

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ในบทนี้ ได้กล่าวถึงการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ซึ่งได้นำเสนอผลการหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์และอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียม โดย การวิเคราะห์ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน การสร้างภาพด้วยเทคนิคเอสทีอีเอ็ม และการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ผิว นอกจากนี้ยังศึกษาความสามารถโฟโตแคทาลิติกของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์และอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์และอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียม

ในงานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ และอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมด้วยเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิส โดยใช้สารตั้งต้นแต่ละเงื่อนไขปริมาตร 100 มิลลิลิตรซึ่งมีวิธีการเตรียมดังหัวข้อ 3.4.1 และใช้อัตราการจ่ายแก๊สต่างๆของเครื่องเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิสดังนี้ แก๊สออกซิเจนที่เป็นตัวออกซิแดนท์ เท่ากับ 2.46 ลิตรต่อนาที แก๊สมีเทนเพื่อทำการจุดเปลวไฟซัพพอร์ทเท่ากับ 1.19 ลิตรต่อนาที แก๊สออกซิเจนที่เป็นแก๊สดีสเพอร์ชันเท่ากับ 4.30 ลิตรต่อนาที แก๊สออกซิเจนในวงนอกเท่ากับ 3.92 ลิตรต่อนาที และอัตราการจ่ายสารตั้งต้นคือ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณสารที่สังเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 4.1 โดยปริมาณที่สังเคราะห์ได้จริงคำนวณจากผลต่างของน้ำหนักกระดวยกรองก่อนและหลังการดักจับอนุภาคที่สังเคราะห์ และการคำนวณปริมาณอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ในทางทฤษฎีแสดงไว้ในภาคผนวก ข

จากตารางที่ 4.1 พบว่าร้อยละผลได้ของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าประมาณเกือบ 70 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ส่วนที่หายไปเนื่องมาจากสารที่สังเคราะห์ได้ไม่ได้ขึ้นไปติดอยู่ที่กระดวยกรองทั้งหมดบางส่วนติดอยู่ที่ผนังด้านข้างของคอลเลกเตอร์ฟิลเตอร์ ดังนั้นเปอร์เซ็นต์สารที่สังเคราะห์ได้จริงจึงขาดหายไปจากทางทฤษฎี

ตาราง 4.1 เปรียบเทียบปริมาณผงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีเฟลมสเปรย์ไฟโรลิซิสในทางทฤษฎี และที่สังเคราะห์ได้จริง

ผงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียม (ร้อยละโดยโมล)	ปริมาณที่ควรสังเคราะห์ได้ในทางทฤษฎี (กรัม)	ปริมาณที่สังเคราะห์ได้จริง (กรัม)	ผลผลิตร้อยละ
0	3.87	2.66	68.7
0.25	3.87	2.68	69.3
0.50	3.88	2.51	64.7
0.75	3.88	2.90	74.7
1.0	3.88	2.68	69.1

ผงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีเฟลมสเปรย์ไฟโรลิซิสมีลักษณะเฉพาะทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 4.2

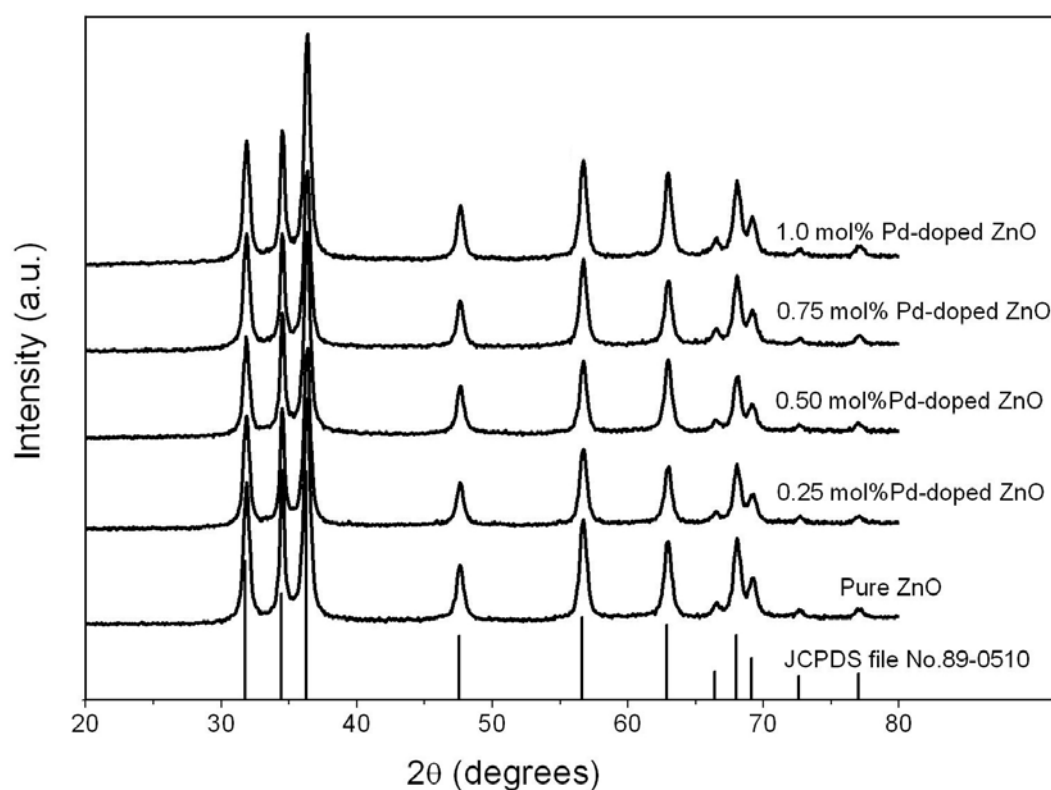
ตาราง 4.2 ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของผงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์โดยวิธีเฟลมสเปรย์ไฟโรลิซิส

ผงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียม (ร้อยละโดยโมล)	ลักษณะเฉพาะทางกายภาพ
0	ผงสีขาวละเอียด
0.25	ผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อน
0.50	ผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อนเข้มขึ้น
0.75	ผงละเอียดสีน้ำตาล
1.0	ผงละเอียดสีน้ำตาลเข้ม

จากตารางที่ 4.2 พบว่าซิงค์ออกไซด์บริสุทธิ์ที่สังเคราะห์ได้มีสีขาว และเมื่อทำการเจือซิงค์ออกไซด์ด้วยแพลเลเดียม ซิงค์ออกไซด์จะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น โดยปริมาณความเข้มของสีขึ้นอยู่กับปริมาณของแพลเลเดียมที่เจือ กล่าวคือยิ่งปริมาณการเจือเพิ่มขึ้น ความเข้มของสีก็ยิ่งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.2 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

ในงานวิจัยนี้ ได้วิเคราะห์สารตัวอย่างโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล Joint Committee Powder Diffraction Standards (JCPDS files) เพื่อตรวจสอบเฟสของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ ซึ่งการเตรียมสารตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยเทคนิคนี้ทำได้โดยนำผงแห้งของสารตัวอย่างมาเตรียมตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.5.1



รูป 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จาก ชิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ และชิงก์ออกไซด์เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0 โดยโมล เปรียบเทียบกับ JCPDS file No. 89-0510 ซึ่งเป็นชิงก์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล

เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากผงอนุภาคนาโนชิงก์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนชิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมที่สังเคราะห์โดยเฟลมสเปรย์ไฟโรลิซิส ดังแสดงในรูป 4.1 พบว่าผงอนุภาคทุกตัวที่สังเคราะห์มีการเลี้ยวเบนหลักที่ตำแหน่ง 2θ อยู่ตำแหน่งเดียวกัน และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล JCPDS พบว่าตำแหน่งของการเลี้ยวเบนหลักข้างต้นใกล้เคียงกับการเลี้ยวเบนหลักของ JCPDS file no.89-0510 ซึ่งมีตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 31.8403, 34.5029, 36.3370, 47.6530 และ 56.7314 โดยจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก

ทำให้ทราบว่าสารตัวอย่างทุกตัวที่สังเคราะห์ได้ เป็นซิงก์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล (hexagonal structure)

นอกจากนี้ พิกที่ได้จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างมีลักษณะเป็นพีกแหลมสูง จึงคาดว่าสารตัวอย่างทุกตัวที่สังเคราะห์ได้นี้มีความเป็นผลึกค่อนข้างสูง สำหรับความเข้มของพีกหลัก 3 พีกแรกที่ตำแหน่ง 2 θ เดียวกันของสารตัวอย่างแต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ได้นั้นมีขนาดใกล้เคียงกัน

จากรูป 4.1 ไม่พบพีกแปลกล้อมในทุกรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ นอกจากพีกหลักของซิงก์ออกไซด์ซึ่งมีลักษณะและความเข้มเหมือนกันทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถระบุถึงการมีอยู่ของเฟสเลเดียมที่เจือเข้าไปในซิงก์ออกไซด์ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของเฟสเลเดียมที่เจือเข้าไปในซิงก์ออกไซด์นั้นอาจน้อยเกินไปเพียง 0.25 ถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จึงไม่สามารถตรวจวัดปริมาณของเฟสเลเดียมนี้ได้

4.3 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

ในงานวิจัยนี้ ได้นำสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มาหาลักษณะเฉพาะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เพื่อตรวจสอบขนาดและรูปร่างของอนุภาคสารตัวอย่าง รวมทั้งได้ใช้เทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์เพื่อตรวจสอบชนิดและตำแหน่งเฟสของสารอื่นนอกเหนือจากซิงก์ออกไซด์ที่อาจเกิดขึ้นได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

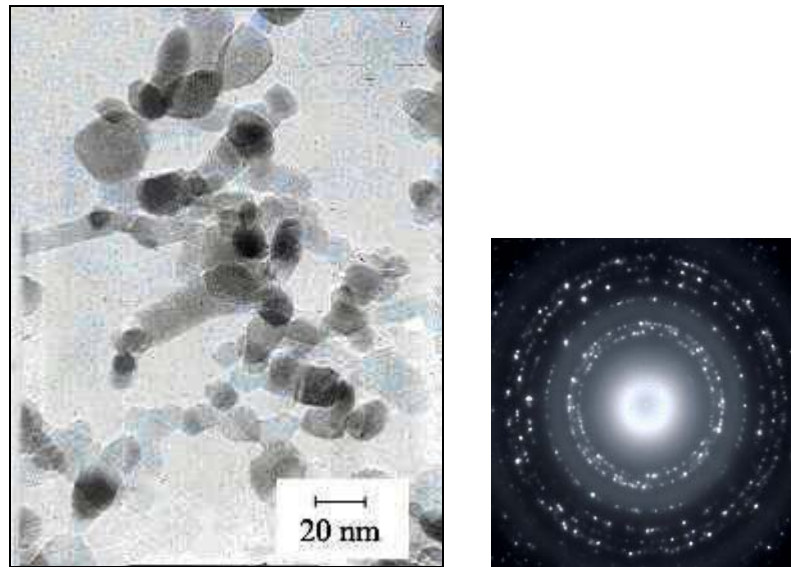
4.3.1 ผลการวิเคราะห์อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

ในหัวข้อนี้ทำการศึกษารูปร่าง ขนาด และองค์ประกอบของซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ที่สังเคราะห์โดย เฟลมสเปรย์ไพโรลิซิส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์

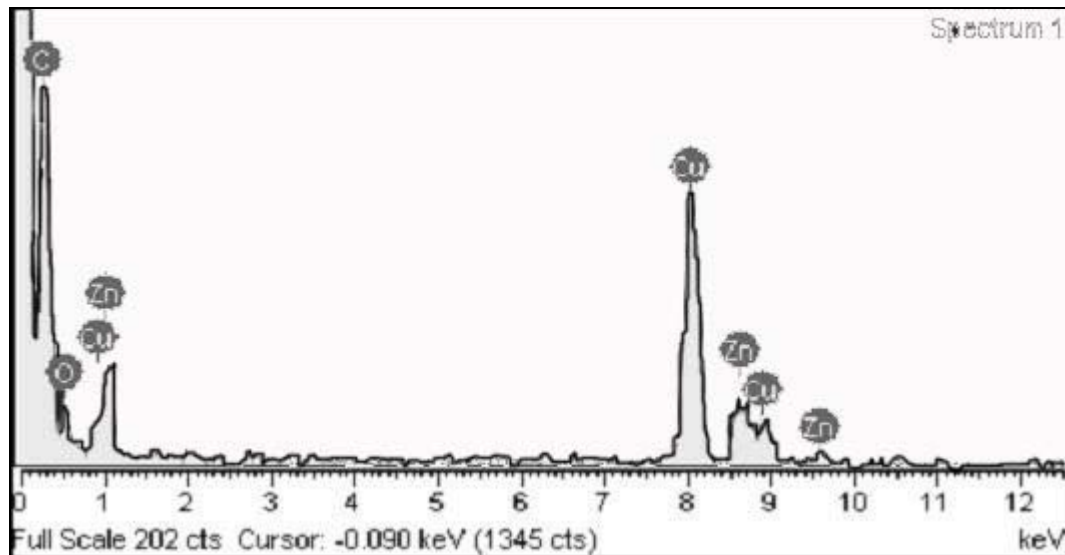
จากรูป 4.2 พบว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ส่วนใหญ่กระจายตัวดี เกาะติดกันเป็นกลุ่มก้อนบ้างเล็กน้อย อนุภาคมีรูปร่างแบบเฮกซะโกนอล แบบแท่ง และแบบทรงกลม อนุภาคมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 5 ถึง 20 นาโนเมตร ส่วนอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีขนาด 20 นาโนเมตร อาจเกิดจากการเกาะรวมกันของอนุภาคขนาดเล็ก และจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนซึ่งมีลักษณะแบบวงแหวนทำให้ทราบว่า อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้เป็นพหุผลึก (polycrystalline)

นอกจากนี้ พบว่าภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ให้ความเปรียบต่าง (contrast) ต่างกัน โดยบางอนุภาคเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ บางอนุภาคเป็นสีน้ำตาลเข้ม และบางอนุภาคมีทั้งสีน้ำตาลอ่อนและเข้มปนกัน จึงทราบได้ว่าอนุภาคนาโนซิงก์

ออกไซด์บริสุทธิ์ให้ความแปรปรวนได้หลายรูปแบบซึ่งอาจขึ้นอยู่กับทิศทางการจัดเรียงตัวของอนุภาคขณะที่ลำอิเล็กตรอนส่องผ่าน และยังขึ้นกับการซ้อนทับกันของอนุภาคด้วย



รูป 4.2 ภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ และรูปแบบการเลี้ยวเบนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์



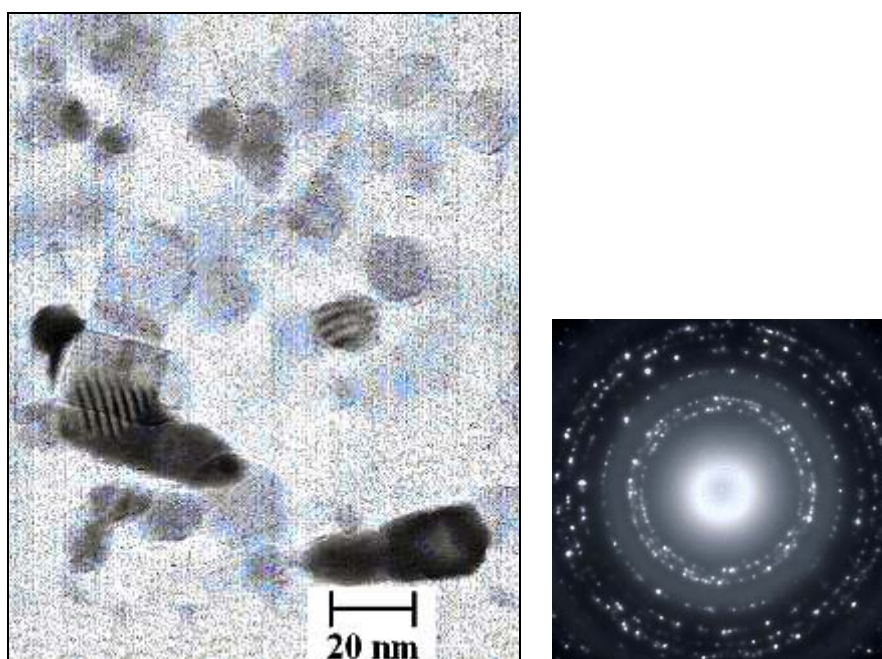
รูป 4.3 สเปกตรัมจากเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ของผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ ในบริเวณทั้งหมดของรูป 4.2

เมื่อวิเคราะห์อนุภาคที่สังเคราะห์ได้ด้วย เทคนิคการกระจายตัวของพลังงานรังสีเอกซ์ (EDS) พบว่าเป็นซิงก์ออกไซด์ที่ตำแหน่งสเปกตรัม 1 เป็นซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ ไม่มีสารอื่นปะปน โดยธาตุทองแดง (Cu) และคาร์บอน (C) ที่พบในสเปกตรัมนี้มาจากกริดทองแดงที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

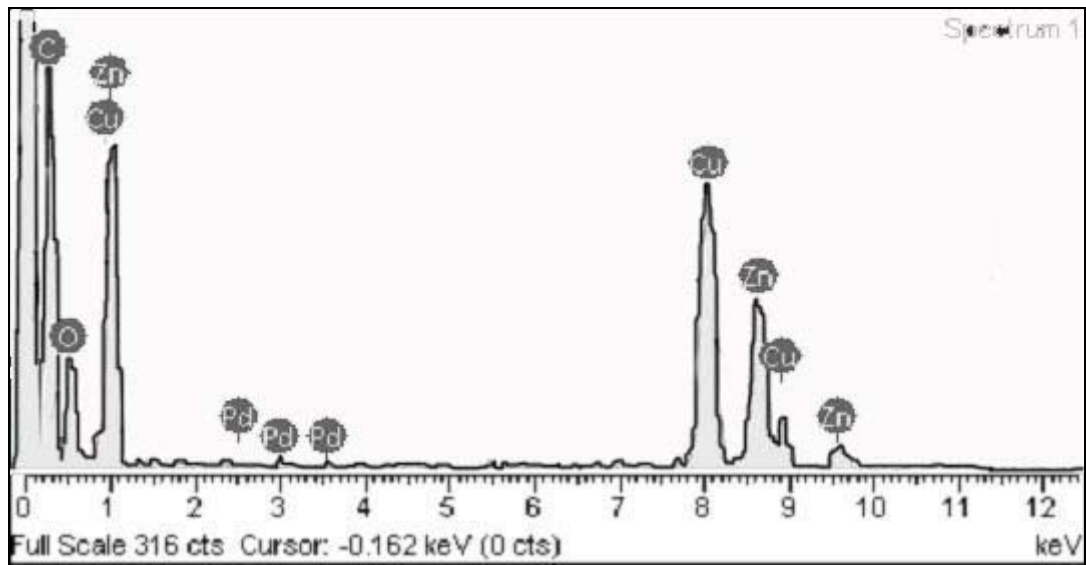
4.3.2 ผลการวิเคราะห์อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลงเคียมด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

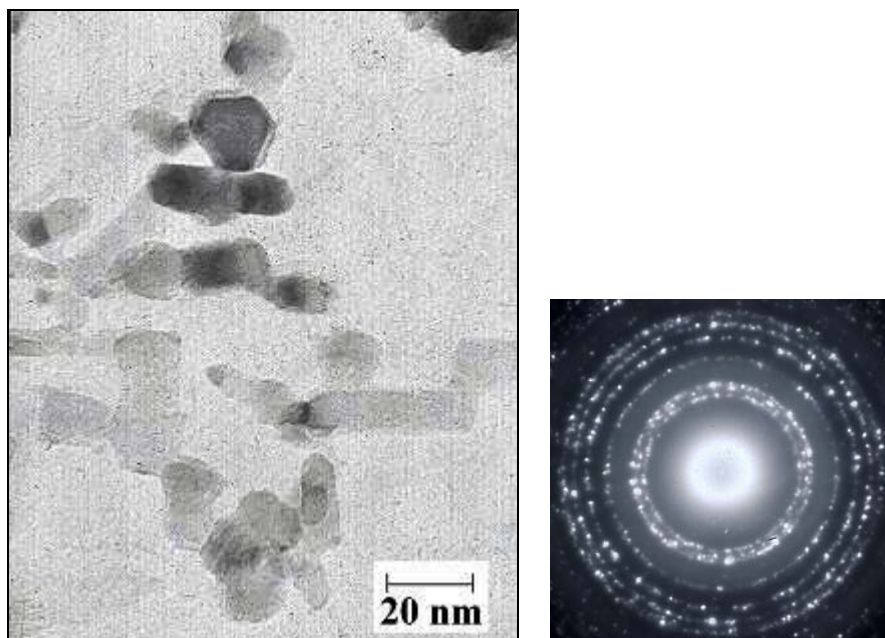
ในหัวข้อนี้ทำการศึกษารูปร่าง ขนาด และองค์ประกอบของซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลงเคียมร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0 โดยโมล โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ ดังแสดงในรูป 4.4 ถึง 4.11



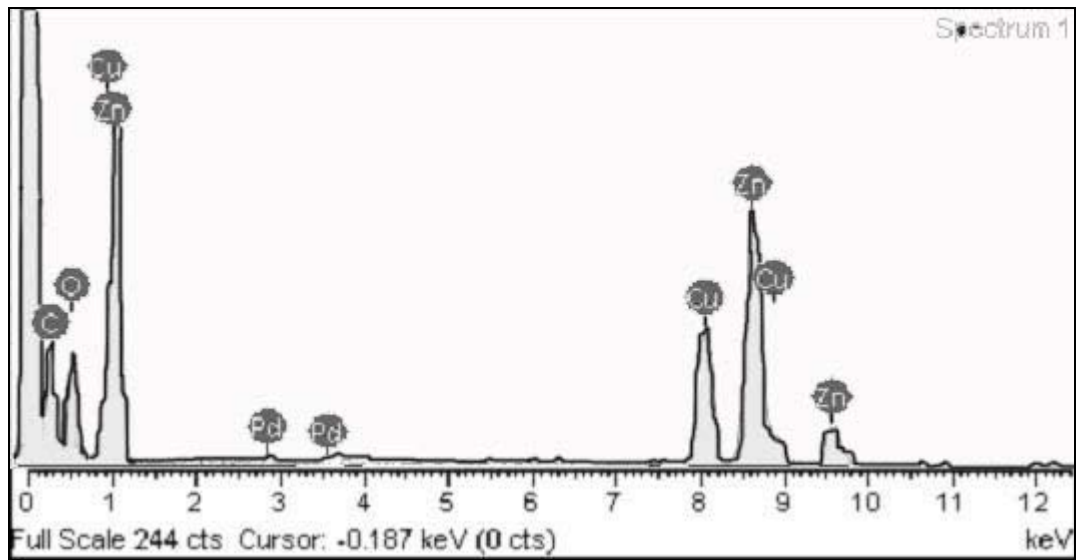
รูป 4.4 ภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ และรูปแบบการเลี้ยวเบนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลงเคียมร้อยละ 0.25 โดยโมล



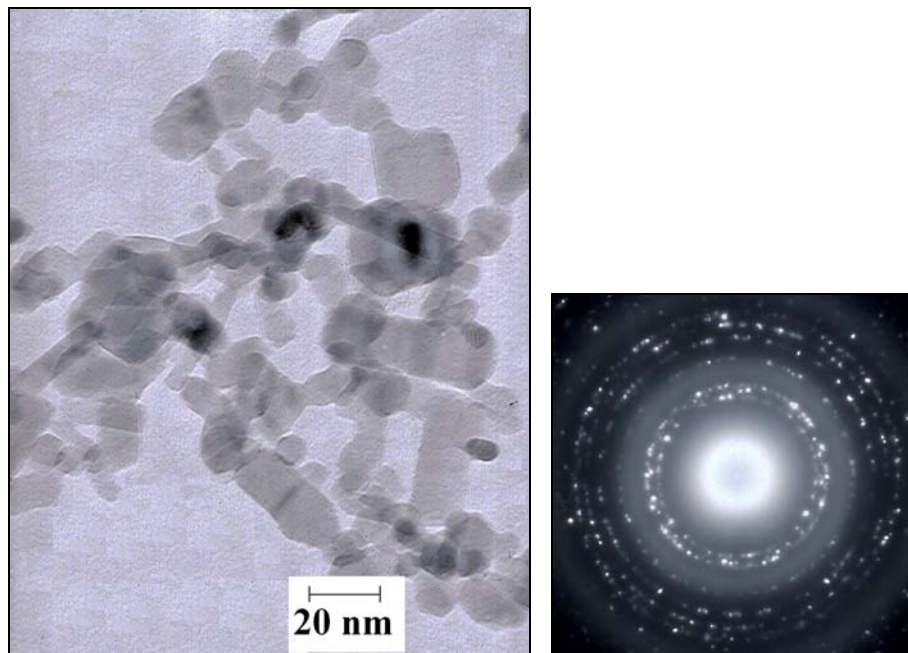
รูป 4.5 สเปกตรัมจากเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ ของผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.25 โดยโมล ในบริเวณทั้งหมดของรูป 4.4



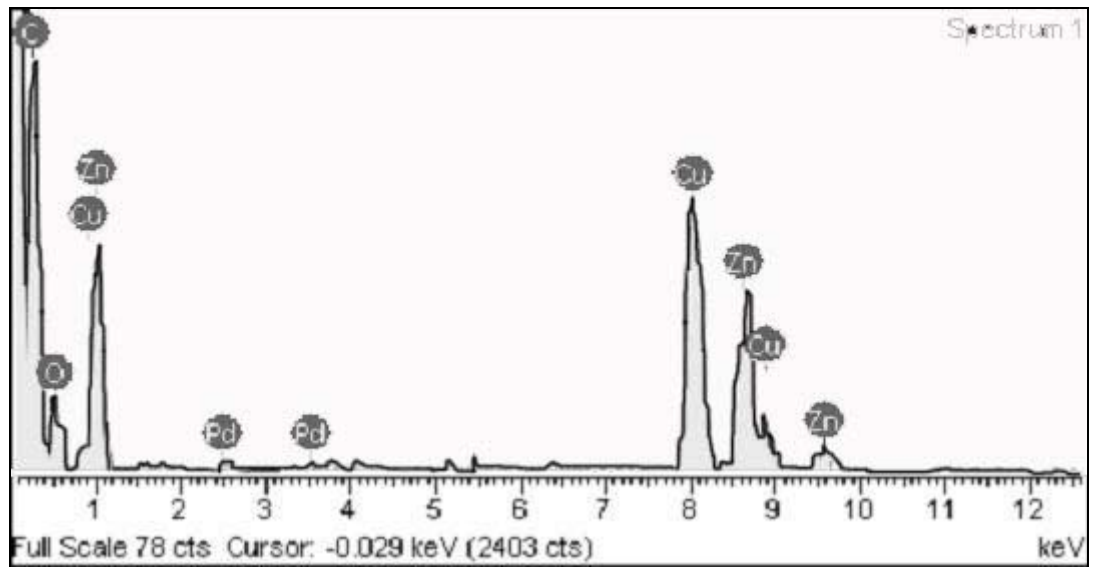
รูป 4.6 ภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ และรูปแบบการเลี้ยวเบนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ของผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.50 โดยโมล



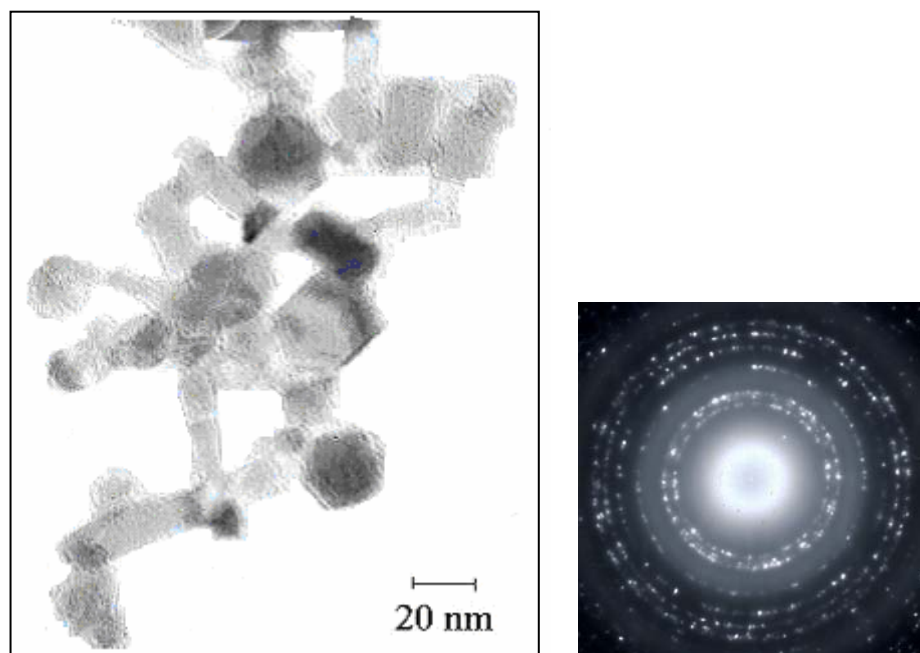
รูป 4.7 สเปกตรัมจากเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ ของผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.50 โดยโมล ในบริเวณทั้งหมดของรูป 4.6



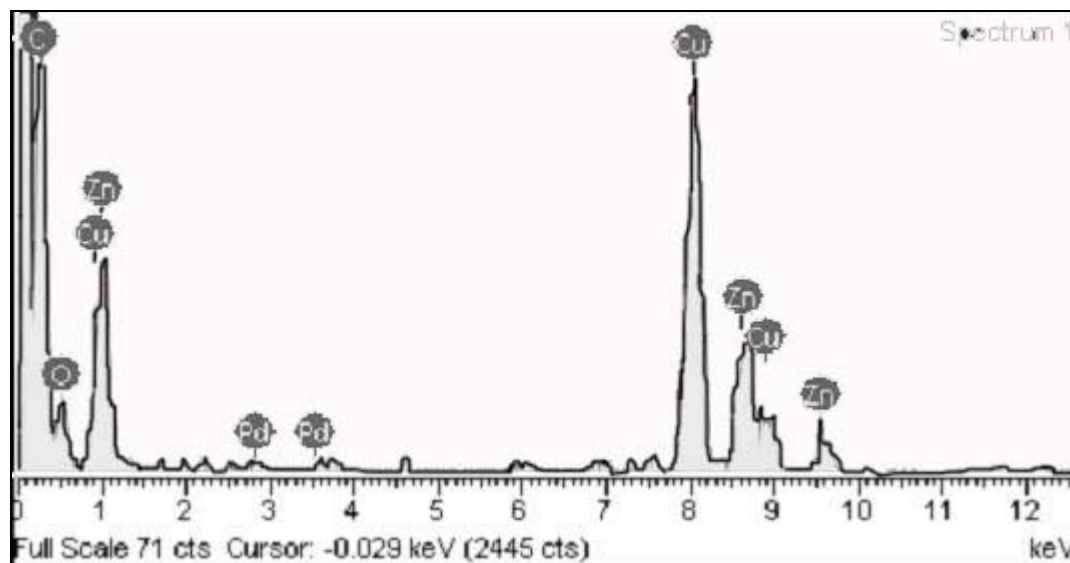
รูป 4.8 ภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ และรูปแบบการเลี้ยวเบนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ของผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.75 โดยโมล



รูป 4.9 สเปกตรัมจากเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ของผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.75 โดยโมล ในบริเวณทั้งหมดของรูป 4.8



รูป 4.10 ภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ และรูปแบบการเลี้ยวเบนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 1.0 โดยโมล



รูป 4.11 สเปกตรัมจากเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ของผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 1.0 โดยโมล ในบริเวณทั้งหมดของรูป 4.10

จากรูปที่ 4.4, 4.6, 4.8 และ 4.10 ซึ่งเป็นภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์แสดงผงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0 โดยโมล พบว่าอนุภาคของทุกตัวอย่างมีการกระจายตัวดี มีการเกาะกันเป็นกลุ่มน้อย และรูปร่างของอนุภาคที่พบในทุกตัวอย่างมี 3 แบบคือ แบบเสกซะโกนอล แบบแท่ง และแบบทรงกลม โดยจะพบอนุภาคที่มีรูปร่างแบบเสกซะโกนอล และแบบทรงกลม มากกว่ารูปร่างแบบแท่งเล็กน้อย สำหรับขนาดของอนุภาคในแต่ละตัวอย่างที่พบนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก มีค่าอยู่ในช่วง 5 ถึง 20 นาโนเมตร โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่คาดว่าเกิดจากการเกาะรวมกันของอนุภาคขนาดเล็ก นั่นคือการเจือแพลเลเดียมโดยเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิสในปริมาณที่ไม่เกินร้อยละ 1 โดยโมล ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ และจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ซึ่งในทุกตัวอย่างมีลักษณะแบบวงแหวน ทำให้ทราบว่า อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมทุกตัว เป็นพหุผลึก

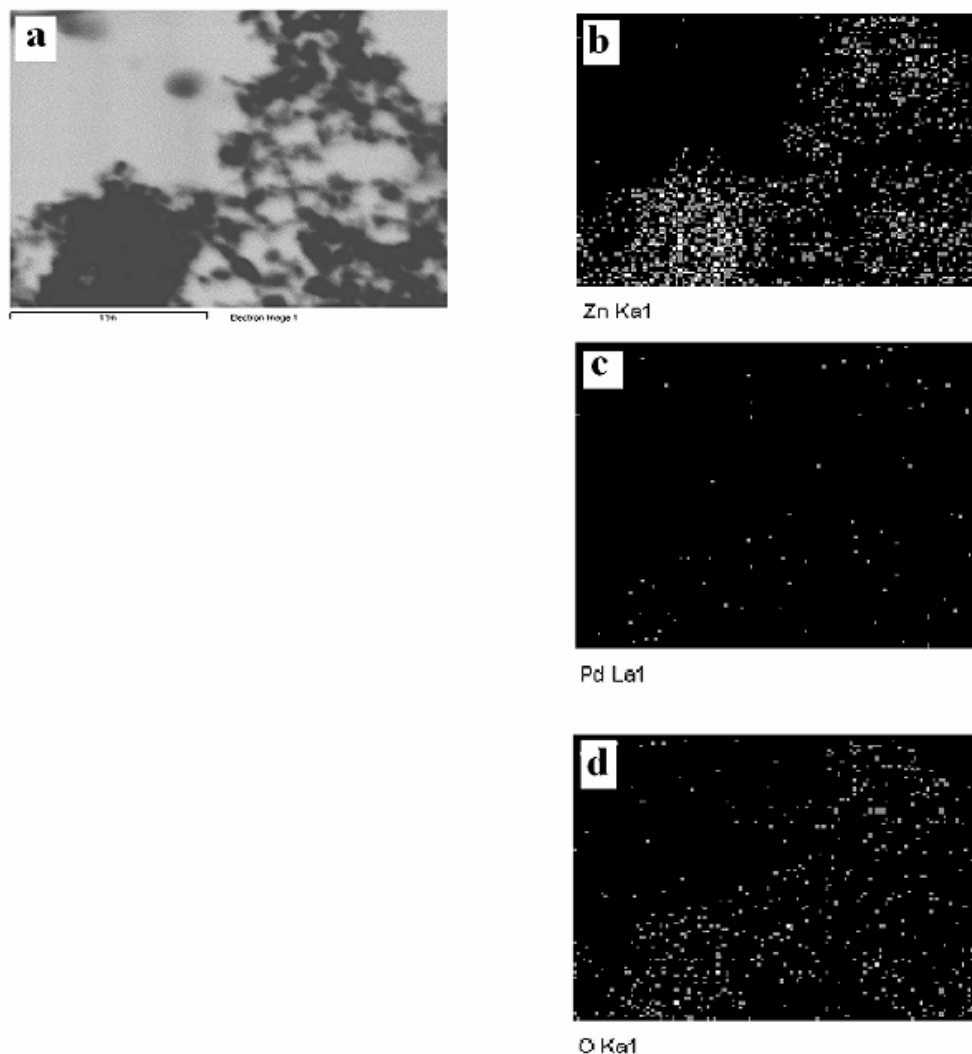
ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ ให้ความเปรียบเทียบต่างกัน โดยบางอนุภาคเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ บางอนุภาคเป็นสีน้ำตาลเข้ม และเมื่อทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน โดยใช้เทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์แบบจุด ในบริเวณของอนุภาคที่มีความเปรียบเทียบแตกต่างกัน พบว่า ผลของสเปกตรัมไม่แตกต่างกันมากนัก นั่นคือ ทั้งบริเวณที่มีสีเข้ม และบริเวณที่มีสีอ่อน มีความเข้มของสัญญาณ Zn และ O ต่ำ เนื่องจากพื้นที่ที่ทำการตรวจวัดนั้นมีขนาดเล็ก และในทุกสเปกตรัมของสารตัวอย่างทั้งหมด ไม่พบพีกสัญญาณของแพลเลเดียมเลย อาจเนื่องมาจากปริมาณแพลเลเดียม

ที่เจอเข้าไปในซิงก์ออกไซด์มีน้อยเกินไป และความเปรียบต่างที่เกิดขึ้นน่าจะมาจากทิศทางการจัดเรียงตัวของอนุภาคขณะที่ลำอิเล็กตรอนส่องผ่าน และการซ้อนทับกันของอนุภาค และเมื่อทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้เทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์แบบกลุ่ม โดยวิเคราะห์กลุ่มอนุภาคทั้งหมดในรูปที่ 4.4, 4.6, 4.8 และ 4.10 ให้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.5, 4.7, 4.9 และ 4.11 ตามลำดับ พบว่า ทุกสเปกตรัมให้ความเข้มของสัญญาณ Zn และ O สูงกว่าการวิเคราะห์โดยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์แบบจุด และพบฟลักสัญญาณของแพลเลเดียม แต่ความเข้มของสัญญาณนั้นมีค่าน้อยมาก ไม่สามารถแยกออกจากพีคบริเวณได้ด้วยตาเปล่า

4.4 ผลการวิเคราะห์อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมด้วยเทคนิคเอตทีอีเอ็ม

เนื่องจากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านที่ผ่านมายังต้น ไม่สามารถระบุการมีอยู่ของแพลเลเดียมที่ได้เจอเข้าไปในซิงก์ออกไซด์ได้นัก ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคเอตทีอีเอ็มในโหมดแมปปิงเพื่อระบุการมีอยู่ของแพลเลเดียม และการกระจายตัวของธาตุองค์ประกอบของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 1 โดยโมล ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.12

แม้ความแยกชัด (resolution) ของรูป 4.12 (a) ซึ่งเป็นภาพถ่ายเอตทีอีเอ็มของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 1.0 โดยโมล จะไม่ดีนักเมื่อเทียบกับภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน แต่โหมดแมปปิงของเทคนิคเอตทีอีเอ็มนี้สามารถวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุองค์ประกอบในภาพถ่ายนี้ได้ โดย รูป 4.12 (b), (c) และ (d) เป็นภาพถ่ายในโหมดแมปปิงของเทคนิคเอตทีอีเอ็มแสดงการกระจายตัวของซิงก์, แพลเลเดียม และ ออกซิเจน ในรูป a ตามลำดับ จากแมปปิงโหมดนี้พบว่าอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในรูป 4.12 (a) นี้เป็นซิงก์ออกไซด์ เนื่องจากการกระจายตัวของซิงก์ และออกซิเจนในรูปที่ 4.12 (b) และ (d) สอดคล้องกับรูป 4.12 (a) เป็นอย่างดี โดยการกระจายตัวของออกซิเจนส่วนใหญ่จะมีตำแหน่งอยู่ในบริเวณเดียวกับแพลเลเดียม นั่นคือซิงก์ และออกซิเจนมีการสร้างโครงสร้างผลึกร่วมกัน



รูป 4.12 (a) ภาพถ่ายเอสทีอีเอ็มของพวงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียม ร้อยละ 1.0 โดยโมล, (b), (c) และ (d) โหมดแมปปิงของเทคนิคเอสทีอีเอ็ม แสดงการกระจายตัวของซิงก์, แพลเลเดียม และ ออกซิเจน ในรูป a ตามลำดับ

เทคนิคเอสทีอีเอ็มในโหมดแมปปิงนี้ยังสามารถระบุถึงการมีอยู่ของแพลเลเดียมได้ ในขณะที่เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์และการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ไม่สามารถระบุได้ และจากรูป 4.12 (c) ซึ่งแสดงการกระจายตัวของแพลเลเดียมในรูป 4.12 (a) พบว่า แพลเลเดียมส่วนใหญ่มีตำแหน่งอยู่ในบริเวณเดียวกับ ซิงก์และออกซิเจน และแพลเลเดียม บางส่วนซึ่งเป็นส่วนน้อยมีตำแหน่งอยู่ต่างบริเวณกับซิงก์ และออกซิเจน นั้นแสดงว่า แพลเลเดียมที่ เจือเข้าไปนั้นส่วนใหญ่ไปเกาะอยู่ที่อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ และมีส่วนน้อยที่แยกตัวออกจาก อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวอย่าง

ในหัวข้อนี้ ได้กล่าวถึงผล และการอภิปรายจากการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวของสารตัวอย่างที่เตรียมโดยเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิส โดยในการวิเคราะห์นั้นได้นำสารตัวอย่างดังกล่าวมาวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะแบบวิธีวัดหลายจุด (multiple point method) โดยใช้ทั้งหมด 40 จุด ปริมาณสารที่ใช้ต่อหนึ่งตัวอย่างประมาณ 0.05 กรัม แล้วทำให้มีพื้นที่ 5 ตารางมิลลิเมตร วัดการดูดกลืนของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน เมื่อเครื่องได้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของแต่ละตัวอย่างมาแล้ว ทำการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของซิงก์ออกไซด์จากสมการ (2.17) ในหัวข้อ 2.5.4.1 และในภาคผนวก ข นั่นคือ $d_{\text{BET}} = (6 / \rho_{\text{ZnO}} \times \text{SSA})$ เมื่อ d_{BET} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของซิงก์ออกไซด์, ρ_{ZnO} คือค่าความหนาแน่นของซิงก์ออกไซด์ซึ่งมีค่า 5.676 g/cm^3 และ SSA คือค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตาราง 4.3 แสดงค่าพื้นที่ผิวเฉพาะ และขนาดอนุภาคของซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมที่ร้อยละ 0, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0 โดยโมล

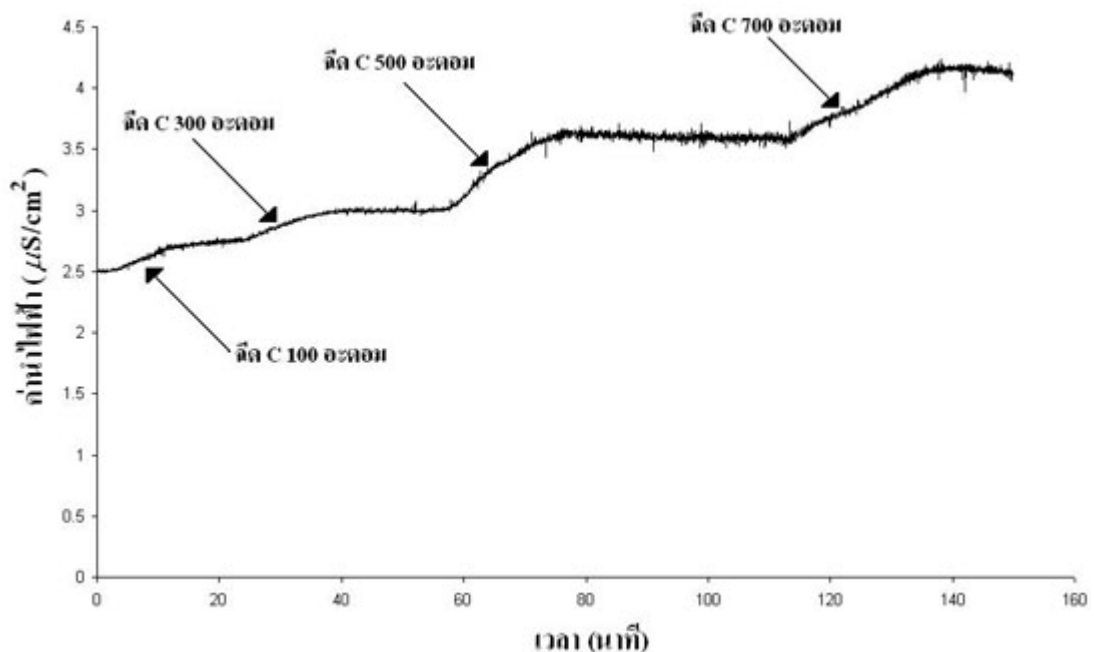
ร้อยละโดยโมลของแพลเลเดียมที่เจือในซิงก์ออกไซด์	ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET Surface area (SSA)) (m^2/g)	ขนาดอนุภาคของซิงก์ออกไซด์ (nm)
0	41.0855	25.7
0.25	41.3555	25.6
0.50	46.5296	22.7
0.75	46.1515	22.9
1.0	41.5234	25.5

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และขนาดของอนุภาคของทุกตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก โดยขนาดอนุภาคของซิงก์ออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 22.5 – 26 นาโนเมตร ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับ ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ดังนั้นการวัดค่าพื้นที่ผิวจำเพาะนี้ยืนยันผลจากการวิเคราะห์อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ และอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด นั่นคือการเจือแพลเลเดียมโดยเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิสในปริมาณที่ไม่เกินร้อยละ 1 โดยโมล ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์

4.6 การทดสอบความสามารถโฟแคทาลิติก

4.6.1 ผลการสอบเทียบโฟโตแคทาลิติกรีแอกเตอร์

ทำการสอบเทียบความสามารถโฟโตแคทาลิติกรีแอกเตอร์ตามวิธีในหัวข้อ 3.4.3 ด้วยซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ที่เตรียมโดยเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิส โดยใช้ปริมาณของตัวอย่าง 0.05 กรัมผสมในน้ำปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในรีแอกเตอร์ และทำการฉีดซูโครสที่มีจำนวนคาร์บอน 100, 300, 500, 700 อะตอม ตามลำดับ และทำการบันทึกค่านำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นโดยใช้โปรแกรม Cybercom 500 ดังได้ผลแสดงในรูป 4.13



รูป 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่านำไฟฟ้า และเวลา เมื่อฉีดซูโครสที่มีจำนวนคาร์บอน 100, 300, 500 และ 700 อะตอม ตามลำดับลงในโฟโตแคทาลิติกรีแอกเตอร์ที่มีซิงก์ออกไซด์เป็นตัวโฟโตแคทาลิสต์

จากรูป 4.13 พบว่าเมื่อทำการฉีดซูโครสที่มีจำนวนคาร์บอน 100, 300, 500 และ 700 อะตอม ตามลำดับลงในโฟโตแคทาลิติกรีแอกเตอร์ที่มีซิงก์ออกไซด์เป็นตัวโฟโตแคทาลิสต์ พบว่าในช่วงที่ฉีดซูโครสลงในโฟโตแคทาลิติกรีแอกเตอร์ ค่านำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลา ซึ่งค่านำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจาก จำนวนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นจากการสลายตัวของซูโครส และเมื่อการสลายตัวเสร็จสิ้นค่านำไฟฟ้าจะคงที่ ดังแสดงในช่วงที่กราฟมีค่าคงที่ และค่านำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนที่เกิดขึ้น ดังนั้นถ้าฉีดซูโครสเข้า

ไปมาก จำนวนคาร์บอนที่เกิดขึ้นก็มีค่ามาก ค่านำไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย ดังแสดงในรูป 4.13 จะพบว่าช่วงที่ฉีดยุโครสที่มีจำนวนคาร์บอน 700 อะตอม จะมีค่านำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากกว่าช่วงที่ฉีดยุโครสที่มีจำนวนคาร์บอน 100 อะตอม อย่างเห็นได้ชัด

เมื่อได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่านำไฟฟ้า และเวลาในรูปที่ 4.13 มาแล้ว ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนคาร์บอนที่เกิดขึ้น (ΔC) กับ ค่านำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (ΔK) ซึ่งจำนวนคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของยูโครสที่ถูกย่อยสลาย โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาทราบว่าค่า $\ln(\Delta C)$ และ $\ln(\Delta K)$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน จึงนำค่านำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และจำนวนคาร์บอนที่เกิดขึ้นในรูปที่ 4.13 มาคำนวณค่า $\ln(\Delta C)$ และ $\ln(\Delta K)$ เพื่อนำไปคำนวณหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างกันต่อไป ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.4

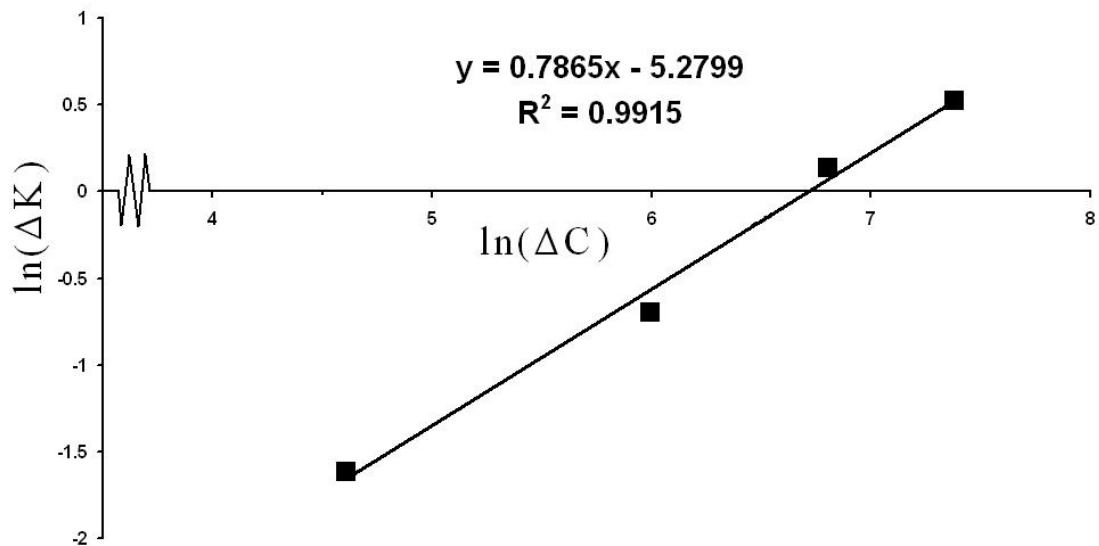
ตาราง 4.4 แสดงค่านำไฟฟ้า และจำนวนคาร์บอนที่อยู่ในรีแอคเตอร์ของช่วงต่างๆ ในรูป 4.13 และค่าของ $\ln(\Delta K)$ และ $\ln(\Delta C)$ ที่คำนวณได้

ค่านำไฟฟ้าเมื่อการย่อยสลายยูโครสเสร็จสิ้น $K(\mu S/cm^2)$	ค่านำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วง $\Delta K(\mu S/cm^2)$	$\ln(\Delta K)$	จำนวนคาร์บอนที่อยู่ใน รีแอคเตอร์ C (อะตอม)	$\ln(\Delta C)$
2.5 (ค่าเริ่มต้น)	-	-	-	-
2.7	0.2	-1.60944	100	4.60517
3	0.5	-0.69315	400	5.99146
3.65	1.15	0.139762	900	6.80239
4.2	1.7	0.530628	1600	7.37775

เมื่อคำนวณค่าต่างๆในตาราง 4.4 เรียบร้อยแล้ว ทำการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln(\Delta C)$ และ $\ln(\Delta K)$ โดยนำค่าของ $\ln(\Delta C)$ และ $\ln(\Delta K)$ ในตารางที่ 4.4 มาสร้างกราฟโดย $\ln(\Delta C)$ เป็นค่าแกน X และ $\ln(\Delta K)$ เป็นค่าแกน Y ดังแสดงในรูป 4.14

จากรูป 4.14 พบว่า ค่าของ $\ln(\Delta C)$ และ $\ln(\Delta K)$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันจริง โดยมีค่า R-squared เท่ากับ 0.9915 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1 มาก แสดงให้เห็นว่า สมการเส้นตรงที่คำนวณได้มีความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งสมการที่คำนวณได้มีค่า $y = 0.7865x - 5.2799$ หรือเขียนได้เป็น $\ln(\Delta K) = 0.7865 \ln(\Delta C) - 5.2799$ ซึ่งสมการนี้จะนำไปใช้ในการเปลี่ยนค่านำไฟฟ้าที่วัดโดยเครื่องโฟโตแค

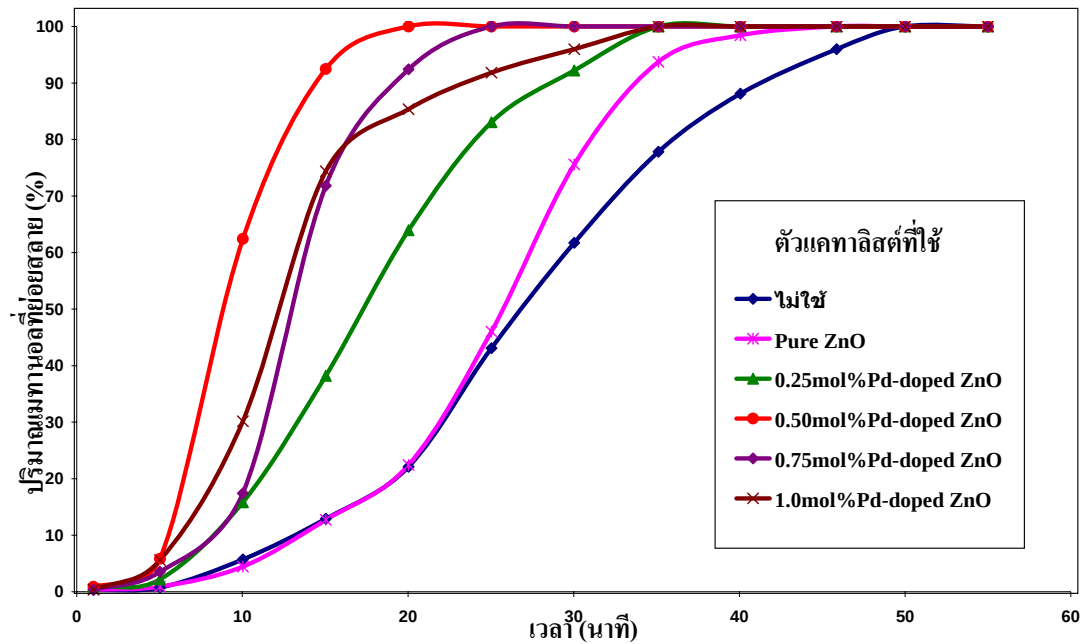
ทาลิตกรีแอกเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายในการทดลองต่อไป



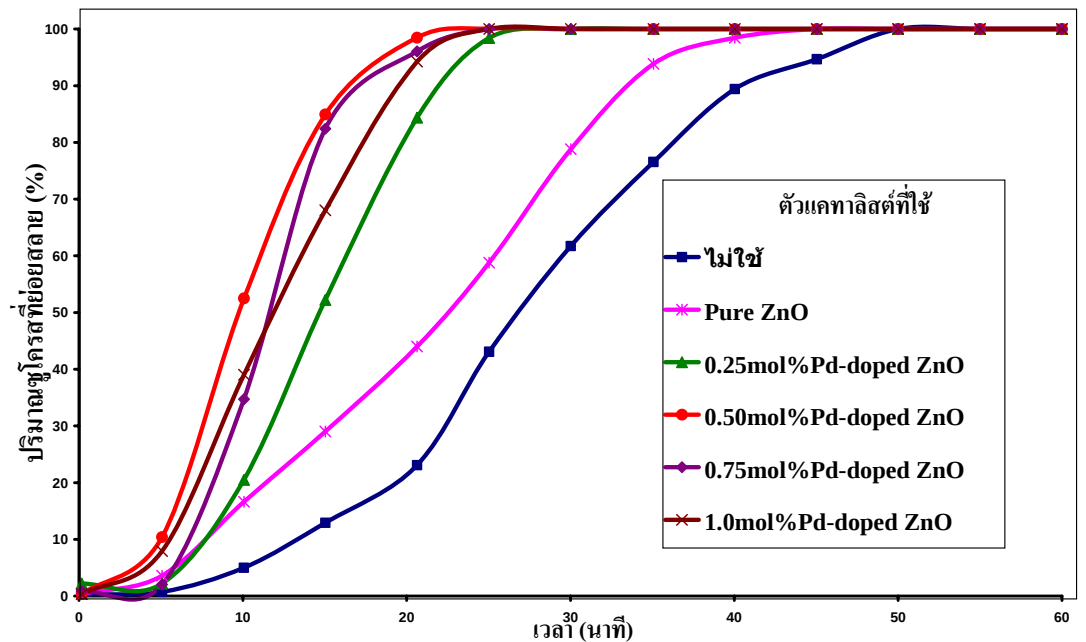
รูป 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta C)$ และ $\ln(\Delta K)$ เมื่อ C คือจำนวนคาร์บอนอะตอมในรีแอกเตอร์ และ K คือค่านำไฟฟ้า

4.6.2 การทดสอบความสามารถโฟโตแคทาลิติก สำหรับการย่อยสลายเมทานอล และซูโครส

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบ และเปรียบเทียบความสามารถโฟโตแคทาลิติกของ ชิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ และชิ่งก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 โดยโมล ที่สังเคราะห์ได้โดยเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิส โดยการย่อยสลายเมทานอล และซูโครสในโฟโตแคทาลิติกกรีแอกเตอร์ ตามวิธีการในหัวข้อ 3.4.4 ดังแสดงผลในรูป 4.15 – 4.16



รูป 4.15 กราฟแสดงปริมาณเมทานอลที่ย่อยสลายเทียบกับเวลาเมื่อใช้ซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ และซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0 โดยโมล เป็นตัวโฟโตแคทาลิสต์



รูป 4.16 กราฟแสดงปริมาณซูโครสที่ย่อยสลายเทียบกับเวลาเมื่อใช้ซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ และซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0 โดยโมล เป็นตัวโฟโตแคทาลิสต์

จากรูป 4.15 และ 4.16 พบว่ากราฟแสดงปริมาณสารอินทรีย์ (เมทานอล และซูโครส) ที่ย่อยสลายเทียบกับเวลา ทุกกราฟมีลักษณะคล้ายกัน คือคล้ายตัวเอส (S) โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์อาจแบ่งได้เป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 คือช่วงสั้นๆหลังจากฉีดสารใส่รีแอกเตอร์ การย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ช่วงที่ 2 การย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความชันในกราฟเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ช่วงที่ 3 การย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ อีกครั้ง ความชันในกราฟน้อยกว่าในช่วงที่ 2 และช่วงที่ 4 คือช่วงที่การย่อยสลายสารอินทรีย์เสร็จสิ้นแล้ว ไม่มีการย่อยสลายเพิ่มขึ้น กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง

สำหรับความสามารถโฟโตแคทาลิติกนั้น วัดจากเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ใส่ลงไป ในโฟโตแคทาลิติกรีแอกเตอร์เสร็จสิ้น นั่นคือสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายหมด การย่อยสลายเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ สารตัวอย่างที่สามารถเร่งปฏิกิริยาให้สารอินทรีย์ย่อยสลายเสร็จสิ้นได้เร็ว แสดงว่ามีความสามารถโฟโตแคทาลิติกที่ดี ซึ่งจากรูป 4.15 และ 4.16 สามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายเมทานอล และซูโครส จนเสร็จสิ้นได้ดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายเมทานอล และซูโครสจนเสร็จสิ้น เมื่อใช้ตัวโฟโตแคทาลิสต์ต่างๆ

ตัวโฟโตแคทาลิสต์	เวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย เมทานอลจนเสร็จสิ้น (นาที)	เวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย ซูโครสจนเสร็จสิ้น (นาที)
ไม่ใช้	50	50
ซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์	42	41.5
ซิงก์ออกไซด์เจือด้วยแพลเลเดียม ร้อยละ 0.25 โดยโมล	35	29
ซิงก์ออกไซด์เจือด้วยแพลเลเดียม ร้อยละ 0.50 โดยโมล	18	23
ซิงก์ออกไซด์เจือด้วยแพลเลเดียม ร้อยละ 0.75 โดยโมล	24	25
ซิงก์ออกไซด์เจือด้วยแพลเลเดียม ร้อยละ 1.0 โดยโมล	36	28

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเมทานอล และซูโครสสามารถย่อยสลายได้เองเมื่อได้รับแสงอุลตราไวโอเลตภายในโฟโตรีแอคเตอร์ แต่ใช้เวลานานมากกว่าจะย่อยสลายหมด คือใช้เวลา 50 นาที ทั้งเมทานอล และซูโครส และเมื่อใช้ซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์เป็นตัวโฟโตแคทาไลติสต์ สามารถเร่งการย่อยสลายเมทานอล และซูโครสได้ โดยใช้เวลา 42 นาที สำหรับการย่อยสลายเมทานอล และใช้เวลา 41.5 นาที สำหรับการย่อยสลายซูโครส และเมื่อใช้ซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0 โดยโมล เป็นตัวโฟโตแคทาไลติสต์ พบว่าสามารถเร่งการย่อยสลายเมทานอล และซูโครส ได้ดีกว่าซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ โดยการย่อยสลายเมทานอลใช้เวลา 35, 18, 24 และ 36 ตามลำดับ และการย่อยสลายซูโครสใช้เวลา 29, 23, 25 และ 38 ตามลำดับ ดังนั้นการเจือแพลเลเดียมในปริมาณที่เหมาะสม สามารถเพิ่มความสามารถโฟโตแคทาไลติกแก่ อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ได้

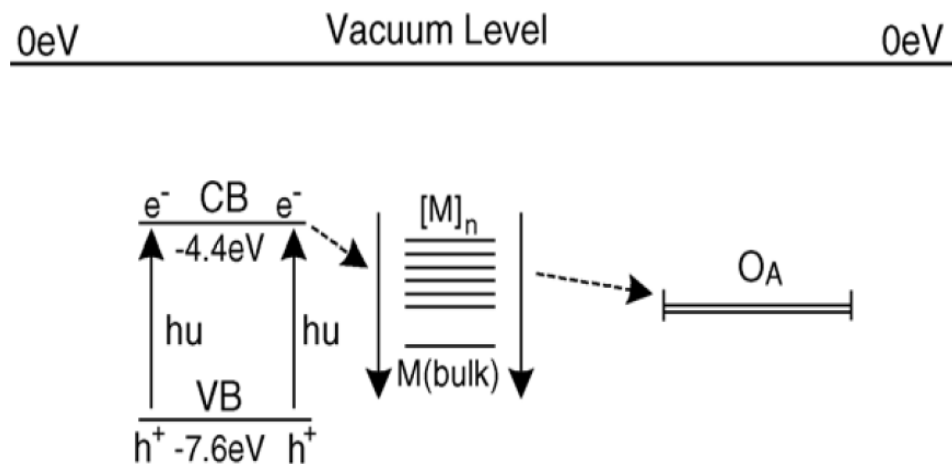
สำหรับการย่อยสลายเมทานอล การเจือซิงก์ออกไซด์ด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.50 โดยโมล มีความสามารถโฟโตแคทาไลติกดีกว่าที่ปริมาณการเจืออื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด คือใช้เวลาเพียง 18 นาที เท่านั้นในการย่อยสลายเมทานอลจนเสร็จสิ้น และเมื่อทำการเจือในปริมาณที่สูงขึ้นจะพบว่าความสามารถโฟโตแคทาไลติกจะลดลงสังเกตจากที่ปริมาณการเจือแพลเลเดียมร้อยละ 0.75 โดยโมล มีความสามารถโฟโตแคทาไลติกน้อยกว่าที่ปริมาณการเจือแพลเลเดียมร้อยละ 0.50 โดยโมล และที่ปริมาณการเจือแพลเลเดียมร้อยละ 1.0 โดยโมล มีความสามารถโฟโตแคทาไลติกน้อยกว่าที่ปริมาณการเจือแพลเลเดียมร้อยละ 0.75 โดยโมล และพบว่าที่ปริมาณการเจือที่น้อยกว่าร้อยละ 0.50 โดยโมล ความสามารถโฟโตแคทาไลติกก็ลดลงเช่นกัน ดังค่าที่แสดงในตาราง 4.5

สำหรับการย่อยสลายซูโครส การเจือซิงก์ออกไซด์ด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.50 โดยโมล มีความสามารถโฟโตแคทาไลติกดีที่สุดอีกเช่นกัน แต่ไม่เด่นชัดเหมือนกรณีการย่อยสลายเมทานอล กล่าวคือ เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายซูโครสเมื่อใช้ซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0 โดยโมล มีค่าใกล้เคียงกัน แต่แนวโน้มของปริมาณการเจือแพลเลเดียมต่อความสามารถโฟโตแคทาไลติกเหมือนกับกรณีของเมทานอล อย่างไรก็ตามเมื่อเจือซิงก์ออกไซด์ด้วยแพลเลเดียมความสามารถโฟโตแคทาไลติกเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับตอนที่ไม่ได้เจือ

กลไกการเร่งการย่อยสลายเมทานอล และซูโครส ของซิงก์ออกไซด์สามารถอธิบายได้ตามรูป 2.8 กล่าวคือ เมื่อซิงก์ออกไซด์ดูดกลืนพลังงานแสงที่มากกว่าแถบช่องว่างพลังงานของมัน จากหลอดอุลตราไวโอเลต จะให้อิเล็กตรอน และโฮล จากนั้นออกซิเจนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวซิงก์ออกไซด์ จะรับอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนี้ ได้เป็นอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ไอออน ($O_2^{\cdot -}$) ดังแสดงในปฏิกิริยา 2b ของรูป 2.8 และน้ำที่ดูดซับที่ผิวซิงก์ออกไซด์จะเสียอิเล็กตรอนให้แก่โฮลได้เป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) ดังแสดงในปฏิกิริยา 2a ของรูป 2.8 ซึ่งอนุมูลไฮดรอกซิลนี้จะจ่ายอิเล็กตรอนให้แก่เมทานอล

และซูโครสเพื่อย่อยสลายได้เป็นน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ และอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ไอออนสามารถเปลี่ยนเป็นอนุมูลไฮดรอกซิลได้ (สมการที่ 2.7-2.12) ซึ่งสามารถไปย่อยสลายเมทานอลและซูโครสได้ต่อไป ดังนั้นความสามารถโฟโตแคทาลิติกของซิงก์ออกไซด์ในการย่อยสลายเมทานอลและซูโครส จะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของอนุมูลไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้น นั่นคือการแยกตัวกันของอิเล็กตรอน และโฮล (charge separation) เกิดขึ้นมาก ปริมาณของอนุมูลไฮดรอกซิลก็จะมากตามไปด้วย ถ้าหากอิเล็กตรอน และโฮลเกิดการรวมกันอีกครั้งหนึ่ง (recombination) ตามปฏิกิริยาที่ 1a และ 1b จะไม่ทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล และไม่เกิดการย่อยสลายเมทานอล และซูโครส จากผลการทดลองซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยแพลเลเดียมมีความสามารถโฟโตแคทาลิติกดีกว่า ซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์มาก แสดงให้เห็นว่าแพลเลเดียมมีส่วนช่วยสำคัญในการแยกตัวของอิเล็กตรอน และโฮลโดยอิเล็กตรอนจะถูกดักจับอยู่ที่แพลเลเดียม ดังแสดงในรูปที่ 2.9

จากผลการทดลองพบว่า ความสามารถโฟโตแคทาลิติกของซิงก์ออกไซด์จะดีที่สุดเมื่อเจือด้วยแพลเลเดียมร้อยละ 0.50 โดยโมล และเมื่อเจือแพลเลเดียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นความสามารถโฟโตแคทาลิติกจะลดลงที่เป็นเช่นนี้เป็นผลมาจากขนาดของควอนตัมของแพลเลเดียม (quantum size effect) กล่าวคือ ถ้าแพลเลเดียมที่เจือมีปริมาณน้อย (ขนาดเล็ก) ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของแพลเลเดียมจะมีค่าสูง แต่เมื่อแพลเลเดียมที่เจือมีปริมาณเพิ่มขึ้นระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของแพลเลเดียมก็จะลดลง ดังแสดงในรูป 4.17



รูป 4.17 การถ่ายเทพะจุของอิเล็กตรอนจากซิงก์ออกไซด์ไปสู่ออกซิเจนโดยผ่านโลหะที่เคลือบอยู่ที่ผิวของซิงก์ออกไซด์ และผลของขนาดของควอนตัมของโลหะที่เคลือบอยู่ที่ผิวของซิงก์ออกไซด์ เมื่อ CB คือแถบนำ, VB คือแถบวาเลนซ์, M คือโลหะที่เคลือบอยู่ที่ผิวของซิงก์ออกไซด์ [9]

จากรูป 4.17 พบว่าออกซิเจนจะสามารถรับอิเล็กตรอนผ่านทางแพลเลเดียมได้โดยง่าย ถ้าหากระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของแพลเลเดียมมีค่าสูงกว่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของออกซิเจน และมีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในแถบนำของซิงก์ออกไซด์ แต่เมื่อระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของแพลเลเดียมมีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของออกซิเจน ออกซิเจนจะไม่สามารถรับอิเล็กตรอนผ่านทางแพลเลเดียมได้ แต่อิเล็กตรอนจะเกิดการรวมกันอีกครั้งหนึ่งกับไฮโดรเจนซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าแทน ดังนั้นเมื่อเจือแพลเลเดียมในปริมาณที่มากเกินไป ความสามารถโฟโตแคทาไลติกของซิงก์ออกไซด์จึงลดลง