

ผลการปรับค่าพีเอชกับการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจล
สำหรับการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยกิจกรรมการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง
Effect of pH on Synthesis of Zinc Oxide by Sol-Gel Method for
Methylene blue dye Degradation Photocatalytic Activity

จินดาพร สืบขำเพชร¹ ธีระวิทย์ พลโคกก่อง¹ วรุตม์ คุณสุทธิ และ อุกฤษฏ์ นัจำปา^{2*}
Jindaphorn Suebkumpet¹, Thirawit Phonkhokong¹, Warut Koonnasoot¹ and Ukrit
Najampa^{2*}

กลุ่มวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์¹

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์²

Division of Physics, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University¹

Major of Physics, Faculty of Education, Buriram Rajabhat University²

Email.: ukrit.nj@bru.ac.th

Received : September 9, 2022

Revised : October 11, 2022

Accepted : November 4, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการโซล - เจล และค่าความเป็นเบสที่ pH 8 - 13 ที่ส่งผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยา และประสิทธิภาพการย่อยสลายเมทิลีนบลู วิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่าโครงสร้างผลึกเป็นซิงค์ออกไซด์เท่านั้น วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาและขนาดของอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิอิมิชชัน พบว่า pH 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในระดับนาโน โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 213.7 164.5 248.9 261.6 200.3 และ 208.7 นาโนเมตร ตามลำดับ และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ ธาตุที่พบ คือ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) และ ซิงค์ (Zn) และได้ทำการวัดค่าการสลายเมทิลีนบลูด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง พบว่าในเวลา 100 นาที ซิงค์ออกไซด์ที่ค่าความเป็นเบส pH 13 สามารถสลายสารละลายเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการสลายอยู่ที่ 94.41 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ซิงค์ออกไซด์ กระบวนการโซล-เจล ประสิทธิภาพการสลายเมทิลีนบลู การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

ABSTRACT

This research was investigated the preparation of zinc oxide by the sol-gel process and the base value at pH 8 – 13 affecting morphology and methylene blue degradation efficiency. ZnO samples were analyzed crystalline structure with the X-Ray Diffractometer. It was found that only the zinc oxide phase was formed with pH 8 having the highest light intensity. Phonological characteristics and particle size were analyzed using Field Emission Scanning Electron Microscopy. It was found that pH 8, 9, 10, 11, 12 and 13 had nano-particle characteristics and the average particle size was 213.7, 164.5, 248.9, 261.6, 200.3 and 208.7 nm, respectively. The elements were analyzed by Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy. The elements found were carbon (C), oxygen (O) and zinc (Zn). The degradation of methylene blue was measured by UV-Vis spectrophotometer, and it was found that within 100 minutes, zinc oxide at pH 13 was the best decomposition of methylene blue solution with a degradation efficiency of 94.41%.

Key Words: Zinc Oxidem, Sol-Gel Process, Methylene blue decomposition efficiency, Photocatalytic

บทนำ

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) เป็นสารกึ่งตัวนำสมบัติทางเคมีและกายภาพที่เฉพาะตัว เช่น ความเสถียรทางเคมีสูง ช่วงการดูดกลืนแสงมีความชัดเจนคงที่ (Agnieszka Kotodziejczak-Radzimska et al., 2014) ซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุอีกตัวเลือกที่มีข้อดีสำหรับใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมสารอินทรีย์ หากเทียบกับสารกึ่งตัวนำประเภทอื่น การเกิดรีคอมมิเนชัน (Recombination) ของซิงค์ออกไซด์ยังมีโอกาสเกิดน้อยกว่า (Alam, et al., 2018) เนื่องจากเป็นสารกึ่งตัวนำมีค่าระดับพลังงาน 3.32 อิเล็กตรอนโวลต์ (Fu, et al., 2011) เหมาะกับการนำมาใช้ในทดสอบสมบัติทางแสง เช่น การเร่งปฏิกิริยาทางแสง เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ เซนเซอร์ เป็นต้น (Kaneva, et al., 2009) งานออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Optoelectronics) ในช่วงคลื่นสั้นมีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่เรียกว่า เวอร์ตไซต์ (Wurtzite) ซึ่งมีค่าคงที่แลตทิซ $a = 0.3296$ และ $c = 0.5206$ (Guo, et al, 2017) โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ประกอบด้วยระนาบของเตตระฮีดรัล (Reza al., 2017) ที่เชื่อมระหว่าง $Zn^{2+}O^{2-}$ $Zn^{2+} -O^{2-}$ เรียงเป็นชั้น ๆ ตามแนวแกน c เตตระฮีดรัล ที่ประกอบด้วย $Zn^{2+} -O^{2-} -O^{2-}$ ในผลึกซิงค์ออกไซด์นี้เป็นโครงสร้างแบบไม่สมมาตร จึงเหมาะกับการนำไปใช้ในงาน

ด้านเพียโซอิเล็กทริก และไพโรอิเล็กทริก (ศุภมาส ด้านวิทยากล, 2556) ซิงค์ออกไซด์ เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการศึกษาและวิจัยเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่มีการนำมาใช้งานในรูปแบบของวัสดุนาโน ตัวอย่างการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่ การใช้งานในกลุ่มของอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ตรวจจับก๊าซ ใช้สำหรับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในทางทันตกรรม อีกทั้งยังสามารถใช้วิธีการเติมสารเจือเพื่อปรับโครงสร้างระดับจุลภาค โครงสร้างแถบพลังงานให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ และมีความไวต่อการตรวจวัดสารเคมีต่าง ๆ อีกด้วย การปรับค่าพีเอชเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของซิงค์ออกไซด์ โดยเฉพาะกระบวนการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีหลากหลายวิธี แต่ในวิจัยนี้สนใจการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการโซลเจล ที่มีการปรับค่าพีเอชที่เป็นเบสกับการเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของเบสหรือต่างกับการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์เพื่อเข้าไปสลายพันธะโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง และการปรับค่าพีเอชสามารถทำให้จำนวนการเกิดนิวคลีอิก (nuclei) มีการเติบโตขึ้นขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลายที่ใช้กับการสังเคราะห์ (Alias, et al., 2010) นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ ยังสามารถประยุกต์ใช้ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับคนโดยตรง เช่น เครื่องสำอาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลชั่นกันแดดที่เริ่มนิยมนำซิงค์ออกไซด์ขนาดนาโนมาใช้เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากมีระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีได้ในระดับเดียวกับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ขนาดใหญ่กว่านาโน (สุพิน แสงสุข, 2551) โดยส่วนใหญ่ซิงค์ออกไซด์จะถูกนำไปใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม คือ ในการบำบัดสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีคุณสมบัติในด้านการดูดกลืนพลังงานแสงได้ดี เพื่อช่วยกระตุ้นต่อการเร่งปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการโซลเจลและทดสอบประสิทธิภาพซิงค์ออกไซด์ที่ย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของย่านแสงยูวี

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการโซลเจล และทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ โดยผ่านการเจือเบสที่ค่า pH 8 - 13 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.8 โมลต่อลิตร

สารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัย

ซิงค์อะซิเตตไดไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ยี่ห้อ KemAus ผลิตโดย Elago Enterprises Pty Ltd ประเทศออสเตรเลีย น้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI) เอทานอล ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) ความเข้มข้น 95 % ตัวแทนจำหน่ายโดย หจก.ชายติพิภพ ประเทศไทย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 99% (Sodium

hydroxide)% ยี่ห้อ Carlo Erba ผลิตโดย CARLO ERBA Reagents S.A.S. ประเทศฝรั่งเศส
เมทิลีนบลู ($C_6H_{18}N_3ClS \cdot 2H_2O$) ยี่ห้อ Loba ผลิตโดย LOBA CHEMIE PVT.LTD. ประเทศอินเดีย

การเตรียมสารตั้งต้น

เตรียมซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรต 6.585 กรัม เตรียมน้ำ DI ปริมาตร 300 มิลลิลิตร (ใช้สำหรับเป็นตัวทำละลายกับซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรต ปริมาตร 150 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร) ปรับค่า pH 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.8 โมลต่อลิตร

การเตรียมซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการโซล - เจล

เตรียมซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรต 6.585 กรัม ผสมกับน้ำ DI ปริมาตร 150 มิลลิลิตร กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนแท่งแม่เหล็กด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที จนครบ 15 นาที ที่อุณหภูมิห้องเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างช้า ๆ เพื่อปรับค่า pH (โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 4.8 กรัมผสมกับน้ำ DI ปริมาตร 150 มิลลิลิตร) ส่วนการหยดโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 9 10 11 12 และ 13 สามารถเตรียมได้ในทำนองเดียวกัน กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนแท่งแม่เหล็กด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที จนครบ 45 นาที ที่อุณหภูมิห้อง นำสารละลายกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 จากนั้นใช้น้ำ DI ล้างตะกอนสารละลายจำนวน 3 ครั้ง และ ล้างครั้งสุดท้ายด้วยเอทานอล 95 % นำตะกอนของสารละลายที่ถูกกรองอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์ของสารตั้งต้นมีลักษณะเป็นผงหยาบ ขั้นตอนต่อไป นำผงดังกล่าวเผาด้วยเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำสารตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์

วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะด้วยเทคนิคต่าง ๆ หาโครงสร้างผลึกโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer : XRD) ยี่ห้อ Panalytical รุ่น Expert 2Theta: 5 - 140 degree ผลิตโดย Malvern Panalytical Ltd ประเทศสหราชอาณาจักร เพื่อตรวจสอบโครงสร้างผลึก ไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา และนำไปวิเคราะห์เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชัน (Field Emission Scanning Electron Microscopy : FESEM) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น AURIGA ผลิตโดย JEOL Ltd ประเทศญี่ปุ่น วิเคราะห์ร่วมกับเทคนิค Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ และ ศึกษาสมบัติทางแสงของสารตัวอย่าง ด้วยการวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV – Vis spectrophotometer) ยี่ห้อ Omega รุ่น SPECTROstar ผลิตโดย The Microplate Reader Company ประเทศเยอรมนี และทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

ทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

เตรียมสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1×10^{-5} โมลต่อลิตร ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร เตรียมผงซิงค์ออกไซด์ 0.375 กรัม และสารละลายเมทิลีนบลูใส่ในปิกเกอร์แล้วกวนวางในที่มืดเป็นเวลา 100 นาที ในตู้รับแสง โดยใช้หลอดยูวี Black light 30 วัตต์ จำนวน 3 หลอด (BEWON, อายากิ จำกัด) โดยใช้ความยาวคลื่นย่านยูวี (310 - 400 นาโนเมตร) เก็บตัวอย่างสารละลายเมทิลีนบลู 5 มิลลิลิตร ทุก ๆ 10 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บตัวอย่างในขวดทึบแสง วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยเครื่อง UV - Vis spectrophotometer แล้วบันทึกผลเพื่อศึกษาอัตราการลดลงของความเข้มของการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูหรืออัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู ตามสมการ (1)

$$\text{Degradation}(\%) = \frac{|A_0 - A|}{A} \times 100 \quad \dots (1)$$

เมื่อ A_0 แทน ค่าการดูดกลืนความเข้มแสงเวลาที่ศูนย์ และ A แทน ค่าการดูดกลืนความเข้มแสงที่เวลาใด ๆ

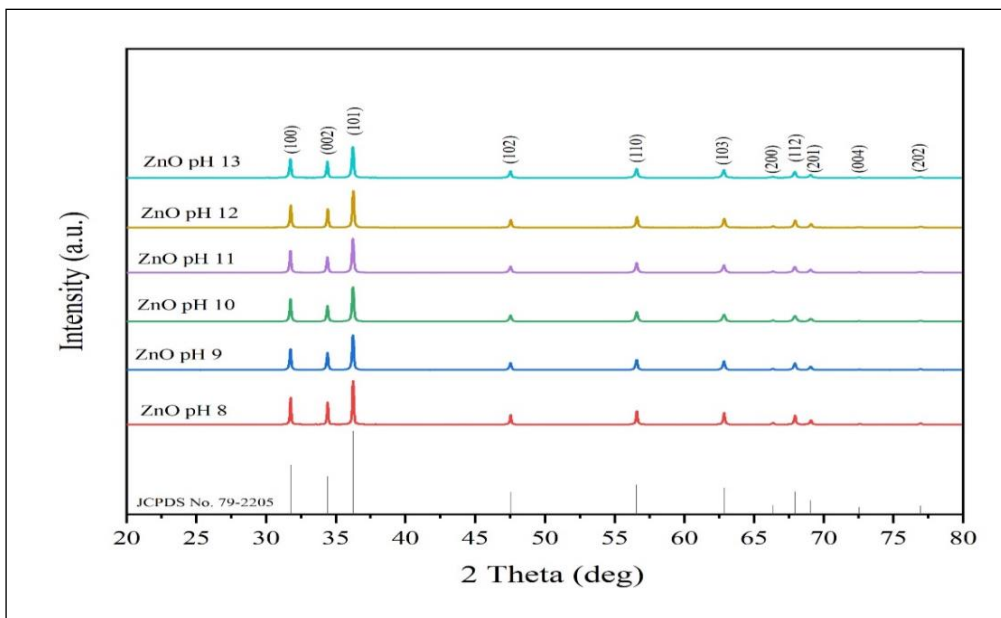
ผลการวิจัย

การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer : XRD

ผลการตรวจสอบโครงสร้างของสารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจล โดยผ่านการเจือกรดที่ค่า pH 8 - 13 ด้วยเครื่อง XRD แสดงดังภาพประกอบ 1 พบว่า สารที่สังเคราะห์ได้เป็นซิงค์ออกไซด์ โดยปรากฏพีค (Peak) การเลี้ยวเบนที่มุม 2θ เกิดที่ระนาบ (100) (002) (101) (102) (110) (103) (200) (112) (201) (004) และ (202) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน JCPDS (Card number 36-1451) (Nguyen et al., 2020) ซึ่งเป็นเฟสของซิงค์ออกไซด์ในรูป Wurtzite ขนาดของผลึก (crystallite size "D") ซิงค์ออกไซด์ ที่ pH 8 - 13 ขนาดมีแนวโน้มที่ลดลงตามลำดับดังนี้ 8.25, 11.30, 21.20, 11.81, 12.70 และ 7.70 นาโนเมตร การขนาดของผลึก (Kumaraswamy, et al., 2015) ระดับนาโนเมตร สามารถคำนวณได้จากสมการเชอร์เลอร์ (Scherrer equation) ตามสมการที่ (2)

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos \theta} \quad \dots (2)$$

เมื่อ D แทน ขนาดของผลึก (นาโนเมตร) λ แทน ค่าความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ (คอปเปอร์) มีค่า 0.154 นาโนเมตร β แทน ความกว้างของพีคที่สูงที่สุด (101) หรือ full width half maximum (FWHM) และ θ แทน มุมของแบรกก (Bragg's angle)



ภาพประกอบ 1 ผลการวิเคราะห์ XRD ของโครงสร้างผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ pH 8 – 13

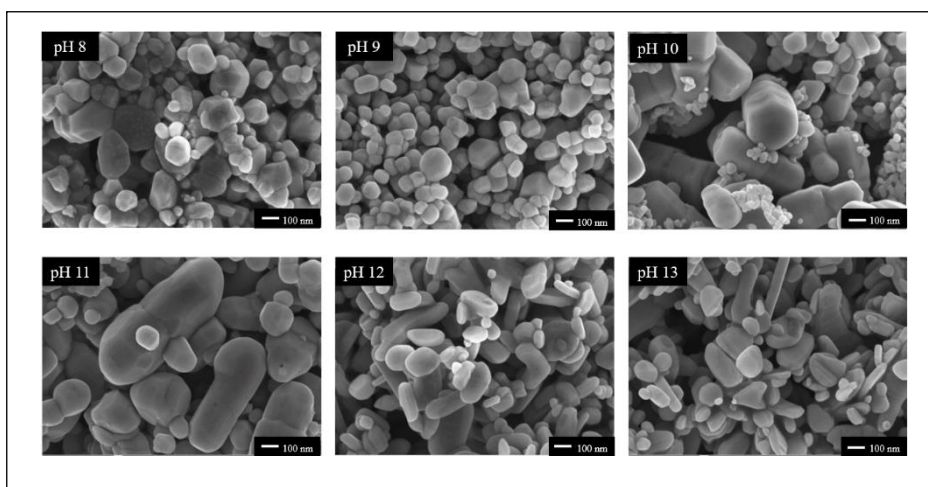
การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชัน (FESEM)

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจล โดยผ่านการเจือเบสที่ค่า pH 8 – 13 ทำการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชัน (FESEM) ที่กำลังขยาย 50,000 เท่าจากภาพประกอบ 2 และ ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FESEM เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา รูปร่าง ขนาดของอนุภาค ZnO ปรับ pH 8 – 13 ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจล ซึ่งเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และการควบแน่น ร่วมกับการปรับค่า pH โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ ไอออน ปรากฏว่าส่งผลต่อกระบวนการฟอร์มตัวขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ทำให้มีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันออกไปตามการปรับค่า pH ตามภาพประกอบ 2 และสอดคล้องกับ ขนาดของผลึก ตามสมการเชอร์เลอร์ ดังนั้น ที่ค่า pH 8 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 110.20 นาโนเมตร และมีรูปร่างเป็นทรงกลมค่อนข้างจะมีหลายเหลี่ยม

อนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่ค่า pH 9 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 140.50 นาโนเมตร และมีลักษณะรูปร่างทรงลูกบาศก์ค่อนข้างคล้ายทรงกลม pH 10 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 248.90 นาโนเมตร และมีรูปร่างเป็นแท่งอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่ค่า pH 11 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 220.80 นาโนเมตร และมีรูปร่างเป็นแท่ง ขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่ค่า pH 12 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 160.40 นาโนเมตรและมีรูปร่างเป็นแผ่น และขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่ค่า pH 13 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 87.50 นาโนเมตร และมีรูปร่างเป็นแผ่น

การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (EDX)

จากภาพประกอบ 3 และตารางที่ 2 องค์ประกอบของธาตุของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจล โดยผ่านการเจือเบสที่ค่า pH 8 – 13 โดยอาศัยสเปกตรัมที่มีความเข้มของรังสีเอกซ์



ภาพประกอบ 2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาของอนุภาค ZnO ปรับ pH 8 - 13
ภาพถ่าย กำลังขยาย 50,000 เท่า ด้วยเทคนิค FESEM

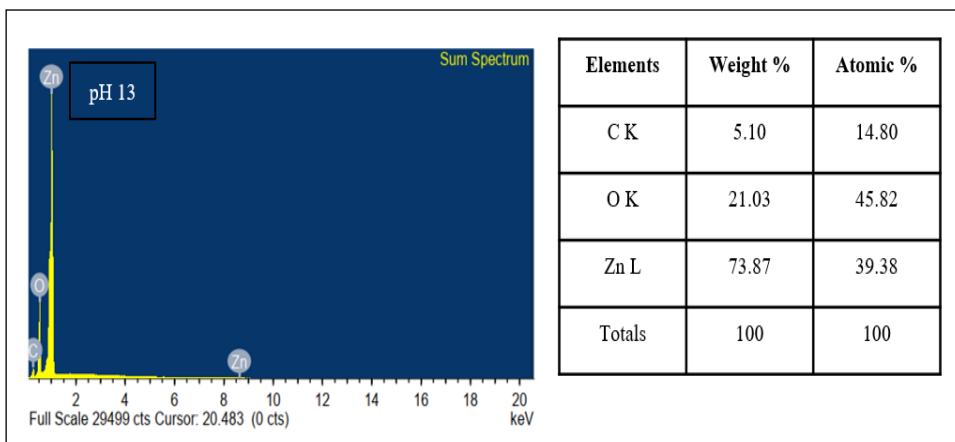
ตารางที่ 1 ข้อมูลวิเคราะห์เปรียบเทียบขนาดผลึกและขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่ปรับค่า pH 8 – 13

ตัวอย่าง	2θ	FWHM " β "	ขนาดผลึก (นาโนเมตร)	ขนาดอนุภาค (นาโนเมตร)	ลักษณะรูปร่าง
pH 8	36.2418	0.2068	8.25	110.20	ทรงหลายเหลี่ยม
pH 9	36.2459	0.1378	11.30	140.50	ทรงลูกบาศก์
pH 10	36.3738	0.0720	21.20	248.90	แท่งทรงกระบอก
pH 11	36.2401	0.1181	11.81	220.80	แท่งทรงกระบอก
pH 12	36.2494	0.1200	12.70	160.40	แผ่น
pH 13	36.2418	0.2468	7.70	87.50	แผ่น

แสดงผลวิเคราะห์พบธาตุที่เป็นองค์ประกอบ คือ C (คาร์บอน) O (ออกซิเจน) และ Zn (ซิงค์) มีค่าเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแตกต่างกันไป ZnO ที่ค่า pH 8 9 10 11 12 และ 13 มีค่าเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิงค์ (Zn) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของคาร์บอน (C) ดังนี้ ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจล โดยผ่าน การปรับค่า pH 8 – 13

สารประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก			
	C	O	Zn	รวม
ZnO pH 8	9.69	20.22	70.08	100
ZnO pH 9	6.41	18.97	74.62	100
ZnO pH 10	6.41	21.36	72.51	100
ZnO pH 11	5.52	21.58	72.89	100
ZnO pH 12	6.10	22.13	70.79	100
ZnO pH 13	5.10	21.03	73.87	100



ภาพประกอบ 3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคนาโน ZnO pH 13 ด้วยเทคนิค EDX

การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิค UV – VIS Spectroscopy

จากการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสง และหาค่าช่องว่างแถบพลังงานด้วยเทคนิค UV-Vis Spectroscopy ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ปรับค่าความเป็นด่าง pH 8 – 13 วิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 360 – 800 นาโนเมตร เพื่อนำมาหาค่าช่องว่างแถบพลังงานลักษณะสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงของซิงค์ออกไซด์ที่ค่าความเป็นด่าง pH 8 – 13 ปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 427, 428, 415, 417, 416 และ 400 นาโนเมตร ตามลำดับ มีค่าช่องว่างแถบพลังงานใกล้เคียงกัน คือ pH 8 – 13 มีค่าเท่ากับ 2.36, 3.02, 3.08, 3.08, 3.08 และ 3.14 อิเล็กตรอนโวลต์ตามลำดับ ที่แสดงผล ภาพประกอบ 4 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ถูกปรับค่า pH ต่าง ๆ พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400 – 430 นาโนเมตร และส่งผลต่อแถบช่องว่างพลังงาน ซึ่งค่าแถบช่องว่างพลังงาน (energy band gap : E_g) ถูกคำนวณด้วย สมการ $(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^n$ นำข้อมูลมาเขียนกราฟโดยค่า E_g สามารถหาได้จากเส้นแนวโน้มหรือ ความชันที่ลากตัดผ่านแกน เอกซ์ (x) ของกราฟ วิเคราะห์สมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ปรับค่า pH ต่างกัน จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวทำให้ทราบว่า การปรับค่า pH ที่มีความเป็นเบสมากขึ้นทำให้ค่าแถบช่องว่างพลังงานมีค่าที่มากขึ้น เนื่องมาจากการเติมสารละลายไฮเดรียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้นย่อมส่งผลให้เกิดการแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออนในน้ำมากขึ้นทำให้การรับโปรตอนมากขึ้น ค่า pH ที่มากขึ้นทำให้ค่าแถบช่องว่างพลังงานมีความกว้างมากขึ้น และมีความสอดคล้องกับพลังงานจากแสงช่วงความยาวคลื่นย่านยูวี (310 - 400 นาโนเมตร) ในการทดสอบใช้

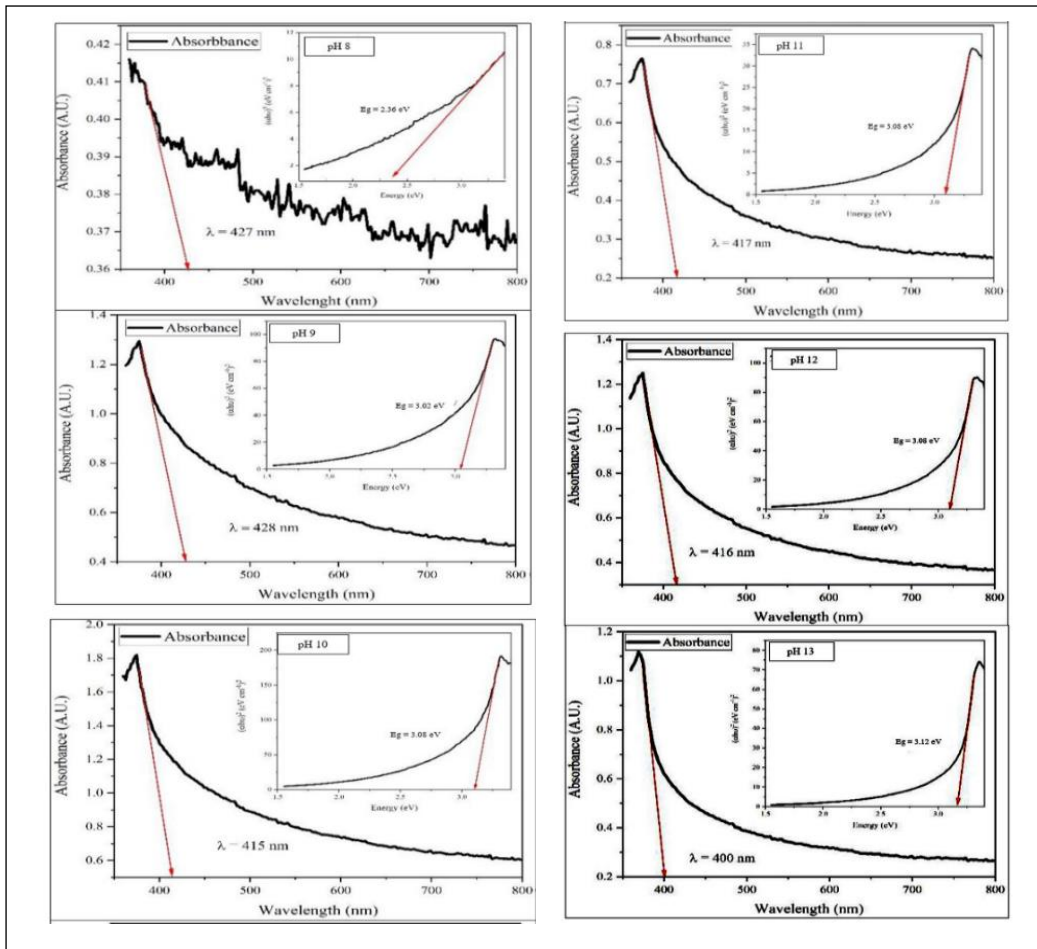
กิจกรรมการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ขนาดของอนุภาคและขนาดของผลึกที่เล็ก เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้กิจกรรมการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงมีประสิทธิภาพ

การทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลินบลูโดยใช้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยค่าการดูดกลืนแสง UV – VIS Spectrophotometer

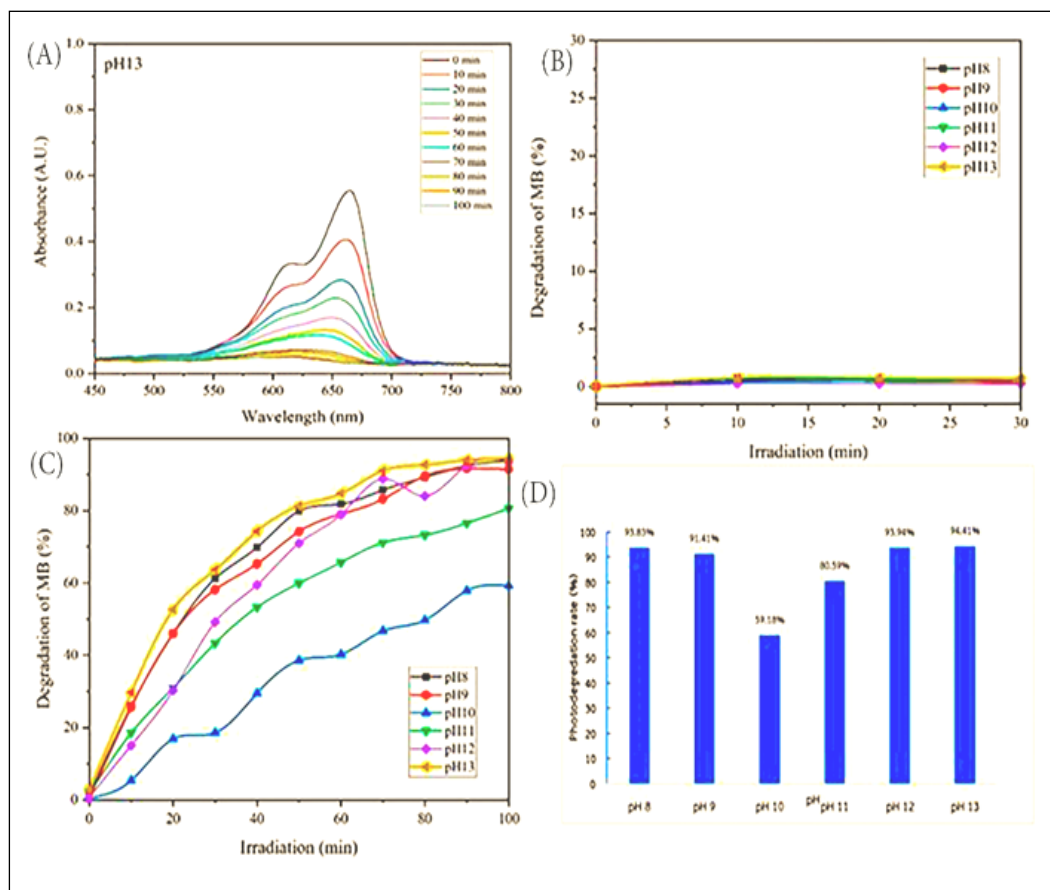
จากการทดสอบประสิทธิภาพการสลายสารละลายเมทิลินบลูที่ความเข้มข้น 1×10^{-5} โมลต่อลิตร ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ด้วยซิงค์ออกไซด์ที่ค่า pH 8 – 13 ที่ความยาวคลื่น 310 - 400 นาโนเมตร และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV – Vis spectrophotometer ได้ผลการทดสอบภาพประกอบ 5 แสดงการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในการสลายสารละลายเมทิลินบลูที่ความเข้มข้น 1×10^{-5} โมลต่อลิตร ภายใต้แสงยูวี โดยทำการเก็บตัวอย่างสารละลายเมทิลินบลู ทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 100 นาที พบว่าปริมาณการสลายมีค่าเพิ่มขึ้น โดย pH 13 มีค่าการสลายสารละลายเมทิลินบลูสูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร เปอร์เซ็นต์การสลายสารละลายเมทิลินบลูคำนวณโดยใช้สมการ (1)

อภิปรายผลการวิจัย

ซิงค์ออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจล ที่มีการปรับค่า pH 8 – 13 โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Jianguo, et al., 2011) เพื่อทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลินบลูความเข้มข้น 1×10^{-5} โมลต่อลิตร ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ซึ่งในการทดสอบได้กำหนดช่วงเวลาไว้ สองช่วง ช่วงที่หนึ่ง ปิดไฟ (ทดสอบในที่มืด) เป็นระยะเวลา 30 นาที ภาพประกอบ 5 (B) เพื่อทดสอบสีย้อมเมทิลินบลูจะถูกย่อยสลายไปตามระยะเวลาที่กำหนดหรือไม่ พบว่า เกิดการย่อยสลายไปในจำนวนที่น้อยมากจากการวิเคราะห์ผลอาจเกิดจากอนุภาคซิงค์ออกไซด์มีความพรุนเกิดจึงทำให้มีการดูดซับสีย้อมเมทิลินบลู แต่หากเทียบกับ การทดสอบในช่วงที่สอง เปิดไฟในย่านความยาวคลื่นประมาณ 310 - 400 นาโนเมตร เป็นระยะเวลา 100 นาที พบว่าแสงในย่านความยาวคลื่นดังกล่าวมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเชิงแสงแน่นอน หากเทียบในช่วงระยะเวลา 30 นาที ปิดไฟกับเปิดไฟ ภาพประกอบ 5 (C) แต่ในการทดสอบยังติดตามผลการย่อยสลายของสีย้อมจนกระทั่ง การย่อยสลายสีย้อมที่มีการใช้แสงเข้าร่วมจนถึงสภาวะความเสถียร จากการทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลินบลู พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่ ปรับค่า pH 13 มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดหากเทียบกับตัวอื่นที่ทดสอบในสภาวะเดียวกัน และยังมีอีกหลายปัจจัยที่ทำให้การย่อยสลายสีย้อมเมทิลินบลูมีประสิทธิภาพ จากผลการวิเคราะห์ของข้อมูลเบื้องต้น คือ ขนาดผลึก ขนาดอนุภาค และ รูปร่างของซิงค์ออกไซด์ งานวิจัยนี้อาจสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการกำจัดสารมลพิษในแหล่งน้ำ หรือ ตัวกรองหรือไส้กรองน้ำเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำในธรรมชาติ



ภาพประกอบ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์การดูดกลืนแสงในช่วง UV-VIS และค่าแถบพลังงาน
ที่ได้จากการคำนวณสมการ $(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^n$ ของอนุภาคนาโน ZnO
pH 8 – 13



ภาพประกอบ 5 การดูดกลืนแสงในช่วง UV-VIS (A) ผลทดสอบเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูโดยไม่ให้แสงยูวี (B) ผลทดสอบเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูโดยให้แสงยูวี (C) และ (D)

เอกสารอ้างอิง

ศุภมาส ด้านวิทยากุล. (2556). ชิงค์ออกไซด์วัสดุอนุภาคประสมงค์. *วารสารเทคโนโลยีวัสดุ*, 13-22.

สุพิณ แสงสุข. (2551). นาโนซิงค์ออกไซด์. จาก <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=5&ID=6>.

Alias, S.S., Ismail, A.B., and Mohamad, A.A. (2010). Effect of pH on ZnO nanoparticle properties synthesized by sol-gel centrifugation, *Journal of*

- Alloys and Compound*, 231-237.
- Agnieszka, K.R., and Teofil J. (2014). Zinc Oxide—From Synthesis to Application: A Review. *Materials*, 7, 2833-2881.
- Alam, U., Khan, A., Ali, D., Bahnemann, D., and Muneer, M. (2018). Comparative photo catalytic activity of sol-gel derived rare earth metal (La, Nd, Sm and Dy)-doped ZnO photocatalysts for degradation of dyes. *RSC Advances*, 8, 17582–17594.
- Jianguo, L., Wanbing G., Kai H., Jianbo Z., Fanming M., Xueping S., and Zhaoqi S. (2011). Effect of annealing temperature on photocatalytic activity of ZnO thin films prepared by sol-gel method. *Superlattices and Microstructures*, 50, 98–106.
- Guo, K. W. (2017) Property of zinc oxide (ZnO) nanostructures potential for biomedical system and its common growth mechanism. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 5, 197-202.
- Fu, M., Li, Y., Wu, S., Lu, P., Li, J. and Dong, F. (2011). Sol-gel preparation and enhanced photocatalytic performance of Cu-doped ZnO nanoparticles. *Applied Surface Science*, 258(4), 1587-1591.
- Kumaraswamy ,S. and Somashekarappa, H.M. (2015). Effect of pH values on surface morphology and particle size variation in ZnO nanoparticle synthesized by co-precipitation method. *Research journal of recent sciences*, 4, 197-201.
- Kaneva, N.V., Yordanov, G.G. and Dushkin, C.D. (2009). Photocatalytic action of ZnO thin films prepared by the sol-gel method. *React Kinet Catal Lett*, 98, 259–263.
- Nguyen, N.T. and Nguyen, V.A. (2020). Synthesis, Characterization, and Photocatalytic Activity of ZnO. Nanomaterials Prepared by a Green, Nonchemical Route. *Journal of Nanomaterials*, 1-8.
- Reza M. and S. Siamak A.T. (2017). Sol-gel synthesis, structural and enhanced photocatalytic performance of Al doped ZnO nanoparticles. *Advanced Powder Technology*, 28, 1418-1425.