

อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดเปลือกผลไม้เพื่อการบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง

พรพิริยา พงศ์สุพัฒน์, ปรียาพร เกิดฤทธิ, จักรพล พันธุ์วงศ์ภักดี, ภัทรารุช พุสิงห์, สวรรยา แซ่แต้,
และ เพ็ญใจ พิระเกียรติขจร*

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม

*Corresponding author: piangjai.pee@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

ของเสียหรือวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมการแปรรูปผลไม้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการจัดการของเสีย ดังนั้นการใช้ประโยชน์และการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่า จึงเป็นแนวทางสำคัญภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ที่สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากกระบวนการสังเคราะห์สีเขียว โดยใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุด เพื่อบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงโดยศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการสกัดสารจากเปลือกมังคุดคือ น้ำกลั่น และ เอทานอล รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงจากการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ จากการกระบวนการสังเคราะห์สีเขียว มีศักยภาพในการบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยกระบวนการที่ง่าย ต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดสีย้อม หรือสารอินทรีย์อื่นๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้

คำสำคัญ: เปลือกผลไม้ / อนุภาคนาโน / ซิงค์ออกไซด์ / ปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง / สีย้อมเมทิลออเรนจ์

Zinc oxide nanoparticles from fruit peel extracts for the photocatalytic degradation of methyl orange dye

Pornpiriya Pongsupat, Preeyaporn Koedrith, Jakkapon Phanthuwongpakdee, Pattrawut Pusingha, Sawanya Saetae, and Piangjai Peerakiatkhajohn*

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Thailand

**Corresponding author: piangjai.pee@mahidol.ac.th*

Abstract

Agricultural residues and by-products from the fruit-processing industry have been continuously increasing, causing environmental impacts and posing challenges for waste management. Therefore, the valorization and conversion of agricultural and industrial wastes into value-added products is a key approach under the circular economy concept, which can reduce environmental impacts and support the Sustainable Development Goals (SDGs). This research aims to synthesize zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) as photocatalysts via a green synthesis route using Mangosteen peel extracts for the treatment of methyl orange dye through photocatalytic reactions. The effects of extraction solvents used for fruit peel extraction, namely distilled water and ethanol, were investigated. In addition, the physicochemical properties of the synthesized ZnO NPs were characterized, and their photocatalytic performance for methyl orange degradation was evaluated. The results indicate that ZnO NPs photocatalysts produced through the green synthesis approach exhibit strong potential for efficient photocatalytic treatment of methyl orange dye. The proposed method is simple, low-cost, and environmentally friendly, and it can be further applied to the remediation of other dyes or organic contaminants in wastewater.

Keywords: Fruit peels / Nanoparticles / Zinc oxide / Photocatalysis / Methyl orange dye

1. บทนำ

จากสถานการณ์ขยะอินทรีย์ในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึง จำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ความต้องการของตลาดผลไม้สดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ผลไม้ไทยกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญของเศรษฐกิจไทยเป็นอย่างมาก นำไปสู่การประกอบอาชีพการเกษตรที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสิ่งนี้เอง ส่งผลให้มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก เช่น เปลือกสับปะรด มะม่วง กะลามะพร้าว มังคุด ส้มเขียวหวาน เป็นต้น ซึ่งมีการจัดการส่วนใหญ่ ถูกนำไปไว้ในที่โล่งหรือการเผาทิ้ง ส่งผลให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ สูญเสียทัศนียภาพ รวมไปถึง ปัญหาทางด้านสุขภาพของมนุษย์ [1]

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาพัฒนาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิเช่น บัญหมักอินทรีย์ เชื้อเพลิงชีวภาพ เชื้อเพลิงอัดแท่ง ไบโอฟอสติคย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ วัสดุนาโน เป็นอีกหนึ่งทางเลือกและเป็นการสนับสนุน เศรษฐกิจหมุนเวียนทางชีวภาพ [1]

จากการศึกษาวิจัย พบว่ามีการพัฒนาอนุภาคนาโนโลหะ อาทิเช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) จากขยะทางการเกษตร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อาทิเช่น ตัวนำส่งยาทางการแพทย์ ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ การกำจัดแมลง การบำบัดมลพิษน้ำเสีย ดูดซับโลหะหนัก มลพิษอินทรีย์สารต่างๆ [2,3]

อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์อนุภาคนาโนส่วนใหญ่เป็นการสังเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี เช่น ไฮโดรเทอร์มอล โซล-เจล หรือ การก่อก้อนด้วยเลเซอร์ ซึ่งมีต้นทุนสูง ใช้ความดันสูง ใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม [2,4] ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยวิธีทางชีวภาพ ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยใช้วัสดุทางการเกษตรมากขึ้น อาทิเช่น พืช ผลไม้ เปลือกผลไม้ [5] เนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งและสารรักษาเสถียรภาพของอนุภาคนาโน ทั้งนี้ กระบวนการทางชีวภาพ เป็นการลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการที่ ต้นทุนต่ำ และ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [3]

Rafique et al. [6] พัฒนาสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากความเข้มข้นของใบต้นส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata*) ที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมโรดามีนบี ผ่านปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง หรือ Mirgain et al. [7] สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกสับปะรด เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ รวมไปถึง Fuentes et al. [2] ได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จาก *Citrus microcarpa* ที่ความเข้มข้นต่างกัน เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อม เมทิลีนบลู (Methylene blue) เมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) และ โรดามีนบี (Rhodamine-B) ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง

อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการศึกษาชนิดของเปลือกผลไม้และสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงมีความสนใจในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุด เพื่อบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ จากกระบวนการสังเคราะห์สีเขียว โดยใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุด
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

3. ขอบเขตของการศึกษา

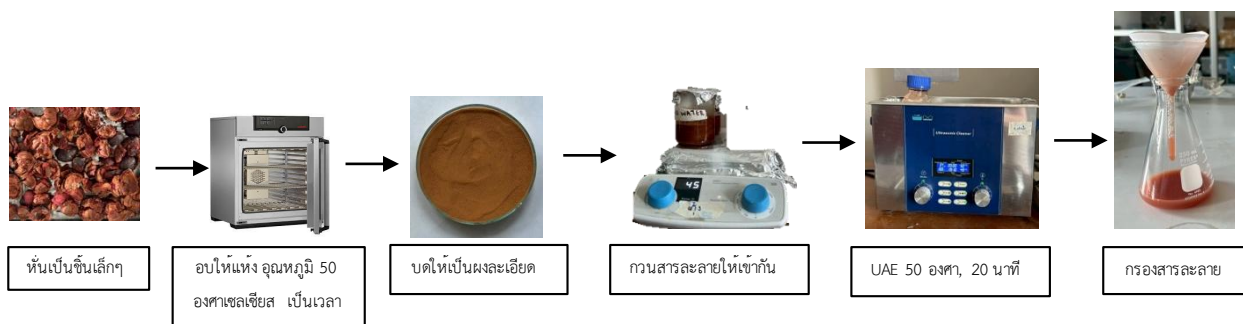
งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซึ่งค่ออกไซด์จากเปลือกมังคุดเพื่อนำมาบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ โดยมีขอบเขตการศึกษา ดังต่อไปนี้

1. สังเคราะห์อนุภาคนาโนซึ่งค่ออกไซด์จากเปลือกมังคุด ด้วยวิธีการสังเคราะห์สีเขียวและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารจากเปลือกมังคุด
2. วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบของธาตุของอนุภาคนาโนด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดและวิเคราะห์ธาตุ (Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; SEM/EDS)
3. วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนและศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction; XRD และเทคนิค FTIR ตามลำดับ
4. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมสารสกัดเปลือกผลไม้

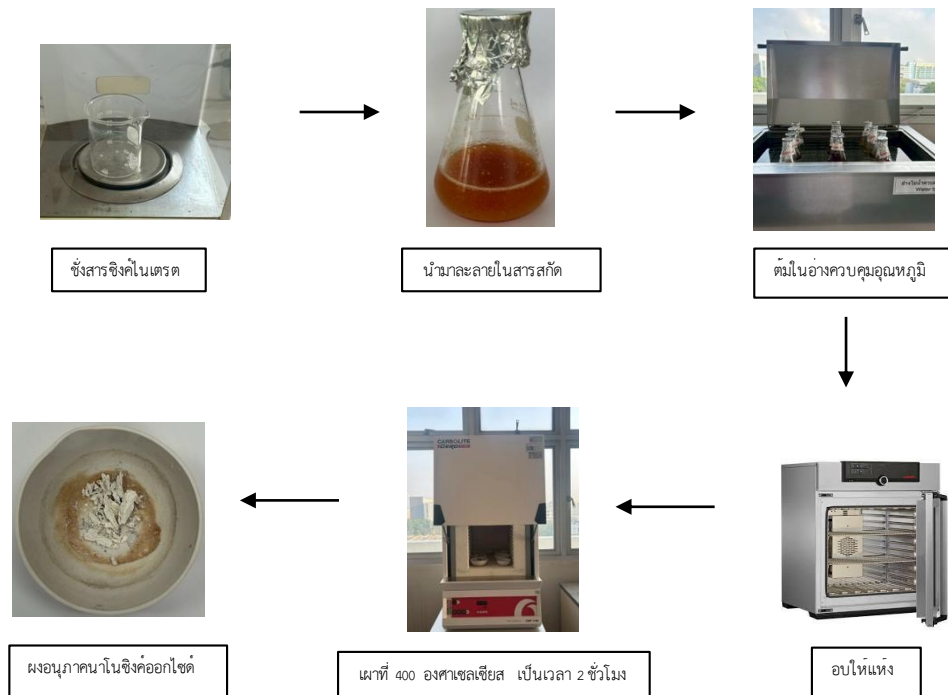
การเตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุด นำตัวอย่างเปลือกสดมาล้างให้สะอาด เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำเปลือกที่ได้มาบดให้เป็นผงละเอียด จากนั้นนำไปละลายด้วยสารละลายที่แตกต่างกันคือ น้ำกลั่น และ เอทานอล โดย อัตราส่วนของผงตัวอย่างต่อสารละลาย คือ 1:20 นำไปกวนสารละลายให้เข้ากัน จากนั้น นำไปสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ด้วยวิธี Ultrasonic assisted extraction หลังจากนั้น นำไปกรอง แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมสารสกัดเปลือกผลไม้

4.2 การสกัดอนุภาคนาโนซึ่งค่ออกไซด์

ซึ่งสารตั้งต้นซึ่งค่ออกไซด์ในเตรต ลงในสารละลายที่สกัดไว้ เป็นอัตราส่วน 1:0.01 นำไปกวนสารละลายเพื่อให้เข้ากันดี จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีในพืชกับสารตั้งต้น หลังจากนำไปต้มแล้ว นำไปอบให้แห้งและทำการเผา จะได้ผงสีขาวซึ่งค่ออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การสกัดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

4.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

นำผงตัวอย่างไปตรวจสอบคุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบของธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดและวิเคราะห์ธาตุ (SEM/EDS) และ วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของและศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิค XRD และ เทคนิค FTIR ตามลำดับ

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

เตรียมสารละลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้น เติมนูภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ ปริมาณ 0.1 กรัม ลงในสารละลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้เก็บไว้ในที่มืดเพื่อให้เกิดการดูดซับ เป็นเวลา 30 นาที จนเข้าสู่สมดุล ใช้หลอดยูวี 18 วัดค่า เป็นตัวแทนของช่วงความยาวคลื่นรังสียูวี โดยกำหนดระยะห่างเท่ากับ 10 เซนติเมตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงเวลาต่างๆ ทุกๆ 30 นาที ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer จากนั้น คำนวณค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายของสีย้อมในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง โดยใช้ ดังสมการที่ 1

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม (Removal efficiency \%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \dots\dots\dots (\text{สมการที่ 1})$$

เมื่อ

C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลออเรนจ์

C_t = ความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลออเรนจ์ ณ เวลาที่ t

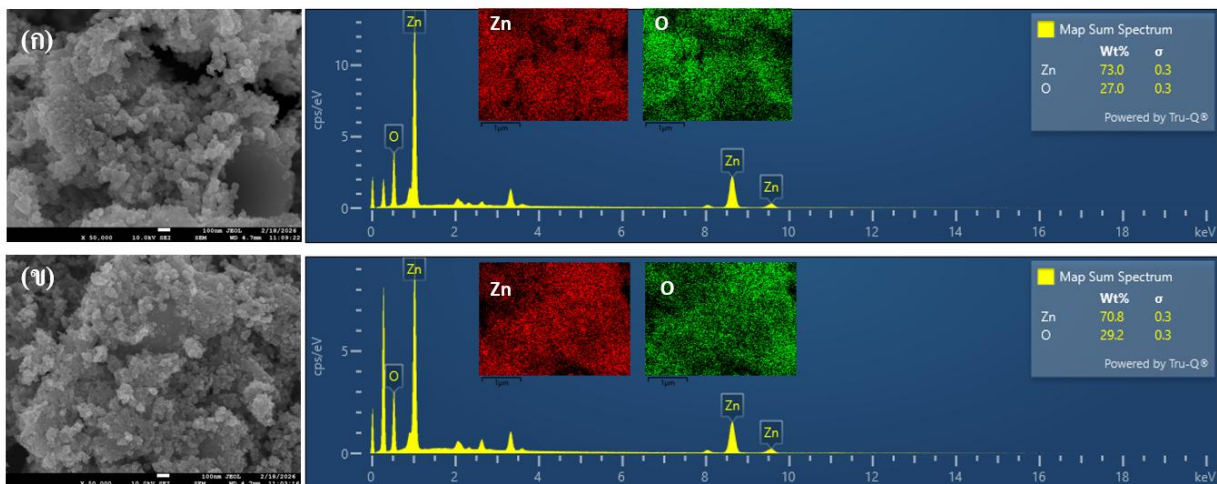
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุด โดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ได้แก่ น้ำกลั่น และ เอทานอล โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

การตรวจสอบคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่สังเคราะห์จากเปลือกมังคุด โดยใช้ตัวทำละลายจากน้ำกลั่นและเอทานอล ผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50000 เท่า โดยแสดงในรูปที่ 1 พบว่า สำหรับตัวทำละลายจากน้ำกลั่น (รูปที่ 1(ก)) อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเล็กระดับนาโน เฉลี่ย 76.4 นาโนเมตร เป็นทรงกลมและเกิดการเกาะกลุ่มรวมตัวกัน เกิดจากแรงขั้วและแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาค ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aminuzzaman et al. [8] รูปที่ 1(ข) อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ จากเปลือกมังคุดที่ตัวทำละลายจากเอทานอล จะมีการเรียงตัวของอนุภาคไม่สม่ำเสมอ โดยมีขนาดอนุภาคนาโนเฉลี่ย 69.78 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกันส่งผลต่อขนาดและลักษณะทางสัณฐานวิทยาได้ [10]

จากการศึกษาองค์ประกอบของธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยแสดงเป็นกราฟสเปกตรัมของ EDS ยืนยันได้ว่า การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากสารสกัดจากเปลือกมังคุดได้สำเร็จ ทั้งนี้องค์ประกอบธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากน้ำกลั่น ประกอบด้วยธาตุสังกะสีเป็นร้อยละ 72.9 และ ธาตุออกซิเจนเป็นร้อยละ 27.1 ขณะที่ตัวทำละลายเอทานอล ประกอบด้วยธาตุสังกะสีเป็นร้อยละ 70.8 และ ธาตุออกซิเจนเป็นร้อยละ 29.2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aminuzzaman et al. [8]



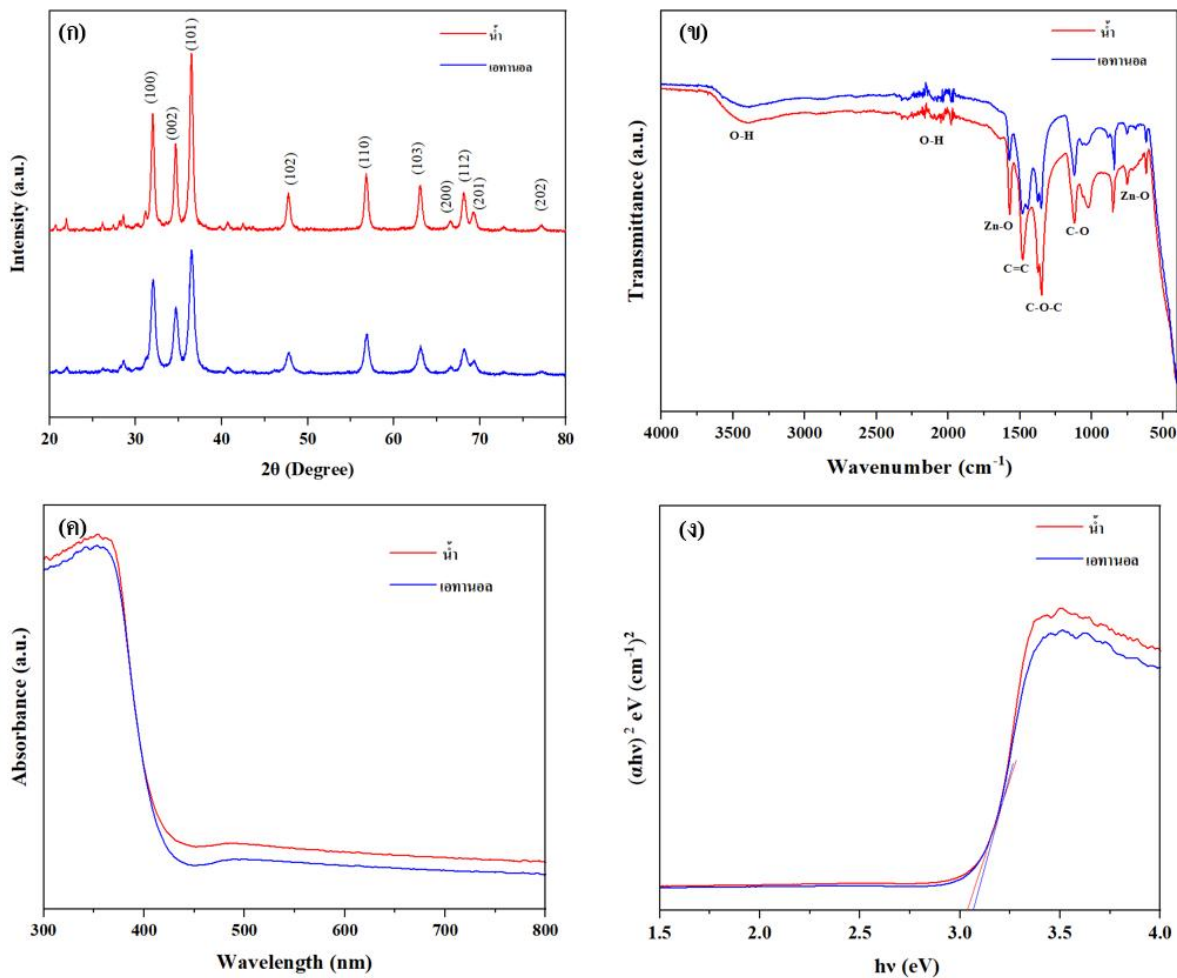
รูปที่ 3 ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายที่ต่างกัน (ก) น้ำกลั่น (ข) เอทานอล ด้วย FE-SEM/EDS

5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

รูปที่ 4 (ก) แสดงโครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายที่ต่างกันได้ ถูกตรวจสอบด้วยเทคนิค X-ray Diffraction พบพีคการเลี้ยวเบนที่มุม 2Theta และระนาบผลึก 31.8(100) 34.4(002), 36.3(101), 47.5(102), 56.6(110), 62.8(103), 66.5(200) 68.0(112), และ 76.8 (202) และนอกจากนี้ โครงสร้างผลึกของ

อนุภาคนาโนเป็น Hexagonal Wurtzite ตามฐานข้อมูลของ ICDD (หมายเลขการ์ด PDF 01-079-5604)ซึ่งยืนยันการเกิดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ นอกจากนี้ พีคมีความคมชัดและมีความเข้มสูง เป็นการบ่งชี้ว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีความเป็นผลึกสูง ตรงกับผลลัพธ์กับงานวิจัย Aminuzzaman et al. (2018) [8] และ Jaithon et al. (2022) [10]

รูปที่ 4 (ข) แสดงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของการเกิดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารสกัดเปลือกมังคุด พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดเปลือกมังคุด โดยใช้ตัวทำละลาย น้ำกลั่น และเอทานอล พบ พีคสเปกตรัมในช่วง 700-600 cm^{-1} และในช่วง 1570 cm^{-1} แสดงถึงการเกิดขึ้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zn-O) พบพีคกว้างในช่วง 3389 cm^{-1} และพีคช่วง 2161 cm^{-1} , 2050 cm^{-1} และ ช่วง 1980 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นแบบยืดตัวของหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ต่อมา พบพีคการดูดกลืนแสงในช่วง 1119 cm^{-1} บ่งชี้การเกิดการสั่นแบบยืดตัวของหมู่คาร์บอนิล (C-O) และ พีคที่ 1346 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นแบบยืดตัวของ C-O-C โดยพันธะที่เกิดขึ้นทั้งหมด เกิดจากสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สารประกอบฟีนอลิก หรือ ฟลาโวนอยด์ ที่อยู่ในเปลือกมังคุด ตรงกับผลลัพธ์กับงานวิจัย Aminuzzaman et al. [8] และ Jaithon et al. [10]



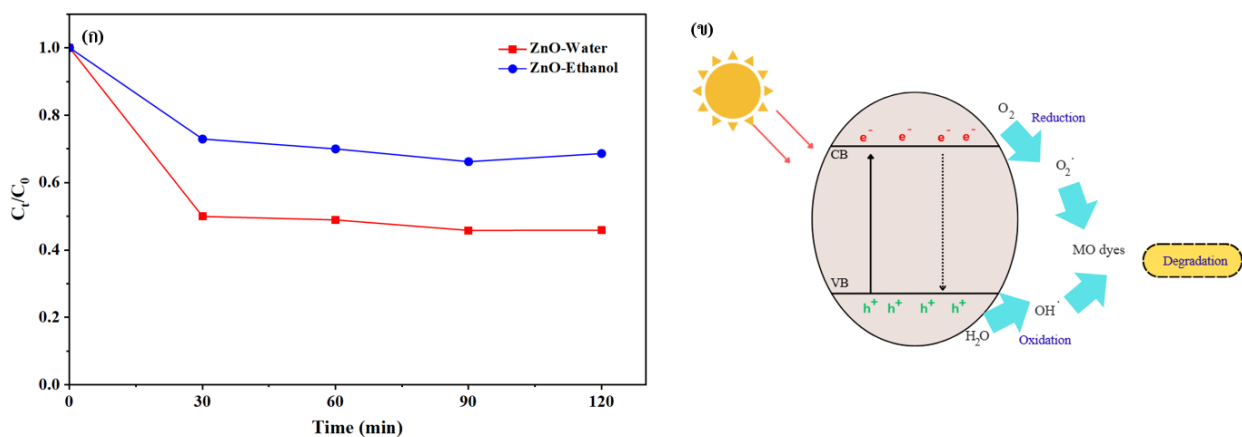
รูปที่ 4 (ก) โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD (ข) หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR (ค) ความสามารถในการดูดกลืนแสงช่วงรังสี UV-Visible (ง) ค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Energy bandgap) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิค XRD ในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน น้ำกลั่น และ เอทานอล

การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการดูดกลืนแสงช่วงรังสี UV-Visible และ ค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Energy bandgap) ดังแสดงรูปที่ 4 (ค) และ (ง) เพื่อศึกษาคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สกัดจากเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน พบว่าค่าดูดกลืนแสงสูงสุดของ อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 350 – 450 นาโนเมตร และค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 350 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aminuzzaman et al. [8] และ Jaithon et al. [10] รายงานว่าค่าดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะอยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วงความยาวคลื่น 300 – 400 นาโนเมตร โดยจากการทดสอบการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวีใกล้เคียงกัน โดยค่าช่องว่างแถบพลังงาน (ภาพ B) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับ 3.0

โดยจากรายงานวิจัย Jaithon et al. [10] รายงานว่า ค่าช่องว่างแถบพลังงานของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางชีวภาพจะอยู่ในช่วง 2.79-3.00 eV ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกิจกรรมปฏิกิริยาเร่งทางแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สูง เกิดจากระยะเวลาของอิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นและนำไปสู่การย่อยสลายมลพิษได้ขึ้น [10]

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ผ่านปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากสารสกัดเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายที่ต่างกัน คือ น้ำกลั่น และ เอทานอล โดยการนำเอาไปไว้ที่มีดภายใต้แสงยูวีเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาและเข้าสู่จุดสมดุล หลังจากนั้น เก็บตัวอย่าง นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer เป็นระยะเวลา 120 นาที ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 (ก) ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ในตัวทำละลายที่ต่างกัน น้ำกลั่น และเอทานอล (ข) กลไกการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ด้วยปฏิกิริยาเร่งทางแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

จากสเปกตรัมค่าดูดกลืนแสงของสีย้อมเมทิลออเรนจ์ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ เอทานอล พบว่า ภายในระยะเวลา 120 นาที พบว่า ในตัวทำละลายน้ำกลั่นและเอทานอล เมื่อเวลาผ่านไป 90 นาที ประสิทธิภาพการย่อยสลายของสีย้อมเมทิลออเรนจ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดย ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ได้มากถึง เป็นร้อยละ 58 และ 37 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกัน ที่ระยะเวลา 120 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยสลายไม่มี

ความแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากความเข้มข้นของสีย้อมนั้นมีมากกว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายลดลงในตอนหลัง

แต่อย่างไรก็ตาม จากกราฟสเปกตรัมค่าดูดกลืนแสง ดังรูปที่ 5 (ก) แสดงให้เห็นว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ได้จริง ซึ่งสามารถอธิบายกลไกการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ผ่านปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ได้ดังรูปที่ 5 (ข) โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 : เมื่ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ได้รับพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานโฟตอน อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์จะถูกกระตุ้นขึ้นไปยังแถบการนำไฟฟ้าและทิ้งหลุมว่างโปรตอนไว้ที่แถบวาเลนซ์ จากนั้น จะเกิดกระบวนการรีดักชันและออกซิเดชันที่แถบการนำไฟฟ้าและแถบวาเลนซ์จนได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลไฮดรอกซิล จนเข้าสู่กระบวนการขั้นสุดท้าย คือ อนุมูลไฮดรอกซิลเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง จะทำปฏิกิริยากับสารมลพิษหรือสีย้อม เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีให้มีความเป็นพิษน้อยลง [11,12]

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ ได้มีการพัฒนาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ โดยใช้เปลือกมังคุดเป็นวัตถุดิบตั้งต้น โดยใช้ตัวทำละลายจากน้ำกลั่นและเอทานอล โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และต้นทุนต่ำ

จากการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากสารสกัดเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายทั้งสองชนิด พบว่า ขนาดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์อยู่ในระดับนาโนเมตร รูปร่างเป็นทรงกลม มีการเกาะกลุ่มกันโดยเฉลี่ยประมาณ 76.4 และ 69.78 นาโนเมตร สำหรับตัวทำละลายน้ำกลั่นและเอทานอลตามลำดับ นอกจากนี้ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้ มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal Wurtzite

จากการหาค่าประกอบของธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และกราฟแสดงความเป็นผลึกที่มีความคมแหลม ทั้งนี้ พบพิคการเกิดการสั่นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ แสดงให้เห็นว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้นั้นค่อนข้างบริสุทธิ์ ซึ่งยืนยันได้ด้วยเทคนิค XRD และ FTIR แต่อย่างไรก็ตาม ยังพบพิคการปนเปื้อนของชนิดอื่นๆ อาทิเช่น โพแทสเซียม คาร์บอน ซึ่งอาจมาจากสารที่อยู่ในเปลือกมังคุด หรือ เกิดการตกค้างของธาตุอื่นๆที่ไม่สามารถกำจัดออกไปได้ แต่เมื่อนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจสอบคุณสมบัติทางแสง พบว่า พบพิคค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 350 นาโนเมตร โดยมีค่าช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 3.00 eV สำหรับตัวทำละลายทั้งสอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นรังสียูวี (200-400 นาโนเมตร) นำไปสู่ประสิทธิภาพในการย่อยสลายมลพิษสูง

ดังนั้น การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดจากเปลือกมังคุดมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารมลพิษหรือสีย้อมได้ เนื่องจาก ในเปลือกมังคุดมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ เช่น แอนโทไซยานิน แทนนิน ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ [9] มีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีเป็นหมู่กรดคาร์บอกซิลิกหรือไฮดรอกซิล ซึ่งยืนยันได้ด้วยเทคนิค FTIR โดยหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์และสารเคลือบผิว ช่วยควบคุมขนาดของอนุภาคนาโนให้มีความเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน. (พฤษภาคม 2568). คู่มือปฏิบัติงาน โครงการสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือใช้การเกษตร. กรมพัฒนาที่ดิน. https://orgweb.ddd.go.th/sources/img/part_document/FILES_9905_6853ba6fb3abf.pdf
- [2] Villegas-Fuentes, A., Garrafa-Gálvez, H. E., Quevedo-Robles, R. V., Luque-Morales, M., Vilchis-Nestor, A. R., & Luque, P. A. (2023). Synthesis of semiconductor ZnO nanoparticles using Citrus microcarpa extract and the influence of concentration on their optical properties. *Journal of Molecular Structure*,

- [3] Jayachandran, A., T.R, A., & Nair, A. S. (2021). Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using Cayratia pedata leaf extract. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 26, 100995. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2021.100995>
- [4] Paradva K. C., Jangir R., & Kalla S. (2023). Green nanomaterials: Synthesis and applications in wastewater treatment. *Inorganic Chemistry Communications*, 158(2), 111584. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111584>
- [5] Rathod S., Preetam S., Pandey C., & Bera S. P. (2024). Exploring synthesis and applications of green nanoparticles and the role of nanotechnology in wastewater treatment. *Biotechnology Reports*, (41), e00830. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2024.e00830>
- [6] Rafique, M., Sohaib, M., Tahir, R., Tahir, M. B., Khalid, N. R., Shakil, M., Gillani, S. S. A., Khan, M. I., Alrobei, H., Shahzad, K., Ali, A. M., & Muhammad, S. (2021). Novel, facile and first time synthesis of zinc oxide nanoparticles using leaves extract of Citrus reticulata for photocatalytic and antibacterial activity. *Optik*, 243, 167495. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2021.167495>
- [7] Mirgane, N. A., Shivankar, V. S., Kotwal, S. B., Wadhawa, G. C., & Sonawale, M. C. (2021). Waste pericarp of ananas comosus in green synthesis zinc oxide nanoparticles and their application in waste water treatment. *Materials Today: Proceedings*, 37, 886-889. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.045>
- [8] Aminuzzaman, M., Ying, L.P., Goh, W-S., & Watanabe, A. (2018). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using aqueous extract of Garcinia mangostana fruit pericarp and their photocatalytic activity. *Bull Mater Sci*, 41(50) <https://doi.org/10.1007/s12034-018-1568-4>
- [9] Jaithon, T., Atichakaro, T., Phonphoem, W., T-Thienprasert, J., Sreewongchai, T., & T-Thienprasert, N. P. (2024). Effects of Waste-Derived ZnO Nanoparticles against Growth of Plant Pathogenic Bacteria and Epidermoid Carcinoma Cells. *Crystals*, 12(6), 779. <https://doi.org/10.3390/cryst12060779>
- [10] Jaithon, T., Atichakaro, T., Phonphoem, W., T-Thienprasert, J., Sreewongchai, T., & T-Thienprasert, N. P. (2024). Potential usage of biosynthesized zinc oxide nanoparticles from mangosteen peel ethanol extract to inhibit Xanthomonas oryzae and promote rice growth. *Heliyon*, 10(1), e24076. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24076>
- [11] Bhapkar, A. R., & Bhamre, S. (2024). A review on ZnO and its modifications for photocatalytic degradation of prominent textile effluents: Synthesis, mechanisms, and future directions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112553. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112553>
- [12] Sun, Y., Zhang, W., Li, Q., Liu, H., & Wang, X. (2023). Preparations and applications of zinc oxide based photocatalytic materials. *Advanced Sensor and Energy Materials*, 2(3), 100069. <https://doi.org/10.1016/j.asems.2023.100069>