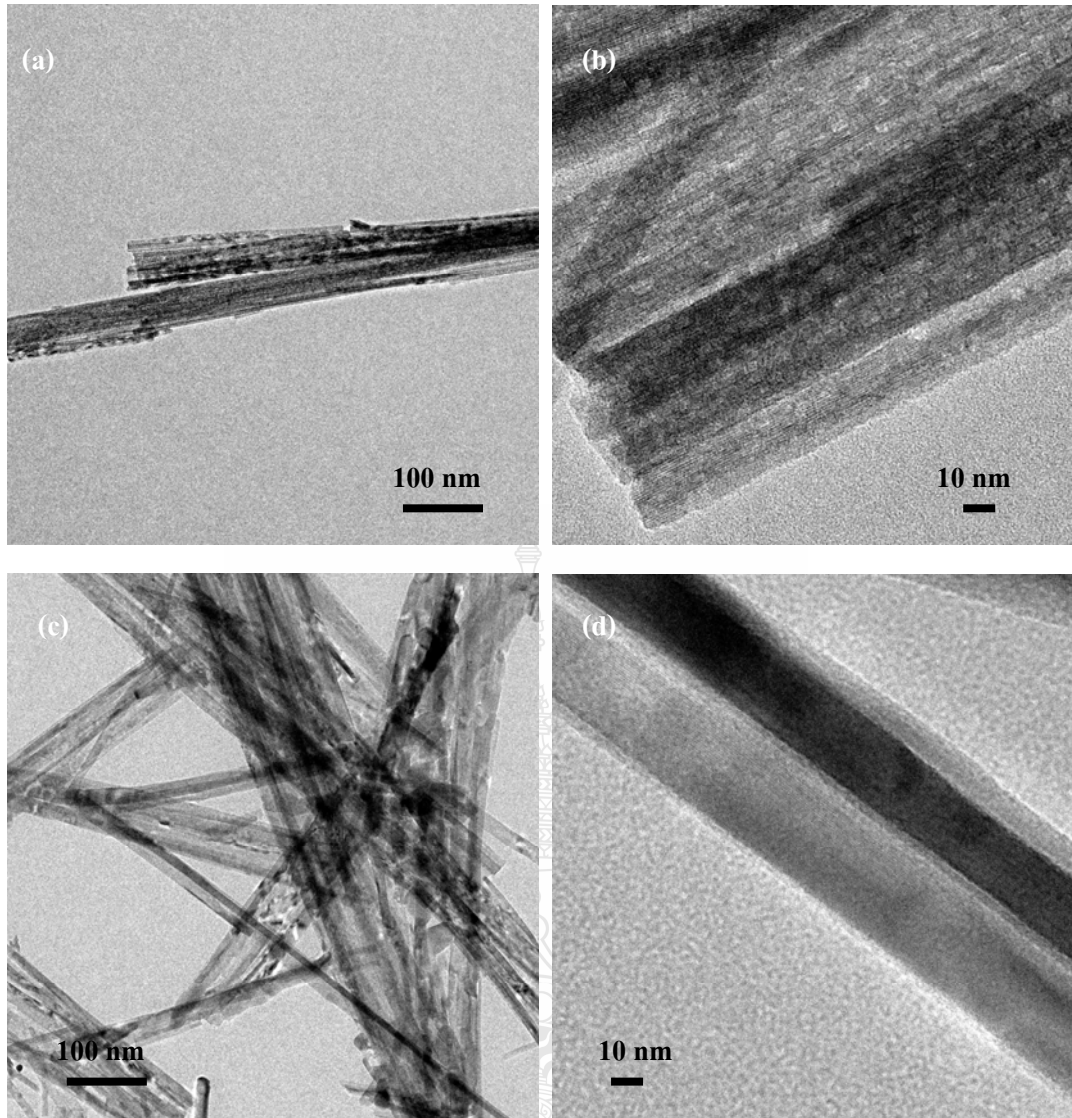
จากผลที่ได้นี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ JEOL JDX 3530 ไฟล์เลขที่ 74-1940 พบว่าเส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ เป็นเฟสไททานเนียมไดออกไซด์ (B), (TiO<sub>2</sub> (B)) ซึ่งผลึกเป็นรูปแบบ Monoclinic โดยทำการสังเกตพิคของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์พบว่าเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะเริ่มเปลี่ยนเฟสจากไททานตไปเป็น ไททานเนียมไดออกไซด์ (B) ซึ่งยังคงมีเฟสไททานตปะปนอยู่เล็กน้อยเมื่อ เพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเส้นใยนาโนจะมีเฟส ไททานเนียมไดออกไซด์ (B) มากขึ้นและเด่นชัดที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส จะเริ่มปรากฏเฟสอนาเทสปะปนอยู่กับเฟส ไททานเนียมไดออกไซด์ (B)



รูปที่ 4.22 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า และ 20,000 เท่า โดย (a) กับ (b) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ (c) กับ (d) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.22 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สามารถวัดค่าความยาวของเส้นใยนาโนได้ โดยจากการวัดเทียบขนาดสเกลในรูปกับความยาวของเส้นใยนาโน โดยสังเกตพบว่าเส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์เฟสไททานเนียมไดออกไซด์ (B) ที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ 700 องศาเซลเซียส จะมีความยาวเฉลี่ยต่อเส้นโดยประมาณเท่ากับ 3-20  $\mu\text{m}$ . และ 2-20  $\mu\text{m}$ . ตามลำดับ

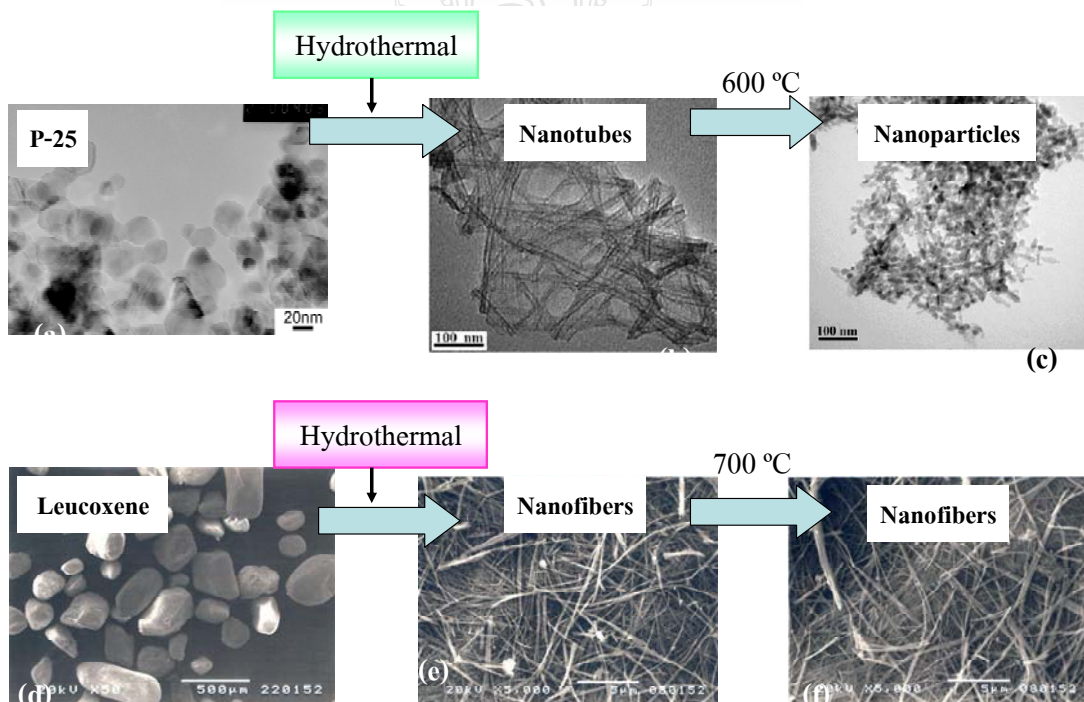




รูปที่ 4.23 ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่ (a) กับ (b) 400 องศาเซลเซียส และ (c) กับ (d) 700 องศาเซลเซียสที่กำลังขยาย (a) กับ (c) 15,000 เท่า และ (b) กับ (d) ที่กำลังขยาย 150,000 เท่า

รูปที่ 4.23 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่ได้ตรวจวิเคราะห์โครงสร้างเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยจะเห็นเป็นลักษณะของมัดเส้นใยสามารถวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนาโนได้โดยจากการวัดเทียบขนาดสเกลในรูปที่ 4.33 พบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ 700 องศาเซลเซียส นั้นเส้นใยนาโนที่เตรียมได้ จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 39-97 นาโนเมตร และ 20-76 นาโนเมตร ตามลำดับ เมื่อนำไปหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้เทคนิคการดูดซับของไนโตรเจน พบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะมีขนาดพื้นที่ผิวประมาณ 55  $\text{m}^2/\text{g}$  และที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จะมีขนาดพื้นที่ผิวประมาณ 54  $\text{m}^2/\text{g}$

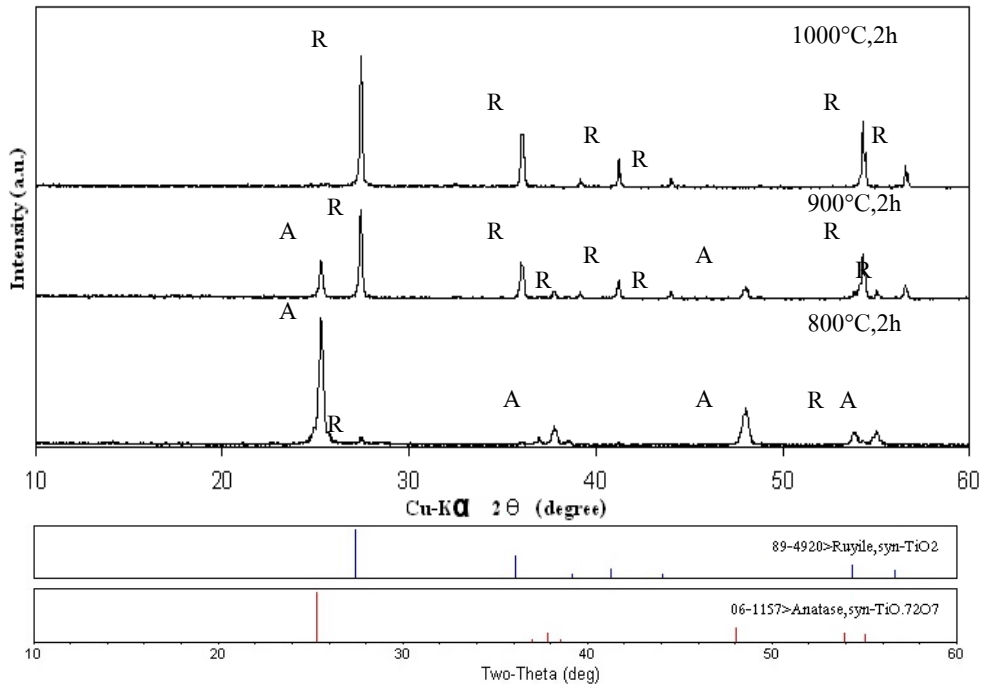
จากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและส่องผ่านพบว่าเส้นใยนาโนที่เตรียมได้สามารถรับความร้อนถึง 700 องศาเซลเซียส เปลี่ยนเป็นเฟสอานาเทสพอนอยู่ในเฟสไททาเนียมไดออกไซด์ (B) แล้วแต่ลักษณะโครงสร้างยังคงเป็นแบบเส้นใยอยู่ ซึ่งแตกต่างกับท่อนาโนถึงแม้ว่าโครงสร้างของท่อนาโนจะดีกว่า เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงแต่ท่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เฟสไททาเนตมีไอออนของด่าง (Alkali) อิสระที่ไม่มีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง (อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส) และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นอนุภาคอานาเทส [17,20] โดยเส้นใยนาโนจะมีโครงสร้างระดับนาโนแบบ 1 มิติ เกิดเป็นอนุภาคอานาเทสที่อุณหภูมิสูงกว่านั้น (อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส) โดยสามารถเปรียบเทียบโครงสร้างที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและส่องผ่าน (SEM, TEM) ของท่อนาโนและเส้นใยนาโนได้ดังรูปที่ 4.34 โดยรูปที่ 4. 24 (a) เป็นวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (ที่มีขายตามท้องตลาด)ชื่อ P-25 (สารตั้งต้น) เมื่อผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล จะได้โครงสร้างเป็นท่อนาโน (รูปที่ 4.24 (b)) จากนั้นนำท่อนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส หรือ 600 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าโครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นอนุภาคนาโนแทน [79] เมื่อเปรียบเทียบกับการสังเคราะห์วัสดุนาโนจากแร่ลูโคซีน (รูปที่ 4.24 (d)) ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล จะได้เป็นเส้นใยนาโน (รูปที่ 4.24 (e)) เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าโครงสร้างยังคงรูปเป็นเส้นใยนาโนอยู่



รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างท่อนาโนกับเส้นใยนาโน โดย (a) P-25, (b) ท่อนาโน, (c) ท่อนาโนที่ 600 องศาเซลเซียส [79], (d) แร่ลูโคซีน, (e) เส้นใยนาโน, (f) เส้นใยนาโนที่ 700 องศาเซลเซียส

#### 4.3.4 เส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์เฟสอานาเทส [TiO<sub>2</sub> (Anatase) Nanofibers]

จากการนำเส้นใยนาโนไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800-1,000 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตามลำดับพบว่าผงที่ได้จะมีสีที่เข้มกว่าเดิมและมีอนุภาคที่เพิ่มมากขึ้นและจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800-1,000 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จะมีเฟสหลักที่ตำแหน่ง 2θ ที่องศาต่างๆ โดยนำมาเปรียบเทียบกับ JEOL JDX-3530 ไฟล์เลขที่ 06-1157 และ 89-4920 จะได้ผลวิเคราะห์ ดังนี้



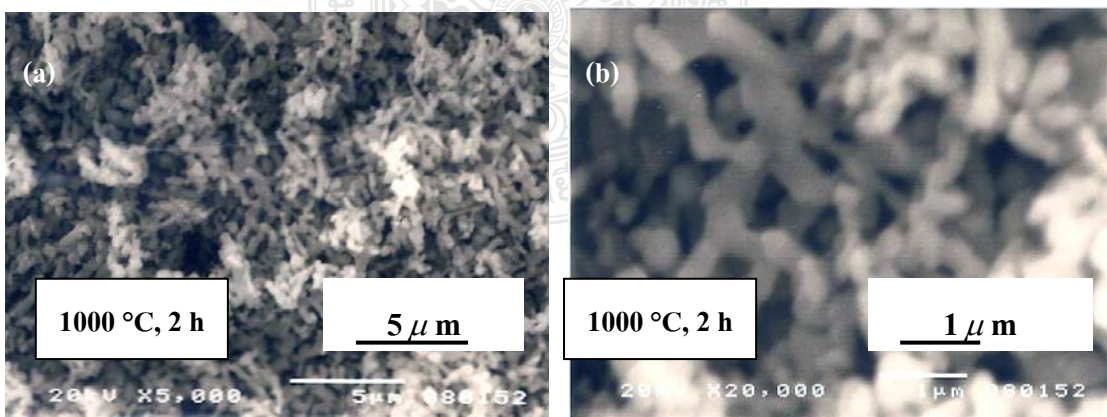
รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ที่อุณหภูมิ 800-1,000 องศาเซลเซียส C ; A = anatase TiO<sub>2</sub>, R = rutile TiO<sub>2</sub>

รูปที่ 4.25 ผงนาโนที่ได้จากการนำเส้นใยไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800-1,000 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยผงที่ได้จะมีสีที่เข้มกว่าเดิม จากรูปที่ 4.25 เป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่าที่อุณหภูมิให้ความร้อน 800-1,000 องศาเซลเซียส จะมีเฟสหลักที่ตำแหน่ง 2θ ที่องศาต่างๆ โดยนำมาเปรียบเทียบกับ JEOL JDX-3530 จะได้ผลวิเคราะห์ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของมุมที่วัดได้กับเฟสที่เกิดขึ้นโดยเปรียบเทียบกับ JEOL JDX-3530

อุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนเส้นใยนาโน (องศาเซลเซียส)	มุมที่องศาต่างๆเมื่อเปรียบเทียบกับ JEOL JDX-3530	
	JEOL JDX-3530 ไฟล์เลขที่ 06-1157 (Anatase)	JEOL JDX-3530 ไฟล์เลขที่ 89-4920 (Rutile)
800	25.2, 37.6, 48.1	53.8
900	25.2, 48.1	37.4, 39.0, 41.4, 43.8, 53.8, 56.2
1,000	-	37.4, 39.0, 41.4, 43.8, 53.8, 56.2

จากผลในตารางที่ 4.4 พบว่าที่อุณหภูมิเผาเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส จะมี 2 เฟส คือ อนาเทสและรูไทล์ โดยมีมุมที่ตรงกับเฟสอนาเทสมากที่สุด (รูปแบบการเกิดผลึกเป็นแบบ Tetragonal) ส่วนที่อุณหภูมิให้ความร้อนเท่ากับ 900 องศาเซลเซียส จะมี 2 เฟส คือ อนาเทสและรูไทล์ โดยมีมุมที่ตรงกับเฟสรูไทล์มากที่สุด (รูปแบบการเกิดผลึกเป็นแบบ Tetragonal) และที่อุณหภูมิให้ความร้อนเท่ากับ 1,000 องศาเซลเซียส จะมีเฟสเดียว คือ เฟสรูไทล์ ซึ่งมีมุมที่ตรงกับเฟสรูไทล์มากที่สุด และเมื่อสังเกตความเข้มจากรูป พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะมีฟีกอนาเทสที่มีค่าความเข้มสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส ซึ่งฟีกที่แสดงเฟสอนาเทสจะมีค่าความเข้มลดลงที่อุณหภูมิให้ความร้อนเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จะมีเฟสเป็นรูไทล์เพิ่มมากขึ้นและจากฐานฟีกที่แคบอธิบายได้ว่าขนาดของเส้นใยนาโนทั้งสองอุณหภูมินี้มีขนาดใหญ่ จึงสามารถสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเฟสอนาเทสลดลงแต่เฟสรูไทล์เพิ่มขึ้นความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น

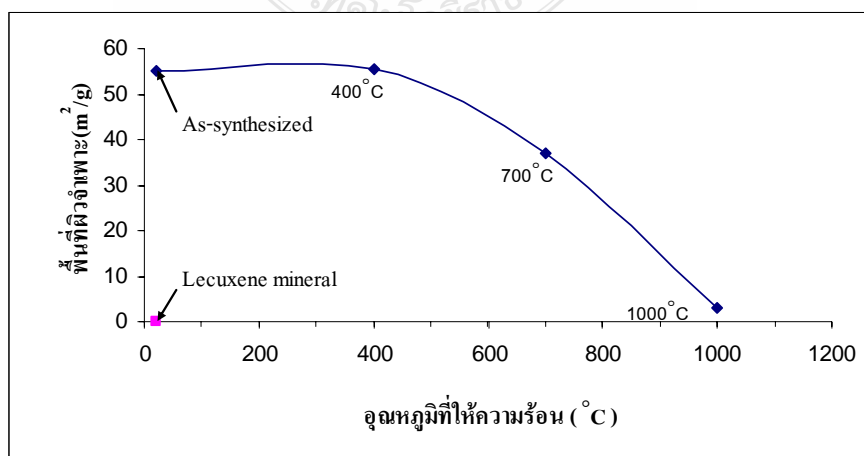


รูปที่ 4.26 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย (a) 5,000 และ (b) 20,000 เท่า

รูปที่ 4.26 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมินี้พบว่าโครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากโครงสร้างที่เป็นแบบเส้นใยกลายเป็นโครงสร้างแบบอนุภาคที่มีลักษณะกลม ซึ่งจะสอดคล้องกับผลที่ได้จากเทคนิคของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ คือ เมื่อเกิดการเปลี่ยนเฟสโครงสร้างของสารจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งโดยทั่วไปท่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (เฟสอนาเทส) จะถูกทำลายแล้วเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นอนุภาค [20, 29] จากนั้นเฟสอนาเทสจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเฟสรูไทล์ โดยจะเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เส้นใยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทสสามารถเตรียมได้จากกระบวนการนี้ และจะมีความเสถียรมากขึ้นที่อุณหภูมิ 900-1,000 องศาเซลเซียส

เพราะฉะนั้นเส้นใยนาโนที่เตรียมได้สามารถทนที่อุณหภูมิสูงได้ เส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะมีเฟสเป็นรูไทล์โดยมีโครงสร้างเล็กกว่าระดับไมครอน สามารถวัดหาค่าความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนาโนได้โดยการวัดเทียบขนาดสเกลในรูปกับความยาวของเส้นใยนาโน โดยจะพบว่าเส้นใยนาโนที่เตรียมได้เฟสรูไทล์ที่ให้ความร้อนอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส จะมีความยาวเฉลี่ยต่อเส้น 1-4  $\mu\text{m}$ . และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 250-660 nm.

เส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะมีลักษณะคล้ายแท่งนาโน (Nanorod) (มีรูปแบบการเกิดผลึกเป็นแบบ Tetragonal) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของเส้นใยนาโนที่ได้จากเทคนิคการดูดซับไนโตรเจนเท่ากับ  $6.03 \text{ m}^2/\text{g}$  ซึ่งที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนนี้ จะมีโครงสร้างเป็นแบบรูไทล์ โดยพบว่ามีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าแบบอื่นๆ เป็นเพราะเส้นใยนาโนที่ได้เมื่อนำไปให้ความร้อนจะเกิดการหดตัวเกาะกลุ่มกันทำให้เส้นใยนาโนนี้จะเปลี่ยนลักษณะไปเป็นอนุภาค (เป็นทรงกลม) ทำให้มีพื้นที่สัมผัสสารได้น้อยลง โดยได้แสดงการเปรียบเทียบที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนกับค่าพื้นที่ผิวดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะกับอุณหภูมิที่ใช้ให้ความร้อนเส้นใยนาโนที่เตรียมได้

จากรูปที่ 4.27 สามารถอธิบายได้ว่าที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจะมีค่าลดลง เนื่องจากเส้นใยนาโนที่เตรียมได้มีแนวโน้มเกิดการหดตัวและเกาะกันเป็นกลุ่มมากขึ้นจากผลกระทบของความร้อน และการเตรียมวัสดุนาโนจากแร่ลูโคซีนด้วยวิธีนี้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะของแร่ลูโคซีน สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวได้มากกว่า 50 เท่าโดยการนำแร่ลูโคซีนไปผ่านกระบวนการสังเคราะห์แบบง่าย (1 step) และไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งค่านี้เป็นตัวหนึ่งที่ยังชี้ว่ามีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีได้

#### 4.4 การนำเส้นใยนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปใช้ผสมในโพลีพรพิลีน

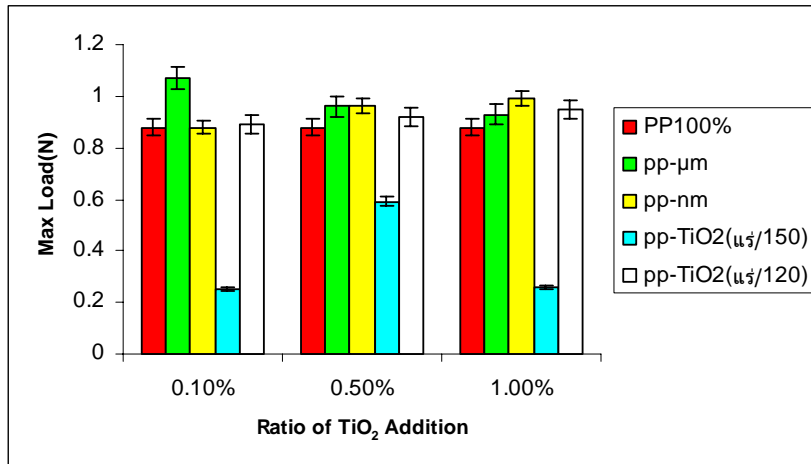
การเตรียมเส้นใยโพลีพรพิลีนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำได้โดยเริ่มจากการใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) ผสมพลาสติกโพลีพรพิลีนกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สัดส่วนต่างๆ จากนั้นนำโพลีพรพิลีนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เย็นตัวแล้ว ไปบดให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องบดพลาสติก จากนั้นจึงนำเม็ดที่ได้ไปขึ้นรูปให้เป็นเส้นใย และม้วนเก็บด้วยเครื่องอัดรีดเส้นใยขนาดเล็ก ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ลักษณะเส้นใยที่ได้จากการขึ้นรูป

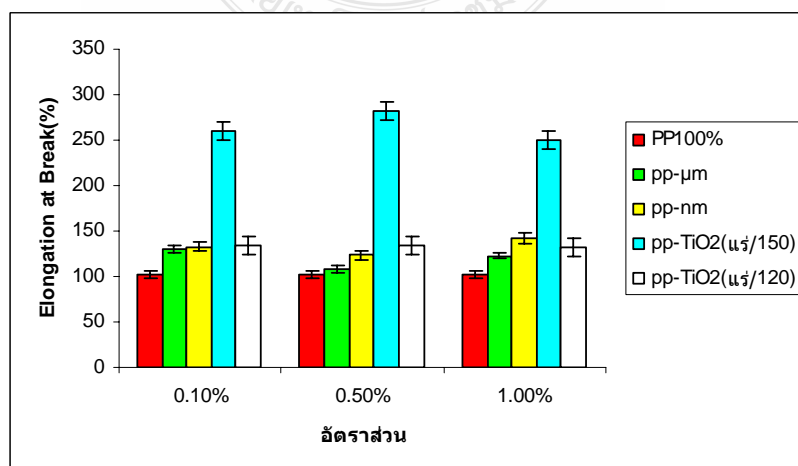
หลังจากได้เส้นใยดังรูปที่ 4.28 แล้ว นำเส้นใยไปเตรียมการทดสอบตามวิธีการทดสอบต่างๆ คือทดสอบแรงดึง (Tensile Tester) ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสารด้วยเครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสาร (Thermo Gravimetric Analysis: TGA)

#### 4.4.1 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง



รูปที่ 4.29 ค่าแรงที่ใช้สูงสุดในการดึงเส้นใย

จากรูปที่ 4.29 พบว่าการเติมอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) ขนาดไมโครเมตรและขนาดนาโนเมตรในเส้นใยโพลีโพรพิลีนไม่มีผลต่อการทนแรงดึง (Tensile Strength) มากนักแต่เพิ่มระยะยืด (Elongation) ของเส้นใย ดังรูปที่ 4.30 จากกราฟ เส้นสังเกตเห็นได้ว่าการเติมไททาเนียมไดออกไซด์ลงในเส้นใยโพลีโพรพิลีนทำให้ชิ้นงานมีระยะยืดที่สูงขึ้น โดยเฉพาะที่อัตราส่วน 1.0% ซึ่งการเติมไททาเนียมขนาดนาโนเมตรมีค่าที่สูงกว่าขนาดไมโครเมตร และแนวโน้มของการเติมไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรส่งผลให้เส้นใยมีระยะยืด ณ จุดขาดที่สูงกว่าการเติมอนุภาคขนาดไมโครเมตร แสดงให้เห็นว่าขนาดและปริมาณของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผสมลงไปมีผลต่อค่าระยะยืดของเส้นใยได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 4.30 ค่าระยะยืดของเส้นใย

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกรณีเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์นั้น พบว่าในการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นั้น จากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่าแรงที่ใช้ในการดึงเส้นใยนั้นไม่แตกต่างกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในตลาดมากนัก

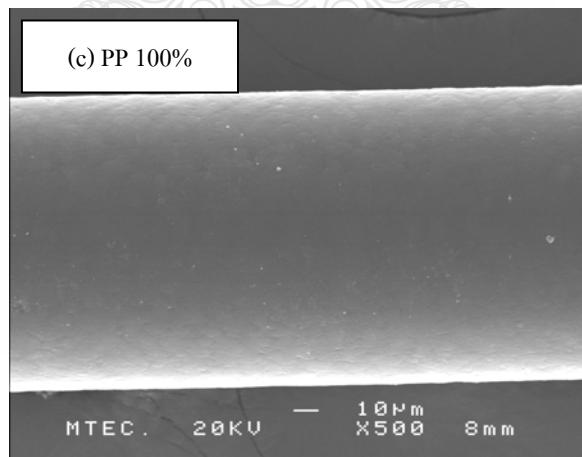
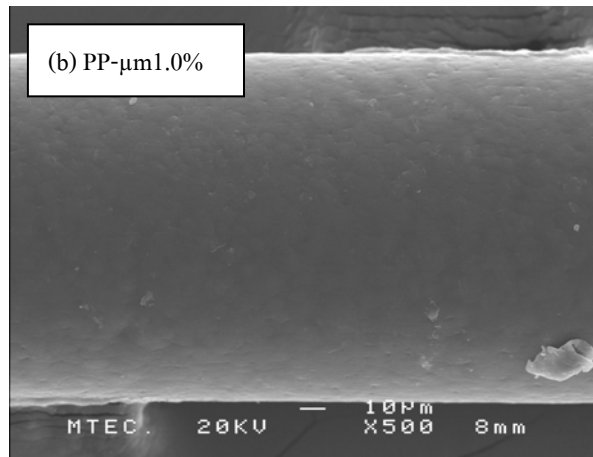
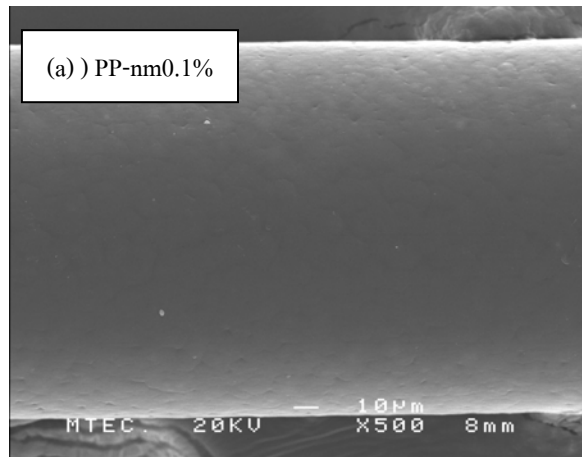
ในขณะที่ในการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นั้นจะพบว่าจากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่าแรงที่ใช้ในการดึงเส้นใยนั้นไม่แตกต่างกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในตลาดมากนักเช่นเดียวกัน แต่ก็สามารถส่งผลทำให้เส้นใยนั้นสามารถทนต่อแรงดึงได้มากกว่าที่เส้นใยที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นั้นมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นั้น ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับโพพิโพรพิลีนได้มากกว่า จึงทำให้สามารถรับแรงดึงได้มากกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการทดลองด้วยวิธี BET นั้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่า

#### 4.4.2 การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

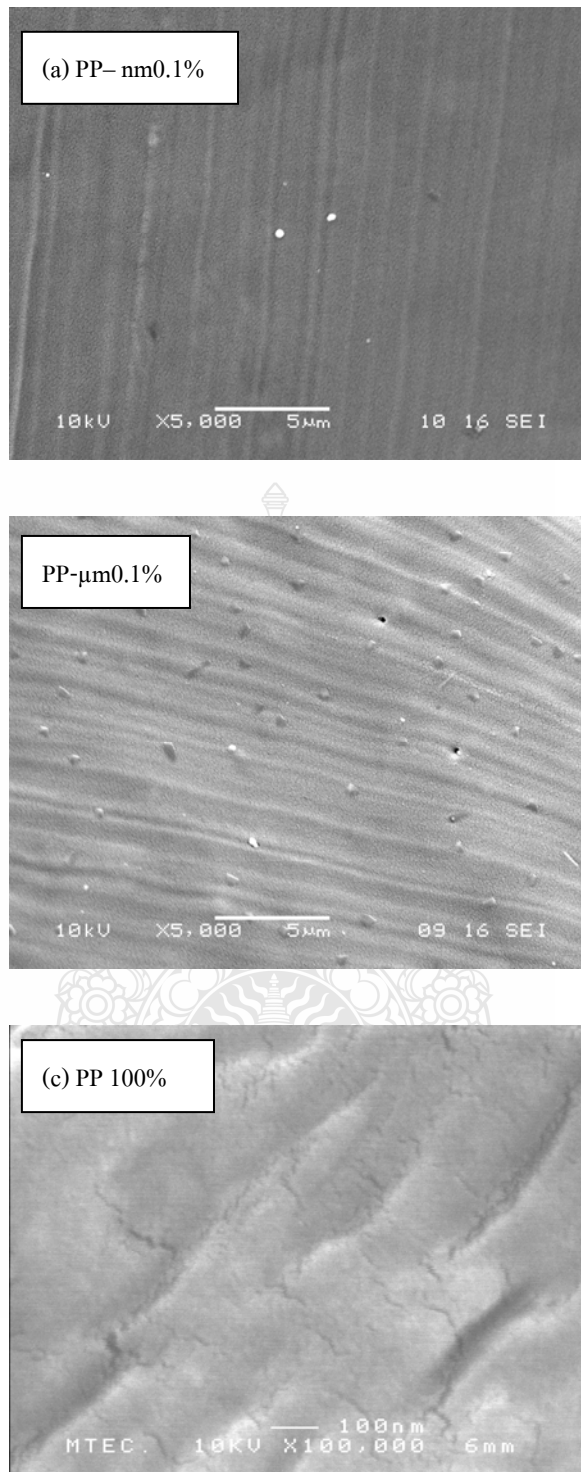
ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เส้นใยโพลีโพรพิลีนผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดอนุภาคไมครอนและนาโนเมตร ไม่สามารถส่องดูการกระจายตัวของอนุภาคได้ จึงไม่สามารถสังเกตการกระจายได้ แต่สามารถส่องดูลักษณะพื้นผิวภายนอกของเส้นใยได้ ซึ่งผิวของเส้นใยที่สังเกตได้จะมีลักษณะ ดังรูปที่ 4.31 และรูปที่ 4.32

จากรูปที่ 4.41 แสดงให้เห็นว่าไทเทเนียมที่ผิวของเส้นใยนั้นมีปริมาณที่น้อยมากทั้งขนาดไมโครเมตรที่แสดงดังรูปที่ 4.31 (a) และขนาดนาโนเมตรที่แสดงดังรูปที่ 4.31 (b) โดยเปรียบเทียบกับผิวของเส้นใยโพลีโพรพิลีน 100% ดังแสดง ดังรูปที่ 4.31 (c)





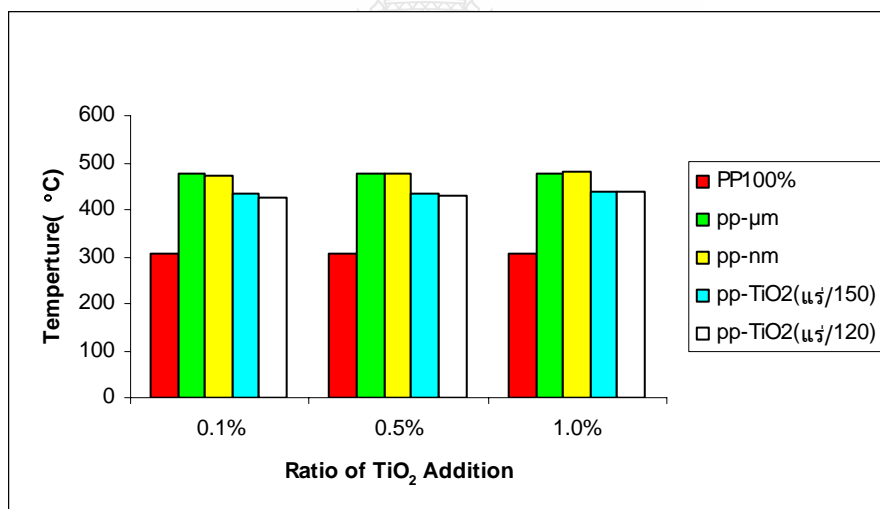
รูปที่ 4.31 ภาพ SEM ของผิวเส้นใยสูตรต่างๆ (a) PP-nm 0.1% [b] PP-µm 1.0% และ (c) PP100%  
ที่กำลังขยายขนาด 500 เท่า



รูปที่ 4.32 ภาพ SEM ของผิวภาคตัดขวางของสูตร (a) PP-nm 1.0% และ (b) PP-μm 0.1% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า และ (c) PP100% ที่กำลังขยายขนาด 100,000 เท่า

จากรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของไทเทเนียมไดออกไซด์นั้น การกระจายตัวของไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่เติมลงไปนั้น ในปริมาณ 1.0% ที่แสดงดังรูปที่ 4.32 (a) นั้น จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากกว่าขนาดนาโนเมตรที่เติมลงไปนั้น ในปริมาณ 1.0%เช่นกันที่แสดง ดังรูปที่ 4.32 (b) ที่จะเห็นว่าการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอเท่ากับขนาดไมโครเมตร โดยเปรียบเทียบกับผิวภาคตัดขวางของเส้นใยโพลิโพรพิลีน 100% ดังแสดง ดังรูปที่ 4.32 (c) ซึ่งการที่การกระจายตัวของไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่เติมลงไปนั้น ในปริมาณ 1.0% มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากกว่าขนาดนาโนเมตร ที่เติมลงไปเท่ากันนั้นก็อาจส่งผลทำให้สมบัติการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรนั้น สามารถทนต่อแรงดึงได้มากกว่าขนาดนาโนเมตรที่มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Sirirat Wacharawichanant [82] พบว่าขนาดของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) ที่ไม่ต่างกันมาก ไม่ส่งผลต่อค่าแรงดึงและค่า Elongation มากนัก

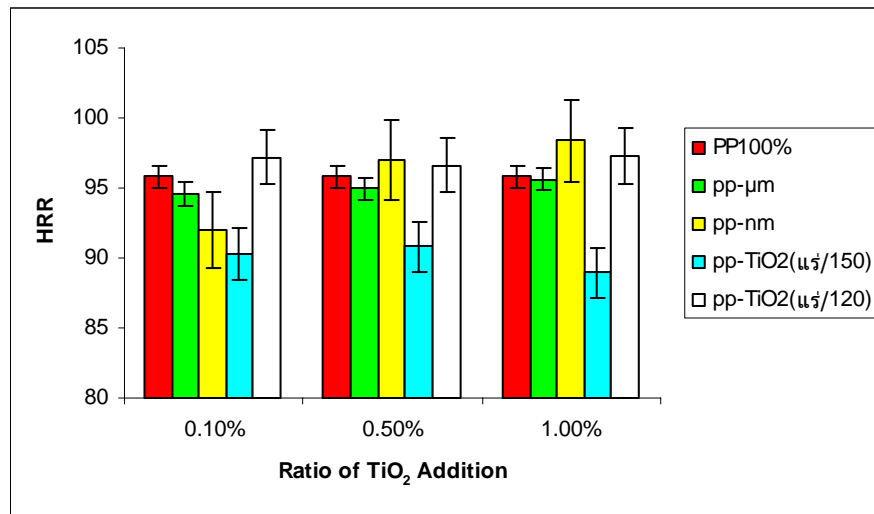
#### 4.4.3 การวิเคราะห์ทางความร้อนเชิงน้ำหนัก



รูปที่ 4.33 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใย PP (Degradation temperature, Td)

จากรูปที่ 4.33 แสดงให้เห็นได้ว่าการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในเส้นใยโพลิโพรพิลีนส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature, Td) หลังจากการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณ 0.1-1% ทั้งขนาดไมโครเมตรและขนาดนาโนเมตรส่งผลให้เพิ่ม Td มากกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นผลเนื่องมาจากไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมลงไป มีสมบัติที่ทนต่อความร้อนได้สูง [83] ส่งผลทำให้เส้นใยทนต่อความร้อนได้มากขึ้น

#### 4.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลบางประการของโพลิโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์และการเปรียบเทียบ

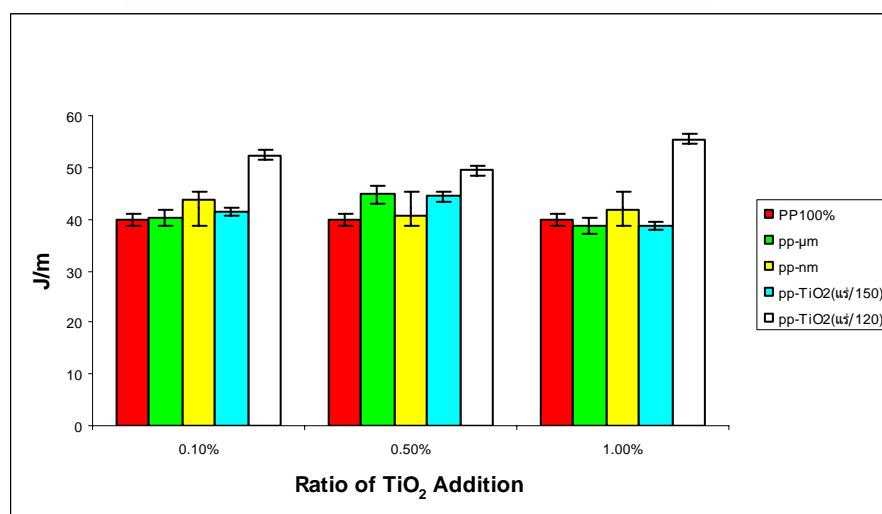


รูปที่ 4.34 ค่าความแข็งของโพลิโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ ตามมาตรฐาน ADTM D 785

การทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ADTM D 785 จากรูปที่ 4.34 เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์นั้น พบว่าไม่ส่งผลทำให้โพลิโพรพิลีน มีความแข็งที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับโพลิโพรพิลีน 100% พบว่า เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาดอนุภาคไมโครเมตรลงไปกลับทำให้มีแนวโน้มทำให้พลาสติกมีความแข็งน้อยลง ในขณะที่การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดอนุภาคนาโนเมตร กลับส่งผลทำให้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมลงไป การที่ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาดนาโนเมตรลงไป คาดว่าเนื่องมาจากไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรกระจายตัวแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของโพลิโพรพิลีน ทำให้ในการทดสอบหวัคจะสัมผัสกับเส้นใยที่แทรก และกระจายตัวอยู่ได้ดีกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาดนาโนเมตรที่มีอนุภาคใหญ่กว่าทำให้กระจายตัวไม่ดีกว่าขนาดนาโนเมตร ทำให้หวัคทะลุผ่านผิวชิ้นงานได้ยากจึงทำให้มีความแข็งขึ้น และเมื่อปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นประกอบกับการกระจายตัวของอนุภาคที่ดีก็ส่งผลทำให้เพิ่มหวัค มีโอกาสโดนอนุภาคที่เติมลงไปสูงขึ้นจึงส่งผลทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไป การที่ค่าความแข็งของโพลิโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโนลงไปเพียง 0.1% โดยน้ำหนักที่มีค่าความแข็งลดลงน้อยกว่าโพลิโพรพิลีน 100% นั้นคาดว่าสัดส่วนนี้ปริมาณอนุภาคยังไม่มากนักจึงทำให้หวัคมีโอกาสโดนอนุภาคจึงมีน้อยกว่า จากกราฟจะพบว่าความแข็งของโพลิโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร 0.1% โดยน้ำหนักมีค่าใกล้เคียงกับโพลิโพรพิลีน 100% มาก

จากการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นั้นเติมลงไปในโพลีโพรพิลีน ไม่ส่งผลทำให้โพลีโพรพิลีน ที่สมบัติที่แข็งขึ้น เมื่อเทียบกับโพลีโพรพิลีน 100% ที่ไม่ได้เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ลงไปเช่นเดียวกับการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่พบว่า เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ลงไปแล้ว ไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งของพลาสติกมากนักจากการทดสอบ ซึ่งถ้าเทียบกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ขายในตลาดนั้น ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาได้ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นั้นส่งผลต่อสมบัติความแข็งของโพลีโพรพิลีนได้ไม่แตกต่างกัน

#### 4.4.5 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

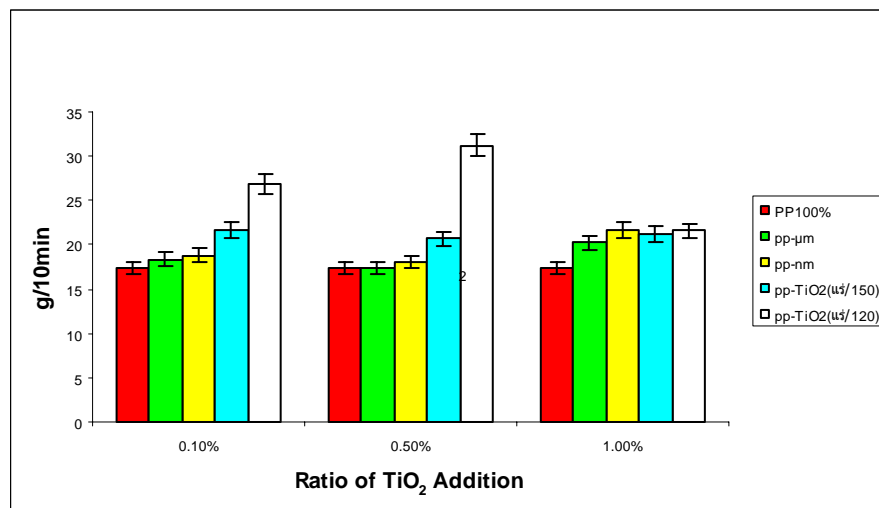


รูปที่ 4.35 ค่าทนต่อแรงกระแทกของโพลีโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.35 พบว่า การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้งขนาดอนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรลงไปในโพลีโพรพิลีนนั้น ไม่ส่งผลต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโพลีโพรพิลีนที่ไม่ให้เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งสัดส่วนที่ทำการทดลองนี้ ปริมาณอนุภาคยังไม่มากพอที่จะส่งผลทำให้สมบัติทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ประกอบกับโครงสร้างจุลภาคนั้นเป็นแบบก้อนกลม ทำให้ไม่ส่งผล โมเลกุลของโพลีโพรพิลีนไม่สามารถยึดเหนี่ยวกันได้ดี ในขณะที่การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นั้นก็ไม่ส่งผลต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกที่ไม่แตกต่างจากโพลีโพรพิลีน ที่ไม่ได้เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ และไม่ต่างจากการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาดนาโนเมตรที่มีขายตามท้องตลาดมากนัก แต่ในการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นั้น ส่งผลต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทก คือ สามารถทำให้โพลีโพรพิลีนทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้นกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขายในท้องตลาด ทั้งขนาดไมโครเมตร และขนาดนาโนเมตร และยังส่งผลทำให้สมบัติการทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่าการเติม

ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ซึ่งอาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าแต่มีความยาวของอนุภาคที่สั้นกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่ยาวกว่า ทำให้สามารถ กระจายตัวแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของโพลิโพรพิลีน ทำให้รับพลังงานได้ดีกว่า

#### 4.4.6 ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหล (MFI) ตามมาตรฐาน ASTM 1238



รูปที่ 4.36 ค่าดัชนีการไหลของโพลิโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.36 พบว่าค่าดัชนีการไหลของโพลิเมอร์ (MFI) ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปนั้น มีค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยที่การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์มีขนาดอนุภาคไมโครเมตรนั้น ไม่ส่งผลทำให้ค่า MFI เปลี่ยนไปเช่นเดียวกับการที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรลงไปโพลิโพรพิลีนก็ไม่ส่งผลกับค่า MFI มากนักเช่นเดียวกับ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์จากแร่ลูโคซีนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้นั้นส่งผลต่อค่า MFI คือทำให้ค่า MFI มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่าส่งผลให้ค่า MFI ไม่แตกต่างกับการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาดนาโนเมตรที่มีขายในท้องตลาดเช่นกัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนของไทยโดยทำการทดลองขยายขนาดการสังเคราะห์ประมาณ 20-30 เท่า ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร มาทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนที่มีอยู่ภายในประเทศมาทำการทดลองสังเคราะห์ ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เพื่อเตรียมวัสดุเส้นใยนาโนโดยใช้วัตถุดิบที่หาได้ในประเทศที่มีราคาศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น ขนาด รูปร่าง โครงสร้างผลึก พื้นที่ผิวจำเพาะ ฯลฯ ของวัสดุเส้นใยนาโนที่เตรียมได้ซึ่งได้ผลการทดลองโดยสรุปดังนี้

#### 5.1 เส้นใยนาโน

##### 5.1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เส้นใยนาโน

สภาวะในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมงจะให้ผลการสังเคราะห์ที่ดีที่สุด เนื่องจากแร่ละลายได้หมดได้ปริมาณเส้นใยที่มากกว่าและเส้นใยที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กขนาดนาโนเมตร

##### 5.1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

วัสดุนาโนที่เตรียมได้จากแร่ลูโคซีนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล พบว่ามีไททานเนียมไดออกไซด์ผสมอยู่ประมาณ 96.37wt% โดยมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีความยาวประมาณ 3-22 ไมโครเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12-58 นาโนเมตร เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส พบว่ามีเฟสหลักเป็นแบบไททานเนียมไดออกไซด์ (B) ซึ่งมีรูปแบบการเกิดผลึกเป็นแบบ monoclinic โดยเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะเริ่มเปลี่ยนเฟสจากไททานเนตไปเป็นไททานเนียมไดออกไซด์ (B) ซึ่งยังคงมีเฟสไททานเนตปะปนอยู่เล็กน้อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเส้นใยนาโนจะมีเฟสไททานเนียมไดออกไซด์ (B) มากขึ้นและเด่นชัดที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 600 - 700 องศาเซลเซียส จะเริ่มปรากฏเฟสอนาเทสปะปนอยู่กับเฟสไททานเนียมไดออกไซด์ (B)

เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส พบว่ามีเฟสหลักแบบอนาเทส (Anatase) (รูปแบบการเกิดผลึกเป็นแบบ tetragonal) โดยที่อุณหภูมิให้ความร้อนเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส จะมีฟิโคนาเทสที่มีค่าความเข้มสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส ซึ่งฟิคที่แสดงเฟสอนาเทสจะมีค่าความเข้มลดลงที่อุณหภูมิให้ความร้อนเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จะมีเฟสเป็นรูไทล์เพิ่ม

มาก เส้นใยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่ามีเฟสหลักแบบรูไทล์ (รูปแบบการเกิดผลึกเป็นแบบ tetragonal) มีลักษณะคล้าย Nanorod เป็นเพราะเส้นใยนาโนที่ได้เมื่อนำไปให้ความร้อนจะเกิดการหดตัวเกาะกลุ่มกันทำให้เส้นใยนาโนนี้จะเปลี่ยนลักษณะไปเป็นอนุภาค (เป็นทรงกลม) ทำให้มีพื้นที่สัมผัสสารได้น้อยลง

โดยวิธีนี้ทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นกว่า 50 เท่า (~50 ตร.ม./กรัม) เมื่อเทียบกับสารตั้งต้น (แร่ลูโคซีน~0 ตร.ม./กรัม) วิธีการเตรียมนี้เป็นวิธีการเตรียมที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากวัสดุราคาถูกภายในประเทศด้วยชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบและผลิตขึ้นโดยฝีมือคนไทย

## 5.2 ผลกระทบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้จากแร่ลูโคซีนในเส้นใย PP

### 5.2.1 การวิเคราะห์ทางความร้อนเชิงน้ำหนัก

การเติมเส้นใยนาโนที่เตรียมได้จากแร่ลงในเส้นใย PP ส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัว (Degradation Temperature, Td) หลังจากการเติมเส้นใยนาโนที่เตรียมได้ในปริมาณ 0.1-1% เพิ่ม Td มากกว่า 100°C

### 5.2.2 การทดสอบการทนต่อแรงดึง (ตามมาตรฐาน ASTM D 3822)

จากการทดสอบเส้นใย PP ที่มีเติมไททานเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ลงไปพบว่าแรงที่ใช้ในการดึงเส้นใยนั้นไม่แตกต่างกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่จำหน่ายในตลาดมากนัก แต่ส่งผลให้เพิ่มระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break)

### 5.2.3 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D 256

การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมจากแร่ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสนั้น สามารถทำให้ PP ทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้นกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขายในท้องตลาด ทั้งขนาดไมโครเมตรและขนาดนาโนเมตร

### 5.2.4 การทดสอบความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D 785

จากการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมจากแร่นั้นลงไป PP ไม่ส่งผลทำให้ PP มีสมบัติที่แข็งขึ้น

### 5.2.5 การทดสอบค่าดัชนีการไหล ตามมาตรฐาน ASTM D 1125

การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมจากแร่ พบว่าส่งผลให้ค่าดัชนีการไหล (MFI) ไม่แตกต่างกับการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาดนาโนเมตรที่มีขายในท้องตลาดเช่นกัน



### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองสังเคราะห์แร่ลูโคซีนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลได้เส้นใยนาโนที่มี พื้นที่ผิวจำเพาะสูง ควรมีการทดสอบสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง การวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM) เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของไทเทเนียม ไดออกไซด์ที่เติมลงไปในพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และตัวแปรอื่น ๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ เช่น เวลา ขนาดของแร่ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Y.V. Kolen'ko, V.D. Maximov, A.V. Grashev, P.E. Meskin, N.N. Oleynikov, B.R. Churagulov. "Hydrothermal synthesis of nanocrystalline and mesoporous titania from aqueous complex titanyl oxalate acid solutions." *J. Phys. Chem.* **388** (2004) 411-415.
- [2] A. Zaban, S.T. Aruna, S. Tirouh, B.A. Gregg, Y. Mastai. "The effect the preparation condition of TiO<sub>2</sub> colloids on their surface structure." *J. Phys. Chem.* **104**(2000) 4130-4133.
- [3] C. N. R. Rao, and M. Nath, Inorganic nanotubes, *Dalton Trans.*, **1** (2003) 1-24.
- [4] G. R. Patzke, F. Krumeich, and R. Nesper, Oxidic nanotubes and nanorods - anisotropic modules for a future nanotechnology, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **41** (2002) 2446-2461.
- [5] M. Huang, S. Mao, H. Feick, H. Yan, Y. Wu, H. Kind, E. Weber, R. Russo, and P. Yang, Room-temperature ultraviolet nanowire nanolasers, *Science*, **292** (2001) 1897-1899.
- [6] Z. W. Pan, Z. R. Dai, and Z. L. Wang, Nanobelts of semiconducting oxides, *Science*, **1** (2001) 1947-1949.
- [7] L. Miao, S. Tanemura, S. Toh, K. Kaneko, and M. Tanemura, Heating-sol-gel template process for the growth of TiO<sub>2</sub> nanorods with rutile and anatase structure, *Appl. Surf. Sci.*, **238** (2004) 175-179.
- [8] C. Xu, Y. Zhan, K. Hong, and G. Wang, Growth and mechanism of titania nanowires, *Solid State Commun.*, **126** (2003) 545-549.
- [9] B. Cheng, J. M. Russell, W. Shi, L. Zhang, and E. T. Samulski, Large-scale, solution-phase growth of single-crystalline SnO<sub>2</sub> nanorods, *J. Am. Chem. Soc.*, **126** (2004) 5972-5973.
- [10] S. Pavasupree, Y. Suzuki, A. Kitiyanan, S. Pivsa-Art, and S. Yoshikawa, Synthesis and characterization of vanadium oxides nanorods, *J. Solid State Chem.*, **178** (2005) 2152-2158.
- [11] M. Grätzel, Photoelectrochemical cells, *Nature*, **414** (2001) 338-344.
- [12] A. Fujishima, T. N. Rao and D. A. Tryk, Titanium dioxide photocatalysis, *J. Photochem. Photobiol. C:Photochem. Rev.*, **1** (2000) 1-21.
- [13] S. Ngamsinlapasathian, T. Sreethawong, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, Single- and double-layered mesoporous TiO<sub>2</sub>/P25 TiO<sub>2</sub> electrode for dye-sensitized solar cell, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **86** (2005) 269-282.

- [14] S. Pavasupree, Y. Suzuki, S. Pivsa-Art, and S. Yoshikawa, Preparation and characterization of mesoporous MO<sub>2</sub> (M=Ti, Ce, Zr, and Hf) nanopowders by a modified sol-gel method, *Ceram. Int.*, **31** (2005) 959-963.
- [15] S. Pavasupree, Y. Suzuki, S. Pivsa-Art, and S. Yoshikawa, Preparation and characterization of mesoporous TiO<sub>2</sub>-CeO<sub>2</sub> nanopowders respond to visible wavelength, *J. Solid State Chem.*, **178** (2005) 128-134.
- [16] T. Sreethawong, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, Synthesis, characterization, and photocatalytic activity for hydrogen evolution of nanocrystalline mesoporous titania prepared by surfactant-assisted templating sol-gel process, *J. Solid State Chem.*, **178** (2005) 329-338.
- [17] T. Kasuga, M. Hiramatsu, A. Hoson, T. Sekino, K. Niihara, Formation of titanium oxide nanotube, *Langmuir*, **14** (1998) 3160-3163.
- [18] T. Kasuga, M. Hiramatsu, A. Hoson, T. Sekino, K. Niihara, Titania nanotubes prepared by chemical processing, *Adv. Mater.*, **11** (1999) 1307-1311.
- [19] A. R. Armstrong, and G. Armstrong, J. Canales and P. G. Bruce, TiO<sub>2</sub>-B nanowires, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **43** (2004) 2286-2288.
- [20] Y. Suzuki and S. Yoshikawa, Synthesis and thermal analyses of TiO<sub>2</sub>-derived nanotubes prepared by the hydrothermal method, *J. Mater. Res.*, **19** (2004) 982-985.
- [21] Y. Suzuki, S. Pavasupree, S. Yoshikawa and R. Kawahata, Natural rutile-derived titanate nanofibers prepared by direct hydrothermal processing, *J. Mater. Res.*, **20** (2005) 1063-1070.
- [22] Y. Suzuki, S. Pavasupree, S. Yoshikawa and R. Kawahata, Novel route to anatase TiO<sub>2</sub> from natural source: direct hydrothermal process for nanofiber/nanoparticles composite powder, in contribution.
- [23] R. Yoshida, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, Effects of synthetic conditions and heat treatment on the structure of partially ion-exchanged titanate nanotubes, *Mater. Chem. Phys.*, **91** (2005) 409-416.
- [24] R. Yoshida, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, Synthesis of TiO<sub>2</sub>(B) nanowires and TiO<sub>2</sub> anatase nanowires by hydrothermal and post-heat treatments, *J. Solid State Chem.*, **178** (2005) 2179-2185.
- [25] S. Pavasupree, Y. Suzuki, S. Yoshikawa and R. Kawahata, Synthesis of titanate, TiO<sub>2</sub> (B), and anatase TiO<sub>2</sub> nanofibers from natural rutile sand, *J. Solid State Chem.*, **178** (2005) 3110-3116.

- [26] Y. X. Zhang, G. H. Li, Y. X. Jin, Y. Zhang, J. Zhang, and L. D. Zhang, Hydrothermal synthesis and photoluminescence of TiO<sub>2</sub> nanowires, *Chem. Phys. Lett.*, **365** (2002) 300-304.
- [27] Z. -Y. Yuan, and B. -L. Su, Titanium oxide nanotubes, nanofibers and nanowires, *Colloids and Surf. A*, **241** (2004)173-183.
- [28] H. Y. Zhu, Y. Lan, X. P. Gao, S. P. Ringer, Z. F. Zheng, D. Y. Song, and J. C. Zhao, Phase transition between nanostructures of titanate and titanium dioxides via simple wet-chemical reactions, *J. Am. Chem. Soc.*, **127** (2005) 6730-6736.
- [29] Q. Chen, G.H. Du, S. Zhang and L.M. Peng, The structure of trititanate nanotubes, *Acta Crystallogr. B*, **58** (2002) 587–593.
- [30] O. Carp, C. L. Huisman and A. Reller, Photoinduced reactivity of titanium dioxide, *Prog. Solid State Chem.*, **32** (2004) 33-117.
- [31] Y. Suzuki, S. Pavasupree, S. Yoshikawa and R. Kawahata. “Conventional processes to prepare fine TiO<sub>2</sub> powders.” Phys. Stat. sol, Institute of Advanced Energy, University of Kyoto. 2007.
- [32] J. Jitputti, S. Pavasupree, S. Yoshikawa and Y. Susumu “ Synthesis and photocatalytic activity for water-splitting reaction of nanocrystalline mesoporous titania prepared by hydrothermal method.” Solid State. Che., **180** (2007) 1743-1749.
- [33] J. Jitputti, S. Pavasupree, S. Yoshikawa and Y. Susumu “ Synthesis of TiO<sub>2</sub> nanotubes and photocatalytic activity for H<sub>2</sub> evolution.” Phys. Chem. **47** (2008) 751-756.
- [34] J. Jitputti, T. Rattavoravipa, S. Chuangchote, S. Pavasupree, S. Yoshikawa and Y. Susumu “ Low temperature hydrothermal synthesis of monodispersed flower-like titanate nanosheets” Catal. Commun. 2008.
- [35] <http://www.mete.metu.Edu.Tr/.../faculty/ctas.Orig/lab/dybatio3.htm>
- [36] <http://www.mesaplus.utwente.nl/.../nano.doc/nano-1.ipg>
- [37] <http://www.nanotect.or.th>
- [38] ศูนย์เทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ “เอกสารประกอบการเรียนรู้หลักสูตรวัสดุนาโน”
- [39] S. Pavasupree, Y. Suzuki, S. Yoshikawa and R. Kawahata, Synthesis of titanate, TiO<sub>2</sub> (B), and anatase TiO<sub>2</sub> nanofibers from natural rutile sand, *J. Solid State Chem.*, **20**(2005) 1063.
- [40] ยอดหทัย เทพธรานนท์, และประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์.”นาโนเทคโนโลยีซูเปอร์จิว.” กรุงเทพฯ. 2545.
- [41] [http://www.noknoi.com/magazine/pics/pic\\_no\\_1475\\_1\\_16489.jpg](http://www.noknoi.com/magazine/pics/pic_no_1475_1_16489.jpg)

- [42] [http:// www.ims.vanderbilt.edu/.../image002.jpg](http://www.ims.vanderbilt.edu/.../image002.jpg)
- [43] <http://www.stherb-nano-breast-serum.com>.
- [44] <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Nanofiberm>
- [45] P. Guay, B. L. Stansfield and A. Rochefort, *On the Control of Carbon Nanostructures for Hydrogen Storage Applications*, Carbon 42 (2004), 2187-2193
- [46] <http://www.nanoarchitecture.net/images/580.jpg>
- [47] E. Wu, K.C. Chen and J.D. Mackenzie, in : Better Ceramics Through Chemistry, Materials Research Society Symp. Proc., Vol.32, ed. C.J. Brinker, D.E. Clark and D.R. Ulrich (North-Holland, Amsterdam, 1984 ) p. 169.
- [48] [www.rmutphysics.com/charud/oldnews/67/index67.htm](http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/67/index67.htm)
- [49] สิริชัย ภีบาลจอมมี.” การกำจัดสีของน้ำเสียสีข้อมด้วยกระบวนการโฟโตแคตาลิติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไททานเนียมไดออกไซด์.” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2543. หน้า 15.
- [50] CERAM Reserch Ltd. “Titanium Dioxide-Titania (TiO<sub>2</sub> ).” [Online]
- [51] สุกัญญา สารทูลทัต, วรณิกา หงส์โต, และวารภรณ์ นันทพันธ์. “ การศึกษาผลของปริมาณและขนาดอนุภาคที่มีผลของไททานเนียมไดออกไซด์ต่อการบดบั้งแสงของป่ายโฆษณาที่ผลิตจากโพลีเมทิลครีเลต.” ปรินญาณิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2549.
- [52] ตะวัน สุขน้อย. “การสังเคราะห์และการศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของซีโอไลต์ที่มีไททานเนียมเป็นองค์ประกอบ.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2543 ,หน้า 2.
- [53] <http://www.indiamart.com/.../gifs/titaniumdioxide.jpg>
- [54] O. Carp, C.L.Huisman,A.Reller,Prog. Solid State Chem.,32.2004.33-177.
- [55] <http://www.vnci.nl/.../default.asp?pagina=8&year=200>
- [56] <http://www.mindaf.org>
- [57] <http://www.tiwest.com.au>
- [58] [http:// www.kmml.com](http://www.kmml.com).
- [59] Y. Ding, and X.L. Wang.”Structure analysis of nanowires and nanobelts by transmission electron microscopy.” J. Phys. Chem. B. 2004.
- [60] Y.Xia, P. Yang, Y. Sun, Y. Wu, Mayers, B. Gates, Y.Yin, F.Kim, H. Yan.”One-dimensional nanostructures : sythesis, characterization, and application.” Adv. Mater. 2003.

- [61] J. -H. Yoon, S. -R. Jang, R. Vittal, J. Lee, and K. -J. Kim, TiO<sub>2</sub> nanorods as additive to TiO<sub>2</sub> film for improvement in the performance of dye-sensitized solar cells, *J. Photochem. Photobio. A: Chem.*, (2005).
- [62] J. -J. Wu, and C. -C. Yu, Aligned TiO<sub>2</sub> nanorods and nanowalls, *J. Phys. Chem. B*, **108** (2004) 3377-3379.
- [63] X. P. Gao, Y. Lan, H. Y. Zhu, J. W. Liu, Y. P. Ge, F. Wu, and D. Y. Song, Electrochemical performance of anatase nanotubes converted from protonated titanate hydrate nanotubes, *Electrochem. Solid State Lett.*, **8** (2005) A26-A29.
- [64] Y. Suzuki, S. Pavasupree, S. Yoshikawa and R. Kawahata, Natural Rutile-Derived Titanate Nanofibers Prepared by Direct Hydrothermal Processing, *J. Mater. Res.*, **20** (2005) 1063-1070.
- [65] H.-J. Muhr, F. Krumeich, U. P. SchÖnholzer, F. Bieri, M. Niederberger, L. J. Gauckler, and R. Nesper, Vanadium oxide nanotubes - A new flexible vanadate nanophase, *Adv. Mater.*, **12** (2000) 231-234.
- [66] B. Cheng, J.M. Russell, W. Shi, L. Zhang and E.T. Samulski, Large-scale, solution-phase growth of single-crystalline SnO<sub>2</sub> nanorods, *J. Am. Chem. Soc.*, **126** (2004) 5972-5973.
- [67] C. Tang, Y. Bando, and T. Sato, Oxide-assisted catalytic growth of MgO nanowires with uniform diameter distribution, *J. Phys. Chem. B*, **106** (2002) 7449-7452.
- [68] X. Jiang, Y. Wang, T. Herricks, and Y. Xia, Ethylene glycol-mediated synthesis of metal oxide nanowires, *J. Mater. Chem.*, **14** (2004) 695-703.
- [69] K. Lee, W. Seok Seo, and J. T. Park, Synthesis and optical properties of colloidal tungsten oxide nanorods, *J. Am. Chem. Soc.*, **125** (2003) 3408-3409.
- [70] C. Shao, H. Guan, Y. Liu, J. Gong, N. Yu, and X. Yang, A novel method for making ZrO<sub>2</sub> nano fibres via an electrospinning technique, *J. Cryst. Growth*, **267** (2004) 380 -384.
- [71] A. Vantomme, Z. -Y. Yuan, G. Du, and B. -L. Su, Surfactant-assisted large-scale preparation of crystalline CeO<sub>2</sub> nanorods, *Langmuir*, **21** (2005) 1132-1135
- [72] P. Gao, and Z. L. Wang, Self-assembled nanowire-nanoribbon junction arrays of ZnO, *J. Phys. Chem. B*, **106** (2002) 12653-12658
- [73] J.L. Rehspringer, P. Poix, J.C. Bernier, Synthesis of glass "precursor" BaO,TiO<sub>2</sub> .nH<sub>2</sub>O by gel processing, *J. Non. Cryst. Solids*, 1986, 82, 286-292.
- P.P. Phule, S. H. Risbud, Low temperature synthesis and dielectric properties of ceramics derived from amorphous barium titanate, *Adv. Ceram-Mater.*, 1988, 3, 183-185.

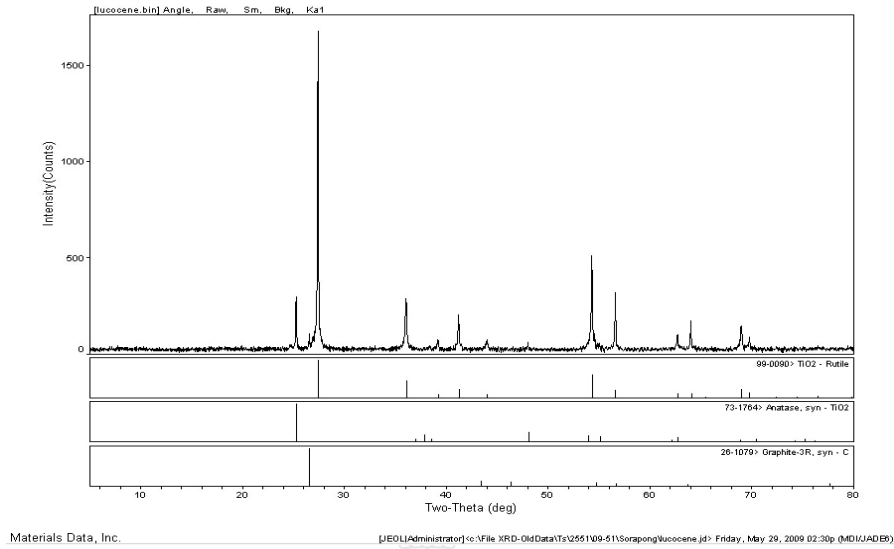
- [74] F. Chaput, J.pP. Builot, Alkoxide-hydroxide route to syntheltize BaTiO<sub>3</sub> – based powders, *J. Am. Ceram. Soc.*, 1990, 73, 942-948.
- [75] A. Mosset, I. Gauteur-Lunean, J. Galy, P. Streholw, H. Schmidt., Sol-gel proceesed BaTiO<sub>3</sub> : Structural evolution from the gel to the crystalline powder, *J. Non. Cryst. Solids*, 1988, 100, 339-344.
- [76] J.P. Grammayico, J. M. Porto Lopez, *J. Mat. Sci, Material in Electronics*, 1992, 3, 82-86.
- [77] S. Phanichpant, T. Tunkasin, P. Yhavornyutikarn, G. Rujijanukul, P. Youme. “Preparation of Barium Titanate Powders by Sol-Gel Method”, proceedings of the International Conference on Materials Technology : Recent Developments and Future Potential, 1997, pp. 242-248.
- [78] C. –C. Tsai and H. Teng, Regulation of the physical characteristics of titania nanotube aggregates synthesized from hydrothermal treatment, *Chem. Mater.*, **16** (2004) 4352-4358.
- [79] [http://www.kiehls.com/img/products/524\\_L.jpg](http://www.kiehls.com/img/products/524_L.jpg)
- [80] <http://www.rubylane.com/shops/modestparisienne/ilist/,id=0.html>
- [81] <http://www.worldsbestoil.ca/amsoil/EaAM-Motorcycle-Air-Filters.php>
- [82] Sirirat Wacharawichanant, Supakanok Thongyai, Tanakorn Siripattanasak and Tunya Tipsri “Effect of Mixing Conditions and Morphological Properties of Polypropylene/Titanium Dioxide Composites” *Iranian Polymer Journal* 18(8), (2009) 607-616.
- [83] นิรมล ชินเมฆากุล การเตรียมและหาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์สังยุค.วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ หน้า 75

**ภาคผนวก ก**  
**ผลการทดสอบ**

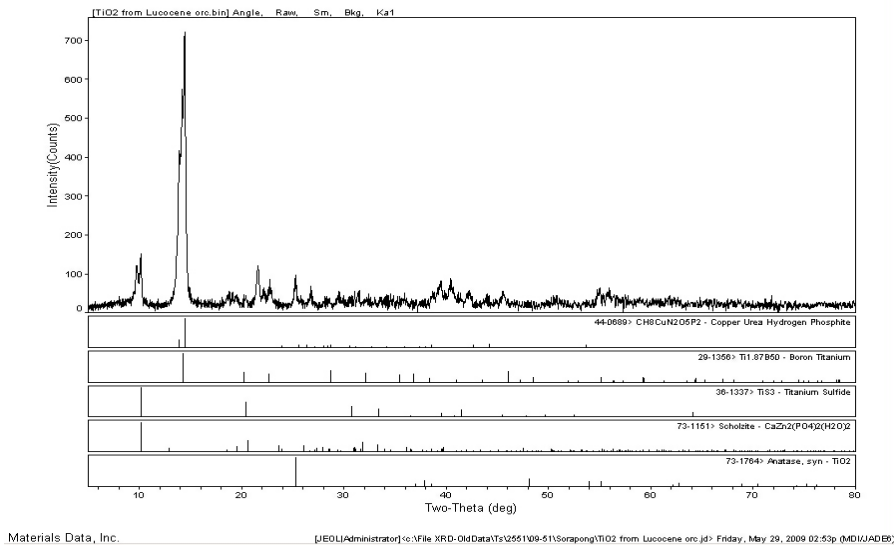




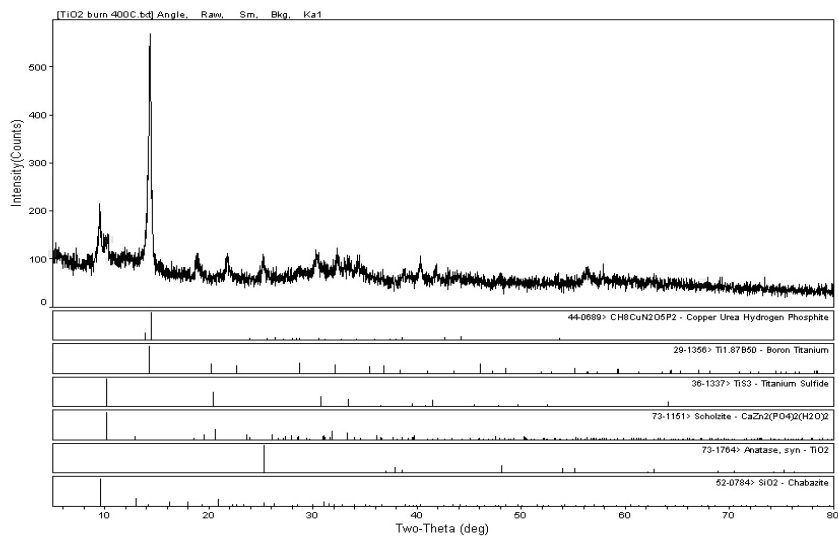
การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD เส้นใยไททานเนตที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 150°C และนำเส้นใยที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400-1,000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ ก.1 ผล XRD ของ แร่ลูโคซีน

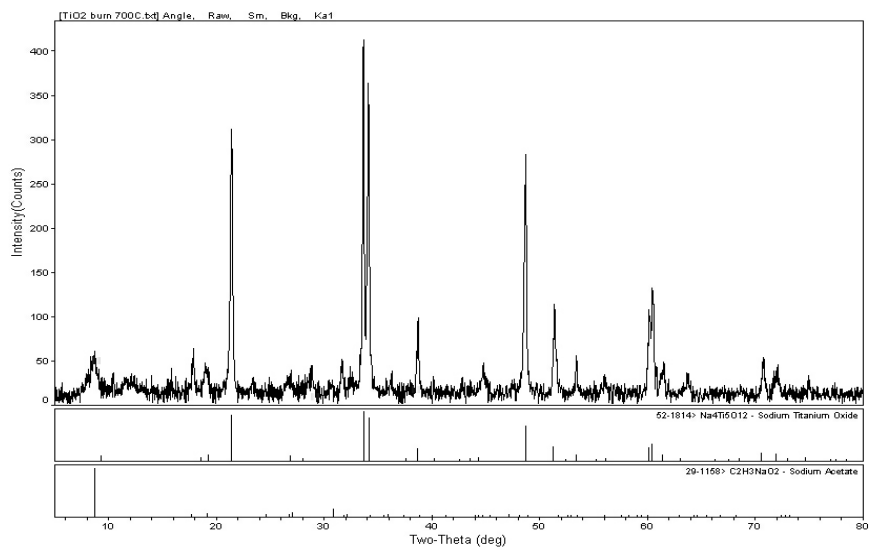


รูปที่ ก.2 ผล XRD ของ As-synthesized ที่อุณหภูมิ 150°C



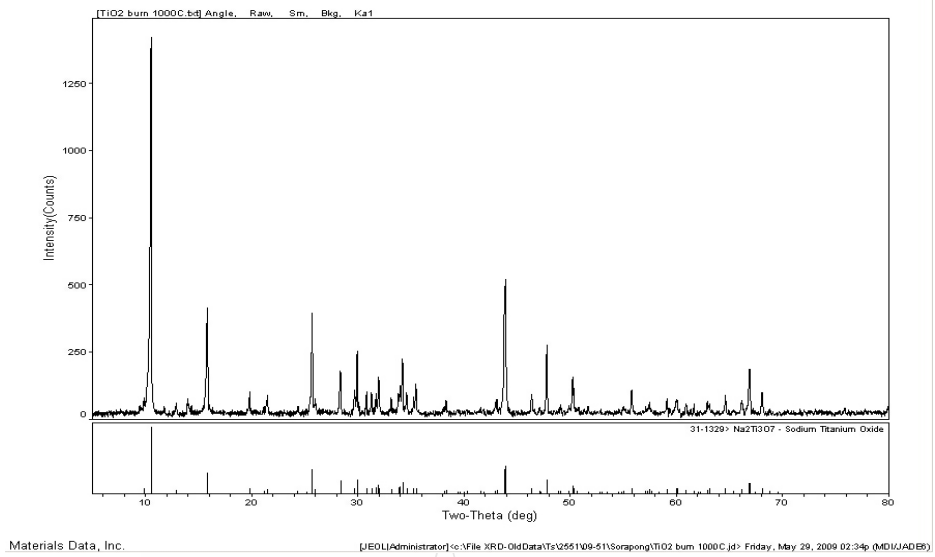
Materials Data, Inc. [JEOLAdministrator] c:\File XRD-OldData\Ts\2551\09-51\Sorapong\TiO2 bum 400 C.jd> Friday, May 29, 2009 02:57p (MDI\JADEB)

รูปที่ ก.3 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400°C

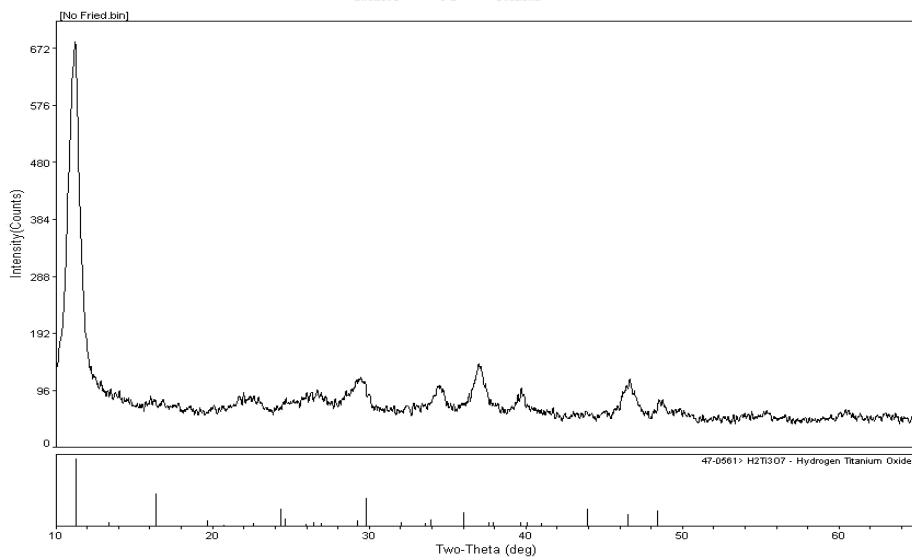


Materials Data, Inc. [JEOLAdministrator] c:\File XRD-OldData\Ts\2551\09-51\Sorapong\TiO2 bum 700 C.jd> Friday, May 29, 2009 02:34p (MDI\JADEB)

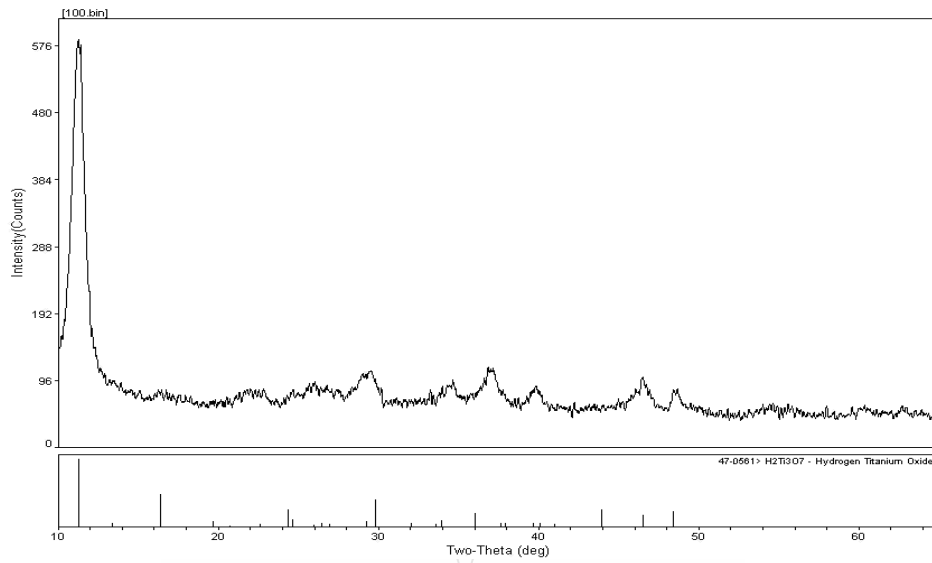
รูปที่ ก.4 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700°C



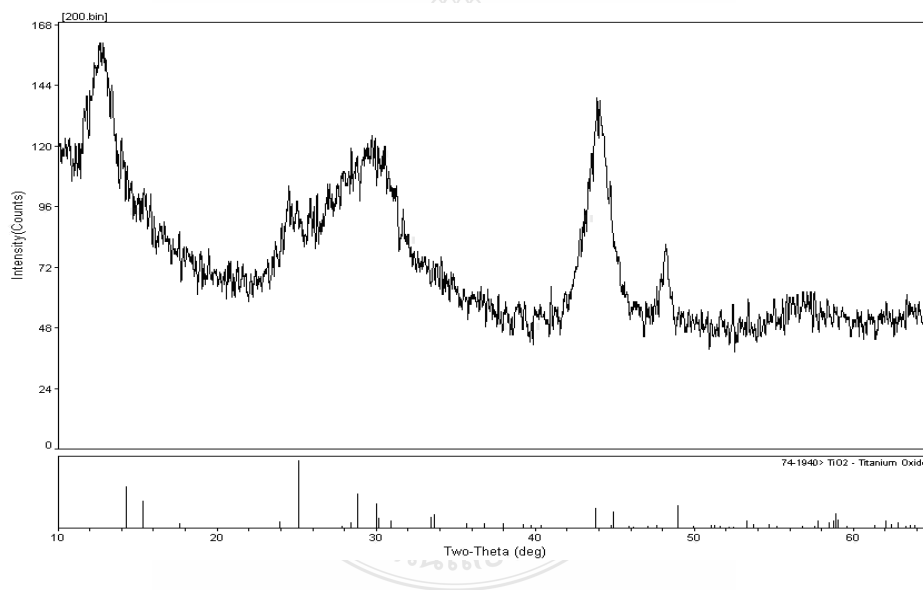
รูปที่ ก.5 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000°C การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD เส้นใยไททานเนตที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 120°C และนำเส้นใยที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-1,000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



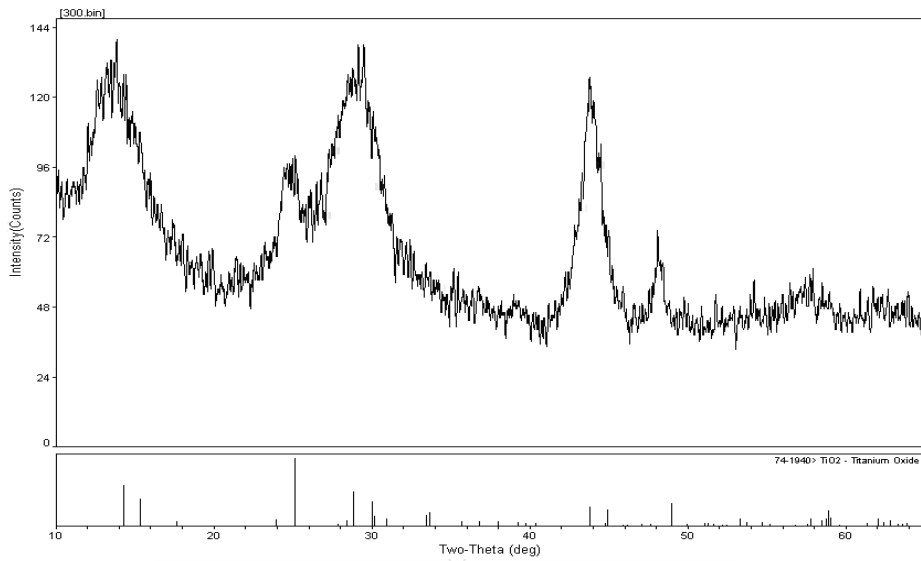
รูปที่ ก.5 ผล XRD ที่ As-synthesized ที่อุณหภูมิ 150°C



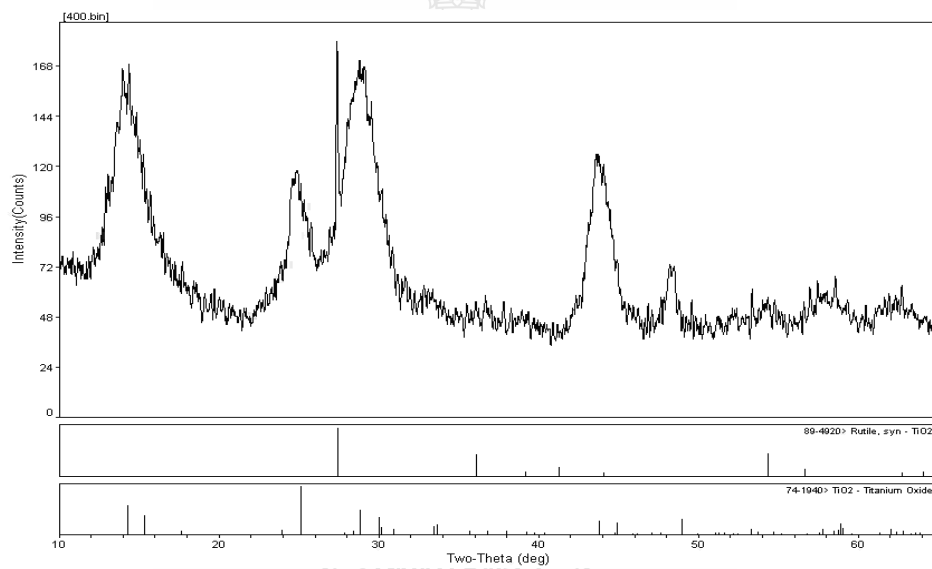
รูปที่ ก.6 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C



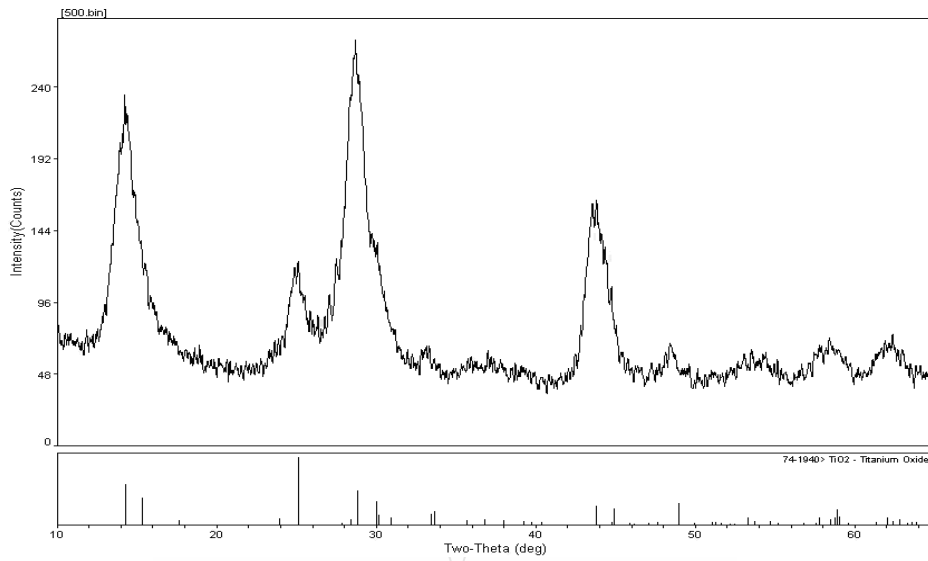
รูปที่ ก.7 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200°C



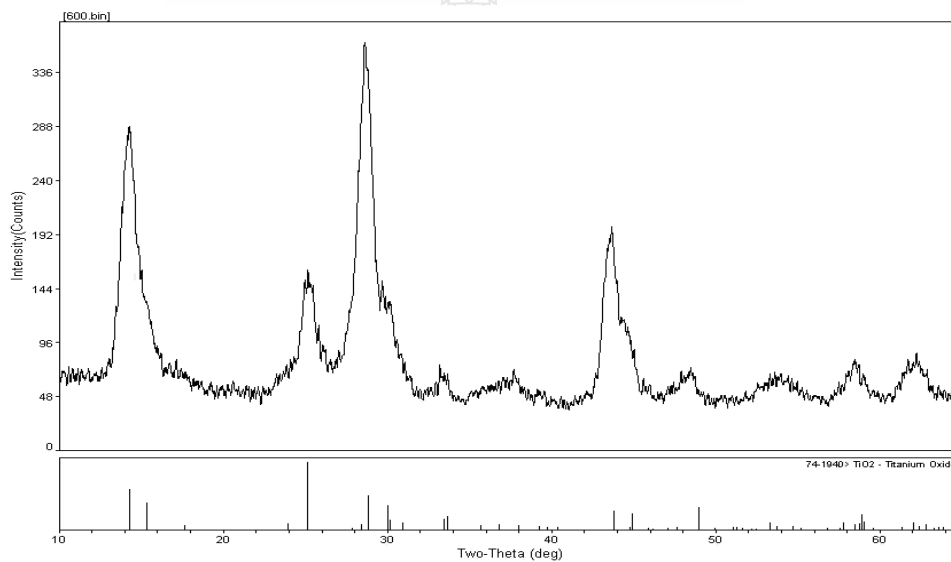
รูปที่ ก.8 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300°C



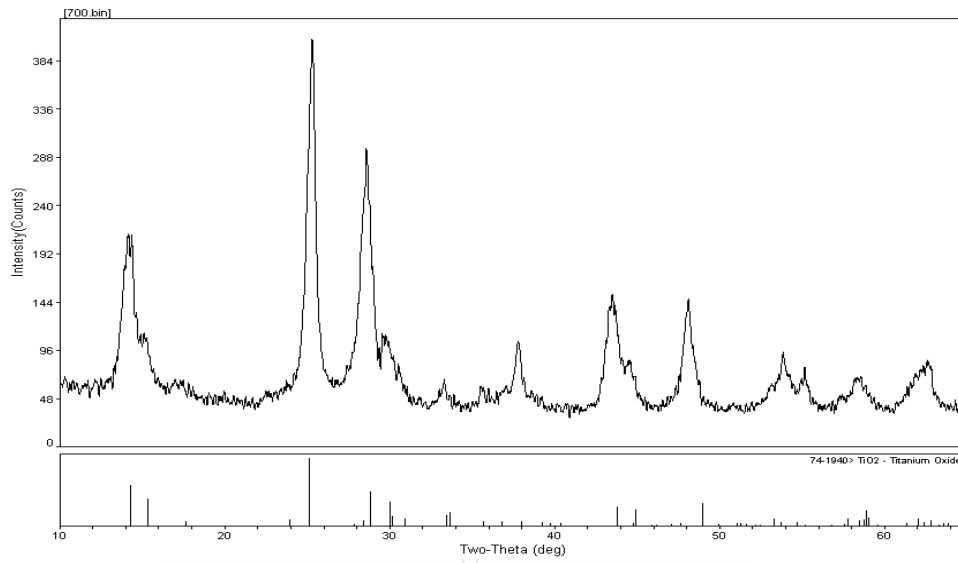
รูปที่ ก.9 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400°C



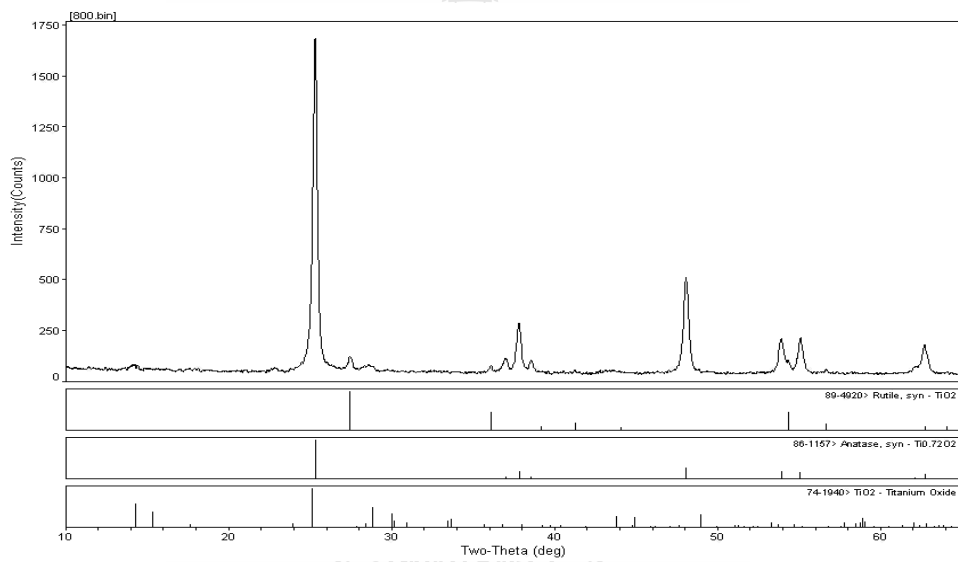
รูปที่ ก.10 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C



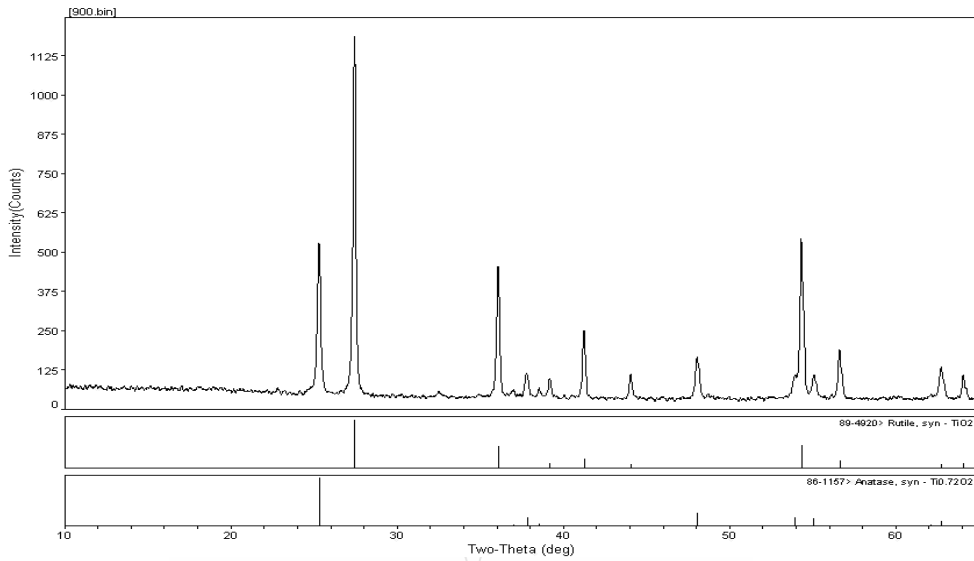
รูปที่ ก.11 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600°C



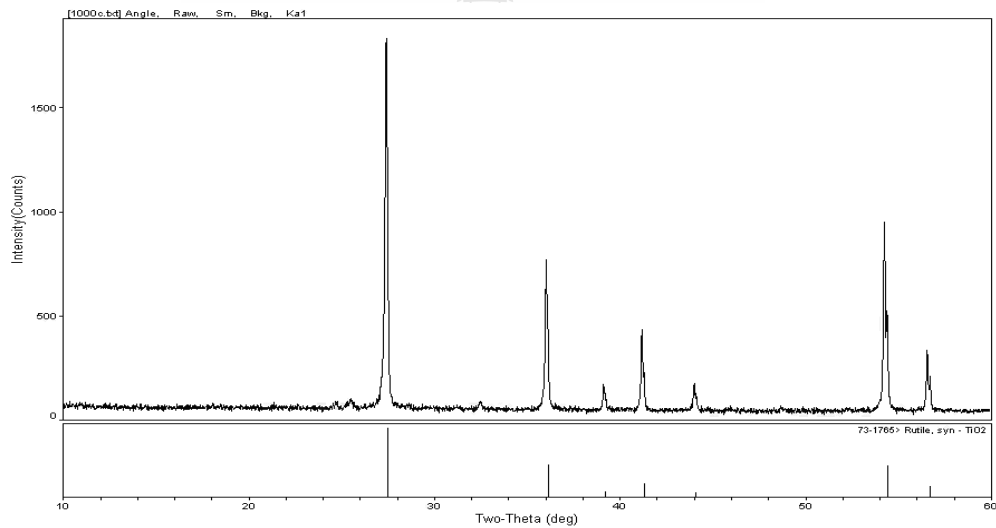
รูปที่ ก.12 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนดที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700°C



รูปที่ ก.13 ผล XRD ของเส้นใยไททานเนดที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800°C



รูปที่ ก.14 ผล XRD ของเส้นใยโพรพาทนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 900°C



รูปที่ ก.15 ผล XRD ของเส้นใยโพรพาทนตที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000°C

ตารางที่ ก. 1 ค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ย (Max Load (N)) ตามมาตรฐาน ASTM D ของเส้นใยPPที่เติม  
ด้วยTiO<sub>2</sub>

	PP100%	pp- $\mu\text{m}$	pp-nm	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/150)	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/120)
0.10%	0.88	1.07	0.88	0.25	0.89
0.50%	0.88	0.96	0.96	0.59	0.92
1.00%	0.88	0.93	0.99	0.26	0.95



ตารางที่ ก. 2 ค่าการยืดตัวเฉลี่ย (Elongation at Break)ตามมาตรฐาน ASTM D ของเส้นใยPPที่เติมด้วยTiO<sub>2</sub>

	PP100%	pp- $\mu\text{m}$	pp-nm	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/150)	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/120)
0.10%	101.66	130.37	132.38	259.16	133.63
0.50%	101.66	108.09	123.70	282.35	134.40
1.00%	101.66	122.92	141.78	250.92	132.50

ตารางที่ ก. 3 ค่าการสลายตัวต่อความร้อน Degredation temperature (Td) ของเส้นใยPPที่เติมด้วยTiO<sub>2</sub>

	PP100%	pp- $\mu\text{m}$	pp-nm	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/150)	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/120)
0.10%	305	476	472	435	425
0.50%	305	478	475	435	431
1.00%	305	475	479	440	437

ตารางที่ ก. 4 ค่าความแข็งเฉลี่ย (Hardness)ตามมาตรฐาน ASTM D PPที่เติมด้วยTiO<sub>2</sub>

	PP100%	pp- $\mu\text{m}$	pp-nm	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/150)	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/120)
0.10%	95.79	94.57	92.00	90.30	97.20
0.50%	95.79	94.96	97.00	90.80	96.60
1.00%	95.79	95.60	98.40	88.95	97.30

ตารางที่ ก. 5 ค่าการทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ย (J/m)ตามมาตรฐาน ASTM D PPที่เติมด้วยTiO<sub>2</sub>

	PP100%	pp- $\mu\text{m}$	pp-nm	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/150)	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/120)
0.10%	39.80	40.31	43.90	41.37	52.38
0.50%	39.80	44.71	40.50	44.40	49.50
1.00%	39.80	38.71	41.71	38.56	55.50

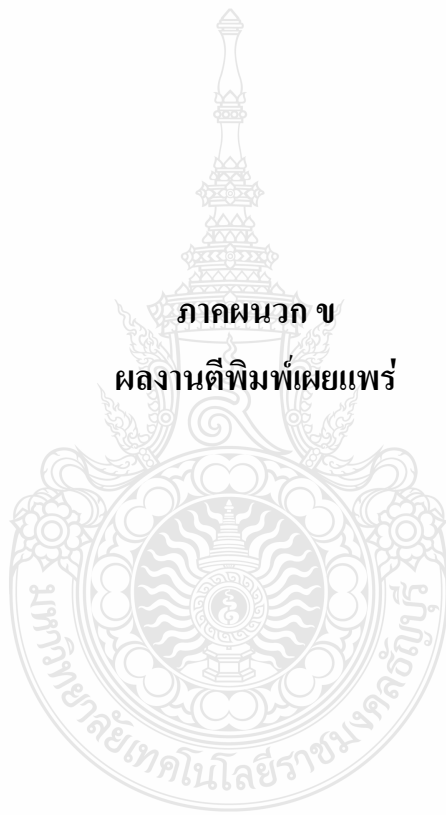
ตารางที่ ก. 6 ค่าดัชนีการไหลเฉลี่ย (MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D 1238 ของPPที่เติมด้วยTiO<sub>2</sub>

	PP100%	pp- $\mu\text{m}$	pp-nm	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/150)	pp-TiO <sub>2</sub> (แร่/120)
0.10%	17.36	18.36	18.82	21.70	26.85
0.50%	17.36	17.44	18.08	20.68	31.20
1.00%	17.36	20.30	21.70	21.22	21.60

ตารางที่ ก.7 ปริมาณออกไซด์ในตัวอย่าง

ธาตุ	ปริมาณธาตุในตัวอย่าง (%wt)		
	แร่ลูโคซีน	เส้นใยที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 120°C	เส้นใยที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 150 °C
Na <sub>2</sub> O	N/D	<0.01	<0.01
MgO	<0.01	<0.01	N/D
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.61	N/D	<0.01
SiO <sub>2</sub>	1.45	0.17	0.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	N/D	<0.01
SO <sub>3</sub>	0.06	0.06	<0.01
Cl	<0.01	0.05	<0.01
K <sub>2</sub> O	<0.01	<0.01	N/D
CaO	0.09	0.08	0.08
TiO <sub>2</sub>	92.34	96.93	72.25
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.01	N/D	<0.01
MnO	<0.01	<0.01	N/D
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.39	2.26	0.72
ZnO	N/D	N/D	N/D
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.01	N/D	N/D
ZrO <sub>2</sub>	0.57	0.28	0.03
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.35	0.17	0.24
SnO <sub>2</sub>	0.08	N/D	N/D
CeO	N/D	N/D	N/D
NdO	N/D	N/D	N/D
PbO	N/D	N/D	N/D
ThO <sub>2</sub>	N/D	N/D	N/D
<b>Total</b>	100.00	100.00	100.00

**ภาคผนวก ข**  
**ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่**





คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



Department of Industrial Engineering  
Faculty of Engineering, Prince of Songkla University



รวมบทความย่อ

# IE Network Conference 2008

20-22 October 2008 S.P. Samita Beach Hotel & Resort, Songkhla

สนับสนุนโดย



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2551

Operations Research		
1	ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2	ผศ.ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3	ผศ.ดร.มานพ เรียวเดชะ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4	ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5	ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6	รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8	อ.ดร.สิริง ปรีชานนท์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9	ดร.ชัชพันธ์ ขำญาติ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
10	ผศ.ดร.दनัยพงศ์ เชษฐโชติศักดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
11	ผศ.ดร.ศรีสวัสดิ์ ทรัพย์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
12	ผศ.ดร.ศิรินทร์ สุขโต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
13	รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
14	รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
15	ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
16	ผศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
17	ผศ.ดร.อภิชาติ โสภามาแดง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
18	ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
19	ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศน์เกียรติ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
20	รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลียงไพบูลย์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
21	ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
22	ผศ.ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
23	ดร.จักรวาล คุณะดีลัก	มหาวิทยาลัยบูรพา
24	ดร.ฤฎวัลย์ จันทรสา	มหาวิทยาลัยบูรพา
25	ผศ.ดร.บรรหาญ ลีลา	มหาวิทยาลัยบูรพา
26	รศ.ดร.ดวงพรรณณ ศฤงคารินทร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
27	ดร.พิษณุ มนัสปิติ	มหาวิทยาลัยรังสิต
28	ดร.รัญชนา สินธวาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
29	ผศ.ยอดดวง พันธน์รา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
30	ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
31	ผศ.ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
32	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

33	ผศ.ดร.อรุณ สังข์พงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
34	รศ.วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
35	รศ.สมชาย ชูโณม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
36	รศ.ดร.สัณหชัย กลิ่นพิกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
37	อ.สุริยา จิรสติตสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
38	ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
39	ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเขาวน	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
40	รศ.ดร.อรุณกร เก่งพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
41	รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Operations Management		
42	ผศ.ประเสริฐ อัครประถมพงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
43	ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
44	ผศ.ดร.นภัสรวงศ์ โอสภศิลป์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
45	ผศ.ดร.ประมวล สุธีจรัสวัฒน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
46	ผศ.ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
47	ผศ.ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
48	ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
49	ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
50	รศ.ดร.ปารเมศ ชุตินา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
51	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
52	อ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
53	อ.ดร.สิริง ปรีชานนท์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
54	ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
55	ดร.นันทชัย กานดำนันทะ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
56	ดร.สุวิษภรณ์ วิชกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
57	ดร.รภัชน้อย อัครรุ่งเรืองกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
58	ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
59	ผศ.ดร.ดนัยพงศ์ เชษฐโชติศักดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
60	ผศ.ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
61	ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
62	ผศ.ดร.ศรีสวัสดิ์ ทรัพย์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
63	ผศ.ดร.ศศิรินทร์ สุขโต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
64	รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
65	รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
66	ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

67	ผศ.ดร.วิชัย ฉัตรทิพย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
68	ผศ.ดร.อภิชาติ โสภางค์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
69	ผศ.ดร.อรุณพล สมุทรคุปต์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
70	รศ.ดร.นิวิทย์ เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
71	ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
72	ดร.ระพี กาญจนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
73	ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
74	ผศ.ดร.อนันต์ วงศ์กระจ่าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
75	ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
76	ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศน์กร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
77	ผศ.ดร.สวัสดิ์ ภาระราช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
78	ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
79	ผศ.ดร.ศุภราชชัย วรรัตน์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
80	ผศ.ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
81	ดร.จักรวาล คุณะดิลก	มหาวิทยาลัยบูรพา
82	ดร.ฤทธิวัลย์ จันทร์สา	มหาวิทยาลัยบูรพา
83	ผศ.ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ	มหาวิทยาลัยบูรพา
84	ผศ.ดร.บรรหาญ ลีลา	มหาวิทยาลัยบูรพา
85	รศ.เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา
86	ดร.พิษณุ มั่นสปีติ	มหาวิทยาลัยรังสิต
87	ผศ.ดร.ธนวรรณ อัครไพบูลย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
88	อ.ศิลปชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต
89	ผศ.วันชัย ลีลากรวิวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
90	ดร.รัชชานา สินธวาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
91	ผศ.คำรณ พิทักษ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
92	ผศ.ยอดดวง พันธุ์นรา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
93	ผศ.สงวน ไพธิธรรม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
94	ผศ.เจริญ เจตวิจิตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
95	ผศ.ดร.ชเนศ รัตนิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
96	ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
97	ผศ.ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
98	ผศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
99	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
100	รศ.สมชาย ชูโณม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
101	รศ.ดร.สันต์ชัย กลิ่นพิกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
102	อ.สุริยา จิรสถิตสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
103	ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
104	ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

105	ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ้มนรรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
106	ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
107	ดร.วิทยา สุฤทธดำรง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
108	รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
109	รศ.ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<b>Safety Management, Work Study, Ergonomics</b>		
110	รศ.ดร.จิตรา รุกิจการพานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
111	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
112	อ.ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
113	ดร.รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
114	ผศ.ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
115	ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
116	ผศ.ดร.ศิรินทร์ สุธโต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
117	รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
118	ดร.ระพี กาญจนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
119	ผศ.ดร.พรศิริ จงกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
120	ผศ.นริศ เจริญพร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
121	ผศ.ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ	มหาวิทยาลัยบูรพา
122	รศ.เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา
123	ดร.เชียรไชย จิตต์แจ่ม	มหาวิทยาลัยมหิดล
124	ผศ.ดร.ธนวรรณ อศวไพบูลย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
125	อ.ศิลาชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต
126	อ.สมพร พรหมดวง	มหาวิทยาลัยรังสิต
127	ผศ.วันชัย สีสากวิวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
128	ผศ.คำรณ พิทักษ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
129	ผศ.เจริญ เจตวิจิตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
130	ผศ.ดร.อรุณ สังข์พงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
131	รศ.วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
132	ผศ.ดร.นลิน เพ็ชรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
133	ผศ.ดร.ยงยุทธ์ พฤษชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
134	รศ.ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<b>Quality Management</b>		
135	ผศ.ประเสริฐ อัครประถมพงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
136	ผศ.ดร.นภััสวงศ์ โอสดีศิลป์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



137	ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
138	รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
139	รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
140	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
141	อ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
142	ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
143	รศ.ดร.พรเทพ ขอบฉายเกียรติ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
144	ผศ.ดร.อภิชาติ โสภางค์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
145	รศ.ดร.นิวิธ เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
146	ดร.ระพี กาญจนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
147	ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ชัยเอียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
148	ผศ.ดร.บรรพต ลีลา	มหาวิทยาลัยบูรพา
149	รศ.เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ	มหาวิทยาลัยบูรพา
150	ผศ.ศุภชัย นาทะพันธ์	มหาวิทยาลัยมหิดล
151	ดร.พิษณุ มนัสปิติ	มหาวิทยาลัยรังสิต
152	ผศ.วันชัย สีสากวิวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
153	ดร.วิญชนา สินธวาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
154	ผศ.ดำรงณ พิทักษ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
155	ผศ.เสน่ห์ ธัญชาติลักษณ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
156	ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
157	ผศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
158	ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
159	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
160	รศ.ดร.สันต์ชัย กลิ่นพิกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
161	ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
162	ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
163	ผศ.ดร.รงยุทธิ์ พุกษชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
164	รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
165	รศ.ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<b>Energy Management</b>		
166	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
167	ผศ.ดร.ศิรินทร์ สุโขโต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
168	รศ.ดร.นิวิธ เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
169	ดร.แจลล์ม โพธิ์แดง	มหาวิทยาลัยมหิดล
170	อ.ศิลปชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต
171	ผศ.สงวน โพธิธรรม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

172	รศ.วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
173	อ.สุรียา จิรสติตสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
174	ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
175	ผศ.ดร.ยงยุทธ์ พุกภษชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Environmental Management		
176	รศ.ดร.จิตรา ฐักิจการพานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
177	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
178	รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
179	ดร.แจ่มใส โพธิ์แดง	มหาวิทยาลัยมหิดล
180	อ.ศิลปชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต
181	ผศ.วันชัย สีสากวิวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
182	ดร.ประกาศ เมืองจันทร์บุรี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
183	ผศ.ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
184	ผศ.ดร.อรุณ สังข์พงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
185	ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
186	ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
187	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
188	รศ.วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
189	ผศ.ดร.ยงยุทธ์ พุกภษชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Manufacturing Engineering		
190	ผศ.ดร.ประมวล สุธีจารุวัฒน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
191	ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
192	ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
193	รศ.ดร.จิตรา ฐักิจการพานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
194	รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
195	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
196	อ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิดเจริญ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
197	อ.ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
198	ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
199	ผศ.ดร.อรรถพล สมุทรคุปต์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
200	ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
201	ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
202	ผศ.ดร.อนันต์ วงศ์กระจำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
203	ผศ.ดร.ยงยุทธ์ เสริมสุธีอนุวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

204	ดร.จิรวรรณ คล้อยภยันต์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
205	ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
206	อ.สินี สุขกรมใส	มหาวิทยาลัยรังสิต
207	ผศ.วันชัย ลีลากวีวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
208	ผศ.สุวัฒน์ เณรโก	มหาวิทยาลัยศิลปากร
209	ดร.ประกาศ เมืองจันทร์บุรี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
210	ผศ.บุญเรือง มานะสุการ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
211	ผศ.พีจิตร พิศสุวรรณ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
212	ผศ.พิเชฐ ตระการชัยศิริ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
213	ผศ.เสน่ห์ รัชฎาดาลักษณ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
214	ผศ.ดร.ชเนศ รัตนิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
215	ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
216	ผศ.ดร.สุภาพรพรรณ ไชยประพัทธ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
217	ผศ.ดร.องุ่น สังข์พงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
218	ผศ.ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
219	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
220	รศ.วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
221	รศ.สมชาย ชูโนม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
222	อ.สุรียา จิรสติสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
223	ดร.จริยากรณ์ เสาร์ทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
224	ผศ.ดร.สุขอังกณา ลี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
225	ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
226	รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
227	รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Others that related to IE		
228	ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
229	รศ.จิรพัฒน์ เกาประเสริฐวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
230	รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
231	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
232	ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
233	ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
234	ผศ.ดร.ศศิรินทร์ สุขโต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
235	รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
236	ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
237	ผศ.ดร.อภิชาติ โสภาแดง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
238	ผศ.ดร.อรรถพล สมุทรคุปต์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239	ผศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
240	รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
241	ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ษะฐียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
242	ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
243	ดร.พิษณุ มนัสปิติ	มหาวิทยาลัยรังสิต
244	อ.ศิลาชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต
245	อ.สินี สุขกรมใส	มหาวิทยาลัยรังสิต
246	ดร.รัฐชนา สินขวาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
247	ผศ.พีเชษฐ ตระการชัยศิริ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
248	ผศ.เสน่ห์ รัชฎาดาลักษณ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
249	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
250	รศ.วนิดา รัตน์มณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
251	อ.สุรียา จิรสถิตสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
252	ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
253	ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



การศึกษาผลกระทบของไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรและ  
ขนาดนาโนเมตรในเส้นใยโพลีโพรพิลีนที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง  
การต่อต้านแบคทีเรียและสมบัติทางความร้อน

**Effect Of Micro/Nano Titanium Dioxide Addition In Polypropylene Fibers On  
Tensile, Anti-Bacterial, And Thermal Properties**

มณฑิยรัชย์ กลั่นบุบผา กิตติพงษ์ กิมะพงศ์\* สรพงษ์ ภาสุปรีย์\*\*

\* ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: e20aqm@hotmail.com, sorapongp@yahoo.com\*

\*\* ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Montienchai klanboobpha Kittipong Kimapong\* Sorapong Pavasupree\*\*

\* Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong6 Thanyaburi, Pathumthani, 12110

E-mail: e20aqm@hotmail.com, sorapongp@yahoo.com

\*\* Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong6 Thanyaburi, Pathumthani, 12110

**บทคัดย่อ**

บทความนี้รายงานผลการศึกษานำไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่มีขนาดไมโครเมตร( $\mu\text{m}$ )และนาโนเมตร( $\text{nm}$ ) มาเป็นส่วนผสมในเส้นใยโพลีโพรพิลีน(PP)เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาพัฒนาการเติมอนุภาคนาโนในเส้นใยสังเคราะห์โดยทำการผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )อัตราส่วน 0.1%, 0.5% และ 1.0% ในเส้นใยโพลีโพรพิลีนเพื่อศึกษาสมบัติทางด้านการทนต่อแรงดึง และการทนต่อแบคทีเรีย รวมทั้งยังได้ทดสอบสมบัติทางความร้อนบางประการ โดยเปรียบเทียบกับเส้นใยโพลีโพรพิลีนบริสุทธิ์ ผลที่ได้คือ การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในเส้นใยโพลีโพรพิลีนนั้น โดยขนาดไมโครเมตรที่เติมลงไปปริมาณ 1.0% มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากกว่าขนาดนาโนเมตร การเติม  $\text{TiO}_2$  ขนาด  $\mu\text{m}$  และขนาด  $\text{nm}$  ในเส้นใย PP ไม่ส่งผลต่อการทนแรงดึง (Tensile strength) มากนักแต่เพิ่มระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ของเส้นใย เส้นใยที่ได้ไม่สามารถต่อต้านเชื้อแบคทีเรียได้

(*Escherichia coli*, ตามมาตรฐาน ATCC 25922 และ *Staphylococcus aureus*, ตามมาตรฐาน ATCC 6538) อุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature, Td) หลังจากการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณ 0.1-1% ทั้งขนาดไมโครเมตรและขนาดนาโนเมตรส่งผลให้เพิ่ม Td มากกว่า 100 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )

**คำหลัก** ไทเทเนียมไดออกไซด์, เส้นใยโพลีโพรพิลีน, การต่อต้านแบคทีเรีย, สมบัติทางความร้อน

**Abstract**

The aim of this report is to study on the effect of micro/nano titanium dioxide addition in polypropylene fibers on tensile, anti-bacterial, and thermal properties for development of the functional fibers. The compositions of  $\text{TiO}_2$  addition in PP are 0.1%, 0.5%, and 1%. Tensile strength of  $\mu\text{m}/\text{nm}$   $\text{TiO}_2$  addition fibers did not effect so much due to the small amount of  $\text{TiO}_2$  addition. Elongation at break of



the prepared fibers increased when the amount  $TiO_2$  addition was increased. The prepared PP/  $TiO_2$  addition fibers could not effect to anti-bacterial properties by using *Escherichia coli* (ATCC 25922 standard) and *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538 standard). Significantly, the small amount of  $\mu m/nm$   $TiO_2$  addition (0.1-1%) in PP could increased the degradation temperature ( $T_d$ ) of the prepared materials more than  $100^\circ C$ .

**Keywords:** Titanium dioxide, Polypropylene fiber, Bacterial resistance

## 1. บทนำ

การเติมอนุภาคของวัสดุเข้าไปในเมทริกซ์เป็นเทคนิคที่เปลี่ยนคุณสมบัติของวัสดุที่มีมานาน นับตั้งแต่การพัฒนากระบวนการสังเคราะห์วัสดุ อย่างไรก็ตามอนุภาคของวัสดุที่เติมมักมีขนาดใหญ่กว่าขนาดโนเมตร การผลิตวัสดุนาโนในระดับอุตสาหกรรมเกิดขึ้นจากการผลิตคาร์บอนแบล็คในต้นศตวรรษที่ 20 และต่อมาเป็นการผลิตผงซิลิกาในช่วง ค.ศ. 1940

จนกระทั่งครั้งหลังของศตวรรษที่ 20 ที่ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของวัสดุขนาดเล็กมาก ได้รับการพัฒนา และสามารถนำไปปรับปรุงสมบัติของวัสดุอย่างกว้างขวางระหว่างปีค.ศ. 1960, 1970 และต้นของปี 1980 ได้มีการขยายบริษัทหลายชาติในการผลิตวัสดุนาโนอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาค.ศ. 1900-2000) ได้มีการผลิตวัสดุนาโนอย่างจริงจัง[1]

มีการคาดคะเนตลาดของนาโนเทคโนโลยี ในปี ค.ศ. 2010 เป็นจำนวน 11 พันล้านดอลลาร์ โดยมีการเติบโตของวัสดุนาโนจาก 490 ล้านดอลลาร์ในปี ค.ศ. 2003 เป็น 900 ล้านดอลลาร์ในปี ค.ศ. 2005 และเป็น 11 พันล้านดอลลาร์ในปี ค.ศ. 2010 [2]

Thayer [3] ได้รายงานการคาดคะเนถึงการเติบโตของตลาดวัสดุนาโนในประเทศสหรัฐอเมริกาว่ามีการขยายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงปี ค.ศ. 2002-2020

อย่างไรก็ตามยังมีแนวคิดว่าการเติมอนุภาคไมโครเมตรเข้าไปในโพลิเมอร์ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจมากในขณะนี้ โดยการการใช้สารเติมแต่งในโพลิเมอร์มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติ ให้เหมาะสมกับการใช้

งานและความต้องการของตลาดมากขึ้น[4] โดยการเติมกลุ่มของสารประเภทออกไซด์ของโลหะที่มีอนุภาคนาโน เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $TiO_2$ ) ซิลเวอร์ออกไซด์ (AgO) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)[5,6] ในการวิจัยจึงได้ทำการศึกษาผลของการเติมอนุภาคขนาดไมโครเมตรและนาโนเมตรในเส้นใยสังเคราะห์โพลิโพรพิลีน ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่มีความนิยมในการผลิตสิ่งทอในปัจจุบัน ซึ่งคาดว่าการทำงานของสารประกอบประเภทออกไซด์ของโลหะเมื่อมีอนุภาคนาโนเมตร จะมีสมบัติในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งสารเหล่านี้มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalytic) สามารถป้องกันรังสียูวี รวมถึงการกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นเหม็น สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง เช่น *Staphylococcus Aureus*, *Pneumococcus*, *Escherita Coli* ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดสิว ฝี การติดเชื้อที่บาดแผล[7] โดยงานวิจัยนี้ได้หาอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ผสมกับโพลิโพรพิลีน (PP) เกรดเส้นใย เพื่อศึกษาผลของขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันของไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคขนาดไมโครเมตรและนาโนเมตรที่ผสมลงในโพลิโพรพิลีนเกรดเส้นใยต่อสมบัติทางด้านทนต่อแรงดึง สมบัติทางความร้อน และการต่อต้านแบคทีเรีย (*Escherichia coli*, ตามมาตรฐาน ATCC 25922 และ *Staphylococcus aureus*, ตามมาตรฐาน ATCC 6538)

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองคือ  
-ไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคไมโครเมตร จากบริษัทแอลดริช (Aldrich) Titanium (II) oxide, -325 mesh 99.9%  
-ไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโนเมตร จากบริษัท นิปปอน เอโรซอล (Nippon Aerosol) เกรด AP 25 (Degussa P-25 A mixture of crystalline anatase 80% and rutile 20% phase  
-โพลิโพรพิลีนโฮโมโพลิเมอร์เกรดเส้นใย จากบริษัท เอชเอ็มซี โพลิเมอร์ (HMC Polymer Co.,Ltd) เกรด HP561R Polypropylene Homopolymer Resin for Spunbond Fiber



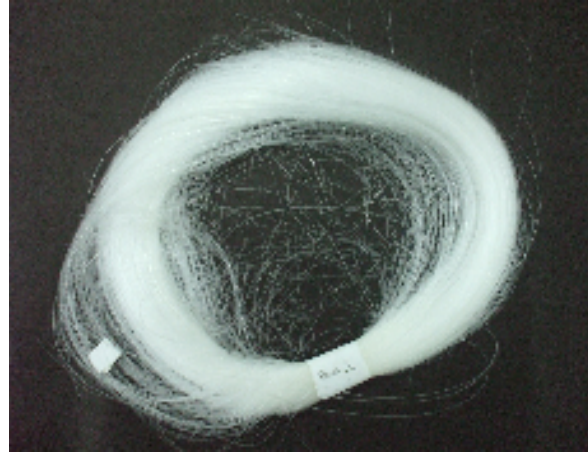
## 2.2 การเตรียมเส้นใยโพลีพรพิลีน

การเตรียมเส้นใยโพลีพรพิลีนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำได้โดยเริ่มจากการใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) ทำการผสมพลาสติกโพลีพรพิลีนกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สัดส่วนต่างๆดังตารางที่ 1 โดยสภาวะที่ใช้ในการผสมคืออุณหภูมิ 180 °C ความเร็วใบกวน 40 rpm เวลาที่ใช้ในการผสม 8 min

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนการคอมปาวด์ของโพลีพรพิลีนเกรดเส้นใยกับไทเทเนียมไดออกไซด์

Batch	PP (%)	Micron TiO <sub>2</sub> (%)	Nano TiO <sub>2</sub> (%)
PP100%	100	-	-
PP- $\mu$ m0.1%	100	0.1	-
PP- $\mu$ m0.5%	100	0.5	-
PP- $\mu$ m1.0%	100	1.0	-
PP-nm0.1%	100	-	0.1
PP-nm0.5%	100	-	0.5
PP-nm1.0%	100	-	1.0

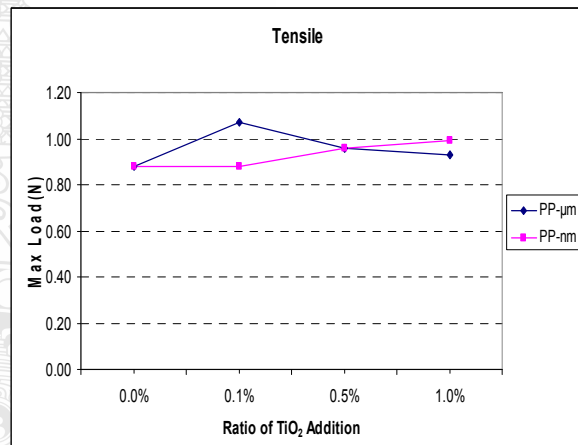
จากนั้นนำโพลีพรพิลีนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เป็นตัวแล้วไปบดให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องบดพลาสติก จากนั้นจึงนำเม็ดที่ได้ไปขึ้นรูปให้เป็นเส้นใยตั้งรูปที่ 1 และม้วนเก็บด้วยเครื่องอัดรีดเส้นใยขนาดเล็ก (Small Scale Fiber Extrusion) โดยสภาวะที่ใช้ในการดึงเส้นใยและม้วนเก็บคืออุณหภูมิ 200 °C, Piston Speed 1.03-1.2 mm/min, Take up Speed 55 rpm, Diameter Die 1 mm หลังจากได้เส้นใยแล้ว นำเส้นใยไปเตรียมการทดสอบตามวิธีการทดสอบต่างๆคือการทดสอบแรงดึง (Tensile Tester) การทดสอบความต่อต้านต่อแบคทีเรีย (Anti-Bacteria) การศึกษาโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscopy: SEM) ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสารด้วย เครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสาร (Thermo Gravimetric Analysis: TGA)



รูปที่ 1 แสดงลักษณะเส้นใยที่ได้จากการขึ้นรูป

## 3. ผลและการวิจารณ์ผล

### 3.1 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง



รูปที่ 2 กราฟเส้นแสดงค่าแรงที่ใช้สูงที่สุดในการดึงเส้นใย

จากรูปที่ 2 กราฟเส้นที่เห็นจะสังเกตเห็นได้ว่าการเติมอนุภาค TiO<sub>2</sub> ขนาด  $\mu$ m และขนาด nm ในเส้นใย PP ไม่มีผลต่อการทนแรงดึง (Tensile strength) มากนักแต่เพิ่มระยะยืด (Elongation) ของเส้นใย ดังรูปที่ 3 จากกราฟเส้นสังเกตเห็นได้ว่าการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในเส้นใยโพลีพรพิลีนทำให้ชิ้นงานมีระยะยืดที่สูงขึ้นโดยเฉพาะที่อัตราส่วน 1.0% ซึ่งการเติมไทเทเนียมขนาดนาโนเมตรมีค่าที่สูงกว่าขนาดไมโครเมตร และแนวโน้มของการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรส่งผลให้เส้นใยมีระยะยืด ณ จุดขาดที่สูงกว่าการเติมอนุภาคขนาดไมโครเมตร แสดงให้เห็นว่าขนาดและปริมาณของ

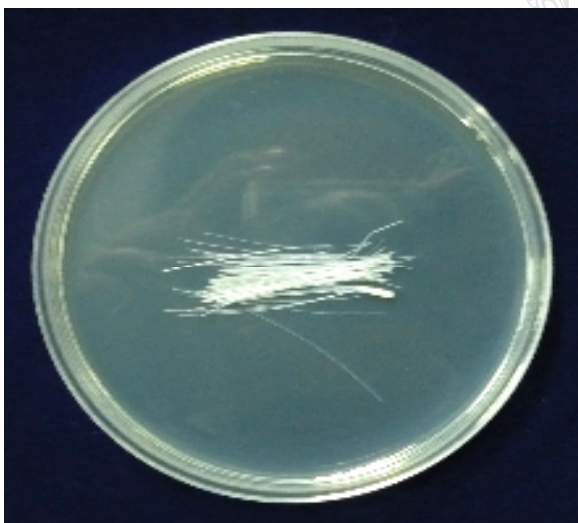
ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ผสมลงไปมีผลต่อค่าระยะยืดของเส้นใยได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าระยะยืดของเส้นใยเป็นเปอร์เซ็นต์

### 3.2 การวิเคราะห์การต่อต้านแบคทีเรีย

การวิเคราะห์การต่อต้านแบคทีเรีย (*Escherichia coli*, ตามมาตรฐาน ATCC 25922 และ *Staphylococcus aureus*, ตามมาตรฐาน ATCC 6538)



รูปที่ 4 แสดงรูปการทดสอบการต่อต้านเชื้อ *Escherichia coli*, ตามมาตรฐาน ATCC 25922 และ *Staphylococcus aureus*, ตามมาตรฐาน ATCC 6538

จากรูปที่ 4 แสดงรูปการทดสอบการต่อต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus* ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การต่อต้านแบคทีเรีย จะพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่สามารถต่อต้านการเกิดแบคทีเรียได้ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์จะทำงานได้

ดีเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตเพราะไทเทเนียมไดออกไซด์มีช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 3.3eV จึงจำเป็นต้องใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต(UV)เป็นแหล่งพลังงานในการกระตุ้นทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลซึ่งแสงที่ใช้ต้องมีความยาวคลื่นที่ให้พลังงานมากกว่าพลังงานแถบช่องว่างนั้นก็คือแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 400 nm(UV)[8]ในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย จึงทำให้การทดสอบเส้นใยมีข้อจำกัดในการทดสอบ

### 3.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์

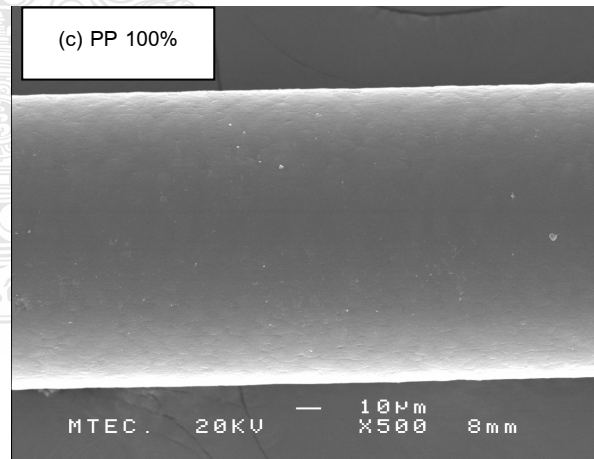
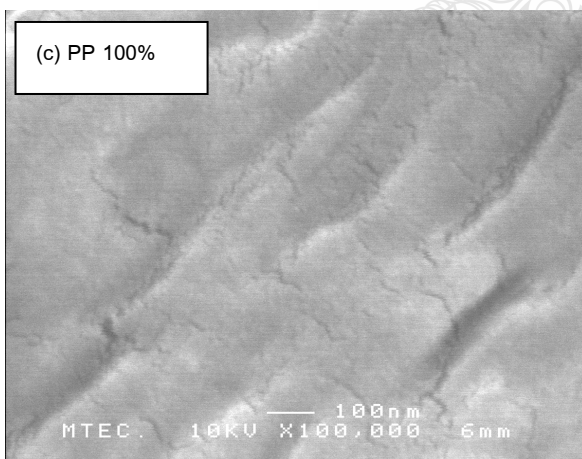
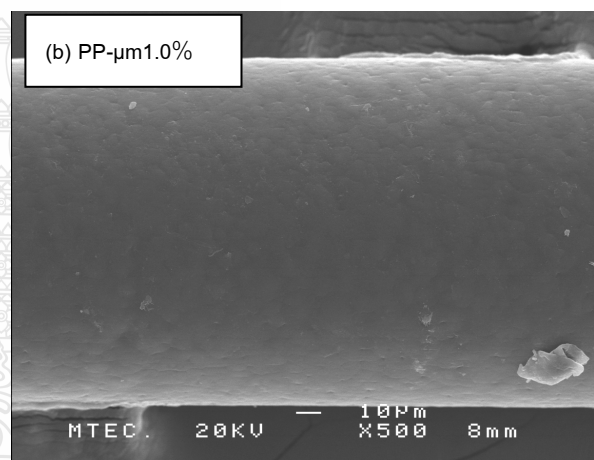
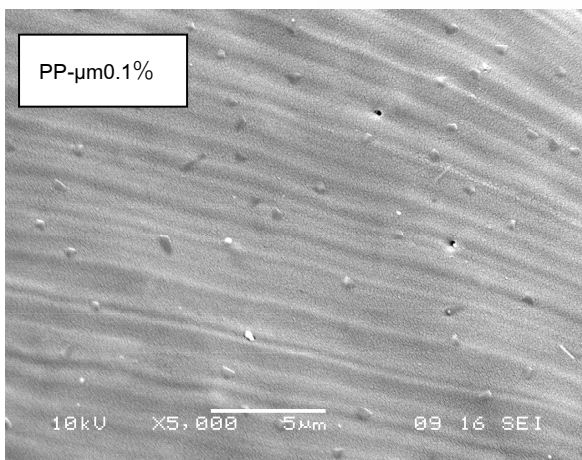
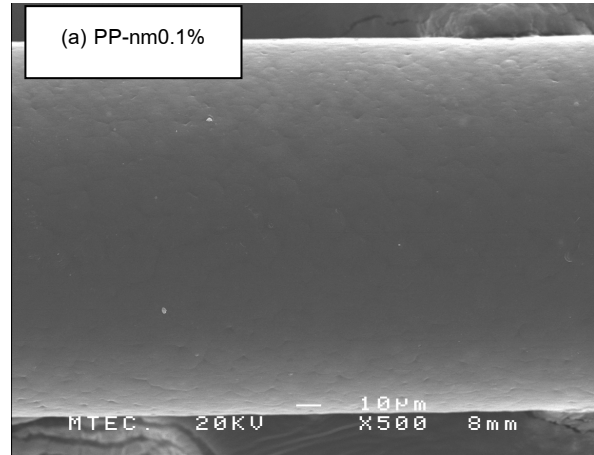
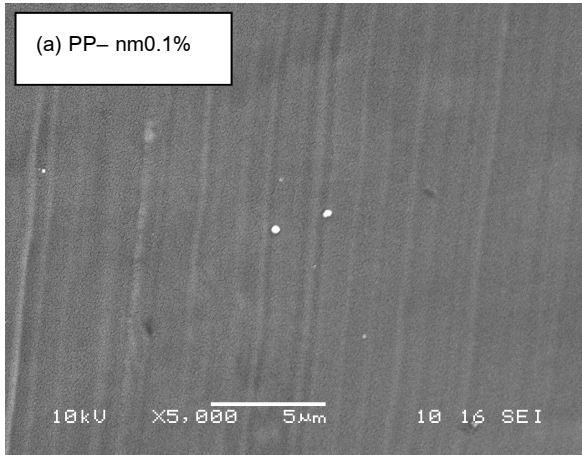
#### อิเล็กตรอน แบบส่องกาว

ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกาว เส้นใยโพลีโพรพิลีนผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดอนุภาคไมครอนและนาโนเมตร ไม่สามารถส่องดูการกระจายตัวระดับอนุภาคได้ จึงไม่สามารถสังเกตการกระจายได้ แต่สามารถส่องดูลักษณะพื้นผิวภายนอกของเส้นใยได้ ซึ่งผิวของเส้นใยที่สังเกตุได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของไทเทเนียมไดออกไซด์นั้น การกระจายตัวของไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่เติมลงไปนั้นในปริมาณ 1.0%ที่แสดงดังรูปที่ 5 (a) นั้น จะเห็นได้ว่ามีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากกว่าขนาดนาโนเมตรที่เติมลงไปนั้นในปริมาณ 1.0%เช่นกันที่แสดงดังรูปที่ 5 (b) ที่จะเห็นว่ามี การกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอเท่ากับขนาดไมโครเมตร โดยเปรียบเทียบกับผิวภาคตัดขวางของเส้นใย PP100% ดังแสดงดังรูปที่ 5 (c) ซึ่งการที่การกระจายตัวของไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่เติมลงไปนั้นในปริมาณ 1.0%มีการการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากกว่าขนาดนาโนเมตรที่เติมลงไปเท่ากันนั้นก็อาจส่งผลทำให้สมบัติการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรนั้น

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าไทเทเนียมที่ผิวของเส้นใยนั้นมีปริมาณที่น้อยมากทั้งขนาดไมโครเมตรที่แสดงดังรูปที่ 6 (a) และขนาดนาโนเมตรที่แสดงดังรูปที่ 6 (b) โดยเปรียบเทียบกับผิวของเส้นใย PP100% ดังแสดงดังรูปที่ 6 (c) ซึ่งอาจส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาน้อยลงในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียได้



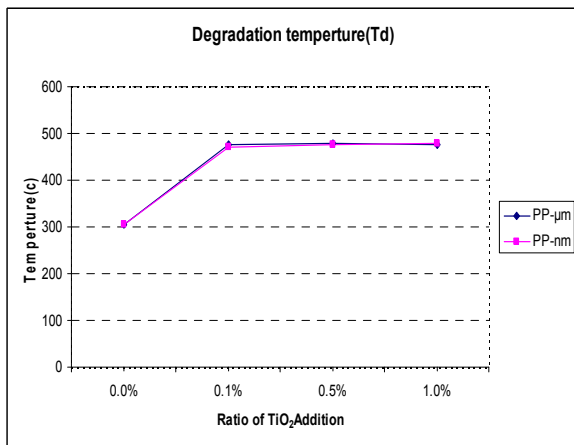


รูปที่ 5 แสดงรูปเปรียบเทียบผิวภาคตัดขวางของสูตร  
 (a) PP-nm1.0% และ (b) PP-µm0.1% ที่กำลังขยายขนาด  
 5,000 เท่าและ PP 100% ที่กำลังขยายขนาด 100,000 เท่า

รูปที่ 6 แสดงรูปผิวเส้นใยสูตรต่างๆ (a) PP-nm0.1%  
 (b) PP-µm1.0% และ (c) PP100% ที่กำลังขยายขนาด 500 เท่า



### 3.4 การวิเคราะห์ทางความร้อนเชิงน้ำหนัก



รูปที่ 6 แสดงกราฟเส้นแสดง Degradation temperature (Td)

จากรูปที่ 6 แสดงกราฟเส้นแสดงให้เห็นได้ว่าการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในเส้นใยโพลีพรพิลีนส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature, Td) หลังจากการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณ 0.1-1% ทั้งขนาดไมโครเมตรและขนาดนาโนเมตรส่งผลให้เพิ่ม Td มากกว่า 100 °C เป็นผลเนื่องมาจากไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมลงไปมีสมบัติที่ทนต่อความร้อนได้สูง [9] ส่งผลทำให้เส้นใยทนต่อความร้อนได้มากขึ้น

### 4. สรุปผลการทดลอง

1. การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่เติมลงไปนั้นในปริมาณ 1.0% มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากกว่าขนาดนาโนเมตรที่เติมลงไป 1.0% เท่ากันนั้นอาจส่งผลทำให้สมบัติการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรนั้นสามารถทนต่อแรงดึงได้มากกว่าขนาดนาโนเมตรที่มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรส่งผลให้เส้นใยมีระยะยืด ณ จุดขาดที่สูงกว่าการเติมอนุภาคขนาดไมโครเมตร

2. เส้นใยตัวอย่างไม่สามารถต่อต้านแบคทีเรียได้ (Escherichia coli, ตามมาตรฐาน ATCC 25922 และ Staphylococcus aureus, ตามมาตรฐาน ATCC 6538) เนื่องจากมาตรฐานการทดสอบกำหนดให้ไม่ใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์ต้องอาศัยแสงอัลตราไวโอเล็ตเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย

3. การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในเส้นใย PP สามารถทนต่อความร้อนในการสลายตัวมีค่าสูงขึ้นมากกว่า 100 °C

โดยสรุปแล้วการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ทำให้เส้นใยมีสมบัติทางด้านการทนแรงดึงที่ต่ำลงแต่สมบัติไม่ตกมากเกินไป เส้นใยที่ได้ไม่สามารถต่อต้านการเกิดของแบคทีเรียได้หากไม่มีแสงอัลตราไวโอเล็ตกระตุ้น และความสามารถทนต่อความร้อนในการสลายตัวมีค่าสูงขึ้น

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (MRG5180124) และ เครือข่ายวิจัยด้านสิ่งทอ (Textiles Collaborative Research Consortium, Textiles CRC, NANOTEC, Thailand)

### เอกสารอ้างอิง

- [1] M.J. Pitkethly, Nanoparticles as building block, Nanotechnology, December 2003, 36-42.
- [2] Third European Report on Science and Technology Indicators, EUR .20025, European Commission, Brussels, 2003.
- [3] เจริญ นาคะสรรค์. เทคโนโลยีเบื้องต้นทางพลาสติก. กรุงเทพฯ: ฟอร์เพช. 2546. หน้า 88
- [4] บรรเลง ศรีนิล. เทคโนโลยีพลาสติก (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546
- [5] อรุษา สรวารี. สารตกแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
- [6] A.M. Thayer, Nanomaterials, Chemical and Engineerig News ,2003, 81, 15-22.
- [7] กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2550. "สิ่งทอนาโน." กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)
- [8] ดร.สุคนธ์ พานิชพันธ์ 2549. การสังเคราะห์วัสดุขนาดต่ำกว่าไมครอนและวัสดุนาโนด้วยกระบวนการทางเคมี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ หน้า 90-91
- [9] นีรมล ชินเมธากุล. การเตรียมและหาลักษณะเฉพาะของวัสดุผสมพอลิเมอร์สังยุค. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ หน้า 75

# IE NET

Industrial Engineering Network Conference  
2009

## การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ปี 2552 Industrial Engineering Network Conference 2009

21-22 ตุลาคม 2552

โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาอคิด จังหวัดขอนแก่น



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ร่วมกับ



# IENET

Industrial Engineering Network Conference  
2009

การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ปี 2552  
Industrial Engineering Network Conference 2009

21-22 ตุลาคม 2552

โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาอคิด จังหวัดขอนแก่น



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ร่วมกับ





## คำนำ

ข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรมเป็นองค์กรที่จัดตั้งเมื่อเดือนตุลาคม 2525 เพื่อสร้างความร่วมมือด้านวิชาการ การแสดงผลงานความก้าวหน้าและแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมและสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องของ คณาจารย์และบุคลากรจากสถาบันการศึกษาและหน่วยงานองค์กรอื่นๆ ในปี พ.ศ. 2552 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้รับเกียรติเป็นประธานจัดงานประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรม อุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (IE Network Conference 2009) ร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สถานจัดการและอนุรักษ์ พลังงาน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ศูนย์วิจัยและพัฒนา โครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สำนักงานอุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และสภามหาวิทยาลัย ในวันที่ 21-22 ตุลาคม 2552 ณ โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาอคิด จังหวัดขอนแก่น

การจัดประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (IE Network Conference 2009) มี วัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีให้นักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา วิศวกร และบุคคลทั่วไปในสาขาวิศวกรรม อุตสาหกรรม และสาขาที่เกี่ยวข้อง ได้ประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์และงานวิจัย โดยร่วมนำเสนอบทความวิชาการ ผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ เพื่อให้เกิดความร่วมมือในการพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยี รวมถึงการถ่ายทอดและ ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี อันส่งผลต่อการพัฒนาประเทศให้มีความก้าวหน้าสืบไป

คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (IE Network Conference 2009) ขอขอบคุณผู้เข้าร่วมประชุม คณะกรรมการและอนุกรรมการฝ่ายต่างๆ รวมทั้งผู้ให้การสนับสนุน ทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมทำให้การจัดประชุมวิชาการในครั้งนี้ประสบความสำเร็จ

คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ประจำปี 2552



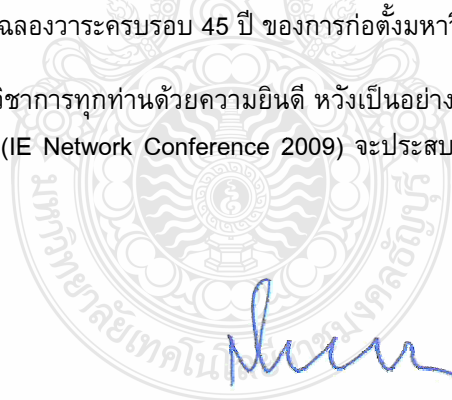
## สาส์นจากคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



ในนามของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ภาควิชาชีพวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้รับเกียรติเป็นประธานจัดประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (IE Network Conference 2009) ในวันที่ 21 - 22 ตุลาคม 2552 ณ โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาอิตติ จังหวัดขอนแก่น

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นคณะวิศวกรรมศาสตร์แห่งแรกที่ก่อตั้งขึ้น ในส่วนภูมิภาค เมื่อปี พ.ศ. 2507 มีภารกิจหลัก 4 ด้าน ประกอบด้วย การผลิตบัณฑิต การวิจัย การให้บริการทางวิชาการแก่สังคม และการทำนุบำรุงศิลปและวัฒนธรรม การจัดประชุมวิชาการครั้งนี้ จึงเป็นส่วนหนึ่งที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ให้การสนับสนุนและเป็นกิจกรรมที่ร่วมเฉลิมฉลองวาระครบรอบ 45 ปี ของการก่อตั้งมหาวิทยาลัยขอนแก่นอีกด้วย

ขอต้อนรับผู้เข้าร่วมประชุมวิชาการทุกท่านด้วยความยินดี หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (IE Network Conference 2009) จะประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ



(รศ.ดร.สมนึก ชีระกุลพิศุทธิ์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตุลาคม 2552



## สาส์นจากประธานข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552



ภาคีวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น รู้สึกเป็นเกียรติที่ได้รับมอบหมายให้เป็นประธานจัดประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (IE Network Conference 2009) ร่วมกับภาคีวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และขอต้อนรับผู้เข้าร่วมประชุมวิชาการทุกท่านสู่จังหวัดขอนแก่น ดินแดนแห่งดอกคูณและเสียงแคนของภาคอีสาน ด้วยความยินดียิ่ง

ในปีนี้มีบทความส่งเข้าร่วมการประชุมวิชาการและผ่านการคัดเลือกจากคณะกรรมการพิจารณาบทความ เพื่อนำเสนอและตีพิมพ์ในหนังสือรวมบทความของการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2552 (IE Network Conference 2009) เป็นจำนวนมาก แสดงให้เห็นถึงความร่วมมือร่วมใจของชาววิศวกรรมอุตสาหกรรมและสาขาที่เกี่ยวข้อง ที่มีต่อกิจกรรมของข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ซึ่งความร่วมมือร่วมใจนี้เป็นไปอย่างดียิ่งและโดยสม่ำเสมอ ส่งผลให้การจัดประชุมวิชาการในปีนี้อย่างที่ผ่านมามีประสบความสำเร็จมาโดยตลอด ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือและการสนับสนุนเช่นเดียวกันนี้ ในการจัดประชุมวิชาการในปีหน้าและปีต่อไป

ขอขอบคุณ คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการ คณะอนุกรรมการฝ่ายต่างๆ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความทุกท่าน ตลอดจนบุคลากรและหน่วยงานต่างๆ ที่ได้ให้ความร่วมมือและให้การสนับสนุนการจัดประชุมวิชาการในครั้งนี้

(ดร.สมศักดิ์ หอมดี)

หัวหน้าภาคีวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตุลาคม 2552



## สาขาวิชาในการประชุม

1. Operations Research
2. Production and Operation Management
3. Work Study, Plant Layout, Ergonomics, and Safety Engineering
4. Quality Management, Robust Design, and Statistical Applications
5. Environmental Management
6. Materials, Production, CAD/CAM, and Manufacturing Engineering
7. Logistics and Supply Chain Management
8. Maintenance Management
9. Energy Management
10. Hard Disk Drive Industry Applications
11. Agricultural Supply Chain and Logistics
12. Others that Related to Industrial Engineering

จัดโดย



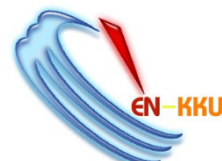
สนับสนุนโดย



สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น



สำนักงานอุทยานวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น



IUCRC in HDD Component





คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการ  
ช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552

ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สมนึก ชีระกุลพิศุทธิ์

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร.สถาพร โภคา

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ประธานช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ดร.สมศักดิ์ หอมดี

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองประธานช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เลขาธิการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองเลขาธิการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

คณะกรรมการ

รศ.ดร.พรเทพ ขอบจายเกียรติ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร.สมเกียรติ รุจิเกียรติกำจร

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผศ.ดร.ศิรินทร์ สุโขโต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผศ.ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผศ.ดร.จรรย์พงศ์ เชนฐโชติศักดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดร.รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผศ.ดร.ศรีสวัสดิ์ ททรัพย์สมบูรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น



คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการ  
ช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (ต่อ)

คณะกรรมการ

ดร.ธนา ราษฎร์ภักดิ์

อ.พีระพงศ์ ท้าวเพชร

ดร.ปาพจน์ เจริญอภิบาล

ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์

ผศ.ดร.สุของค์ณา ลี

ผศ.เจริญ ชุ่มมवल

ผศ.สุริยา ไชคสวัสดิ์

ผศ.ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ

ผศ.จริยาภรณ์ อุ๋นวงษ์

ผศ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี





## ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

### การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552

#### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ  
 ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ  
 ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล  
 ผศ.ดร.มานพ เรียวเดชะ  
 รศ.ดร.จิตรา รุ้กกิจการพานิช  
 ผศ.ประเสริฐ อัครประถมพงศ์

รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย  
 ดร.สิริง ปรีชานนท์  
 รศ.จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์  
 ผศ.ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์  
 ผศ.ดร.ประมวล สุธีจรรวัฒน์  
 ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค

ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย  
 ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร  
 ผศ.ดร.ปวีณา เขาวลิตวงศ์  
 รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา  
 ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์  
 ผศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ

#### มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร.นันทชัย กานตานันทะ  
 ผศ.ดร.รุ่งรัตน์ ภิรัชเพ็ญ  
 ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน

ดร.ชัชพันธ์ ขำญาติ  
 รศ.ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา  
 ดร.จักรพันธ์ อรรมพงษ์พันธ์

ผศ.ดร.เพียงใจ พานิชกุล  
 ดร.สุวิษภรณ์ วิชากุล

#### มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผศ.สมศักดิ์ ธรรมนิวิภู  
 ผศ.ดร.อภิวัฒน์ มุตตามระ

รศ.ดร.ตรีศก เหล่าศิริหงส์ทอง  
 ผศ.ดร.คณพันธ์ วิสุวรรณ

ผศ.ดร.สวัสดิ์ ภาระราช  
 รศ.ดร.ศุภชัย สุรพันธ์

#### มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดร.สมศักดิ์ หอมดี  
 รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์  
 รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล  
 ดร.รักษ์น้อย อัครรุ่งเรืองกุล  
 ดร.ธนา ราษฎร์ภักดี  
 ผศ.อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์  
 ผศ.ดร.กฤษ เฉยไสย  
 ผศ.ดร.สิริวิษณุ เตชะเจษฎารังสี  
 รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์

รศ.ดร.พรเทพ ขอบฉายเกียรติ  
 ผศ.ดร.ศิรินทร์ สุขโต  
 ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว  
 ผศ.ดร.ศรีสวัสดิ์ ทรัพย์สมบูรณ์  
 อ.พีระพงศ์ ท้าวเพชร  
 ผศ.ดร.กัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม  
 ผศ.ดร.ฉัตรชัย เบญจปิยะพร  
 ผศ.ดร.ประพัทธ์ สันติวารการ

รศ.ดร.สมเกียรติ รุจิเกียรติกำจร  
 ผศ.ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา  
 ผศ.ดร.दनัยพงศ์ เชษฐโชติศักดิ์  
 ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์  
 ดร.ปาพจน์ เจริญอภิบาล  
 ดร.นภัส เจริญอภิบาล  
 รศ.ดร.อนุสรณ์ ชินสุวรรณ  
 ดร.ชนกนันท์ สุขกำเนิด



## ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

### การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (ต่อ)

#### มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ.อิสรา ชีระวัฒน์สกุล

รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ

ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ

ผศ.ดร.สันติชัย ชิวสุทธิศิลป์

รศ.ดร.ชนนาค กฤตวรกาญจน์

ดร.รุ่งฉัตร ชมพูอินไหว

ผศ.ดร.อภิชาติ โสภาแดง

ผศ.ดร.วิมลสนัย วรธนัจฉริยา

ผศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์

ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล

ดร.วรพจน์ เสวีรัฐ

ผศ.ดร.อรรถพล สมุทคุปต์

#### มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รศ.ดร.สันต์ชัย กลิ่นพิกุล

ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา

ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล

ผศ.ดร.อรุณ สังข์พงศ์

ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์

ผศ.ยอดดวง พันธน์รา

รศ.วนิดา รัตนมณี

รศ.สมชาย ชูโณม

ดร.รัฐชนา สินธวาลัย

ผศ.เจริญ เจตวิจิตร

ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล

ผศ.ดร.เกษภา วรณสินธุ์

ผศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล

#### มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผศ.อิศว ปัทมธรรมกุล

ผศ.ดร.นุชสรุา เกரியกรกฎ

ผศ.สุรียา โชคสวัสดิ์

ผศ.เจริญ ชุมมवाल

ดร.ธารชуда อมรเพชรกุล

ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

อ.ตะวันฉาย โพธิ์หอม

อ.ไท แสงเทียน

ผศ.ดร.ก่อโชค ภูนิคม

ดร.จริยาภรณ์ อุ๋นวนงค์

ผศ.ดร.ปรีชา เกரியกรกฎ

ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง

ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี

ผศ.ดร.สมบัติ สินธุ์ชาวี

#### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ

ดร.กุศล พิมาพันธุ์ศรี

รศ.สมนึก วัฒนศรียกกุล

รศ.ดร.ยุทชัย บันเทิงจิตร

รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร

รศ.ดร.อรรถกร เก่งพล

ดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์

อ.ชัยยุทธ บุรณะสิงห์

ผศ.สมชาย พรชัยวัฒน์

ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์

ดร.กฤษดา อัศวรุ่งแสงกุล



## ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

### การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (ต่อ)

#### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์

รศ.กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ

อ.วาสนา เสียงดัง

ผศ.ดร.ธัญญา วสุศรี

ดร.อุษณีย์ คำพูล

ดร.เจริญชัย ไชมพัตราภรณ์

รศ.ดร.ชาวลิต ลิ้มมณีวิจิตร

ผศ.ดร.เดือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์

รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒนา

ผศ.ดร.สิริพร โรจนนันต์

ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล

ผศ.เจริญ สุนทราวาณิชย์

#### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ดร.ระพี กาญจนะ

ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง

ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ดร.ศิริชัย ต่อสกุล

ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ชะเอียง

#### มหาวิทยาลัยนเรศวร

ดร.ขวัญนิตี คำเมือง

ผศ.ศิษญา สิมารักษ์

ดร.ภาณุ บูรณจารุกร

#### มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร

ผศ.สุวิวัฒน์ เณรโต

ผศ.วันชัย ลีลากวีวงศ์

#### มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

อ.วรลักษณ์ จันทร์กระจ่าง

อ.จิตลดา ชัมเจริญ

อ.อรอุมา กอสนาน

อ.นิศากร สมสุข

อ.ทนต์ศักดิ์ ทวีศรี

อ.อัญชลี สุพิทักษ์

#### มหาวิทยาลัยมหิดล

รศ.ดร.ดวงพรรณ กริชชาญชัย

#### สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.วัลย์ลักษณ์ อัครีรวงศ์

## กำหนดการประชุมวิชาการถ่ายทอดวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2552

วันพุธที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2552

รายละเอียด										
เวลา										
08.00-09.30	ลงทะเบียน									
09.30-10.00	พิธีเปิดงานประชุมวิชาการถ่ายทอดวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (IE Network Conference 2009)									
10.00-10.45	การบรรยายพิเศษ โดย คุณอิสระ ว่องกุศลกิจ ประธานกรรมการกลุ่มมิตรผล ในหัวข้อ "โอกาสและทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรไทยในประชาคมอาเซียนนำไทย"									
10.45-11.00	พักรับประทานอาหารว่าง									
11.00-12.00	การบรรยายพิเศษ โดย คณะอนุกรรมการจัดทำกรอบมาตรฐานคุณวุฒิแห่งชาติ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ในหัวข้อ "กรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับปริญญาตรี (TQF) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม"									
12.00-13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน									
	Operations Research	Production and Operation Management	Work Study, Plant Layout, Ergonomics, Safety Engineering	Quality Management, Robust Design, Statistical Applications	Maintenance Management	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Hard Disk Drive Industry Applications	Logistics and Supply Chain Management	Others that Related to Industrial Engineering
13.00-13.15	P22	P171	P223	P31	P424	P24	P143	P44	P279	P66
13.15-13.30	P35	P20	P267	P10	P46	P25	P144	P63	P38	P21
13.30-13.45	P112	P27	P358	P17	P53	P37	P135	P64	P41	P40
13.45-14.00	P158	P28	P26	P42	P106	P54	P137	P56	P128	P50
14.00-14.15	P181	P29	P34	P45	P140	P55	P141	P57	P178	P99
14.15-14.30	P205	P52	P39	P68	P195	P61	P145	P69	P197	P183

กำหนดการประชุมวิชาการย้ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2552 (ต่อ)

รายละเอียด										
เวลา	Operations Research	Production and Operation Management	Work Study, Plant Layout, Ergonomics, Safety Engineering	Quality Management, Robust Design, Statistical Applications	Maintenance Management	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Hard Disk Drive Industry Applications	Logistics and Supply Chain Management	Others that Related to Industrial Engineering
14.30-14.45	P209	P75	P48	P101	P225	P62	P146	P155	P203	P378
14.45-15.00	P247	P103	P170	P104	P268	P67	P147	P168	P206	P188
15.00-15.15	พักรับประทานอาหารว่าง									
หมายเหตุ: ประชุมหัวหน้านักศึกษาวิศวกรรมอุตสาหการทุกสถาบัน เวลา 15.15 – 17.15 น.										
15.15-15.30	P157	P119	P125	P187	P393	P65	P148	P210	P227	P190
15.30-15.45	P354	P120	P139	P138	P422	P70	P150	P364	P230	P216
15.45-16.00	P366	P132	P252	P173	P427	P71	P149	P382	P231	P251
16.00-16.15	P367	P136	P256	P207	Energy Management P59	P97	P174	P389	P270	P281

กำหนดการประชุมวิชาการถ่ายทอดงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2552 (ต่อ)

รายละเอียด											
เวลา	Operations Research	Production and Operation Management	Work Study, Plant Layout, Ergonomics, Safety Engineering	Quality Management, Robust Design, Statistical Applications	Energy Management	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Logistics and Supply Chain Management	Others that Related to Industrial Engineering
16.15-16.30	P370	P156	P286	P219	P114	P105	P175	P394	P324	P289	
16.30-16.45	P403	P169	P304	P221	P224	P126	P177	P196	P360	P293	
16.45-17.00	P410	P172	P314	P228	P242	P130	P182	P199	P361	P303	
17.00-17.15	P411	P189	P343	P253	P234	P134	P192	P214	P406	P306	
18.30-21.00	พิธีเลี้ยงรับรองผู้เข้าร่วมประชุม พร้อมชุดการแสดงศิลปวัฒนธรรมอีสาน										



กำหนดการประชุมวิชาการถ่ายทอดความรู้ทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2552 (ต่อ)

วันพฤหัสบดีที่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2552

รายละเอียด										
เวลา	Operations Research	Production and Operation Management	Work Study, Plant Layout, Ergonomics, Safety Engineering	Quality Management, Robust Design, Statistical Applications	Energy Management	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Logistics and Supply Chain Management	Others that Related to Industrial Engineering
09.00-09.15	P513	P276	P352	P241	P235	P193	P298	P429	P426	P322
09.15-09.30	P519	P222	P198	P248	P446	P194	P299	P443	P428	P334
	Production and Operation Management									
09.30-09.45	P359	P250	P363	P271	P455	P239	P229	P452	P430	P335
09.45-10.00	P405	P272	P200	P273	P481	P245	P323	P457	P499	P342
10.00-10.15	P412	P283	P415	P274	P444	P255	P325	P471	P521	P355
					Environmental Management					
10.15-10.30	P414	P313	P244	P275	P442	P257	P326	P474	P522	P375
10.30-10.45	พักรับประทานอาหารว่าง									

กำหนดการประชุมวิชาการถ่ายทอดความรู้ทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2552 (ต่อ)

รายละเอียด											
เวลา	Production and Operation Management	Production and Operation Management	Work Study, Plant Layout, Ergonomics, Safety Engineering	Quality Management, Robust Design, Statistical Applications	Quality Management, Robust Design, Statistical Applications	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Materials, Production, CAD/CAM, Manufacturing Engineering	Logistics and Supply Chain Management	Others that Related to Industrial Engineering
10.45-11.00	P450	P319	P381	P277	P441	P258	P328	P475	P523	P384	
11.00-11.15	P439	P321	P433	P278	P399	P259	P333	P458	P305	P518	
พักรับประทานอาหารกลางวัน											
11.15-11.30	P449	P338	P462	P309	P419	P260	P318	P468	P73	P386	
11.45-12.00	P454	P340	P353	P315	P438	P261	P341	P476	P176	P400	
12.00-13.00											
13.00-13.15	P456	P345	P470	P356	P448	P262	P380	P489	P179	P473	
13.15-13.30	P460	P346	P480	P372	P466	P265	P391	P493	P201	P479	
13.30-13.45	P461	P348	P516	P379	P478	P266	P409	P495	P349	P494	
13.45-14.00	P505	P357		P385	P501	P269	P416	P502		P524	
14.00-14.15	P515			P388	P395	P295	P417	P506		P116	
14.15-14.30	P520				P397	P312	P420	P514			



## ประวัติผู้บรรยายพิเศษ



**คุณอิสระ ว่องกุศลกิจ**  
**ประธานกรรมการกลุ่มน้ำตาลมิตรผล**

- การศึกษา**
- ปริญญาตรี สาขาบริหารการจัดการ จากมหาวิทยาลัยนอร์ทแคโรไลนา สหรัฐอเมริกา
  - ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์ สาขาวิชาธุรกิจการเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
  - ประกาศนียบัตรหลักสูตร Directors Certification Program (DCP รุ่น 36/2003) สมาคมส่งเสริมสถาบันกรรมการบริษัทไทย

**การทำงาน**

- ประธานกลุ่มน้ำตาลมิตรผล**
- 5 โรงงานน้ำตาล
  - 2 โรงงานไฟฟ้าชีวมวล
  - 3 โรงงานเอทานอล

รองประธานหอการค้าไทยและสภาหอการค้าแห่งประเทศไทย

ประธานกลุ่มน้ำตาล สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

นายกิตติมศักดิ์สมาคมผู้ผลิตน้ำตาลและชีวพลังงานไทย



## สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญจากคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ข
สารบัญจากประธานหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552	ค
สาขาวิชาในการประชุม	ง
คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552	จ
ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความการประชุมวิชาการหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552	ช
กำหนดการประชุมวิชาการหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2552	ญ
ประวัติผู้บรรยายพิเศษ	ฉ

### Operations Research

P22: ปัจจัยที่เหมาะสมของการเชื่อมแบบ MAG-M อนุสิทธิ์ อ่ำไพบูลย์	2
P35: การวิเคราะห์สมรรถนะในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์โดยใช้ การจำลองสถานการณ์ อัญญา แดงทองดี วิชาวี ธรรมภรณ์พิลาศ	8
P112: การลดเวลาสูญเสียของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ กรณีศึกษาโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ภัทวดี เต็มสุวรรณพานิช อรรถกร เก่งพล	13
P157: การบริหารการจัดสรรกำลังบุคลากร ณ จุดจ่ายยาในโรงพยาบาลชุมชนด้วยการใช้เทคนิค การจำลองสถานการณ์ จารุพงษ์ บรรเทา กนกพร แสงตะวัน ชาติชาย ริดชะกล้า ยศวีศ พลเสน พงษ์ชัย จิตตะมัย	19
P158: การประยุกต์ใช้บัตรคัมบังกับระบบสายพานการผลิตด้วยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ ศิริประภา ตีประดิษฐ์	26



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P181: การจัดแบ่งกลุ่มการรับก๊าซจากสถานีแม่ให้กับสถานีลูก สุจิตรา อิศริยะกุลกล้า นันทชัย กานตานันทะ ชยกฤต เจริญศิริวัฒน์	32
P205: การจัดการการผลิตสำหรับระบบ MRP ภายใต้เงื่อนไขกำลังการผลิตและการทำงานล่วงเวลา วุฒิชัย เห็นประเสริฐ ชีรเดช วุฒิพรพันธ์	37
P209: การจัดการการผลิตสำหรับหน่วยผลิตแบบขนานที่ไม่สัมพันธ์กันโดยมีการแยกล็อต ในโรงงานผลิตเทปลูกไม้เพื่อการตกแต่ง พิมพ์ประไพ ไทยเนียม สිරง ปรีชานนท์	46
P247: การวางแผนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรสำหรับอุตสาหกรรม ที่ไม่มีรูปแบบการผลิตที่แน่นอน ดิษฐพล อารมณเสถียร เสมอจิตร หอมรสสุคนธ์	52
P354: ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการการผลิตเพื่อให้จำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด โดยมีเวลาดังเครื่องจักรขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า กฤษฎา หาญสมบัติ วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ	58
P366: การวางแผนการผลิตและแปรรูปผักกาดหัวโดยประยุกต์ใช้กำหนดการจำนวนเต็มผสม ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ อภิชัย ฤตวิรุฬห์	63
P367: การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมด้วยวิธีการแบ่งแยกปัญหา ชญานี เล้าสุขสุวรรณ จันท์ศิริ สิงห์เถื่อน	69
P370: A Comparison of Swap and Adjustment Techniques in Shuffled Frog Leaping Algorithm for Solving Machine Layout Design Problem Thanapat lamtan Pupong Pongcharoen	74
P403: การหาตัวควบคุมที่เหมาะสมสำหรับรีโทรฟิตเครื่องซีเอ็นซีด้วยวิธีจีเอ สมพร เตียเจริญ ชีรยุทธ ชาติชนะยืนยง วรวัฒน์ เสี่ยมวิบูล	80



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P410: การออกแบบตรรกะสำหรับกำหนดห้การผลิตและจัดตารางผลิตในขั้นตอนการเย็บ สำหรับโรงงานเครื่องนุ่งห่ม ชนกพร เกษรา เหริยญ บุญดีสกุลโชค	85
P411: การออกแบบระบบที่ใช้ในการมอบหมายงาน และจัดตารางการผลิตในระดับโรงงานผลิต สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม หทัยา สุทธิจิรสโรจน์ มานพ เรียวเดชะ	91
P513: การประยุกต์ใช้วิธีการแบ่งส่วนของเบเนเตอร์ ในการกำหนดค่าที่เหมาะสมของตัวแปรตัดสินใจ ท่ามกลางความไม่แน่นอนของเงื่อนไขในกระบวนการผสม กรณีศึกษา: การผลิตขนมฝอยทอง สมศักดิ์ ธรรมนิวิฐฐ์ พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล	97
P519: การวิเคราะห์แนวโน้มของบทความวิจัยในการประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ชญาดา รุจานุกุลชัย รัญณภรณ์ โพธิ์ใส ปราวณา ปุณณกิติเกษม ตริทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง	105
<b>Production and Operation Management</b>	
P20: การเพิ่มผลผลิตขั้นตอนการบรรจุและจัดเก็บปลาทุ่นำกระป๋อง วนิดา รัตนมณี รัชชานา สินชวลัย นิศรา ภูมิสัย เอกชัย ชูเมือง	112
P27: การจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยใช้วิธี M-COMSOAL สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี เดชา พวงดาวเรือง	117
P28: การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบรูปทรงตัวยูโดยใช้วิธีศึกษาสำนึกแนวใหม่ สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี เดชา พวงดาวเรือง	123
P29: การสร้างเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยประยุกต์ใช้ตัวแบบของคานา ลภาภรณ์ เล็กล้วน มณฑลีส ศาสนนันท์	129
P52: การจัดลำดับการผลิตของสายไฟบนเครื่องจักรแบบขนาน: กรณีศึกษากระบวนการผลิตสายไฟรถยนต์ ณัชชา คารอน บรรหาญ ลีลา	135



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P75: การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านในโรงงานประกอบรถยนต์ ปารเมศ ชุตติมา พันทวี ทรัพย์อุดม	141
P103: การสร้างอุปสงค์ภายใต้ความไม่แน่นอนสำหรับการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง โดยมีการวางเครื่องจักรแบบขนาน วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร วันฉัตร ทิศนาม	147
P119: การปรับปรุงระบบการบริหารวัสดุคงคลังในอุตสาหกรรมก๊าซและปิโตรเลียมในประเทศไทย เฉลิมพล เปล่งวัฒน์ ณิชฐา ทวีแสงสกุลไทย	153
P120: การปรับปรุงคุณภาพของกระเบื้องบิสกิตโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ ธีรยุทธ์ ยุกขวิ	159
P132: การประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการจัดลำดับการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา กฤษมา เรืองดิษฐ์ วนิดา รัตนมณี สมชาย ชูไฉม สุรียา จิรสถิตสิน	165
P136: การบูรณาการการเทียบเคียงและกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา: ผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ไฟฟ้าในรถจักรยานยนต์ ภูววัลย์ จันทรส อนิตรา อินทร์ไทร	171
P156: การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตคอนกรีตบล็อก นนทพงศ์ สุนทรนนท์ นิกิตีวงศ์ไพศาล เสกสรร สุธรรมานนท์	177
P169: การสำรวจสภาพภาพของเตาเผาขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลชุมชนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน เพื่อการบริหารจัดการที่เหมาะสม กษิต์เดช สิบศิริ เจริญ ชุมมวล นลิน เพ็ชรทอง	183
P171: การลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อการเพิ่มผลผลิต นุกูล อุบลบาน	189
P172: การปรับปรุงกระบวนการผลิตในโรงงานผลิตชิ้นส่วนกันสะเทือนภายในรถยนต์ ยุภาพร เนตรโสภา	196



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P189: การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตยางท่อเพื่อลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิต ธีรวัฒน์ สมสิริภาณุจนคุณ มณฑนา อังอังฉะริยะะ	202
P222: การพัฒนาระบบการวางแผนการผลิตในการแปรรูปเมล็ดธัญพืช ฐิติมา ชูโชติ สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร กุศล พิมาพันธุ์ศรี	208
P250: ปัจจัยสู่ความสำเร็จของกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการวิเคราะห์สภาพการแข่งขัน ของอุตสาหกรรมยานยนต์ และชิ้นส่วน มณฑล ศาสนนันท์ วชิราวุธ วันชูพริ้ง	215
P272: การเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการผลิตของโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อดิศักดิ์ แป๊ะพุ่ม สุทัศน์ รัตนเกือกังวาน	221
P276: การวิเคราะห์ความสูญเสียเปล่า 7 ประการในกระบวนการผลิตอาหารขบเคี้ยวสุนัข สุพัฒตรา เกษราพงศ์	227
P283: การจัดตารางการผลิตของกลุ่มงานสำหรับเครื่องจักรแบบขนานที่มีประสิทธิภาพแตกต่างกัน และมีเวลาเตรียมการโดยเวลาเสร็จสิ้นรวมต่ำสุด วิเรชา คำจันทร์ ศักดิ์ดา คำจันทร์	233
P313: โครงการแบบสำรวจการใช้เทคนิคการจัดการอุตสาหกรรมในปัจจุบัน กรณีศึกษา โรงงานใน นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง สิริรักษ์ ภูริยะพันธ์ วีระพล ขาวรุ่งเรือง มยุรฉัตร ศักดิ์ณรงค์	238
P319: กรณีศึกษาการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างลูกค้าในตัวแบบการกระจายสินค้า วุฒินันท์ นุ่นแก้ว บุษบา พุกษาพันธุ์รัตน์	242
P321: การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ สำหรับการจัดสมดุลสายการผลิต กรณีศึกษา โรงงานประกอบพัดลม บุษบา พุกษาพันธุ์รัตน์ อรอนงค์ ธนาฐิติมา ศศิธร ฤทธิ์จรรยา วุฒินันท์ นุ่นแก้ว	248
P338: การวิเคราะห์กิจกรรมเพื่อจัดทำต้นทุนการผลิตในโรงงานผลิตมอเตอร์ นพดล ตรียะประเสริฐพร	254





## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P340: การจัดทำดัชนีชี้วัดหลักโดยใช้เทคนิคการวัดผลเชิงคุณภาพในโรงงานผลิตรถยนต์ สมภาพ ตั้งกาญจนาเวศกุล	260
P345: การวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนการผลิตน้ำประปาแยกตามกลุ่ม กรณีศึกษา: การประปาส่วนภูมิภาค ณัฐวีร์ สีวิวัฒน์	266
P346: การศึกษาในเชิงเปรียบเทียบระหว่างการผลิตน้ำประปาโดยการประปาส่วนภูมิภาคกับ การซื้อจากบริษัทเอกชน นันทพร เหลืองจินดารัตน์	272
P348: การลดต้นทุนพลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานประเภทการฉีดขึ้นรูป สุธี เหลืองรัตนเจริญ	278
P357: การประยุกต์ผังงานสายธารคุณค่าและการจำลองสถานการณ์เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษา โรงงานผลิตปลานิลแช่แข็ง อิทธิพล เนคมานุรักษ์ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์	283
P359: การปรับปรุงการพยากรณ์สินค้าของ บริษัทเทคโนโลยี อินสตรูเมนต์ จำกัด อาทิตย์ สีหอมชัย ศักดิ์ชาย รักการ	291
P405: การจัดทำดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตสำหรับโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้อัด อภิรักษ์ อุดมศักดิ์กุล เวชิต พจน์ทวีเกียรติ นนทชัย ปัญญาสร้างสรรค์	296
P412: การศึกษาและพัฒนาวิธีการกำหนดรหัสมาตรฐานเพื่อติดตามข้อมูลการผลิตในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม 302 ธีรเกียรติ มั่นคง เจริญ บุญดีสกุลโชค	
P414: การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต ด้วยแนวคิดแบบลีน กรณีศึกษา บริษัทตัวอย่าง แผนกผลิตชิ้นส่วนหมวกกรองใน พิเชฐ พุ่มเกษร กัลย์จรัส บุญประสิทธิ์	308
P439: การประยุกต์ใช้การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพื่อช่วยในการคัดเลือกวัสดุสำหรับการ การผลิตไปโพลาร์เพลตในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตรอน ชนม์เจริญ แสงรัตน์ สาลินี สันติธีรากล	315



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P449: การปรับปรุงการวางแผนสั่งซื้อสารเคมีสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีการพยากรณ์ความต้องการและการสั่งซื้อที่เหมาะสม ศิเรมอร นีระเสน ชีรเดช วุฒิพรพันธ์	322
P450: การปรับปรุงประสิทธิภาพในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกระจกนิรภัย พิเชษฐ พุ่มเกษร ศิริวิมล สง่าเม่น รัชนีวรรณ สุวรรณพานิช อารยา อันประเสริฐ	329
P454: การศึกษาความเชื่อมโยงในการดำเนินงานระหว่างขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม ดลพร รักถิ่น มานพ เรี่ยวเดชะ	335
P456: การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยในการจัดทรัพยากรในการผลิตของกระบวนการเย็บ สำหรับโรงงานเครื่องนุ่งห่ม สุภิจรรย์ หุ่นธานี ปวีณา ชาวลิตวงศ์	341
P460: การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อหาแนวทางปรับปรุงคลังสินค้าโดยใช้โปรแกรมอาร์เอ็นเอ กรณีศึกษา โรงงานประกอบรถยนต์ ชัยญารัตน์ นารถเมธี ชญารัฐ ศรีสงคราม ประจวบ กล่อมจิตร์	347
P461: การพัฒนาดัชนีชี้วัดมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของเครื่องจักร รัฐพล วุฒิการณ์	353
P505: การประยุกต์ระบบ Monozukuri ในอุตสาหกรรมไทย กรณีศึกษา โรงงานผลิตชิ้นส่วนยางอุตสาหกรรม สมพงษ์ พูนลาภทวี	359
P515: การสร้างกระบวนการคัดเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์ในการผลิตพลาสติกขึ้นรูปร้อนโดยการประยุกต์ใช้ การออกแบบบรรจุภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ กรณีศึกษา: บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก จีรานุช บุตดีจีน อรรถกร เก่งพล	365
P520: การวิเคราะห์บทความวิจัยเกี่ยวกับการนำลิ้นมาใช้ในงานก่อสร้างที่ตีพิมพ์ระหว่างปี 2543-2551 จุฬาลักษณ์ เอียดแก้ว รัฐนาฏ ประยูรมหิศร ตริทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง	371



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>Work Study, Plant Layout, Ergonomics, and Safety Engineering</b>	
P26: การลดของเสียในกระบวนการผลิตท่อโค้งปากระฆัง นรา บุรีพันธ์ ยอดนภา เกษเมือง	380
P34: การลดการปนเปื้อนในตู้เก็บอุปกรณ์ปลอดเชื้อทางการแพทย์โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณเสียง กรณีศึกษา หอพิเศษอายุรกรรม โรงพยาบาลนครพิงค์ จ.เชียงใหม่ ศุภชัย อัครนรากุล วนิดา อัครนรากุล	385
P39: การปรับปรุงวิธีการทำงานในสายการผลิตปลากระป๋องในหอสมะเขือเทศ เจริญ เจตวิจิตร ชีระพล โพธิ์ทอง กิตติศักดิ์ เมธีภัทรกุล	389
P48: การปรับปรุงกระบวนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในบริษัทผลิตชิ้นส่วน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้เทคนิคการศึกษางาน ศยามล ประสาทเขตวิทย์ อรจิรา ชีราวัฒน์ รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว	396
P125: การวางผังโรงงานแบบพลวัตโดยใช้ซิมูเลเตด แอลเนลิ่ง อริวัฒน์ บุญมี ปณิธาน พีรพัฒนา	402
P139: การออกแบบสถานีงานคัดแยกจดหมายโดยหลักการยศาสตร์ กนกพร แสงตะวัน พรศิริ จงกล	407
P170: การประยุกต์ระบบข้อเสนอแนะใค้เช่นสู่การพัฒนาระบบอัตโนมัติในการผลิต ณัฐวุฒิ พุทธก้อม นกุล อุบลบาน	413
P198: นั่งร้านเคลื่อนที่และปรับระดับ เกียรติศักดิ์ รักษาสัตย์	419
P200: ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นของเครื่องตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสถิตชนิดเคลื่อนที่ ศักรินทร์ โสนันทะ	424
P223: การเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ไพบุลย์ แยมเฟื่อน	430



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P244: ประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่แบบน็อกดาวน์ในการควบคุมฝุ่นไม้จากอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ ทัศน เรืองสุวรรณ	435
P252: การกำหนดสมรรถนะหลัก (Core Competency) ของอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษในประเทศไทย มนตรี ประจักษ์จิต สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล	441
P256: การประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการหาคำตอบของปัญหาการออกแบบผังโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา อนุพันธ์ ยอดต่อ วนิดา รัตนมณี สมชาย ชูโฉม สุรียา จิรสติสิน	447
P267: การปรับปรุงกระบวนการทำงานในสายการผลิตติดตั้งตู้พิมพ์ ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธ์ ปัญญา เกิดมณี ยอดนภา เกษเมือง	453
P286: การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลมาใช้วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์โดยวิธีหาความแตกต่างของสีระหว่างฉากหลังกับร่างกายมนุษย์ ณัฐพล พุฒยงกูร ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล	457
P304: การปรับปรุงวิธีการทำงานสำหรับงานติดตั้งสายโทรศัพท์ใต้ดิน ศิลาชัย วัฒนเสย พิษณุ มนัสปิติ	463
P314: การพิจารณาองค์ประกอบความล่าช้าต่อการใช้งานเฟอร์นิเจอร์ด้วยการวัดค่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ นราธิป แสงชัย สงกรานต์ บางศรีณย์ทิพย์	468
P343: การศึกษาทางด้านการยศาสตร์เกี่ยวกับมิติและท่าทางการจับมีดในงานตัดเฉือน อรทัย บัวผุด นริศ เจริญพร	478
P352: การศึกษาวิธีการทำงานและเวลามาตรฐานของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์ สุภาพร ไชยทองศรี กมลวรรณ วิจิตชัย พัชรินทร์ ลักษณะโยธิน	484



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P353: การออกแบบแก้อีเก็งกึ่งยึนเพื่อลดความเมื่อยล้ากล้ามเนื้อของพนักงานที่ยืนปฏิบัติงานเป็นเวลานาน: กรณีศึกษาโรงงานผลิตอาหารทะเล พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี	489
P358: การลดการทำงานของกล้ามเนื้อโดยการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ รณภูมิ รัตนเพียร	495
P363: การเพิ่มผลผลิตด้วยเทคนิคและวิธีการทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมในโรงงานผลิตเบาะรถตู้ กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัดพิพัฒนาพงศ์การช่าง ศรัณยู สัจจโกวิท สงกรานต์ บางศรัณย์ทิพย์ วันชัย แผลมหลักรสกุล	501
P381: การปรับปรุงความปลอดภัยในการทำงานในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ โดยการพัฒนาพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน อริสรา ฤทธิงาม	507
P415: การเพิ่มผลผลิตในสายการประกอบด้วยการจัดสมดุลสายการผลิต กรณีศึกษา โรงงานผลิต พาล์มไม้อย่างพารา จงรักษ์ สมใจ ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม พิเชฐ พุ่มเกษร	512
P433: การออกแบบบริเวณสำรองสำหรับผู้ป่วยที่ได้รับแจ้งให้จำหน่ายออกในหอผู้ป่วยเด็ก สุนทร สีเหมือน ไส้จ ศรีงาม ณัฐพล อยู่ศิริจันทร์ ตวงยศ สุภิกิตย์	517
P462: การปรับปรุงงานของด้วยมือในโรงงานผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอย่าง กนกวรรณ แสนศรี จริญญา วันแก้ว จารุวรรณ กลิ่นระรื่น ประจวบ กล่อมจิตร	523
P470: การเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตด้วยวิธีการปรับปรุงผังโรงงานให้เกิดการไหลของวัสดุ: กรณีศึกษา สายการผลิตและการตรวจสอบสินค้าบรรจุภัณฑ์เส้นใยธรรมชาติ เอกชัย วารินศิริรักษ์ เกษมศักดิ์ ศรีธาราธร	528
P480: การปรับปรุงสถานีอุ้มน้ำโดยหลักการทางกายศาสตร์ อภิชาติ คุณานพรัตน์ หฤทัย โลหะศิริวัฒน์	534



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P516: การออกแบบและพัฒนาโครงคัสซีรตโดยสาร 2 ชั้น (มาตรฐาน 4) สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร ธนุ ญาฉาย วิรัตน์ จอมขวา สายประสิทธิ์ เกิดนิยม	539
<b>Quality Management, Robust Design, and Statistical Applications</b>	
P10: การลดของเสียกระบวนการพิมพ์กระสอบสานพลาสติก จันทิมา ชันกลาง สุวิมล วังสูงเนิน จารุพงษ์ บรรเทา	548
P17: การพัฒนากระบวนการย้อมฝ้ายจากสีธรรมชาติ อนุชิต คงฤทธิ์ อนุชา คงฤทธิ์ สุรกิจ ชันกระโทก จารุพงษ์ บรรเทา	554
P31: Applying the PAF model for a whole company Sakesun Suthummanon Nikorn Sirivongpaisal	560
P42: การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการชุบผิวลวดเหล็กด้วยสังกะสี โดยวิธีการจุ่มร้อน ที่ระดับ ค ปิยทัศน์ ฐานประเสริฐกุล ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา	565
P45: การบริหารความเสี่ยงของโครงการก่อสร้างโรงงานฟีนอล ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ณัฐชัย เกียรติสกุลพงษ์	571
P68: การพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการชุบโครเมียมเคลือบผิวท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ นรินทร์ ควะณะเสวิน สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	577
P101: การปรับปรุงแผนการตรวจรับชิ้นงานก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตชิ้นส่วนเข็มขัดนิรภัยรถยนต์ สุกิจ วัตรศรีวานิช บรรเทาญ ลิลา	583
P104: การลดความสูญเสียเปล่าของกระบวนการติดตั้งระบบก๊าซรถยนต์ตามหลักสีน ชิกชิกมาร์ อภิญา ตากสกุล ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย	589
P138: การพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมกระบวนการเชิงสถิติแบบออนไลน์ สำหรับการผลิตชิ้นส่วน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ วรมัน โบราณินทร์	600



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P173: การศึกษาปัจจัยและจุดเหมาะสมของการเชื่อมงานในการผลิตตัวเก็บประจุ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร สุจิตรา ชาทะวะสุ	606
P187: การปรับปรุงกระบวนการผสมยางคอมปาวด์ เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ	614
P207: การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยวิธีการออกแบบการทดลอง มนนัช พระพุทธคุณ ธีรเดช วุฒิพรพันธ์	620
P219: การลดความสูญเสียจากกระบวนการฉีดพลาสติกและการออกแบบการทดลองเพื่อนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ วันวิสา ต่วนตระกูลศิลป์ สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร กฤษดา อัครรุ่งแสงกุล ธีรเดช วุฒิพรพันธ์	628
P221: การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมท่ออลูมิเนียมจากกระบวนการรีดขึ้นรูป กรณีศึกษาโรงงานผลิตหม้อน้ำรถยนต์ อุทุมพร พงษ์อุดม สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร กฤษดา อัครรุ่งแสงกุล ธีรเดช วุฒิพรพันธ์	636
P228: การศึกษาบทบาทของการใช้บัตรสมาร์ทการ์ดแบบไร้สัมผัสในการชำระค่าสินค้าและบริการ พร้อมพัฒนา ภูมิวัฒน์ พิษณุพงศ์ แก้วม่วง พีรภัทร สืบสันติกุล ธนกรณ์ แน่นหนา	643
P241: การออกแบบแผนการสู่มตัวอย่างแบบต่อเนื่องประเภทที่ 1 ในการทดสอบคุณภาพทางไฟฟ้าสำหรับหัวอ่าน HSA เพื่อให้ได้ต้นทุนคุณภาพต่ำสุด เสริมสุข แซ่ตั้ง ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย	649
P248: การลดปัญหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถุงมือยาง จุฑามาศ พรหมมนตรี เสกสรร สุธรรมานนท์ นิกร ศิริวงศ์ไพศาล	655
P253: รูปแบบการประกันคุณภาพการพัฒนาฝีมือแรงงานของสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน มนตรี ประจักษ์จิต เพ็ญใจ พานิชกุล	661



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P271: การลดและควบคุมความสูญเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกโดยใช้กรอบแนวทาง การบริหารความเสี่ยง กรณีศึกษา: โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ จินต์จิรา อเนกบุญย์ ประเสริฐ อัครประภมพงศ์	666
P273: การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการระบายความร้อนบริเวณแผงคอนเดนเซอร์ด้วยการระเหยของน้ำ นราธิป แสงชัย วริษฐ์ ธรรมศิริโรจน์	672
P274: การปรับปรุงระบบประกันคุณภาพ สำหรับหน่วยงานสนับสนุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปริยดา จันทรวัดนาวณิช ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย	679
P275: การประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA ในการวิเคราะห์และลดของเสียในกระบวนการปั๊มขึ้นรูป ชิ้นส่วนโครงเหล็กของรถยนต์ สุพัฒตรา เกษราพงศ์	685
P277: การประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก สุพัฒตรา เกษราพงศ์ ฤทธิชัย นาคเขียว	691
P278: การประยุกต์ใช้เทคนิค 8D เพื่อป้องกันของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนวงจรรวม สุพัฒตรา เกษราพงศ์ พุฒยศ ผลชีวิน	697
P309: การวิเคราะห์ต้นทุนกิจกรรมของการบริการจัดรถเข้ารับสินค้าและบรรจุสินค้า กรณีศึกษาบริษัทปูนซีเมนต์ในประเทศไทย กฤษฎา ชานีรัตน์ อรรถกร เก่งพล วิชัย รุ่งเรืองอนันต์	703
P315: Quality Improvement in the Hospital Sirirak Phooriyaphan	709
P356: การลดความแปรปรวนของน้ำหนักกุนเชียง กรณีศึกษา : โรงงานผลิตกุนเชียง ศรียุญา กันหาณี นลิน เพียรทอง	712





## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P372: การประยุกต์เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในการพัฒนาดัชนีวัดผล การดำเนินงานหลัก : กรณีศึกษาสถาบันวิจัยพลังงาน วารี มโนภินิเวศ ปารเมศ ชูติมา	718
P379: การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบของโรงงานเย็บผ้าด้วยระบบการวัด หนึ่งฤทัย โสภา ขนิษฐากุลเกตุ ปัทมา โสภา ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์	725
P385: การพัฒนาโปรแกรมการแปรหน้าที่เชิงคุณภาพ พรหมพงษ์ ลิ้มโชคอนันต์ ณิชูชา ทวีแสงสกุลไทย	730
P388: การปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิตสำหรับการผลิตเครื่องเรือนไม้ จุฑาณัฐ ธนกุลรังษฤษฎ์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย	736
P395: การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ชุดห้องครัวแบบถอด-ประกอบ หทัยวงศ์ งามวุฒิมวงส์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย	741
P397: การศึกษาผลกระทบความเรียบผิวอะคริลิกที่ตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ ปริญญา ศรีสัตยกุล พิชัย จันทรมณี	747
P399: การศึกษาลักษณะการสึกหรอมัดกึ่งเกลียวคาร์ไบด์เคลือบไทเทเนียมไนไตรด์ ภาณุเดช แสงสีคำ พิชัย จันทรมณี	751
P419: ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเค 110 สมหมาย สารมาท มนตรี แก้วอยู่	755
P438: การประยุกต์ใช้การจัดลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) กับ ระบบ GMP ในวิสาหกิจชุมชน สิทธิเดช ครุทสี ภาณุ บูรณจรรุกร จักรทอง ทองจัตู ลอนดอน นุ่มพรม	760
P441: การศึกษาปัจจัยขนาดนิลที่มีผลต่อกระบวนการหล่อพร้อมฝังนิล วันชัย สีสากวิวงศ์ สุวัฒน์ เณรโต สิริพงศ์ จิงถาวรณ ชนาศักดิ์ เหมมณี สุรติ ใจหลัก	765
P448: การศึกษาอีโวลูชันของสารแขวนลอยคาร์บอนแบล็คสำหรับการเคลือบชิ้นงานในแม่พิมพ์ ชมพูนุท เจริญวุฒิลาภ จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์	772



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P466: การสำรวจวัฒนธรรมด้านคุณภาพขององค์กร นิจฉัย ขาดิชนวม กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ นันทน์ ถาวรังกูร	778
P478: เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดเพื่อลดจำนวนเม็ดโลหะบนชิ้นงานสำหรับกระบวนการเชื่อมโลหะ ด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุม วรเชษฐ์ หวานเสียง สันติชัย ชิวสุทธิศิลป์	784
P501: การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะครีลิกในกระบวนการตัด โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ปาริชาติ บุญเกลี้ยง นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ	790

### Environmental Management

P442: การประเมินวัฏจักรชีวิตทางแก๊สชีวภาพของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ วันชัย สีสากวิวงศ์ สุวัฒน์ เณรโต สิริพงศ์ จิ่งถาวรณ ปริยธิดา ไกล่ชิต ศยามล โอถาวรวงษ์	797
---	-----

### Materials, Production, CAD/CAM, and Manufacturing Engineering

P24: การศึกษาแรงดันจากเคาน์เตอร์ฟันซ์ที่ส่งผลต่อคุณภาพของบดตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเฉือน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คมกริช ละวรรณวงษ์ ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ วารุณี เปรมานนท์	805
P25: การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 5083 ด้วยวิธี การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding, GMAW) ปรัชญา เพ็ญสุระ มงคล ไชยศรี	812
P37: การเพิ่มประสิทธิภาพทางกลของการเชื่อมโลหะแผ่น 2 ความหนาที่มีคุณสมบัติแอนไอโซทรอปิก ซูไฮดี สนิ ยงยุทธ ดุลยกุล วิทยา ศิริคุณ	818
P54: Tool Shape Effects on Turning of Stainless Steel Somsiang Chantasee Chaiya Dumkum	824



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P55: การลดความร้อนในการตัดโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าโดยใช้ระบบน้ำหล่อเย็น วิเชียร เกื้อนเครือวัลย์ ศุภเอก ประมูลมาก	829
P61: อิทธิพลของสารเคลือบผิวที่มีต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ขึ้นรูปแบบตีเย็น เกศราพร วัฑฒัญญ์ สุรศิษฐ์โรจนนันต์ สิริพร โรจนนันต์ นริศตา บุญลาภ ไพรัชิต จันทรหอม วิญญู เสือคง	835
P62: สมบัติทางกลของอะลูมิเนียมหลังกระบวนการรีดเย็นและการรีดเย็นยาวดิ่ง ประมวล หวังเกษม สิริพร โรจนนันต์	841
P65: การเตรียมอะลูมิเนียมผงด้วยวิธีแก๊สอะตอมไมเซชัน เกษม พิพัฒน์ปัญญาอนุกุล ณัฐพงศ์ สมัญญา เปศย์ผั่นทางาม ปาริฉัตร คงประโคน	847
P67: การศึกษาวัสดุธรรมชาติจากเปลือกทุเรียนและยางพาราเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม จักรกฤษ ปู่ชัน ชีรพงศ์ อูปทุม วรารัตน์ สุขศรี ณรงค์ชัย รอดเจริญ วิศิษฐ์ศรี วิยะรัตน์ อนุชา วัฒนาภา นิตศน์ ทิพย์โสตนัยนา	852
P70: ผลจากการใช้น้ำมันพืชเป็นน้ำมันตัดเฉือนต่อขนาดของแรงตัดเฉือน สุเทพ คงทัน สมศักดิ์ หอมดี	857
P71: ผลกระทบของระยะเยื้องศูนย์กลางของข้อต่อส่งกำลังกับประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลัง ประสาท ภูปรีม สมศักดิ์ หอมดี พีระพงศ์ ท้าวเพชร	862
P97: การเชื่อมวาท่อชนเหล็กรางรถไฟต่างขนาด เดชา สุขมา สมนึก วัฒนศรียกูล	867
P105: การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะด้วยวิธีโพเทนชิโอไดนามิกส์ โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม และบันทึกข้อมูล ฤทธิรงค์ นิยมโชค ต้นพงศ์ แก้วคงคา จิรพงศ์ ลิ้ม ศิริพร ดาวพิเศษ	873
P126: อิทธิพลของความเร็วตัดที่ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานที่ผลิตจากแม่พิมพ์ตัด คมกริช ละววรรณวงษ์ ณัฐศักดิ์ พรพุมศิริ วารุณี เปรมานนท์	877



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P130: การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตชุดควบคุมราวฝึกเดินสำหรับผู้ป่วยหลายสรีระ กรณีศึกษา: หุ่นจำลองราวฝึกเดิน ปรีชา ช่างย่อม สุพรรณ สุตสนธิ์	883
P134: การปรับปรุงคุณสมบัติผิวงานเหล็กกล้า AISI P20 โดยการปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพ ในการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า กมลพงศ์ แจ่มกมล ศิริชัย ต่อสกุล พิชัย จันทรมณี	888
P135: ปัจจัยประสิทธิภาพที่มีผลต่อความแข็งชิ้นงาน AISI P20 สำหรับกระบวนการกัดเซาะ ด้วยไฟฟ้า (EDM) กมลพงศ์ แจ่มกมล ศิริชัย ต่อสกุล	893
P137: การศึกษาอิทธิพลของการใช้เศษเหล็กเหนียวที่มีสังกะสีปนเป็นต่อกรรมวิธีการผลิตเหล็กหล่อเหนียว บุญช่วย โรจน์ฤทธากร สมบุญ เจริญวิไลศิริ	897
P141: คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านไม้อัดก้อนที่ผลิตจากเศษถ่าน หาญณรงค์ บำรุงศิริ สุขอังคณา ลี	903
P143: การศึกษาค่าปัจจัยในการผลิตเยื่อกระดาษเปลือกข้าวโพดด้วยเครื่องตีเยื่อสองแกน วรพจน์ ศิริรักษ์ เรืองฤทัย ศิริรักษ์ วิวัฒน์ นพวงศ์ กฤษณะ ลองเย็น กำพล ชวักไขว่	909
P144: การศึกษาผลของปัจจัยสำหรับการอบข้าวเกรียบมันสำปะหลัง วรพจน์ ศิริรักษ์ เรืองฤทัย ศิริรักษ์ ชัชชัย สีตา นรินทร์ คนทรงแสน อรรถพล คำสีบ	913
P145: การจำลองการไหลน้ำโลหะในการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง 925 ด้วยโปรแกรม Conifer Cast พิพัฒน์ พูลสวัสดิ์ กุลยศ พิพัฒน์สวัสดิ์ สมนึก วัฒนศรียกุล	916
P146: การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องทดสอบแรงบิด สมควร แววดี อศพล มุ่งบัง	923
P147: การประยุกต์ใช้การเชื่อมเลเซอร์สำหรับเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง 925 สมนึก วัฒนศรียกุล ณรงค์เดช พัฒนไพบูลย์ ศิวะพงษ์ ลัมพาภิวัฒน์ ศุภฤกษ์ ยิ้มกอบกิจ	928



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P148: การใช้ประโยชน์เครื่องขึ้นรูปอย่างรวดเร็วในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องเงิน วิสนัย วรรณจรรย์ยา	934
P149: การศึกษาอิทธิพลของขนาดเกรนในโครงสร้างจุลภาควัสดุ สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณคลื่น อะคูสติกจากการกัดกร่อน ประกาศิต เต็มรัตน์ อาษา ประทีปเสน เฉลิมเกียรติ จิระรุ่งเสถียร	940
P150: การประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพเพื่อพัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์ เซลล์เชื้อเพลิงขนาด 300 วัตต์ วิสนัย วรรณจรรย์ยา	946
P174: การสร้างชิ้นงานมาตรฐานที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องในท่อ ที่ วาย เค สำหรับการทดสอบ โดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง ณรงค์ศักดิ์ อินทร์อ่อน อาษา ประทีปเสน ใหม่ น้อยพิทักษ์	952
P175: เทคนิคการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมเมื่อเดตัมของการบอกขนาดเปลี่ยนแปลง อรรวรรณ นงนุช ยงยุทธ เสริมสุขอินวัฒน์	958
P177: การผลิตและทดสอบซิลิกอนคาร์ไบด์พูนจากไม้ยางพาราผสมเนื้ออะลูมิเนียม ศิวนาท ลอยกุลนันท์ เจษฎา วรรณสินธุ์ สุธรรม นียมवास นภิสพร มีมงคล	963
P182: เครื่องนับจำนวนสินค้าบนสายพานการผลิตสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้เทคนิคการนับผลต่างของระยะทาง ธีระ ฤกษ์มณีวรรณ ณฤทธิ์ ญิงชนิศา ไพบูลย์ บุปผา	969
P192: การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงไม้มะพร้าวด้วยใบมีดคาร์ไบด์ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง ปิยวิทย์ สุวรรณ จุฬาลักษณ์ ไรจนาคุณ	974
P193: การพัฒนาฐานข้อมูลชิ้นส่วนย่อยของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรมออร์โตเดส อินเวนเตอร์ 11 สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง ธีรพงษ์ ทิพย์อักษร	983
P194: ออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุและอัดดินอเนกประสงค์ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง	992



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P196: ไดนาโมมิเตอร์วัดแรงตักกลิ้ง 3 ทิศทาง นฤทธิ์ คชฤทธิ์ ศักดิ์ชัย จันทศรี	998
P199: การปรับปรุงวิธีการชุบแข็งเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานมีดตัดอ้อย เจนณรงค์ จันทสร สมนึก วัฒนศรียกุล	1004
P214: วิธีการระบุเส้นโครงร่างในงาน Layer-Based Geometrical Reconstruction ปภากร สุวานนท์	1009
P229: การศึกษาสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่ทำจากผงไม้ ต่อศักดิ์ อุทัยไขฟ้า	1015
P239: การลดราคาต่อหน่วยในการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซีด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค สมพร เตี้ยเจริญ ธีรยุทธ ซาดิซนะยีนยง วรวัฒน์ เสี่ยงมวิบูล	1020
P245: การปรับปรุงความแข็งแรงผิวโดย Pack Cementation บนเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1020 สุพร ฤทธิภักดี สุขอังคณา ลี สุรียา ไชคสวัสดิ์ เจริญ ชุมมวล นลิน เพียรทอง นภิสพร มีมงคล	1023
P255: การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและดัชนีการหลอมไหลของการผสมพอลิโพรไฟลีน ที่นำกลับมาหลอมใหม่ จิระเชษฐ์ บุญแก้ว สมชาย พัวจินดาเนตร	1029
P257: การศึกษาคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็ง คณางค์ เคหะฐาน เบญจพร รักษาพันธ์ วรรษญา หนูแย้ม อิศรทัต ฟิ่งอัน	1034
P258: การเชื่อมอลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075 โดยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน วิชัย พุ่มจันทร์ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	1039
P259: ความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมผสมแผ่นรีด 6063 และอลูมิเนียมหล่อผสมแมกนีเซียม ปรกช สิริสุวรรณณ์ ธวัช หมีเฟื่อง นิธิรัตน์ โพธิ์ทอง กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	1044



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P260: อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงเหนือนของรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ บุญส่ง จงกลณี อนินท์ มีมนต์ สมชาย วนไทยสงค์	1050
P261: การเปลี่ยนแปลงสมบัติโลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063-T1 ด้วยตัวกวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนหลายรูปแบบ ปราโมทย์ พูนนายม ประภช สิริสุวัฒน์ ศักดิ์ชัย จันทะศรี นิธิรัตน์ โพธิ์ทอง กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	1056
P262: Development of TiO <sub>2</sub> -Derived Nanofibers Using Hydrothermal Method Sorapong Pavasupree Churairat Duangduen Sommai Pivsa-Art Singto Sakulkaemaruehai Jaturong Jitputti Yoshikazu Suzuki Susumu Yoshikawa	1062
P265: การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้อนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ในการลดปริมาณคาร์บอนของโลหะจากการเชื่อม นิวัตร คุณาวงค์ อิศรทัต พึ่งอัน	1068
P266: หุ่นยนต์ควบคุมการเชื่อม GMAW ในพื้นที่อันตราย ประจักษ์ อ่างบุญตา ชลิตต์ มธุรสมนตรี วิเชียร อุปแก้ว	1072
P269: การศึกษาความเป็นไปได้ในการจำลองโลหะเชื่อมจากการกระบวนการเชื่อมมิกนพกร ภูระยา อิศรทัต พึ่งอัน	1078
P295: การเกิดรอยแตกร้าวจากการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าในของเหลวตัวกลางน้ำและน้ำมัน สมมติ จินดาพล อภิวัฒน์ มุตตามระ	1084
P298: การปรับปรุงกระบวนการผลิตพื้เทียมชนิดติดแน่นโดยอาศัยเทคนิคการสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยเทคโนโลยีแบบโฟโตพอลิเมอร์ พงส์ศักดิ์ ไหลิมชยโชติกุล คมกฤต เล็กสกุล ชาลิณี มณีขัติย์	1090
P299: การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วในการขึ้นรูปกะโหลกและชิ้นส่วนกะโหลกศีรษะเทียมสำหรับงานศัลยแพทย์ทางสมอง พงส์ศักดิ์ ไหลิมชยโชติกุล คมกฤต เล็กสกุล ชาลิณี มณีขัติย์	1096



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P312: การเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน มณฑลเกียรติยศ กลั่นบุบผา กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ สรพงษ์ ภาสุปรีย์	1101
P318: การศึกษาความเป็นไปได้ของถ่านลอยอลูมิเนียมต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของอิฐทนไฟ ศาสตราจารย์ เตี่ยะตาช่าง สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	1107
P323: การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็กทำแม่พิมพ์งานเย็น ณัฐกร แก้วอินทร์ศรวล สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล สันติรัฐ นันสะอาง	1112
P325: การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็กทำแม่พิมพ์งานร้อน DHA1 ด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วยกระบวนการ PVD สุรพันธ์ รักษาพรหมณ์ สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล	1118
P326: การออกแบบและสร้างเครื่องตัดกิ่งไม้สำหรับติดตั้งบนรถปฏิบัติการบนที่สูง พิพัฒน์ พูลสวัสดิ์ กิตติภักดิ์ รัตนจันทร์	1124
P328: การออกแบบเครื่องเชื่อมด้วยแรงเสียดทานขนาดเล็ก ประมุข เจนกิตติยนต์ กิตติภักดิ์ รัตนจันทร์	1131
P333: การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความล้าแบบบิตเพื่อใช้ในห้องทดสอบ กิตติภักดิ์ รัตนจันทร์ ประมุข เจนกิตติยนต์	1137
P341: การพัฒนาการออกแบบโครงสร้างรถโดยสารบนพื้นฐานรูปแบบตัวแปร ณัฐพงศ์ มุสิกะ กุศล พิมพินธุ์ศรี	1143
P380: ความสามารถในการรับแรงของเกลียวในที่ขึ้นรูปด้วยวิธีขึ้นรูปต้นแบบอย่างรวดเร็ว สุรศิษฐ์ ไรจนันต์ อภิทาน ลี	1150
P391: กรณีศึกษากระบวนการ EDM ทังสเตนคาร์ไบด์โดยเติมผงโคบอลต์ผสมในสารไดอิเล็กทริก ภาณุวัฒน์ ชำมะเรียง อภิวัฒน์ มุตตามระ พิชัย จันทร์มณี	1156
P394: การศึกษาสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ผสมจากยางธรรมชาติกับ พอลิโพรพิลีนและยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง คมกฤต เล็กสกุล พงษ์สวัสดิ์เปรมเพชร	1161





## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P409: การศึกษาอิทธิพลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและอินเดียม ที่มีต่อสมบัติของทองคำ 965 ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม สุรัตน์ วรรณศรี	1167
P416: การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการกัดอาร์คซิลิคอนไนไตรต์ด้วยไฟฟ้า อภิวัฒน์ มุตตามระ อนันท์ เพ็ชรผึ้ง	1174
P417: การวิเคราะห์ความแข็งของเหล็กเครื่องมืองานเย็น SKD 11 ภายหลังจากเชื่อม แบบอาร์คทั้งสแตนด้วยวิธีไฟในเอลิเมนต์ ฤทธิ์ชัย เกาเนียม ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง สุธรรม ศิวาวุธ	1179
P420: การศึกษาอิทธิพลทางความร้อนต่อความแข็งของเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 เนื่องจาก การกัดเซาะทางไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีไฟในเอลิเมนต์ ฤทธิ์ชัย เกาเนียม กมลพงศ์ แจ่มกมล พิชัย จันทร์มณี อภิวัฒน์ มุตตามระ	1185
P429: การประเมินค่าความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตของการตัดที่เป็นผลจากความผิดพลาด ของการจับยึดชิ้นงานในขั้นตอนก่อนกระบวนการผลิต กุลภัสร์ ทองแก้ว สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์ เจริญยุทธ เดชวายุกุล	1190
P443: การศึกษาอิทธิพลชนิดของดรอว์บีดในกระบวนการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร บุญส่ง จงกลณี ศิวกร อ่างทอง	1196
P452: การศึกษามุมปลายพื้นที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานสำหรับกระบวนการตัดละเอียด สุเทพ เยี่ยมชัยภูมิ ดลธรรม เอพกานนท์ โอริส มณีสาย	1202
P457: การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของเซลล์สุริยะที่ถูกฉายด้วยรังสีเอ็กซ์ สมพร เพ็ชรสุขมณี	1208
P458: การเตรียมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและผลกระทบของ การเติมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีด นพดล เบี้ยทอง ศิริชัย ต่อสกุล สรพงษ์ ภาสุปรีย์	1212
P468: การอบไม้ยางพาราโดยใช้การฟุ้งชนของเจ็ทอากาศร้อน นุชชิตา พรหมทอง ธเนศ รัตน์วิไล ชยุต นันทดุสิต	1218



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P471: การศึกษาปัจจัยจากจากสิ่งแวดล้อมและอัตราการปกคลุมของแก๊สในกระบวนการเชื่อม MAG-C ที่มีผลกระทบต่ออาการเกิดรูพรุนในแนวเชื่อม เอกชัย วารินศิริรักษ์ สมพร เพียรสุขมณี	1224
P474: การศึกษาอัตราการสูญเสียของสังกะสีบนเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีจากอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการยึดประสานแบบ MIG-Brazing เอกชัย วารินศิริรักษ์ บวรโชค ผู้พัฒนา	1230
P475: การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนในรอยต่อบัดกรีบนภาชนะปรุงอาหารร้อน เอกชัย วารินศิริรักษ์ อิศรทัต ฟุ้งอัน	1235
P476: การพัฒนาaying ฟูพื้นเพื่อลดแรงกระแทกที่เกิดจากการล้ม ไพลิน แซลิม ธเนศ รัตนวิไล วิริยะ ทองเรือง สุกฤทธิรา รัตนวิไล	1242
P489: การหาสภาวะที่เหมาะสมในถังหมักความดันสำหรับผักกาดดอง บุญฤทธิ์ ปินตาสี พิช จันทรออบ เกரியงไกร จิตสำราญ	1246
P493: ความแข็งที่ผิวชิ้นงานของวัสดุเหล็กเหนียวอ่อนที่ถูกตัดด้วยวิธีการตัดพลาสติก อิศว ปัทมธรรมกุล	1250
P495: การทดสอบสมรรถนะของพัลลมเซนตริฟูกอลเพื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณโดยใช้โปรแกรม CFX คมกฤษ กิตติพร เดชदनัย บุญช่วย	1256
P502: เทคนิคที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับเครื่องกัดแบบ 5 แกน (กรณีศึกษาของ A Complex Core Insert) เกரியงไกร ไวยกาญจน์	1260
P506: การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและบรรยากาศแวดล้อมของเซอร์คอนจากอำเภอน้ำเย็น จังหวัดอุบลราชธานี กัญญารัตน์ รุ่งสูง สุขอังคณา ลี สุริยา โชคสวัสดิ์	1266



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P514: การพัฒนาเทคนิคการวัดค่าอุณหภูมิของตัวอย่างโลหะสำหรับกรณีศึกษาการชุบแข็งด้วยน้ำ โดยใช้วิธีการทดสอบจุ่มน้ำ วีระพงษ์ กาญจนวงศ์กุล	1272

### Logistics and Supply Chain Management

P38: การศึกษาโซ่อุปทานสุกรในจังหวัดนครปฐม เกศศิริรินทร์ ไชยวงศ์ ณัฐธิดา อรุโณทัย มาริษา รัตนพันธ์กุล ดวงพรรณ กริชชาญชัย	1280
P41: การศึกษาระบบโลจิสติกส์เพื่อลดระยะเวลาการส่งมอบสินค้าล่าช้าของบริษัทผลิตแห-อวน ธนา ศรีจันทร์งาม วนิดา รัตนมณี เสกสรร สุธรรมานนท์	1286
P128: การพัฒนาพื้นที่การจัดเก็บแบบยืดหยุ่นของชิ้นส่วนยานยนต์ สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ ภาวิณี นิลวัชรารมณ	1291
P178: ปัจจัยความสำเร็จของโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ ชลาลัย มกุลพานิช วุฒิไกร งามศิริจิตต์	1298
P197: รูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อย เพื่อลดต้นทุนโลจิสติกส์อ้อยเข้าโรงงาน :กรณีศึกษา วรพร มุกนำพร วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์	1305
P203: การพัฒนาโซ่อุปทานแบบลิ้นสำหรับกระบวนการกระจายสินค้า โดยใช้แบบจำลองพลวัต ของระบบร่วมกับเครื่องหมายแบบจำลองกระบวนการธุรกิจ : กรณีศึกษาบริษัทผลิตน้ำผลไม้ วีระพล คุณทวีเทพ สมภาพ ดลบัแก้ว วิทยา สุหฤทธารัง	1312
P206: การศึกษาผลกระทบจากปัจจัยที่ใช้ควบคุมรถขนถ่ายอัตโนมัติในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น วัชรพล มาสำราญ ชีรเดช วุฒิพรพันธ์	1318
P227: การพัฒนาความยืดหยุ่นในกระบวนการโลจิสติกส์ไทย วุฒิไกร งามศิริจิตต์ ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง	1327
P230: การคัดเลือกผู้รับงานปักโดยใช้วิธีวิเคราะห์กระบวนการลำดับชั้นพีซีซี ธัชชนนท์ แดนเขต วิภาวี ธรรมารมณพิลาศ	1333



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P231: การวางแผนการผลิตที่เหมาะสมในโซ่อุปทานอุตสาหกรรมเครื่องประดับเงิน อัศรัช จงธีรโชติ เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์	1339
P270: การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ในโรงสีข้าวสหกรณ์การเกษตร (กรณีศึกษา) ทศพล ประเสริฐโส วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์	1347
P279: การประเมินศักยภาพด้านการบริหารจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรม อัญมณีและเครื่องประดับ วันชัย สีสากวิวงศ์ วลัยลักษณ์ อัครีวงศ์ เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์	1353
P305: การออกแบบระบบการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างไทยกับเวียดนาม อรรถกร เก่งพล วรพจน์ มีถม	1360
P324: การคัดเลือกศูนย์กลางโลจิสติกส์ของประเทศไทยบนแนวระเบียงเศรษฐกิจเหนือ - ใต้ ด้วยกระบวนการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์แบบฟัชชั่นและสโตแคสติก จิรพัฒน์ วาณิชวัฒน์โกศล ภาวี นิมศรีกุล อภิชาติ โสภาแดง	1366
P360: การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ในธุรกิจค้าส่งสินค้าประจำวัน (กรณีศึกษาพื้นที่ภาคใต้) ศักดิ์ชาย รักการ ภิราภรณ์ ก้อนคำ วีระพัฒน์ กฤตธนาทิพย์	1372
P361: การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ในธุรกิจค้าส่งสินค้าประจำวัน (กรณีศึกษาพื้นที่ภาคกลาง) ภิราภรณ์ ก้อนคำ ศักดิ์ชาย รักการ วีระพัฒน์ กฤตธนาทิพย์	1378
P406: การประยุกต์วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ลูกค้ามีเวลา พร้อมส่งสินค้าที่ไม่เท่ากัน สุพรรณ สุตสนธิ์ วรณรพ ชันธีรัตน์ สมบัติ สินธุเชาวน์	1384
P426: การเลือกทำเลที่ตั้งคลังกลางสินค้าการเกษตรโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ เชิงลำดับขั้นและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ศักดิ์เกษม รมิงค์วงศ์ อภิชาติ โสภาแดง กรกฎ ไยบัวเทศ สาลินี สันติธีรกุล	1390



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P428: ON LOGISTICS ASSESSMENT OF CHIANG RAI: The Context of Greater Mekong Subregion Collaboration <i>Apichat Sopadang Sakgasem Ramingwong Salinee Santiteerakul</i>	1396
P430: การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรม ชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทย <i>เพชรโพยม เขียวนาวิน ธนกรณ์ แน่นหนา</i>	1402
P499: การพัฒนารูปแบบโลจิสติกส์เพื่อการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอก <i>กาญจนา เศรษฐนันท์ เขมฐา ชำนาญหล่อ พัชรา ศรีพระบุ</i>	1408
P521: การศึกษาเพื่อกำหนดตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของคลังผสมแก๊สโซฮอลล์ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย <i>โรจน์ หอมขาลี วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์</i>	1414
P522: ปริมาณสินค้าและจุดต้นทาง – ปลายทางของสินค้าอุตสาหกรรมในกลุ่มจังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กลุ่มที่ 2 (สกลนคร นครพนม มุกดาหาร) <i>มายูรี ชนชนะชัย วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์ พนกฤษณ คลังบุญครอง</i>	1421
P523: เส้นทางโลจิสติกส์สายใหม่เชื่อมโยงไทยและจีนตอนใต้ <i>อนูวรรตน์ ศรีสวัสดิ์ วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์</i>	1428

### Maintenance Management

P46: การออกแบบการบำรุงรักษาตามกำหนดการคงที่ที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ที่มีการกระจาย ช่วงอายุการใช้งานจนกระทั่งชำรุดเป็นแบบการกระจายไวบูลล์ <i>ประกาศ ศุภศิริสัตย์ยากุล ธนกรณ์ แน่นหนา</i>	1436
P53: นโยบายการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบหลายคาบเวลาสำหรับอุปกรณ์และเครื่องจักรเก่า ที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อการเช่า <i>ภัทรศยา บุญยทรรศพ จารุมนต์ จาตุรนต์นที</i>	1442



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P106: การจัดการกระบวนการบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบลีน (Lean Maintenance) ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ปริญญา บ่องรอด จริยาภรณ์ เสาร์ทอง	1448
P140: การปรับปรุงการบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้าในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ จิตรา รุ่งกิจการพานิช วิฑูรย์ นะเอ๋ย	1454
P195: การปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องมือสำหรับเครื่องจักรวางโลหะบัดกรีบนแผงวงจร ในโรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นได้ สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อานนท์ ปาละพันธ์	1460
P225: มาตรการงานบำรุงรักษาในระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีต บ้านสำเร็จรูป กฤษณี พาณิชย์วรชัยกุล สมชาย พัวจินดาเนตร	1466
P268: การประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร ยุทธณรงค์ จงจันทร์ ยอดนภา เกษเมือง พิชัย จันทรมณี	1472
P393: การลดเวลาในการบำรุงรักษาเมื่อเหตุขัดข้องของจักรในระบบการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อดุลย์ ทองทรัพย์ ศิวกร อ่างทอง	1476
P422: ระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันกับการประยุกต์ใช้กลุ่มเครื่องจักรอีดีเอ็ม กรณีศึกษา : บริษัทไทยเฟรม แอนด์ แอคเซ็สซอรี จำกัด เอกชัย รอดพิสา พิชัย จันทรมณี สมชาย ทามูล อนุทิน พงพันทนา จักรพรรณ สิมศิริวัฒน์	1482
P424: การบำรุงรักษาเครื่องจักรกับการประยุกต์ใช้หลักการบำรุงรักษาด้วยตนเอง พิชัย จันทรมณี ดลธรรม เอภกานนท์ ยอดนภา เกษเมือง กำพลศักดิ์ สัมฤทธิ์ พีรพล มอญพุด	1487
P427: การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรโดยการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษา : ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส เค แอลทูล แอนด์ ดายส์ ธวัชชัย ว่องไวยิ่งเจริญ พิชัย จันทรมณี ญาณพินิจ วชิรสุรงค์ เอกรินทร์ อินชุกุล ทักษิณ ช่วยเทศ	1494



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>Energy Management</b>	
P59: บัลลัสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดขดลวดประสิทธิภาพสูง ศุภชัย นาทะพันธ์	1499
P114: การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตแกนสตาร์ทและการตัดแต่งก้านสูบรถจักรยานยนต์ นพดล ศรีพุทธา จันทนา จันทโร ไชยะ แซ่ม้อย	1505
P224: วิธีลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันสำหรับรถยนต์ด้วยระบบกรองอากาศไฟฟ้าสถิตแรงดันสูง บัญชา บูรพัฒน์ศิริ สัญชัยยะ ผสมกุลศิลป์ วีรยุทธ จันทร์แจ่ม จิรเมธา สังข์เกษม	1511
P234: การพัฒนารูปแบบชุดสาริตเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนเพื่อการใช้งานใน เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กโดยหลักการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ปวเรศ อัจฉรวรรณลักษณ์ วัสนัย วรรณจรรย์ยา	1515
P235: การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแวนสด ปรณกิต เลิศพยัคฆ์ สมชาย ชูไฉม วนิดา รัตนมณี ราม แยมแสงสังข์	1521
P242: วิธีลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วย MCS-51 ในการปรับสมดุลความร้อน บัญชา บูรพัฒน์ศิริ สันต์ชนก ธานาสนะ ชานี ใจประดิษฐ์ธรรม คนัฒพร อินทร์เนตร	1527
P444: การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อต้มไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ศุภกิจ สุทธิเรืองวงศ์ วันชัย ลีลาแก้ววงศ์ สิริพงศ์ จิ่งถาวรณ สุวิทย์ วงษ์เย็น	1531
P446: การจัดการพลังงานแบบมีส่วนร่วมในโรงงานประเภทไม้แปรรูป เอกศักดิ์ ช่อสกุลไพศาล สำลี ลายลักษณ์ วิทยา พวงสมบัติ	1535
P455: การอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ พัฒนพงศ์ อริยสิทธิ์ จตุพันธ์ เรืองรัตน์	1540
P481: การปรับปรุงคุณภาพระบบไฟฟ้าส่องสว่างในห้องสำหรับอาคารเรียน ณัฐ จันทร์ครบ พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี เสรี ชื่นอารมณ	1544



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>Hard Disk Drive Industry Applications</b>	
P44: การลดรอยแตกชั้นส่วนอลูมิเนียมเฟรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในกระบวนการหล่อฉีด ณัฐชา พลอยแก้ว ธเนศ ชวลิตธนวงศ์ พงศ์ปกรณ์ สุพันธ์วี จุลศิริ ศรีงามผ่อง เกศราพร วาัญญู	1551
P56: การวิเคราะห์การสั่นของชุดขนถ่ายชิ้นงานที่มีผลต่อชิ้นงานหัวอ่านและบันทึกข้อมูล ตามสภาวะการใช้งานจริง จิระพล ศรีเสริฐผล สมใจ สุนทรสกุล	1556
P57: การศึกษาปัญหาฝุ่นแสดงแลสในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ บรรหาญ ลีลา	1562
P63: การลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ กรณีศึกษา: สายการประกอบ Hard Disk Enclosure (HDE) เกษม พัฒนปัญญาอนุกุล สรวุฑ บุตรเถื่อน พรรณรวิทย์ ไยสุข สุนิสา มือนันต์	1567
P64: การลดความสูญเสียในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เกษม พัฒนปัญญาอนุกุล ณิชกมล แสงผ่อง สุภัทรา กิจกลาง อรพรรณ สังข์โชติ	1573
P69: การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ รพีพร ศรีบัวรอด ดาริชา สุธีวงศ์	1578
P155: การออกแบบและการลดต้นทุนของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำโดยใช้สนามไฟฟ้า กรีธา สุขทั้ง วิศวกรักษ์ เวชสถล อติศร เตือนตราพันธ์	1584
P168: การพัฒนาระบบธุรกิจอัจฉริยะเพื่อสนับสนุนการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติสำหรับกระบวนการ ผลิตชั้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ พณพงษ์ พิสมยมรมย์	1589





## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P210: การวิเคราะห์เพื่อเพิ่มผลผลิตภาพการผลิตของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์ โดยการจำลองสถานการณ์ วิบูลย์ สำราญรัมย์ เจริญสุนทรวาณิชย์ เจริญชัย โขมพัตราภรณ์	1595
P364: การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Optquest เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์ ธีราพรรณ แซ่แห้ว นีวิท เจริญใจ วิชัย ฉัตรทินวัฒน์	1601
P382: การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการ ขัดหน้าสไลเดอร์ของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์ อรรถพล สมุทคุปดี วรุณ รักสกุลกานต์ ชาริณี กันทะวงศ์วาร	1607
P389: การออกแบบฟิซเจอร์ที่สามารถใช้ร่วมกันได้หลายผลิตภัณฑ์เพื่อวัดวีเบนดิ่งในอุตสาหกรรม ฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์ คมกฤต เล็กสกุล พัญูชัชรินทร์ อินทพันธ์ พิมพ์พิชชา จันทะเบื่อน	1613

### Agricultural Supply Chain and Logistics

P73: โซ่อุปทานของยางพาราสำหรับผลิตภัณฑ์ยางยานพาหนะ เดือนใจ สมบูรณ์วัฒน์ พรไพบูลย์ ปุષปาคม	1618
P176: Farmer's Decision to Grow Sugar Canes vs. Cassavas: A Conjoint Analysis <i>Kawpong Polyorat Kullapapruk Piewthongngam Suppachai Pathumnakul Phalakorn Prakhomthong Thinnakorn Klomsa-ard</i>	1624
P179: การศึกษาระบบการขนส่งในการผลิตและส่งออกของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ศาสน์ สุขประเสริฐ กาญจนกรอง สุอังคะ รุ่งอรุณ บุญถ่าน มัตติกา บุญมา	1630
P201: กำหนดตำแหน่งที่ตั้งโรงงานอาหารสัตว์ด้วยแบบจำลองการตัดสินใจเชิงกลุ่มที่มีหลาย หลักเกณฑ์แบบฟัชซี อาทิตย์ อภิโชติธนกุล ศุภชัย ปทุมนากุล	1636



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P349: การวางแผนการสั่งอาหารสุกรโดยการขนส่งแบบเติมคันรถเพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ศุภกานต์ หอมคำพัด ศุภชัย ปทุมนากุล กัลปพฤกษ์ ฝิวทองงาม	1642

### Others that Related to Industrial Engineering

P21: การประยุกต์ใช้ HOQ ในการออกแบบโปรแกรมสำหรับเลือกวิธีการที่เหมาะสม ในการเป็นพัฒนาเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ รัชชานา สินชวาลัย วีระศักดิ์ เมืองสง	1649
P40: การศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดตั้งโรงงานแปรรูปสับปะรดกวนใน จังหวัดพัทลุง สาธิต คงเขียว นภิสพร มีมงคล เสกสรร สุธรรมานนท์	1655
P50: การศึกษาผลกระทบของเครื่องมือด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมต่อประสิทธิภาพการผลิต ของอุตสาหกรรม กำพล พุทธิรักษา ฤฎวัลย์ จันทรส	1661
P66: การพัฒนาระบบเครือข่ายบริการธุรกิจที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้รับบริการ ในจังหวัดพิษณุโลก ภาณุ บุรณจากรูกร ฐิติพร กันวิหค	1667
P99: การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเงาขึ้นงานพ่นสีโดยการออกแบบการทดลอง ดวงพร พึ่งจิตร บรรหาญ ลีลา	1673
P183: ระบบสั่งการและตรวจสอบปริมาณการผลิตจากศูนย์ควบคุมสำหรับการบริหารจัดการ ระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ไพบุลย์ บุปผา ณฤทธิ ญิงธนิศรา วีระ กฤษณ์ฉวีวรรณ	1678
P188: ผลสำรวจความคาดหวังและการรับรู้ของผู้ใช้บริการสถานีเติมก๊าซ NGV สำหรับรถยนต์ส่วนบุคคล ในเขตกรุงเทพมหานคร (ชั้นใน) โดยใช้แบบจำลองคุณภาพการบริการ (SERVQUAL Model) ทศพล เกียรติเจริญผล สิริเดช ชาตินิยม วุฒิชัย ธิเลิศ	1684
P190: การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของวงจรถ่วง BVD จากการกระตุ้นสาร PZT ในกรณีเงื่อนไขของน้ำหนัก นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒน์ วิศรุต ศรีรัตน์นะ ศิริสุข สุวรรณสุข	1690



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P216: การวิเคราะห์แบบจำลองแถวคอยสำหรับกระบวนการตรวจสอบสื่อบันทึกข้อมูล โดยใช้โปรแกรมโปรโมเดล ทวิศักดิ์ ภิรามร พรศิริ จงกล	1696
P251: การสร้างแผนการสอนรายวิชาสัมมนาและรายงานสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เพื่อการประกันคุณภาพ สาธิต รุ่งฤดีสมบัติกิจ	1702
P281: การบูรณาการระบบบริหารความเสี่ยงกับการประเมินประสิทธิภาพแบบดุลยภาพ ปิยวรรณ ปัญจวงศ์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย	1708
P289: การศึกษารูปแบบแนวทางปฏิบัติในการจัดระบบบริการการแพทย์ฉุกเฉินก่อนถึงโรงพยาบาล: กรณีศึกษา จังหวัดขอนแก่น อุบลราชธานี ภูเก็ต และสงขลา นริสสา พัฒนปรีชาวงศ์ รัชชนา สินธวาลัย นภิสพร มีมงคล	1714
P293: การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในการคัดสรรบรรจุภัณฑ์ กรณีศึกษา บรรจุภัณฑ์น้ำมันสปลา พรเทพ แก้วเชื้อ วรินทร์ เกียรติคุณกุล	1720
P303: การพัฒนาโปรแกรมเพื่อการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม นวลศรี เอิบกมล วรวิทย์ เวียงอินทร์	1726
P306: การวิเคราะห์และประเมินโครงการการลงทุนด้วยกรณีวิเคราะห์กระแสเงินสด และการวิเคราะห์ความไว กรณีศึกษา โรงงานน้ำปลา นวลศรี เอิบกมล	1732
P322: การศึกษาระดับความคาดหวังของบุคลากรที่มีต่อสำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ภัทธีรา ม้วนจั่น เจริญ สุนทราวาณิชย์ นิธิศ บริสุทธิ์	1738
P334: การประเมินศักยภาพขององค์กรในการยกระดับระบบมาตรฐานการจัดการคุณภาพสู่ฉบับใหม่ เศรษฐพงษ์ กุตัน เกษมศักดิ์ ศรีธาราธร	1744



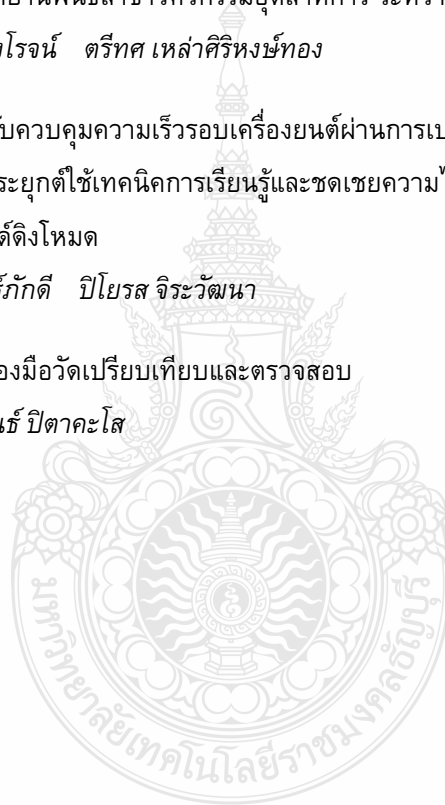
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P335: การศึกษาการนำ PLA ผสมกับเส้นใยธรรมชาติเพื่อทดแทนไม้ ประยูร สุรินทร์ ชัยพฤษภ อภาเวท เจษฎา วงษ์อ่อน	1749
P342: การบริหารความเสี่ยงของโครงการออกแบบตกแต่งภายใน นพวรรณ รักฝีกฝน	1753
P355: การศึกษาและรวบรวมข้อมูลความต้องการเครื่องจักรและอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมอาหาร เขตภาคกลาง ศิลปชัย วัฒนเสย อมรรัตน์ มุขประเสริฐ	1759
P375: การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวัดรอยเท้าทางเศรษฐกิจของอุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ในประเทศไทย ภาณุวัชร ตระกูลไพบุลย์กิจ ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	1764
P378: เครื่องรับส่งสัญญาณภาพไร้สายช่วงความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์สำหรับการประยุกต์ใช้ใน ระบบรักษาความปลอดภัยหรือติดตามกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ณฤทธิ ญิงธนิตรา ทรงพล รอดทอง ชีระ ฤกษ์มณีวรรณ ไพบุลย์ บุปผา	1770
P384: ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ สำหรับประเมินศักยภาพและให้คำแนะนำด้านการจัดการโลจิสติกส์ และห่วงโซ่อุปทาน เทพฤทธิ์ สินธำรงค์ษ์ อรรถพล สมุทคุปต์	1776
P386: การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการบีบอัดน้ำมันงาด้วยเครื่องบีบอัดแบบเกลียวเดี่ยว สมัญชัย เข้มเจริญ ศิวกร อ่างทอง	1782
P400: การสร้างต้นแบบเครื่องปลูกมันสำปะหลัง พงษ์ศักดิ์ เกิดลาภี ชินราช บ้องเจริญ	1788
P473: ศึกษาการอบชุบอลูมิเนียมหล่อเกรด AC2B กิตติคุณ แก้วภิรมย์ วชิราวุฒ รอดสถิตย์ มนัส ศรีสวัสดิ์	1793
P479: ต้นแบบเตาเผาขี้หมูแบบช่วยลดมลภาวะ สมิต อินทร์ศิริพงษ์ เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ ณัฐ จันทร์ครบ	1797



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P494: การพยากรณ์สินค้านำเข้าและส่งออกที่ด่านชายแดนเพื่อกำหนดประเภทของสินค้าที่เหมาะสมสำหรับศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้า กาญจนา เศรษฐนันท์ พัทธา ศรีพระบุ	1803
P518: การวิเคราะห์แนวโน้มของวิทยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2551 ชินะ รอดศิริ ชนิน ททรัพย์รุ่งโรจน์ ตริทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง	1809
P524: การควบคุมแบบคงทนสำหรับควบคุมความเร็วรอบเครื่องยนต์ผ่านการเปลี่ยนแปลงเชิงมุมของวาล์วปีกผีเสื้อโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้และชดเชยความไม่แน่นอน ร่วมกับการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด ทศพร แจ่มใส ธนา ราษฎร์ภักดิ์ บีโยรส จิระวัฒนา	1813
P116: การพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องมือวัดเปรียบเทียบและตรวจสอบ วิศิษฐ์ อาบสุวรรณ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	1825



---

# IENET



Industrial Engineering Network Conference

2009

---



Operations Research

## การเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน

มณเฑียรชัย กลั่นบุบผา กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ สรพงษ์ ภาสุปรีย์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: e20aqm@hotmail.com,sorapongp@yahoo.com

### บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือทำการเตรียมเส้นใยนาโนจากวัสดุราคาถูก(แร่ลูโคซีน)โดยใช้วิธีการเตรียมแบบไฮโดรเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงแล้วทำให้แห้งด้วย Freeze-dryer แล้วนำผงที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100-1000 °C จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุนาโนที่เตรียมได้ทางกายภาพและทางเคมีด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะภายใต้สภาวะไนโตรเจน(BET) เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและแบบส่องผ่าน(SEM,TEM) และเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรคชัน(XRD) ผลที่ได้จากการศึกษาคือ จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพพบว่าวัสดุที่ได้หลังจากการสังเคราะห์เป็นเส้นใยนาโนไททานเนียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 - 58 nm มีความยาวประมาณ 3 -22 μm เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 200-700°C พบว่ามีเฟสหลักเป็นแบบ TiO<sub>2</sub>(B) ที่อุณหภูมิ 800-900°C มีเฟสหลักเป็นเฟสอนาเทส และที่อุณหภูมิ 1,000°C พบว่ามีเฟสหลักแบบรูไทล์ การเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนโดยใช้วิธีการนี้ทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มมากขึ้นมากกว่า 100 เท่า (109.83 m<sup>2</sup>/g) เมื่อเทียบกับสารตั้งต้น(แร่ลูโคซีน, ~0 m<sup>2</sup>/g) วิธีการเตรียมนี้เป็นวิธีการเตรียมที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากจากวัสดุราคาถูก

**คำสำคัญ** ไฮโดรเทอร์มอล ,แร่ลูโคซีน,เส้นใยนาโน

### 1. บทนำ

ปัจจุบันนักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจและความสำคัญอย่างยิ่งกับวัสดุนาโน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ท่อนาโนและเส้นใยนาโน ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ เช่น สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก และสมบัติทางเคมี เป็นต้น[1-14] แต่วัสดุท่อนาโน และเส้นใยนาโนมีราคาค่อนข้างสูง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ถ้าเราสามารถเตรียมวัสดุเส้นใยนาโนได้จากวัตถุดิบในประเทศที่มีราคาถูกเช่นวัสดุจำพวกแร่ ก็จะเป็นการเพิ่มศักยภาพทางด้านวัสดุนาโนของประเทศ เพื่อเป็นวัสดุพื้นฐานในการวิจัยพัฒนาสินค้าและผลิตภัณฑ์ที่มีการแข่งขันอย่างมากภายในปัจจุบันและอนาคต เป็นการเพิ่มมูลค่าของประเทศ และเป็นการเตรียมความพร้อมในการแข่งขันทางด้านวัสดุนาโน ลดการนำเข้าวัสดุนาโนจากต่างประเทศ หรือแม้กระทั่งเป็นสินค้าส่งออกได้

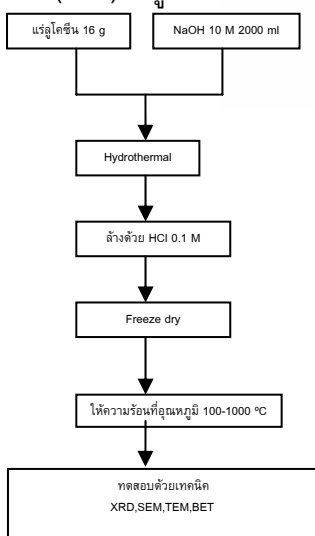
การเตรียมไททานเนียมไดออกไซด์ในในปัจจุบันมีเพียง 2 วิธีที่แพร่หลาย คือ sulfate process และ chloride process แต่ทั้ง 2 วิธีนี้มีข้อเสียคือต้นทุนจากเครื่องมือวัตถุดิบมีราคาสูงวิธีการเตรียมหรือสังเคราะห์มีความยุ่งยากหลายขั้นตอนและยังเกิดมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม[11]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการเตรียมวัสดุนาโนจากวัสดุราคาถูก(แร่ลูโคซีน) โดยใช้วิธีการเตรียมแบบไฮโดรเทอร์มอล และทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของเส้นใยนาโนที่ผลิตจากแร่ลูโคซีน ได้แก่ ขนาดของเส้นใยที่ได้ พื้นที่ผิวจำเพาะ และโครงสร้างผลึก

## 2. วิธีการทดลอง

### การเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน

การเตรียมวัสดุนาโนจากแร่ลูโคซีนจะทำการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal) เนื่องจากเป็นวิธีการสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการเคมี [11-14] ที่ทำได้ง่ายและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับกระบวนการสังเคราะห์แบบอื่นๆ โดยใช้เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตรโดยใส่แร่ลูโคซีนจำนวน 16 กรัมในถังปฏิกรณ์ที่มีสารละลายไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10M ปริมาตร 2 ลิตรให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [11-14] และทำการกวนสารตลอดเวลาที่ทำการสังเคราะห์ หลังให้ความร้อนเสร็จแล้ว จึงปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงทำการเปิดฝาดังของเครื่องสังเคราะห์และนำสารที่ได้ไปทำการล้างโดยวิธีการกรองแบบสุญญากาศ กรองและปรับสภาพ pH ด้วยกรดอ่อน ( HCl ) ความเข้มข้น 0.1 M จากนั้นจึงนำสารที่ได้จากการเตรียมไปทำให้แห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze dry) และนำสารที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-1000°C อย่างละ 1 กรัม เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อศึกษาโครงสร้างของผลึก (Crystal structure) หรือโมเลกุลของสารโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ศึกษาสัณฐานของเส้นใยด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ( SEM ) ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้การดูดซับไนโตรเจน (BET) ดังรูปที่ 1

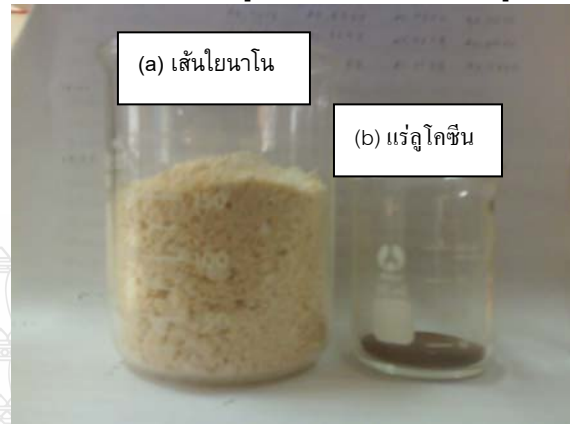


รูปที่ 1 วิธีเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน

## 3. ผลและการวิจารณ์ผล

### 3.1 ผลการเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน

หลังจากนำสารที่ได้จากการเตรียมไปทำให้แห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze dry) แล้วนำมาชั่งน้ำหนักพบว่า มีน้ำหนัก 6.28 กรัม มีลักษณะและปริมาตรโดยเปรียบเทียบกับแร่ลูโคซีนที่เป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ (a) เปรียบเทียบกับแร่ลูโคซีนที่เป็นสารตั้งต้น (b)

เนื่องจากเส้นขนาดนาโนมีลักษณะคล้ายผงฟูที่มีน้ำหนักเบาทำให้เห็นว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น

### 3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของเส้นใยนาโน

#### 3.2.1 เส้นใยนาโนที่เตรียมได้ (As-synthesized nanofiber)

จากการศึกษาทดสอบหาโครงสร้างผลึกของวัสดุนาโนที่เตรียมได้ (ดังรูปที่ 3) โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่า เส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120°C ปรากฏเป็นเฟสหลัก ไททานาต (H<sub>2</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>7</sub>) นั้นแสดงว่าเส้นใยนาโนที่ผ่านการสังเคราะห์มานั้นยังคงมีความชื้นปะปนอยู่ (มีโมเลกุลของน้ำปะปนอยู่ภายในเส้นใยนาโน) [11-14]

จากรูปที่ 4(a) เป็นภาพถ่ายที่ได้จากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแร่ลูโคซีนที่ใช้เป็นวัสดุตั้งต้น ก่อนการสังเคราะห์แร่ลูโคซีนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 115 - 358 μm. จากรูปที่ 4(b) หลังผ่านการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล แร่ลูโคซีนกลายเป็นเส้นใยนาโนไททานาตออกไซด์ที่มีความยาวประมาณ 3 - 22 μm

รูปที่ 5 เป็นภาพถ่ายที่แสดงผลจากการวิเคราะห์เส้นใยนาโนไททานาตที่ได้จากเครื่องอิเล็กตรอนแบบ



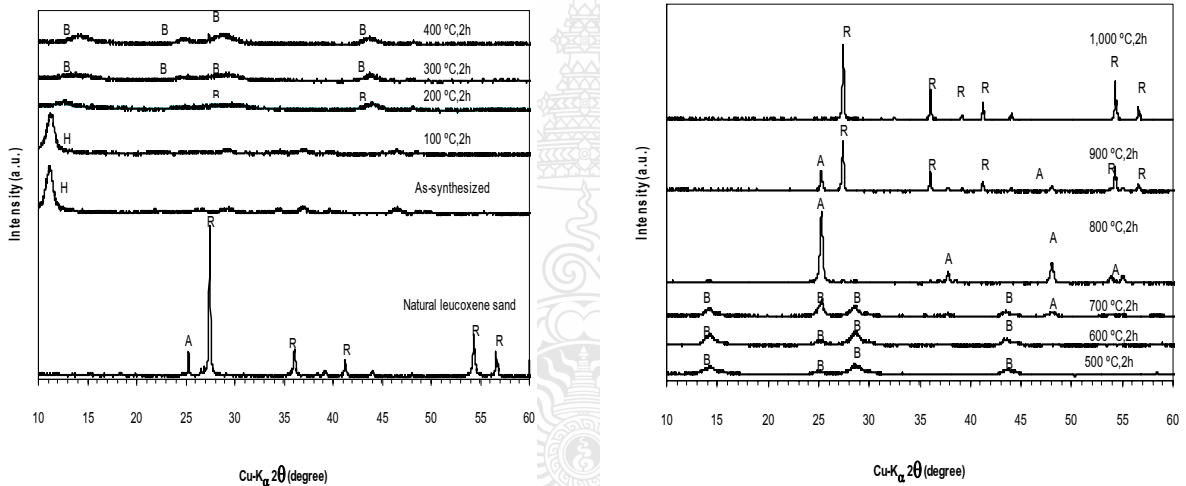
ส่องผ่าน (TEM) พบว่าเส้นใยนาโนไททาเนตนั้นหนึ่งเส้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 - 58 nm หลังจากนั้นนำเส้นใยนาโนนี้ไปหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้การดูดซับไนโตรเจน (BET) พบว่ามีค่าอยู่ที่ 109.83 m<sup>2</sup>/g ในขณะที่พื้นที่ผิวจำเพาะของสารตั้งต้น (แร่ลูโคซีน) มีค่าใกล้เคียง 0 m<sup>2</sup>/g (ดังรูปที่ 6)

ความร้อนที่อุณหภูมิ 200°C เริ่มเปลี่ยนเฟสจากไททาเนตไปเป็นTiO<sub>2</sub>(B) ซึ่งยังคงมีเฟสไททาเนตปะปนอยู่เล็กน้อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเส้นใยนาโน มีเฟส TiO<sub>2</sub> (B) มากขึ้นและเด่นชัดที่อุณหภูมิ 400-500°C ที่อุณหภูมิ 600 - 700°C เริ่มปรากฏเฟสอนาเทสปะปนอยู่กับเฟส TiO<sub>2</sub> (B) (ดังรูปที่3)

### 3.2.2 เส้นใยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เฟส

#### ไททาเนียมไดออกไซด์ (B) [ TiO<sub>2</sub> (B) nanofibers]

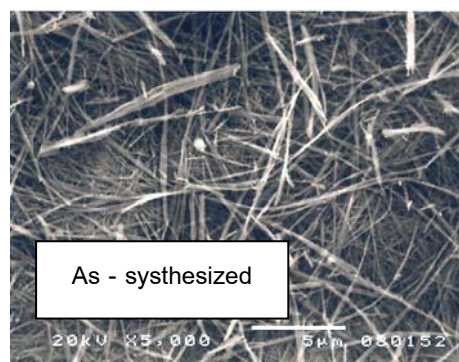
สำหรับเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700°C พบว่ามีเฟสหลักเป็นแบบ TiO<sub>2</sub>(B) [13-14] ซึ่งมีรูปแบบการเกิดผลึกเป็นแบบ monoclinicโดยเส้นใยนาโนที่ให้



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากแร่ลูโคซีน และผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่ 100 - 1,000°C ; A = anatase TiO<sub>2</sub>, B = TiO<sub>2</sub> (B), H = hydrogen titanate และ R = rutile TiO<sub>2</sub>

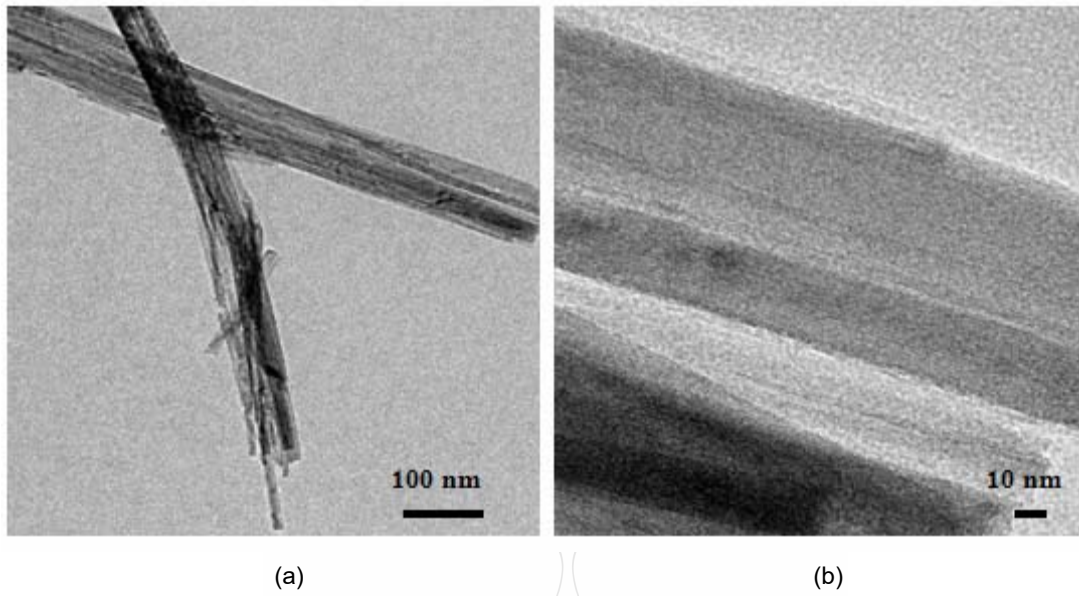


(a)

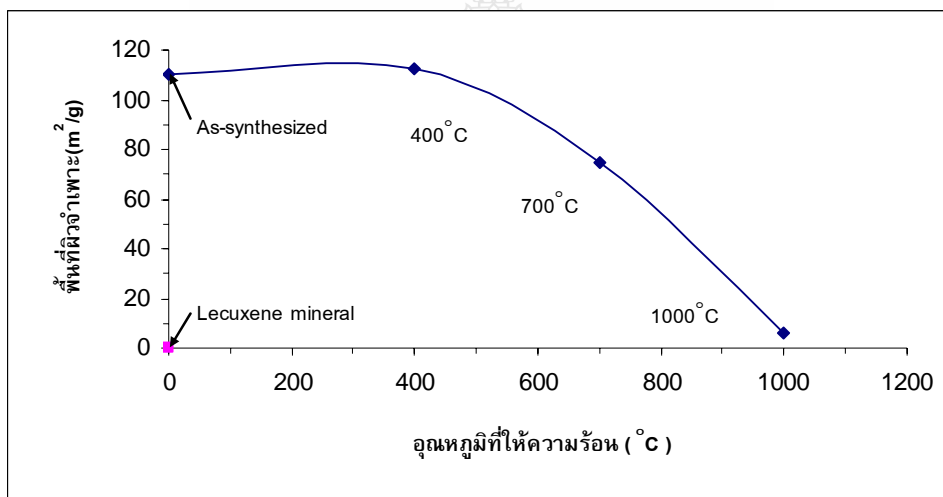


(b)

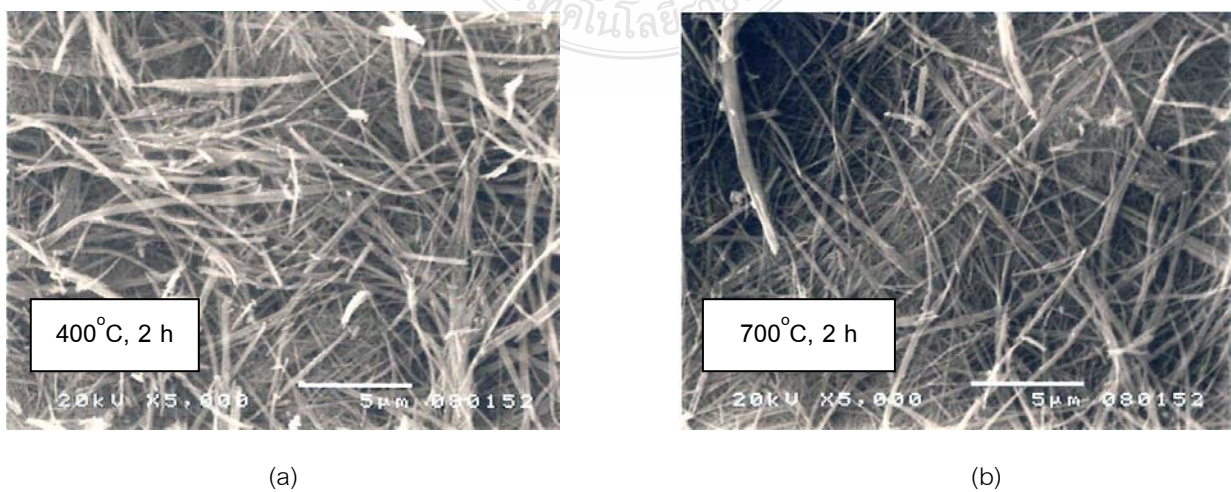
รูปที่ 4 ภาพถ่าย SEM ของ (a) แร่ลูโคซีนก่อนการสังเคราะห์และ (b) หลังการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120°C



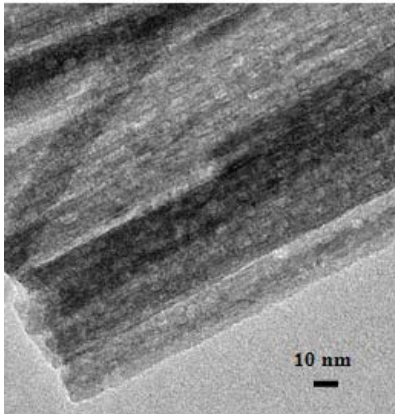
รูปที่ 5 แสดงการวิเคราะห์หัตถ์ด้วย TEM ที่กำลังขยาย(a) 15,000 เท่าและ(b) 150,000 เท่า ของเส้นใยนาโนที่เตรียมได้



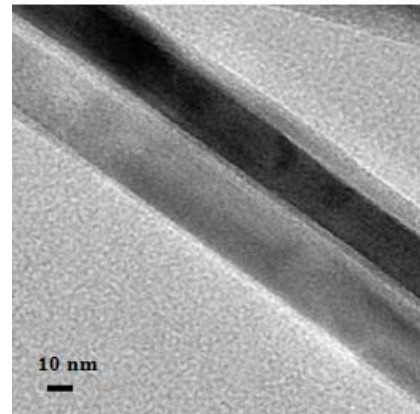
รูปที่ 6 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะกับอุณหภูมิที่ให้ความร้อนเส้นใยนาโนที่เตรียมได้



รูปที่ 7 ภาพถ่าย SEM เส้นใยนาโนที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ (a) 400°C และ (b) 700°C



(a)



(b)

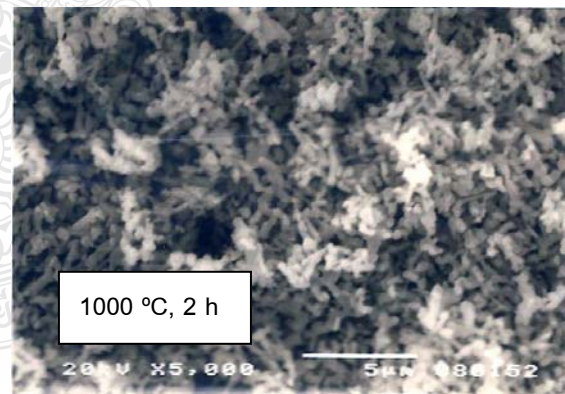
รูปที่ 8 ภาพถ่าย TEM เส้นใยนาโนที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ (a) 400°C และ (b) 700°C

จากรูปที่ 7 และรูปที่ 8 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและส่องผ่านพบว่าเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 °C และ 700°C นาน 2 ชั่วโมง เปลี่ยนเป็นเฟสอนาเทสพนอนอยู่ในเฟส  $\text{TiO}_2(\text{B})$  แต่ลักษณะโครงสร้างยังคงเป็นแบบเส้นใยอยู่ ซึ่งแตกต่างกับท่อนาโนที่ไม่มีความเสถียรที่อุณหภูมิประมาณ 500°C และเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นอนุภาคอนาเทส [12,14]

(มีรูปแบบการเกิดผลึกเป็นแบบ tetragonal ) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของเส้นใยนาโนที่ได้จากเทคนิคการดูดซับไนโตรเจนเท่ากับ  $6.03 \text{ m}^2/\text{g}$  (ดังรูปที่ 6) ซึ่งที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนนี้ มีโครงสร้างเป็นแบบรูไทล์ โดยพบว่ามีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าแบบอื่นๆ เป็นเพราะเส้นใยนาโนที่ได้เมื่อนำไปให้ความร้อนทำให้เกิดการหดตัวเกาะกลุ่มกันทำให้เส้นใยนาโนนี้เปลี่ยนลักษณะคล้ายอนุภาค (เป็นทรงกลม)

### 3.2.3 เส้นใยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทส [ $\text{TiO}_2$ (anatase) nanofibers ]

จากการนำเส้นใยนาโนไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800 °C และ 900°C นาน 2 ชั่วโมง และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ดังภาพที่ 3 พบว่ามีเฟสหลักแบบอนาเทส โดยที่อุณหภูมิ 800°C มีพีคอนาเทสที่มีค่าความเข้มสูงกว่า 900°C ซึ่งพีคที่แสดงเฟสอนาเทสมีค่าความเข้มลดลงเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 900°C มีเฟสเป็นรูไทล์เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 9 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

### 3.2.4 เส้นใยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ [ $\text{TiO}_2$ (rutile) nanofibers ]

เส้นใยนาโนที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงดังรูปที่ 9 มีลักษณะคล้าย nanorod

#### 4.สรุป

การเตรียมวัสดุนาโนจากแร่ลูโคซีนสามารถทำการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพพบว่า เป็นเส้นใยนาโนไททานาตซึ่งมีความยาวประมาณ 3 -22  $\mu\text{m}$  มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 - 58 nm มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 109.83  $\text{m}^2/\text{g}$  เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 200-700°C พบว่ามีเฟสหลักเป็นแบบ  $\text{TiO}_2(\text{B})$  อุณหภูมิ 800-900°C เป็นเฟสอนาเทสอุณหภูมิ 1,000°C พบว่ามีเฟสหลักแบบรูไทล์ การเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีนโดยใช้วิธีการนี้เป็นวิธีการเตรียมที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากจากวัสดุราคาถูก และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับกระบวนการสังเคราะห์แบบอื่นๆ

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) สัญญาหมายเลข MRG 5180124 และ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Y.V. Kolen'ko, V.D. Maximov, A.V. Grashov, P.E. Meskin, N.N. Oleynikov, B.R. Churagulov. "Hydrothermal synthesis of nanocrystalline and mesoporous titania from aqueous complex titanyl oxalate acid solutions." *J. Phys. Chem.* **388** (2004) 411-415.
- [2] A. Zaban, S.T. Aruna, S. Tirouh, B.A. Gregg, Y. Mastai. :The effect the preparation condition of  $\text{TiO}_2$  colloids on their surface structure." *J. Phys. Chem.* **104**(2000)4130-4133.
- [3] C. N. R. Rao, and M. Nath, Inorganic nanotubes, *Dalton Trans.*, **1** (2003) 1-24.
- [4] G. R. Patzke, F. Krumeich, and R. Nesper, Oxidic nanotubes and nanorods anisotropic modules for a future nanotechnology, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **41** (2002) 2446-2461.
- [5] M. Huang, S. Mao, H. Feick, H. Yan, Y. Wu, H. Kind, E. Weber, R. Russo, and P. Yang, Room-temperature ultraviolet nanowire nanolasers, *Science*, **292** (2001) 1897-1899.
- [6] Z. W. Pan, Z. R. Dai, and Z. L. Wang, Nanobelts of semiconducting oxides, *Science*, **1**(2001) 1947-1949.
- [7] L. Miao, S. Tanemura, S. Toh, K. Kaneko, and M. Tanemura, Heating-sol-gel template process for the growth of  $\text{TiO}_2$  nanorods with rutile and anatase structure, *Appl. Surf. Sci.*, **238** (2004) 175-179.
- [8] C. Xu, Y. Zhan, K. Hong, and G. Wang, Growth and mechanism of titania nanowires, *Solid State Commun.*, **126** (2003) 545-549.
- [9] B. Cheng, J. M. Russell, W. Shi, L. Zhang, and E. T. Samulski, Large-scale, solution phase growth of single-crystalline  $\text{SnO}_2$  nanorods, *J. Am. Chem. Soc.*, **126** (2004)5972- 5973.
- [10] S. Pavasupree, Y. Suzuki, A. Kitiyanan, S. Pivsa-Art, and S. Yoshikawa, Synthesis and characterization of vanadium oxides nanorods, *J. Solid State Chem.*, **178** (2005) 2152-2158.
- [11] Suzuki, Y., Pavasupree, S., Yoshikawa, S. and Kawahata, R. (2007) "Direct Synthesis of an Anatase- $\text{TiO}_2$  Nanofiber/Nanoparticle Composite Powder from Natural Rutile," *Physica Status Solidi (a)*, **204**,No.6,pp1757-1761
- [12] T. Kasuga, M. Hiramatsu, A. Hoson, T. Sekino, K. Niihara, Titania nanotubes prepared by chemical processing, *Adv. Mater.*, **11** (1999) 1307-1311.
- [13] A. R. Armstrong, and G. Armstrong, J. Canales and P. G. Bruce,  $\text{TiO}_2$ -B nanowires, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **43** (2004) 2286-2288.
- [14] Y. Suzuki and S. Yoshikawa, Synthesis and thermal analyses of  $\text{TiO}_2$ -derived nanotubes prepared by the hydrothermal method, *J. Mater. Res.*, **19** (2004) 982-985.

Proceedings

# IE NETWORK CONFERENCE 2010

การประชุมวิชาการสายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2553

13-15 ตุลาคม 2553

โรงแรมสุโขทัยแกรนด์ แอนด์ คอนเวนชันเซ็นเตอร์  
จังหวัดอุบลราชธานี





## ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ  
ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค  
รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย  
รศ.ดร.ปารเมศ ชุตติมา  
รศ.จิรพัฒน์ เกาประเสริฐวงศ์  
ผศ.ประเสริฐ อัครประดมพงศ์  
ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์  
ผศ.ดร.นภััสสวงศ์ โอสถศิลป์  
ผศ.ดร.ประมวล สุธีจาร์วัฒน์

ผศ.ดร.วิภาวี ชรรมาภรณ์พิลาศ  
ผศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ  
ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร  
ผศ.ดร.สิริง ปรีชานนท์  
ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย  
อ.ภูมิ เหลืองจามีกร  
อ.สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา  
ผศ.ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ

### มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร.ชัชพันธ์ ชำญาติ  
ผศ.ดร.รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ  
ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน  
ดร.วรวิมล หวังวัชรกุล

ดร.สุวิษภรณ์ วิชกุล  
ดร.จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์  
ดร.นันทชัย กานตานันทะ

### มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร.ศักดิ์ชาย รักการ

ผศ.ชานนท์ มูลวรรณ

### มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ  
ดร.วรพจน์ เสรีรัฐ  
ผศ.ดร.วิสนัย วรชนจรรย์ยา  
ผศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์  
ผศ.ดร.วิมลสิน เหล่าศิริถาวร

ผศ.ดร.ศักดิ์เกษม ระมิงค์วงศ์  
ผศ.ดร.อภิชาติ โสภานแดง  
ผศ.ดร.อรรถพล สมุทรคุปต์  
ผศ.สันติชัย ชิวสุทธิศิลป์

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดร.ปภากร สุนานนท์  
ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย

ผศ.ดร.พรศิริ จงกล  
ผศ.ดร.บงยุทศ เสริมสุข็อนวัฒน์

ญ

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**

ดร.กฤษดา อัครรุ่งแสงกุล	ผศ.สมชาย พรชัยวิวัฒน์
ดร.กฤษดา พินาพันธุ์ศรี	รศ.ดร.อรรถกร เก่งพล
ดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์	รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร
ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์	

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**

ผศ.ดร.ณฐา กุปตัษเชียว	ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์
ดร.ระพี กาญจนะ	ดร.ศิริชัย ต่อสกุล
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง	

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา**

ผศ.พิเชษฐ์ เวศนารัตน์

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน**

ดร.สุพรรณ สุตสนธิ์

**มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**

ดร.จิรวรรณ คล้อยภยันต์	ผศ.ดร.อภิวัฒน์ มุตตามระ
ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร	ผศ.นริศ เจริญพร
ผศ.ดร.วรารัตน์ กังสัมฤทธิ์	รศ.ดร.ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง
ผศ.ดร.สวัสดิ์ ภาะระราช	รศ.ดร.มณฑล ศาสนนันท์
ผศ.ดร.เสมอจิตร์ หอมรสสุนธิ์	รศ.ดร.ศุภชัย สุรพันธ์

**มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์**

ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์	ผศ.ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล
ผศ.ดร.ชัชพล มงคลิก	ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์

**มหาวิทยาลัยบูรพา**

ดร.จักรวาล คุณะติลก	ผศ.ดร.บรรหาญู ลีลา
ดร.ณัฐวัลย์ จันทรส	รศ.เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ

**มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**

ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป  
ดร.บพิช บุปผโชติ

ดร.สุดสาคร อินธิเดช  
ดร.อรอุมา ลาสุนนท์

**มหาวิทยาลัยรามคำแหง**

ผศ.ดร.กฤษดา พิศลยบุตร

**มหาวิทยาลัยรังสิต**

ดร.พิษณุ มนัสปิติ  
ผศ.ดร.ธนวรรณ อัครไพบูลย์  
ผศ.ดร.เพียงจันทร์ จริงจิตร

ผศ.สินี สุขกรมใส  
อ.ศิลปชัย วัฒนเสย

**มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี**

อ.กีม พรประเสริฐ  
อ.นันทพงศ์ นันทสำเร็จ

อ.เดชโสภณ ถนอมสุข  
ดร.คณอเคลีย วจนะวิชากร

**มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**

ดร.พงษ์เพ็ญ จันทนะ  
ดร.วราธร ปัญญาภม  
ดร.สิระเดช ชาตินิยม

ผศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล  
ผศ.ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์  
อ.อนุวัฒน์ จุติลาภถาวร

**มหาวิทยาลัยศรีปทุม**

ดร.ธรีณี มณีศรี  
อ.จักรพันธ์ กัณหา  
อ.ชวลิต มณีศรี  
อ.ชนิน ศรีวรรมย์

อ.พัฒน์พงศ์ อริยสิทธิ์  
อ.พิสุทธิ์ รัตนแสนวงษ์  
อ.วรพจน์ พันธุ์คง  
อ.สุพัฒตรา เกษราพงศ์

**มหาวิทยาลัยศิลปากร**

ดร.ณัฐพล ศิริสว่าง  
ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร  
ผศ.วันชัย สีสากวิวงศ์

ผศ.จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์  
ผศ.ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ



**มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา  
ผศ.ดร.ชเนศ รัตนวิไล  
ผศ.ดร.รัญชนา สินธวาลัย  
ผศ.ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์  
อ.เสกสรร สุธรรมานนท์

ผศ.ดร.อรุณ สังขพงศ์  
รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล  
รศ.วนิดา รัตนมณี  
รศ.สมชาย ชูโณม

**มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย**

อ.จิตลดา ชิมเจริญ  
อ.ทงศักดิ์ ทวีศรี  
อ.นิศากร สมสุข

อ.อรอุมา กอสนาน  
อ.อัญชลี สุพิทักษ์

**สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน**

ผศ. ประยูร สุรินทร์

ผศ.ชัยพฤกษ์ อากาศเวท

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

ดร.วิภู ศรีสีบสาย  
ดร.อนิรุท ไชยจารุณิช  
ดร.อุดม จันท์จรัสสุข  
ผศ.ดร.กวรรณชัย กัลยาศิริ  
ผศ.ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต

ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลีมนรรัตน์  
ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล  
รศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์  
รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช

**มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**

ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์  
ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส  
ผศ.ดร.กนิศร ภูนิคม  
ผศ.เจริญ ชุ่มมวล  
ผศ.ดร.นลิน เพ็ชรทอง  
ผศ.ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ  
ผศ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ  
ผศ.สุรียา ไชคสวัสดิ์  
ผศ.อิศว ปัทมธรรมกุล

ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี  
อ.ไท แสงเทียน  
ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์  
อ.ตะวันฉาย โพธิ์หอม  
ดร.สันต์ โอพาพิริยกุล  
ดร.ธารชุตตา พันธุ์นิกุล  
อ.ลลอง ฝไธดม  
อ.สุรเจษฎ์ ก้อนจันทร์

		หน้า
MAM 37	การศึกษาผลกระทบของนาโน TiO <sub>2</sub> ที่เตรียมจากแร่ลูโคซิมในเส้นใย PP ต่อสมบัติเชิงกลบางประการและสมบัติทางความร้อน มณฑิยรัชย์ กลั่นนุบผา ณรงค์ชัย โอเจริญ ธนากร วิรุพหิมงคล กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ นที ศรีสวัสดิ์ สรพงษ์ ภาสุปรีย์* และ จูไรรัตน์ ดวงเดือน	83
MAM 38	การพัฒนาวัสดุฉลาดเพื่อเป็นวัสดุสำหรับแขนจักรกล สุนนมาลย์ เนียมกลาง*	84
MAM 39	การเตรียมเส้นใยจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนลอน 6 และ พอลิพรอพิลีน นที ศรีสวัสดิ์* สมหมาย ผิวสะอาด ณรงค์ชัย โอเจริญ สรพงษ์ ภาสุปรีย์ และ สมภาพ นราภิรมย์อนันต์	85
MAM 40	การสึกหรอบแบบขัดสีของเนื้อเติมลวดเชื่อมพอกผิวแข็งบน เหล็กกล้า AISI1020 สุพร ฤทธิ์ภักดี* และ สุรพล สุภารัตน์	86
MAM 41	การปรับปรุงผิววัสดุที่มีผลต่อการสึกหรอของวัสดุฝังในประเภท สะโพกเทียม ภานุวัฒน์ แซ่จั้ง* และ ไพบุลย์ ช่างทอง	87
MAM 42	การศึกษาความแข็งแรงและความทนทานของเฟอร์นิเจอร์ไม้ ประกบไม้โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง วันชัย แผลมหลักสกุล* สมศักดิ์ ร่มสนธิ์ และ สมภาพ ดลดับแก้ว	88
MAM 43	การเคลือบผิวบอโรไนต์บนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่อุณหภูมิ 1000 °C รสิรินทร์ วีระชวลเกียรติ และ ปฏิภาณ จุ้ยเจิม*	89
MAM 44	แผ่นวัสดุผสมผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แผ่นเส้นใยผักตบชวาผสมกาวยธรรมชาติ ประยูร สุรินทร์* และ ชัยพฤษก์ อาภาเวท	90

# การศึกษาผลกระทบของนาโน $\text{TiO}_2$ ที่เตรียมจากแร่ลูโคซีนในเส้นใย PP

## ต่อสมบัติเชิงกลบางประการและสมบัติทางความร้อน

### Effect of Nano - $\text{TiO}_2$ from Leucoxene Mineral Addition in PP Fibers on Some Mechanical and Thermal Properties

มณฑิรชัย กลั่นบุบผา ณรงค์ชัย โอเจริญ ธนากร วิรุฬห์มงคล กิตติพงษ์ กิมะพงศ์  
นที ศรีสวัสดิ์ และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์\*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

จุไรรัตน์ ดวงเดือน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: sorapongp@yahoo.com\*

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษานำไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) ขนาดนาโนเมตรที่เตรียมได้จากแร่ลูโคซีน ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล มาเป็นส่วนผสมในเส้นใยโพลีโพรพิลีน (PP) เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลบางประการและสมบัติทางความร้อน โดยการทำการผสมนาโน  $\text{TiO}_2$  ที่เตรียมได้จากแร่ลูโคซีน อัตราส่วน 0.1%, 0.5% และ 1.0% ใน PP โดยเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) ผลที่ได้คือ (1) การเติมนาโน  $\text{TiO}_2$  ที่ได้จากการเตรียมจากแร่ลูโคซีนลงใน PP ไม่ส่งผลต่อแรงดึง (Tensile strength) และค่าความแข็ง (Hardness) มากนัก แต่เพิ่มระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ของเส้นใย (2) ค่าการทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) ของการเติมนาโน  $\text{TiO}_2$  ที่เตรียมจากแร่ลูโคซีนใน PP มีค่าสูงกว่าการเติมนาโน  $\text{TiO}_2$  ที่มีขายในท้องตลาด อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของโครงสร้างของนาโน  $\text{TiO}_2$  หลังจากการเติมนาโน  $\text{TiO}_2$  ใน PP ส่งผลทำให้เพิ่มค่าอุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature, Td) มากกว่า 100 องศาเซลเซียส

**คำสำคัญ :** ไททาเนียมไดออกไซด์, โพลีโพรพิลีน, แร่ลูโคซีน, ไฮโดรเทอร์มอล

#### Abstract

This research studies the effect of the nano- $\text{TiO}_2$  gained from leucoxene mineral addition via the hydrothermal process and this nano- $\text{TiO}_2$  was then used as the mixer in the PP (the prepared samples) fiber in order to find out some mechanical and thermal properties by means of mixing the nano- $\text{TiO}_2$  gained from leucoxene mineral addition in the ratio of 0.1%, 0.5% and 1.0% in the PP using internal mixer. The results showed that (1) the mixing of the nano- $\text{TiO}_2$  gained from leucoxene mineral addition in the PP did not have a considerable effect on tensile strength and hardness. Instead, it increased elongation at break of the PP. (2) Impact strength of the nano- $\text{TiO}_2$  gained from leucoxene mineral addition in the PP was higher than the commercial nano- $\text{TiO}_2$  addition. This may be due to the difference in the structures of the nano- $\text{TiO}_2$ . It is noted that, interestingly, the addition of nano- $\text{TiO}_2$  in the PP enables to increase the degradation temperature (Td) of the prepared samples more than 100° C.

**Keywords:**  $\text{TiO}_2$ , Polypropylene, Leucoxene mineral, Hydrothermal

## 1. บทนำ

ในระยะเวลาไม่กี่สิบปีที่ผ่านมาได้มีการนำวัสดุผสมมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างทั้งในด้าน อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอากาศยาน อุตสาหกรรมทางเรือ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และงานด้านโยธาเป็นต้น ซึ่งเป็นการนำไปใช้งานในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ทั่วไป จนถึงผลิตภัณฑ์ขั้นสูง การผลิตวัสดุผสมในอุตสาหกรรมทำกันมานานแล้ว [1] โดยเฉพาะพลาสติกมีการใช้งานกันแพร่หลายในรูปแบบวัสดุผสมที่ทำให้วัสดุมีสมบัติที่ดีขึ้น โดยใช้ตัวเสริมแรงที่มีลักษณะหลายรูปแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย หรือนอนุภาคเล็กก็ได้ [2]

TiO<sub>2</sub> บริสุทธิ์จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติ แต่ได้มาจาก ilmenite ซึ่งเป็นแร่สีดำชนิดหนึ่งเป็นพวก iron titanate (FeTiO<sub>3</sub>) หรือได้จากแร่ลูโคซีน (Leucocene)[3-5] โดยมีงานวิจัยหลายฉบับที่สามารถเตรียม TiO<sub>2</sub> จากแร่ได้ [6-8] ที่ผ่านมามีการนำ TiO<sub>2</sub> มาเติมลงในพลาสติก เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน ซึ่งผลการทดลองที่ผ่านมาทำให้ยืนยันได้ว่าอนุภาคของ TiO<sub>2</sub> ที่เติมลงไปในพลาสติก ส่งผลให้สมบัติเชิงกลบางประการ และสมบัติทางความร้อนดีขึ้น [9-11]

ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้ทำการนำวัสดุขนาดนาโนเมตรที่เตรียมได้จากแร่ลูโคซีน มาเป็นส่วนผสมในเส้นใยโพรพิลีน (PP) เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลบางประการ และสมบัติทางความร้อน

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองคือ

- ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) ขนาดนาโนเมตร จาก บริษัท นิปปอน เอโรซอล (Nippon Aerosol) เกรด AP 25 (Degussa P-25 A mixture of crystalline anatase 80% and rutile 20% phase)
- เส้นใยนาโนนาโนที่เตรียมได้จากแร่ลูโคซีน
- โพลีโพรพิลีนเกรดเส้นใย จาก บริษัท เอชเอ็มซีโพลีเมอร์ (HMC Polymer Co.,Ltd) เกรด HP561R

### 2.2 การเตรียมวัสดุนาโน จากแร่ลูโคซีน

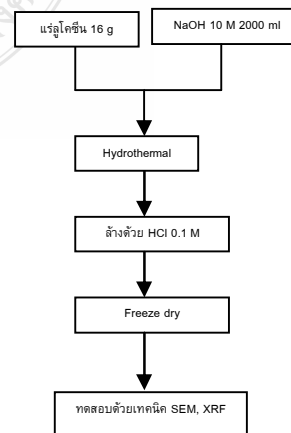
การเตรียมวัสดุนาโนจากแร่ลูโคซีนจะทำการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) เนื่องจากเป็นวิธีการสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการเคมี [6-8] ที่ทำได้ง่าย และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับ

กระบวนการสังเคราะห์แบบอื่นๆ โดยใช้ชุดถังปฏิกรณ์ขนาดประมาณ 4 ลิตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชุดถังปฏิกรณ์ขนาดประมาณ 4 ลิตร

โดยใช้แร่ลูโคซีนจำนวน 16 กรัมในถังปฏิกรณ์ที่มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10M ปริมาตร 2 ลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [12-14] หลังจากให้ความร้อนเสร็จแล้ว จึงปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงทำการเปิดฝาดังปฏิกรณ์และนำสารที่ได้ไปทำการล้างโดยวิธีการกรองแบบสุญญากาศ ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศทำการกรองและปรับสภาพ pH ด้วยกรดอ่อน (HCl) ความเข้มข้น 0.1 M จากนั้นจึงนำสารที่ได้จากการเตรียมไปทำให้แห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dry) และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และศึกษาสัณฐานของเส้นใยด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุนาโนจากแร่ลูโคซีนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

### 2.3 การเตรียมเส้นใยโพลีพรพิลีน

การเตรียมเส้นใย PP ที่ผสม TiO<sub>2</sub> ทำได้โดยเริ่มจากการใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) ผสม PP กับ TiO<sub>2</sub> ที่อัตราส่วน 0.1%, 0.5% และ 1.0% wt โดยสภาวะที่ใช้ในการผสมคืออุณหภูมิ 180 °C ความเร็วใบกวน 40 rpm เวลาที่ใช้ในการผสม 8 นาที จากนั้นนำ PP ที่ผสม TiO<sub>2</sub> ที่เย็นตัวแล้วไปบดให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องบดพลาสติกจากนั้นจึงนำเม็ดที่ได้ไปขึ้นรูปให้เป็นเส้นใย และม้วนเก็บด้วยเครื่องอัดรีดเส้นใยขนาดเล็ก (Small Scale Fiber Extrusion) โดยสภาวะที่ใช้ในการดึงเส้นใยและม้วนเก็บคือ อุณหภูมิ 200 °C Piston Speed 1.03-1.2 mm/min Take up Speed 55 rpm Diameter Die 1 mm



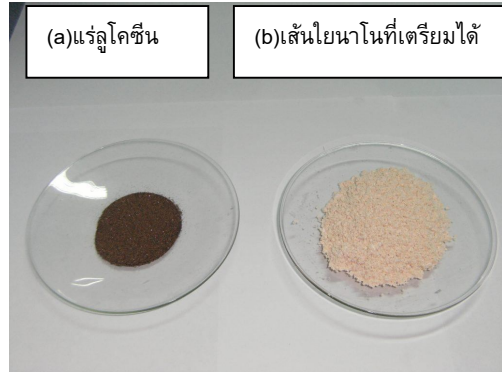
รูปที่ 3 ลักษณะเส้นใยที่ได้จากการขึ้นรูป

หลังจากได้เส้นใยดังรูปที่ 3 แล้วนำเส้นใยไปเตรียมการทดสอบตามวิธีการทดสอบต่างๆคือทดสอบแรงดึง (Tensile Tester) ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสารด้วย เครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสาร (Thermo Gravimetric Analysis:TGA) การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกโดยทดสอบจากชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 256 การทดสอบความแข็งจากชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 785

### 3. ผลและการวิจารณ์ผล

#### 3.1 ผลการเตรียมวัสดุนาโนจากแร่ลูโคซีน

หลังจากนำสารที่ได้จากการเตรียมไปทำให้แห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze dry) พบว่าแร่ลูโคซีนที่เป็นสารตั้งต้นดัง รูปที่ 4 (a) เมื่อผ่านการเตรียมแล้วมีลักษณะเป็นผงฟูดังรูปที่ 4 (b)

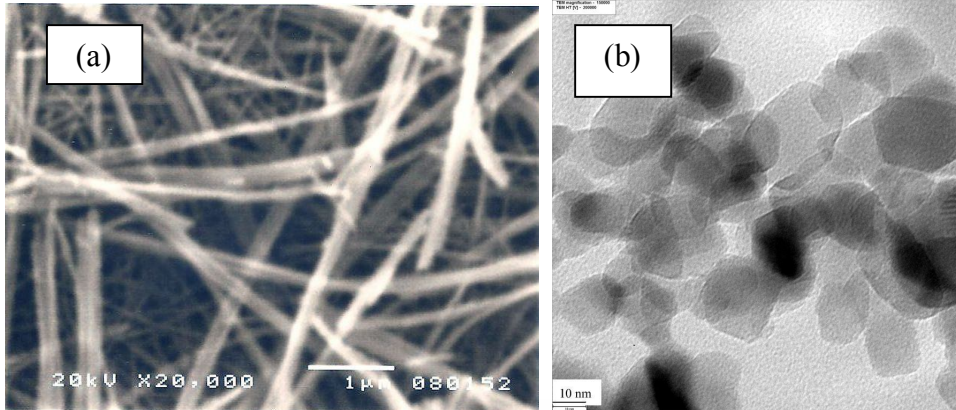


รูปที่ 4 (a) แร่ลูโคซีนที่เป็นสารตั้งต้นเปรียบเทียบกับเส้นใยนาโนที่เตรียมได้ (b)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่าวัสดุที่ได้มีส่วนประกอบหลักคือ TiO<sub>2</sub> ประมาณ 96.37 %wt และมี Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> และ CaO เป็นมลทินที่ยังเหลืออยู่หลังจากการเตรียม จากรูปที่ 5 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแร่ลูโคซีนที่ใช้เป็นวัสดุตั้งต้นก่อนการสังเคราะห์แร่ลูโคซีนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 115 - 358 μm จากรูปที่ 6 (a) หลังผ่านการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มอล ได้วัสดุมีลักษณะเป็นเส้นใยนาโนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12-58 nm มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3-22 μm ซึ่งต่างจากนาโน TiO<sub>2</sub> ที่มีขายในท้องตลาด (P-25) ที่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนดังรูปที่ 6(b) โดยมีขนาดประมาณ 20-50 nm

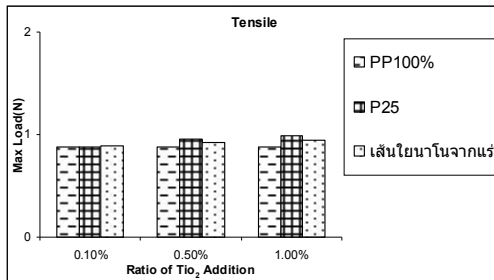


รูปที่ 5 แร่ลูโคซีน



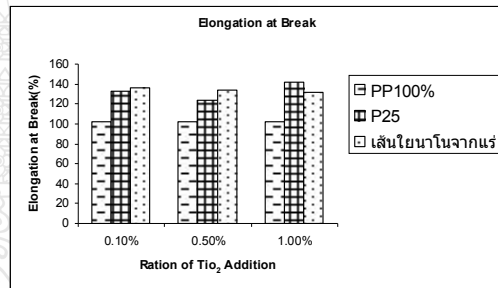
รูปที่ 6 เส้นใยนาโนที่เตรียมได้ (a) และ (b) นาโน  $\text{TiO}_2$  ที่มีขายในท้องตลาด (P-25)

### 3.2 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง

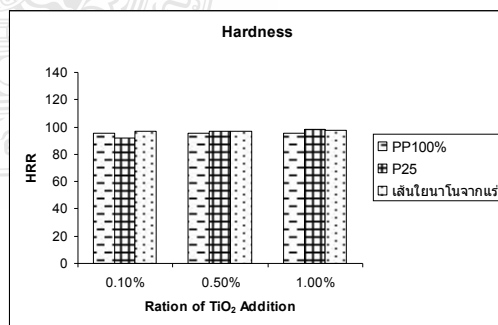


รูปที่ 7 ค่าแรงที่ใช้สูงสุดในการดึงเส้นใย (ASTM D3822) ของเส้นใย PP ที่เติมด้วย  $\text{TiO}_2$  เกรด P-25 และเติมด้วยเส้นใยนาโนจากแร่เปรียบเทียบกับเส้นใย PP 100%

จากรูปที่ 7 พบว่าการเติมนาโน  $\text{TiO}_2$  ที่มีขายในท้องตลาด (P-25) และเส้นใยนาโนที่ได้จากการเตรียมจากแร่ลงในเส้นใย PP ไม่ส่งผลต่อการทนแรงดึง (Tensile strength) มากนักซึ่งอาจเกิดจากปริมาณที่เติมลงไปมีปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้เพิ่มสมบัติการทนต่อแรงดึงของเส้นใยได้ แต่ทำให้เพิ่มระยะยืด (Elongation) ของเส้นใยสูงขึ้นดังรูปที่ 8 โดยการเติม  $\text{TiO}_2$  ลงในเส้นใย PP ทำให้เส้นใยมีระยะยืดที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตามสัดส่วน ซึ่งการเติมเส้นใยนาโนที่เตรียมได้นั้นไม่ต่างจากการเติม  $\text{TiO}_2$  ที่มีขายในท้องตลาด



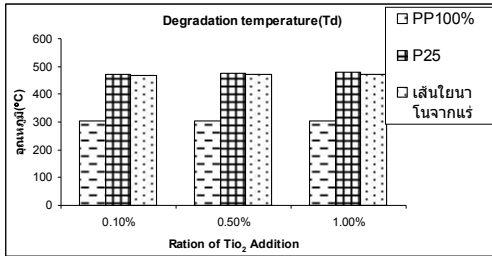
รูปที่ 8 ค่าระยะยืดของเส้นใย PP เป็นเปอร์เซ็นต์ที่เติมด้วย  $\text{TiO}_2$  เกรด P-25 และเติมด้วยเส้นใยนาโนจากแร่เปรียบเทียบกับเส้นใย PP 100%



รูปที่ 9 ค่าความแข็งจากชิ้นงานตามมาตรฐาน (ASTM D 785) ของ PP ที่เติมด้วย  $\text{TiO}_2$  เกรด P-25 และเติมด้วยเส้นใยนาโนจากแร่เปรียบเทียบกับ PP 100%

หลังจากนำไปทดสอบสมบัติความแข็ง ตามมาตรฐาน ADTM D 785 ดังรูปที่ 9 พบว่าการเติม  $TiO_2$  ที่มีขายในท้องตลาดและเส้นใยนาโนที่เตรียมได้ไม่ส่งผลต่อสมบัติความแข็งของ PP มากนัก

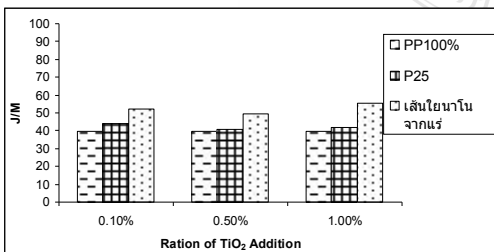
### 3.3 การวิเคราะห์ทางความร้อนเชิงน้ำหนัก



รูปที่ 10 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใย PP (Degradation temperature, Td) ที่เติมด้วย  $TiO_2$  เกรด P-25 และเติมด้วยเส้นใยนาโนจากแร่เปรียบเทียบกับเส้นใย PP 100%

จากรูปที่ 10 แสดงให้เห็นได้ว่าการเติม เส้นใยนาโนที่เตรียมได้จากแร่ลงในเส้นใย PP ส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature, Td) หลังจากการเติมเส้นใยนาโนที่เตรียมได้ในปริมาณ 0.1-1% เพิ่ม Td มากกว่า  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นผลเนื่องมาจาก  $TiO_2$  ที่เติมลงไปมีสมบัติที่ทนต่อความร้อนได้สูง [15] จึงคาดว่าน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เส้นใยมี Td ที่สูงขึ้น ซึ่งไม่ต่างจากการเติม  $TiO_2$  ที่มีขายในท้องตลาด (P-25) มากนัก

### 3.4 ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก



รูปที่ 11 ค่าการทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานตามมาตรฐาน (ASTM D 256) ของ PP ที่เติมด้วย  $TiO_2$  เกรด P-25 และเติมด้วยเส้นใยนาโนจากแร่เปรียบเทียบกับ PP 100%

จากรูปที่ 11 พบว่าการเติม  $TiO_2$  ที่มีขายในท้องตลาด (P-25) ลงไปใน PP นั้นไม่ส่งผลต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ PP มากนัก ในขณะที่การเติม เส้นใยนาโนที่ได้จากการเตรียมจากแร่ลูโคซีน ส่งผลทำให้ PP ทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่าการเติม  $TiO_2$  ที่มีขายในท้องตลาด (P-25) ซึ่งอาจเนื่องมาจาก เส้นใยนาโนที่ได้จากการเตรียมจากแร่ลูโคซีนกับ  $TiO_2$  ที่มีขายในท้องตลาด (P-25) ที่มีลักษณะโครงสร้างนาโนที่ต่างกันดังรูปที่ 6 อย่างไรก็ตามโครงสร้างจุลภาคของ PP ที่เติม  $TiO_2$  ลงไปจำเป็นต้องวิเคราะห์ต่อไปด้วยเรื่องมีวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูงเช่น เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

### 4. สรุป

- วัสดุนาโนที่เตรียมได้จากแร่ลูโคซีนด้วยกระบวนการไฮดรอเทอร์มอล พบว่ามี  $TiO_2$  ผสมอยู่ประมาณ 96.37wt% โดยมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีความยาวประมาณ 3-22  $\mu\text{m}$ . และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12-58 นาโนเมตร และนำมาเป็นส่วนผสมในเส้นใย PP ในอัตราส่วน 0.1%, 0.5%, 1.0% พบว่าการเติมเส้นใยนาโนไม่ส่งผลต่อแรงดึง (Tensile strength) และค่าความแข็ง (Hardness, ASTM D 785) มากนัก แต่เพิ่มระยะ ณ จุดขาดของเส้นใยโดยไม่แตกต่างจากการเติม  $TiO_2$  ขนาดนาโนเมตรที่มีขายในท้องตลาด (P-25)
- ค่าการทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 256 ของการเติมเส้นใยนาโนที่เตรียมจากแร่ลูโคซีนใน PP มีค่าสูงกว่าการเติมนาโน  $TiO_2$  ที่มีขายในท้องตลาด หลังจากการเติม  $TiO_2$  ในปริมาณ 0.1-1% ทั้งที่มีขายในท้องตลาด และที่เตรียมได้ ส่งผลทำให้เพิ่ม Td มากกว่า  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาหมายเลข MRG 5180124 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และกลุ่มวิจัย Nanotechnology for textile and polymer research group (Nano TeP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### เอกสารอ้างอิง

- [1] พิพิช นิลสันทียะ ,สมบัติกายภาพและสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่เสริมแรง

- ด้วยเส้นใยแก้วชนิดสั้น, วิทยานิพนธ์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548
- [2] ปัทมา อุ่ณสุข ,สมบัติกายภาพและเชิงกลของวัสดุ  
ผสมอะครีโลไนไตรล์-บิลตะ-ไดอิน-สไตรีนที่เสริมแรง  
ด้วยเส้นใยแก้วชนิดสั้น, วิทยานิพนธ์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545
- [3] สิริชัย ภิบาลจอมมี, การกำจัดน้ำเสียสีย้อมด้วย  
กระบวนการโฟโตแคตาไลติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา  
ไททาเนียมไดออกไซด์, วิทยานิพนธ์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543
- [4] นัตตา เวชชากุล, การสังเคราะห์และหาลักษณะเฉพาะ  
ของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบน  
แก้วลอย, วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548
- [5] ชนิษฐา หทัยสมิทธิ์, สายันต์ ผุฒวัฒน์, กมล เอี่ยม  
พนาภิกิจ, สุพัฒน์ ดำรงรัตน์, การเตรียมฟิล์มไททา  
เนียม-เฟลโซนาเทส และการประยุกต์ใช้ทำลายเชื้อ  
แบคทีเรียโดยการฉายแสง, การประชุมทางวิชาการ  
ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45, กรุงเทพฯ  
2550, หน้า 643-655.
- [6] Suzuki, Y., Pavasupree, S., Yoshikawa, S. and  
Kawahata, R. (2005) Natural rutile-derived  
titanate nanofibers prepared by direct  
hydrothermal processing, *J. Mater. Res.*, 20, pp.  
1063-1070.
- [7] Pavasupre, S., Suzuki, Y., Yoshikawa, S. and  
Kawahata, R. (2005) Synthesis of titanate,  $TiO_2$   
(B), and anatase  $TiO_2$  nanofibers from natural  
rutile sand, *J. Solid State Chem.*, 178, pp. 3110-  
3116.
- [8] Suzuki, Y., Pavasupree, S. and Kawahata, R.  
(2007) "Direct Synthesis of an Anatase- $TiO_2$   
Nanofiber/Nanoparticle Composite Power from  
Natural Rutile," *Physica Status Solidi (a)*, 204,  
No.6, pp1757-1761
- [9] Sirirat Wacharawichanant, Supakanok Thongyai  
and Tunya Tipsri, Effect of Mixing Conditions  
and Particle Sizes of Titanium Dioxide on  
Mechanical and Morphological Properties of  
Polypropylene/Titanium Dioxide Composites,  
*Iranian Polymer Journal* 18(8), 2009, pp.607-616
- [10] M. Modesti, A. Lorenzetti, D. Bon, S. Besco,  
Effect of processing conditions on morphology  
and mechanical properties of compatibilized  
polypropylene nanocomposites, *Polymer* 46  
(2005) pp.10237-10245
- [11] มณฑิเรชชัย กลั่นบุบผา, กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ และ  
สรพงษ์ ภาสุปรีย์. 2551. การศึกษาผลกระทบบของไท  
ทาเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรและขนาดนาโน  
เมตรในเส้นใยโพลีโพรพิลีนที่มีต่อสมบัติการทนต่อ  
แรงดึงการต้านทานแบคทีเรียและสมบัติทางความ  
ร้อน. การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ประจำปี 2551, สงขลา, ประเทศไทย, 20-22 ตุลาคม  
2551, หน้า 781-786.
- [12] T.kasuga, M. Hiramastu, A . Hoson, T. Sekino,  
K. Niihara, Titania nanotubes prepared by  
chemical processing, *Adv. Mater.*, 11 (1199)  
pp.1307-1311.
- [13] A. R. Armstrong, and G. Armstrong, J. canales  
and P. G. Bruce,  $TiO_2$ -B nanowires, *Angew.  
Chem. Int. ed.*, 43 (2004) pp. 2286-2288.
- [14] Y. Suzuki and S. Yoshikawa, Synthesis and  
thermal analyses of  $TiO_2$ -derived nanotubus  
prepared by the hydrothermal method, *J Mater.  
Res.*, 19(2004) pp.982-985.
- [15] นิรมล ชินเมธากุล การเตรียมและหาลักษณะเฉพาะ  
ของวัสดุผสมพอลิเมอร์สังยุค. วิทยานิพนธ์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2549



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล	นายมณเฑียรชัย กลั่นบุบผา
วัน เดือน ปีเกิด	28 มีนาคม 2522
ที่อยู่	13/1 หมู่ 10 ตำบลบึงคำพร้อย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี 12150
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ. 2548
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2543- ปัจจุบัน ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

## ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

มณเฑียรชัย กลั่นบุบผา, กิตติพงษ์ กิมะพงค์, สรพงษ์ ภาสุปรีย์, การศึกษาผลกระทบของไททานเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรและขนาดนาโนเมตรในเส้นใยโพลีโพรพิลีนที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงดึงการต่อต้านแบคทีเรีย และสมบัติทางความร้อน, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2551, โรงแรม บีพี สมิทลา บีช โฮเต็ล แอนด์ รีสอร์ท จังหวัดสงขลา วันที่ 20-22 ตุลาคม พ.ศ. 2551, หน้า 781-786

มณเฑียรชัย กลั่นบุบผา, กิตติพงษ์ กิมะพงค์, สรพงษ์ ภาสุปรีย์, การเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่ลูโคซีน, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2552 โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชออคิด จังหวัดขอนแก่น, วันที่ 21-22 ตุลาคม พ.ศ. 2552, หน้า 1101-1106

มณเฑียรชัย กลั่นบุบผา, ณรงค์ชัย โอเจริญ, ธนากร วิรุฬห์มงคล, กิตติพงษ์ กิมะพงค์, นที ศรีสวัสดิ์, สรพงษ์ ภาสุปรีย์, จูไรรัตน์ ดวงเดือน “การศึกษาผลกระทบของนาโน  $TiO_2$  ที่เตรียมได้จากแร่ลูโคซีนในเส้นใย PP ต่อสมบัติเชิงกลบางประการและสมบัติทางความร้อน, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2553 โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดอุบลราชธานี 13-15 ตุลาคม พ.ศ. 2553