

การเตรียมแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่อิลเมไนต์ของไทย
โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและสมบัติการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

PREPARATION OF NANOSHEETS FROM THAI
ILMENITE MINERAL BY HYDROTHERMAL METHOD
AND THEIR PHOTOCATALYTIC ACTIVITY

วิษณุ เจริญถนอม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเตรียมแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ของไทย
โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและสมบัติการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

วิษณุ เจริญนอม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทท์ของไทยโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและสมบัติการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง
ชื่อ-นามสกุล	นายวิษณุ เจริญถนอม
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

วัสดุไททานาเนตและไททานเนียมไดออกไซด์มีประยุกต์ใช้งานทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เช่น วัสดุสารกึ่งตัวนำชนิด n-type ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง วัสดุบำบัดน้ำเสีย วัสดุตัวเร่งปฏิกิริยา อุปกรณ์ตรวจสอบก๊าซ และอื่นๆ งานวิจัยนี้ได้เตรียมแผ่นบางขนาดนาโน จากแร่โอลิเมนไทท์ของไทยซึ่งมีราคาถูกด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากโดยใช้ชุดตั้งปฏิกรณ์ที่ออกแบบและสร้างได้เองในประเทศไทย

แผ่นบางขนาดนาโนเตรียมได้โดยใช้แร่โอลิเมนไทท์ของไทยเป็นวัตถุดิบตั้งต้นผ่านวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดสอบและวิเคราะห์ รูปร่าง ขนาด โครงสร้างผลึกและพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุนาโนที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) และเครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) รวมถึงการทดลองนำแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง (Photocatalyst) ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)

ผลการศึกษาพบว่าแร่โอลิเมนไทท์มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ ขณะที่สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททานาเนต ($\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$) มีการจัดเรียงรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายดอกไม้ประกอบขึ้นจากแผ่นบางขนาดนาโนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 μm แผ่นบางขนาดนาโนมีลักษณะเป็นแผ่นโค้งเล็กน้อยกว้างประมาณ 100 nm ถึง 2 μm และมีความหนาของแผ่นนาโนเมตร และพบว่าแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้สามารถนำไปใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงได้ดีกว่า P25, JRC-01, JRC-03 ซึ่งเป็นวัสดุนาโน TiO_2 เชิงพาณิชย์

คำสำคัญ: แผ่นบางขนาดนาโน แร่โอลิเมนไทท์ ไททานเนียมไดออกไซด์ การเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

Thesis Title Preparation of Nanosheets from Thai Ilmenite Mineral by Hydrothermal Method and Their Photocatalytic Activity

Name-Surname Mr. Wissanu Charerntanom

Program Materials Engineering

Thesis Advisor Assistant Professor Sorapong Pavasupree, Ph.D.

Academic Year 2013

ABSTRACT

Titanate and TiO_2 have been widely used for energy and environment applications such as semiconductor n-type in dye-sensitized solar cell, water treatment materials, catalysts, gas sensors, and so on. This research prepared nanosheets from low-cost Thai ilmenite mineral via simple hydrothermal method using a Thai teflon-lined stainless steel autoclave, that was designed and built in Thailand.

Nanosheets were synthesized by hydrothermal method using Thai ilmenite mineral at 105°C for 24 hours. The shape, size, crystalline structures and specific surface area of the prepared samples were characterized by scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM), X-ray diffraction (XRD), and Brunauer-Emmett-Teller (BET) specific surface area. The prepared nanosheets were applied as the photocatalyst under ultraviolet (UV) light.

Ilmenite mineral (starting material) showed rutile phase while the prepared samples presented titanate structure ($\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$). As-synthesized sample showed flower-like morphology with diameter of 2-5 μm and composed of nanosheets structure. The nanosheets structure was slightly curved and approximately 100 nm to 2 μm in width and several nanometers in thickness. Additionally, the photocatalytic activity of nanosheets was observed to be higher than that of commercial nanoparticles (P25, JRC-01, and JRC-03).

Keywords: nanosheets, ilmenite mineral, hydrothermal, TiO_2 , photocatalytic activity

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภาสุปรีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ณรงค์ชัย โอเจริญ ดร.สุมนมาลย์ เนียมหลวง กรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิรัตน์ เหลาบุตร ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ด้านทุนวิจัย วัสดุ เครื่องมือในการทำวิจัย และเครื่องมือวิเคราะห์จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.) กลุ่มวิจัย Nanomaterials for Textile and Polymer Research Group คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี บริษัท สิ้นแร่สาคร จำกัด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้สามารถผ่านพ้นอุปสรรคจนประสบผลสำเร็จ รวมถึงผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย สำหรับคุณความดีอันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



วิษณุ เจริญถนอม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่	
1 บทนำ.....	12
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	12
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	13
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	13
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย.....	14
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	14
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.2 ไททานเนียม (Titanium, Ti).....	31
2.3 ไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂).....	33
2.4 อิลเมไนท์.....	41
2.5 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล.....	42
2.6 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ.....	47
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	51
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	51
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	52
3.3 วิธีการทดลอง.....	56

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง	66
4.1 ผลการสังเคราะห์แผ่นบางนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์	66
4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้	68
4.3 การทดลองใช้แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง	71
4.4 พื้นที่ผิวจำเพาะแร่โอลิเมนไทต์วัดดูดซับตั้งต้นและตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้	73
4.5 วิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างและปฏิกิริยาเชิงแสงของแผ่นบาง ขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ของไทยที่เตรียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล	73
4.6 องค์ประกอบทางเคมีของวัดดูดซับตั้งต้นและตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้	80
5 สรุปผลการทดลอง	82
5.1 การวิเคราะห์สมบัติของแผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้	82
5.2 การวัดการนำไปใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง	83
5.3 ผลกระทบของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างและปฏิกิริยาเชิงแสงของแผ่นบางขนาด นาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ของไทยที่เตรียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล	83
5.4 ข้อเสนอแนะ	85
รายการอ้างอิง	86
ภาคผนวก	91
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	91
ประวัติผู้เขียน	136

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าพื้นที่ผิวของสารตัวอย่าง (BET Surface Area).....	27
2.2	ค่าพื้นที่ผิวของสารตัวอย่าง (BET Surface Area).....	30
2.3	แสดงแหล่งที่มาของโลหะไททาเนียมและสัดส่วนของไททาเนียมไดออกไซด์ในแร่.....	33
2.4	แสดงสมบัติทางกายภาพต่างๆ ไปของไททาเนียมไดออกไซด์.....	35
4.1	ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของสารตัวอย่าง	73
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของแร่โอลิเมไนท์วัตถุดิบตั้งต้นและตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF	81



สารบัญรูป

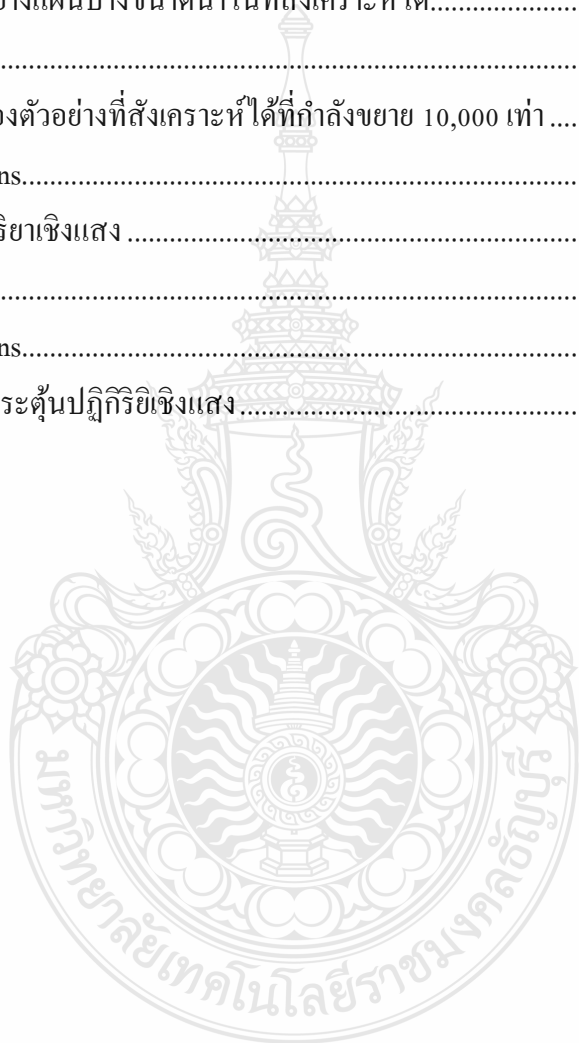
รูปที่	หน้า
2.1 TEM และSAED ของแผ่นบางขนาดนาโน TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้.....	15
2.2 XRD Patterns.....	16
2.3 รูป SEM.....	17
2.4 XRD Patterns.....	18
2.5 XRD Patterns.....	19
2.6 รูป TEM.....	20
2.7 ผลการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	21
2.8 รูป TEM ของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้.....	22
2.9 XRD Patterns.....	22
2.10 รูป SEM.....	23
2.11 XRD Patterns.....	24
2.12 รูป SEM.....	25
2.13 รูป แผนผังวิธีการทดลอง.....	26
2.14 XRD Patterns.....	26
2.15 รูป TEM.....	27
2.16 รูป SEM.....	28
2.17 รูป XRD Patterns.....	28
2.18 รูป TEM.....	29
2.19 รูป XRD Patterns.....	30
2.20 รูปกระบวนการผลิตโลหะไททานเนียมแบบครอต์	32
2.21 การเชื่อมต่อกันของแต่ละออกไซด์	34
2.22 สมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง (Self-Cleaning)	40
2.23 สมบัติในการเป็นซูเปอร์ไฮโดรฟิลิกของไททานเนียมไดออกไซด์.....	41
2.24 แผนภูมิต้นไม้แสดงกิ่งก้านความสัมพันธ์ของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล.....	44
2.25 กระบวนการซัลเฟต	45
2.26 กระบวนการคลอไรด์.....	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM.....	48
2.28 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง TEM.....	49
2.29 หลักการทำงานของเครื่อง XRD	50
3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	51
3.2 ถึงปฏิบัติการแบบควบคุมอุณหภูมิ	52
3.3 ชุดกรองสุญญากาศ	53
3.4 ตู้อบสารเคมี.....	53
3.5 เตาเผาอุณหภูมิสูง.....	54
3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	54
3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	55
3.8 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน	55
3.9 การชั่งแร่โอลิเมไนท์.....	56
3.10 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	57
3.11 การเตรียมการสังเคราะห์วัสดุนาโน	57
3.12 การประกอบถึงปฏิบัติการเข้ากับชุดให้ความร้อนและชุดกวนสาร.....	58
3.13 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 โมลาร์	58
3.14 การล้างตัวอย่างด้วยกรด HCl และน้ำ D.I.....	59
3.15 การกรองตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ	59
3.16 การเตรียมการสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมไนท์.....	60
3.17 รูปสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ในถึงปฏิบัติการ	60
3.18 สารสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้.....	61
3.19 การล้างตัวอย่างด้วยกรด HCl และน้ำ D.I.....	66
3.20 การกรองตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ	62
3.21 รูปแบบการวัดการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง	64
3.22 รูปการวัดการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง	64
3.23 รูปเครื่อง UV Spectrophotometer (UV-1601 SHIMADZU) และตู้ทึบแสง.....	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	รูปแร่โอลิเมไนท์วัตถุบดตั้งต้น	66
4.2	รูปแร่โอลิเมไนท์ถ่ายจากกล้อง Optical Microscope.....	67
4.3	รูป SEM ของแร่โอลิเมไนท์วัตถุบดตั้งต้นที่กำลังขยาย 100 เท่า	67
4.4	รูปสารตัวอย่างแผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้.....	68
4.5	รูป SEM.....	69
4.6	รูป TEM ของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า	70
4.7	XRD Patterns.....	71
4.8	การวัดปฏิกิริยาเชิงแสง	72
4.9	รูป SEM.....	75
4.10	XRD Patterns.....	77
4.11	การวัดการกระตุ้นปฏิกิริยาเชิงแสง.....	77



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนสำคัญของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต และมีมูลค่าทั่วโลกประมาณ 7.8 ล้านล้านบาท สำหรับประเทศไทยได้มีการนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนาคุณภาพและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของไทย เช่น สิ่งทอ เครื่องสำอาง อาหาร สี เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี ชิ้นส่วนยานยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และผลิตผลทางการเกษตร เป็นต้น นาโนเทคโนโลยีเข้ามามีความสำคัญทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีวัสดุได้มีการนำวัสดุนาโนมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เช่น การแพทย์ วิศวกรรม เกษตรกรรม เทคโนโลยีชีวภาพ เคมีคลินิก และทางเคมี วัสดุนาโนนี้คือวัสดุที่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 1-100 นาโนเมตร ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide, TiO_2) เป็นหนึ่งในวัสดุที่สามารถสังเคราะห์ให้มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตรได้และจัดเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor) ที่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านต่างๆ เช่น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นสารเคลือบในสีทาอาคาร ใช้เคลือบสิ่งทอ เป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่รีลิเทียมไอออน ส่วนประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้เป็นตัวตรวจจับไอของแก๊สไฮโดรเจน [1-2] เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงอย่างแพร่หลาย ด้วยเหตุผลหลายประการ คือ สามารถดูดซับแสงในช่วง แสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดี เป็นสารดูดซับสารอินทรีย์ที่ดี โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ของไทเทเนียมไดออกไซด์เหมาะที่จะใช้ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ และปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงที่มีความสามารถสูงในปฏิกิริยาหลายประเภท มีความเสถียรทางเคมี ทนต่อการกัดกรวดของแสง เมื่อสัมผัสอยู่กับน้ำ มีราคาไม่สูง และสามารถเตรียมในรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่าย TiO_2 เป็นสารที่รู้จักใช้ในการบำบัดน้ำ อากาศ และก๊าซพิษ เนื่องจาก TiO_2 เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสามารถสลายสารประกอบอินทรีย์เกือบทุกชนิดเมื่ออยู่ภายใต้แสงอาทิตย์ มีผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมากมายที่ผลิตขึ้นโดยอาศัยคุณสมบัติของ TiO_2 เช่น เสื้อผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ กระเบื้องปราศจากเชื้อโรค และการใช้ TiO_2 เพื่อสลายไนโตรเจนไดออกไซด์จากอากาศให้สามารถถูกชะล้างไปได้ง่าย อีกตัวอย่างหนึ่งของประโยชน์ของ TiO_2 คือใช้สลายฮอร์โมนที่เร่งการสุกของพืชผัก และเก็บรักษาดอกไม้ที่ถูกตัดเก็บไว้ หรือใช้สลายก๊าซพิษต่างๆ เช่น Trichloroethylene จากน้ำหรือสลายสารพิษจากสาหร่ายสีน้ำตาล [3]

โดยทั่วไป TiO_2 สามารถเตรียมได้จากหลายกระบวนการเช่น กระบวนการวิธีโซล-เจล (Sol-Gel) กระบวนการวิธีอิเล็กโทรเดโพสิชัน (Electrodeposition) กระบวนการวิธีอิเล็กโทรสปินนิง (Electrospinning) และกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal)

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เป็นกระบวนการเตรียมวัสดุนาโนโดยใช้แร่ราคาถูกชนิดต่างๆ เป็นสารตั้งต้น ซึ่งมีขั้นตอนในการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ใช้อุณหภูมิในการเตรียมไม่สูงมากนัก มีต้นทุนวัสดุต่ำ และตัวอย่างที่เตรียมได้มีรูปร่างที่มีความพิเศษคือ มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง เช่น ท่อนาโน เส้นใยนาโน และแผ่นบางขนาดนาโน (Nanosheets) [4-7] โดยงานวิจัยก่อนหน้า คือ การศึกษานำเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากแร่โอลิเมนไทต์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลไปใช้ในงานเป็นสารวัสดุกึ่งตัวนำชนิดอื่น ขั้วไฟฟ้าในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงเพื่อผลิต H_2 จากปฏิกิริยาการแยกน้ำ [5-7]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการเตรียมวัสดุแผ่นบางขนาดนาโนจากวัตถุดิบภายในประเทศ (แร่โอลิเมนไทต์) โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ด้วยชุดตั้งปฏิกิริยาที่ออกแบบและสร้างได้เองในประเทศ เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ และทดลองใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อเตรียมวัสดุแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ของไทย โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ด้วยชุดตั้งปฏิกิริยาที่ออกแบบและสร้างได้เองในประเทศ

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ เช่น รูปร่าง ขนาด โครงสร้างผลึก เป็นต้น

1.2.3 เพื่อทดลองใช้แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ทำการสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ของไทย ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้ชุดตั้งปฏิกิริยาที่ออกแบบและสร้างขึ้นเองในประเทศที่อุณหภูมิ $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 24 ชั่วโมง

1.3.2 ทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffraction, XRD) รูปร่างและขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ

ส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)

1.3.3 นำเอาวัสดุแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ไปทดลองใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโดยเปรียบเทียบกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P-25, JRC-01, JRC-03, และ White Pigment)

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

1.4.1 ได้แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนในท้องไทยที่มีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงที่สามารถผลิตได้เองในประเทศ

1.4.2 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับแผ่นบางขนาดนาโนที่มีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ตัวสมบัติการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุนาโน TiO_2 เชิงพาณิชย์

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1.5.3 เตรียมวัสดุแผ่นบางขนาดนาโนโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.5.4 ทำการศึกษาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ ได้แก่ รูปร่างขนาดและโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง SEM, TEM, XRD

1.5.5 ทดสอบการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงของวัสดุนาโนที่เตรียมได้

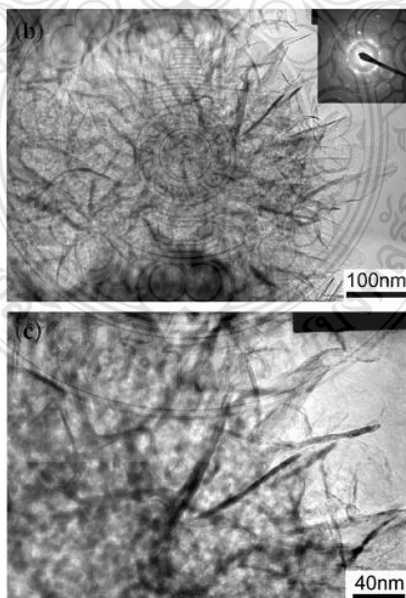
1.5.6 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย

บทที่ 2

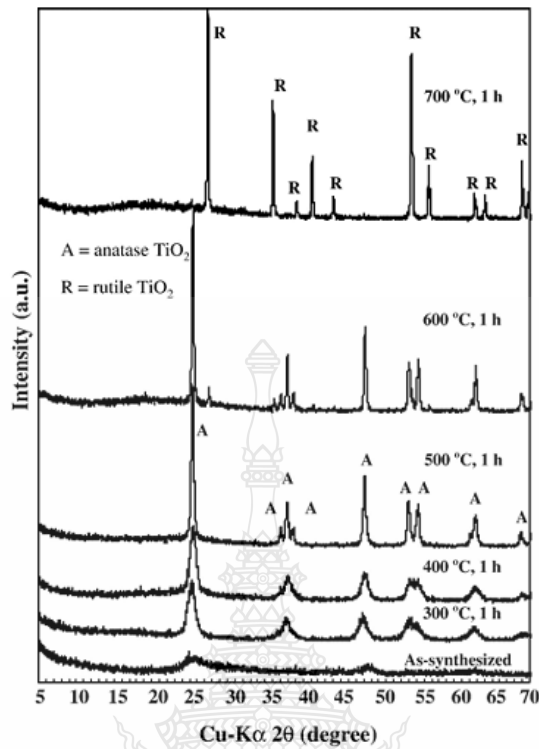
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sorapong Pavasupree และคณะ[8]ได้ศึกษาการสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโน ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ในการสังเคราะห์และวัดคุณสมบัติตั้งต้นที่ใช้คือ Titanium (IV) Butoxide (Aldrich) กับ Acetylacetone (ACA) และ Distilled Water 40 ml ในสารละลายแอมโมเนีย (Ammonia) 30 ml ใช้สภาวะการสังเคราะห์ที่ 130°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่า แผ่นบางขนาดนาโนมีการจัดเรียงรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายดอกไม้ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 500 nm -2 μm แผ่นบางขนาดนาโนมีลักษณะเป็นแผ่นโค้งเล็กน้อยกว้างประมาณ 50-100 nm และมีความหนาของแผ่นในขนาดนาโนเมตรดังรูปที่ 2.1 จากการวัด BET พบมีพื้นที่ผิวประมาณ $642\text{ m}^2/\text{g}$ มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 3-4 nm และมีปริมาตรรูพรุน $0.774\text{ cm}^3/\text{g}$ ผลการทดสอบ XRD (รูปที่ 2.2) พบว่าแผ่นบางขนาดนาโนเมื่อผ่านการเผาให้ความร้อน $300\text{-}500^{\circ}\text{C}$ จะเปลี่ยนเป็น Nanorods และ Nanoparticles ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Anatase โดยที่ Nanorods มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10–15 nm Nanoparticles มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5–10 nm

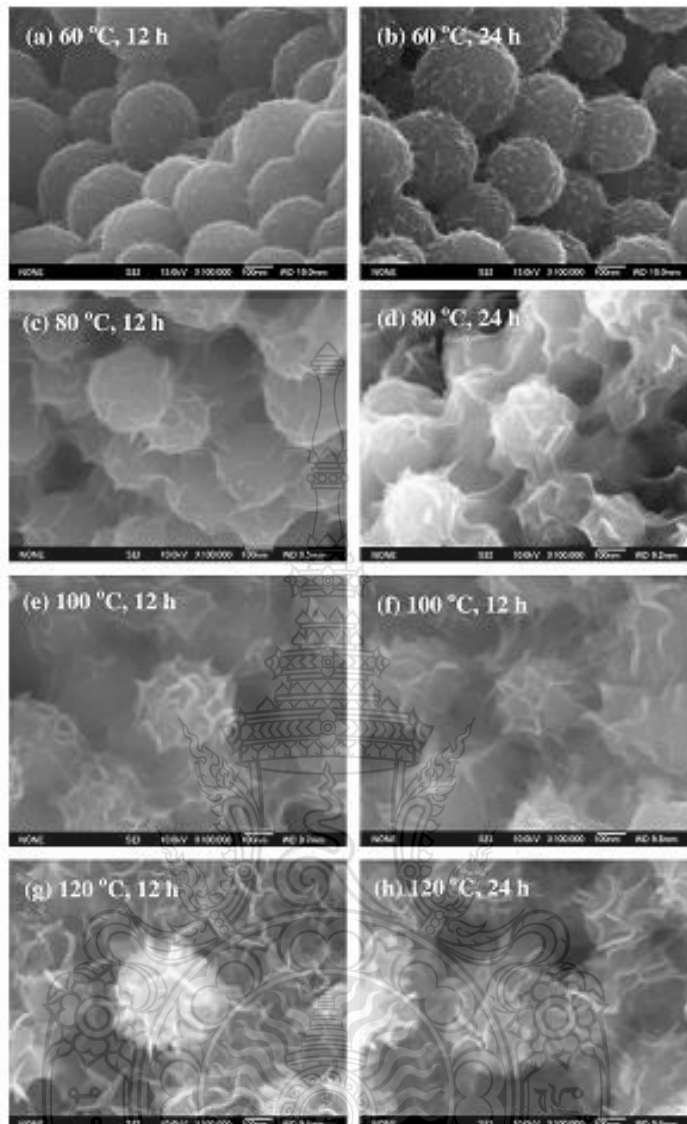


รูปที่ 2.1 TEM และ SAED ของแผ่นบางขนาดนาโน TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้ [8]



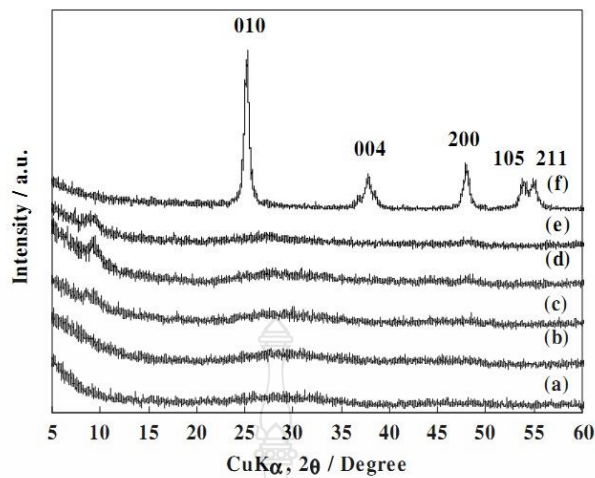
แผ่นบางขนาดนาโน TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้ และแผ่นบางขนาดนาโนที่เผาที่อุณหภูมิ 300 - 700 °C [8]
รูปที่ 2.2 XRD Patterns

Jaturong Jitputti และคณะ[9] ได้ศึกษาการสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโน ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ด้วยอุณหภูมิต่ำ ในการสังเคราะห์และวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้คือ Titanium Tetraisopropoxide (TTIP, $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$ 97%, Aldrich) ในเอทานอลโดยใช้ 28% สารละลาย Ammonia 20 ml และ Distilled Water 40 ml ใช้สภาวะการสังเคราะห์ที่ 60, 80, 100, 120 °C เป็นเวลา 12 และ 24 ชั่วโมงจากการศึกษา (รูปที่ 2.3) พบว่าแผ่นบางขนาดนาโนมีการจัดเรียงรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายดอกไม้ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 -450 nm จากการวัด BET พบมีพื้นที่ผิวประมาณ 350.7 m^2/g เมื่อผ่านการเผาให้ความร้อนที่ 500 °C มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Anatase (รูปที่ 2.4) แผ่นบางขนาดนาโนแสดงการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของการแยก H_2 จากน้ำที่ดี และแผ่นบางขนาดนาโนที่ผ่านการเผาให้ความร้อนที่ 500 °C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่ดีกว่าไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (ST - 01)



สารที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ (a) 60°C เวลา 12 ชั่วโมง (b) 60°C เวลา 24 ชั่วโมง (c) 80°C เวลา 12 ชั่วโมง (d) 80°C เวลา 24 ชั่วโมง (e) 100°C เวลา 12 ชั่วโมง (f) 100°C เวลา 24 ชั่วโมง (g) 120°C เวลา 12 ชั่วโมง and (h) 120°C เวลา 24 ชั่วโมง [9]

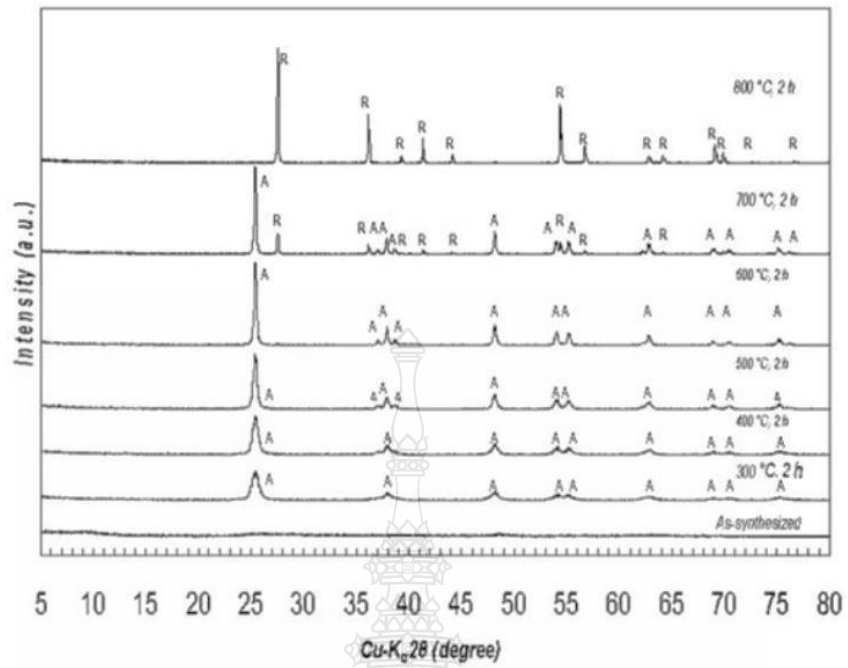
รูปที่ 2.3 รูป SEM



(a) สารตัวอย่าง ที่สังเคราะห์ได้ ด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส ของ TTIP ด้วย 0.1 M KCl และสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่ล้างด้วยแอมโมเนียเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ (b) 60°C, (c) 80°C, (d) 100°C, (e) 120°C และ (f) สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่ล้างด้วยแอมโมเนีย ที่ 120°C, 12 ชั่วโมง และปรับอุณหภูมิที่ 500°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง. [9]

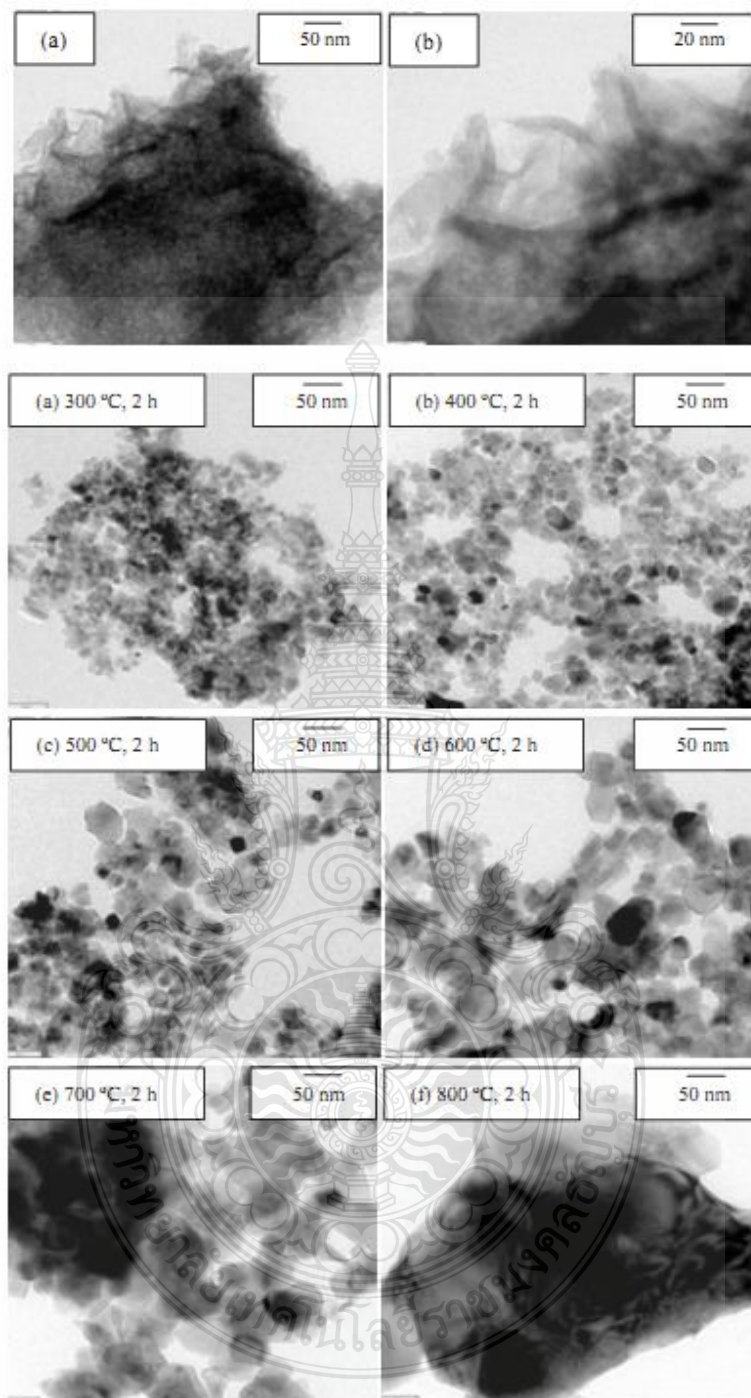
รูปที่ 2.4 XRD patterns

Athapon Simpraditpan และคณะ [10] ได้ศึกษาการเตรียมแผ่นบางขนาดนาโน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่มีรูพรุน โดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal) ที่ 120°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ด้วยชุดถังปฏิกรณ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมและบุด้วยเทฟลอนที่ผลิตขึ้นเองในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีประเทศไทย ในการสังเคราะห์และวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้คือ Titanium (IV) Butoxide กับ Acetylacetone (ACA) และ Distilled Water 80 ml ในสารละลายแอมโมเนีย (Ammonia) จากผลการศึกษาพบว่า มีพื้นที่ผิวประมาณ 360.28 m²/g มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 3-5 nm และมีปริมาตรรูพรุน 0.275 cm³/g เมื่อเผาให้อุณหภูมิแผ่นบางขนาดนาโนที่ 300 - 600°C พบว่ามีโครงสร้างผลึกเป็นแบบอนาเทส (รูปที่ 2.5) และมีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลง (รูปที่ 2.6) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้นพบว่ามีโครงสร้างผลึกเป็นแบบอนาเทสเพิ่มขึ้น และพบว่าแผ่นบางขนาดนาโนที่ผ่านการเผาให้ความร้อนมีสมบัติความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงได้ดีกว่าแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้และไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P-25, JRC-01, JRC-03) (รูปที่ 2.7) แผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้ และแผ่นบางขนาดนาโนที่เผาที่ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ (A: Anatase and R: Rutile) [10]



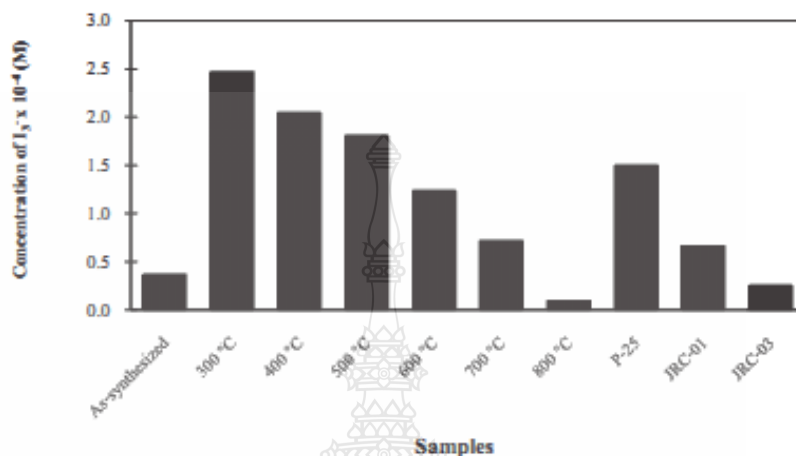
แผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้ และแผ่นบางขนาดนาโนที่เผาที่ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นเวลา 2 h ที่อุณหภูมิ (a) 300 °C, (b) 400 °C, (c) 500 °C, (d) 600 °C, (e) 700 °C and (f) 800 °C [10]

รูปที่ 2.5 XRD Patterns



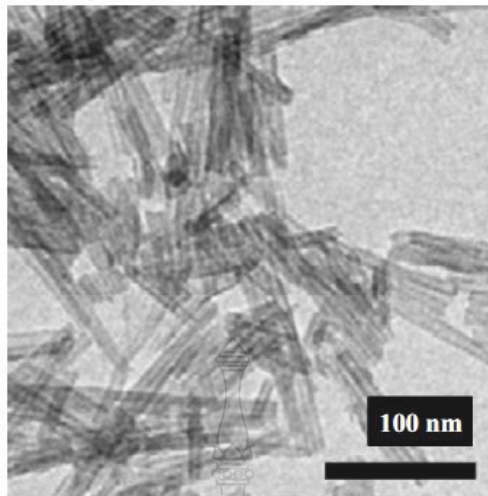
รูปที่ 2.6 ภาพ TEM

วัดความเข้มข้นของ I_3^- ของแผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้แผ่นบางขนาดนาโนที่ผ่านการเผา และ สารนาโน TiO_2 เชิงพาณิชย์ (P-25, JRC-01, JRC-03) [10]

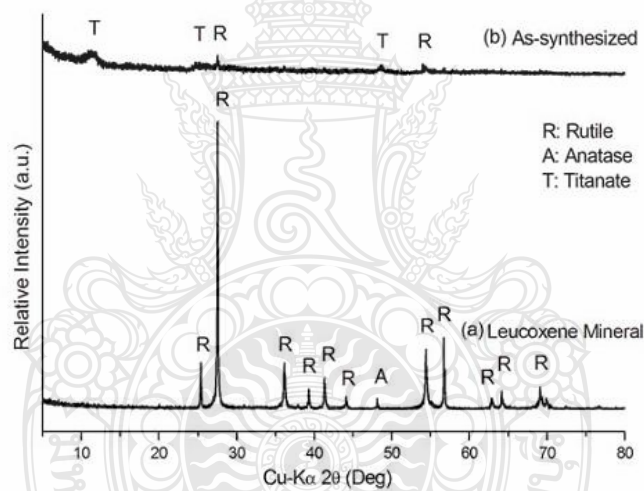


รูปที่ 2.7 ผลการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

D. Aphairaj และคณะ [11] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ท่อนาโนไททานเดจจากแร่ ลูโคซีน ของไทย เป็นสารตั้งต้นใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 M 2000 ml ด้วยชุดถังปฏิกรณ์ที่ทำมาจาก เหล็กกล้าไร้สนิมและบุด้วยเทฟลอน ขนาด 4000 ml ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่า ท่อนาโน ไททานเดจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $4\text{--}6\text{ nm}$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก $8\text{--}10\text{ nm}$ และ มีความยาว $0.2\text{--}1\text{ }\mu\text{m}$ (รูปที่ 2.8) จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกพบ แร่ลูโคซีนมี โครงสร้าง ผลึกแบบ ลูไทล์และอนาเทสผสมกัน ท่อนาโนที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกแบบ ไฮโดรเจนไททานเดจ ($\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$) (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.8 รูป TEM ของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ [11]

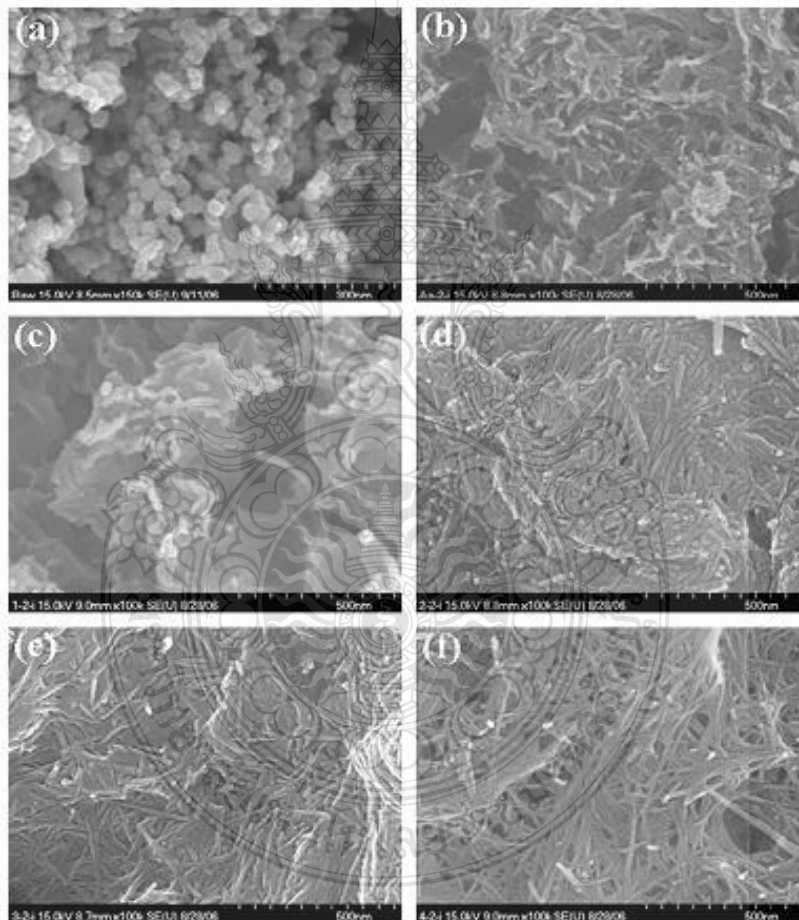


(a) แร่ลูโคซีนที่เป็นสารตั้งต้น (b) สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ [11]

รูปที่ 2.9 XRD Patterns

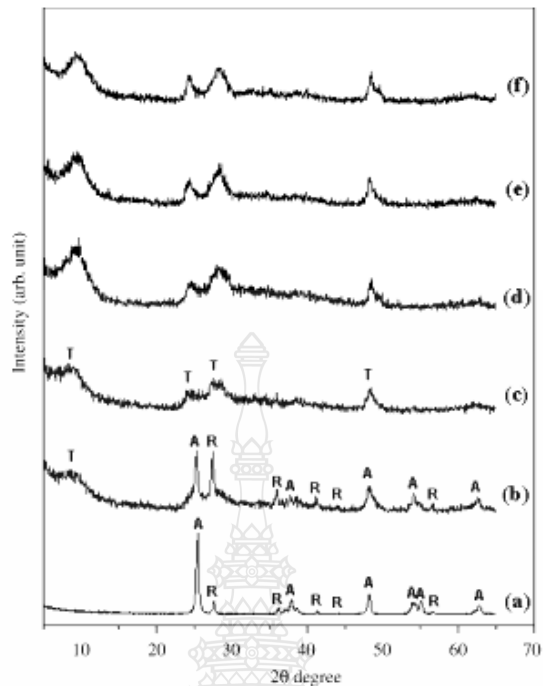
Hyung-Kee Seo และคณะ[12] ได้ศึกษาการเปลี่ยนเฟสของท่อนาโนไททานตสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่มีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการสังเคราะห์ โดยใช้ไททานเนียมไดออกไซด์เชิงนาพาคีซ (P – 25 Degussa, Germany) เป็นสารตั้งต้นใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 M ด้วยชุดตั้งปฏิกิริยาที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมและบุด้วยเทฟลอน โดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 70 - 150 °C เวลา 48 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่า (รูปที่ 2.10) เมื่ออุณหภูมิการสังเคราะห์

เพิ่มขึ้น รูปร่างของสารตัวอย่างจะเปลี่ยนจากแผ่นบางขนาดนาโน เป็นท่อนาโน ที่อุณหภูมิ 110 °C จะเห็นว่าอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาเป็นกุญแจสำคัญในการกำหนดอัตราการเกิด ท่อนาโน X-ray Diffraction สนับสนุน ถึงการเปลี่ยนแปลง เฟส และความเป็นผลึก ของสารที่สังเคราะห์ได้ เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600 °C พบการเปลี่ยนเป็นโครงสร้างผลึกแบบ ortonat ทั้งหมด (รูปที่ 2.11) การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600 °C พบการลดลงของ Peak H₂O (531.01 eV) และ -OH แต่ Ti - O มีการเพิ่มขึ้น มาจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้พันธะ ทางเคมีของ H₂O และ -OH ย้ายออกจาก ไททานेट และเปลี่ยนเป็นพันธะของไททานेट ของไททานี



(a) สารตั้งต้น (b) สารที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่มีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิการสังเคราะห์ที่ 70 °C, (c) 90 °C, (d) 110 °C, (e) 130 °C and (f) 150 °C [12]

รูปที่ 2.10 รูป SEM

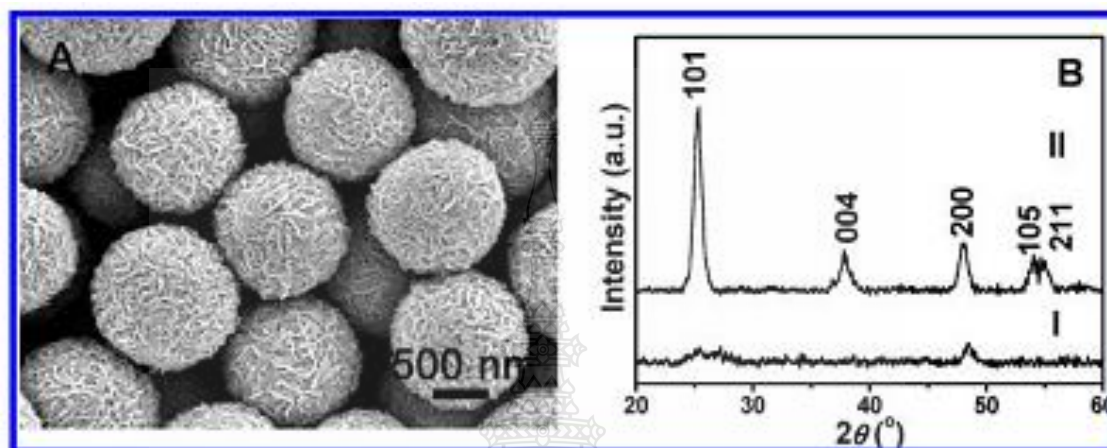


(a) สารตั้งต้น และ(b) สารที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่มีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ การสังเคราะห์ที่ 70°C, (c) 90°C, (d) 110°C, (e) 130°C and (f) 150°C (A: Anatase R: Rutile and T: Titanate) [12]

รูปที่ 2.11 รูป XRD Patterns

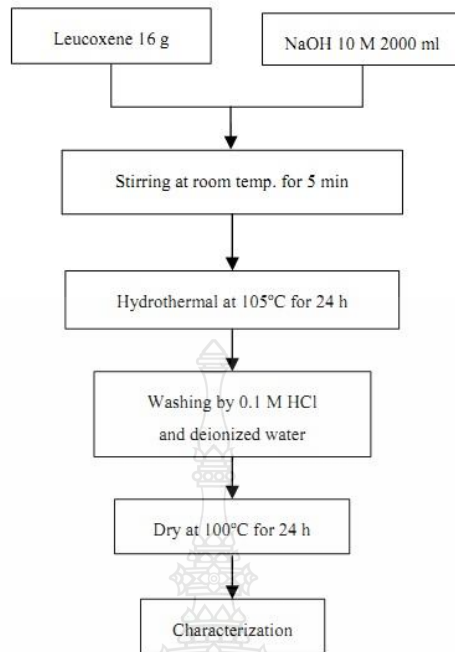
Jun Song Chen และคณะ [13] ได้ศึกษาการสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนเพื่อนำไปใช้ใน แบตเตอรี่ลิเทียม โดยใช้ Titanium (IV) Isopropoxide 1.5 ml เป็นสารตั้งต้น Diethylenetriamine (DETA; 99%, Sigma-Aldrich) 0.03 ml ใส่ลงใน Isopropyl Alcohol (IPA) 42 ml เป็นตัวทำละลาย ลงในถังปฏิกรณ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมและบุด้วยเทฟลอน โดยใช้อุณหภูมิ 200°C เวลา 24 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่า (รูปที่ 2.12) แผ่นบางขนาดนาโนที่ได้ที่โครงสร้างผลึกแบบ อนาเทส มีความหนา ประมาณ 3 nm มีความกว้างในช่วงรอย nm และประมาณ 100% อยู่ในระนาบ 001 ซึ่งจะมีรูพรุนขนาดนาโน ในทั้งสามมิติและมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 170 m²/g จากโครงสร้างของ แผ่นบางขนาดนาโนทำให้การส่งผ่านสั้น ส่งผลให้การรับและการปลดปล่อยของ แบตเตอรี่ลิเทียม มีความสามารถในการจัดเก็บพลังงานเคมีไฟฟ้ามีความหนาแน่นในการจัดเก็บสูง จากผลดังกล่าว ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าของลิเทียมสูง ยังส่งผลให้มีความจุและอัตราการ แลกเปลี่ยนที่ดีมาก นอกจากจะใช้เป็น High-Power Lithium Ionbattery Electrodes ยังสามารถนำ

Anatase TiO_2 Nanosheets Assemblies ไปใช้เป็น Photocatalysis and Dye-Sensitized Solar Cells แผ่นบางขนาด นาโน TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้ และ XRD Patterns (I) แผ่นบางขนาดนาโนที่ สังเคราะห์ได้ (II) ที่เผาที่ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 400 °C [13]

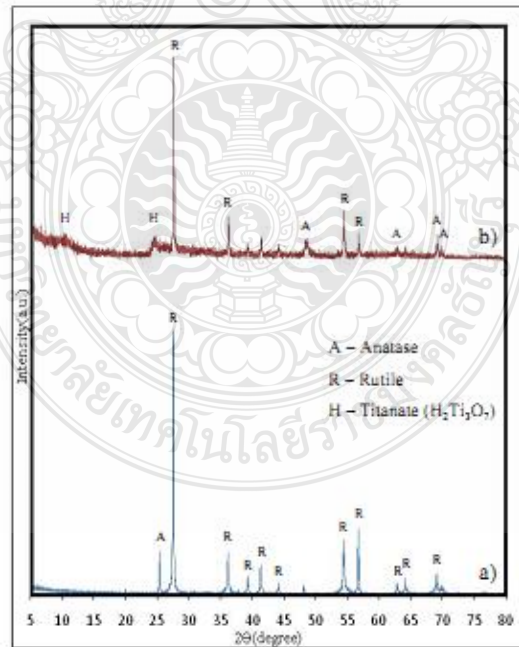


รูปที่ 2.12 รูป SEM

T. Wirunmongkol และคณะ [14] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ท่อนาโนและอนุภาคนาโน เป็น Dye-Sensitized Solar Cells (รูปที่ 2.13) โดยใช้ 16 g ของแร่ลูโคซีน ของไทยเป็นสารตั้งต้นใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 M 2000 ml ด้วยชุดถังปฏิกรณ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมและบุ ด้วยเทฟรอนที่ผลิตขึ้นเองในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประเทศไทย ขนาด 4000 ml ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่า (รูปที่ 2.14) ท่อนาโนไททานเนียมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 – 4 nm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 -10 nm อนุภาคมีขนาดประมาณ 20 -50 nm (รูปที่ 2.15) จากการ วัด BETของท่อนาโน (ตารางที่ 2.1) พบมีพื้นที่ผิวของท่อนาโนประมาณ 144.79 m^2/g มีปริมาตร รูพรุน 1.0335 cm^3/g เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำไปใช้ใน Dye - Sensitized Solar Cell กับ ไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P – 25) พบว่า Nanotubes-Nanoparticles มีประสิทธิภาพสูงกว่า 3.16%

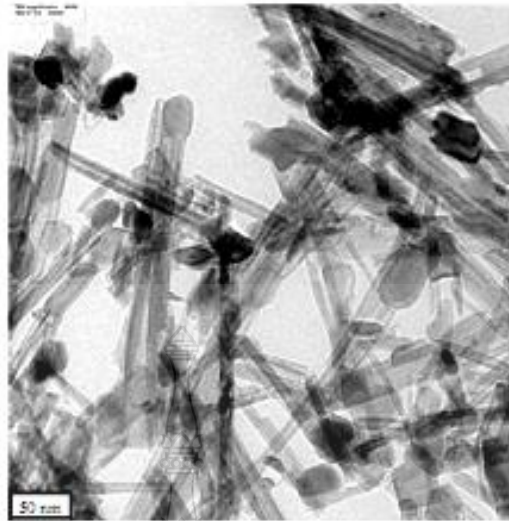


รูปที่ 2.13 รูปแผนผังวิธีการทดลอง [14]



(a) สารตั้งต้น , (b) สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ [14]

รูปที่ 2.14 รูป XRD patterns



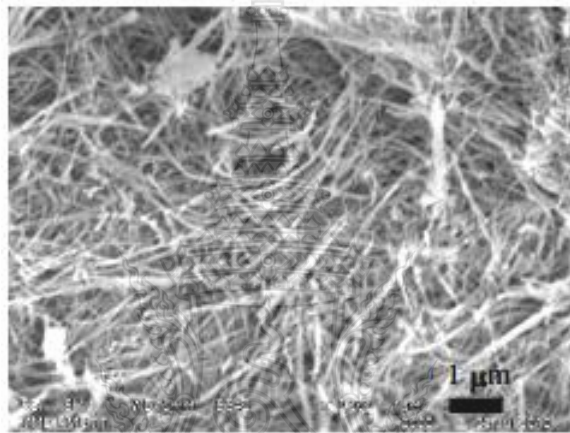
รูปที่ 2.15 รูป TEM ของสารตัวอย่างท่อนาโนที่สังเคราะห์ได้ [14]

ตารางที่ 2.1 ตารางค่าพื้นที่ผิวของสารตัวอย่าง (BET surface area) [14]

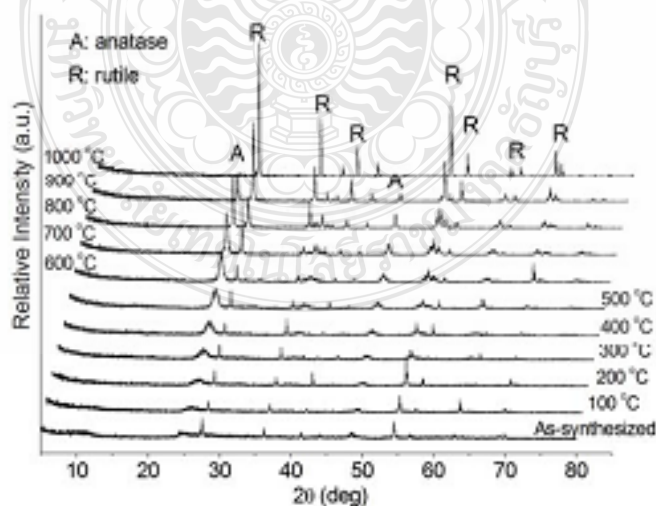
Sample	BET surface area (m ² /g)
Leucoxene	~ 0
Nanotube/nanoparticles titanate	144.79
Commercial TiO ₂ (P25)	~ 50

D. Aphairaj และคณะ [15] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ผลของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างของผงไททานเนียมไดออกไซด์โดยใช้ 16 g ของแร่ลูโคซีน ของไทยเป็นสารตั้งต้นใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 M 1000 ml ด้วยชุดถังปฏิกรณ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมและบุด้วยเทฟลอน ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 115°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาพบว่ารูปร่างของสารตัวอย่างที่ได้ (รูปที่ 2.16) เป็นท่อนาโนและเส้นใยนาโน ท่อนาโน ไททานเนตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 – 20 nm เส้นใยนาโน ไททานเนตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 – 50 nm ผลการทดสอบ XRD (รูปที่ 2.17) พบว่าสารตัวอย่างก่อนการเผามีโครงสร้างผลึกผสมแบบ ไททานเนต และรูไทล์ ไททานเนตมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นอนาเทส ที่อุณหภูมิการเผาที่ 300°C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้นความเป็นผลึกแบบ อนาเทสเพิ่มขึ้น เมื่อให้อุณหภูมิการเผาเป็น 700 – 900°C โครงสร้างผลึกแบบ รูไทล์เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิการเผาที่ 1,000°C จะพบโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์อย่างเดียว

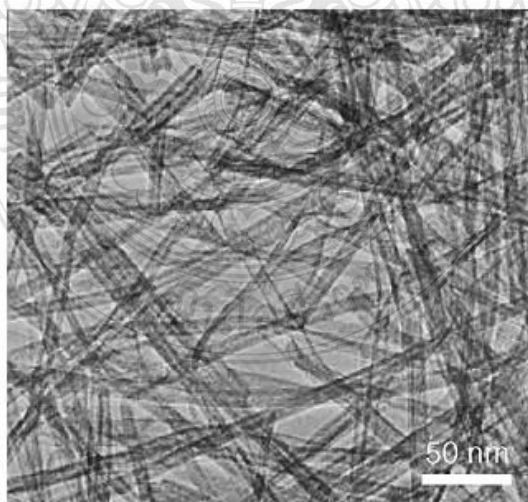


รูปที่ 2.16 รูป SEM สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 115°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [15]



รูปที่ 2.17 รูป XRD patterns สารตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ [15]

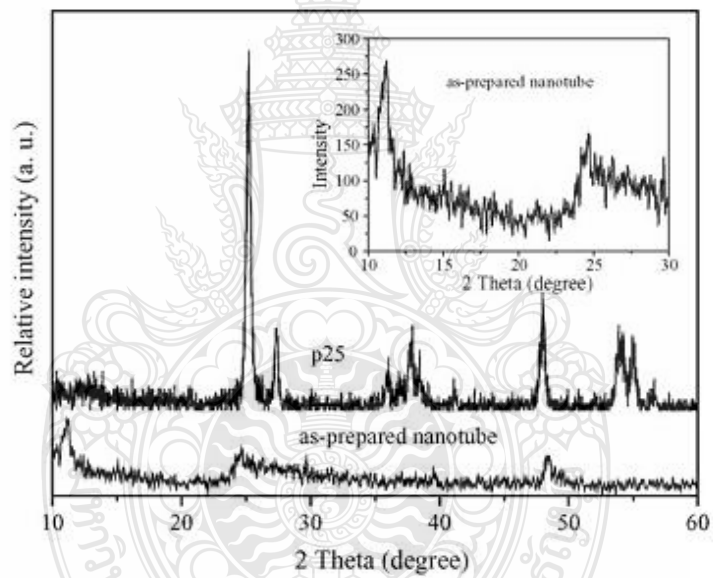
Jianguo Yu และคณะ [16] ได้ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงจากเส้นใยนาโนไททานิดที่มีโครงสร้างแบบอนาเทส ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้ 1.5 g ของไททานิดไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P – 25 Degussa, Germany) เป็นสารตั้งต้น ใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 M 140 ml ด้วยชุดถังปฏิกรณ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมและบุด้วยเทฟลอน ที่อุณหภูมิ 150°C เวลา 48 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่า (รูปที่ 2.18) สารตัวอย่างที่เตรียมได้เป็นท่อนาโนไททานิด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7–12 nm มีความยาวในช่วงร้อย nm มีพื้นที่ผิวจำเพาะของท่อนาโนประมาณ 355.7 m²/g มีปริมาตรรูพรุน 1.54 cm³/g (ตารางที่ 2.2) เมื่อนำไปปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน 200°C เป็นเวลา 1, 3, 7, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่ามี รูปร่างเป็นเส้นใยนาโนขนาด 8.1 – 27.3 nm มีพื้นที่ผิวจำเพาะของเส้นใยนาโนประมาณ 108.2 m²/g มีปริมาตรรูพรุน 0.44 cm³/g มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส (รูปที่ 2.19) ไททานิดไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P – 25 Degussa, Germany) มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 60.0 m²/g มีปริมาตรรูพรุน 0.06 cm³/g ผลการศึกษาสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงพบว่า เส้นใยนาโนไททานิดที่มีรูพรุน มีความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงสูงกว่า ท่อนาโนไททานิด และไททานิดไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P – 25) เมื่อปรับปรุงสมบัติทางความร้อนของท่อไททานิด เปรียบเทียบกับไททานิดไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P – 25) พบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า มีขนาดของผลึกที่เล็กกว่า และมีปริมาตรของรูพรุนที่มากกว่าสารตัวอย่างท่อนาโนที่สังเคราะห์ได้ ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลใช้ P – 25 ที่อุณหภูมิ 150 °C เวลา 48 h [16]



รูปที่ 2.18 รูป TEM

ตารางที่ 2.2 ตารางค่าพื้นที่ผิวของสารตัวอย่าง (BET Surface Area) [16]

Sample	S_{BET} (m ² /g)	Pore volume (cm ³ /g)	Average pore size (nm)
P25	60.0	0.06	3.8
Nanotubes	355.7	1.54	17.3
1 h	235.4	0.73	12.4
7 h	108.2	0.44	16.2
24 h	90.2	0.42	18.5



สารตั้งต้น (P-25) และท่อนาโนไททานต [16]

รูปที่ 2.19 รูป XRD Patterns

2.2 ไททาเนียม (Titanium, Ti) [17]

ไททาเนียม (Titanium, Ti) เป็นโลหะชนิดหนึ่งที่อุตสาหกรรมต่างให้ความสนใจ เนื่องจากโลหะชนิดนี้มีค่าสัดส่วน ระหว่างความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง หรือพูดง่ายๆ คือ มีความแข็งแรงสูงแต่น้ำหนักเบา ทั้งยังมีความทนทานต่อสารเคมีต่างๆ แต่เนื่องจากไททาเนียมเป็นโลหะที่มีราคาสูง ทำให้การใช้งานโลหะชนิดนี้ยังจำกัดอยู่เพียงเฉพาะในบางอุตสาหกรรมเท่านั้น

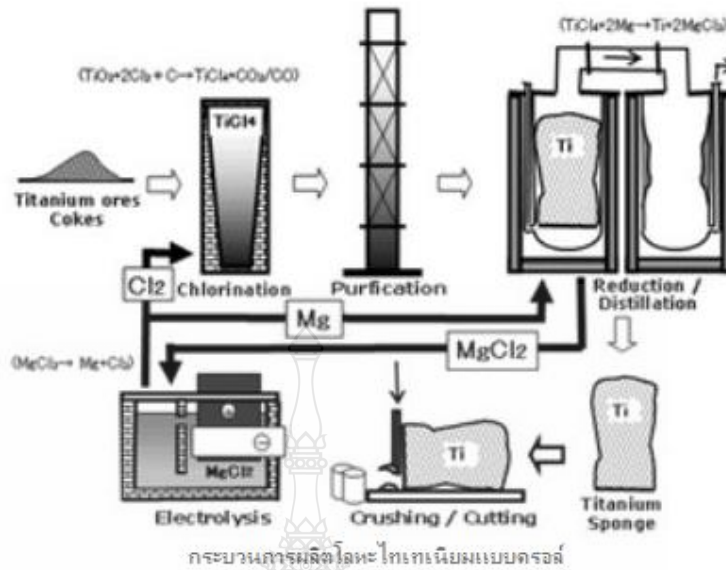
ไททาเนียมเป็นธาตุที่มีมากเป็นลำดับที่ 9 ในชั้นเปลือกโลก แต่โลหะชนิดนี้สามารถเกิดปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ ได้ง่าย จึงไม่พบ ในรูปโลหะบริสุทธิ์ตามธรรมชาติ แต่จะพบในรูปสารประกอบในแร่ชนิดต่างๆ เช่น แร่รูไทล์ (Rutile) แร่อิลเมไนต์ (Ilmenite) แร่อะนาทาส (Anatase) แร่บรูไคต์ (Brookite) แร่ไททานิต (Titanite) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการพบแร่ไททาเนียมอยู่ร่วมกับแร่เหล็กด้วย

การผลิตไททาเนียม

การแยกโลหะไททาเนียมออกจากแร่หรือสารประกอบเป็นเรื่องยาก มีขั้นตอนมาก และมีค่าใช้จ่ายสูง แม้โลหะจะอยู่ในรูปของสารประกอบ โลหะออกไซด์ก็ตาม แต่ไม่สามารถแยกด้วยการใช้วิธีเติมคาร์บอนแบบการถลุงเหล็กได้ เนื่องจากไททาเนียมสามารถเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนกลายเป็นไททาเนียมคาร์ไบด์ (Titanium Carbide) ดังนั้นกว่าที่นักวิทยาศาสตร์จะคิดหาวิธีแยกโลหะบริสุทธิ์ระดับ 99.9% ออกมาสำเร็จก็ต้องรอถึงต้นศตวรรษที่ 20

โดยในปี ค.ศ. 1910 แมททิว เอ ฮันเตอร์ (Matthew A. Hunter) ประสบความสำเร็จในการแยกโลหะไททาเนียมบริสุทธิ์ออกมาได้โดยนำสารประกอบ ไททาเนียมเตตระคลอไรด์ (Titanium Tetrachloride, $TiCl_4$) มาทำปฏิกิริยากับโซเดียมที่อุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียส ซึ่งวิธีแยกไททาเนียมนี้เรียกว่า กระบวนการฮันเตอร์ (Hunter Process) อย่างไรก็ดีเนื่องจากวิธีนี้มีต้นทุนการผลิตสูงมากจึงไม่สามารถนำมาใช้ผลิต ในเชิงอุตสาหกรรมได้

สำหรับการผลิตโลหะไททาเนียมระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบันจะใช้ กระบวนการของครอลล์ (Kroll Process) (รูปที่ 2.20) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การสกัด (Extraction) การทำให้บริสุทธิ์ (Purification) การผลิตไททาเนียมฟรูน (Sponge Production) และ การเตรียมอัลลอย (Alloy Creation) โดยแต่ละขั้นมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.20 รูปกระบวนการผลิตโลหะไททาเนียมแบบครอต์ [17]

แหล่งที่พบโลหะไททาเนียม [18]

โลหะไททาเนียมเป็นหนึ่งในสี่ชนิดธาตุที่พบบากบนโลกนี้ (นอกเหนือไปจากอลูมิเนียม, ไอร์ออน และแมกนีเซียม) และนอกจากนี้ยังพบในรูปของสารประกอบมากอยู่ในเก้าอันดับแรกของโลกนี้อีกด้วยคิดเป็นประมาณ 0.63% ของเปลือกโลก โดยโลหะไททาเนียมถูกค้นพบครั้งแรกบนประเทศอังกฤษโดยบาทหลวง วิลเลียม เกรเกอร์ ซึ่งพบอยู่ในรูปของแร่อิลเมไนท์ และหลายปีต่อมาก็มีการค้นพบสารประกอบไททาเนียมในรูปของแร่รูไทล์โดยไฮน์ริช กลาโปรดท์นักเคมีชาวเยอรมัน

โดยปกติแล้วโลหะไททาเนียมไม่ได้พบอยู่ในรูปของธาตุเดี่ยว แต่มักจะพบอยู่ในรูปของสารประกอบที่อยู่ในหินหรือตะกอนต่างๆ และสามารถพบได้โดยง่ายในแร่ รูไทล์, อิลเมไนท์, ลูโคซีน, อนาเทส, บรูไคต์, ฟิรอฟสไคต์ และสฟีน เป็นต้น นอกจากนี้ก็ยังพบในรูปของไททานเตและแร่เหล็กอีกเช่นกัน ยิ่งไปกว่านั้นเคยมีการตรวจสอบหินที่นำกลับมาจากยานสำรวจอะพอลโล่ 17 และหินอุกกาบาตก็พบว่ามีส่วนประกอบของไททาเนียมไดออกไซด์อยู่ด้วยเช่นกัน เราจึงทราบได้ว่าไททาเนียมไดออกไซด์นั้นสามารถพบได้ทั้งในถ่านหิน ถ้ำถ่าน พีชไม้ หรือแม้แต่ในร่างกายของเราก็เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.3 แหล่งที่มาของโลหะไททาเนียมและสัดส่วนของไททาเนียมไดออกไซด์ในแร่ [14]

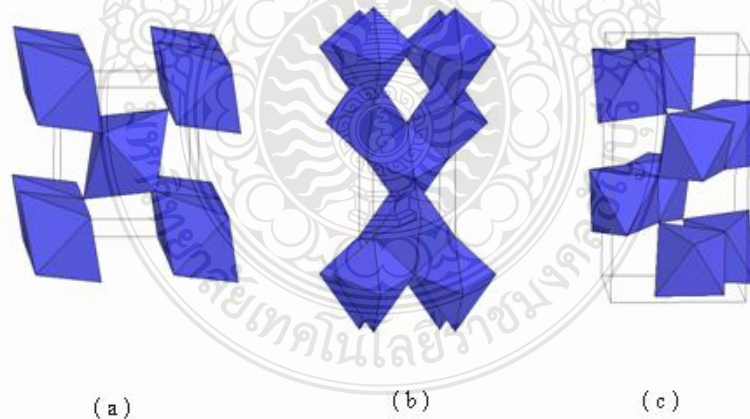
ชนิดและแหล่งแร่	สูตรโมเลกุล	เปอร์เซ็นต์ของไททาเนียมไดออกไซด์
รูไทล์, อะนาเทส และบรูไคต์	TiO ₂	93-96 %
ลูโคซีน	TiO ₂	~90 %
อิลเมไนท์	FeTiO ₃	44-70 %
สฟีน	CaTiSiO ₅	~40 %
ฟิรอฟสไคต์	Ca ₃ TiO ₃	~60 %

2.3 ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) [18]

ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารเก่าแก่ชนิดหนึ่งเท่ากับโลกของเรา และเป็นหนึ่งใน 50 ชนิดของสารที่ผลิตมากที่สุดในโลก ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) อยู่ในรูปของผลึกที่สำคัญ 3 รูปคือ บรูคไคท์ (Brookite) รูไทล์ (Rutile) และอนาเทส (Anatase) ไททาเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติแต่ได้มาจากอิลเมไนท์ (Ilmenite) ซึ่งเป็นแร่สีดำชนิดหนึ่งเป็นพวกไอรอนไททาเนต (Iron Titanate, FeTiO₃) หรือแร่ลูโคซีน (Leucosene) สารประกอบประเภทไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นหนึ่งในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการออกซิเดชัน [19] ซึ่งโดยลำพังแล้วไททาเนียมไดออกไซด์จะไม่มีประสิทธิภาพสมบูรณ์ ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่หากออกไซด์ของโลหะอัลคาไลด์อื่นๆ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม ร่วมอยู่ด้วย จะทำให้วัสดุผสมที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งที่ว่องไว (Active Site) เกิดขึ้นจากตำหนิ (Defect) ในโครงสร้างของสารประกอบไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อมีออกไซด์ชนิดอื่นปะปนอยู่ด้วยลักษณะโดยทั่วไปมีสีขาวทึบแสง เกิดเองตามธรรมชาติมี 2 รูปแบบ ใหญ่ๆ ได้แก่ รูไทล์ (Rutile) และอนาเทส (Anatase) โดยรูไทล์มีดัชนีหักเหความหนาแน่นสูงกว่าอนาเทส ทั้ง 2 รูปแบบ มีไททาเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ผสมอยู่กับสารปนเปื้อน จากการศึกษที่ผ่านมาได้ศึกษาการนำผลึกมาใช้ในการทดลองโฟโตคะไลซิสเพียง 2 รูป คือ รูไทล์ และอนาเทส ซึ่งรูไทล์ไม่เหมาะสมที่จะมาเป็นตัวคะตะลิสเพราะเกิดการรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮลสูงและมีความสามารถในการดูดคิดมืดต่ำกว่า อนาเทส ในปัจจุบันจึงนิยมใช้ออนาเทสมากกว่าแบบอื่น ไททาเนียมไดออกไซด์มีช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 3.2 eV จึงจำเป็นต้องใช้แสง UV เป็นแหล่งพลังงานในการกระตุ้นอิเล็กตรอนกับโฮล ซึ่งแสงที่ใช้ต้องมีความยาวคลื่นให้พลังงานมากกว่าพลังงานแถบช่องว่าง ได้แก่แสงที่มีความยาวคลื่น 400 nm หรือน้อยกว่า [20]

โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์

ไททาเนียมไดออกไซด์นั้นมีโครงสร้างผลึกอยู่ 3 แบบ คือ รูไทล์ (Rutile) อนาเทส (Anatase) และบรูไคต์ (Brookite) แต่ที่พบส่วนมากเป็นรูไทล์กับอนาเทส ซึ่งจะเรียงตัวเป็นแบบเตตระกอนัล (Tetragonal) ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจัดเรียงผลึกแบบอนาเทสนั้นจะส่งผ่านอิเล็กตรอนได้ดีกว่า จึงเป็นเหตุผลที่มาว่าทำไมจึงต้องมีสัดส่วน โครงสร้างผลึกแบบอนาเทสมากกว่ารูไทล์ในการนำมาประกอบเซลล์ ซึ่งมีรายงานวิจัยว่า โครงสร้างผลึกแบบอนาเทสให้ค่าประสิทธิภาพสูงกว่าโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เนื่องจากการส่งผ่านอิเล็กตรอนดังกล่าว โดยไททาเนียม ไดออกไซด์ที่อยู่ในเฟสรูไทล์ และอนาเทสจะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเตตระกอนอล (Tetragonal) ซึ่งประกอบด้วยแต่ละหน่วยของออกตะฮีดรัล (TiO_6) ในแต่ละออกตะฮีดรัลนั้นจะประกอบด้วย Ti^{4+} อยู่ตรงกลางและจะถูกล้อมรอบโดย O^{2-} แต่การเชื่อมต่อกันแต่ละออกตะฮีดรัลในแต่ละ 2 เฟสนั้นจะแตกต่างกันออกไป ในกรณีของเฟสรูไทล์นั้นจะเกี่ยวข้องกับการใช้ขอบและมุมของออกตะฮีดรัลในการเชื่อมต่อ โดยด้านที่อยู่ตรงข้ามกันของออกตะฮีดรัลจะถูกเชื่อมต่อกันให้เกิดเป็นเส้นตรง (Linear Chain) และแต่ละเฟสนั้นจะถูกเชื่อมต่อกันโดยใช้ออกซิเจนที่อยู่ตรงมุมร่วมกัน ส่วนในกรณีของเฟส อนาเทสนั้น การเชื่อมต่อกันของแต่ละออกตะฮีดรัลจะเกี่ยวข้องกับการใช้ขอบเขตร่วมกันเท่านั้น การเชื่อมต่อกันของแต่ละออกตะฮีดรัลของรูไทล์, อนาเทส และบรูคไคท์ ดังแสดงในรูปที่ 2.21



(a) เฟสรูไทล์ (b) เฟสอนาเทส (c) และ เฟสบรูคไคท์ [18]

รูปที่ 2.21 การเชื่อมต่อกันของแต่ละออกซิเดรัล

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพต่างๆ ไปของไททาเนียมไดออกไซด์ [20]

ชื่อ	Titanium Dioxide	
สูตรโมเลกุล	TiO ₂	
น้ำหนักโมเลกุล	79.9 amu	
ลักษณะและสี	ของแข็งสีขาว	
จุดเดือด	2,500 องศาเซลเซียส	
จุดหลอมเหลว	1,830 องศาเซลเซียส	
สมบัติเฉพาะของเฟส	รูไทล์	อนาเทส
- ดัชนีหักเห (Refractive Index)	1.903	2.49
- ความหนาแน่น (g/cm ³)	1.903	3.84

2.3.1 สมบัติเฉพาะตัวของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) [19]

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalysts)

ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalysts) เมื่อได้รับแสง UV ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร โดยกลไกในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงจะเกิดขึ้นจากการที่ e⁻ ของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ที่ได้รับพลังงานจากแสงจะมีพลังงานสูงขึ้น และย้ายจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้า และโฮล (h⁺) ที่อยู่ในแถบวาเลนซ์จะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีกับสารต่างๆ ที่สัมผัสกับอนุภาคไททาเนียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากคุณสมบัติของปฏิกิริยามีความสามารถในการกำจัดทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำ อากาศ และสิ่งมีชีวิตจึงนำมาผลิตเป็นเสื้อผ้านาโนเคลือบอนุภาค TiO₂ เมื่อกำจัดเชื้อโรคและ กลิ่นอับ

2. ค่าความหนืด

อนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์ที่แพร่กระจายสู่พอลิเมอร์หลอมเหลวนั้นสามารถเปรียบเทียบได้ว่าเป็นสารแขวนลอยโดยความหนืดของสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย เช่นความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวปริมาตรบางส่วน ปฏิกิริยาระหว่าง TiO₂ และ พอลิเมอร์ รูปร่างและการกระจายตัวของอนุภาค เป็นต้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตาม Volumic

Fraction จนกระทั่งถึงขีดจำกัดค่าหนึ่งทีวัสดุจะไม่สามารถไหลได้อีก ความเข้มข้นของ filler สูงทำให้อนุภาคเข้าใกล้กันและกันมากขึ้น ความเป็นไปได้ที่จะเกิดการชนกันสูงขึ้นภายใต้การเฉือนและทำให้เกิดการไหลไปรวมกัน สำหรับ Volumic Fraction ที่สูงมาก ๆ กลุ่มของการรวมตัวจะเริ่มสัมผัสกันและกันมากขึ้นเพื่อสร้างโครงสร้างตาข่าย 3 มิติขึ้น ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และวัสดุจะไม่สามารถไหลได้อีก (มีพฤติกรรมเป็นของแข็ง)

3. ความทึบแสงและความขาว (Opacity and Whiteness)

ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ให้เกิดการกระจายตัวของแสงที่มองเห็นออกไป โดยการกระจายของแสงนี้เป็นไปได้เพราะว่าผลึกขาวของ TiO_2 สามารถทำให้แสงเลี้ยวเบนออกไปได้ โดยเมื่อแสงผ่านระหว่างหรือใกล้อนุภาคของผลึกบางส่วนก็อาจจะดูดซับเอาไว้ แสงส่วนที่เหลือก็จะหักเหสะท้อนกระจายออกไป

จากความสัมพันธ์ของค่าความเข้มของสีวัดได้โดยการแพร่กระจายของ TiO_2 ไปสู่เม็ดสีเข้มข้นตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยพบว่าตัวอย่างที่เติม TiO_2 จะมีประสิทธิภาพในการกระจายตัวเข้มที่สุด

4. ความทึบแสงและความแข็งแรงของสี

ความทึบแสงและความแข็งแรงของสีที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้เวลาในการกระจายมากขึ้น โดยการรวมตัวกันของผลึกก็จะค่อยๆ ลดลงด้วยวิธีการใช้วัดการแพร่กระจายจะเป็นความสัมพันธ์แบบตรงกับคุณสมบัติที่ต้องการตัวอย่างเช่น การรวมตัวกันของอนุภาคหลายๆขนาดที่เกาะกลุ่มกันสามารถวัดได้โดยการใช้ Screenpack Test ความทึบแสงและความเข้มของสีจะเป็นของคุณภาพการแพร่กระจาย

5. การแพร่กระจายของ TiO_2

ค่าของไททาเนียมไดออกไซด์จะดีที่สุดที่จะนำไปใช้ต่อเมื่อมีการแพร่กระจายที่ดีของอนุภาคของผลึกมักติดกัน ในระหว่างการผลิตและจัดเก็บผลก็คือจะเกิดการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคมากขึ้น มีหลากหลายเทคนิคที่สามารถใช้เพื่อลดเกาะตัวกันเหล่านี้เพื่อให้ได้ขนาดที่รับได้ราคาเหมาะสม

6. ความสามารถในการทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

ปฏิกิริยาทางแสงตามธรรมชาติของTiO₂อาจมีสาเหตุจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นสารอินทรีย์เมื่อสัมผัสกับแสงอาทิตย์และสภาพแวดล้อม ผลที่ตามมาคือสูญเสียความแข็งแรงทางกายภาพ และการสูญเสียชั้นพื้นผิวที่เป็นสีขาวไป (เกิดการสูญเสียของ TiO₂ และ เรซินที่แยกตัวออกมาซึ่งสามารถถูกลบออกจากผิวหน้าได้)

การปรับปรุงความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมของชิ้นส่วนพลาสติกที่ใช้งานภายนอกทำได้โดยการเคลือบด้วยสารอินทรีย์อย่างอลูมิเนียม หรือซิลิกา บนผิวของ TiO₂ ซึ่งเป็นตัวกั้นระหว่าง TiO₂ และ เรซินให้เกิดการเสื่อมสภาพทางเคมีของแสงให้น้อยที่สุด และ TiO₂ ประเภทที่เคลือบผิวนี้มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง

2.3.2 ประโยชน์ของไททานเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโน [21]

1. ความสามารถในการต้านแบคทีเรีย

ไททานเนียมไดออกไซด์ไม่เพียงแต่ฆ่าแบคทีเรียได้เท่านั้น แต่ยังช่วยในการย่อยสลายซากของมันด้วย ไททานเนียมไดออกไซด์ที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนั้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารต้านแบคทีเรียชนิดอื่นๆ เนื่องจากปฏิกิริยาจะทำงานเมื่อมีเซลล์แบคทีเรียสัมผัสกับพื้นผิวหรือเมื่อแบคทีเรียแพร่กระจายไปบนพื้นผิว นอกจากนี้สารพิษที่เกิดจากการตายเซลล์ก็จะถูกทำลายจากการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของไททานเนียมไดออกไซด์ด้วย และที่สำคัญไททานเนียมไดออกไซด์จะไม่เกิดการเสื่อมประสิทธิภาพหลังจากที่ทำลายเชื้อแบคทีเรีย ทำให้มีประสิทธิภาพการใช้งานที่ยาวนาน โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงประสิทธิภาพด้านยับยั้งหรือต่อต้านการติดเชื้อ ไททานเนียมไดออกไซด์จะมีความสามารถมากกว่า คลอรีน 3 เท่า และมากกว่า ไอโซน 1.5 เท่า

2. ความสามารถด้านการกำจัดกลิ่น

ด้านการกำจัดกลิ่น อนุภาคไฮดรอกซีที่เกิดจากไททานเนียมไดออกไซด์สามารถกำจัดโมเลกุลของ สารอินทรีย์ ที่ระเหยอยู่ในอากาศ (Volatile Organic Compounds หรือ VOCs) อันเป็นสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ โดยการทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของสารเหล่านั้น ด้วยวิธีการนี้จะทำให้สารอินทรีย์ที่ระเหยอยู่ในอากาศแตกออกเป็นโมเลกุลเดี่ยวจึงไม่สามารถทำอันตรายหรือส่งผลต่อร่างกายมนุษย์ได้ นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการฟอกอากาศให้สะอาด โดยการกำจัดโมเลกุลของสารที่ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ตัวอย่างเช่น กลิ่นบุหรี่ กลิ่นยาสูบ สารประกอบฟอรั่มอดีไฮด์ ใน โตรเจนไดออกไซด์ ยูรีน กลิ่นอุจจาระ น้ำมันเชื้อเพลิง และสารประกอบ

ไฮโดรคาร์บอนอีกหลายชนิดในอากาศ ไททานเนียมไดออกไซด์สามารถทำให้อากาศสะอาดจาก ควัน เกล็ดดอกไม้ แบคทีเรีย และไวรัส รวมถึงก๊าซอันตราย ด้วยคุณสมบัติของการเร่งปฏิกิริยาดำเนินแสง

3. ความสามารถในการฟอกอากาศ

ไททานเนียมไดออกไซด์ ที่ถูกเร่งปฏิกิริยาดำเนินแสงจะสามารถกำจัดสารที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศได้ เช่น สารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ ควันบุหรี่ รวมถึงสารระเหยต่าง ๆ ที่ออกมาจากอาคาร รวมทั้งโครงสร้างของตึกได้ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันเขม่า และคราบดำต่าง ๆ ที่จะเกาะผนังบ้าน รวมถึงช่วยกำจัดสารประเภทที่ทำลายชั้นบรรยากาศ เช่น ก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) และก๊าซเรือนกระจกประเภทอื่น รวมถึงก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทั้งทางตรง และทางอ้อมเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง ในบริเวณที่มีมลภาวะสูง ไททานเนียมไดออกไซด์จะช่วยลดสารก่อมลภาวะเหล่านี้ได้

4. สามารถป้องกันการเกิดหยดน้ำ และคราบต่างๆ รวมทั้งทำให้เกิดสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง

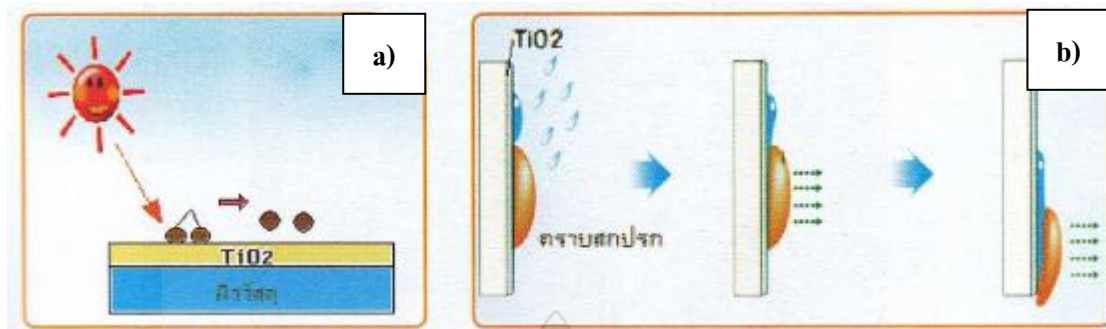
ผนังด้านนอกของอาคารที่ถูกปกคลุมด้วยคราบเขม่าจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ที่มีส่วนประกอบเป็นน้ำมัน เมื่อผนังตึกถูกทำด้วยไททานเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีสมบัติการเร่งปฏิกิริยาดำเนินแสง จะทำให้ผนังมีคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง โดยเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง ไททานเนียม ไดออกไซด์จะทำลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอน รวมทั้งฝุ่นผงต่าง ๆ ที่เกาะติดอยู่กับผนัง และจะถูกชะล้างออกจากผนังอย่างง่ายได้เมื่อฝนตกลงมา ทำให้ผนังตึกสะอาดและใหม่อยู่เสมอ

5. ความสามารถในการทำน้ำสะอาด

สารเร่งปฏิกิริยาดำเนินแสง (ไททานเนียมไดออกไซด์) ร่วมกับ รังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ก่อมลภาวะให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายได้ เช่น ทำให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ รวมถึงมีคุณสมบัติในการต้านแบคทีเรีย เทคโนโลยีนี้มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารอินทรีย์อันตราย และช่วยฆ่าแบคทีเรียหลายชนิดรวมถึงไวรัสในขั้นตอนที่สองของการบำบัดน้ำเสีย โครงการต้นแบบแสดงให้เห็นว่า กระบวนการเร่งปฏิกิริยาดำเนินแสงนั้นมีประสิทธิภาพสูงในการฆ่าแบคทีเรีย Escherichia Coli ซึ่งเป็นแบคทีเรียในอุจจาระที่ปนเปื้อนในน้ำ ได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้เป็นอย่างดีในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

2.3.3 การประยุกต์ใช้งานของไททาเนียมไดออกไซด์ [22]

การนำอนุภาคหยาบของไททาเนียมไดออกไซด์ (อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 200 นาโนเมตร) มาใช้งานส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะใช้เป็นตัวให้สีขาว (White Pigment) แต่การลดขนาดของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ลงมาเป็นอนุภาคนาโน อนุภาคขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตรทำให้การนำไททาเนียมไดออกไซด์ไปใช้ประโยชน์มีความหลากหลายมากขึ้น โดยเฉพาะทางด้านโฟโตแคทอะไลซิส (Photocatalysis) เนื่องจากปฏิกิริยาโฟโตแคทอะไลซิสจะขึ้นได้มากขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์เล็กลง เช่น ใช้ในการรักษาสีสิ่งแวดล้อมของอากาศและน้ำ (Air and Water Purification) ใช้ในการกำจัดกลิ่นเหม็น กลิ่นไม่พึงประสงค์ (Deodorization) ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยสารละลายสารระเหยง่าย เช่น เอทิลีน ที่มีผลต่อการเน่าเสียของผลิตผลสด เช่น ผักและผลไม้สด นอกจากนี้ เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติในการทำมาสะอาดตนเอง (Self-Cleaning) (รูปที่ 2.22) และคุณสมบัติในการเป็นซูเปอร์ไฮโดรโฟบิก (Superhydrophobic) เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง จึงนิยมนำไปใช้ในการเคลือบผิววัสดุและป้องกันการเกิดฝ้าและหยดน้ำบนแผ่นกระจก (Antifog) (รูปที่ 2.23) คุณสมบัติที่น่าสนใจอีกอย่างของไททาเนียมไดออกไซด์คือคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคบนพื้นผิวด้วยตนเอง (Self-Disinfecting) ทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์นิยมนำมาใช้ในการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์สำหรับโรงพยาบาล ในอุตสาหกรรมอาหาร และในชีวิตประจำวัน เช่น เสื้อผ้า สุขภัณฑ์ในห้องน้ำ เป็นต้น และเนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติในการกันแสงและดูดกลืนแสงยูวีได้ดี ทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับความสนใจในการนำมาใช้ในเครื่องสำอางและครีมกันแดดเพื่อป้องกันผิวจากแสงยูวี ใช้ในการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันอันตรายจากแสงแดด เช่น ใช้เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพหรือเสียหายของพลาสติกที่ใช้กลางแจ้ง โคนแสงแดดมาก ใช้เคลือบผิวขวดแก้ว เช่น ขวดเบียร์ ขวดไวน์ เพื่อป้องกันการเกิดเสื่อมสภาพของเครื่องดื่มภายในขวด ใช้ในการทำฟิล์มกันแสง ฟิล์มพลาสติกใสกันแสง ฟิล์มบางเคลือบกระจกอาคาร เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการนำไททาเนียมไดออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อีก เช่น ใช้ในการพัฒนาของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์แบบสีย้อมร่วมกับฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ (Dye-Sensitized Oxide Solar Cell) หรือใช้เป็นเซ็นเซอร์ (Sensor) ในการวัดความเข้มข้นของก๊าซ เป็นต้น



(a)ไททาเนียมไดออกไซด์สามารถ สลายคราบสกปรกต่าง ๆ ได้ทำให้คราบสกปรกหลุดออกจากพื้นผิววัสดุได้ง่าย (b) เมื่อหยดน้ำตกลงบนผิวไททาเนียมไดออกไซด์ หยดน้ำจะเปลี่ยนเป็นแผ่นน้ำทำให้สามารถกำจัดคราบสกปรกให้หลุดออกจากพื้นผิววัสดุได้ง่าย [22]

รูปที่ 2.22 สมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง (Self-Cleaning)

ในประเทศไทยหน่วยงานระดับมหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัยของรัฐหลายแห่ง เช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฯลฯ มีความสนใจในการสังเคราะห์และนำไททาเนียมไดออกไซด์และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มาใช้ประโยชน์ในการรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมของอากาศและน้ำ บำบัดน้ำเสีย ใช้ในการผลิตพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรและยืดอายุในการเก็บรักษาอาหาร และใช้ในผลิตภัณฑ์ในชีวิตประจำวัน เช่น เครื่องปรับอากาศ สุขภัณฑ์ห้องน้ำ เครื่องกรองอากาศ กระจกทำความสะอาดตัวเอง กระจกกันแสง ชุมนักเรียน ภาชนะบรรจุอาหาร และครีมกันแดด เป็นต้น

เมื่อไททาเนียมไดออกไซด์ถูกแสงหยดน้ำจะเปลี่ยนเป็นแผ่นน้ำเคลือบผิวกระจกอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ไม่เกิดฝ้าบนแผ่นกระจก [22]



รูปที่ 2.23 สมบัติในการเป็นซูเปอร์ไฮโดรฟิลิกของไททาเนียมไดออกไซด์

2.4 อิลเมไนท์ [23-24]

ชื่อแร่ อิลเมไนท์ มาจากชื่อภูเขาอิลเมน (Ilmen) ในประเทศรัสเซีย แร่ประเภทเดียวกับอิลเมไนต์ คือ แร่ไกคิลไลต์ (Geikielite : $MgTiO_3$) ซึ่งมาจากชื่อของ Sir Archibald Geikie เป็นนักธรณีวิทยาชาวอังกฤษ กับแร่ ไพโรฟานไนต์ (Pyrophanite : $MnTiO_3$) มาจากภาษากรีกว่า Pyro หมายถึง Fire (ไฟ) และ Phane หมายถึง Appear คือ เป็นแร่ที่มีสีทองราวกับไฟ อิลเมไนท์ เป็นแร่ที่มีความวาวคล้ายโลหะหรือกึ่งโลหะสีดำแบบเหล็ก (Iron-Black หรือ Steel-Gray) ซึ่งมีผลึกของโลหะไททาเนียมออกไซด์ (Titanium Oxide) ทำให้มีสมบัติทางแม่เหล็ก โยธรรมชาติ รูปผลึกระบบเฮกซะโกนาลผลึก มักจะเป็นแผ่นหนาหรือเป็นชั้น ผลึก มักจะใกล้เคียงกับฮีมาไทต์ อาจพบเป็นแผ่นบางๆ ซ้อนๆ กัน ปกติจะมีเนื้อเสมานแน่น หรือเป็นมวลเมล็ดเท่าเม็ดทราย แข็ง 5.5-6 ถ.พ. 4.7 ความวาวคล้ายโลหะหรือกึ่งโลหะ สีดำ แบบเหล็ก สีผงละเอียดดำหรือแดงน้ำตาล อาจมีคุณสมบัติแม่เหล็กได้สูง โดยไม่ต้องเผาให้ร้อน เนื้ออับแสง (Opaque) สูตรเคมี Fe มี $FeTiO_3$, 36.8% Ti 31.6% และ O 31.6% อัตราส่วนระหว่างไททาเนียมกับเหล็กแปรเปลี่ยนได้มาก ถ้ามีเหล็กออกไซด์ มากไปอาจจะเป็นเพราะมีฮีมาไทต์เป็นมลทิน แมกนีเซียมและ แมงกานีสอาจพบในอิลเมไนท์ เนื่องจากสามารถแทนที่เหล็กในแร่นี้ได้

มักเป็นผลึกแบนๆ มากและบางครั้งอาจเห็นหกเหลี่ยมได้ อิลเมไนต์ต่างจากฮีมาไทต์ตรงสีผงละเอียด และต่างจากแมกนีไทต์ตรงที่มีคุณสมบัติแม่เหล็กอ่อนกว่า แต่ในกรณีที่แมกนีไทต์เกิดซ้อนอยู่ด้วยกัน ก็จำเป็นต้องตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี โดยละลายผงป่นในกรดเกลือแล้วใส่ดีบุกจะได้ตะกอนสีม่วงอินเมไทต์ไม่หลอมตัว ถ้าเผาจะมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก เกิดเป็นตัวเคลือบในลักษณะเป็นชั้นหรือรูปเลนส์ในหินไนส์และ หินแปรชนิดอื่นๆ ได้พบในสายแร่หรือมวลสารที่เป็นผลกรแยกตัว ของหินหนืด มีส่วนสัมพันธ์กับแมกนีไทต์และเป็นแร่ไม่สำคัญ ในหินอัคนี ปนอยู่ในทรายร่วมกับแมกนีไทต์ รูไทล์ เซอร์คอนและ โมนาไซต์พบเสมอ ในแหล่งแร่ดีบุก

2.4.1 แหล่งที่พบแร่อิลเมไนต์

ในประเทศไทย ขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายพบในแหล่งดีบุกต่างๆ ไป เช่นที่ จ.กาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ พังงา ภูเก็ต ระนอง ตะกั่วป่า ฯลฯ สีคล้ายดีบุกจนทำให้เข้าใจผิดกันมาก พวกเขาเหมืองแร่ดีบุก มักเรียกว่า ขี้แร่ (อามัง) ชนิดที่เป็นแผ่นบางๆ ซ้อนๆ กัน พบในแหล่งพลอยที่จันทบุรี และตราด ต่างประเทศ พบมากที่ Kragero และ แหล่งอื่นๆ ในนอร์เวย์ ฟินแลนด์ ในลักษณะเป็นผลึกพบที่ Miask ในภูเขาอิลเมน สหพันธรัฐเซีย อินเดีย บราซิล มีการทำเหมืองจากทรายชายฝั่งเป็นปริมาณมาก

2.4.2 ประโยชน์ของแร่อิลเมไนต์

เป็นต้นกำเนิดให้ไทเทเนียม สารประกอบไทเทเนียมออกไซด์นำมาใช้เป็นแม่สีเป็นจำนวนมากแทนแม่สีเก่าซึ่งเป็นสารประกอบตะกั่ว เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษ สามารถเป็นวัสดุในการสร้างเครื่องบินทั้งส่วน ที่เป็นโครงสร้างและเครื่องยนต์ อิลเมไนต์ไม่สามารถจะใช้ เหมือนสินแร่เหล็กได้ เพราะถลุงยาก แต่ ของผสมอิลเมไนต์ แมกนีไทต์และอิลเมไนต์-ฮีมาไทต์ นำมาแยก ก็จะได้ทั้งไทเทเนียมและเหล็ก

2.5 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [25]

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลถือเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญสำหรับกระบวนการผลิตวัสดุขั้นสูง ซึ่งสามารถแปรรูปวัสดุเป็นวัสดุนาโนได้โดยง่ายและสามารถนำไปใช้ได้ในงานหลากหลายด้าน เช่น เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์, ตัวเร่งปฏิกิริยา, เซรามิกส์, เวชภัณฑ์ และอีกมากมาย กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลไม่เพียงแต่จะช่วยทำให้กระบวนการผลิตมีการกระจายตัวที่แคบลงและมี

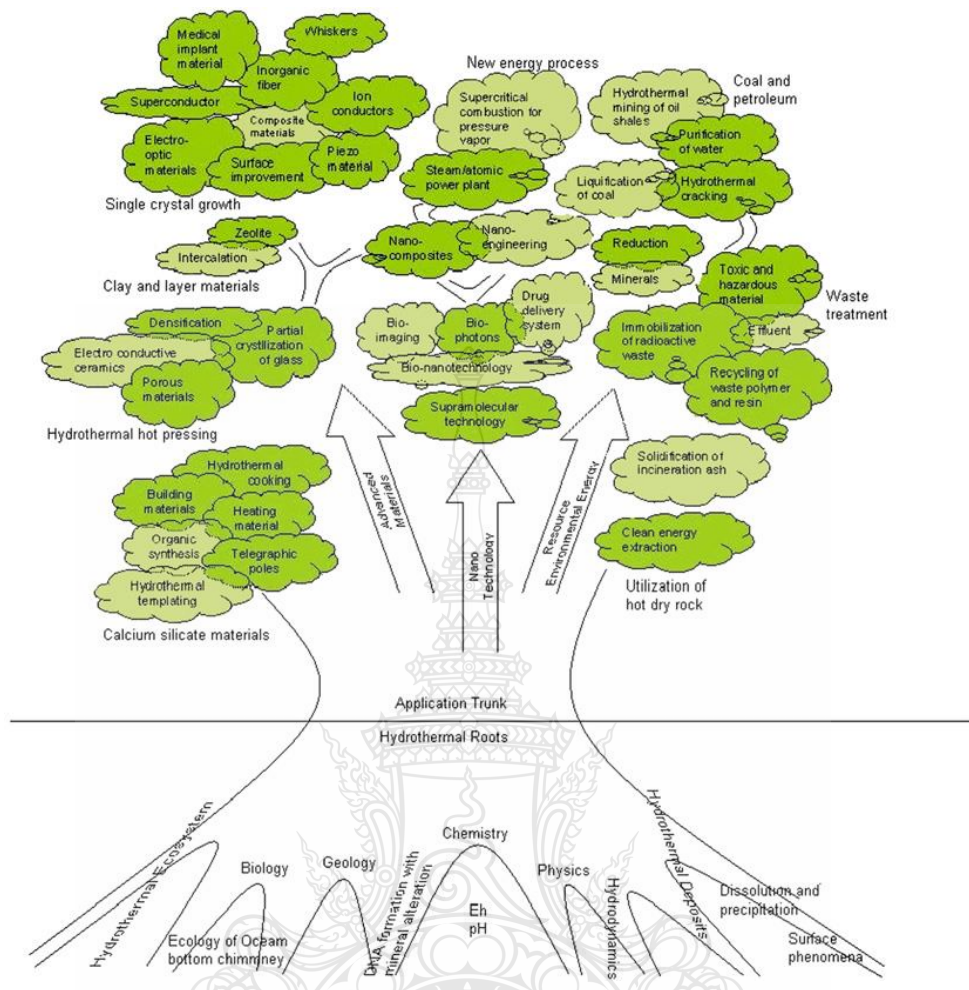
ความเป็นเนื้อเดียวกันในอนุภาคนาโนที่สูงแล้ว แต่ยังเป็นหนึ่งในเทคนิคที่น่าสนใจสำหรับกระบวนการนาโนไฮบริดและนาโนคอมโพสิตอีกด้วย โดยหลักการของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล คือ การสังเคราะห์ผลึกสารประกอบด้วยสารละลายภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง

2.5.1 บทอธิบายทั่วไป

คำว่า “ไฮโดรเทอร์มอล” ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกโดยนักธรณีวิทยาชาวอังกฤษที่ชื่อว่า เซอร์โรเจอร์ริค เมอร์ชีสัน เพื่อใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ของน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันเพิ่มสูงขึ้นหลังจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของชั้นหินและแร่ธาตุต่างๆ คำว่า “ไฮโดร” แปลว่า น้ำ และคำว่า “เทอร์โม” แปลว่า ความร้อน ดังนั้นสามารถจำกัดความหมายของไฮโดรเทอร์มอล ได้ว่าเป็นปฏิกิริยาเคมีใดๆ ที่อยู่ในรูปของสารละลาย (ในน้ำหรือตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำ) เหนืออุณหภูมิห้องและความดันสูงกว่า 1 บรรยากาศในระบบปิด

ในปัจจุบันกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในเทคโนโลยีด้านต่างๆ มากมาย เช่น กระบวนการสังเคราะห์ กระบวนการเตรียมผลึกพิเศษหรือผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ กระบวนการแปรรูป กระบวนการเผา กระบวนการสลาย กระบวนการปรับความเสถียรของโครงสร้าง กระบวนการดึงน้ำออก กระบวนการแยก กระบวนการทริทเมนต์ กระบวนการสมมูลเฟส กระบวนการปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ กระบวนการไมโครเวฟ กระบวนการเคมีเชิงกล กระบวนการโซโนเคมี กระบวนการบีบอัดความร้อน กระบวนการกรอง และ กระบวนการกักกร่อน เป็นต้น

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลนั้นมีข้อดีมากมาย เช่น สามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงและสม่ำเสมอ ผลึกมีความสมมาตร ส่วนผสมอยู่ในช่วงเมตาสเตเบิ้ล มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่แคบ สามารถใช้อุณหภูมิในการเผาที่ไม่สูงมากนัก เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้เพียงขั้นตอนเดียว ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กกว่าไมครอน ใช้พลังงานต่ำ และเวลาที่ในการทำปฏิกิริยานั้นก็รวดเร็ว ไม่นานมากนัก เป็นต้น

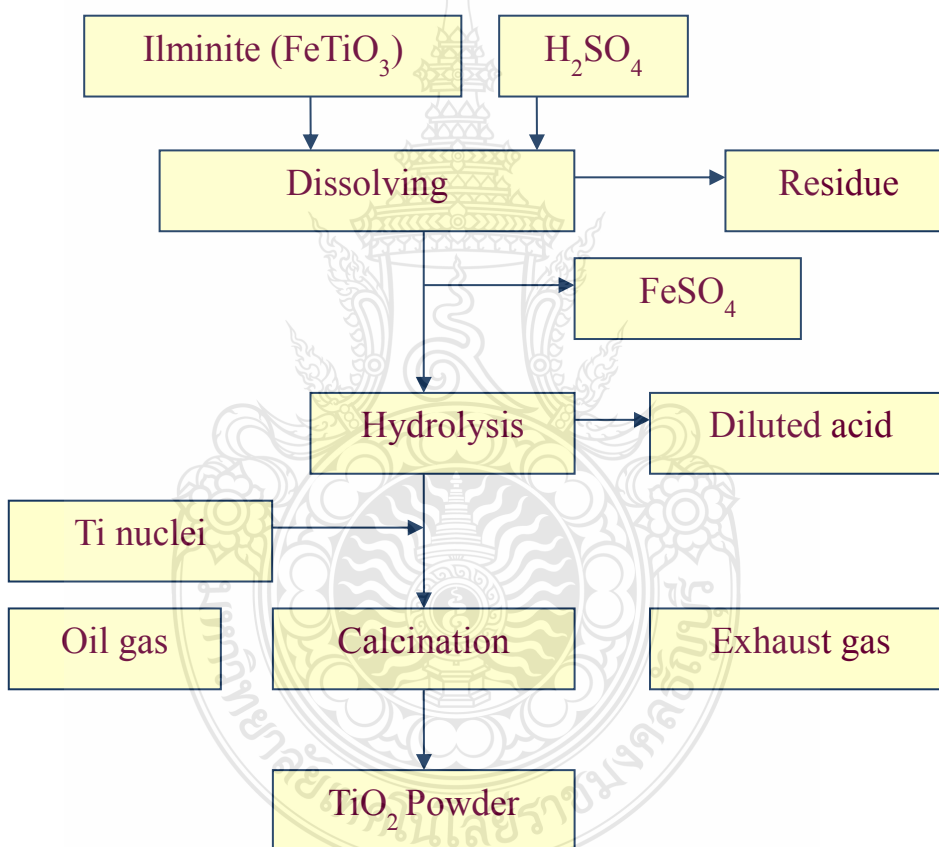


รูปที่ 2.24 แผนภูมิต้นไม้แสดงถึงก้าความสัมพันธ์ของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [25]

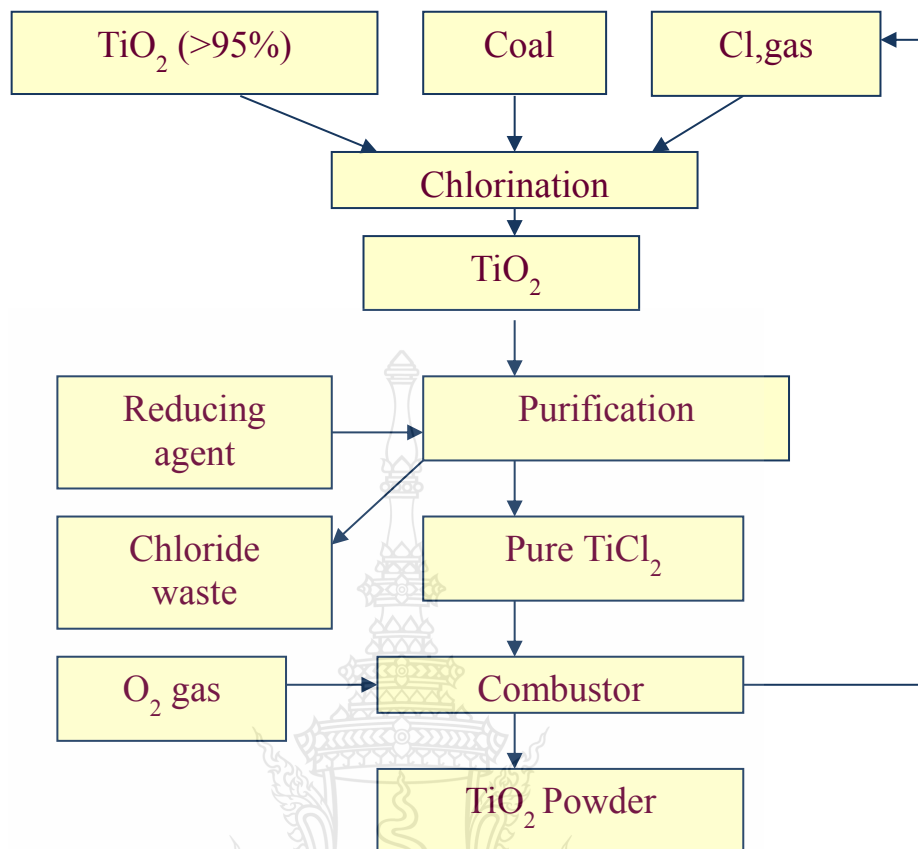
ในศตวรรษที่ 21 นั้นกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลได้พัฒนาและถูกนำมาใช้ในงานด้านต่างๆ มากมาย ซึ่งครอบคลุมไปในหลากหลายสาขา นอกจากกระบวนการต่างๆ ที่นำเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลเข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น ไมโครเวฟ อัลตราโซนิก เมคานิกส์ และปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า แล้วเทคนิคนี้ยังสามารถลดขั้นตอนต่างๆ ลงมาได้มากถึง 3-4 ขั้นตอน ทำให้เทคนิคนี้มีค่ามหาศาลทางเศรษฐกิจ จากความต้องการที่มากขึ้นสำหรับวัสดุที่มีโครงสร้างระดับนาโน เทคนิคนี้จึงเป็นที่ต้องการอย่างมากในเทคโนโลยีด้านต่างๆ เช่น ธรณี ฟิสิกส์ ชีววิทยา นาโนเทคโนโลยี และวัสดุศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งใช้ศาสตร์ต่างๆ มาเกี่ยวข้องกันสำหรับกระบวนการที่ว่านี้

2.5.2 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลกับไททาเนียมไดออกไซด์ [26]

วัสดุไททาเนียมไดออกไซด์นั้นถือเป็นผงสีขาวเชิงพาณิชย์ เนื่องจากในตัวมันมีความสามารถในการกระเจิงแสงได้มาก, ไม่มีพิษ และเมื่อสัมผัสกับสารเคมี มีกระบวนการมากมายในการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยทั่วไปนั้นในระดับอุตสาหกรรมใช้กระบวนการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีที่เรียกว่า “กระบวนการซัลเฟต” และ “กระบวนการคลอไรด์” ซึ่งเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยากมาก อีกทั้งยังต้องใช้วัสดุและเครื่องมือที่ทนทานมากเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1400 องศาเซลเซียส และยังคงทนต่อการกัดกร่อนของคลอไรด์ที่อุณหภูมิสูงอีกด้วย



รูปที่ 2.25 กระบวนการซัลเฟต [26]



รูปที่ 2.26 กระบวนการคลอรีน [26]

ข้อดีของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ [26]

1. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีผลึกที่เป็นเนื้อเดียวสูงและสามารถสังเคราะห์ได้โดยตรงที่อุณหภูมิไม่เกิน 250 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับกระบวนการเผาแล้วกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลสามารถลดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคลงได้และมีความสม่ำเสมอของเฟสในผลึก
2. การเปลี่ยนแปลงสภาวะในการสังเคราะห์ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เช่น อุณหภูมิ, ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ความเข้มข้น และสัดส่วนโมลาร์ เป็นต้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโครงสร้าง, รูปร่าง และสัดส่วนของผลึกแตกต่างกันไป
3. ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงในสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล
4. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการสังเคราะห์นั้นเรียบง่ายและสามารถควบคุมสภาวะของการเกิดปฏิกิริยาได้โดยง่าย เช่น หม้อนึ่งอัดความดัน (Autoclave)

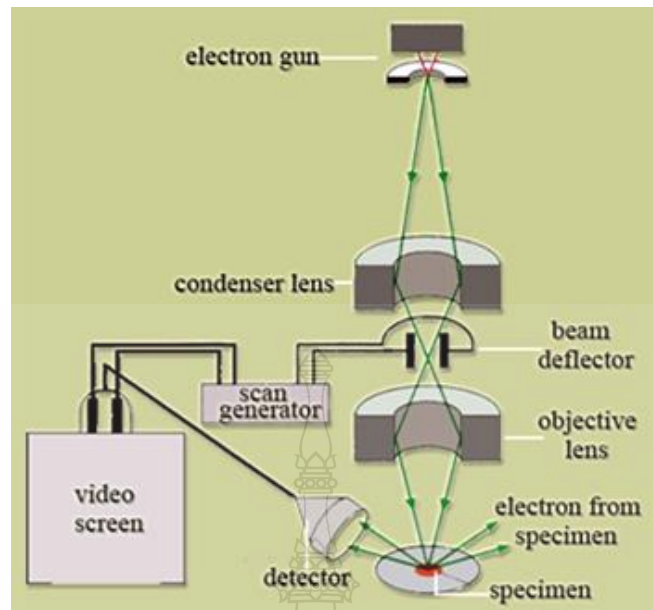
นักวิจัยจำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการสังเคราะห์และอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ เช่น อุณหภูมิ, ระยะเวลาในการทดลอง, ความดัน, ชนิดของสารละลายและค่าความเป็นกรด-ด่าง

โดยทั่วไปการสังเคราะห์ไททานเนียมไดออกไซด์จะทำในหม้อนิ่งความดันขนาดเล็กๆ สภาวะในการสังเคราะห์อนุภาคของไททานเนียมไดออกไซด์จะใช้อุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส ความดันน้อยกว่า 100 บาร์ ซึ่งอุณหภูมิและสภาวะดังกล่าวเหมาะในการใช้กับหม้อนิ่งความดันชนิดเพปลอน ซึ่งจะช่วยให้ได้อนุภาคของไททานเนียมไดออกไซด์ที่บริสุทธิ์และเป็นเนื้อเดียว ทั้งนี้ขนาดของอนุภาคไททานเนียมไดออกไซด์นั้นเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งต้องการการกระจายตัวของขนาดที่แคบเพื่อนำไปใช้ในวัสดุงานต่างๆ โดยปัจจัยนี้จะมีผลสำคัญต่อกระบวนการรวมตัวของอิเล็กตรอนในช่องว่างอิเล็กตรอน ซึ่งถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กแล้วก็จะจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงทำให้ได้เปรียบในเรื่องนี้

2.6 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ

2.6.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) [27]

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM แสดงดังรูปที่ 2.27



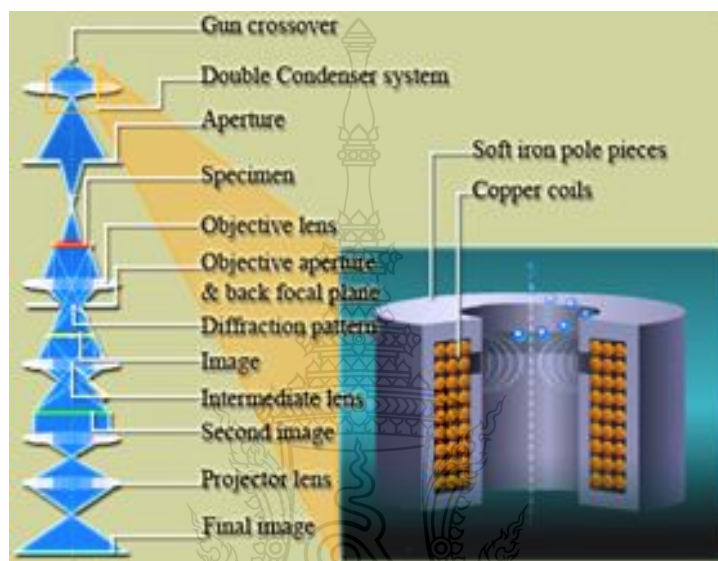
รูปที่ 2.27 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM [27]

2.6.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบผ่าน (Transmission Electron Microscopy) [27]

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 นาโนเมตร)

หลักการทำงานของเครื่อง TEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (Specimen) ไป ซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก (บ่อยครั้งที่พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร) จากนั้นจะเกิดการกระเจิงอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่ำนี้อาจ

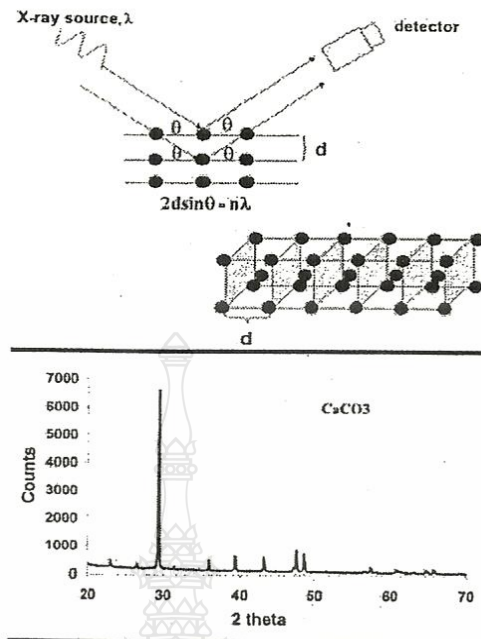
ถูกปรับ โฟกัสของภาพ โดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้ รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอรับ (Projector Lens) และปรับ โฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากเรืองแสง สุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้ ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง TEM แสดงดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง TEM [27]

2.6.3 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) [28]

เครื่องมือชนิดนี้อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาค จะเกิดการหักเหของลำรังสีสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบ จากหลักการเบื้องต้นในปี ค.ศ. 1912 นาย W.L.Bragg ได้นำมาทำการศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึก ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันขึ้นในปี 1948 และพัฒนามาเรื่อยๆ จนกระทั่งมีการนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานและวิเคราะห์ประมวลผล เพื่อให้เกิดความรวดเร็วแม่นยำยิ่งขึ้น หลักการทำงานของเครื่อง XRD แสดงดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 หลักการทำงานของเครื่อง XRD [28]

XRD เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ ธรณีวิทยา โลหะวิทยา เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ สารประกอบและแร่ ทำให้นักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้สามารถแยกแยะประเภท และชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติ ว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใดหรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสี ที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิด มีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม ที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ ก็แตกต่างกันไปด้วย ขึ้นอยู่กับขนาดและประจุของอะตอม สารประกอบแต่ละชนิด จะมีรูปแบบ (XRD Pattern) เฉพาะตัวเปรียบ เช่นเดียวกับลายนิ้วมือของคนที่แตกต่างกัน

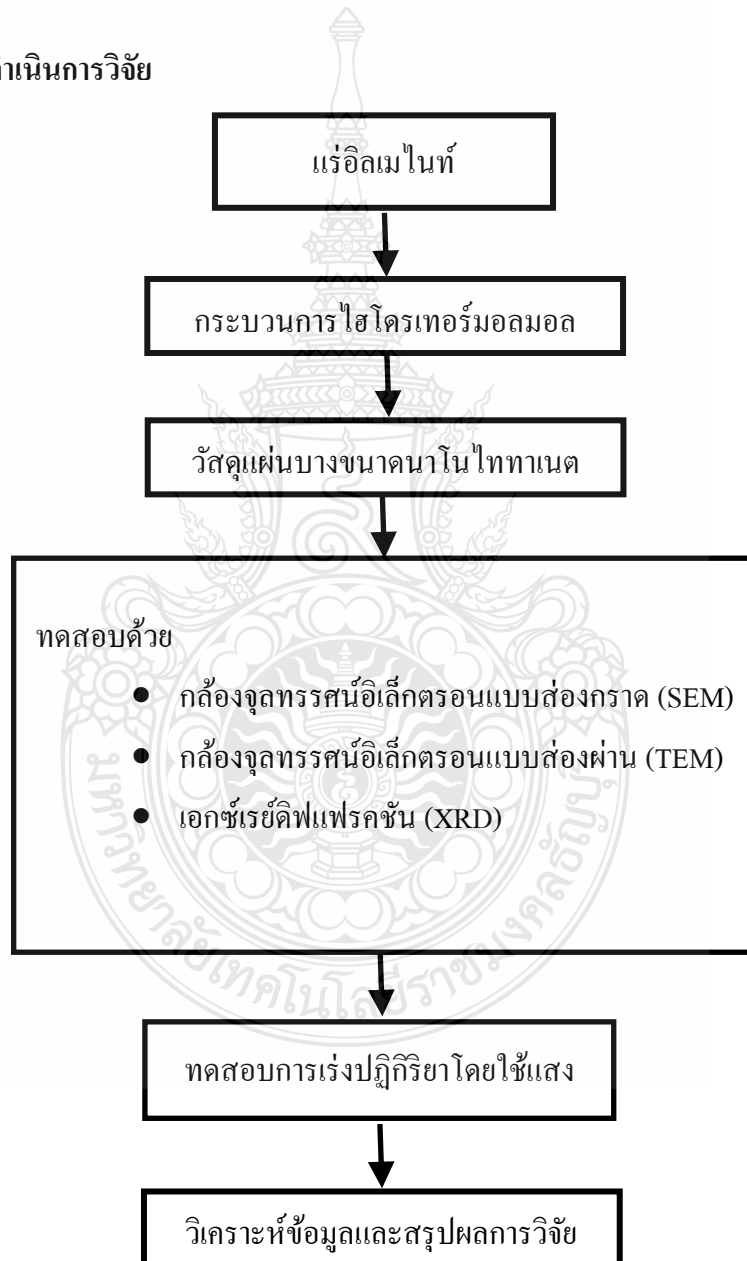
จากหลักการทำงานของ XRD มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์วัสดุที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เหล็ก สูตรทางเคมีคือ Fe แต่มีโครงสร้างผลึกหลายรูปแบบ เช่น Body Center Cubic (BCC), Face Center cubic (FCC) จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นี้สามารถบอกได้ว่าเหล็กตัวอย่างมีโครงสร้างแบบใด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์วัสดุแผ่นบางนาโนไททานตขึ้นมาจากวัสดุราคาถูกด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยาก โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 สารเคมี

1. แร่อิลเมนไนท์ (Ilmenite Mineral)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
4. น้ำ deionization (DI)
5. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
6. ผงไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25, ST01, JRC01, JRC03, White Pigment)

3.2.2 เครื่องมือ อุปกรณ์

1. ถังปฏิกรณ์แบบควบคุมอุณหภูมิ ออกแบบและสร้างโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



รูปที่ 3.2 ถังปฏิกรณ์แบบควบคุมอุณหภูมิ

2. ชุดกรองสุญญากาศ



รูปที่ 3.3 ชุดกรองสุญญากาศ

3. ตู้อบสารเคมี



รูปที่ 3.4 ตู้อบสารเคมี

4. เตาเผาอุณหภูมิสูง



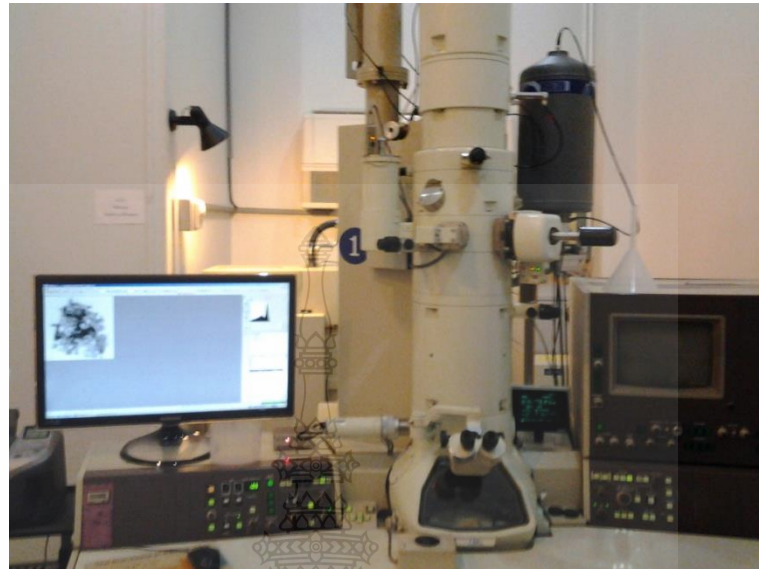
รูปที่ 3.5 เตาเผาอุณหภูมิสูง

5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) (JEOL, JSM-6510)



รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM) (JEOL, JEM-2010)



รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

7. เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (PANalytical, X'Pert PRO MPD)



รูปที่ 3.8 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน

8. เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (Oxford, ED - 2000)
9. เครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธี BET (The Brunauer - Emmett - Teller) (Rubotherm, BELSORP - Mini)
10. เครื่อง UV Spectrophotometer (SHIMADZU, UV - 1601)
11. แหล่งกำเนิดแสง UV, Fluorescent
12. ฟิล์มป้องกันแสง UV

3.3 วิธีการทดลอง

- 3.3.1 การเตรียมการสังเคราะห์วัสดุแผ่นบางขนาดนาโนจากวัสดุราตาถูก (แร่โอลิเมไนท์) ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล
การชั่งแร่โอลิเมไนท์คปริมาณ 16 กรัม



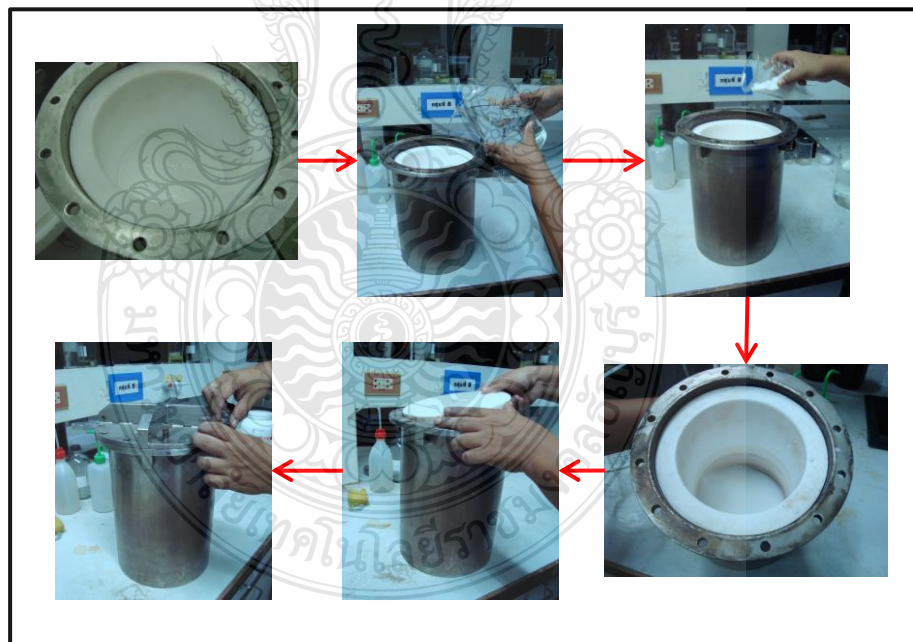
รูปที่ 3.9 การชั่งแร่โอลิเมไนท์

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์



รูปที่ 3.10 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

การเตรียมการสังเคราะห์วัสดุนาโน



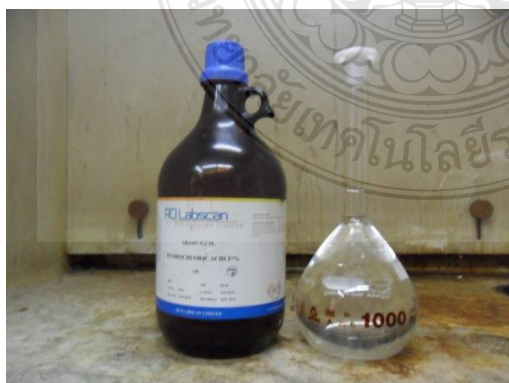
รูปที่ 3.11 การเตรียมการสังเคราะห์วัสดุนาโน

การประกอบตั้งปฏิกิริยาเข้ากับชุดให้ความร้อนและชุดกวนสาร



รูปที่ 3.12 การประกอบตั้งปฏิกิริยาเข้ากับชุดให้ความร้อนและชุดกวนสาร

การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 โมลาร์



รูปที่ 3.13 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

การล้างตัวอย่างด้วยกรด HCl และน้ำ D.I.



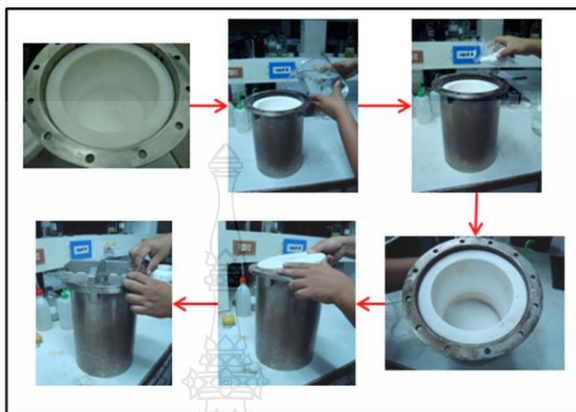
รูปที่ 3.14 การล้างตัวอย่างด้วยกรด HCl และน้ำ D.I.

การกรองตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ



รูปที่ 3.15 การกรองตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ

3.3.2 การสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล
 จากการสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้แร่โอลิเมนไทต์เป็นวัตถุดิบ และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำละลาย ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การเตรียมการสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์

รูปที่ 3.16 เป็นการสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ของไทยโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งสังเคราะห์ภายในชุดถังปฏิกรณ์ โดยใช้แร่โอลิเมนไทต์ปริมาณ 16 กรัม ผสมกับ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (5 M NaOH (aq)) ปริมาณ 2000 ml ใส่ลงในชุดถังปฏิกรณ์ จากนั้นใส่ magnetic stirrer เพื่อทำให้เกิดการกวนตลอดเวลาที่สังเคราะห์โดยให้อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆไม่ต้องหล่อเย็นจนมีอุณหภูมิที่อุณหภูมิห้อง สารที่ได้จากการสังเคราะห์ดังรูปที่ 3.17 หลังจากนั้นตักสารตัวอย่างออกใส่ในบีกเกอร์ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 รูปสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ในถังปฏิกรณ์



รูปที่ 3.18 สารสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้

ขั้นตอนต่อไปคือ ทำการกรองสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้โดยเอา NaOH (aq) ออก โดยใช้สารละลาย 0.1 M HCl (aq) เปียตัวทำละลายแล้วทำการกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงดังรูปที่ 3.19 แล้วกรองเอาสารละลายด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ (รูปที่ 3.20) ทำซ้ำโดยใช้กระดาษ pH ตรวจสอบความเป็นกลางของสาร เมื่อสารเป็นกลาง แล้วนำผง นาโนที่ได้ใส่ในน้ำกลั่นกวน 1 ชั่วโมงจากนั้นทำการกรองทำซ้ำ 5 ครั้ง



รูปที่ 3.19 การล้างตัวอย่างด้วยกรด HCl และน้ำ D.I.



รูปที่ 3.20 การกรองตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ

หลังจากนั้นนำสารตัวอย่างที่กรองได้ไปอบให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

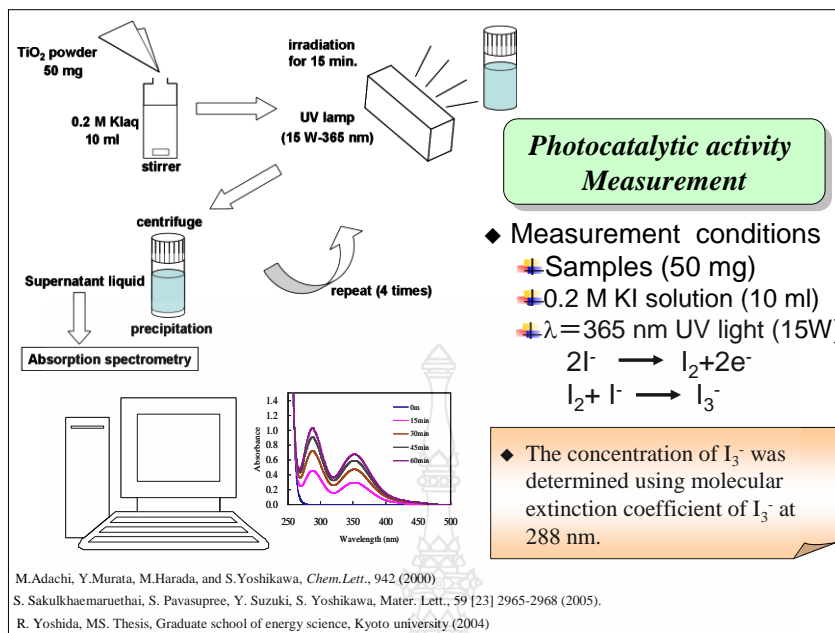
3.3.3 การศึกษาลักษณะและสมบัติทางกายภาพของวัสดุแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้

โครงสร้างผลึกและเฟสของตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) (X'Pert PRO MPD model pw3040/60, PANalytical) องค์ประกอบของตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) (ED-2000, Oxford) ลักษณะโครงสร้างของวัสดุที่เตรียมได้นั้น จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (JSM-6510, JEOL) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) (JEM-2010, JEOL) สำหรับพื้นที่ผิวและลักษณะของรูพรุนของตัวอย่างนั้นจะถูกวิเคราะห์โดยเครื่องวัดพื้นที่ผิวด้วยวิธี The Brunauer-Emmett-Teller (BET) (BELSORP-Mini, Rubotherm)

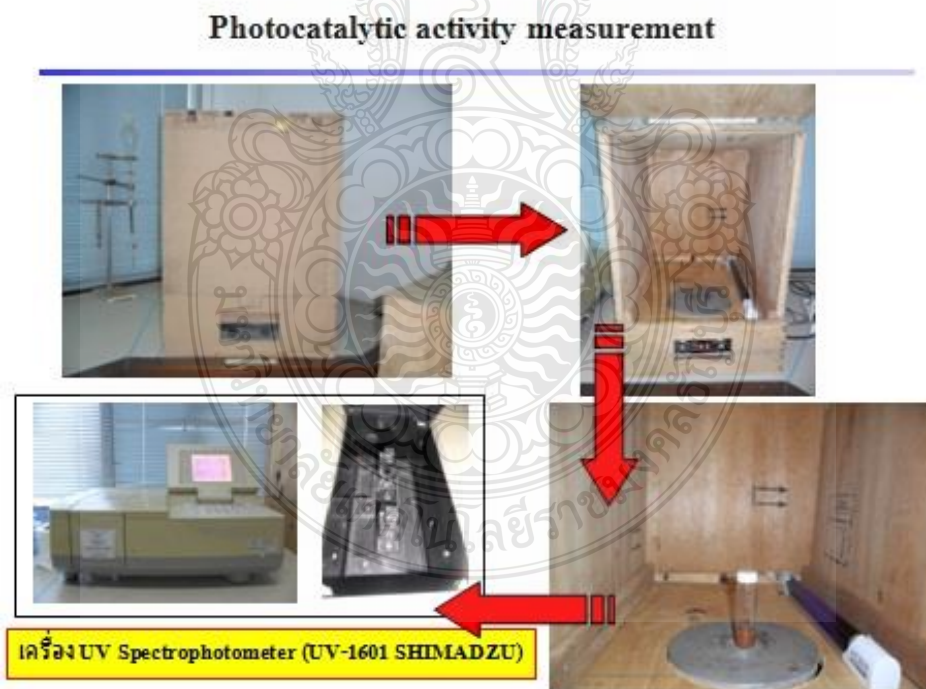
3.3.4 การทดสอบการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง (Photocatalytic Activity) [29-31] ในช่วง UV และแสงในช่วงของ Visible นำวัสดุนาโนที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง (Photocatalytic Activity) ซึ่งมีรูปแบบการวัดการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงซึ่งมีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้ (รูปที่ 3.21) ทำการชั่งวัสดุนาโนที่เตรียมได้ปริมาณ 0.05 กรัม ใส่ในขวดขนาด 15 มิลลิลิตร เตรียมสารละลาย Potassium Iodide (KI) 0.2 โมลาร์ โดยชั่ง KI ปริมาณ 3.32 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน (DI) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตวงสารละลาย KI 0.2 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ใน

ขวดที่บรรจุวัสดุนาโนไว้ก่อนหน้านั้นใส่ตัวกวนแบบแม่เหล็ก (Magnetic Bar) ปิดฝาขวดแล้วนำไปกวนพร้อมทั้งให้แสง UV ในตู้ที่บัพที่แสงไม่สามารถส่องผ่านเข้าไปได้เป็นเวลา 15 นาที (รูปที่ 3.22) เมื่อครบเวลาแล้วปิดแหล่งกำเนิดแสง UV นำขวดสารตัวอย่างออกมาเทสารตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองแล้วนำไปเข้าเครื่อง Centrifugal เป็นเวลา 5 นาที ใช้ไมโครปิเปตดูดสารตัวอย่างปริมาตร 0.3 มิลลิลิตรใส่ในเซลล์ที่มีน้ำปริมาตร 2.7 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer (UV-1601 SHIMADZU) (รูปที่ 3.23) เพื่อวัดการดูดกลืนแสง แล้วนำสารตัวอย่างในหลอดทดลองจากเครื่อง Centrifugal เทคืนใส่ขวดที่มีตัวกวนชนิดแม่เหล็กปิดฝานำไปกวนพร้อมทั้งให้แสง UV เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำทุกขั้นตอนเหมือนดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นจนครบเวลา 60 นาที นำค่าที่วัดได้จากเครื่อง UV Spectrophotometer ไปคำนวณความเข้มข้นของ I_3^- (สมบัติการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง) ของวัสดุนาโนที่เตรียมได้ในส่วนของการทดสอบสมบัติการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงกับแสงในช่วงของ Visible นั่นก็ทำเช่นเดียวกับการทดสอบสมบัติการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงกับแสงในช่วงของแสง UV จะแตกต่างกันก็เพียงแหล่งกำเนิดแสงโดยจะเปลี่ยนจากหลอดที่ให้แสง UV ไปเป็นหลอดที่ให้แสงในช่วง Visible โดยในการทดลองนี้จะใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งจะให้แสงทั้งช่วงของ UV และ Visible ซึ่งเราสามารถให้แสงที่ส่องออกมานั้นเป็นเฉพาะแสงช่วง Visible ได้โดยใช้ฟิล์มกรองแสง UV ชนิดที่กรองแสง UV ได้ใกล้เคียง 100 % มากที่สุด

หลังจากทดสอบสมบัติการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงของวัสดุแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้จากแร่ลิเทียมไนท์ที่เตรียมได้โดยเปรียบเทียบกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P-25, JRC-01, JRC-03, White Pigment) แล้วก็จะทำการปรับปรุงสมบัติของท่อนาโนที่เตรียมได้เพื่อให้มีประสิทธิภาพการนำใช้งานได้ดีขึ้นด้วยการปรับปรุงทางความร้อน (Post-Heat-Treatment) ซึ่งมีวิธีการคือ ทำการชั่งตัวอย่างวัสดุแผ่นบางขนาดนาโนปริมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 100 จนถึง 1000 °C โดยการควบคุมอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Heat Rate) ที่เท่ากัน เมื่อทำการปรับปรุงสมบัติด้วยการปรับปรุงทางความร้อนครบทุกอุณหภูมิแล้ว (100-1000 °C) ก็จะนำตัวอย่างที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลึกที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน จากนั้นนำไปทดสอบการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงอีกครั้งเพื่อหาตัวอย่างที่ให้ค่าการตอบสนองการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงรวมที่ดีที่สุดเพื่อที่จะได้นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงต่อไป



รูปที่ 3.21 รูปแบบการวัดการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง [29-31]



รูปที่ 3.22 รูปการวัดการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง



รูปที่ 3.23 รูปเครื่อง UV Spectrophotometer (UV-1601 SHIMADZU)และตู้ที่บแสง



บทที่ 4

ผลการทดลอง

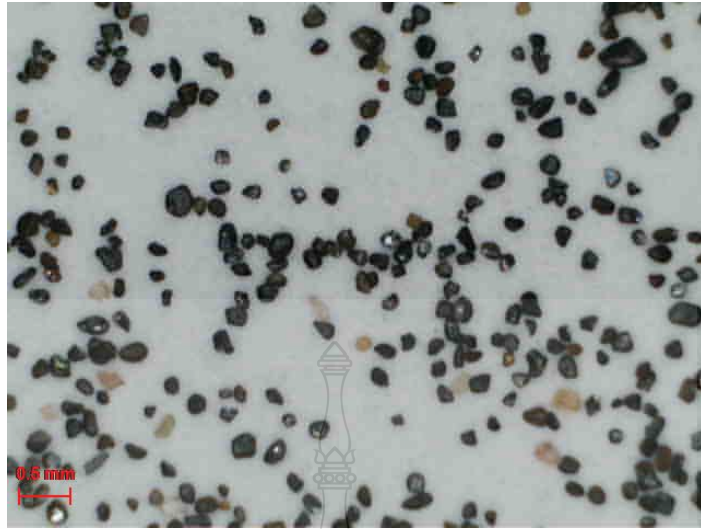
ผลการวิจัยของการสังเคราะห์แผ่นบางนาโนจากแร่โอลิเมไนท์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล และทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ ดังนี้ คือ รูปร่างและขนาด, โครงร่างผลึก รวมถึงการนำแผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง (Photocatalytic Activity)

4.1 ผลการสังเคราะห์แผ่นบางนาโนจากแร่โอลิเมไนท์

วัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อเตรียมแผ่นบางขนาดนาโนคือ แร่โอลิเมไนท์จาก จ. ประจวบคีรีขันธ์ มีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ดเล็กๆ สีดำ (ดังรูปที่ 4.1)

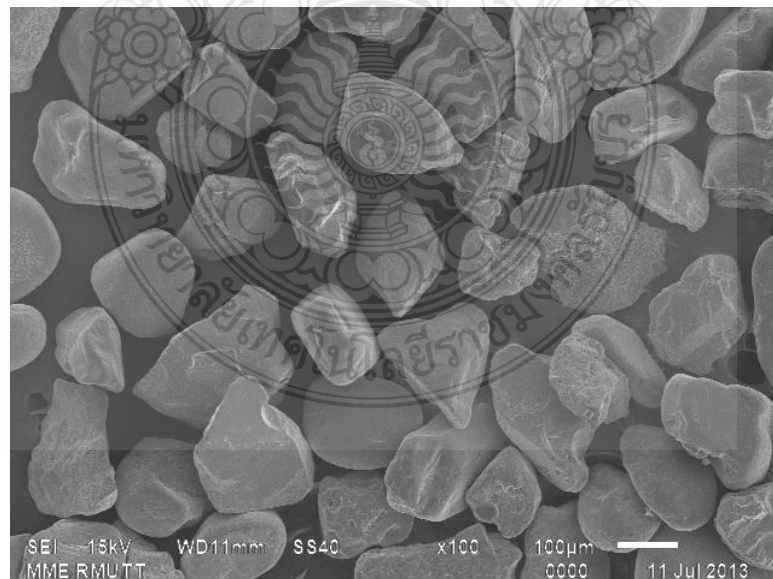


รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายแร่โอลิเมไนท์วัตถุดิบตั้งต้น



รูปที่ 4.2 รูปแร่เอิลเมไนท์ถ่ายจากกล้อง Optical Microscope

จากผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องถ่ายภาพจากกล้อง Optical Microscope พบว่าแร่เอิลเมไนท์ก่อนการสังเคราะห์มีลักษณะเป็นก้อนทรงกลมที่มีหลายสี อาทิ สีเหลืองบุษราคัม สีแดง สีน้ำตาล สีเทา สีดำ แต่ส่วนใหญ่เป็นสีดำ และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าแร่เอิลเมไนท์ก่อนการสังเคราะห์มีขนาดประมาณ 100-250 μm ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.3 รูป SEM ของแร่เอิลเมไนท์วัตถุดิบตั้งต้นที่กำลังขยาย 100 เท่า

จากการสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไนท์ของไทยโดยใช้กระบวนการ ไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งสังเคราะห์ภายในชุดถังปฏิกรณ์ โดยใช้แร่โอลิเมนไนท์ปริมาณ 16 กรัมผสมกับ สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (5 M NaOH (aq)) ปริมาณ 2000 ml ใส่ลงในชุดถังปฏิกรณ์ จากนั้นใส่ Magnetic Stirrer เพื่อทำให้เกิดการกวนตลอดเวลาที่สังเคราะห์โดยให้อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารตัวอย่างที่กรองได้ไปอบให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ได้สารตัวอย่างดังรูปที่ 4.4

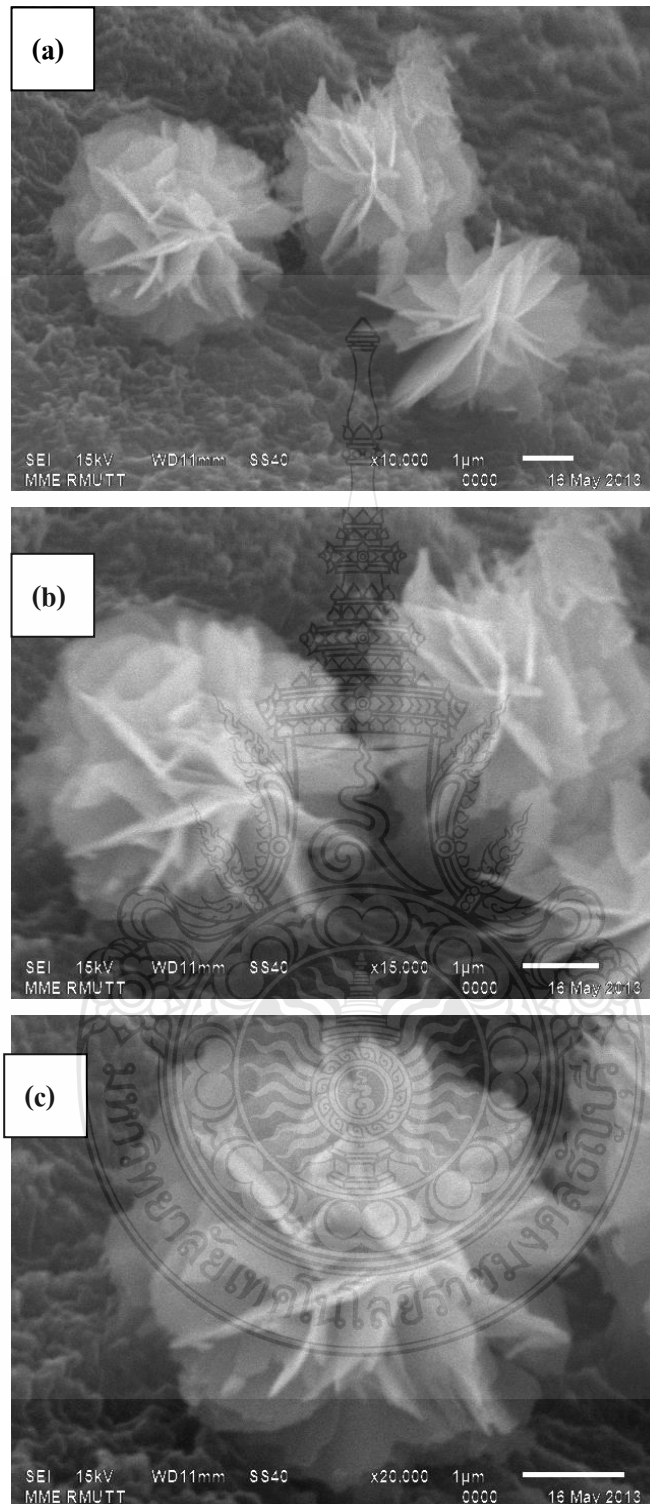


รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายสารตัวอย่างแผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้

4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้

จากการวิเคราะห์ตรวจสอบ และศึกษาสมบัติต่างของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

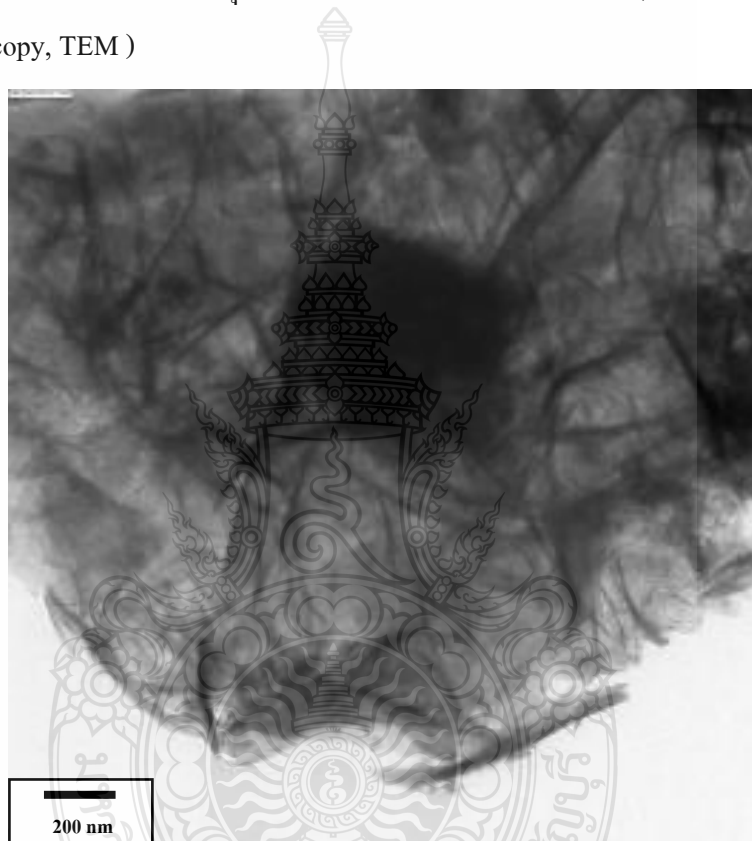
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)



ตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ ที่กำลังขยาย (a) 10,000 เท่า (b) 15,000 เท่า และ (c) 20,000 เท่า
รูปที่ 4.5 รูป SEM

จากรูปที่ 4.5 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า 15,000 เท่า และ 20,000 เท่า พบว่า โครงสร้างทางจุลภาคของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ มีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมรูปร่างคล้ายกับดอกไม้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 2-5 μm ซึ่งประกอบขึ้นจากแผ่นบางขนาดนาโนเมตร

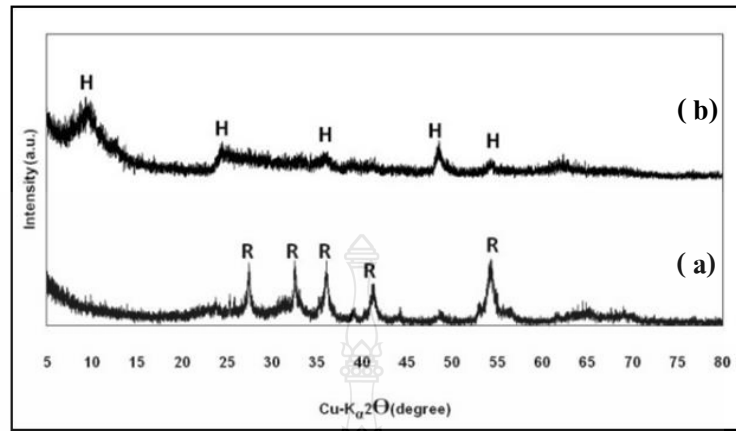
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)



รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย TEM ของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

จากรูปที่ 4.6 เป็นภาพถ่ายที่แสดงผลจากการวิเคราะห์อนุภาคของแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนที่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่ได้จากการสังเคราะห์ แสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปร่างการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมลักษณะคล้ายดอกไม้ซึ่งประกอบขึ้นจากแผ่นบางขนาดนาโนเมตร

4.2.3 โครงสร้างผลึกของแร่โอลิเมนที่วัดอุณหภูมิตั้งต้นและตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้



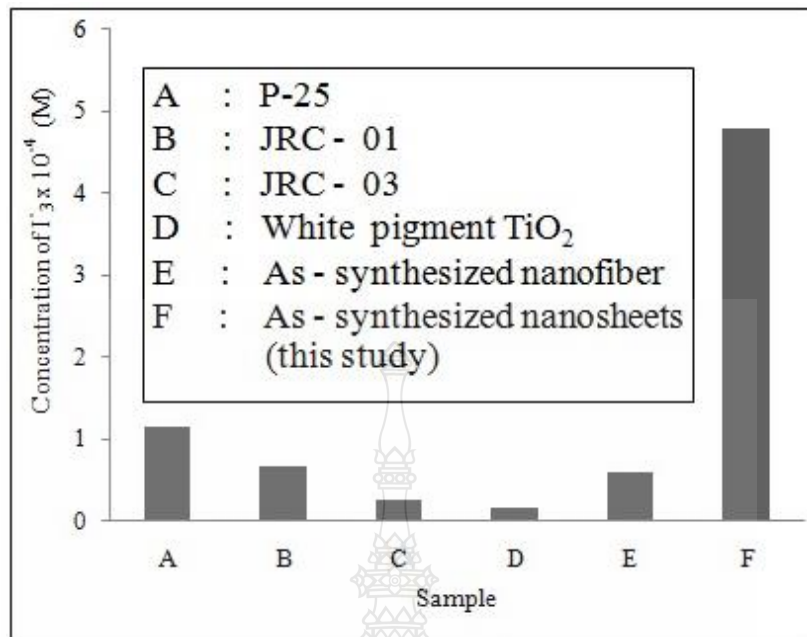
โครงสร้างผลึกของ (a) แร่โอลิเมนและ (b) ตัวอย่างที่เตรียมได้ (H = hydrogen titanate และ R = rutile TiO_2)

รูปที่ 4.7 XRD Patterns

การศึกษาค้นคว้าโครงสร้างผลึกของอนุภาคของแร่โอลิเมนและ สารตัวอย่างที่เตรียมได้ โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ดังรูปที่ 4.7 พบว่า แร่โอลิเมนที่มีโครงสร้างผลึกแบบ รูไทล์ (Rutile) ขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททานิต ($\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$) แสดงให้เห็นว่ามีอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งอาจมาจากน้ำกลั่นในกระบวนการเตรียมเป็นส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่เตรียมได้ [5-6] นอกจากนี้ไม่ปรากฏเฟสของรูไทล์หรือสารเจือปนอื่นๆ เช่น เกลือแกง (NaCl) ในตัวอย่างที่เตรียมได้ ซึ่งการที่ไม่พบ Na ในตัวอย่างที่เตรียมได้อธิบายได้จากการที่อะตอมของ Na อาจถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการชะล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือน้ำกลั่น โดยเกิดการแทนที่หรือแลกเปลี่ยนกันระหว่างอะตอมของ Na^+ ในสารประกอบ $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ด้วย H^+ [7,32]

4.3 การทดลองใช้แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

ในการทดสอบสมบัติการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงของแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้สารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้น 5 M นั้นทำการทดสอบโดยเปรียบเทียบสมบัติการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงกับอนุภาคนาโนไททานิตไมโครออกไซด์เชิงพาณิชย์ คือ P-25, JRC-01, JRC-03 และผงสีขาว (White pigment) ซึ่งมีรายละเอียดผลการทดสอบและวิเคราะห์ดังต่อไปนี้



ปริมาณค่าความเข้มข้นของ I_3^- กับเวลาที่ใช้ในการฉายแสง UV ของ วัสดุนาโนที่เตรียมได้เทียบกับ TiO_2 ในเชิงพาณิชย์ (P-25, JRC-01, JRC-03, white pigment TiO_2 , และ As – synthesized nanofiber) มาเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงร่วมปฏิกิริยาโดยใช้แสงร่วม รูปที่ 4.8 การวัดปฏิกิริยาเชิงแสง

การนำไปทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของค่าการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง (รูปที่ 4.8) พบว่าค่าความเข้มข้นของ I_3^- จากสารตัวอย่างแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้นั้นมีค่าสูงที่สุดคือค่า 4.8×10^{-4} M มีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นของ I_3^- ของ P25, JRC-01, JRC-03 ซึ่งเป็นวัสดุนาโน TiO_2 เชิงพาณิชย์ ซึ่งมีค่า 1.14×10^{-4} M, 0.66×10^{-4} M, 0.25×10^{-4} M ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของ I_3^- จากสารผงสีขาว (White Pigment TiO_2) , สารสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ (As – Synthesized Nanofiber) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของ I_3^- เป็น 0.15×10^{-4} M , 0.60×10^{-4} M ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นบางขนาดนาโนที่จัดเรียงตัวเป็นทรงกลมมีรูปร่างคล้ายดอกไม้ไม่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมีช่องว่างและรูพรุนมากซึ่งส่งผลให้มีค่าการกระตุ้นเชิงแสงได้ดี สามารถนำไปใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงได้ [33-34] สอดคล้องกับการศึกษานำเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากแร่โอลิเมนไทต์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลไปใช้งานเป็นสารวัสดุกึ่งตัวนำชนิดอินทรีย์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงเพื่อผลิต H_2 จากปฏิกิริยาการแยกน้ำ [5-7]

4.4 พื้นที่ผิวจำเพาะแวลูเมนในท่วตุคิบตั้งต้นและตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้

การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุแผ่นบางขนาดนาโนจากแวลูเมนที่สังเคราะห์ขึ้นมานั้นทำการวัดด้วยวิธี BET (Brunauer-Emmett-Teller) โดยใช้การดูดซับก๊าซไนโตรเจน โดยวัดตุคิบ ตั้งต้นคือแวลูเมนที่นั้นมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ที่ประมาณ 0 ตารางเมตร/กรัม เมื่อทำการสังเคราะห์ แวลูเมนที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงพบว่าตัวอย่างที่เตรียมได้นั้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะที่วัดด้วยเทคนิค BET และมีปริมาตรของรูพรุนที่วัดได้ประมาณ 72.319 ตารางเมตร/กรัม และ 0.609 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร/กรัม ตามลำดับ ซึ่งค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างที่เตรียมได้นี้มีค่ามากกว่าวัดตุคิบตั้งต้น 70-80 เท่าตัว และเมื่อเปรียบเทียบกับนาโน TiO₂ เซิงพาณิชย์ (P-25) แล้วพบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้มีค่ามากกว่านาโน TiO₂ เซิงพาณิชย์ (P-25) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของสารตัวอย่าง

สารตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตร/กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ลูกบาศก์เซ็นติเมตร/กรัม)
แวลูเมนไนท์ (วัดตุคิบตั้งต้น)	~ 0	-
เส้นใยนาโน (งานวิจัยที่ผ่านมา)	49	0.159
แผ่นบางขนาดนาโน(งานวิจัยนี้)	72.319	0.609
นาโน TiO ₂ (P-25)	49.99	0.2318

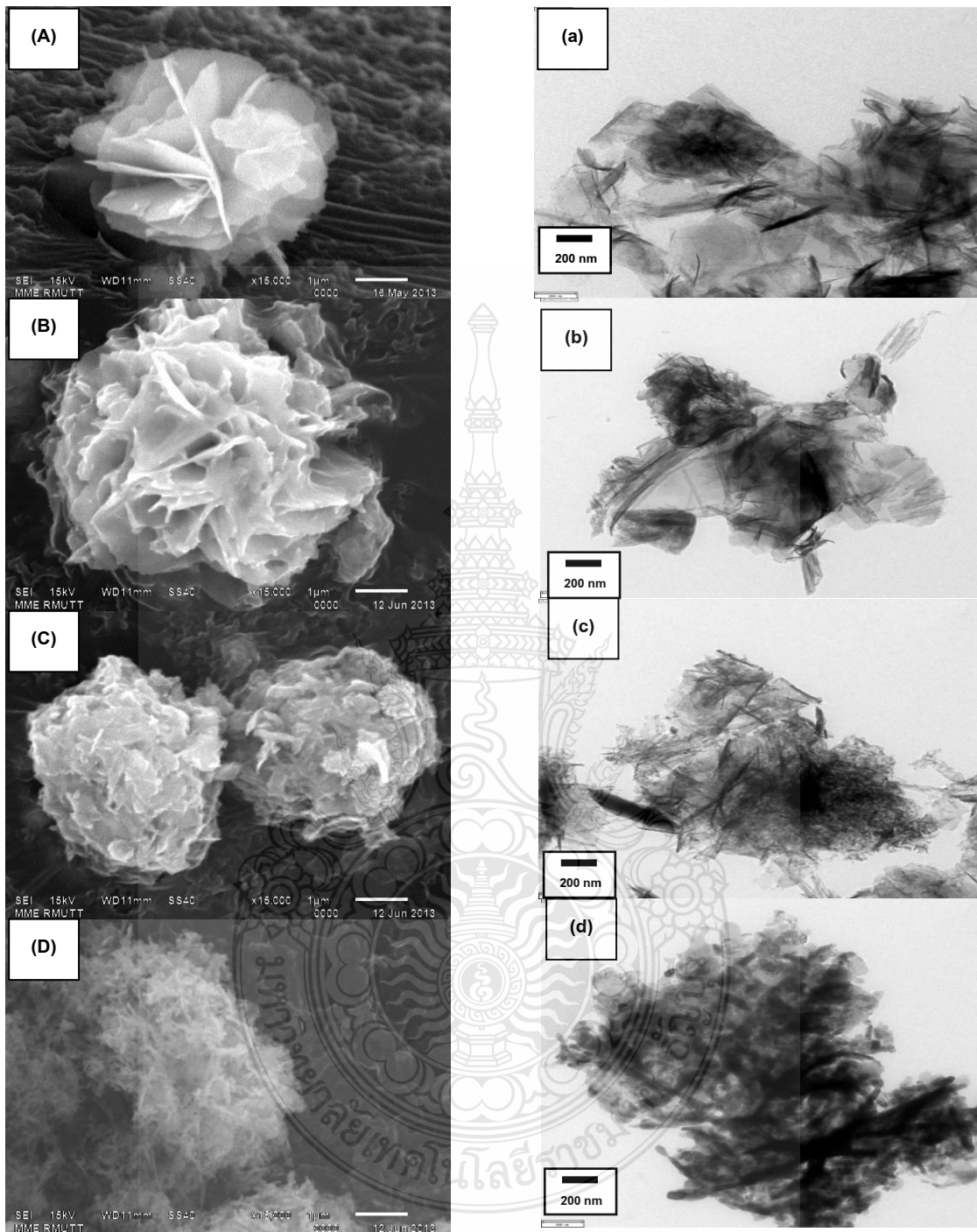
4.5 ผลกระทบของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างและปฏิกิริยาเชิงแสงของแผ่นบางขนาดนาโนจากแวลูเมนไนท์ของไทยที่เตรียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

จากการเตรียมวัสดุนาโน (Nanostructured Materials) ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้แวลูเมนไนท์ของไทยเป็นสารตั้งต้นในการผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 5 M ปริมาตร 2000 ml ในชุดถึงปฏิกิริยาที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมและบุด้วยเทฟรอน ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นทำการให้ความร้อนจนถึงปฏิกิริยามีอุณหภูมิ 105 °C พร้อมกับทำการกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เกิดการเย็นตัว ณ อุณหภูมิห้อง และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มากรอง

และชะล้างด้วย HCl ความเข้มข้น 0.1 M และน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งมีค่า pH เท่ากับ 7 ในขั้นตอนสุดท้ายนำ TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำสารตัวอย่างไปเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C, 1000 °C ตามลำดับ แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปตรวจสอบ

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)



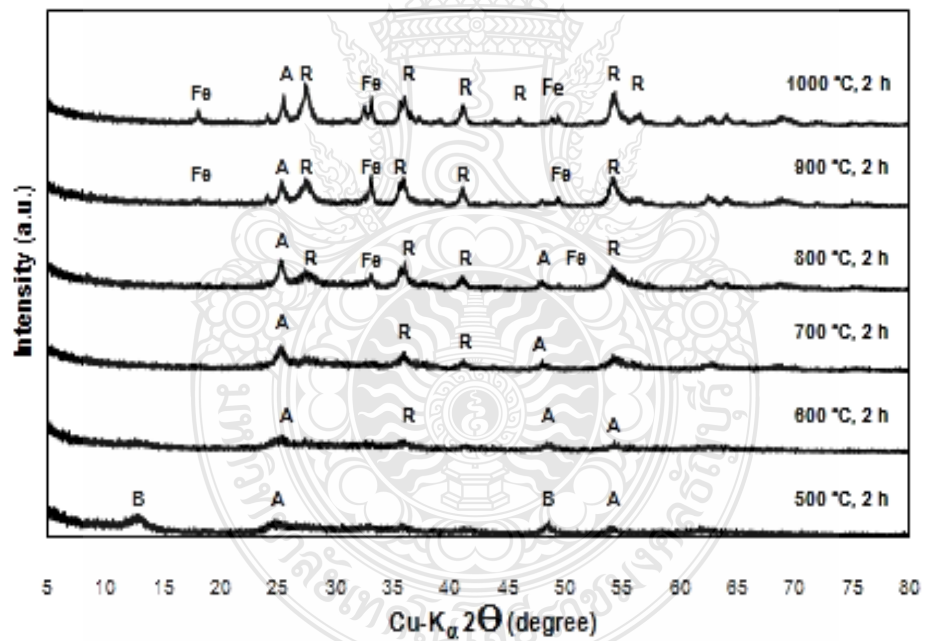
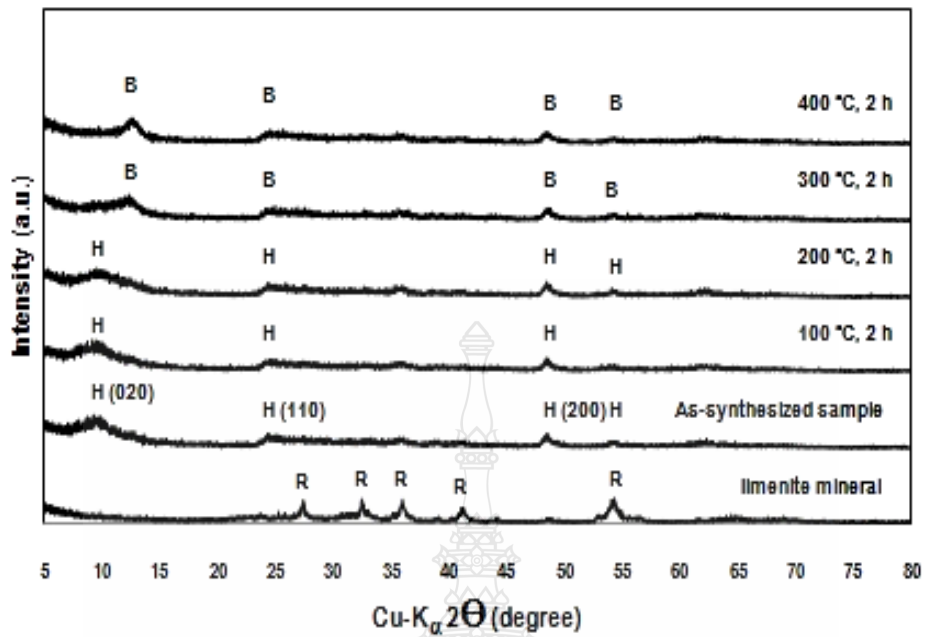


(A) แผ่นบางนาโนที่เตรียมได้ (B) ของสารตัวอย่างที่เผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C (C) 700 °C (D) 1,000 °C และ TEM ของ (a) แผ่นบางนาโนที่เตรียมได้ (b) ของสารตัวอย่างที่เผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C (c) 700 °C (d) 1,000 °C
รูปที่ 4.9 รูป SEM

สารตัวอย่างที่เตรียมได้ (รูปที่ 4.9A) มีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มโดยจัดเรียงตัวเป็นทรงกลม รูปร่างคล้ายกับดอกไม้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 2-5 μm จากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) (รูปที่ 4.9a) แผ่นบางขนาดนาโนมีลักษณะเป็นแผ่นโค้งเล็กน้อยกว้างประมาณ 100 nm ถึง 2 μm มีความหนาของแผ่นในขนาดนาโนเมตร เมื่อเผาสารตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 400 $^{\circ}\text{C}$ พบว่า (รูปที่ 4.9B) แผ่นบางขนาดนาโนมีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมรูปร่างคล้ายกับดอกไม้ แต่บริเวณปลายของกลีบดอกไม้มีขนาดเล็กลง เนื่องจากได้รับความร้อนจากการเผา [4, 35] ยืนยันจากภาพที่ 4.9b แสดงการหดตัวของแผ่นบางนาโนม้วนเข้าหากัน เมื่อเผาสารตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700 $^{\circ}\text{C}$ พบว่าแผ่นบางขนาดนาโนหดตัวและมีบางส่วนกลายเป็นอนุภาคขนาดนาโน [4, 35] (รูปที่ 4.9c) และเมื่อเผาสารตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1,000 $^{\circ}\text{C}$ พบว่าสารตัวอย่างมีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการจัดเรียงตัวคล้ายทรงกลม มีขนาดก่อนอนุภาคเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 4.9 D, d)

4.5.2 โครงร่างผลึกของแร่โอลิเมนที่วัดอุณหภูมิตั้งต้นและตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 $^{\circ}\text{C}$ - 1000 $^{\circ}\text{C}$





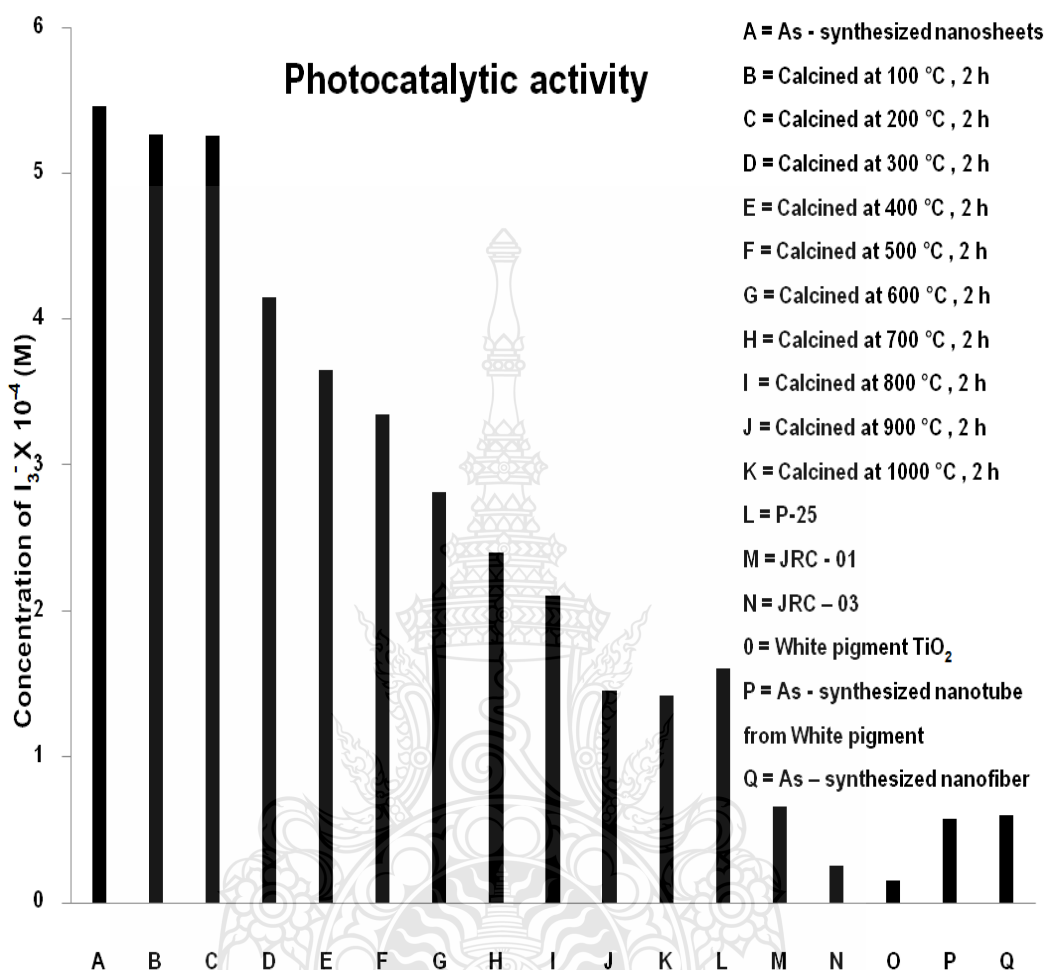
โครงสร้างผลึก ของ (a) แร่อิลเมไนต์และตัวอย่างที่เตรียมได้, สารตัวอย่างที่เผาอุณหภูมิ 100 – 400°C (b) สารตัวอย่างที่เผาอุณหภูมิ 500 – 1,000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (A = Anatase TiO₂, B = TiO₂ (B), H = Hydrogen Titanate, Fe = Fe₂O₃, R = Rutile TiO₂)

รูปที่ 4.10 XRD Patterns

โครงสร้างผลึกของแร่โอลิเมนไทต์และตัวอย่างที่เตรียมได้ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่า แร่โอลิเมนไทต์มีโครงสร้างผลึกแบบ รูไทล์ (Rutile) ขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททานิต ($H_2Ti_xO_{2x+1}$) แสดงให้เห็นว่ามีอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งอาจมาจากน้ำกลั่นในกระบวนการเตรียมเป็นส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่เตรียมได้ [9,36-37] นอกจากนี้ไม่ปรากฏเฟสของรูไทล์หรือสารเจือปนอื่นๆ เช่น เกลือแกง (NaCl) ในตัวอย่างที่เตรียมได้ ซึ่งการที่ไม่พบ Na ในตัวอย่างที่เตรียมได้อธิบายได้จากการที่อะตอมของ Na อาจถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการชะล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือน้ำกลั่น โดยเกิดการแทนที่หรือแลกเปลี่ยนกันระหว่างอะตอมของ Na^+ ในสารประกอบ $Na_2Ti_2O_5 \cdot H_2O$ ด้วย H^+ [36,38-39]

รูปที่ 4.10 แสดงผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของแร่โอลิเมนไทต์, ตัวอย่างที่เตรียมได้ (As-Synthesized), สารตัวอย่างที่เผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ $100^\circ C$, $200^\circ C$, $300^\circ C$, $400^\circ C$ ตามลำดับ เมื่อให้อุณหภูมิกับแผ่นบางขนาดนาโนที่ $100-200^\circ C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบโครงสร้างผลึกแบบไฮโดรเจนไททานิต ($H_2Ti_3O_7$) [7,40-41] เมื่อเพิ่มอุณหภูมิกับแผ่นบางขนาดนาโนที่ $300-400^\circ C$ แผ่นบางขนาดนาโนมีการปลดปล่อยไฮโดรเจน (Dehydrated) มีการจัดเรียงโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) และโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [40,42] ภาพที่ 4.13b แสดงผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของสารตัวอย่างที่เผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ $500^\circ C$, $600^\circ C$, $700^\circ C$, $800^\circ C$, $900^\circ C$, $1000^\circ C$ ตามลำดับ เมื่อเผาสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ $500^\circ C$ พบโครงสร้างของผลึกมีส่วนผสมของโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) และโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส โครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เปลี่ยนเป็นโครงสร้างผลึก แบบอนาเทส [42] เมื่อให้อุณหภูมิสูง $600-700^\circ C$ พบการผสมกันของสองโครงสร้างผลึก คือ อนาเทส และ รูไทล์ ส่วนโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) หายไป โครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เพิ่มขึ้นมา [9] ที่อุณหภูมิ $800-1,000^\circ C$ โครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ การเผาและพบว่ามีผลผสมกันของสามโครงสร้างผลึก คือ อนาเทส, รูไทล์และ Fe_2O_3 เกิดขึ้น [42]

4.5.3 การวัดการนำไปใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง (ความเข้มข้นของ I_3^-)



การกระตุ้นปฏิกิริยาเชิงแสง (ความเข้มข้นของ I_3^-) ของ แผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ วัสดุนาโน TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้จากวัสดุนาโน TiO_2 เชิงพาณิชย์ และผลของอุณหภูมิการเผาของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ (100 – 1,000°C)

รูปที่ 4.11 การวัดการกระตุ้นปฏิกิริยาเชิงแสง

การนำไปทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของค่าการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง (รูปที่ 4.11) พบว่าค่าความเข้มข้นของ I_3^- จากสารตัวอย่างแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้นั้นมีค่าสูงที่สุดคือค่า 5.46×10^{-4} M มีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นของ I_3^- ของ P25, JRC-01, JRC-03 ซึ่งเป็นวัสดุนาโน TiO_2 เชิงพาณิชย์ มีค่า 1.61×10^{-4} M, 0.66×10^{-4} M, 0.25×10^{-4} M ตามลำดับ และมีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นของ I_3^- จากสารผงสีขาว (White Pigment TiO_2), สารสังเคราะห์ที่อนาโนจากผงสีขาว

(As – Synthesized Nanotube from White Pigment), สารสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่โอลิเมไนท์ (As – Synthesized Nanofiber) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของ I_3^- เป็น 0.15×10^{-4} M, 0.57×10^{-4} M, 0.60×10^{-4} M ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นบางขนาดนาโนมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ส่งผลให้มีค่าการกระตุนเชิงแสงได้ดี [8]

เมื่อนำแผ่นบางขนาดนาโนมาเผาให้ความร้อน พบว่าความเข้มข้นของ I_3^- มีค่าลดลงตามอุณหภูมิการเผาที่เพิ่มขึ้น (100 – 1,000°C) ที่อุณหภูมิ 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, 1000°C มีค่าของค่าความเข้มข้นของ I_3^- เป็น 5.26×10^{-4} M, 5.25×10^{-4} M, 4.15×10^{-4} M, 3.66×10^{-4} M, 3.34×10^{-4} M, 2.82×10^{-4} M, 2.40×10^{-4} M, 2.11×10^{-4} M, 1.45×10^{-4} M, 1.42×10^{-4} M, ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้แผ่นบางขนาดนาโนหดตัวและเกิดการเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มอนุภาคทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงส่งผลให้มีค่าการกระตุนเชิงแสงลดลง $[10,43] \times 10^{-4}$ M ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นบางขนาดนาโนมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ส่งผลให้มีค่าการกระตุนเชิงแสงได้ดี [8]

4.6 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบตั้งต้นและตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้

องค์ประกอบทางเคมีของแร่โอลิเมไนท์วัตถุดิบตั้งต้นและตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้นั้นถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ซึ่งผลของการวิเคราะห์นั้น แร่โอลิเมไนท์มีส่วนประกอบหลักคือ TiO_2 ประมาณ 60.8 %wt และมี Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , MnO และอื่น ๆ เป็นสิ่งเจือปน หลังการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลนั้นปริมาณของสิ่งเจือปนที่ประกอบด้วย Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , และ MnO ลดลงซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่โอลิเมไนท์วัตถุดิบตั้งต้นกับตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้พบว่าปริมาณ Fe_2O_3 ของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณลดลงมากกว่าแร่โอลิเมไนท์วัตถุดิบตั้งต้น คือลดลงจาก 24.00 เหลือ 23.70%wt และปริมาณของ TiO_2 ของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าแร่โอลิเมไนท์วัตถุดิบ ตั้งต้น คือเพิ่มขึ้นจาก 60.80 เป็น 65.70%wt เนื่องมาจากสิ่งเจือปนถูกกำจัดไประหว่างกระบวนการล้างและกระบวนการสังเคราะห์ [6] ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแร่อิลเมไนต์ที่วัดดูดิบตั้งต้นและตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้จากกรวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF

Oxide	Ilmenite	As-Synthesized
TiO ₂	60.8	65.7
Fe ₂ O ₃	24.0	23.7
Al ₂ O ₃	1.92	0.348
MnO	1.49	0.612
SiO ₂	1.24	0.186
V ₂ O ₅	0.419	0.377
Cr ₂ O ₃	0.376	0.379
Nb ₂ O ₅	0.349	0.197
WO ₃	0.329	<0.1
MgO	0.259	0.184
P ₂ O ₅	0.187	<0.1
ZrO ₂	0.149	0.137
Na ₂ O	<0.1	1.13

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ของไทยด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยวิธีการที่ไม่ยุ่งยากด้วยชุดถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบและผลิตโดยฝีมือคนไทย วัตถุประสงค์ตั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อเตรียมแผ่นบางขนาดนาโนคือ แร่โอลิเมนไทต์จาก จ. ประจวบคีรีขันธ์ โดยทำการทดลองสังเคราะห์ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร ทำการสังเคราะห์และศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น รูปร่าง ขนาด โครงสร้างผลึก ฯลฯ ของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ รวมถึงการนำแผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง (Photocatalytic Activity)

การสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ของไทยโดยใช้กระบวนการ ไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งสังเคราะห์ภายในชุดถังปฏิกรณ์ โดยใช้แร่โอลิเมนไทต์ปริมาณ 16 กรัมผสมกับ สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (5 M NaOH (aq)) ปริมาณ 2000 ml ใส่งในชุดถังปฏิกรณ์ จากนั้นใส่ Magnetic Stirrer เพื่อทำให้เกิดการกวนตลอดเวลาที่สังเคราะห์โดยให้อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

5.1 การวิเคราะห์สมบัติของแผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้

ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) โครงสร้างทางจุลภาคของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ มีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมรูปร่างคล้ายกับดอกไม้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 2-5 μm ซึ่งประกอบขึ้นจากแผ่นบางขนาดนาโนเมตร จากการวิเคราะห์อนุภาคของแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่ได้จากการสังเคราะห์ แสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปร่างการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมลักษณะคล้ายดอกไม้ซึ่งประกอบขึ้นจากแผ่นบางขนาดนาโนเมตร

การศึกษาโครงสร้างผลึกของอนุภาคของแร่โอลิเมนไทต์และ สารตัวอย่างที่เตรียมได้ โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่า แร่โอลิเมนไทต์มีโครงสร้างผลึกแบบ รูไทล์ (Rutile) ขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททานิต ($\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$)

พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทต์ที่สังเคราะห์ขึ้นมานั้นทำการวัดด้วยวิธี BET (Brunauer-Emmett-Teller) ตัวอย่างที่เตรียมได้นั้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะที่วัดด้วยเทคนิค BET

และมีปริมาตรของรูพรุนที่วัดได้ประมาณ 72.319 ตารางเมตร/กรัม และ 0.609 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร/กรัม ตามลำดับซึ่งค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างที่เตรียมได้นี้มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับนาโน TiO₂ เชิงพาณิชย์ (P-25)

5.2 การวัดการนำไปใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

การนำไปทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของค่าการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงพบว่าค่าความเข้มข้นของ I₃⁻ จากสารตัวอย่างแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้นั้นมีค่าสูงที่สุด มีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นของ I₃⁻ ของ P25, JRC-01, JRC-03 ซึ่งเป็นวัสดุนาโน TiO₂ เชิงพาณิชย์ เนื่องจากแผ่นบางขนาดนาโนที่จัดเรียงตัวเป็นทรงกลมมีรูปร่างคล้ายดอกไม้มีพื้นที่ผิวจำเพาะมีช่องว่างและรูพรุนมากซึ่งส่งผลให้มีค่าการกระตุ้นเชิงแสงได้ดี สามารถนำไปใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงได้

5.3 ผลกระทบของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างและปฏิกิริยาเชิงแสงของแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนที่ของไทยที่เตรียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

นำแผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, 1000°C ตามลำดับ

5.3.1 ลักษณะทางกายภาพ

สารตัวอย่างที่เตรียมได้ มีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มโดยจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมรูปร่างคล้ายกับดอกไม้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 2-5 μm จากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) แผ่นบางขนาดนาโนมีลักษณะเป็นแผ่น โค้งเล็กน้อยกว้างประมาณ 100 nm ถึง 2 μm มีความหนาของแผ่นในขนาดนาโนเมตร เมื่อเผาสารตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 400°C พบว่า แผ่นบางขนาดนาโนมีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมรูปร่างคล้ายกับดอกไม้ แต่บริเวณปลายของกลีบดอกมีขนาดเล็กลงเนื่องมาจากการได้รับความร้อนจากการเผา แสดงการหดตัวของแผ่นบางนาโนม้วนเข้าหากัน เมื่อเผาสารตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700°C พบว่าแผ่นบางขนาดนาโนหดตัวและมีบางส่วนกลายเป็นอนุภาคนาโน และเมื่อเผาสารตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1,000°C พบว่าสารตัวอย่างมีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการจัดเรียงตัวคล้ายทรงกลม มีขนาดก้อนอนุภาคเพิ่มมากขึ้น

5.3.2 โครงสร้างผลึกของแร่อิลเมไนต์ที่วัดอุณหภูมิตั้งต้นและตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100°C – 1000°C

โครงสร้างผลึกของแร่อิลเมไนต์และตัวอย่างที่เตรียมได้ พบว่า แร่อิลเมไนต์มีโครงสร้างผลึกแบบ รูไทล์ (Rutile) ขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททานิต ($H_2Ti_xO_{2x+1}$), เมื่อเผาให้อุณหภูมิกับแผ่นบางขนาดนาโนที่ 100-200°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบโครงสร้างผลึกแบบไฮโดรเจนไททานิต ($H_2Ti_3O_7$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิกับแผ่นบางขนาดนาโนที่ 300-400°C แผ่นบางขนาดนาโนมีการปลดปล่อยไฮโดรเจน(dehydrated) มีการจัดเรียงโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) และโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเผาสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 500°C พบโครงสร้างของผลึกมีส่วนผสมของโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) และโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส โครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเปลี่ยนเป็นโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส เมื่อให้อุณหภูมิสูง 600-700°C พบการผสมกันของสองโครงสร้างผลึก คือ อนาเทส, รูไทล์ โครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) หายไป โครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เพิ่มขึ้นมา ที่อุณหภูมิ 800-1,000°C โครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาและพบว่าการผสมกันของสามโครงสร้างผลึก คือ อนาเทส, รูไทล์และ Fe_2O_3 เกิดขึ้น

5.3.3 การวัดการนำไปใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

การนำไปทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของค่าการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง (รูปที่ 6) พบว่าค่าความเข้มข้นของ I_3^- จากสารตัวอย่างแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้นั้นมีค่าสูงที่สุด มีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นของ I_3^- ของ P25, JRC-01, JRC-03 ซึ่งเป็นวัสดุนาโน TiO_2 เซิงพาณิชย์ และมีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นของ I_3^- จากสารผงสีขาว (White pigment TiO_2), สารสังเคราะห์ท่อนาโนจากผงสีขาว (As – synthesized nanotube from white pigment), สารสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่อิลเมไนต์ (As – synthesized nanofiber) เนื่องจากแผ่นบางขนาดนาโนมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ส่งผลให้มีค่าการกระตุ้นเชิงแสงได้ดี เมื่อนำแผ่นบางขนาดนาโนมาเผาให้ความร้อน พบว่า ความเข้มข้นของ I_3^- มีค่าลดลงตามอุณหภูมิการเผาที่เพิ่มขึ้น (100 – 1,000°C) ตามลำดับ เนื่องจาก เมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้แผ่นบางขนาดนาโนหดตัวและเกิดการเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มอนุภาคทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลง ส่งผลให้มีค่าการกระตุ้นเชิงแสงลดลง

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุแผ่นบางขนาดนาโนไททานเนตจากวัสดุราคาถูก (แร่อิลเมไนท์) ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลนี้ สามารถนำมาเป็นแนวทางในการสังเคราะห์วัสดุนาโนจากวัตถุดิบในประเทศ ซึ่งวิธีการไฮโดรเทอร์มอลนี้เป็นวิธีการที่ทำได้โดยไม่ซับซ้อน สามารถควบคุมโครงสร้างและสมบัติตามต้องการได้ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการค้นหาและประยุกต์ใช้แร่ธรรมชาติชนิดอื่นที่มีส่วนประกอบของไททานเนียมไดออกไซด์ที่หาได้ในประเทศ และมีราคาถูกมาสังเคราะห์ได้อีกด้วย



รายการอ้างอิง

- [1] G. K Kiema, M. J. Colgan, M. J. Brett, “Dye sensitized solar cells incorporating obliquely deposited titanium oxide layers,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 85, pp. 321-331, 2005.
- [2] F. C. Walsh, D. V. Bavykin, L. Torrente-Murciano, A. A. Lapkin, B. A. Cressey, “Synthesis of novel composite materials via the deposition of precious metals onto protonated titanate (TiO₂) nanotubes,” *Transactions of the Institute of Metal Finishing*, vol. 6(84), pp. 293-299, 2006.
- [3] (online), <http://guru.google.co.th/guru/thread?tid=62bc14646549336b> (15 January 2014).
- [4] S. Pavasupree, S. Ngamsinlapasathian, S. Yoshikawa, “Synthesis and dye-sensitized solar cell performance of nanorods/nanoparticles TiO₂ from high surface area nanosheet TiO₂,” *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol.6 (12), pp. 3685-3692, 2006.
- [5] Y. Suzuki, S. Pavasupree, S. Yoshikawa and R. Kawahata, “Natural Rutile-Derived Titanate Nanofibers Prepared by Direct Hydrothermal Processing,” *Journal of Materials Research*, vol.20, pp. 1063–1070, 2005.
- [6] A. Simpraditpan, T. Wirunmongkol, S. Pavasupree, W. Pecharapa, “Simple Hydrothermal Preparation of Nanofibers from Natural Ilmenite Mineral,” *Ceramics International*, vol. 39, pp. 2497 – 2502, 2012.
- [7] S. Pavasupree, N. Laosiripojana, S. Chuangchote and T. Sagawa, “Fabrication and Utilization of Titania Nanofibers from Natural Leucoxene Mineral in Photovoltaic Applications,” *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 50, pp. 01BJ16-1–01BJ16-4, 2011.
- [8] S. Pavasupree, S. Ngamsinlapasathian, Y. Suzuki and S. Yoshikawa, “Preparation and characterization of high surface area nanosheet titania with mesoporous structure,” *Materials Letters*, vol. 61, pp. 2973–2977, 2007.
- [9] J. Jitputti, T. Rattanavoravipa, S. Chuangchote, S. Pavasupree, Y. Suzuki and S. Yoshikawa, “Low temperature hydrothermal synthesis of monodispersed flower-like titanate nanosheets,” *Catalysis Communications*, vol.10, pp. 378–382, 2009.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [10] A. Simpraditpan, T. Wirunmongkol, W. Boonwatcharapunsakun, S. Pivsa-art, C. Duangduen, S. Sakulphaemaruehai S. Pavasupree, "Preparation of High Photocatalyst Mesoporous TiO₂ from Nanosheets Using Autoclave Unit (Thai Made)," *Energy Procedia*, vol. 9, pp. 440 – 445, 2011.
- [11] D. Aphairaja, T. Wirunmongkol, S. Pavasupree and P. Limsuwana, "Synthesis of Titanate Nanotubes from Thai Leucoxene Mineral," *Procedia Engineering*, vol.32, pp. 1068 – 1072, 2012.
- [12] H. Seo, G. Kim, S.G. Ansari, Y. Kim, H. Shin , K. Shim and E. Suh, "A study on the structure/ phase transformation of titanate Nanotubes synthesized at various hydrothermal temperatures," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 92, pp. 1533 –1539, 2008.
- [13] J. Song Chen, Yi Ling Tan, C. Ming Li, Y. Ling Cheah, D. Luan, S. Madhavi, F. Y. Chiang Boey, L. A. Archer and X. Wen Lou, "Constructing Hierarchical Spheres from Large Ultrathin Anatase TiO₂ Nanosheets with Nearly 100% Exposed (001) Facets for Fast Reversible Lithium Storage," *Journal of America Society*, vol.132, pp. 6124–6130, 2010.
- [14] T. Wirunmongkol, P. Charoenrat, N. Tonanon, S. Niyomwas and S. Pavasupree, Simple "Hydrothermal Preparation and Dye-Sensitized Solar Cells Efficiency of Nanotubes-Nanoparticles from Thai Leucoxene Mineral," 9th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Wiang Inn Hotel, Chiang Rai, Thailand, May 25-28, 2011.
- [15] D. Aphairaj, T. Wirunmongkol, P. Chaloe-arb, S. Pavasupree and P. Limsuwan, "Effect of calcination temperatures on structures of TiO₂ powders prepared by hydrothermal method using Thai leucoxene mineral," 9th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Wiang Inn Hotel, Chiang Rai, Thailand, May 25-28, 2011.
- [16] J. Yu, H. Yu, B. Cheng, X. Zhao, Q. Zhang, "Preparation and photocatalytic activity of mesoporous anatase TiO₂nanofibers by a hydrothermal method," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 182, pp. 121–127, 2006.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

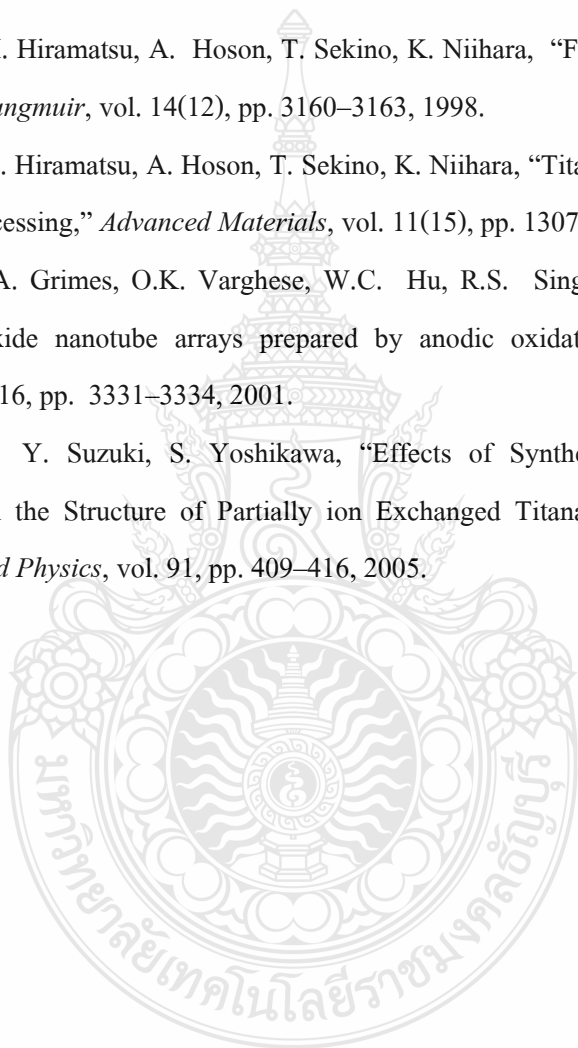
- [17] (online), http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=421&Itemid=176 (15 January 2014).
- [18] O. Carp, C.L. Huisman, and A. Reller, "Photoinduced reactivity of titanium dioxide," *Progress in Solid State Chemistry*, vol. 32, pp. 33-177, 2004.
- [19] สุกัญญา สารทูลหัต, วรรณิภา หงส์โต, และวราภรณ์ นันทพันธ์. (2549) การศึกษาผลของปริมาณและขนาดอนุภาคที่มีผลของไททาเนียมไดออกไซด์ต่อการบดบังแสงของป้ายโฆษณาที่ผลิตจากโพลีเมทิลครีเลต. ปรินูญานินพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [20] ตะวัน สุขน้อย. (2543) การสังเคราะห์และการศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของซีโอไลต์ที่มีไททาเนียมเป็นองค์ประกอบ. ในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (น. 2). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- [21] (online), <http://www.air.in.th/TiO2.htm> (15 January 2014).
- [22] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, (2551) นาโนเทคโนโลยีงานวิจัยนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. 2551. ปทุมธานี : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- [23] Geology, What is Ilmenite (online), 2005. Available: www.geology.com/minerals/ilmenite.shtml, (15 January 2014).
- [24] A.T. Raghavender, Nguyen Hoa Hong, KyuJoon Lee, Myung-Hwa Jung, Z. Skoko, M. Vasilevskiy, M.F. Cerqueira, A.P. Samantilleke, "Nano-ilmenite FeTiO₃: Synthesis and characterization," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 331, pp. 129-132, April 2013.
- [25] K. Byrappa, T. Adschiri, "Hydrothermal technology for nanotechnology," *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, vol. 53, pp. 117-166, 2007.
- [26] H. Cheng, J. Ma, Z. Zhao, and L. Qi, "Hydrothermal Preparation of Uniform Nanosize Rutile and Anatase Particles," *Chemistry of Materials*, vol. 7, pp. 663-671, 1995.
- [27] (online), <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html> (15 January 2014).
- [28] (online), <http://www.material.chula.ac.th/RADIO44/april/radio4-1.htm> (15 January 2014).

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [29] S. Pavasupree, S. Ngamsinlapasathian, M. Nakajima, Y. Suzuki and S. Yoshikawa, "Synthesis, characterization, photocatalytic activity and dye-sensitized solar cell performance of nanorods/nanoparticles TiO₂ with mesoporous structure," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 184, pp. 163-169, 2006.
- [30] M. Adachi, Y. Murata, M. Harada, and S. Yoshikawa, "Formation of titania nanotubes with high photo-catalytic activity," *Chemistry Letters*, vol. 8, pp. 942-943, 2000.
- [31] S. Sakulkaemaruehai, S. Pavasupree, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, "Photocatalytic activity of titania nanocrystals prepared by surfactant-assisted templating method-effect of calcination conditions," *Materials Letters*, vol. 59, pp. 2965-2968, 2005.
- [32] J.N. Nian and H. Teng, "Hydrothermal Synthesis of Single-Crystalline Anatase TiO₂ Nanorods with Nanotubes as the Precursor," *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 110, pp. 4139–4198, 2006.
- [33] M. Grätzel, "Dye-sensitized solar cells," *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, Vol. 4(2), pp. 145-153, 2003.
- [34] S. Pavasupree, Y. Suzuki, S. Pivsa-Art, S. Yoshikawa, "Preparation and characterization of mesoporous TiO₂ - CeO₂ nanopowders respond to visible wavelength," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 178, pp. 128-134, 2005.
- [35] M . Adachi, Y. Murata, I. Okada, S. Yoshikawa, "Formation of titania nanotubes and applications for dye-sensitized solar cells," *The Electrochemical Society*, vol. 150, pp. G488–G493, 2003.
- [36] J. Sun, L. Gao, Q.H. Zhang, "TiO₂ Tubes Synthesized by Using Ammonium Sulfate and Carbon Nanotubes as Templates," *Journal of Materials Science Letters*, vol. 22, pp. 339–341, 2003.
- [37] S. Kobayashi, K. Hanabusa, N. Hamasaki, H. Kimura, M. Shirai, S. Shinkai, "Preparation of TiO₂ hollow-fibers using supramolecular assemblies," *Chemistry of Materials*, vol. 12, pp. 1523–1525, 2000.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [38] S. Yoo, S.A. Akbar, K.H. Sandhage, “Oriented Single Crystal Titania Nanofibers via Nanocarving with Hydrogenbearing Gas”, *Advanced Materials*, vol. 16, pp. 260–264, 2004.
- [39] P. Hoyer, “Formation of titanium dioxide nanotube array,” *Langmuir*, vol. 12 , pp. 1411–1413, 1996.
- [40] T. Kasuga, M. Hiramatsu, A. Hoson, T. Sekino, K. Niihara, “Formation of titanium oxide nanotube,” *Langmuir*, vol. 14(12), pp. 3160–3163, 1998.
- [41] T. Kasuga, M. Hiramatsu, A. Hoson, T. Sekino, K. Niihara, “Titania nanotubes prepared by chemical processing,” *Advanced Materials*, vol. 11(15), pp. 1307–1311, 1999.
- [42] D. Gong, C.A. Grimes, O.K. Varghese, W.C. Hu, R.S. Singh, Z. Chen, E.C. Dickey, “Titanium oxide nanotube arrays prepared by anodic oxidation,” *Materials Research Bulletin*, vol. 16, pp. 3331–3334, 2001.
- [43] R. Yoshida, Y. Suzuki, S. Yoshikawa, “Effects of Synthetic Conditions and Heat Treatment on the Structure of Partially ion Exchanged Titanate Nanotubes,” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 91, pp. 409–416, 2005.





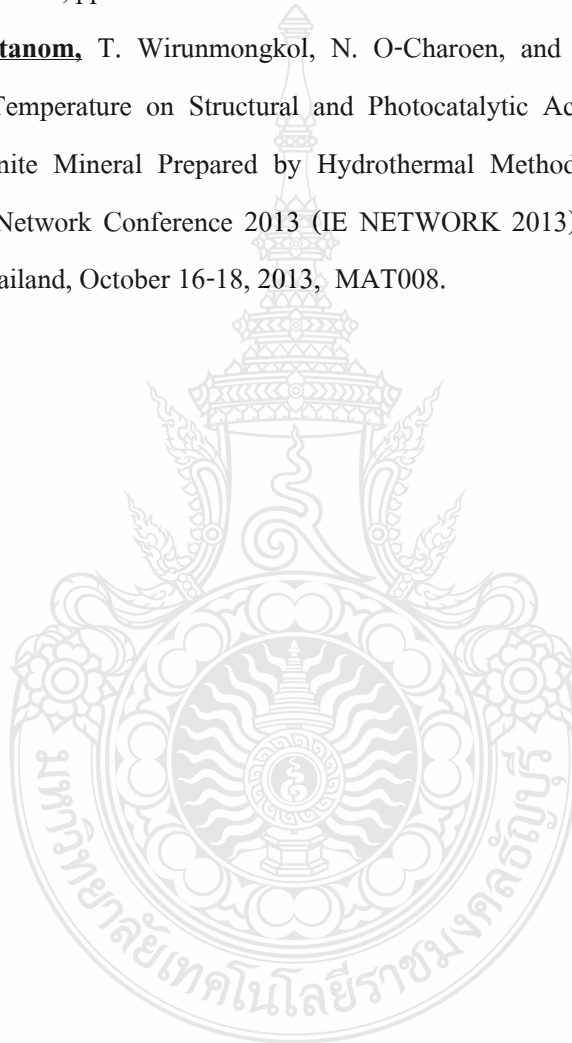
ภาคผนวก



ภาคผนวก
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ (National and International Conferences)

1. **W. Charerntanom**, T. Wirunmongkol, N. O-Charoen, and S. Pavasupree, "Preparation of N-Type Semiconductor Nanosheets from Thai Ilmenite Mineral," Proceeding of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013), Hua Hin Grand Hotel and Plaza, Hua Hin, Prachuabkhirikhan, Thailand, March 27-29, 2013, pp.321-324.
2. **W. Charerntanom**, T. Wirunmongkol, N. O-Charoen, and S. Pavasupree, "Effect of Calcination Temperature on Structural and Photocatalytic Activity of Nanosheets from Natural Ilmenite Mineral Prepared by Hydrothermal Method," Proceeding, Industrial Engineering Network Conference 2013 (IE NETWORK 2013), The Royal Cruise Hotel, Chonburi, Thailand, October 16-18, 2013, MAT008.





การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

บทความวิจัย

- ไฟฟ้ากำลัง
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- ไฟฟ้าสื่อสารและโทรคมนาคม
- ระบบควบคุมและการวัดคุม
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า

บทความวิชาการ

27-29 มีนาคม 2556 โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

EENET2013





รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ผู้ทรงคุณวุฒิ	หน่วยงาน
ศาสตราจารย์ ดร. วัลลภ	สุระก่าพลธร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. นรินทร์	วัฒนกุล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร. พิชัย	อารีย์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร. อนุวัฒน์	จางวนิชเลิศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. ฟูศักดิ์	ชีวิสุทธิย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิตร	กนิเรศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ	ฐิติรุ่งเรือง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. สมพร	สิริสำราญนุกูล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร. สุขสันต์	หวังสถิตย์วงศ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์	ชื่นแจก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร. บัลดั้ง	เนียมมณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร. ธนัชชัย	กุลรวานิชพงษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร. เวทิน	ปิยรัตน์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เนนบุญ	หุนเจริญ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย	เดชสุนันต์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์	สุวรรณกวิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์	คำฝอย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธนา	จำสุวรรณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภัทราวัลย์	นาคทรัพย์ มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร. ชานูณรงค์	บาสมงคล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ ดร. นาเดชา	คล้ายเรือง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
อาจารย์ ดร. ยงยุทธ	นราษฏร์ มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร. นิमित	บุญภิรมย์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อาจารย์ ดร. สมมาตร	แสงเงิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ผู้ทรงคุณวุฒิ	หน่วยงาน
ดร.อภิรดา	นามแสง สถาบันการบินพลเรือน
ดร.สุวิทย์	อภัยระเมต สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ดร.ชวงส์	วัฒนศักดิ์ภูบาล การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ดร.อรรด	พยอมหอม การไฟฟ้านครหลวง
ดร.ปายาน	กุลวานิช กรมวิทยาศาสตร์บริการ





รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ผู้ทรงคุณวุฒิ		หน่วยงาน
อาจารย์ ดร. วุฒิวัฒน์	คงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร. สายชล	ซुकเจือจิ้น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์ ชัยณรงค์	วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิโรจน์	เพชรพันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุภณ	พลสิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพนธ์	ทางทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ประหยัด	กองสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์ กัทพงศ์	อัญชันภาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์ สมพล	โกศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์ สมยศ	สันติมาลัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์ ศัพท์พันธุ์	สุวรรณทัต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์ชนม์	ภูมิภักดีพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย	ทรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักร์	ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. นัทรชัย	ศุกพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. กิตติวัฒน์	นันทเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. บุญยง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. สุรินทร์	แหงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชัย	หิรัญวโรดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. อำนวย	เรืองวาริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. ณัฐภัทร	พันธ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริชัย	แดงเอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฐิติวุฒิ	โสมะถายตรีรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ พิณีจ	จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ สมชาย	เปียนสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ สำหรับการพิจารณาบทความ
 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ผู้ทรงคุณวุฒิ	หน่วยงาน
อาจารย์พร้อมศักดิ์	อภิศติกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์นิติพงศ์	ปานกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ธีระพล	เหมือนขาว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราชญ์	คาบบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. ไพฑูรย์	รักเหลือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์วีโรจน์	พิราจนนชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. ณัฐพงศ์	พันธุณะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร. นัฐโชติ	รักไทยเจริญชีพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์พูนศรี	วรรณการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ทอง	ลานธารทอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์จตุรงค์	จตุรเชิดชัยสกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์เวทรินทร์	ธัญลือประเสริฐ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์สาร	วุฒิพัฒน์พันธุ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์สมเกียรติ	ทองแก้ว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์อรุณ	ชลิ่งสุทธิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์มนัส	บุญเกียรติทอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกศล	นิติโสภา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรินทร์	จุลวานิช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กมลทิพย์	วัฒน์กำธร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัจจา	ลักษณ์อำนาจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ธนะกิจ	วัฒน์กำธร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์นิลมิต	นิลาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร. ชลกาญจน์	วงศ์ก่อเกียรติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร. ณพพร	จินดาประเสริฐ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ สำหรับการพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ผู้ทรงคุณวุฒิ	หน่วยงาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ประสพ โชคให้ทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.มนตรี สมดุลยกนก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์อติศักดิ์ แจ่มสาริกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนต์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ เชยชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.พิชิต กิตติสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์กาญจน์ญา พานิชเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ดิศพล จำเริญกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์โสภา แซ่เฮ็ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์สิทธิชัย บุญปิยทัศน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
รองศาสตราจารย์สมพันธ์ อำพวัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ พงศ์พุกษธาตุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์ ดร.พินิจ ศรีธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์ ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พันธ์พงศ์ อภิชาติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิชัย สง่างาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์รุ่งเพชร ก่องนอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทธินันท์ ดันโพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤตวิทย์ บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประเสริฐ เตือนหมั่น ไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์กิตติวุฒิ จินนะบุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์ ดร.มงคล กุฑมัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)
อาจารย์ ดร.ประจวบ อินระวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (นครราชสีมา)



สารบัญ

สาขาทดสอบพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
ES01 บทความดีเด่น	การเตรียมสารกึ่งตัวนำชนิดเฮเทอโรจังชันประเภทแผ่นบางขนาดนาโนจากเวอิลเมไนท์ของไทย วิษณุ เจริญถนอม ธนกรณ์ วิรุฬห์มงคล และสรพจน์ กวสุปรีช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	321
ES02	การเปรียบเทียบความเข้มแสงในการให้แสงสว่างสำหรับการปลูกเบญจมาศ มานัส สุนันท์ และนิพนธ์ เลิศมโนกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	325
ES03 บทความชมเชย	การศึกษาผลของความเข้มสนามไฟฟ้าต่อองค์การบังคับของยางธรรมชาติ สุนนมาลย์ เนียมกลาง จตุรงค์ กิตติศักดิ์ และวิเชียร ชาวคายน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	329
ES04	บัลลาสต์ปรับแรงดันอินมัลติ ประสิทธิ์ นางทิน พิชญ ศรีรังชัย และบัณฑิต ยงบรรพม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	333
ES05	เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โคยฮีทไปด สุทธินันท์ ดันโพธิ์ ปิยะ ไกยพันธ์ุ และฉัตรชัย มีทธิพร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	337
ES06	พัฒนาระบบเฝ้ามองพฤติกรรมและการสั่งการทำงานด้วยระบบออนไลน์ของชุดผลิต ไบโอดีเซลขนาดเล็ก วราวุฒิ ศรีสงคราม รุณวัฒน์ หอมเชย วันชาติ สังขวรร โฉ มงคล เรืองโรจน์ และวนิดา ภู่อสร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	341
ES07	การสร้างแบบจำลองระบบอุปสงค์-อุปทานพลังงานของประเทศไทย โดยนำเชื้อเพลิงชีวมวล มาเป็นแหล่งพลังงาน สุรินทร์ แหงงาม ¹ ชีระพล เหมือนขาว ¹ ศศิวรรณ อินทรวงศ์ ¹ และสุทธิ ทับทองดี ² ¹ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ² มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	345
ES08	การประยุกต์ใช้รูปแบบกำหนดการเชิงเส้นสำหรับการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้ง โรงไฟฟ้าชีวมวล กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี กฤษนนท์ สนธิ และสุรินทร์ แหงงาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	349

การเตรียมสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นประเภทแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่อิลเมไนต์ของไทย Preparation of N-Type Semiconductor Nanosheets from Thai Ilmenite Mineral

วิญญู เจริญนอม ธนกรณัฏฐ์ วิรุฬห์มงคล และสรพงษ์ กวสุปรีช์

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ม.1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อําเภอดัชนีบุรี จ. ปทุมธานี 12110 E-mail: sorapongp@yahoo.com

บทคัดย่อ

วัสดุไททานเนตและไททานเนียมไดออกไซด์มีประยุกต์ใช้งานทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เช่น วัสดุสารกึ่งตัวนำชนิด n-type ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง วัสดุบำบัดน้ำเสีย วัสดุตัวเร่งปฏิกิริยา อุปกรณ์ตรวจสอบก๊าซ และอื่นๆ งานวิจัยนี้ได้เตรียมแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่อิลเมไนต์ของไทยซึ่งมีราคาถูกด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากโดยใช้ชุดตั้งปฏิกิริยาที่ผลิตเองในประเทศ มีอุณหภูมิในการเตรียม 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าแร่อิลเมไนต์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ ขณะที่แผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททานเนต (H₂Ti₃O₇) สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มีการจัดเรียงรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายดอกไม้วี มีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงภายใต้แสง UV ได้มากกว่าวัสดุสารกึ่งตัวนำนาโน TiO₂ เซิงพาณิชย์ (P25, JRC-01, JRC-03)

คำสำคัญ: สารกึ่งตัวนำ, แผ่นบางขนาดนาโน, อิลเมไนต์, ไฮโดรเทอร์มอล

Abstract

Titanate and TiO₂ have been widely used for energy and environment applications such as semiconductor n-type in dye-sensitized solar cell, water treatment materials, catalysts, gas sensors, and so on. This research prepared nanosheets from low-cost Thai ilmenite via simple hydrothermal method using at 105 °C for 24 hours a Thai Teflon-lined stainless steel autoclave. Ilmenite mineral (starting material) showed rutile phase while the prepared nanosheets presented titanate structure (H₂Ti₃O₇). The as-prepared flower-like titanate showed higher photocatalytic activity under UV light than those of commercial nano-TiO₂ semiconductor (P25, JRC-01, JRC-03).

Keywords: semiconductor, nanosheets, ilmenite, hydrothermal

1. บทนำ

สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) คือ วัสดุที่มีสมบัติในการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน เป็นวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปมีธาตุเจอร์เมเนียม ซิลิคอน ซีลีเนียม และตะกั่วเทลลูไรด์ เป็นองค์ประกอบหรือสารเจือ ความเป็นตัวนำไฟฟ้าสารกึ่งตัวนำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และสิ่งไม่บริสุทธิ์ที่มีเจือปนอยู่ภายในวัสดุ โดยความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-Type) และสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type) ในส่วนของสารกึ่งตัวนำชนิด N อาจประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะ เช่น ZnO และ TiO₂ [1-5]

ไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นวัสดุที่สำคัญชนิดหนึ่งอยู่ในกลุ่มสารกึ่งตัวนำชนิด n-type ที่มีช่วงแบนด์แกป (band gap) ที่กว้างประมาณ 3.2 eV เป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยในช่วงหลายปีที่ผ่านมาอันเนื่องมาจากการที่ตัวนำมีสมบัติพิเศษในหลาย ๆ ด้าน อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ได้อย่างมากมาย อาทิ เช่น วัสดุกึ่งตัวนำในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง วัสดุบำบัดน้ำเสีย วัสดุตัวเร่งปฏิกิริยา อุปกรณ์ตรวจสอบก๊าซ เป็นต้น [6-7]

โดยทั่วไป TiO₂ สามารถเตรียมได้จากหลายกระบวนการเช่น เช่น แบบคลอไรด์และกระบวนการแบบซัลเฟต แต่กระบวนการทั้งสองยังมีข้อด้อยบางประการ คือ ขั้นตอนการรีดที่ซับซ้อนยุ่งยาก หรืออาจได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการวิธีโซล-เจล (sol-gel) วิธีอิเล็กโทรดโพสิชัน (electrodeposition) วิธีอิเล็กโทรสปินนิง (electrospinning) และวิธีไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal) [8]

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เป็นกระบวนการเตรียมวัสดุนาโนโดยใช้แร่ธาตุชนิดต่างๆ เป็นสารตั้งต้น ซึ่งมีขั้นตอนในการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ใช้อุณหภูมิในการเตรียมไม่สูงมากนัก มีต้นทุนต่ำ การเกิดปฏิกิริยาทำในระบบปิด มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และตัวอย่างที่เตรียมได้มีรูปร่างที่มีความพิเศษคือ มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง เช่น ก่อนนาโนเส้นใยนาโน และแผ่นบางขนาดนาโน [1,8,9,12] จึงมีความสามารถนำไปพัฒนาในการเตรียมวัสดุต่างๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น มีการศึกษานำเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากแร่อิลเมไนต์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลไปใช้ในงานเป็นสารตัวนำชนิดเอ็น

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceedings of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

ข้อไฟฟ้าในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงเพื่อผลิต H_2 จากปฏิกิริยาการแยกน้ำ [8,9,12]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนะการเตรียมวัสดุนาโน TiO_2 ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล จากแร่โอลิมไนท์ราคาถูกของไทย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นสารกึ่งตัวนำที่ตอบสนองปฏิกิริยาโดยใช้แสง

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมวัสดุ

ทำการเตรียมวัสดุนาโน (Nanostructured materials) ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้แร่โอลิมไนท์ของไทยเป็นสารตั้งต้นในการผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 5 M ปริมาตร 2000 ml ในชุดถังปฏิกิริยาที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมและบุด้วยเทฟลอน ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นทำการให้ความร้อนจนถึงปฏิกิริยามีอุณหภูมิ 105 °C พร้อมกับทำการกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เกิดการเย็นตัว ณ อุณหภูมิห้อง และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มากรองและชะล้างด้วย HCl ความเข้มข้น 0.1 M และน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งมีค่า pH เท่ากับ 7 ในขั้นตอนสุดท้ายนำ TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปตรวจสอบ



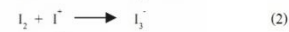
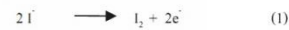
รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

2.2 การวิเคราะห์ลักษณะ

นำตัวอย่างที่ได้ไปตรวจสอบโครงสร้างผลึก โครงสร้างผลึกของตัวอย่างที่ได้จะวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction: X'Pert PRO MPD, PANalytical, Natherlands) โครงสร้างและสัณฐานวิทยาของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM: JSM-6510, JEOL, Japan) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM: JEM-2100, JEOL, Japan) ตามลำดับ

2.3 การวัดการนำไฟฟ้าใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

ในการศึกษาการนำไฟฟ้าใช้งานในเบื้องต้น คณะผู้วิจัยได้นำตัวอย่างที่เตรียมได้มาทำการวัดค่าการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง (Photocatalytic activity) ซึ่งการวัดจะวัดค่าความเข้มข้นของ I_2^- ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันของ I^- เป็น I_2 ในสภาวะที่มี I^- มากเกินพอ ดังสมการที่ 1 และ 2



ทำการเติมผง TiO_2 ที่ 50 mg กับสารละลายโพแทสเซียมไอโอด (Potassium iodide) ในภาชนะ แล้วนำไปวางไว้ในที่ที่อุณหภูมิห้องนั้นทำการให้แสง UV ซึ่งมีความยาวคลื่น 365 nm ที่กำลังไฟฟ้า 15 W ภายใต้การกวน ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการแยกสารละลายด้วยวิธีหมุนเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลาง (Centrifuge) แล้วนำมาทำไทเทรตเป็นจำนวน 10 ครั้ง เพื่อนำไปวัดความเข้มข้นของไอออน ด้วยการใช้เครื่องวัดความยาวคลื่น 288 nm โดยใช้ UV-Vis spectrometer [10]

3. ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่เตรียมได้ (As-synthesized) มีผงสีน้ำตาล ขณะที่แร่โอลิมไนท์ที่เป็นสารตั้งต้นมีสีค่อนข้างดำ อาจเนื่องมาจากอะตอมของเหล็ก (Fe) ถูกละลายหรือชะล้างไปในระหว่างกระบวนการเตรียมด้วย NaOH หรือน้ำกลั่น ตามลำดับ [9] โครงสร้างผลึกของแร่โอลิมไนท์และตัวอย่างที่เตรียมได้ดังในรูปที่ 2 พบว่าแร่โอลิมไนท์มีโครงสร้างผลึกแบบ รูไทล์ (Rutile) ขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททานิต ($H_2Ti_2O_5$) แสดงให้เห็นว่ามีอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งอาจมาจากน้ำกลั่นในกระบวนการเตรียมเป็นส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่เตรียมได้ [8-9] นอกจากนี้ไม่ปรากฏเฟสของรูไทล์หรือสารเจือปนอื่นๆ เช่น เกลือแกง (NaCl) ในตัวอย่างที่เตรียมได้ ซึ่งการที่ไม่พบ Na ในตัวอย่างที่เตรียมได้คือบ่งชี้จากการที่อะตอมของ Na อาจถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการชะล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือน้ำกลั่น โดยเกิดการแทนที่หรือแลกเปลี่ยนกันระหว่างอะตอมของ Na^+ ในสารประกอบ $Na_2Ti_2O_5 \cdot H_2O$ ด้วย H^+ [11-12]

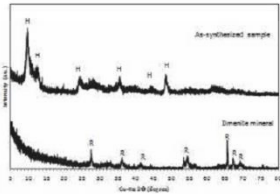
โครงสร้างทางจุลภาคของแร่โอลิมไนท์และตัวอย่างที่เตรียมได้ดังในรูปที่ 3 พบว่าแร่โอลิมไนท์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นมีรูปร่างเป็นอนุภาคเม็ด มีขนาดประมาณ 100-200 μm ส่วนตัวอย่างที่เตรียมได้ (รูปที่ 4) ใช้อัลกอลขนาดอนุภาค a. 5,000 เท่า รูป b. 10,000 เท่า มีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมรูปร่างคล้ายกับดอกไม้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 2-5 μm จากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) (รูปที่ 5.) แสดงให้เห็นถึง

บทความวิจัย

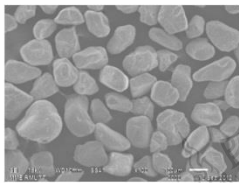
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceedings of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

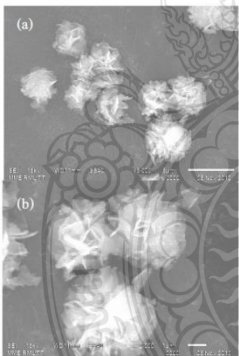
ลักษณะรูปร่างการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมลักษณะคล้ายดอกไม้ซึ่งประกอบขึ้นจากแผ่นบางขนาดนาโนเมตร



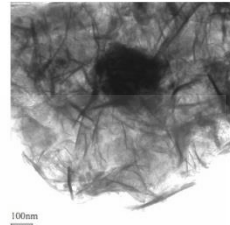
รูปที่ 2 โครดสร้างผลึก (XRD patterns) ของแบริลไมไนท์และตัวอย่างที่เตรียมได้ (H = hydrogen titanate และ R = rutile TiO₂)



รูปที่ 3 ภาพถ่าย SEM ของแบริลไมไนท์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น



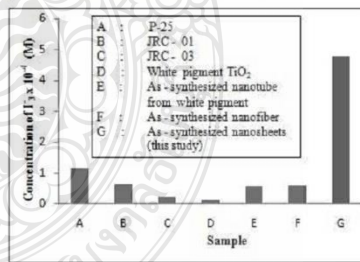
รูปที่ 4 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้กำลังขยาย (a) 5,000 เท่า และ (b) 10,000 เท่า



รูปที่ 5 ภาพถ่าย TEM ของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้

3.2 การวัดการนำไปใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

การนำไปทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของค่าการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง (รูปที่ 6) พบว่าค่าความเข้มข้นของ I₂ จากสารตัวอย่างแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้นั้นมีค่าสูงที่สุดคือค่า 4.8 x 10⁻⁴ M มีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นของ I₂ ของ P25, JRC-01, JRC-03 ซึ่งเป็นวัสดุนาโน TiO₂ เจิงพาณิชย์ ซึ่งมีค่า 1.14 x 10⁻⁴ M, 0.66 x 10⁻⁴ M, 0.25 x 10⁻⁴ M ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของ I₂ จากสารผงสีขาว (White pigment TiO₂), สารสังเคราะห์ที่อนาโนจากผงสีขาว (As-synthesized nanotube from white pigment), สารสังเคราะห์ที่เส้นใยนาโนจากแบริลไมไนท์ (As-synthesized nanofiber) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของ I₂ เป็น 0.15 x 10⁻⁴ M, 0.57 x 10⁻⁴ M, 0.60 x 10⁻⁴ M ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นบางขนาดนาโนที่จัดเรียงตัวเป็นทรงกลมมีรูปร่างคล้ายดอกไม้มีพื้นที่ผิวจำเพาะมีช่องว่างและรูพรุนมากซึ่งส่งผลให้มีการกระตุ้นเชิงแสงได้ดีสามารถนำไปใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงได้ แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุสารกึ่งตัวนำประเภทแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้จากแบริลไมไนท์ของไทยด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลไปประยุกต์ใช้ในงานด้านไฟฟ้าและพลังงาน [6,9-12]



รูปที่ 6 ความเข้มข้นของ I₂ ของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ วัสดุนาโน TiO₂ ที่สังเคราะห์ได้ และวัสดุนาโน TiO₂ เจิงพาณิชย์โดยใช้ระยะเวลาที่ใช้ในการฉายแสง UV เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceedings of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

4. สรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า แผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้จากแอโรเจลในท่อของไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยใช้อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยแอโรเจลในท่อที่มีโครงสร้างหลักแบบรูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีความยาวในแนว 2-5 μm มีความบางของแผ่นขนาดนาโนเมตร แผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้สามารถนำไปใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงได้เป็นอย่างดี

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และ กลุ่มวิจัย Nanotechnology for Textile and Polymer Research Group (NanoTeP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Pavasupree, S. Ngamsinlapasathian, S. Yoshikawa, "Synthesis and dye-sensitized solar cell performance of nanorods/nanoparticles TiO₂ from high surface area nanosheet TiO₂," Journal of Nanoscience and Nanotechnology : 6 (12): 3685-3692, May 2006.

[2] M.A. Batal and F.H. Jneid "Tin Oxide N-Type Semiconductor Inverted to P-Type Semiconductor Prepared by Sol-gel Method", Energy Procedia, 6 pp. 1-10. April 2011

[3] L.C.K. Liao and C.-C. Lin, "Fabrication and Characterization of Fe³⁺-Doped Titania Semiconductor Electrodes with P-N Homojunction Devices", Applied Surface Science, 253 pp. 8798-8801. August 2007

[4] Y. Lu, G. Yi, J. Jia and Y. Liang, "Preparation and Characterization of Patterned Copper Sulfide Thin Films on N-Type TiO₂ Film Surfaces", Applied Surface Science, 256 pp. 7316-7322. July 2010

[5] S. Pavasupree, S. Ngamsinlapasathian, Y. Suzuki and S. Yoshikawa, Materials Letters, 61 pp. 2973-2977. June 2007

[6] M. Grätzel, "Dye-sensitized solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology" C: Photochemistry Reviews, Vol.4(2), pp.145-153. October 2003

[7] M. Grätzel, "Photoelectrochemical cells". Nature International weekly journal of science, Vol. 414(6861), pp.338-344. November 2001

[8] Y. Suzuki, S. Pavasupree, S. Yoshikawa and R. Kawahata, "Natural Rutile-Derived Titanate Nanofibers Prepared by Direct Hydrothermal Processing", Journal of Materials Research, 20 pp. 1063-1070. April 2005

[9] A. Simpraditpan, T. Wirunmongkol, S. Pavasupree, W. Pecharapa, "Simple Hydrothermal Preparation of Nanofibers from Natural Ilmenite Mineral, Ceramics International", <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.09.008>. September 2012

[10] Pavasupree, S. Suzuki, Y. Pivsa-Art, S. Yoshikawa, S. "Preparation and characterization of mesoporous TiO₂ - CeO₂ nanopowders respond to visible wavelength". Journal of Solid State Chemistry, 178: 128-134. February 2005.

[11] J.N. Nian and H. Teng, "Hydrothermal Synthesis of Single-Crystalline Anatase TiO₂ Nanorods with Nanotubes as the Precursor", Journal of Physical Chemistry B, 110 pp. 4139-4198. May 2006

[12] S. Pavasupree, N. Laosiripojana, S. Chuangchote and T. Sagawa, "Fabrication and Utilization of Titania Nanofibers from Natural Leucocene Mineral in Photovoltaic Applications", Japanese Journal of Applied Physics, 50 pp. 01BJ16-1-01BJ16-4. January 2011

ประวัติผู้เขียนบทความ



1. นายวิษณุ เจริญนอม (วศ.บ. (วิศวกรรมปิโตรเคมี และวัสดุพอลิเมอร์) ม.ศิลปากร, กำลังศึกษา วศ.ม. (วิศวกรรมวัสดุ) มทร.ธัญบุรี.) งานวิจัยที่สนใจคือ การสังเคราะห์วัสดุนาโนและพลังงานทดแทน



2. นายชนกรณ์ วิรุณหงกุล (วศ.บ. (วิศวกรรมพอลิเมอร์) มทร.ธัญบุรี) กำลังศึกษา วศ.ม. (วิศวกรรมวัสดุ) มทร.ธัญบุรี.) งานวิจัยที่สนใจคือ การสังเคราะห์วัสดุนาโนและพลังงานทดแทน



3. ดร. สรพทย์ กวสุปรีช์ (วศ.บ. (เทคโนโลยีพลาสติก) มทร.ธัญบุรี, M.Sc. (Energy Science), Ph.D. (Energy Science) Kyoto University งานวิจัยที่สนใจคือ การสังเคราะห์วัสดุนาโน วัสดุสารกึ่งตัวนำจากแร่ไทย พลังงานทดแทน และเทคโนโลยีพลาสติก



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

ร่วมกับ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

Proceedings
IE Network Conference 2013
Green Productivity and Innovation

16 - 18 ตุลาคม 2556

โรงแรม เอวัน เดอะ รอยัล ครุฑ พัทยา ชลบุรี



ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ.ดร.จิตรา รุกิจการพานิช
ผศ.ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ

ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผศ. ดร.กรทิพย์ วัชรปัญญาวงศ์ เตชะเมธีกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ผศ.ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน
ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง
ดร.นัฐธวิกา จันทร์ศรี

ดร.เพ็ญสุดา พันธุ์ธิดำ
ดร.จิตติกร พัฒนพิบูล
อ.จักรินทร์ กลั่นเงิน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล
รศ.ดร.ชนนาค กฤตวรกาญจน์
รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ
รศ.ดร.วิมลลิน เหล่าศิริदार
รศ.ดร.อภิชาติ โสภานแดง
ผศ.ดร.ศักดิ์เกษม รมะมิ่งวงศ์
ผศ.ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ ทัพยาวงศ์

ผศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์
ผศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว
ผศ.ดร.วัสสนัย วรธัญฉวีธา
ผศ.ดร.อรรถพล สมทุคบุต์
ดร.วสวัชร นาคเขียว
ดร.วริษา วิสิทธิ์พานิช
ดร.อนิรุท ไชยจรรวณิช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์
รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์
รศ.วชิระ มีทอง
ผศ.ดร.สุขสันต์ พรหมบุญพงศ์

ผศ.ดร.อภิรักษ์นา อุดมศักดิ์กุล
ผศ.ดร.เจริญชัย โขมพัตราภรณ์
ผศ.ดร.ธัญญา วสุศรี
ผศ.ดร.อิศรทัต พึ่งอัน





ผศ.เฉลิมเกียรติ จิระรุ่งเสถียร
ผศ.เชิดพงษ์ จอมเดช
ผศ.เจริญ สุนทราวาณิชย์
ดร.ปภัศร ชัยวัฒน์
อ.ภัทธีรา ม้วนจั่น

ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์
อ.แบงค์ งามอรุณโชติ
อ.อาวุธ สนใจยุทธ
ผศ.มงคล สีนะวัฒน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผศ.ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์
ผศ.ดร.กุศล พิมาพันธุ์ศรี
ผศ.ดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์

ผศ.ดร.นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร
ดร.ธนสาร อินทรกำธรชัย
ดร.วรพจน์ มีถม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา
อ.ธนกฤต โชติภาวริศ
อ.ธนิดา สุนารักษ์
อ.พัฒนพงษ์ แสงหัตถ์วัฒนา

อ.พรเทพ แก้วเชื้อ
อ.วรินทร์ เกียรติคุณกุล
อ.อรณิชา อุ่นชิดชาญชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รศ.ดร.ณัฐา ศุภชัยเชียร
ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์
ผศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง
ผศ.นฤทธิ์ คชฤทธิ์
ผศ.ไพฑูรย์ พูลสุขโข
ผศ.ไพบุลย์ แยมเมื่อน
ผศ.ศุภเอก ประมูลมา

ผศ.ศรีโร จารุกัญญา
ผศ.สมศักดิ์ แก่นทอง
ผศ.สุรัตน์ ตริยวนพงศ์
ดร.กุลชาติ จุลเพ็ญ
ดร.ชัยยะ ปราณิตพลกรัง
ดร.ระพี ภาณุจนะ
อ.วรญา วัฒนจิตศิริ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ผศ.ดร.นนทโชติ อุตมศรี
ผศ.จักรินทร์ น่วมทิม

ผศ.รพีพร เจริญยศ
ดร.สมพงษ์ ทิริยานนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุโขทัยธรรมาธิราช

รศ.ผกามาศ ผจญแก่แก้ว
รศ.สุภาวดี อธิธรรมากร
รศ.สุณิ ภูสีม่วง
รศ.ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ
ดร.แนวบุญ แยมแสงสังข์

อ.กรรณิการ์ ยี่ม่นาค
อ.จิราบุษ บุตติจัน
อ.บุญชัย วลีธรรมสวัสดิ์
อ.ภูมิ เจือศิริภักดี
อ.อิทธิเดช มูลมั่งมี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดร.จงกล ศรีธร

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รศ.ดร.จิรัชย์ พุทธกุลสมศรี

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ผศ.ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล
ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์
ดร.สมหญิง งามพรประเสริฐ
ดร.สัมพันธ์ รัฐวิบูลย์

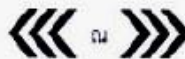
อ.วุฒิกรณ์ จรรย์คันติเวทย์
อ.อรดี พฤติศรีธเนยน์
ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์

มหาวิทยาลัยนครพนม

ดร.บัณฑิต บุญซาว
ดร.วิชัย พัฒนภล
อ.รุจภาภา นันทโพธิ์เดช

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผศ.เสริมสุข บัวเจริญ





มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

รศ.ดร.ไพโรจน์ เนียมมาศ

ผศ.วิชญ์ บัวเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ดร.วีระยุทธ สุตสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ดร.จิรวัดน์ วิมุตติสุขวิริยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รศ.ดร.วิชัย แหวนเพชร

ผศ.ดร.ประณต บุญไชยอภิสิทธิ์

ผศ.อวยชัย วงศ์รัตน์

ดร.อนันตกุล อินทรผดุง

อ.ชาญชัย วัลลิสิต

อ.พิเชษฐ์ รัตนบุญทวี

อ.ภาสุระ อังกุลานนท์

อ.ลักขณา ฤกษ์เกษม

อ.อรมน ปั่นทอง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

อ.ธณิดา โขนงนุช

อ.อลงกรณ์ เมืองไหว

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

อ.เปรมชัย มูลหล้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

รศ.นิตยา สวัสดิพงษ์

ผศ.สุทัศน์ จันบัวลา

ดร.ชาติ ทีฆะ

ดร.ชนินทร์ กุลเศรษฐัญชลี

ดร.สิริวัลร์ เรืองช่วย คู่ประกาย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ผศ.ดร.ชูชาติ พยอม

ผศ.ดร.ณัฐกานต์ พวงไพบูลย์

ผศ.ดร.นิคม ถนขุนทด



มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี

อ.ทิวรัตน์ ศรีราตรี

อ.วสันต์ พลั้วพันธ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

ดร.กันต์ อินทวงศ์

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ผศ.ดร.กฤษดา พิศลยบุตร

ผศ.นุกูล อุบลบาน

ดร.เลิศเลขา ธนะชัยพันธ์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รศ.ธนรัตน์ แต้ววัฒนา

ผศ.ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์

ผศ.ดร.พิลดา หวังพานิช

ผศ.รติรัตน์ กิตติปัญญาพัฒน์

ดร.ณัฐพงษ์ คงประเสริฐ

ดร.พงษ์เพ็ญ จันทนะ

ดร.วราธร ปัญญางาม

ดร.สิริเดช ชาตินิยม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ผศ.ดร.สุพัฒตรา เกษราพงศ์

ผศ.ชวลิต มณีศรี

ดร.อัศวิน วงศ์วิวัฒน์

อ.จักรพันธ์ กัณหา

อ.ธนิน ศรีระมย์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล

รศ.สมชาย ชูโฉม

รศ.วนิดา รัตนมณี

ผศ.ดร.กลางเดือน โภชนา

ผศ.ดร.ธเนศ รัตน์วิไล

ผศ.ดร.นภิสพร มิมงคล

ผศ.ดร.รัชชานา สีนธวาลัย

ผศ.ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์

ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์

ผศ.ดร.อรุณ สังข์พงศ์

ผศ.เจริญ เจตวิจิตร

ผศ.พีเชษฐ ตระการชัยศิริ

ผศ.สงวน ตั้งโพธิธรรม

ผศ.ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี





มหาวิทยาลัยสยาม

รศ.ดร.วันชัย วิจิรวนิช
รศ.ศันสนีย์ สุภาภา
ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วินิทธิ
ผศ.ดร.รัฐวุฒิ ฐันทนคุณ
ผศ.ดร.อาทิตย์ ไสตรโยม

อ.ณัฐพล พุฒยางกูร
อ.ธัชฉนวนท์ แคนเขต
อ.ปณิศา คินดี
อ.พงศ์พัฒน์ เพชรรุ่งเรือง
อ.วิมลพรรณ คงสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

รศ.ดร.สถาพร อมรสวัสดิ์วัฒนา
ผศ.ดร.กาญจนา กาญจนสุนทร

ผศ.ดร.ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์
ดร.วิวัฒน์ชัย พงษ์กษานนท์

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

ดร.นิศากร สมสุข
อ.จิตลดา หมายมั่น

อ.วรลักษณ์ เสถียรรังสฤษฎ์
อ.อรอุมา กอสนาน

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส
ผศ.ดร.คณิศร ภูนิคม
ผศ.ดร.นลิน เพ็ชรทอง
ผศ.ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ
ผศ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ

ผศ.ดร.สมบัติ สิ้นธุเชาวน์
ดร.จรรยาพร แสนทวีสุข
ดร.ธารชดา พันธุ์นิกุล
ดร.สันต์ โอหาพิริยกุล

โรงเรียนนายเรืออากาศ

น.อ.สุทธิ ศรีบูรพา

น.ท.ปัญญารักษ์ โกศลวัฒน์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ผศ.ดร.ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส
ผศ.ดร.พิศุทธิ์ พงษ์ชัยฤกษ์
ผศ.ดร.วราคม เนินน้อย
ผศ.ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ

ดร.กรกฎ เหมสถาปัตย์
ดร.จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์
ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน





สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ดร.วิภู ศรีสืบสาย

ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล

รศ.ดร.วัลย์ลักษณ์ อัครธีรวงศ์

รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

รศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์

รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต

ผศ.ดร.ชุมพล ยวงโย

ดร.พลชัย โชติปราชญกุล

ดร.พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม

ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร

ผศ.จันทร์เพ็ญ อนุรัตน์านนท์

ผศ.วันชัย สีสากวิวงศ์

ดร.กัญญา ทองสนธิ

ดร.คณิศ พลอยคณีย์

ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม

ดร.สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์

อ.กวิณธร สัยเจริญ

มหาวิทยาลัยมหิดล

รศ.ดร.ดวงพรรณ กริชชาญชัย

รศ.ศุภชัย นาทะพันธ์

ผศ.ดร.กนกวรรณ กิ่งผดุง

ผศ.ดร. ดร.ธนกรณ์ แน่นหนา

ผศ.ดร.วเรศรา วีระวัฒน์

ผศ.ดร.สรนาถ ไกรภู

ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย

ดร.จิรพรรณ เลี้ยงโรคาพาธ

ดร.มงคล เทียนวิบูลย์

อ.สิทธิพันธุ์ ตันทิวรรพ์

ดร.รณชัย ศิโรเวฐนกุล

ดร.ศุภชัย ราษฎร์ศิริ

อ.กัญจน์ คณาธารทิพย์

อ.ดวงยศ สุภิกิตย์

อ.ธนา สาดตรา

อ.นพกร ภูระยา

อ.พิมพ์วัลย์ สุตะโคตร





MAT005	ผลกระทบของสภาวะการปั่นหลอมที่มีต่อรูปร่างหน้าตัด สมบัติการสะท้อนแสงและการดูดซับของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด นรรจพร เรืองไพศาล ณรงค์ชัย โอเจริญ นที ศรีสวัสดิ์ จุรีรัตน์ ประสาร และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์	83
MAT006	การปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะผสมอลูมิเนียม -7%ซิลิคอน-1% เหล็ก โดยการเติมโลหะแมงกานีส Al-10%Mn-1%Sr รัฐพงศ์ เจริญเนตร พิสิทธิ์ เมื่อน้อย กิตติชัย พิทักษ์ และ กฤตธี เอียดเหตุ	84
MAT007	การพัฒนาการเตรียมวัสดุท่อนาโนที่มีสมบัติการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงสูงจากแร่โอลิเมนไนท์ของไทยโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ชนกร วิรุฬห์มงคล ณรงค์ชัย โอเจริญ กุลวดี สังข์สนธิ และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์	85
MAT008	ผลกระทบของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างและปฏิกิริยาเชิงแสงของแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไนท์ของไทยที่เตรียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล วิชญ์ เจริญถนอม ชนกร วิรุฬห์มงคล ณรงค์ชัย โอเจริญ และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์	86
MAT009	การศึกษาผลของศูนย์รวมความเค้นในเหล็กกล้า AISI1045 ภายใต้แรงแบบ cyclic เฉลิมพล คล้ายนิล และ พงศกร ทวีตระกูล	87
MAT010	การศึกษาการนำวัชพืชในธรรมชาติมาใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมแผ่นวัสดุผสมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมระหว่างผักตบชวาและพอลิแลคติกแอซิด ประยูร สุรินทร์ และ เจษฎา วงษ์อ่อน	88
MAT011	การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความต้านทานการตกกระแทกของพลาสติกฟิล์ม เดชา สุขมา ประกวาด หงษาชาติ เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ และ ศิริพงศ์ ลัมพาววัฒน์	89
MAT012	การประยุกต์ใช้พีแอลซีสำหรับการควบคุมเครื่องทดสอบแรงดึง เดชา สุขมา ประกวาด หงษาชาติ เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ และ ศิริพงศ์ ลัมพาววัฒน์	90
MAT013	การเตรียมวัสดุแผ่นวัสดุผสมที่เตรียมจากต้นธูปฤาษีและพอลิแลคติกแอซิด เกียรติชัย อ่ำคลองธรรม และ สุนทร มุลทา	91
MAT014	การสร้างตู้เย็นอนุรักษ์พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และแผ่นทำความเย็น พิทักษ์ พนาวัน ประยูร สุรินทร์ และ เจษฎา วงษ์อ่อน	92
MAT015	อิทธิพลของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดและพอลิพีวทีลีนซัคซิเนต ลลิตา จอมแปง ณรงค์ชัย โอเจริญ นที ศรีสวัสดิ์ และ สุภาภรณ์ ทุมสอน	93

กลุ่มบทความที่ 3. Materials Technology (MAT)

- MAT001 การลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์จากการขึ้นรูปโดยวิธีอัดผงโลหะ
สมพงษ์ ทิริยานต์ และ วุฒิพร วันชัย
- MAT002 ศึกษากรรมวิธีการชุบแข็งสำหรับแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์
ชาญยุทธ ตระกูลสรณคมน์ และ สมนึก วัฒนศรียกูล
- MAT003 ผลกระทบของวัสดุชิ้นงานรองรับที่มีต่อการต้านทานการสึกหรอของฟิล์ม PVD
อภิญา พุกษากร วารุณี เปรมานนท์ ปณิตดา เชื้อเพ็ชรต์ และ วิทวัช วงศ์พิศาล
- MAT004 การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้ผิวแข็งของเหล็กกล้าด้วยวิธีแคตคาร์บูไรซิ่ง
กฤษดา ประสพชัยชนะ
- MAT005 ผลกระทบของสภาวะการปั่นหลอมที่มีต่อรูปร่างหน้าตัด สมบัติการสะท้อนแสงและการติดสี
ของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด
นรรจพร เรืองไพศาล ณรงค์ชัย โอเจริญ นที ศรีสวัสดิ์ จุรีรัตน์ ประसार
และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์
- MAT006 การปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะผสมอลูมิเนียม -7%ซิลิคอน-1%
เหล็ก โดยการเติมโลหะแมงกานีส Al-10%Mn-1%Sr
รัฐพงศ์ เจริญเนตร ทิสิทธิ์ เมืองน้อย กิตติชัย พิภพพันธุ์ และ กฤตธี เอียดเหตุ
- MAT007 การพัฒนาการเตรียมวัสดุท่อนาโนที่มีสมบัติการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงสูงจากแร่
โอลิเมนไนท์ของไทยโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล
ธนกร วิรุฬห์มงคล ณรงค์ชัย โอเจริญ กุลวดี สังข์สนธิ์ และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์
- MAT008 ผลกระทบของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างและปฏิกิริยาเชิงแสงของแผ่นบางขนาดนาโน
จากแร่โอลิเมนไนท์ของไทยที่เตรียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล
วิชญ์ เจริญนอม ธนกร วิรุฬห์มงคล ณรงค์ชัย โอเจริญ และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์
- MAT009 การศึกษาผลของศูนย์รวมความเค้นในเหล็กกล้า AISI1045 ภายใต้แรงแบบ cyclic
เฉลิมพล คล้ายนิล และ พงศกร หลีตระกูล
- MAT010 การศึกษานำวัชพืชในธรรมชาติมาใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมแผ่นวัสดุผสมที่เป็นมิตรกับ
สิ่งแวดล้อมระหว่างผักตบชวาและพอลิแลคติกแอซิด
ประยูร สุรินทร์ และ เจษฎา วงษ์อ่อน
- MAT011 การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความต้านทานการตกกระแทกของพลาสติกฟิล์ม
เดชา สุขมา ประกวด หงษาชาติ เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ และ ศิริพงศ์ ลัมพาวีวัฒน์

ผลกระทบของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างและปฏิกิริยาเชิงแสงของแผ่นบาง
ขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไนท์ของไทยที่เตรียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล
Effect of Calcination Temperature on Structural and Photocatalytic Activity of
Nanosheets from Natural Ilmenite Mineral Prepared by Hydrothermal Method

วิษณุ เจริญถนอม¹ ธนกร วิรุฬห์มงคล² ณรงค์ชัย โอเจริญ³ สรพงษ์ ภาวสุปรีดิ์⁴
^{1,2,3,4}ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คลองหก อำเภอธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110 โทร. 02-5493480 โทรสาร. 02-5494383
E-mail: sorapongp@yahoo.com

Wissanu Charerntanom¹ Thanakorn Wirunmongkol² Narongchai O-Charoen³ Sorapong Pavasupree⁴
^{1,2,3,4}Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110
Tel. 02-5493480 Fax. 02-5494383 E-mail: sorapongp@yahoo.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันวัสดุไททาเนตและไททาเนียมไดออกไซด์มีการประยุกต์ใช้งานทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เช่น สารกึ่งตัวนำในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง วัสดุบำบัดน้ำเสีย วัสดุตัวเร่งปฏิกิริยา อุปกรณ์ตรวจสอบก๊าซ และอื่น ๆ งานวิจัยนี้ได้เตรียมแผ่นบางขนาดนาโน จากแร่โอลิเมนไนท์ของไทย ($\text{TiO}_2 \sim 65.40\%$) ซึ่งมีราคาถูกด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากโดยใช้ชุดตั้งปฏิกรณ์ที่ผลิตเองในประเทศ มีอุณหภูมิในการเตรียม 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ผลการศึกษาพบว่าแร่โอลิเมนไนท์มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ ขณะที่แผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททาเนต ($\text{H}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$) แผ่นบางขนาดนาโนมีการจัดเรียงรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายดอกไม้ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 μm แผ่นบางขนาดนาโนมีลักษณะเป็นแผ่นโค้งเล็กน้อยกว้างประมาณ 100 nm ถึง 2 μm และมีความหนาของแผ่นในขนาดนาโนเมตร เมื่อให้อุณหภูมิกับแผ่นบางขนาดนาโนที่ 300-400 $^\circ\text{C}$ พบโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) ที่อุณหภูมิ 500 $^\circ\text{C}$ มีส่วนผสมของโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) และอนาเทส ที่อุณหภูมิ 600-700 $^\circ\text{C}$ มีส่วนผสมของโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์และอนาเทส เมื่อให้อุณหภูมิสูง 800-1000 $^\circ\text{C}$ แสดงการผสมกันของสามโครงสร้างผลึกคือ อนาเทส, รูไทล์และ Fe_2O_3 โครงสร้างแบบรูไทล์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา แผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้มีสมบัติการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงได้ดีกว่าวัสดุนาโน TiO_2 เชิงพาณิชย์ (P25, JRC-01, JRC-03)
คำหลัก แผ่นบางขนาดนาโน โอลิเมนไนท์ ไฮโดรเทอร์มอล การกระตุ้นปฏิกิริยาเชิงแสง

Abstract

Titanate and TiO_2 have been widely used for energy and environment applications such as a semiconductor in dye-sensitized solar cell, water treatment materials, catalysts, gas sensors, and so on. This research prepared nanosheets from low-cost Thai ilmenite ($\text{TiO}_2 \sim 65.40\%$) via simple hydrothermal method at 105°C for 24 hours using a Thai teflon-lined stainless steel autoclave. The prepared samples

were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and transmission electron microscopy (TEM). Ilmenite mineral (starting material) showed rutile phase while the prepared nanosheets presented titanate structure ($H_2Ti_xO_{2x+1}$). The prepared sample showed flower-like morphology with diameter of 2-5 μm . The nanosheets structure was slightly curved and approximately 100 nm to 2 μm in width and several nanometers in thickness. The as-synthesized nanosheets calcined at 300-400 $^{\circ}C$ showed TiO_2 (B) whereas the nanosheets calcined at 500 $^{\circ}C$ revealed mixture of two phases of TiO_2 (B) and anatase and 600-700 $^{\circ}C$ revealed mixture of two phases of rutile and anatase. The nanosheets calcined at high temperature of 800-1000 $^{\circ}C$ showed a mixture of tri-crystalline of anatase, rutile, and Fe_2O_3 . The rutile phase increased with increasing calcinations temperature. Additionally, The prepared samples showed the highest photocatalytic activity than those of the commercial TiO_2 nanoparticles (P25, JRC-01, JRC-03).

Keywords: nanosheets ilmenite hydrothermal photocatalytic activity

1. บทนำ

การเตรียมวัสดุขนาดนาโนจากไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และไททาเนตนั้น (Titanate) ได้รับความสนใจอย่างหลากหลาย เนื่องมาจากสมบัติพิเศษในหลายๆด้าน อีกทั้งยังนำไปประยุกต์ใช้ในทางด้านต่างๆ ได้อย่างมากมาย อาทิเช่น วัสดุกึ่งตัวนำในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง วัสดุบำบัดน้ำเสีย วัสดุตัวเร่งปฏิกิริยา อุปกรณ์ตรวจสอบก๊าซ เป็นต้น [1-3] โดยทั่วไป TiO_2 สามารถเตรียมได้จากหลายกระบวนการ เช่น กระบวนการวิธีโซล-เจล (sol-gel) กระบวนการวิธีอิเล็กโตรเดโพสิชัน (electrodeposition) กระบวนการวิธีอิเล็กโตรสปินนิง (electrospinning) [4-8] และ กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal) [9-14]

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เป็นกระบวนการเตรียมวัสดุนาโนโดยใช้แร่ธาตุชนิดต่างๆ เป็นสารตั้งต้น ซึ่งมีขั้นตอนในการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ใช้อุณหภูมิในการเตรียมไม่สูงมากนัก มีต้นทุนวัสดุต่ำ และตัวอย่างที่เตรียมได้มีรูปร่างที่มีความพิเศษคือ มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง เช่น ท่อนาโน เส้นใยนาโน และแผ่นบางขนาดนาโน [1,9-11,14] เช่นมีการศึกษานำเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากแร่โอลิเมนไนท์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลไปใช้ในงานเป็นสารวัสดุกึ่งตัวนำชนิดอินทรีย์ไฟฟ้าในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงเพื่อผลิต H_2 จากปฏิกิริยาการแยกน้ำ [10-11,14]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอผลของอุณหภูมิ การเผาต่อโครงสร้างและปฏิกิริยาเชิงแสงของแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไนท์ของไทยที่เตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมวัสดุ

ทำการเตรียมวัสดุนาโน (Nanostructured materials) ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้แร่โอลิเมนไนท์ของไทยเป็นสารตั้งต้นในการผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 5 M ปริมาตร 2000 ml ในชุดตั้งปฏิกิริยาที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมและบุด้วยเทฟลอน ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นทำการให้ความร้อนจนถึงปฏิกิริยามีอุณหภูมิ 105 $^{\circ}C$ พร้อมกับทำการกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เกิดการเย็นตัว ณ อุณหภูมิห้อง และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มากรองและชะล้างด้วย HCl ความเข้มข้น 0.1 M และน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งมีค่า pH เท่ากับ 7 ในขั้นตอนสุดท้ายนำ TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำสารตัวอย่างไปเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}C$, 200 $^{\circ}C$, 300 $^{\circ}C$, 400 $^{\circ}C$, 500 $^{\circ}C$, 600 $^{\circ}C$, 700 $^{\circ}C$, 800 $^{\circ}C$, 900 $^{\circ}C$, 1000 $^{\circ}C$ ตามลำดับ แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปตรวจสอบ



รูปที่ 1 ชุดตั้งปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

2.2 การวิเคราะห์ลักษณะ

นำตัวอย่างที่ได้ไปตรวจสอบ โครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction: X'Pert PRO MPD, PANalytical, Natherlands) , รูปร่างและขนาดของตัวอย่างที่สังเคราะห์ ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM: JEOL, JSM-6510, Japan) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM: JEOL, JEM-2100, Japan)ตามลำดับ

2.3 การวัดการการนำไปใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง

ในการศึกษาการนำไปใช้งานในเบื้องต้น คณะผู้วิจัยได้นำตัวอย่างที่เตรียมได้มาทำการวัดค่าการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง (Photocatalytic activity) โดยทำการวัดจากค่าความเข้มข้นของ I_2^- ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันของ I^- เป็น I_2 ในสภาวะที่มี I^- มากเกินพอ ดังสมการที่ 1 และ 2



ทำการเติมผง TiO_2 ที่ 50 mg กับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide) ในภาชนะ แล้วนำไปวางไว้ในที่ที่อับแสง จากนั้นทำการให้แสง UV ซึ่งมีความยาวคลื่น 365 nm ที่กำลังไฟฟ้า 15 W ภายใต้การกวน ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น

ทำการแยกสารละลายด้วยวิธีหมุนเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลาง (Centrifuge) แล้วนำมาทำให้เจือจางเป็นจำนวน 10 ครั้ง เพื่อนำไปวัดความเข้มข้นของไอออนด้วยการดูดซับคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 288 nm โดยใช้ UV-Vis spectrometer [15]

3. ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าแร็อลเมไนท์ที่เป็นสารตั้งต้นมีสีค่อนข้างดำ ขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมได้ (As-synthesized) มีผงสีน้ำตาล เนื่องมาจากอะตอมของเหล็ก (Fe) ถูกละลายหรือ ซะล้างไปในระหว่างกระบวนการเตรียมด้วย NaOH หรือน้ำกลั่น [11] โครงสร้างผลึกของแร็อลเมไนท์และตัวอย่างที่เตรียมได้ดังแสดงในรูปที่ 2a พบว่า แร็อลเมไนท์มีโครงสร้างผลึกแบบ รูไทล์ (Rutile) ขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททานเด (H₂Ti_xO_{2x+1}) แสดงให้เห็นว่ามีอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งอาจมาจากน้ำกลั่นในกระบวนการเตรียมเป็นส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่เตรียมได้ [8,15-16] นอกจากนี้ไม่ปรากฏเฟสของรูไทล์หรือสารเจือปนอื่นๆ เช่น เกลือแกง (NaCl) ในตัวอย่างที่เตรียมได้ ซึ่งการที่ไม่พบ Na ในตัวอย่างที่เตรียมได้อธิบายได้จากการที่อะตอมของ Na อาจถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการชะล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือน้ำกลั่น โดยเกิดการแทนที่หรือแลกเปลี่ยนกันระหว่างอะตอมของ Na⁺ ในสารประกอบ Na₂Ti₂O₅·H₂O ด้วย H⁺ [12-13,15] โครงสร้างทางจุลภาคของแร็อลเมไนท์แสดงในรูปที่ 3 พบว่า แร็อลเมไนท์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นมีรูปร่างเป็นอนุภาคเม็ด มีขนาดประมาณ 200-300 μm ส่วนตัวอย่างที่เตรียมได้ (รูปที่ 4a) มีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มโดยจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมรูปร่างคล้ายกับดอกไม้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 2-5 μm จากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) (รูปที่ 5a) แผ่นบางขนาดนาโนมีลักษณะเป็นแผ่นโค้งเล็กน้อย กว้างประมาณ 100 nm ถึง 2 μm และมีความหนาของแผ่นในขนาดนาโนเมตร [9]

ภาพที่ 2a แสดงผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของแร็อลเมไนท์, ตัวอย่างที่เตรียมได้ (As-synthesized), สารตัวอย่างที่เผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 °C,

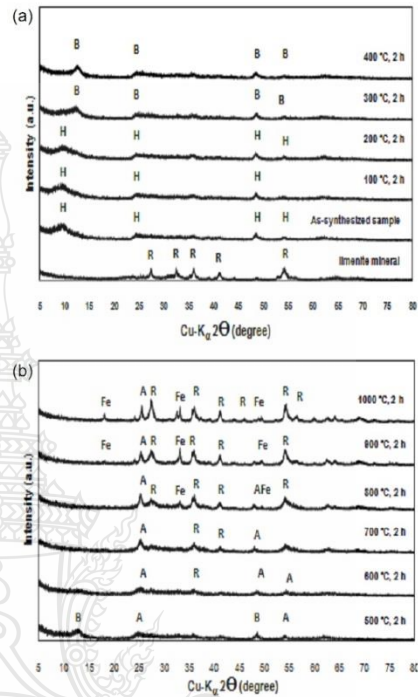
200 °C, 300 °C, 400 °C ตามลำดับ เมื่อให้อุณหภูมิกับแผ่นบางขนาดนาโนที่ 100-200 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบโครงสร้างผลึกแบบไฮโดรเจนไททาเนต ($H_2Ti_3O_7$) [17-19] เมื่อเพิ่มอุณหภูมิกับแผ่นบางขนาดนาโนที่ 300-400 °C แผ่นบางขนาดนาโนมีการปลดปล่อยไฮโดรเจน (dehydrated) มีการจัดเรียงโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) และโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น[13,16] ภาพที่ 4b แสดงภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสารตัวอย่างที่เผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 400 °C พบว่าแผ่นบางขนาดนาโนมีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมรูปร่างคล้ายกับดอกไม้ แต่บริเวณปลายของกลีบดอกมีขนาดเล็กเนื่องจากได้รับความร้อนจากการเผา [20-21] ยืนยันจากภาพที่ 5b แสดงการหดตัวของแผ่นบางนาโนมันเข้าหากัน

ภาพที่ 2b แสดงผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของสารตัวอย่างที่เผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C, 1000 °C ตามลำดับ เมื่อเผาสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 500 °C พบโครงสร้างของผลึกมีส่วนผสมของโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) และโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส โครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเปลี่ยนเป็นโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส [16]

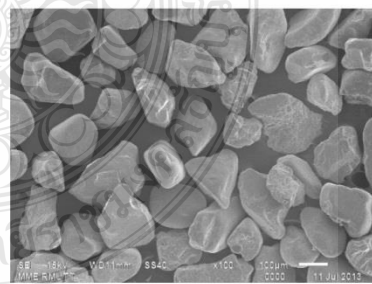
เมื่อให้อุณหภูมิสูง 600-700 °C พบการผสมกันของสองโครงสร้างผลึก คือ อนาเทส, รูไทล์ โครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) หายไป โครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เพิ่มขึ้น [16] ภาพที่ 4c แสดงภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสารตัวอย่างที่เผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700 °C พบว่าแผ่นบางขนาดนาโนหดตัวและมีบางส่วนกลายเป็นอนุภาคขนาดนาโน [20-21] (ภาพที่ 5c)

ที่อุณหภูมิ 800-1,000 °C โครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาและพบว่ามีผลผสมกันของสามโครงสร้างผลึก คือ อนาเทส, รูไทล์และ Fe_2O_3 เกิดขึ้น [16] ภาพที่ 4d แสดงภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสารตัวอย่างที่เผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1,000 °C พบว่าสารตัวอย่างมีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการจัดเรียงตัว

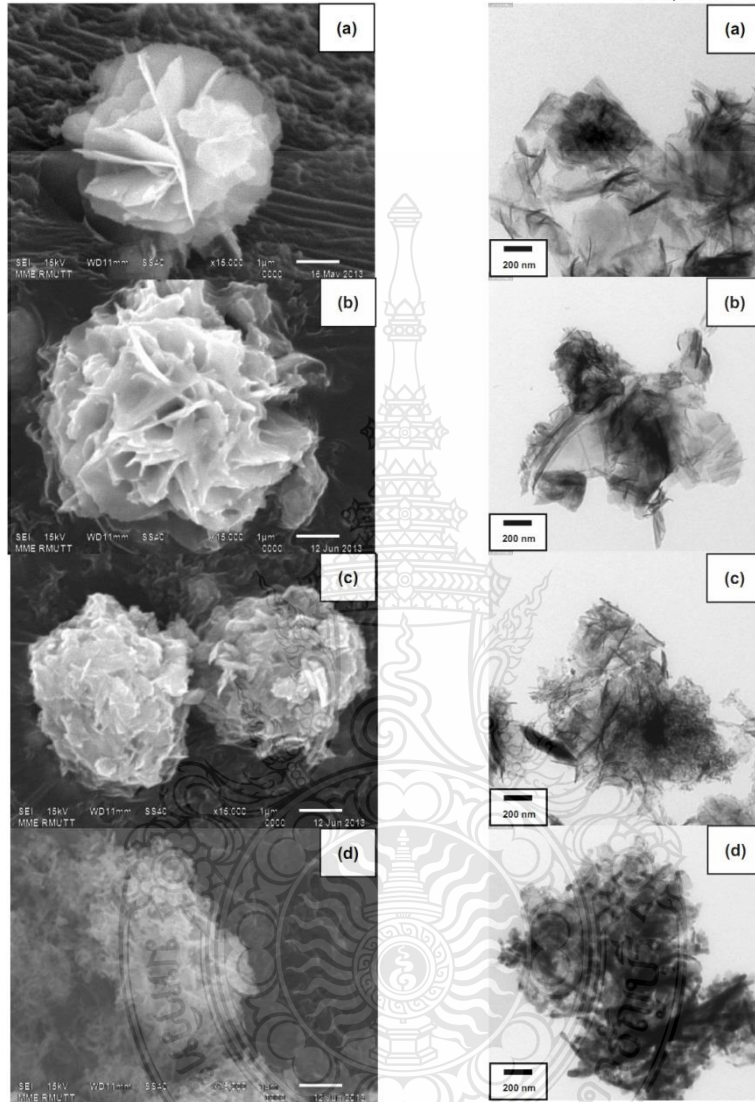
คล้ายทรงกลม มีขนาดก่อนอนุภาคเพิ่มมากขึ้น(ภาพที่ 5d)



รูปที่ 2 โครงสร้างผลึก (XRD patterns) ของ (a) แร่เอลเมไนท์และตัวอย่างที่เตรียมได้, สารตัวอย่างที่เผาอุณหภูมิ 100 – 400 °C (b) สารตัวอย่างที่เผาอุณหภูมิ 500 – 1,000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (A = anatase TiO_2 , B = TiO_2 (B), H = hydrogen titanate, Fe = Fe_2O_3 , R = rutile TiO_2)



รูปที่ 3 ภาพถ่าย SEM ของแร่เอลเมไนท์ที่ทำสิ่งขยาย 100 เท่า



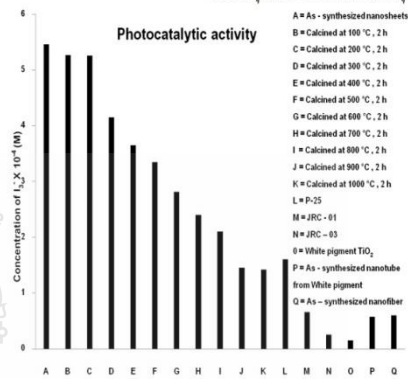
รูปที่ 4 ภาพถ่าย SEM ของ (a)แผ่นบางนาโนที่เตรียมได้ (b)ของสารตัวอย่างที่เผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C (c) 700 °C (d) 1,000 °C ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

รูปที่ 5 ภาพถ่าย TEM ของ (a)แผ่นบางนาโนที่เตรียมได้ (b)ของสารตัวอย่างที่เผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C (c) 700 °C (d) 1,000 °C

3.2 การวัดการนำไปใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง (ความเข้มข้นของ I_2^-)

การนำไปทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของค่าการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสง (รูปที่ 6) พบว่าค่าความเข้มข้นของ I_2^- จากสารตัวอย่างแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้นั้นมีค่าสูงที่สุดคือค่า 5.46×10^{-4} M มีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นของ I_2^- ของ P25, JRC-01, JRC-03 ซึ่งเป็นวัสดุนาโน TiO_2 เซิงพาณิชย์ มีค่า 1.61×10^{-4} M, 0.66×10^{-4} M, 0.25×10^{-4} M ตามลำดับ และมีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นของ I_2^- จากสารผงสีขาว (White pigment TiO_2), สารสังเคราะห์ที่อนาโนจากผงสีขาว (As - synthesized nanotube from white pigment), สารสังเคราะห์เส้นใยนาโนจากแร่โอลิเมไนท์ (As - synthesized nanofiber) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของ I_2^- เป็น 0.15×10^{-4} M, 0.57×10^{-4} M, 0.60×10^{-4} M ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นบางขนาดนาโนมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ส่งผลให้มีค่าการกระตุ้นเชิงแสงได้ดี [9]

เมื่อนำแผ่นบางขนาดนาโนมาให้ความร้อนพบว่า ความเข้มข้นของ I_2^- มีค่าลดลงตามอุณหภูมิการเผาที่เพิ่มขึ้น (100 - 1,000 °C) ที่อุณหภูมิ 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C, 1000 °C มีค่าของค่าความเข้มข้นของ I_2^- เป็น 5.26×10^{-4} M, 5.25×10^{-4} M, 4.15×10^{-4} M, 3.66×10^{-4} M, 3.34×10^{-4} M, 2.82×10^{-4} M, 2.40×10^{-4} M, 2.11×10^{-4} M, 1.45×10^{-4} M, 1.42×10^{-4} M, ตามลำดับ เนื่องจาก เมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้แผ่นบางขนาดนาโนหดตัวและเกิดการเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มอนุภาคทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงส่งผลให้มีค่าการกระตุ้นเชิงแสงลดลง [20-21]



รูปที่ 6 การกระตุ้นปฏิกิริยาเชิงแสง (ความเข้มข้นของ I_2^-) ของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ วัสดุนาโน TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้ วัสดุนาโน TiO_2 เซิงพาณิชย์ และผลของอุณหภูมิการเผาของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ (100 - 1,000 °C)

4. สรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า แผ่นบางขนาดนาโนเตรียมได้จากแร่โอลิเมไนท์ของไทยโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลด้วยชุดถังปฏิกรณ์ที่ผลิตเองภายในประเทศ ที่อุณหภูมิในการเตรียม 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยแร่โอลิเมไนท์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ขณะที่แผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททาเนต ($H_2Ti_2O_{2n+1}$) แผ่นบางขนาดนาโนมีการจัดเรียงรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายดอกไม้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-5 μm แผ่นบางขนาดนาโนมีลักษณะเป็นแผ่นโค้งเล็กน้อยกว้างประมาณ 100 nm ถึง 2 μm และมีความหนาของแผ่นในขนาดนาโนเมตรเมื่อให้อุณหภูมิกับแผ่นบางขนาดนาโนที่ 300-400 °C พบโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) ที่อุณหภูมิ 500 °C มีส่วนผสมของโครงสร้างผลึกแบบ TiO_2 (B) และอนาเทส ที่อุณหภูมิ 600-700 °C มีส่วนผสมของโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์และอนาเทส เมื่อให้อุณหภูมิสูง 800-1000 °C แสดงการผสมกันของสามโครงสร้างผลึกคือ อนาเทส, รูไทล์ และ Fe_2O_3 โครงสร้างแบบรูไทล์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา แผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้มีสมบัติการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้แสงได้ดีกว่า วัสดุนาโน TiO_2 เซิงพาณิชย์ (P25, JRC-01, JRC-03)

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และ กลุ่มวิจัย Nanotechnology for Textile and Polymer Research Group (NanoTeP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pavasupree, S., Ngamsinlapasathian, S. and Yoshikawa, S. 2006. Synthesis and Dye-Sensitized Solar Cell Performance of Nanorods/Nanoparticles TiO₂ from High Surface Area Nanosheet TiO₂. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 6 (12): 3685-3692.
- [2] Grätzel, M. 2003. Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 4(2): 145-153.
- [3] Grätzel, M. 2001. Photoelectrochemical cells. *Nature*, 414(6861): 338-344.
- [4] Batal, M.A. and Jneid F.H. 2011. Tin Oxide N-Type Semiconductor Inverted to P-Type Semiconductor Prepared by Sol-gel Method. *Energy Procedia*, 6: 1–10.
- [5] Liao, L.C.K. and Lin, C.C. 2007. Fabrication and Characterization of Fe³⁺-Doped Titania Semiconductor Electrodes with P-N Homojunction Devices. *Applied Surface Science*, 253: 8798–8801.
- [6] Lu, Y., Yi, G., Jia J. and Liang, Y. 2010. Preparation and Characterization of Patterned Copper Sulfide Thin Films on N-Type TiO₂ Film Surfaces. *Applied Surface Science*, 256: 7316–7322.
- [7] Cai, Z., Li, J. and Wang, Y. 2010. Fabrication of Zinc Titanate Nanofibers by Electrospinning Technique. *Journal of Alloys and Compounds*, 489(1): 167–169.
- [8] Ayllon, J.A., Figueras, A., Garelik, S., Spirkova, L., Durand, J. and Cot, L. 1999. Preparation of TiO₂ Powder Using Titanium Isopropoxide Decomposition in a Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) Reactor. *Journal of Materials Science Letters*, 18: 1319-1321.
- [9] Pavasupree, S., Ngamsinlapasathian, S., Suzuki, Y. and Yoshikawa S. 2007. Preparation and Characterization of High Surface Area Nanosheet Titania with Mesoporous Structure. *Materials Letters*, 61: 2973–2977.
- [10] Suzuki, Y., Pavasupree, S., Yoshikawa, S. and Kawahata, R. 2005. Natural Rutile-Derived Titanate Nanofibers Prepared by Direct Hydrothermal Processing. *Materials Research*, 20: 1063–1070.
- [11] Simpraditpan, A., Wirunmongkol, T., Pavasupree, S. and Pecharapa, W. 2013. Simple Hydrothermal Preparation of Nanofibers from Natural Ilmenite Mineral. *Ceramics International*, 39: 2497 – 2502.
- [12] Pavasupree, S., Suzuki, Y., Pivsa-Art, S. and Yoshikawa, S. 2005. Preparation and Characterization of Mesoporous TiO₂ - CeO₂ Nanopowders Respond to Visible Wavelength. *Journal of Solid State Chemistry*, 178: 128-134.
- [13] Nian, J.N. and Teng, H. 2006. Hydrothermal Synthesis of Single-Crystalline Anatase TiO₂ Nanorods with Nanotubes as the Precursor. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110: 4139–4198.
- [14] Pavasupree, S., Laosiripojana, N., Chuangchote, S. and Sagawa, T. 2011. Fabrication and Utilization of Titania Nanofibers from Natural Leucoxene Mineral in Photovoltaic Applications. *Journal of Applied Physics*, 50: 01BJ16-1–01BJ16-4.

- [15] Sakulkaemaruehai, S., Pavasupree, S., Yoshikazu, S. and Yoshikawa S. 2005. Photocatalytic Activity of Titania Nanocrystals Prepared by Surfactant-Assisted Templating Method—Effect of Calcination Conditions. *Materials Letters*, 59: 2965 – 2968.
- [16] Simpraditpan, A., Wirunmongkol, T., Pavasupree, S. and Pecharapa, W. 2013. Effect of Calcination Temperature on Structural and Photocatalytic Properties of Nanofibers Prepared from Low-Cost Natural Ilmenite Mineral by Simple Hydrothermal Method. *Materials Research Bulletin*, 48: 3211–3217.
- [17] Suzuki, Y., Pavasupree, S., Yoshikawa, S. and Kawahata, R. 2006. Direct Hydrothermal Processing of Long Titanate Nanofibers from Natural Rutile. *Key Engineering Materials*, 317-318: 243-246.
- [18] Testino A., Bellobono I.R., Buscaglia V., Canevali C., D'Arienzo M., Polizzi S., Scotti R. and Morazzoni F. 2007. Optimizing the Photocatalytic Properties of Hydrothermal TiO₂ by the Control of Phase Composition and Particle Morphology. A Systematic Approach. *Journal of The American Chemical Society*, 129(12): 3564–3575.
- [19] Kasuga, T., Hiramatsu, M., Hoson, A., Sekino, T. and Niihara, K. 1998. Formation of Titanium Oxide Nanotube. *Langmuir*, 14: 3160-3163.
- [20] Simpraditpan, A., Wirunmongkol, T., Boonwatcharapunsakuna, W., Pivsa-arta, S., Duangduenb, C., Sakulkaemaruehaib, S. and Pavasupree, S. 2011. Preparation of High Photocatalyst Mesoporous TiO₂ from Nanosheets Using Autoclave Unit (Thai Made). *Energy Procedia*, 9: 440 – 445.
- [21] Yoshida, R., Suzuki, Y. and Yoshikawa, S. 2005. Effects of Synthetic Conditions and Heat Treatment on the Structure of Partially ion Exchanged Titanate Nanotubes. *Materials Chemistry and Physics*, 91: 409–416.

รางวัลทางวิชาการที่ได้รับ

1. 2nd Best innovation award (Commercial Innovation Award)

W. Charerntanom, T. Wirunmongkol, and S. Pavasupree, “Preparation of Nanosheets from Thai Ilmenite Mineral for Additive in Biodegradable Polymer for Fruit UV Protection Film,” 4th National Nanotechnology Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, March 28-29, 2013.

2. Outstanding paper award (Energy and Energy Saving)

W. Charerntanom, T. Wirunmongkol, and S. Pavasupree, “Preparation of N-Type Semiconductor Nanosheets from Thai Ilmenite Mineral,” *Electrical Engineering Network 2013 of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)*, Hua Hin Grand Hotel and Plaza, Hua Hin, Prachuabkhirikhan, Thailand, March 27-29, 2013. pp. 321-324.

3. Outstanding paper award

W. Charerntanom, T. Wirunmongkol, N. O-Charoen, and S. Pavasupree, “Effect of Calcination Temperature on Structural and Photocatalytic Activity of Nanosheets from Natural Ilmenite Mineral Prepared by Hydrothermal Method,” Proceeding, Industrial Engineering Network Conference 2013 (IE NETWORK 2013), The Royal Cruise Hotel, Chonburi, Thailand, October 16-18, 2013, MAT008.

การประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีระดับประเทศ ครั้งที่ 4

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ขอเชิญเข้าร่วมการประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยี

หัวข้อ

“นวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีกับการประยุกต์ใช้วัสดุนาโน”

[นาโนคาร์บอน, นาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO), นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂)]

ซึ่งด้วยพระราชทาน
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

28-29 มีนาคม 2556

ณ หอประชุมใหญ่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รางวัลแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

นวัตกรรมเชิงพาณิชย์

นวัตกรรมความคิดสร้างสรรค์

นวัตกรรมเพื่อประโยชน์ต่อสาธารณชน

เปิดรับสมัครเข้าประกวดเป็น 2 ระดับ

ระดับมัธยมศึกษา ระดับอุดมศึกษาและบุคคลทั่วไป

(สมัครด่วนภายในวันที่ 20 มีนาคม 2556)

ผู้สนใจเข้าประกวด download แบบฟอร์มและเงื่อนไขการสมัครที่ www.nano.kmitl.ac.th

และขอรับตัวอย่างวัสดุนาโนพร้อมทั้งสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทร 0823323616, 02-3298000 ต่อ 3074, 3034 โทรสาร 02-3298265 Email: nanokmitl@hotmail.com, Website: www.nano.kmitl.ac.th



NANOTEC
a member of NSTDA

THEP
CENTER





การเตรียมแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิมไนท์ของไทยเพื่อประยุกต์ใช้เป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับฟิล์มกันแสง UV ห่อผลไม้



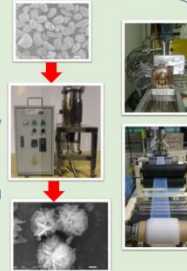
วิญญู เจริญถนอม ธนกรรณ วีรพนมมงคล สรพงษ์ กวสุปรีย์
 ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 39 ม.1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ลำลูกกา จ. ปทุมธานี 12110
 Tel. 02-5493480 Fax. 02-5494383 E-mail: sorapongp@yahoo.com

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

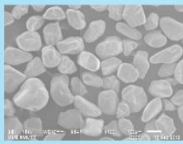
1. เพื่อเตรียมแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิมไนท์ของไทย
2. เพื่อศึกษสมบัติต่างๆของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้
3. เพื่อทดลองนำแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้เป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์

ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย

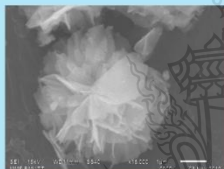
1. เตรียมแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่โอลิมไนท์ของไทย โดยวิธีการไฮโดรเทอร์มอล
2. ศึกษาสมบัติต่างๆของแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้ เช่น ขนาด รูปร่าง โครงสร้างผลึก และสมบัติเชิงแสง
3. ทดลองนำแผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้เป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับฟิล์มกันแสง UV ห่อผลไม้



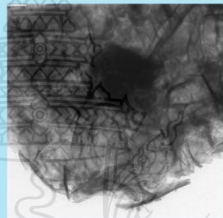
ผลการดำเนินงานวิจัย



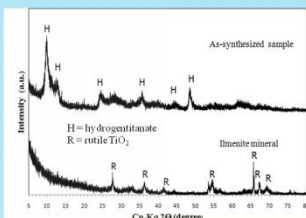
รูปที่ 1. แร่โอลิมไนท์



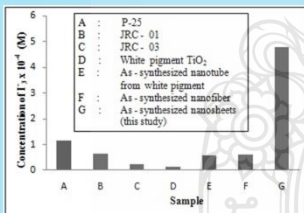
รูปที่ 2. แผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้



รูปที่ 3. แผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้



รูปที่ 4. ผลการทดลอง XRD ของสารสังเคราะห์

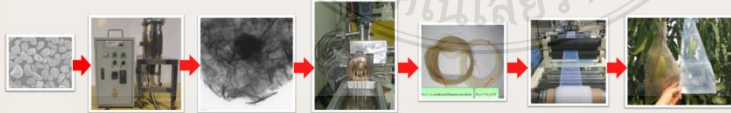


รูปที่ 5. ความเข้มข้นของ TiO₂ ของแผ่นบางขนาดนาโนสังเคราะห์ วัสดุอนุภาค TiO₂ ที่สังเคราะห์ได้ และโอลิมไนท์ TiO₂ ที่เติมแต่งในโพลิเมอร์พลาสติกที่ขึ้นรูปภายใต้แสง UV เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



สรุปการวิจัย

1. แผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์จากแร่โอลิมไนท์ของไทยสามารถนำไฮโดรเทอร์มอล
2. โดยใช้จุดสังเคราะห์ที่ผลิตออกมาเป็นประเทศ โดยแร่โอลิมไนท์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบรูทีล จะดี แผ่นบางขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททาเนต (H₂Ti₂O₇) มีลักษณะอยู่รวมกันเป็นอนุภาคขนาดรูปร่างผลึกผลึกเดี่ยว มีความแข็งแรงของแผ่นบางขนาดนาโน
3. แผ่นบางขนาดนาโนที่เตรียมได้สามารถนำไปใช้เป็นการ นำไปประยุกต์เป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (PLA) เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากแสง UV เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



แนวทางการนำผลการดำเนินงานไปใช้ประโยชน์

วัสดุแผ่นบางนาโนที่เตรียมได้สามารถนำไปใช้เป็นการ นำไปประยุกต์เป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (PLA) เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากแสง UV เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปใช้สำหรับห่อผลไม้สดได้ โดยสามารถใช้งานได้เป็นเวลานาน

Acknowledgements

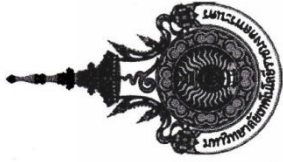


2nd Best innovation award (Commercial Innovation Award)



Outstanding paper award (Energy and Energy Saving)





การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5
The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET2013)

ขอขอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า

วิษณุ เจริญนอม ชนกรณ์ วิรุฬห์มงคล และสรพงษ์ ภาสุปรีย์

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5
ระหว่างวันที่ 27-29 มีนาคม พ.ศ.2556 ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

๑.๑๘

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลภา ภูษา

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประธานจัดงานประชุมวิชาการ EENET2013

2. Outstanding paper award (Energy and Energy Saving)

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5
The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET2013)

เกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

วิษณุ เจริญถนอม ฐนกรณ์ วิรุฬห์นงมงคล และสรพงษ์ ภาสุปรีย์
ผู้เขียนบทความวิจัยเรื่อง

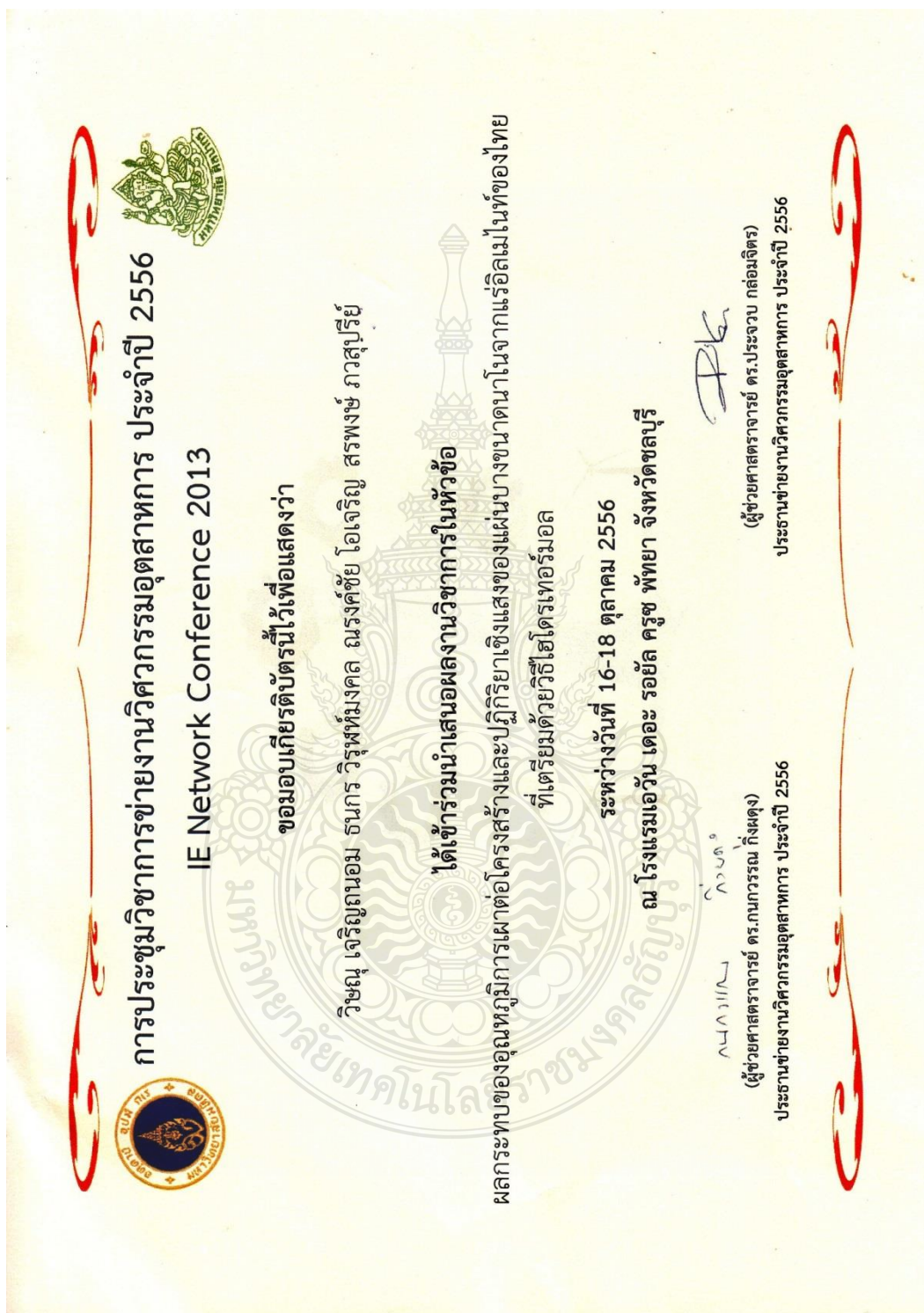
การเตรียมสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นประเภทแผ่นบาง ขนาดนาโนจากแร่โอลิเมนไทย

ได้รับการพิจารณาให้เป็นบทความดีเด่นสาขาพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน

อ.ณัฐ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ ภูผา)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ประธานจัดงานประชุมวิชาการ EENET2013

The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET2013)
27-29 มีนาคม 2556 ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

1. Outstanding paper award (Best Paper)



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวิษณุ เจริญถนอม
วัน เดือน ปีเกิด	12 กันยายน 2526
ที่อยู่	110/15 หมู่ 1 ตำบลหนองแสง อำเภอกวาปีปทุม จังหวัดมหาสารคาม 44120
การศึกษา	ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประสบการณ์การทำงาน	หัวหน้าแผนกพิมพ์ บริษัท ฟุจิ เนม (ไทยแลนด์) จำกัด วิศวกรฝ่ายผลิต (Section Leader) บริษัท มณีมงคล อิมพอร์ต เอ็กซ์พอร์ต จำกัด
พ.ศ. 2550-2551	
พ.ศ. 2552-2555	
พ.ศ. 2555-ปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัยกลุ่มวิจัย Nanotechnology for Textile and Polymer Research Group (NanoTeP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์	08-4767-1388
อีเมล	Wayuthep@hotmail.com