โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ออกไซด์ของโลหะบนตัวรองรับเซลลูโลสเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงในการสลายสีย้อม

Metal oxide supported on cellulose as photocatalyst for dye degradation

ชื่อนิสิต นายชัยภัทร บุศราทิจ เลขประจำตัว 5833020123

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2561

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

ออกไซด์ของโลหะบนตัวรองรับเซลลูโลสเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกริยาเชิงแสงในการสลายสีย้อม

Metal oxide supported on cellulose as photocatalyst for dye degradation

โดย

นายชัยภัทร บุศราทิจ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

โครงการ ออกไซด์ของโลหะบนตัวรองรับเซลลูโลสเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงในการสลายสีย้อม

Metal oxide supported on cellulose as photocatalyst for dye degradation

โดย นายชัยภัทร บุศราทิจ

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวรรณ พันธุมนาวิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิปกา สุขภิรมย์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ ไพบูลย์วรชาติ)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

..... หัวหน้าภาควิชาเคมี

(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย พาราสุข)

วันที่ 14 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562

ชื่อโครงการ ออกไซด์ของโลหะบนตัวรองรับเซลลูโลสเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงในการสลายสีย้อม

ชื่อนิสิตในโครงการ นายชัยภัทร บุศราทิจ เลขประจำตัว 5833020123

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิปกา สุขภิรมย์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหาน้ำเน่าเสียเป็นปัญหาส่งผลกระทบกับชาวบ้านที่อยู่ใกล้เคียงแหล่งน้ำ สีย้อมก็เป็นหนึ่งในสารเคมีที่ปนเปื้อนตามแหล่งน้ำ หนึ่งในวิธีในการกำจัดสีย้อมคือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงในการย่อยสลาย โดยนิยมใช้ ZnO และ TiO_2 ในงานนี้ผู้วิจัยสนใจที่ตรึงโลหะออกไซด์เหล่านี้บนตัวรองรับจากธรรมชาติ เพื่อช่วยในการกระจายอนุภาคของโลหะออกไซด์ เป็นการลดปริมาณการใช้โลหะออกไซด์ และเส้นใยเซลลูโลสจะช่วยให้การกรองตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่เกิดขึ้นได้ง่าย โดยตัวรองรับที่ใช้ในงานนี้เป็นเซลลูโลสจากผักตบชวา ที่สามารถหาได้ง่าย โดยเริ่มจากการสกัดเซลลูโลสจากผักตบชวา แล้วนำเซลลูโลสที่ได้มาเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง คือ ZnO แล้วนำไปตรวจสอบลักษณะเฉพาะด้วยเทคนิค XRD และ SEM แล้วนำไปทดสอบการสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในน้ำ จากผล XRD และ SEM สามารถสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ZnO ที่ติดบนเซลลูโลสและมีการกระจายอนุภาคอย่างสม่ำเสมอ แต่ประสิทธิภาพด้านการสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในน้ำต่ำลง

คำสำคัญ: ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง, ซิงค์ออกไซด์, ตัวรองรับเซลลูโลส

Project Title Metal oxide supported on cellulose as photocatalyst for dye degradation

Student Name Chaiyaphat Busaratij Student ID 5833020123

Advisor Name Assistant Professor Dr. Nipaka Sukpirom

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic year 2018

Abstract

Water pollution becomes a problem to people who lived nearby a river. Dyes is one group of chemicals that generally contaminates in water. One of the method of dyes removal is using photocatalysts such as ZnO or TiO_2 to degrade dyes. In this research, the researcher is interested in immobilizing these metal oxides on a natural supporter. The supporter could assist the particle distribution and reduce the amount of metal oxides used for photocatalyst. The supporter used in this research is cellulose from water hyacinth that is easily found. The process started from extracting cellulose from water hyacinth. Then the obtained cellulose was embed with ZnO. The ZnO immobilized on cellulose was then characterized by XRD and SEM techniques and and the methyl orange degradation reaction was tested. The results from XRD and SEM techniques Indicated that ZnO was attached on cellulose with homogeneous distribution, but the photocatalytic activity is lower.

Keywords: Photocatalyst, ZnO, Cellulose supporter

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยจากความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิปกา สุขภิรมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนโครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบคุณอย่างสุดซึ้ง

ขอกราบขอบคุณ Hoang Le Thuy Thuy Trang ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในห้องแลปเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพ่อแม่ ที่คอยให้กำลังใจดีๆเสมอมา

ขอขอบคุณนายชัยพร บุศราทิจ ที่คอยช่วยเหลือในยามที่ท้อหรือหมดกำลังใจ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่แนะนำช่วยเตือนเรื่องต่างๆ จนทำให้โครงการสำเร็จไปด้วยดี

นายชัยภัทร บุศราทิจ

ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฌ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	2
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
บทที่ 2 การทดลอง	5
2.1 รายการเครื่องมือ อุปกรณ์	5
2.2 รายการสารเคมี	6
2.3 วิธีการทดลอง	6
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	10
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	22
เอกสารอ้างอิง	23
ภาคผนวก ก	24

หน้า

ภาคผนวก ข 26

ประวัติผู้วิจัย 28

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของผักตบชวาที่ใช้ 24

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 ผักตบชวาที่ลอกเปลือก 10

รูปที่ 2 ผักตบชวาหลังกำจัดแว๊กซ์ 10

รูปที่ 3 ผักตบหลังฟอกขาว 11

รูปที่ 4 ผักตบหลังฟอกขาวที่อบให้แห้ง 11

รูปที่ 5 XRD pattern ของ ZnO-1 12

รูปที่ 6 XRD pattern ของ ZnO-2 13

รูปที่ 7 ZnOI-1 ที่อบให้แห้ง 15

รูปที่ 8 ZnOI-2 ที่อบให้แห้ง 15

รูปที่ 9 XRD pattern ของ ZnOI-1 16

รูปที่ 10 XRD pattern ของ ZnOI-2 17

รูปที่ 11 เซลลูโลสที่ถูกย่อยจนไม่เหลือลักษณะที่เป็นเกล็ด 18

รูปที่ 12 ZnOII ที่อบให้แห้ง 18

รูปที่ 13 XRD pattern ของ ZnOII 19

รูปที่ 14 ภาพ SEM ของ ZnOII 20

รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Absorbance กับเวลาที่ใช้ โดย ผลของการฉายแสงแสดงในนาทีที่ 60 เป็นต้นไป 21

รูปที่ 16 เซลลูโลสที่ได้จากการฟอกขาวครั้งแรก 25

หน้า

รูปที่ 17 เซลลูโลสที่ได้จากการฟอกขาวครั้งที่สอง 25

รูปที่ 18 ฐานข้อมูลของ ZnO (01-079-0208) 26

รูปที่ 19 ฐานข้อมูลของ ZnO (01-080-0075) 27

สัญลักษณ์และคำย่อ

ZnO-1	ซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จาก zinc acetate dihydrate
ZnO-2	ซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์คลอไรด์
ZnOI-1	ส่วนที่เป็นของแข็งสีขาวจากการทดลองสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์บนผิวเซลลูโลสชุดที่ 1
ZnOI-2	ส่วนที่เป็นเกล็ดๆจากการทดลองสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์บนผิวเซลลูโลสชุดที่ 2
ZnOII	ส่วนที่เป็นของแข็งสีขาวจากการทดลองสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์บนผิวเซลลูโลสชุดที่ 2

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีปัญหาน้ำเน่าเสียเกิดขึ้นบริเวณที่อยู่อาศัยของชาวบ้าน ทำให้ส่งผลเสียกับสุขภาพของชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น ไม่ว่าจะเป็นมลภาวะทางกลิ่น และความเสี่ยงจากโรคภัยต่างๆ ที่เกิดจากน้ำที่สกปรก[1] สีย้อมเป็นหนึ่งในสารเคมีที่มักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้น้ำร่วมในขั้นตอนผลิตทุกขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็น การผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อม ทำให้น้ำที่ปล่อยออกมาจากโรงงานมีสีย้อมปนเปื้อน[2] การกำจัดสีย้อมมีหลายวิธี ได้แก่ ใช้การตัวดูดซับทางกายภาพ ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธีการบำบัดด้วยการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง photocatalytic treatment กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อมีแสงไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่ผิวของออกไซด์ของโลหะ จะทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจาก แถบเวเลนซ์ไปยังแถบนำไฟฟ้าและเกิด hole ที่ผิวของออกไซด์ของโลหะ hole ที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำ และเกิดเป็นอนุมูลไฮดรอกซิล อนุมูลไฮดรอกที่เกิดขึ้นจะไปสลายสารประกอบอินทรีย์ในน้ำ[3] ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่มีความน่าสนใจคือไทเทเนียมไดออกไซด์[4] และซิงค์ออกไซด์[5] เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ในน้ำ[6] แต่การนำออกไซด์ของโลหะไปใช้ตรงๆ ทำให้การเก็บนำกลับมาซ้ำ ทำได้ค่อนข้างยาก ผู้วิจัยจึงสนใจ ที่จะทำตัวรองรับที่หาได้จากธรรมชาติ โดยทำจากเซลลูโลสของผักตบชวา ที่เป็นวัชพืชที่สร้างปัญหาให้กับแหล่งน้ำ เนื่องจากผักตบชวาสามารถแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว จนสามารถครอบคลุมเหนือผิวน้ำได้ทั้งหมด ส่งผลให้ก๊าซบนผิวน้ำไม่สามารถแลกเปลี่ยนกับอากาศได้และบังแสงที่ส่องลงในน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิ pH และระดับออกซิเจนในน้ำ[1] โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเป็นซิงค์ออกไซด์ หลังจากทำตัวรองรับและสังเคราะห์ออกไซด์ของโลหะแล้ว จะนำไปพิสูจน์ลักษณะเฉพาะของออกไซด์ของโลหะด้วย เทคนิคต่างๆ เช่น X-ray diffraction และ scanning electron microscope เป็นต้น แล้วนำตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่ติดอยู่บนตัวรองรับไปทดสอบประสิทธิภาพโดยการนำไปสลายสีย้อมบางชนิด เช่น เมทิลออเรนจ์ในน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของโครงการ

สังเคราะห์ออกไซด์ของโลหะบนตัวรองรับเซลลูโลสที่ได้จากผักตบชวา เพื่อนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงในการสลายสีย้อม

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากผักตบชวา
2. ศึกษาการสังเคราะห์ ZnO โดยใช้สารตั้งต้น เวลาที่ใช้สังเคราะห์ และอุณหภูมิที่แตกต่างกันในการสังเคราะห์
3. ศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่อยู่บนเซลลูโลสเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่ไม่มีตัวรองรับ

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการสกัดเซลลูโลสจากผักตบชวา มีงานวิจัยหนึ่งได้ทำการทดลองสกัดเซลลูโลสจากผักตบชวาเพื่อนำมาใช้ทำเป็นเมมเบรน เซลลูโลสที่แยกออกมาจะถูกนำไปสกัดต่อด้วยวิธีอะเซทิเลชั่น ได้เป็นเซลลูโลส-ไดอะซิเตท เมมเบรนทำจากเซลลูโลสไดอะซิเตทและเตรียมด้วยวิธีการแยกชั้น เมมเบรนที่ได้จะนำไปตรวจสอบลักษณะเฉพาะด้วยวิธี FTIR และ Flux and rejection ผลการวิจัยพบว่า มี %ผลผลิตสำหรับสังเคราะห์เซลลูโลสไดอะซิเตทจากผักตบชวาถึง 5.6% และทราบว่าประสิทธิภาพของเมมเบรนที่สังเคราะห์ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโพลิเมอร์จากเซลลูโลสและเวลาที่ใช้ระเหย ยิ่งความเข้มข้นของโพลิเมอร์จากเซลลูโลสมากและเวลาที่ใช้ในการระเหยมากขึ้น เมมเบรนจะมีความหนาแน่นมากขึ้นและได้เมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดเล็ก[1]

งานวิจัยหนึ่งใช้ตัวรองรับจากธรรมชาติ ทำการทดลองสังเคราะห์ organic-inorganic hybrid nanomaterial โดยใช้ชานอ้อยเป็นตัวรองรับ และใช้ TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจล จากนั้นนำไปตรวจสอบลักษณะเฉพาะด้วยเทคนิคต่างๆ และนำไปทดสอบการสลายสีของ

เมทิลออเรนจ์ ผลการวิจัยพบว่า ชานอ้อยที่เคลือบด้วยไทเทเนียมเจลสามารถสลายเมทิลออเรนจ์ได้ถึง 95% ในเวลา 5 ชั่วโมงภายใต้แสงขาว และการเป็น organic-inorganic hybrid ทำให้ TiO_2 สามารถดูดกลืนแสงขาวได้[6]

ในงานนี้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงนำมาตรึงบนผิวของตัวรองรับ โดยทำศึกษาการนำ ZnO และ TiO_2 ไปตรึงบนผิวของโพลิสไตรีน ด้วยวิธีการ solvent casting เพื่อนำไปทำปฏิกิริยาการสลายคาเฟอีนและพาราเซตามอล ในงานวิจัยนี้มีการศึกษาตัวแปรที่มีผลกับการเร่งปฏิกิริยาการสลายคาเฟอีนและพาราเซตามอลในน้ำ เพื่อหาภาวะที่ดีสุด เช่น ปริมาณของ ZnO ที่นำไปตรึงบนผิวของโพลิสไตรีน อัตราการไหลของอากาศ ความเข้มของแสงยูวีที่ใช้ และนำภาวะที่ดีสุดมารวมกันแล้วทดสอบประสิทธิภาพในการสลายคาเฟอีนและพาราเซตามอล ศึกษาความสามารถในการนำมาใช้ซ้ำ และศึกษาประสิทธินำมาใช้ในน้ำดื่ม ผลการวิจัยพบว่า ที่ภาวะที่ดีสุดสามารถกำจัดคาเฟอีนในน้ำดื่มได้ถึง 86 % ZnO ถูกตรึงบนผิวของโพลิสไตรีนสามารถนำไปใช้ซ้ำได้ ประสิทธิภาพในการสลายไม่ลดลง[3]

ในการสังเคราะห์ ZnO nanoparticles มีงานวิจัยหนึ่งใช้วิธีการ solvothermal ในการสังเคราะห์ รายงานนี้ได้นำเสนอถึงการสังเคราะห์ ZnO nanoparticles อย่างรวดเร็ว มีหลายรูปร่างและมีการกระจายตัวสูง โดยใช้ซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรต ($Zn(CH_3COO)_2\ 2H_2O$) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ใช้เอทานอลเป็น Precursor และเป็นตัวทำละลาย โดยสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 3 ชม. แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆได้แก่ X-ray diffraction (XRD), transmission electron microscope (TEM), Brunauer-Em-mett-Teller (BET), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy และ ultraviolet visible (UV-Vis) spectroscopy พบว่า ZnO nanoparticles ที่ได้มีโครงสร้างแบบ Wurtzite ขนาดผลึกประมาณ 10.08 nm มีขนาดอนุภาคประมาณ 7.4 ± 1.2 nm มีค่าการดูดกลืนแสง UV ที่ 357 nm ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของ ZnO nanoparticles โดยวิธีการดังกล่าวนั้นสามารถสังเคราะห์ได้ง่ายและใช้เวลาน้อยกว่าวิธีสังเคราะห์อื่นๆที่มีความซับซ้อน[7]

จากงานวิจัยที่ยกมาข้างต้น ผู้วิจัยได้รับแรงบันดาลใจจากงานวิจัยที่ใช้ ZnO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโดยมีตัวรองรับเป็นโพลิสไตรีน[3] แต่จะเปลี่ยนตัวรองรับจากโพลิสไตรีนเป็นตัวรองรับที่มาจากธรรมชาติ จากงานวิจัยที่ใช้ชานอ้อยเป็นตัวรองรับแสดงให้เห็นว่าตัวรองรับจากธรรมชาติสามารถช่วยเพิ่ม

ช่วงการดูดกลืนแสงให้กับออกไซด์ของโลหะได้[5] ผู้วิจัยได้สนใจนำเซลลูโลสจากผักตบชวาที่สามารถหาได้ง่ายและมีจำนวนมากตามแหล่งน้ำ มาทำเป็นตัวรองรับ หลังจากการสกัดเซลลูโลส[1] ผู้วิจัยจะสังเคราะห์ออกไซด์ของโลหะจะใช้วิธี solvothermal[7] ที่สามารถสังเคราะห์ ZnO ได้ง่าย และได้ ZnO ที่มีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวที่ดี แล้วนำมาสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงบนผิวของเซลลูโลส ก่อนนำไปทดสอบการสลายสีของเมทิลออเรนจ์

บทที่ 2

การทดลอง

2.1 รายการเครื่องมือ อุปกรณ์

2.1.1 อุปกรณ์จำเป็นในการสังเคราะห์

1. Hot plate
2. อ่างน้ำมัน
3. คอนเดนเซอร์
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. Stirrer

2.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการหาลักษณะเฉพาะ

1. Scanning electron microscopy (JEOL JSM-IT100)
2. X-ray diffractometer (D/MAX 2200)

2.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการสลายสีย้อม

1. ตู้ทดสอบ ประกอบด้วยหลอดยูวี 2 หลอด และหลอดไฟ 1 หลอด
2. UV-Visible spectrophotometer (Hewlett Packard 8453)
3. ไซริงค์ 5 mL
4. ที่กรองสารสำหรับไซริงค์ขนาดรูพรุน 0.45 μM

2.2 รายการสารเคมี

1. Toluene CARLO ERBA Reagents 99.8%
2. Ethanol Merck 100%
3. H_2O_2 30%
4. NaOH Merck 100%
5. KOH Scharlau 85%
6. Zinc acetate dehydrate Fluka 99%
7. Zinc chloride Ajax Finechem 95%
8. Methyl orange

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การสกัดเซลลูโลสจากผักตบชวา

1. ลอกเปลือกผักตบชวา

2. นำไปตากให้แห้งและตัดเยื่อให้เป็นชิ้นเล็กๆ

3. ชั่งผักตบชวาประมาณ 1 กรัมใส่ขวดก้นกลม

4. ผสม toluene 33 mL กับ ethanol 17 mL แล้วเติมใส่ขวดก้นกลม ให้ความร้อนที่ 80 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

5. ล้างผักตบชวาที่ได้ด้วย Ethanol แล้วฟอกขาวด้วย 5% NaOH 10 mL กับ 11% H_2O_2 10 mL ที่ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

6. กรองและฟอกขาวซ้ำอีกหนึ่งครั้ง

7. กรองเซลลูโลสที่ได้ แล้วอบให้แห้งที่ 120 °C

2.3.2 การหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ ZnO

1. การสังเคราะห์ ZnO โดยใช้ Zinc acetate dihydrate

1. ชั่ง Zinc acetate dihydrate 0.9174 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 25 mL แล้วคนที่ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที

2. ชั่ง NaOH 0.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 25 mL แล้วคนที่ 80 °C เป็นเวลา 20 นาที ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3. ค่อย ๆ เติม NaOH ที่เย็นลงทีละหยดลงใน Zinc acetate dihydrate จนหมด ผสมและคนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

4. นำไปใส่เครื่องปั่นเหวี่ยงหมุนด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วอบให้แห้ง สารที่ได้ใช้สัญลักษณ์แทนเป็น ZnO-1

2. การสังเคราะห์ ZnO โดยใช้ Zinc chloride

1. ชั่ง $ZnCl_2$ 1.48 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 63 mL คนและให้ความร้อนที่ 60 °C

2. ชั่ง KOH 0.74 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 33 mL ให้ความร้อนที่ 60 °C

3. ค่อย ๆเ ติม KOH ทีละหยดลงใน $ZnCl_2$ จนหมด คนและให้ความร้อนที่ 60 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4. นำไปใส่เครื่องปั่นเหวี่ยงหมุนด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วอบให้แห้ง สารที่ได้ใช้สัญลักษณ์แทนเป็น ZnO-2

2.3.3 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงออกไซด์ของโลหะบนเซลลูโลสที่ได้จากผักตบชวา

1. ซิงค์ออกไซด์แบ่งการสังเคราะห์เป็น 2 ชุด

ชุดที่ 1

1. ชั่ง $ZnCl_2$ 1.48 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 63 mL เติมเซลลูโลส 0.5 กรัมลงในสารละลาย คนและให้ความร้อนที่ 60 ℃ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. ชั่ง KOH 0.74 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 33 mL ให้ความร้อนที่ 60 ℃
3. ค่อยๆเติม KOH ทีละหยดลงใน $ZnCl_2$ ที่มีเซลลูโลสอยู่จนหมด คนและให้ความร้อนที่ 60 ℃ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. นำเซลลูโลสที่ได้ใส่เครื่องปั่นเหวี่ยงหมุนด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วอบให้แห้ง สารที่ได้จะใช้สัญลักษณ์แทนเป็น ZnOI-1 และ ZnOI-2

ชุดที่ 2

1. ชั่ง $ZnCl_2$ 1.48 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 63 mL ให้ความร้อนที่ 60 ℃
2. ชั่ง KOH 0.74 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 33 mL เติมเซลลูโลส 0.5 กรัมลงในสารละลาย คนและให้ความร้อนที่ 60 ℃ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. ค่อยๆเติม $ZnCl_2$ ที่ละหยดลงใน KOH ที่มีเซลลูโลสอยู่จนหมด คนและให้ความร้อนที่ 60 ℃ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. นำเซลลูโลสที่ได้ใส่เครื่องปั่นหวี่ยงหมุนด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วอบให้แห้ง สารที่ได้จะใช้สัญลักษณ์แทนที่เป็น ZnOII

2.3.4 วิเคราะห์สารที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค XRD และ SEM

2.3.5 การทดสอบปฏิกิริยาการสลายตัวของเมทิลออเรนจ์เบื้องต้น

1. นำตัวรองรับที่มีตัวเร่งปฏิริยา 0.040 กรัม และ ZnO ใส่ในสารละลายเมทิลออเรนจ์ความเข้มข้น 5 ppm 50 mL ก่อนทำเริ่มการทดลองเก็บไว้ในที่มืดและคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2. นำไปทดสอบในตู้ทดลองที่มีหลอดยูวี คนเป็นเวลา 180 นาทีแล้วเก็บสารละลายไว้วัดค่าการดูดกลืน หลังจากนั้นคนต่อเป็นเวลา 360 นาที แต่เก็บสารละลายไว้วัดค่าการดูดกลืนทุก 60 นาทีแทน

บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การสกัดเซลลูโลสจากผักตบชวา

ในการสกัดเซลลูโลสจากผักตบชวา เมื่อนำผักตบชวาไปล้าง ลอกเปลือก ตากให้แห้ง และตัดให้เล็กลงแล้ว ดังรูปที่ 1 จึงนำไปกำจัดแว๊กซ์และล้างด้วย Ethanol จะได้ผักตบชวามีที่มีสีเหลืองอ่อนปนสีน้ำตาล เมื่ออบให้แห้งดังรูปที่ 2 จะได้ผลผลิตหลังการกำจัดแว๊กซ์ที่ 92.18% แล้วนำไปทำการฟอกขาวต่อจะได้ของแข็งที่มีสีขาวและมีขนาดเล็กลงดังรูปที่ 3 หลังจากนำไปอบจะได้ของแข็งสีเหลืองอ่อนดังรูปที่ 4 และได้ผลผลิตหลังการฟอกขาวที่ 56.70% (การคำนวณหา%ผลผลิต สามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก)

รูปที่ 1 ผักตบชวาที่ลอกเปลือก

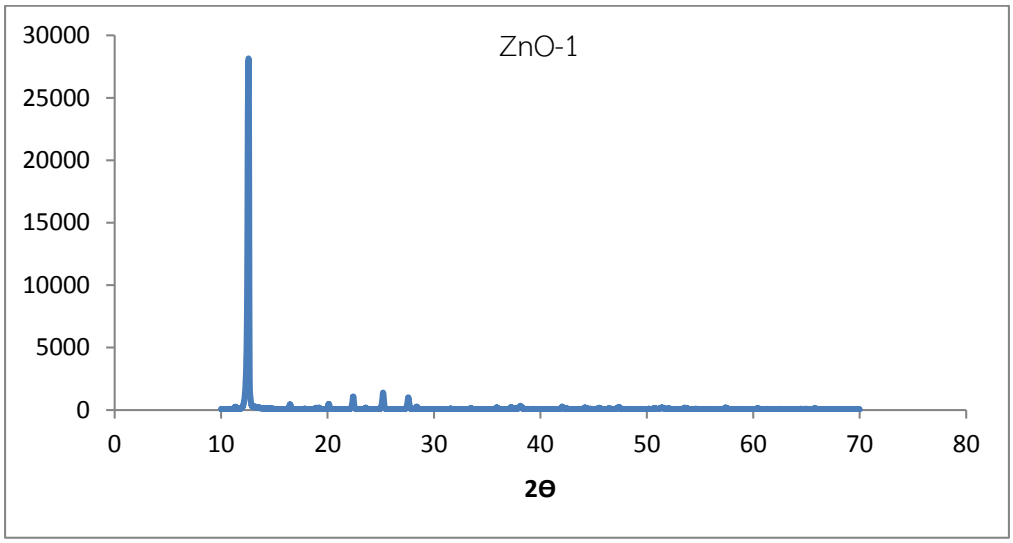
รูปที่ 2 ผักตบชวาหลังกำจัดแว๊กซ์

รูปที่ 3 ผักตบชวาหลังฟอกขาว

รูปที่ 4 ผักตบชวาหลังฟอกขาวที่อบให้แห้ง

ตอนที่ 2 การหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ ZnO

สังเคราะห์ ZnO เดี่ยว เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO ที่อยู่บนผิวของเซลลูโลสจากผักตบชวา และใช้เป็นแนวทางในการหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ ZnO ก่อนนำไปตรึงบนผิวเซลลูโลส



รูปที่ 5 XRD pattern ของ ZnO-1

จาก XRD pattern ของ ZnO-1 ดังรูปที่ 5 ที่สังเคราะห์ได้จากการใช้สารตั้งต้นเป็น zinc acetate dihydrate จะเห็นว่าพีคทั้งหมดของ ZnO-1 ที่สังเคราะห์ได้ ไม่ตรงกับพีคของ ZnO เทียบกับ ZnO (01-073-8589) แต่ตรงกับพีคของ zinc acetate dihydrate โดยเทียบกับ zinc acetate dihydrate (00-033-1464) พีคที่ 2Θ ประมาณ 12 องศา 20 องศา 22 องศา 25 องศา และ 28 องศา ตรงกับพีคของ zinc acetate dihydrate แสดงว่า ZnO-1 ที่สังเคราะห์ได้ไม่ใช่ ZnO แต่กลับได้สารตั้งต้นคืนมา คาดว่าเกิดจาก zinc acetate dihydrate มีแอซิเตตไอออนที่แย่งจับน้ำในขั้นตอนไฮโดรไลซิส ดังสมการหน้าถัดไป ดังนั้นจึงได้ลองเปลี่ยนสารตั้งต้นเป็น zinc chloride

สมการเคมีแสดงการละลาย

$Zn(CH_3COO)_2.2H_2O + 4H_2O \rightarrow [Zn(OH_2)_6]^{2+}(aq) + 2CH_3COO^-$

สมการเคมีแสดงการไฮโดรไลซิส

$[Zn(OH_2)_6]^{2+}(aq) + OH^- \rightarrow [Zn(OH_2)_5OH]^+ + H_2O$

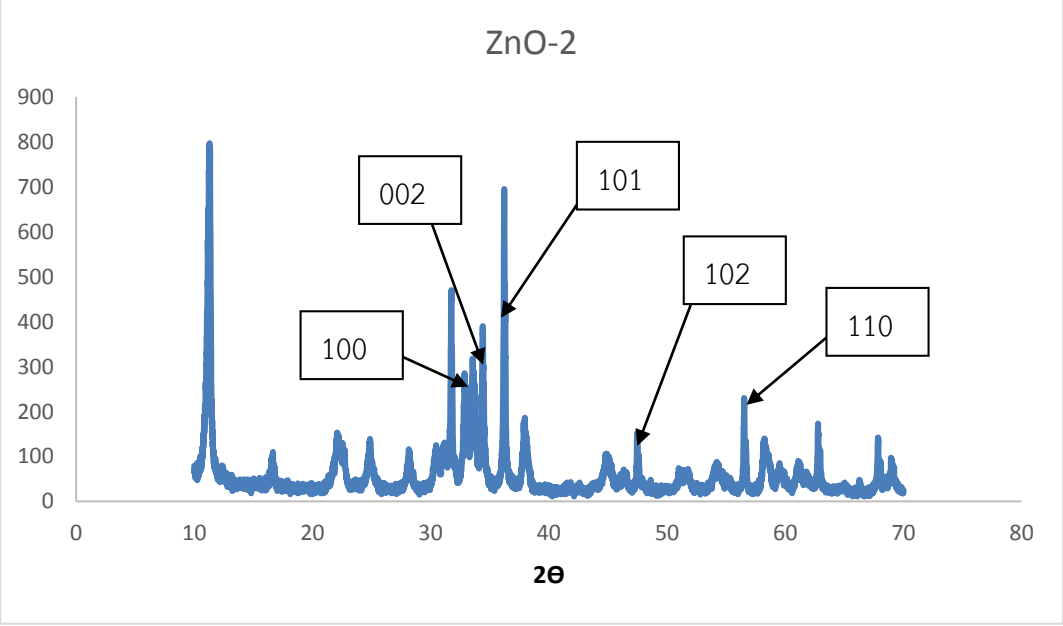
สมการเคมีแสดงการคอนเดนเซชัน

$2[Zn(OH_2)_5OH]^- \rightarrow [(H_2O)_5Zn\text{-}O\text{-}Zn(OH_2)_5]^{2-} + H_2O$

สมการเคมีแสดงการตกตะกอนกลับ

$[Zn(OH_2)_6]^{2+}(aq) + CH_3COO^- \rightarrow [Zn(OH_2)_5OOCH_3]^+ + H_2O$

$[Zn(OH_2)_5OOCH_3]^+ + CH_3COO^- \rightarrow Zn(CH3COO)_2.2H_2O + 3H_2O$



รูปที่ 6 XRD pattern ของ ZnO-2

จาก XRD pattern ของ ZnO-2 ดังรูปที่ 6 ที่สังเคราะห์ได้จากการใช้สารตั้งต้นเป็น $ZnCl_2$ จะเห็นว่าจะมีพีคที่ 2Θ ประมาณ 31 องศา 34 องศา 36 องศา 48 องศา และ 56 องศาเป็นพีค (100) (002) (101) (102) และ (110) ของ ZnO ตามลำดับ โดยเทียบกับ ZnO (01-080-0075) และยังเห็นพีคที่ 2Θ อื่นอีก แสดงว่าสารที่ได้จากการสังเคราะห์นี่น่าจะเป็น ZnO ที่มีอย่างอื่นปนเปื้อนอยู่ ZnO ที่สังเคราะห์ได้แล้วเอาไปตรวจสอบด้วยเทคนิค XRD ในครั้งแรก เป็น ZnO ที่ได้แล้วนำไปอบเลย ไม่ได้นำตะกอนไปล้างก่อน ทำให้มีอย่างอื่นปนเปื้อนติดมาด้วย

เนื่องจากการสังเคราะห์ ZnO สามารถทำได้จากสารละลาย $ZnCl_2$ จึงเลือกใช้วิธีนี้ในการเตรียม ZnO บนเซลลูโลสต่อไป

ตอนที่ 3 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงออกไซด์ของโลหะบนเซลลูโลสที่ได้จากผักตบชวา

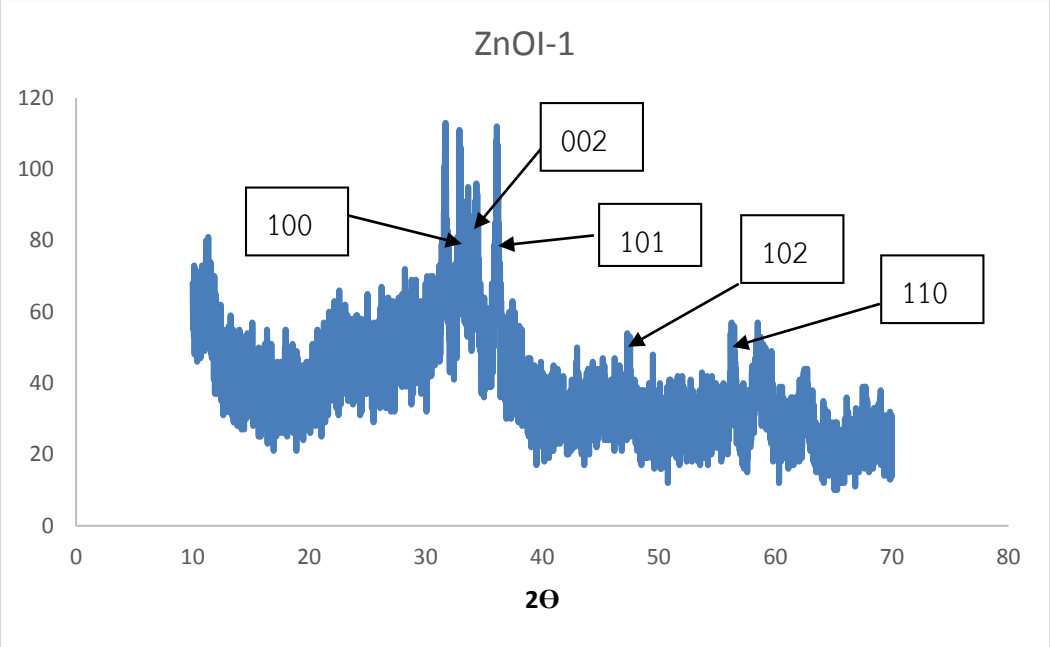
หลังจากหาภาวะที่เหมาะสำหรับการสังเคราะห์ ZnO แล้ว ผู้ทดลองได้นำภาวะที่เหมาะสมมาทดลองสังเคราะห์ ZnO บนผิวของเซลลูโลส

สังเคราะห์ ZnO บนผิวของเซลลูโลส โดยการตกตะกอน ZnO จากสารละลาย $ZnCl_2$ ด้วยเบส ในขณะที่มีเซลลูโลสที่ได้จากตอนที่ 1 โดยมีตัวแปรคือลำดับการใส่เซลลูโลสในสารละลาย

การทดลองสังเคราะห์ ZnO บนผิวของเซลลูโลสชุดที่ 1 สามารถแบ่งสารที่สังเคราะห์ได้เป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นส่วนที่เป็นของแข็งสีขาว ดังรูปที่ 7 สารที่ได้ใช้สัญลักษณ์แทนเป็น ZnOI-1 ส่วนที่สองจะเป็นส่วนที่มีลักษณะเป็นเกล็ด ๆ คล้าย ๆ กับเซลลูโลสที่ได้จากตอนที่ 1 ดังรูปที่ 8 สารที่ได้ใช้สัญลักษณ์แทน เป็น ZnOI-2 แล้วนำสารทั้งสองมาตรวจสอบด้วยเทคนิค XRD

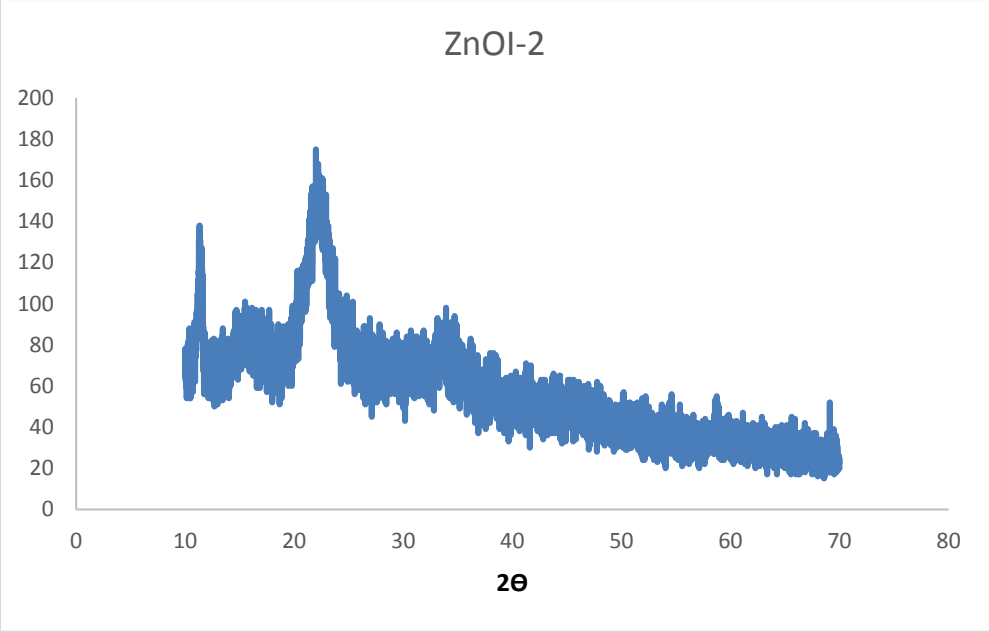
รูปที่ 7 ZnOl-1 ที่อบให้แห้ง

รูปที่ 8 ZnOl-2 ที่อบให้แห้ง



รูปที่ 9 XRD pattern ของ ZnOI-1

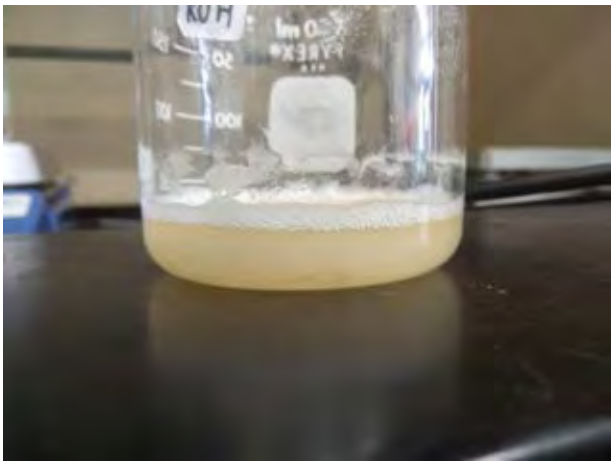
XRD pattern ของ ZnOI-1 ดังรูปที่ 9 เป็นของแข็งที่ได้จากการผสมสารละลาย $ZnCl_2$ กับเซลลูโลสก่อนหยดสารละลาย KOH เมื่อเทียบกับข้อมูลของ ICDD ของ ZnO (01-079-0208) จะเห็นว่าจะมีพีคที่ 2Θ ประมาณ 31 องศา 34 องศา 36 องศา 48 องศา และ56 องศา เป็นพีค (100) (002) (101) (102) และ (110) ของ ZnO ตามลำดับและยังเห็นพีคที่ 2Θ อื่นอีกในปริมาณน้อย แสดงว่าสารที่ได้จากการสังเคราะห์นี้น่าจะมีส่วนที่เป็น ZnO อยู่ที่มีที่มีอย่างอื่นปนเปื้อนอยู่ นอกจากนี้พีคของ ZnO มีฐานกว้างแสดงว่า ZnO ที่ได้มีขนาดผลึกเล็กมาก



รูปที่ 10 XRD pattern ของ ZnOI-2

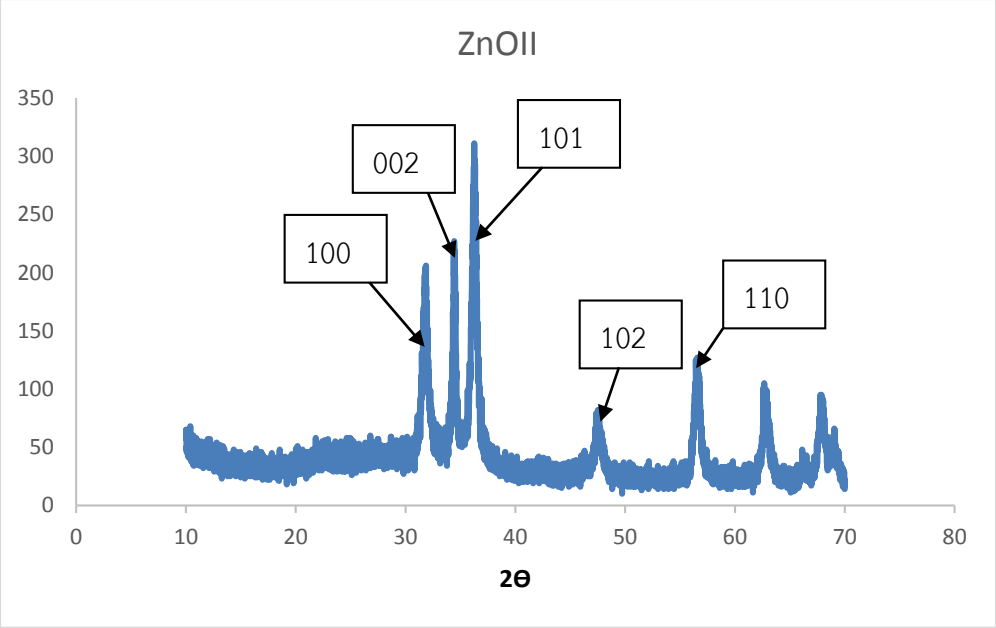
XRD pattern ของ ZnOI-2 ดังรูปที่ 10 เป็นเกล็ดที่ได้จากการผสมสารละลาย $ZnCl_2$ กับเซลลูโลสก่อนหยดสารละลาย KOH จะเห็นว่าไม่มีพีคที่ 2Θ ใดๆ ที่ตรงกับพีคของ ZnO แสดงว่าเซลลูโลสที่ได้นี้ไม่มี ZnO ติดอยู่บนผิว

การทดลองสังเคราะห์ ZnO บนผิวของเซลลูโลสชุดที่ 2 สารที่ได้ใช้สัญลักษณ์แทนเป็น ZnOII หลังจากนำเซลลูโลสไปใส่ในสารละลาย KOH แล้วคนจนครบ 2 ชั่วโมง เบสจะไปย่อยเซลลูโลสทำให้เซลลูโลสมีขนาดเล็กลงจนไม่เหลือสภาพที่เป็นเกล็ดๆเหมือนเซลลูโลสที่ได้จากตอนที่ 1 ดังรูปที่ 11 หลังจากเติมสารละลาย $ZnCl_2$ จนหมด สารที่ได้จากการสังเคราะห์มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ดังรูปที่ 12



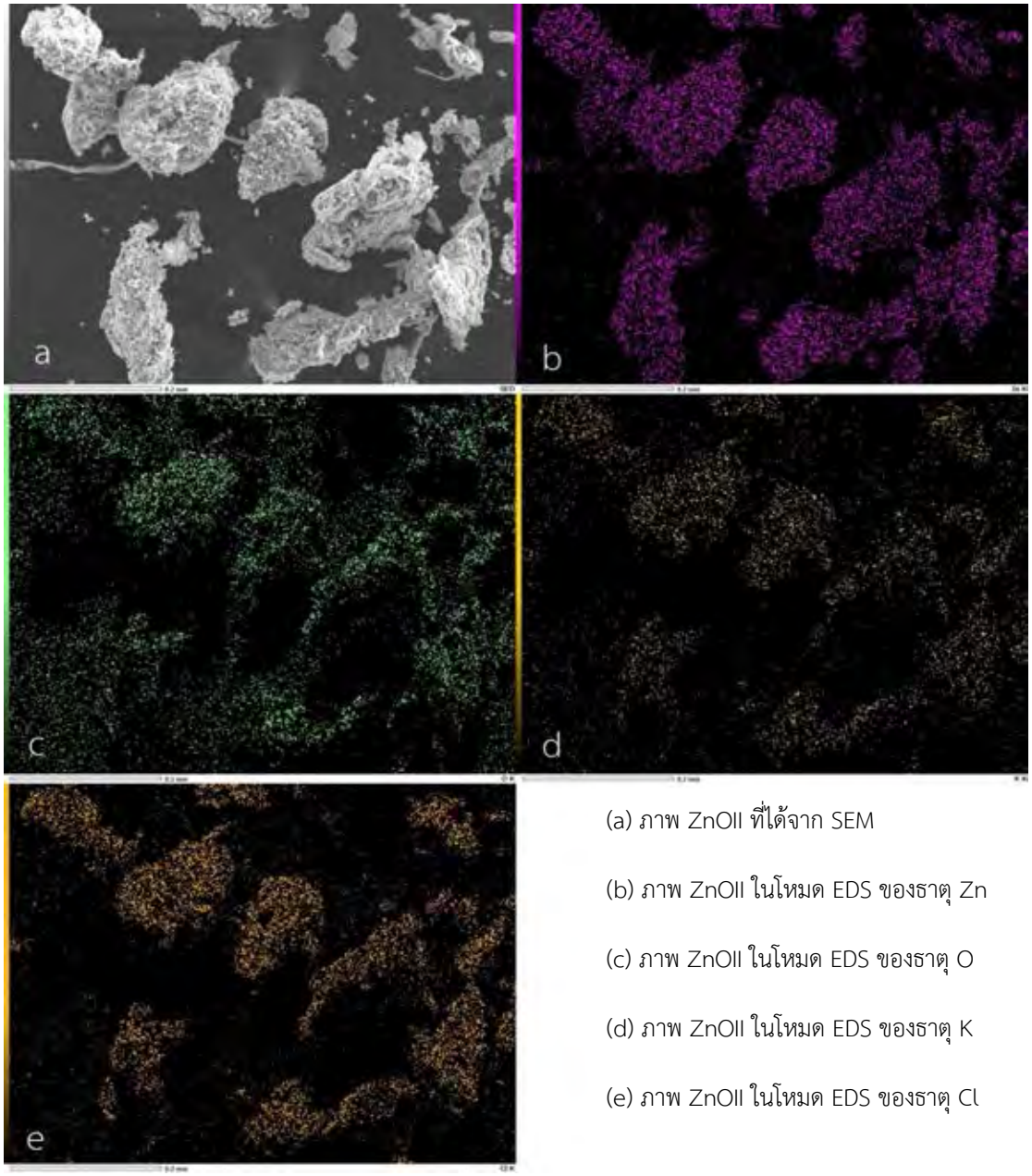
รูปที่ 11 เซลลูโลสที่ถูกย่อยจนไม่เหลือลักษณะที่เป็นเกล็ด

รูปที่ 12 ZnOII ที่อบให้แห้ง



รูปที่ 13 XRD pattern ของ ZnOII

XRD pattern ของ ZnOII ดังรูปที่ 13 ที่ได้จากการผสมสารละลาย KOH กับเซลลูโลสก่อนหยดสารละลาย KOH เมื่อเทียบกับข้อมูลของ ICDD ของ ZnO (01-080-0075) จะเห็นว่าจะมีพีคที่ 2Θ ประมาณ 31 องศา 34 องศา 36 องศา 48 องศา และ 56 องศา เป็นพีค (100) (002) (101) (102) และ (110) ของ ZnO ตามลำดับ โดยไม่มีพีคของสารปนเปื้อนใดๆ แสดงว่าสารที่ได้จากการสังเคราะห์นี้มี ZnO เป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้พีคของ ZnO ที่มีความแหลมชัดขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีขนาดผลึกที่ใหญ่กว่า ZnO ใน ZnOl-1 จึงนำ ZnOII ไปตรวจสอบการกระจายตัวของ ZnO ในเซลลูโลสต่อด้วยเทคนิค SEM



(a) ภาพ ZnOII ที่ได้จาก SEM

(b) ภาพ ZnOII ในโหมด EDS ของธาตุ Zn

(c) ภาพ ZnOII ในโหมด EDS ของธาตุ O

(d) ภาพ ZnOII ในโหมด EDS ของธาตุ K

(e) ภาพ ZnOII ในโหมด EDS ของธาตุ Cl

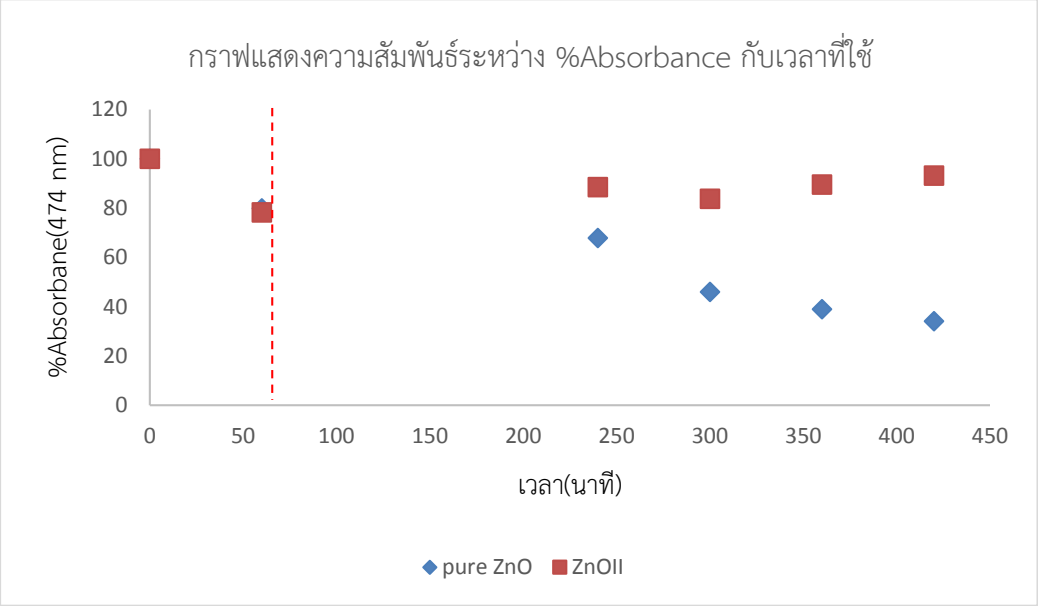
รูปที่ 14 ภาพ SEM ของ ZnOII

จากภาพ SEM ดังรูปที่ 15 ภาพ (a) แสดงว่าลักษณะของเซลลูโลสหลังจากขั้นตอนการสังเคราะห์ ZnO จะมีลักษณะเป็นเส้นๆ และมี ZnO กระจายตัวอยู่บนผิวของเซลลูโลส ภาพ (b) และภาพ c เป็นภาพของ ZnOII ใน EDS ของธาตุ Zn และ O ตามลำดับ สามารถบอกได้ว่า ZnO ที่สังเคราะห์ได้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนผิวเซลลูโลส ส่วนภาพ (d) และภาพ (e) เป็นภาพของ ZnOII

ในโหมด EDS ของธาตุ K และ Cl ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามี K และ Cl กระจายตัวอยู่บนผิวเซลลูโลสเหมือนกัน K และ Cl ที่อยู่บนผิวมาจากการล้างตะกอนที่ไม่สะอาด ทำให้มี K จากสารละลาย KOH และ Cl จากสารละลาย $ZnCl_2$ หลงเหลืออยู่

ผลที่ได้จากเทคนิค XRD และ SEM สามารถระบุได้ว่า ZnOII เป็นเซลลูโลสที่มี ZnO ติดอยู่บนผิวอย่างสม่ำเสมอ จึงนำ ZnOII ไปทดสอบปฏิกิริยาการสลายตัวของเมทิลออเรนจ์เทียบกับ ZnO ปกติ

ตอนที่ 4 การทดสอบปฏิกิริยาการสลายตัวของเมทิลออเรนจ์เบื้องต้น



รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Absorbance กับเวลาที่ใช้ โดยผลของการฉายแสงแสดงในนาทีที่ 60 เป็นต้นไป

ผลที่ได้จากการนำ ZnO ปกติ จำนวน 0.040 กรัม ที่ 0 นาที คือ ค่าการดูดกลืนแสงก่อนที่จะมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงและนำเก็บในที่มืดเป็นเวลา 60 นาที ที่ 60 นาที คือ ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากการเก็บไว้ในที่มืดและคนเป็นเวลา 60 นาที จากค่าการดูดกลืนแสงหลังเวลา 60 นาทีจะเห็นว่า ZnO ปกติสามารถเร่งปฏิกิริยาการสลายสีของเมทิลออเรนจ์ได้ แต่เมื่อเทียบกับ ZnOII ค่าการดูดกลืนแสงของ ZnOII ไม่ลดลงเลย อาจจะเป็นเพราะ ZnO ที่อยู่บนผิวเซลลูโลส มีขนาดเล็กเกินไป ทำให้ band gap energy กว้าง[7] ส่งผลให้ต้องใช้พลังงานในการกระตุ้นมากขึ้นจนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ทดลองได้

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากวิธีการสกัดเซลลูโลสที่ใช้ วิธีนี้สามารถสกัดเซลลูโลสจากผักตบชวาได้ ในขั้นตอนกำจัดแว๊กซ์ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่าง toluene กับ ethanol ในอัตราส่วน 2:1 และให้ความร้อนที่ 80 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในขั้นตอนการฟอกขาว ใช้สารผสมระหว่าง 5%NaOH กับ 11%H_2O_2 ในอัตราส่วน 1:1 คนและให้ความร้อนที่ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำซ้ำอีกหนึ่งครั้ง

ภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ ZnO คือ ใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารตั้งต้น ผสมกับสารละลายเบสและให้ความร้อนที่ 60 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

วิธีการสังเคราะห์ ZnO บนผิวของเซลลูโลสที่ได้ ZnO ที่ไม่มีสิ่งเจือปนและมีการกระจายตัวบนผิวเซลลูโลสอย่างสม่ำเสมอ คือ นำเซลลูโลสไปใส่ในสารละลาย KOH ก่อนแล้วคนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วค่อยๆเติมสารละลาย $ZnCl_2$ ลงในสารละลาย KOH และคนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง วิธีการสังเคราะห์ดังกล่าวทำที่อุณหภูมิ 60 °C

ZnO ที่ติดบนผิวเซลลูโลส ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาการสลายสีของเมทิลออเรนจ์ได้ เนื่องจากขนาดอนุภาคของ ZnO เล็กเกินไปในระดับนาโน

ข้อเสนอแนะ

ควรจะศึกษาหาวิธีการสังเคราะห์ ZnO ที่ได้ขนาดที่เหมาะสมสำหรับเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของสีย้อมที่อยู่ในช่วงของแสงที่ต้องการ อาจจะลองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงอื่น เช่น TiO_2

เอกสารอ้างอิง

1. Istirokhatun, T.; Rokhati, N.; Rachmawaty, R.; Meriyani, M.; Priyanto, S.; Susanto, H. *Procedia Environmental Sciences23*, 274–281.

2. Ríos-Gomez, J.; Ferrer-Monteagudo, B.; Lopez-Lorente, A. I.; Lucena, R.; Luque, R.; Cardenas, S. *Journal of Cleaner Production194*, 167–173.

3. Vaiano, V.; Matarangolo, M.; Sacco, O. *Chemical Engineering Journal 350*, 703–713.

4. Purbia, R.; Borah, R.; Paria, S. *Inorganic chemistry 56*, 10107–10116.

5. Hellen, N.; Park, H.; Kim, K.-N. *Journal of the Korean Ceramic Society 55* (2), 140–144.

6. Xue, H.; Chen, Y.; Liu, X.; Qian, Q.; Luo, Y.; Cui, M.; Chen, Y.; Yang, D.-P.; Chen, Q. *Materials Science & Engineering C 82*, 197–203.

7. Shamhari, N. M.; Wee, B. S.; Chin, S. F.; Kok, K. Y. *Acta Chimica Slovenica65*, 578–585.

8. Lin, K.-F.; Cheng, H.-M.; Hsu, H.-C.; Lin, L.-J.; Hsieh, W.-F. *Chemical Physics Letters 409*, 208–211.

9. Oblak, R.; Kete, M.; Lavrenčič Štangar, U.; Tasbihi, M. *Journal of Water Process Engineering 23*, 142–150..

10. Zhang, S.; Lu, X. *Chemosphere 206*, 777–783

11. Chakraborty, S.; Loutatidou, S.; Palmisano, G.; Kujawa, J.; Mavukkandy, M. O.; Al-12. Gharabli, S.; Curcio, E.; Arafat, H. A. *Journal of Environmental Chemical Engineering 5*, 5014–5024.

13. Mochochoko, T.; Oluwafemi, O. S.; Jumbam, D. N.; Songca, S. P. *Carbohydrate Polymers 98*, 290–294.

14. Ma, S.; Hou, J. J.; Yang, H.; Xu, Z. *Journal of Porous Material 25*, 1071–1080.

ภาคผนวค ก

การสกัดเซลลูโลส

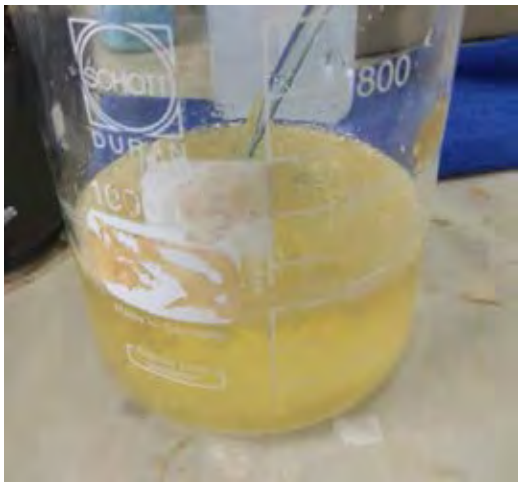
ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของผักตบชวาที่ใช้

	น้ำหนัก(กรัม)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
ผักตบชวา	0.9258	1.0602	1.0025	1.0017	0.9976
หลังกำจัดแว๊กซ์	0.8576	0.9504	0.9381	0.9322	0.9196
หลังฟอกขาว	0.4863	0.5325	0.5337	0.5333	0.5214

%ผลผลิตหลังกำจัดแว๊กซ์ $= \frac{0.9196}{0.9976} \times 100 = 92.18\ \%$

%ผลผลิตหลังฟอกขาว $= \frac{0.5214}{0.9196} \times 100 = 56.70\ \%$

จะเห็นว่าหลังจากฟอกขาว %ผลผลิตที่ได้ลดลงไปมากเมื่อเทียบกับหลังกำจัดแว๊กซ์ เนื่องจาก มีลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ในขั้นตอนการฟอกขาวจะทำให้ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสหลุดออกมา ทำให้สีของเซลลูโลสขาวขึ้นและเหลือเพียงแค่น้ำหนักของเซลลูโลสเท่านั้น สีของน้ำหลังจากการล้างครั้งแรกจะมีเหลือง ดังรูปที่ 16 เมื่อล้างไปเรื่อยๆ สีจะเริ่มจางลง จนไม่มีสี หลังจากการฟอกขาวครั้งที่สอง สีของน้ำจะจางกว่าครั้งแรกมาก ดังรูปที่ 17 ในการอบแห้งเซลลูโลสพยายามอย่าให้อุณหภูมิสูงกว่า 120 ℃ เพื่อไม่ให้เซลลูโลสเสื่อมสภาพ



รูปที่ 16 เซลลูโลสที่ได้จากการฟอกขาวครั้งแรก

รูปที่ 17 เซลลูโลสที่ได้จากการฟอกขาวครั้งที่สอง

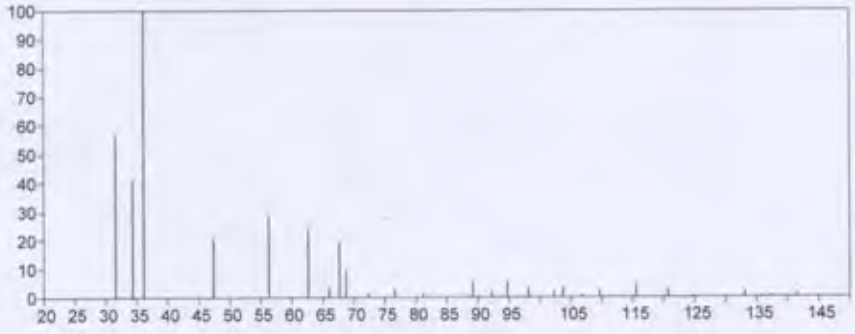
ภาคผนวค ข

ข้อมูล XRD จากฐานข้อมูล ICDD

PDF Card No.: 01-079-0208 Quality:S

Sub-File Name:	Inorganic, Mineral, Alloy&Metal, Ceramic, Common Phase, Forensic, Ph...
Formula:	Zn O
Name:	zincite, syn — I/Ic (RIR)= 5.06
Crystal System:	Hexagonal — Space Group: P63mc(186) — Dmeas:
Cell Parameters:	a= 3.2648 b= 3.2648 c= 5.2194
	Alpha= 90.000 Beta= 90.000 Gamma= 120.000
	Volume= 48.180 Z= 2
Reference:	Albertsson, J., Abrahams, S.C., Kvick, A. Acta Crystallogr., Sec.
Radiation:	CuKalpha1 — Wavelength= 1.54060
2Theta range:	31.62 - 141.39
Database comments:	ANX: AX, Analysis: O1 Zn1. Formula from original source: Zn O. ICSD Collection Code: 65122. Temperature of Data Collection: 900 K. Wyckoff Sequence: b2(P63MC). Unit Cell Data Source: Single Crystal.

Relative Intensity



No.	2Theta	d-Value	Intensity	h	k	l	No.	2Theta	d-Value	Intensity	h	k	l
1	31.82	2.827	56.6	1	0	0	21	115.54	0.911	4.6	2	1	3
2	34.34	2.610	41.0	0	0	2	22	120.68	0.886	2.5	3	0	2
3	36.10	2.488	100.0	1	0	1	23	124.63	0.870	0.3	0	0	6
4	47.37	1.918	20.8	1	0	2	24	133.07	0.840	1.8	2	0	5
5	56.31	1.632	20.8	1	1	0	25	135.78	0.831	0.4	1	0	6
6	62.65	1.482	23.6	1	0	3	26	137.40	0.827	0.6	2	1	4
7	66.03	1.414	3.6	2	0	0	27	141.39	0.816	1.3	2	2	0
8	67.84	1.384	19.7	1	1	2							
9	68.74	1.365	9.7	2	0	1							
10	72.36	1.305	1.5	0	0	4							
11	76.59	1.243	2.9	2	0	2							
12	81.11	1.185	1.4	1	0	4							
13	89.13	1.097	5.2	2	0	3							
14	92.24	1.069	1.7	2	1	0							
15	94.74	1.047	5.3	3	1	1							
16	98.18	1.019	2.7	1	1	4							
17	102.32	0.989	1.9	2	1	2							
18	103.74	0.979	3.2	1	0	5							
19	106.90	0.958	0.5	2	0	4							
20	109.63	0.942	2.0	3	0	0							

Note: 2theta are calculated with wavelength = 1.54059

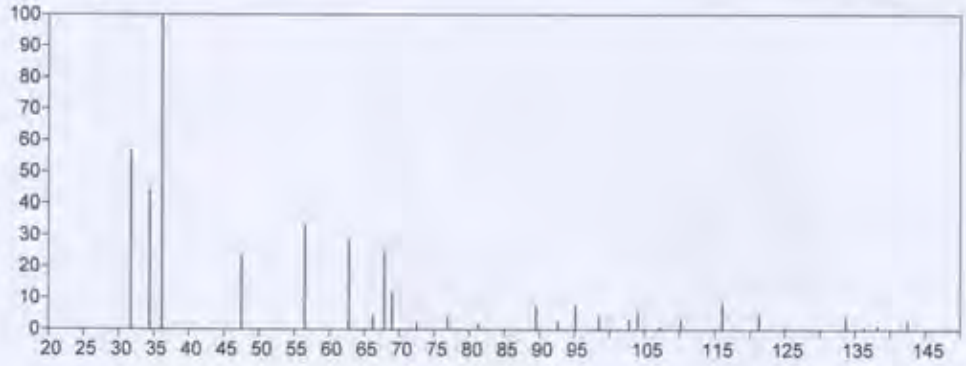
1/1

รูปที่ 18 ฐานข้อมูลของ ZnO (01-079-0208)

PDF Card No.: 01-080-0075 Quality:S

Sub-File Name:	Inorganic, Alloy&Metal, Ceramic, Common Phase, Forensic, Pharmaceuti...
Formula:	Zn O
Name:	Zinc Oxide I/Ic (RIR)= 5.43
Crystal System:	Hexagonal Space Group: P63mc(186) Dmeas:
Cell Parameters:	a= 3.2539 b= 3.2539 c= 5.2098
	Alpha= 90.000 Beta= 90.000 Gamma= 120.000
	Volume= 47.771 Z= 2
Reference:	Garcia-Martinez, O., Rojas, R.M., Vila, E., Martin de Vidales, J.L. ...
Radiation:	CuKalpha1 Wavelength= 1.54060
2Theta range:	31.73 - 142.50
Database comments:	ANX: AX. Analysis: O1 Zn1. Formula from original source: Zn O. ICSD Collection Code: 67849. Calculated Pattern Original Remarks: ZnO obtained from Zn5 (O H)8 Cl2 , H2 O. Wyckoff Sequence: b2(P63MC). Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

Relative Intensity



No.	2Theta	d-Value	Intensity	h	k	l	No.	2Theta	d-Value	Intensity	h	k	l
1	31.73	2.818	56.7	1	0	0	21	118.08	0.908	8.5	2	1	3
2	34.40	2.605	43.9	0	0	2	22	121.32	0.884	4.8	3	0	2
3	36.21	2.479	100.0	1	0	1	23	125.03	0.868	0.6	0	0	8
4	47.49	1.913	23.3	1	0	2	24	133.70	0.838	4.1	2	0	5
5	56.52	1.627	33.3	1	1	0	25	136.34	0.830	0.8	1	0	8
6	62.80	1.478	28.5	1	0	3	26	138.22	0.825	1.3	2	1	4
7	66.28	1.409	4.5	2	0	0	27	142.50	0.813	2.8	2	2	0
8	67.87	1.380	25.1	1	1	2							
9	68.99	1.360	11.8	2	0	1							
10	72.52	1.302	2.0	0	0	4							
11	76.88	1.239	4.0	2	0	2							
12	81.31	1.182	2.0	1	0	4							
13	88.50	1.094	7.7	2	0	3							
14	92.64	1.065	2.7	2	1	0							
15	95.15	1.044	7.8	2	1	1							
16	98.50	1.017	4.4	1	1	4							
17	102.77	0.986	3.2	2	1	2							
18	104.03	0.977	5.8	1	0	5							
19	107.30	0.956	0.9	2	0	4							
20	110.18	0.939	3.9	3	0	0							

Note: 2theta are calculated with wavelength = 1.54059

1/1

รูปที่ 19 ฐานข้อมูลของ ZnO (01-080-0075)

ประวัติผู้วิจัย

นายชัยภัทร บุศราทิจ เกิดเมื่อวันที่ 16 เดือนกันยายน พ.ศ. 2539 ที่จังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน ระยองวิทยาคม จังหวัดระยอง เมื่อปีการศึกษา 2557 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2558 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 52 หมู่ 6 ซอยดอนทอง ตำบล บางกรวย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี รหัสไปรษณีย์ 11130 อีเมล chaiyaphatbus@gmail.com