

การสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้เป็นสารดูดกลืนรังสียูวีเพื่อเพิ่มความคงทนแสง ของผงสีธรรมชาติ*

Synthesis of TiO_2 as UV absorber for the color retention of natural lake pigment

พินิจ เอี่ยมสะอาด (Phinit Aiemsaard)^{**}
จิตนภา ศิริรักษ์ (Jitnapa Sirirak)^{***}
สุธินี เกิดเทพ (Sutinee Girdthep)^{***}
ณัฐวรรณ วรวรรโณทัย (Nattawan Worrawannotai)^{***}
พัฒนาวีร์ สว่างลาม (Pattanawit Swanglap)^{***}
ฉันทนา วัยนิพิฐพงษ์ (Chantana Waivinitpong)^{***}
พรทิพย์ ชัยมณี (Porntip Chaimanee)^{***}
สุพรรณิ ฉายะบุตร (Supanee Chayabutra)^{***}
ชีวิตา สุวรรณขวลิต (Cheewita Suwanchawalit)^{****}

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจล ซึ่งศึกษาชนิดของเบสที่ใช้ในการสังเคราะห์ 3 ชนิด คือ NaOH Na_2CO_3 และ NH_4OH รวมทั้งยังนำไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น X-Ray diffractometry (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier-transformed Infrared Spectrophotometry (FT-IR), Diffused reflectance Ultraviolet-visible Spectroscopy (DRS) และหาปริมาณของไฮดรอกซิล (OH) ด้วยเครื่องฟลูออเรสเซนซ์ จากผล XRD พบว่าเป็นผง TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้มีความเป็นผลึกน้อยมากเป็นอสัณฐาน ส่วนสัณฐานวิทยาของผง TiO_2 ที่

* บทความนี้เป็นงานวิจัยส่วนหนึ่งของ หน่วยวิจัยสีและสารเคลือบ

This work is a part of color and coating research unit.

** นักศึกษาปริญญาโท สาขาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

The Master Degree of Science program in Chemical Studies, Department of Chemistry, Graduate school, Silpakorn University.

*** อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Lecturer, Department of Chemistry Faculty of Science Silpakorn University

**** corresponding author: ผศ.ดร.ชีวิตา สุวรรณขวลิต อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร e-mail : suwanchawalit_c@su.ac.th

corresponding author: Asst.Prof. Dr. Cheewita Suwanchawalit Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University. e-mail : suwanchawalit_c@su.ac.th

สังเคราะห์ที่ได้เป็นทรงกลมขนาดนาโนเมตรที่มีการรวมตัวเป็นก้อนใหญ่ จากผล FT-IR พบลักษณะเฉพาะที่แสดงแถบการยืดของพันธะ Ti-O และพื้นผิวมีหมู่ไฮดรอกซิลมาก สำหรับการศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูภายใต้แสงยูวี พบว่า TiO_2 ที่เตรียมด้วย NaOH มีประสิทธิภาพในการสลายเมทิลีนบลูต่ำกว่า TiO_2 ที่เตรียมด้วยเบสตัวอื่น เนื่องจากผลิต $\cdot\text{OH}$ น้อยกว่าสภาวะอื่น นอกจากนี้ศึกษาความคงทนแสงของผงสีธรรมชาติโดยใช้ผง TiO_2 เป็นสารดูดกลืนรังสียูวี พบว่า TiO_2 ที่เตรียมด้วย NaOH ช่วยเพิ่มความคงทนแสงของผงสีธรรมชาติได้ดีที่สุด

Abstract

Amorphous TiO_2 photocatalysts were successfully synthesized by sol-gel method. Different precipitating agents such as NaOH, Na_2CO_3 , and NH_4OH were studied. The synthesized TiO_2 photocatalysts were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), Fourier-transformed infrared spectroscopy (FT-IR), and UV-Vis diffuse reflectance spectroscopy (DRS). The amount of hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) was measured via the fluorescence spectrophotometer. XRD patterns showed that synthesized TiO_2 samples were amorphous phase. SEM results revealed that they were highly agglomerated titania nanoparticles. The FTIR results showed the characteristic bands of titania with highly OH group on the surface. The photocatalytic degradation of methylene blue demonstrated that the photocatalysts of TiO_2 _NaOH exhibited lower photocatalytic efficiency than the other TiO_2 prepared via Na_2CO_3 , and NH_4OH . It was observed that the concentrations of the $\cdot\text{OH}$ generated from the UV illuminated TiO_2 surfaces play a crucial role in the photocatalytic degradation of methylene blue. The synthesized TiO_2 was used as UV absorber for the color retention of natural lake pigment. The color retention results revealed that the TiO_2 _NaOH sample exhibited the highest light fastness properties.

บทนำ

ปัจจุบันสีสกัดจากสารธรรมชาติได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมสี สิ่งทอ เครื่องสำอาง และพลาสติก เนื่องจากสีสกัดจากสารธรรมชาติเป็นสารที่ไม่เป็นพิษแก่มนุษย์ ราคาไม่แพง และวัตถุดิบหาได้ง่าย ในชุมชน สีธรรมชาติส่วนใหญ่ได้มาจากจากส่วนต่างๆของพืช อาจเป็นลำต้น รากหรือใบ มาผ่านกระบวนการหมักหรือต้มเพื่อสกัดแยกสารให้สีออกมาใช้ประโยชน์ ซึ่งสารให้สีอาจอยู่ในรูปของ dye หรือ pigment สำหรับการนำไปใช้งานด้านผงสี เพื่อสะดวกในแง่การนำไปใช้งานด้านต่างๆ เราจะนำสารให้สีที่สกัดได้มาดูดซับบนวัสดุ เช่น ดินขาว สารส้ม แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น ในส่วนของการเตรียมผงสีธรรมชาติ (natural laked pigment) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารสกัดจากแก่นฝางมาดูดซับหรือตกตะกอนร่วมกับสารส้ม (alum) แต่ด้วยข้อจำกัดของผงสีธรรมชาติมีความเสถียรภายใต้แสงและความร้อนต่ำ จึงมีความคงทนต่อการใช้งานต่ำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึง

สนใจที่จะพัฒนาสารที่ช่วยดูดกลืนแสงยูวี เพื่อช่วยให้ผงสีธรรมชาติมีความเสถียรต่อการใช้งานภายใต้สภาวะที่มีแสงมากขึ้น

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีสมบัติในการดูดกลืนแสงยูวีจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางและสีทาบ้าน นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำรงแสงในการกำจัดสารพิษทั้งทางอากาศและทางน้ำ อีกทั้งมีสมบัติฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สามารถดูดกลืนแสงยูวีเพื่อเพิ่มความคงทนแสงของผงสีธรรมชาติ โดยทำการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์อสัณฐาน (amorphous phase) เพื่อลดการทำลายโมเลกุลของสีในผงสีธรรมชาติ ซึ่งศึกษาชนิดของเบสที่ใช้ในการสังเคราะห์ 3 ชนิด คือ NaOH Na_2CO_3 และ NH_4OH รวมทั้งยังนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น X-Ray diffractometry (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier-transformed Infrared Spectrophotometry (FT-IR), Diffused reflectance Ultraviolet-visible Spectroscopy (DRS) เป็นต้น รวมทั้งศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูภายใต้แสงยูวี และศึกษาความคงทนแสงของผงสีธรรมชาติ

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์อสัณฐาน

เติมเบสแต่ละชนิดคือ NaOH Na_2CO_3 และ NH_4OH ลงในสารละลาย 1M TiOSO_4 ปริมาตร 100 mL จนมีค่า pH=7 หลังจากนั้นให้ความร้อน พร้อมกับปั่นกวนตลอดเวลาจนสารละลายมีอุณหภูมิเท่ากับ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่นและอบที่อุณหภูมิ 60°C ในตู้อบ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2. การตรวจสอบคุณลักษณะของผงไทเทเนียมไดออกไซด์อสัณฐานที่สังเคราะห์ได้

ศึกษาสัณฐานวิทยาของผงไทเทเนียมไดออกไซด์อสัณฐานที่สังเคราะห์ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope (SEM); Camscan, MX2000) หาโครงสร้างผลึกและขนาดของผลึกของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD; Rigaku, MiniflexII) หาค่าแถบพลังงาน (E_g) ด้วยเครื่อง Diffused Reflectance UV-Vis Spectrometer (UV/DRS; Shimadzu UV-2401) วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR; Perkin Elmer, Spectrum 100) ทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูภายใต้แสงยูวีของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (Perkin Elmer, Hewlett Packard 8453) และหาปริมาณของไฮดรอกซิล ($\cdot\text{OH}$) ด้วยเครื่อง Fluorescence spectrometer (Perkin Elmer LS-50B Luminescence Spectrometer)

3. ทดสอบความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำรงแสงในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลู

นำผงไทเทเนียมไดออกไซด์อสัณฐานที่สังเคราะห์ได้ 0.05 g ใส่ปิกเกอร์ที่มีสารละลายเมทิล-ลีนบลูเข้มข้น $5 \times 10^{-5}\text{ M}$ ปริมาตร 50 mL ปั่นกวนในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วฉายแสงยูวีเป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างเมทิลีนบลูทุก 1 ชั่วโมง นำสารละลายเมทิลีนบลูไปวิเคราะห์ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ด้วยเครื่อง

UV-Visible spectrophotometer แล้วนำข้อมูลคำนวณหาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อม, (% Degradation) โดยใช้ สูตร $\% \text{Degradation} = [(A_0 - A_t)/A_0] \times 100$

โดยที่ A_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลลีนบลู

A_t = ความเข้มข้นที่เวลาใด ๆ ของเมทิลลีนบลู

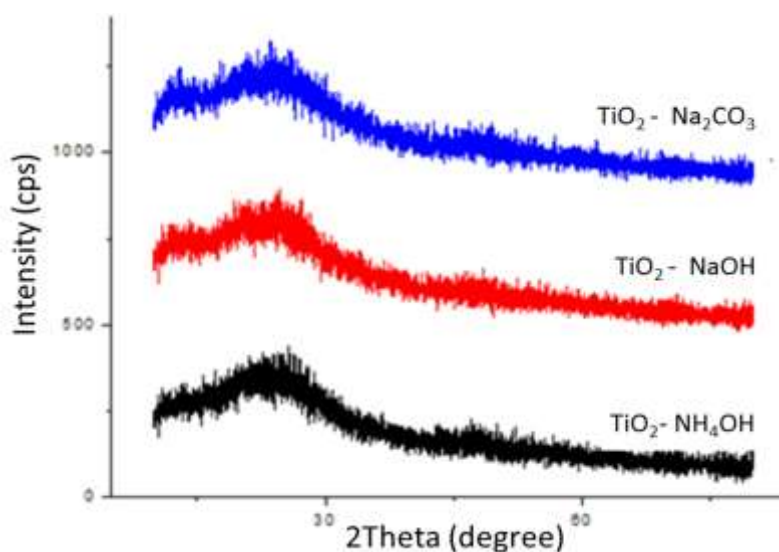
4. ทดสอบความคงทนแสงของผงสีธรรมชาติ

นำผงไทเทเนียมไดออกไซด์มาตรฐานที่สังเคราะห์ได้ไปผสมกับผงสีธรรมชาติในอัตราส่วน TiO_2 : ผงสี เป็นอัตราส่วน 1 : 10 โดยผงสีที่ใช้เป็นสารสกัดจากแก่นฝางมาดูดซับบนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) โดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม จากนั้นนำผงสีที่ได้มาผสมกับสารช่วยยึดเกาะตามสูตรผสมของหน่วยวิจัยสีและสารเคลือบ แล้วนำไปบดผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Triple Roller Mill แล้วนำส่วนผสมที่ได้จากการบดไปเคลือบบนกระดาษโดยวิธีลาภาดแล้วอบให้แห้ง จากนั้นนำขึ้นกระดาษที่เคลือบด้วยผงสีที่ผสมผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ไปตากแดดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อวันที่ 11-12 เมษายน 2559 เวลา 10.00 – 15.00 น. ณ ลานจอดรถ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม แล้วนำไปวัดค่าความเข้มสีด้วยเครื่อง CIE colorimeter (ColorTec-PCM)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการทดลอง

1. การศึกษาโครงสร้างผลึกและขนาดของผลึกด้วยเทคนิค X-ray diffractometry (XRD)

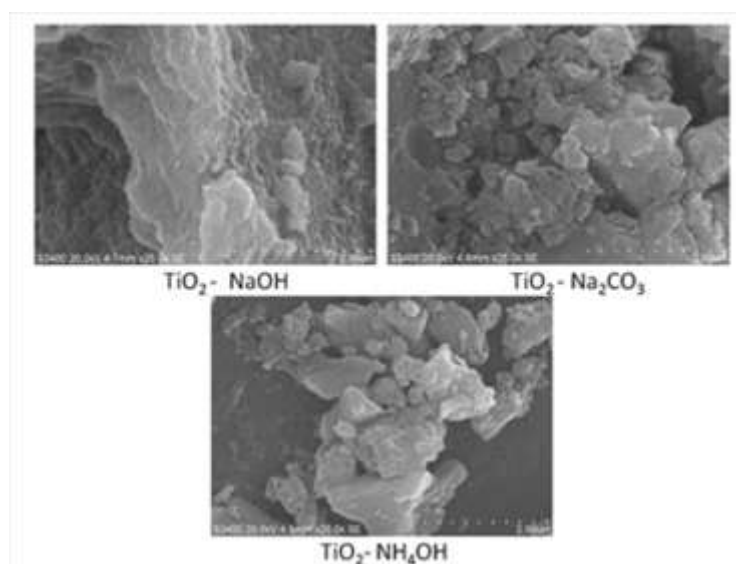
เมื่อนำผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกโดยเทคนิค XRD พบว่ามีโครงสร้างผลึกแบบออสติเนียน เนื่องจากไม่พบพีกที่แสดงความเป็นผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ ทั้งเฟสอะนาเทสและเฟสรูไทล์ ดังแสดงในรูปที่ 1 ถ้าเปรียบเทียบกับผงไทเทเนียมไดออกไซด์เชิงการค้า (Degussa P25- TiO_2) พบว่า P25- TiO_2 มีโครงสร้างผสมทั้งอะนาเทสและเฟสรูไทล์ [Wang, G. et al. 2012]



รูปที่ 1 แสดง X-ray diffraction patterns ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

2. การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

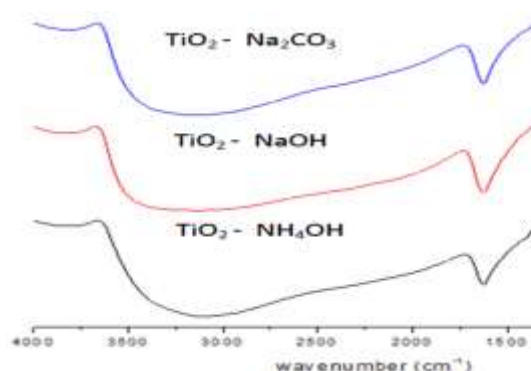
การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีโซลเจล พบว่าผงไทเทเนียมไดออกไซด์สัณฐานที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตรที่มีการรวมตัวเป็นก้อนที่ใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงไทเทเนียมไดที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย 25,000 เท่า

3. การศึกษาหมู่ฟังก์ชันเคมีด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometry (FT-IR)

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์สัณฐานที่สังเคราะห์ได้แสดงดังรูปที่ 3 ปรากฏพีกในช่วง 3300 ถึง 3500 cm⁻¹ ซึ่งเป็นพีกที่กว้างที่สัมพันธ์กับการสั่นแบบ O-H stretching ของหมู่ H₂O และ Ti-OH และสั่นแบบ O-H bending ที่ 1650 cm⁻¹ และพบโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่แสดงการสั่นของพันธะ Ti-O stretching ที่ปรากฏพีกในช่วง 500-900 cm⁻¹ และพบพีคซัลเฟตไอออนที่ 1050-1250 cm⁻¹ ถ้าเปรียบเทียบ FT-IR กับ P25-TiO₂ พบว่าจะแตกต่างกันที่ P25-TiO₂ ไม่มีพีคซัลเฟตไอออน [Wang, G. et al. 2012]



รูปที่ 3 แสดง FT-IR spectrum ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์อสังฐานที่สังเคราะห์ได้

4. การศึกษาค่าแถบพลังงาน (band gap energy) ด้วยเทคนิค Diffused Reflectance UV-Vis Spectroscopy (UV/DRS)

การศึกษาค่าพลังงานและค่าการดูดกลืนแสงผงไทเทเนียมไดออกไซด์อสังฐานที่สังเคราะห์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า ผงไทเทเนียมไดออกไซด์อสังฐานที่สังเคราะห์ได้สามารถดูดกลืนแสงในช่วงยูวี จาก DRS spectra สามารถคำนวณค่าแถบพลังงานได้จากสมการ Plank โดยทำการลากเส้นตัดกราฟ absorption edge ของสารแต่ละตัวจะมีความยาวคลื่นที่ดูดกลืน (λ_{onset}) และนำค่าไปคำนวณด้วยสมการ Plank ดังนี้

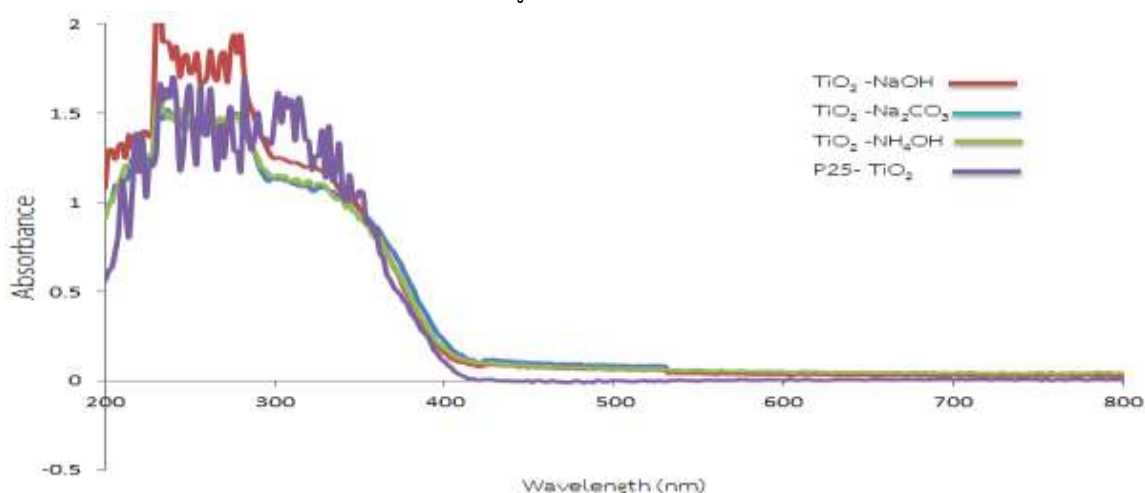
$$E_g = hv = \frac{hc}{\lambda_{onset}} = \frac{1240}{\lambda_{onset}}$$

โดยที่ E_g คือ ค่าแถบพลังงาน (eV)

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (6.67×10^{-34} J.s)

C คือ ความเร็วของแสง (3×10^8 m.s⁻¹)

λ_{onset} คือ ความยาวคลื่นที่ดูดกลืน



รูปที่ 4 แสดง UV-Vis diffuse reflectance (DRS) spectra ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์อสังฐานที่สังเคราะห์ได้

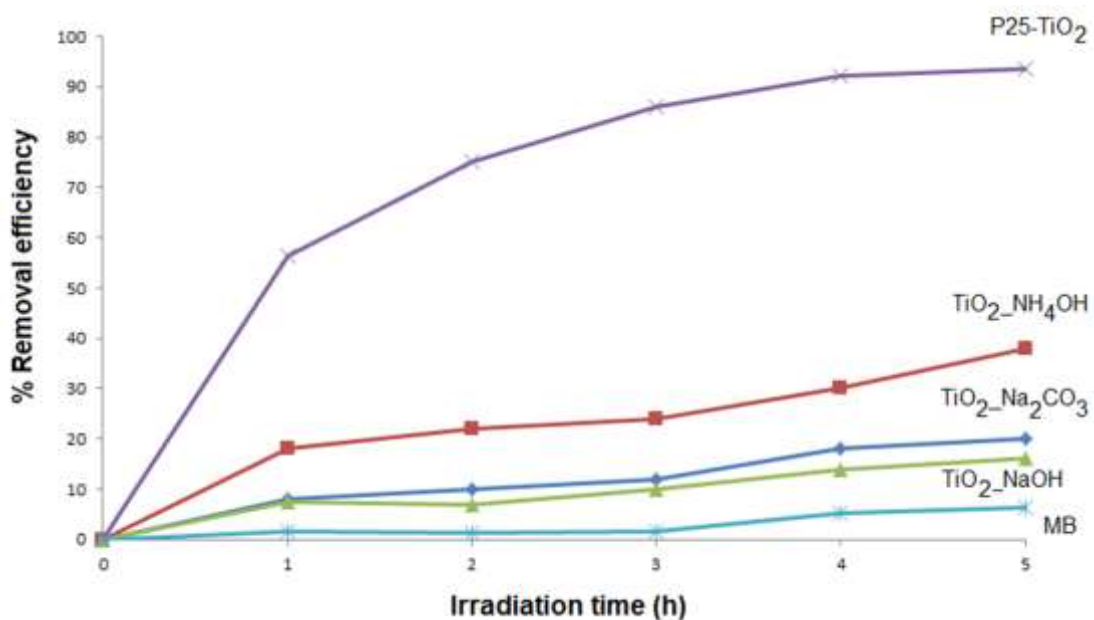
จากการคำนวณค่าแถบพลังงาน (band gap energy) ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้พบว่า $\text{TiO}_2\text{-NaOH}$ มีค่าแถบพลังงานใกล้เคียงกับ $\text{TiO}_2\text{-Na}_2\text{CO}_3$ และ $\text{TiO}_2\text{-NH}_4\text{OH}$ แต่ให้ค่าแถบพลังงานน้อยกว่า P25-TiO_2 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าแถบพลังงาน (band gap energy) ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

Type of TiO_2	λ_{onset} (nm)	Band gap energy (eV)
$\text{TiO}_2\text{-Na}_2\text{CO}_3$	412	3.01
$\text{TiO}_2\text{-NaOH}$	405	3.06
$\text{TiO}_2\text{-NH}_4\text{OH}$	411	3.02
P25-TiO_2	395	3.13

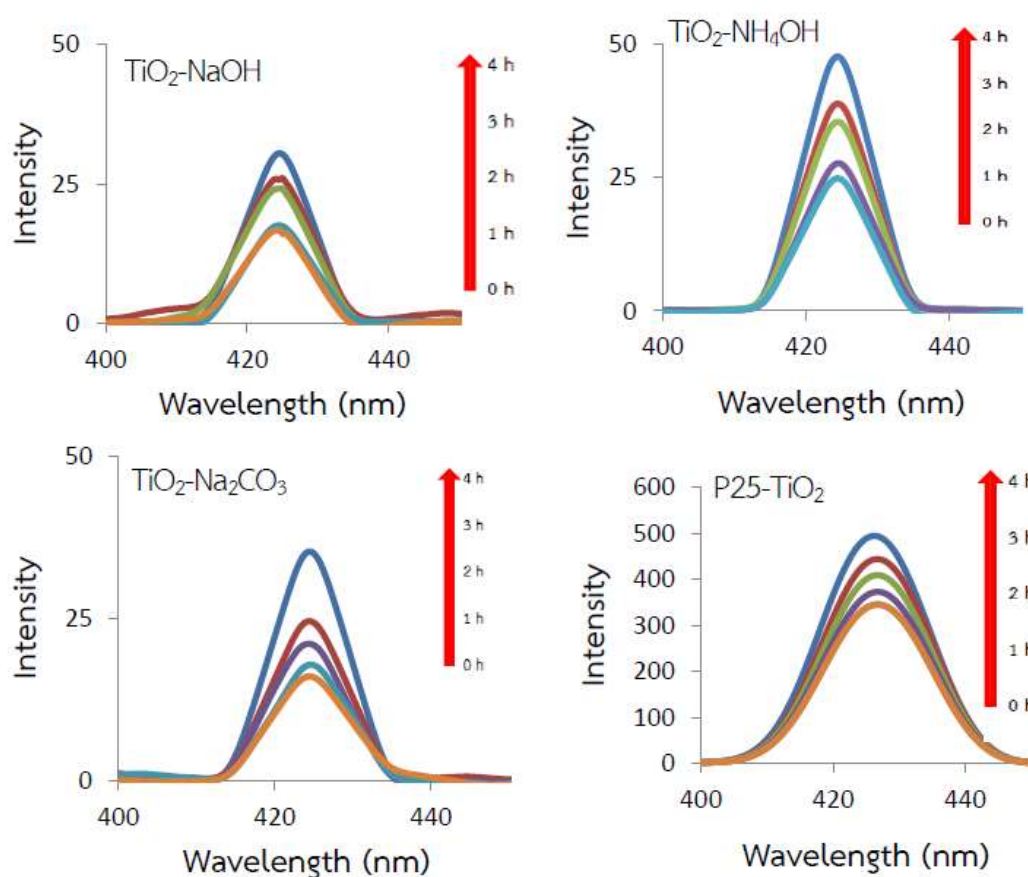
5. การศึกษาประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible Spectrophotometer)

การศึกษาประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสงของผงไทเทเนียมไดออกไซด์อสังฐานที่สังเคราะห์ได้ ภายใต้แสงยูวีพบว่า ผง TiO_2 ที่เตรียมด้วย NaOH มีประสิทธิภาพในการสลายเมทิลลีนบลูต่ำกว่า P25-TiO_2 และ TiO_2 ที่เตรียมด้วยเบส Na_2CO_3 และ NH_4OH ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสงในการสลายสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยผงไทเทเนียมไดออกไซด์อสังฐานที่สังเคราะห์ได้ภายใต้แสงยูวี

นอกจากนี้ได้ศึกษาหาปริมาณของไฮดรอกซิล ($\bullet\text{OH}$) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแสงในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลู โดยใช้ terephthalic acid เป็นตัวจับ $\bullet\text{OH}$ ซึ่งจะให้สัญญาณฟลูออเรสเซนซ์ที่ความยาวคลื่น 440 nm [Xiao, Q. et al., 2008] ดังรูปที่ 6 จากการศึกษพบว่า $\text{TiO}_2\text{--NH}_4\text{OH}$ มีปริมาณ $\bullet\text{OH}$ สูงกว่า $\text{TiO}_2\text{--Na}_2\text{CO}_3$ และ $\text{TiO}_2\text{--NaOH}$ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณ $\bullet\text{OH}$ ที่พบของไทเทเนียมไดออกไซด์ออสถฐานที่สังเคราะห์ได้จะมีปริมาณน้อยกว่าของ P25- TiO_2 จะเห็นได้ชัดเจนว่า $\bullet\text{OH}$ มีบทบาทสำคัญที่ช่วยสลายโมเลกุลของเมทิลีนบลู โดยปริมาณ $\bullet\text{OH}$ ที่มากจะเร่งให้เกิดการสลายตัวของสีย้อมเมทิลีนบลูที่สูงกว่า ซึ่งผลสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการสลายเมทิลีนบลู(รูปที่ 5)



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบปริมาณ $\bullet\text{OH}$ ที่เกิดระหว่างกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแสงในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยผงไทเทเนียมไดออกไซด์ออสถฐานที่สังเคราะห์ได้และผงไทเทเนียมไดออกไซด์เชิงการค้า (P25- TiO_2) ภายใต้แสงยูวี

8. การศึกษาความคงทนของสีต่อแสง (light fastness)

สำหรับการทดสอบความคงทนของสีธรรมชาติต่อแสง จะทำการเทียบกับผ้า Blue wool ที่เป็นตัวมาตรฐาน พบว่าทั้งผงและผงที่เติมผง TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้เป็นสารดูดกลืนรังสียูวี มีค่า light fastness อยู่ในระดับ 1 ซึ่งยังต่ำมาก เนื่องจากผงเป็นสีธรรมชาติที่สลายตัวได้ง่าย จากการศึกษาความคงทนแสงของผงสีธรรมชาติโดยใช้ผง TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้เป็นสารดูดกลืนรังสียูวี พบว่า TiO_2 ที่เตรียมด้วย NaOH ช่วยเพิ่มความคงทนแสงของผงสีธรรมชาติได้ดีกว่า $\text{TiO}_2 \cdot \text{NH}_4\text{OH}$ และ $\text{TiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ ดังรูปที่ 7

สำหรับการวัดค่าสีที่แสดงออกมาจะใช้ระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ (Commission International de l'Eclairage) ซึ่งในงานนี้จะพิจารณาความแตกต่างของสีจากค่า ΔE ซึ่งหาจากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

โดยที่ L^* กำหนดค่าความสว่างของสี a^* แสดงความเป็นสีแดง (ค่าบวก) a^* แสดงความเป็นสีเขียว (ค่าลบ) b^* แสดงความเป็นสีน้ำเงิน (ค่าลบ) b^* แสดงความเป็นสีเหลือง (ค่าบวก)

จากข้อมูลพบว่าค่า ΔE ของ $\text{TiO}_2 \cdot \text{NaOH}$ มีค่าน้อยกว่าของ $\text{TiO}_2 \cdot \text{NH}_4\text{OH}$ และ $\text{TiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ และผงที่ไม่ได้เติม TiO_2 ดังแสดงในตารางที่ 2 นั่นคือ $\text{TiO}_2 \cdot \text{NaOH}$ ช่วยเพิ่มความคงทนแสงของผงสีธรรมชาติได้ดีกว่า $\text{TiO}_2 \cdot \text{NH}_4\text{OH}$ และ $\text{TiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ เพราะ $\text{TiO}_2 \cdot \text{NaOH}$ มีปริมาณ $\cdot\text{OH}$ ต่ำกว่า TiO_2 อีกสองตัว จึงสลายโมเลกุลของผงได้น้อยกว่า



รูปที่ 7 ภาพถ่ายชิ้นงาน Lake dye ที่เติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์อัสฐานที่สังเคราะห์ได้ก่อนและหลังตากแดดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 แสดงค่าความแตกต่างของสี Lake dye ที่เติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์อสังฐานที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวดูดกลืนแสงยูวีก่อนและหลังตากแดดเป็นเวลา 2 วัน

ตัวอย่าง	ΔL^*	Δb^*	Δa^*	ΔE
Lake dye (สารสกัดจากฝางบนสารส้ม ($Al(OH)_3$))	5.53	-4.82	-7.90	10.78
Lake dye + TiO_2 _NaOH	3.06	-6.06	-1.49	6.95
Lake dye + TiO_2 _Na ₂ CO ₃	3.88	6.21	-2.99	7.90
Lake dye + TiO_2 _NH ₄ OH	-3.94	-8.99	1.66	9.95

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์อสังฐานด้วยวิธีโซลเจลโดยใช้ตัวตกตะกอน 3 ชนิด คือ NaOH Na₂CO₃ และ NH₄OH จากการศึกษาสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น X-Ray diffractometry (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier-transformed Infrared Spectrophotometry (FT-IR), Diffused reflectance Ultraviolet-visible Spectroscopy (DRS) และหาปริมาณของไฮดรอกซิล ($\bullet OH$) รวมทั้งศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงในการสลายสีย้อมเมทิลลีนบลูภายใต้แสงยูวี และศึกษาความคงทนแสงของผงสีธรรมชาติ พบว่า TiO_2 _NaOH มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเมทิล ลีนบลูได้น้อยที่สุด สำหรับ TiO_2 _NH₄OH มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเมทิลลีนบลูได้มากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณไฮดรอกซิลเรดิคัลมากที่สุด ซึ่งปริมาณไฮดรอกซิลเรดิคัลที่พบสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเมทิลลีนบลู นั่นคือ TiO_2 _NaOH < TiO_2 _Na₂CO₃ < TiO_2 _NH₄OH ตามลำดับ นอกจากนี้ผง TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้มาทดสอบความคงทนของสีพบว่าอนุภาค TiO_2 ช่วยให้สีทนเพิ่มเล็กน้อย โดย TiO_2 _NaOH ช่วยเพิ่มความคงทนของสีฝางได้ดีกว่าสภาวะอื่นที่เตรียมได้ งานวิจัยนี้นับว่าเป็นงานวิจัยเริ่มต้นที่ช่วยเพิ่มความคงทนของสีธรรมชาติได้ แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพต่ำอยู่ อาจต้องดัดแปลงพื้นผิวหรือโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความคงทนของสีให้สูงขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ให้การสนับสนุนทั้งด้านทุนวิจัย สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ และ ทุนอุดหนุนการทำวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2559 ของ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารอ้างอิง

ภาษาต่างประเทศ

- Legrini, O.; Oliveros, E.; Braun, A.M. (1993) "Photochemical processes for water treatment"
Chem. Rev. 93; 671–698.
- Carp, O.; Huisman, C.L.; Reller, A. (2004) "Photoinduced reactivity of titanium dioxide"
Prog. Solid State Chem. 32; 33–177.
- Chatterjee, D.; Dasgupta, S. (2005) "Visible light induced photocatalytic degradation of organic pollutants" **J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.** 6; 186–205.
- Suwanchawalit, C.; Wongnawa, S.; Sriprang, P.; Meanha, P. (2012) "Enhancement of the photocatalytic performance of Ag-modified TiO₂ photocatalyst under visible light"
Ceramic Inter. 38; 5201–5207.
- Ogino, C.; Dadjour, M. F.; Iida, Y.; Shimizu, N. (2008) "Decolorization of methylene blue in aqueous suspensions of titanium peroxide" **J. Hazard. Mater.** 153; 551–556.
- George, J.; Gireesh, V. S.; Ninan, G.; Nair, S. K. (2015) "Modification of TiO₂ surface for improved light fastness" **Int J Ind Chem.** 6; 133–141.
- Lee, B.H.; Kim, H.J. (2006) "Influence of isocyanate type of acrylated urethane oligomer and of additives on weathering of UV-cured films" **Polym. Degrad. Stabil.** 91; 1025–1035.
- Cheng, F.; Sajedina, S. M.; Kelly, S. M.; Leeb, A. F.; Kornherr, A. (2014) "UV-stable paper coated with APTES-modified P25 TiO₂ nanoparticles" **Carbohydr Polym.** 114 246–252.
- Bao, N.; Wu, G.; Niu, J.; Zhang, Q.; He, S.; Wang, J. (2014) "Wide spectral response and enhanced photocatalytic activity of TiO₂ continuous fibers modified with aminosilane coupling agents" **J. Alloy Compound.** 599; 40–48.
- Andrzejewska, A.; Krysztafkiewicz, A.; Jesionowski, T. (2004) "Adsorption of organic dyes on the aminosilane modified TiO₂ surface" **Dyes Pigments.** 62; 121–130.
- Yu, J.; Wang, J.; Zhang, J.; He, Z.; Liu, Z.; Ai, X. "Characterization and photoactivity of TiO₂ sols prepared with triethylamine" **Mater. Lett.** 61 (2007) 4984–4988.
- Buddee, S.; Wongnawa, S. (2015) "Removal of dyes by photocatalytically active curcumin-sensitized amorphous TiO₂ under visible light irradiation" **J. Sol-Gel Sci. Technol.** 75; 152–163.
- Xiao, Q.; Si, Z.C.; Zhang, J.; Xiao, C.; Tan, X.K. (2008) "Photoinduced hydroxyl radical and photocatalytic activity of samarium-doped TiO₂ nanocrystalline." **J. Hazard. Mater.** 150; 62–67.

Wang, G.; Xu, L.; Zhang,J.; Yin, T.; Han, D. (2012) “Enhanced Photocatalytic Activity of TiO_2 Powders (P25) via Calcination Treatment” **Int. J. Photoenergy**. 2012; 1-9.