

การดูดซับสีย้อมเบสิคเยลโล 1 ด้วยวัสดุประกอบนาโนระหว่างแป้งแคทไอออนิกและมอนต์มอริลโลไนต์

Adsorption of Basic Yellow 1 (BY1) by Cationic Starch Intercalated Montmorillonite Nanocomposite

ศิรินันท์ เหล่าชูชัยสกุล¹, ภัทราวุธ มนต์วิเศษ^{2*}, ปุณณมา ศิริพันธ์โนน^{1,2} และ จิติ หนูแก้ว¹

Sirinan Lawchoochaisaku¹, Pathavuth Monvisade^{2*}, Punnama Siriphannon^{1,2} and Jiti Nukeaw¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับสีย้อมเบสิคเยลโล 1 (BY1) จากสารละลายสีย้อมด้วยวัสดุประกอบนาโนระหว่างมอนต์มอริลโลไนต์และแป้งแคทไอออนิก (CST-MMT) โดยแป้งแคทไอออนิก (CST) เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับ 3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรพิล-ไตรเมทิล-แอมโมเนียมคลอไรด์ (CHPTAC) วัสดุประกอบนาโน CST-MMT ที่เตรียมได้นำมาตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD หลังจากนั้นนำวัสดุประกอบนาโน CST-MMT ที่ได้มาศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อม BY1 โดยทำการเปรียบเทียบกับมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าวัสดุประกอบนาโน CST-MMT สามารถดูดซับสีย้อมได้สูงถึง 99.7% ในขณะที่มอนต์มอริลโลไนต์สามารถดูดซับสีย้อมได้เพียง 74.6% นอกจากนี้ยังทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อม BY1 ที่เวลาและความเข้มข้นต่างๆ และศึกษาจลนศาสตร์และไอโซเทอมของการดูดซับ พบว่าจลนศาสตร์ของการดูดซับเป็นไปตามสมการ Pseudo-second Order และพฤติกรรมของการดูดซับเป็นไปตามสมการของแลงเมียร์

ABSTRACT

This study described the use of cationic starch intercalated montmorillonite nanocomposite for the removal of Basic Yellow (BY1) from aqueous solution. Cationic starch (CST) were prepared by the reaction of Cassava Starch and (3-chloro-2-hydroxypropyl trimethyl) ammonium chloride (CHPTAC) as cationizing agent. The nanocomposite was prepared and characterized by XRD. The adsorption ability of BY1 from aqueous solution onto CST-MMT nanocomposite was studied and compared with raw montmorillonite at 500 mg/l aqueous solution concentration. The result showed that the CST-MMT nanocomposite can be increasing the adsorption ability to 99.7% comparing with the adsorption ability of raw montmorillonite at 74.6%. The adsorption abilities of CST-MMT nanocomposite at different times and concentrations were also studied. The result of the adsorption kinetic behavior was fit to Pseudo-second Order model and the adsorption behavior of BY1 on CST-MMT nanocomposite indicated that the adsorption processes followed the Langmuir isotherm.

Keyword: Cationic Starch, Montmorillonite, Nanocomposite, Basic Yellow1

e-mail address: sirinan_L@hotmail.co.th

* Corresponding author. Tel.: +66-2-329-8400 ext.341; fax: +66-2-329-8428; e-mail: kmpathav@kmitl.ac.th.

¹ วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

¹ College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok 10520

² ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

² Department of Chemistry, Faculty of Science, KMITL Bangkok 10520

คำนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย เนื่องจากสามารถทำรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นจำนวนมาก ซึ่งอุตสาหกรรมดังกล่าวมีสารเคมีหลักที่ใช้ในการย้อมสิ่งทอคือ สีย้อม (Dyes) และ สารช่วยย้อม (Auxiliaries) ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสีย โดยสีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีหลายประเภทได้แก่ สีไดเรกต์ สีรีแอคทีฟ สีแวต สีซัลเฟอร์ สีเอโซอิก สีดีสเพิร์ส สีเบสิค และสีแอซิด ซึ่งเป็นสารที่สลายตัวได้ยาก นอกจากนี้ยังพบว่าสีย้อมที่พบอยู่ในน้ำเสียมักมีลักษณะเป็นอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงสู่ผิวน้ำ ส่งผลกระทบให้พืชที่อยู่ในน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนในน้ำลดลง มีผลให้สิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อยู่ในน้ำตาย (Mamdouh and El-Geundi, 1991; Ramakrishna and Viraraghavan, 1997; O'Neill et al., 1999) ดังนั้นก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจึงต้องมีกระบวนการบำบัดก่อน ในปัจจุบันการบำบัดน้ำทิ้งมีอยู่หลายวิธี เช่น การบำบัดด้วยโอโซน (Ozone Treatment) การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) การกรองด้วยเยื่อเลือกผ่าน (Membrane Filtration) เป็นต้น แต่วิธีการเหล่านี้มีความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงมีการนำเทคโนโลยีที่ง่ายและประหยัดมาใช้ในการบำบัดคือการนำวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายและราคาถูกมาประยุกต์ใช้ในงานดูดซับเพื่อให้ประหยัดต้นทุนและยังคงมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำแป้งมันสำปะหลังและมอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวชนิดหนึ่งเป็นวัสดุค้ำพื้นฐาน เนื่องจากมีราคาถูกและสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทยมาสังเคราะห์เป็นวัสดุประกอบนาโนเพื่อใช้ในการดูดซับสีย้อม โดยนำมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) มาดัดแปรโครงสร้างด้วยแป้งแคทไอออนิก (CST) เป็นวัสดุประกอบนาโน CST-MMT แล้วนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมเบสิคเยลโล 1 (BY1) ผลของงานวิจัยนี้จะสามารถเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีสีย้อมเจือปนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะดวก ราคาถูก ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ในการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอรวมถึงอุตสาหกรรมอื่นๆ ด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

การสังเคราะห์แป้งน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LMW-ST)

แขวนลอยแป้งมันสำปะหลังในเมทานอล (methanol) เดิมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตรแล้วปั่นกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปรับสารละลายให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) เข้มข้น 1 โมลาร์ กรองตะกอนและอบให้แห้ง (Lin, Leeb and Changa, 2003)

การสังเคราะห์แป้งแคทไอออนิก (Cationic Starch, CST)

นำ LMW-ST มาทำปฏิกิริยากับ 3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรพิล-N,N,N-ไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (CHPTAC) (อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) ต่อ CHPTAC เป็น 1:2) เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตกตะกอนด้วยเอทานอล (ethanol) กรองและล้างตะกอนด้วยเอทานอล แล้วนำไปอบให้แห้ง (Kuo and Lai, 2007) หลังจากนั้น CST ที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (%N) (Eq.1) และองศาการแทนที่ (DS) (Eq.2) ด้วยเทคนิคเจลดาร์ล (Heinze et al., 2004)

$$\%N = \frac{M \times V \times 1.4}{\text{Sample weight (g)}} \quad \text{Eq.1}$$

$$DS = \frac{162 \times \%N}{1400 - (117 \times \%N)} \quad \text{Eq. 2}$$

เมื่อ M คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก (โมลาร์) และ V คือ ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (มิลลิลิตร)

การตัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) ด้วยแป้งแคทไอออนิก (CST)

นำมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) มากระจายตัวในน้ำกลั่น เทสสารละลายแป้งแคทไอออนิก (CST) เข้มข้น 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร ลงในสารแขวนลอย MMT ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วแยกวัสดุประกอบนาโน CST-MMT ออกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง นำตะกอนที่ได้ไปอบให้แห้งและตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม BY1 ของ MMT และวัสดุประกอบนาโน CST-MMT ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

นำวัสดุประกอบนาโน CST-MMT 1 กรัมใส่ลงในสารละลายสีย้อม BY1 ที่มีความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 100 มิลลิลิตรปั่นกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Monvisade and Siriphannon, 2009) หลังจากนั้นแยกตะกอนออกและนำสารละลายที่แยกได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ที่ λ_{\max} 412 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนตัวดูดซับเป็น MMT เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับ

การศึกษาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับสีย้อม BY1 ของวัสดุประกอบนาโน CST-MMT

นำวัสดุประกอบนาโน CST-MMT ปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในสารละลายสีที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 100 มิลลิลิตรนำไปปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที นำสารที่ได้ไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงเพื่อแยกตะกอนออก นำสารละลายที่แยกได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ที่ λ_{\max} เท่ากับ 412 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนระยะเวลาในการดูดซับเป็น 10, 15, 30, 45, 60, 90, 240 และ 1440 นาทีตามลำดับ แล้วนำค่าการดูดซับสีย้อมที่ได้มาสร้างกราฟตามสมการ Pseudo-First order (Eq.3) และ Pseudo-Second order (Eq. 4) เพื่อศึกษาจลนศาสตร์ในการดูดซับสีย้อม (รวิรินทร์และโกวิทย์, 2554; L. Wang and A. Wang, 2007)

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303} \quad \text{Eq.3}$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad \text{Eq.4}$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณการดูดซับสีย้อมที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม) q_t คือ ปริมาณการดูดซับสีย้อมที่เวลาต่างๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม) t คือ เวลาต่างๆ ที่ใช้ในการดูดซับ (นาที) k_1 คือ ค่าคงที่อัตราการดูดซับสีย้อมแบบ Pseudo-first order (นาที⁻¹) k_2 คือ ค่าคงที่อัตราการดูดซับสีย้อมแบบ Pseudo-second order (นาที⁻¹)

การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อม BY1 ของวัสดุประกอบนาโน CST-MMT

นำวัสดุประกอบนาโน CST-MMT 1 กรัมใส่ลงในสารละลายสีย้อม BY1 ที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 100 มิลลิลิตรแล้วปั่นกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นแยกตะกอนออก นำสารละลายที่แยกได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ที่ λ_{\max} เท่ากับ 412 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำโดย

เปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเป็น 2000, 3000, 4000, 5000 และ 6000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำข้อมูลผลการดูดซับที่ได้มาศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับโดยสร้างกราฟตามสมการไอโซเทอมของฟรุนดลิช (Eq. 5) และแลงเมียร์ (Eq. 6) (ปัทมาและอารีย์, 2552)

$$\log q = \log K + (1/n) \log C_e \quad \text{Eq.5}$$

$$C_e/q = (1/bQ^0) + (C_e/Q^0) \quad \text{Eq.6}$$

เมื่อ C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายเมื่ออยู่ในภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) Q^0 คือ ปริมาณสูงสุดของตัวดูดซับที่สามารถดูดซับแบบ Monolayer ต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ) q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัม/กรัม)

$$x/m = q = bQ^0C_e/(1+bC_e) \quad \text{Eq.7}$$

เมื่อ x คือ ปริมาณของตัวดูดซับที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม) m คือ ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (มิลลิกรัม) C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายเมื่ออยู่ในภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและองค์การแทนที่ของแป้งแคทไอออนิกโดยใช้เทคนิคเจลดาร์ล

ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและองค์การแทนที่ของแป้งแคทไอออนิกพบว่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (Eq. 1) เท่ากับ 1.25 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ได้มาคำนวณหาองค์การแทนที่ (Eq. 2) ได้ค่าเท่ากับ 0.161 ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่ามีการทำปฏิกิริยาของแคทไอออนิกมอนอเมอร์ (CHPTAC) กับสายโซ่โมเลกุลของแป้ง

ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ MMT และวัสดุประกอบนาโน CST-MMT ด้วยเทคนิค XRD

ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ MMT และวัสดุประกอบนาโน CST-MMT ด้วยเทคนิค XRD พบว่า MMT ปรากฏพีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 7.12 (Figure 1a) ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) จากสมการของ Braggs (Eq. 8) ได้เท่ากับ 1.24 นาโนเมตร แต่หลังจากการดัดแปรโครงสร้างของ MMT ด้วย CST เป็นวัสดุประกอบนาโน CST-MMT พบว่าพีการเลี้ยวเบนของรังสีพบที่ตำแหน่ง 2θ ลดลงเป็น 5.65 (Figure 1b) ส่งผลให้ค่า d_{001} ที่คำนวณได้เพิ่มขึ้นเป็น 1.56 นาโนเมตร แสดงให้เห็นว่าการดัดแปรโครงสร้าง MMT ด้วย CST มีผลทำให้ช่องว่างระหว่างแผ่นของ MMT กว้างมากขึ้นเนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของ CST ที่เกิดการแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของ MMT ทำให้วัสดุประกอบนาโน CST-MMT ที่เตรียมขึ้นมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad \text{Eq. 8}$$

เมื่อ λ คือ ความยาวของคลื่นของรังสีเอกซ์เท่ากับ 1.54 อังสตรอม θ คือ มุมตกกระทบ (องศา) d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบของ CST-MMT และ n คือ ค่าคงที่จำนวนเต็ม

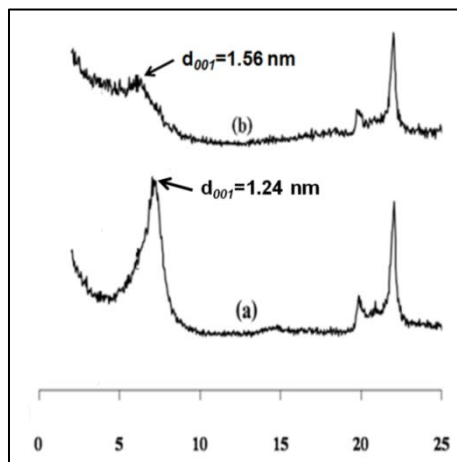


Figure 1 XRD pattern of (a) MMT และ (b) CST-MMT nanocomposite

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม BY1 ของ MMT และวัสดุประกอบนาโน CST-MMT ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม BY1 ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ MMT และวัสดุประกอบนาโน CST-MMT เป็นตัวดูดซับเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อม พบว่า MMT มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม BY1 ได้ประมาณ 74.6% แต่หลังจากทำการดัดแปรโครงสร้างของ MMT ด้วย CST เกิดเป็นวัสดุประกอบนาโน CST-MMT แล้วพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้นถึง 99.7 % เนื่องจากสีย้อมเบสิกเป็นสีที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ประจุบวก (+) แต่ MMT มีประจุสุทธิในโครงสร้างเป็นลบ (-) จึงทำให้ MMT มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกได้ดี และเมื่อทำการดัดแปรโครงสร้างของ MMT ด้วย CST ทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นเคลย์ (d_{001}) เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึ่งมีขนาดใหญ่สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของชั้นเคลย์ได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเพิ่มสูงขึ้น

ผลการศึกษาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับสีย้อม BY1 ของวัสดุประกอบนาโน CST-MMT

ผลการศึกษาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับสารละลายสีย้อม BY1 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเป็น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยใช้ปริมาณของตัวดูดซับ 1 กรัม โดยทำการดูดซับที่ระยะเวลาต่างๆ กันคือ 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 และ 1440 นาทีตามลำดับ พบว่าเมื่อให้ระยะเวลาในการดูดซับมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม BY1 เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งระยะเวลาในการดูดซับประมาณ 90 นาทีเป็นต้นไป ค่าร้อยละของการกำจัดสีย้อมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้นระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับสีย้อม BY1 จึงเท่ากับ 90 นาที (Figure 2) หลังจากนั้นนำผลการดูดซับที่ได้มาศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อม BY1 ของวัสดุประกอบนาโน CST-MMT คำนวณตามสมการจลนศาสตร์ของ Pseudo-First order (Eq. 3) และสมการจลนศาสตร์ของ Pseudo-Second order (Eq. 4) พบว่ากราฟที่ได้จากสมการจลนศาสตร์ของ Pseudo-Second Order ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.995 (Figure 3(b)) ซึ่งเข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการจลนศาสตร์ Pseudo-First order (Figure 3(b)) ซึ่งได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.950 จึงแสดงให้เห็นว่าการดูดซับสีย้อม BY1 ของวัสดุประกอบนาโนเป็นไปตามสมการจลนศาสตร์ของ Pseudo-second Order ซึ่งเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงทางเคมี

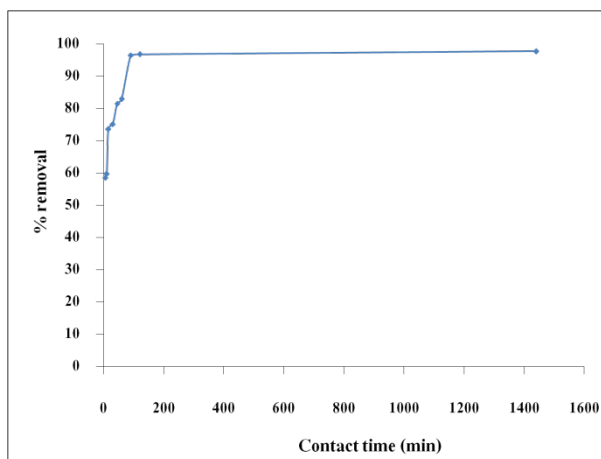


Figure 2 Effect of the contact time on %removal of CST-MMT nanocomposite (Initial concentration of dye solution: 1000 mg/L and sample dose: 1 g)

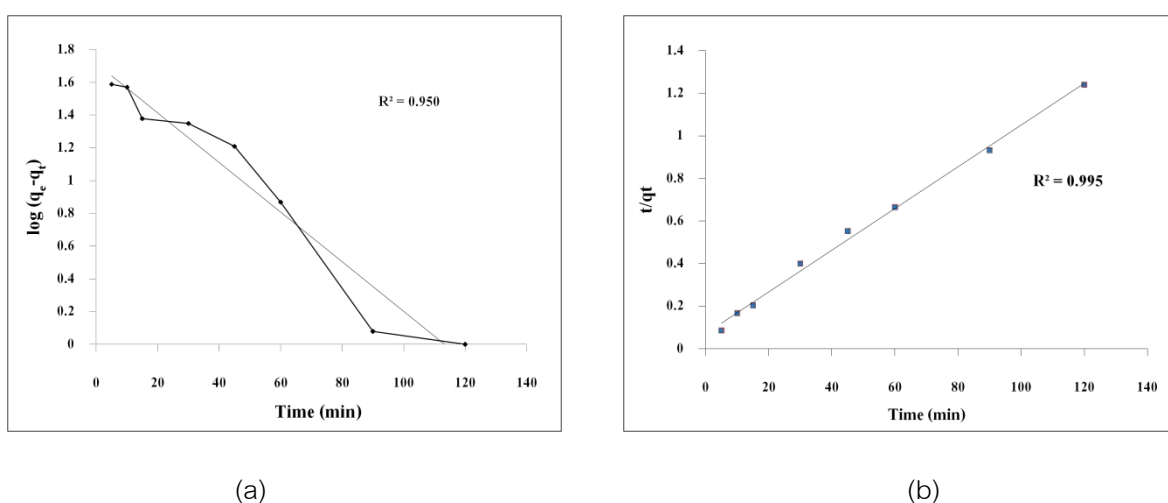


Figure 3 The kinetic model for BY1 adsorption of CST-MMT nanocomposite

(a) Pseudo-First order (b) Pseudo-Second order

การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อม BY1 ของวัสดุประกอบนาโนใน CST-MMT

การทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม BY1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ คือ 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 และ 6000 มิลลิกรัมต่อลิตรของวัสดุประกอบนาโน CST-MMT พบว่าวัสดุประกอบนาโน CST มีความจุสูงสุดในการดูดซับสีย้อมประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมของตัวดูดซับ (Figure 4) หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ โดยนำข้อมูลของการดูดซับที่ได้มาคำนวณและสร้างกราฟตามสมการแลงเมียร์ (Eq. 6) และสมการฟรุนดลิคซ์ (Eq. 5) เพื่อศึกษาแบบรูปแบบของการดูดซับที่เกิดขึ้นของวัสดุประกอบนาโน CST-MMT โดยกราฟไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Figure 5(a)) และฟรุนดลิคซ์ (Figure 5(b))

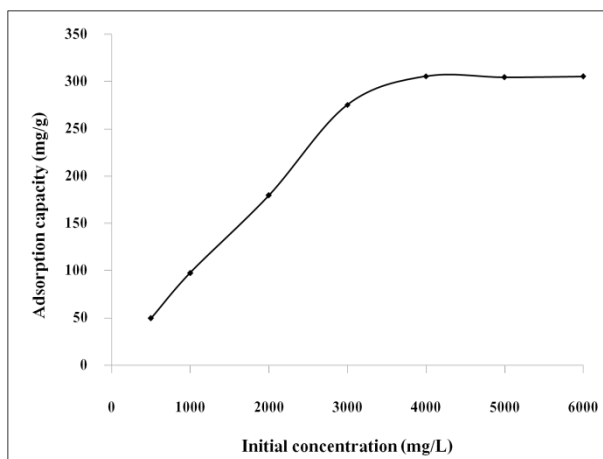


Figure 4 Effect of the initial concentration on adsorption capacity of CST-MMT nanocomposite

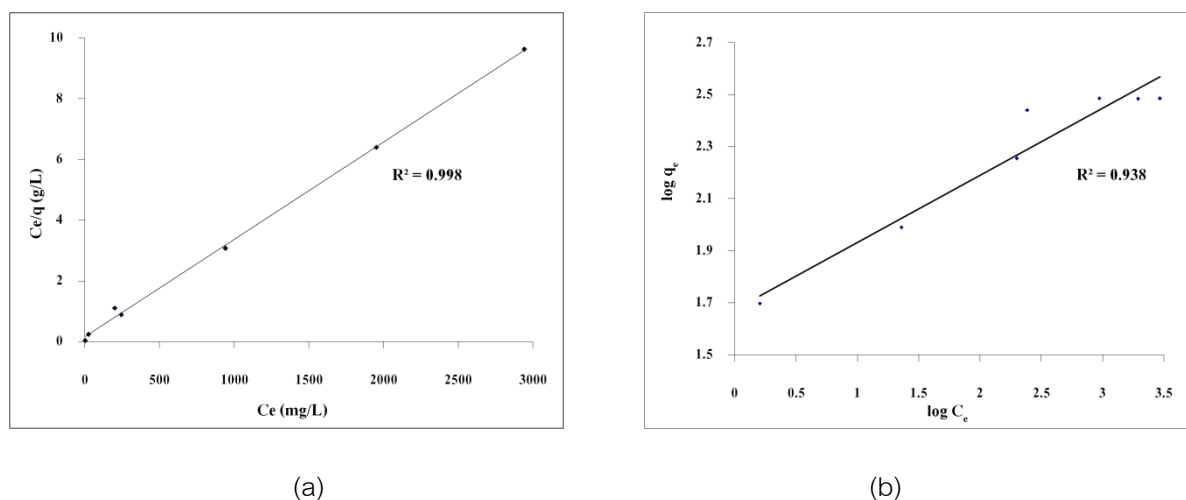


Figure 5 Isotherm for the BY1 adsorption of CST-MMT nanocomposite

(a) Langmuir Isotherm

(b) Freundlich Isotherm

พฤติกรรมของการดูดซับสีย้อม BY1 เมื่อใช้วัสดุประกอบนาโน CST-MMT เป็นตัวดูดซับสามารถอธิบายได้จากค่าสหสัมพันธ์ (R^2) ที่ได้จากรูปไอโซเทอมพบว่าค่า R^2 ของกราฟไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Figure 5(a)) มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าค่า R^2 ที่ได้จากรูปไอโซเทอมของฟรุนดลิคซ์ (Figure 5(b)) ดังนั้นจึงสามารถอธิบายพฤติกรรมของการดูดซับสีย้อม BY1 เมื่อใช้วัสดุประกอบนาโน CST-MMT เป็นตัวดูดซับได้ว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเกิดจากแรงดึงดูดทางเคมีที่ไม่สามารถผันกลับได้ โดยสามารถคำนวณปริมาณสูงสุดของตัวดูดซับที่สามารถดูดซับแบบ Monolayer ต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (Q^0) และค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับความแข็งแรงของพันธะ (b) ได้เท่ากับ 350.65 มิลลิกรัมต่อกรัมและ 0.017 ลิตรต่อมิลลิกรัมตามลำดับ

สรุปผลการทดลอง

การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยแป้งแคทไอออนิกเป็นวัสดุประกอบนาโน CST-MMT สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับสีย้อม BY1 ได้มากขึ้น และพบว่าจลศาสตร์และไอโซเทอมในการดูดซับสีย้อม BY1 ของวัสดุประกอบนาโน CST-MMT เป็นไปตามสมการ Pseudo-Second Order และไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ปัทมา ภิรมย์รื่น และอารีย์ ปั่นปิติ. 2552. การศึกษาระบบการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรุงด้วยโครงสร้างด้วยโคโคซาน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รวิินทร์ สุทธะนันท์ และโกวิทย์ ปิยะมั่งคณา. 2554. จลนศาสตร์และเทอร์โมเคมีการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้แกลบตัดแปร. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- C.O'Neill, F.R. Hawkes, D.L. Hawkes, N.D. Lourenco, H.M. Pinheiro, W. Delee. 1999. Colour in textile effluents—sources, measurement, discharge consents and simulation. A review. *Journal Chemical Technology Biotechnology* 74: 1009–1018.
- J.H. Lin, S.Y. Leeb and Y.H. Changa. 2003. Effect of acid–alcohol treatment on the molecular structure and physicochemical properties of maize and potato starches. *Carbohydrate Polymers* 53: 475-482.
- K.R. Ramakrishna & T. Viraraghavan. 1997. Dye removal using low cost adsorbents. *Water Science Technology* 36: 189–196.
- L. Wang and A. Wang. 2007. Adsorption behaviors of Congo red on the *N,O*-carboxymethyl-chitosan/montmorillonite nanocomposite. *Chemical Engineering Journal* 143: 43-50.
- N.M. Mamdouh & M.S. El-Geundi. 1991. Comparative cost of color removal from textile effluents using natural adsorbents. *J. Chem. Technol. Biotechnology* 50: 257–264.
- P. Monvisade and P. Siriphannon. 2009. Chitosan intercalated montmorillonite: Preparation, characterization and cationic dye adsorption. *Applied Clay Science* 42: 427-431.
- T. Heinze, V. Haack and S. Rensing. 2004. Starch derivatives of high degree of functionalization. 7. Preparation of cationic 2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride starch. *Starch* 56: 288-296.
- W.Y. Kuo, and H.M. Lai. 2007. Changes of property and morphology of cationic corn starches. *Carbohydrate Polymers* 69: 544-553.