

การศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของกระเบื้องเคลือบดินเผาungหลังคา
เคลือบด้วยอนุภาคนาโนที่เตรียมจากแร่แมกเนติกลูโคซีน

THE PHOTOCATALYTIC ACTIVITY OF GLAZED CLAY ROOFING
TILES COATED WITH NANOPARTICLES PREPARED
FROM MAGNETIC LEUCOXENE MINERAL

พนิดา คำมีสิทธิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของกระเบื้องเคลือบดินเผาungหลังคา
เคลือบด้วยอนุภาคนาโนที่เตรียมจากแร่แมกเนติกลูโคซีน

พนิดา คำมีสิทธิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของกระเบื้องเคลือบดินเผา
หลังเคลือบด้วยอนุภาคนาโนที่เตรียมจากแร่แมกเนติกลูโคซีน

The Photocatalytic Activity of Glazed Clay Roofing Tiles Coated with
Nanoparticles Prepared from Magnetic Leucoxene Mineral

ชื่อ - นามสกุล

นางสาวพนิดา คำมีสิทธิ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาวสุปรีย์, Ph.D.

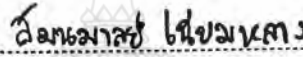
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม


นายอนุชา วรรณก้อน, Ph.D.

ปีการศึกษา


2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนนมาลัย เนียมกลาง, Ph.D.)

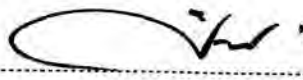
 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์อภิรัตน์ เล่าห์บุตร, ปร.ค.)

 กรรมการ
(อาจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.)

 กรรมการ
(นายอนุชา วรรณก้อน, Ph.D.)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาวสุปรีย์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

 คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อังกูร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 16 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562

| | |
|----------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของกระเบื้องเคลือบดินเผาungหลังคาเคลือบด้วยอนุภาคนาโนที่เตรียมจากแร่แมกเนติกลูโคซีน |
| ชื่อ – นามสกุล | นางสาวพนิดา คำมีสิทธิ์ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมวัสดุ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D. |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | นายอนุชา วรรณก้อน, Ph.D. |
| ปีการศึกษา | 2561 |

บทคัดย่อ

อนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โดยทั่วไปถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานเคลือบวัสดุต่างๆ อาทิ เซรามิกส์ หรือสุขภัณฑ์ เนื่องจากมีสมบัติในการช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อรา แบคทีเรียบางชนิด หรือใช้เคลือบเพื่อเป็นวัสดุบำบัดน้ำเสียได้ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของกระเบื้องเคลือบดินเผาungหลังคาที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนที่เตรียมจากแร่แมกเนติกลูโคซีน ($\text{TiO}_2 \approx 78\%$) โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

แร่แมกเนติกลูโคซีนถูกเตรียมเป็นอนุภาคนาโนด้วยกระบวนการบดและไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผสมเป็นสารเคลือบกระเบื้องดินเผาungหลังคา โดยใช้สารช่วยยึดเกาะ ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) และพอลิอะคริลิกแอตท (PAA) ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์เฟสและองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (XRD) และเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (Micro-EDXRF) และนำกระเบื้องที่เคลือบไปทดสอบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสารละลาย เมทิลีนบลูภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)

ผลการศึกษาพบว่าอนุภาคนาโนที่เตรียมได้ มีโครงสร้างคล้ายท่อที่มีขนาดความยาว 1.8 – 7 μm มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 – 0.3 μm และมีโครงสร้างผลึกแบบสารประกอบไททานเนต ($\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$) สามารถลดความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูได้ 94.07% และพบว่าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนนี้สามารถกระตุ้นปฏิกิริยาเชิงแสงได้ดีกว่ากระเบื้องที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์

คำสำคัญ : แร่แมกเนติกลูโคซีน การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง กระเบื้องเคลือบดินเผาungหลังคา

| | |
|----------------------------|---|
| Thesis Title | The Photocatalytic Activity of Glazed Clay Roofing Tiles Coated with Nanoparticles Prepared from Magnetic Leucoxene Mineral |
| Name - Surname | Miss Phanida Kummeesith |
| Program | Materials Engineering |
| Thesis Advisor | Assistant Professor Sorapong Pavasupree, Ph.D. |
| Thesis Co - advisor | Mr. Anucha Wannagon, Ph.D. |
| Academic Year | 2018 |

ABSTRACT

Titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles are usually applied to coat on materials such as ceramics or sanitary ware because of their properties that inhibit microorganisms, fungi, and certain bacteria types. It is also useful as a wastewater treatment material. This research aimed to study the photocatalytic properties of glazed clay roofing tiles coated with nanoparticles prepared from magnetic leucoxene mineral (TiO₂ ≈ 78 %) by hydrothermal process.

The nanoparticles were prepared by crushing magnetic leucoxene mineral and putting it into hydrothermal reactor at 105° C for 24 hours. The obtained particles were mixed with the binders such as polyethylene glycol (PEG) and polyacrylic acid (PAA), then this was coated on the clay roofing tile. The particles morphology was observed by scanning electron microscopes (SEM), The phases and chemical composition by X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (Micro-EDXRF), respectively. The efficiency of the coated tiles was tested by reducing concentration of methylene blue solution under ultraviolet (UV) light.

The results revealed that the nanoparticles prepared from magnetic leucoxene mineral had similar tube structure of approximately 1.8 - 7 μm with the diameter of 0.1 - 0.3 μm and these also had crystal structure of titanate phase (H₂Ti₃O₇). It can reduce the concentration of methylene blue solution by 94.07%. Additionally, the photocatalytic activity of the roofing tile coated with the nanoparticles prepared from magnetic leucoxene mineral was better than that of commercial titanium dioxide.

Keywords: magnetic leucoxene minerals, photocatalytic activity, glazed clay roofing tile

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ผู้เขียนขอขอบพระคุณ โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) ที่ได้อนุมัติทุนการศึกษา ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และดร.อนุชา วรรณก้อน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมของวิทยานิพนธ์นี้ ดร.สมัญญา สงวนพรรค คุณวิथा ทรงกิตติกุล ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษารวมทั้งสละเวลาให้คำแนะนำและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับแนวทางการทำวิจัย ทำให้ได้รับข้อมูลที่ครบถ้วนและสามารถนำมาใช้วิเคราะห์วางแผนและสรุปข้อมูลได้อย่างราบรื่นซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมาก ตลอดจนรองศาสตราจารย์ ดร.อภิรัตน์ เล่าห์บุตรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมนมาลย์ เนียมกลาง และดร.ณรงค์ชัย โอเจริญ ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลและให้ความร่วมมือในด้านต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ทางด้านวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยจาก ห้อง M 208 หน่วยวิจัยเซรามิกส์และวัสดุก่อสร้าง ณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี รวมถึงบริษัทสินแร่สาครจำกัด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจให้สามารถผ่านพ้นอุปสรรคจนประสบความสำเร็จ คุณความดีอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พนิดา คำมีสีทิช

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | (3) |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | (4) |
| กิตติกรรมประกาศ..... | (5) |
| สารบัญ..... | (6) |
| สารบัญตาราง..... | (9) |
| สารบัญรูป..... | (12) |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... | (16) |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 18 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ..... | 18 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... | 19 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ..... | 20 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 20 |
| 1.5 วิธีการดำเนินงาน..... | 20 |
| 1.6 สถานที่ปฏิบัติงานวิจัย..... | 21 |
| บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 22 |
| 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 22 |
| 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 31 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการ..... | 44 |
| 3.1 แผนการดำเนินงาน..... | 44 |
| 3.2 อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือทดสอบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง..... | 46 |
| 3.3 ขั้นตอนการเตรียมอนุภาคนาโนแร่แมกเนติกลูโคซีนเพื่อนำไปใช้เคลือบบน กระเบื้องดินเผา..... | 49 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 3.4 การหาสารและอัตราส่วนของสารที่เหมาะสมในการทำสารเคลือบจากไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) และอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่สังเคราะห์ได้..... | 53 |
| 3.5 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)..... | 58 |
| 3.6 การทดสอบด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction ; XRD)..... | 58 |
| 3.7 การทดสอบด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer ; μ -EDXRF)..... | 59 |
| 3.8 การทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller ; BET)..... | 60 |
| 3.9 ขั้นตอนการทดสอบการย่อยสลายความเข้มของสารละลายเมทิลีนบลู (Degradation of Methylene Blue) และการทดสอบด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)..... | 61 |
| 3.10 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope ; OM)..... | 63 |
| 3.11 การทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบด้วยวิธีการดึงด้วยเทปกาว (Adhesion by Tape Test)..... | 64 |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน..... | 65 |
| 4.1 ลักษณะทางกายภาพของแร่แมกเนติกลูโคซีน..... | 65 |
| 4.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างและองค์ประกอบของแร่แมกเนติกลูโคซีน..... | 66 |
| 4.3 พื้นที่ผิวจำเพาะของแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller ; BET)..... | 69 |
| 4.4 ผลการทดลองหาสารประกอบและอัตราส่วนของสารประกอบที่ใช้ทำสารเคลือบ..... | 70 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 4.5 ผลวิเคราะห์การย่อยสลายความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู และการทดสอบด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-VIS Spectrophotometer | 80 |
| 4.6 ผลการทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบด้วยวิธีการดึงด้วยเทปกาว (Adhesion by Tape Test)..... | 87 |
| บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... | 90 |
| สรุปผลการทดลอง..... | 90 |
| 5.1 การวิเคราะห์สมบัติของอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้..... | 91 |
| 5.2 การทดสอบสมบัติของแผ่นกระเบื้องดินเผาungหลังคาที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมได้..... | 92 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 93 |
| บรรณานุกรม..... | 94 |
| ภาคผนวก..... | 99 |
| ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่..... | 100 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 117 |

สารบัญตาราง

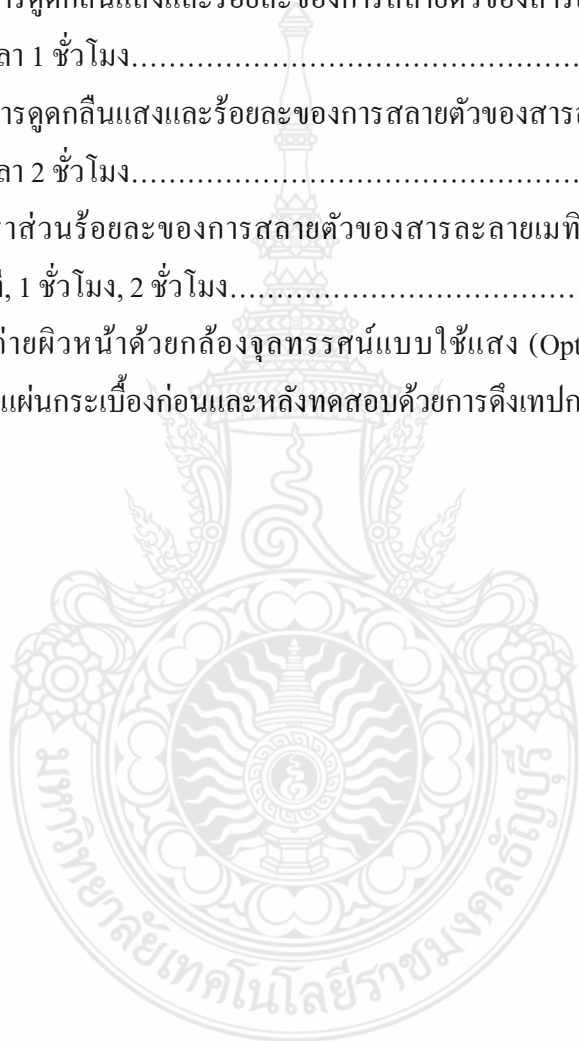
| | หน้า |
|--------------|--|
| ตารางที่ 2.1 | ค่ามุมสัมผัสของกระเบื้องเคลือบไททานเนียมไดออกไซด์ 26 |
| ตารางที่ 2.2 | ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการสังเคราะห์ไททานเนียมไดออกไซด์..... 28 |
| ตารางที่ 2.3 | ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการเคลือบสารไททานเนียมไดออกไซด์..... 30 |
| ตารางที่ 2.4 | สมบัติทางกายภาพทั่วไปของไททานเนียมไดออกไซด์..... 32 |
| ตารางที่ 3.1 | แผนการดำเนินงาน..... 44 |
| ตารางที่ 3.2 | สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 46 |
| ตารางที่ 3.3 | อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... 47 |
| ตารางที่ 3.4 | รายการเครื่องมือทดสอบทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย..... 48 |
| ตารางที่ 3.5 | การทดลองหาอัตราส่วนของสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene Glycol ; PEG)..... 54 |
| ตารางที่ 3.6 | การทดลองหาสารช่วยยึดเกาะที่ 2 (Binder 2) 54 |
| ตารางที่ 3.7 | การทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 (Binder 2)..... 55 |
| ตารางที่ 3.8 | การทดลองหาสารที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้อง..... 55 |
| ตารางที่ 3.9 | การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสารเคลือบสูตรที่ 1 (เคลือบด้วย P25) และสูตรที่ 2 (เคลือบด้วยอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีน, TML)..... 56 |
| ตารางที่ 4.1 | ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่แมกเนติกลูโคซีนด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer ; μ -EDXRF)..... 69 |
| ตารางที่ 4.2 | ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ(specific surface area) ของสารตัวอย่าง..... 70 |
| ตารางที่ 4.3 | การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารช่วยยึดเกาะที่ 1 หรือสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ในอัตราส่วน 3% - 30% และไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) ที่ 3% 71 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| | | หน้า |
|---------------|---|------|
| ตารางที่ 4.4 | รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ในอัตราส่วน 3% - 30% และไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) ที่ 3% | 71 |
| ตารางที่ 4.5 | ผลการทดลองหาสารช่วยยึดเกาะที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยสารพอลิอะคริลิกเอสิท (PAA), สารอีพอกซี (Epoxy) และสาร โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ในอัตราส่วน 1:1 ระหว่างสารช่วยยึดเกาะที่ 1 และสารช่วยยึดเกาะที่ 2..... | 74 |
| ตารางที่ 4.6 | รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยสารพอลิอะคริลิกเอสิท (PAA) , สารอีพอกซี (Epoxy) และสาร โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3)..... | 74 |
| ตารางที่ 4.7 | ผลการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 หรือสารพอลิอะคริลิกเอสิท (PAA) (1 – 10 % w/w)..... | 75 |
| ตารางที่ 4.8 | รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 หรือสารพอลิอะคริลิกเอสิท (PAA)..... | 76 |
| ตารางที่ 4.9 | ผลการทดลองหาสารที่ใช้ปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องที่เหมาะสม..... | 77 |
| ตารางที่ 4.10 | รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของสารที่ใช้ปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้อง..... | 78 |
| ตารางที่ 4.11 | อัตราส่วนของน้ำเคลือบที่เหมาะสมทั้ง 2 สูตร..... | 79 |
| ตารางที่ 4.12 | รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร PPPE และ MPPE..... | 79 |
| ตารางที่ 4.13 | รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของแผ่นกระเบื้องก่อนและหลังทดสอบด้วยการนำไปย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู..... | 84 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 4.14 ค่าการดูดกลืนแสงและร้อยละของการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลู ที่เวลา 30 นาที..... | 85 |
| ตารางที่ 4.15 ค่าการดูดกลืนแสงและร้อยละของการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลู ที่เวลา 1 ชั่วโมง..... | 85 |
| ตารางที่ 4.16 ค่าการดูดกลืนแสงและร้อยละของการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลู ที่เวลา 2 ชั่วโมง..... | 86 |
| ตารางที่ 4.17 อัตราส่วนร้อยละของการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลูที่เวลา 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง..... | 87 |
| ตารางที่ 4.18 รูปถ่ายผิวหนังด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของแผ่นกระเบื้องก่อนและหลังทดสอบด้วยการดิงเทปขาว..... | 89 |



สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 ภาพ SEM ของแร่แมกเนติกลูโคซีนก่อนสังเคราะห์และแผ่นบางนาโนที่สังเคราะห์ได้..... | 22 |
| รูปที่ 2.2 ภาพ SEM ของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 115 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง..... | 23 |
| รูปที่ 2.3 XRD pattern ของสารตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ..... | 23 |
| รูปที่ 2.4 ภาพ TEM ของสารนาโนไททานเนียมไดออกไซด์แบบที่เตรียมโดยใช้สารลดแรงตึงผิวโดยเผาที่อุณหภูมิ 500 °C..... | 24 |
| รูปที่ 2.5 การลดลงของเชื้อแบคทีเรียเมื่อใช้สารเคลือบไททานเนียมไดออกไซด์ 5 % ผสม ข) 3% PEG-1000 หมายถึง เส้นประคือการใช้หลอดไฟที่เคลือบเฉพาะสารยัดติด (ไม่มีไทเทเนียมไดออกไซด์)..... | 25 |
| รูปที่ 2.6 ภาพ SEM พื้นผิวของหลอดไฟลูออเรสเซนต์เคลือบ 5% TiO ₂ ผสม ก) 1% PEG - 1000 (กำลังขยาย 1000 เท่า) ข) 3%PEG-1000 (กำลังขยาย 1000 เท่า) ค) 1% PEG -1000 (กำลังขยาย 20000 เท่า) ง) 3% PEG-1000 (กำลังขยาย 20000 เท่า)..... | 25 |
| รูปที่ 2.7 ภาพการทดสอบย่อยสลายด้วยแสงของตัวอย่างสารละลายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ | 26 |
| รูปที่ 2.8 สารไททานเนียมไดออกไซด์..... | 32 |
| รูปที่ 2.9 รูปโครงสร้างผลึกของแร่ไททานเนียมไดออกไซด์..... | 33 |
| รูปที่ 2.10 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารกึ่งตัวนำไททานเนียมไดออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแสง..... | 34 |
| รูปที่ 2.11 ปฏิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททานเนียมไดออกไซด์..... | 35 |
| รูปที่ 2.12 กลไกของปฏิริยาโฟโตแคตาไลซิสบนสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์ | 37 |
| รูปที่ 2.13 แร่แมกเนติกลูโคซีน..... | 39 |
| รูปที่ 2.14 โครงสร้างเมทิลินบลู..... | 40 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | | หน้า |
|-------------|--|------|
| รูปที่ 2.15 | เครื่องบดละเอียดความเร็วสูง Planetary ball mill Model Pm 200..... | 40 |
| รูปที่ 2.16 | เครื่อง X-ray Diffraction (XRD)..... | 41 |
| รูปที่ 2.17 | ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)..... | 42 |
| รูปที่ 2.18 | ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง Optical Microscope..... | 43 |
| รูปที่ 2.19 | หลักการทํางานของเครื่องยูวีวิสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) | 43 |
| รูปที่ 3.1 | แผนการดำเนินงาน..... | 45 |
| รูปที่ 3.2 | สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... | 46 |
| รูปที่ 3.3 | อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการทดลอง..... | 48 |
| รูปที่ 3.4 | เครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ, โครงสร้าง, องค์ประกอบทางเคมีและประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู..... | 49 |
| รูปที่ 3.5 | การบดแร่ด้วยเครื่องบดละเอียดความเร็วสูง Planetary ball mill..... | 50 |
| รูปที่ 3.6 | ขั้นตอนการเตรียมอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีน..... | 51 |
| รูปที่ 3.7 | ขั้นตอนสารเตรียมสารละลาย..... | 52 |
| รูปที่ 3.8 | ขั้นตอนการสังเคราะห์ด้วยชุดถังปฏิกรณ์..... | 52 |
| รูปที่ 3.9 | การล้างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้แร่ที่ได้มีค่าเป็นกลาง..... | 52 |
| รูปที่ 3.10 | ขั้นตอนการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารที่จะใช้เพื่อเคลือบแผ่นกระเบื้อง..... | 53 |
| รูปที่ 3.11 | กระบวนการเคลือบกระเบื้องดินเผา..... | 57 |
| รูปที่ 3.12 | ขั้นตอนการเคลือบสารเคลือบลงบนแผ่นกระเบื้อง..... | 58 |
| รูปที่ 3.13 | การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)..... | 58 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | | หน้า |
|-------------|---|------|
| รูปที่ 3.14 | การทดสอบด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction ; XRD)..... | 59 |
| รูปที่ 3.15 | การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอ็กซ์ (Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer ; μ -EDXRF)..... | 60 |
| รูปที่ 3.16 | การทดสอบการวัดค่าพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิคบรูว์นอร์ เอ็มเมทท์และเทเลเลอร์ (BET)..... | 61 |
| รูปที่ 3.17 | การทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูด้วยแสงยูวี (UV)..... | 62 |
| รูปที่ 3.18 | การทดสอบการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)..... | 62 |
| รูปที่ 3.19 | การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)..... | 63 |
| รูปที่ 3.20 | ขั้นตอนการทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบด้วยวิธีการดึงด้วยเทปกาว..... | 64 |
| รูปที่ 4.1 | ลักษณะทางกายภาพของแร่แมกเนติกลูโคซีน (a) แร่แมกเนติกก่อนนำไปบด (b) หลังจากนำไปบด (c) หลังจากนำไปสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล..... | 65 |
| รูปที่ 4.2 | ลักษณะทางกายภาพของแร่แมกเนติกลูโคซีน (a) ก่อนการนำไปบดที่กำลังขยาย X100 (b) หลังการนำไปบดที่กำลังขยาย X100 (c.) ที่ขนาดนาโนที่กำลังขยาย X5,000 (d) ที่ขนาดนาโนที่กำลังขยาย X10,000 (e) ที่ขนาดนาโนที่กำลังขยาย X20,000..... | 67 |
| รูปที่ 4.3 | XRD Patterns โครงสร้างผลึกของแร่แมกเนติกลูโคซีน (a) ก่อน และ (b) หลังการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล..... | 68 |
| รูปที่ 4.4 | รูปถ่ายแร่แมกเนติกลูโคซีนที่ได้จากเทคนิคการเรืองรังสีเอ็กซ์ (Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer ; μ -EDXRF)..... | 69 |

สารบัญรูป (ต่อ)

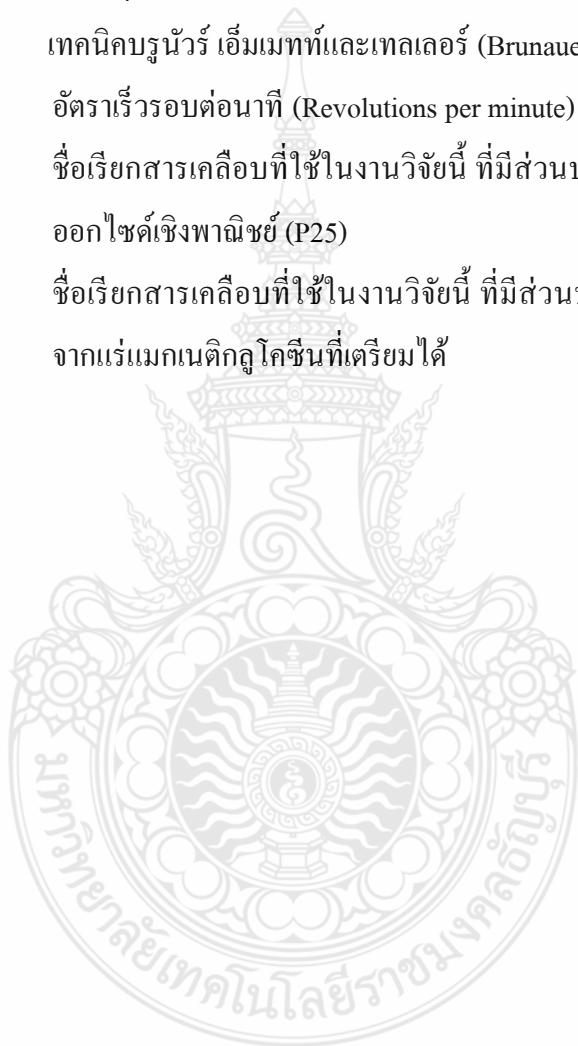
| | | หน้า |
|-------------|--|------|
| รูปที่ 4.5 | กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของสารเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 ppm..... | 80 |
| รูปที่ 4.6 | กราฟการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) และอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ (TML)..... | 81 |
| รูปที่ 4.7 | ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) และอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ (TML) | 81 |
| รูปที่ 4.8 | (a) สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 ppm (b) สารละลายเมทิลีนบลูใต้แสงยูวี (UV) (c)ไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) (d) อนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้โดยทดสอบที่เวลา 2 ชั่วโมง..... | 82 |
| รูปที่ 4.9 | กราฟการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของแผ่นกระเบื้องไม่เคลือบ, แผ่นกระเบื้องเคลือบสารสูตร PPPE และ MPPE..... | 83 |
| รูปที่ 4.10 | ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของแผ่นกระเบื้องไม่เคลือบ, แผ่นกระเบื้องเคลือบสารสูตร PPPE และ MPPE..... | 83 |
| รูปที่ 4.11 | (a) สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 ppm (b) แผ่นกระเบื้องที่ไม่ได้เคลือบสาร (c) แผ่นกระเบื้องเคลือบสารเคลือบสูตร MPPE (d) แผ่นกระเบื้องเคลือบสารเคลือบสูตร PPPE โดยทดสอบที่เวลา 2 ชั่วโมง..... | 84 |

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | |
|---|--|
| TiO ₂ | ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) |
| P25 | อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ |
| ML | แร่แมกเนติกลูโคซีน |
| TML | อนุภาคนาโนจากการเตรียมแร่แมกเนติกลูโคซีน |
| SiO ₂ | ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide) |
| CaO | แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide) |
| Cr ₂ O ₃ | โครเมียมออกไซด์ (Chromic oxide) |
| Fe ₂ O ₃ | ไอรอนออกไซด์ (Iron oxide) |
| ZrO ₂ | เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (Zirconium dioxide) |
| H ₂ Ti ₃ O ₇ | โครงสร้างผลึกแบบไททานेट (Titanate) |
| R | โครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ (Rutile) |
| A | โครงสร้างผลึกแบบอนาเทส (Anatase) |
| H | ไฮโดรเจนไททานेट (Hydrogen Titanate) |
| NaOH | โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) |
| HCl | กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) |
| PEG | พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) |
| PAA | พอลิอะคริลิก แอซิด (Polyacrylic acid) |
| Na ₂ SiO ₃ | โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) |
| M | โมลาร์ (Molar) |
| °C | องศาเซลเซียส |
| µm | ไมโครเมตร |
| nm | นาโนเมตร |
| SEM | กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) |
| XRD | เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction) |

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | |
|--------------|---|
| μ -EDXRF | เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer) |
| OM | กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) |
| BET | เทคนิคบรูน่าวอร์ เอ็มเมทท์และเทลเลอร์ (Brunauer-Emmett-Teller) |
| rpm | อัตราเร็วรอบต่อนาที (Revolutions per minute) |
| PPPE | ชื่อเรียกสารเคลือบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ที่มีส่วนประกอบของไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) |
| MPPE | ชื่อเรียกสารเคลือบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันไททาเนียมไดออกไซด์ได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสารที่มีความเสถียรสูง ไม่มีพิษ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ซึ่งถูกจัดอยู่ในสารเคมีที่มีความปลอดภัย ไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับการใช้เคลือบวัสดุก่อสร้างต่างๆ เช่น เซรามิกส์ พลาสติก โลหะ แก้ว กระจก หรือสุขภัณฑ์ เนื่องจากมีสมบัติพิเศษที่เป็นประโยชน์หลากหลาย ทั้งยังช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อรา หรือแบคทีเรียบางชนิดได้ และสามารถนำมาเคลือบบนวัสดุต่างๆ เพื่อเป็นวัสดุที่สามารถทำความสะอาดตัวเอง (Self-Cleaning) เพื่อป้องกันเชื้อรา สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์บางชนิดและสิ่งสกปรกที่มักจะเกิดขึ้นบนผิวหน้าของแผ่นกระเบื้องหรือวัสดุที่ใช้ในการทำเครื่องสุขภัณฑ์ ทั้งยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นวัสดุบำบัดน้ำเสียของสีย้อมผ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมและอุตสาหกรรมแบบครัวเรือนได้อีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งไททาเนียมไดออกไซด์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในด้านการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) และเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลซิส (Photocatalysis) นอกจากนี้ไททาเนียมไดออกไซด์ยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบปกติ (ไม่ใช่แสง) ได้คืออีกด้วย [1] ซึ่งปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลซิส (Photocatalysis) ในไททาเนียมไดออกไซด์ได้นำมาใช้ในการยับยั้งและฆ่าเชื้อโรคในงานด้านต่างๆ มากมาย ทั้งในทางการแพทย์ เกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยกลไกของปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลซิสจะเริ่มขึ้นเมื่อมีแสงมากระทบกับไททาเนียมไดออกไซด์ อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นจากแถบเวเลนซ์ (Valence band) ไปแถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) ส่งผลให้ออกซิเจนมีพลังงานเพิ่มมากขึ้นหรือที่เรียกซูปเปอร์ออกซิเจน กระบวนการที่ถูกกระตุ้นนี้เกิดขึ้นหลังจากเกิดช่องว่าง (Vacancy) เมื่อประจุบวกหลุดออกไปจะทำให้เกิดการออกซิไดซิง (Oxidizing) อย่างรุนแรงหรือทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radical) จากนั้นซูปเปอร์ออกซิเจนกับไฮดรอกซิลเรดิคัลนี้จะไปสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ให้แตกตัวออกกลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ และสามารถใช้ในการฆ่าเชื้อโรคและเชื้อราได้ [2]

แร่แมกเนติกลูโคซีนเป็นแร่ธรรมชาติที่พบได้ในประเทศไทย และเป็นแร่ธรรมชาติที่มีไททานเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก แร่ดังกล่าวมีสมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้กับแสงธรรมชาติโดยไม่ต้องถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี และมีราคาถูกกว่าไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่นำมาใช้กันโดยส่วนใหญ่หลายเท่า กระบวนการเร่งปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสในไททานเนียมไดออกไซด์นั้น ก็ถูกนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดของเสียทั้งในตัวกลางที่เป็นน้ำ อากาศ หรือทางดินได้ ในงานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะนำอนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้จากแร่แมกเนติกลูโคซีนนำมาเคลือบบนแผ่นกระเบื้องดินเผาungหลังคาชนิดที่เคลือบแก้ว เพื่อให้แผ่นกระเบื้องนั้นมีสมบัติในการย่อยสลายสิ่งสกปรกจากสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ไททานเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้จากแร่นี้หากได้มีการนำมาใช้งานทดแทนไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ได้นั้นก็จะทำให้ช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้เป็นอย่างมาก อีกทั้งยังช่วยให้กระเบื้องมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นและกำจัดมลพิษมลภาวะที่เจือปนมาจากน้ำฝนหรือฝุ่นละอองได้

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เป็นกระบวนการสังเคราะห์วัสดุนาโนที่ไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อน อีกทั้งในงานวิจัยนี้ยังได้ใช้ชุดถังปฏิกรณ์ที่ผลิตขึ้นเองในประเทศที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง และในกระบวนการเตรียมนั้นก็ใช้อุณหภูมิ แรงดัน และความเข้มข้นของสารละลายไม่สูงมากนักจนเป็นอันตรายและเป็นอุปสรรคต่อการทำงานวิจัย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการเตรียมวัสดุนาโนไททานเนียมไดออกไซด์จากแร่แมกเนติกลูโคซีนซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศ ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่ใช้ชุดถังปฏิกรณ์ที่ผลิตขึ้นเองในประเทศ และนำวัสดุนาโนที่ได้ไปใช้เคลือบบนแผ่นกระเบื้องดินเผาสำหรับมุงหลังคา เพื่อศึกษาสมบัติในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูและสมบัติทางด้านอื่นๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมและการเคลือบกระเบื้องดินเผาโดยใช้วัสดุนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้น

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ที่ใช้เคลือบบนแผ่นกระเบื้องมุงหลังคา

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ทำการเตรียมวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์จากแร่ธรรมชาติด้วยวิธีการบดและวิธีการไฮโดรเทอร์มอล

1.3.2 เคลือบสารละลายที่มีวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนผสมบนกระเบื้องดินเผา

1.3.3 ทดสอบและวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงและสมบัติการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้วัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์จากแร่ธรรมชาติของไทยที่มีสมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

1.4.2 ได้วิธีการเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์บนกระเบื้องดินเผา

1.4.3 ได้ทราบถึงสมบัติในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูจากวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาค้นหาหาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในการทำงานวิจัย

1.5.3 บดแร่ด้วยเครื่องบด และนำไปผ่านการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.5.4 นำวัสดุนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆด้วยเครื่อง SEM , XRD , Micro - XRF , UV-VIS Spectrophotometer

1.5.5 นำไปทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูโดยการใช้ปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสง (Degradation of Methylene Blue)

1.5.6 นำไปเคลือบบนกระเบื้องดินเผาสำหรับมุงหลังคาที่เป็นตัวอย่างสำหรับการทดลอง

1.5.7 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย

1.5.8 จัดทำรูปเล่มรายงานที่เสร็จสมบูรณ์

1.6 สถานที่ปฏิบัติงานวิจัย

1.6.1 ห้อง M208 หน่วยวิจัยเซรามิกส์และวัสดุก่อสร้าง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

1.6.2 ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

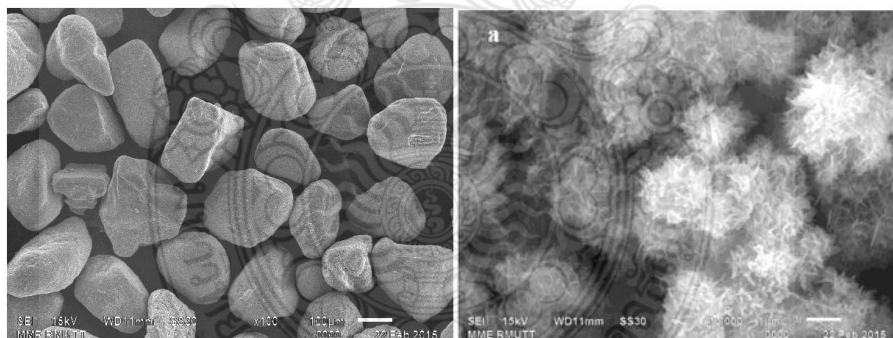


บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

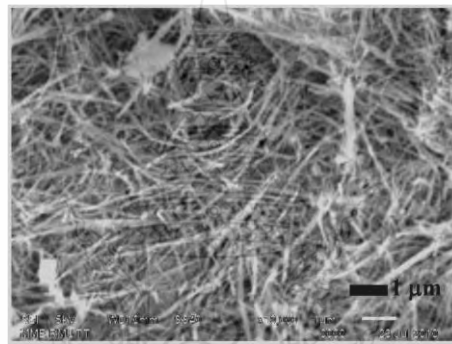
2.1.1 W. Charemtanom, S. Pavasupree และคณะ [3] ได้ทำการสังเคราะห์แผ่นบางนาโนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) โดยการใช้แร่แมกเนติกลูโคซีน (TiO_2 70 - 80%) เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ทำการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดังกล่าวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 โมลาร์ (M) โดยใช้สภาวะในการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าแร่แมกเนติกลูโคซีนก่อนการสังเคราะห์จะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ มีรูปร่างแตกต่างกัน และขนาดประมาณ 100 – 300 ไมโครเมตร (μm) ดังรูปที่ 2.1 เมื่อนำไปบดพบว่ามีความลดลงเหลือ 0.5 – 10 μm ภายหลังจากการสังเคราะห์พบว่าแผ่นบางนาโนที่ได้นั้นมีรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายดอกไม้ มีลักษณะเป็นแผ่นโค้งเล็กน้อย มีขนาดประมาณ 2 - 5 นาโนเมตร (nm) ดังรูปที่ 2.1 จากการศึกษาโดยการนำไปทดสอบในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูพบว่าแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูได้ 96.8 %



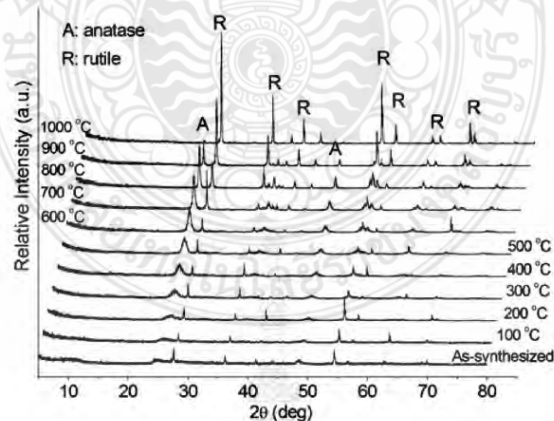
รูปที่ 2.1 ภาพ SEM ของแร่แมกเนติกลูโคซีนก่อนสังเคราะห์และแผ่นบางนาโนที่สังเคราะห์ได้ [3]

2.1.2 D. Aphairaj และคณะ [4] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ผลของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างของผงไททาเนียมไดออกไซด์ ทำการสังเคราะห์โดยมีการใช้แร่ลูโคซีนเป็นสารตั้งต้น โดยใช้แร่ลูโคซีนในปริมาณ 16 กรัม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ml) ใส่ลงในชุดถังปฏิกรณ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมและบุด้วยเทฟลอน ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ที่ 115 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่า

รูปร่างของสารตัวอย่างที่ได้เป็นท่อนาโนและเส้นใยนาโน ท่อนาโนไททานเนตที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 – 20 nm ดังรูปที่ 2.2 ส่วนเส้นใยนาโนไททานเนตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 – 50 nm ทำการทดสอบหาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟเฟคชั่น (XRD) พบว่าสารตัวอย่างก่อนการนำไปเผามีโครงสร้างผลึกแบบไททานเนตผสมผลึกแบบรูไทล์ โครงสร้างแบบไททานเนตมีการเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างอนาเทส ที่อุณหภูมิการเผาที่ 300 °C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้น พบว่าความเป็นผลึกแบบอนาเทสมีการเพิ่มขึ้น และเมื่อให้อุณหภูมิการเผาเป็น 700 – 900 °C พบโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C จะพบโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์อย่างเดียวดังรูปที่ 2.3

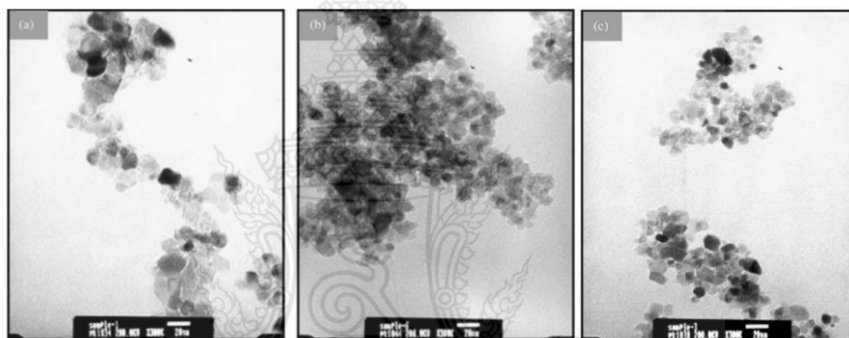


รูปที่ 2.2 ภาพ SEM ของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 115 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [4]



รูปที่ 2.3 XRD pattern ของสารตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ [4]

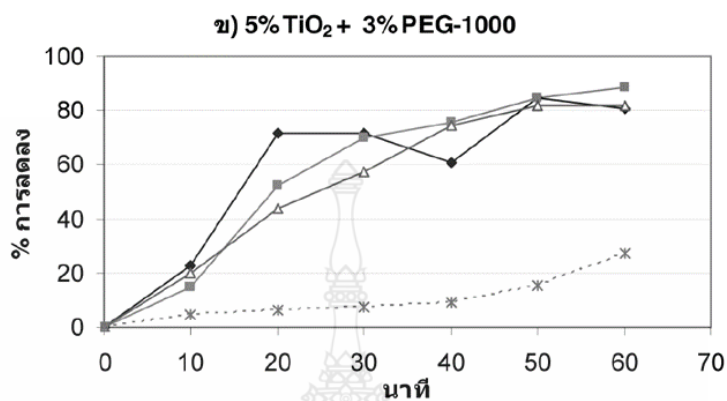
2.1.3 Li และคณะ [5] ศึกษาผลของการเคลือบ TiO_2 บนคาร์บอน (active carbon) เพื่อเพิ่มปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก โดยการได้ปด้วยสารซิงค์เฟอร์ไรต์ (Zinc Ferrite ; ZnFe_2O_4) งานวิจัยนี้เตรียมสารตัวอย่างด้วยวิธีโซลเจล (Sol – gel) และใช้อุณหภูมิในการเผา $400\text{ }^\circ\text{C}$, $500\text{ }^\circ\text{C}$ และ $600\text{ }^\circ\text{C}$ ดังรูปที่ 2.4 ทดสอบการสลายตัวของสารเมทิลออเรนจ์ (Methyl orange ; MO) พบว่าที่ $400\text{ }^\circ\text{C}$ สารซิงค์เฟอร์ไรต์ (ZnFe_2O_4) จะแสดงปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกได้ดีกว่าเผาที่อุณหภูมิอื่นๆ พบว่ามีขนาดผลึกใหญ่ขึ้น และมีพื้นที่ผิวลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในส่วนของประจุที่ผิว (Surface charge) โดยพื้นที่ผิวมีการส่งผลต่อการดูดซับสารเมทิลออเรนจ์ (MO) บนสารซิงค์เฟอร์ไรต์ (ZnFe_2O_4) ที่เป็นแคตาลิสต์ ดังนั้นที่อุณหภูมิ $400\text{ }^\circ\text{C}$ สารซิงค์เฟอร์ไรต์ (ZnFe_2O_4) จะแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกที่ดีที่สุด



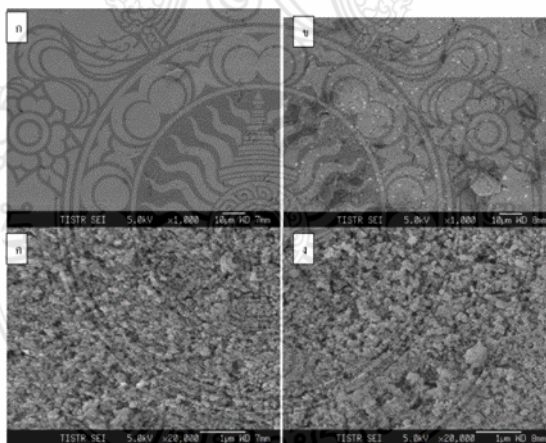
รูปที่ 2.4 ภาพ TEM ของสารนาโนไททานเนียมไดออกไซด์แบบที่เตรียมโดยใช้สารลดแรงตึงผิวโดยเผาที่อุณหภูมิ $500\text{ }^\circ\text{C}$ [5]

2.1.4 สีหราช ลาภเกินและคณะ [6] ทำการศึกษาการใช้ไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) มาผสมกับสารยัดเกาะต่างๆ อันได้แก่ สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol ; PEG-1000) , สารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol ; PVA) , สารซิลิโคน 69 (Silane-69) ในอัตราส่วน 1-3% โดยใช้ไททานเนียมไดออกไซด์ที่ 5% เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชเชอริเชีย โคลไล (Escherichia coli ; E.coli) โดยวิธีการพ่นสเปรย์บนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ติดตั้งในห้องขนาด $2\text{ } \times\text{ } 2\text{ } \times\text{ } 2$ ตารางเมตรอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยตำแหน่งที่ติดตั้งหลอดไฟมีระดับความสูง 1.5 เมตร ผลการศึกษาพบว่าห้องที่ติดตั้งหลอดไฟที่ไม่ได้เคลือบพบการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย E.coli โดยเฉลี่ย 29% หลอดไฟที่เคลือบด้วยสาร (PEG-1000) 3% และ P25 5% สามารถลดจำนวนของเชื้อแบคทีเรีย E.coli ที่สูงที่สุด 84% รองลงมาได้แก่การใช้ PVA 3% และไททา

เนียมไดออกไซด์ 5% สามารถลดเชื้อ E.coli ได้ 71% สาร Silane-69 3% และไททาเนียมไดออกไซด์ 5% สามารถลดเชื้อแบคทีเรีย E.coli ได้ 57%

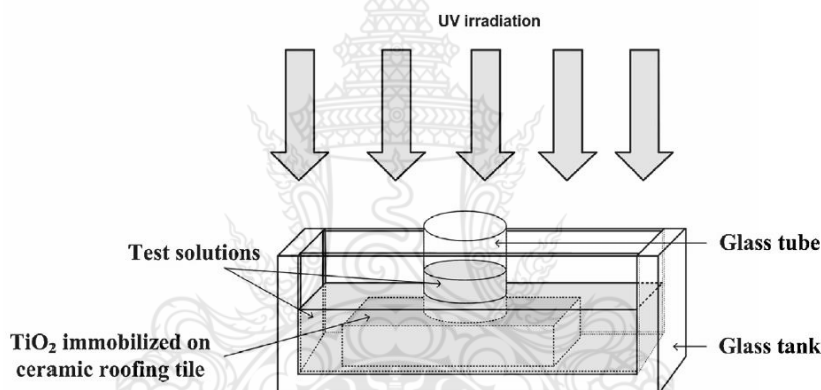


รูปที่ 2.5 การลดลงของเชื้อแบคทีเรียเมื่อใช้สารเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ 5 % ผสม ข) 3% PEG-1000 หมายถึง เส้นประคือการใช้หลอดไฟที่เคลือบเฉพาะสารยึดติด (ไม่มีไทเทเนียมไดออกไซด์) [6]



รูปที่ 2.6 ภาพ SEM พื้นผิวของหลอดไฟลูออเรสเซนต์เคลือบ 5% TiO₂ ผสม ก) 1% PEG-1000 (กำลังขยาย 1000 เท่า) ข) 3%PEG-1000 (กำลังขยาย 1000 เท่า) ค) 1% PEG-1000 (กำลังขยาย 20000 เท่า) ง) 3% PEG-1000 (กำลังขยาย 20000 เท่า) [6]

2.1.5 M. Radeka และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาการลดสมบัติความไม่ชอบน้ำของกระเบื้องดินเผาด้วยการพ่นสเปรย์สารเคลือบที่มีส่วนผสมของไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) ในอัตราส่วน 2.5 %, น้ำปราศจากไอออน (DI Water), VP Disp.W2730X, สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol ; PEG-600) ในอัตราส่วน 0.208% ลงบนผิวกระเบื้องด้วยแรงสเปรย์ความเร็ว 6.1 เมตรต่อวินาที (m/s) ที่ความดัน 8 บาร์ และได้ใช้เครื่องจักรเตาเผาลูกกลิ้งในงานอุตสาหกรรมเซรามิกในการกลิ้งเพื่อให้สารเคลือบติดลงบนผิวแผ่นกระเบื้องเป็นเวลา 40 นาทีโดยใช้อุณหภูมิ 400 °C เป็นปัจจัยในการควบคุมจากนั้นใช้วิธีการจุ่มชิ้นงานตัวอย่างลงในน้ำที่เป็นสารทดสอบ (Test Solution) ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งสารที่ใช้เป็น Test Solution ในงานนี้ก็คือ P-CBA + Methanol + Tert-butanol + DI Water จากผลการวิจัยพบว่า การใช้สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ร่วมกับไททานเนียมไดออกไซด์สามารถช่วยลดสมบัติของความไม่ชอบน้ำให้กับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องตัวอย่างได้ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.7 ภาพการทดสอบย่อยสลายด้วยแสงของตัวอย่างสารละลายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ [7]

ตารางที่ 2.1 ค่ามุมสัมผัสของกระเบื้องเคลือบไททานเนียมไดออกไซด์ [7]

| Values of the water contact angel of reference and TiO ₂ coated tiles. | | |
|---|---------------------|------------------------------|
| Irradiation time (h) | Contact angle (°) | |
| | Reference tile | TiO ₂ coated tile |
| 0 | 63.1 | 32.0 |
| 1.5 | 63.0 | 17.8 |
| 2.5 | 63.0 | < 10 |
| 3.5 | 59.9 | < 10 |
| 24 | 59.8 | < 5 |

2.1.6 Yemmireddy VK และคณะ [8] ได้ศึกษาสารยัดเกาะที่ช่วยให้ไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) มีความคงตัวทางกายภาพและยังคงสมบัติด้านการต้านเชื้อโรคบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม โดยใช้สารยัดเกาะ 3 ชนิดได้แก่ สารเซลแลค (Shellac) ,สารพอลิยูรีเทน (Polyurethane) และสารพอลิอะคริลิก (Polyacrylic) ทดสอบภายใต้ความเข้มข้นของแสงที่ 3 ระดับที่ 0.25, 0.50 และ 0.75 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm^2) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าการเคลือบด้วยสารยัดเกาะของสารพอลิอะคริลิก (Polyacrylic) มีผลทำให้จำนวนของเชื้อแบคทีเรีย (E.coli O157: H7) ลดลงได้ และยังคงรักษาความเสถียรภาพของสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียดั้งเดิมได้ยาวนาน



ตารางที่ 2.2 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไททานเนียมไดออกไซด์

| ลำดับที่ | ชื่อผู้แต่ง | ขอบเขตงานวิจัย | สารเคมีที่ใช้ | สภาวะในการเตรียม | ผลที่ได้ |
|----------|--------------------------------------|---|--|---|---|
| 1. | W.Chareerntanom ,S.Pavasupree และคณะ | ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์แผ่นบางขนาดนาโนของแร่แมกเนติกโคชินด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) | แร่แมกเนติกโคชินและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 M | ใช้สภาวะการสังเคราะห์ที่ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง | จากการศึกษาพบว่าแร่แมกเนติกโคชินก่อนการสังเคราะห์จะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆขนาดประมาณ 100 – 300 μm เมื่อนำไปบดพบว่ามีขนาดลดลงเหลือ 0.5 – 10 μm ภายหลังจากการสังเคราะห์พบว่าแผ่นบางนาโนที่ได้นั้นมีรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายดอกไม้ มีลักษณะเป็นแผ่นโค้งเล็กน้อย มีขนาดประมาณ 2 - 5 nm จากการศึกษาโดยการนำไปทดสอบในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูพบว่าแผ่นบางขนาดนาโนจากแร่แมกเนติกโคชินมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูได้ 96.8 % |
| 2. | D.Aphairaj และคณะ | ได้ศึกษาการสังเคราะห์ผลของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างของผงไททานเนียมไดออกไซด์ | ของแร่โคชินของไทยเป็นสารตั้งต้นในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 M ปริมาตร 100 ml | (Hydrothermal) ที่ 115 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง | พบว่าสารตัวอย่างที่ได้เป็นท่อนาโนและเส้นใยนาโน ท่อนาโนไททานเนียมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10–20 nm เส้นใยนาโนไททานเนียมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 – 50 nm |

ตารางที่ 2.2 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไททานเนียมไดออกไซด์ (ต่อ)

| ลำดับที่ | ชื่อผู้แต่ง | ขอบเขตงานวิจัย | สารเคมีที่ใช้ | สถานะในการเตรียม | ผลที่ได้ |
|----------|-------------|---|---|---|---|
| 3. | Li และคณะ | ศึกษาผลของการเคลือบ TiO ₂ บน คาร์บอน (active carbon) | TiO ₂ ได้ปด้วย Zinc Ferrite (TiO ₂ (ZnFe ₂ O ₄)) | เตรียม วิธี Sol-gel และใช้อุณหภูมิในการเผา 400 °C 500 °C และ 600 °C | พบว่าที่ 400 °C ผง TiO ₂ (ZnFe ₂ O ₄) จะแสดงปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกได้ดีกว่าเผาที่อุณหภูมิอื่นๆ และมีขนาดผลึกใหญ่ขึ้น พื้นที่ผิวลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ประจุที่ผิว (Surface charge) โดยพื้นที่ผิวส่งผลต่อการดูดซับ MO บนTiO ₂ (ZnFe ₂ O ₄) ที่เป็นคะตะลิสต์ ดังนั้นที่อุณหภูมิ 400 °C TiO ₂ (ZnFe ₂ O ₄) จะแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกที่ดีที่สุด |



ตารางที่ 2.3 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบสารไททานเนียมไดออกไซด์

| ลำดับที่ | ชื่อผู้แต่ง | ขอบเขตงานวิจัย | สารเคมีที่ใช้ | วิธีการเตรียม | ผลที่ได้ |
|----------|-------------------------------|---|--|--|---|
| 1 | สีหราช ลาก เกิน และ คณะ | ศึกษาการใช้ ไททานเนียมได ออกไซด์มาผสม กับสารยึดเกาะ ต่างๆ | Polyethylene glycol (PEG-1000) , Polyvinyl alcohol (PVA), Silane-69 ในอัตราส่วน 1-3% และใช้ไททานเนียมไดออกไซด์ที่ 5% | วิธีการพ่นสเปรย์บนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ติดอยู่ในห้องขนาด 2 x 2 x 2 ตารางเมตร | หลอดไฟที่เคลือบด้วย Polyethylene glycol (PEG-1000) 3 % และไททานเนียมไดออกไซด์ 5% สามารถลดจำนวนของ E.coli ที่สูงที่สุด 84% รองลงมาได้แก่การใช้ PVA 3%และไททานเนียมไดออกไซด์ 5% สามารถลดเชื้อ E.coli ได้ 71% สาร Silane-69 3%และไททานเนียมไดออกไซด์ 5% สามารถลดเชื้อ E.coli ได้ 57% |
| 2 | M.Radeka และคณะ | ศึกษาการลด สมบัติความไม่ ชอบน้ำของ กระเบื้องดินเผา | ไททานเนียมไดออกไซด์ 2.5 % , DI Water , VP Disp.W2730X, PEG M-600 (0.208%) | การพ่นสเปรย์สารเคลือบลงบนผิวกระเบื้องด้วยแรงสเปรย์ความเร็ว 6.1 เมตร/วินาที ที่ความดัน 8 บาร์ และได้ใช้เครื่องจักรเตาเผาสุกกลิ้งเพื่อให้สารเคลือบติดลงบนผิวแผ่นกระเบื้องเป็นเวลา 40 นาทีโดยใช้อุณหภูมิ 400 °C | การใช้ Polyethylene Glycol (PEG) ร่วมกับไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) สามารถช่วยลดสมบัติของความไม่ชอบน้ำให้กับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องตัวอย่าง |

2.1.7 สรุปขั้นตอนและวิธีการ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานวิจัย

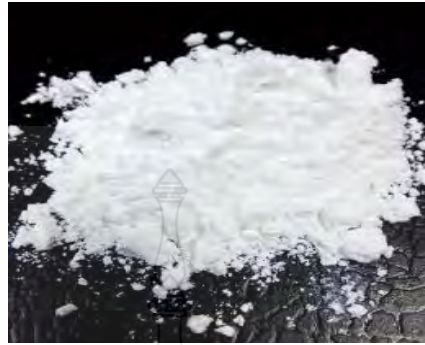
จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์และการเคลือบสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้อ้างอิงมาในข้างต้น จึงสรุปได้ว่าในงานวิจัยนี้มีแนวทางในการเตรียมอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีน โดยการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 5 - 10 โมลาร์ และอุณหภูมิที่ 105 – 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 – 72 ชั่วโมงและในการเคลือบสารไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนแผ่นกระเบื้องจะใช้สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene Glycol ; PEG) เป็นสารหลักและในการใช้เป็นสารช่วยยึดเกาะ (Binder) และทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู โดยการใช้วิธีการจุ่มชิ้นงานตัวอย่างลงในสารละลายเมทิลีนบลูที่ใช้เป็นสารทดสอบ (Test Solution)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide ; TiO_2) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียม ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของโลหะทรานซิชัน อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์สำหรับการใช้งานด้านต่างๆ เนื่องจากมีสมบัติพิเศษที่เป็นประโยชน์หลายอย่าง ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในด้านการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) และเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส (Photocatalysis) เป็นต้น นอกจากนี้ไททาเนียมไดออกไซด์ยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบไม่ใช้แสงได้อีกด้วย ซึ่งกระบวนการที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยา เช่น การกำจัดสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนหรือจำพวกสารประกอบสารอินทรีย์ระเหยง่าย (เช่น ไดออกซิ , สารประกอบคลอรีน) เป็นต้น [9]

ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้งานทางด้านการเคลือบผิวมาเป็นเวลาหลายปี โดยมีการนำมาเคลือบบนผิววัสดุต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของวัสดุให้ดีขึ้น เช่น สมบัติทางด้านป้องกันการกัดกร่อน สมบัติทางด้านความแข็งแรง สมบัติโฟโตแคตาไลซิส (Photocatalysis) และสมบัติด้านอื่นๆ เป็นต้น [10] นอกจากนี้ยังมีการผสมหรือได้ปสารอื่นๆ เพื่อให้มีสมบัติเฉพาะตัวเพิ่มมากขึ้น เช่น มีการเติมสารซิลเวอร์ (silver ; Ag) , สารสังกะสี (Zinc ; Zn) , และเหล็ก (Iron ; Fe) และสารซิลิคอน (Silicon ; Si) เป็นต้น แล้วนำมาทดลองยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรียเอชเชอริเชีย โคลไล (Escherichia coli ; E.coli) ผลคือไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย E.coli ได้ดี

และยังมีการผสมด้วยสารซิลเวอร์ (Ag) ยิ่งทำให้ ไททาเนียมไดออกไซด์นั้นสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าที่มีไททาเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียวถึง 50% [11]



รูปที่ 2.8 สารไททาเนียมไดออกไซด์

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพทั่วไปของไททาเนียมไดออกไซด์ [12]

| ชื่อ | Titanium dioxide | |
|------------------------------------|------------------|--------|
| สูตรโมเลกุล | TiO ₂ | |
| น้ำหนักโมเลกุล | 79.9 g/mol | |
| ลักษณะและสี | ของแข็งสีขาว | |
| จุดเดือด | 2500 °C | |
| จุดหลอมเหลว | 1830 °C | |
| สมบัติเฉพาะของเฟส | รูไทล์ | อนาเทส |
| - ดัชนีหักเห (refractive index) | 1.903 | 2.49 |
| - ความหนาแน่น (g/cm ₃) | 1.903 | 3.84 |

2.2.1.1 โครงสร้างและสมบัติของผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ [12] ไททาเนียมไดออกไซด์ที่พบตามธรรมชาตินั้นมีโครงสร้างผลึก 3 ชนิดหลัก คือ อนาเทส (Anatase) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนอล (Tetragonal) บรูคไคท์ (Brookite) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) และรูไทล์ (Rutile) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนอล (Tetragonal) โครงสร้างผลึกทั้ง 3 ชนิดนี้สามารถแสดงได้ในรูปของผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นลักษณะเป็นพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมสองอันประกบกัน โดยโครงสร้างผลึกทั้ง 3 ชนิดนี้มีความแตกต่างกัน

เนื่องจากการบิดตัวของแต่ละออกตะฮีดรอลที่เรียงต่อกัน ในขณะที่โครงสร้างผลึกรูไทล์เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ส่วนของขอบของแต่ละออกตะฮีดรอล และโครงสร้างผลึกบรูคไคท์เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ทั้งส่วนยอดและส่วนของขอบของแต่ละออกตะฮีดรอลโดยโครงสร้างของผลึกทั้ง 3 ชนิด

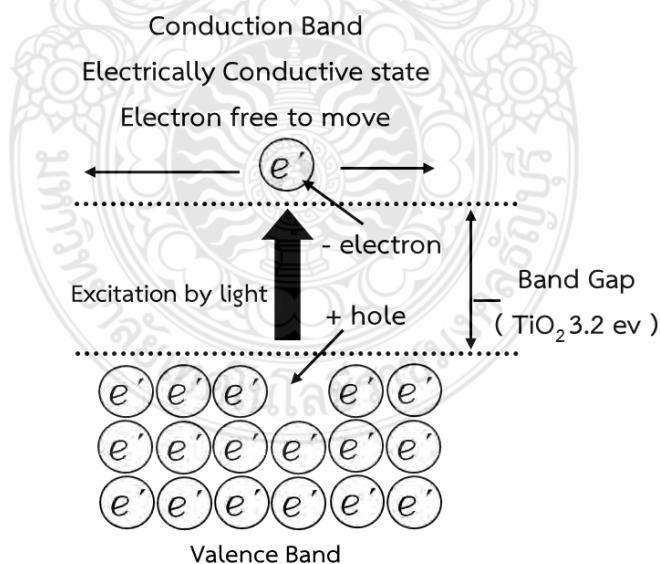


รูปที่ 2.9 รูปโครงสร้างผลึกของแร่ไททานเนียมไดออกไซด์ [12]

โครงสร้างผลึกแบบอานาเทสและรูไทล์เป็นโครงสร้างผลึกที่พบเป็นส่วนใหญ่ โดยปกติแล้วโครงสร้างผลึกอานาเทสจะสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นโครงสร้างผลึกรูไทล์ได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 600 °C โครงสร้างผลึกของไททานเนียมไดออกไซด์เป็นตัวแปรที่สำคัญมากที่จะกำหนดประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงและตัวเร่งปฏิกิริยาแบบไม่ใช้แสง นอกจากอุณหภูมิแล้วยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนโครงสร้างผลึก โดยปกติแล้วโครงสร้างผลึกอานาเทสให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกรูไทล์ แต่อย่างไรก็ตามในบางปฏิกิริยาโครงสร้างผลึกผสมระหว่างอานาเทสและรูไทล์ (เช่น อานาเทส 70-75% และรูไทล์ 30-25%) จะให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกอานาเทสเพียง [12]

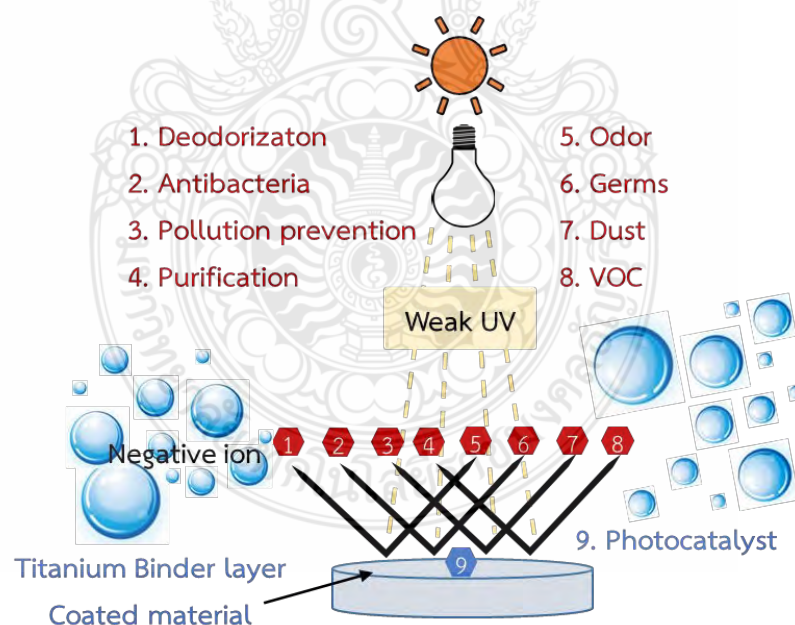
2.2.1.2 สมบัติด้านสารกึ่งตัวนำของไททานเนียมไดออกไซด์สำหรับปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส [13] เนื่องจากไททานเนียมไดออกไซด์มีตำแหน่งที่ว่างของออกซิเจนในโครงสร้างผลึก จึงจัดได้ว่าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) ตัวเร่งปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิดไปพร้อมๆกัน ซึ่งสามารถก่อให้เกิดทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and reduction reactions) โดยการกระตุ้นด้วยการดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าค่าพลังงานแถบต้องห้าม (Band gap energy) ความสามารถของสารกึ่งตัวนำที่จะถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาที่ถูกดูดซับไว้นั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพลังงานแถบต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำและตำแหน่งของศักย์

พลังงานในการเกิดรีดอกซ์ (Redox) ของสารที่ถูกดูดซับ โดยปกติแล้วระดับของพลังงานที่ต่ำที่สุดของคอนดักชันแบนด์ (Conduction band) จะเป็นระดับของศักย์พลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วยอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น (Excited electron) ในทางกลับกันระดับของพลังงานที่สูงที่สุดของวาเลนซ์แบนด์ (Valence band) จะเป็นระดับศักย์พลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโฮล (Hole) ที่เหลืออยู่หลังจากที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปแล้วสารกึ่งตัวนำแตกต่างจากโลหะ คือมีความไม่ต่อเนื่องของระดับพลังงานทำให้เกิดเป็นระดับพลังงานแถบต้องห้ามหรือแบนด์แกป ซึ่งส่งผลให้เกิดการแยกจากกันของอิเล็กตรอนและโฮลหลังจากที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง ทำให้ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลมีระยะเวลาเพียงพอในการเคลื่อนที่ผ่านไปยังพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและก่อให้เกิดปฏิกิริยาในที่สุด ความแตกต่างของโครงสร้างผลึกชนิดอนาเทกสและรูไทล์ทำให้เกิดความแตกต่างด้านความหนาแน่นและโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่งผลให้มีค่าพลังงานแถบต้องห้ามแตกต่างกันคือ 3.20 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) สำหรับโครงสร้างผลึกอนาเทกส และ 3.02 eV สำหรับโครงสร้างผลึกรูไทล์ ดังนั้นจึงทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงเริ่มเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่แตกต่างกัน โดยโครงสร้างผลึกอนาเทกสสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 384 nm ในขณะที่โครงสร้างผลึกรูไทล์สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 410 nm ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส [13]



รูปที่ 2.10 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารกึ่งตัวนำไททานเนียมไดออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแสง [13]

2.2.1.3 สมบัติด้านการต้านเชื้อโรค [14] หลักการและประสิทธิภาพในการต้านเชื้อโรคของไททานเนียมไดออกไซด์ จะมีประสิทธิภาพที่ดีมากน้อยเพียงใด ปัจจัยที่สำคัญคือสารและปริมาณของสารที่ใช้ได้ป สารได้ปที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อโรคมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น สารซิลเวอร์ (silver ; Ag) , เหล็ก (Iron ; Fe) และสารซิลิคอน (Silicon ; Si) , สารคอปเปอร์ (Copper ; Cu) และสารไนโตรเจน (Nitrogen ; N) เป็นต้น ซึ่งหากสารได้ปเหล่านี้ถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีวิสตีเบลก็จะมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นด้วย สารดังกล่าวเมื่อนำมาผสมกับไททานเนียมไดออกไซด์และนำมาเตรียมให้มีอนุภาคในระดับนาโน จะไปทำปฏิกิริยาของผนังเซลล์ของเชื้อโรค โดยส่วนใหญ่จะมีปฏิกิริยาตอบโต้อย่างมากกับโปรตีน ซึ่งในจุลินทรีย์จะมีองค์ประกอบของโปรตีนเป็นส่วนประกอบหลัก ดังนั้นเมื่ออนุภาคนาโนไปสัมผัสกับจุลินทรีย์ ก็จะเข้าไปเกาะที่ผนังเซลล์และแทรกเข้าไปภายในโดยไปเกาะกับหมู่ -SH (Sulfhydryl) ของเอนไซม์ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อเมตาโบลิซึมทำให้เกิดการยับยั้งการเติบโตของเซลล์ และเกิดการทำลายระบบหายใจ ระบบการขนถ่ายอิเล็กตรอนในกระบวนการเมตาบอลิซึมและระบบขนถ่ายซับสเตรทในเยื่อหุ้มเซลล์ และมากไปกว่านั้นคือจะสามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงทำให้จุลินทรีย์หรือเชื้อโรคต่างๆ ไม่สามารถดำรงชีวิตต่อไปได้และตายไปในที่สุด



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททานเนียมไดออกไซด์ [15]

2.2.2 หลักการของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส (Fundamental of photocatalysis reaction) [16] กระบวนการโฟโตแคตาไลติก (Photocatalytic process) เป็นการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการกระตุ้นด้วยแสง ตัวเร่งปฏิกิริยานี้จะทำหน้าที่ลดพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส (Photocatalysis) ต้องมีองค์ประกอบ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor), พลังงานแสง ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ พลังงานโฟตอนของตัวเร่งปฏิกิริยา, น้ำ และ ออกซิเจน หรือ ตัวออกซิแดนท์ (Oxidants) อื่น

2.2.2.1 ชนิดของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส สามารถแยกได้ 2 ประเภทดังนี้

1) โฟโตแคตาไลซิสแบบสถานะเดียว (Homogeneous photocatalysis) เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสถานะเดียวกับสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัด เช่น การย่อยสลาย 2,4 Dinitrofluorene โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

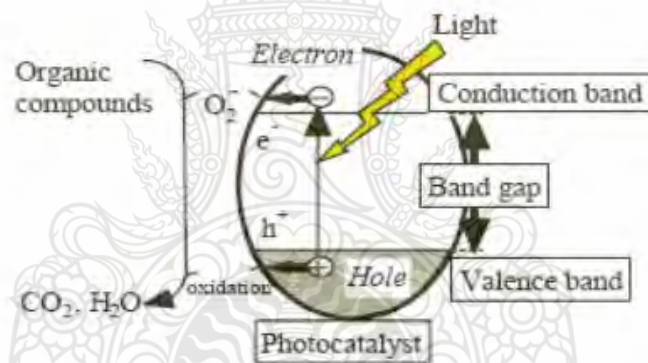
2) โฟโตแคตาไลซิสแบบสถานะต่าง (Heterogeneous photocatalysis) เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีสถานะต่างกับสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัด เช่น ย่อยสลาย 2-Chlorophenol โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสารกึ่งตัวนำ

2.2.2.2 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา [18] สารที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส ได้แก่

1) โลหะตัวนำ (Transition metal) เช่น ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni)

2) สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) แคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) เป็นต้น องค์ประกอบของโลหะตัวนำและสารกึ่งตัวนำประกอบด้วยวาเลนซ์แบนด์ (Valence band) และคอนดักชันแบนด์ (Conduction band) ในสารกึ่งตัวนำวาเลนซ์แบนด์และคอนดักชันแบนด์จะไม่ติดกัน โดยเกิดเป็นช่องว่างซึ่งเรียกว่าแถบต้องห้าม (Band gap) เมื่ออิเล็กตรอน (Electron, e^-) ที่อยู่ในวาเลนซ์แบนด์ได้รับพลังงานโฟตอนจากแสง อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังคอนดักชันแบนด์ ในขณะเดียวกันที่บริเวณวาเลนซ์แบนด์จะเกิดโฮล (Hole, h^+) ซึ่งเป็นประจุบวกสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระในวาเลนซ์แบนด์ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮล (Electron – Hole Pairs, e^- / h^+) สามารถเคลื่อนที่ไปมาระหว่างวาเลนซ์แบนด์และคอนดักชันแบนด์ได้ง่ายและรวดเร็ว จึงเป็นสาเหตุให้ e^- / h^+ รวมตัวกันใหม่ได้ง่ายในทางตรงกันข้ามนั้นการรวมตัวกันใหม่ของ e^- / h^+ ในสารกึ่งตัวนำเกิดได้ยาก เพราะว่ามีแถบต้องห้ามคั่นอยู่ทำให้ e^- / h^+ แยกจากกันได้ยาก สารกึ่งตัวนำและฉนวนแยกออกจากกันได้ยาก ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ระดับพลังงานแถบต้องห้าม ระดับพลังงานคอนดักชันแบนด์ และระดับ

พลังงานวาเลนซ์แบนด์ ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสในน้ำประกอบด้วยแสงที่ส่องผ่านน้ำไปยังตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีพลังงานโฟตอนที่สูงกว่าพลังงานแถบต้องห้ามของตัวเร่งปฏิกิริยา อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นจากวาเลนซ์แบนด์ ทำให้เคลื่อนที่ไปยังคอนดักชันแบนด์ ผลคือ ทำให้เกิด e^-/h^+ ซึ่งจะวิ่งกระจายอยู่ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำปฏิกิริยาที่เกิดบนผิวคอนดักชันแบนด์และในสารละลาย อิเล็กตรอนจะเคลื่อนจากคอนดักชันแบนด์ไปยังตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) ในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ส่วนอีกด้านหนึ่งคือ วาเลนซ์แบนด์ซึ่งมี h^+ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ในสภาวะปกติความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของอิเล็กตรอนที่คอนดักชันแบนด์ไม่มีศักยภาพพอที่จะบำบัดสารอินทรีย์ได้ แต่เนื่องจากในระบบบำบัดมีออกซิเจน (O_2) ออกซิเจนนี้จะเป็นตัวรับ e^- เกิดปฏิกิริยารีดักชันได้เป็น Superoxide radical ซึ่งเป็นตัวออกซิแดนซ์ที่แข็งแรงมาก สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ แต่ในทางตรงกันข้าม h^+ ที่วาเลนซ์แบนด์ก็เป็นตัวออกซิแดนซ์ที่แข็งแรงเช่นกัน [17]



รูปที่ 2.12 กลไกของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสบนสารกึ่งตัวนำไททาเนียมไดออกไซด์ [17]

2.2.3 วิธีการเคลือบและลักษณะของสารเคลือบผิวเซรามิก [18]

2.2.3.1 วิธีทาด้วยแปรงหรือพู่กัน (Painting) ใช้ในงานที่ต้องการลักษณะเฉพาะหรือต้องการเทคนิคพิเศษ แปรงที่ใช้ควรมีขนยาวนุ่ม จะช่วยยอน้ำได้มาก

2.2.3.2 วิธีเทราด (Pouring) วิธีนี้จะทำได้ช้าและเกิดการสิ้นเปลือง ปัจจุบันการเคลือบกระเบื้องทำได้โดยให้แผ่นกระเบื้องอยู่บนสายพานแล้วปล่อยน้ำเคลือบไหลตกลงบนแผ่นกระเบื้องพร้อมกับมีเครื่องมือเช็ดถูขอบกระเบื้องทั้ง 4 โดยอัตโนมัติ

2.2.3.3 วิธีการจุ่ม (Dipping) วิธีนี้เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดและรูปร่างที่สามารถใช้มือจับถนัด ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญในการกำหนดระยะเวลาในการจุ่ม การกำหนดความเข้มข้นของน้ำเคลือบ รวมทั้งในเรื่องของขนาดรูปร่าง, ความหนาบางของผลิตภัณฑ์

2.2.3.4 วิธีการพ่น (Spraying) วิธีนี้เหมาะกับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ หลักการทำงานของวิธีนี้คือทำให้น้ำเคลือบแตกกระจายพ่นออกมาเป็นฝอย และปล่อยให้ฝอยเคลือบตกลงบนผลิตภัณฑ์ เครื่องมือที่ใช้ในการพ่นประกอบด้วย ตัวพ่น (spray gun) กระจบอกลี้น้ำเคลือบ (a reservoirs for glaze slip) ตู้พ่น (spray booth)

2.2.3.4 เคลือบชนิดต่างๆ

1) เคลือบทึบ (Opaque Glaze) หมายถึง เคลือบที่มีคุณสมบัติยอมให้แสงส่องผ่านเคลือบได้น้อยหรือไม่ได้เลย เราสามารถใช้เคลือบทึบช่วยปิดบังเนื้อผลิตภัณฑ์ในกรณีเนื้อผิวไม่ขาว หรือไม่ต้องการให้เห็นสีของเนื้อผิว เคลือบทึบเกิดจากสารประกอบบางตัวที่ไม่ละลายในน้ำเคลือบ หรืออาจเกิดจากการตกผลึกเล็กๆออกจากเคลือบที่หลังในขณะที่เคลือบเย็นตัว

2) เคลือบด้าน (Matt Glaze) หมายถึง เคลือบที่มีผิวเรียบแต่ไม่มัน ซึ่งเกิดจากการที่ส่วนผสมยังละลายไม่หมดหรือ อนุภาคของส่วนผสมบางตัวกระจายลอยอยู่ในเคลือบเตรียมได้ด้วยการเติม Alumina หรือ Barium carbonate ลงไปในเคลือบซึ่งจะอาจทำให้เกิดการตกผลึกเล็กๆ ของพวกอะนอไรต์ (Anortite : $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$), ทรินดิมิต (Tridymite : SiO_2), มัลไลต์ (Mullite : $3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$), วอลลาสโตไนต์ (wallastonite : $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) หรือพวกตะกั่วซิลิเกตและสารประกอบอื่น ๆ

2.2.4.3 เคลือบผลึก (Crystalline Glaze) เคลือบผลึก คือ เคลือบที่มีผลึกเกิดขึ้นอาจจะเกิดอยู่ใต้เคลือบหรือบนเคลือบก็ได้ ผลึกนี้เกิดจากการควบคุมอุณหภูมิของเคลือบภายหลังที่หลอมละลายแล้วให้เย็นลงช้า ๆ จะทำให้วัสดุดิบหรือเคมีภัณฑ์ที่ผสมในน้ำยาเคลือบซึ่งมีปริมาณมากเกินจุดที่อิ่มตัวนั้นแยกตัวส่วนเกินเป็นผลึกเกิดขึ้น

2.2.4.4 เคลือบสี (Colored glaze) สามารถเตรียมได้โดยใส่สีผงเซรามิก(สีอะเตน) หรือใส่ coloring oxide ลงในส่วนผสมของเคลือบ เช่น คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO), เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3), โครมิกออกไซด์ (Cr_2O_3), โคบอลออกไซด์ (Co_3O_4), แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) และนิกเกิลออกไซด์ (NiO) เป็นต้น

2.2.5 แร่ธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของไททานเนียมไดออกไซด์ [19]

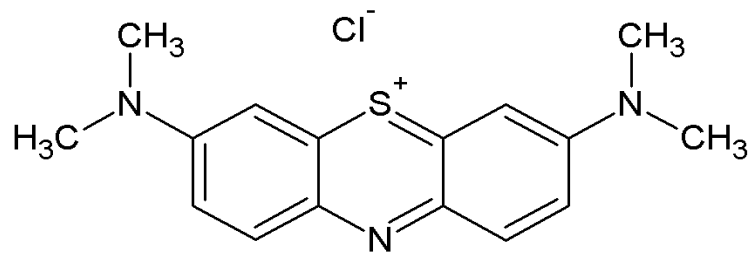
2.2.5.1 แร่แมกเนติกลูโคซีน (Magnetic Leucoxene) เป็นแร่ธรรมชาติที่มีส่วนประกอบของไททานเนียมไดออกไซด์อยู่ประมาณ 68-78 % แหล่งกำเนิดและการเกิดในประเทศ

ไทย จะสามารถพบปะปนอยู่บนลานแร่ดิบในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ภูเก็ต ตะกั่วป่า ส่วนในต่างประเทศแหล่งที่พบคือแหล่งชายฝั่งด้านเหนือของรัฐนิวเซาท์เวลส์ และด้านใต้ของรัฐควีนแลนด์ ทำให้ออสเตรเลียเป็นแหล่งผลิตที่ใหญ่ที่สุดแหล่งอื่นพบในรัฐเวอร์จิเนียตะวันออกเฉียงเหนือของรัฐฟลอริดาประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าเกิดจะเกิดในหินแกรนิต เพกมาไทด์ ไนส์ ไมกาชีสต์ นอกจากนี้ยังพบในทรายร่วมกับแมกนีไทด์ เซอร์คอน และ โมนาไซต์เป็นจำนวนไม่น้อยนอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ด้วยกรรมวิธีเวอร์เนียล (Verneuil Process) มักพบอยู่ในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ [19]



รูปที่ 2.13 แร่แมกเนติกลูโคซีน

2.2.6 เมทิลีนบลู (Methylene blue) เป็นย้อมประเภทสีเบสิก (Basic dyes) ที่ละลายน้ำได้มีโครงสร้างเป็นแคทไอออนในส่วนประกอบที่ให้สีบางครั้งเรียกสีประเภทนี้ว่าสีแคทไอออนิก (Cationic dyes) เมื่อมีการปนเปื้อนในน้ำจะก่อให้เกิดเป็นน้ำเสีย นอกจากนี้พิษของเมทิลีนบลูอาจทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ เกิดเป็นมลพิษมลภาวะทางน้ำ และบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นจึงควรมีการกำจัดสีในน้ำเสียก่อนทิ้งลงแหล่งน้ำสาธารณะ และยังส่งผลกระทบต่อร่างกายได้อีกด้วย ซึ่งเมทิลีนบลูเป็นสารประกอบเคมีสีเขียวเข้มที่เมื่อละลายน้ำจะกลายเป็นสีฟ้า สามารถใช้รักษาภาวะเมทฮีโมโกลบินีเมีย (Methemoglobinemia) ในกรณีที่ผู้ป่วยมีภาวะขาดออกซิเจนหรือมีระดับเมทฮีโมโกลบินเกิน 25-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้ฮีโมโกลบินไม่สามารถนำออกซิเจนไปเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ และอาจทำให้ผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ำ อ่อนเพลีย เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ หัวใจเต้นแรง หอบ และหายใจเร็ว หรือหากมีระดับเมทฮีโมโกลบินสูงมาก ผู้ป่วยอาจถึงแก่ชีวิตได้ [20]



รูปที่ 2.14 โครงสร้างเมทิลินบลู [20]

2.2.7 เครื่องบดละเอียดความเร็วสูงเพลาเนทอริบอลมิล (planetary ball mill) [21]

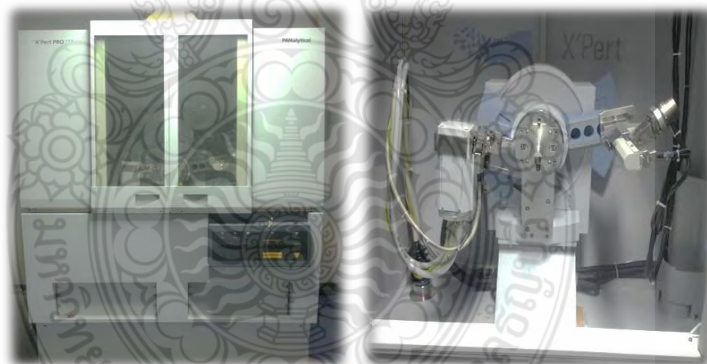
การบดละเอียด (Grinding Mills) การบดละเอียดเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการลดขนาดของแร่ซึ่งขนาดของแร่ที่บดจะมีขนาดระหว่าง 5 ถึง 250 mm หลังจากบดแล้วจะได้ขนาดอยู่ระหว่าง 10 ถึง 300 μm การบดละเอียดจะทำได้ทั้งแบบแห้งและเปียกคือผสมน้ำในเครื่องบดซึ่งเรียกว่า tumbling mills การบดละเอียดเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้พลังงานมากที่สุดและเกิดการสึกหรอสูง การบดแร่จะกระทำในเครื่องบดที่เป็นทรงกระบอกที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ และใช้ลูกบดที่เป็นลูกบอลหรือเป็นแท่งเหล็กแข็งบรรจุภายใน การบดจะเกิดจากลูกบดทำให้แตกมากระแทกกับแร่ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกและเกิดจากแรงกระแทกด้วยตัวของแร่เองรวมทั้งการขัดสีของผิวแร่กับลูกบด



รูปที่ 2.15 เครื่องบดละเอียดความเร็วสูง Planetary ball mill Model Pm 200

2.2.8 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction ; XRD) [22] เป็นเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง (Non-Destructive Analysis) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับ โครงสร้างของผลึก การจัดเรียงตัวของอะตอมใน โมเลกุลของสารประกอบต่าง ๆ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์ และความรู้เกี่ยวกับวิชา ระบบโครงสร้างผลึก

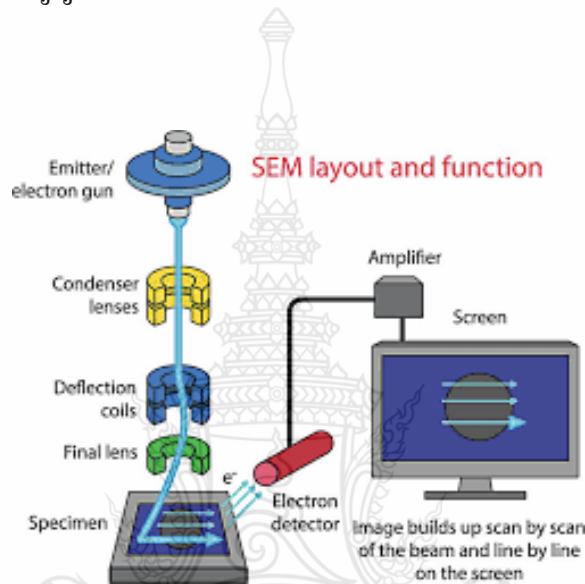
เครื่องมือชนิดนี้มีความสำคัญมากในการตรวจสอบสมบัติของวัสดุคืบและผลิตภัณฑ์ ในกระบวนการผลิตตามขั้นตอน ต่างๆ ทฤษฎีพื้นฐานของ XRD อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของลำรังสีเอกซ์ เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสีที่สะท้อนทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบ สำหรับในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ ธรณีวิทยา โลหะวิทยา ถือเป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบและแร่ ผลการวิเคราะห์จาก XRD ทำให้สามารถแยกแยะประเภทและชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติว่ามีรูปแบบ โครงสร้างผลึกแบบใด หรือ จำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่าง ๆ เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิด มีรูปแบบ โครงสร้างผลึกแตกต่างกัน และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม ที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบก็แตกต่างกันไปด้วย



รูปที่ 2.16 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD)

2.2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) [23] เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope ; TEM) ดังนั้นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาพื้นฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง หลักการของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำ

หน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอนซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุลงไปยังผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) [24]

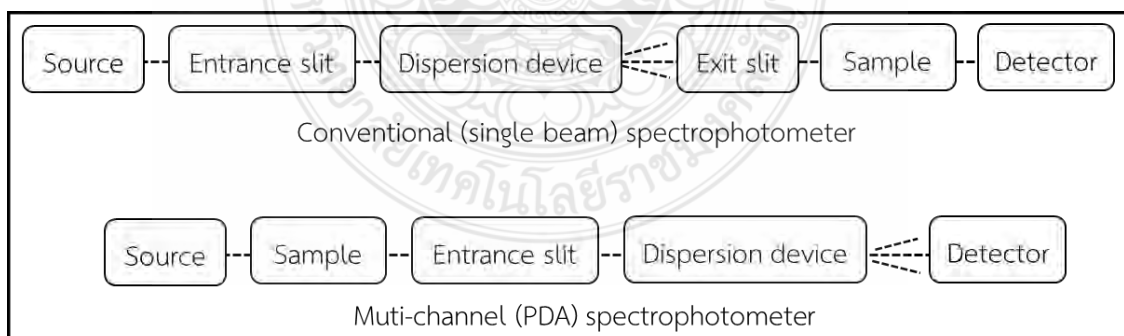
2.2.10 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope ; OM) [25]

Optical Microscope คือ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง รูปแบบหนึ่งที่ใช้แสงเป็นตัวช่วยในการทำให้มองเห็นภาพ โดยแสงจะวิ่งผ่านระบบเลนส์ต่างๆ ซึ่งแสงที่อยู่ภายในระบบที่สะท้อนกลับเข้าสู่สายตารเราจะทำให้เราเห็นภาพได้โดยการมองผ่านเลนส์ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เป็นกล้องที่ได้รับการพัฒนาจากในอดีตอย่างมาก และใช้แสงที่ดีที่สุดในปัจจุบันที่มีกำลังขยายถึง 2,000 เท่าและมีหลายชนิดซึ่งส่วนใหญ่จะถูกแบ่งไปตามลักษณะการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สำหรับงานทางด้านชีววิทยาสำหรับงานทางด้านโลหะสำหรับงานอุตสาหกรรมทั่วไป



รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง Optical Microscope [25]

2.2.11 เครื่องยูวีวิสสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ UV-VIS Spectrophotometer [26] เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่าอินเทนซิตี (intensity) ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืน โดยคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ เมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ ค่าการดูดกลืนแสงของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้



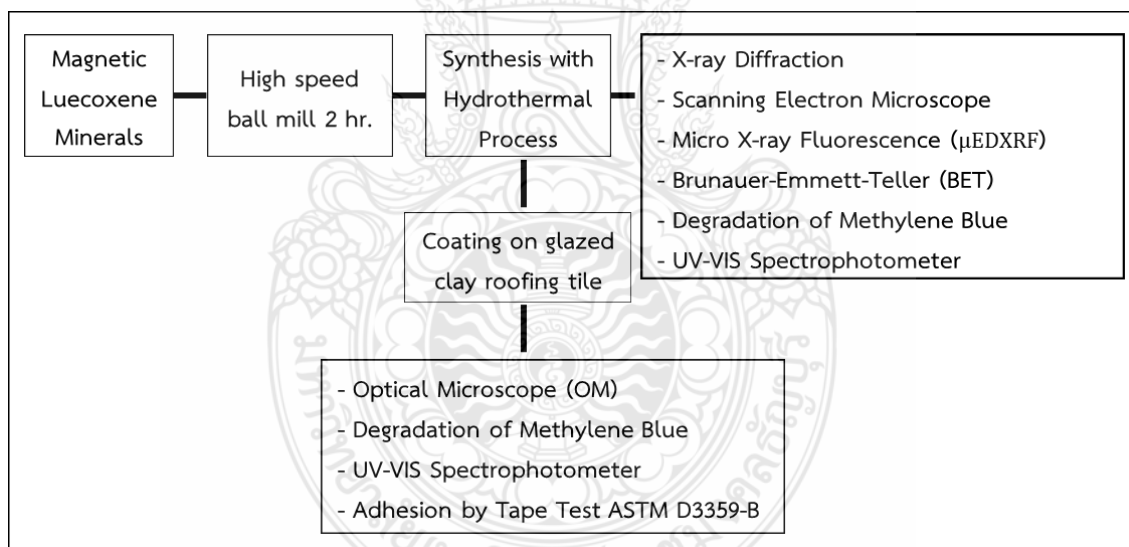
รูปที่ 2.19 หลักการทำงานของเครื่องยูวีวิสสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) [26]

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน (ต่อ)

| การดำเนินงานวิจัย | ระยะเวลา | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 5. ทดสอบวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย | | | | | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← |
| 6. รายงานความก้าวหน้า | | | | | | | | | | ← | ← | ← | ← |
| 7. เสนอผลงานวิชาการ | | | | | | | | | ← | ← | ← | ← | ← |
| 8. สรุปผลและเขียนรายงานผลการวิจัย | | | | | | | | | | | ← | ← | ← |

-----> เส้นประแสดงถึงระยะเวลาที่คาดการณ์

————> เส้นทึบแสดงถึงระยะเวลาที่ปฏิบัติจริง



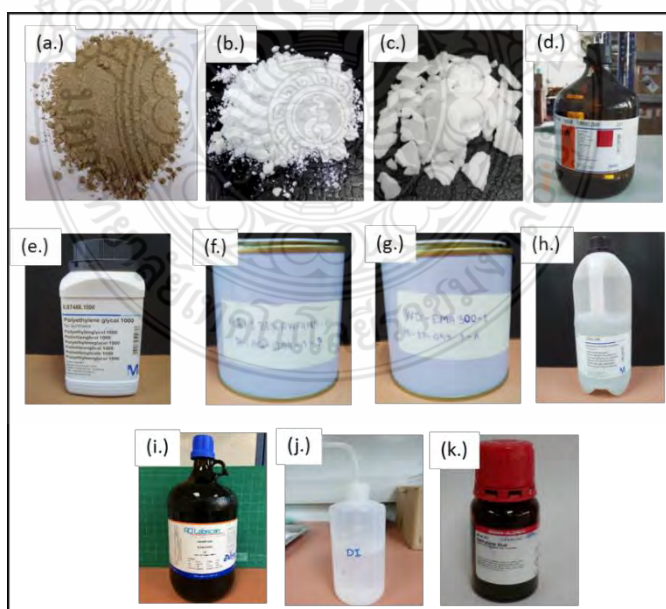
รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

3.2 อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือทดสอบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 สารเคมีใช้ในการเตรียมอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนและการเคลือบสารเคลือบลงบนแผ่นกระเบื้องดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

| สารเคมี | ผู้ผลิต / รุ่น |
|--|---|
| a. Magnetic Luecoxene minerals | บริษัทสินแร่สาคร จำกัด จ.ประจวบคีรีขันธ์ |
| b. Titanium dioxide (TiO ₂) | Degussa P25 TiO ₂ (Commercial grade) |
| c. Sodium hydroxide (NaOH) | Ajax Finechem |
| d. Hydrochloric acid 37% (HCl) | RCI Labscan Limited |
| e. Polyethylene glycol 1000 (PEG) | Merck Schuchardt OHG |
| f. Polyacrylic acid solvent base (PAA) | HONEY WELL ACRY BES AC-540 |
| g. Epoxy solvent base | TDS EMA 300-1 EP 055-1-A |
| h. Sodium silicate (Na ₂ SiO ₃) | Merck KGaA EMD milipore corporation |
| i. Ethanol | RCI Labscan Limited |
| j. Deionized water (DI Water) | ห้อง M208 (MTEC) |
| k. Methylene blue (MB) | Sigma Aldrich |

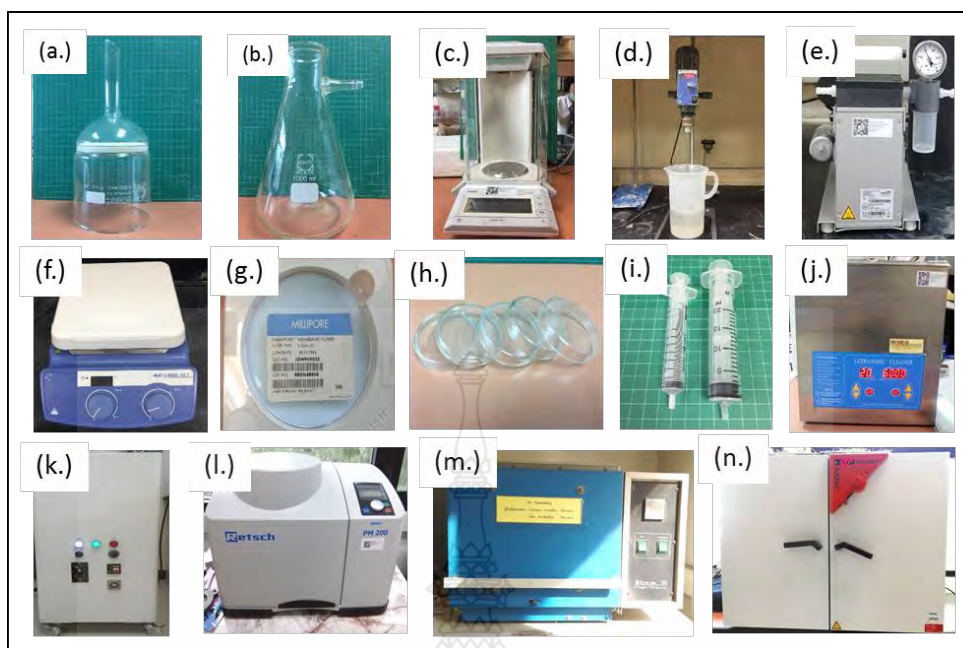


รูปที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนและในการเคลือบสารเคลือบลงบนแผ่นกระเบื้อง ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

| อุปกรณ์และเครื่องมือ | ผู้ผลิต / รุ่น |
|---|----------------------------|
| a. Buchner funnel 500 ml. | Robu Glas Boro silicat 3.3 |
| b. Suction Flask 1000 ml. | Schott Duran |
| c. เครื่องชั่ง Analytical Balance 4 ตำแหน่ง | Mettler Toledo AG 204 |
| d. Overhead Stirrer | RW 20 digital |
| e เครื่องปั๊มลมสุญญากาศ (Air pump) | Welch Model 414711-11 |
| f. Hot Plate Stirrer | IKA C-MAG HS7 |
| g. กระจาดกรอง Membrane filter 0.2 μm | Merck milipore Ltd. |
| h. จานเพาะเชื้อ Petri Dish | Anumbra |
| i. Syringe แบบไม่มีเข็มฉีดยา | Nipro |
| j. เครื่อง Ultrasonic Cleaner | Crest Tru-sweep 690 HTAE |
| k. เครื่องปฏิบัติการด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล | RMUTT 200 ml. |
| l. เครื่องบด Planetary ball mill | Retsch PM200 MIL-CERP-01 |
| m. เตาเผา Annealing | Linn High Therm FUR-CDM-01 |
| n. เตาอบ | Forced Binder Oven FD 240 |

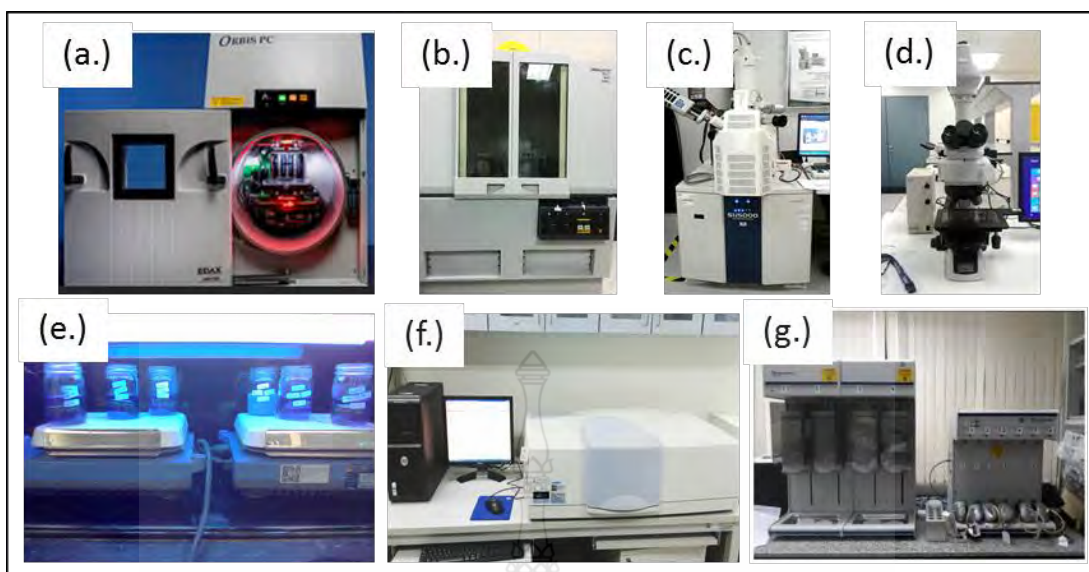


รูปที่ 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการทดลอง

3.2.3 เครื่องทดสอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ, โครงสร้าง, องค์ประกอบทางเคมี และประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูในงานวิจัย

ตารางที่ 3.4 รายการเครื่องมือทดสอบทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย

| เครื่องมือทดสอบ | ผู้ผลิต / รุ่น |
|--|---|
| a. Micro X-ray Fluorescence (μ EDXRF) | EDAX (FWHM@MoK α) |
| b. X-ray Diffraction (XRD) | X'Pert PRO MPD Model PW 3040 / 60 |
| c. Scanning Electron Microscope (SEM) | (FE-SEM With EDS) HITACHI SU5000 |
| d. Optical Microscope (OM) | Olympus Lext laser microscope OLS 4100 |
| e. Degradation of Methylene Blue | ตู้ที่บแสงติดหลอดไฟ UV ขนาด 18 วัตต์ |
| f. UV-VIS Spectrophotometer | Perkin Elmer Lamda 950 |
| g. Brunauer-Emmett-Teller (BET) | ASAP 2460, Micromeritics Instrument Corporation |



รูปที่ 3.4 เครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ, โครงสร้าง, องค์ประกอบทางเคมีและประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู

3.3 ขั้นตอนการเตรียมอนุภาคนาโนแร่แมกเนติกคูโคซีนเพื่อนำไปใช้เคลือบบนกระเบื้องดินเผา

ในขั้นตอนนี้จะอธิบายถึงวิธีการเตรียมแร่แมกเนติกคูโคซีน โดยเริ่มจากการขั้นตอนการนำแร่ไปบด, การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), การนำแร่ไปสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล และขั้นตอนการล้างอนุภาคนาโนหลังจากการสังเคราะห์ให้มีค่าเป็นกลางหรือมีค่า pH ประมาณ 7 ดังรูปที่ 3.5

3.3.1 การบดแร่

3.3.1.1 ชั่งแร่แมกเนติกคูโคซีนที่จะนำไปบดในปริมาณ 30 กรัม

3.3.1.2 นำแร่แมกเนติกคูโคซีนที่ชั่งได้เทใส่ลงในหม้อบดและใส่ลูกบดทั้ง 20 เม็ดลงไป

3.3.1.3 ปิดหม้อและทำการขันน็อตทั้งสามมุมให้แน่น

3.3.1.4 นำไปวางแทนที่จะต้องขันน็อตอีกครั้งระหว่างตัวหม้อและตัวเครื่องบดและขันให้แน่นจนหม้อบดไม่มีการขยับเขยื้อนได้

3.3.1.5 ทำการบดโดยใช้ความเร็วในการหมุนเหวี่ยงที่ 240 rpm และเวลาในการบดที่ 2 ชั่วโมง

3.3.1.6 นำแร่แมกเนติกลูโคซีนที่บดได้ออกจากเครื่องบดเพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์ต่อไป ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การบดแร่ด้วยเครื่องบดละเอียดความเร็วสูง (Planetary ball mill)

3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีน

3.3.2.1 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 5 โมลาร์ โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 200 กรัม ไปละลายต่อน้ำปราศจากไอออน 1,000 มิลลิลิตร มีรายละเอียดดังรูปที่ 3.7

3.3.2.2 เตรียมสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้สารไฮโดรคลอริก 40 มิลลิลิตรละลายในน้ำ 5,000 มิลลิลิตร มีรายละเอียดดังรูปที่ 3.7

3.3.3 ขั้นตอนการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลจากชุดถังปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 3.6

3.3.3.1 ชั่งแร่แมกเนติกลูโคซีนที่ใช้ในการเตรียมในปริมาณ 16 กรัมใส่ลงไปในหม้อปฏิกรณ์และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 โมลาร์ ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตรลงไปในหม้อปฏิกรณ์

3.3.3.2 ขันฝาปิดถังปฏิกรณ์ให้แน่นไม่ได้มีแรงดันเกิดขึ้นตลอดออกมาจากตัวถัง

3.3.3.3 ยกขึ้นไปประกอบกับชุดถังและทำการปรับตั้งอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและกดเริ่มต้นการทำงาน เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้วให้รอเครื่องเย็นตัวอีก 24 ชั่วโมงจนกว่าจะสัมผัสตัวเครื่องได้อีกครั้ง

3.3.4 ขั้นตอนการล้างแร่แมกเนติกลูโคซีนหลังจากที่นำออกจากกระบวนการเตรียม ดังรูปที่ 3.9

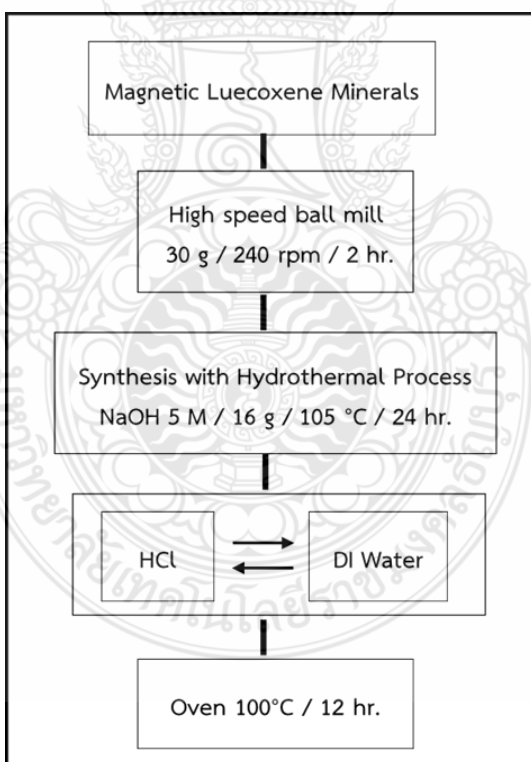
3.3.4.1 นำแร่และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้จนครบกำหนดเวลาออกจากถังปฏิกรณ์และเทใส่บีกเกอร์

3.3.4.2 นำแผ่นกระดาษกรองไปวางลงบนกรวยกรองจำนวน 5 แผ่นและค่อยๆเทสารตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมดังกล่าวในปริมาณ 1,000 มิลลิลิตรอย่างช้าๆ จากนั้นรอจนกระทั่งสารละลายที่ได้จากการเตรียมถูกดูดออกไปจนแห้ง

3.3.4.3 จากนั้นนำสารที่กรองได้ออกมาใส่บีกเกอร์อีกใบ เพื่อนำมาผสมกับสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ในปริมาณ 1,000 มิลลิลิตรที่เตรียมไว้ และกวนด้วยเครื่องกวนสาร (HotPlate Stirrer) เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบ 30 นาทีก็ปฏิบัติตามเดิมดังข้อที่ 3.3.4.2

3.3.4.4 เมื่อทำการกรองสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) จนแห้ง ก็นำเอามาใส่ในบีกเกอร์และเติมน้ำปราศจากไอออนลงไป 1,000 มิลลิลิตรและทำการกวนด้วยเครื่องกวนสาร (HotPlate Stirrer) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดด้วยกระดาษวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อดูว่าสารที่เตรียมได้มีค่าเป็นกลางแล้วหรือไม่ หากพบว่าค่าที่ได้ยังไม่เป็นกลางก็ปฏิบัติตามข้อ 3.3.4.2 - 3.3.4.4

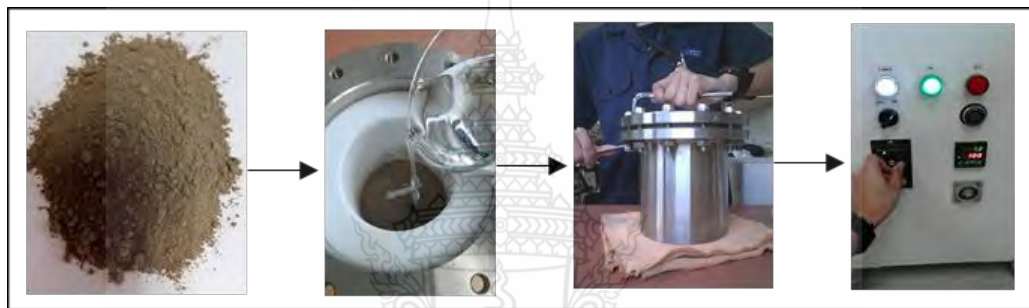
3.3.4.5 เมื่อทำการล้างจนค่าที่ได้เป็นกลาง ($\text{pH} \approx 7$) เรียบร้อยแล้ว ก็นำสารที่เตรียมได้นำไปอบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเตรียมอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีน



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนสารเตรียมสารละลาย



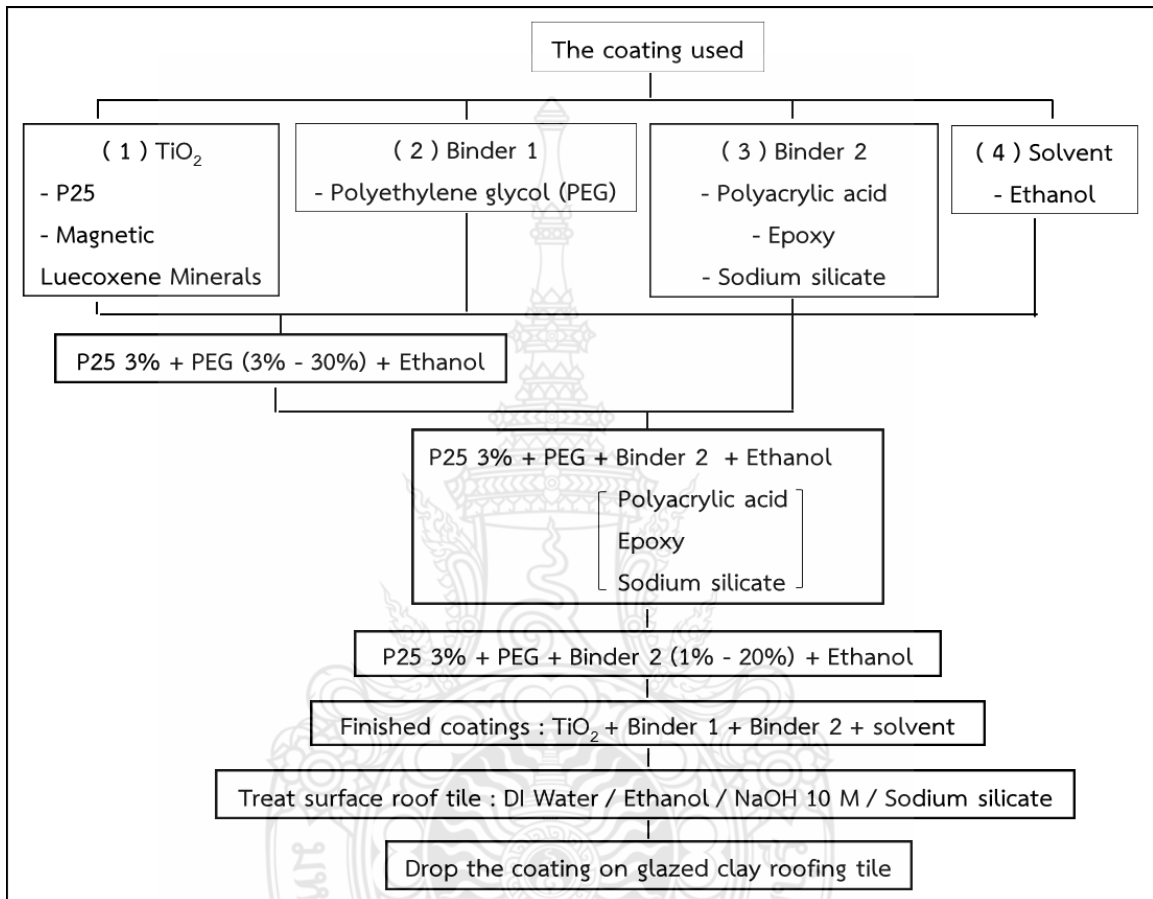
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการเตรียมอนุภาคนาโนด้วยชุดถังปฏิกรณ์



รูปที่ 3.9 การล้างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้แร่ที่ได้มีค่าเป็นกลาง

3.4 การหาสารและอัตราส่วนของสารที่เหมาะสมในการทำสารเคลือบจากไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) และอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่สังเคราะห์ได้

3.4.1 การทดลองเพื่อหาส่วนประกอบของสารเคลือบมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารที่จะใช้เพื่อเคลือบแผ่นกระเบื้อง

3.4.1.1 เป็นขั้นตอนการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารช่วยยึดเกาะที่ 1 (Binder 1) หรือสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene Glycol ; PEG) ในการทดลองนี้จะเริ่มทดลองหาอัตราส่วนของสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ในปริมาณ 3 %(w/w) - 30 %(w/w) โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) ที่ 3%(w/w) เป็นการเปรียบเทียบเริ่มต้นที่อัตราส่วน 1:1 ระหว่างไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) และสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) โดยใช้สารเอทานอล (Ethanol) เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การทดลองหาอัตราส่วนของสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene Glycol ; PEG)

| TiO ₂ (P25) (%w/w) | Polyethylene Glycol (PEG) (%w/w) | Ethanol (%w/w) |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 3 % | 3 % | 94 % |
| 3 % | 7 % | 90 % |
| 3 % | 10 % | 87 % |
| 3 % | 20 % | 77 % |
| 3 % | 25 % | 72 % |
| 3 % | 30 % | 67 % |

3.4.1.2 เป็นขั้นตอนการทดลองหาสารช่วยยึดเกาะที่ 2 (Binder 2) ซึ่งประกอบไปด้วยสารพอลิอะคริลิกแอตติค (Polyacrylic acid ; PAA) , สารอีพอกซี (Epoxy) และสารโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate ; Na₂SiO₃) ในอัตราส่วน 1:1 ระหว่าง Binder 1 หรือสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) และสารช่วยยึดเกาะที่ 2 โดยใช้สารเอทานอล (Ethanol) เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การทดลองหาสารช่วยยึดเกาะที่ 2 (Binder 2)

| TiO ₂ (P25) (%w/w) | Polyethylene Glycol (PEG) | Binder 2 | Solvent |
|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------|
| 3 % | PEG | Polyacrylic acid | Ethanol |
| 3 % | PEG | Epoxy | Ethanol |
| 3 % | PEG | Na ₂ SiO ₃ | Ethanol |

3.4.1.3 เมื่อได้สารช่วยยึดเกาะที่ 2 (Binder 2) ที่เหมาะสมแล้วการทดลองในขั้นตอนนี้จะเป็นการหาปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 โดยใช้สารเอทานอล (Ethanol) เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 (Binder 2)

| TiO ₂ (P25) (%w/w) | Binder 1 | Binder 2 (%w/w) | Solvent |
|----------------------------------|----------|--------------------|---------|
| 3 % | PEG | 1 % | Ethanol |
| 3 % | PEG | 3 % | Ethanol |
| 3 % | PEG | 5 % | Ethanol |
| 3 % | PEG | 7 % | Ethanol |
| 3 % | PEG | 10 % | Ethanol |
| 3 % | PEG | 20 % | Ethanol |

3.4.1.4 ทำการปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องหรือทำการปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องด้วยสารต่างๆ ประกอบด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI Water) , สารเอทานอล (Ethanol) , สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) , สารโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate ; Na₂SiO₃) โดยใช้สารเอทานอล (Ethanol) เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การทดลองหาสารที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้อง

| Treatment | P25 (%w/w) | Binder 1 | Binder 2 | Solvent |
|--------------------|---------------|----------|----------|---------|
| Control (DI Water) | 3 % | PEG | Binder 2 | Ethanol |
| Ethanol | 3 % | PEG | Binder 2 | Ethanol |
| NaOH | 3 % | PEG | Binder 2 | Ethanol |
| Sodium silicate | 3 % | PEG | Binder 2 | Ethanol |

3.4.1.5 หลังจากที่ได้สารปรับผิวหน้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องและได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารประกอบต่างๆในสารเคลือบ จากนั้นก็ทำการเปรียบเทียบสารเคลือบทั้ง 2 สูตร สูตรที่ 1 คือ สารไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) + Binder 1 + Binder 2 + ตัวทำละลาย (Ethanol) (หรือสูตร PPPE) และสูตรที่ 2 คือ อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์แร่แมกเนติกลูโคซีน (TML) + Binder 1 + Binder 2 + ตัวทำละลาย (Ethanol) (หรือสูตร MPPE) ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสารเคลือบสูตรที่ 1 (เคลือบด้วย P25) และสูตรที่ 2 (เคลือบด้วยอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีน, TML)

| สูตร | Treatment | TiO ₂ | Binder 1 | Binder 2 | Solvent |
|------|-----------|------------------|----------|----------|---------|
| 1. | Treatment | P25 | Binder 1 | Binder 2 | Ethanol |
| 2. | Treatment | TML | Binder 1 | Binder 2 | Ethanol |

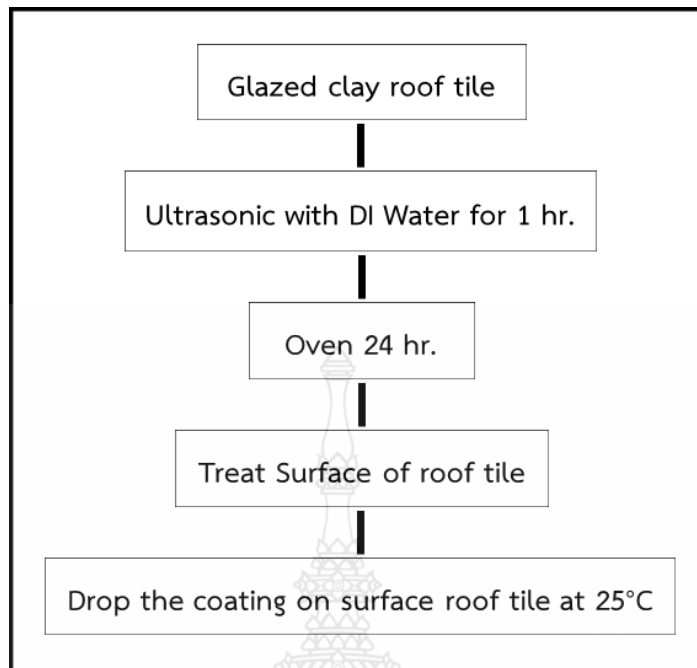
3.4.2 วิธีการเตรียมแผ่นกระเบื้องดินเผาและวิธีการเคลือบสารเคลือบลงบนแผ่นกระเบื้องมีขั้นตอนดังนี้ ดังรูปที่ 3.11

3.4.2.1 นำแผ่นกระเบื้องดินเผามาล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.4.2.2 นำแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ล้างแล้วมาอบจนแห้ง โดยใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงจนกว่าจะแห้งสนิท

3.4.2.3 นำแผ่นกระเบื้องมาปรับผิวหน้าด้วยการทาสารที่ใช้เพื่อปรับผิวหน้าโดยใช้พู่กันทาสารลงบนผิวหน้าแผ่นกระเบื้องดินเผาเพียงเล็กน้อย จากนั้นรอประมาณ 30 นาที เพื่อให้สารที่ใช้ปรับผิวหน้าแห้งสนิท

3.4.2.4 ใช้ไซริงค์ดูดสารเคลือบขึ้นมาแล้วนำไปหยดลงบนแผ่นกระเบื้อง รอให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงก่อนจะนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบต่างๆ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 กระบวนการเคลือบกระเบื้องดินเผา



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการเคลือบสารเคลือบลงบนแผ่นกระเบื้อง

3.5 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

3.5.1 ตัวอย่างทดสอบ

3.5.1.1 แร่แมกเนติกลูโคซีน ไม่บด, บดที่เวลา 120 นาที, ผ่านการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

3.5.1.2 โปทาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)

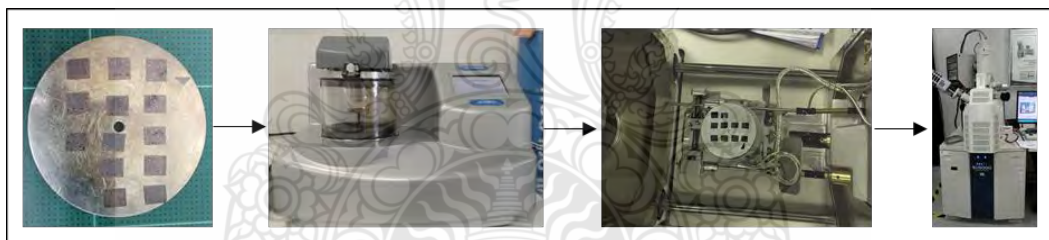
3.5.2 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ดังรูปที่ 3.13

3.5.2.1 การทดสอบนี้ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น (FE-SEM WITH EDS) (HITACHI SU5000) โดยใช้เพลตลักษณะเป็นโลหะแบนรูปร่างกลมเป็นฐาน

3.5.2.2 นำตัวอย่างที่เตรียมได้ทั้งหมดติดกับเพลตด้วยกระดาษกาวคาร์บอน

3.5.2.3 ตรวจสอบตำแหน่งการจัดเรียงให้ถี่ถ้วนก่อนนำไปวางในแท่นที่เครื่องทดสอบก่อนจะนำเข้าสู่เครื่อง

3.5.2.4 ทำการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างที่กำหนดขยายต่างๆ



รูปที่ 3.13 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)

3.6 การทดสอบด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction ; XRD)

3.6.1 ตัวอย่างทดสอบ

3.6.1.1 ใช้ตัวอย่างแร่แมกเนติกลูโคซีนที่ยังไม่ได้นำไปบด

3.6.1.2 ใช้ตัวอย่างแร่แมกเนติกลูโคซีน ที่บดด้วยเครื่องบดละเอียดความเร็วสูง (Planetary ball mill) เป็นเวลา 120 นาที

3.6.1.3 ตัวอย่างอนุภาคนาโนจากแมกเนติกลูโคซีน (TML) ที่เตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลในปริมาณ 16 กรัมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

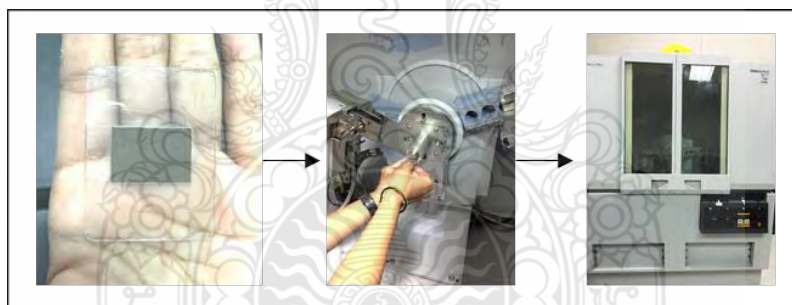
3.5.2 ขั้นตอนการตรวจสอบผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ดังรูปที่ 3.14

3.6.2.1 ทำการเตรียมเครื่องทดสอบ, เปิดตู้ลิ่ง (Cooling), ตัวสำรองไฟและคอมพิวเตอร์ให้พร้อม

3.6.2.2 นำตัวอย่างแร่ที่จะทดสอบ ใส่ลงบนแผ่นกระจกเตรียมทดสอบโดยอัดลงในช่องให้แน่นพอประมาณและเกลี่ยให้เรียบ

3.6.2.3 นำตัวอย่างที่เตรียมได้เข้าเครื่องทดสอบ โดยนำแผ่นกระจกที่มีตัวอย่างแร่สอดเข้าไปที่ตัวจับชิ้นงานให้พอดีกับตำแหน่งที่เหมาะสม

3.6.2.4 ตั้งค่าและทำการทดสอบด้วยเครื่อง X-ray Diffraction รุ่น X'Pert PRO MPD model PW 3040/60 ของบริษัท Panaltical โดยใช้สภาวะ 40 กิโลโวลต์ (kV) 30 มิลลิแอมป์ (mA) ใช้ช่วงการทดสอบที่ 5 – 80 องศา



รูปที่ 3.14 การทดสอบด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction ; XRD)

3.7 การทดสอบด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer ; μ -EDXRF)

3.7.1 ตัวอย่างทดสอบ

3.7.1.1 แร่แมกเนติกลูโคซีน (ML)

3.7.1.2. อนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (TML)

3.7.2 ขั้นตอนการทดสอบ ดังรูปที่ 3.15

3.7.2.1 นำแร่ที่เตรียมได้ ไปอัดเป็นเหรียญขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรและความหนา 3 มิลลิเมตร

3.7.2.2 นำแผ่นแร่ที่อัดเป็นเหรียญนำไปวางลงบนเบ้าพลาสติกทรงกระบอกภาชนะสำหรับนำเข้าเครื่องทดสอบ Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (μ -EDXRF) และทำการซีลแผ่นฟิล์มไม่ให้ตัวอย่างสัมผัสอากาศ



รูปที่ 3.15 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer ; μ -EDXRF)

3.8 การทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller ; BET)

3.8.1 ตัวอย่างทดสอบ

3.8.1.1. อนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (TML)

3.8.2 ขั้นตอนการทดสอบ ดังรูปที่ 3.16

3.8.2.1 ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างที่เตรียมได้ในปริมาณ 0.3 กรัม นำไปใส่ในเซลล์เพื่อเตรียมใส่ในเครื่องที่ดูดซับความชื้นด้วยก๊าซ เพื่อให้สารตัวอย่างแห้งสนิท จากนั้นทำการตั้งอุณหภูมิที่ 300 องศาเซลเซียส

3.8.2.2 นำสารตัวอย่างที่แห้งแล้วออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อให้ทราบน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ถูกดูดซับความชื้นออกไปจากน้ำหนัก

3.8.2.1 นำสารตัวอย่างที่ได้ใส่เครื่องทดสอบ โดยปรับตั้งค่าไอโซเทิร์มที่ 0-3 สำหรับการวัดค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ



รูปที่ 3.16 การทดสอบการวัดค่าพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิคบรูว์นเนอร์ เอ็มเมทท์และเทลเลอร์ (BET)

3.9 ขั้นตอนการทดสอบการย่อยสลายความเข้มของสารละลายเมทิลีนบลู (Degradation of Methylene Blue) และการทดสอบด้วยเครื่องยูวีวิสลิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)

3.9.1 ตัวอย่างทดสอบการย่อยสลายความเข้มของสีข้อมเมทิลีนบลูด้วยตู้ติดหลอดไฟยูวี (UV)

3.9.1.1 ไททานเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโน (P25)

3.9.1.2 อนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่ผ่านการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (TML)

3.9.1.3 แผ่นกระเบื้องเคลือบแก้วที่เป็นวัสดุตั้งต้น

3.9.1.4 แผ่นกระเบื้องเคลือบสารเคลือบสูตรที่ 1 (PEPP) และสูตรที่ 2 (MPPE)

3.9.2 ขั้นตอนการทดสอบการย่อยสลายความเข้มของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยตู้ติดหลอดไฟยูวี (UV) ขนาด 18 วัตต์ 2 หลอด ดังรูปที่ 3.17

3.9.2.1 เตรียมสารละลายเมทิลีนบลู 100 ppm ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยการชั่งสารเมทิลีนบลู 0.1 กรัม ผสมกับน้ำปราศจากไอออน 1000 มิลลิลิตร กวนจนเป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นนำไปแบ่งใส่ขวด โดยแต่ละขวดจะมีปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.9.2.2 ชั่งสารตัวอย่าง 0.5 กรัม หรือแผ่นกระเบื้องที่จะทดสอบใส่ไปในแต่ละขวด

3.9.2.3 ใส่ลูกแมกเนติกลงไปในแต่ละขวดและน้ำขึ้นไปวางบนเครื่องกวนและใช้จานเพาะเชื้อปิดที่ปากขวดในระหว่างการกวน

3.9.2.4 เปิดหลอดไฟยูวี (UV) ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 2 หลอดปิดฝาตัวเครื่องไม่ให้แสงภายนอกเข้าไปได้ จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างตามระยะ 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง

3.9.3 ตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)

3.9.3.1 สารละลายเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 100 ppm

3.9.3.2 สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 ppm ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยไททานเนียมไดออกไซด์ (P25)

3.9.3.3 สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 ppm ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยอนุภาคจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่สังเคราะห์จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

3.9.3.4 สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 ppm ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยแผ่นกระเบื้องที่เคลือบสารเคลือบสูตร 1 (PPPE)

3.9.3.5 สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 ppm ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยแผ่นกระเบื้องที่เคลือบสารเคลือบสูตร 2 (MPPE)

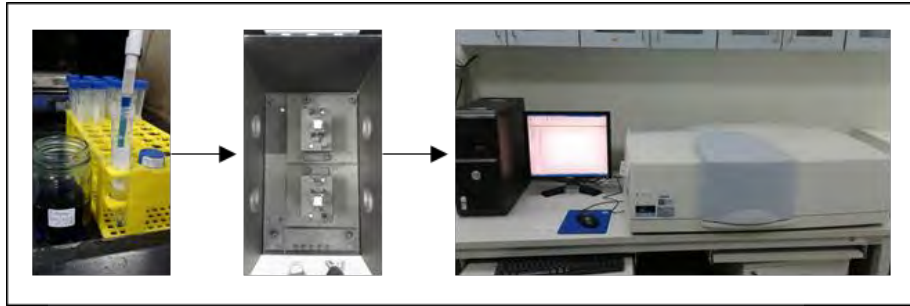
3.9.4 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) ดังรูปที่ 3.18

3.9.4.1 หลังจากการทดสอบ ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายเมทิลีนบลูใส่หลอดทดลอง หลอดละประมาณ 10 มิลลิลิตร

3.9.4.2 ปิเปิดตัวอย่างสารละลายเมทิลีนบลูที่จะทดสอบใส่ลงไปในควอต และใช้โปรแกรมเพอร์คินเอลเมอร์ (Perkin Elmer) ในการหาค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่าง พร้อมเก็บผลทดสอบที่ได้



รูปที่ 3.17 การทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูด้วยแสงยูวี (UV)



รูปที่ 3.18 การทดสอบการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)

3.10 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope ; OM)

3.10.1 ตัวอย่างทดสอบ

3.10.1.1 แผ่นกระเบื้องเคลือบแก้วที่เป็นวัสดุตั้งต้น

3.10.1.2 แผ่นกระเบื้องเคลือบแก้วที่ปรับผิวหน้าด้วยน้ำปราศจากไอออน DI, สารเอทานอล (Ethanol) , สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ (NaOH), สารโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3)

3.10.1.3 แผ่นกระเบื้องเคลือบด้วยสารไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25), สารช่วยยึดเกาะที่ 1 (Binder 1), สารละลายเอทานอล (Ethanol)

3.10.1.4 แผ่นกระเบื้องเคลือบด้วยสารไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25), สารช่วยยึดเกาะที่ 1 (Binder 1), สารช่วยยึดเกาะที่ 2 (Binder 2), สารละลายเอทานอล (Ethanol)

3.10.1.5 แผ่นกระเบื้องเคลือบสารเคลือบสูตรที่ 1 (PEPP) และสูตรที่ 2 (MPPE)

3.10.1.6 แผ่นกระเบื้องเคลือบสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู

3.10.1.7 แผ่นกระเบื้องเคลือบสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการทดสอบการดึงด้วยเทปกาว (Adhesion by Tape Test)

3.10.2 ขั้นตอนการทดสอบ ดังภาพที่ 3.19

3.10.2.1 นำแผ่นกระเบื้องวางลงบนเพลตที่ตรงกับตำแหน่งของกล้องส่อง

3.10.2.2 ปรับกำลังขยายกล้องตามความต้องการ และเลือกตำแหน่งที่หน้าผิวกระเบื้อง

3.10.2.3 กดถ่ายภาพภาพ และบันทึกภาพผิวหน้าของกระเบื้องชิ้นนั้นๆ



รูปที่ 3.19 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)

3.11 การทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบด้วยวิธีการดึงด้วยเทปกาว (Adhesion by Tape Test)

3.11.1 ตัวอย่างทดสอบ

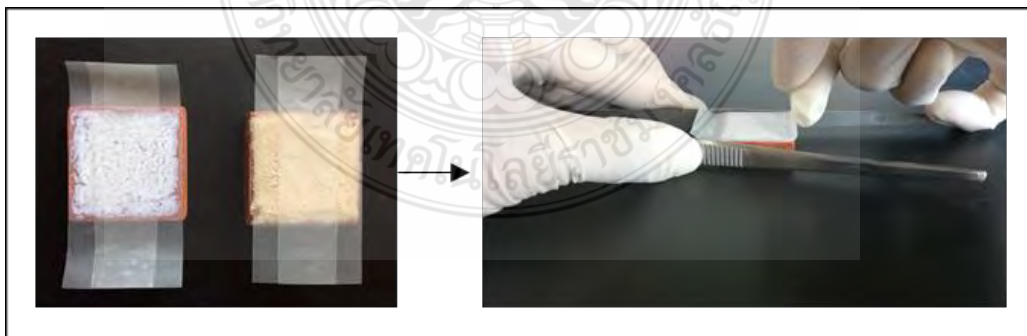
3.11.1.1 แผ่นกระเบื้องเคลือบสารเคลือบสูตรที่ 1 (PEPP) และสูตรที่ 2 (MPPE)

3.11.2 ขั้นตอนการทดสอบ ดังรูปที่ 3.19

3.11.2.1 นำเทปกาวมาติดที่ผิวหน้าของแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวหน้าทั้ง 2 สูตร

3.11.2.2 รีดให้เทปกาวติดกับผิวหน้าของสารเคลือบจนสนิท ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

3.11.2.3 ดึงเทปกาวอย่างรวดเร็วขึ้นจากผิวหน้าแผ่นกระเบื้องโดยทำมุม 90 องศา



รูปที่ 3.20 ขั้นตอนการทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบด้วยวิธีการดึงด้วยเทปกาว

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในบทนี้จะรายงานผลการวิจัยซึ่งมี 2 ส่วน คือ 1. ผลการวิจัยของการเตรียมอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล และวิเคราะห์สมบัติต่างๆของสารที่เตรียมได้ ซึ่งประกอบไปด้วย ลักษณะของรูปร่างและขนาดของแร่แมกเนติกลูโคซีนก่อนและหลังจากการเตรียม, โครงสร้างผลึก, และการนำอนุภาคนาโนที่เตรียมได้จากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่สังเคราะห์ได้ไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู 2. ผลการทดลองหาปริมาณสารที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสารเคลือบ, ลักษณะของผิวแผ่นกระเบื้องก่อนและหลังการเคลือบ, ความแข็งแรงในการยึดเกาะของสารเคลือบบนแผ่นกระเบื้อง, และการนำแผ่นกระเบื้องที่เคลือบแล้วไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงในการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู

4.1 ลักษณะทางกายภาพของแร่แมกเนติกลูโคซีน

แร่แมกเนติกลูโคซีนที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำวิจัยครั้งนี้ ได้รับการอนุเคราะห์มาจากบริษัทสินแร่สาคร จำกัด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ คล้ายเม็ดทรายสีน้ำตาลเข้มปนเหลือง ดังรูปที่ 4.1 (a) เมื่อนำไปบดด้วยเครื่องบดละเอียดความเร็วสูงเพลาเนเทอร์ริบอลมิล (planetary ball mill) ปริมาณครั้งละ 30 กรัม เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยความเร็วในการเหวี่ยง 240 rpm พบว่าแร่ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อนปนเหลืองมีเนื้อสัมผัสที่ละเอียดขึ้นกว่าเดิม ดังรูปที่ 4.1 (b) และเมื่อนำไปเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ปริมาณครั้งละ 16 กรัม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แร่แมกเนติกลูโคซีนที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงสีเทาปนเหลืองแก่ ดังรูปที่ 4.1 (c)



รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของแร่แมกเนติกลูโคซีน (a) แร่แมกเนติกก่อนนำไปบด (b) หลังจากนำไปบด (c) หลังจากนำไปสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

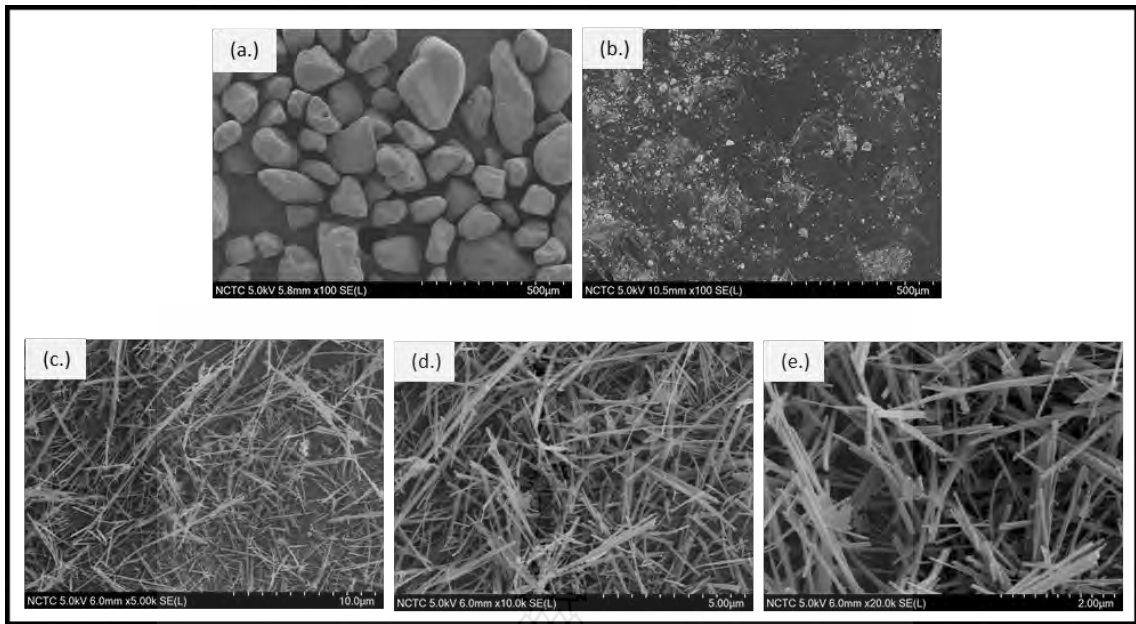
4.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างและองค์ประกอบของแร่แมกเนติกลูโคซีน

4.2.1 ผลการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy ; SEM)

ลักษณะทางกายภาพของแร่แมกเนติกลูโคซีนก่อนการนำไปบดและเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล พบว่ามีลักษณะคล้ายก้อนหินรูปทรงต่าง มีหลายสี อาทิ น้ำตาล ส้ม แดง เหลือง ดำ โดยส่วนใหญ่จะมีสีดำและน้ำตาลเป็นหลัก หลังจากนำไปตรวจสอบด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย X100 เท่า พบว่าแร่แมกเนติกลูโคซีน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ 153.58 ไมโครเมตร (μm) ดังรูปที่ 4.2 (a)

ลักษณะทางกายภาพของแร่แมกเนติกลูโคซีนเมื่อนำไปบดด้วยเครื่องบดละเอียดความเร็วสูงเพเนเทอร์ริบอลมิล (planetary ball mill) หลังจากนำไปตรวจสอบด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย X100 เท่า พบว่ามีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆในรูปทรงต่างๆ กระจายตัวไปทั่วบริเวณ และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ 31.73 μm ดังรูปที่ 4.2 (b)

ลักษณะทางกายภาพของอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนหลังจากนำไปสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล นำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย X5,000 X10,000 และ X20,000 เท่า ดังรูปที่ 4.2 (c,d,e) พบว่ามีลักษณะเป็นท่อขนาดนาโนกระจายตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ความยาวของท่อนาโนมีขนาดประมาณ 1.8 μm – 7 μm โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อประมาณ 0.1 μm – 0.3 μm

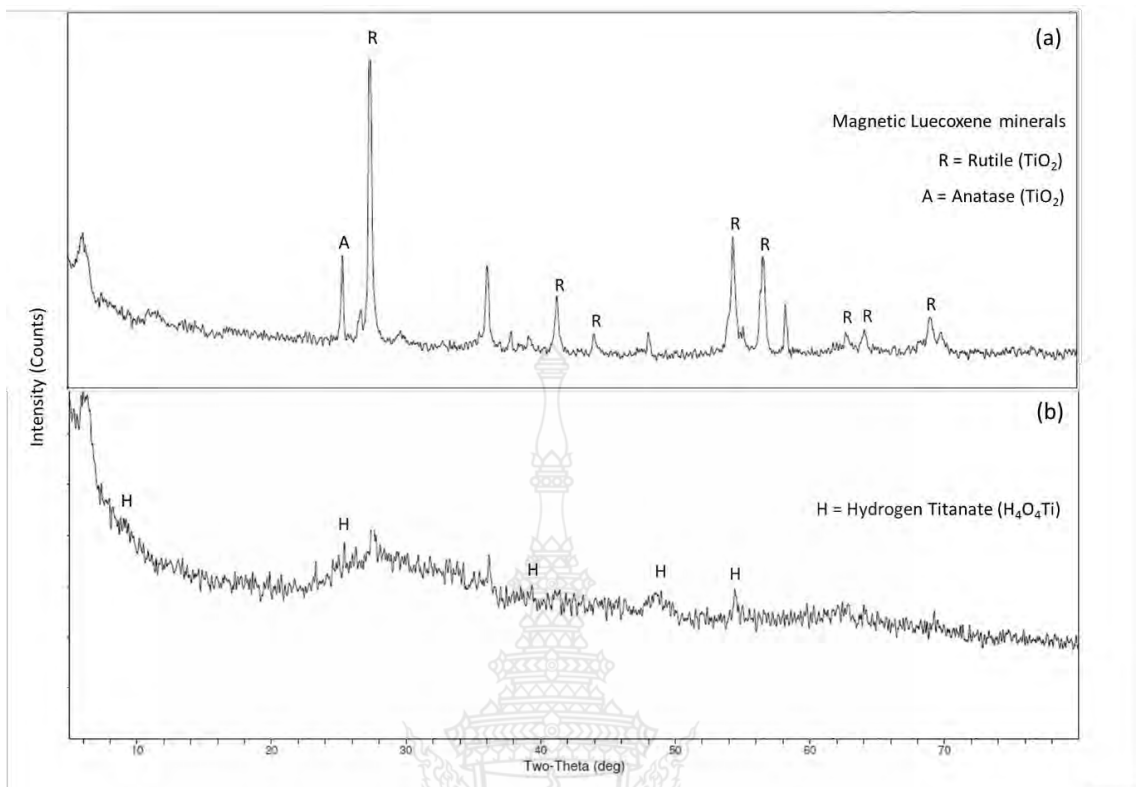


รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของแร่แมกเนติกไทเทเนียม (a) ก่อนการนำไปบดที่กำลังขยาย X100 (b) หลังการนำไปบดที่กำลังขยาย X100 (c) ที่ขนาดนาโนที่กำลังขยาย X5,000 (d) ที่ขนาดนาโนที่กำลังขยายที่กำลังขยาย X10,000 (e) ที่ขนาดนาโนที่กำลังขยาย X20,000

4.2.2 โครงสร้างผลึกของแร่แมกเนติกไทเทเนียม

การทดสอบเพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกของแร่แมกเนติกไทเทเนียมก่อนและหลังการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

การศึกษาทดสอบหาโครงสร้างผลึกของอนุภาคของแร่แมกเนติกไทเทเนียมและที่ขนาดนาโนจากแร่แมกเนติกไทเทเนียมที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ดังรูปที่ 4.3 พบว่าแร่แมกเนติกไทเทเนียมมีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ (Rutile) และแบบอนาตาส (Anatase) และเมื่อผ่านการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลพบว่าได้มีโครงสร้างผลึกแบบไททานิต ($H_2Ti_3O_7$) แสดงให้เห็นว่ามีอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งอาจจะมาจากน้ำปราศจากไอออนในกระบวนการสังเคราะห์ [27-29] นอกจากนี้ยังไม่พบสารโซเดียม (Na) ในสารตัวอย่างที่เตรียมได้ อธิบายได้ว่าอะตอมของสารโซเดียม (Na) อาจจะถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนของการล้างสารตัวอย่างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือน้ำปราศจากไอออน (DI Water) โดยอะตอมเกิดการแทนที่หรือแลกเปลี่ยนกันระหว่างอะตอมของ Na^+ ในสารประกอบ $Na_2Ti_2O_5 \cdot H_2O$ ด้วย H^+ [28,30-31]



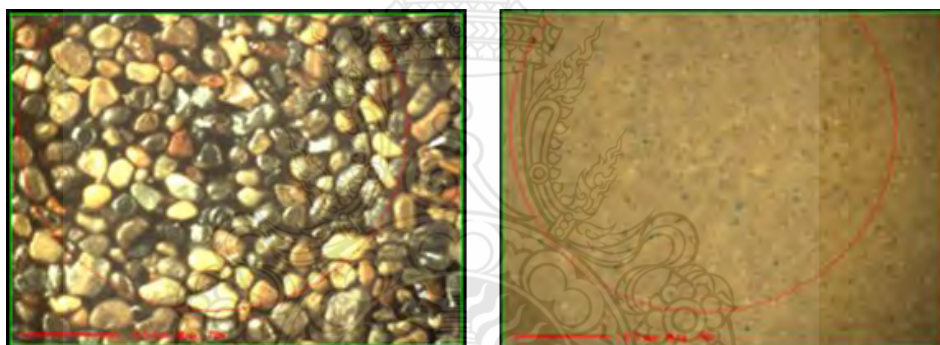
รูปที่ 4.3 XRD Patterns โครงสร้างผลึกของแร่แมกเนติกลูโคซีน (a) ก่อนการเตรียม และ (b) หลังการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

4.2.3 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแร่แมกเนติกลูโคซีนด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer ; μ -EDXRF)

จากผลการวิเคราะห์พบองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide) 12.59 % ภายหลังจากการสังเคราะห์พบว่าองค์ประกอบดังกล่าวลดลงเหลือ 1.01% , พบแคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide) 0.92 % ภายหลังจากการสังเคราะห์พบว่าองค์ประกอบดังกล่าวลดลงเหลือ 2.87% , พบไททานเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) 78.71% ภายหลังจากการสังเคราะห์พบว่าองค์ประกอบดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็น 82.56 % , พบโครเมียมออกไซด์ (Chromic oxide) 0.24 % ภายหลังจากการสังเคราะห์พบว่าองค์ประกอบดังกล่าวลดลงเหลือ 0.15% , พบไอรอนออกไซด์ (Iron oxide) 7.38% ภายหลังจากการสังเคราะห์พบว่าองค์ประกอบดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็น 12.12% , พบเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (Zirconium dioxide) 0.23% ภายหลังจากการสังเคราะห์พบว่าองค์ประกอบดังกล่าวลดลงเหลือ 0.13% ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งการที่มีองค์ประกอบทางเคมีของสารไอรอนออกไซด์ (Iron oxide) เพิ่มขึ้นผสมอยู่ในองค์ประกอบทางเคมีของสารไททานเนียมไดออกไซด์ จะสามารถส่งผลช่วยให้ไททานเนียมไดออกไซด์มีประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงได้ดีมากยิ่งขึ้น [11]

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่แมกเนติกลูโคซีนด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer ; μ -EDXRF)

| Micro - EXRF Analysis Report Magnetic Lucoxene minerals | | | |
|---|-------|--------------------------------|-------|
| ก่อนสังเคราะห์ | | หลังสังเคราะห์ | |
| Oxide | Wt% | Oxide | Wt% |
| SiO ₂ | 12.59 | SiO ₂ | 1.01 |
| CaO | 0.92 | CaO | 2.87 |
| TiO ₂ | 78.71 | TiO ₂ | 82.56 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.24 | Cr ₂ O ₃ | 0.15 |
| Fe ₂ O ₃ | 7.38 | Fe ₂ O ₃ | 12.12 |
| ZrO ₂ | 0.23 | ZnO | 0.13 |



รูปที่ 4.4 รูปถ่ายแร่แมกเนติกลูโคซีนที่ได้จากเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer ; μ -EDXRF)

4.3 พื้นที่ผิวจำเพาะของแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคบรูเนอร์ เอ็มเมทท์ เทลเลอร์ (Brunauer-Emmett-Teller ; BET)

การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ของท่อขนาดนาโนที่เตรียมได้จากแร่แมกเนติกลูโคซีน โดยทำการวัดด้วยเทคนิคบรูเนอร์ เอ็มเมทท์ เทลเลอร์ (BET) โดยใช้เทคนิคการดูดซับก๊าซ (Gas Adsorption Technique) โดยวัดดูดซับตั้งต้นคือแร่แมกเนติกลูโคซีน โดยทำการกำหนดค่าให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะของแร่แมกเนติกลูโคซีนเท่ากับ 0 ตารางเมตรต่อกรัม (m²/g) เพื่อให้ทราบพื้นที่ผิวที่ชัดเจนของอนุภาคนาโนที่เตรียมได้ จากนั้นเมื่อนำสารดังกล่าวไปผ่านการเตรียมด้วย

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้มีพื้นที่ผิวจำเพาะที่วัดได้ประมาณ 202.2655 ตารางเมตรต่อกรัม (m^2/g) ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งมากกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของสารไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่วัดพื้นที่ผิวจำเพาะได้ประมาณ 49.99 ตารางเมตรต่อกรัม (m^2/g) [32]

ตารางที่ 4.2 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ของสารตัวอย่าง

| สารตัวอย่าง | พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g) |
|--|--|
| แร่แมกเนติกลูโคซีน (วัตถุดิบตั้งต้น) | ∞ |
| ท่อขนาดนาโนที่เตรียมได้จากแร่แมกเนติกลูโคซีน | 202.2655 |
| สารไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) | 49.99 |

4.4 ผลการทดลองหาสารประกอบและอัตราส่วนของสารประกอบที่ใช้ทำสารเคลือบ

4.4.1 ผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารช่วยยึดเกาะที่ 1 (Binder 1) ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ในอัตราส่วน 3% (w/w)

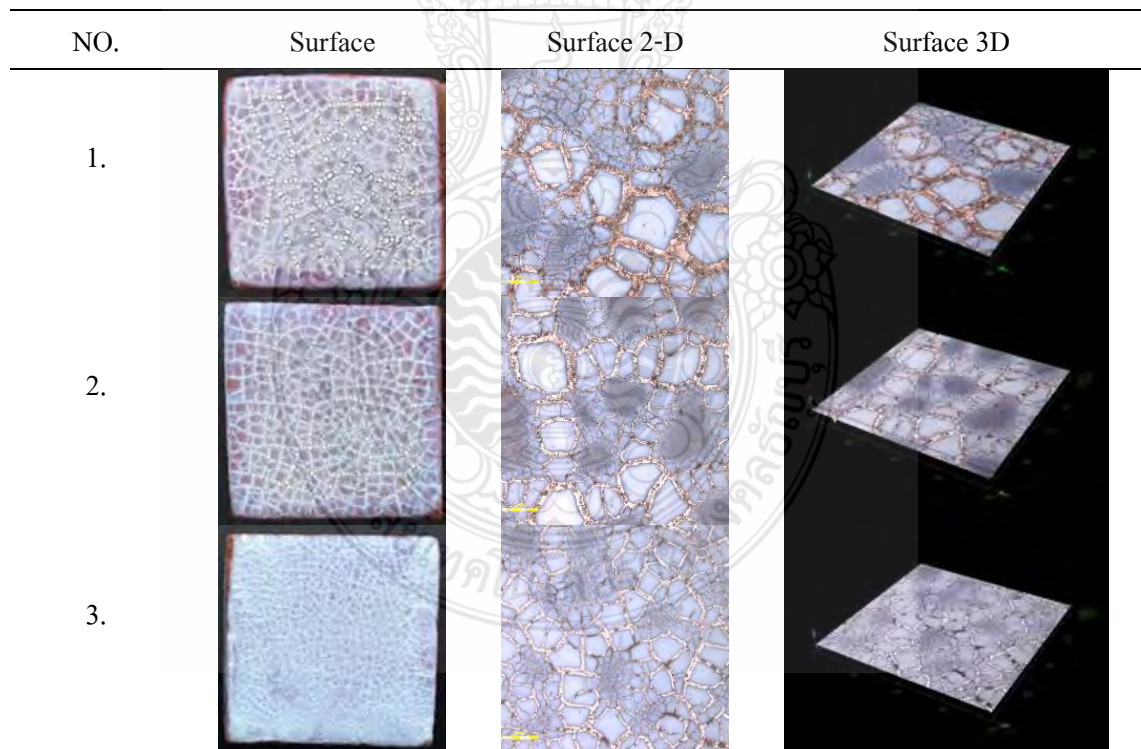
สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene Glycol ; PEG) เป็นสารที่มีส่วนในการช่วยสร้างรูพรุนที่มีขนาดเท่าๆกัน ดังนั้นสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) จึงถูกนำมาผสมกับสารอื่นๆเพื่อเพิ่มความชอบน้ำได้ และยังช่วยในการกระจายตัวของไททาเนียมไดออกไซด์ให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนผิวหน้าวัสดุ [6] จากผลการทดลองพบว่าในอัตราส่วนที่ 3%, 7% และ 10% สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) มีปริมาณไม่มากพอที่จะช่วยในการกระจายตัวของไททาเนียมไดออกไซด์ จึงทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์จากสารเคลือบไม่เรียบเนียน เกิดเป็นรอยแยกและเกิดเป็นเนื้อผิวที่ขรุขระกระจายตัวไปทั่วผิวแผ่นกระเบื้อง และในอัตราส่วนที่ 25% และ 30% จะเห็นได้ว่าไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) เข้าไปแทรกในรอยแตกของผิวกระเบื้องมากเกินไปจนเกิดเป็นรอยนูนกลางรอยแยกทำให้ผิวหน้าไม่เรียบเนียนเช่นกัน

ดังนั้นจากการทดลองในขั้นตอนนี้อัตราส่วนของสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่ 20% ทำให้สารเคลือบมีความเรียบเนียนและช่วยให้ไททาเนียมไดออกไซด์กระจายตัวได้ดีที่สุด จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) ที่ 3% ดังรูปประกอบในตารางที่ 4.4

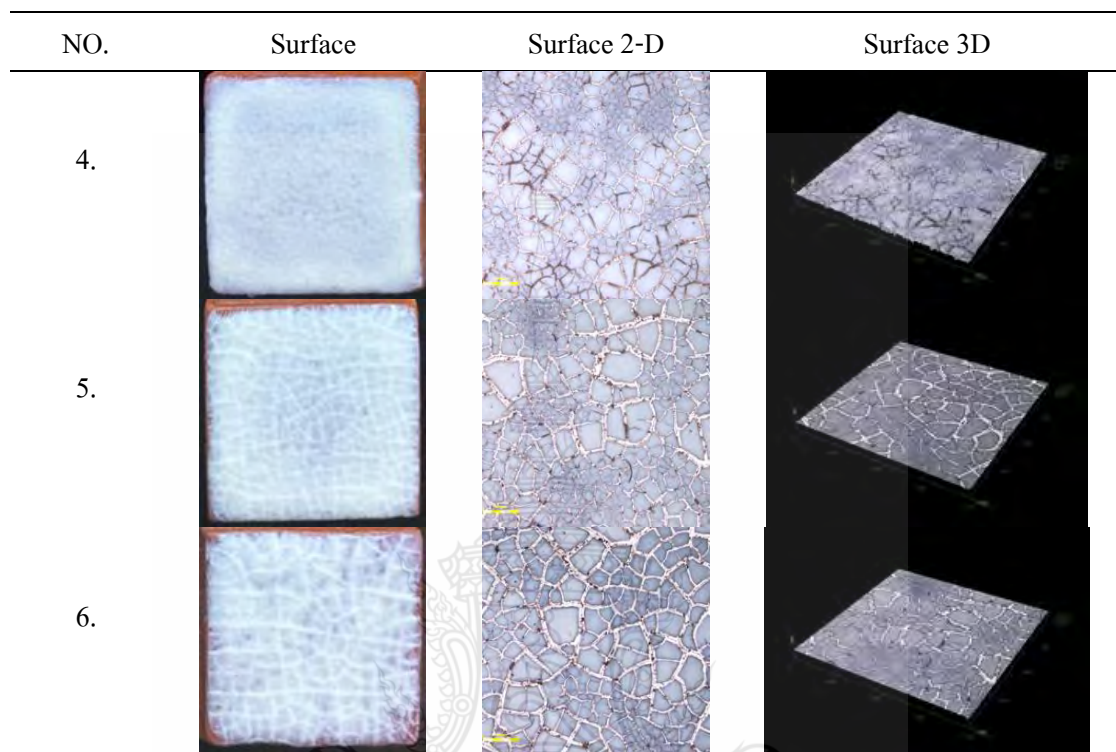
ตารางที่ 4.3 การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารช่วยยึดเกาะที่ 1 หรือสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ในอัตราส่วน 3% - 30% และไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) ที่ 3%

| NO. | TiO ₂ (P25) (% w/w) | Polyethylene Glycol (PEG) (% w/w) | Ethanol (% w/w) |
|-----|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| 1. | 3 % | 3 % | 94 % |
| 2. | 3 % | 7 % | 90 % |
| 3. | 3 % | 10 % | 87 % |
| 4. | 3 % | 20 % | 77 % |
| 5. | 3 % | 25 % | 72 % |
| 6. | 3 % | 30 % | 67 % |

ตารางที่ 4.4 รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ในอัตราส่วน 3% - 30% และไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) ที่ 3%



ตารางที่ 4.4 รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ในอัตราส่วน 3% - 30% และไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) ที่ 3% (ต่อ)



4.4.2 ผลการทดลองหาสารช่วยยึดเกาะที่ 2 (Binder 2) (% w/w) เพื่อใช้ร่วมกับพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ในอัตราส่วน 20% (w/w) และไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) 3% (w/w)

การผสมกันระหว่างสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene Glycol ; PEG) และสารพอลิอะคริลิกเอซิก (Polyacrylic acid ; PAA) หรือ โมโนเอเทอร์ โมโนเมทาคริเลท (monoether monomethacrylate), PAA-CO-PEG (PEGMM) จะทำให้เกิดการยึดเกาะที่ดีกว่าการใช้สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) หรือสารพอลิอะคริลิกเอซิก (PAA) เพียงอย่างเดียว และจากการยึดเกาะร่วมกันของพอลิเมอร์ทั้ง 2 นี้ยังแสดงให้เห็นถึงระดับความชอบน้ำที่มีมากขึ้น [33] จากการทดลองในขั้นตอนนี้พบว่าการใช้สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ผสมกับสารพอลิอะคริลิกเอซิก (PAA) และไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) โดยใช้สารเอทานอล (Ethanol) เป็นตัวทำละลาย ทำให้สารประกอบสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ และพื้นที่ลึกลึกที่สุดไปจนถึงพื้นที่สูงที่สุด (Lowest point – Highest point) ของผิวหน้าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ผสมกับสารพอลิอะคริลิกเอซิก (PAA) โดยวัดจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) พบว่ามีจุดต่ำสุด

และจุดที่สูงที่สุดของพื้นผิว เท่ากับ $75.309 \mu\text{m} - 150.619 \mu\text{m}$ ซึ่งค่าที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าสารเคลือบมีความหนาในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 สาร

สารอีพอกซี (Epoxy) มีหมู่อีพอกซี, หมู่อีเทอร์และหมู่เบนซีนที่อยู่ในบิสฟีนอลเอ ส่งผลให้สารอีพอกซี (Epoxy) มีความสามารถในการยึดเกาะกับผิววัสดุอื่น ทนทานต่อการใช้งานและทนความร้อนได้ดี [34] ถูกนำไปผสมกับสารพอลิเอทิลีน ไกลคอล (Polyethylene Glycol ; PEG) และพัฒนาขึ้นมาใหม่โดยถูกเตรียมขึ้นด้วยปฏิกิริยาคาร์บอกซิลแคปเพท (carboxyl-capped) เพื่อเสริมประสิทธิภาพทางความร้อนและช่วยหน่วงการสันเสีของแผ่นฟิล์มได้ [35] จากการทดลองในขั้นตอนนี้การใช้สารพอลิเอทิลีน ไกลคอล (PEG) ผสมกับสารอีพอกซี (Epoxy) และไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) โดยใช้ตัวทำละลายคือสารเอทานอล (Ethanol) ผสมกันโดยตรงนั้น พบว่าสารประกอบไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เกิดการแยกตัวของสาร และมีการหลุดตัวของสารอีพอกซี (Epoxy) บริเวณกลางแผ่นกระเบื้องอย่างเห็นได้ชัด ส่วนพื้นผิวที่ลึกที่สุดไปจนถึงพื้นผิวที่สูงที่สุด (Lowest point – Highest point) ของผิวหน้าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารพอลิเอทิลีน ไกลคอล (PEG) ผสมกับสารอีพอกซี (Epoxy) โดยวัดจากรูปถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) พบว่ามีจุดพื้นผิวที่ลึกที่สุดไปจนถึงพื้นผิวที่สูงที่สุด เท่ากับ $65.865 \mu\text{m} - 131.73 \mu\text{m}$ ซึ่งค่าที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าสารเคลือบมีความหนาน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 สาร

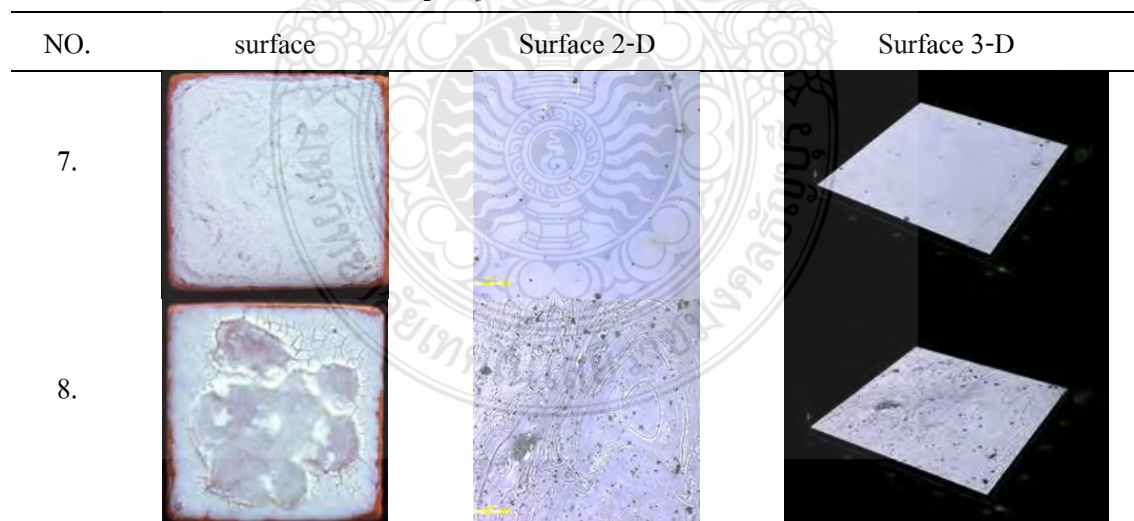
สารโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ทำหน้าที่เป็นสารควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่ดี และหากมีค่า Mole Ratio สูงจะช่วยป้องกันการกัดกร่อนได้ดี สามารถใช้เป็นสารยึดติดหรือกาว (Adhesive) ได้ และเนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ใช้แผ่นกระเบื้องที่เคลือบผิวหน้าด้วยแก้ว จึงมีสมมติฐานว่า การใช้สารพอลิเอทิลีน ไกลคอล (PEG) ร่วมกับสารโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) จะช่วยให้สารไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) สามารถยึดเกาะกับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยแก้วได้ ซึ่งจากการทดลองด้วยการใช้สารพอลิเอทิลีน ไกลคอล (PEG) ผสมกับสารโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) โดยใช้ตัวทำละลายคือสารเอทานอล (Ethanol) พบว่าสารประกอบไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันทำให้สารไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) จับตัวเป็นเกล็ดเล็กๆ ล้ายเม็ดเกลือ เกาะเป็นกลุ่มบริเวณกลางแผ่นกระเบื้อง และจุดพื้นผิวที่ลึกที่สุดไปจนถึงพื้นผิวที่สูงที่สุด (Lowest point – Highest point) ของผิวหน้าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารพอลิเอทิลีน ไกลคอล (PEG) ผสมกับสาร โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) โดยวัดจากรูปถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) พบว่ามีจุดพื้นผิวที่ลึกที่สุดไปจนถึงพื้นผิวที่สูงที่สุด เท่ากับ $224.978 \mu\text{m} - 449.956 \mu\text{m}$ แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบที่ได้จะมีความหนามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 สาร

ในการทดลองในขั้นตอนนี้จึงสรุปได้ว่าสาร โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และสารอีพอกซี (Epoxy) ไม่สามารถผสมกับสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ได้ ดังนั้นสารพอลิอะคริลิกเอต (PAA) จึงเป็นสารที่เหมาะสมที่สุดที่จะเลือกนำมาเป็นสารช่วยยึดเกาะที่ 2 (Binder 2) ร่วมกับ สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) รูปประกอบแสดงดังตารางที่ 4.6

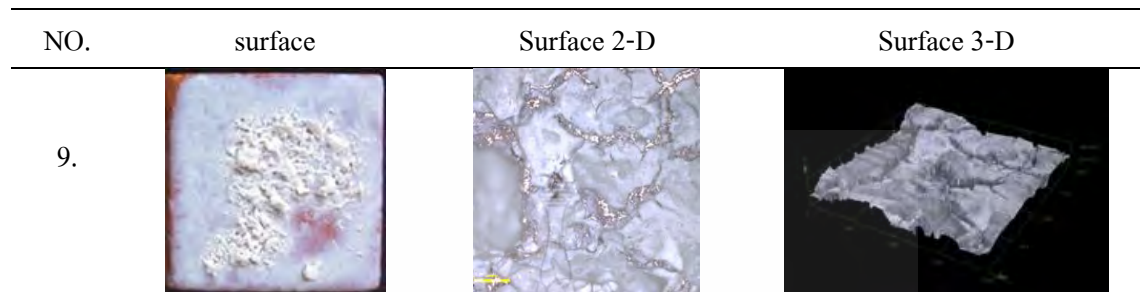
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาสารช่วยยึดเกาะที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยสารพอลิอะคริลิกเอต (PAA) , สารอีพอกซี (Epoxy) และสารโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ในอัตราส่วน 1:1 ระหว่างสารช่วยยึดเกาะที่ 1 และสารช่วยยึดเกาะที่ 2

| NO. | TiO ₂ (P25) (% w/w) | Polyethylene Glycol (PEG) (% w/w) | Binder 2 (% w/w) | Ethanol (% w/w) |
|-----|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 7. | 3 % | 20 % | Polyacrylic acid 20 % | 57 % |
| 8. | 3 % | 20 % | Epoxy 20 % | 57 % |
| 9. | 3 % | 20 % | Na_2SiO_3 20 % | 57 % |

ตารางที่ 4.6 รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยสารพอลิอะคริลิกเอต (PAA) , สารอีพอกซี (Epoxy) และสารโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3)



ตารางที่ 4.6 รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยสารพอลิอะคริลิกเอต (PAA) , สารอีพอกซี (Epoxy) และ สารโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) (ต่อ)



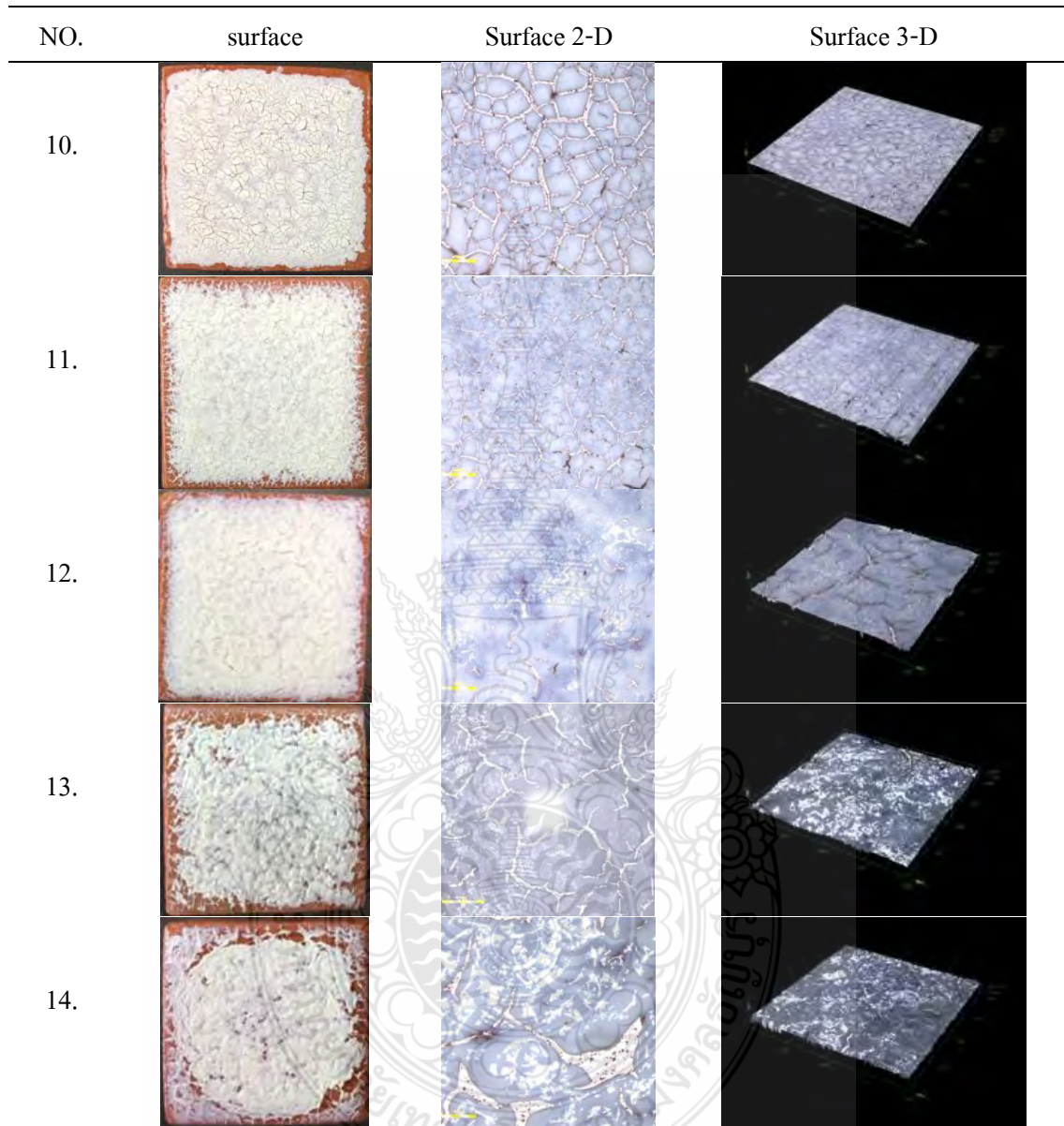
4.4.3 ผลการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 (Binder 2) คือสารพอลิอะคริลิกเอต (PAA) ที่อัตราส่วน 1% - 10% w/w เพื่อใช้ร่วมกับสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) 20% (w/w) และไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) 3% (w/w)

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการผสมสารพอลิอะคริลิกเอต (PAA) ในอัตราส่วนเริ่มต้นที่ 1% -10% ร่วมกับสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ในอัตราส่วน 20% และไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) 3% จากผลการทดลองพบว่าในอัตราส่วนที่ 1%, 3% ทำให้สารเคลือบเปราะและเกิดรอยแยกเล็กๆ กระจายไปทั่วผิวหน้าแผ่นกระเบื้อง และในอัตราส่วนที่ 7%, 10% ทำให้สารเคลือบหดตัวรวมกันเป็นกลุ่มๆ บางส่วนมีรอยร้าวขึ้น จึงทำให้สารเคลือบมีความขรุขระเล็กน้อย ดังรูปประกอบในตารางที่ 4.8 ดังนั้นการทดลองในขั้นตอนนี้จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนของสารพอลิอะคริลิกเอต (PAA) ที่ 5% เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ผสมร่วมกับสารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) 20% และไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) 3%

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 หรือสารพอลิอะคริลิกเอต (PAA) (1 – 10 % w/w)

| NO. | TiO ₂ (P25) (% w/w) | Polyethylene Glycol (PEG) (% w/w) | Polyacrylic acid (% w/w) | Ethanol (% w/w) |
|-----|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 10. | 3 % | 20 % | 1 % | 76 % |
| 11. | 3 % | 20 % | 3 % | 74 % |
| 12. | 3 % | 20 % | 5 % | 72 % |
| 13. | 3 % | 20 % | 7 % | 70 % |
| 14. | 3 % | 20 % | 10 % | 67 % |

ตารางที่ 4.8 รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของสารช่วยยึดเกาะที่ 2 หรือสารพอลิอะคริลิกเอสิท (PAA)



4.4.4 ผลการทดลองหาสารที่ใช้ปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องที่เหมาะสม

การทดลองขั้นตอนนี้เป็นทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของสารเคลือบให้ดียิ่งขึ้น โดยการหาสารปรับผิวหน้าลงบนผิวหน้าแผ่นกระเบื้องทิ้งไว้ 30 นาทีจนแห้ง แล้วจึงหยดสารเคลือบลงไปในปริมาณ 0.25 มิลลิลิตรหรือคิดเป็น 25 % (v/v) จากการทดลองพบว่าแผ่นกระเบื้องที่ปรับผิวหน้าด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI Water) และสารเอทานอล (Ethanol) ทำให้สาร

เคลือบที่หยดลงไปซึมผ่านชั้นแก้วลงสู่เนื้อดินในกระเบื้องอย่างรวดเร็ว และสารเอทานอล (Ethanol) เป็นสารละลายประเภท Hydrogen Bonded Solvents มีอัตราการระเหยตัวค่อนข้างเร็ว เมื่อสารเอทานอล (Ethanol) มีการระเหยออกไปภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว (ประมาณ 1 ชั่วโมง) จึงทำให้สารเคลือบแห้งเร็วจนเกิดเป็นรอยแตกอย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งยังทำให้สารเคลือบไม่ทนทาน เมื่อสัมผัสกับน้ำสารเคลือบก็หลุดออกจากผิวหน้าแผ่นกระเบื้องภายใน 5 – 20 นาที ส่วนแผ่นกระเบื้องที่ปรับผิวหน้าด้วยสารโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ทำให้ความแข็งแรงของสารเคลือบเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อย แต่ก็ไม่สามารถทนทานเมื่อสัมผัสกับน้ำได้ ทำให้สารเคลือบหลุดออกภายในเวลา 5 - 20 นาทีเช่นกัน ทั้งยังทำให้สารเคลือบหดตัวเข้ามามากและบางส่วนเกิดเป็นรอยแยกออกจากกัน


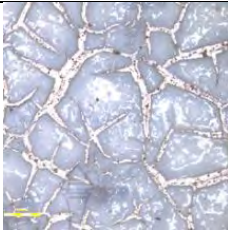
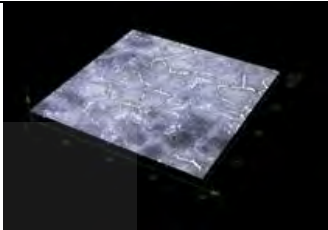

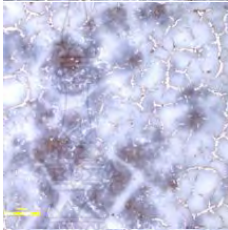
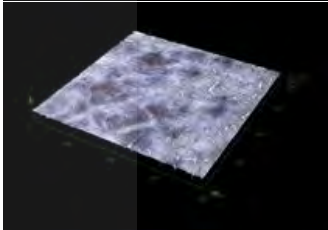

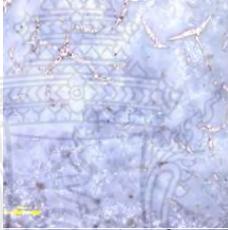
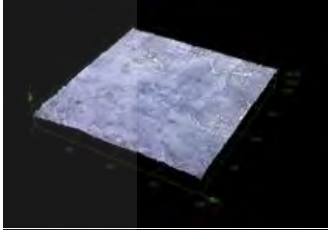


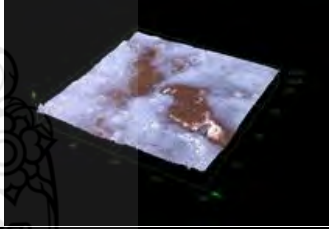
แผ่นกระเบื้องที่ปรับผิวหน้าด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10 โมลาร์ พบรอยแตกของสารเคลือบน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการปรับผิวหน้าด้วยสารอื่นๆ และทำให้สารเคลือบยึดเกาะกับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องได้นานที่สุด (ประมาณ 2 ชั่วโมง) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rui Zhou และคณะ [36] ที่ศึกษาการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 0.001 - 1 โมลาร์ ในการปรับผิวหน้าของไททานเนียม (Ti) ด้วยวิธีการสตรึมไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์ (Steam - Hydrothermal Treatment) จากการวิจัยนี้พบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการปรับผิวหน้าก่อนการเคลือบ ส่งผลทำให้มีการยึดเกาะที่ผิวหน้าของสารเคลือบเพิ่มขึ้น $43.8 \pm 1.1 \text{ MPa}$

ดังนั้นจากการทดลองในขั้นตอนนี้จึงสรุปได้ว่าสาร โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10 โมลาร์ เป็นสารที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ปรับผิวหน้าด้วยแผ่นกระเบื้อง เพื่อให้แผ่นกระเบื้องมีการยึดเกาะที่ยาวนานที่สุดและเกิดรอยรานหรือรอยแยกของสารเคลือบน้อยที่สุด ดังรูปประกอบที่แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองหาสารที่ใช้ปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องที่เหมาะสม

| NO. | Treatment | P25 (% w/w) | Polyethylene glycol (% w/w) | Polyacrylic acid (% w/w) | Ethanol (% w/w) |
|-----|--------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 15. | Control (DI Water) | 3 % | 20 % | 5 % | 72 % |
| 16. | Ethanol | 3 % | 20 % | 5 % | 72 % |
| 17. | NaOH | 3 % | 20 % | 5 % | 72 % |
| 18. | Sodium silicate | 3 % | 20 % | 5 % | 72 % |

ตารางที่ 4.10 รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของสารที่ใช้ปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้อง

| NO. | surface | Surface 2-D | Surface 3-D |
|-----|---|---|---|
| 15. |  |  |  |
| 16. |  |  |  |
| 17. |  |  |  |
| 18. |  |  |  |

4.4.5 อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารเคลือบ

การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารประกอบในสารเคลือบ และสารที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาที่เคลือบด้วยแก้ว จากการทดลองจะได้ว่าสารเคลือบนั้นใช้อัตราส่วนของไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) 3%, สารพอลิเอทิลีนไกลคอล(PEG) 20%, สารพอลิอะคริลิกเอสิท (PAA) 5%, สารเอทานอล (Ethanol) 72% โดยสารเคลือบดังกล่าวจะถูกหยดลงบนแผ่นกระเบื้องที่มีการปรับผิวหน้าด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวจะถูกนำมาทดลองใช้กับอนุภาคนาโทไททานเนียมไดออกไซด์จากแร่แมกเนติกลูโคซีน (TML) ที่สังเคราะห์ได้ ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงทำให้ได้สารเคลือบ

ทั้งหมด 2 สูตรแสดงดังตารางที่ 4.10 คือ 1.สูตร PPPM ($\text{TiO}_2 = \text{P25}$) 2.สูตร MPPE ($\text{TiO}_2 = \text{TML}$) ดังรูปประกอบในตารางที่ 4.12

เมื่อนำสารเคลือบทั้ง 2 สูตรไปเคลือบบนผิวกระเบื้องแล้ว ไปตรวจสอบพื้นผิวที่ต่ำที่สุดไปถึงพื้นผิวที่สูงที่สุด (Lowest point – Highest point) โดยวัดจากรูปถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) พบว่าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสูตร PPPM มีพื้นผิวดำที่สุดถึงสูงที่สุด (Lowest point – Highest point) เท่ากับ $150.158 \mu\text{m} - 300.316 \mu\text{m}$ ส่วนแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสูตร MPPE มีพื้นผิวดำที่สุดถึงสูงที่สุด (Lowest point – Highest) point เท่ากับ $243.617 \mu\text{m} - 487.233 \mu\text{m}$ แสดงให้เห็นว่ากระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร PPPM มีความหนาน้อยและเรียบเนียนกว่าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร MPPE

ตารางที่ 4.11 อัตราส่วนของน้ำเคลือบที่เหมาะสมทั้ง 2 สูตร

| สูตร | Treatment | TiO_2 | Polyethylene glycol (PEG) | Polyacrylic acid | Ethanol |
|------|-----------|----------------|---------------------------|------------------|---------|
| PPPE | NaOH | P25 3 % | 20 % | 5 % | 72% |
| MPPE | NaOH | TML 3 % | 20 % | 5 % | 72% |

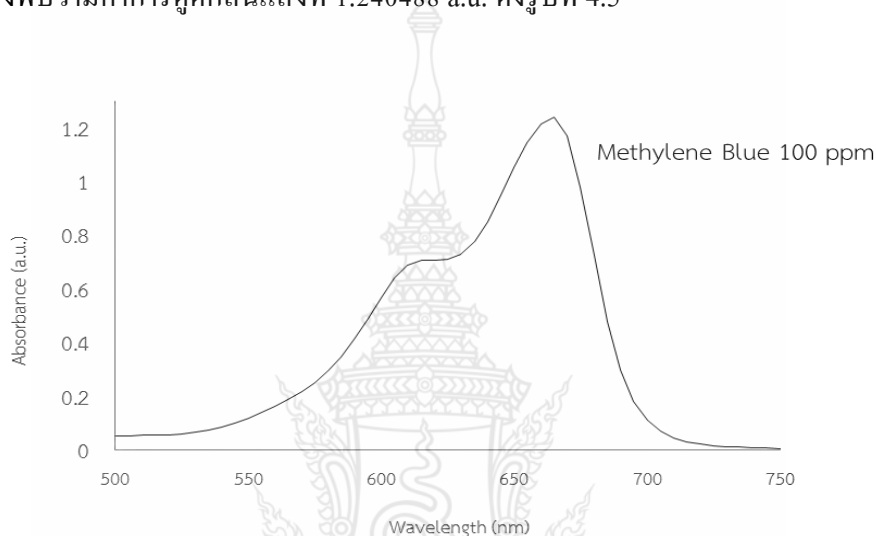
ตารางที่ 4.12 รูปถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร PPPE และ MPPE



4.5 ผลวิเคราะห์การย่อยสลายความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู และการทดสอบด้วยเครื่องยูวีวิสทิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-VIS Spectrophotometer

4.5.1 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของสารละลายเมทิลีนบลู

สารเมทิลีนบลูสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 664 nm จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่ 100 ppm โดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีการดูดกลืนแสงที่ 1.240488 a.u. ดังรูปที่ 4.5

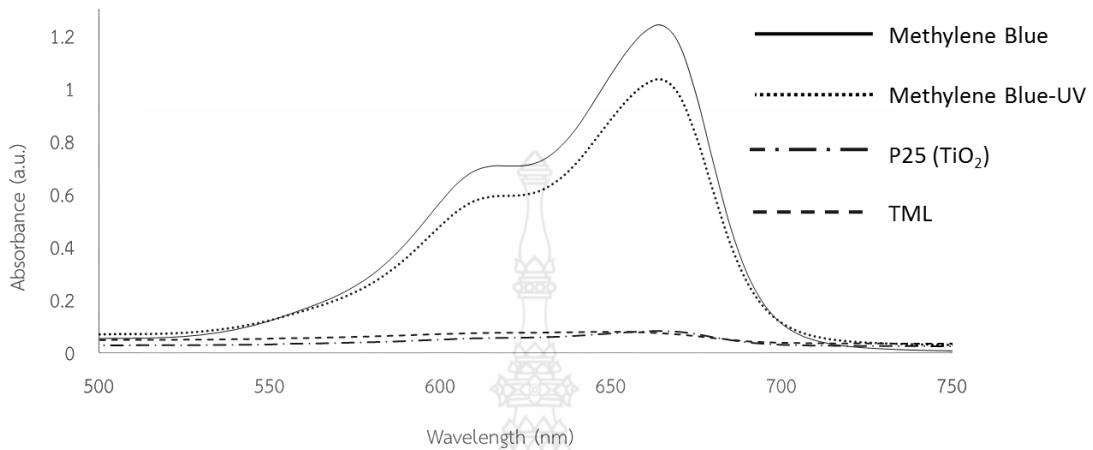


รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 ppm

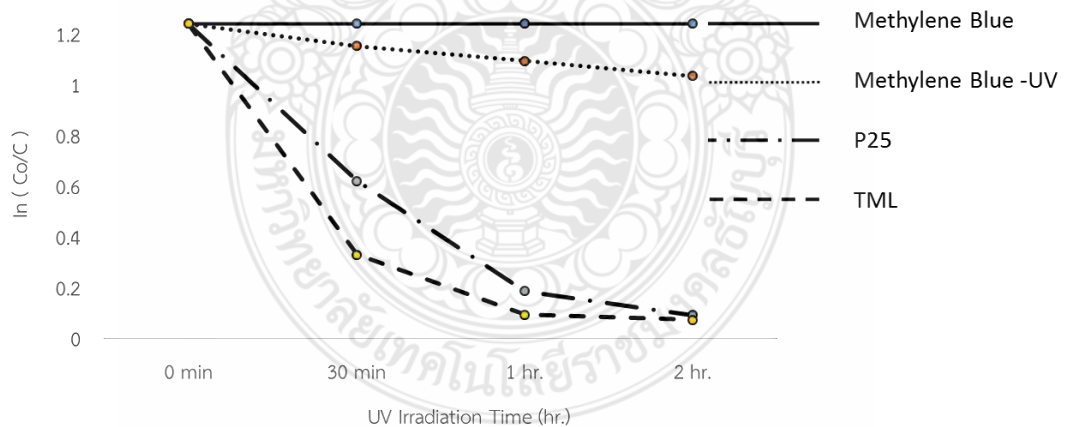
4.5.2 ผลทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 100 ppm ด้วยไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) และอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ (TML)

จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่ 100 ppm โดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีการดูดกลืนแสงที่ 1.2404 a.u. เมื่อผ่านการทดสอบการย่อยสลายโดยการกระตุ้นด้วยแสง UV เป็นเวลา 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.7 พบว่าค่าการดูดกลืนของสารละลายเมทิลีนบลูมีค่าลดลงที่ 1.1523 a.u., 1.0945 a.u., 1.0342 a.u., ตามลำดับ ไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) มีค่าการดูดกลืนแสงลดลงที่ 0.6210 a.u., 0.1868 a.u., 0.0910 a.u. ตามลำดับ และท่อขนาดนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนมีค่าการดูดกลืนแสงลดลง 0.3320 a.u., 0.0930 a.u., 0.0735 a.u. ตามลำดับ เนื่องจากท่อนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ (TML) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่มากกว่าไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) จึงส่งผลให้มีพื้นที่ผิวในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิง

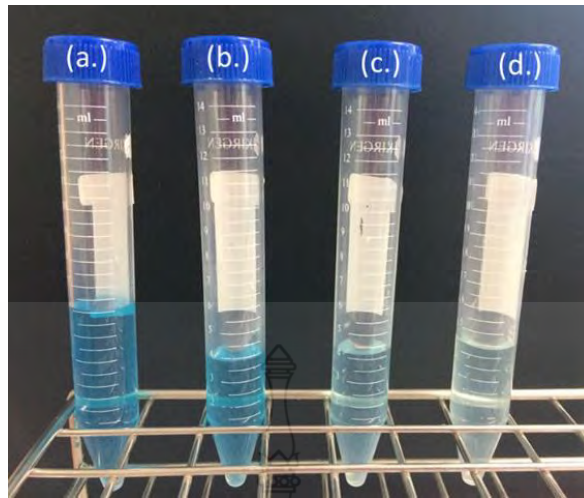
แสงได้มากกว่าไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูจะถูกลดลง
ได้มากกว่า ดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.6 กราฟการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) และอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ (TML)



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) และอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ (TML)

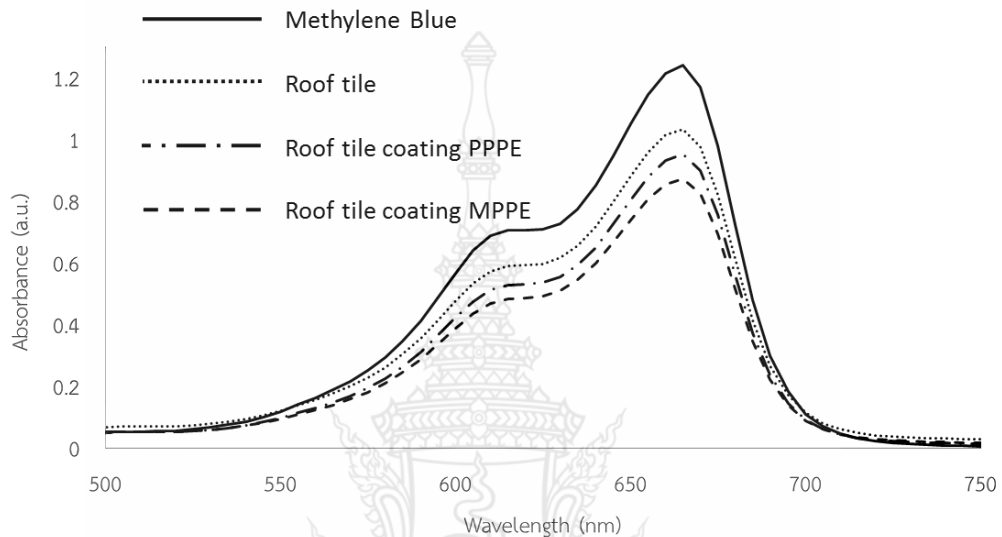


รูปที่ 4.8 (a) สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 ppm (b) สารละลายเมทิลีนบลูได้แสงยูวี (UV) (c)ไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) (d) อนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้โดยทดสอบที่เวลา 2 ชั่วโมง

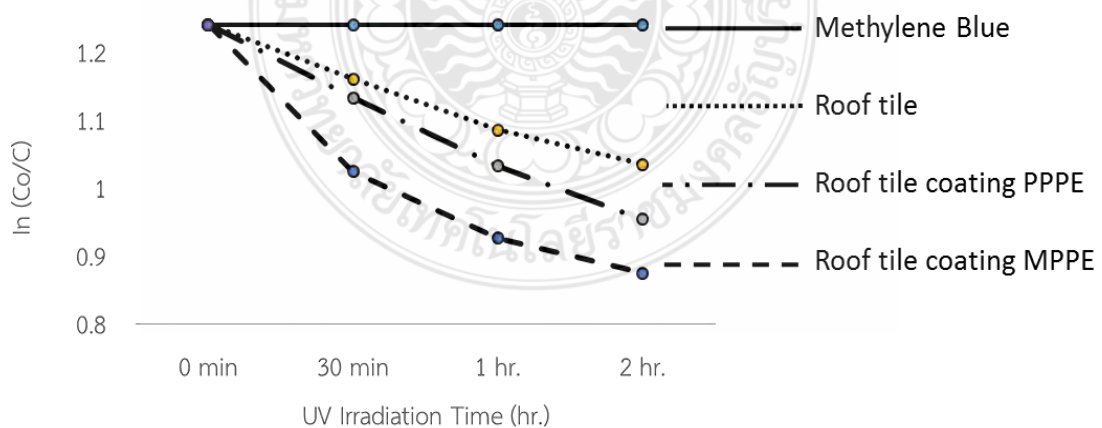
4.5.3 ผลทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 100 ppm ด้วยแผ่นกระเบื้องดินเผาungหลังคาที่เคลือบด้วยสารเคลือบ PPPM (ผสมไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์, P25) และ MPPE (ผสมอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีน, TML)

จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่ 100 ppm โดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่ 1.2404 a.u. เมื่อผ่านการทดสอบการย่อยสลายโดยการกระตุ้นด้วยแสงยูวี (UV) เป็นเวลา 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมงดังรูปที่ 4.10 พบว่าค่าการดูดกลืนของสารละลายเมทิลีนบลูมีค่าลดลงที่ 1.1523 a.u., 1.0945 a.u., 1.0342 a.u., ตามลำดับ แผ่นกระเบื้องชนิดที่ไม่มีการเคลือบสารชนิดใดลงสู่ผิวหน้ามีค่าการดูดกลืนแสงลดลงที่ 1.1627 a.u., 1.0847 a.u., 1.0342 a.u.,ตามลำดับ แผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร PPPE มีค่าการดูดกลืนแสงลดลงที่ 1.1322 a.u., 1.0316 a.u., 0.9533 a.u., ตามลำดับ แผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร MPPE มีค่าการดูดกลืนแสงลดลงที่ 1.0239 a.u., 0.9254 a.u., 0.8739 a.u. ตามลำดับ เนื่องจากท่อนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ (TML) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่มากกว่าไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) จึงส่งผลให้มีพื้นที่ผิวในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงได้มากกว่าไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) แผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบ MPPE จึงสามารถลดความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูได้มากกว่าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบ PPPE ดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.11

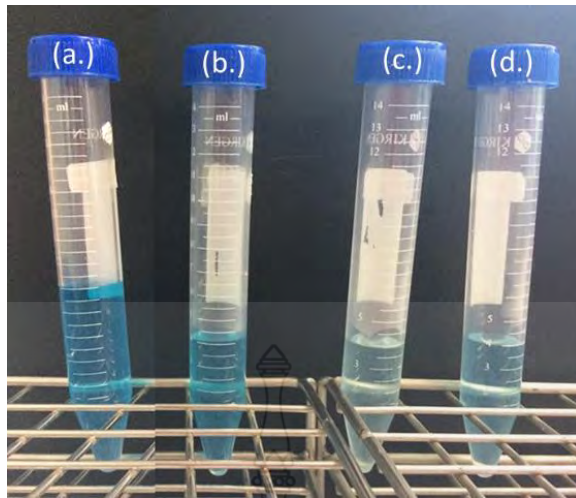
ลักษณะของแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร PPPE และสารเคลือบสูตร MPPE หลังภายหลังจากการนำไปทดสอบการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู พบว่าสูตร PPPE มีการหลุดออกเล็กน้อยหลังจากสัมผัสกับสารละลายเมทิลีนบลูในระยะเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนสูตร MPPE ยังสามารถยึดเกาะอยู่บนแผ่นกระเบื้องโดยไม่มีการหลุดออกออก ดังรูปประกอบในตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.9 กราฟการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของแผ่นกระเบื้องไม่เคลือบ, แผ่นกระเบื้องเคลือบสารสูตร PPPE และ MPPE



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูของแผ่นกระเบื้องไม่เคลือบ, แผ่นกระเบื้องเคลือบสารสูตร PPPE และ MPPE



รูปที่ 4.11 (a) สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 ppm (b) แผ่นกระเบื้องที่ไม่ได้เคลือบสาร (c) แผ่นกระเบื้องเคลือบสารเคลือบสูตร MPPE (d) แผ่นกระเบื้องเคลือบสารเคลือบสูตร PPPE โดยทดสอบที่เวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.13 รูปถ่ายผิวหนังด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของแผ่นกระเบื้องก่อนและหลังทดสอบด้วยการนำไปย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู

| สูตร | ก่อนทดสอบ | หลังทดสอบด้วยการนำไปย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู |
|------|-----------|--|
| PPPE | | |
| MPPE | | |

ตารางที่ 4.14 ค่าการดูดกลืนแสงและร้อยละของการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลูที่เวลา 30 นาที

| ตัวอย่างทดสอบ | ระยะเวลา การได้รับ แสง | ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู | | ร้อยละของ การสลายตัวของ สารละลายเมทิลีนบลู |
|-------------------|------------------------------|----------------------------------|---------|--|
| | | เริ่มต้น | สุดท้าย | |
| Methylene Blue | - | 1.2404 | 1.2404 | - |
| Methylene Blue | 30 นาที | 1.2404 | 1.1523 | 6.10 % |
| P25 | 30 นาที | 1.2404 | 0.6210 | 49.93 % |
| TML | 30 นาที | 1.2404 | 0.3320 | 73.23 % |
| Roof tile Clay | 30 นาที | 1.2404 | 1.1627 | 7.26 % |
| Roof tile coating | | | | |
| PPPE | 30 นาที | 1.2404 | 1.1322 | 8.72 % |
| Roof tile coating | | | | |
| MPPE | 30 นาที | 1.2404 | 1.0239 | 17.45 % |

ตารางที่ 4.15 ค่าการดูดกลืนแสงและร้อยละของการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลูที่เวลา 1 ชั่วโมง

| ตัวอย่างทดสอบ | ระยะเวลา การได้รับ แสง | ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู | | ร้อยละของ การสลายตัวของ สารละลายเมทิลีนบลู |
|-------------------|------------------------------|----------------------------------|---------|--|
| | | เริ่มต้น | สุดท้าย | |
| Methylene Blue | - | 1.2404 | 1.2404 | - |
| Methylene Blue | 1 ชั่วโมง | 1.2404 | 1.0945 | 11.76 % |
| P25 | 1 ชั่วโมง | 1.2404 | 0.1868 | 84.94 % |
| TML | 1 ชั่วโมง | 1.2404 | 0.0930 | 92.50 % |
| Roof tile Clay | 1 ชั่วโมง | 1.2404 | 1.0847 | 12.55 % |
| Roof tile coating | | | | |
| PPPE | 1 ชั่วโมง | 1.2404 | 1.0316 | 16.83. % |

ตารางที่ 4.15 ค่าการดูดกลืนแสงและร้อยละของการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลูที่เวลา 1 ชั่วโมง (ต่อ)

| ตัวอย่างทดสอบ | ระยะเวลา การได้รับ แสง | ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู | | ร้อยละของ การสลายตัวของ สารละลายเมทิลีนบลู |
|-------------------|------------------------------|----------------------------------|---------|--|
| | | เริ่มต้น | สุดท้าย | |
| Roof tile coating | | | | |
| MPPE | 1 ชั่วโมง | 1.2404 | 0.9254 | 24.39 % |

ตารางที่ 4.16 ค่าการดูดกลืนแสงและร้อยละของการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลูที่เวลา 2 ชั่วโมง


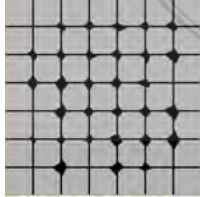
| ตัวอย่างทดสอบ | ระยะเวลา การได้รับ แสง | ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู | | ร้อยละ การสลายตัวของ สารละลายเมทิลีนบลู |
|-------------------|------------------------------|----------------------------------|---------|---|
| | | เริ่มต้น | สุดท้าย | |
| Methylene Blue | - | 1.2404 | 1.2404 | - |
| Methylene Blue | 2 ชั่วโมง | 1.2404 | 1.0342 | 12.62 % |
| P25 | 2 ชั่วโมง | 1.2404 | 0.091 | 92.66 % |
| TML | 2 ชั่วโมง | 1.2404 | 0.0735 | 94.07 % |
| Roof tile Clay | 2 ชั่วโมง | 1.2404 | 1.0342 | 16.62 % |
| Roof tile coating | | | | |
| PPPE | 2 ชั่วโมง | 1.2404 | 0.9533 | 23.14 % |
| Roof tile coating | | | | |
| MPPE | 2 ชั่วโมง | 1.2404 | 0.8739 | 29.54 % |

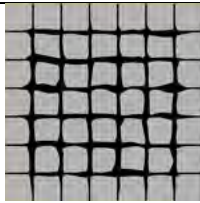
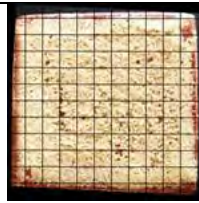
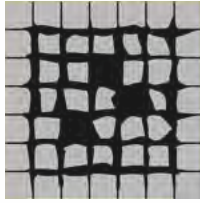
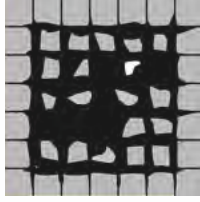
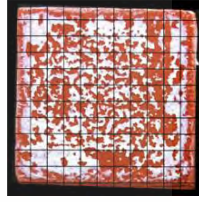
ตารางที่ 4.17 อัตราส่วนร้อยละของการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลูที่เวลา 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง

| ตัวอย่างทดสอบ | ร้อยละของการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลู (%) | | |
|------------------------|--|-----------|-----------|
| | 30 นาที | 1 ชั่วโมง | 2 ชั่วโมง |
| Methylene Blue | 6.10 % | 11.76 % | 12.62 % |
| P25 | 49.93 % | 84.94 % | 92.66 % |
| TML | 73.23 % | 92.50 % | 94.07 % |
| Roof tile Clay | 7.26 % | 12.55 % | 16.62 % |
| Roof tile coating PPPE | 8.72 % | 16.83. % | 23.14 % |
| Roof tile coating MPPE | 17.45 % | 24.39 % | 29.54 % |

4.6 ผลการทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบด้วยวิธีการดึงด้วยเทปกาว (Adhesion by Tape Test)

การทดสอบการยึดเกาะโดยใช้สก็อตเทปติดที่ผิวของสารเคลือบทิ้งไว้ 30 นาทีแล้วดึงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยให้สก็อตเทปทำมุมกับผิวสารเคลือบ 90 องศา ตามมาตรฐาน ASTM D3359 [37]

| ASTM Class | Area removed % | Surface of cross-cut |
|--|----------------|----------------------|
|  5 B | 0 % | - |
|  4 B | น้อยกว่า 5 % | - |

| ASTM Class | Area removed % | Surface of cross-cut |
|---|----------------|---|
|  | 3 B 5-15 % |  |
|  | 2 B 15-35 % | - |
|  | 1 B 35-65% |  |

จากการทดสอบพบว่าสารเคลือบสูตร MPPE มีการหลุดออกมาตามสก็อตเทปที่ใช้ทดสอบ ประมาณ 5-15% (ระดับ 3B) และเมื่อทำการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบด้วยการดึงเทปกาว พบว่าแผ่นที่เคลือบด้วยสูตร MPPE มีน้ำหนักก่อนทดสอบเท่ากับ 11.9426 กรัม หลังการทดสอบ น้ำหนักลดลงเหลือ 11.9215 กรัม หรือมีการสูญเสียน้ำหนักที่ 0.017 % และเมื่อตรวจสอบผิวหน้าด้วย กล้อง Optical Microscope พบว่าสารเคลือบสูตร MPPE มีจุดต่ำที่สุด (Lowest point) เท่ากับ 243.617 μm และจุดสูงสุด (Highest point) เท่ากับ 487.223 μm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผิวหน้ามีความขรุขระ มากกว่าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบสารเคลือบสูตร PPPE

สารเคลือบสูตร PPPE มีการหลุดลอกประมาณ 35-65% (ระดับ 1B) และเมื่อทำการชั่ง น้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบด้วยการดึงเทปกาวพบว่าแผ่นที่เคลือบด้วยสูตร PPPE มีน้ำหนัก ก่อนทดสอบเท่ากับ 11.8542 กรัม หลังการทดสอบน้ำหนักลดลงเหลือ 11.5998 กรัม หรือมีการสูญเสีย น้ำหนักที่ 0.214 % และเมื่อตรวจสอบผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) พบว่าสารเคลือบสูตร PPPE มีจุดต่ำที่สุด (Lowest point) เท่ากับ 150.158 μm และจุดสูงสุด (Highest point) เท่ากับ 300.316 μm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผิวหน้ามีความขรุขระน้อยกว่าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบ สารเคลือบสูตร MPPEแสดงดังรูปในตารางที่ 4.18

การทดสอบในขั้นตอนนี้จึงสรุปได้ว่า เนื่องจากสารเคลือบสูตร MPPE มีสารประกอบจากอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีน (TML) เป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเป็นแบบท่อขนาดนาโนที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบจึงช่วยในการทำให้สารยึดเกาะกันได้ดีกว่าสำหรับสูตร PPPE ที่มีอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) เป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเป็นแบบเม็ดกลมๆ

ตารางที่ 4.18 รูปถ่ายผิวหนังหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ของแผ่นกระเบื้องก่อนและหลังทดสอบด้วยการดิ่งเทปกาว

| สูตร | ก่อนทดสอบ | | หลังทดสอบด้วยการดิ่งเทปกาว | |
|------|---|---|--|---|
| PPPE |  |  |  |  |
| MPPE |  |  |  |  |



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของแผ่นกระเบื้องดินเผาสูงหลังคาที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีองค์ประกอบของสารนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) และอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมขึ้นด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (TML) เพื่อใช้ศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู

การเตรียมอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ถูกเตรียมขึ้นโดยการนำแร่แมกเนติกลูโคซีนปริมาณ 30 กรัมไปบดด้วยเครื่องบดละเอียดความเร็วสูง (Planetary ball mill) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อลดขนาดอนุภาค จากนั้นนำแร่แมกเนติกลูโคซีนที่บดแล้วในปริมาณ 16 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 โมลาร์ ปริมาณ 2,000 มิลลิลิตร ใส่ลงในชุดถังปฏิกรณ์พร้อมใส่แมกเนติกสเตอร์เรอร์ (Magnetic Stirrer) ให้กวนอยู่ตลอดเวลา โดยใช้อุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การเตรียมสารเคลือบ เตรียมขึ้นโดยใช้อัตราส่วนของสารนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) ,อนุภาคนาโนที่ได้จากการเตรียมแร่แมกเนติกลูโคซีน (TML) 3% (w/w), สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol ; PEG) ในอัตราส่วน 20% (w/w), สารพอลิอะคริลิกเอสิท (Polyacrylic acid ; PAA) 5% (w/w), เอทานอล (Ethanol) 72% (w/w) กวนผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน

วิธีการเคลือบสารเคลือบ แผ่นกระเบื้องจะถูกทดลองโดยปรับผิวหน้าด้วยสารต่างๆ ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน (DI Water), สารเอทานอล (Ethanol), สาร โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10 โมลาร์ จากการทดลองพบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ทำให้การยึดเกาะของสารเคลือบบนกระเบื้องมีการยึดเกาะที่ดีที่สุด โดยการทาสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ลงบนกระเบื้องทิ้งไว้ 30 นาที และหยดสารเคลือบที่เตรียมได้ในปริมาณ 25 % (v/v) ลงบนผิวหน้าแผ่นกระเบื้อง จากนั้นรอสารเคลือบแห้งสนิทโดยใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

5.1 การวิเคราะห์สมบัติของอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้

5.1.1 การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) โครงสร้างทางจุลภาคของแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ มีลักษณะรูปร่างคล้ายท่อขนาดนาโนกระจายตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ความยาวของท่อนาโนมีขนาดประมาณ $1.8 \mu\text{m} - 7 \mu\text{m}$ และมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อขนาดประมาณ $0.3 - 0.7 \mu\text{m}$

5.1.2 โครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ ทำการศึกษาโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่าแร่แมกเนติกลูโคซีนมีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ (Rutile) และเมื่อผ่านการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลแล้วพบว่ามีโครงสร้างผลึกแบบไททานิต ($\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$)

5.1.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่แมกเนติกลูโคซีนด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (Micro-EXRF) พบว่ามีองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ 12.59% ภายหลังจากการเตรียมองค์ประกอบลดลงเหลือ 1.01% , พบแคลเซียมออกไซด์ 0.92% ภายหลังจากการเตรียมองค์ประกอบลดลงเหลือ 2.87% , พบไททานเนียมไดออกไซด์ 78.71% ภายหลังจากการเตรียมองค์ประกอบเพิ่มขึ้นเป็น 82.56% , พบโครเมียมออกไซด์ 0.24% ภายหลังจากการเตรียมองค์ประกอบลดลงเหลือ 0.15% , พบไอรอนออกไซด์ 7.38% ภายหลังจากการเตรียมองค์ประกอบเพิ่มขึ้นเป็น 12.12% , พบเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ 0.23% ภายหลังจากการเตรียมองค์ประกอบลดลงเหลือ 0.13%

5.1.4 พื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้นั้น ทำการคำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ของสารตัวอย่าง ด้วยเทคนิคบรูเนอร์ เอ็มเมทท์ เทลเลอร์ (Brunauer – Emmett - Teller ; BET) การตรวจวัดด้วยเทคนิคนี้ทำให้ทราบว่าสารตัวอย่างที่เตรียมได้นั้นมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 202.2655 ตารางเมตร/กรัม ซึ่งมากกว่าค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของสารไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่วัดได้ประมาณ 49.99 ตารางเมตร/กรัม

5.1.5 การนำไปทดสอบการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง โดยนำไปย่อยสลายความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู เพื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของสารนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) พบว่าสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่ 100 ppm มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 1.2404 a.u. ประสิทธิภาพของสารนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ (P25) สามารถลดความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูลงได้ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ 0.0910 a.u. หรือ 92.66% ในการย่อยสลาย และประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่เตรียมได้ (TML) สามารถลดความเข้มข้น

ของสารละลายเมทิลีนบลูได้มากกว่าสารนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ 0.0735 a.u. โดยมีเปอร์เซ็นต์ในการย่อยสลายที่ 94.07 %

5.2 การทดสอบสมบัติของแผ่นกระเบื้องดินเผาungหลังคาที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมได้

5.2.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของสารเคลือบในงานวิจัยนี้ ทำโดยการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดจากการใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) ซึ่งกำหนดอัตราส่วนไว้ที่ 3% (w/w) นำมาผสมกับสารช่วยยึดเกาะ (Binder) 2 ชนิด ได้แก่สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene Glycol ; PEG), (Binder 1) และสารพอลิอะคริลิกเอซิด (Polyacrylic acid ; PAA), (Binder 2) โดยมีสารละลายคือเอทานอล (Ethanol) สำหรับการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสาร PEG ที่ 3 - 30% (w/w) พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ 20% (w/w) อัตราส่วนที่เหมาะสมของสาร PAA ที่ 1 - 10% (w/w) พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ 5% (w/w) และปริมาณของสารละลาย (Ethanol) ที่เหมาะสมที่สุดคือ 72 % (w/w) ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงทำให้ได้สารเคลือบทั้งหมด 2 สูตร คือ 1.สูตร PPPM ($\text{TiO}_2 = \text{P25}$) และ 2.สูตร MPPE ($\text{TiO}_2 = \text{TML}$) โดยการเคลือบสารเคลือบดังกล่าวนี้จะหยดเคลือบลงบนผิวหน้าของแผ่นกระเบื้องที่ปรับด้วยสารต่างๆ ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน (DI Water), เอทานอล Ethanol, สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ (NaOH) และสารโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ซึ่งสารที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นสารปรับผิวหน้าแผ่นกระเบื้องในงานวิจัยนี้คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 10 โมลาร์

5.2.2 การนำแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร PPPE และ สูตร MPPE ไปทดสอบการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง โดยนำไปย่อยสลายความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู เพื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของสารเคลือบทั้ง 2 สูตรนี้ พบว่าสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่ 100 ppm มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 1.2404 a.u. ประสิทธิภาพของแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร PPPE สามารถลดความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูลงได้ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ 0.9533 a.u. หรือ 23.14 % ในการย่อยสลาย และประสิทธิภาพของแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร MPPE สามารถลดความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูได้มากกว่าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร PPPE โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ 0.8739 a.u. โดยมีเปอร์เซ็นต์ในการย่อยสลายที่ 29.54 %

5.2.3 การทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบทั้ง 2 สูตรด้วยวิธีการดึงด้วยเทปกาว (Adhesion by Tape Test) ตามมาตรฐาน ASTM D3359 พบว่าผิวหน้าของแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วย

สารเคลือบสูตร PPPE มีพื้นที่การสูญเสียของปริมาณสารเคลือบ (Area removed %) ที่ 35-65% โดยเทียบได้กับมาตรฐาน ASTM Class เท่ากับระดับ 1 B และมีการสูญเสียน้ำหนักของสารเคลือบที่ 0.214 % ส่วนผิวหน้าของแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร MPPE มีพื้นที่การสูญเสียของปริมาณสารเคลือบ (Area removed %) ที่ 5-15% โดยเทียบได้กับมาตรฐาน ASTM Class เท่ากับระดับ 3 B มีการสูญเสียน้ำหนักของสารเคลือบที่ 0.017 % จึงสรุปได้ว่าการยึดเกาะของแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร MPPE ผิวหน้ามีการยึดเกาะกับสารเคลือบได้ดีกว่าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร PPPE

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรศึกษาผลกระทบหรือประสิทธิภาพของสารเคลือบเกี่ยวกับการยึดเกาะและการย่อยสลายความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูหลังจากการนำไปเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

5.3.2 ควรศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู จากการกระตุ้นด้วยแสงชนิดอื่นๆ เช่น แสงฟลูออเรสเซนซ์, แสงอาทิตย์

บรรณานุกรม

- [1] CERAM Reserch Ltd. “Titanium Dioxide – Titania (TiO₂),” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Titanium_dioxide, (วันที่สืบค้นข้อมูล: 28 สิงหาคม 2560)
- [2] Agustina, T.E., Ang, H.M., and Vareek, V.k. (2006). “A review of synergistic effect of photocatalysis and ozonation on wastewater treatment,” **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**. 6, (pp.264-273).
- [3] Wissanu C., Athapon S., Narongchai O., Natee S., Wisanu P. and Sorapong P. (2016). “Hydrothermal Preparation and MB Photocatalytic Activity under UV light of Nanosheets from Natural Magnetic Leucoxene Mineral,” **Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2016)**. Pattaya, Thailand 27-29 July, 2016
- [4] Deaw, A., Thanakorn, W., Sorapong, P., and Pichet, L. (2011). “Effect of Calcination Temperatures on Structures of TiO₂ Powders Prepared by Hydrothermal Method Using Thai Leucoxene Mineral”. Vol 9: 9th **Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium** (pp.539-544).
- [5] Li, Y., Li, X., Li, J., Yin, J. (2005). “TiO₂-coated active carbon composites with increased photocatalytic activity prepared by a properly controlled sol-gel method,” **Materials Letter.**, 59, (pp.2659-2773).
- [6] Seehararch L., Sitthisuntorn S., Paradee Ch. (2013). “Appropriate binder for titanium dioxide coating onto fluorescent lamps for microorganism removal from the air,” **KKU Res. J.** 2013; 18(2)
- [7] M. Radeka, S. Markow, E. Loncar, O.Rudic, S. Vucetic, J. Ranogajec. (2013). “Photocatalytic effects of TiO₂ mesoporous coating immobilized on clay roofing tiles,” **Journal of the European Ceramic Society** 34 (pp.127-136)

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [8] Yemmireddy VK, Farrell GD, Hung YC. (2015). “Development of Titanium Dioxide (TiO₂) Nanocoatings on Food Contact Surfaces and Method to Evaluate Their Durability and Photocatalytic Bactericidal Property,” **J Food Sci.** 2015 Aug ; 80 (8) : N1903-11
- [9] CERAM Reserch Ltd. “Titanium Dioxide – Titania (TiO₂),” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Titanium_dioxide, (วันที่สืบค้นข้อมูล:28 สิงหาคม 2560)
- [10] Balamurugan, A., Kannan, S., and Rajeswari, S. (2005). “ Evaluation of TiO₂ coating obtained using the sol-gel technique on surgical grade type 316L stainless steel in simulated body fluid,” **Materials Letter.** 59, (pp.3138-3143).
- [11] Kim, K.D., Han, D.N., Lee, J.B., and Kim, H.T. (2005). “ Formation and characterization of Ag deposited TiO₂ nanoparticles by chemical reduction method,” **Scripta Materialia.** 54, (pp.143–146).
- [12] “ไททาเนียมไดออกไซด์/TiO₂,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.siamchemi.com/> (วันที่สืบค้นข้อมูล:19 กันยายน 2560)
- [13] ธรรมบุญ ศรีทะวงศ์. (2550) “ไททาเนียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.vcharkarn.com/varticle/27809> (วันที่สืบค้นข้อมูล:20 กันยายน2560)
- [14] Zheng, J., Yu, H., Li, X., and Zhang, S. (2007). “ Enhanced photocatalytic activity of TiO₂ nanostructured thin film with a silver hierarchical configuration,” **Applied Surface Science,** 254, (pp.1630–1635).
- [15] Savvy Skin. 2559. “The way to perfect refined skin,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://savvyskins.blogspot.com/2016/03/blog-post_34.html (วันที่สืบค้นข้อมูล:17 ธันวาคม 2560)
- [16] ัญญา คุ่มทรัพย์. (2556). “ผลของการเจือโลหะต่อความว่องไวในปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกช่วงวิสิเบิลของไททาเนียมไดออกไซด์,” **วิศวกรรมลาดกระบัง.** 30(2). หน้า 20.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [17] ชวิศร์ กรีณย์เมธากุล. การปรับแต่งผิวหน้าของไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เคมีอุตสาหกรรม). บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, (2549).
- [18] วรรณ แสงจันทร์ และลดา พันธุ์สุขุมธนา. (2000). **Glazes and Glass Coating**. กรมวิทยาศาสตร์บริการ Department of science sevice. The American Ceramic Society, Westerville, Ohio
- [19] กรมทรัพยากรธรณี. (2553). “แร่รูไทล์ รูไทล์ ควอตซ์,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.patchra.net> (วันที่สืบค้นข้อมูล:7 กันยายน 2560)
- [20] วีรนุช สระแก้ว. “อุตสาหกรรมสีย้อมผ้า,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://issuu.com/610064/docs/4> (วันที่สืบค้นข้อมูล:20 พฤศจิกายน 2560)
- [21] กิตติเชษฐ เล่าเงิน. (2553). “การสร้างเครื่องบดบอลมิลล์ กรูด้วยอิฐเซรามิกส์,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://hrd.rmutl.ac.th/qa/docUpload / pj // 3100601110602/150825160456 fullpp.pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล:8 พฤศจิกายน 2560)
- [22] สรินทร ลีมปนาท. (2557). “มารู้จักกับ XRD กันเถอะ,” สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://lib3.dss.go.th/fulltext/> (วันที่สืบค้นข้อมูล:3 ตุลาคม 2560)
- [23] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล. “scanning electron microscope (SEM),” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://lib3.dss.sem.go.th/fulltext/> (วันที่สืบค้นข้อมูล:3 ตุลาคม 2560)
- [24] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. “ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เชิงฟิสิกส์,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.mtec.or.th/mcu/phcl/index.php/th/2014-09-04-06-23-37/14-uncategorised/41-sem-th/> (วันที่สืบค้นข้อมูล:16 ตุลาคม 2560)

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [25] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. “OPTICAL MICROSCOPE (OM),” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.mic.eng.ku.ac.Th/facilities.phpid_sub=42 (วันที่สืบค้นข้อมูล:4 พฤศจิกายน 2560)
- [26] Glassware Chemical. “หลักการ uv-vis spectrophotometer,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://glasswarechemical.com/scientific-instrument-uv-vis-spectrophotometer> (วันที่สืบค้นข้อมูล:22 พฤศจิกายน 2560)
- [27] J. Jitputti, T. Rattanavoravipa, S. Chuangchote, S. Pavasupree, Y. Suzuki and S. Yoshikawa. (2009). “Low temperature hydrothermal synthesis of monodispersed flower-like titanate nanosheets,” **Catalysis Communication**, vol.10 (pp.378-382).
- [28] J. Sun, L. Gao, Q.H. Zhang. (2003). “TiO₂ Yubes Synthesized by Using Ammonium Sulfate and Carbon Nanotube as Templates,” **Journal of Materials Science Letters**, vol. 22, (pp.339-341).
- [29] S.Kobayashi, K. Hanabusa, N. Hamasaki, H. Kimura, M.shirai, S. Shinkai. (2000). “Preparation of TiO₂ hollow-fibers using supramolecular assemblies,” **Chemistry of Materials**, vol. 12, (pp. 523-1525).
- [30] S. Yoo, S.A. Akbar, K.H. Sandhage. (2004). “Oriented Single crystal Titania Nanofibers via Nanocarving with Hydrogenbearing Gas,” **Advanced Materials**, vol. 16, (pp.260-264).
- [31] P.Hoyer. (1996). “Formation of titanium dioxide nanotube array,” **Langmuir**, vol. 12, (pp.1411-1413).
- [32] W. Chareerntanom, T. Wirunmongkol, N. O-Charoen, and S. Pavasupree, “Preparation of N-Type Semiconductor Nanosheets from Thai Iimenite Mineral,” Proceeding of the 5th **Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)**, Hue Hin Grand Hotel and Plaza, Prachuabkhirikhan, Thailand, March 27-29, 2013, (pp.321-324)]

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [33] Munmaya K.Mishra. (2018). “Concise Encyclopedia of Biomedical Polymers and Polymeric Biomaterials,” Edited by Taylor&Francis Group, (pp.447).
- [34] Diallyl Maleate. DAM. “diallyl cisbutenedioate,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://chemyq.com/En/xz/xz6/54487_ohkss.htm (วันที่สืบค้นข้อมูล: 22 พฤศจิกายน 2560)
- [35] Swati S., Amit Kum., Asitbaran S., Prashant Shripad K. (2017). “Poly(ethylene glycol) (PEG) modified epoxy phase change polymer with dual properties of thermal storage and vibration damping,” เข้าถึงได้จาก file : /// C :/Users/smile%20ink/Downloads /paperepoxy.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล: 22 พฤศจิกายน 2560)
- [36] R. Zhou, D. Wei, J. Cao, W. Feng, S. Cheng, Q. Du, B. Li and Other (2015). “ The effect of NaOH concentration on the steam-hydrothermally treated bioactive microarc oxidation coatings containing Ca, P, Si and Na on pure Ti surface,” **Materials Science and Engineering** . C 49, (pp.669-680).
- [37] International ASTM. Designation: D3359 – 09 “**Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test¹**,” June 2009 Originally approved in 1974 DOI:10.1520 / D3359 – 09E02.

ภาคผนวก





ผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับชาติ (National Conferences)

P. Kummeesith, W. Songkittikul, S. Sanguanpak, A. Wannagon, S. Pavasupree, “Study of the photocatalytic activity of the synthesized nanoparticles from Magnetic Leucoxene naturally-mineral coating on glazed clay roofing tile,” Proceeding, Industrial Engineering Network Conference 2018 (IE NETWORK 2018), Sunee Grand Hotel and Convention Center, Ubon Ratchathani, Thailand, July 23-26 2018, MMA21, P.721-724





IE NETWORK 2018

IE Tech for High Quality of Life

23 – 26 กรกฎาคม 2561

ณ โรงแรมสุนีย์แกรนด์ โฮเทล แอน คอนเวนชัน เซ็นเตอร์ อุบลราชธานี



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

หลักการและเหตุผล

IE NETWORK 2018


ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม เป็นองค์กรที่จัดตั้งขึ้นเมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ.2525 เพื่อสร้างความร่วมมือด้านวิชาการ การแสดงผลงานความก้าวหน้าและแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมและสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ของคณาจารย์และบุคลากรจากสถาบันการศึกษาและหน่วยงานองค์กรอื่น ๆ

ในปี พ.ศ.2561 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้จัดเกียรติเป็นประธานจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม (IE Networks Conference 2018) ร่วมกับภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ในระหว่างวันที่ 23-26 กรกฎาคม พ.ศ.2561 ณ โรงแรมสุนีย์แกรนด์ โฮเทล แอน คอนเวนชัน เซ็นเตอร์ จังหวัดอุบลราชธานี

วัตถุประสงค์

IE NETWORK 2018

เพื่อเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ประสบการณ์ งานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ ของนักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา วิศวกร ตลอดจนบุคคลทั่วไป ในสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดเครือข่ายทางวิชาการและความร่วมมือในการพัฒนาองค์ความรู้ การถ่ายทอดเทคโนโลยี และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย อันส่งผลต่อการพัฒนาสังคมและประเทศให้มีความก้าวหน้าต่อไปในอนาคต

 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ดร.ณัฐ ลีละวัฒน์
ดร.พิเชษฐ จารุมนโรจน์
ดร.อมรศิริ วิชาสเดชานันท์
ดร.อริศรา เจียมสงวนวงศ์
ผศ.ดร. สිරง ปรีชานนท์
ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์
ผศ.ดร.นภัสสงวงศ์ โอสสถิลป์
ผศ.ดร.นระเกณท์ พุ่มชูศรี
ผศ.ดร.ประมวล สุธีจารุวัฒน์
ผศ.ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล
ผศ.ดร.สมชาย หัวจันดานตร
ผศ.ดร.อังคมาลิน เสนจันทรณ์ไชย
ผศ.ดร.โอฬาร กิตติธรรพ์ชัย

ผศ.ประเสริฐ อัครประภพพงศ์
ผศ.ภูมิ เหลืองจามิกร
ผศ.สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา
ผศ.หญิง โลหะศิริวัฒน์
รศ.จิรพัฒน์ เภาประเสริฐวงศ์
รศ.ดร.จิตรา รุกกิจการพานิช
รศ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย
รศ.ดร.ปวีณา เขาวลิตวงศ์
รศ.ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาต
รศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ
ศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา
อาจารย์วรโชค ไชยวงศ์

 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์


ดร.กฤษ วงษ์เกษม
ดร.วรุณี หวังวัชรกุล
ดร.สุตารัตน์ วงศ์วีระเกียรติ
ผศ.ดร.พรเทพ อนุสรณ์ติสาร

ผศ.ดร.วิสุทธิ สุพิทักษ์
ผศ.ดร.สุวิภรณ์ วิชกุล
อาจารย์เริงทิวา ทิพย์ศักดิ์
อาจารย์สุวิวัฒน์ สืบสวนกุล

 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ดร.สาลินี สันติธรรพ์กุล
ผศ.ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ ทิพย์วงศ์
รศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์
รศ.ดร.รุ่งมัตถ์ ชมภูอินไหว
ผศ.ดร.วริษา วิสิทธิ์พานิช

ผศ.ดร.วสุวัชร นาคเปียว
รศ.ดร.ชนนาค กฤตวรกาญจน์
รศ.ดร.นิวิฐ เจริญใจ
รศ.ดร.วิมลีน เหล่าศิริถาวร
รศ.ดร.เศรษฐ์ สัมภักตตะกุล

 มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดร.ธนูวรรณ นิชะโมสถ
ดร.จิตติพงศ์ จรรย์ส
ดร.ปนิทัศน์ สุรีย์ธนาภาส
ดร.ศิริวดี อธิญาณารต
ดร.ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์
ดร.อภิชาติ บุญมา
ผศ.ดร.คมกฤษ ปิติฤกษ์
ผศ.ดร.ธนา ราชภูริภักดิ์
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เหล่านภากุล

ผศ.ดร.ปาพจน์ เจริญอภิบาล
ผศ.ดร.รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล
ผศ.ดร.วิวัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์
ผศ.ดร.สุขอังคณา แกล่งกันท์
รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์
รศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว
รศ.ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา
รศ.ดร.ศิรินทร์ สุขโต
ศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล

 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ดร.ธนิดา สุนารักษ์
อาจารย์วรินทร์ เกียรติคุณกุล
อาจารย์ศุภพัฒน์ ปิงตา

อาจารย์สุจิต ภัทรพุด
อาจารย์อุษาวดี อินทร์คล้าย

 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ดร. กุลชาติ จุลเพ็ญ
ดร. ปรกช สิริสุวัฒน์
ดร. อนันท์ มิมันต์
ผศ. ศุภเอก ประมุสมาก
ผศ. สุรัตน์ ตริยวนพงศ์
ผศ.ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงษ์

ผศ.ดร. ศิริชัย ต่อสกุล
ผศ.ดร.กฤษพล ทองศรี
ผศ.ดร.ชัยยะ ปราณิตพลกรัง
ผศ.ดร.ระพี กาญจนะ
ผศ.ประจักษ์ อ่างบุญตา
รศ.ดร. ณฐา คุปต์ชัยเยียร

 มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผศ.ดร.โพธิ์งาม สมกุล
ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ
ผศ.ดร.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์

ผศ.ดร.สมลักษณ์ วรรณฤมล กิเยลาโรว่า
ผศ.ภาณุ บุรณจารกร
ผศ.ศิษฏา สิมาร์กซ์

 มหาวิทยาลัยมหิดล

ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย
ดร.จิรพรรณ เลียงโรคาพาธ
ดร.เอกชัย วารินศิริรักษ์
ผศ.ดร.รณชัย ศิริเวธนูกุล
ผศ.ดร.วเรศรา วีระวัฒน์
ผศ.ดร.ศุภชัย ราชภูริศิริ

ผศ.ดวงศ สุกีภัย
ผศ.ธนา สาตรา
ผศ. ดร. สรนาถ ไธฏ
รศ.ดร.ดวงพรรณ ศฤงคารินทร์
รศ.ศุภชัย นาทะพันธ์

 มหาวิทยาลัยรังสิต

ดร. ประพล จิวะพรทิพย์
ดร. สมพร พรหมดวง
ดร.พิชญ์ มั่นสปีดิ
ผศ.ดร.ธนวรรณ อัครไพบูลย์

ผศ.ดร.เที่ยงจันทร์ โกญจนาท
อาจารย์ศิลปชัย วัฒนเสย
อาจารย์สายสุนีย์ พงษ์พัฒนศึกษา

 มหาวิทยาลัยศิลปากร


ดร. วรฤทัย ชูเกียรติ
ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม
ผศ.จันทร์เพ็ญ อนุรัตน์านนท์

รศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร
อาจารย์เกษรินทร์ พูลทรัพย์

 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์


ผศ.ดร.วนัฐมพงษ์ คงแก้ว
ดร.สุรียา จิรสถิตสิน
ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล
ผศ.ดร.รัญชนา สินธวาลัย
ผศ.ดร.สุภาพรพรรณ ไชยประทีพธ์
ผศ.ดร.อุจน์ สังขพงศ์

ผศ.พิเชฐ ตระการชัยศิริ
รศ.ดร.ธเนศ รัตน์วิไล
รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
รศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์
รศ.วนิดา รัตน์มณี
รศ.สมชาย ชูโอม

 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ดร.จรัสวรรณ โกยวานิช
ดร.เชาวลิต ทามนตรี
ดร.นพดล สุกแสงปัญญา
ดร.นิรันดร์ พิสุทธอาณนที
ดร.เพชรพล ดันตวิรุห์
ดร.พลชัย โชติปราชญกุล
ดร.ภาสุ พูนภักดิ์
ผศ.ดร.กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข
ผศ.ดร.ชุมพล ยวงโย
ผศ.ดร.มนัสชนก จงประสิทธิ์พร

ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย
ผศ.ดร.สรรพลีธี ลิ่มนรรัตน์
ผศ.ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข
รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ
รศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล
รศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์
รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต
รศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล
อาจารย์รณณ เจียรตระกูล

 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส
ดร.กิตติมา ศิลปะษา
รศ.ดร.นุชสุรา เจริญกรกฎ
ดร.จรรย์ภรณ์ อุ่นวงษ์
ดร.จรรยาพร แสันทวีสุข
ผศ.ดร.ธารชุตตา พันธนิกุล
ดร.กสิณ รั้งสิกรรพุม
อาจารย์ณัดกัจ ศรีโชค

รศ.ดร.ปรีชา เจริญกรกฎ
ผศ.ดร.สมบัติ สิ้นธุเชาวน์
ผศ.ดร.นสิน เพียรทอง
ผศ.ดร.ศนิศร ภูนิคม
ผศ.ตะวันฉาย โพธิ์หอม
อาจารย์ไท แสงเทียน
อาจารย์ลลอง ผไต่ตม
อาจารย์ธน ทองกลม

IE NETWORK 2018

กำหนดการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ.2561 (IE Network Conference 2018)
วันที่ 23-26 กรกฎาคม พ.ศ.2561 ณ โรงแรมสุโขทัยแกรนด์ ไฮเทล แอน คอนเวนชัน เซ็นเตอร์ จังหวัดอุบลราชธานี

| วัน/เวลา | รายละเอียด | หมายเหตุ |
|---|--|---|
| วันจันทร์ที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ.2561 | | |
| 15.00-18.00 น. | ลงทะเบียน | ชั้น 5 |
| วันอังคารที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ.2561 | | |
| 08.00-09.00 น. | ลงทะเบียน | ชั้น 5 |
| 09.00-10.00 น. | พิธีเปิด โดย รองศาสตราจารย์ ดร.นงนิตย์ อีระรัตนสุข อธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| 10.00-10.30 น. | บรรยายพิเศษ เรื่อง "IE กับการศึกษาสิ่งแวดล้อมเพื่อคุณภาพชีวิต" โดย ศาสตราจารย์อัมพิกา ไกรฤทธิ | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| 10.30-10.45 น. | รับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| 10.45-11.20 น. | การบรรยาย เรื่อง "Enhance of competitiveness for industry using smart transportation" โดย รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| 11.20-12.00 น. | การบรรยาย เรื่อง "Agricultural supply Chain" โดย ศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย ปทุมนานนท์ | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| 12.00-13.00 น. | รับประทานอาหารกลางวัน | ห้องอาหาร ชั้น 4 |
| 13.00-17.30 น. | นำเสนอผลงานวิชาการ | ตามกำหนดการนำเสนอบทความ |
| 13.00-17.30 น. | แข่งขันเขียนโปรแกรม Linear Optimization Modeling Competition 2018 | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| 14.30-14.45 น. | รับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| 15.00-17.00 น. | ประชุมสามัญหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม | ห้อง VIP3 ชั้น 4 |
| 18.00-22.00 น. | งานเลี้ยงรับรอง "คืนรอยยิ้มแห่ง ชุมชนเศรษฐกิจ ไออีเอ็นเรตงาน" | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| วันพุธที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ.2561 | | |
| 08.30-10.30 น. | นำเสนอผลงานวิชาการ | ตามกำหนดการนำเสนอบทความ |
| 10.30-10.45 น. | รับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม | หน้าห้องประชุม |
| 10.45-11.30 น. | การเสวนา เรื่อง "เทคนิคการตีพิมพ์งานวิจัยในวารสารวิชาการนานาชาติ (Technical Writing)" ดำเนินรายการโดย รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ โปทะยาเสวนาโดย <ul style="list-style-type: none"> • ศาสตราจารย์ ดร.รพีพันธ์ จงใจรัมย์กุล • ศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ เมลาดีศิริเสถียร • ศาสตราจารย์ ดร.เกออร์กี บูสวีกี • รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| 11.30-12.00 น. | การบรรยายพิเศษ เรื่อง "การประยุกต์วิจัยพิเศษวิศวกรรมอุตสาหกรรม" โดย <ul style="list-style-type: none"> • ดร.มานพ ศรีอุทัยโชติ • รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจันทร์ | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| 12.00-13.00 น. | รับประทานอาหารกลางวัน | ห้องอาหาร ชั้น 4 |
| 13.00-17.30 น. | นำเสนอผลงานวิชาการ | ตามกำหนดการนำเสนอบทความ |
| 14.45-15.00 น. | รับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม | ห้องทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| วันพฤหัสบดีที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ.2561 | | |
| | รายละเอียด | หมายเหตุ |
| | โปรแกรมทัศนศึกษากระบวนการผลิตสินค้าที่บ้าน และศึกษาวัฒนธรรมพื้นเมือง | ทั้งนี้รายละเอียดสามารถดูรายละเอียดได้ที่ Website : ienetwork.eng.ubn.ac.th |

กำหนดการนำเสนอบทความ



วันจันทร์ที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ.2561

| | |
|------------------|--|
| ช่วงเวลา | ห้องประชุมทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 |
| 15.00 - 18.00 น. | ลงทะเบียนเข้าร่วมงานประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ.2561 |

วันอังคารที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ.2561

| | | | | | | | |
|------------------|--|--------|--------|--------|--------|----------|-----------|
| ช่วงเวลา | ห้องประชุมทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 | | | | | | |
| 08.00 - 09.00 น. | ลงทะเบียนเข้าร่วมงานประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ.2561 | | | | | | |
| 09.00 - 10.30 น. | พิธีเปิด/การบรรยายพิเศษ เรื่อง "IE กับการรักษาสังแวดล้อมเพื่อคุณภาพชีวิต" | | | | | | |
| 10.30 - 10.45 น. | พักรับประทานอาหารว่าง | | | | | | |
| 10.45 - 12.00 น. | การบรรยายพิเศษ เรื่อง "Enhance of competitiveness for industry using smart transportation" และ การบรรยายพิเศษ เรื่อง "Agricultural supply Chain" | | | | | | |
| 12.00-13.00 น. | พักรับประทานอาหารกลางวัน | | | | | | |
| 13.00 - 14.45 น. | ห้องประชุม | | | | | | |
| | A1 | A5 | A7 | B3 | B4 | ปทุมชาติ | ปทุมทิพย์ |
| | QME 1 | QME 8 | MMA 1 | SME 1 | LSC 1 | OHP 1 | ORT 1 |
| | QME 2 | QME 9 | MMA 2 | SME 2 | LSC 2 | OHP 2 | ORT 2 |
| | QME 3 | QME 10 | MMA 3 | SME 3 | LSC 3 | OHP 3 | ORT 3 |
| | QME 4 | QME 11 | MMA 4 | SME 4 | LSC 4 | OHP 4 | ORT 4 |
| | QME 5 | QME 12 | MMA 5 | SME 5 | LSC 5 | OHP 5 | ORT 5 |
| | QME 6 | QME 13 | MMA 6 | SME 6 | LSC 6 | OHP 6 | ORT 6 |
| | QME 7 | QME 14 | MMA 7 | SME 7 | LSC 7 | OHP 7 | ORT 7 |
| 14.45 - 15.00 น. | พักรับประทานอาหารว่าง | | | | | | |
| 15.00 - 17.30 น. | QME 15 | QME 25 | MMA 8 | SME 8 | LSC 8 | OHP 8 | ORT 8 |
| | QME 16 | QME 26 | MMA 9 | SME 9 | LSC 9 | OHP 9 | ORT 9 |
| | QME 17 | QME 27 | MMA 10 | SME 10 | LSC 10 | OHP 10 | ORT 10 |
| | QME 18 | QME 28 | MMA 11 | SME 11 | LSC 11 | OHP 11 | ORT 11 |
| | QME 19 | QME 29 | MMA 12 | SME 12 | LSC 12 | OHP 12 | ORT 12 |
| | QME 20 | QME 30 | MMA 13 | SME 13 | MMA 18 | OHP 13 | ORT 13 |
| | QME 21 | QME 31 | MMA 14 | SME 14 | MMA 19 | OHP 14 | ORT 14 |
| | QME 22 | QME 32 | MMA 15 | SME 15 | MMA 20 | OHP 15 | ORT 15 |
| QME 23 | QME 33 | MMA 16 | SME 16 | MMA 21 | OHP 16 | ORT 16 | |
| QME 24 | QME 34 | MMA 17 | SME 17 | MMA 22 | OHP 17 | ORT 17 | |
| 13.00 - 17.30 น. | แข่งขันเขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ Lindo ณ ห้องประชุมทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 | | | | | | |
| 15.00 - 17.00 น. | ประชุมสามัญหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ณ ห้อง VIP 3 ชั้น 4 | | | | | | |
| 18.00 - 22.00 น. | งานเลี้ยงรับรอง "ดื่มโฮมอีกแพง ยามแลงสุขี ไออีแห่งสยาม" ณ ห้องประชุมทับทิมสยาม 3 ชั้น 5 | | | | | | |

~ คม ~






สารบัญ

NETWORK 2018

| | หน้า |
|---|------|
| คำนำ | ก |
| สารจากอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี | ข |
| สารจากคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี | ค |
| สารจากประธานจัดงานประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ.2561 | ง |
| หลักการและเหตุผล | จ |
| วัตถุประสงค์ | ฉ |
| สาขาวิชาในการประชุมวิชาการ | ณ |
| รายชื่อคณะกรรมการดำเนินการจัดประชุม | ช |
| ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ | ญ |
| กำหนดการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ.2561 | ต |
| กำหนดการนำเสนอบทความ | ฒ |
| สารบัญ | ด |
| รหัสบทความ | ค |

รหัสบทความ

NETWORK 2018

-  Quality, Management and Economy (QME)
-  Material, Manufacturing and Automation (MMA)
-  Safety, Maintenance, Ergonomics and Environment (SME)
-  Logistic and Supply Chain (LSC)
-  Operations Research, Heuristics and Production Planning (OHP)
-  Other Related Topics (ORT)

| | | |
|--------|---|-----|
| MMA 13 | การปรับปรุงกระบวนการทดสอบโครงสร้างสำหรับจับยึดสิ่งของบนหลังคารถยนต์ด้วยระบบวิธีไฟโนต์เอเลเมนต์ สมเสียง จันทาสี ภูฎวัลย์ จันทรสภา และ ชยาคมน์ สว่างคุณ | 678 |
| MMA 14 | การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปด้วยรับน้ำยางพาราจากซีเมนต์ สุชาติ จันทรมณี ลิทธิพงศ์ อวษภาค อภิวัฒน์ อ่อนรักษ์ และ อุดม กาญจนะ | 683 |
| MMA 15 | การออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยเห้งน้ำมันสำหรับหลัง สุภูมิ ไชยชัยมงคล มนตรี พิพัฒน์ไพบุลย์ และ สุวัฒน์ เณรโต | 690 |
| MMA 16 | การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสร้างแรงบิดมาตรฐานด้วยน้ำหนักถ่วงคงที่ช่วงการวัด 0-100 นิวตัน-เมตร วิศรุต คงสกุล | 694 |
| MMA 17 | ประสิทธิภาพของดอกกักตมเกลือสูงในการเพิ่มอัตราการกำจัดเศษด้วยการเพิ่มอัตราป้อน สุกัญญา อรรถละน้อย ณัฐริกา แจ่มพรมมา มนูญ เทพกิจอารีกุล และ ประเมศวร์ เป้าวรรณ | 700 |
| MMA 18 | อิทธิพลของชนิดและปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน ชาตรี หอมเขียว สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และ วรพงศ์ บุญช่วยแทน | 706 |
| MMA 19 | การลดความสูญเสียในกระบวนการติดตั้งท่อน้ำมัน อานนท์ เลิศวงษ์ไพศาล ธนาวัต เพชรยศ ทวีวัฒน์ ปาอิน และ อีร์วัฒน์ ประวีติ | 711 |
| MMA 20 | อิทธิพลทางความร้อนที่ส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคและความแข็งของอลูมิเนียมหล่อสำหรับการผลิตแท่งความแข็งอ้างอิง พงศธร สุทธิตระกูลพร วัชรกร ขควิระพาณิชย์ ถนอม ลีตระกูล สมนึก วัฒนศรีกุล และ สิทธิพงศ์ มหาธนบดี | 716 |
| MMA 21 | การศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของกระเบื้องเคลือบดินเผาungหลังคาที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนที่ได้จากการเตรียมแร่แมกนีตโกจีน พนิดา คำมีสิทธิ์ วิทยา ทรงกิตติกุล สมัญญา สงวนพรรค อนุชา วรรณก้อน และ สรพงษ์ กวสุปรีย์ | 721 |
| MMA 22 | การใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุเติมแต่งในงานขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน บรรณรต ทาประเสริฐ เอกตินัย จันทร์ศรี และ ณรงค์ชัย โอเจริญ | 725 |
| MMA 23 | การศึกษาคุณสมบัติด้านทานสารเติมแต่งในสีน้ำมันของฟิล์มเมทิลเลซ สุวัฒน์ เอื้อวิระวัฒน์ และ ณรงค์ชัย โอเจริญ | 730 |



การศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของกระเบื้องเคลือบดินเผาungหลังคา
ที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนที่ได้จากการเตรียมแร่แมกเนติกลูโคซีน
Study of the photocatalytic activity of the synthesized nanoparticles from
Magnetic Leucoxene naturally-mineral coating on glazed clay roofing tile

พนิดา คำมีสิทธิ์¹ วิทยา ทรงกิตติกุล² สมัญญา สวงวนพรรค³ อนุชา วรณก้อน⁴ และ สรพงษ์ ภาสุปรีดิ์⁵
¹สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลขที่ 39 หมู่ 1
ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี โทรศัพท์ 02-549-3480

*E-mail: sorapong.p@en.rmutt.ac.th

²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง
อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501- 5

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมอนุภาคนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีน (TiO_2 : R70-80) โดยใช้กระบวนการไฮโดร เทอร์มอล ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยอนุภาคนาโนที่ได้ มีความสามารถในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูภายใต้แสงธรรมชาติ และมีประสิทธิภาพในการย่อย สลายได้ดียิ่งขึ้นภายใต้รังสียูวี และมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) จากนั้นจึงได้อนุภาคนาโนที่เตรียมได้จากการเตรียมแร่แมกเนติกลูโคซีนด้วยสภาวะดังกล่าว มาทดสอบความสามารถในการยึดเกาะ และปฏิกิริยาการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูภายใต้รังสียูวี เพื่อศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นกระเบื้องungหลังคา โดยการนำสารยึดเกาะดังกล่าวมาทำน้ำเคลือบได้ 2 สูตร คือ 1. PEPM (พอลิเอทิลีนไกลคอล 0.2 ๑ + เอทานอล 0.65 ๑ + พอลิอะคริลิก 0.10 ๑ + แร่แมกเนติกลูโคซีน 0.05 ๑) และ 2. PEPP (พอลิเอทิลีนไกลคอล 0.2 ๑ + เอทานอล 0.65 ๑ + พอลิอะคริลิก 0.10 ๑ + ไททาเนียม ไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) 0.05 ๑) พบว่าสูตร PEPM มีประสิทธิภาพในการยึดติดบนผิวกระเบื้องungและสามารถย่อยสลายสีย้อม เมทิลีนบลูได้ดีกว่าสูตร PEPP

คำหลัก ไททาเนียมไดออกไซด์ , แร่แมกเนติกลูโคซีน , กระเบื้องungดินเผา , ไฮโดรเทอร์มอล , ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

Abstract

In this research, the nanoparticles were synthesized from the naturally-mineral magnetic leucoxene (ML) (TiO_2 is approximately 70-80%) under the hydrothermal synthesis condition of 105 °C in 5 M sodium hydroxide solution for 24 h. The obtained nanoparticles exhibited higher photocatalytic activity than the commercial TiO_2 nanoparticles (P-25) under visible and UV light irradiation. Consequently the photocatalytic activity of the synthesized nanoparticles from naturally-mineral magnetic leucoxene coating on glazed roofing tile was studied. The nanoparticles aqueous suspensions containing nanoparticles were prepared by using different types of binders (i.e. PEG and polyacrylic) before coating on glazed tiles and test to ability of adhesion. The photocatalytic activities of the synthesized nanoparticles from naturally-mineral ML coating on glazed clay roofing tile were evaluated via the photocatalytic oxidation of methylene blue (MB) under UV light irradiation. Binder for coating has 2 formula are 1. PEPM (PEG 0.2 g + Ethanol 0.65 g + P.acrylic 0.10 g + ML 0.05 g) and 2. PEPP (PEG 0.2 g + Ethanol 0.65 g + P.acrylic 0.10 g + P25 0.05 g) were formulated PEPM effective to adhesion on the surface of glazed tiles and photocatalytic oxidation of methylene blue (MB) is better than formula PEPP.

Keywords: TiO_2 , Magnetic Lucoxene mineral , Clay roofing tile , Hydrothermal , Photo catalyst



1. บทนำ

ในปัจจุบันไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ได้รับความนิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสารที่มีความเสถียรสูง ไม่มีพิษ ซึ่งถูกจัดอยู่ในสารเคมีที่มีความปลอดภัย จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์สำหรับการใช้เคลือบวัสดุต่างๆ เช่น เซรามิกส์ พลาสติก โลหะ หรือสุขภัณฑ์ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อรา หรือแบคทีเรียได้บางชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง TiO_2 ถูกนำมาใช้งานทางด้านพลังงาน เช่น เปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส (Photocatalysis) นอกจากนี้ TiO_2 ยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบปกติ (ไม่ใช้แสง) ได้อีกด้วย

แร่แมกเนติกลูโคซีนเป็นแร่ธรรมชาติที่พบได้ในประเทศไทย และเป็นแร่ TiO_2 เป็นองค์ประกอบ แร่ดังกล่าวมีคุณสมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้กับแสงธรรมชาติโดยไม่ต้องถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี และมีราคาถูกกว่า TiO_2 ซึ่งพาณิชย์ที่นำมาใช้กันโดยส่วนใหญ่หลายเท่า ซึ่งหากสามารถสังเคราะห์ TiO_2 ในแร่นี้มาใช้แทน TiO_2 ซึ่งพาณิชย์ได้นั้นก็จะทำให้ช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้เป็นอย่างมาก

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เป็นกระบวนการสังเคราะห์วัสดุนาโนที่ไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อน อีกทั้งในงานวิจัยยังได้ใช้ชุดถังปฏิกรณ์ที่ผลิตขึ้นเองในประเทศที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ที่ใช้อุณหภูมิ แรงดัน และความเข้มข้นของสารละลายไม่สูงมากนักจนเป็นอันตรายต่อการทำงานวิจัย [1]

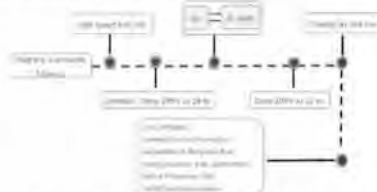
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการเตรียมวัสดุนาโน TiO_2 จากแร่แมกเนติกลูโคซีนเพื่อนำวัสดุนาโนที่ได้ไปเคลือบบนแผ่นกระเบื้องเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมของเมทิลีนบลูและศึกษาคุณสมบัติในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาในการใช้ทำเป็นวัสดุทำความสะอาดตัวเอง (self cleaning) ต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Methodology)

2.1 ขั้นตอนการเตรียมแร่ก่อนนำไปเคลือบบนแผ่นกระเบื้อง

เตรียมวัสดุนาโนจากแร่แมกเนติกลูโคซีนมีขั้นตอนการทำด้วยวิธีการนำแร่แมกเนติกลูโคซีน 30 กรัม ไปบดด้วยเครื่องบด High Speed Ball Mill ด้วยความเร็ว 240 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นนำแร่ที่ได้ในปริมาณ 30 กรัมผสมลงในสารละลาย NaOH 5 M ปริมาณ 250 ml. และนำไปสังเคราะห์ด้วยชุดถังปฏิกรณ์โดยใช้อุณหภูมิ 105°C

เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นนำอนุภาคนาโนที่ได้มาล้างด้วยสารละลาย HCl 0.1 M และน้ำ DI จนมีสถานะเป็นกลาง (pH 6.5 - 7.5) และนำไปอบ 100 °C เป็นเวลา 12 ชม. เพื่อนำวัสดุนาโนจากแร่ที่สังเคราะห์ได้นำไปเคลือบบนแผ่นกระเบื้องต่อไป ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์จากแร่แมกเนติกลูโคซีน



รูปที่ 2 แร่บด 30 กรัม ในสารละลาย NaOH 250 ml. ไปสังเคราะห์ด้วยชุดถังปฏิกรณ์ ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชม.

2.2 ขั้นตอนการเคลือบลงบนแผ่นกระเบื้อง

นำแผ่นกระเบื้อง (กว้าง 2.5 ซม, X ยาว 2.5 ซม, Xหนา 1 ซม.) ไปล้างน้ำ DI ด้วยเครื่อง Ultrasonic 1 ชม. และนำไปแช่เพื่อกัดผิวหน้ากระเบื้องในสารละลาย NaOH 10 M เป็นเวลา 15 นาที ตามขั้นตอนที่ดังรูปที่ 3 และนำไปเคลือบด้วยการหยดน้ำเคลือบลงบนผิวหน้ากระเบื้องในปริมาณ 0.25 กรัม ดังรูปที่ 4 และปล่อยให้แห้งเองด้วยอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5-8 ชม. โดยน้ำเคลือบที่ใช้จะมี 2 สูตร

1. PEPM (Polyethylene glycol 0.2 g + Ethanol 0.65 g + Polyacrylic 0.10 g + Magnetic Lucoxene 0.05 g)
2. PEPP (Polyethylene glycol 0.2 g + Ethanol 0.65 g + Polyacrylic 0.10 g + P25 0.05 g)



รูปที่ 3 ขั้นตอนการเคลือบกระเบื้อง



รูปที่ 4 การหยดน้ำเคลือบ 0.025 กรัม ลงบนแผ่นกระเบื้อง

2.3 ขั้นตอนการทดสอบ

นำตัวอย่างแร่แมกเนติกที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยจะวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) วิเคราะห์โครงสร้างและสัณฐานวิทยาของตัวอย่างที่สังเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตามลำดับ

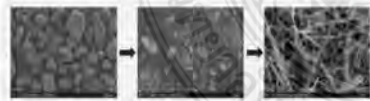
แผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยน้ำเคลือบทั้ง 2 สูตร นำไปส่องดูลักษณะการยึดเกาะที่ผิวหน้าด้วย Optical Microscope (OM) และนำตัวอย่างแผ่นกระเบื้องเคลือบไปทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลู (Degradation) ความเข้มข้น 0.01/DI water 1000 ml. เป็นเวลา 5 ชม. ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การนำแผ่นกระเบื้องทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลู

3. ผลการวิจัย (Results)

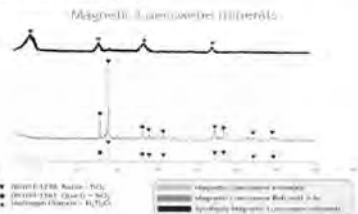
จากการทดลองพบว่าลักษณะทางกายภาพของแร่แมกเนติกลูโคซีน มีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ดมีขนาดประมาณ 90.70 – 212.13 μm และเมื่อผ่านกระบวนการบดด้วยเครื่อง Ball Mill เป็นเวลา 120 นาที ได้แร่แมกเนติกลูโคซีนบดที่มีอนุภาคเล็กลงมีขนาดประมาณ 1.69 – 26.12 μm จากนั้นเมื่อนำไปสังเคราะห์จะได้วัสดุนาโนมีโครงสร้างเป็นท่อ (nanotube) [2-5] ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของแร่แมกเนติกลูโคซีน ก่อนบดหลังบด และหลังสังเคราะห์

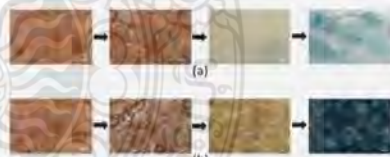
จากการทดลองพบว่าวัสดุไมโครจากแร่แมกเนติกลูโคซีนที่ผ่านกระบวนการบดนั้นจะมีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ (Rutile) เพิ่มมากขึ้น [2-5] ดังรูปที่ 7 และเมื่อนำแร่ที่บดแล้วไปสังเคราะห์พบว่าโครงสร้างผลึกแบบไฮโดรเจนไททาเนต ($\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$) แสดงให้เห็นว่ามีอะตอมของไฮโดรเจนจากน้ำ

กลับที่ใช้ในการสังเคราะห์มาเป็นองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุนาโนที่เตรียมได้ [6-8]



รูปที่ 7 โครงสร้างผลึกของแร่แมกเนติกลูโคซีน ก่อนบด หลังบด และหลังการสังเคราะห์ ที่พบโครงสร้าง Rutile - TiO_2 , Quartz - SiO_2 , Hydrogen titanate - $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$

จากการนำไปส่องดูผิวกระเบื้องด้วย Optical Microscope (OM) พบว่ามีร่องรอยและรูพรุนกระจายอยู่ทั่วบริเวณผิวหน้า เมื่อนำไปเตรียมผิวด้วย NaOH 10 M เป็นเวลา 15 นาที พบว่าเกิดรอยกัดกร่อนกระจายอยู่ทั่วบริเวณผิวหน้ามากขึ้น และเมื่อนำไปเคลือบด้วยน้ำเคลือบทั้ง 2 สูตร พบว่ามีการยึดเกาะบนผิวหน้ากระเบื้องเป็นอย่างดีเนื่องจากมีการเตรียมผิวกระเบื้องด้วยการแช่ NaOH 10 M และในน้ำเคลือบที่มีส่วนผสมของ Polyacrylic ที่ช่วยในการยึดเกาะมากขึ้น เมื่อนำไปย่อยสลายสีย้อมเป็นเวลา 5 ชม. ก็พบว่ามีเม็ดสีของเมทิลีนบลูติดอยู่ที่บริเวณของหน้าผิวกระเบื้อง ดังรูปที่ 8 และเมื่อนำไปทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลู ก็พบว่ากระเบื้องที่เคลือบด้วยน้ำเคลือบสูตร PEPM (ผสมแร่แมกเนติกลูโคซีน) นั้นมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายที่ดีกว่าแผ่นที่เคลือบด้วยสูตร PEPP (ผสม P25) ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 รูปถ่ายหน้าผิวแผ่นกระเบื้องเมื่อนำไปกัดด้วย NaOH สู่การนำไปเคลือบด้วยน้ำเคลือบ และสุดท้ายนำไปทดสอบก็สลายสีย้อมเมทิลีนบลู



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนสีย้อมเมทิลีนบลู ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer



4. สรุป

ผลการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนของแร่แมกเนติกลูโคไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างเป็นลักษณะเป็นท่อนาโน (nanotube) และมี surface area เพิ่มมากขึ้นทำให้มีพื้นที่และประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยามากขึ้นด้วย

ผลการทดลองในการทำน้ำเคลือบเพื่อใช้เคลือบบนกระเบื้องดินเผาชนิดที่มีชั้นเคลือบแก้ว พบว่าน้ำเคลือบสูตรที่ใช้ polyethylene glycol 20% เพื่อใช้เป็น Binder ใช้ Ethanol 65% และ Polyacrylic 10% เพื่อเป็น solvent และผสมกับแร่ Magnetic Leucosene ในอัตราส่วน 5% (สูตร PEPM) นั้นมีประสิทธิภาพในการยึดเกาะกับแผ่นกระเบื้องได้ดีกว่าสูตรน้ำเคลือบที่ผสมด้วย P25 (สูตร PEPP)

ผลการทดลองการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูของแผ่นกระเบื้องที่เคลือบด้วยน้ำเคลือบทั้ง 2 สูตร ที่หยดลงบนแผ่นกระเบื้องในปริมาณ 0.25 กรัม ในปริมาณที่เท่ากันนั้น พบว่าแผ่นกระเบื้องที่เคลือบน้ำเคลือบสูตร PEPM มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมที่ดีกว่าน้ำเคลือบสูตร PEPP

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ผู้รับทุนได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติตามสัญญาสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย เลขที่ SCA-CO-2560-4562-TH และได้รับการอนุเคราะห์แร่แมกเนติกลูโคไซด์จากบริษัทสินแร่สารจำกัด และกลุ่มวิจัย Nanotechnology for Textile and Polymer Research Group (NanoTeP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] Sorapong, P., Supachai, N., Yoshikazu, S., and Susumu, Y. (2007). Preparation and Characterization of High Surface Area Nanosheet Titania with Mesoporous Structure. Vol. 61: Materials Letters (pp. 2973-2977).

[2] P.Liu, Y. Huang, Y. Yang, J. Yan, X. Zhang, Sandwich structures of graphene@Fe₃O₄@PANI decorated with TiO₂ nanosheets for enhanced electromagnetic wave absorption properties, Journal of Alloys and Compounds 6(62) (2016): 63- 68.

[3] A. Fujishima, T.N. Rao, D.A. Tryk, Titanium dioxide photocatalysis, J. Photochem. Photobiol. C:Photochem. 1 (2000) 1-21.

S. Pavasupree, N. Laosiripojana, S. Chuangchote, T. Sagawa, Fabrication and utilizations of titania nanofibers from natural leucosene mineral for photovoltaic applications, Jpn. J. Appl. Phys, 50 (2011) 01BJ16-1-4.

[4] A. Simpraditpan, T. Wirunmongkol, S. Pavasupree, W.Pecharapa, Simple hydrothermal preparation of nanofibers from a natural ilmenite mineral, Ceram Int. 3 9 (2013) 2497-2502.

[5] A. Simpraditpan, T. Wirunmongkol, S. Pavasupree, W. Pecharapa, Effect of calcinations on structural and photocatalyst properties of nanofibers prepared from low-cost natural ilmenite mineral by simple hydrothermal method, Mater Res Bull, 4 8 (2013) 3211-3217.

[6] J.Jitputti, T.Rattanavoravipa, S. Chuangchote, S. Pavasupree, Y. Suzuki and Yoshikawa, " Low temperature hydrothermal synthesis of monodispersed flowerlike titanate nanosheet, " Catalysis Communication, vol.10, pp.378-382,2009.

[7] J.Sun, L. Gao, Q.H. Zhang, " TiO₂ Tubes Synthesized by Using Ammonium Sulfate and carbon Nanotubes as Templates, " Journal of Materials Science Letter, vol. 22, pp. 399-341, 2003.

[8] S. Kobayashi, K. Hanabusa, N. Hamasaki, H. Kimura, M. Shirai, S. Shinkai, " Preparation of TiO₂ hollow-fibers using supramolecular assemblies, " Chemistry of Materials, vol. 12, pp.1523-1525, 2000.



IT NETWORK 2018

การประชุมวิชาการของงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ.2561

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้แก่

พนิดา คำสิทธิ วิทยา ทรงกิตติกุล สัมัญญา สว่างพรุศ อรุษา วรธก้องน และ สรพงษ์ กวสุปรีศ



ได้เข้าร่วมงานประชุมวิชาการในหัวข้อ

การศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของกรวยเส้นใยเคลือบดินเผาสูงพลังงาน
ที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ด้วยแม่เหล็กนาโนคอปเปอร์

ระหว่างวันที่ 23-26 กรกฎาคม 2561 ณ โรงแรมเซ็นทรัลไฮเทค แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ อุบลราชธานี

(รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ บิดาตะไธย)

ประธานจัดงานประชุมวิชาการของงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ.2561

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวพนิดา คำมีสิทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด 28 กันยายน 2536
ที่อยู่ 65 หมู่ 14 ตำบลลำพญากลาง อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี 30130
การศึกษา ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์ 08-6338-4254
อีเมลล์ phanida_k@mail.rmutt.ac.th

