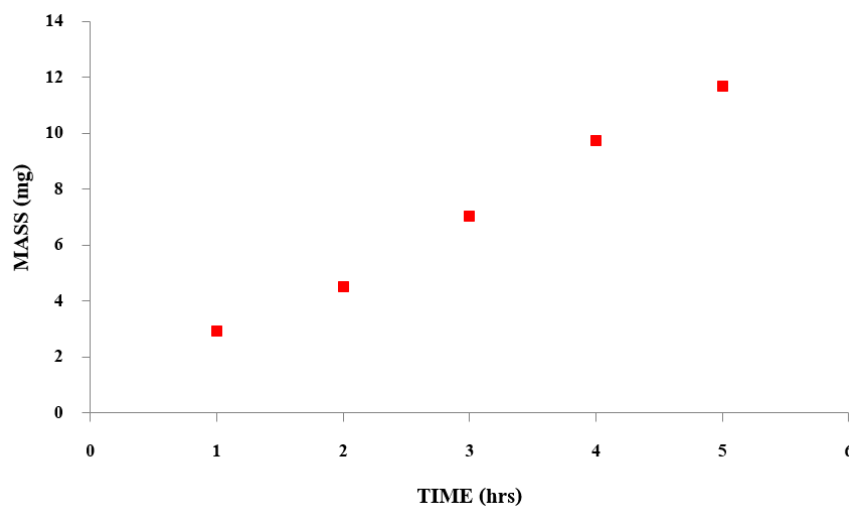


บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการตรวจสอบปริมาณอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์จากวิธีการสปาร์ก

การเตรียมอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์เพื่อนำไปผสมกับท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น จำเป็นต้องทราบปริมาณของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ถูกสปาร์กลงบนน้ำปราศจากไอออน ณ เวลาต่างๆ เพื่อกำหนดปริมาณของซิงก์ออกไซด์ที่จะใช้ในการผสม เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้ได้กำหนดให้ปริมาณของซิงก์ออกไซด์คงที่ โดยได้ทำการสปาร์กลงบนน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองหาปริมาณของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์แสดงดังภาพที่ 4.1

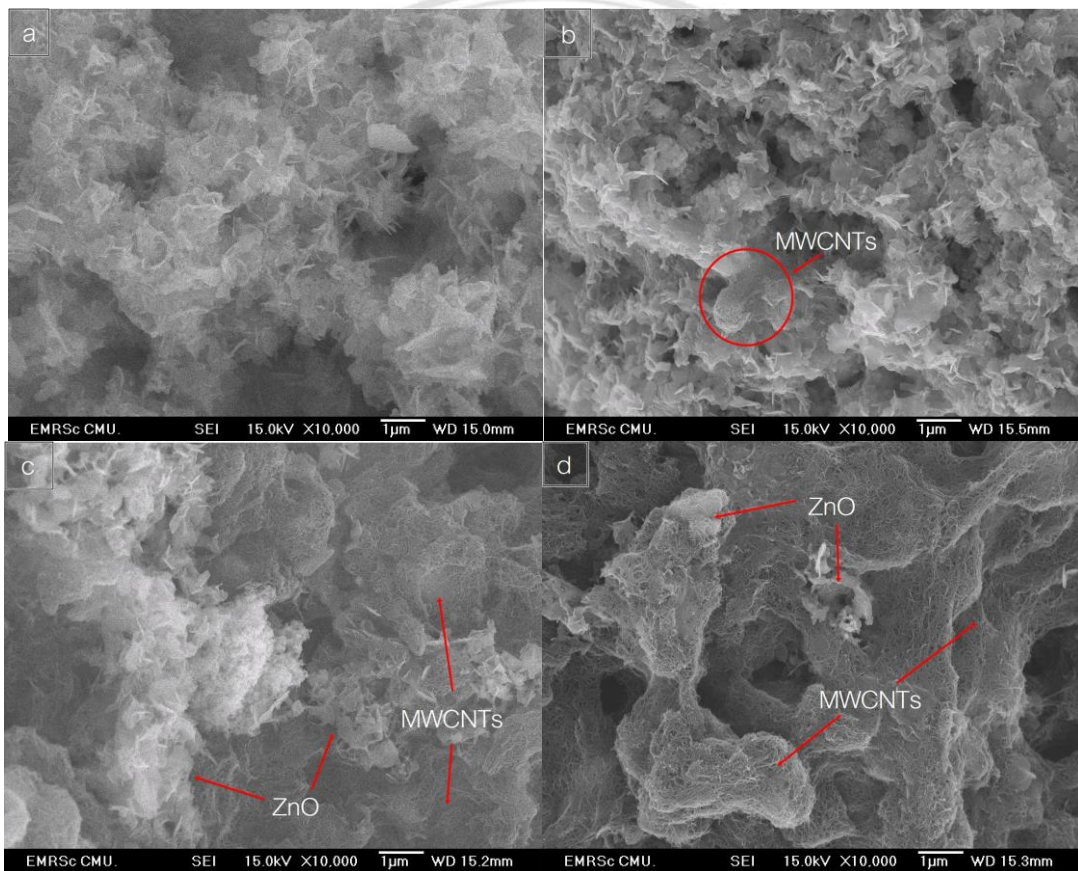


ภาพที่ 4.1 ผลการตรวจสอบหาปริมาณอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นได้จากวิธีการสปาร์ก ณ เวลาต่างๆ

จากภาพที่ 4.1 ทำการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสปาร์กกับปริมาณของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ ได้ค่าความชันของกราฟ มีค่าเท่ากับ 2.272 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ผู้ทดลองจึงเลือกทำการสปาร์กเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ประมาณ 4 มิลลิกรัม เพื่อนำไปผสมกับท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นต่อไป

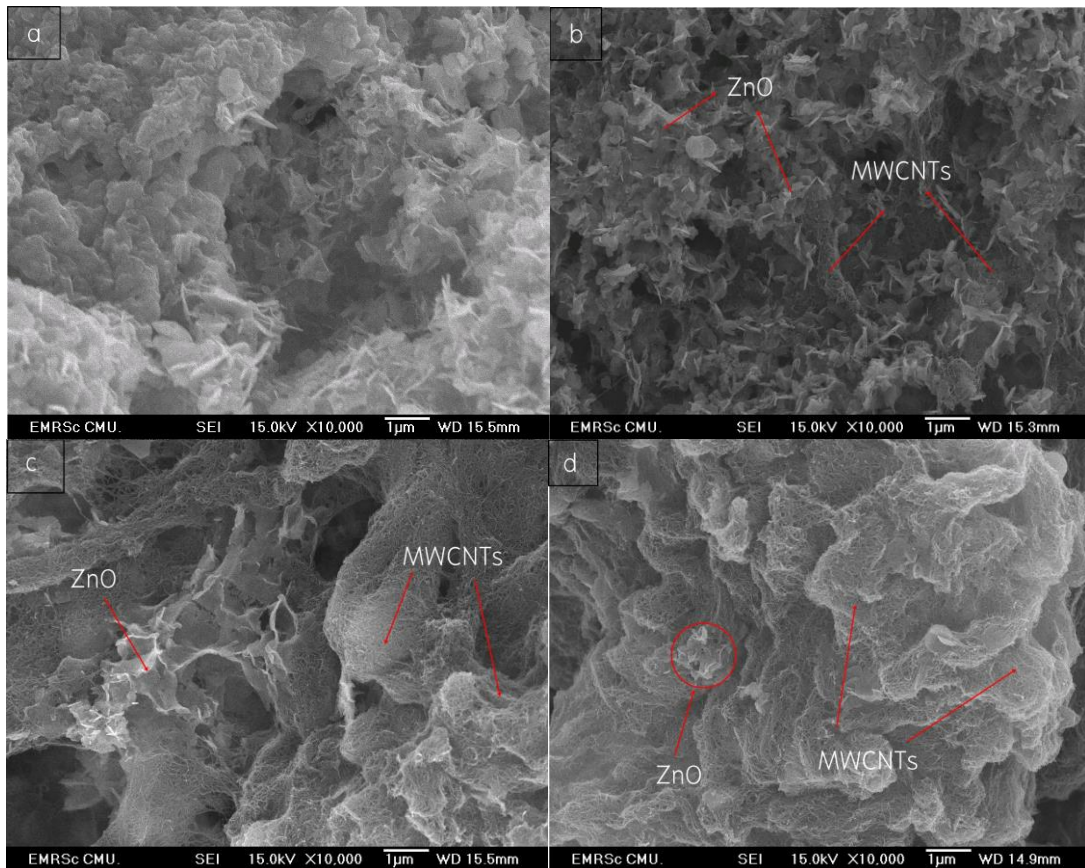
4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

จากการนำชิ้นงานตัวอย่างไปวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบลักษณะ รูปร่างลักษณะ การจัดเรียงตัว และขนาดของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ผสมกับท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นในแต่ละเงื่อนไขด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

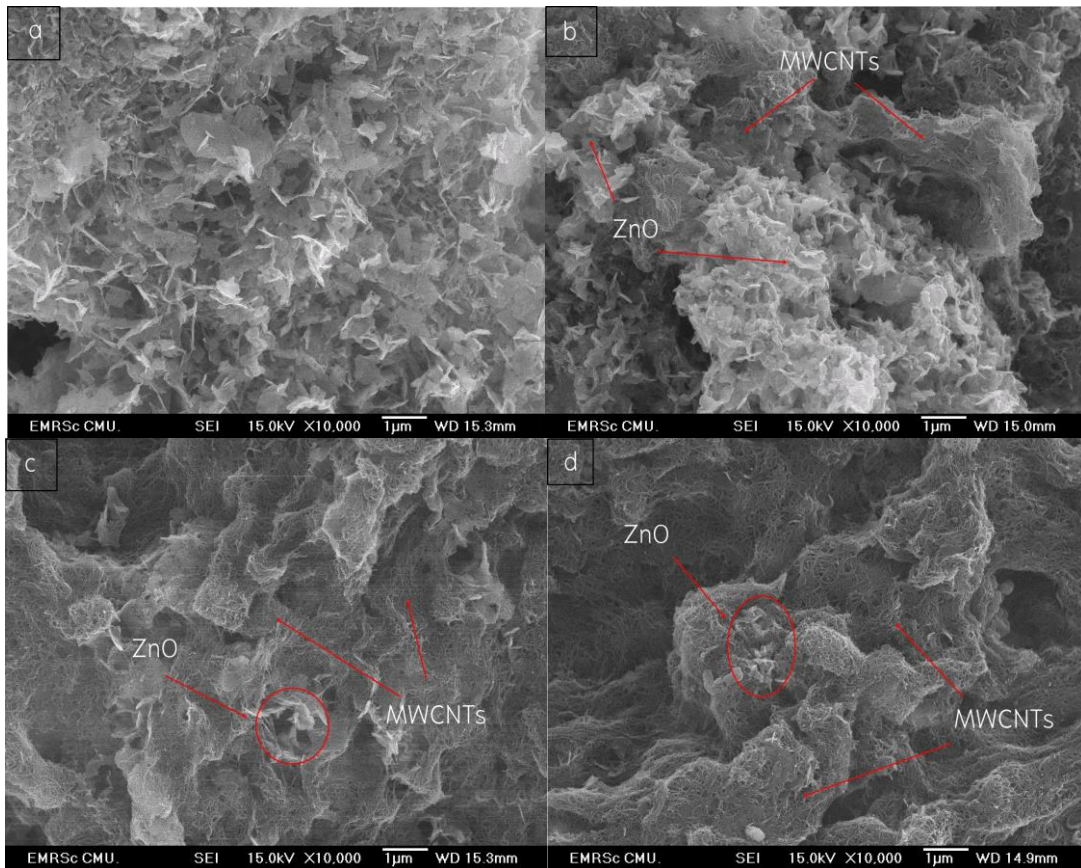
- (a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO),
- (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1),
- (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4),
- (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12)



ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

(a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO),
 (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1),
 (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4),
 (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12)

Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved



ภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

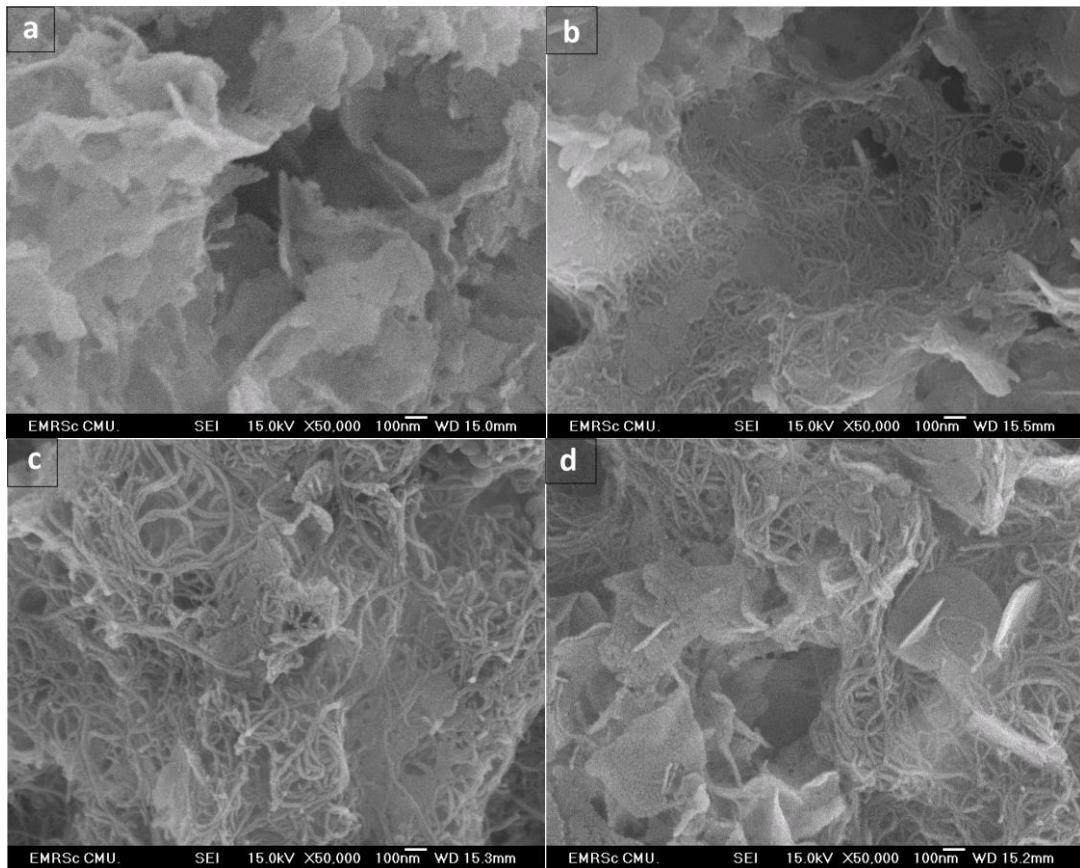
(a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO),

(b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1),

(c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4),

(d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12)

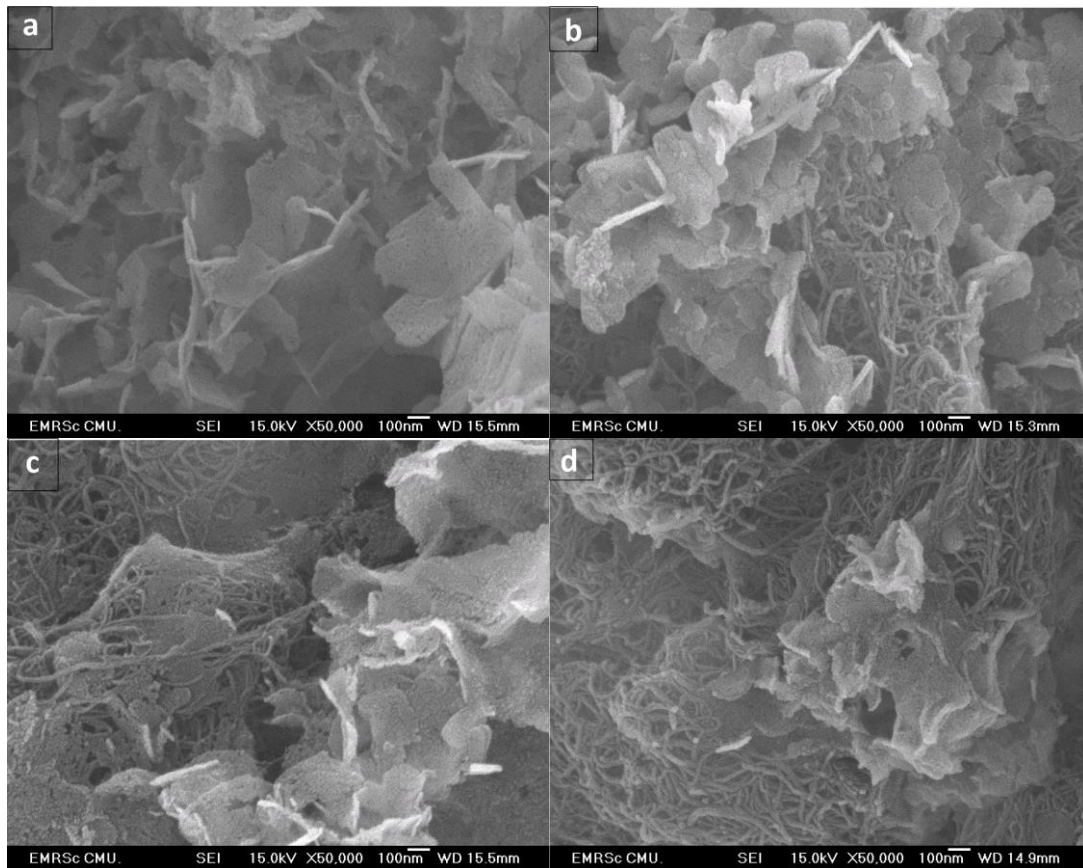
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 50000 เท่า

- (a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO),
- (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1),
- (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4),
- (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12)

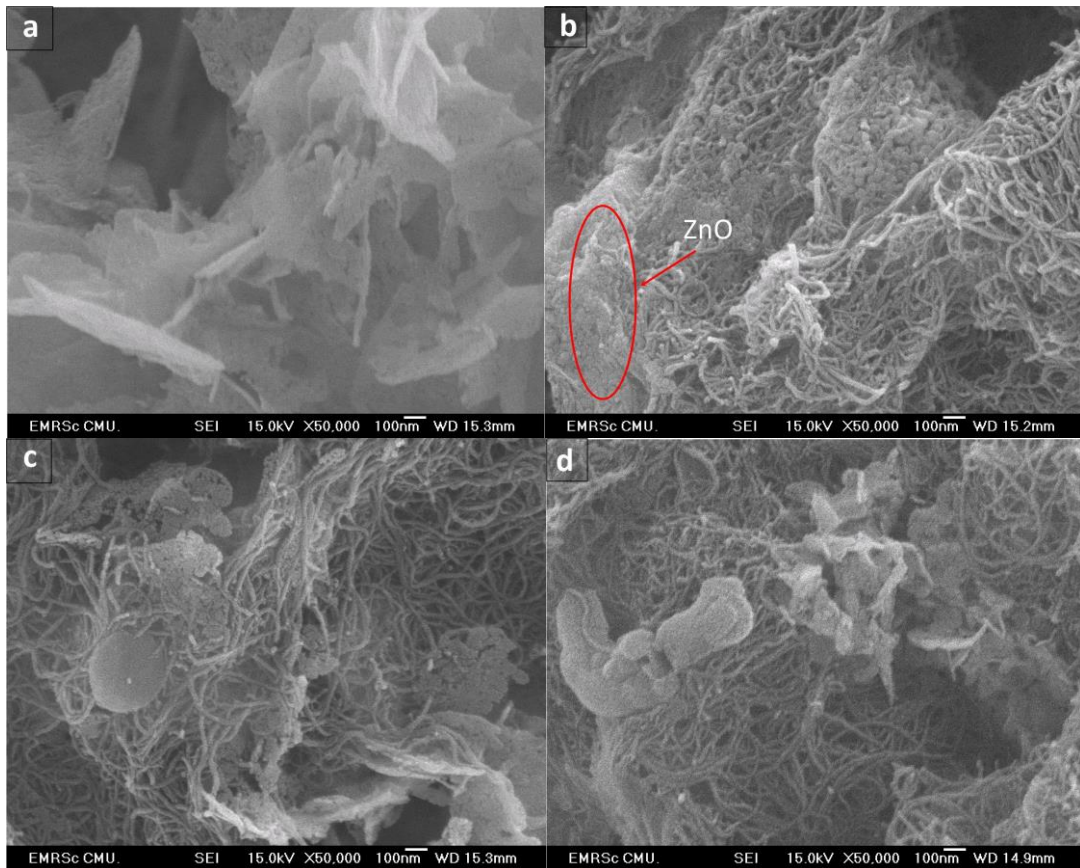
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 50000 เท่า

- (a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO),
- (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1),
- (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4),
- (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12)

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 50000 เท่า

- (a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO),
- (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1),
- (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4),
- (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12)

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายมุมสูงของชิ้นงานในแต่ละเงื่อนไขในภาพที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 โดยภาพที่ 4.2 (a) เป็นเงื่อนไขที่มีอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ที่ถูกอบ ณ เงื่อนไขอุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์โดยวิธีการสปาร์ก ลวดสังกะสีลงบนน้ำปราศจากไอออนแล้วนำไปหยดลงบนฐานรองรับชิ้นงานที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสบนเครื่อง hot plate แล้วนำไปอบภายใต้บรรยากาศอาร์กอนนั้นได้อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์มีลักษณะคล้ายแผ่น เรียกว่า Nanosheets-like structures เมื่อเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิในการอบชิ้นงานพบว่าลักษณะดังกล่าวยังคงเหมือนตามภาพที่ 4.3 (a) และ 4.4 (a)

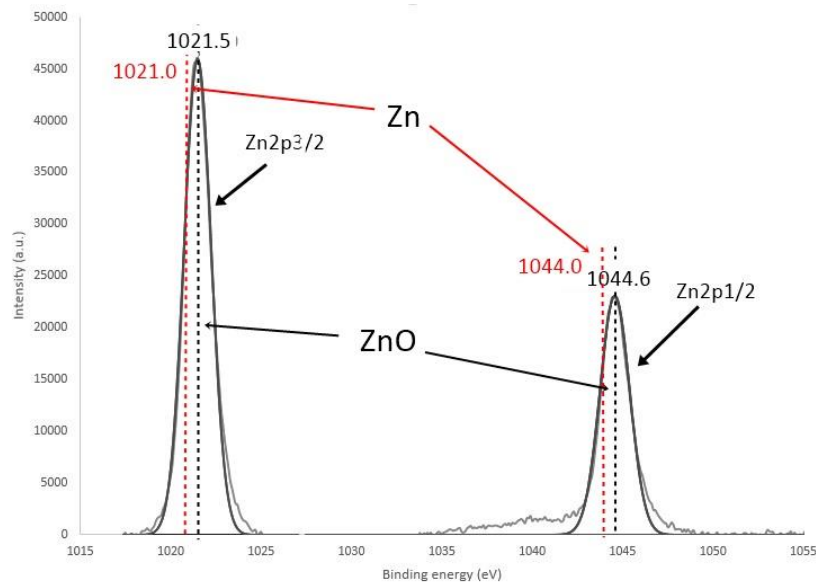
ซึ่งลักษณะของอนุภาคนาโนในลักษณะนี้มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง เพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับแสงได้ดี และจากการวิเคราะห์หาขนาดของอนุภาค ซึ่งจากหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับแผ่นนาโน (Nanosheets) [40,41] ในการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคนาโนชนิดแผ่นจะวัดความหนาของแผ่น ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวผู้ทดลองจะอาศัยโปรแกรม Image J โดยผลของการวิเคราะห์ความหนาของแผ่นนาโนซึ่งก็ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นได้มีความหนาในทุกเงื่อนไขเท่ากันซึ่งมีความหนาของแผ่นประมาณ 60 นาโนเมตร

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายมุมสูงของชิ้นงานที่มีการผสมท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นในแต่ละเงื่อนไขในภาพที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 โดยภาพที่ (b) เป็นเงื่อนไขที่มีอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1), (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) และ (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ในแต่ละเงื่อนไขอุณหภูมิการอบ และสำหรับภาพที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 เป็นภาพขยายกำลังสูงขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงสัณฐานวิทยาของชิ้นงานชัดเจนขึ้น จากการวิเคราะห์จากภาพถ่ายมุมสูงพบว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นจะมีการซ้อนทับและบดบังอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ดังกล่าว ซึ่งการซ้อนทับและบดบังนี้อาจจะส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงอย่างไร ซึ่งจะทำการศึกษาวิเคราะห์ต่อไปในหัวข้อ 4.5

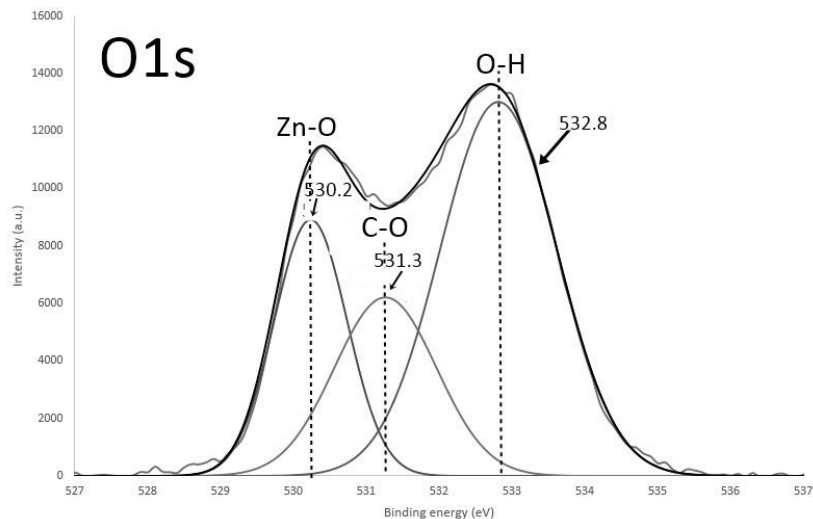
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 ผลการวิเคราะห์พื้นระของชิ้นงานด้วยเครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS)

เครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาชนิดของพันธะในชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นเครื่องยืนยันชนิดและพันธะของสารประกอบที่สังเคราะห์ได้จากการทดลอง จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุได้ผลการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

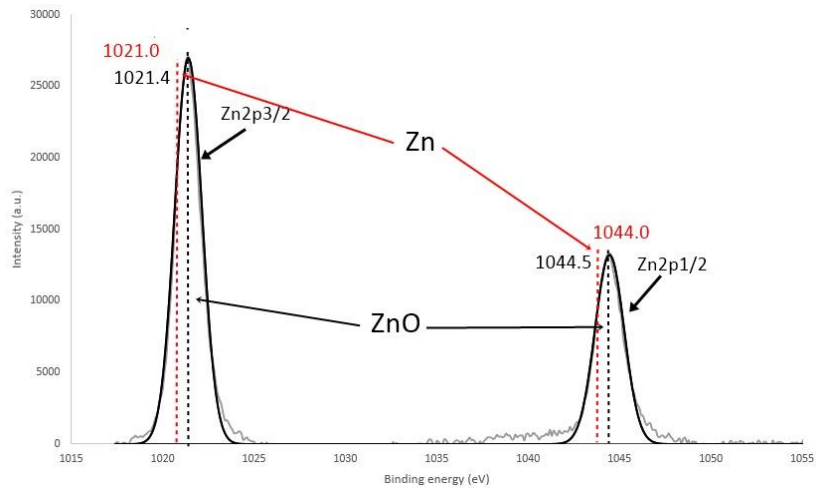


ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

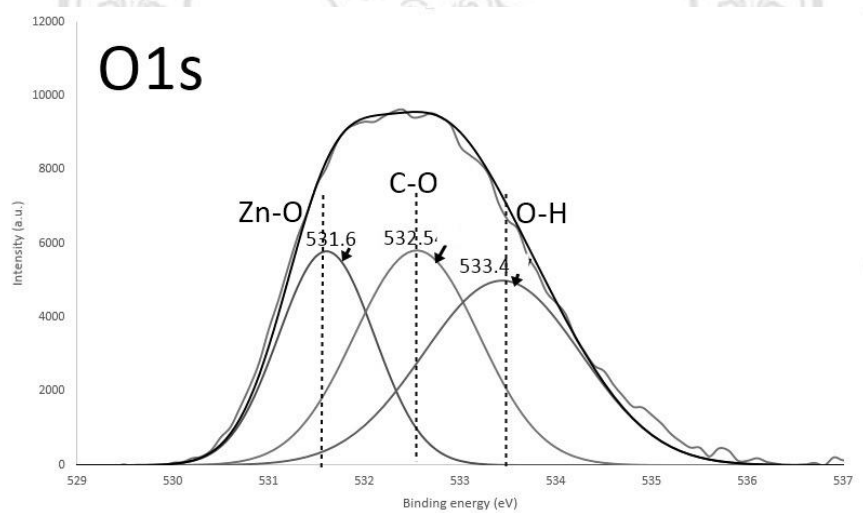


ภาพที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

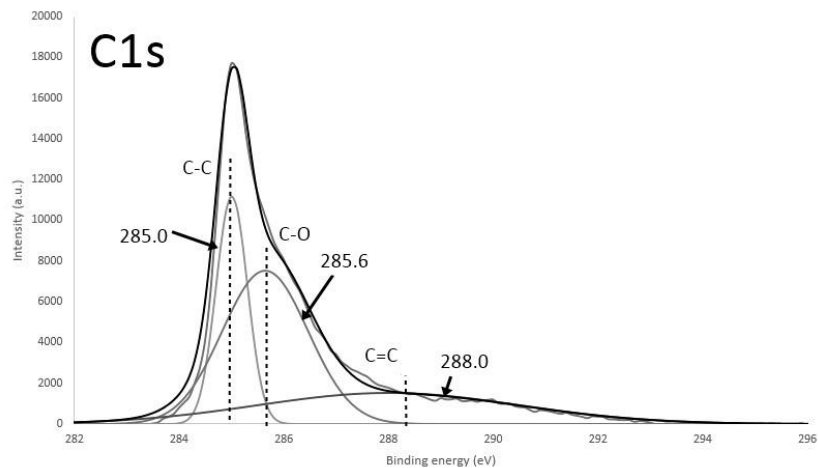
การวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุของเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ซึ่งวิเคราะห์ธาตุทั้งหมด 2 ธาตุ ได้แก่ สังกะสีและออกซิเจน เพื่อยืนยันว่าการสังเคราะห์โดยวิธีการสปาร์กนั้นเกิดซิงก์ออกไซด์ขึ้น จากภาพที่ 4.8 พบยอดกราฟ 2 ยอดที่พลังงานยึดเหนี่ยวประมาณ 1021.5 และ 1044.6 อิเล็กตรอน โวลต์ เป็นยอดกราฟของ สังกะสี 2p_{3/2} และ 2p_{1/2} ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์มีซิงก์ออกไซด์ [42] ส่วนเส้นประสีแดงแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างธาตุสังกะสีกับซิงก์ออกไซด์ ซึ่งมีการเลื่อนตำแหน่งของยอดกราฟออกไปเรียกว่า chemical shift จาก 1021.0 และ 1044.0 อิเล็กตรอน โวลต์ไปเป็น 1021.5 และ 1044.6 อิเล็กตรอน โวลต์ ตามลำดับและจากภาพที่ 4.9 พบยอดกราฟ 3 ยอดที่พลังงานยึดเหนี่ยวประมาณ 530.2, 531.3 และ 532.98 อิเล็กตรอน โวลต์ เป็นยอดกราฟของออกซิเจน โดยที่ยอดกราฟ 530.2 อิเล็กตรอน โวลต์ เป็นยอดกราฟที่ออกซิเจนทำพันธะกับสังกะสี ในส่วนของยอดกราฟ 531.3 คือยอดกราฟของออกซิเจนทำพันธะกับคาร์บอนและ 532.8 อิเล็กตรอน โวลต์ คือยอดกราฟของออกซิเจนในรูปของหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งอยู่บริเวณผิวของชิ้นงาน [43]



ภาพที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน



ภาพที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

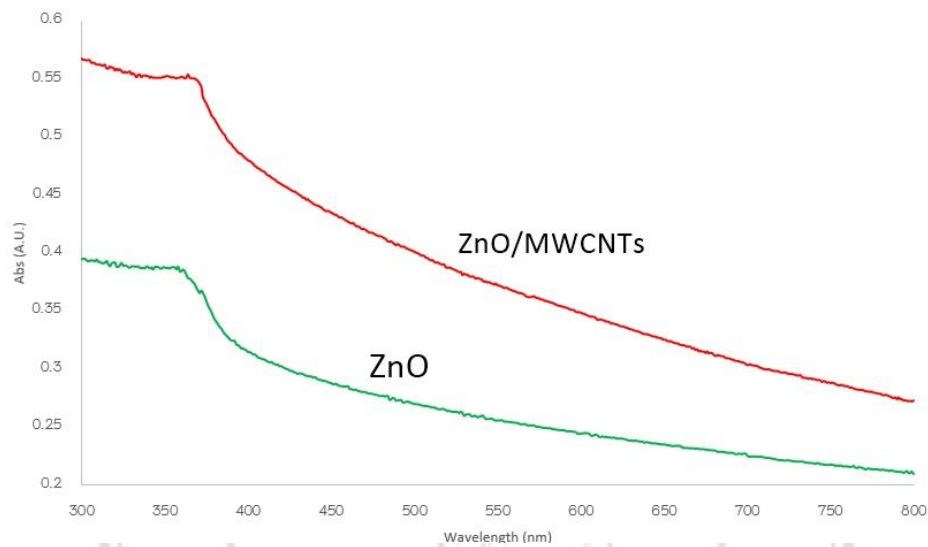


ภาพที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของชาตคาร์บอน ใน เจื่อนโซอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

จากการวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุของเจื่อนโซอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ซึ่งวิเคราะห์ธาตุทั้งหมด 3 ธาตุ ได้แก่ สังกะสี ออกซิเจน และคาร์บอน จากภาพที่ 4.10 และ 4.11 เป็นการวิเคราะห์พื้นระของสารประกอบของธาตุสังกะสีและออกซิเจน ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับเจื่อนโซอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ในส่วนของการวิเคราะห์พื้นระของชาตคาร์บอนของเจื่อนโซที่มีการเติมท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นได้ยอดกราฟทั้งหมด 3 ยอด คือ 285.0, 285.6 และ 288.0 อิเล็กตรอนโวลต์ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า ที่พลังงานยึดเหนี่ยวประมาณ 285.0 อิเล็กตรอนโวลต์ เป็นพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนของท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นที่พลังงานยึดเหนี่ยว 285.6 อิเล็กตรอนโวลต์ แสดงพันธะระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน และที่พลังงานยึดเหนี่ยว 288.0 อิเล็กตรอนโวลต์ แสดงพันธะคู่ของคาร์บอน [44] สำหรับผลการวิเคราะห์ของเจื่อนโซอื่นๆ มีผลการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้างต้นที่ได้กล่าวมา ซึ่งถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ก

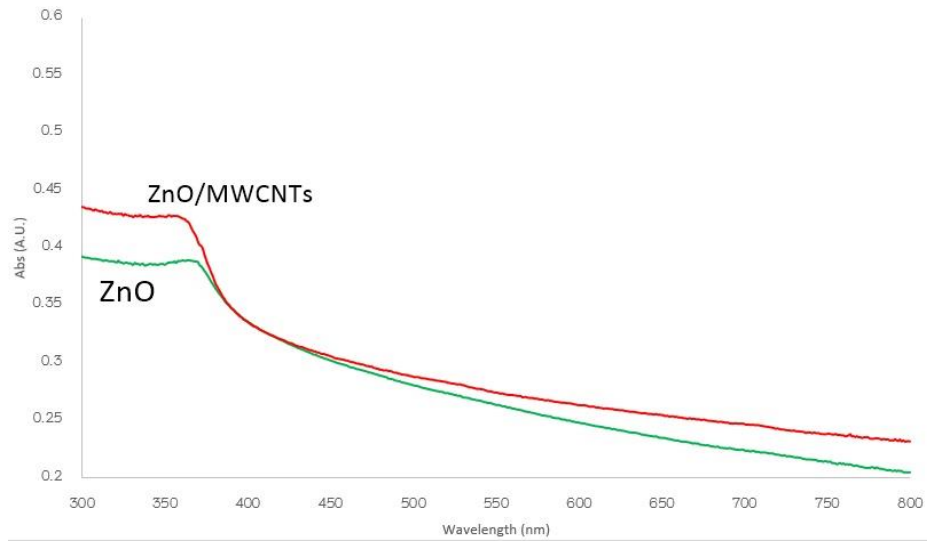
4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectroscopy

เครื่อง UV-Visible Spectroscopy ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าดูดกลืนแสงของชิ้นงานระหว่างซิงก์ออกไซด์และซิงก์ออกไซด์ที่เติมท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น ณ อุณหภูมิการอบต่างๆ ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ซึ่งแสดงดังภาพที่ต่อไปนี้เป็น

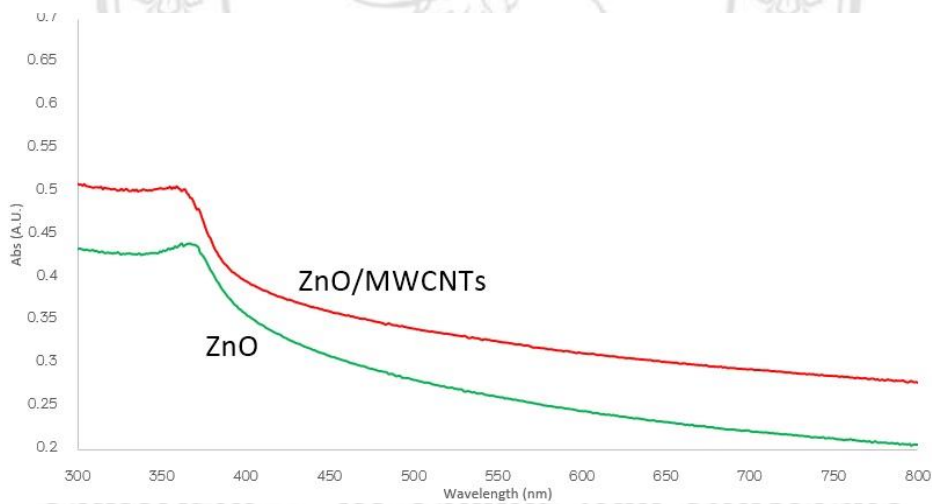


ภาพที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของชิ้นงานตัวอย่างระหว่างซิงก์ออกไซด์ กับ ซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น ณ อุณหภูมิการอบ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



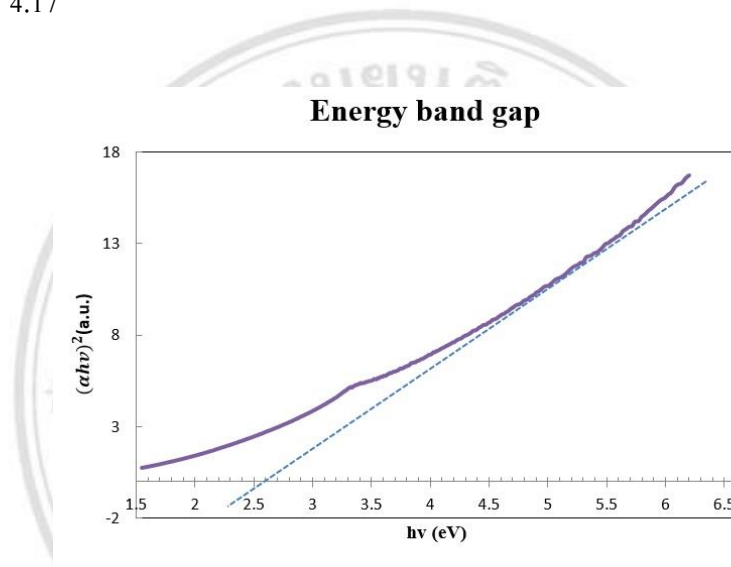
ภาพที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของชิ้นงานตัวอย่างระหว่าง ซิงก์ออกไซด์ กับ ซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น ณ อุณหภูมิการอบ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน



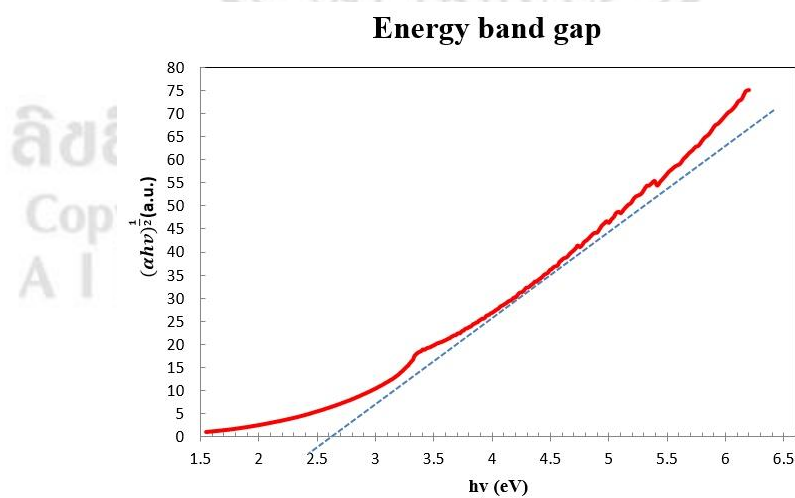
ภาพที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของชิ้นงานตัวอย่างระหว่าง ซิงก์ออกไซด์ กับ ซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น ณ อุณหภูมิการอบ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

จากผลวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.13-4.15 ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบซิงก์ออกไซด์และเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ได้รูปแบบการดูดกลืนแสงของชิ้นงานตัวอย่างมีลักษณะคล้ายกัน โดยที่เงื่อนไขซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นจะมีการดูดกลืนแสงสูงกว่า เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนนั้นเป็นวัสดุสีดำจึง

ทำให้มีการดูดกลืนแสงได้ดีกว่าซิงก์ออกไซด์ที่มีสีขาว [45] และจากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของชิ้นงานพบว่าชิ้นงานทั้งสองเงื่อนไขมีการดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดในช่วงแสงยูวีและยังพบว่ายอดกราฟของการดูดกลืนแสงของทุกเงื่อนไขอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 370 นาโนเมตร ซึ่งแสดงความเป็นผลึกของซิงก์ออกไซด์ [11] และจากกราฟการดูดกลืนแสงของชิ้นงานได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าแถบช่องว่างพลังงานของเงื่อนไขชิ้นงานซิงก์ออกไซด์และซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นพบว่าได้ค่าแถบช่องว่างพลังงานมีค่าเท่ากัน ซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับ 2.6 อิเล็กตรอน โวลต์ ดังภาพที่ 4.16 และ 4.17



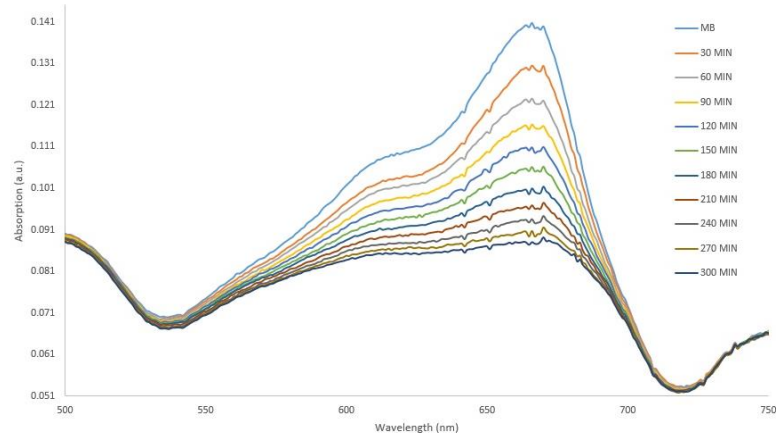
ภาพที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ค่าช่องว่างแถบพลังงานของชิ้นงานตัวอย่างซิงก์ออกไซด์



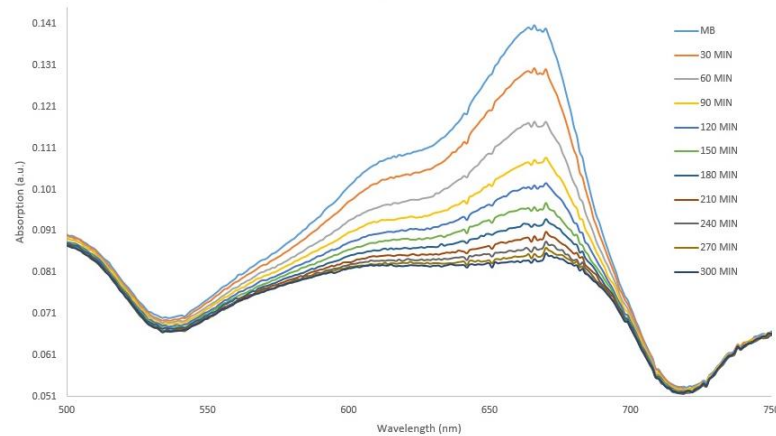
ภาพที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ค่าช่องว่างแถบพลังงานของชิ้นงานตัวอย่างซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น

4.5 ผลการวิเคราะห์สมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

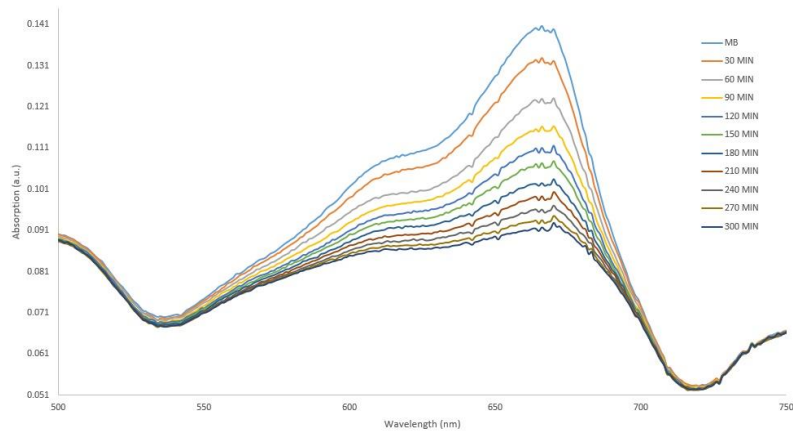
4.5.1 ผลการวิเคราะห์การย่อยสลายของเมทิลีนบลู จากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของชิ้นงาน ที่เวลาต่างๆ



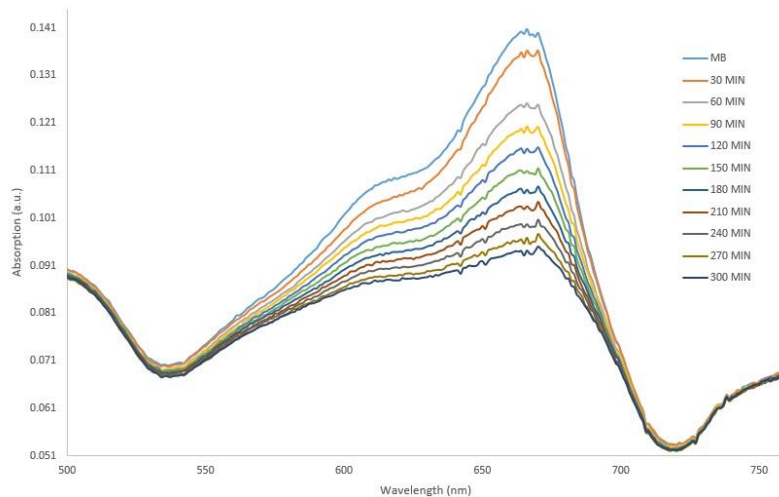
ภาพที่ 4.18 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.19 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.20 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนที่เวลาต่างๆ

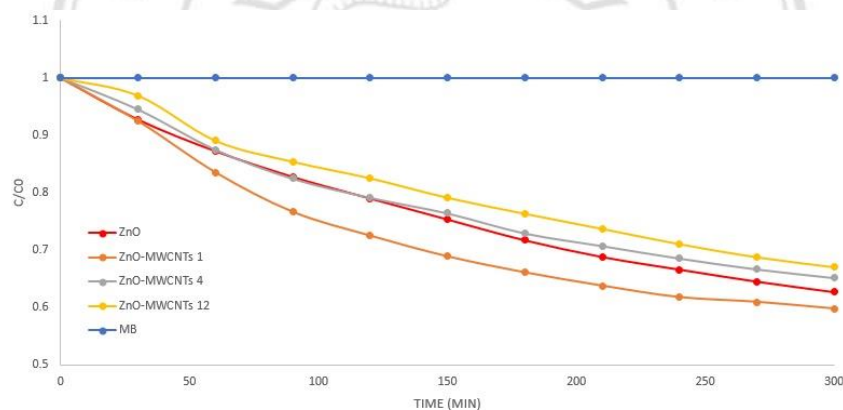


ภาพที่ 4.21 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนที่เวลาต่างๆ

จากผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของชิ้นงานที่เวลาต่างๆ จากภาพที่ 4.18, 4.19, 4.20 และ 4.21 เมื่อชิ้นงานถูกนำไปทดสอบสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของชิ้นงาน โดยตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูภายใต้

แสงยูวี จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น พบว่า เมทิลีนบลูมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 664 นาโนเมตร [46] และเมื่อเวลาผ่านไปค่าการดูดกลืนแสงของเมทิลีนบลูมีค่าลดน้อยลง ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าความเข้มของเมทิลีนบลูมีการเจือจางลง เป็นผลมาจากสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของซิงงาน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้เวลาในการฉายแสงยูวีทั้งหมด 300 นาที ซึ่งจากตัวแทนของผลการตรวจสอบดังกล่าวจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อเพื่อดูแนวโน้มของการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของซิงงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของปริมาณท่อนานคาร์บอนที่ผสมลงไปกับอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์และเงื่อนไขของอุณหภูมิ ในลำดับต่อไปสำหรับผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของเงื่อนไขอื่นถูกแสดงในภาคผนวก ข

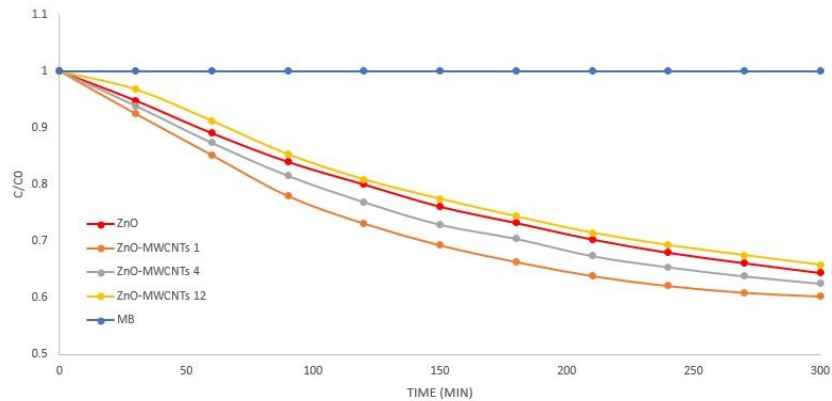
4.5.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของซิงงานที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน



ภาพที่ 4.22 ตัวแทนของผลการวิเคราะห์อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของซิงงานที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นของเมทิลีนบลู ณ เวลาต่างๆ ต่อความเข้มข้นของเมทิลีนบลูเริ่มต้น กับ เวลา ของซิงงานที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ดังภาพที่ 4.22 พบว่าอัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูในเงื่อนไข อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนานคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) มีอัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูดีที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 300 นาที และตามด้วยเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO), อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนานคาร์บอนชนิด

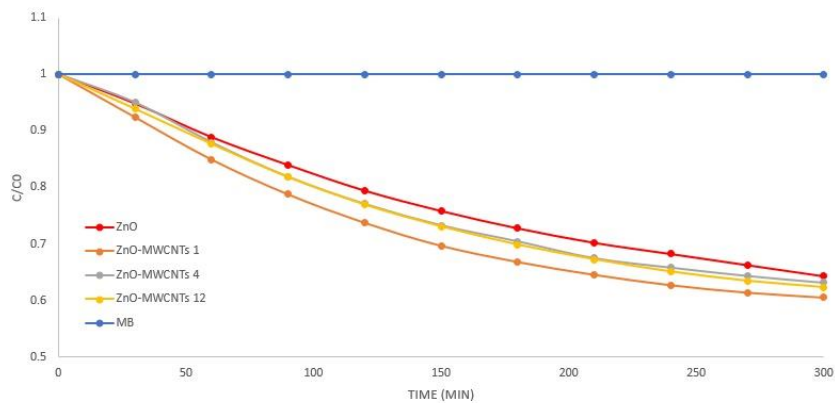
ผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) และ อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.23 ตัวแทนของผลการวิเคราะห์อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของชั้นงานที่ถูกลอบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นของเมทิลีนบลู ณ เวลาต่างๆ ต่อความเข้มข้นของเมทิลีนบลูเริ่มต้น กับ เวลา ของชั้นงานที่ถูกลอบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ภาพที่ 4.23 พบว่าอัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูในเงื่อนไข อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) มีอัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูดีที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 300 นาที และตามด้วยเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4), อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) และ อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ตามลำดับ ซึ่งในการอบชั้นงานที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) มีอัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูดีกว่าเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งจากการวิเคราะห์โดยอาศัยภาพถ่ายมุมสูงในภาพที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าเมื่อชั้นงานถูกลอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นการรวมตัวเป็นแผ่นของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์มีการรวมตัวเป็นแผ่นได้มากขึ้นจึงทำให้เมื่อผสมท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นลงไปจึงทำให้การซ้อนทับและบดบังมีน้อยลงทำให้อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์เข้าไปทำปฏิกิริยากับแสงได้เพิ่มขึ้น อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจึงมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในภาพที่ 4.24 ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นของเมทิลีนบลู ณ เวลาต่างๆ ต่อความเข้มข้นของเมทิลีนบลูเริ่มต้น กับ เวลา ของชั้นงานที่ถูกลอบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน พบว่า

อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูในเงื่อนไข อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) มีอัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูที่ดีที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 300 นาที และตามด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4), อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) และ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน (ZnO) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.24 ตัวแทนของผลการวิเคราะห์อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของชิ้นงานที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน

จากการวิเคราะห์ผลพบว่าเมื่อชิ้นงานถูกอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นการซ้อนทับและการบดบังที่เป็นผลมาจากท่อานาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นมีผลลดลงทำให้มีอัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมาโดยพิจารณาจากผลทดลองพบว่าการเลือกปริมาณของท่อานาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นมีส่วนสำคัญต่อการย่อยสลายของเมทิลีนบลู ซึ่งปริมาณของท่อานาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นที่ทำให้เกิดอัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูที่ดีที่สุดในการทดลองนี้คือ 1 มิลลิกรัม แสดงให้เห็นว่าท่อานาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเท่านั้น [47] และมีผลน้อยมากต่ออัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลู ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงและการวิเคราะห์อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูระหว่างอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสกับ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนหลายชั้น ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้ผู้ทดลองได้ทำการวิเคราะห์เงื่อนไขปริมาณการเติมท่อานาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นที่ดีที่สุด คือ เงื่อนไขอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนเพิ่มขึ้นแนวโน้มอัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลู ระหว่าง อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส กับอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส / ท่อานาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ยังคงที่ และพบว่าอัตราการย่อยสลายของ

เมทิลีนบลูของเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ / ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) มีอัตราการย่อยสลายที่ดีกว่าอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ เนื่องจากในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อมีแสงที่มีพลังงานที่เหมาะสมมากระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังแถบการนำเพื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนตามหลักการของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งจะมีอิเล็กตรอนบางส่วนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาจะคายพลังงานและกลับมารวมกับหลุมประจุบวกอีกครั้ง ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนอิสระกับแก๊สออกซิเจนได้น้อยเพราะอิเล็กตรอนกลับลงมาสู่แถบวาเลนซ์เร็ว ทำให้อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ / ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ซึ่งการเติมท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นลงไปนั้นจะช่วยให้การกลับลงมาสู่แถบวาเลนซ์ของอิเล็กตรอนช้าลง เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ดี [47] เมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้นขึ้นไปยังแถบการนำท่อนาโนคาร์บอนจะรับอิเล็กตรอนไปไว้ที่ผิว ทำให้การกลับลงมาสู่แถบวาเลนซ์ของอิเล็กตรอนช้าลงส่งผลให้อิเล็กตรอนอิสระมีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนได้เพิ่มขึ้น [48,49] อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจึงมีค่าที่ดีขึ้น และดีกว่าเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved