

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

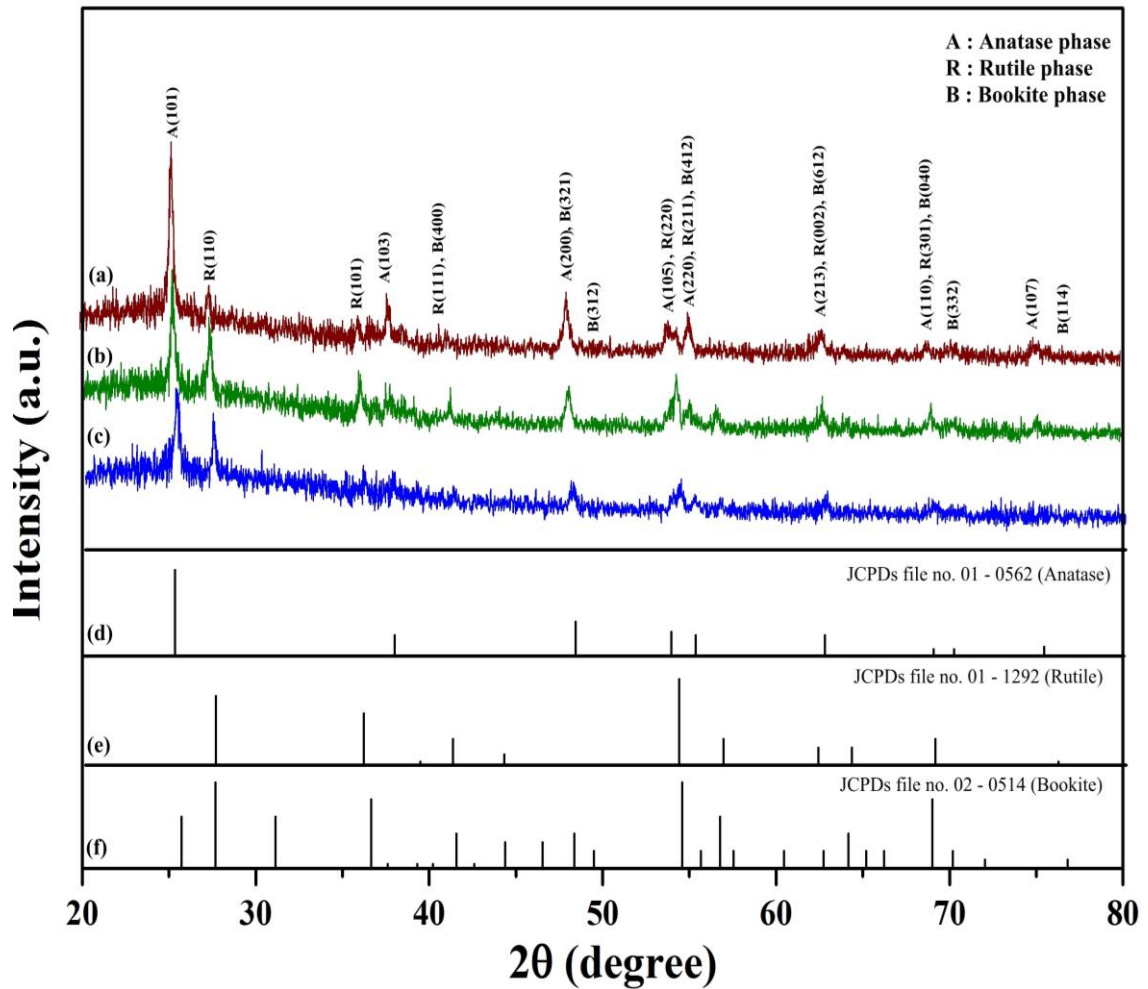
รายละเอียดในบทนี้จะอธิบายถึงผลการทดลองที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับวิธีการทดลองมาจากบทก่อนหน้านั้นที่ได้กล่าวมาแล้ว สำหรับบทนี้จะอธิบายตามกระบวนการวิเคราะห์ของผลการทดลองที่ได้ทำการหาลักษณะเฉพาะและรวมทั้งการศึกษาคุณสมบัติของอนุภาคนาโน TiO_2 โดยจากการเตรียมด้วยเทคนิคซอลเจล และการกลั่นไหลกลับในลำดับถัดมาเป็นผลการทดลองที่ได้จากวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

4.1 ผลการวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโน TiO_2 ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีซอลเจล และการกลั่นไหลกลับ

การตรวจสอบหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนของ TiO_2 จึงอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพทั้งความละเอียดที่ค่อนข้างสูงถึงสามารถบอกได้อย่างชัดเจนของชิ้นงานที่เราทำการศึกษานกระทั่งรู้ถึงสมบัติทางกายภาพ และ สมบัติทางเคมี ด้วยเหตุนี้ สามารถทราบถึงรายละเอียดของข้อมูลของชิ้นงานที่จะวิเคราะห์ผลการทดลองจึงสามารถอธิบายเครื่องมือ ดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโน TiO_2 ด้วยเทคนิค การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction : XRD)

การที่จะพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของ TiO_2 ด้วยเทคนิค XRD เพื่อยืนยันให้ทราบถึงลักษณะของโครงสร้างหลักสามารถจะเลือกใช้งานเพื่อการประยุกต์ให้เข้ากับความต้องการในอนาคตต่อไปแล้ว ในงานวิจัยนี้ ใช้เทคนิค XRD เพื่อวิเคราะห์โดยสารอนุภาคนาโนของ TiO_2 ที่เตรียมด้วยวิธีที่แตกต่างกันออกไป คือ ด้วยวิธี ซอลเจล และการกลั่นไหลกลับตามลำดับโดยทั่วไปจากที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นแล้วว่า TiO_2 เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะผงสีขาว โดยอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก หรือ เฟส ของอนุภาค TiO_2 ตามข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผล XRD ของ TiO_2 สังเคราะห์ด้วยวิธีซอลเจล (a) และการกลั่นไหลกลับ(b) เทียบกับ TiO_2 -P25 (c)

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองให้ทราบถึงการวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของอนุภาคนาโน TiO_2 ที่ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีซอลเจล และการกลั่นไหลกลับรวมทั้ง TiO_2 -P25 เพื่อให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้าง และ ผลึกที่เกิดขึ้น จาก รูปที่ 4.1 ทำให้ยืนยันผลที่ได้จากการทดลองที่บอกให้ทราบ ถึง ลักษณะรูปแบบ (XRD pattern) การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ พบว่าทั้ง 3 ตัวอย่าง มีการผสมระหว่างเฟส อนาเทส (anatase phase) และ เฟสรูไทล์ (rutile phase) ด้วยจากการสังเคราะห์วิธีซอลเจลจะเกิดเฟสรูไทล์ปนเปื้อนด้วยดังนั้น กล่าวได้ว่าถ้าสังเคราะห์ด้วยวิธีซอลเจลภายใต้เงื่อนไขจะทำให้ได้เฟสโดยส่วนใหญ่เป็นอนาเทส (anatase phase) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้ได้จากการเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เพื่อแสดงข้อมูลให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างระนาบของอนุภาคกับค่ารังสีตกกระทบดังนั้นจึงสามารถที่จะอธิบายได้ตามรายละเอียดของแต่ละ เฟสที่ปรากฏดังนี้ เฟสอนาเทส

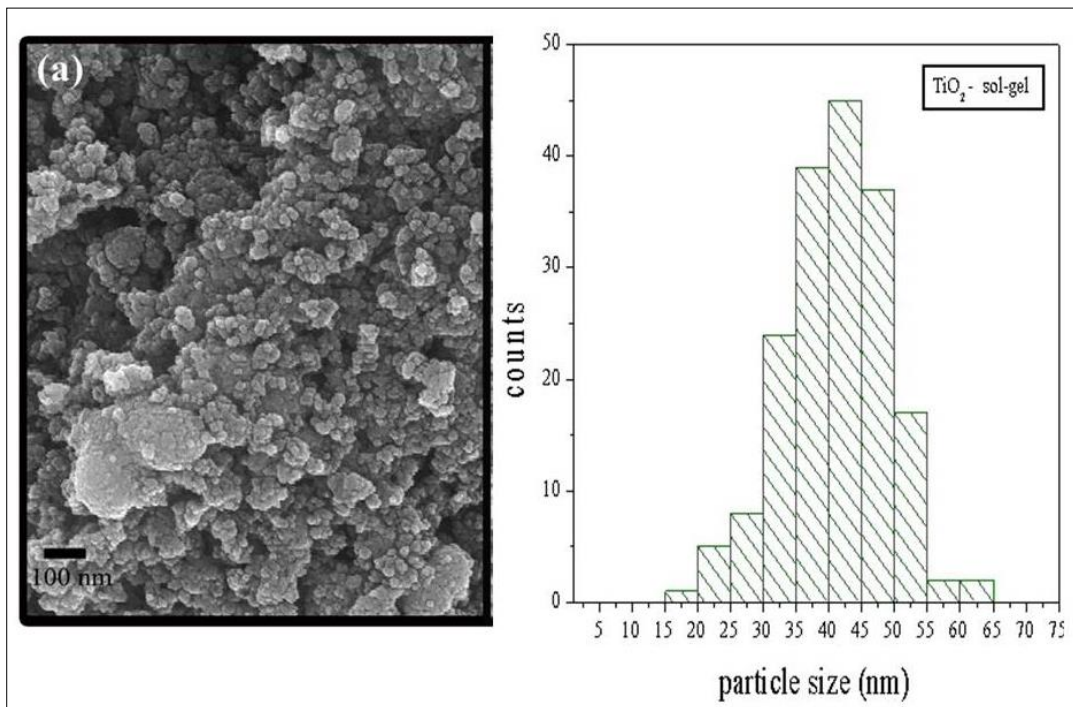
ตรงตำแหน่งของมุมรังสีตกกระทบ 2θ ค่าที่ได้ 25.27° , 37.84° , 48.08° , 54.35° , 62.70° และ 68.88° จะมีลักษณะตรงกับระนาบ (101), (103), (200), (105), (213) และ (116) ตามลำดับ ส่วนเฟส รูไทล์ มีรายละเอียดความสัมพันธ์ระหว่างระนาบของอนุภาคกับลำรังสีตกกระทบตำแหน่งของมุมที่เกิดขึ้นของลำรังสีตกกระทบตำแหน่ง 2θ ค่าที่ได้ 27.42° , 36.10° , 41.07° , 54.33° และ 56.68° จะมีลักษณะของระนาบ (110), (101), (111), (220) และ (211) ผลที่ได้จากการทดลองเพื่อศึกษาหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโน TiO_2 สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจล (e) และรีฟลักซ์ (d) เทียบกับ TiO_2 -P25 (c) ที่ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400°C ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ผลปรากฏว่าพบจำนวนเฟสอนาเทสมีจำนวนมากว่าเฟสรูไทล์ ถือได้ว่าสอดคล้องกับงานวิจัยที่ต้องการตามวัตถุประสงค์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในทางเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาอนุภาคนาโน TiO_2 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope : FESEM)

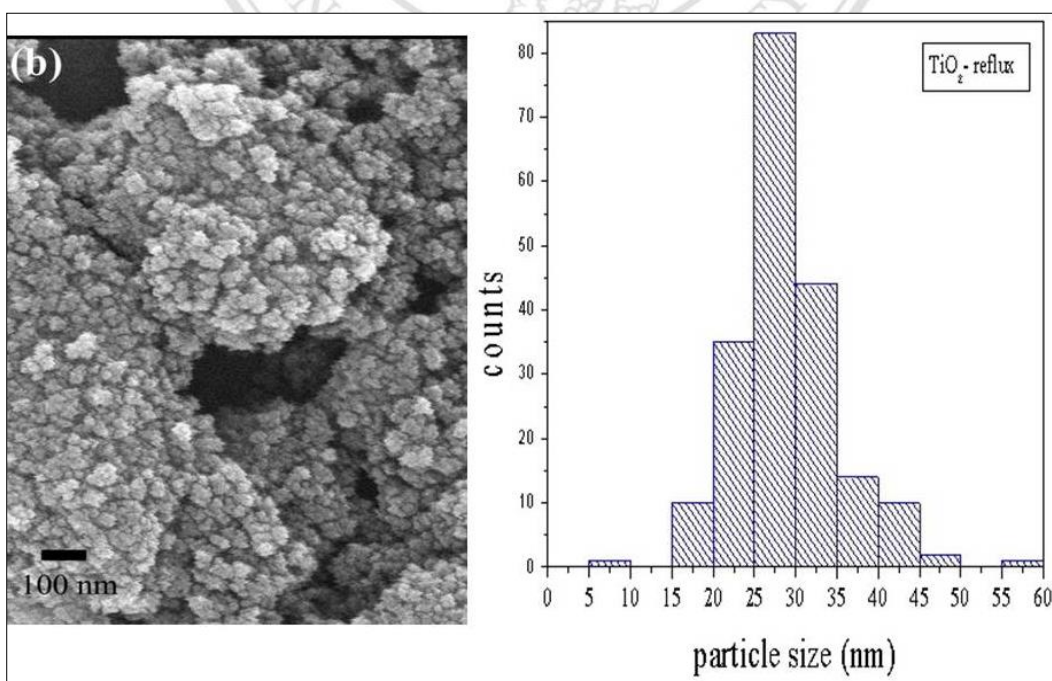
การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา รูปร่าง ขนาด ของอนุภาคนาโน TiO_2 ที่ได้จากการสังเคราะห์ ด้วยวิธีโซลเจล และวิธีกลั่นไหลกลับภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400°C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO_2 -P25 จากนั้นนำผลการภาพถ่ายจากเทคนิค SEM ไปวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคจากการคำนวณ ด้วยโปรแกรม Image J software ผลจากการทดลองตามแสดงใน รูปที่ 4.2, 4.3, 4.4 ดังที่ปรากฏขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดอนุภาคนาโน TiO_2 ในตารางที่ 4.1 จากการสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคนาโน TiO_2 จากการสังเคราะห์ ด้วยวิธีโซลเจล วิธีการกลั่นไหลกลับ และเทียบกับ TiO_2 -P25

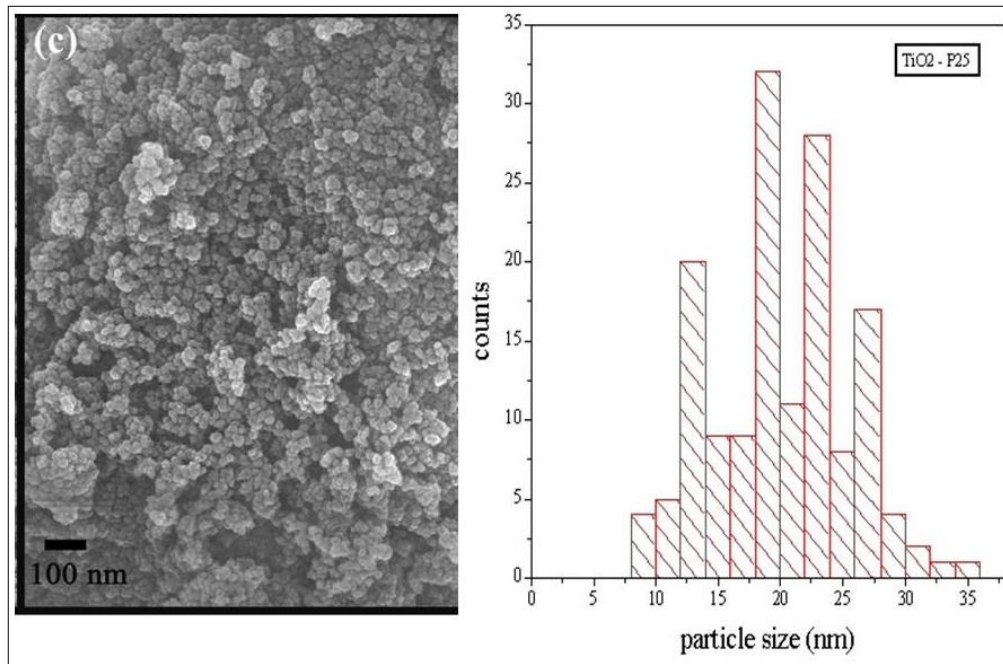
กระบวนการเตรียม TiO_2	วิธีโซลเจล	วิธีการกลั่นไหลกลับ	TiO_2 -P25
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคนาโน TiO_2	40 nm	28 nm	20 nm



รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคนาโน TiO₂ ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีซอลเจล ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคนาโน TiO₂ ที่ได้จากการสังเคราะห์ ด้วยวิธีการกลั่นไหลกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคนาโน TiO₂-P25 เพื่อใช้เป็นตัวมาตรฐาน

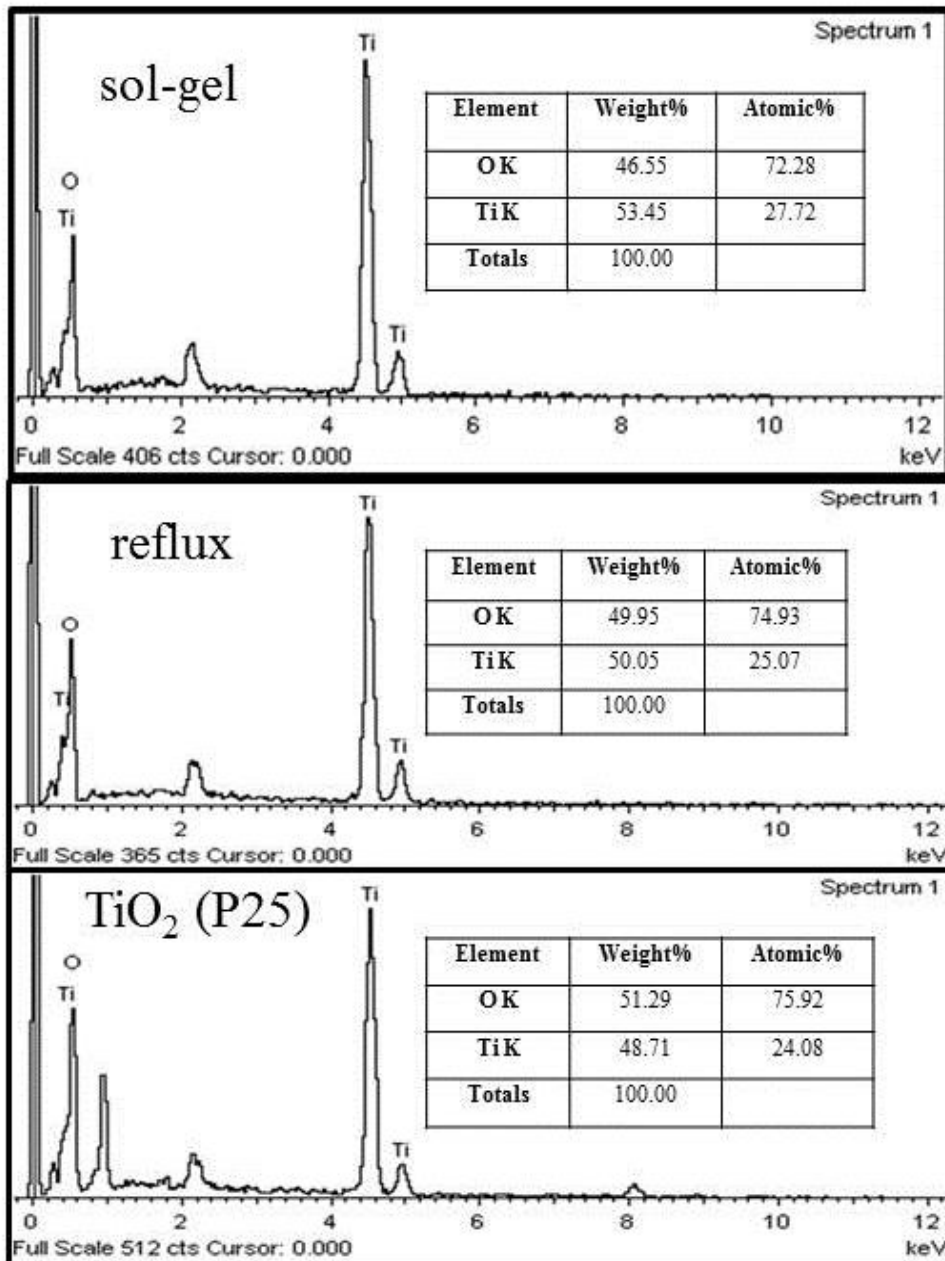
จะเห็นว่าจากการทดลองได้วิเคราะห์อนุภาคนาโน TiO₂ ที่ได้จากการสังเคราะห์ ด้วยวิธีซอล เจล และ การกลั่นไพลกัลป์ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO₂-P25 ได้ทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ลักษณะปรากฏดังรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4 โดยส่วนใหญ่ลักษณะของอนุภาคจะมีลักษณะค่อนข้างกลม และกลม ปะปนกันไปแล้ว อนุภาคเล็กจะค่อนข้างที่จะจับกลุ่มกันหรือมีการรวมตัวกันขนาดของอนุภาคยังไม่ค่อยที่มีขนาดเท่ากันมาก ถ้าหากเทียบกับ TiO₂-P25 ใน รูปที่ 4.4 ยังสามารถสรุปได้จากภาพถ่าย SEM ที่แสดงให้เห็นนั้น การสังเคราะห์อนุภาคนาโน TiO₂ ด้วย วิธีการกลั่น ไพลกัลป์ จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ใกล้เคียงกับ TiO₂-P25

4.1.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคนาโน TiO_2 ด้วยเครื่อง Energy

Dispersive Spectroscopy : EDS

สำหรับการวิเคราะห์อนุภาคนาโน TiO_2 ได้จากการสังเคราะห์ ด้วยวิธีซอลเจล และรีฟลักซ์ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400°C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO_2 -P25 ใช้เทคนิค EDS เพื่อหาองค์ประกอบธาตุทางเคมีของ อนุภาคนาโน TiO_2 โดยอาศัยสเปกตรัมที่ได้แสดงออกเป็นความเข้มข้นของรังสีเอกซ์กับพลังงาน เมื่อต้องการวิเคราะห์ว่าสัญญาณที่ได้สอดคล้องกับธาตุใดๆ ทำได้โดยเทียบค่าพลังงานที่ตำแหน่งของพีคเทียบกับค่ามาตรฐาน ด้วยหลักการที่กล่าวมาเทคนิคนี้เหมาะกับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เนื่องจากมี resolution ต่ำ เพราะทั้ง 100% ของรังสีถูกตรวจจับซึ่งรวมถึงสัญญาณอื่นๆ ที่ไม่ต้องการและทำให้เกิดการบิดเบือน การขยายกว้างของพีค อีกทั้งมีสัญญาณของธาตุที่เป็น Si detector รวมเข้ามาด้วย สำหรับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุที่ปรากฏในอนุภาคนาโน TiO_2 จากการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ ที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนดัง รูปที่ 4.5 จากผลการทดลองทำให้ทราบถึงองค์ประกอบอนุภาคว่าพบธาตุ Ti กับ O ในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับตัวที่ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบคือ TiO_2 -P25 ที่เห็นได้อย่างชัดเจนของพีคในกราฟที่ปรากฏอย่างเด่นชัด จากการกระจายตัวของธาตุที่เป็นตัวหลักบนพื้นผิวอนุภาคที่ทำการวิเคราะห์ สัญญาณถึงสามารถบ่งบอกได้ว่า มีความสอดคล้องกับตัวมาตรฐานมากน้อยแค่ไหน สำหรับในงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบของธาตุที่แสดงออกมาในลักษณะของกราฟ แล้วพีคที่เด่นชัดและมีความใกล้เคียงกับตัวมาตรฐานนั้น คือ อนุภาคนาโน TiO_2 จากการสังเคราะห์ ด้วยวิธีการกลั่นไหลกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400°C ใช้เวลา 2 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

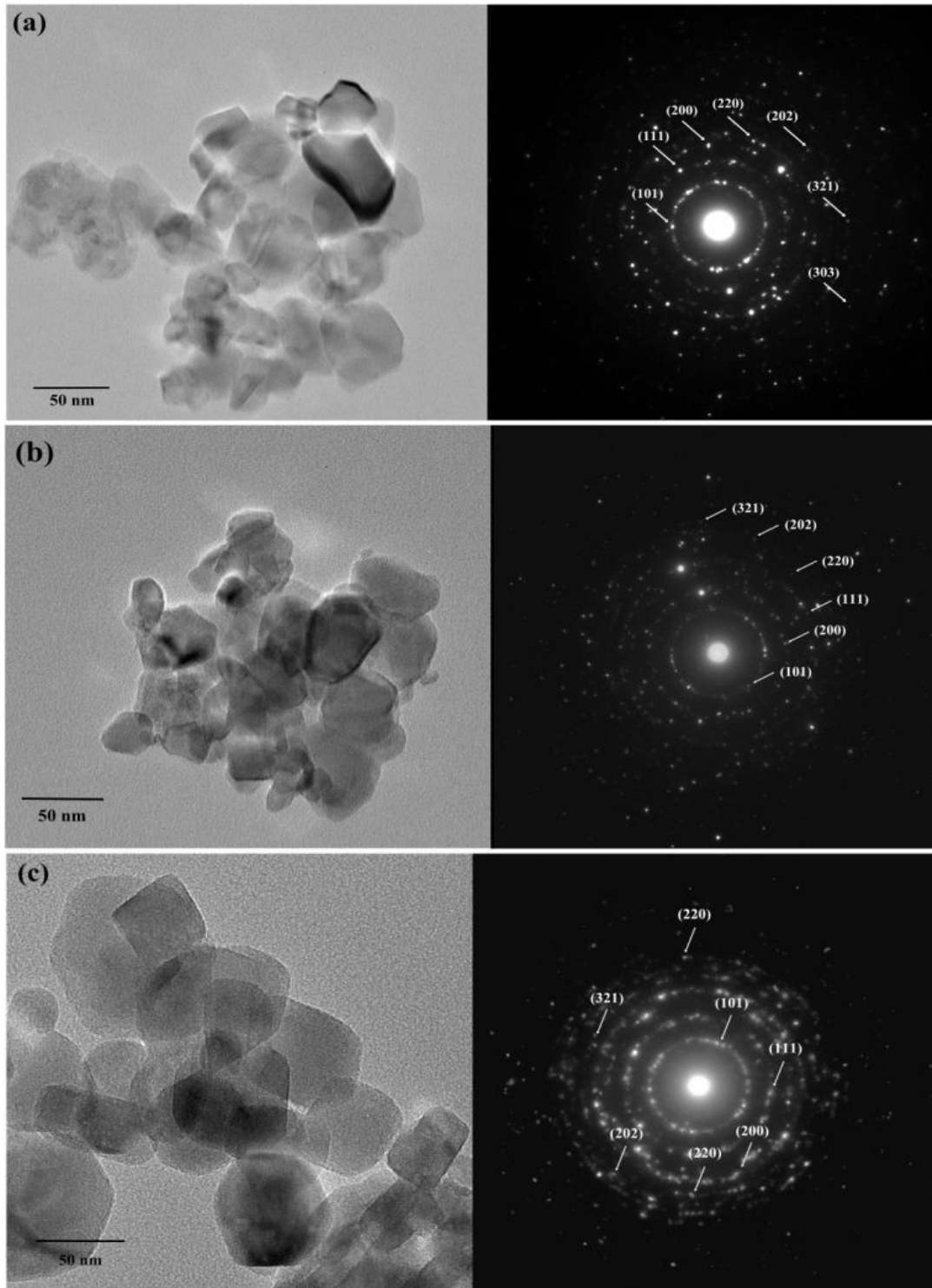


รูปที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคนาโน TiO₂ จากการสังเคราะห์ ด้วยวิธีซอลเจล และ วิธีการกลั่นใหม่กลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมง เทียบกับ TiO₂-P25 ด้วยเครื่อง

Energy Dispersive Spectroscopy : EDS

4.1.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโน TiO_2 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope : TEM)

สำหรับในส่วนนี้จะอธิบายถึงข้อมูลจากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโน ด้วยเทคนิค TEM ที่จะใช้อิเล็กตรอนจากเครื่องยิงอิเล็กตรอนไปกระทบกับอนุภาค เพื่อให้อิเล็กตรอนทะลุผ่านชิ้นงานและถูกโฟกัสใกล้วัตถุ จากนั้นจะถูกขยายด้วยเลนส์โปเจกเตอร์ และในขั้นสุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน สามารถสร้างภาพได้โดยอาศัยการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนแบบเลือกพื้นที่ (selected area electron diffraction : SAED) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากรูปภาพให้ทราบถึงโครงสร้างของผลึกของอนุภาค ตามรายละเอียดที่ปรากฏในรูปที่ 4.6 เมื่อทำการศึกษาพบว่า อนุภาคนาโน TiO_2 ได้จากการสังเคราะห์ ด้วยวิธีซอลเจล และ การกลั่นไหลกลับภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400°C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO_2 -P25 มีลักษณะรูปร่างที่ค่อนข้างกลมและรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่หนาแน่นบ่งบอกถึงความคล้ายกันกับผลการวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะกับเทคนิค SEM อนุภาคจับรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเช่นกัน จากเทคนิค SAED ที่แสดงในรูปที่ 4.6 สามารถทราบถึงรูปแบบการเลี้ยวเบนที่วิเคราะห์ได้ จะมีระนาบที่ตรงกัน (110), (111), (200), (202), (312) และ (321) สอดคล้องกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของ TiO_2 ในฐานข้อมูล JCPDs หมายเลข 01-1292 (rutile) และ 01-0562 (Anatase)

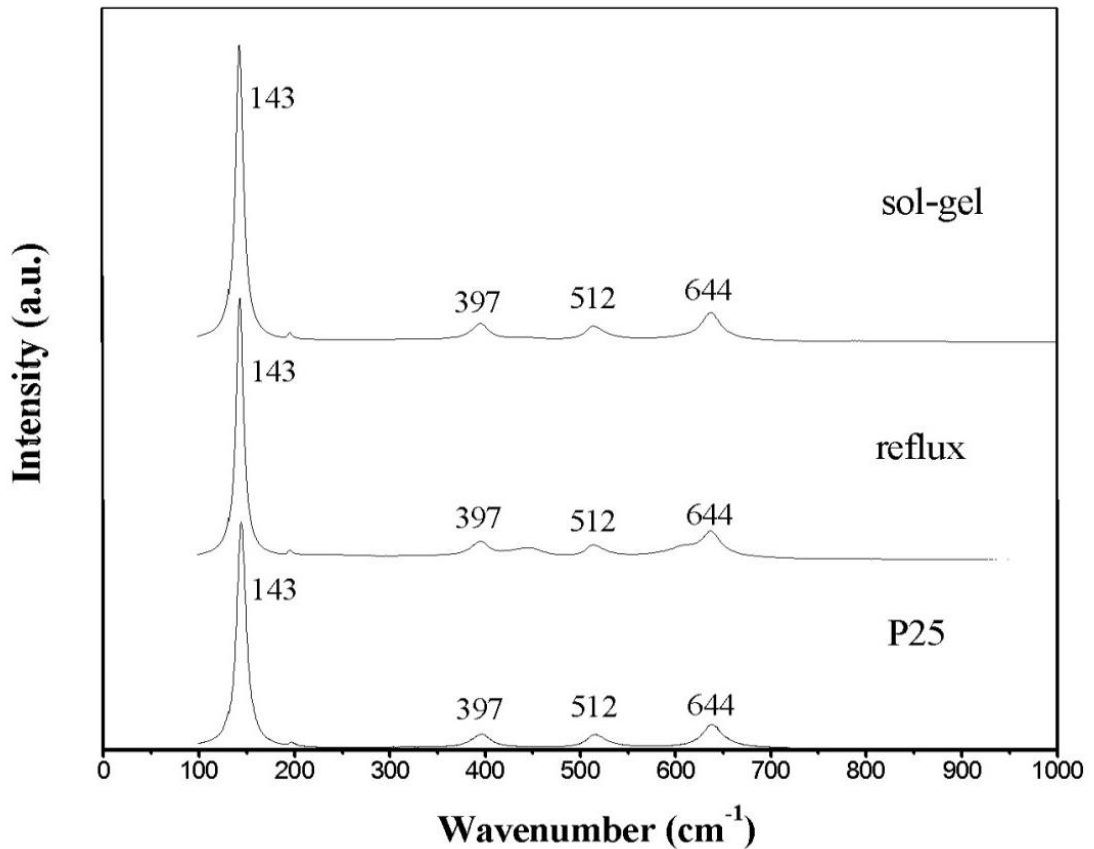


รูปที่ 4.6 แสดงภาพถ่าย TEM และ SAED pattern ของพบว่า อนุภาคนาโน TiO_2 ได้จากการสังเคราะห์ด้วย (a) วิธีซอลเจล และ (b) การกลั่นไพลกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400°C ใช้เวลา 2 ชั่วโมง และเทียบกับ (c) TiO_2 -P25

4.1.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของอนุภาคนาโน TiO_2 โดยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy)

ในส่วนนี้จะอธิบายให้ทราบถึงการหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโน TiO_2 ด้วยหลักกระบวนการกระเจิงของแสงที่ตกกระทบไปยังบริเวณอนุภาคนาโน TiO_2 แล้วในส่วนของการกระเจิงของแสงที่ปรากฏออกนั้นจะประกอบไปด้วยพลังงานหรือความยาวคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงถ้าหากทำการเปรียบเทียบกับแสงที่ตกกระทบไปอนุภาคของสารดังกล่าวนั้น โดยส่วนมากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการหาลักษณะของอนุภาคหรือชิ้นงาน โดยทั่วไปแล้วแสงที่ตกกระทบจะเกิดการกระเจิงของแสงแบบ rayleigh scattering แสงที่ตกกระทบนั้นจะเป็น ในลักษณะแบบรามาน จะพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงของพลังงานของแสงที่เกิดจากการกระเจิงอีกด้วยว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลง แบบเพิ่มขึ้น (anti-stoke scatter) หรือแบบลดลง (stoke scatter) สำหรับการศึกษาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโน TiO_2 ได้จากการสังเคราะห์ ด้วย วิธีซอลเจล และ การกลั่นไหลกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO_2 -P25 ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปีในรายละเอียดของข้อมูลในรูปแบบกราฟ โดยกราฟที่ได้จะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Wavenumber กับ Intensity ตามที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.7 จากการวิเคราะห์ผลของข้อมูลด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี ทำให้ทราบถึงลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโน TiO_2 ได้จากการสังเคราะห์ ด้วย วิธีซอลเจล และ การกลั่นไหลกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO_2 -P25 ในรูปที่ 4.7 จะพบว่ามีพีคที่สำคัญปรากฏขึ้นมาในตำแหน่ง เลขคลื่น (Wavenumber) ที่ 143, 397, 512 และ 644 cm^{-1} ตามลำดับ แล้วยังสามารถทำให้ทราบได้อีกว่า ลักษณะข้อมูลที่แสดงออกมาในกราฟ ที่ยืนยันได้ว่า อนุภาคนาโน TiO_2 ได้จากการสังเคราะห์ ด้วย วิธีซอลเจล และ การกลั่นไหลกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO_2 -P25 เป็นเฟสอนาเทส (anatase phase) ที่สอดคล้องกับข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

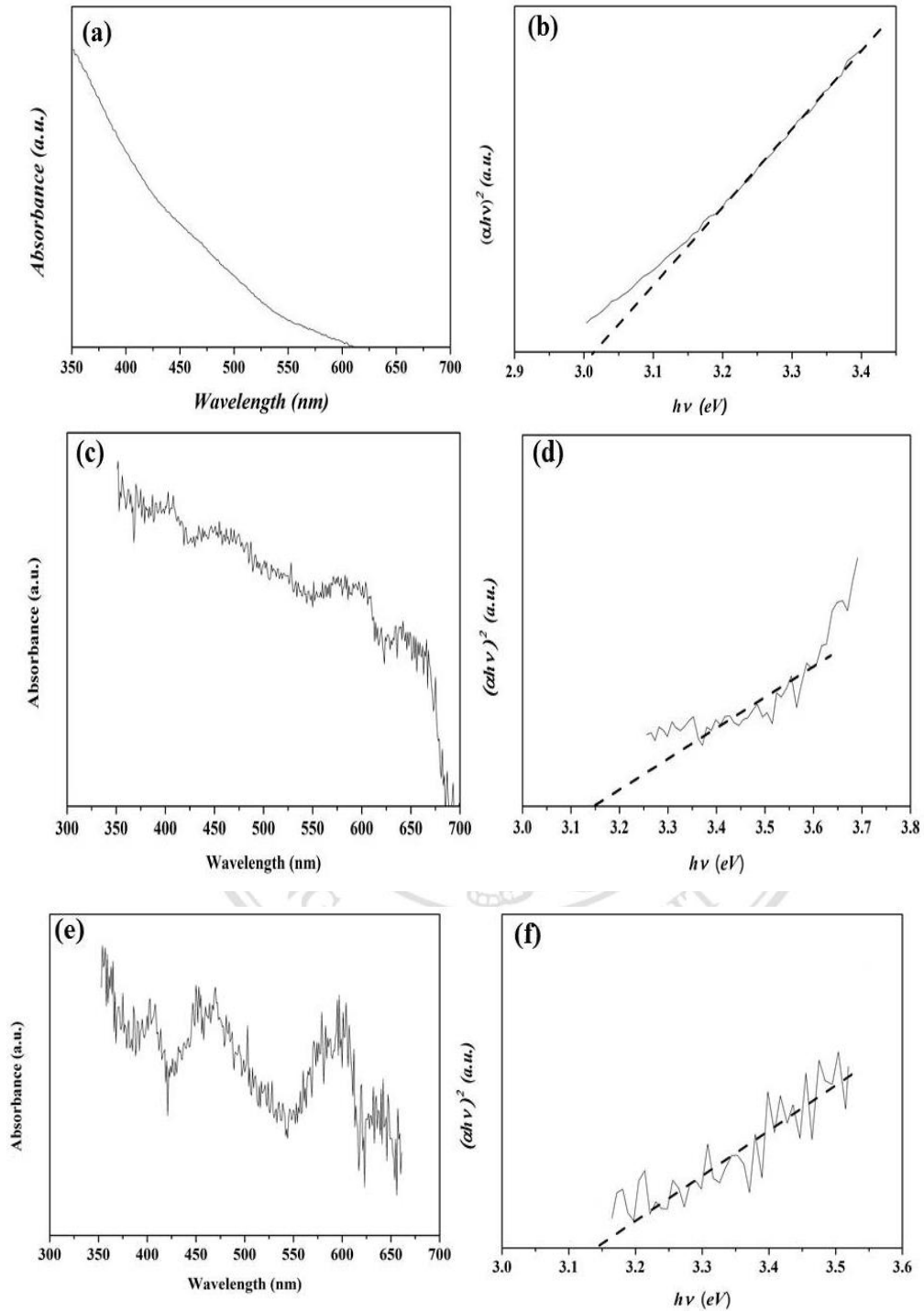
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์จากเทคนิครามานสเปกโทรสโคปีของอนุภาคนาโน TiO₂ ได้จากการสังเคราะห์ ด้วย วิธีซอลเจล และ การกลั่นไพลทกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO₂-P25

4.1.6 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโน TiO₂ ด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-VIS Spectrophotometer)

สำหรับการตรวจสอบสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโน TiO₂ ได้จากการสังเคราะห์ ด้วย วิธีซอลเจล และ รีฟลักซ์ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO₂-P25 ซึ่งได้อาศัยพลังงานของแสงในช่วงอัลตราไวโอเลต และ วิสิเบิลเพื่อวิเคราะห์หาเอกลักษณ์สำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลที่ตอบสนองต่อการดูดกลืนคลื่นแสง รูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์การดูดกลืนช่วงแสง UV-VIS และค่าแถบพลังงานที่ได้จากการคำนวณของสมการ $(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^n$ จากกราฟ UV-VIS ของอนุภาคนาโน TiO_2 ได้จากการสังเคราะห์ ด้วย (c),(d) วิธีซอลเจล และ (e), (f) การกลั่นไพลดัดภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400°C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ (a),(b) $\text{TiO}_2\text{-P25}$

จากข้อมูลที่แสดงใน รูปที่ 4.8 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงที่ส่งผลต่ออนุภาคนาโน TiO_2 ใช้แสงในช่วงความยาวคลื่น 200 – 800 nm เพื่อศึกษาการดูดกลืนรังสีของสารที่ทำการวิจัยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของพลังงาน โดยการดูดกลืนของแสงที่ผ่านเข้าไปยังสารดังกล่าวนั้นส่งผลถึงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน เมื่อได้ข้อมูลจากกราฟ UV-VIS ในลำดับต่อไปคำนวณหาค่าแถบพลังงาน (energy band gap : E_g) ด้วยการลากเส้นสัมผัสตัดแกน X ตามแสดงใน รูปที่ 4.8 ด้วยข้อมูลที่แสดงให้ทราบดังกล่าวด้วยการคำนวณจากสมการที่ 4.1 [17]

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^n \quad (4.1)$$

α คือ ค่าการสัมประสิทธิ์ดูดกลืนแสง (absorbance)

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck constant) มีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34} J/s

ν คือ ความถี่ของโฟตอน (Photon frequency)

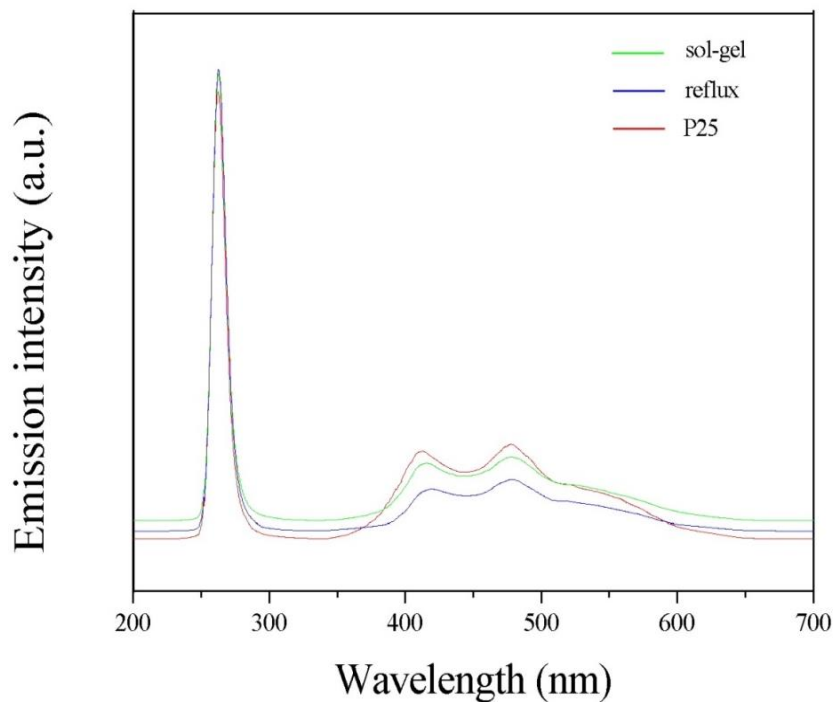
E_g คือ optical band gap

n คือ ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงประเภทของ electronic transitions : $n = 2$ หมายถึง indirect transition และ $1/2$ หมายถึง direct transition.

จากสมการที่ 4.1 สามารถนำมาแสดงถึงความสัมพันธ์ด้วยกราฟระหว่าง $h\nu$ และ $(\alpha h\nu)^2$ โดยจะเห็นว่า n คือ $1/2$ ซึ่งเป็นชุดของจำนวนเต็ม จะเห็นว่าเกิดแถบพลังงาน 2 แถบ คือ แถบพลังงานวาเลนซ์ (valence band) และแถบพลังงานการนำ (conduction band) และระหว่างแถบพลังงานทั้งสองเกิดช่องว่าง หรือ แถบต้องห้าม อาจถือว่า ระดับพลังงานเป็นแบบต่อเนื่อง และพิจารณาเป็นแถบพลังงาน ดังนั้น สมบัติของผลึกจึงสามารถพิจารณาได้จากระยะห่างระหว่างแถบพลังงานและการจัดเรียงอิเล็กตรอนในแถบต่างๆแม้ว่า ภายในแถบจะมีระดับพลังงานเป็นแบบต่อเนื่อง เราสามารถใช้ทฤษฎีแถบพลังงานอธิบายสมบัติทางไฟฟ้าของสารต่างๆได้ [นาโนฟิลิกส์] สำหรับใน รูปที่ 4.8 แสดงค่าแถบต้องห้ามตามข้อมูลดังนี้ การเตรียมด้วยวิธีซอลเจล ค่าการดูดกลืนอยู่ในช่วงความยาวคลื่นโดยประมาณ 350 – 400 nm ($E_{g(350-400)} = 3.15$ eV) การเตรียมด้วยวิธีการกลั่นไหลกลับ ค่าการดูดกลืนอยู่ในช่วงความยาวคลื่นโดยประมาณ 350-400 nm ($E_{g(350-400)} = 3.14$ eV) และ TiO_2 -P25 ค่าการดูดกลืนอยู่ในช่วงความยาวคลื่นโดยประมาณ 350 – nm ($E_{g(350)} = 3.013$ eV) ซึ่งโดยปกติแล้ว TiO_2 ต้องมีค่า $E_g = 3.2$ eV

4.1.7 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะพฤติกรรมการเปล่งแสงของอนุภาคนาโน TiO₂ ด้วยเครื่อง ลูมิเนสเซนส์สเปกโทรสโกปี (Photoluminescence Spectrophotometer)

เมื่อแสงโฟตอนที่มีพลังงานเพียงพอตกกระทบวัสดุ จะถูกดูดกลืนทำให้อิเล็กตรอนกระตุ้นให้ขึ้นไปในสถานะกระตุ้นชั่วขณะหนึ่ง ในขณะเดียวกันอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจะกลับสู่สถานะพื้น โดยการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง เรียกว่า PL เนื่องจากสเปกตรัมของ PL นี้จะขึ้นอยู่กับพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนของพลังงาน ดังนั้นเราจึงสามารถคำนวณหาระดับพลังงานได้จากสเปกตรัมของ สัญญาณ PL มักจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมความเข้มของแสงที่ shining เข้าสู่ชิ้นงาน เนื่องจาก PL มักจะเกิดบริเวณใกล้พื้นผิวของวัสดุ ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วย PL จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษาพื้นผิวอุปกรณ์พื้นฐานในการทดสอบวัสดุโดยใช้หลักการของ PL

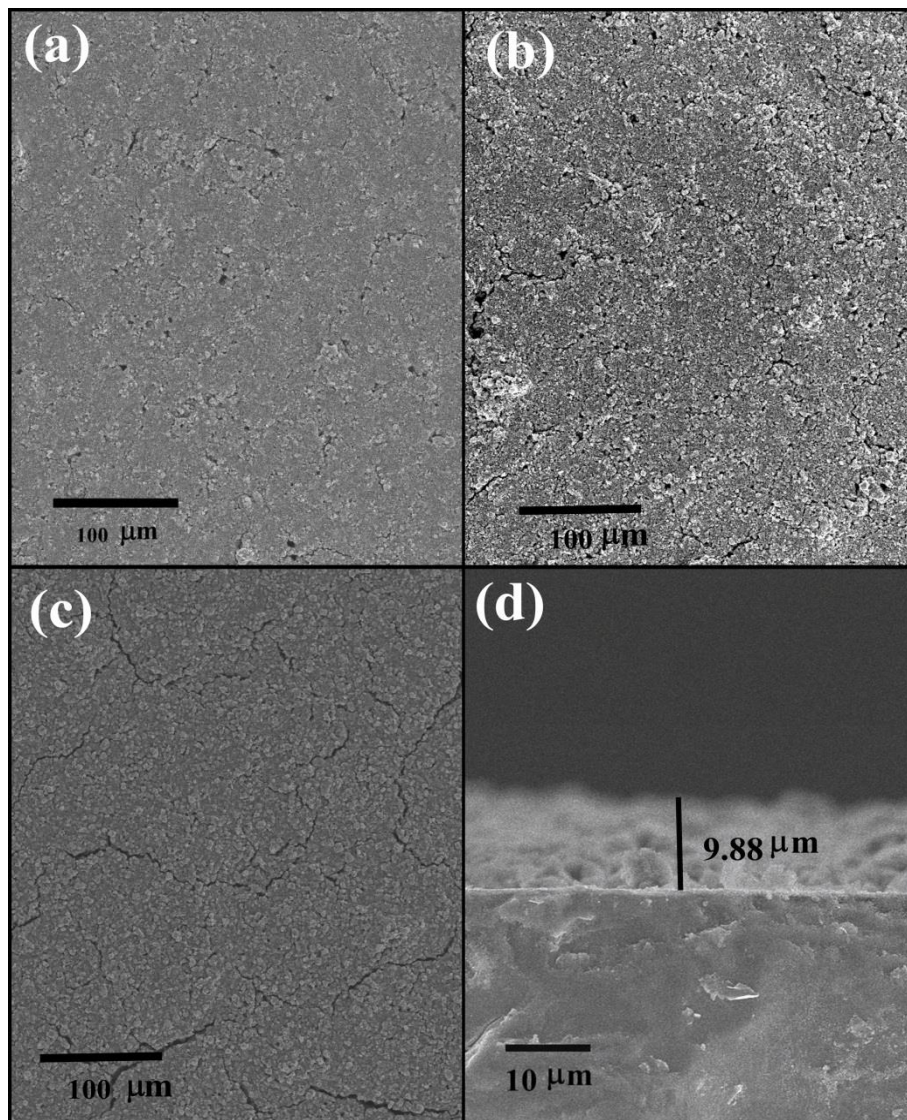


รูปที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค PL ของอนุภาคนาโน TiO₂ ได้จากการสังเคราะห์ ด้วยวิธีซอลเจล และ การกลั่นไหลกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO₂-P25

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบด้วยเทคนิค PL เพื่อเป็นการยืนยันผลวิเคราะห์อนุภาคนาโน TiO_2 ได้จากการสังเคราะห์ ด้วย วิธีซอลเจล และ การกลั่นไหลกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ TiO_2 -P25 และระดับค่าช่วงความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้นมีค่าเป็น 288 nm เพื่อให้โมเลกุลของอนุภาคนาโน TiO_2 ดูดกลืนรังสีจากพลังงานซึ่งจะส่งผลไปยังสภาวะให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนนั้น ไปสู่สถานะของการกระตุ้น (excited state) เมื่ออยู่ในช่วงสภาวะนี้แต่อย่างไรก็ตามมีหลายปัจจัยส่งผลให้มีกลไกให้ระดับพลังงานลดลงเกิดการคายพลังงานออกมาแล้วทำให้กลับลงมาสู่สถานะพื้น (deexcited state) จาก รูปที่ 4.9 จากข้อมูลที่แสดงออกมาเป็นกราฟที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง emission intensity กับ wavelengths การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วงระหว่าง 200 – 700 nm ผลที่ปรากฏเห็นพีค emission ที่เด่นชัดที่สุด ในช่วงความยาวคลื่นโดยประมาณที่ 388 - 430 มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับค่า E_g (direct) และ 450 - 520 nm เกี่ยวข้องกับ phonon (indirect)

4.2 ผลการวิเคราะห์หลักขณะของฟิล์มบางที่เตรียมจากอนุภาค TiO_2 ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีซอลเจล และ วิธีกลั่นไหลกลับ

สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลจากข้อมูลในลักษณะของชิ้นงานที่เป็นฟิล์มบางที่เตรียมจากอนุภาคนาโน TiO_2 จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยวิธีซอลเจล และวิธีกลั่นไหลกลับ แล้วเปรียบเทียบกับ TiO_2 -P25 ในที่นี้ได้ทำการศึกษาในเชิงลักษณะดูพื้นผิวของฟิล์มบางจากการเคลือบด้วยเทคนิค doctor-blade โดยอาศัยอุปกรณ์ SEM เพื่อศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มที่ทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีที่แตกต่างกันออกไปจนกระทั่งวิเคราะห์ความหนาของชั้นฟิล์ม ซึ่งแสดงให้เห็นใน รูปที่ 4.10 จะทราบว่า ลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีที่กล่าวมาข้างต้นนั้นมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนถึงสภาพการยึดเกาะติดของอนุภาคกับวัตถุที่ใช้เป็นฐานรองรับ คือ กระจกนำไฟฟ้า FTO โดยส่วนมากแล้วจะเห็นลักษณะของฟิล์มบางเกือบทุกๆแผ่นที่แสดงให้เห็นใน รูปที่ 4.10 จะไม่ค่อยเชื่อมต่อกันเป็นแผ่น จะเห็นเป็นรอยร้าว หรือ รอยแตกแยกออกจากกัน ถ้าหากนำไปประยุกต์ใช้งานในการประกอบทำขั้วโพโตอิเล็กโทโรด จะต้องเกิดปัญหาอย่างแน่นอน เนื่องจากจะส่งผลถึงการนำส่งอิเล็กตรอนให้เป็นไปตามระบบไม่ได้ จะทำให้อิเล็กตรอนเกิดการไหลย้อนกลับมายังแผ่นฟิล์มทำให้เกิดการลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นไปได้อย่างมาก



รูปที่ 4.10. ภาพถ่าย SEM ฟิล์มบางของอนุภาคนาโน TiO_2 ที่เตรียมด้วยเทคนิค doctor-blade:จากการสังเคราะห์ ด้วย (a) วิธีซอลเจล และ (b) การกลั่นไหลกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ $400\text{ }^\circ\text{C}$ ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ $\text{TiO}_2\text{-P25}$ (c) และ (d) ภาพ cross section ของฟิล์มบาง

4.3 ผลการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง

ถือเป็นจุดมุ่งหมายที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการทำวิจัยนี้ เพื่อหาเงื่อนไขสำหรับการเตรียมฟิล์มบางที่เป็นปัจจัยหลักโดยส่งผลกระทบต่อการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง ที่เลือกใช้สารกึ่งตัวนำเป็น TiO_2 ส่วนหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงการวัดประสิทธิภาพของ

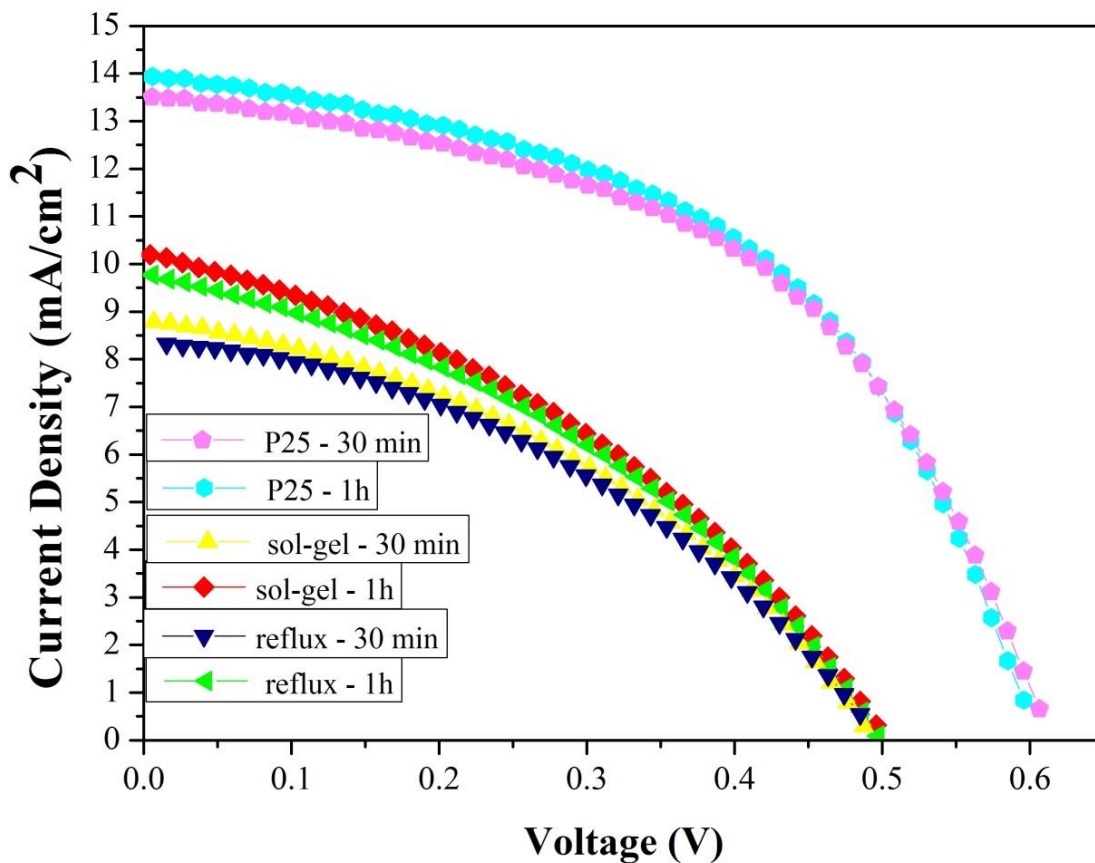
แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง ของสารกึ่งตัวนำ TiO_2 ที่ได้จากการบวนการสังเคราะห์ด้วยวิธีซอลเจล และ การกลั่นไหลกลับแล้วเปรียบเทียบกับ TiO_2 -P25

4.3.1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง

สำหรับการทดลองในส่วนของการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง โดยอยู่ในการกำหนดภายใต้ความเข้มแสง 100 mW/cm^2 ณ ห้องปฏิบัติการ SCB2-611 อาคาร 40 ปี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งเซลล์ที่ทำการวัดประสิทธิภาพจะแบ่งออกเป็นตามเงื่อนไขที่กำหนดตามช่วงเวลาการแช่ในสีข้อมไวแสง N719 แล้วทำการทดสอบวัดประสิทธิภาพ ดังสรุปได้ในตารางที่ 4.2 .ในลำดับต่อมาแสดงผลข้อมูลด้วยกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง J-V ดังที่แสดงในรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงที่ใช้ N719

TiO_2	Immersion duration	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
Sol-gel	30 min	0.487	8.824	0.404	1.734
	1 h	0.497	10.156	0.381	1.925
Reflux	30 min	0.487	8.285	0.412	1.662
	1 h	0.497	9.728	0.384	1.858
P-25	30 min	0.606	13.503	0.509	4.178
	1 h	0.596	13.937	0.596	4.255



รูปที่ 4.11 กราฟ J-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสงของอนุภาคนาโน TiO_2 ได้จากการสังเคราะห์ ด้วย วิธีซอลเจล และ การกลั่นไหลกลับ ภายใต้การเผาด้วยอุณหภูมิ 400°C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเทียบกับ $\text{TiO}_2\text{-P25}$

จากข้อมูลที่แสดงให้เห็นใน รูปที่ 4.11 สามารถทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง และยังสามารถทราบถึงรายละเอียดของข้อมูลเหล่านั้นประกอบไปด้วยค่าที่แสดงเป็นตัวแปรที่สำคัญ มีข้อมูลดังนี้ ค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจร (J_{sc}), ค่าความต่างศักย์วงจเปิด (V_{oc}), Fill Factor (FF) และค่าประสิทธิภาพ (η) ของข้อมูลแต่ละเงื่อนไข จากนั้นถึงนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ด้วยการพลอตกราฟในลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ J_{sc} กับ V_{oc} จากข้อมูลที่ได้ทำการทดสอบออกมาเรียบร้อยแล้วทำให้ทราบว่า ประสิทธิภาพจากการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสงนั้น ก่อนข้างจะใกล้เคียงกันแต่ สืบเนื่องมาจากช่วงระยะเวลาในการแช่สียอม N719 นั้นยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย สังเกตว่า หากใช้เวลานานในการแช่ที่นานมากกว่านี้ โอกาสจะทำให้ชิ้นงานที่เตรียมออกมามีประสิทธิภาพที่ดีกว่านี้

แต่อย่างไรก็ตามยังสามารถคาดการณ์ไปได้อีก หากเพิ่มเวลาในการที่จะนำชิ้นงานไปแช่สีย้อม N719 ผลจากการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ใช้ $\text{TiO}_2\text{-P25}$ เป็นตัวมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ได้ทำการเตรียมขึ้นมาจากการสังเคราะห์ขึ้นมาเองนั้นยังมีผลที่ห่างกันมากจากตัวมาตรฐาน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved