

## ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารประกอบฟีนอลด้วยตัวเร่ง ปฏิกิริยานาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทังสเตน

นิภาวรรณ อักษรระ<sup>1</sup>, วรรณนิศา นาคสุด<sup>1</sup>, เอมอร วันเอก<sup>1</sup> และ ณัฐกฤตา บุญณประกอบ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

<sup>2</sup>หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

### บทคัดย่อ

การย่อยสลายสารประกอบฟีนอลด้วยแสงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทังสเตนด้วยวิธีอิมเพกเนชัน โดยแปรผันความเข้มข้นของทังสเตนเท่ากับ 0, 1.0, 2.5, 5.0, และ 7.5 เปอร์เซ็นต์โมล รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์แสดงถึงการเกิดเฟสของอานาเทสเป็นเฟสหลักและรูไทล์เป็นเฟสรอง ตัวอย่างของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทังสเตน 5.0 เปอร์เซ็นต์โมลมีเฟสอานาเทสมากขึ้นและเกิดเฟสรูไทล์ลดลง ขนาดผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทังสเตน 5.0 โมลเปอร์เซ็นต์มีค่าประมาณ 17.3 นาโนเมตร จากการวิเคราะห์ผลของกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดแสดงรูปร่างคล้ายทรงกลม โดยเกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในช่วง 80-100 นาโนเมตร ผลการย่อยสลายด้วยแสงของสารประกอบฟีนอลโดยการตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ภายใต้การฉายแสงวิสิเบิล พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทังสเตน 5.0 โมลเปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพการย่อยสูงสุดถึง 53.54 เปอร์เซ็นต์ และมีประสิทธิภาพสูงกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์อย่างชัดเจน ดังนั้นการเจือทังสเตนเข้าไปในไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยแสงของสารประกอบฟีนอลได้ดียิ่งขึ้น

---

\*ผู้เขียนหลัก: nboonprakob@gmail.com

คำสำคัญ: นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทังสเตน, แสงวิสิเบิล, สารประกอบฟีนอล, อิมเพกเนชัน

SCIENCE AND TECHNOLOGY  
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY

## Enhanced Photocatalytic Degradation of Phenol Compound Over Tungsten-Doped Titanium Dioxide Nanoparticles

Nipawan Akkara<sup>1</sup>, Wannisa Naksoot<sup>1</sup>, Aimon Wanaek<sup>1</sup> and Natkritt Boonprakob<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

<sup>2</sup>Program of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

### Abstract

The photocatalytic degradation of tungsten doped titanium dioxide photocatalysts was investigated in this research. The catalysts were successfully prepared by impregnation method. The nominal W-dopant was varied as 1.0, 2.5, 5.0, and 7.5 mol %. Anatase was the major phase while rutile was a minor phase from XRD results. XRD pattern of 5.0 mol % W-doped TiO<sub>2</sub> indicated that the sample was also formed in the lower intensity of mixed phase of anatase and rutile compared with pure TiO<sub>2</sub>. It might be due to tungsten doping disturbed the crystal structure of TiO<sub>2</sub>. The crystallite size of 5.0 mol % W-doped TiO<sub>2</sub> was found as ~17.3 nm. The SEM micrograph showed the spherical-like shape with aggregation of TiO<sub>2</sub> particles in the range of 80–100 nm. The photocatalytic degradation of phenol was investigated over prepared catalysts under visible light irradiation. The highest activity was found up to 53.54 % over 5.0 mol % W-doped TiO<sub>2</sub>. Moreover, its efficiency was significantly higher than pure TiO<sub>2</sub> (Degussa P25) around 25 times. Therefore, the doping of W into TiO<sub>2</sub> could be greatly enhanced the photocatalytic activity.

---

**\*Corresponding Author:** nboonprakob@gmail.com

**Keywords:** W-doped TiO<sub>2</sub>, visible light, phenol, impregnation

SCIENCE AND TECHNOLOGY  
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาด้านมลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นบริเวณแหล่งอุตสาหกรรมมีสาเหตุมาจากการปล่อยน้ำเสียออกจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น สีย้อม โลหะหนัก และสารเคมีอื่น ๆ ที่เป็นพิษ จึงเป็นปัญหาที่ควรได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน การกำจัดสารพิษจากน้ำเสียเหล่านี้ได้มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย เช่น วิธีการตกตะกอน การดูดซับ หรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับการสลายตัวด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง (photocatalyst) เป็นวิธีหนึ่งที่จะแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำได้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งนักวิจัยพยายามที่ปรับปรุง  $\text{TiO}_2$  เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาให้ดีขึ้น [1]  $\text{TiO}_2$  เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงอย่างแพร่หลาย สามารถดูดซับแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเลตได้ดี เป็นสารดูดซับสารอินทรีย์ที่ดี โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ของ  $\text{TiO}_2$  เหมาะที่จะใช้ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์และปฏิกิริยารีดักชันกับ  $\text{O}_2$  ตัวเร่งปฏิกิริยานาโนไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถเตรียมให้อยู่ในรูปของผงหรือฟิล์มได้ โดยกระบวนการทางฟิล์ม เช่น วิธีการบดย่อย (grinding) การสปัตเตอร์ริง (sputtering) และทางเคมี เช่น วิธีซอล-เจล (sol-gel) สปินโคตติง (spin coating) เป็นต้น หากเตรียมให้อยู่ในรูปของผงสามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้โดยการโรยลงไปในพื้นที่ที่เหมาะสมกับปริมาตรของน้ำ ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้ 1 กรัมต่อลิตร ทำให้เกิดกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงที่ดีที่สุด [2] มีการนำไทเทเนียมไดออกไซด์ไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางทางด้านอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมไฟฟ้า อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและโดยเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อม  $\text{TiO}_2$  สามารถเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นพิษในน้ำโดยใช้แสงเมื่อเปรียบเทียบกับสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ  $\text{TiO}_2$  มีข้อดี เช่น มีประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยามาก มีความเสถียร ราคาถูก และมีความเป็นพิษน้อย แต่อย่างไรก็ตามไทเทเนียมไดออกไซด์ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่บางประการ คือ ค่าแถบช่องว่างพลังงาน (band gap energy) มากโดยเฟสอนาเทส มีค่าเท่ากับ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ และรูทึบเท่ากับ 3.0 อิเล็กตรอนโวลต์ [3] จึงทำให้ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงได้เฉพาะในช่วงอัลตราไวโอเลตเท่านั้น ซึ่งมีสัดส่วนเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นการปรับปรุง  $\text{TiO}_2$  เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิล จึงกำลังเป็นที่น่าสนใจจากนักวิจัยส่วนใหญ่ เทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นมีหลายวิธี เช่น การสังเคราะห์สีย้อมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ การเจือ (dope) ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยโลหะทรานซิชัน (transition metal) เช่น ทังสแตน (W), เหล็ก (V) และทองแดง (Cu) เป็นต้น [4-6] จากการศึกษาวิจัยของ Adan และคณะ [7] พบว่า วิธีซอล-เจลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทังสแตน 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีการย่อยสลายฟีนอลสูง และจากการศึกษาวิจัยของ Yanqiang และคณะ [8]

วิธีการอิมเพรเกนชันไทเทเนียมไดออกไซด์เจือไนโอเบียมและการย่อยสลายด้วยแสงของเมทิลีนบลู โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์เจือไนโอเบียมแสดงให้เห็นว่าการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการย่อยสลายสารประกอบฟีนอลโดยใช้นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทั้งสแตนภายใต้การฉายแสงวิสิเบิล โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการย่อยสลายด้วยแสงเพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีในการบำบัดมลพิษทางน้ำ

## 2. วิธีการดำเนินการ

### 2.1 วัสดุและสารเคมี

TiO<sub>2</sub> บริสุทธิ์ (pure TiO<sub>2</sub>, Degussa P25), Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 99.9% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, HClO<sub>4</sub>, NaOH, สารประกอบฟีนอล, น้ำกลั่น, เครื่องชั่งชนิด 4 ตำแหน่ง, เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge), ตู้อบสาร (oven), เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างแบบตั้งโต๊ะ (pH meter), UV-vis spectrophotometer, เตาเผาอุณหภูมิสูง (furnace), Magnetic stirrer, หลอดไฟชนิดแฮโลเจน, กล้องดำ, ไซริงค์และตัวกรองขนาด 0.22 ไมครอน

### 2.2 การสังเคราะห์ W-doped TiO<sub>2</sub>

การเตรียมอิมเพรเกนชันไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยไอออนนั้ จะมีการเพิ่มปริมาณของทั้งสแตนลงไปใน TiO<sub>2</sub> ได้แก่ 1.0 mol %, 2.5 mol %, 5.0 mol %, และ 7.5 mol % ตามลำดับ โดยใช้ Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O เป็นสารตั้งต้นของไอออนของโลหะทั้งสแตน ซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์เชิงบริสุทธิ์ จำนวน 1.00 กรัม กวนในน้ำกลั่น จากนั้นทำการเติมทั้งสแตนลงไปตามความเข้มข้นที่คำนวณไว้ ทำการกวนสารเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลา นำสารไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ไปเผาที่อุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ผงเป็นสีเหลืองอ่อนเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น [9]

### 2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

นำตัวเร่งปฏิกิริยาดัวยแสงชนิด และ 5.0 mol % W-doped TiO<sub>2</sub> ไปตรวจวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกและอนุภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพร้อมย้งรังสีเอกซ์ (SEM-EDS) และหาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET N<sub>2</sub> adsorption นอกจากนี้นำผลการทดลองในส่วนของ XRD มาคำนวณหาขนาดผลึกโดยใช้สมการ Scherrer [10] ดังแสดงในสมการที่ 1

SCIENCE AND TECHNOLOGY  
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY

$$L = 0.9\lambda / \beta \cos \theta \quad (1)$$

เมื่อ  $L$  คือ ขนาดผลึก (นาโนเมตร)

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ (0.1541 นาโนเมตร)

$\beta$  คือ ค่าความกว้างที่กึ่งความสูง (Full width at half maximum; FWHM)

$\theta$  คือ มุมของแบรกก์ (องศา)

#### 2.4 การย่อยสลายด้วยแสง

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เพื่อการสลายด้วยแสงนั้นในเชิงเปรียบเทียบมีทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ได้แก่ pure  $\text{TiO}_2$ , W-doped  $\text{TiO}_2$  ที่ 1.0 mol %, 2.5 mol %, 5.0 mol % และ 7.5 mol % โดยจะมีลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสภาวะการย่อยจะเป็นไปตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 สภาวะในการย่อยสลายพินอลด้วยแสงวิสิเบิล

| ตัวแปร                               | สภาวะที่ใช้         |
|--------------------------------------|---------------------|
| ความเข้มข้นของสารละลายพินอล          | 10 mg/L             |
| ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา               | 8 g/L               |
| ช่วงการฉายแสง                        | แสงวิสิเบิล         |
| ปริมาณวัตต์ของหลอดไฟ                 | 50 W                |
| ความเข้มของแสง                       | $340 \text{ W/m}^2$ |
| ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง            | 30 min              |
| ปริมาตรสารละลายพินอลที่ใช้           | 80 mL               |
| ปริมาตรในการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้ง | 5 mL                |

ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาดำเนินการนำมาสวมกับสารประกอบพินอลและทำการปรับ pH ให้เท่ากับ 10 ด้วยกรด  $\text{HClO}_4$  และ  $\text{NaOH}$  จากนั้นนำไปใส่ในกล่องดำ ก่อนจะเปิดไฟ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกกวนเป็นเวลา 30 นาที ในที่มืดจนกว่าเข้าสู่สภาวะการดูดซับอิ่มตัว ดึงสารออกมาในปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำการฉายแสง

จากนั้นดึงสารตัวอย่างออกมา 10 มิลลิลิตร ทุกๆ 30 นาทีใช้เวลาย่อยสลายทั้งหมด 120 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer และเปลี่ยนให้เป็นความเข้มข้นด้วยการเทียบ Calibration curve จากกฎของเบียร์ส์ [11] จากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายตัวของฟีนอล แสดงดังสมการที่ 2

$$\text{เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของฟีนอล} = (C_t / C_0) \times 100 \quad (2)$$

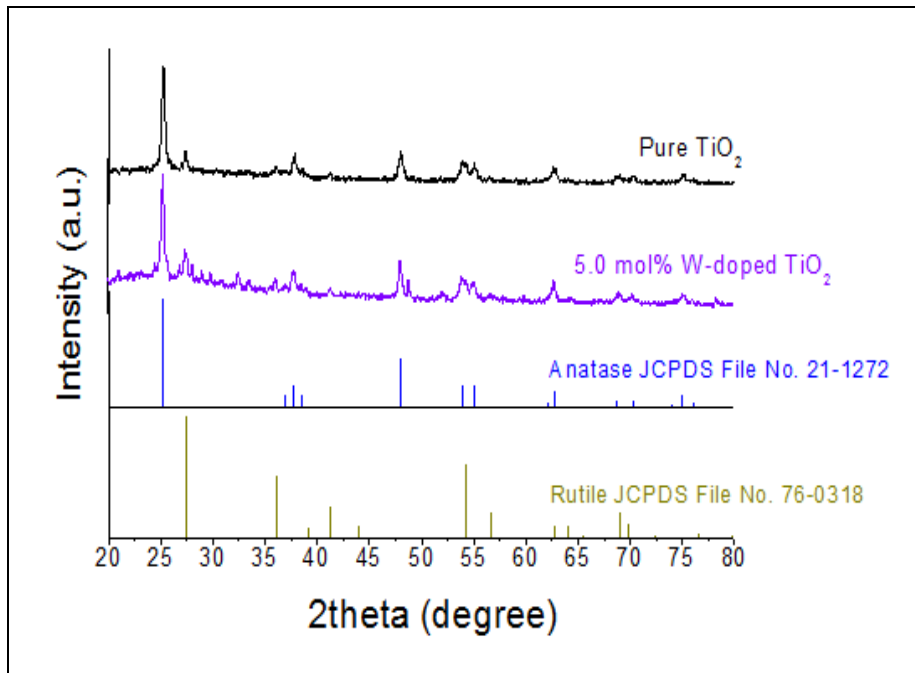
เมื่อ  $C_t$  คือ ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ ของสารละลายฟีนอล

$C_0$  คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟีนอล

### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1 ผลเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (XRD Patterns)

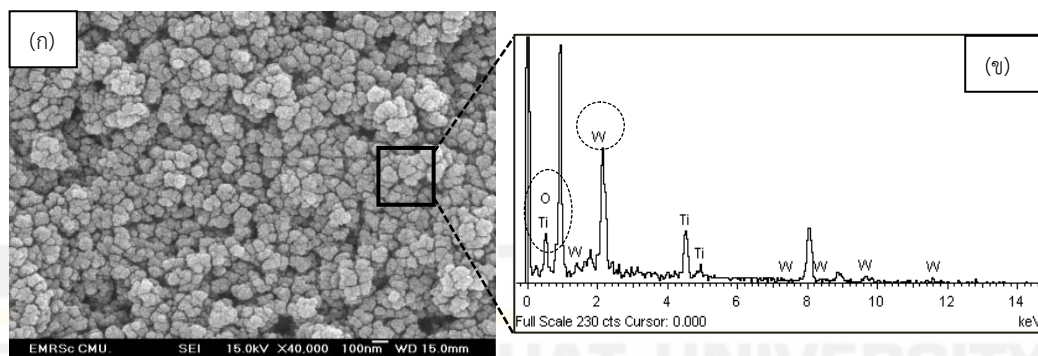
จากภาพที่ 1 พบว่าโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ (Pure  $\text{TiO}_2$ ) เป็นเฟสผสมระหว่างอนาเทสกับรูไทล์ ทั้งสองเฟสนั้นมีโครงสร้างเป็นแบบเทตระโกนอล เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล Joint Committee Powder Diffraction Standards (JCPDS file) ปรากฏว่าโครงสร้างเฟสอนาเทสซึ่งเป็นเฟสหลักตรงกับ JCPDS หมายเลข 21-1272 โดยมีพีคหลักขึ้นที่ตำแหน่งของพีคเท่ากับ  $25.3^\circ$  และ  $48.0^\circ$  ซึ่งตรงกับเฟสโครงสร้างผลึก (101) และ (200) ตามลำดับ [12] ส่วนโครงสร้างเฟสรูไทล์เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าตรงกับ JCPDS หมายเลข 76-0318 โดยมีพีคหลักขึ้นที่ตำแหน่งของ  $27.5^\circ$  และ  $54.3^\circ$  ซึ่งเท่ากับ เฟสโครงสร้างผลึก (001) และ (200) ตามลำดับ นอกจากนั้น จากค่าความเข้มหรือ Intensity ของเฟส (101) และ (200) ของเฟสอนาเทสนั้นมีพีคสูงขึ้นและชัดเจนขึ้น ส่งผลให้เกิดเฟสอนาเทสมากขึ้นซึ่งเป็นเฟสที่เหมาะสมในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง [13] จากการนำสมการ Scherrer มาคำนวณพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 5 mol % W-doped  $\text{TiO}_2$  มีขนาดเท่ากับประมาณ 17.3 นาโนเมตร ในขณะที่  $\text{TiO}_2$  บริสุทธิ์มีขนาดที่ 25.3 นาโนเมตร ทั้งนี้อาจเกิดจากไอออนของทังสเตนอาจเกิดการแทนที่หรือรบกวนโครงข่ายเทตระโกนอลของ  $\text{TiO}_2$  [14] นอกจากนี้ยังพบพื้นที่ผิวจำเพาะของ 5 mol % W-doped  $\text{TiO}_2$  มีค่าเท่ากับ 64 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งมากกว่า pure  $\text{TiO}_2$  ที่มีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 50 ตารางเมตรต่อกรัม



ภาพที่ 1 XRD Patterns ของ pure  $\text{TiO}_2$  และ 5.0 mol % W-doped  $\text{TiO}_2$ .

### 3.2 ผลการวิเคราะห์เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (SEM-EDS)

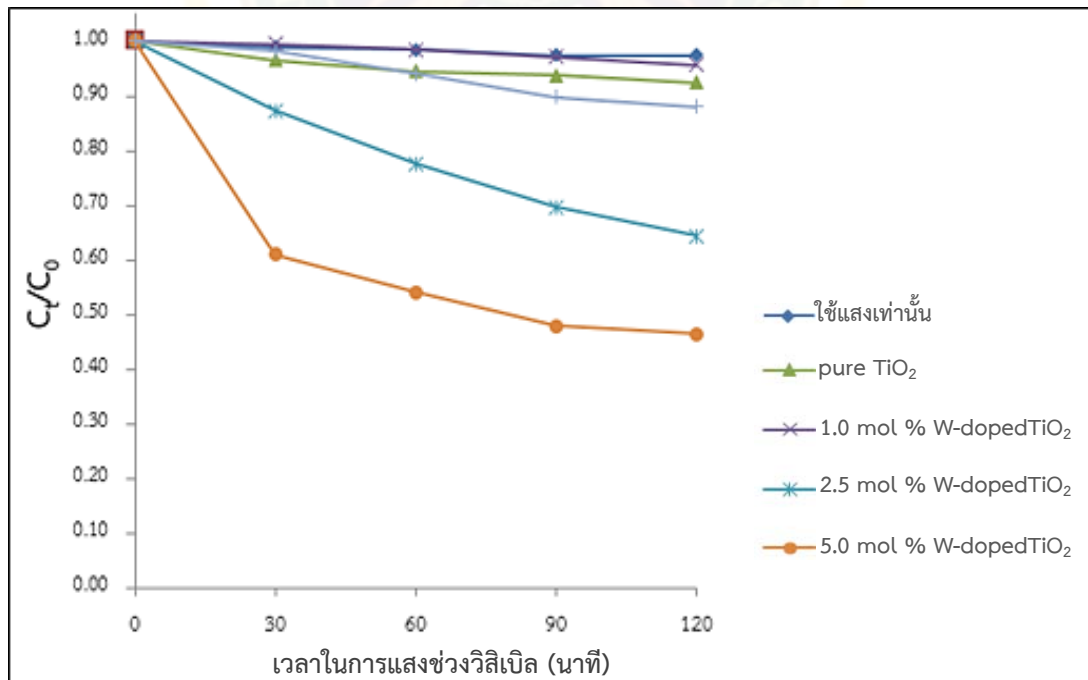
ลักษณะพื้นฐานวิทยาจากภาพถ่าย SEM และสเปกตรัมแสงการกระจายพลังงานรังสีเอกซ์ของอนุภาค 5 mol % W-doped  $\text{TiO}_2$  แสดงดังภาพที่ 2 แสดงให้เห็นลักษณะของอนุภาคคล้ายทรงกลม อนุภาคกระจายตัวอย่างกระจัดกระจาย มีขนาดอยู่ในช่วง 80–100 นาโนเมตร เนื่องจากการรวมตัวกันของกลุ่มก้อนผลึก จากการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุพบว่าในตัวอย่างของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุประกอบด้วย Ti O และ W ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการเจือทั้งสแตลงในไทเทเนียมไดออกไซด์ได้สำเร็จ



ภาพที่ 2 (ก) ภาพถ่าย SEM (ข) ผล EDS ของอนุภาคนาโน 5 mol % W-doped  $\text{TiO}_2$ .

### 3.3 ผลของประสิทธิภาพการย่อยสลายสารประกอบฟีนอล

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าถึงประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายฟีนอลโดยเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ทั้งหมดพบว่า เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสารประกอบฟีนอลภายใต้การฉายแสงวิสิเบิล พบว่า pure  $\text{TiO}_2$  5.0 mol %, 1.0 mol %, 2.5 mol %, 5.0 mol % และ 7.5 mol % W-doped  $\text{TiO}_2$  มีการย่อยสลายฟีนอลได้ 2.6, 4.3, 35.6, 53.5 และ 12.0 % ตามลำดับ จากการเจือทั้งสแตนโดยวิธีอิมเพรกเนชันจะทำให้สารมีการดูดซับแสงวิสิเบิลเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ในการย่อยสลายสูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ย่อยสลายสารประกอบฟีนอลได้ดีที่สุดคือ 5 mol % W-doped  $\text{TiO}_2$  สามารถย่อยสลายได้ 53.54 % และย่อยสลายได้ 25 เท่า ของ pure  $\text{TiO}_2$  เนื่องจากให้มีพื้นที่ผิวสูงขึ้นและมีบริเวณการเกิดปฏิกิริยาจำนวนมากขึ้น อีกทั้งยังมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า pure  $\text{TiO}_2$  [14]



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ  $C_t/C_0$  กับเวลาที่ใช้ในการฉายแสงช่วงวิสิเบิลของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมด

### 4. อภิปรายผล

W-doped  $\text{TiO}_2$  ขนาดนาโนเมตรได้ถูกเตรียมขึ้นด้วยวิธีอิมเพรกเนชัน โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ mol % ของทั้งสแตน จากประสิทธิภาพการย่อยสลายสารประกอบฟีนอลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ทั้งหมด พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 5.0 mol % W-doped  $\text{TiO}_2$  แสดงประสิทธิภาพการย่อยสูงถึง

53.54 ภายใต้การฉายแสงวิสิเบิลจำนวน 120 นาที่ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางของตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวพบว่าสเปกตรัมของ XRD พบเฟสหลักคืออนาเทสซึ่งตรงกับไฟล์มาตรฐาน มีขนาดผลึกอยู่ที่ 17.3 นาโนเมตร และมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 64 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งส่งผลให้มีจำนวนหรือบริเวณแอคทีฟไซต์ที่ตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้น และอนุภาคของตัวอย่างเป็นทรงกลมมีการรวมตัวกันขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 80-100 นาโนเมตร และพบว่ามีธาตุทั้งสแตนสามารถเจือเข้าไปสำเร็จ ดังนั้นจึงทำให้สามารถดูดซับแสงช่วงวิสิเบิลได้มากขึ้นอีกทั้งพื้นที่ผิวที่สูงส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบฟีนอลสามารถทำปฏิกิริยากับบริเวณการย่อยได้มากขึ้น

#### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยจาก มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ในการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย หลักสูตรเคมี หลักสูตรฟิสิกส์ ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้การสนับสนุนและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการวิเคราะห์ รวมทั้งขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุรภัทร อินทรีย์สังวร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำ และขอขอบคุณนายพฤษัย พงษ์วัน สำหรับการเอื้อเฟื้อการเตรียมวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ SEM

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] อารีพร อ่อนตาม. การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุไฮบริดไทเทเนียมไดออกไซด์กับแคดเมียมซัลไฟด์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. 2557.
- [2] นัตตา เวชชากุล. การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานาโนไทเทเนียมไดออกไซด์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2555.
- [3] ตะวัน สุขน้อย. การสังเคราะห์และการศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของซีโอไลต์ที่มีไทเทเนียมเป็นองค์ประกอบ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 2543.
- [4] T. Putta, M. Lu and J. Anotai, Photocatalytic activity of tungsten-doped TiO<sub>2</sub> with hydrothermal treatment under blue light irradiation. J. Environ. Manage. no. 92, pp. 2272 – 2276. 2011.
- [5] L. Yoong, F. Chong, and B. Dutta, Development of copper-doped TiO<sub>2</sub> photocatalyst for hydrogen production under visible light. J. Alloy. Compd. no. 465, pp. 328 – 332. 2008.
- [6] R. Doong, P. Chang and C. Huang, Microstructural and photocatalytic properties of sol-gel-derived vanadium-doped mesoporous titanium dioxide nanoparticles. Mater. Res. Bull. no. 43, pp. 3037 – 3046. 2008.

- [7] C. Adan, A. Bahamonde, M. Garcia and A. Arias, Structure and activity of nanosized iron-doped anatase TiO<sub>2</sub> catalysts for phenol photocatalytic degradation. Appl. Catal. B: Environment. no. 72, pp. 11 – 17. 2006.
- [8] K. Yanqiang, J. Yang, L. Bing. and S. Fu. Solar photocatalytic activities of porous Nb-doped TiO<sub>2</sub> microspheres by coupling with tungsten oxide. Mater. Res. Bulletin. no. 63, pp. 105 – 111. 2014.
- [9] M. Asilturk, F. Sayilkan and E. Arpac, Effect of Fe<sup>3+</sup> ion doping to TiO<sub>2</sub> on the photocatalytic degradation of malachite green dye under UV and vis-irradiation, J. Photoch. Photobio. A, no. 203, 64 – 71. 2009.
- [10] จินดา ศิริตา. การสังเคราะห์และการหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนสังกะสีออกไซด์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2548.
- [11] N. Wetchakul and S. Phanichahant, Effect of temperature on the degree of anatase–rutile transformation in titanium dioxide nanoparticles synthesized by the modified sol–gel method. Curr. Appl. Phys. no. 8, pp. 343 – 346. 2008.
- [12] สุนันท์ พานิชพันธ์. การสังเคราะห์วัสดุขนาดต่ำกว่าไมครอนและวัสดุนาโนด้วยกระบวนการทางเคมี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2549.
- [13] S. Watson, D. Beydoun, J. Scott and R. Amal, The effect of preparation method on the photoactivity of crystalline titanium dioxide particles. J. Chem. Eng. no. 95, pp. 213 – 220. 2003.
- [14] J. Ramos, D. Kibanova, P. Jacinto, Y. Santiago and M. Trejo-Valdez, Synthesis, characterization and photocatalytic properties of tungsten-doped hydrothermal TiO<sub>2</sub>. J. Sol Gel Sci. & Tech. no. 57, pp. 43 – 50. 2011.