

การเตรียม, การวิเคราะห์ลักษณะ และสมบัติโฟโตโวลตาอิก
ของท่อนาโนไททาเนตจากวัสดุราคาถูก



นายพิสุทธิ์ เจริญรัตน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION, CHARACTERIZATION AND PHOTOVOLTAIC PROPERTIES OF
NANOTUBE TITANATE FROM LOW COST MATERIALS



Mr. Pisut Charoenrat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเตรียม, การวิเคราะห์ลักษณะ และสมบัติโฟโตโวลตาอิก

ของท่อนาโนไททานเนตจากวัสดุราคาถูก

โดย

นายพิสุทธิ เจริญรัตน์

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

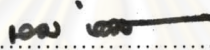
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร โทณานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

อาจารย์ ดร. สรพงษ์ ภาสุปรีย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

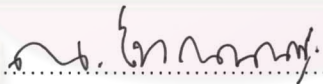


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

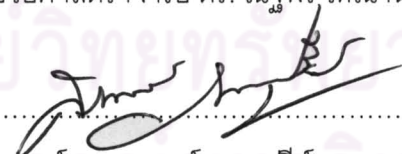
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. อนันต์ สุทธิธาราชวัช)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร โทณานนท์)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. สรพงษ์ ภาสุปรีย์)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วงศ์ ปวราจารย์)



..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. สิงห์โต สุกุลเหมฤทัย)

พิสุทธิ เจริญรัตน์ : การเตรียม, การวิเคราะห์ลักษณะ และสมบัติโฟโวลตาอิกของ
 ท่อนาโนไททาเนตจากวัสดุราคาถูก (PREPARATION, CHARACTERIZATION
 AND PHOTOVOLTAIC PROPERTIES OF NANOTUBE TITANATE FROM LOW
 COST MATERIALS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร
 โทณานนท์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อาจารย์ ดร. สรพงษ์ ภวสุปรีย์, 94 หน้า.

ปัจจุบันวัสดุไททาเนตและไททาเนียมไดออกไซด์มีการประยุกต์ใช้ในงานทางด้าน
 พลังงานและสิ่งแวดล้อม เช่น วัสดุกึ่งตัวนำในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง วัสดุบำบัด
 น้ำเสีย วัสดุตัวเร่งปฏิกิริยา อุปกรณ์ตรวจสอบก๊าซ และอื่นๆ ในงานวิจัยนี้ท่อนาโนไททาเนต
 ถูกสังเคราะห์ขึ้นผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโดยการผสมวัสดุราคาถูก(ผงสีขาวไททาเนียม
 ไดออกไซด์และแร่ลูโคซีน)ลงในโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ
 100 - 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง รูปร่าง ขนาด โครงสร้างผลึก พื้นที่ผิวจำเพาะ
 ของท่อนาโนที่เตรียมได้ ถูกวิเคราะห์โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) และเครื่องวัด
 พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) จากการศึกษาพบว่าท่อนาโนไท
 ทาเนตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 8 - 10 นาโนเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง
 ภายในประมาณ 3 - 4 นาโนเมตร ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) และปริมาตรรูพรุน
 ของท่อนาโนที่เตรียมจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์และแร่ลูโคซีน 251.96 ตร.ม./กรัม,
 1.0248 ลบ.ซม./กรัม และ 144.79 ตร.ม./กรัม, 1.0335 ลบ.ซม./กรัม ตามลำดับ ซึ่งวิธีการ
 เตรียมนี้เป็นวิธีการเตรียมที่ไม่ยุ่งยากสำหรับวัสดุท่อนาโนจากวัสดุราคาถูก และนำวัสดุท่อนา
 โนที่เตรียมได้ไปทดลองประยุกต์ใช้ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยเมื่อผสม
 วัสดุท่อนาโนไททาเนตกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)จะให้ประสิทธิภาพ(η)
 2.77% และ 3.16% สำหรับวัสดุท่อนาโนไททาเนตจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์และแร่ลู
 โคซีน ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อ.....พิสุทธิ เจริญรัตน์.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....อ.โทณานนท์.....
 ปีการศึกษา 2553.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5170598021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : NANOTUBE / TITANATE / HYDROTHERMAL / WHITE PIGMENT /
LEUCOXENE / DYE-SENSITIZED SOLAR CELL

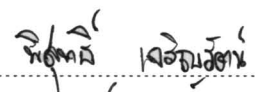
PISUT CHAROENRAT: PREPARATION, CHARACTERIZATION AND
PHOTOVOLTAIC PROPERTIES OF NANOTUBE TIANATE FROM LOW COST
MATERIALS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. NATTAPORN TONANON,
D.Eng, THESIS CO-ADVISOR: SORAPONG PAVASUPREE, Ph.D., 94 pp.

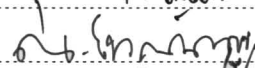
Titanate and TiO_2 have been widely used for energy and environment applications such as a semiconductor in dye-sensitized solar cell, water treatment materials, catalysts, gas sensors, and so on. In this study, titanate nanotubes were synthesized via hydrothermal method from low-cost materials (white pigment powder and natural Leucoxene mineral) in 10M NaOH at 100-110 °C for 24 h. The shape, size, crystalline structures and specific surface areas of the prepared nanotubes were characterized by Scanning electron microscopy (SEM), Transmission electron microscopy (TEM), X-ray diffraction (XRD), and Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area measurements. The prepared titanate nanotubes had an average outer diameter of around 8–10 nm and the inner diameter around 3–4 nm. The BET surface area and pore volume of the prepared titanate nanotubes from white pigment and natural Leucoxene mineral were about 251.96 m^2/g , 1.0248 cm^3/g and 144.79 m^2/g , 1.0335 cm^3/g , respectively. This preparation method provides a simple route to fabricate nanotubes from low-cost materials. The prepared nanotubes could be applied in dye-sensitized solar cell, which had the solar conversion efficiency(η) up to 2.77 and 3.16% when combined commercial TiO_2 (P25) with prepared titanate nanotubes from white pigment and natural Leucoxene mineral, respectively.

Department : Chemical Engineering

Field of Study : Chemical Engineering

Academic Year : 2010

Student's Signature 

Advisor's Signature 

Co-Advisor's Signature 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากหลายๆฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร โทณานนท์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร. สรพงษ์ ภวสุปรีย์ เป็นอย่างสูงที่ให้ทั้งคำแนะนำปรึกษาและ ความช่วยเหลือในทุก ด้าน จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จและ เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. อภินันท์ สุทธิธรรวัช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรงค์ ปวรอาจารย์ และอาจารย์ ดร. สิงห์โต สกุลเขมฤทัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อผิดพลาดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ในด้าน วัสดุ เครื่องมือในการทำวิจัย และเครื่องมือวิเคราะห์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี บริษัท สิ้นแร่สาคร จำกัด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และสถาบันพัฒนา เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC) ภายใต้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สวทช.)

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.) เลขที่ 530 ภายใต้หัวข้อโครงการ “การพัฒนาประสิทธิภาพของ Semiconductor electrode และ Dye สำหรับ Dye-sensitized solar cell (DSSC)”

ขอขอบพระคุณ คุณธนกร วิรุฬห์มงคล สำหรับความช่วยเหลือในหลายๆด้าน ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ตลอดจน เพื่อนๆ พี่ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่สนับสนุนทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ ทุกท่านที่มีส่วนให้ความสนับสนุนช่วยเหลือ รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย สำหรับคุณความดีอันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์หรือโฟโตโวลตาอิกเซลล์.....	4
2.1.1 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	4
2.1.2 หลักการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	6
2.2 สารกึ่งตัวนำในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	8
2.2.1 ไททาเนียมไดออกไซด์.....	8
2.2.2 โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์.....	8
2.2.3 แหล่งที่พบโลหะไททาเนียม.....	10
2.2.4 วัสดุท่อนาโนจากไททาเนียมไดออกไซด์.....	11

2.2.5 การเกิดท่อนาโนจากไททาเนียมไดออกไซด์.....	12
2.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มัล.....	13
2.3.1 บทอธิบายทั่วไป.....	13
2.3.2 กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลกับไททาเนียมไดออกไซด์.....	15
2.4 ทบทวนวรรณกรรม.....	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 รายชื่อวัสดุและสารเคมี.....	25
3.2 รายชื่อเครื่องมือและอุปกรณ์.....	26
3.3 วิธีการทดลอง.....	33
3.3.1 การสังเคราะห์วัสดุท่อนาโนไททาเนตจากวัสดุราคาถูก ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล.....	33
3.3.2 การศึกษาลักษณะและสมบัติทางกายภาพของวัสดุท่อนาโนไททาเนต ที่เตรียมได้.....	34
3.3.3 การทดลองประยุกต์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดสียอมไวแสง.....	35
3.3.3.1 การผสมสารสกรีนวัสดุท่อนาโนไททาเนต.....	35
3.3.3.2 การประกอบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง.....	36
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	38
4.1 การวิเคราะห์ลักษณะวัสดุท่อนาโนไททาเนต.....	38
4.1.1 องค์ประกอบของวัตถุดิบเริ่มต้น.....	38
4.1.2 ลักษณะโครงสร้างของวัสดุท่อนาโนไททาเนต.....	39

4.1.3	พื้นที่ผิวจำเพาะและลักษณะกับขนาดรูพรุนของวัสดุท่อนาโนไททานเดต.....	49
4.1.4	โครงร่างผลึกของวัสดุท่อนาโนไททานเดต.....	54
4.2	การทดลองประยุกต์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	59
4.2.1	วัสดุท่อนาโนไททานเดตในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	59
4.2.2	การปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จากวัสดุท่อนาโนไททานเดตโดยใช้อนุภาคเม็ดนาโนไททานเนียมไดออกไซด์	60
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	64
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	64
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	65
	รายการอ้างอิง.....	66
	ภาคผนวก.....	71
	ภาคผนวก ก.....	72
	ภาคผนวก ข.....	74
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	94

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงแหล่งที่มาของโลหะไททาเนียมและสัดส่วนของไททาเนียมไดออกไซด์ในแร่	10
ตารางที่ 2.2 แสดงรายงานที่กล่าวถึงไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ผ่านวิธีไฮโดร-เจล.....	19
ตารางที่ 2.3 แสดงรายงานที่กล่าวถึงไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ผ่านวิธีไฮโดรเทอร์มัล	20
ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของวัสดุไททาเนียมไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วย เครื่องเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนส์.....	39
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของสารตัวอย่าง.....	50
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุท่อนาโนไททาเนต ที่นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	50
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อใช้ วัสดุท่อนาโนไททาเนตที่เตรียมจากวัสดุราคาถูกเป็นขั้วอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับ ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25).....	59
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อใช้ วัสดุท่อนาโนไททาเนตที่เตรียมจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ผสมกับ ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)ในสัดส่วนต่างๆเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	60
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อใช้ วัสดุท่อนาโนไททาเนตที่เตรียมจากแร่ลูโคซีนผสมกับ ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)ในสัดส่วนต่างๆเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	61
ตารางที่ ข 1 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)เป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	74
ตารางที่ ข 2 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้แร่ลูโคซีนเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	76
ตารางที่ ข 3 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	78

ตารางที่ ข 4 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้แร่ลูโคซีนผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(20:80) เป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	80
ตารางที่ ข 5 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้แร่ลูโคซีนผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(10:90) เป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	82
ตารางที่ ข 6 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้แร่ลูโคซีนผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(5:95) เป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	84
ตารางที่ ข 7 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ ใช้ผงสีขาวไททานเนียมไดออกไซด์ผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25) (50:50)เป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	86
ตารางที่ ข 8 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ ใช้ผงสีขาวไททานเนียมไดออกไซด์ผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25) (20:80)เป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	88
ตารางที่ ข 9 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ ใช้ผงสีขาวไททานเนียมไดออกไซด์ผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25) (10:90)เป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	90
ตารางที่ ข 10 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ ใช้ผงสีขาวไททานเนียมไดออกไซด์ผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25) (5:95)เป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	92

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	5
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในรูปแบบต่างๆ.....	5
รูปที่ 2.3	แผนภาพแสดงหลักการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	6
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างสีย้อมจากสารประกอบธาตุอินทรีย์.....	7
รูปที่ 2.5	แผนภาพแสดงการกระตุ้นอิเล็กตรอนอิสระบนสีย้อมไวแสงหลังการรับแสง.....	7
รูปที่ 2.6	แผนภาพแสดงตำแหน่งแถบพลังงานของสารประกอบชนิดต่างๆ.....	9
รูปที่ 2.7	แสดงโครงร่างผลึกแบบรูไทล์และอะนาเทสของไททาเนียมไดออกไซด์.....	9
รูปที่ 2.8	ภาพถ่าย TEM ของท่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์โดย ดร. ศาซูกะ.....	11
รูปที่ 2.9	แผนภูมิต้นไม้แสดงกิ่งก้านความสัมพันธ์ของกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล.....	14
รูปที่ 2.10	กระบวนการซัลเฟต.....	15
รูปที่ 2.11	กระบวนการคลอไรด์.....	16
รูปที่ 2.12	แสดงตัวอย่างหม้อนึ่งความดัน(Autoclave).....	17
รูปที่ 3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	24
รูปที่ 3.2	ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ราคาถูกลง.....	26
รูปที่ 3.3	แร่ลูโคซีน.....	26
รูปที่ 3.4	แบบจำลองถึงปฏิกรณ์แบบควบคุมอุณหภูมิ.....	27
รูปที่ 3.5	ถึงปฏิกรณ์แบบควบคุมอุณหภูมิ.....	27
รูปที่ 3.6	ชุดกรองสุญญากาศ.....	28
รูปที่ 3.7	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	28
รูปที่ 3.8	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM).....	29
รูปที่ 3.9	เครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET).....	29
รูปที่ 3.10	เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD).....	30

รูปที่ 3.11 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF).....	30
รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์.....	31
รูปที่ 3.13 เครื่องวัดความหนาชั้นฟิล์ม.....	31
รูปที่ 3.14 ชุดแบบพิมพ์ซิลค์สกรีน.....	32
รูปที่ 3.15 แผนภาพแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุท่อนานาไททาเนตจากวัสดุราคาถูก ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล.....	33
รูปที่ 3.16 แสดงขั้นตอนการผสมสารสกรีน.....	35
รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟไดอิเล็กทริก.....	36
รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการเตรียมขั้วแคโทดอิเล็กทริกและการนำไปประกอบเป็น เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	37
รูปที่ 4.1 ภาพถ่าย SEM ของผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ (ก) สารตั้งต้น และ (ข) หลังการสังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	40
รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย TEM ของผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ (ก) สารตั้งต้น และ (ข) หลังการสังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	41
รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของแร่ลูโคซีน (ก) สารตั้งต้น และ (ข) หลังการสังเคราะห์ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	42
รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย TEM ของท่อนานาไททาเนตจากแร่ลูโคซีนหลังการสังเคราะห์ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	43
รูปที่ 4.5 ภาพถ่าย SEM ของไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh (ก) สารตั้งต้น และ (ข) หลังการสังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	44
รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย TEM ของท่อนานาไททาเนตจากไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh หลังการสังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	45
รูปที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ หลังการสังเคราะห์ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	47

รูปที่ 4.8	ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ หลังการสังเคราะห์ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	47
รูปที่ 4.9	ภาพถ่าย SEM ของท่อนาโนไททาเนตจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ หลังการสังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	48
รูปที่ 4.10	ภาพถ่าย SEM ของท่อนาโนไททาเนตจากแร่ลูโคซีน หลังการสังเคราะห์ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	48
รูปที่ 4.11	ไอโซเทอร์มการดูดซับ/คายซับก๊าซไนโตรเจนของวัสดุท่อนาโนไททาเนต จากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์.....	51
รูปที่ 4.12	ไอโซเทอร์มการดูดซับ/คายซับก๊าซไนโตรเจนของวัสดุท่อนาโนไททาเนต จากแร่ลูโคซีน	52
รูปที่ 4.13	ไอโซเทอร์มการดูดซับ/คายซับก๊าซไนโตรเจนของวัสดุท่อนาโนไททาเนต จากไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh.....	52
รูปที่ 4.14	ไอโซเทอร์มการดูดซับ/คายซับก๊าซไนโตรเจนของวัสดุเส้นใยนาโน จากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์.....	53
รูปที่ 4.15	โครงร่างผลึกของวัสดุดิบตั้งต้น.....	55
รูปที่ 4.16	โครงร่างผลึกของผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ที่สภาวะต่างๆ.....	56
รูปที่ 4.17	โครงร่างผลึกของแร่ลูโคซีนที่สภาวะต่างๆ.....	57
รูปที่ 4.18	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อผสมวัสดุท่อนาโนไททาเนตจากวัสดุราคาถูกลงกับไททาเนียมไดออกไซด์ เชิงพาณิชย์(P25)ในสัดส่วนต่างๆ.....	62
รูปที่ 4.19	แผนภาพจำลองการเกาะตัวของวัสดุท่อนาโนไททาเนตกับอนุภาคเม็ดนาโน ของP25ในสัดส่วนที่ต่างกัน.....	63

รูปที่ ข 1	IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวท์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ เชิงพาณิชย์(P25)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1.....	75
รูปที่ ข 2	IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวท์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ เชิงพาณิชย์(P25)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2.....	75
รูปที่ ข 3	IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวท์ที่ใช้แร่ลูโคซีนเป็นขั้วอิเล็กโทรด ตัวอย่างที่ 1.....	77
รูปที่ ข 4	IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวท์ที่ใช้แร่ลูโคซีนเป็นขั้วอิเล็กโทรด ตัวอย่างที่ 2.....	77
รูปที่ ข 5	IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวท์ที่ใช้ ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1.....	79
รูปที่ ข 6	IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวท์ที่ใช้ ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2.....	79
รูปที่ ข 7	IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวท์ใช้ท่อนาโนไททาเนตจาก แร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(20:80) เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1.....	81
รูปที่ ข 8	IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวท์ใช้ท่อนาโนไททาเนตจาก แร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(20:80) เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2.....	81
รูปที่ ข 9	IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวท์ใช้ท่อนาโนไททาเนตจาก แร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(10:90) เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1.....	83
รูปที่ ข 10	IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวท์ใช้ท่อนาโนไททาเนตจาก แร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(10:90) เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2.....	83

- รูปที่ ข 20 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้
ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)
(5:95)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2..... 93



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พลังงานนับเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์โลกและยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาความ เป็นอยู่ ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือน เช่น เป็นแหล่งพลังงานในการผลิต เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนยานพาหนะ หรือเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม เป็นต้น แต่จากการเติบโตและขยายตัวอย่างรวดเร็วของประชากรโลก ทำให้ความต้องการในการใช้พลังงานด้านต่างๆสูงขึ้น ตามไปด้วย แต่จากความเป็นจริง ของพลังงานที่มีอยู่บนโลกมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรโลก และแหล่งพลังงานที่นำมาใช้นั้นส่วนใหญ่มาจากแหล่งธรรมชาติ ซึ่งในวงจรธรรมชาติเองนั้นต้องใช้เวลาในการฟื้นฟูเป็นเวลานาน ทำให้มีนักวิชาการและนักวิจัยจำนวนมากมีความกังวลต่อสมดุลธรรมชาติที่วุ่นวายและเกิดความคิดที่จะนำแหล่งพลังงานที่มีมากและไม่วันหมดอย่างพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งประเทศไทยนั้นตั้งอยู่ในภูมิภาคที่มีอากาศร้อนชื้นและมีแสงอาทิตย์ส่องตลอดปี จึงทำให้มีความเหมาะสมที่จะนำพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดมาใช้ทดแทนพลังงานต่างๆ ซึ่งจะสามารถลดมลภาวะทางอากาศและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์หรือที่เรียกว่าโฟโตโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic cell)[1]เป็น สิ่งประดิษฐ์ที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเซลล์ พลังงานแสงอาทิตย์ นั้นได้มีการพัฒนาและวิจัยมาตลอดระยะเวลาหลายสิบปี และมีการคิดค้นพัฒนาขึ้นมาหลายประเภท ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell)[2-5]ที่กำลังเป็นที่สนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นเซลล์ที่ประกอบ ง่าย น้ำหนักเบา และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญภายในเซลล์ก็คือ สารกึ่งตัวนำ ที่โดยส่วนมากแล้วจะเป็นสารประกอบจำพวกโลหะออกไซด์ เช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นต้น

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การเตรียมวัสดุขนาดนาโนจากไททาเนียมไดออกไซด์และไททานेट[6-10]นั้นได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องมาจากการที่ตัวไททาเนียมไดออกไซด์นั้น มีสมบัติพิเศษในหลายๆด้าน อีกทั้งยังนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆได้อย่างมากมาย อาทิเช่น วัสดุที่ตัวนำในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง วัสดุบำบัดน้ำเสีย วัสดุตัวเร่งปฏิกิริยา อุปกรณ์ตรวจสอบก๊าซ เป็นต้น

ยิ่งไปกว่านั้น จากการค้นพบคาร์บอนที่มีโครงสร้างระดับนาโน [11]นั้นเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้ นักวิจัยหันมาสนใจการวิจัย และพัฒนาวัสดุที่มีโครงสร้างระดับนาโน ดังนั้นการค้นคว้าวิจัยไททาเนียมไดออกไซด์และไททานेटระดับนาโนจึงแพร่หลายขึ้นมา เพราะจากสมบัติพิเศษ คือ การมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาดูดซับแสง จึงทำให้เป็นที่ดึงดูดและสนใจของนักวิจัยในการศึกษาและพัฒนา โดยในปัจจุบันมีกระบวนการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ระดับนาโนหลายวิธี เช่น วิธีโซลเจล วิธีอิมัลชัน โตรเคโพลีเมอร์ และวิธีไฮโดรเทอร์มัล เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่นำเอา วัสดุราคาถูก (ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ และ แร่ลูโคซีน) ซึ่งหาซื้อได้ง่ายในประเทศมาสังเคราะห์เป็นท่อนาโนไททานेटด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มัลในสารละลายอัลคาไลน์โดยใช้ชุดถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเอง ในประเทศ และได้ทดลองนำเอาวัสดุท่อนาโนที่เตรียมได้ไปทดลองประยุกต์ใช้ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งจะเป็นทางเลือกใหม่ในการนำวัสดุราคาถูกมาใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อนำไปใช้งานในด้านต่างๆได้อย่างหลากหลายในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 สังเคราะห์ท่อนาโน ไททานेटจากวัสดุที่มีราคาถูก และหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศ เช่น ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ และแร่ลูโคซีนที่มีราคาถูก ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล โดยใช้ชุดถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเองในประเทศ

1.2.2 ศึกษาลักษณะ , รูปร่าง , โครงสร้างผลึก และพื้นที่ผิวจำเพาะ ของวัสดุที่สังเคราะห์จากวัสดุราคาถูก

1.2.3 ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า ของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้วัสดุท่อนานาโนเป็นขั้วอิเล็กโทรด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ทำการสังเคราะห์ท่อนานาโนไททาเนต จากสารตั้งต้น ที่มีราคาถูก ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโดยใช้ชุดถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเองในประเทศ ได้แก่

1.3.1.1 ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์

1.3.1.2 แร่ลูโคซีน

1.3.2 ศึกษารูปร่าง, ลักษณะ, ขนาดของผลึก, โครงสร้างรูพรุน และพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุท่อนานาโนไททาเนตที่เตรียมได้

1.3.3 ศึกษาสมบัติโฟโตโวลตาอิกเซลล์ ของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้วัสดุท่อนานาโนที่เตรียมได้เป็นขั้วอิเล็กโทรด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถสังเคราะห์วัสดุท่อนานาโนไททาเนตจากวัสดุราคาถูกด้วย วิธีไฮโดรเทอร์มัลโดยใช้ชุดถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเองในประเทศ

1.4.2 เข้าใจสมบัติทางกายภาพของท่อนานาโนไททาเนตที่เตรียมได้

1.4.3 สามารถนำไป ทดลอง ประยุกต์ใช้ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์ให้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์หรือโฟโตโวลตาอิกเซลล์

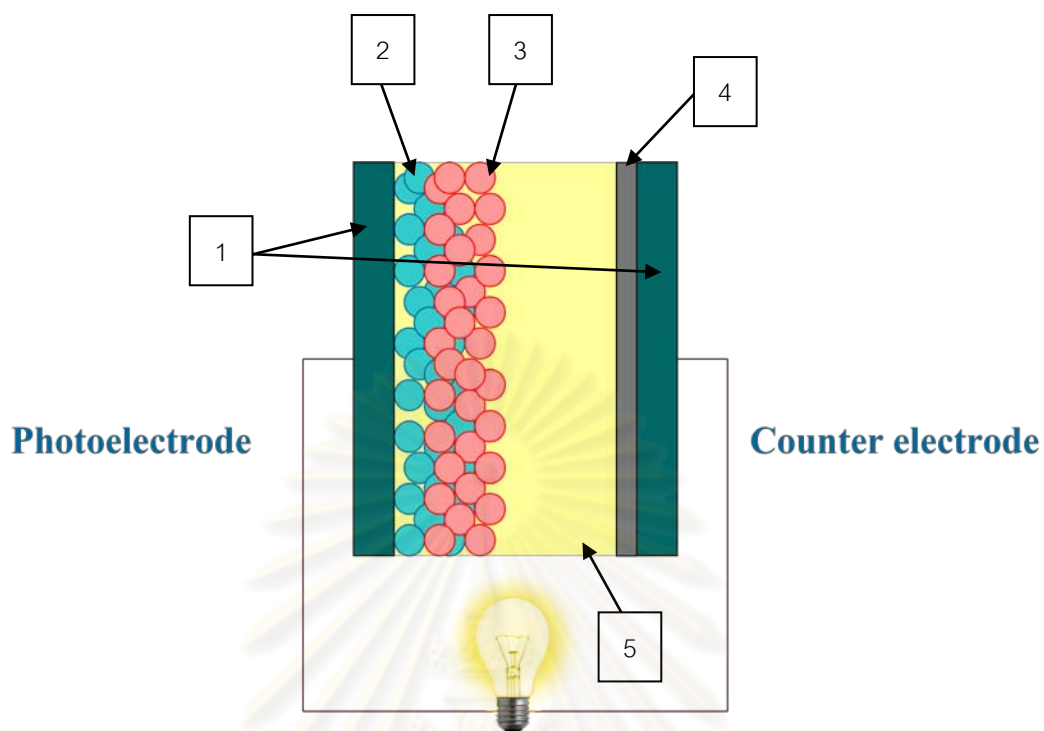
เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ปัจจุบันถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงอื่นๆ เนื่องจากใช้แสงอาทิตย์ซึ่งมีอยู่โดยปกติที่ ทั่วทุกพื้นที่และไม่มีวันเสื่อมสลายหมดลง โดยหลักการการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ คือ การเปลี่ยนคลื่นพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์หรือที่เรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า “โฟโตโวลตาอิกเซลล์” มีวิวัฒนาการมายาวนานหลายสิบปี ในช่วงแรกของการค้นพบนั้น จะเป็นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนซึ่งมีขนาดใหญ่ และ ขณะทำงานยังก่อให้เกิดมลภาวะตามมา ซึ่งต่อมามีการวิจัยและพัฒนาเรื่อยมาเกิดเป็นเซลล์ชนิดต่างๆ[1] เช่น

1. เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน
2. เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้สารประกอบหมู่ 3-5
3. เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางผลึกรวม (โพลีคริสตัลไลน์)
4. เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2.1.1 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เนื่องจากเป็นวัสดุที่เบา ประกอบขึ้นได้โดยง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงถูกคิดค้นขึ้นมาในปี ค.ศ.1991 โดยศาสตราจารย์ ดร. ไมเคิล แกรทเซิล (Prof. Dr. Michael Graetzel) และทีมงาน[2-5] โดยเซลล์ชนิดนี้ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

1. กระจกนำไฟฟ้าฟลูออรีนโดปทินออกไซด์(FTO)
2. สารกึ่งตัวนำ เช่น สารประกอบโลหะออกไซด์
3. สีย้อมไวแสง
4. ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น แพลตตินัม
5. สารละลายอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (1. กระจกนำไฟฟ้า, 2. ชั้นไททาเนียมไดออกไซด์, 3. สีย้อมไวแสง, 4. ชั้นแพลทตินัม และ 5. สารละลายอิเล็กโทรไลต์)

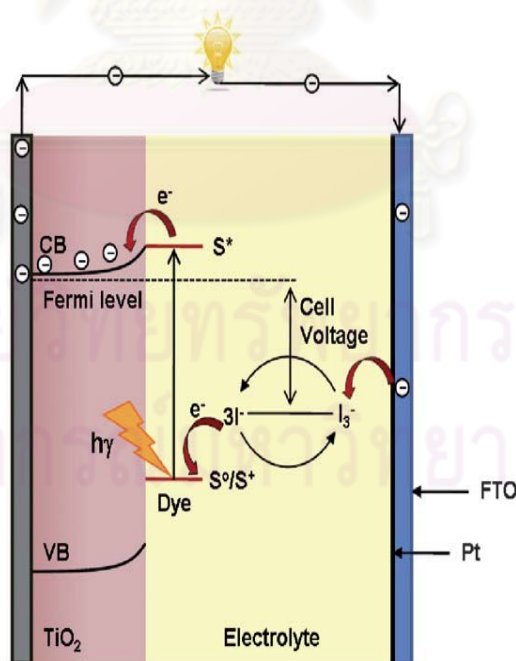


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในรูปแบบต่างๆ
(<http://kuroppe.tagen.tohoku.ac.jp/~dsc/modules/company.htm>)

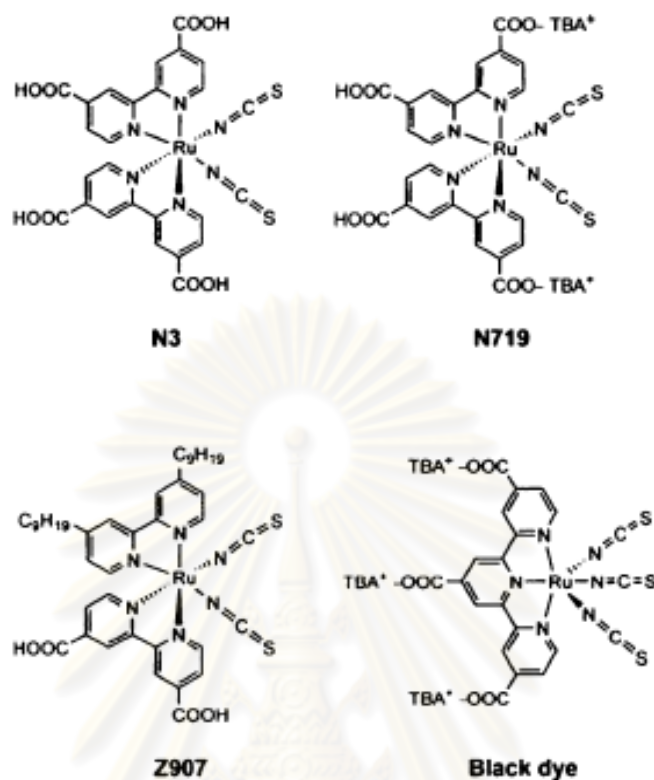
นอกจากนี้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงยังเป็นที่สนใจต่อนักวิจัยมากมายในการพัฒนาในส่วนต่างๆเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของเซลล์ที่เพิ่มขึ้น โดยในปัจจุบันเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้สามารถให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 12% ซึ่งเป็นผลการทดลองของศาสตราจารย์ ดร. ไมเคิล แกรทเซลนั่นเอง

2.1.2 หลักการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

หลักการทำงานของเซลล์ พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (รูปที่ 2.3) เป็นหลักการง่ายๆคล้ายกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช กล่าวคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบกระจก นำไฟฟ้าฝั่งรับแสงหรือฝั่งโฟโต้โวลต์ โทโรดทำให้อิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในสีย้อมไวแสง ซึ่งทั่วไปนิยมใช้เป็นสารประกอบรูเทเนียม(Ru)(รูปที่ 2.4) ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุสารกึ่งตัวนำถูกกระตุ้นจากชั้นวาเลนซ์(valence band) ขึ้นไปแล้วตกมายังบนชั้นนำไฟฟ้า(conductive band) ของวัสดุสารกึ่งตัวนำ (รูปที่ 2.5) จากนั้นจึงมีการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังฝั่งแคโทดหรืออิเล็กโทรดซึ่งมีการเคลือบแพลทตินัมซึ่งเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยารีดอกซ์ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่กั้นอยู่ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองฝั่งเพื่อทดแทนอิเล็กตรอนอิสระที่หลุดหายไปจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เสียไปให้สีย้อม ในช่วงที่ถูกกระตุ้นอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้เกิดเป็นวงจรทางไฟฟ้าขึ้นมา



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง[4]



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสีย้อมจากสารประกอบรูเทเนียม[4]



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการกระตุ้นอิเล็กตรอนอิสระบนสีย้อมไวแสงหลังการรับแสง[4]

2.2 สารกึ่งตัวนำในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

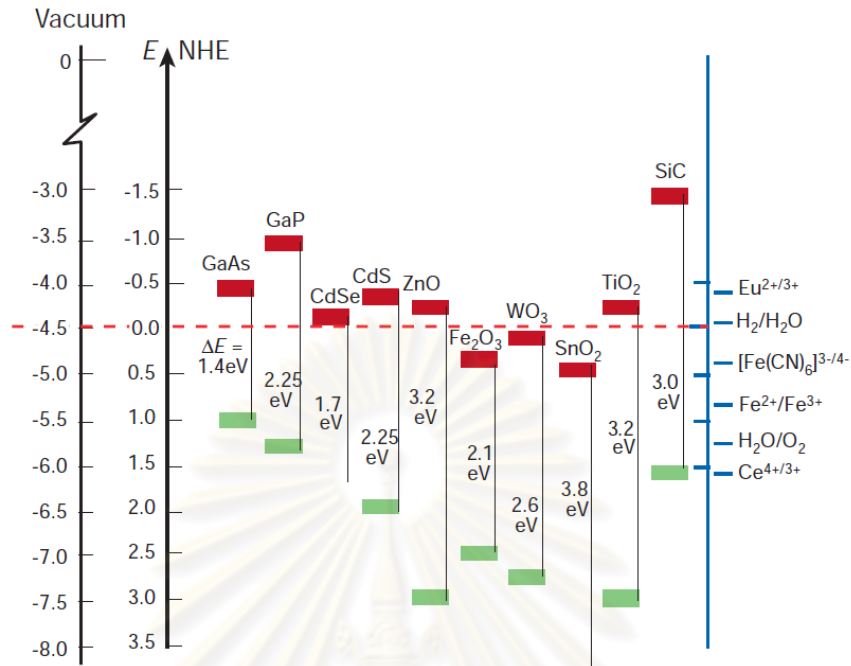
วัสดุอิเล็กโทรด (electrode) ที่นิยมนำมาใช้ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง คือ สารกึ่งตัวนำ ซึ่งเป็นสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวนทางไฟฟ้า โดยส่วนมากมักจะพบเป็นธาตุหมู่ 3-5 ของตารางธาตุ ซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นสื่อนำไฟฟ้าที่ก้ำกึ่งระหว่างโลหะและอโลหะ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบ อีกจำพวกหนึ่งที่จัดอยู่ในสารกึ่งตัวนำ คือ สารประกอบโลหะออกไซด์ เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2), ซิงค์ออกไซด์ (ZnO), ทังสเตนออกไซด์ (WO_3), วานาเดียมออกไซด์ (V_2O_5), ทินออกไซด์ (SnO_2), ไอร์ออนออกไซด์ (Fe_2O_3) และอินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้เลือกไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) มาประยุกต์ใช้ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2.2.1 ไททาเนียมไดออกไซด์

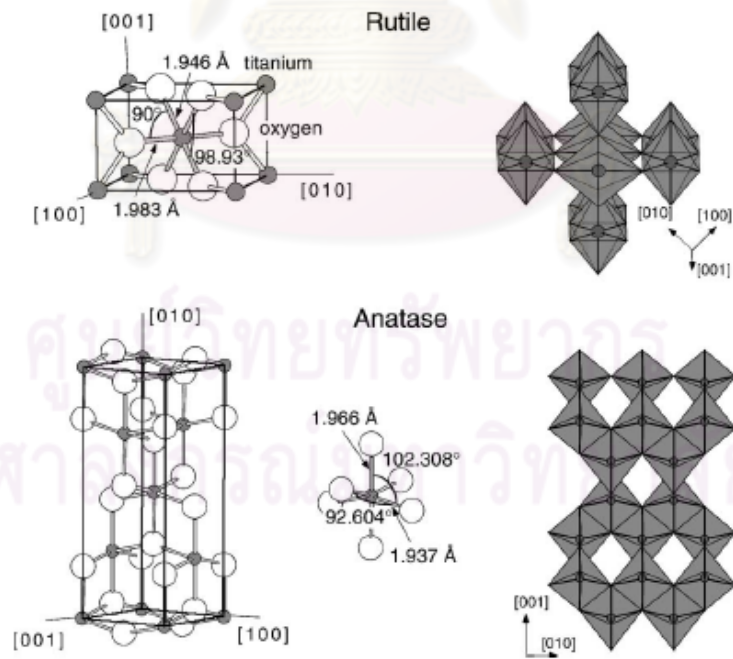
ไททาเนียมไดออกไซด์หรือที่เรียกกันว่า “ไททาเนีย” นั้นเป็นหนึ่งในสารประกอบโลหะออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์นั้นมีช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (Band Gap Energy) ที่กว้างพอเมื่อเทียบกับสารประกอบโลหะออกไซด์ตัวอื่น คือ มีช่องว่างระหว่างแถบพลังงานอยู่ที่ประมาณ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่องว่างระหว่างแถบพลังงานของไททาเนีย มีไดออกไซด์ นั้นกว้างและครอบคลุมสารละลายอิลี กโทรไลต์ ชนิดต่างๆ และจะสังเกตได้ว่ามีอีกสารประกอบโลหะออกไซด์ชนิดหนึ่งที่มีแถบพลังงานใกล้เคียงกับไททาเนีย นั่นคือ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งก็มีช่องว่างระหว่างแถบพลังงานประมาณ 3.2 eV เช่นเดียวกัน จึงทำให้ซิงค์ออกไซด์เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่นำมาเป็นส่วนประกอบของเซลล์ชนิดนี้ได้เช่นกัน [6,7]

2.2.2 โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์

ไททาเนียมไดออกไซด์นั้นมีโครงสร้างผลึกอยู่ 3 แบบ คือ รูไทล์ (Rutile) อะนาเทส (Anatase) และบรูคไต์ (Brookite) แต่ที่พบส่วนมากเป็นรูไทล์กับอะนาเทส ซึ่งจะเรียงตัวเป็นแบบเตตระกอนัล (Tetragonal) ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจัดเรียงผลึกแบบอะนาเทสนั้นจะส่งผ่านอิเล็กตรอนได้ดีกว่า จึงเป็นเหตุผลที่มาว่าทำไม จึงต้องมีสัดส่วนโครงสร้างผลึกแบบอะนาเทสมากกว่ารูไทล์ในการนำมาประกอบเซลล์ ซึ่งมีรายงานวิจัยว่าโครงสร้างผลึกแบบอะนาเทสให้ค่าประสิทธิภาพสูงกว่าโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เนื่องจากการส่งผ่านอิเล็กตรอนดังกล่าว [8-10]



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงตำแหน่งแถบพลังงานของสารประกอบชนิดต่างๆ[5]



รูปที่ 2.7 แสดงโครงร่างผลึกแบบรูไทล์และอะนาเทสของไททานเนียมไดออกไซด์[8]

2.2.3 แหล่งที่พบโลหะไททาเนียม[10]

โลหะไททาเนียมเป็นหนึ่งในสี่ชนิดธาตุที่พบบนโลกนี้(นอกเหนือไปจากอลูมิเนียม, ไอร์ออน และแมกนีเซียม) และนอกจากนี้ยังพบในรูปของสารประกอบมากอยู่ในเก้าอันดับแรกบนโลกนี้อีกด้วย(คิดเป็นประมาณ 0.63%ของเปลือกโลกใบนี้) โดยโลหะไททาเนียมถูกค้นพบครั้งแรกบนประเทศอังกฤษโดยบาทหลวง วิลเลียม เกรเกอร์ ซึ่งพบอยู่ในรูปของแร่อิลเมไนต์ และหลายปีต่อมา ก็มีการค้นพบสารประกอบไททาเนียมในรูปของแร่รูไทล์โดยนักเคมีชาวเยอรมัน(ไฮนริช กลาโปรด)

โดยปกติแล้วโลหะไททาเนียมไม่ได้พบอยู่ในรูปของธาตุเดี่ยว แต่มักจะพบอยู่ในรูปของสารประกอบที่อยู่ในหินหรือตะกอนต่างๆ และสามารถพบได้โดยง่ายในแร่รูไทล์, อิลเมไนต์, ลูโคซีน, อะนาเทส, บรูไคต์, ฟีรอฟสไคต์ และสฟีน เป็นต้น นอกจากนี้ก็ยังพบในรูปของไททานิตและแร่เหล็กอีกเช่นกัน ยิ่งไปกว่านั้นเคยมีการตรวจสอบหินที่นำกลับมาจากยานสำรวจอะพอลโล่ 17และหินอุกกาบาตก็พบว่ามีส่วนประกอบของไททาเนียมไดออกไซด์อยู่ด้วยเช่นกัน เราจึงทราบได้ว่าไททาเนียมไดออกไซด์นั้นสามารถพบได้ทั้งในถ่านหิน, ถ้ำถ่าน, พีชไม้ หรือแม้แต่ในร่างกายของเราก็เช่นเดียวกัน

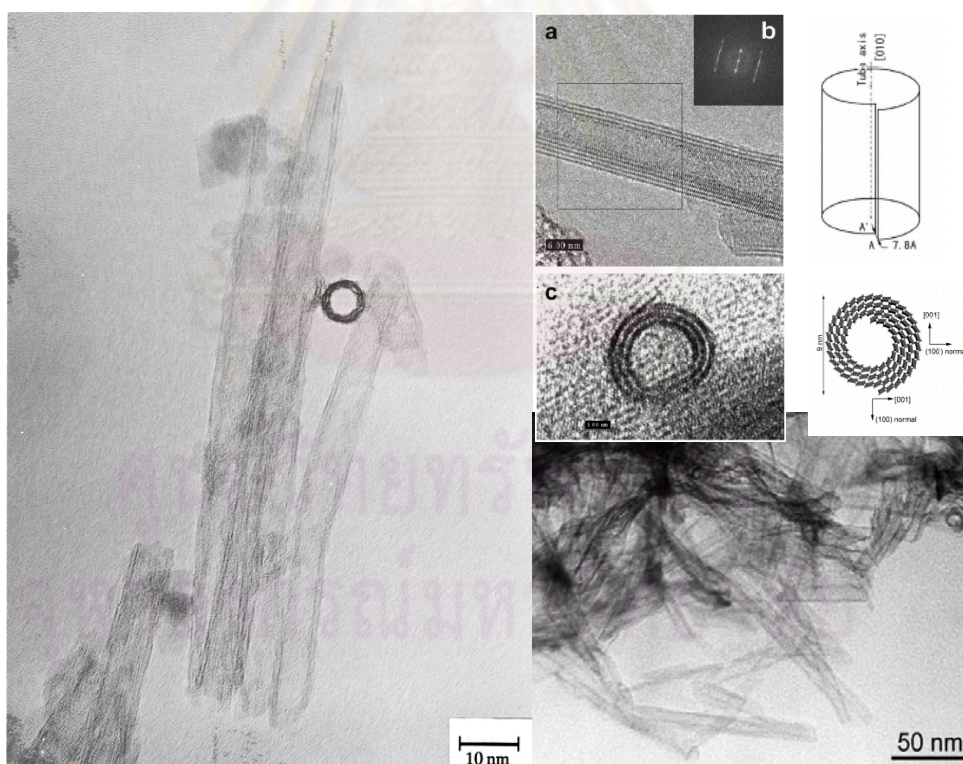
ตารางที่ 2.1 แสดงแหล่งที่มาของโลหะไททาเนียมและสัดส่วนของไททาเนียมไดออกไซด์ในแร่ [10]

ชนิดและแหล่งแร่	สูตรโมเลกุล	เปอร์เซ็นต์ของไททาเนียมไดออกไซด์
รูไทล์, อะนาเทส และบรูไคต์	TiO_2	93-96 %
ลูโคซีน	TiO_2	~90 %
อิลเมไนต์	$FeTiO_3$	44-70 %
สฟีน	$CaTiSiO_5$	~40 %
ฟีรอฟสไคต์	Ca_3TiO_3	~60 %

2.2.4 วัสดุท่อนาโนจากไททาเนียมไดออกไซด์

จากความสำเร็จในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนในปี 1991 โดยศาสตราจารย์ อิจิมา [11] ได้เป็นแรงกระตุ้นให้นักวิจัยศึกษาค้นคว้าเพื่อสังเคราะห์วัสดุชนิดอื่นขึ้นมาในรูปแบบต่างๆ ซึ่งต่อมาสารประกอบโลหะออกไซด์ เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หรือวานาเดียมออกไซด์ (V_2O_5) เป็นต้น ก็ได้รับความสนใจในวงการวิจัยที่จะนำมาสังเคราะห์เพื่อคิดค้นรูปแบบและรูปร่างใหม่ๆ [12]

ตลอดสิบปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาในส่วนของ การสังเคราะห์โดยผ่านกระบวนการทางเคมี หรือที่ปัจจุบันนิยมเรียกว่า “ไฮโดรเทอร์มัล” ให้วัสดุนั้นกลายเป็นวัสดุที่มีขนาดนาโนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำมาใช้ในหลายๆ อย่าง ซึ่งข้อดีที่เด่นชัด คือ การที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงขึ้น หลายเท่าตัว ในขณะที่กระบวนการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มัลนั้นก็ เป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก และเสียค่าใช้จ่ายไม่มากเมื่อเทียบกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยวิธีอื่น



รูปที่ 2.8 ภาพถ่าย TEM ของท่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์โดย ดร. คาซูกะ [13-17]

ในปี 1997 ดร. คาซูกะ และคณะ ได้ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์ท่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ [13-17] โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ซึ่งต่อมาได้นำท่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ มาประยุกต์ใช้ในวงการเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ในรูปที่ 2.8 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของท่อนาโนจากไททาเนียมไดออกไซด์โดยใช้สารละลายที่มีส่วนผสมของโลหะไททาเนียมหรือผงนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นสารตั้งต้น ซึ่งสังเคราะห์ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 โมลาร์เป็นสารละลาย ซึ่งหลังจากสังเคราะห์แล้วสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะได้ถึง 200-400 ตร.ม./กรัม เลยทีเดียว

2.2.5 การเกิดท่อนาโนจากไททาเนียมไดออกไซด์

กระบวนการเกิดของท่อนาโน จากไททาเนียมไดออกไซด์ นั้นเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีแบบอ่อนๆ จากนั้นโครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ นั้นเกิดการแตกสลายของพันธะ Ti-O ทำให้รูปร่างโครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์ เกิดความไม่แน่นอนหรือที่เรียกว่า “อสัณฐาน” (amorphous) แล้วจึงเกิดการสร้างพันธะขึ้นใหม่เป็น Ti-O-Na หรือ Ti-OH ในระหว่างการสังเคราะห์ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และการเกิดท่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ นั้นจะเกิดขึ้นหลังจากการล้างด้วยกรดและน้ำ [15] ทั้งนี้ตามรายงานการวิจัยได้บอกเอาไว้ว่า เมื่อเริ่มการสังเคราะห์ด้วยการนำสารตั้งต้นไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอะนาเทส (anatase) ใสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้ว การเกิดท่อนาโนหรือเส้นใยนาโนนั้นจะขึ้นอยู่กับการกวน และเวลาในการสังเคราะห์ ทั้งท่อนาโนและเส้นใยนาโนนั้นอันที่จริงแล้วประกอบด้วยชั้นของไททาเนตซึ่งขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์และการหลงเหลือของโซเดียม โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากก่อเกิดขึ้นในรูปของ $H_2Ti_3O_7$ และ $Na_xH_{2-x}Ti_3O_7$ ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้ง 2 กรณี [16] ซึ่งกรดที่นำมาล้างนั้นมีบทบาทสำคัญต่อการหลงเหลือของไอออนโซเดียม ยิ่งใช้กรดที่มีค่าความเป็นกรดสูง จำนวนไอออนโซเดียมที่หลงเหลือก็จะลดน้อยลงไปตามลำดับ สำหรับขั้นตอนการเกิดท่อนาโนนั้นเริ่มจากการที่โครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ กลายเป็นโครงสร้างอสัณฐานแล้วแผ่ออกเป็นแผ่น จากนั้นเกิดการม้วนตัวกลายเป็นท่อในเวลาต่อมา [6,18]

2.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มัล[19]

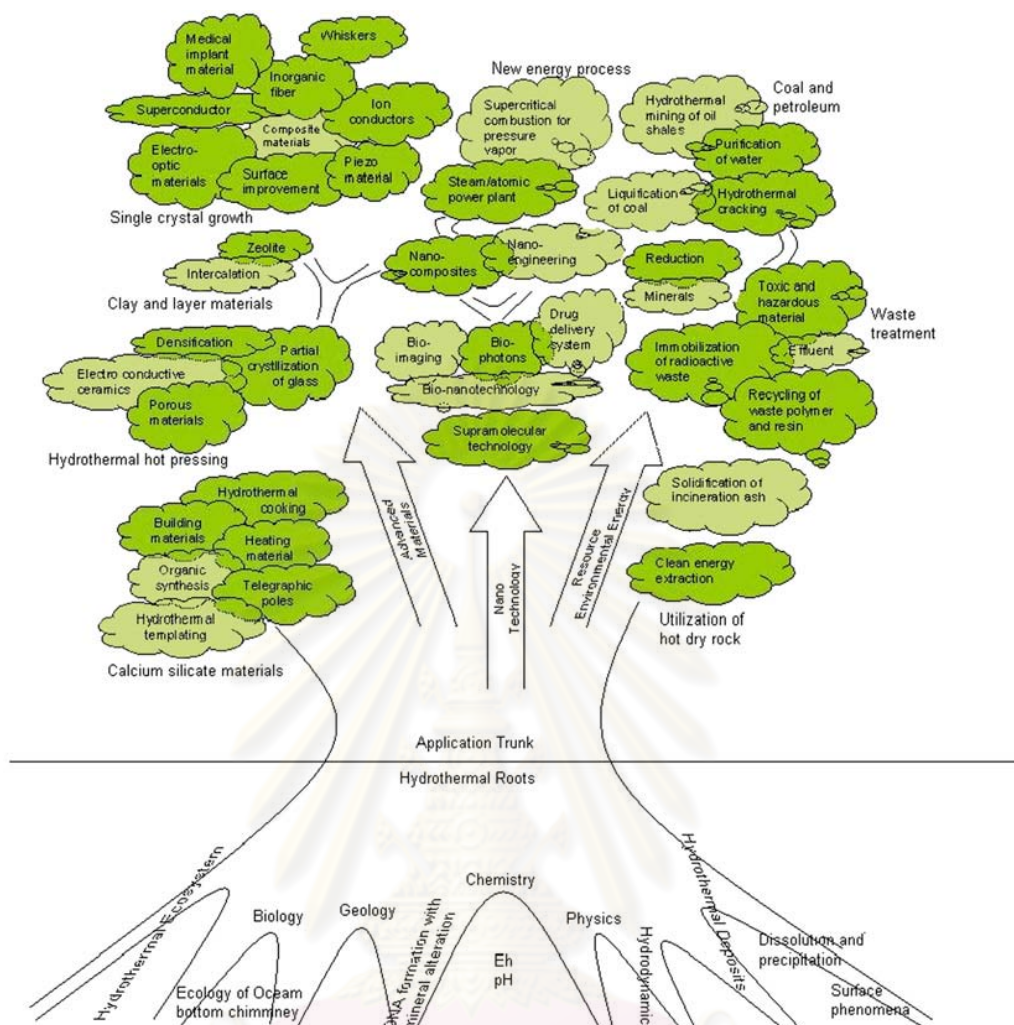
กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลถือเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญสำหรับกระบวนการผลิตวัสดุขั้นสูง ซึ่งสามารถแปรรูปวัสดุเป็นวัสดุนาโนได้ง่ายและสามารถนำไปใช้ได้ในงานหลากหลายด้าน เช่น เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ , ตัวเร่งปฏิกิริยา , เซรามิกส์ , เวชภัณฑ์ และอีกมากมาย กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลไม่เพียงแต่จะช่วยให้กระบวนการผลิตมีการกระจายตัวที่แคบลงและมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ในอนุภาคนาโนที่สูงแล้ว แต่ยัง เป็นหนึ่งในเทคนิคที่น่าสนใจสำหรับกระบวนการนาโนไฮบริดและนาโนคอมโพสิตอีกด้วย โดยหลักการของกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล คือ การสังเคราะห์ผลึกสารประกอบด้วยสารละลายภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง

2.3.1 บทอธิบายทั่วไป

คำว่า “ไฮโดรเทอร์มัล” ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกโดยนักธรณีวิทยาชาวอังกฤษที่ชื่อว่า เซอร์ โรเจอร์ริค เมอร์ซีย์สัน เพื่อใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ของน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันเพิ่มสูงขึ้น หลังจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของชั้นหินและแร่ธาตุต่างๆ คำว่า “ไฮโดร” แปลว่า น้ำ และคำว่า “เทอร์โม” แปลว่า ความร้อน ดังนั้นสามารถจำกัดความหมายของไฮโดรเทอร์มัล ได้ว่าเป็นปฏิกิริยาเคมีใดๆที่อยู่ในรูปของสารละลาย (ในน้ำหรือตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำ) เหนืออุณหภูมิห้องและความดันสูงกว่า 1 บรรยากาศในระบบปิด

ในปัจจุบันกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในเทคโนโลยีด้านต่างๆ มากมาย เช่น กระบวนการสังเคราะห์ , กระบวนการเตรียมผลึกพิเศษหรือผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ , กระบวนการแปรรูป , กระบวนการเผา , กระบวนการสลาย , กระบวนการปรับความเสถียรของโครงสร้าง , กระบวนการดึงน้ำออก (ดีไฮเดรชัน) , กระบวนการแยก , กระบวนการทรีทเมนต์ , กระบวนการสมมูลเฟส , กระบวนการปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า , กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (รีไซเคิล) , กระบวนการไมโครเวฟ , กระบวนการเคมีเชิงกล , กระบวนการไซโนเคมี , กระบวนการบีบอัดความร้อน , กระบวนการกรอง และกระบวนการกักกรอง เป็นต้น

กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลนั้นมีข้อดีมากมาย เช่น สามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงและสม่ำเสมอ , ผลึกมีความสมมาตร , ส่วนผสมอยู่ในช่วงเมตาสเทเบิ้ล , มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่แคบ , สามารถใช้อุณหภูมิในการเผาที่ไม่สูงมากนัก , เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้เพียงขั้นตอนเดียว , ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กกว่าไมครอน , ใช้พลังงานต่ำ และเวลาที่ในการทำปฏิกิริยานั้นก็รวดเร็วไม่นานมากนัก เป็นต้น

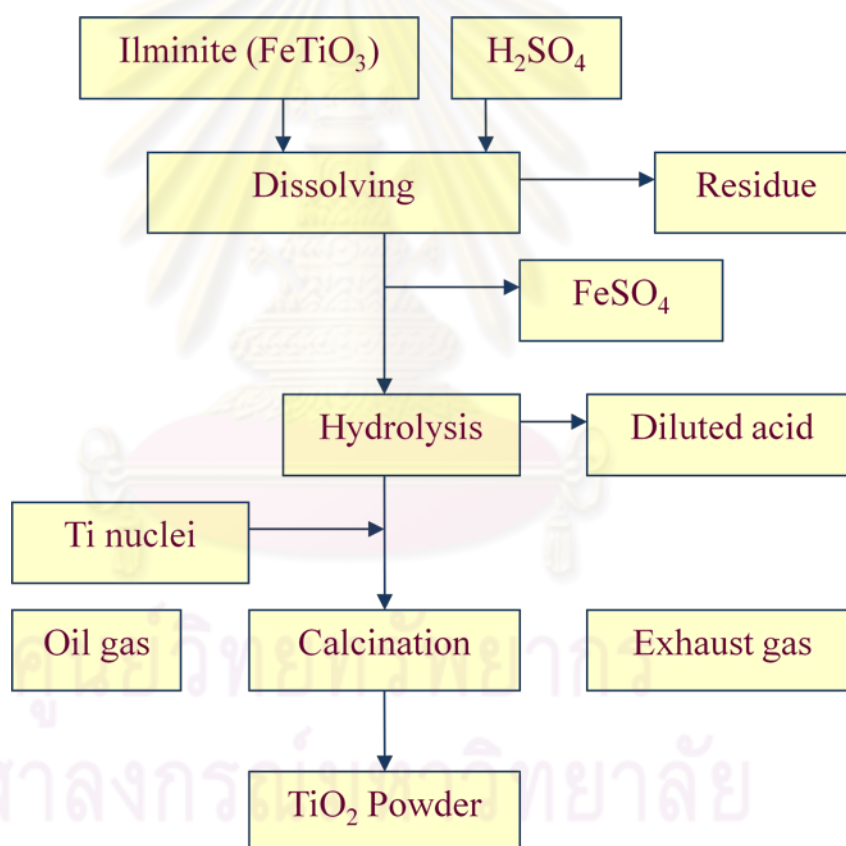


รูปที่ 2.9 แผนภูมิต้นไม้แสดงกิ่งก้านความสัมพันธ์ของกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล[19]

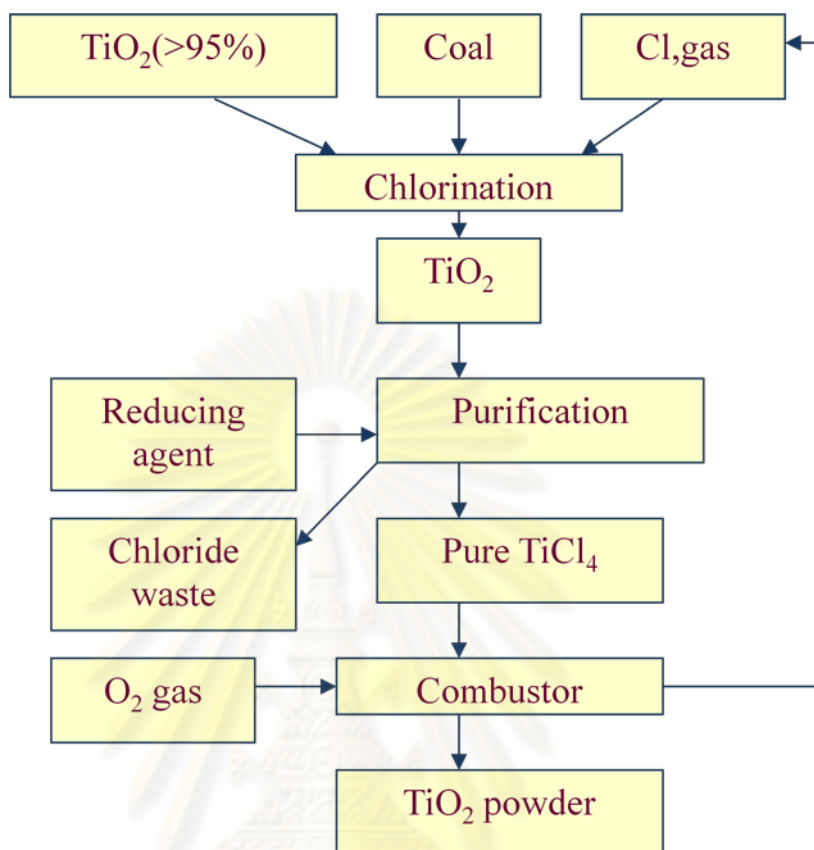
ในศตวรรษที่ 21 นั้นกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลได้พัฒนาและถูกนำมาใช้ในงานด้านต่างๆ มากมาย ซึ่งครอบคลุมไปในหลากหลายสาขา นอกจากกระบวนการต่างๆ ที่นำเทคนิคไฮโดรเทอร์มัลเข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น ไมโครเวฟ อัลตราโซนิก เมคานิคัล และปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า แล้วเทคนิคนี้ยังสามารถลดขั้นตอนต่างๆ ลงมา ได้อีกถึง 3-4 ขั้นตอน ทำให้เทคนิคนี้มีค่ามหาศาลทางเศรษฐกิจ จากความต้องการที่มากขึ้นสำหรับวัสดุที่มีโครงสร้างระดับนาโน เทคนิคนี้จึงเป็นที่ต้องการอย่างมากในเทคโนโลยีด้านต่างๆ เช่น ธรณี, ฟิสิกส์, ชีววิทยา, นาโนเทคโนโลยี และวัสดุศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งใช้ศาสตร์ต่างๆ มาเกี่ยวข้องกันสำหรับกระบวนการที่ว่านี้

2.3.2 กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลกับไททาเนียมไดออกไซด์[20]

วัสดุไททาเนียมไดออกไซด์นั้นถือเป็นผงสีขาวเชิงพาณิชย์ เนื่องจากในตัวมันมีความสามารถในการกระเจิงแสงได้มาก , ไม่มีพิษ และเฉื่อยต่อสารเคมี มีกระบวนการมากมายในการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยทั่วไปนั้นในระดับอุตสาหกรรมใช้กระบวนการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีที่เรียกว่า “กระบวนการซัลเฟต” และ “กระบวนการคลอไรด์” ซึ่งเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยากมาก อีกทั้งยังต้องใช้วัสดุและเครื่องมือที่ทนทานมาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1400 องศาเซลเซียส และยังต้องทนต่อการกัดกร่อนของคลอไรด์ที่อุณหภูมิสูงอีกด้วย



รูปที่ 2.10 กระบวนการซัลเฟต



รูปที่ 2.11 กระบวนการคลอรีน

ข้อดีของกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ[20]

1. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีผลึกที่เป็นเนื้อเดียวสูงและสามารถสังเคราะห์ได้โดยตรงที่อุณหภูมิไม่เกิน 250 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับกระบวนการเผาแล้วกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลสามารถลดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคลงได้และมีความสม่ำเสมอของเฟสในผลึก
2. การเปลี่ยนแปลงสภาวะในการสังเคราะห์ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล เช่น อุณหภูมิ, ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ความเข้มข้น และสัดส่วนโมลาร์ เป็นต้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโครงสร้าง, รูปร่าง และสัดส่วนของผลึกแตกต่างกันไป
3. ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงในสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล
4. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการสังเคราะห์นั้น เรียบง่ายและสามารถควบคุมสภาวะของการเกิดปฏิกิริยาได้โดยง่าย เช่น หม้อนึ่งอัดความดัน(Autoclave) ดังรูปที่ 2.12

นักวิจัยจำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการสังเคราะห์และอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ เช่น อุณหภูมิ, ระยะเวลาในการทดลอง, ความดัน, ชนิดของสารละลายและค่าความเป็นกรด-ด่าง

โดยทั่วไปการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์จะทำในหม้อหนึ่งความดันขนาดเล็กๆ สภาวะในการสังเคราะห์อุณหภูมิของไททาเนียมไดออกไซด์จะใช้ อุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส ความดันน้อยกว่า 100 บาร์ ซึ่งอุณหภูมิและสภาวะดังกล่าวเหมาะในการใช้กับหม้อหนึ่งความดันชนิดเทฟลอน ซึ่งจะช่วยให้ได้อนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์ที่บริสุทธิ์และเป็นเนื้อเดียว ทั้งนี้ขนาดของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์นั้นเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งต้องการการกระจายตัวของขนาดที่แคบเพื่อนำไปใช้ในวัสดุงานต่างๆ โดยปัจจัยนี้จะมีผลสำคัญต่อกระบวนการรวมตัวของอิเล็กตรอนในช่องว่างอิเล็กตรอน ซึ่งถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กแล้วก็จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงทำให้ได้เปรียบในเรื่องนี้



รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างหม้อหนึ่งอัดความดัน(Autoclave)[19]

มีสารละลายหลายชนิดที่นำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไททานเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), กรดไนตริก (HNO_3), กรดไฮโดรคลอริก (HCl), กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และกรดฟอร์มิก (HCOOH) เป็นต้น โดยเมื่อใช้สารละลายที่เป็นกรดแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะเป็นโครงร่างผลึกชนิดรูทูล์ แต่เมื่อใช้สารละลายที่เป็นด่างจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงร่างผลึกชนิดอะนาเทส และสามารถควบคุมรูปร่างขนาดของผลิตภัณฑ์ได้โดยการเปลี่ยนแปลงสภาวะในการสังเคราะห์ (อุณหภูมิ, เวลา, ความเข้มข้น และความเป็นกรด-ด่าง) แต่เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นแล้ว จะทำให้ขนาดของอนุภาคนั้นใหญ่ขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ทบทวนวรรณกรรม

มีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ให้เป็นวัสดุนาโนรูปร่างต่างๆ และศึกษาถึงตัวแปรของอิเล็กโทรดที่นำมาประกอบในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงอีกด้วย ซึ่งจะสรุปอยู่ในตารางที่ 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.2 แสดงรายงานที่กล่าวถึงไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ผ่านวิธีโซล-เจล

คณะวิจัย / ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร / อุปกรณ์และเครื่องมือ	ผลการทดลอง
S. Ngamsinlapasathian และคณะ/2004-2006 [21],[22],[23]	1. ศึกษาผลของความหนาชั้นฟิล์ม และสมบัติของโฟโตโวลตาอิกเซลล์ที่ใช้วัสดุท่อนาโนTiO ₂ /อนุภาคนาโนTiO ₂ เชิงพาณิชย์(P25) 2. ศึกษาสมบัติของโฟโตโวลตาอิกเซลล์ที่มาจากผลของจำนวนชั้น(เดี่ยวและคู่)ของอนุภาคนาโนเชิงพาณิชย์(P25)/เมโซพอร์รัส TiO ₂	ความหนาชั้นฟิล์มและปริมาณของอนุภาคนาโนTiO ₂ เชิงพาณิชย์ในวัสดุท่อนาโนTiO ₂ , วัสดุอิเล็กโทรดTiO ₂	1. ผลของความหนาชั้นฟิล์มและปริมาณP25ในวัสดุท่อนาโนTiO ₂ ทำให้ค่าของV _{oc} และFFเพิ่มขึ้นแต่ค่าJ _{sc} ลดลง 2. ชั้นฟิล์มคู่ให้ผลต่อประสิทธิภาพเซลล์และการดูดซับสีย้อมดีกว่าชั้นฟิล์มเดี่ยว

ตารางที่ 2.3 แสดงรายงานที่กล่าวถึงไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ผ่านวิธีไฮโดรเทอร์มัล

คณะวิจัย / ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร / อุปกรณ์และเครื่องมือ	ผลการทดลอง
N. Viriya-empikul และคณะ/2009 [24]	ศึกษาตัวแปรต่างในการเตรียมวัสดุนาโนTiO ₂	ขนาดของวัตถุดิบตั้งต้น, อุณหภูมิ, คลื่นอัลตราโซนิก	สารตั้งต้นขนาดใหญ่ทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะของผลิตภัณฑ์ลดลงแต่ความยาวของท่อนาโนเพิ่มขึ้น, วัสดุจะเปลี่ยนรูปร่างจากท่อนาโนไปเป็นลวดนาโนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น, เมื่อให้คลื่นอัลตราโซนิกกระหว่างสังเคราะห์จะทำให้ได้ท่อนาโนที่ยาวขึ้น
G. Guo และคณะ/ 2009 [25]	ศึกษาผลการเตรียมTiO ₂ และกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของสารตัวอย่าง	เติม Ag ลงบน TiO ₂	เมื่อเติม Ag ลงไปทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงแต่ลดพื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวอย่าง
K. Pan และคณะ/ 2007 [26]	ศึกษาสมบัติโฟโตโวลตาอิกของวัสดุแถบนาโนและลวดนาโนTiO ₂	โครงสร้างของTiO ₂	วัสดุแถบนาโนTiO ₂ ให้ประสิทธิภาพของโฟโตโวลตาอิกเซลล์ดีกว่าวัสดุลวดนาโนTiO ₂
C.C. Tsai และคณะ/2006 [27]	ศึกษาผลของการล้างกรดที่ค่า pH แตกต่างกันในเมโซพอร์รัส TiO ₂	ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก	เมื่อใช้กรดที่มีค่าความเป็นกรดสูงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเฟสเป็นอะนาเทสและมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง

ตารางที่ 2.3 แสดงรายงานที่กล่าวถึงไททานเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ผ่านวิธีไฮโดรเทอร์มัล (ต่อ)

คณะวิจัย / ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร / อุปกรณ์และเครื่องมือ	ผลการทดลอง
Z.Y.Yuan และคณะ/ 2004 [28]	ศึกษาการเตรียมTiO ₂ ที่มี โครงสร้างมิติเดียว	สภาวะ, สารตั้งต้น, ชนิดสารละลาย	วัสดุท่อนาโนและนาโนไฟเบอร์TiO ₂ สามารถเตรียมได้ที่อุณหภูมิ ประมาณ100-160องศาเซลเซียสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปเกินกว่า180องศาเซลเซียสจะได้ผลิตภัณฑ์ เป็นวัสดุแถบนาโน และเมื่อใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นวัสดุหลอดนาโน
T. Kasuga/2006 [16]	ศึกษาสมบัติและการเตรียม วัสดุท่อนาโน(TiO ₂ -Ca)	ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก, สารละลายกรดออกโซ	ได้วัสดุท่อนาโนที่มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงสูง, เป็นวัสดุ ที่มีประสิทธิภาพทางชีววิทยาในแง่ของการฟื้นฟูเสริมสร้างกระดูกได้ รวดเร็ว, นำไฟฟ้าได้ดีเมื่ออุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า นั้น
C.K. Lee และคณะ/ 2008 [29]	ศึกษาผลของการล้างกรดที่ ความเข้มข้นต่างกันต่อ โครงสร้างและเฟสของวัสดุ ท่อนาโนTiO ₂	ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก	เมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นสูงในการล้างจะทำให้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโซเดียมหลงเหลืออยู่น้อยและทำให้มีพื้นที่ผิว จำเพาะกับปริมาตรสูง แต่ถ้าใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความ เข้มข้นต่ำจะทำให้มีอะตอมโซเดียมหลงเหลืออยู่มากและจะไป ทำลายโครงสร้างของท่อนาโน

ตารางที่ 2.3 แสดงรายงานที่กล่าวถึงไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ผ่านวิธีไฮโดรเทอร์มัล (ต่อ)

คณะวิจัย / ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร / อุปกรณ์และเครื่องมือ	ผลการทดลอง
E. Morgado Jr. และคณะ/2006 [30]	ศึกษาผลของอะตอมโซเดียมที่หลงเหลือต่อโครงสร้างและพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุท่อนาโนTiO ₂	ขั้นตอนการล้าง	ถ้าอะตอมของโซเดียมเหลืออยู่น้อยยิ่งทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มมากขึ้น และยังสามารถลดอัตราการให้ความร้อนในขั้นตอนดีไฮเดรชันของไททาเนตและ/หรือTiO ₂ ได้ด้วย
J. Yu และคณะ/ 2006 [31-33]	<ol style="list-style-type: none"> ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาต่อโครงสร้าง, เฟส, พื้นที่ผิวจำเพาะ, ปริมาตรรูพรุน และการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของสารที่เตรียมได้ ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุนาโนคอมโพสิตระหว่างท่อนาโนไททาเนตกับผลึกรูไทล์ ศึกษาการเตรียมวัสดุนาโนไฟเบอร์TiO₂จากการสังเคราะห์วัสดุท่อนาโนTiO₂ซ้ำ 	อุณหภูมิในการสังเคราะห์และการเผา	<ol style="list-style-type: none"> เฟส, ขนาดผลึก, พื้นที่ผิวจำเพาะ, ปริมาตรรูพรุน และการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของท่อนาโนไททาเนตจะขึ้นกับอุณหภูมิในการเผา(ตั้งแต่ 400-600องศาเซลเซียส) เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะ, ความเป็นรูพรุน, ปริมาตรรูพรุนและช่องว่างระหว่างแถบพลังงานเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์จะทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนลดลง

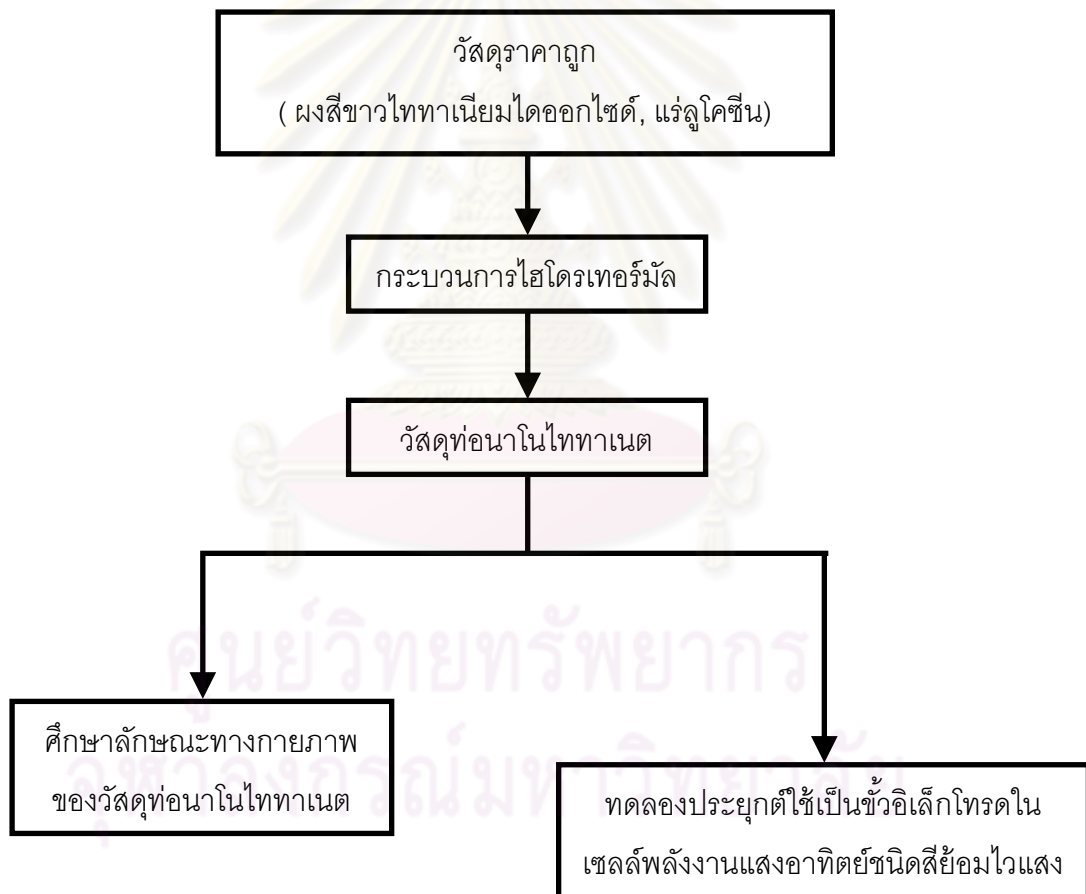
ตารางที่ 2.3 แสดงรายงานที่กล่าวถึงไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ผ่านวิธีไฮโดรเทอร์มัล (ต่อ)

คณะวิจัย / ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร / อุปกรณ์และเครื่องมือ	ผลการทดลอง
<p>S. Pavasupree และคณะ/2005-2009 [34-38]</p>	<p>ศึกษาการ สังเคราะห์วัสดุนาโน TiO₂</p>	<p>สภาวะในการสังเคราะห์</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. วัสดุนาโนไฟเบอร์สังเคราะห์ได้ที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และจะกลายเป็นวัสดุแท่งนาโนที่มีเฟสรูไทล์เมื่อเผาที่ 900 องศาเซลเซียส 2. วัสดุแท่งนาโน/อนุภาคนาโนซึ่งมีรูพรุนแบบเมโซพอร์ ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ประมาณ 7.12% 3. วัสดุแผ่นนาโนซึ่งมีรูพรุนแบบเมโซ ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ใส่แอมโมเนีย 28%) 4. วัสดุนาโนพาวเดอร์ซึ่งมีรูพรุนแบบเมโซ ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ไม่ใส่แอมโมเนีย 28%) และให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 6.30% 5. วัสดุนาโนTiO₂ที่มีรูปร่างคล้ายดอกกะหล่ำ สามารถเตรียมได้โดยง่ายจาก วัสดุTiO₂ที่เป็นอสังฐานโดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลในสารละลายแอมโมเนีย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์วัสดุท่อนาโนไททาเนตขึ้นมาจากวัสดุราคาถูกลงด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวกรวดเร็ว และนอกจากนี้ยังได้นำวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นนี้มาใช้เป็นสารกึ่งตัวนำในเซลล์โทรดของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสี ย้อมไวแสง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

3.1 รายชื่อวัสดุและสารเคมี

- 3.1.1 ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ราคาถูก จากร้านขายส่วนผสมสีทาบ้านทั่วไป
- 3.1.2 แร่รูทีลัทรธรรมชาติลูโคซีน จากบริษัท สิ้นแร่สาคร จำกัด
- 3.1.3 ผงไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.4 ผงไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) จากบริษัท Degussa
- 3.1.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)
- 3.1.6 กรดไฮโดรคลอริก(HCl)เข้มข้น 37%
- 3.1.7 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
- 3.1.8 เอทานอล(EtOH) จากบริษัท Labscan
- 3.1.9 กระจกน้ำไฟฟ้า FTO (TEC7) จากบริษัท Pilkington
- 3.1.10 สีย้อมไวแสง N719 จากบริษัท Dyesol
- 3.1.11 เอทิลเซลลูโลส(Ethyl Cellulose) จากบริษัท Fluka
- 3.1.12 เทอร์ปีนอล(Terpeneol) จากบริษัท Fluka
- 3.1.13 อะซีติลอะซิโตน(Acetylacetone) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.14 ไทรทัน เอ็กซ์-100(Triton X-100) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.15 แพลทตินัม จากบริษัท Dyesol
- 3.1.16 ไอโอดีน 99.999% จากบริษัท Merck
- 3.1.17 กัวนิดีนเนียม ไทโอไซยาเนต (Guanidinium Thiocyanate) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.18 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียม ไอโอดด์ (1-Butyl-3-methylimidazolium iodide (BMII)) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.19 4-เทอร์เชียรี-บิวทิลไพริดีน (4-tert-butylpyridine) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.20 อะซิโตนไตริล(Acetonitrile) จากบริษัท Merck
- 3.1.21 วาเลโรไนไตริล(Valeronitrile) จากบริษัท Fluka
- 3.1.22 เทอร์เชียรี-บิวทานอล(tert-Butanol) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.23 แผ่นพลาสติกเซอร์ลีนและบายเนล (Surlyn & Byne film) จากบริษัท ดูปองด์ ประเทศไทย จำกัด

3.2 รายชื่อเครื่องมือและอุปกรณ์

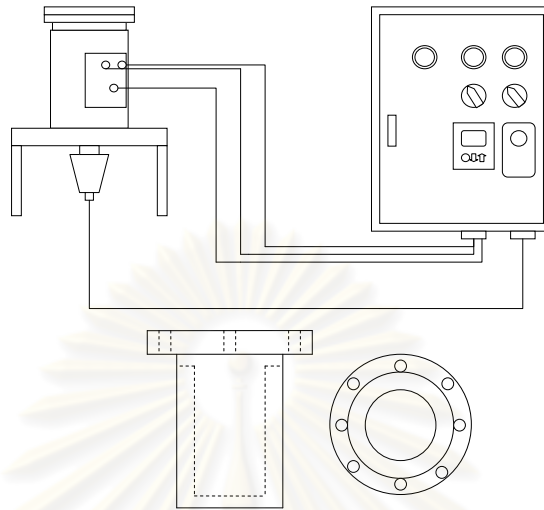
- 3.2.1 ดังปฏิกรณ์แบบควบคุมอุณหภูมิ ออกแบบและสร้างโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- 3.2.2 ชุดกรองสุญญากาศ
- 3.2.3 เต้าเผา
- 3.2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (JSM-5800LV, JSM-6510, JEOL)
- 3.2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM) (JEM-2100, JEOL)
- 3.2.6 เครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธี BET (The Brunauer–Emmett–Teller) (BELSORP-Mini, Rubotherm)
- 3.2.7 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X'Pert PRO MPD model pw3040/60, PANalytical)
- 3.2.8 เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (ED-2000, Oxford)
- 3.2.9 เครื่องทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Keithley model 236, MVSystems Inc.)
- 3.2.10 เครื่องวัดความหนาชั้นฟิล์ม (Dektak 150 Stylus Profiler)
- 3.2.11 ชุดแบบพิมพ์ซิลค์สกรีน



รูปที่ 3.2 ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ราคาถูกลง



รูปที่ 3.3 แร่ลูโคซีน



รูปที่ 3.4 แบบจำลองถังปฏิกรณ์แบบควบคุมอุณหภูมิ

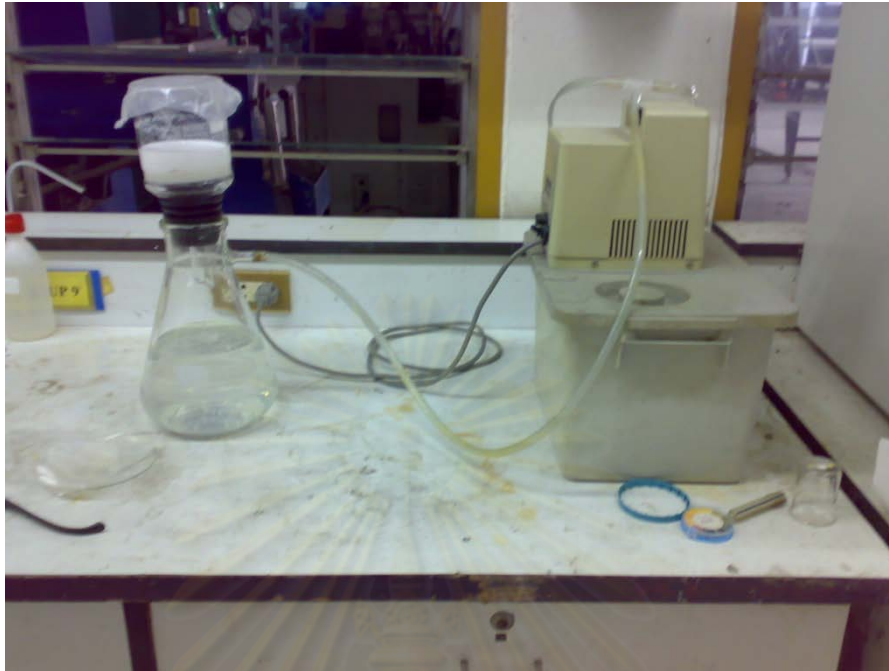


ถังปฏิกรณ์

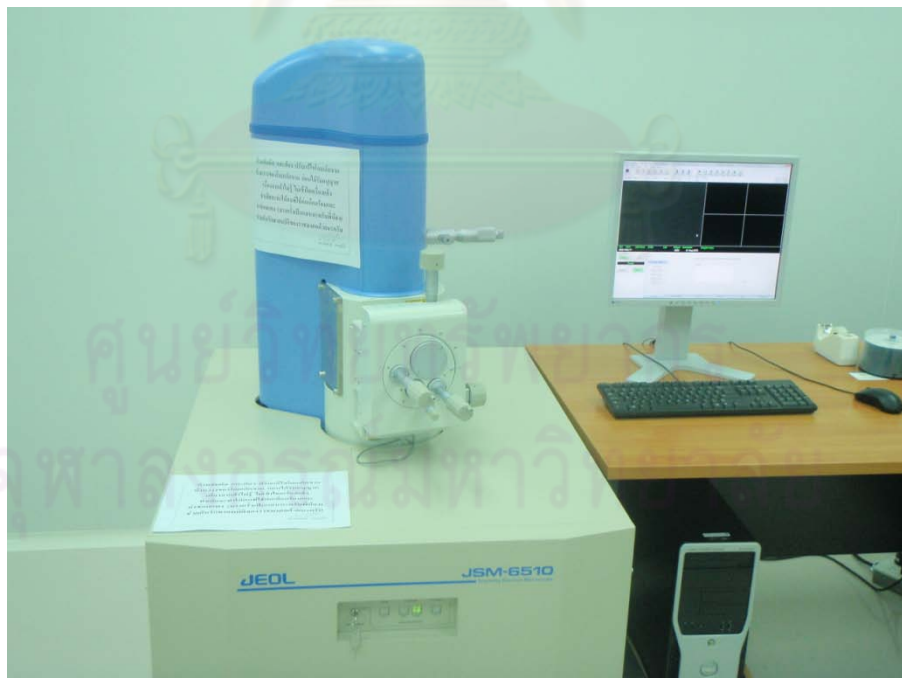


ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

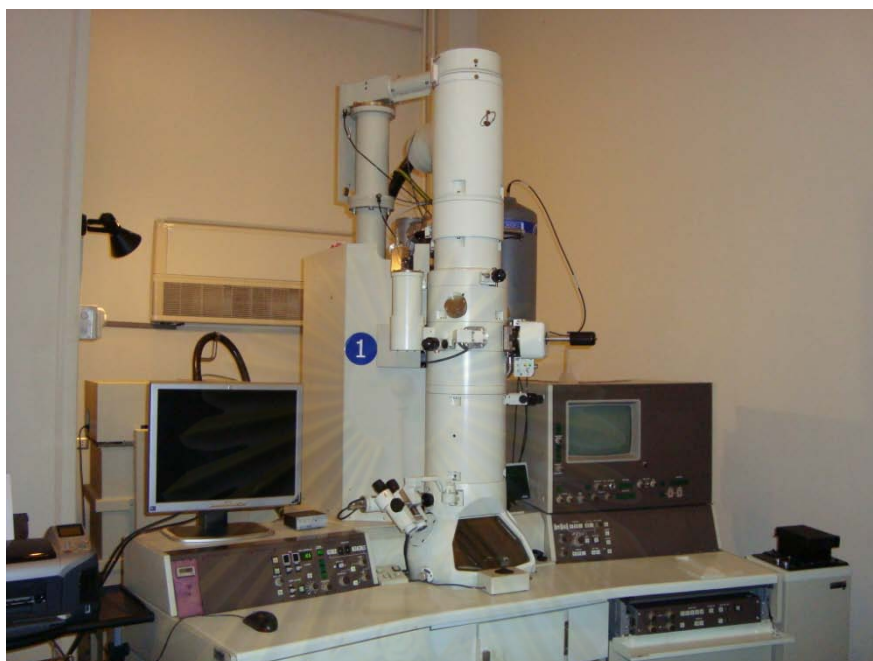
รูปที่ 3.5 ถังปฏิกรณ์แบบควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.6 ชุดกรองสุญญากาศ



รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET)



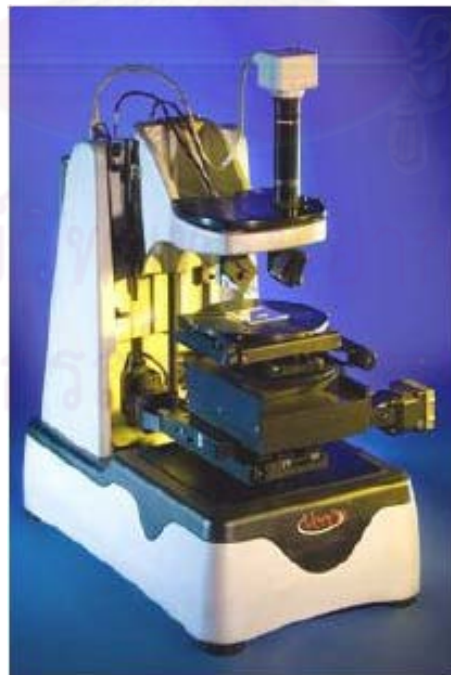
รูปที่ 3.10 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (XRD)



รูปที่ 3.11 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.13 เครื่องวัดความหนาชั้นฟิล์ม

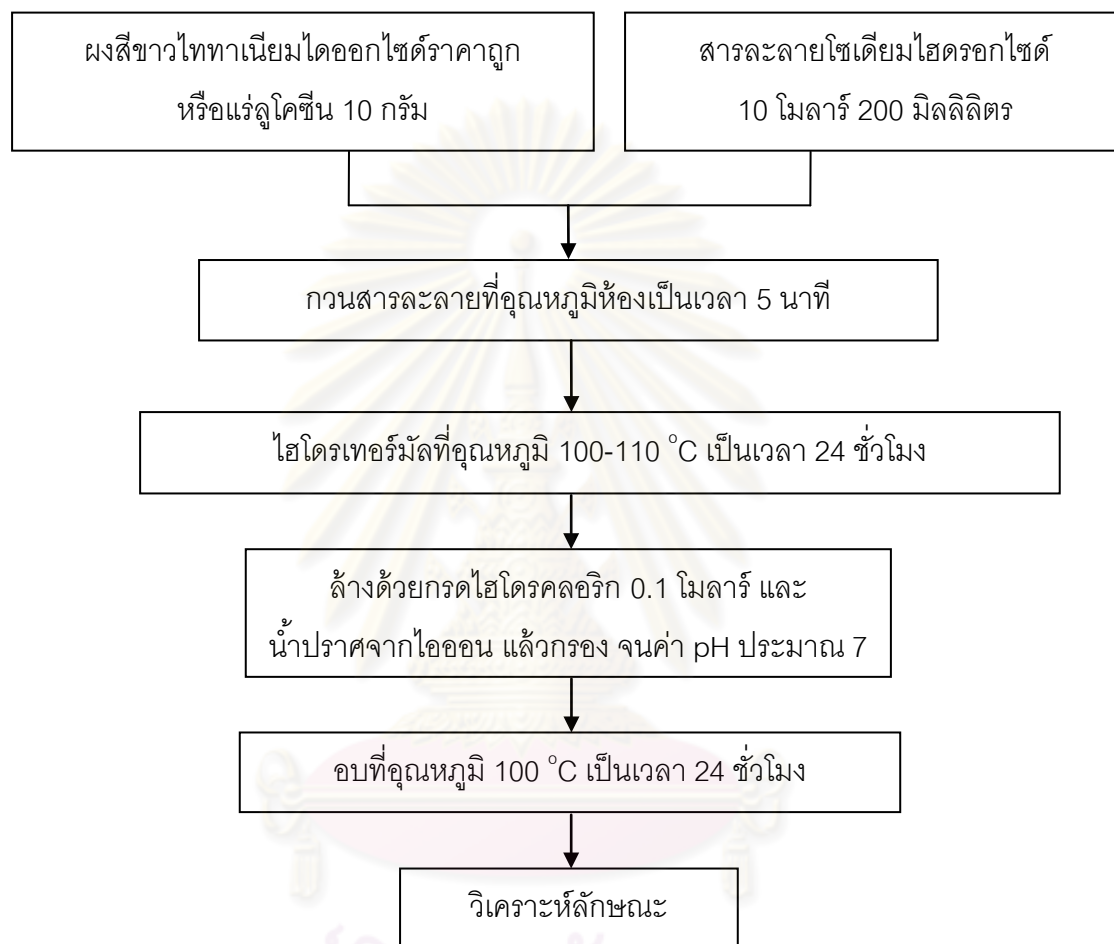


รูปที่ 3.14 แบบพิมพ์ซิลค์สกรีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การสังเคราะห์วัสดุท่อนานาโททาทาเนต จากวัสดุราคาถูกระหว่างวิธีไฮโดรเทอร์มัล



รูปที่ 3.15 แผนภาพแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุท่อนานาโททาทาเนต จากวัสดุราคาถูกระหว่างวิธีไฮโดรเทอร์มัล

เริ่มจากการนำวัสดุราคาถูกระหว่างผงสีขาวและแร่ลูโคซีนเป็นตัวแทนของไททานเนียมไดออกไซด์มาผสมลงในสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10 โมลาร์ แล้วกวนสารละลายเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำสารละลายไปใส่ในถังปฏิกรณ์แบบควบคุมอุณหภูมิซึ่งออกแบบและผลิตที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยใช้สภาวะในการทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลแล้วจึงนำสารที่ได้มาล้าง กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์และน้ำ ปราศจาก

ไอออนแล้วกรองจนกระทั่งค่าความเป็นกรด-เบสใกล้เคียง 7 จึงนำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ลักษณะและสมบัติต่างๆต่อไป ดังรูปที่ 3.15

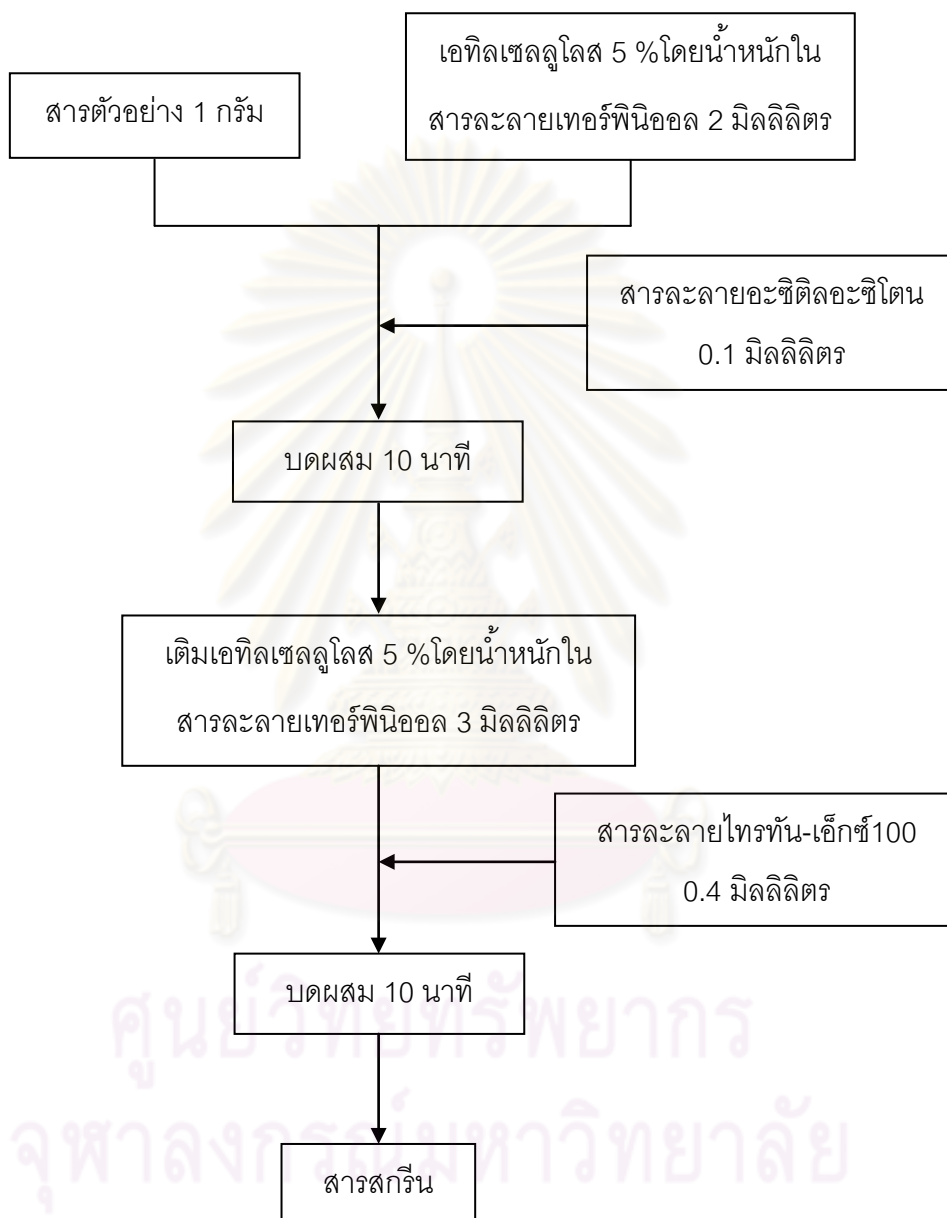
3.3.2 การศึกษาลักษณะและสมบัติทางกายภาพของวัสดุท่อนาโนไททาเนตที่เตรียมได้

โครงร่างผลึกและเฟสของตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)(X'Pert PRO MPD model pw3040/60, PANalytical) องค์ประกอบของตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)(ED-2000, Oxford) ลักษณะโครงสร้างของวัสดุที่เตรียมได้นั้นจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (JSM-5800LV, JSM-6510, JEOL) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) (JEM-2100, JEOL) สำหรับพื้นที่ผิวและลักษณะของรูพรุนของตัวอย่างนั้นจะถูกวิเคราะห์โดยเครื่องวัดพื้นที่ผิวด้วยวิธี The Brunauer-Emmett-Teller (BET) (BELSORP-Mini, Rubotherm)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 การทดลองประยุกต์ใช้ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

3.3.3.1 การผสมสารสกรีนวัสดุท่อนาโนไททาเนต



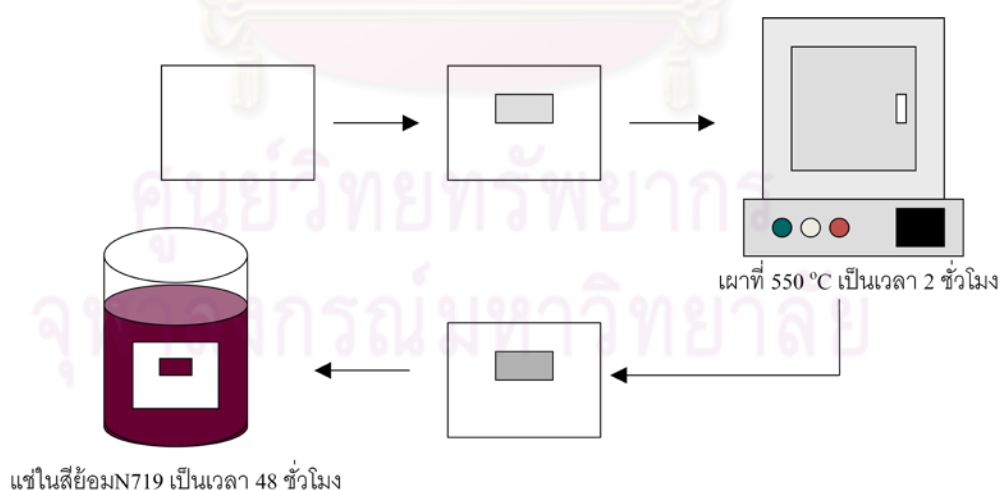
รูปที่ 3.16 แสดงขั้นตอนการผสมสารสกรีน

นำสารตัวอย่างมา 1 กรัม บดผสมกับเอทิลเซลลูโลส 5 %โดยน้ำหนักในสารละลายเทอร์พินอล 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายอะซีติลอะซีโตนลงไป 0.1 มิลลิลิตร บดประมาณ 10 นาที จากนั้นจึงเติมเอทิลเซลลูโลส 5 %โดยน้ำหนักในสารละลายเทอร์พินอล 3 มิลลิลิตรลงไปอีก

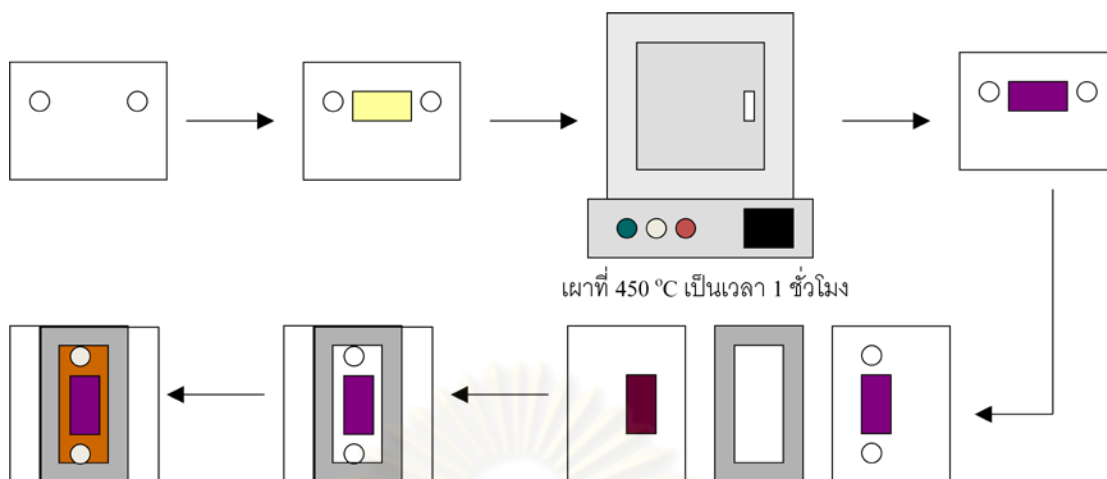
ครั้งหนึ่ง บดจนเข้ากันแล้วจึงเติมสารละลายไทรันทัน เอ็กซ์-100 ลงไป 0.4 มิลลิลิตร บดผสมกันอีก ประมาณ 10 นาทีจึงจะได้สารสกรีนดังรูปที่ 3.16

3.3.3.2 การประกอบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

นำกระจกนำไฟฟ้า(FTO)มาทำความสะอาดพื้นผิวด้วยน้ำและเอทานอลก่อน หลังจากนั้นทำการเคลือบฟิล์มไททานาเตดลงบนกระจกด้วยวิธีการพิมพ์แบบ screen-printing หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปแช่ในสีย้อม N719 เข้มข้น 0.3 มิลลิโมลาร์เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับฝั่งแคโทดอิเล็กโทรด(counter electrode)จะใช้แพลทตินัม(Pt)เป็นชั้นฟิล์มเคลือบบนกระจกนำไฟฟ้า และนำไปเผาที่ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำอิเล็กโทรดทั้งสองฝั่งมาประกอบโดยใช้ฟิล์ม surlyn ในการยึดติด กระจกทั้งสองฝั่งเข้าด้วยกัน ก่อนนำไปวัดประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์จะทำการหยอดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (0.6 โมลาร์ของ 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียม ไอโอไดด์, 0.03 โมลาร์ของไอโอไดน์, 0.1 โมลาร์ของกัวนิดิเนียม ไทโอไซยาเนต และ 0.5 โมลาร์ของ 4-เทอร์เทียรี-บิวทิลไพรีดีน ในสารละลายผสมระหว่างอะซิโตนไตรลกับวาเลโรไนโตรล (สัดส่วน 85:15 โดยปริมาตร)) ลงไปในช่องว่างระหว่างเซลล์ หลังจากนั้นจึงนำไปวัดประสิทธิภาพทางไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟโต้อิเล็กโทรด



รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการเตรียมขั้วแคโทดรีดิวซ์และก็นำไปประกอบเป็นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยของการสังเคราะห์วัสดุท่อนาโนไททานาเนตจากวัสดุที่มีราคาถูก (ผงสีขาวไททานีเนียมไดออกไซด์ , แร่ลูโคซีน) ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วและไม่ยุ่งยาก และทำการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยต่างๆ ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะวัสดุท่อนาโนไททานาเนต

4.1.1 องค์ประกอบของวัตถุดิบเริ่มต้น

ในงานวิจัยนี้ทำการ สังเคราะห์วัสดุท่อนาโนไททานาเนต โดยใช้วัสดุราคาถูกเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น คือ ผงสีขาวไททานีเนียมไดออกไซด์ และแร่ลูโคซีน โดยเริ่มทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิประมาณ 100-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับวัตถุดิบตั้งต้นที่ เป็นเกรดที่ใช้ในห้องทดลองซึ่งมีราคาสูงกว่า และทำศึกษาถึงผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่อาจส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างของวัสดุ

โดยองค์ประกอบ ของวัตถุดิบตั้งต้นนั้น ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์เพื่อหาปริมาณสารประกอบไททานีเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่ต้องการนำมาสังเคราะห์เป็นวัสดุท่อนาโนไททานาเนต ซึ่ง ผลของการวิเคราะห์นั้น แสดงดังตารางที่ 4.1 โดยพบว่าวัสดุราคาถูกที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น คือ ผงสีขาวไททานีเนียมไดออกไซด์กับแร่ลูโคซีนนั้นมีสารประกอบไททานีเนียมไดออกไซด์อยู่ 92.644% และ 93.013% ตามลำดับ สำหรับไททานีเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh และ P25 ซึ่งเป็นไททานีเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในห้อง ทดลอง และเพื่อการพาณิชย์นั้นมีสารประกอบไททานีเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่ 99.380% และ 99.849% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของวัสดุไททาเนียมไดออกไซด์ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

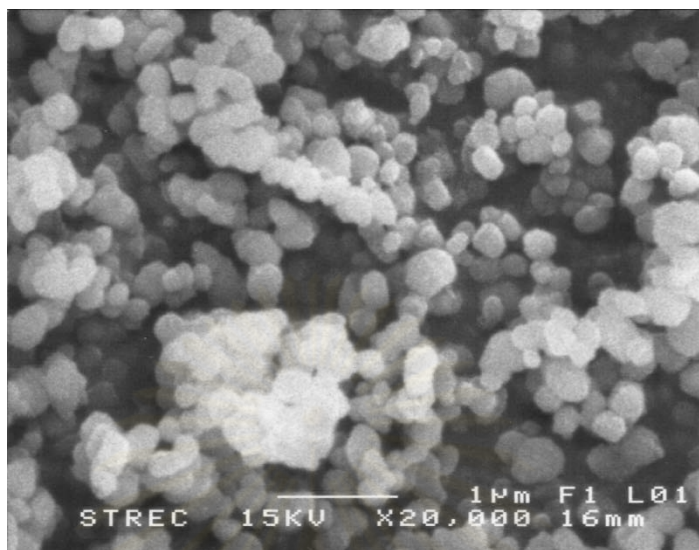
วัตถุดิบตัวอย่าง	% TiO ₂
ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)	99.849
ไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh	99.380
ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์	92.644
แร่ลูโคซีน	93.013

โดยผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ราคาถูกนั้นมีส่วนเจือปนของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) และอลูมิเนียม(III)ออกไซด์(Al₂O₃)อยู่ประมาณ 4.657% และ 2.277% ตามลำดับ ส่วนแร่ลูโคซีนมีส่วนเจือปนของไอรอน(III)ออกไซด์(Fe₂O₃)อยู่ประมาณ 3.825%

ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์นั้นเป็นเกรดเดียวกับไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ผสมสีทาบ้านที่มีราคาประมาณกิโลกรัมละ 10-20 บาท และสำหรับแร่ลูโคซีนนั้นซื้อมาจากบริษัท สีนแร่สาร จำกัด ซึ่งเป็นแร่จากแหล่งหินในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่มีราคา กิโลกรัมละ 10-20 บาทเช่นกัน

4.1.2 ลักษณะโครงสร้างของวัสดุท่อนานาไททาเนต

หลังจากที่นำวัสดุราคาถูกที่กล่าวข้างต้นมาสังเคราะห์ให้เป็นวัสดุท่อนานาไททาเนตแล้วพบว่าสามารถสังเคราะห์ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ให้เป็นวัสดุท่อนานาไททาเนตได้ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแร่ลูโคซีนสามารถสังเคราะห์เป็นวัสดุท่อนานาไททาเนตได้ที่ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ในขณะที่ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในห้องทดลองอย่างเกรด 325 mesh นั้นก็ถูกสังเคราะห์เป็นวัสดุท่อนานาได้ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเช่นกัน ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

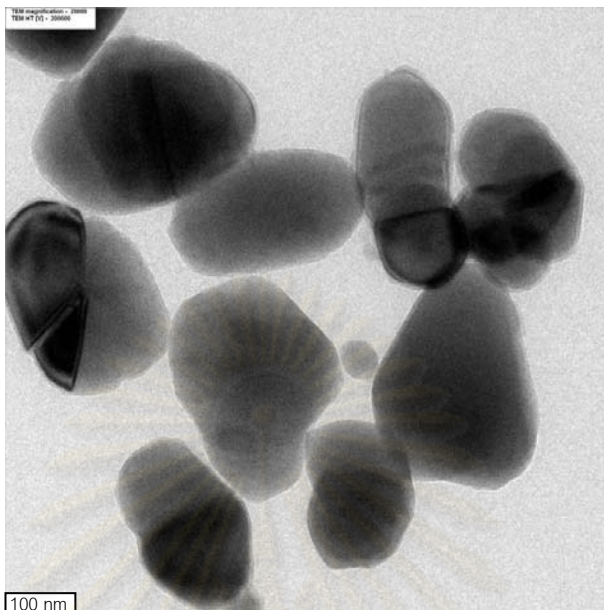


(ก)

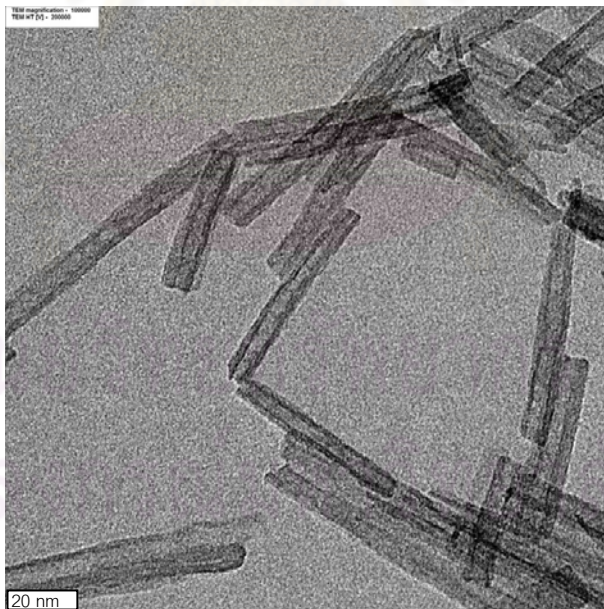


(ข)

รูปที่ 4.1 ภาพถ่าย SEM ของผงสีขาวไททานเนียมไดออกไซด์ (ก) สารตั้งต้น และ (ข) หลังการสังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

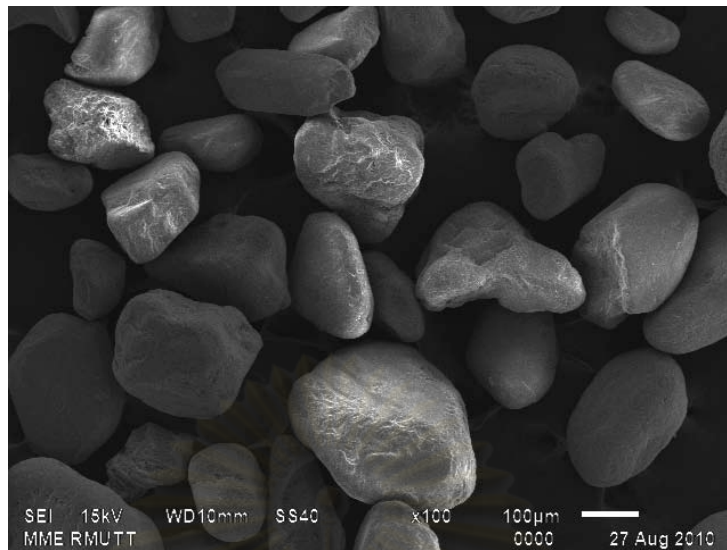


(ก)

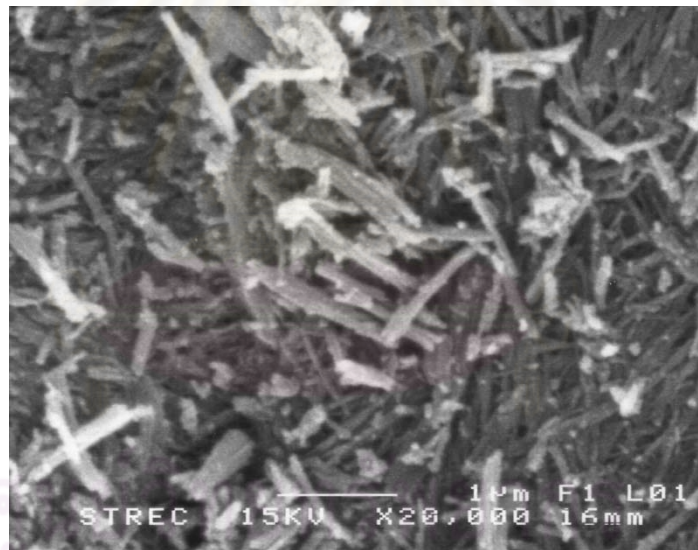


(ข)

รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย TEM ของผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ (ก) สารตั้งต้น และ (ข) หลังการสังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

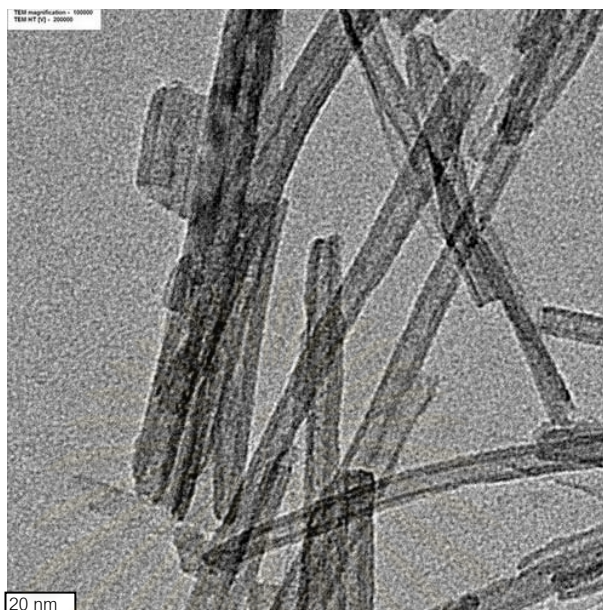


(ก)



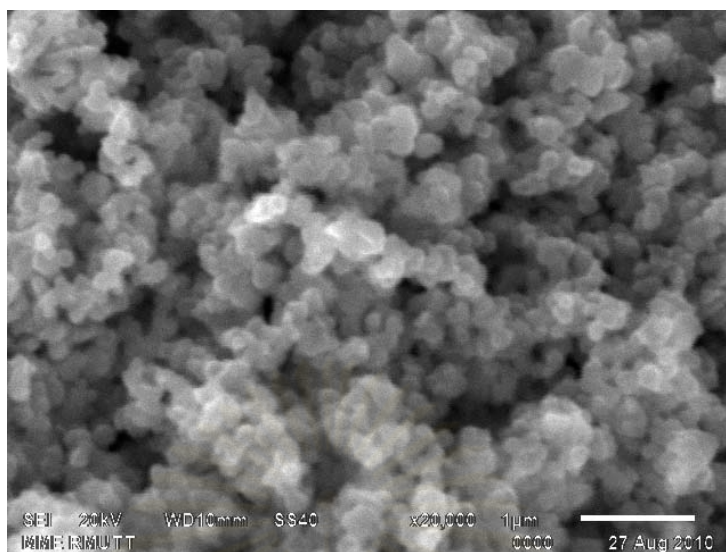
(ข)

รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของแร่ลูโคซีน (ก) สารตั้งต้น และ (ข) หลังการสังเคราะห์ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

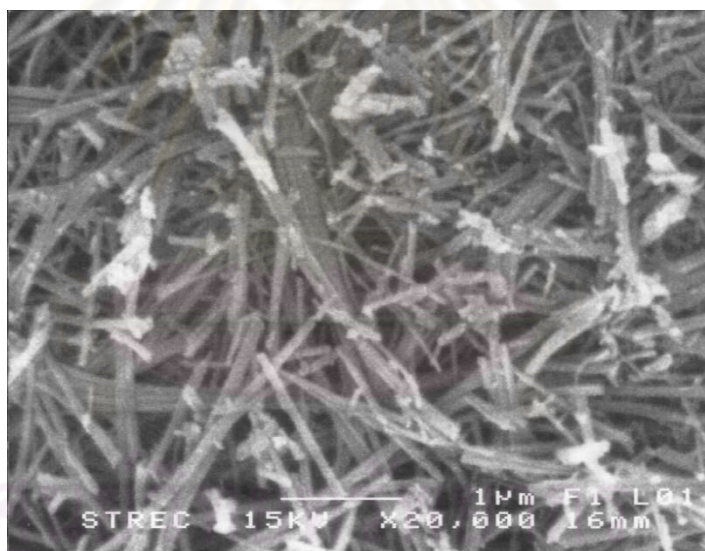


รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย TEM ของท่อนาโนไททานเนตจากแร่ลูโคซีน
หลังการสังเคราะห์ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

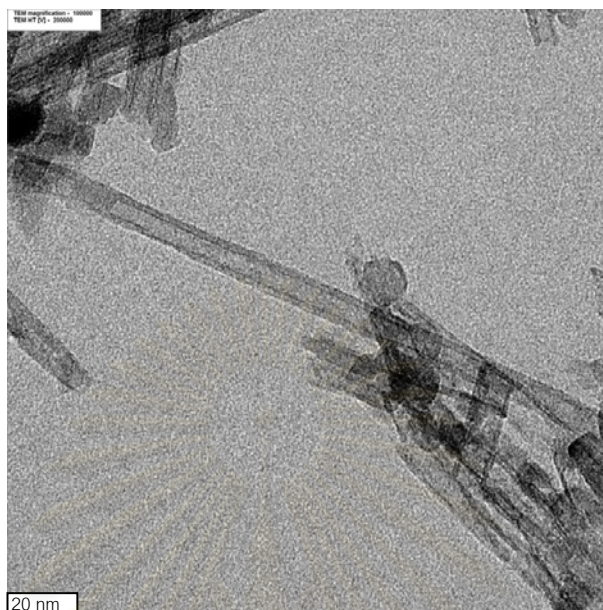


(ข)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.5 ภาพถ่าย SEM ของไททานเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh (ก) สารตั้งต้น

และ (ข) หลังการสังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย TEM ของท่อนาโนไททานเนตจากไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh หลังการสังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าก่อนการสังเคราะห์ ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100-300 นาโนเมตรและเมื่อนำไปสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแท่งกลวงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและด้านนอกประมาณ 4-6 นาโนเมตร และ 8-10 นาโนเมตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับแร่ลูโคซีน ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแท่งกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและด้านนอกประมาณ 4-6 นาโนเมตร และ 8-10 นาโนเมตรตามลำดับเช่นกัน ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

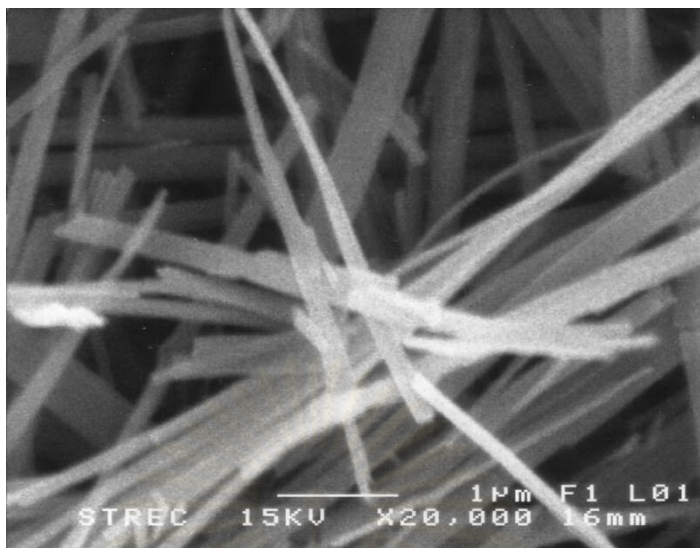
ในรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงภาพถ่าย SEM และ TEM ของไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh สังเคราะห์ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแท่งกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและด้านนอกประมาณ 4-6 นาโนเมตร และ 8-10 นาโนเมตร ตามลำดับ เช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถสังเคราะห์วัสดุที่มีลักษณะเป็นแท่งกลวงหรือวัสดุท่อนาโนได้โดยใช้วัสดุที่มีราคาถูกลงอย่างผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์และแร่ลูโคซีน

เช่นเดียวกับ การใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นกรดที่ใช้ในห่อ งดทดลอง และวัสดุที่ถูกสังเคราะห์ ขึ้นมานั้นจะมีลักษณะและขนาดใกล้เคียงกัน

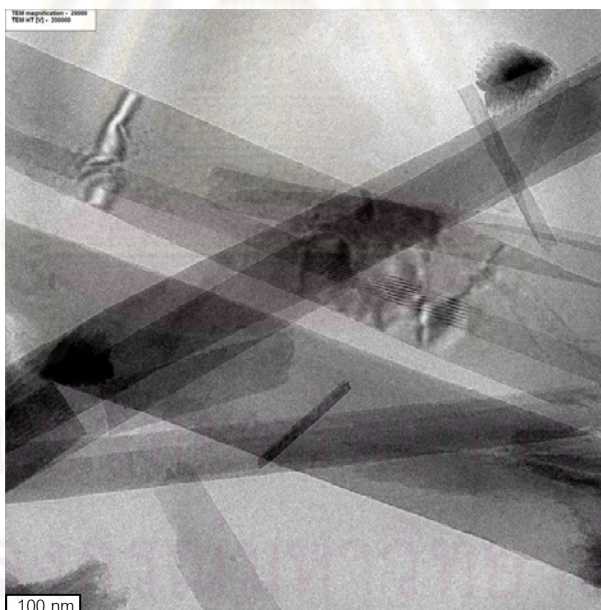
แต่หลังจากทำการเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 120 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาเท่า เดิม จะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นจะมีลักษณะเป็นแท่งตัน ที่มีขนาดใหญ่และยาวหลายร้อยนาโน เมตร หรือที่เรียกว่า “เส้นใยนาโน” ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวัสดุที่อนานี้ นั้นสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ที่อุณหภูมิประมาณ 100-110 องศาเซลเซียส ที่เวลา 24 ชั่วโมง

สำหรับ ในรูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงภาพถ่าย จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด(SEM) เมื่อทำการเผาวัสดุที่อนานาไททาเนตที่เตรียมจากวัสดุราคาถูก(ผงสีขาวไททาเนียมได ออกไซด์และแร่ ลูโคซีน)ที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะพบว่าวัสดุ ที่อนานาไททาเนตที่เตรียมจากผงสีขาวนั้นกลายเป็นอนุภาคขนาดเล็กเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ผสม กับวัสดุแท่งยาวบางส่วน ในขณะที่ วัสดุที่อนานาไททา เนตที่เตรียมจากแร่ ลูโคซีนนั้นพบว่าวัสดุ ยังคงมีลักษณะเป็นแท่งยาว

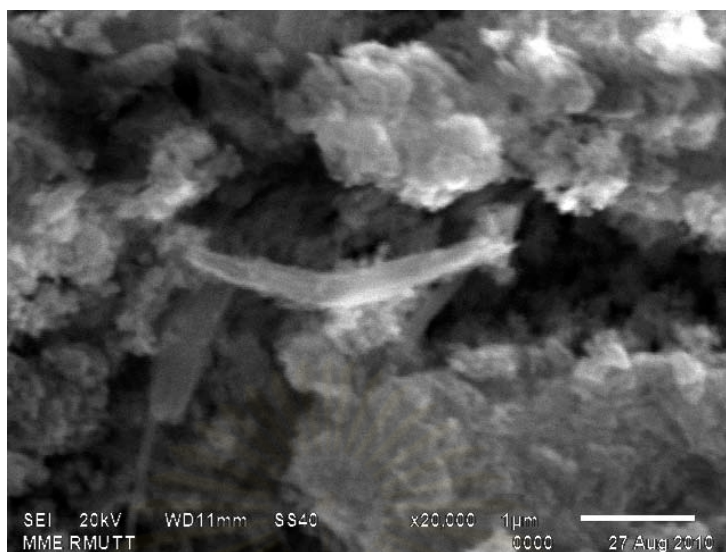
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์
หลังการสังเคราะห์ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.8 ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์
หลังการสังเคราะห์ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.9 ภาพถ่าย SEM ของท่อนาโนไททานเนตจากผงสีขาวไททานเนียมไดออกไซด์
 หลังการสังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
 แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของท่อนาโนไททานเนตจากแร่ลูโคซีน
 หลังการสังเคราะห์ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
 แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4.1.3 พื้นที่ผิวจำเพาะและลักษณะกับขนาดรูพรุนของวัสดุท่อนาโนไททาเนต

ในการตรวจสอบพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุที่เตรียมขึ้นมานั้น ทำการวัดด้วยวิธี BET (The Brunauer-Emmett-Teller) โดยใช้การดูดซับก๊าซไนโตรเจน ซึ่งผลการทดลอง แสดงได้ดังตารางที่ 4.2 โดยวัสดุดิบตั้งต้นที่นำมาทำการศึกษาก็คือ ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ และแร่ลูโคซีน มีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ที่ประมาณ 10.32 ตร.ม./กรัม และ 0 ตร.ม./กรัม ตามลำดับ และเมื่อทำการสังเคราะห์วัสดุราคาถูกนี้ให้เป็นวัสดุท่อนาโนไททาเนต ที่อุณหภูมิประมาณ 100-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ และแร่ลูโคซีนจะเพิ่มขึ้นเป็น 251.96 ตร.ม./กรัม และ 144.79 ตร.ม./กรัม ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าวัสดุดิบตั้งต้น 20-25 เท่าตัว และมีปริมาตรรูพรุนประมาณ 1.0248 ลบ.ซม./กรัม และ 1.0335 ลบ.ซม./กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh ซึ่งเป็นเกรดที่ใช้ในห้องทดลอง แล้วพบว่ามีความใกล้เคียงกัน คือ ไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh ก่อนการสังเคราะห์ นั้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 9.57 ตร.ม./กรัม และเมื่อนำไปสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้เป็นวัสดุท่อนาโนไททาเนต จะได้พื้นที่ผิว จำเพาะ และปริมาตรรูพรุน ประมาณ 229.16 ตร.ม./กรัม และ 0.9838 ลบ.ซม./กรัม ตามลำดับ

และเมื่อนำผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ไปทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุน นั้นลดลงเหลือ 29.34 ตร.ม./กรัม และ 0.1053 ลบ.ซม./กรัม ตามลำดับ เนื่องจากวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสนั้นมีลักษณะเป็นแท่งตันขนาดใหญ่หรือที่เรียกว่าเส้นใย จึงทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะต่ำกว่าวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าและเป็นแท่งกลวงหรือที่เรียกว่าท่อนาโน ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลของพื้นที่ผิวจำเพาะ ที่สูงส่งผลให้วัสดุท่อนาโนนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆได้

ตารางที่ 4.2 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของสารตัวอย่าง

สารตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.ม./กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ลบ.ซม./กรัม)
ไททาเนียมไดออกไซด์ 325 mesh	9.57	-
ท่อนาโนไททาเนตจากไททาเนียมไดออกไซด์ 325 mesh	229.16	0.9838
แร่ลูโคซีน	0	-
ท่อนาโนไททาเนตจากแร่ลูโคซีน	144.79	1.0335
ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์	10.32	-
ท่อนาโนไททาเนตจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์	251.96	1.0248
เส้นใยนาโนจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์	29.34	0.1053
ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)	49.99	0.2318

หมายเหตุ – ท่อนาโนไททาเนตจากไททาเนียมไดออกไซด์ 325 mesh สังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- ท่อนาโนไททาเนตจากแร่ ลูโคซีน สังเคราะห์ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- ท่อนาโนไททาเนตจากผงสีขาว ไททาเนียมไดออกไซด์ สังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เมื่อนำวัสดุท่อนาโน ที่เตรียมได้ ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะ กับปริมาตรรูพรุน ของตัววัสดุ จะลดลงเหลือ 47.22 ตร.ม./กรัม และ 74.07 ตร.ม./กรัม กับ 0.1225 ลบ.ซม./กรัม และ 0.1277 ลบ.ซม./กรัม สำหรับผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์และแร่ลูโคซีน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3

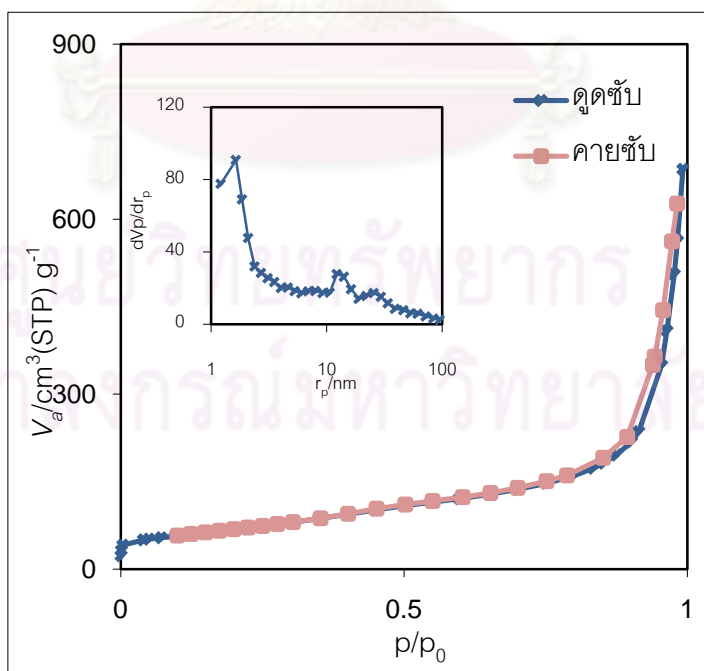
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุท่อนาโนไททาเนตที่นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

วัสดุท่อนาโนไททาเนตที่นำไปเผา	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.ม./กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ลบ.ซม./กรัม)
ท่อนาโนไททาเนตจากแร่ลูโคซีน	74.07	0.1277
ท่อนาโนไททาเนตจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์	47.22	0.1225

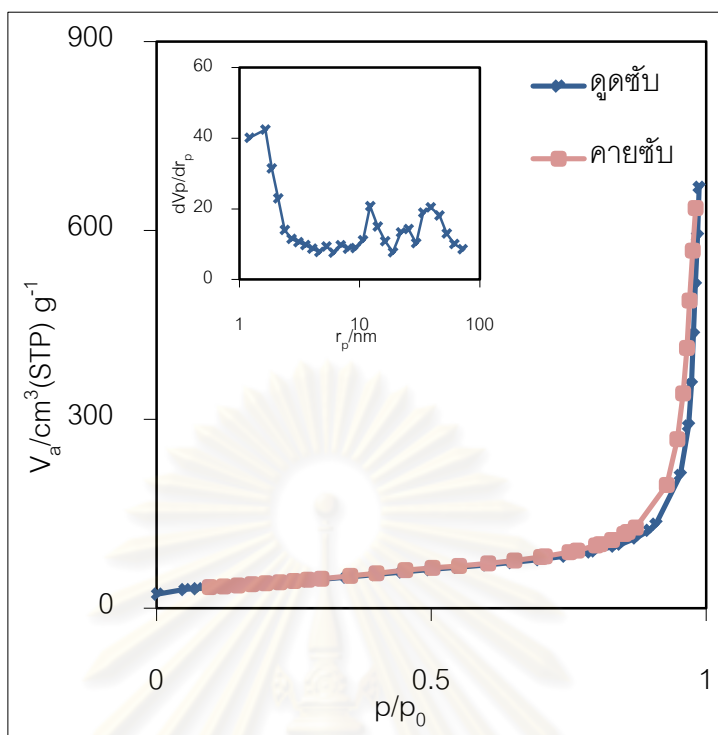
หมายเหตุ – ท่อนาโนไททาเนตจากแร่ ลูโคซีน สังเคราะห์ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

– ท่อนาโนไททาเนตจากผงสีขาว ไททาเนียมไดออกไซด์ สังเคราะห์ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

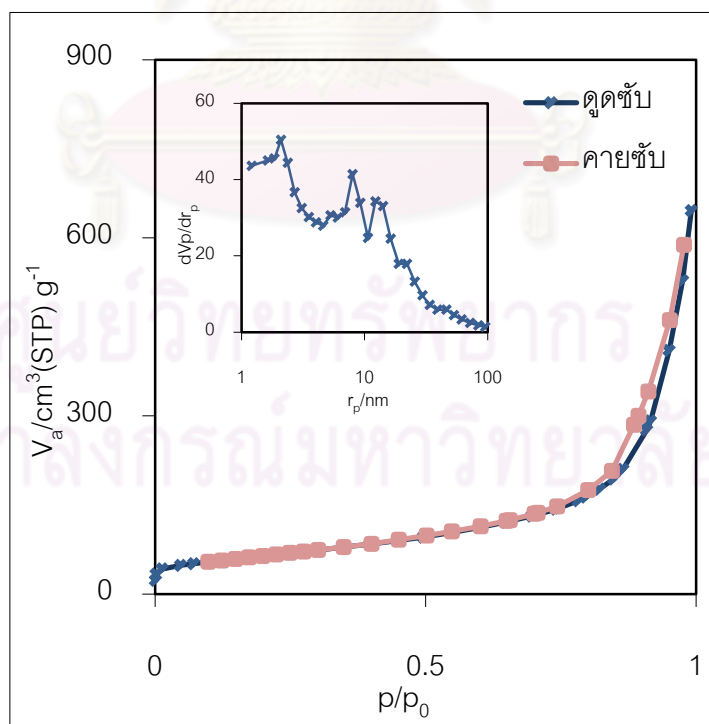
เมื่อพิจารณาจากไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับก๊าซไนโตรเจน ในรูปที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 จะพบว่าวัสดุท่อนาโนนั้นมีลักษณะรูพรุนเป็นแบบเมโซ พอร์ ซึ่งเป็นรูพรุนที่มีขนาดประมาณ 2-50 นาโนเมตร โดยสามารถยืนยันได้จากกราฟการกระจายตัวของขนาดรูพรุน แต่สำหรับวัสดุเส้นใยนาโนนั้นจะไม่มีรูพรุน ดังรูปที่ 4.14



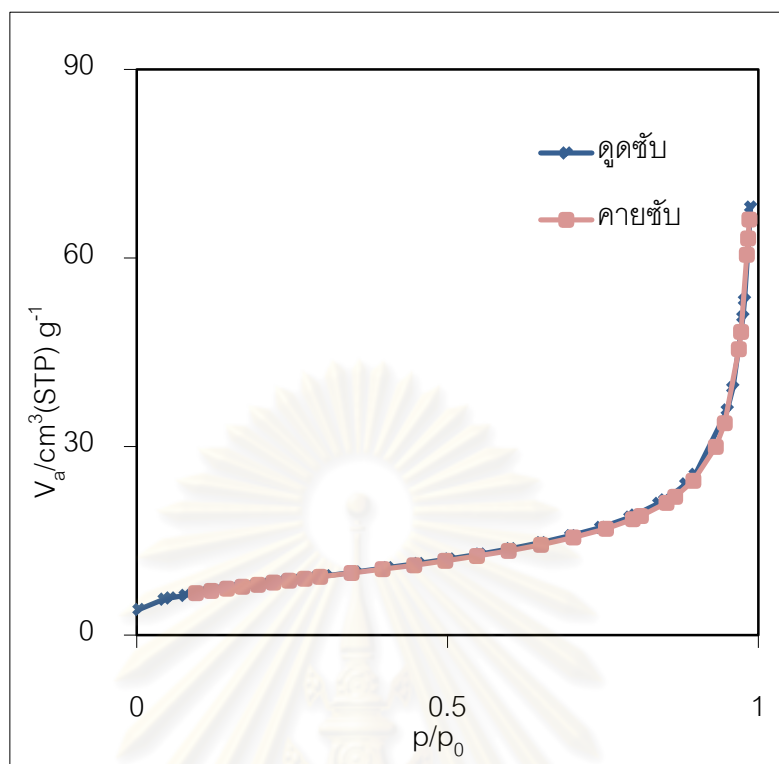
รูปที่ 4.11 ไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับก๊าซไนโตรเจนของวัสดุท่อนาโนไททาเนตจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์



รูปที่ 4.12 ไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับก๊าซไนโตรเจนของวัสดุท่อนาโนไททานตจากแร่ลูโคซีน



รูปที่ 4.13 ไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับก๊าซไนโตรเจนของวัสดุท่อนาโนไททานตจากไททานเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh



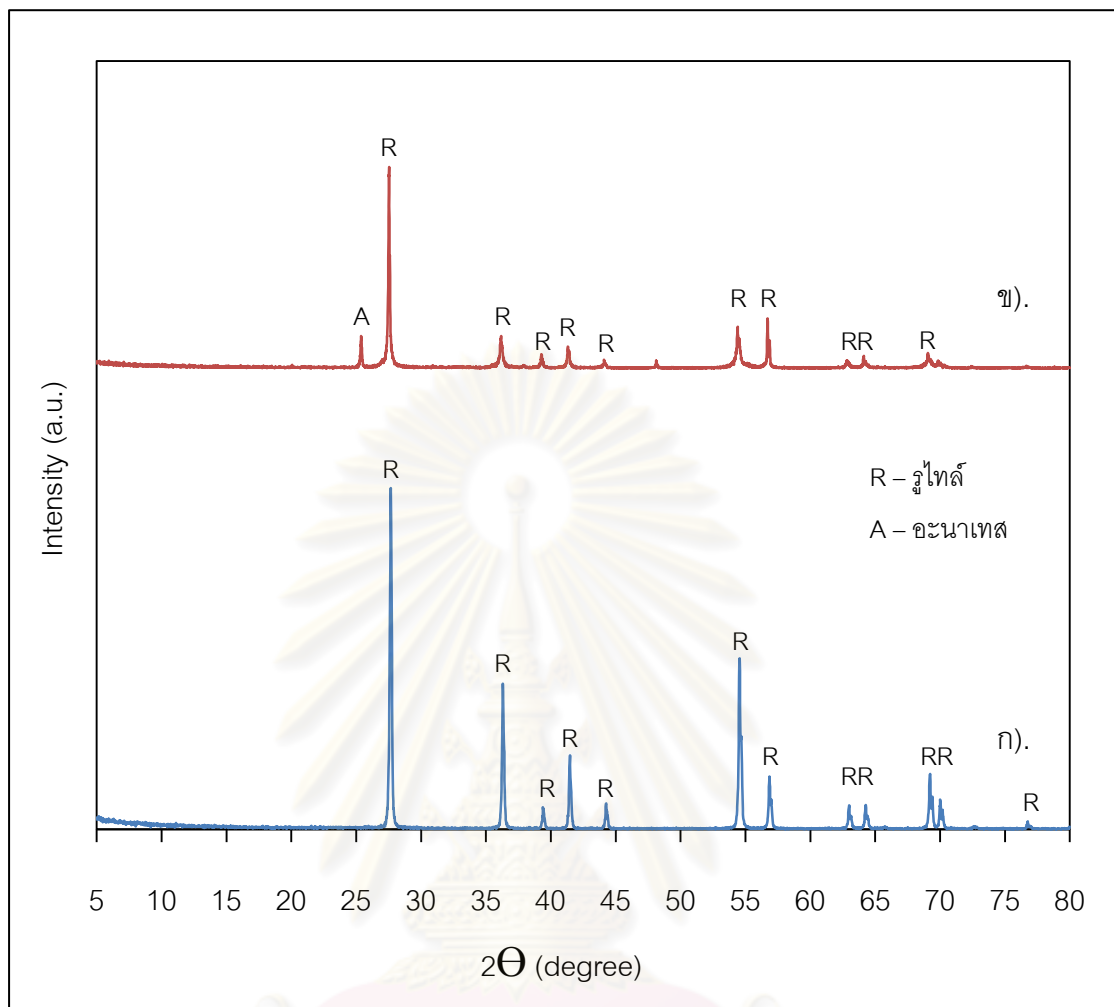
รูปที่ 4.14 ไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับก๊าซไนโตรเจนของ
วัสดุเส้นใยนาโนจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์

จากภาพถ่าย SEM, TEM และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่วัดด้วยวิธี BET นั้นเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สามารถยืนยันได้ว่าวัสดุที่มีราคาถูกอย่างผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์และแร่ ลูโคซีนนั้นสามารถนำมาสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลให้เป็นวัสดุท่อนาโนได้เช่นเดียวกับไททาเนียมไดออกไซด์เกรดที่ใช้ในห้องทดลอง และมีราคา สูง(เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh) ที่อุณหภูมิประมาณ 100-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 โครงร่างผลึกของวัสดุท่อนาโนไททานเนต

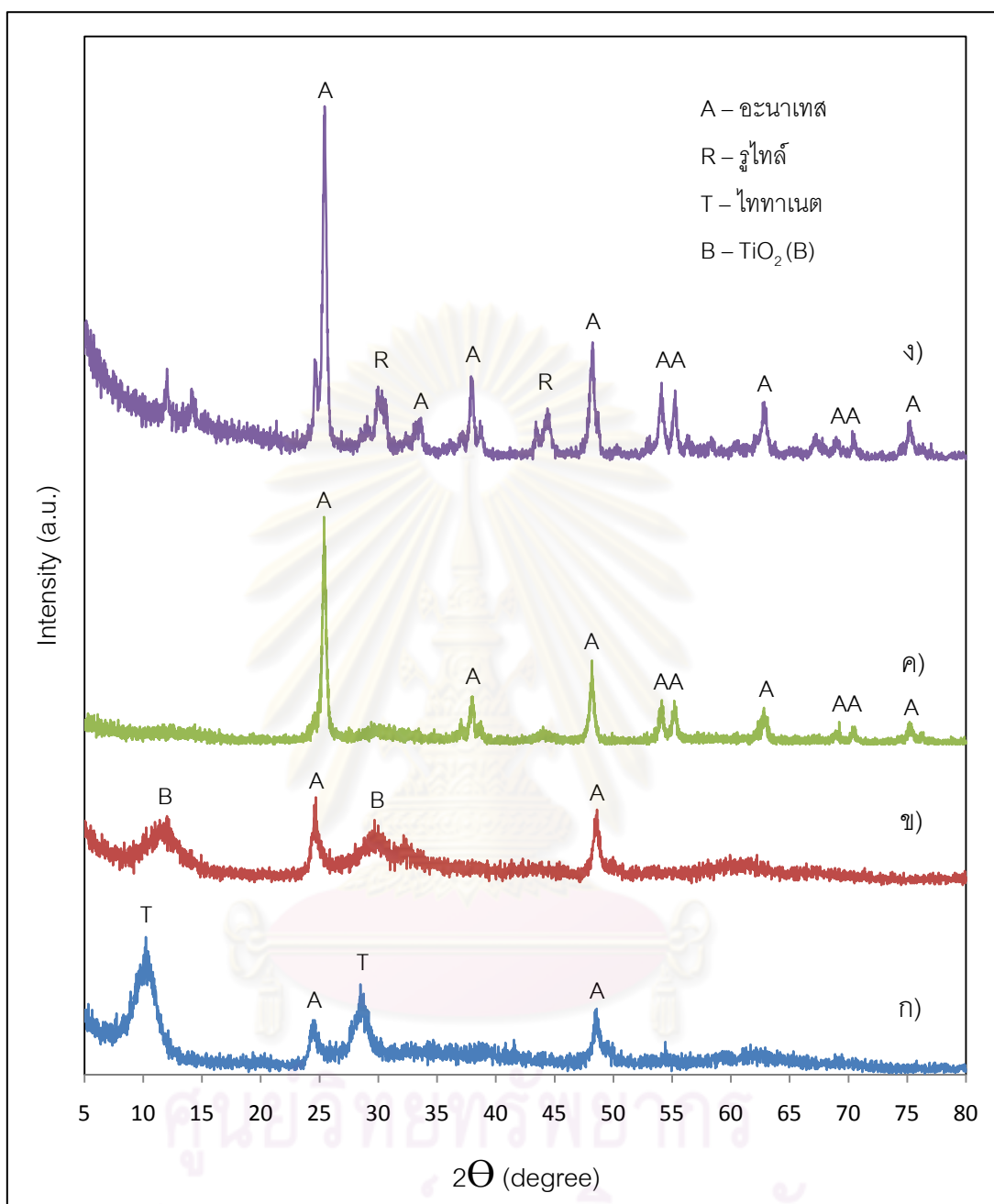
โดยปกติแล้วสารประกอบไททานเนียมไดออกไซด์นั้นจะมีโครงร่างผลึกอยู่ 3 ประเภท คือ อะนาเทส, รูไทล์ และบรูไคต์ ซึ่งโดยส่วนมาก มักจะพบแต่โครงร่างผลึกชนิดอะนาเทสและรูไทล์ เท่านั้น และโดยส่วนมากแหล่งหินที่มีสารประกอบไททานเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักนั้น จะมีโครงร่างผลึกเป็นแบบรูไทล์ และวัตถุดิบตั้งต้นที่เรานำมาใช้ในการสังเคราะห์เพื่อให้เป็นวัสดุท่อนาโนนั้นก็มีโครงร่างผลึกชนิดรูไทล์ทั้งผงสีขาวไททานเนียมไดออกไซด์และแร่ลูโคซีน ดังรูปที่ 4.15 แต่เมื่อทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลให้เป็นวัสดุท่อนาโน จะพบว่าผงสีขาวไททานเนียมไดออกไซด์ที่สามารถสังเคราะห์ให้เป็นวัสดุท่อนาโนได้ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงนั้นจะมีโครงร่างผลึกเป็นแบบไททานเนตและจะพบส่วนของอะนาเทสอยู่ไม่มาก ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการสังเคราะห์นั้นมีขั้นตอนการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างตัวอย่างที่สังเคราะห์กับกรดไฮโดรคลอริกทำให้โครงร่างของไททานเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมานั้นจะมีอะตอมของไฮโดรเจนเกาะอยู่หรืออาจจะมีไฮดรอกซิลที่หลงเหลืออยู่ในโครงร่างซึ่งโครงร่างผลึกนี้จะมีชื่อเรียกว่า “ไททานเนต” ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขั้นตอนล้างด้วยกรดนั้นถ้าล้างด้วยกรดไม่เพียงพอจะทำให้ยังมีอะตอมของไฮดรอกซิลหลงเหลืออยู่ก็จะถูกเรียกว่า “ไฮดรอกซิลไททานเนต” ($\text{Na}_x\text{H}_{2-x}\text{Ti}_3\text{O}_7$) แต่ถ้าล้างด้วยกรดที่มากเกินไปแล้วจะมีไฮโดรเจนเกาะอยู่ในโครงร่างทำให้เกิดโครงร่างผลึกที่เรียกว่า “ไฮโดรเจนไททานเนต” ($\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$) โดยตำแหน่งของไททานเนตนั้นจะแสดงอยู่ที่ ตำแหน่งประมาณ 10 และ 28 องศา ดังนั้นเพื่อต้องการให้ได้สารประกอบไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) นั้นจึงต้องทำการกำจัดโมเลกุลของน้ำ (H_2O) และไฮดรอกซิลที่อยู่ในโครงร่างออกให้หมดโดยทำการเผาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งในการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของผงสีขาวไททานเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์มาเป็นวัสดุท่อนาโนนั้นจะเห็นได้ว่ายังมีเฟสของไททานเนตหลงเหลืออยู่ โดยเฟสไททานเนตที่ว่านี้กำลังจะสลายและกลายเป็นเฟสอะนาเทสของไททานเนียมไดออกไซด์ ซึ่งในช่วงเฟสนี้เรียกว่า “ช่วงเมตาสเตเบิล” ($\text{TiO}_2(\text{B})$) ดังรูปที่ 4.16 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาให้สูงขึ้นเป็น 550 องศาเซลเซียส ที่เวลา 2 ชั่วโมงแล้ว จะพบว่าเฟสของ $\text{TiO}_2(\text{B})$ นั้นสลายไป และได้ไททานเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงร่างผลึกเป็นแบบอะนาเทส แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาให้สูงขึ้นเป็น 700 องศาเซลเซียส จะพบว่าโครงร่างผลึกของวัสดุที่เตรียมได้นั้นจะเริ่มมีส่วนที่เป็นรูไทล์เกิดขึ้นมา



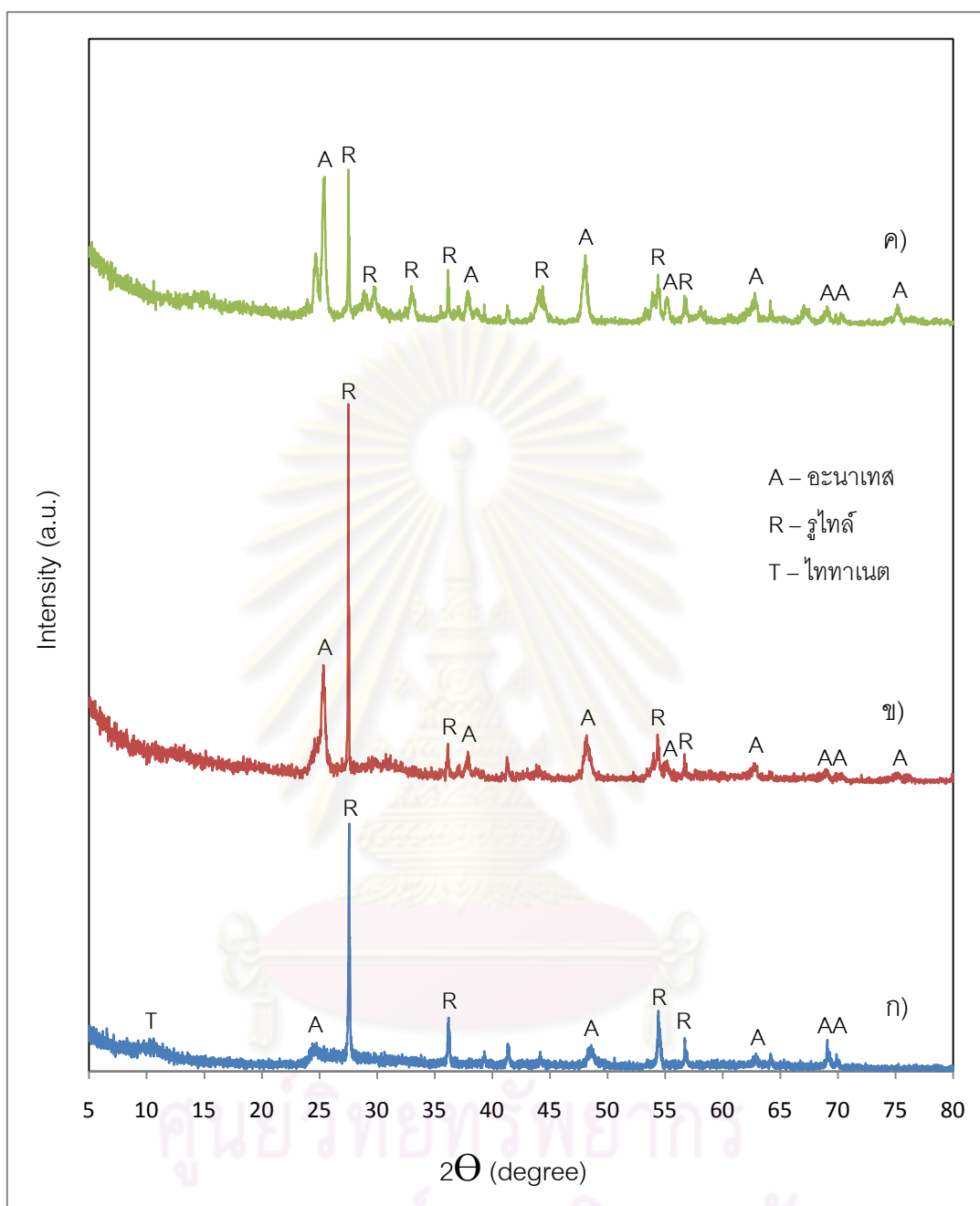
รูปที่ 4.15 โครงร่างผลึกของวัสดุบดตั้งต้น

(ก) ผงสีขาวไททานเนียมไดออกไซด์ และ (ข) แร่ลูโคซีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 โคจร่างผลึกของผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ที่ (ก) สังกะระห์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง, (ข) สังกะระห์แล้วเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ค) สังกะระห์แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ (ง) สังกะระห์แล้วเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.17 โครงร่างผลึกของแร่สังกะสีที่ (ก) สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง, (ข) สังเคราะห์แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ (ค) สังเคราะห์แล้วเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

สำหรับในรูปที่ 4.17 นั้นเป็นกราฟแสดงโครงร่างผลึกของแร่ลิวโคซีนที่สภาวะต่างๆ โดยแร่ลิวโคซีนนั้นมีโครงร่างผลึกเป็นแบบรูไทล์ สามารถทำการสังเคราะห์ให้เป็นวัสดุท่อนาโนได้ที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจะได้โครงร่างผลึกเป็นไททาเนต และเมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงจะได้วัสดุที่มีโครงร่างผลึกเป็นแบบอะนาเทสผสมกับรูไทล์ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาขึ้นไปอีกเป็น 700 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดโครงร่างผลึกแบบรูไทล์เพิ่มมากขึ้น

จากผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีต่อโครงร่างผลึกนี้ สามารถนำไปใช้ เป็นข้อมูล ในการประกอบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงฝั่งไฟโอดีเล็กโทรด ซึ่ง ใช้วัสดุไททาเนียมไดออกไซด์ในการเตรียมขั้วโอดีเล็กโทรดขึ้นมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การทดลองประยุกต์ใช้ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงนั้นใช้วัสดุท่อนาโนไททาเนตที่เตรียมจากวัสดุราคาถูก (ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์และแร่ลูโคซีน) มาทำเป็นขั้วอิเล็กโทรดในเซลล์ เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งในขั้นตอนการเผา จะทำการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เฟสไททาเนตสลายไปหมด และเกิดเฟสอะนาเทสขึ้นชัดเจน โดยไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) จะใช้อุณหภูมิในการเผาขั้วไฟฟ้าได้เล็กโทรด ที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เช่นเดียวกันเพื่อใช้เป็นเซลล์อ้างอิง และสำหรับฟิล์มที่เคลือบลงบนกระจกนำไฟฟ้านั้นจะ ถูกควบคุมให้มีความหนาประมาณ 12-13 ไมครอน (วัดโดยเครื่อง วัดความหนาชั้นฟิล์ม, Dektak 150 Stylus Profiler)

4.2.1 วัสดุท่อนาโนไททาเนตในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

จากผลการทดสอบด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีที่เตรียมจากวัสดุราคาถูก ทั้งผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์และแร่ลูโคซีนนั้นให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนคลื่นแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้วัสดุท่อนาโนไททาเนตที่เตรียมจากวัสดุราคาถูก เป็นขั้วอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)

สารตัวอย่าง	ค่าทางไฟฟ้า			
	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	Eff (%)
ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)	0.68	5.43	0.69	2.56
ท่อนาโนไททาเนตจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์	0.52	0.15	0.57	0.05
ท่อนาโนไททาเนตจากแร่ลูโคซีน	0.45	0.14	0.59	0.04

4.2.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จากวัสดุท่อนาโนไททาเนตโดยใช้อนุภาคเม็ดนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

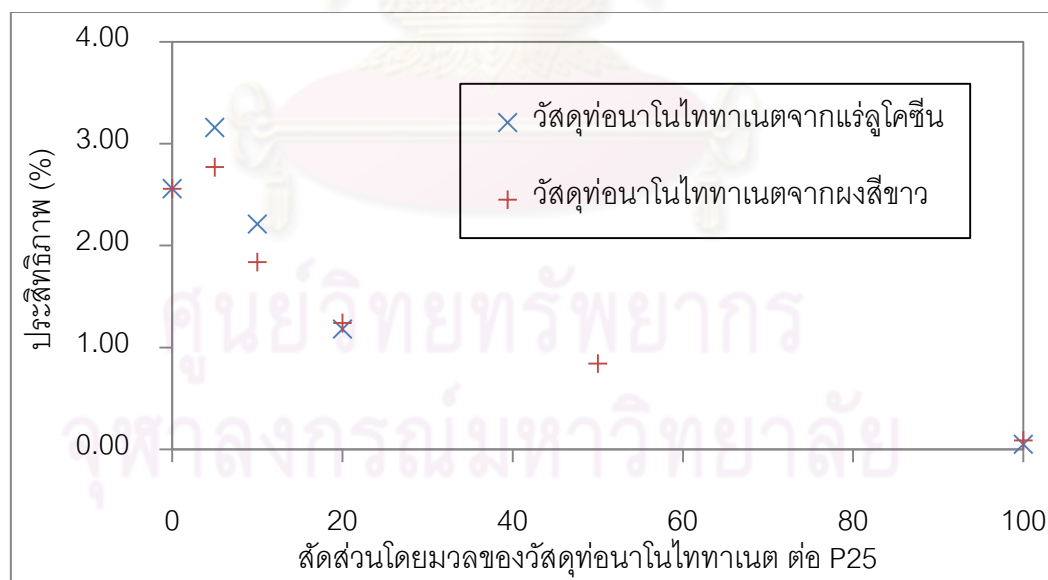
หลังจากการนำวัสดุท่อนาโนที่สังเคราะห์จากวัสดุราคาถูกมาใช้เป็นขั้วอิเล็กโทรดในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแล้วได้ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าต่ำ จึงได้นำวัสดุท่อนาโนนี้ไปทำการผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคเม็ดนาโน ในสัดส่วน ต่างๆ และได้ค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อใช้วัสดุท่อนาโนไททาเนตที่เตรียมจากผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ในสัดส่วนต่างๆเป็นขั้วอิเล็กโทรด

% สารตัวอย่าง		ค่าทางไฟฟ้า			
ท่อนาโนไททาเนต จากผงสีขาว	P25	$V_{oc}(V)$	$J_{sc}(mA/cm^2)$	FF	Eff (%)
100	0	0.52	0.15	0.57	0.05
50	50	0.74	1.68	0.67	0.84
20	80	0.74	2.44	0.69	1.24
10	90	0.74	3.94	0.63	1.84
5	95	0.73	5.77	0.66	2.77
0	100	0.68	5.43	0.69	2.56

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อใช้วัสดุท่อนาโนไททาเนตที่เตรียมจากแร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ในสัดส่วนต่างๆ เป็นขั้วอิเล็กโทรด

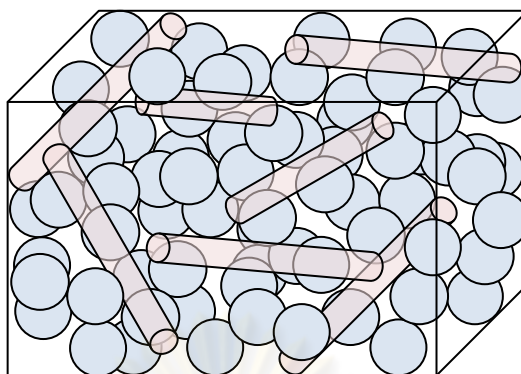
% สารตัวอย่าง		ค่าทางไฟฟ้า			
ท่อนาโนไททาเนต จากแร่ลูโคซีน	P25	$V_{oc}(V)$	$J_{sc}(mA/cm^2)$	FF	Eff (%)
100	0	0.45	0.14	0.59	0.04
20	80	0.67	2.96	0.6	1.18
10	90	0.68	4.48	0.73	2.21
5	95	0.74	6.01	0.71	3.16
0	100	0.68	5.43	0.69	2.56



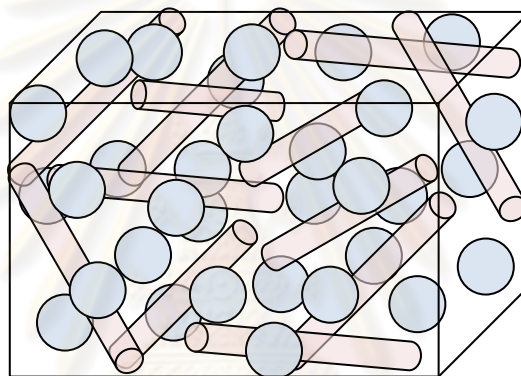
รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อผสมวัสดุท่อนาโนไททาเนตจากวัสดุราคาถูกร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ในสัดส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 สรุปได้ว่าเมื่อนำวัสดุท่อนาโนไททานเนียมผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) แล้วนำไปประกอบเป็นขั้วอิเล็กโทรดในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จะพบว่าสามารถให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงขึ้นเมื่อทำการผสมวัสดุท่อนาโนไททานเนียมในสัดส่วน 5% ต่อไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) 95% และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของวัสดุท่อนาโนไททานเนียมขึ้นไปจะทำให้เซลล์มีประสิทธิภาพ ต่ำลง ดังรูปที่ 4.18 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยในการใช้อนุภาคแท่งนาโน (nanorods) ผสมกับอนุภาคเม็ดนาโน (nanoparticles) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง[39]

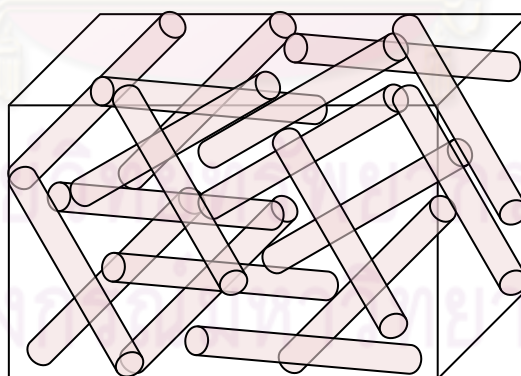
เนื่องจากวัสดุท่อนาโนที่ใช้เป็นขั้วอิเล็กโทรดนั้นเมื่อทำการเคลือบลงบนกระจกนำไฟฟ้าจะทำการเรียงตัวแบบสะเปะสะปะทำให้ในพื้นที่หนึ่งหน่วยปริมาตรที่เคลือบลงไปในนั้นอาจเกิดช่องว่างภายในและเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงที่จะเกิดการหดตัวหรือเปลี่ยนรูปร่างอาจจะทำให้ได้พื้นที่ผิวจำเพาะน้อยลง และอาจเกิดการดักจับอิเล็กตรอนภายในโครงสร้างทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถส่งผ่านไปยังขั้วแคโทดอิเล็กโทรดได้จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นจึงทำการผสมอนุภาคเม็ดนาโน(P25)ลงไปเพื่อไปแทนที่ช่องว่างภายในทำให้ในพื้นที่หนึ่งปริมาตรที่เคลือบลงบนกระจกนำไฟฟ้านั้นมีปริมาณของไททานเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเผาจึงทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าในกรณีที่มีแต่วัสดุท่อนาโน จึงส่งผลต่อกระแสไฟที่เพิ่มขึ้นจากการดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น อธิบายดังรูปที่ 4.19 และจากเหตุผลที่วัสดุท่อนาโนนั้นเป็นวัสดุนาโนแบบ 1 มิติมีผลทำให้การส่งผ่านอิเล็กตรอนทำได้ง่ายกว่าในวัสดุที่มีแต่อนุภาคเม็ดนาโน และยังช่วยให้มีการกระจายแสงได้มากขึ้น[40-42]ทำให้เซลล์ที่ใช้วัสดุท่อนาโนผสมกับอนุภาคเม็ดนาโน (P25)มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปกว่าเซลล์ที่ใช้อนุภาคเม็ดนาโน (P25)เป็นขั้วอิเล็กโทรด นอกจากนี้สิ่งเจือปนในวัสดุราคาถูกลง (เช่น ซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2)และไอร้อน(III)ออกไซด์(Fe_2O_3))อาจมีส่วนช่วยในการป้องกันการถูกดักจับอิเล็กตรอนในแถบนำไฟฟ้า (conduction band)และช่วยหน่วงการย้อนกลับไปรวมตัวของอิเล็กตรอน(recombination)ระหว่างการถูกกระตุ้นในสีย้อมและปฏิกิริยารีดอกซ์ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์[43,44] ซึ่งทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ได้สูงขึ้น



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.19 แผนภาพจำลองการเกาะตัวของวัสดุท่อนาโนไททานเนตกับอนุภาคเม็ดนาโนของP25
 ในสัดส่วนที่ต่างกัน (ก) ท่อนาโน 5%+P25 95%, (ข) ท่อนาโน 50%+P25 50%
 และ (ค) ท่อนาโน 100%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษากการสังเคราะห์วัสดุท่อนาโนไททาเนตจากวัสดุที่มีราคาถูก (ผงสีขาวไททาเนียม ไดออกไซด์และแร่ ลูโคซีน) ด้วยวิธี ไฮโดรเทอร์มัล โดยวัสดุราคาถูกที่นำมาใช้สังเคราะห์นั้นเป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบของไททาเนียมไดออกไซด์เกินกว่า 90% (วัดโดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์) ซึ่งจากผลการวิจัยนั้นสามารถสรุปได้ว่าวัสดุท่อนาโนไททาเนต ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะได้ถึง 20-25 เท่าจากวัตถุดิบตั้งต้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์ขึ้นไปเป็น 120 องศาเซลเซียส ที่เวลา 24 ชั่วโมง วัสดุที่เตรียมได้นั้นจะมีลักษณะโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นแท่งตันขนาดใหญ่หรือที่ เรียกว่า “เส้นใยนาโน” และมีพื้นที่ผิวจำเพาะที่ต่ำ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อการสังเคราะห์วัสดุนาโน นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบกับวัตถุดิบตั้งต้นที่เป็นชนิดที่ใช้ในห้องแลป (ไททาเนียมไดออกไซด์เกรด 325 mesh) โดยทำการสังเคราะห์ที่สภาวะเดียวกัน แล้วพบว่าสามารถสังเคราะห์ให้เป็นวัสดุท่อนาโนไททาเนตได้ เช่นเดียวกับวัสดุที่มีราคาถูกอย่างผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์และแร่ ลูโคซีน โดยสามารถยืนยันได้จากข้อมูลของ ผลการวิเคราะห์ลักษณะของวัสดุ คือ ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องผ่าน และผลของพื้นที่ผิวจำเพาะที่วัดด้วยวิธี BET ซึ่งผลที่ได้ออกมาใกล้เคียงกัน ระหว่างวัสดุที่มีราคาถูกกับวัสดุที่เป็นเกรด ที่ใช้กันในห้องทดลอง หลังจากนั้นได้ทำการนำวัสดุท่อนาโนไททาเนตที่สังเคราะห์จากวัสดุราคาถูกไปวิเคราะห์ หาโครงร่างผลึกเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการ ทดลอง ประยุกต์ใช้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เมื่อนำวัสดุท่อนาโนไททาเนตที่สังเคราะห์จากวัสดุราคาถูกนี้มา ทดลองประยุกต์ใช้เป็นขั้วอิเล็กโทรดในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแล้วพบว่าให้ประสิทธิภาพในกา รเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) แต่หลังจากที่ได้ทำการผสมวัสดุท่อนาโนไททาเนตกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)ในสัดส่วนต่างๆแล้ว จะพบว่าเมื่อทำการผสมวัสดุท่อนาโนไททาเนตที่สังเคราะห์จากวัสดุราคาถูกกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)ที่สัดส่วน 5% ต่อ

95% แล้วสามารถทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เพิ่มขึ้นถึง 2.77% และ 3.16% สำหรับวัสดุผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์และ แร่ลูโคซีน ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าซั้วอิเล็กโทรดที่ใช้เพียงแต่ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประมาณ 2.56%

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุท่อนาโนไททาเนตจากวัสดุราคาถูก(ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์และแร่ลูโคซีน)ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลนี้สามารถนำมาเป็นแนวทางในการสังเคราะห์วัสดุนาโนจากวัสดุราคาถูกได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุไททาเนียมไดออกไซด์เกรดที่ใช้ในห้องทดลอง ซึ่งวิธีการไฮโดรเทอร์มัลนี้เป็นวิธีการที่ทำได้โดยง่าย และไม่ซับซ้อน นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการค้นหาและประยุกต์ใช้แร่ธรรมชาติ ชนิดอื่นที่มีส่วนประกอบของไททาเนียมไดออกไซด์ ที่หาได้ในประเทศและมีราคาถูกมาสังเคราะห์ได้อีกด้วย ซึ่งวัสดุเหล่านี้ยังสามารถทดลองนำมาใช้เป็นสารกึ่งตัวนำในซั้วอิเล็กโทรดของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสงได้ เพื่อทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์ให้สูงขึ้นได้ในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] R.W. Miles, K.M. Hynes, and I. Forbes, Photovoltaic solar cells: An overview of state-of-the-art cell development and environmental issues. Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials 51 (2005): 1-42.
- [2] B. O'Regan, and M. Grätzel, A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. Nature 235 (1991): 737-740.
- [3] M. Grätzel, Dye-sensitized solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 4 (2003): 145-153.
- [4] P. Roy, D. Kim, K. Lee, E. Spiecker, and P. Schmuki, TiO₂ nanotubes and their application in dye-sensitized solar cells. Nanoscale 2 (2010): 45-59.
- [5] M. Grätzel, Photoelectrochemical cells. NATURE 414 (2001): 338-344.
- [6] S.V.N.T. Kuchibhatla, A.S. Karakoti, D. Bera, and S. Seal, One dimensional nanostructured materials. Progress in Materials Science 52 (2007): 699-913.
- [7] U.I. Gaya, and A.H. Abdullah, Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminants over titanium dioxide: A review of fundamentals, progress and problems. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 9 (2008): 1-12.
- [8] U. Diebold, The surface science of titanium dioxide. Surface Science Reports 48 (2003): 53-229.
- [9] S.M. Woodley, and C.R.A. Catlow, Structure prediction of titania phases: Implementation of Darwinian versus Lamarckian concepts in an Evolutionary Algorithm. Computational Materials Science 45 (2009): 84-95.
- [10] O. Carp, C.L. Huisman, and A. Reller, Photoinduced reactivity of titanium dioxide. Progress in Solid State Chemistry 32 (2004): 33-177.

- [11] S. Iijima, Helical microtubules of graphitic carbon. Nature 354 (1991): 56-58.
- [12] J.M. Macak, H. Tsuchiya, A. Ghicov, K. Yasuda, R. Hahn, S. Bauer, and P. Schmuki, TiO₂ nanotubes: Self-organized electrochemical formation, properties and applications. Current Opinion in Solid State and Materials Science 11 (2007): 3–18.
- [13] T. Kasuga, M. Hiramatu, M. Hirano, A. Hoson, and K. Oyamada, Synthesis and functionalization titania nanotube. Journal of Materials Research 12 (1997): 607-609.
- [14] T. Kasuga, M. Hiramatu, A. Hoson, T. Sekino, and K. Niihara, Formation of titanium oxide nanotube. Langmuir 14 (1998): 3160-3163.
- [15] T. Kasuga, M. Hiramatu, A. Hoson, T. Sekino, and K. Niihara, Titania nanotubes prepared by chemical processing. Advanced Materials 11 (1999): 1307-1311.
- [16] T. Kasuga, Formation of titanium oxide nanotubes using chemical treatments and their characteristic properties. Thin Solid Films 496 (2006): 141-145.
- [17] Q. Chen, G. H. Du, S. Zhan, and L.M. Peng, The structure of trititanate nanotubes. Acta Crystallographica Section B 58 (2002): 587-593.
- [18] H.H. Ou, and S.L. Lo, Review of titania nanotubes synthesized via the hydrothermal treatment: Fabrication, modification, and application. Separation and Purification Technology 58 (2007): 179-191.
- [19] K. Byrappa, and T. Adschiri, Hydrothermal technology for nanotechnology. Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials 53 (2007): 117-166.
- [20] H. Cheng, J. Ma, Z. Zhao, and L. Qi, Hydrothermal Preparation of Uniform Nanosize Rutile and Anatase Particles. Chemistry of Materials 7 (1995): 663-671.
- [21] S. Ngamsinlapasathian, S. Sakulkaemaruehai, S. Pavasupree, A. Kitiyanan, T. Sreethawong, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, Highly efficient dye-sensitized solar

- cell using nanocrystalline titania containing nanotube structure. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 164 (2004): 145-151.
- [22] S. Ngamsinlapasathian, T. Sreethawong, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, Single- and double-layered mesoporous TiO₂/P25 TiO₂ electrode for dye-sensitized solar cell. Solar Energy Materials & Solar Cells 86 (2005): 269-282.
- [23] S. Ngamsinlapasathian, S. Pavasupree, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, Dye-sensitized solar cell made of mesoporous titania by surfactant-assisted templating method. Solar Energy Materials & Solar Cells 90 (2006): 3187-3192.
- [24] N. Viriya-empikul, T. Charinpanitkul, N. Sano, A. Soottitantawat, T. Kikuchi, K. Faungnawakij, and W. Tanthapanichakoon, Effect of preparation variables on morphology and anatase–brookite phase transition in sonication assisted hydrothermal reaction for synthesis of titanate nanostructures. Materials Chemistry and Physics 118 (2009): 254-258.
- [25] G. Guo, B. Yu, P. Yu, X. Chen, Synthesis and photocatalytic applications of Ag/TiO₂-nanotubes. Talanta 79 (2009): 570-575.
- [26] K. Pan, Q. Zhang, Q. Wang, Z. Liu, D. Wang, J. Li, and Y. Bai, The photoelectrochemical properties of dye-sensitized solar cells made with TiO₂ nanoribbons and nanorods. Thin Solid Films 515 (2007): 4085-4091.
- [27] C. C. Tsai, J. N. Nian, and H. Teng, Mesoporous nanotube aggregates obtained from hydrothermally treating TiO₂ with NaOH. Applied Surface Science 253 (2006): 1898–1902.
- [28] Z. Y. Yuan, and B. L. Su, Titanium oxide nanotubes, nanofibers and nanowires. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 241 (2004): 173-183.
- [29] C. K. Lee, C. C. Wang, L. C. Juang, M. D. Lyu, S. H. Hung, and S. S. Liu, Effects of sodium content on the microstructures and basic dye cation exchange of

- titanate nanotubes. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 317 (2008): 164-173.
- [30] E. Morgado Jr., M. A. S. de Abreu, O. R. C. Pravia, B. A. Marinkovic, P. M. Jardim, F. C. Rizzo, and A. S. Araújo, A study on the structure and thermal stability of titanate nanotubes as a function of sodium content. Solid State Sciences 8 (2006): 888-900.
- [31] J. Yu, H. Yu, B. Cheng, and C. Trapalis, Effects of calcination temperature on the microstructures and photocatalytic activity of titanate nanotubes. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 249 (2006): 135-142.
- [32] J. Yu, and H. Yu, Facile synthesis and characterization of novel nanocomposites of titanate nanotubes and rutile nanocrystals. Materials Chemistry and Physics 100 (2006): 507-512.
- [33] J. Yu, H. Yu, B. Cheng, X. Zhao, and Q. Zhang, Preparation and photocatalytic activity of mesoporous anatase TiO_2 nanofibers by a hydrothermal method. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 182 (2006): 121-127.
- [34] S. Pavasupree, Y. Suzuki, S. Yoshikawa, and R. Kawahata, Synthesis of titanate, TiO_2 (B), and anatase TiO_2 nanofibers from natural rutile sand. Journal of Solid State Chemistry 178 (2005): 3110–3116.
- [35] S. Pavasupree, S. Ngamsinlapasathian, M. Nakajima, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, Synthesis, characterization, photocatalytic activity and dye-sensitized solar cell performance of nanorods/nanoparticles TiO_2 with mesoporous structure. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 184 (2006): 163-169.
- [36] S. Pavasupree, S. Ngamsinlapasathian, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, Preparation and characterization of high surface area nanosheet titania with mesoporous structure. Materials Letters 61 (2007): 2973-2977.

- [37] S. Pavasupree, J. Jitputti, S. Ngamsinlapasathian, and S. Yoshikawa, Hydrothermal synthesis, characterization, photocatalytic activity and dye-sensitized solar cell performance of mesoporous anatase TiO₂ nanopowders. Materials Research Bulletin 43 (2008): 149-157.
- [38] 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 10 (2009): 378-382.
- [39] J. H. Yoon, S. R. Jang, R. Vittal, J. Lee, and K. J. Kim, TiO₂ nanorods as additive to TiO₂ film for improvement in the performance of dye-sensitized solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 180 (2006): 184-189.
- [40] Y. Suzuki, S. Ngamsinlapasathian, R. Yoshida, and S. Yoshikawa, Partially Nanowire-Structured TiO₂ Electrode for Dye-Sensitized Solar Cells. Central European Journal of Chemistry 4 (2006): 476-488.
- [41] S. Uchida, R. Chiba, M. Tomiha, N. Masaki, and M. Shirai, Application of titania nanotubes to a dye-sensitized solar cell. Electrochemistry 70 (2002): 418-420.
- [42] S. Chuangchote, T. Sagawa, and S. Yoshikawa, High Efficient Dye-sensitized Solar Cell Using TiO₂ Nanoparticles/Nanofibers as Photoelectrode. Proceeding ASEAN COST+3: New Energy Forum for Sustainable Environment (NEFSE) and The 6th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium 6 (2008): 47-49.
- [43] T. V. Nguyen, H. C. Lee, M. A. Khan, and O. B. Yang, Electrodeposition of TiO₂/SiO₂ nanocomposite for dye-sensitized solar cell. Solar Energy 81 (2007): 529-534.
- [44] J. S. Im, S. K. Lee, and Y. S. Lee, Cocktail effect of Fe₂O₃ and TiO₂ semiconductors for a high performance dye-sensitized solar cell. Applied Surface Science, In Press.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

$$\text{จาก โมลาร์} = \text{กรัม} / (\text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร})$$

$$\text{มวลโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์} = 40 \text{ กรัม/โมล}$$

$$\text{ปริมาตร} \quad 200 \text{ มิลลิลิตร} = 0.2 \text{ ลิตร}$$

$$\text{ดังนั้น โซเดียมไฮดรอกไซด์(กรัม)} = (10 \text{ โมล/ลิตร}) \times (40 \text{ กรัม/โมล} \times 0.2 \text{ ลิตร})$$

$$\text{ซึ่งเตรียม โซเดียมไฮดรอกไซด์} = 80 \text{ กรัม}$$

2. การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

$$\text{มวลโมเลกุลของกรดไฮโดรคลอริก} = 36.48 \text{ กรัม/โมล}$$

$$\text{ใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น} 37\%$$

$$\text{ความหนาแน่นของกรดไฮโดรคลอริก} = 1.18 \text{ กรัม/ลบ.ซม}$$

$$\text{จาก โมลาร์} = (\% \times 10 \times \text{ความหนาแน่น}) / \text{มวลโมเลกุล}$$

$$\text{โมลาร์} = (37 \times 10 \times 1.18) / 36.48$$

$$\text{โมลาร์} = 11.97 \text{ โมล/ลิตร}$$

และจาก $(\text{ความเข้มข้น})_1 (\text{ปริมาตร})_1 = (\text{ความเข้มข้น})_2 (\text{ปริมาตร})_2$

$$(11.97)(V_1) = (0.1)(1000)$$

$$V_1 = 8.35 \text{ ml}$$

ดังนั้นต้องเตรียมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% ปริมาตร 8.35 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จึงจะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

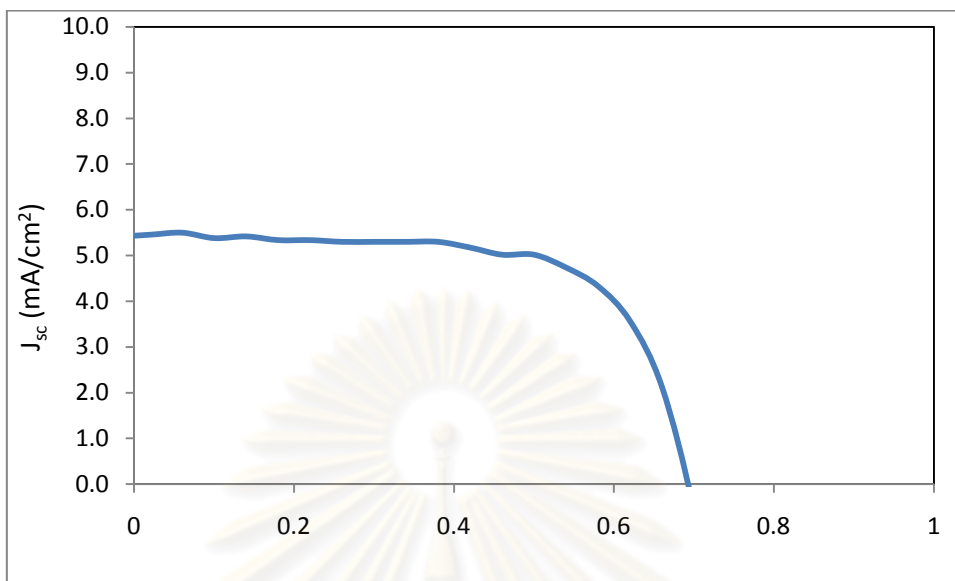
ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

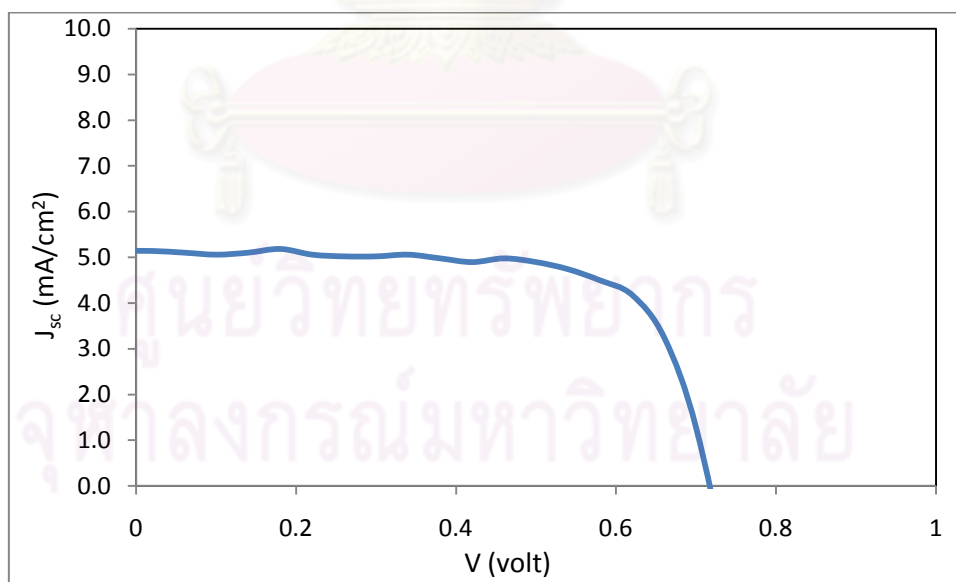
ตารางที่ ข 1 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)เป็นขั้วอิเล็กโทรด

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	5.500	5.219
-0.18	5.500	5.300
-0.14	5.500	5.181
-0.10	5.456	5.181
-0.06	5.419	5.138
-0.02	5.419	5.138
0.02	5.456	5.138
0.06	5.500	5.100
0.10	5.381	5.056
0.14	5.419	5.100
0.18	5.338	5.181
0.22	5.338	5.056
0.26	5.300	5.019
0.30	5.300	5.019
0.34	5.300	5.056

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
0.38	5.300	4.975
0.42	5.175	4.894
0.46	5.019	4.975
0.50	5.019	4.894
0.54	4.738	4.738
0.58	4.331	4.494
0.62	3.569	4.175
0.66	2.125	3.250
0.70	-0.575	1.275
0.74	-4.350	-2.219
0.78	-8.975	-7.894
0.82	-14.163	-16.013
0.86	-20.394	-26.188
0.90	-28.681	-38.494



รูปที่ ข 1 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1



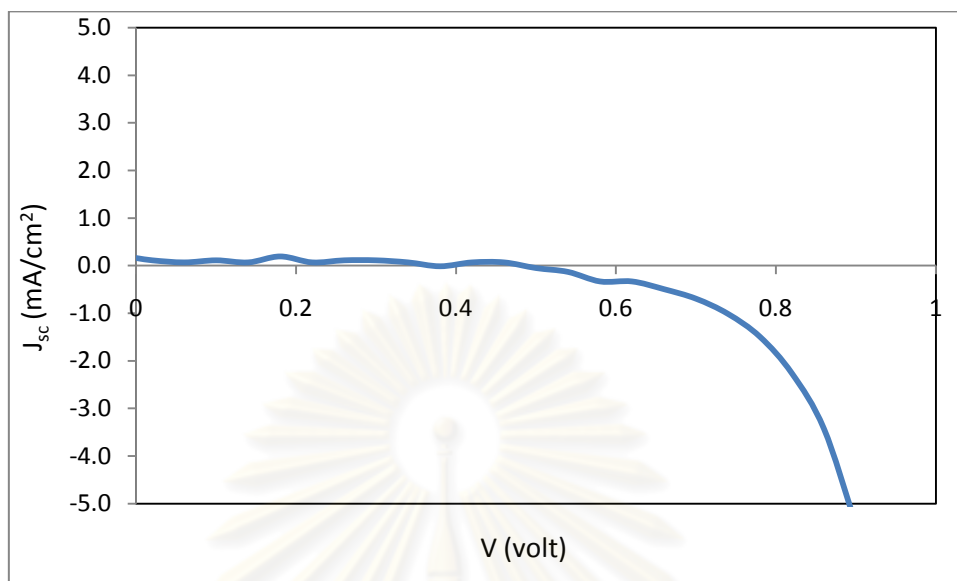
รูปที่ ข 2 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ๒ แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสงที่ใช้
แร่ลูโคซีนเป็นขั้วอิเล็กโทรด

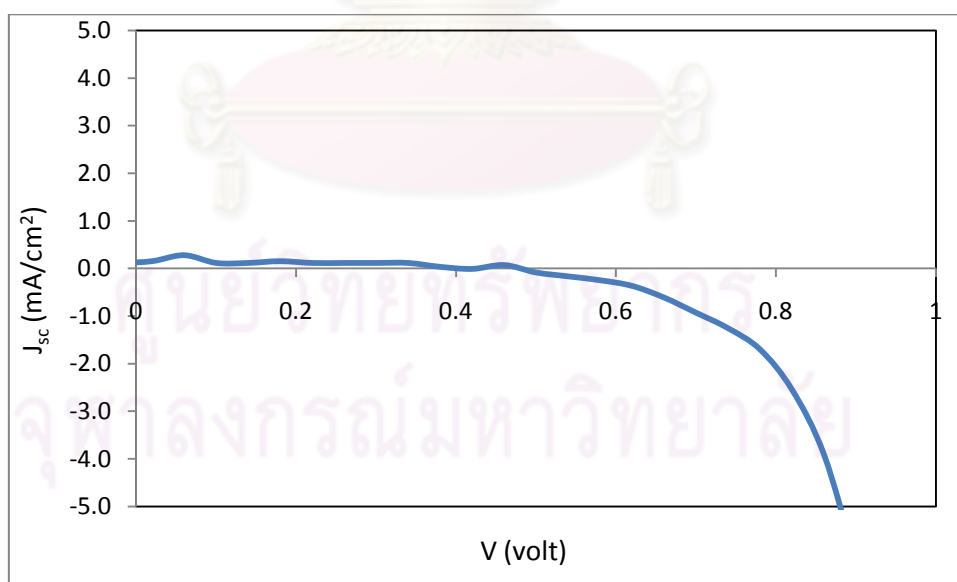
V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	0.194	0.231
-0.18	0.231	0.194
-0.14	0.113	0.194
-0.10	0.113	0.150
-0.06	0.113	0.113
-0.02	0.194	0.113
0.02	0.113	0.150
0.06	0.069	0.275
0.10	0.113	0.113
0.14	0.069	0.113
0.18	0.194	0.150
0.22	0.069	0.113
0.26	0.113	0.113
0.30	0.113	0.113
0.34	0.069	0.113

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
0.38	-0.013	0.031
0.42	0.069	-0.013
0.46	0.069	0.069
0.50	-0.050	-0.088
0.54	-0.131	-0.169
0.58	-0.331	-0.250
0.62	-0.331	-0.369
0.66	-0.494	-0.613
0.70	-0.694	-0.931
0.74	-1.013	-1.256
0.78	-1.494	-1.700
0.82	-2.263	-2.544
0.86	-3.425	-3.906
0.90	-5.438	-6.163

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๓ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้แร่ลูโคซีนเป็นขั้วอิเล็กโทรด ตัวอย่างที่ 1

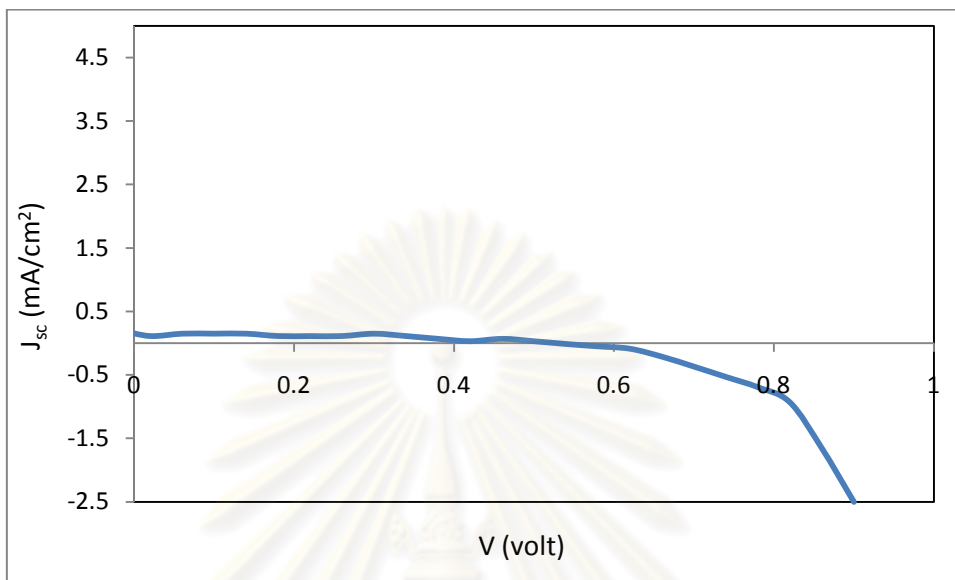


รูปที่ ๔ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้แร่ลูโคซีนเป็นขั้วอิเล็กโทรด ตัวอย่างที่ 2

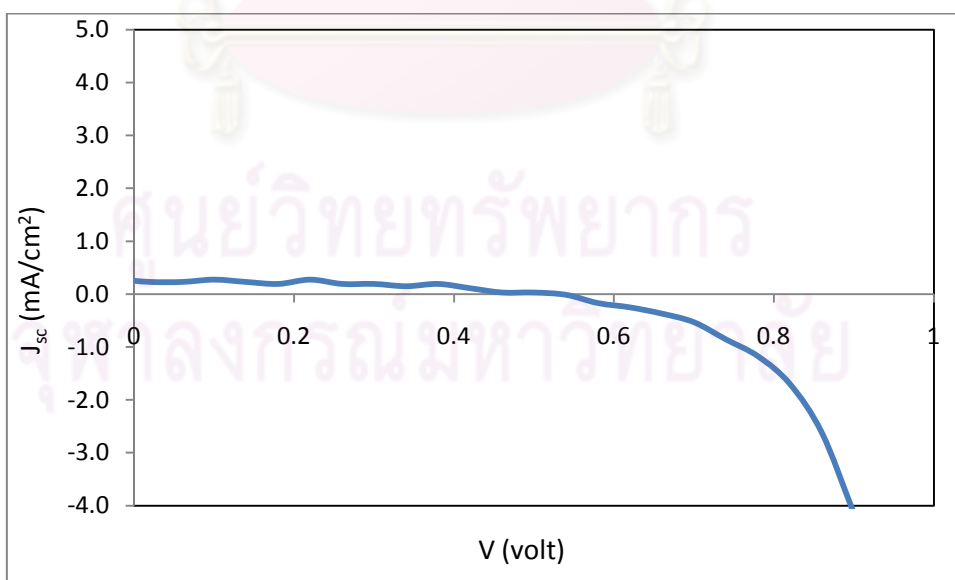
ตารางที่ ข 3 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสงที่ใช้ ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	0.231	0.313
-0.18	0.231	0.350
-0.14	0.194	0.231
-0.10	0.150	0.275
-0.06	0.150	0.275
-0.02	0.194	0.275
0.02	0.113	0.231
0.06	0.150	0.231
0.10	0.150	0.275
0.14	0.150	0.231
0.18	0.113	0.194
0.22	0.113	0.275
0.26	0.113	0.194
0.30	0.150	0.194
0.34	0.113	0.150

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
0.38	0.069	0.194
0.42	0.031	0.113
0.46	0.069	0.031
0.50	0.031	0.031
0.54	-0.013	-0.013
0.58	-0.050	-0.169
0.62	-0.088	-0.250
0.66	-0.213	-0.369
0.70	-0.369	-0.531
0.74	-0.531	-0.856
0.78	-0.694	-1.175
0.82	-0.931	-1.700
0.86	-1.656	-2.625
0.90	-2.500	-4.150



รูปที่ ๕ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1

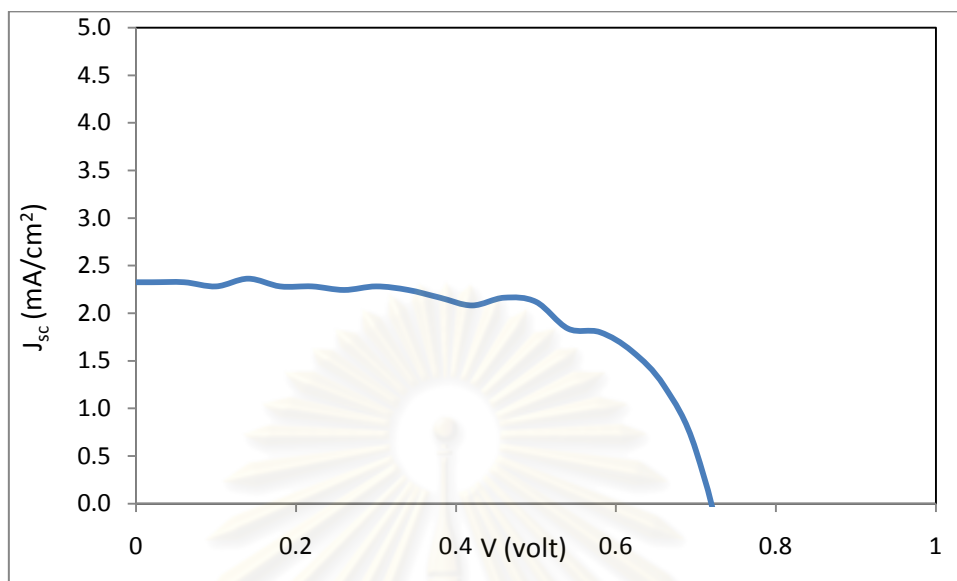


รูปที่ ๖ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2

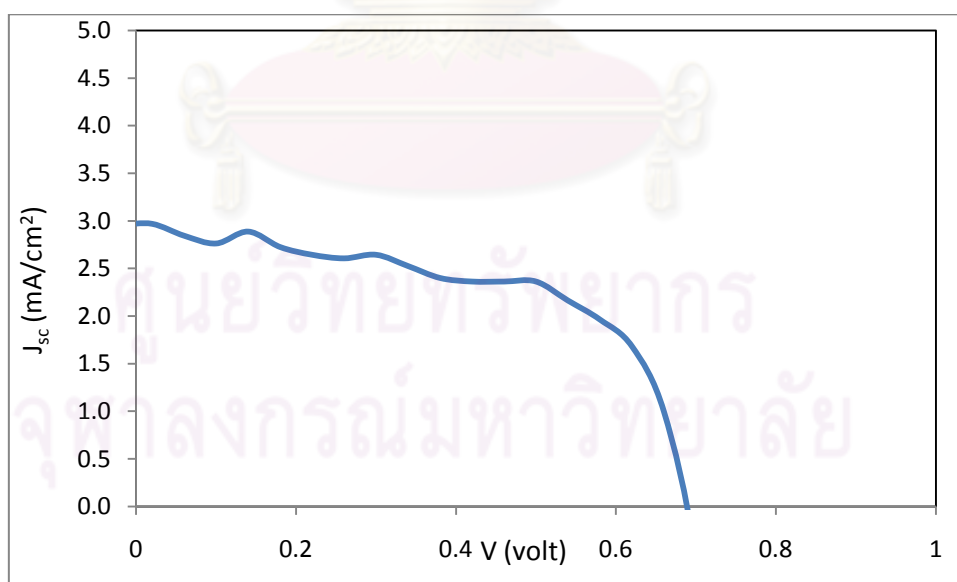
ตารางที่ ข 4 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสงที่ใช้ แร่ลูโคซีนผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(20:80)เป็นขั้วอิเล็กโทรด

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	2.281	3.369
-0.18	2.281	3.288
-0.14	2.281	3.169
-0.10	2.281	3.088
-0.06	2.325	3.044
-0.02	2.325	2.969
0.02	2.325	2.969
0.06	2.325	2.844
0.10	2.281	2.763
0.14	2.363	2.888
0.18	2.281	2.725
0.22	2.281	2.644
0.26	2.244	2.606
0.30	2.281	2.644
0.34	2.244	2.525

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
0.38	2.163	2.400
0.42	2.081	2.363
0.46	2.163	2.363
0.50	2.119	2.363
0.54	1.838	2.163
0.58	1.800	1.963
0.62	1.600	1.681
0.66	1.238	0.994
0.70	0.556	-0.531
0.74	-0.894	-3.225
0.78	-3.906	-8.006
0.82	-9.219	-14.806
0.86	-16.856	-23.406
0.90	-26.581	-33.500



รูปที่ ๗ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้แร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(20:80)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1



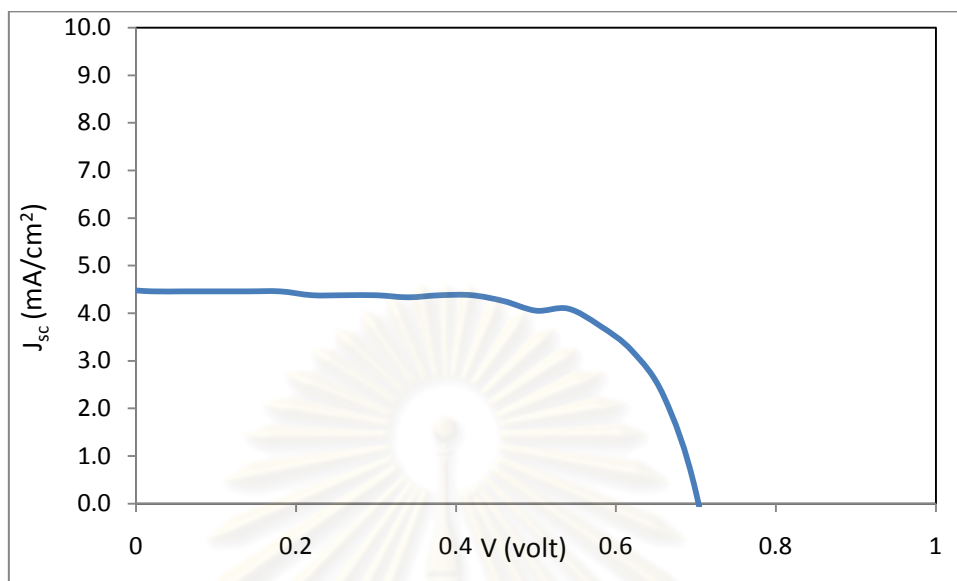
รูปที่ ๘ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้แร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(20:80)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข 5 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสงที่ใช้
แร่ลูโคซีนผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(10:90)เป็นขั้วอิเล็กโทรด

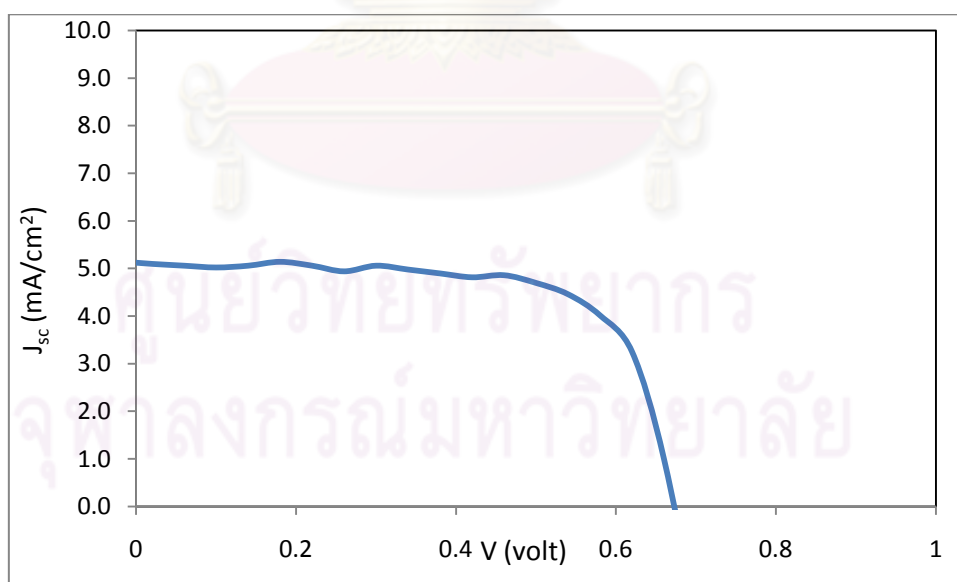
V (volt)	$J_{sc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	4.575	5.175
-0.18	4.531	5.138
-0.14	4.494	5.138
-0.10	4.456	5.175
-0.06	4.494	5.138
-0.02	4.494	5.138
0.02	4.456	5.094
0.06	4.456	5.056
0.10	4.456	5.019
0.14	4.456	5.056
0.18	4.456	5.138
0.22	4.375	5.056
0.26	4.375	4.938
0.30	4.375	5.056
0.34	4.331	4.975

V (volt)	$J_{sc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
0.38	4.375	4.894
0.42	4.375	4.813
0.46	4.250	4.856
0.50	4.050	4.694
0.54	4.094	4.456
0.58	3.731	4.013
0.62	3.206	3.250
0.66	2.244	0.994
0.70	0.231	-2.581
0.74	-3.506	-7.850
0.78	-8.931	-15.163
0.82	-15.650	-24.169
0.86	-23.969	-34.063
0.90	-34.500	-45.438

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๙ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้แร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(10:90)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1



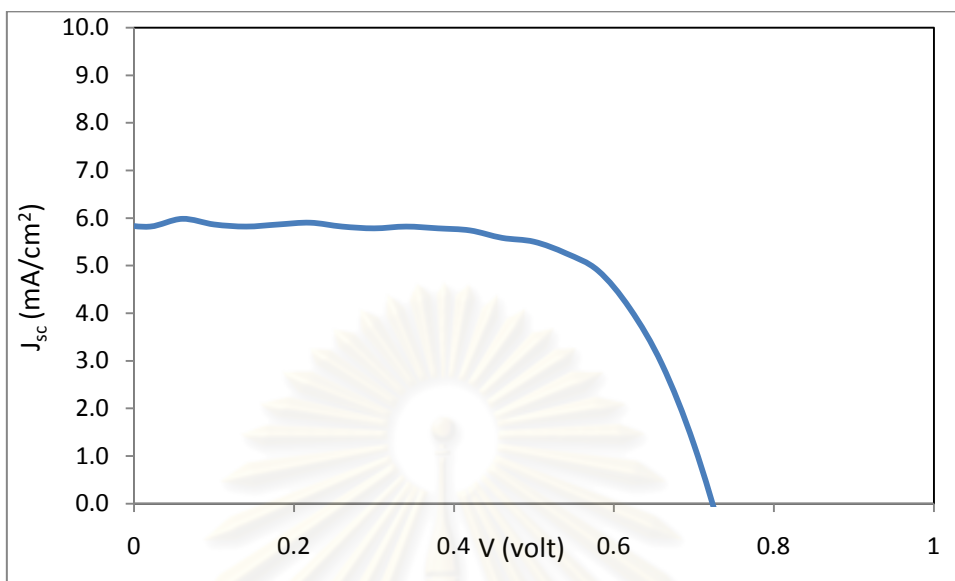
รูปที่ ๑๐ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้แร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(10:90)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข 6 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสงที่ใช้
แร่ลูโคซีนผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(5:95)เป็นขั้วอิเล็กโทรด

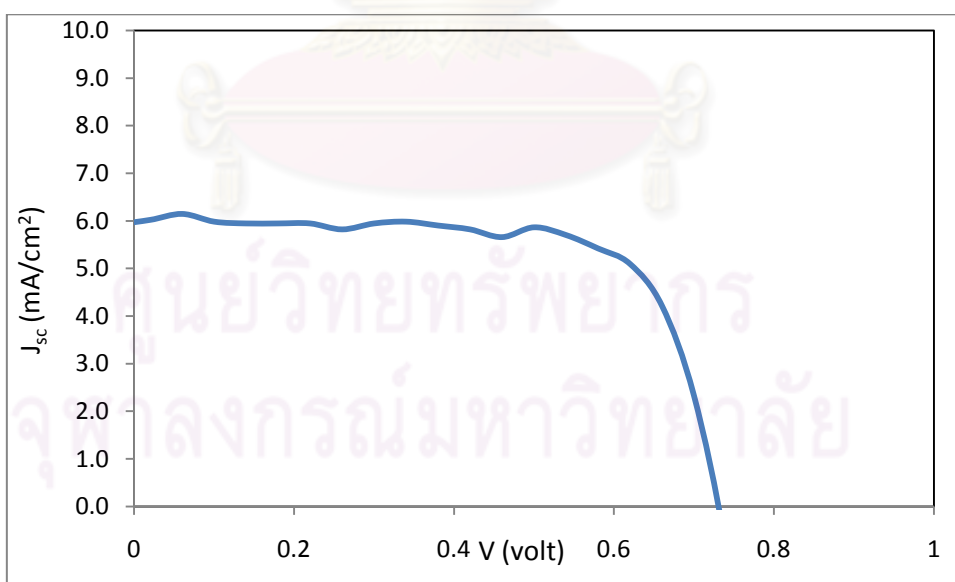
V (volt)	$J_{sc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	5.900	6.100
-0.18	5.819	6.019
-0.14	5.863	6.063
-0.10	5.900	6.019
-0.06	5.900	6.019
-0.02	5.863	5.944
0.02	5.819	6.019
0.06	5.981	6.144
0.10	5.863	5.981
0.14	5.819	5.944
0.18	5.863	5.944
0.22	5.900	5.944
0.26	5.819	5.819
0.30	5.781	5.944
0.34	5.819	5.981

V (volt)	$J_{sc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
0.38	5.781	5.900
0.42	5.738	5.819
0.46	5.581	5.656
0.50	5.500	5.863
0.54	5.256	5.700
0.58	4.894	5.419
0.62	4.094	5.094
0.66	2.925	4.213
0.70	1.238	2.325
0.74	-1.013	-0.856
0.78	-3.788	-5.438
0.82	-6.806	-12.031
0.86	-9.900	-20.913
0.90	-13.881	-32.250

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๑๑ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้แร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(5:95)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1

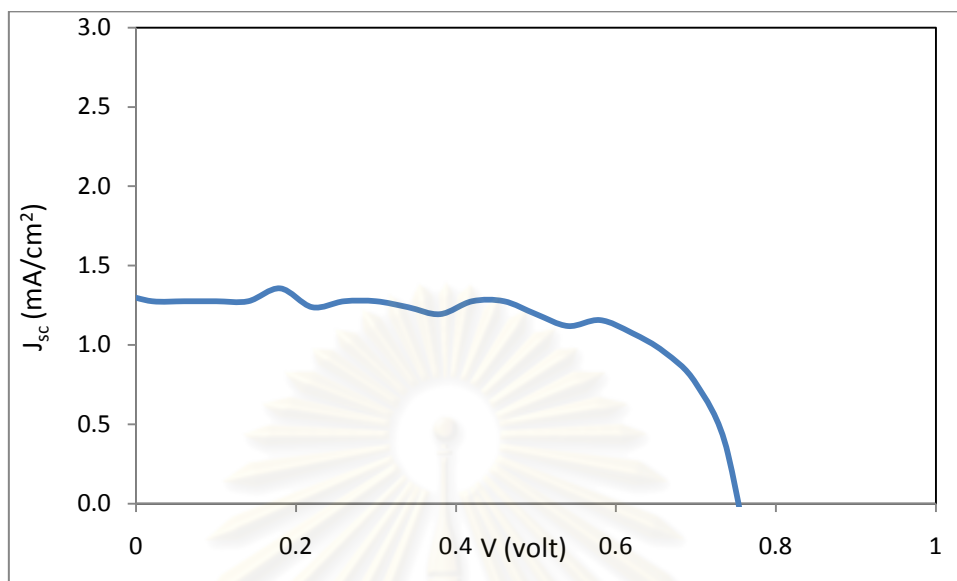


รูปที่ ๑๒ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้แร่ลูโคซีนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(5:95)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2

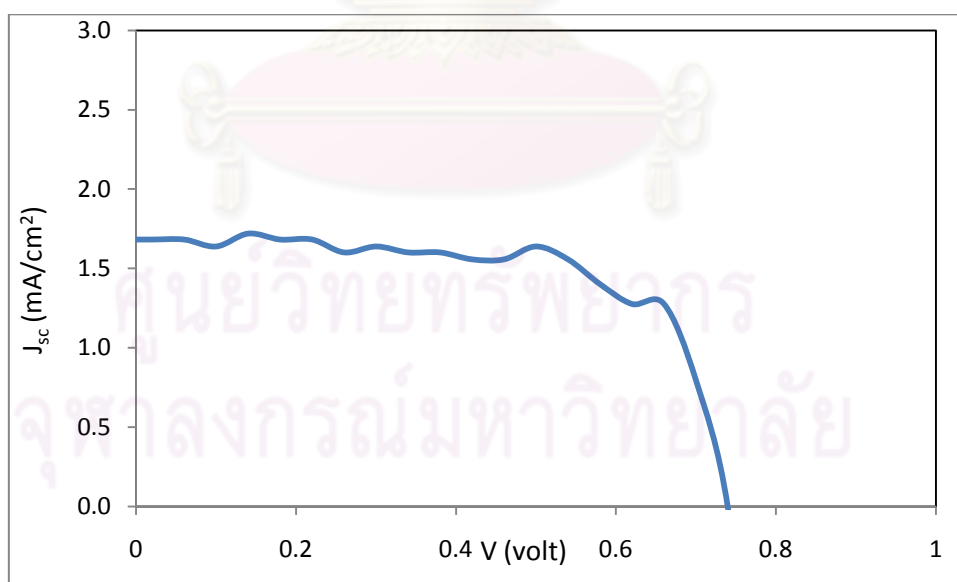
ตารางที่ ข 7 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสงที่ใช้ ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ผสมกับ ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)(50:50)เป็นขั้ว อิเล็กโทรด

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	1.275	1.763
-0.18	1.400	1.681
-0.14	1.319	1.800
-0.10	1.319	1.719
-0.06	1.319	1.681
-0.02	1.319	1.681
0.02	1.275	1.681
0.06	1.275	1.681
0.10	1.275	1.638
0.14	1.275	1.719
0.18	1.356	1.681
0.22	1.238	1.681
0.26	1.275	1.600
0.30	1.275	1.638
0.34	1.238	1.600

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
0.38	1.194	1.600
0.42	1.275	1.556
0.46	1.275	1.556
0.50	1.194	1.638
0.54	1.119	1.556
0.58	1.156	1.400
0.62	1.075	1.275
0.66	0.956	1.275
0.70	0.756	0.794
0.74	0.313	-0.013
0.78	-0.975	-1.819
0.82	-3.588	-5.275
0.86	-8.050	-11.263
0.90	-14.881	-19.831



รูปที่ ข 13 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(50:50)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1

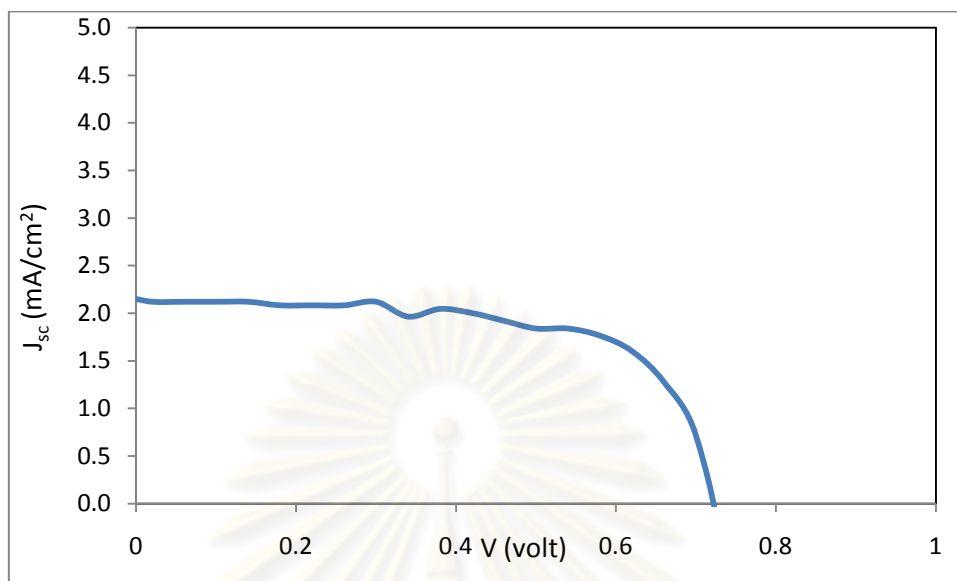


รูปที่ ข 14 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(50:50)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2

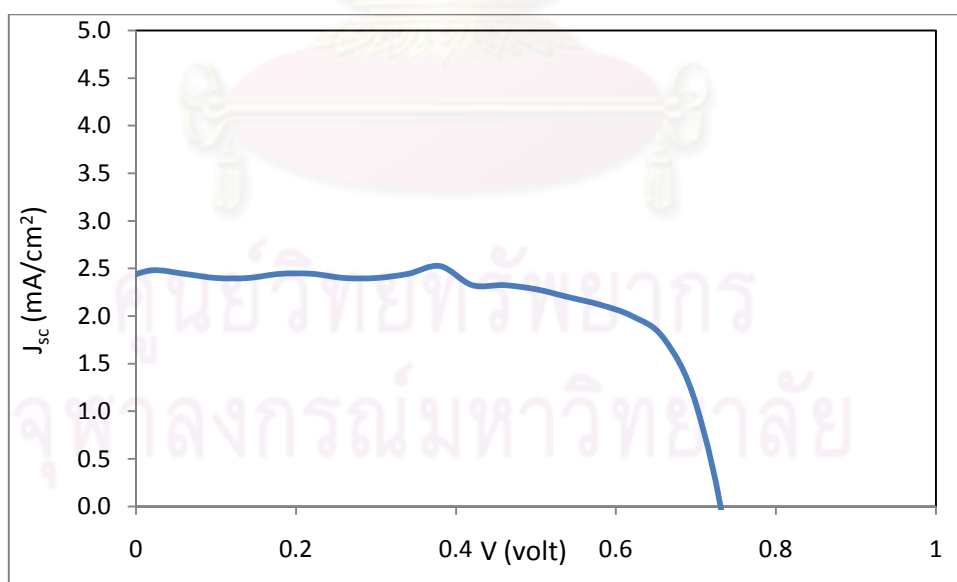
ตารางที่ ข 8 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสงที่ใช้ ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ผสมกับ ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)(20:80)เป็นขั้ว อิเล็กโทรด

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	2.200	2.444
-0.18	2.244	2.444
-0.14	2.200	2.444
-0.10	2.119	2.481
-0.06	2.044	2.444
-0.02	2.163	2.400
0.02	2.119	2.481
0.06	2.119	2.444
0.10	2.119	2.400
0.14	2.119	2.400
0.18	2.081	2.444
0.22	2.081	2.444
0.26	2.081	2.400
0.30	2.119	2.400
0.34	1.963	2.444

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
0.38	2.044	2.525
0.42	2.000	2.325
0.46	1.919	2.325
0.50	1.838	2.281
0.54	1.838	2.200
0.58	1.763	2.119
0.62	1.600	2.000
0.66	1.275	1.763
0.70	0.713	1.075
0.74	-0.894	-0.450
0.78	-4.188	-3.188
0.82	-9.700	-8.650
0.86	-17.575	-16.369
0.90	-28.350	-26.781



รูปที่ 15 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(20:80)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1

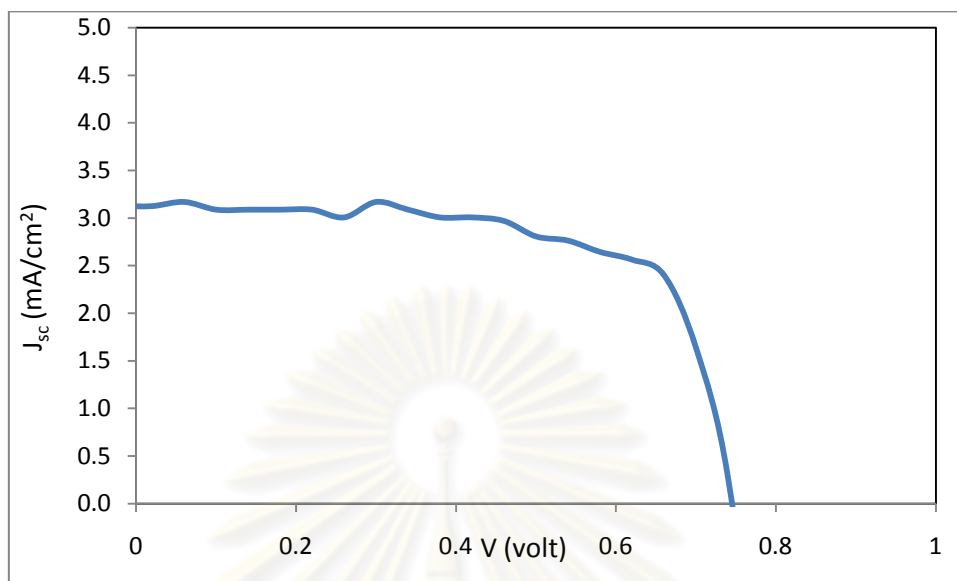


รูปที่ 16 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(20:80)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2

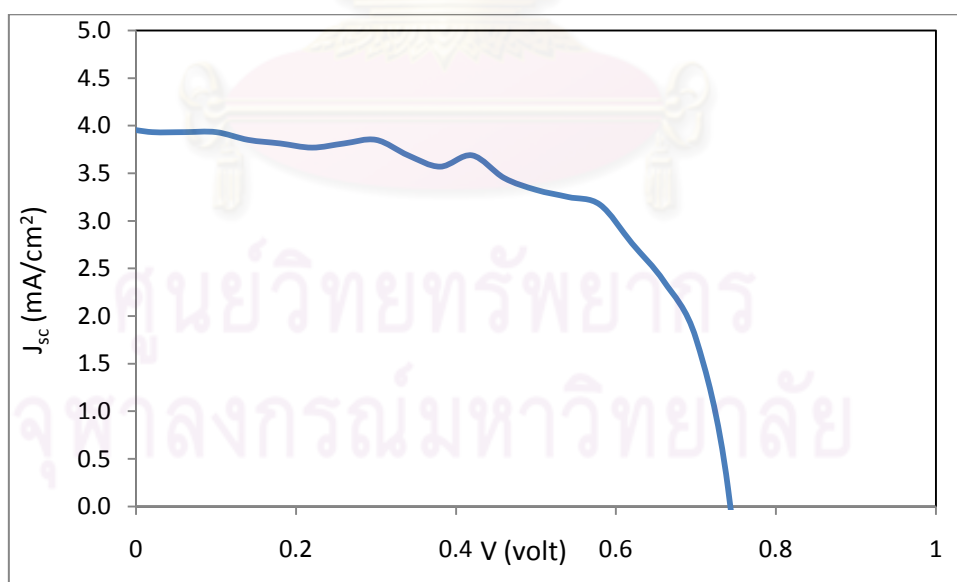
ตารางที่ ข 9 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสงที่ใช้ ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ผสมกับ ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)(10:90)เป็นขั้ว อิเล็กโทรด

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	3.206	4.131
-0.18	3.206	4.094
-0.14	3.169	4.094
-0.10	3.206	4.013
-0.06	3.125	3.931
-0.02	3.125	3.969
0.02	3.125	3.931
0.06	3.169	3.931
0.10	3.088	3.931
0.14	3.088	3.850
0.18	3.088	3.813
0.22	3.088	3.769
0.26	3.006	3.813
0.30	3.169	3.850
0.34	3.088	3.688

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
0.38	3.006	3.569
0.42	3.006	3.688
0.46	2.969	3.450
0.50	2.806	3.325
0.54	2.763	3.250
0.58	2.644	3.169
0.62	2.563	2.763
0.66	2.400	2.363
0.70	1.638	1.763
0.74	0.275	0.194
0.78	-2.544	-3.344
0.82	-7.569	-8.975
0.86	-14.725	-17.013
0.90	-24.694	-28.106



รูปที่ ๑๗ 17 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(10:90)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1

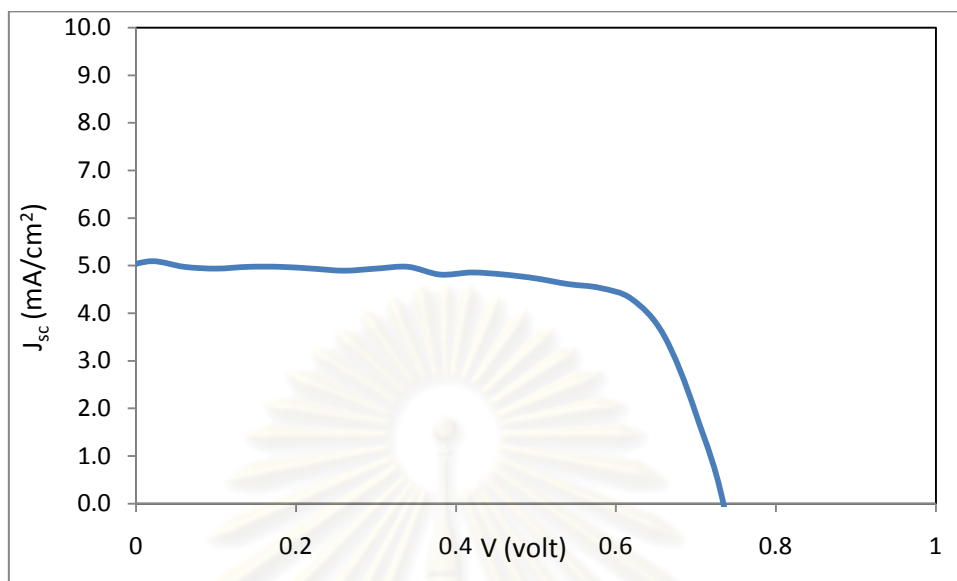


รูปที่ ๑๘ 18 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(10:90)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2

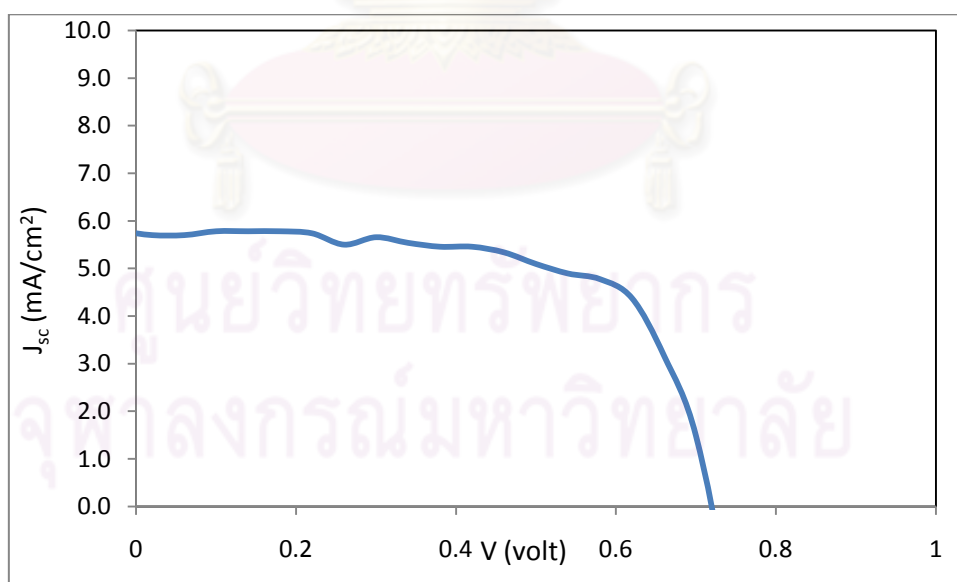
ตารางที่ ข 10 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ผสมกับ ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)(5:95)เป็นขั้วอิเล็กโทรด

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	5.138	5.938
-0.18	5.056	5.938
-0.14	5.094	5.938
-0.10	5.138	5.781
-0.06	5.019	5.819
-0.02	4.975	5.781
0.02	5.094	5.700
0.06	4.975	5.700
0.10	4.938	5.781
0.14	4.975	5.781
0.18	4.975	5.781
0.22	4.938	5.738
0.26	4.894	5.500
0.30	4.938	5.656
0.34	4.975	5.538

V (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
0.38	4.813	5.456
0.42	4.856	5.456
0.46	4.813	5.338
0.50	4.731	5.094
0.54	4.613	4.894
0.58	4.531	4.775
0.62	4.294	4.375
0.66	3.531	3.169
0.70	1.881	1.481
0.74	-0.494	-2.056
0.78	-5.756	-7.969
0.82	-13.113	-16.131
0.86	-22.844	-26.300
0.90	-36.069	-40.006



รูปที่ ๑๙ 19 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(5:95)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ๒๐ 20 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ผงสีขาวไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์(P25)(5:95)เป็นขั้วอิเล็กโทรดตัวอย่างที่ 2

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพิสุทธิ เจริญรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ .ศ.2529 จบการศึกษา ระดับ ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย ที่โรงเรียนวัดสุทธิวราราม จากนั้นศึกษาต่อในระดับปริญญาบัณฑิตที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำโครงการเรื่อง “การกำจัดซัลเฟอร์ในน้ำมันเชื้อเพลิงโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ” ในปี 2550 และได้ทำการศึกษาต่อในระดับปริญญาโทที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี 2551 และสำเร็จการศึกษาในปี 2553 ในหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่อง “การเตรียม, การวิเคราะห์ลักษณะ และสมบัติโฟโตโวลตาอิกของท่อนาโนไททาเนตจากวัสดุราคาถูก”



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย