

การดูดซับสีเขียวมาลาไคท์กรีนด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ตรึงบนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ Adsorption of Malachite Green by Titanium Dioxide immobilized Montmorillonite Clay

จรีพร วงศ์จันดา¹, และ จักรกฤษณ์ อัมพูช^{2*}

Jureporn Wongjunda¹, Chakkrit Umpuch^{2,*}

¹บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

^{2*}รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34190

*ติดต่อ E-mail: chakkrit.u@ubu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 045-353343

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ตรึงบนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (TiO_2 -MMt) และแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ตรึงที่ปราศจาก TiO_2 (Non- TiO_2 -MMt) เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสีเขียวมาลาไคท์กรีน (MG) โดยศึกษาอิทธิพลของปริมาณและชนิดสารลดแรงตึงผิวในขั้นตอนการตรึงต่อความสามารถในการดูดซับสีเขียว โดยใช้สารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด ได้แก่ ไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (TMA) และซีทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) และปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 50%, 100% และ 200% CEC นำตัวดูดซับทั้ง 12 ชนิด ไปทำการดูดซับสีเขียวที่สถานะความเข้มข้นเริ่มต้นของสีเขียว 250 mg/L ค่า pH 3.67 ที่อุณหภูมิ 35°C เขย่าที่ 200 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการศึกษา พบว่า แร่ดิน MMt ตั้งต้นมีความสามารถในการดูดซับสูงที่สุด เท่ากับ 215.16 mg/g ขณะที่ตัวดูดซับตรึงชนิด Non- TiO_2 -50%CEC CTAB-Clay มีความสามารถในการดูดซับสีเขียว MG สูงที่สุด เท่ากับ 198.39 mg/g ตัวดูดซับ Non- TiO_2 -MMt มีความสามารถในการดูดซับสีเขียวสูงกว่าตัวดูดซับ TiO_2 -MMt การเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวในขั้นตอนการตรึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับ MG ลดลง และการเตรียมตัวดูดซับโดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีสายโซ่หมู่แอลคิลยาวกว่าได้แก่ CTAB มีความสามารถในการดูดซับสี MG สูงกว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีสายโซ่ของหมู่แอลคิลสั้นกว่า ได้แก่ TMA

คำสำคัญ: 1.สารลดแรงตึงผิว , 2. การตรึง , 3.สีเขียวมาลาไคท์กรีน, 4.ไทเทเนียมไดออกไซด์ 5. การดูดซับ

Abstract

This research studied the preparation of titanium dioxide (TiO_2) immobilized montmorillonite clays (TiO_2 -MMt) and non-titanium dioxide immobilized montmorillonite clays (Non- TiO_2 -MMt) as adsorbents for adsorption of malachite green (MG). The influence of surfactant dose and surfactant type in the immobilization process on the adsorption capacity of the dye was investigated. Two surfactants used were tetramethylammonium bromide (TMA) and cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) and the amounts of surfactant were 50%, 100% and 200% CEC dosage. The 12 adsorbents were used to adsorb MG under a certain condition: initial dye concentration of 250 mg/L, pH 3.67, 35°C, agitation speed of 200 rpm for 24 hours. Experimental results show that the highest adsorption capacity of MMt was obtained as 215.16 mg/g and the immobilized adsorbent which is Non- TiO_2 -50% CEC CTAB-clay provided the

highest adsorption capacity of 198.39 mg/g. The adsorption capacity of Non-TiO₂-MMt adsorbents were higher than those of TiO₂-MMt. The adsorbents modified with longer chain of alkyl group, CTAB, have higher dye adsorption capacity of MG than those of the shorter one, TMA.

Keywords: 1.Surfactant, 2. Immobilization, 3. Malachite green, 4. Titanium dioxide, 5.Adsorption

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการฟอกย้อมมีการขยายตัวสูงขึ้น อุตสาหกรรมเหล่านี้มีการใช้น้ำและสารเคมีในปริมาณสูง [1] โดยสีย้อมเคมีสังเคราะห์เป็นสารประกอบที่ยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพ ส่งผลให้สถานะของแหล่งน้ำไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ถ้ามีการปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายอาจกลายเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) จึงควรมีการบำบัดน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนสีย้อมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ [2] การกำจัดสีย้อมที่นิยมนำมาใช้คือ การตกตะกอน การกรองด้วยเมมเบรน การย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นต้น แต่วิธีที่กล่าวมาข้างต้นยังมีข้อจำกัดในการนำมาใช้ การกำจัดสีย้อมด้วยการดูดซับเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เพราะมีต้นทุนต่ำและสามารถดูดซับสีย้อมและมลพิษอื่นๆ ได้สูง ตัวดูดซับที่นิยมนำมาใช้ในการกำจัดสีย้อมได้แก่ ซิลิกา (Silica) ซีโอไลท์ (Zeolite) และแร่ดินเหนียว (Clay minerals) เป็นต้น และงานวิจัยนี้สนใจใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite: MMT) เนื่องจากเป็นวัสดุทางธรรมชาติพบมากในประเทศไทย มีราคาถูกมีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมจึงมีความบริสุทธิ์สูง และมีสมบัติชอบน้ำ [3] และสามารถนำมาปรับปรุงพื้นผิวให้เหมาะสมต่อการกำจัดสารอินทรีย์ให้มีคุณสมบัติเป็นแบบไม่ชอบน้ำโดยนำมาดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวประเภท Quaternary Ammonium cations (QACs) ชนิดต่างๆ ซึ่งสารลดแรงตึงผิวประเภทนี้มีโครงสร้างเป็นโซ่ยาวปลายด้านหนึ่งมีประจุบวกและปลายอีกด้านหนึ่งเป็นโซ่คาร์บอนที่ไม่มีขั้วซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำสามารถยึดติดผิวแร่ดิน MMT ที่มีประจุลบได้โดยกระบวนการ Cation Exchange กับ Na⁺ และ Ca²⁺ ซึ่งมีอยู่ในโครงสร้างของ MMT [4]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณและชนิดของสารลดแรงตึงผิวในการเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์ตรึงบนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (TiO₂-MMT) และบนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ตรึงที่ปราศจากไทเทเนียมไดออกไซด์ (Non-TiO₂-MMT) ต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์กรีน (Malachite green: MG) ผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าโครงสร้างที่แตกต่างกันของสารลดแรงตึงผิวและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวอาจส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของ TiO₂ บนพื้นผิวของ MMT ซึ่งตัวดูดซับนี้จะถูกพัฒนานำไปใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์และสารเคมี

สารละลายไททาเนียมบิวทอกไซด์ (Ti(OBu)₄), ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (C₃H₈O), กรดไนตริก (HNO₃), อะซีติลอะซีโตน (C₅H₈O₂), ไตเอทานอลามีน (C₄H₁₁NO₂) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก 2 ชนิด ได้แก่ ไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Tetramethylammonium bromide: TMA) ความบริสุทธิ์มากกว่า 98% บริษัท Sigma Aldrich และซีทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethylammonium bromide: CTAB)

ความบริสุทธิ์มากกว่า 96% บริษัท Fluka Chemika แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite clay: MMT) จาก บริษัท ไทยนิปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์ตรึงบนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์

นำสารละลายไททาเนียมบิวทอกไซด์ จำนวน 5 ml เติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 5 ml เติมลงในน้ำกลั่น จำนวน 30 ml ในปิกเกอร์ และเติมกรดไนตริก 1 ml และ อะซีติลอะซิโตน 1 ml กวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ความเร็ว 600 rpm เป็นเวลา 10 hr ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นเติมไดเอทานอล 5 ml กวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ความเร็ว 600 rpm เป็นเวลา 10 hr ที่อุณหภูมิห้อง

เตรียมสารลดแรงตึงผิวได้แก่ TMA และ CTAB โดยใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว 50%CEC 100%CEC และ 200%CEC เทียบกับค่า CEC ของ MMT โดยเติมสารลดแรงตึงผิว TMA ปริมาณ 50%CEC ลงในน้ำปราศจากไอออน 20 ml และเติม DEA - Ti จำนวน 0.098 g (Ti/CEC = 15) กวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ความเร็ว 600 rpm เป็นเวลา 4 hr จะได้สารแขวนลอย DEA - Ti - สารลดแรงตึงผิว จากนั้นทำการทดลองเหมือนกันแต่เปลี่ยนปริมาณสารลดแรงตึงผิว TMA จาก 50%CEC เป็น 100%CEC และ 200%CEC ตามลำดับ และเปลี่ยนชนิดสารลดแรงตึงผิวเป็น CTAB ในปริมาณ 50%CEC, 100%CEC และ 200%CEC ตามลำดับ

นำแร่ดิน MMT จำนวน 1 g มาล้างด้วยแอนไฮดรัสเอทานอล ทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมลงในน้ำปราศจากไอออน 20 ml กวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ความเร็ว 600 rpm เป็นเวลา 4 hr หยด DEA - Ti - 50% CEC TMA บนแร่ดินที่ละลายที่ 70 °C แล้วกวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ความเร็ว 600 rpm เป็นเวลา 5 hr นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 rpm เวลา 5 นาที นำส่วนที่เป็นตะกอนมาอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 hr นำไปเผา (Calcination) ที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 4 hr จะได้ตัวดูดซับ TiO₂-MMT ทำการทดลองเหมือนกันแต่เปลี่ยนสารแขวนลอยที่เตรียม และทำขั้นตอนเดียวกันแต่ใช้เพียงสารลดแรงตึงผิว TMA และ CTAB โดยใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว 50%CEC, 100%CEC, 200%CEC ตรึงบนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (โดยกำหนดให้ตัวดูดซับชื่อ TiO₂-50%CEC TMA-clay, TiO₂-100%CEC TMA-clay, TiO₂-200%CEC TMA-clay, TiO₂-50%CEC CTAB-clay, TiO₂-100%CEC CTAB-clay, TiO₂-200%CEC CTAB-clay)

2. การเตรียมแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ตรึงที่ปราศจากไททาเนียมไดออกไซด์

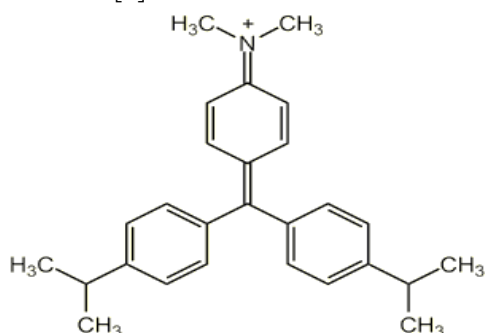
เติมสารลดแรงตึงผิว TMA และ CTAB โดยใช้ปริมาณ 50%CEC 100%CEC และ 200%CEC ได้ลงในน้ำปราศจากไอออน 20 ml กวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ความเร็ว 600 rpm เป็นเวลา 4 hr ทำการทดลองเหมือนกันแต่เปลี่ยนปริมาณสารลดแรงตึงผิว TMA ที่เตรียม 100%CEC และ 200%CEC และเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวเป็น CTAB ในปริมาณ 50%CEC, 100%CEC และ 200%CEC ตามลำดับ

นำแร่ดิน MMT 1 g มาล้างด้วยแอนไฮดรัสเอทานอล ทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เติมลงในน้ำปราศจากไอออน 20 ml กวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ความเร็ว 600 rpm เป็นเวลา 4 hr หยดสารละลาย TMA 50%CEC บนแร่ดินที่ละลายที่ 70 °C แล้วกวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ความเร็ว 600 rpm เป็นเวลา 5 hr นำไปปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 3000 rpm เวลา 5 นาที นำส่วนที่เป็นตะกอนมาอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็น

เวลา 1 hr นำไปเผา (Calcination) ที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 4 hr จะได้ตัวดูดซับแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์
 ตรึงที่ปราศจากไทเทเนียมไดออกไซด์จากสารละลาย 50%CEC-TMA (Non-TiO₂-50%CEC TMA-clay) จากนั้น
 ทำการเตรียมซ้ำแต่เปลี่ยนปริมาณสาร TMA และ CTAB (โดยกำหนดให้ตัวดูดซับชื่อ Non-TiO₂-100%CEC
 TMA-Clay, Non-TiO₂-200%CEC TMA-Clay, Non-TiO₂-50%CEC CTAB-Clay, Non-TiO₂-100%CEC
 CTAB-Clay และ Non-TiO₂-200%CEC CTAB-Clay)

3. การเตรียมสารละลายสีเขียว

สีเขียวมรกตโคคัทกรีน (malachite green (MG) มีสูตรทางเคมี C₂₃H₂₅ClN₂ (96%) น้ำหนักโมเลกุล
 เท่ากับ 364.911 g/mol [6] ความยาวคลื่นที่ดูดซึมแสงยูวีสูงสุด (λ_{max}) เท่ากับ 611 nm โครงสร้างโมเลกุลของ
 สีเขียว MG แสดงไว้ในรูปที่ 1 สารละลายสต็อก (Stock solution) เข้มข้น 1,000 mg/l จะถูกเตรียมโดยทำการ
 ชั่งสีเขียว MG จำนวน 1.0 g เติมนลงในน้ำกลั่นปริมาตร 1 L หลังจากนั้นทำการเตรียมสารละลายสีเขียวที่ความ
 เข้มข้นต่าง ๆ ตามที่ต้องการ โดยวิธีการเจือจางวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีเขียวด้วยการสร้างกราฟมาตรฐาน
 (Standard curve) ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับความเข้มข้นของสีเขียว วัดค่าการดูดกลืนแสง
 ด้วยเครื่อง UV-Vis-Spectrophotometer [7]



รูปที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของสีเขียว MG [5,6]

4. การศึกษาการดูดซับแบบกะ

เติมตัวดูดซับ จำนวน 0.1 g ใส่ปิกเกอร์ที่มีสารละลายสีเขียว MG ความเข้มข้น 250 mg/l ปริมาตร 100
 ml วัดค่า pH =3.67 อุณหภูมิ 35 °C นำมาเขย่า 200 rpm จนเข้าสู่สมดุลนำสารละลายส่วนที่ใส่ไปวัดค่า
 ความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง UV-VIS-Spectrophotometer) ทำการ
 ทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ ทำวิธีเดียวกันแต่เปลี่ยนตัวดูดซับจากข้อที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

การคำนวณ

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีเขียว MG โดยปริมาณการดูดซับที่เวลาใดๆ (q_t : mg/g) สามารถ
 คำนวณได้จากสมการที่ 1

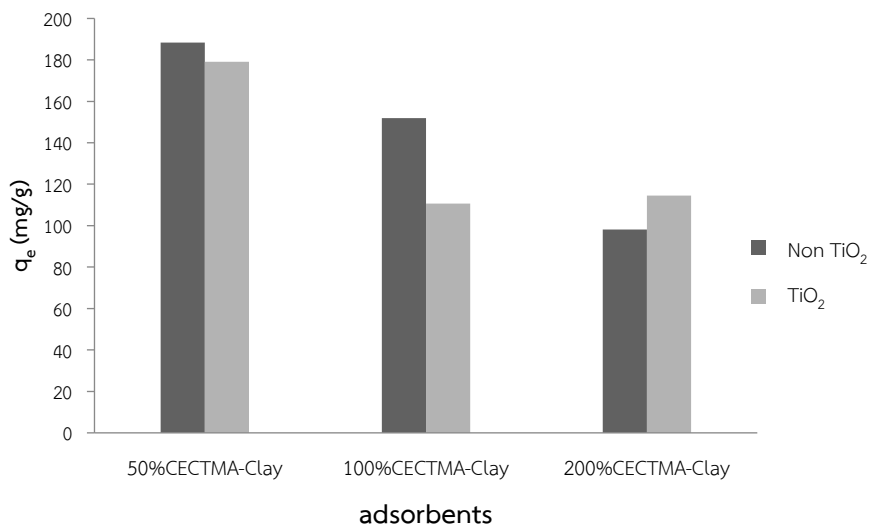
$$q_t = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (1)$$

โดย C_0 คือความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น (mg/L) C_t คือ ความเข้มข้นของสีย้อมที่เวลาใดๆ m คือปริมาณของตัวดูดซับ (g) และ V คือปริมาตรของสารละลาย (l) นอกจากนี้คำนวณปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุล (q_e , mg/g) ได้โดยเปลี่ยนตัวแปร C_t ในสมการที่ 1 เป็น C_e ซึ่งเป็นความเข้มข้นของสีย้อมที่สมดุล (mg/L)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

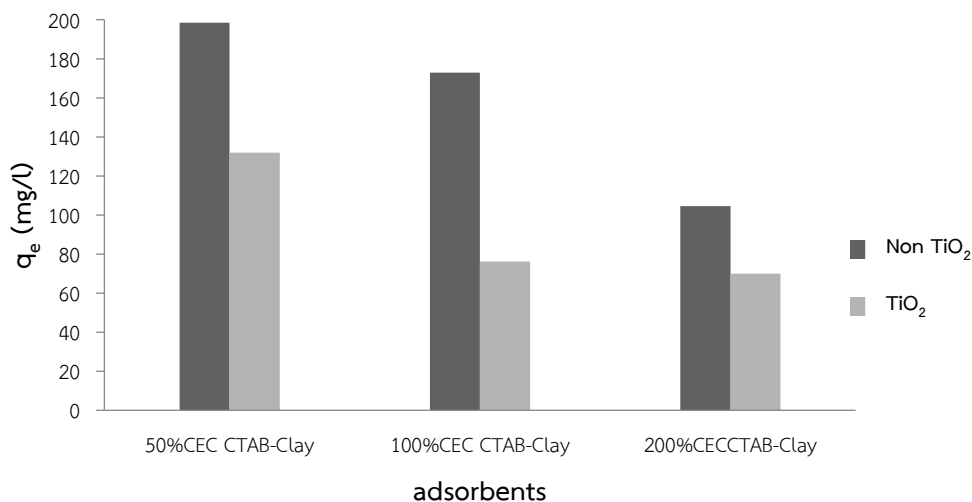
ผลการทดลอง

เมื่อนำตัวดูดซับ Non-TiO₂-TMA-MMt และ TiO₂-TMA-MMt ไปทำการดูดซับสารละลายสีย้อม MG ด้วยการทดลองแบบกะได้ค่าความสามารถในการดูดซับสีย้อม (q_e) ดังแสดงในแผนภูมิที่ 1 และแผนภูมิที่ 2



แผนภูมิที่ 1 อิทธิพลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิด TMA ต่อความสามารถในการดูดซับ MG (C_0 : 250mg/L, pH= 3.67, เขย่า 200 rpm, เวลา 24 hr, ที่อุณหภูมิ 35°C)

จากแผนภูมิที่ 1 เมื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อมโดยกำหนดให้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม MG เท่ากับ 250 mg/L ปริมาตรของสีย้อม 100 ml pH= 3.67 เขย่า 200 rpm ระยะเวลาในการดูดซับ 24 hr ที่อุณหภูมิ 35°C ระหว่าง Non-TiO₂-MMt และ TiO₂-MMt พบว่าตัวดูดซับ Non-TiO₂-50%CEC TMA-Clay และ TiO₂-50%CEC TMA-Clay มีความสามารถในการดูดซับ MG ได้สูงสุดเท่ากับ 188.39 mg/g และ 179.03 mg/g ตามลำดับ นอกจากนี้ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิว TMA ในขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ และปริมาณการดูดซับของ Non-TiO₂-TMA-MMt มีค่าสูงกว่า TiO₂-TMA-MMt



แผนภูมิที่ 2 อิทธิพลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิด CTAB ต่อความสามารถในการดูดซับ MG (C_0 :250mg/L, pH= 3.67, เขย่า 200 rpm, เวลา 24 hr, ที่อุณหภูมิ 35°C)

แผนภูมิที่ 2 เมื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของตัวดูดซับ Non-TiO₂-CTAB-MMt และ TiO₂-CTAB-MMt ต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อม MG โดยกำหนดให้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม เท่ากับ 250 mg/l ปริมาตรของสีย้อม 100 ml pH= 3.67 เขย่า 200 rpm ระยะเวลาในการดูดซับ 24 hr ที่อุณหภูมิ 35°C ระหว่างการดูดซับ Non-TiO₂-CTAB-MMt และ TiO₂-CTAB-MMt พบว่า ตัวดูดซับ Non-TiO₂-50%CEC CTAB-Clay และ TiO₂-50%CEC CTAB-Clay มีความสามารถในการดูดซับ MG ได้สูงสุดเท่ากับ 198.39 mg/g และ 132.94 mg/g ตามลำดับ นอกจากนี้ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิว CTAB ในขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ และปริมาณการดูดซับของ Non-TiO₂-CTAB-MMt มีค่าสูงกว่า TiO₂-CTAB-MMt

วิจารณ์ผลการทดลอง

ปริมาณการดูดซับสาร MG ของแร่ดิน MMt ตั้งต้น เท่ากับ 215.16 mg/g ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวดูดซับจริงทั้ง 12 ชนิด เมื่อนำแร่ดิน MMt มาตรึงด้วยโมเลกุล DEA-TiO₂-surfactant หรือ DEA-surfactant แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณการดูดซับสีย้อม MG ของตัวดูดซับลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการดูดซับของแร่ดิน MMt และปริมาณการดูดซับมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารลดแรงตึงผิว ดังแสดงในแผนภูมิที่ 1 และ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิวในขั้นตอนการตรึง (immobilization) ส่งผลให้สัดส่วนของสารลดแรงตึงที่ยึดติดผิวแร่ดิน MMt ที่เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ลดลง ซึ่งถ้าของสารลดแรงตึงผิวเหล่านี้ อาจเข้าไปปกคลุมที่พื้นผิวภายนอก (external surface) ของแร่ดิน MMt และปิดกั้นพื้นที่ผิวจำเพาะภายในโครงข่ายของแร่ดิน (interlayer) จึงเป็นสาเหตุให้ปริมาณการดูดซับสีย้อม MG ลดลง

ตัวดูดซับ Non-TiO₂-MMt มีความสามารถในการดูดซับสีย้อม MG สูงกว่าตัวดูดซับ TiO₂-MMt เนื่องจากพื้นผิวของตัวดูดซับ Non-TiO₂-MMt ไม่มีโมเลกุลของ TiO₂ ยึดเกาะอยู่บนพื้นผิว ทำให้มี active site

ว่างเป็นจำนวนมากเพื่อรองรับโมเลกุลของสีย้อม MG จึงส่งผลให้โมเลกุลของสีย้อมสามารถเข้าไปยึดติดผิวกับพื้นผิวของตัวดูดซับได้สูงกว่า ขณะที่ตัวดูดซับ TiO_2 -MMt มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมน้อยกว่าตัวดูดซับ Non- TiO_2 -MMt เนื่องจากที่พื้นผิวของตัวดูดซับมีโมเลกุลของ TiO_2 ยึดเกาะอยู่ ซึ่งอาจจะเข้าไปปิดบัง active site หรือโครงสร้างภายในบางส่วนของตัวดูดซับ และทำให้โมเลกุลของสีย้อมเข้าไปยึดติดผิวน้อยลง

การเตรียมตัวดูดซับตรึงโดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีความยาวของสายโซ่ของหมู่แอลคิลยาวกว่า นั่นคือ CTAB ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสี MG สูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีความยาวของสายโซ่ของหมู่แอลคิลสั้นกว่า นั่นคือ TMA [4] เนื่องจากสารแขวนลอย DEA-Ti-TMA มีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่า DEA-Ti-CTAB เมื่อถ่ายโอนไปยังพื้นผิวของแร่ดิน MMT จึงทำให้เกิดการกระจายตัวของ DEA-Ti-TMA บนพื้นผิวของแร่ดิน MMT ได้ในปริมาณที่มากกว่า เมื่อทำการเผาจึงทำให้มีโมเลกุลของ TiO_2 ตรึงอยู่บนพื้นผิวของแร่ดิน MMT ในปริมาณที่สูงกว่า ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ TiO_2 -TMA-MMt มีปริมาณของ active site ว่างน้อยกว่า TiO_2 -CTAB-MMt จึงทำให้มีปริมาณการดูดซับที่น้อยกว่า นอกจากนี้ แร่ดิน MMT เมื่อละลายอยู่ในน้ำจะขยายตัวเนื่องจากโมเลกุลของน้ำสามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างชั้นดินได้ ลักษณะเช่นนี้จะทำให้สารแขวนลอย TiO_2 -TMA-MMt สามารถถ่ายโอนเข้าไปในช่องว่างระหว่างชั้นดินได้และจัดเรียงใหม่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นดิน (Interlayer) ในปริมาณที่มากกว่า TiO_2 -CTAB-MMt เมื่อทำการเผาจึงทำให้โมเลกุลของ TiO_2 -TMA-MMt มี active site ว่างที่อยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นดินน้อยกว่า จึงส่งผลให้มีปริมาณการดูดซับสีย้อมในพื้นที่ผิวภายในโครงสร้างของแร่ดิน TiO_2 -TMA-MMt ได้น้อยกว่า [8, 9]

สรุปผลการทดลอง

การตรึง TiO_2 บนแร่ดิน MMT เพื่อเตรียมตัวดูดซับ TiO_2 -MMt และ Non- TiO_2 -MMt ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อม MG ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการดูดซับสีย้อม MG ของแร่ดิน MMT ดั้งเดิม การเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวในขั้นตอนการตรึงส่งผลให้ปริมาณการดูดซับสีย้อมของ TiO_2 -MMt และ Non- TiO_2 -MMt ลดลง เนื่องจากถ้าของสารลดแรงตึงผิวหลังเผาเข้าไปปิดกั้นรูพรุนทำให้ตัวดูดซับสูญเสีย active site ภายในโครงสร้างภายในของตัวดูดซับ นอกจากนี้ตัวดูดซับ Non- TiO_2 -MMt มีปริมาณการดูดซับสีย้อมสูงกว่า Non- TiO_2 -MMt เนื่องจาก TiO_2 จะเข้าไปปิดกั้น active site บางส่วนของตัวดูดซับ โดยแร่ดิน MMT มีปริมาณการดูดซับสีย้อม MG สูงสุดเท่ากับ 215.16 mg/g และตัวดูดซับตรึง TiO_2 -50%CEC CTAB-Clay มีความสามารถในการดูดซับสีย้อม MG สูงที่สุด เท่ากับ 198.39 mg/g และตัวดูดซับที่ตรึงด้วย TiO_2 จะถูกนำไปพัฒนาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนงบประมาณในการจัดทำงานวิจัย เช่น สารเคมี เครื่องมือในการทดลอง สถานที่วิจัย ตลอดจนสนับสนุนการนำเสนอผลงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mittal, A., Mittal, J., Malviya, A., Kaur, D. and Gupta, V.K. (2010). Adsorption of hazardous Dye crystal violet from wastewater by waste materials. *Journal of Colloid and Interface Science*, 343, 463–473.
- [2] Yanan, D., Yanlei, S., Wenjuan, C., Jinming, P., Yan, Z. and Zhongyi, J. (2011). Ultra Filtration enhanced with activated carbon adsorption for efficient dye removal from aqueous solution. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 19(5), 863-869.
- [3] Fatimah, I., Wang, S.B., Narsito, Wijaya, K., (2010). Composites of TiO₂-aluminum pillared montmorillonite: synthesis, characterization and photocatalytic degradation. *Applied Clay Science*, 50, 588–593.
- [4] Tingting Zhang, Yuan Luo, Bing Jia, Yan Li, Lingling Yuan, Jiang Yu. (2015). Immobilization of self-assembled pre-dispersed nano-TiO₂ onto montmorillonite and its photocatalytic activity. *Journal of environmental Sciences*, 32, 108–117.
- [5] Jji'ai Wang, Feng Gao, Zhongzhong Liu, Min Qiao, Xuemei Niu, Ke-Qin Zhang, Xiaowei Huang. (2012). Pathway and Molecular Mechanisms for Malachite Green Biodegradation in *Exiguobacterium* sp. MG2. *Biodegradation of Malachite Green in Bacterium*. 7, 12. 51808.
- [6] Haseeb Ullah, Muhammad Nafees, Farhat Iqbal, Muhammad Saifullah Awan, Afzal Shah and Amir Waseem. (2017). Adsorption Kinetics of Malachite Green and Methylene Blue from Aqueous Solutions Using Surfactant-modified Organoclay. *Acta Chim. Slov.* 449, 2017, 64, 449–460.
- [7] จักรกฤษณ์ อัมพูช. (2548). การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [8] Semra Karaca, Ahmet Gürses, and Mehtap Ejder Korucu. (2013). Investigation of the Orientation of CTA⁺ Ions in the Interlayer of CTAB Pillared Montmorillonite. *Journal of Chemistry* Volume 2013, Article ID 274838, 10 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/274838>.
- [9] Yusef Omid-Khaniabadi, Ali Jafari, Mehdi Jourvand, Sedigheh Saeedi, Hassan Basiri, Heshmatollah Nourmoradi, Gholamreza Goudarzi, Ali Mirza Heidari, Seyed Mohammad Daryanoosh, Bahram Kamarehei, Shahram Sadeghi, Mohammad Javad Mohammadi. (2016). The study of azo dye removal from liquid medium by modified clay. *J Adv Environ Health Res*, 4, 1, 9-17.