

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ การหาลักษณะเฉพาะของวัสดุผสมนาโนโคบอลต์เฟอร์ไรต์ และบิสมัทวานาเดตและศึกษาความสามารถการเร่งปฏิกิริยาดำวยแสง โดยมีรายละเอียดเกี่ยวข้องกับคือ สารเคมี อุปกรณ์ กระบวนการสังเคราะห์ การหาลักษณะเฉพาะและการทดสอบความสามารถการเร่งปฏิกิริยาดำวยแสง ดังนี้

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 โคบอลต์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต (cobalt (II) nitrate hexahydrate) 98 % ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศอังกฤษ
- 3.1.2 ไอร์รอนไนเตรต โนนะไฮเดรต (iron (III) nitrate nonahydrate) 98% ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหพันธรัฐสาธารณรัฐเยอรมัน
- 3.1.3 บิสมัทไนเตรตเพนตะไฮเดรต (bismuth (III) nitrate pentahydrate) 98 % ผลิตโดยบริษัท Aldrich chemical ประเทศเม็กซิโก
- 3.1.4 แอมโมเนียมเมตาวานาเดต (ammonium metavanadate,  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ) 99.5 % ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.5 กรดซิตริกโมโนไฮเดรต (citric acid monohydrate,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) 99.5% ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศสหพันธรัฐสาธารณรัฐเยอรมัน
- 3.1.6 ยูเรีย (Urea,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) ผลิตโดยบริษัท Fisher Scientific Company ประเทศสหรัฐอเมริกา

- 3.1.7 กรดไนตริก (nitric acid,  $\text{HNO}_3$ ) 65 % ผลิตโดยบริษัท Carlo-Erba reagents ประเทศฝรั่งเศส
- 3.1.8 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) 25 % ผลิตโดยบริษัท Carlo-Erba reagents ประเทศฝรั่งเศส
- 3.1.9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide,  $\text{NaOH}$ ) 97% ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสวีเดน
- 3.1.10 เอทานอล (ethanol,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) 95 % ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศสหพันธรัฐสาธารณรัฐเยอรมัน
- 3.1.11 ไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid,  $\text{HCl}$ ) 37% ผลิตโดยบริษัท RCL-Labscan Limited ประเทศไทย
- 3.1.12 เมทิลีนบลู (methylene blue,  $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$ ) ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศจีน
- 3.1.13 โรดามีนบี (rhodamine B,  $\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{ClN}_2\text{O}_3$ ) 95% ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศอินเดีย
- 3.1.14 เมทิลออเรนจ์ (methyl orange,  $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$ ) ผลิตโดยบริษัท Riedel-de Haën ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 บีกเกอร์ขนาด 50, 100, 250, 400, 600 และ 1,000 มิลลิลิตร
- 3.2.2 ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3.2.3 กระบอกตวงสารขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3.2.4 ปิเปตขนาด 5, 10 และ 25 มิลลิลิตร
- 3.2.5 กระจกปิดสาร
- 3.2.6 ช้อนตักสาร

- 3.2.7 ถ้วยอะลูมินาพร้อมฝาปิด
- 3.2.8 แท่งคนสารทำด้วยแม่เหล็กขนาด 2 และ 5 เซนติเมตร
- 3.2.9 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 3.2.10 เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)
- 3.2.11 เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน
- 3.2.12 เตาอบรุ่น VOS-300 SD ผลิตโดยบริษัท Eyela ประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.13 เตาไฟฟ้าสำหรับเผาสารผลิตโดยบริษัท Lenton Furnace ประเทศอังกฤษ
- 3.2.14 เครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์ (X-rays diffractometer, XRD) รุ่น JDX-8030 ผลิตโดยบริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.15 เครื่องล้างความถี่สูง รุ่น 5880 ผลิตโดยบริษัท Cole-Parmer ประเทศไต้หวัน
- 3.2.16 เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) รุ่น JSM-6355F ผลิตโดยบริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.17 เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope, TEM) รุ่น JSM-2010 ผลิตโดยบริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.18 เครื่องวัดพื้นที่ผิวของอนุภาค (brunauer emmett teller, BET) รุ่น Autosorb 1 MP, Quantachrome
- 3.2.19 เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอนุภาค (ultraviolet visible light) รุ่น Lambda 950
- 3.2.20 เครื่อง photoreactor
- 3.2.21 เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอนุภาค (UV-vis diffuse reflectance spectrophotometer, UV-Vis DRS) รุ่น Perkin Elmer Lambda 1050

3.2.22 เครื่องวัดการเปล่งแสง (photoluminescence, PL) รุ่น AvaSpec-2048TEC-USB2-2 และใช้ LED (Oceans optics, LLS-345) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น 345 นาโนเมตร

3.2.23 เครื่องวัดประจุ zatasizer nano instrument (ZS Malvern) ผลิตโดยประเทศอังกฤษ

3.2.24 เครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (X-ray photoelectron spectroscopy, XPS) รุ่น AXIS Ultra DLD ผลิตโดยบริษัท Kratos Analytical Ltd. ประเทศอังกฤษ

3.2.25 เครื่องวัดคุณสมบัติทางแม่เหล็กแบบสั่นตัวอย่าง (vibrating sample magnetometer, VSM) รุ่น 7400 บริษัท LakeShore

3.2.26 ถังเวทซ์ขนาด 2.5 มิลลิลิตร (Einmal-Küvetten) ผลิตโดยบริษัท BRAND ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน

3.2.27 หลอดไฟฮาโลเจนขนาด 50 วัตต์ ผลิตโดยบริษัท Philips ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

### 3.3 วิธีการสังเคราะห์สารในงานวิจัยนี้ กล่าวถึงวิธีการสังเคราะห์วัสดุผสมนาโนโคบอลต์เฟอร์ไรต์และบิสมีทวานาเดต 2 วิธี คือ

- 1) วิธีไฮโดรเทอร์มอล
- 2) วิธีเผาไหม้สารละลายร่วมกับไฮโดรเทอร์มอล

#### 3.3.1 วิธีการสังเคราะห์วัสดุผสมนาโนโคบอลต์เฟอร์ไรต์และบิสมีทวานาเดตโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

โคบอลต์เฟอร์ไรต์บริสุทธิ์ สามารถเตรียมจากนำละลายไอรอนไนเตรดในอะซิเดต ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และสารละลายโคบอลต์ไนเตรด ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ มาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน อย่างละ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายทั้งสองมาผสมกันในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 8 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 โมลาร์ กวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กคนสารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเทสารละลายลงในชุดไฮโดรเทอร์มอล นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตะกอนมาล้างตะกอนด้วยน้ำปราศจากไอออนและเอทานอลโดยปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 7500

รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที กระทั่งได้ค่าพีเอชเท่ากับ 7 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดด้วยโกร่งให้ละเอียด

วัสดุผสมนาโนโคบอลต์เฟอร์ไรต์และบิสมีทวานาเดต สามารถเตรียมได้จากนำสารละลาย บิสมีทไนเตรตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และละลายแอมโมเนียมวานาเดต ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ มาละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 4 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายแต่ละชนิดลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดไนตริกในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ นำสารละลายบิสมีทไนเตรตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และสารละลายแอมโมเนียมวานาเดต ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ มาอย่างละ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายทั้งสองมาผสมกันในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 7 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 โมลาร์ กวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กคนสารเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผงโคบอลต์เฟอร์ไรต์ที่เตรียมได้จากขั้นตอนแรก มาเติมลงไปให้อัตราส่วนโดยโมล ของบิสมีทวานาเดตต่อโคบอลต์เฟอร์ไรต์เท่ากับ 0.2:0.8, 0.4:0.6, 0.5:0.5, 0.6:0.4 และ 0.8:0.2 ตามลำดับ เทสารละลายลงในชุดไฮโดรเทอร์มอล นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำตะกอนมาล้างตะกอนด้วยน้ำปราศจากไอออนและเอทานอลโดยปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 7500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที กระทั่งได้ค่าพีเอชเท่ากับ 7 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

### 3.3.2 กระบวนการสังเคราะห์วัสดุผสมนาโนโคบอลต์เฟอร์ไรต์และบิสมีทวานาเดตโดยวิธีเผาไหม้สารละลายร่วมกับไฮโดรเทอร์มอล

วัสดุผสมนาโนโคบอลต์เฟอร์ไรต์และบิสมีทวานาเดต สามารถเตรียมได้จากนำแอมโมเนียมวานาเดต หนัก 0.29 กรัมและกรดซิตริก 0.48 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และกวนด้วยแท่งแม่เหล็กคนสารจนละลายหมดจากนั้นให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำบิสมีทไนเตรตเพนตะไฮเดรตหนัก 1.21 กรัมและกรดซิตริก 0.48 กรัม ละลายด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1.5 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และกวนด้วยแท่งแม่เหล็กคนสารจนละลายหมด ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 7 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 โมลาร์ กวนด้วยแท่งแม่เหล็กคนสาร จากนั้นทำการเติม ยูเรีย หนัก 1 กรัม นำสารละลายทั้งสองมาผสมกัน ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร และนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำผงโคบอลต์เฟอร์ไรต์ที่เตรียมได้

จาก 3.3.1 มาเติมลงไปให้อัตราส่วนโดยโมล ของบิสมัทวานาแคตต่อโคบอลต์เฟอร์ไรต์เท่ากับ 0.2:0.8, 0.4:0.6, 0.5:0.5, 0.6:0.4 และ 0.8:0.2 ตามลำดับ เทสารละลายลงในชุดไฮโดรเทอร์มอล นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำตะกอนมาล้าง ตะกอนด้วยน้ำปราศจากไอออนและเอทานอลโดยปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 7500 รอบต่อนาที เป็น เวลา 10 นาที กระทั่งได้ค่าพีเอชเท่ากับ 7 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

### 3.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปหาลักษณะเฉพาะโดยเทคนิคต่างๆ

#### 3.4.1 การเตรียมตัวอย่างสารเพื่อนำไปทดสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

นำที่บรรจุสารมาเซ็ดทำความสะอาดด้วยเอทานอล จากนั้นตักสารตัวอย่างใส่ลงในที่บรรจุสาร แล้วทำการเกลี่ยสารให้แน่นและเรียบด้วยกระจกสไลด์ จากนั้นก็นำไปเข้าเครื่องวิเคราะห์ธาตุ ด้วยรังสีเอ็กซ์ โดยใช้มุมสแกนที่  $20^{\circ}$  ถึง  $80^{\circ}$  และใช้ step scan  $0.015^{\circ}$ /นาที

#### 3.4.2 การเตรียมตัวอย่างสารเพื่อนำไปทดสอบด้วยเทคนิควิเคราะห์พื้นที่ผิวโดยเทคนิค Brunauer emmett teller (BET)

นำสารตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วนำไปอบจนแห้ง ประมาณ 1 กรัม เพื่อกำจัดไอน้ำที่เกาะอยู่บน พื้นผิวเดิมออกด้วยวิธีการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ

#### 3.4.3 การเตรียมตัวอย่างสารเพื่อนำไปทดสอบด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (SEM)

นำสตั๊บบทองเหลืองมาเซ็ดทำความสะอาดด้วยเอทานอลและติดแผ่นทองแดงลงบนสตั๊บบ ทองเหลือง นำสารตัวอย่างไปแขวนลอยในเอทานอล โดยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้สารตัวอย่างเกิดการกระจายตัว นำสารหยดลงบนสตั๊บบทองเหลือง 1-2 หยด และเปิดไฟ ส่องเพื่อให้สารที่หยดลงไปแห้ง

#### 3.4.4 การเตรียมตัวอย่างสารเพื่อนำไปทดสอบด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องผ่าน (TEM)

นำสารตัวอย่างแขวนลอยในเอทานอล โดยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้สารตัวอย่างกระจายตัว จากนั้นหยดสารลงบน carbon coated copper grid 1-2 หยด และทิ้งไว้ เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยไป

#### 3.4.5 การเตรียมตัวอย่างสารเพื่อนำไปทดสอบด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Uv-vis spectroscopy)

นำสารใส่ในช่องใส่สารตัวอย่างพร้อมกับสารตัวอย่างเปรียบเทียบจากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นจาก 300 ถึง 800 นาโนเมตร

#### 3.4.6 การเตรียมตัวอย่างสารเพื่อนำไปทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนส์ (PL)

บรรจุสารลงในช่องใส่สารตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมและมีหลุมตรงกลางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำเข้าเครื่องโฟโตลูมิเนสเซนส์ เพื่อวัดการเปล่งแสงของสาร ทำการวัดค่าการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นจาก 190 ถึง 1100 นาโนเมตร

#### 3.4.7 การเตรียมตัวอย่างสารเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางแม่เหล็กของสาร (VSM)

นำสารตัวอย่างที่ได้จากการสังเคราะห์มาซึ่งประมาณ 0.02 กรัม ทำความสะอาดช่องใส่สารตัวอย่างและเครื่องอัลตราโซนิกส์ ด้วยอะซิโตน จากนั้นนำสารที่ซึ่งใส่ลงในช่องใส่สารตัวอย่าง โดยนำปลายสารตัวอย่างมาต่อกับช่องใส่สารตัวอย่าง ทำการต่อเข้ากับเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น โดยใช้ขั้วการวัดที่ 10 กิโลเกาส์ ทำการเก็บข้อมูลผลการทดลองด้วยโปรแกรม IDEA-VSM

#### 3.4.8 การเตรียมตัวอย่างสารเพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีที่ระดับของวัสดุด้วยเครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (XPS)

นำสารตัวอย่างมาบดด้วยโกร่ง ทำการชั่งด้วยเครื่องชั่ง นำไปบรรจุในแม่แบบสแตนเลสสตีล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดระบบไฮโดรลิกแบบทิศทางเดียว โดยขึ้นงานที่ได้จากขั้นตอนการขึ้นรูปนี้จะมีลักษณะเป็นเม็ดกลมแบน จากนั้นนำไปวางบนแผงติดตัวอย่าง เพื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอ็กซ์

### 3.4.9 การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบด้วยเทคนิคซีตาโพเทนเชียล (Zeta potential)

นำผงตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัมใส่ในน้ำปราศจากไอออนและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปรับค่าพีเอช เท่ากับ 3, 4, 5, ..., 12 โดยใช้ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ สำหรับการปรับค่าพีเอชเป็นกรด และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ สำหรับการปรับค่าพีเอชให้เป็นเบส นำสารผสมที่ปรับ พีเอชในแต่ละค่ามาวัดค่าประจุโดยใช้เครื่อง Zetasizer nano instrument (Malvern)

## 3.5 ขั้นตอนการทดสอบความสามารถการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

### 3.5.1 การทดสอบการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

เตรียมสารละลายเมทิลีนบลู เมทิลออเรนจ์และโรดามีนบี ความเข้มข้น  $0.2 \times 10^{-4}$  โมลาร์ ผสมในน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำผงตัวเร่งปฏิกิริยาหนัก 0.1 กรัม ผสมในสารละลายเมทิลีนบลู เมทิลออเรนจ์และโรดามีนบี และปรับปริมาตรโดยใช้สารละลายเมทิลีนบลู เมทิลออเรนจ์และโรดามีนบี ที่เตรียมขึ้นต้นให้ได้ 100 มิลลิลิตร ทำการคนด้วยแท่งแม่เหล็กคนสารภายใต้สภาวะไม่มีแสง แล้วปิดฝาทิ้งไว้ 60 นาที เพื่อให้เข้าสู่สมดุลการดูดและคาย ของเมทิลีนบลู เมทิลออเรนจ์และโรดามีนบี บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเก็บสารตัวอย่างทุกๆ 30 นาที จากนั้นเริ่มฉายแสงวิสิเบิล ด้วยหลอดไฟฮาโลเจนขนาด 50 วัตต์และเก็บสารตัวอย่างทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำสารผสมที่เก็บจากการทิ้งไว้ไม่ให้โดนแสงและฉายแสง ไปปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 7500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จนสารตกตะกอน แล้วดูดเอาสารละลายเมทิลีนบลู เมทิลออเรนจ์และโรดามีนบี เพื่อนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี จากนั้นทดสอบความสามารถการเร่งปฏิกิริยาค้ำด้วยแสงของตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ ตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

### 3.5.2 ขั้นตอนการทดสอบการนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำการคัดแยกตัวเร่งปฏิกิริยาจากขั้นตอนที่ 3.5.1 โดยใช้สนามแม่เหล็กภายนอก จากนั้นล้างโดยสารละลายเมทิลีนบลู ด้วยน้ำปราศจากไอออนและกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จนหมดไป นำไปปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 7500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 3.5.1 เป็นจำนวน 5 รอบเพื่อหาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวเร่งปฏิกิริยา