



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 11
"Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2020"

การเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็คไฟว์ในน้ำโดยใช้วัสดุดูดซับฮีมาไทต์ที่
ปรับสภาพโดยใช้พอลิอะนิลีน
ENHANCING REACTIVE BLACK 5 DYE REMOVAL EFFICIENCY IN WATER USING
HEMATITE MODIFIED BY POLYANILINE

ปวีรศา เกตุขจรีย์¹

รศ.ดร.ตุลวิทย์ สถาปนจารุ²

E-mail fscitus@ku.ac.th

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: mmaster.grey@live.com

²รองศาสตราจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งกระบวนการผลิตนั้นต้องใช้วัตถุดิบที่เป็นสีย้อม โดยเฉพาะพวกสีย้อมรีแอคทีฟแบล็คไฟว์ในปริมาณมาก เมื่อมีการปล่อยน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในบริเวณนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเหล็กออกไซด์ (Hematite) ที่ทำได้ตามธรรมชาติมาทำการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม โดยวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของ PANI-Hematite ศึกษาประสิทธิภาพของ PANI-Hematite ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็คไฟว์ (Reactive Black 5, RB5) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลของปริมาณตัวดูดซับ และ pH รวมทั้งศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ (adsorption isotherm) จากศึกษาสัณฐานวิทยาจากภาพถ่ายจาก Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่า PANI-Hematite มีรูปร่างเป็นแท่งคล้ายผลึก บริเวณพื้นผิวขรุขระไม่เรียบเนียนเสมอกันจาก PANI ที่เคลือบเป็นเม็ดอยู่ทั่วพื้นผิวผลึก Hematite เมื่อนำมาทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ RB5 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยใช้ 3% (w/v) PANI-Hematite พบว่าระยะเวลาสมดุลของการดูดซับสีย้อมอยู่ที่ 3 ชั่วโมง ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม คือ 3% (w/v) (ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม = 94.29%) pH เริ่มต้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3-7 และมีพฤติกรรมการดูดซับแบบชั้นเดียว ($R^2 = 0.9918$) โดยปริมาณการดูดซับ RB5 สูงสุดของ PANI-Hematite (q_m) มีค่า 4.3178 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่า K_L ซึ่งเป็นค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียวมีค่า 1.67 ลิตรต่อมิลลิกรัม



คำสำคัญ: รีแอกทีฟแบล็คไฟว์, ไอโซเทอมการดูดซับ, ฮีมาไทต์ที่ปรับสภาพโดยพอลิอะนิลีน

Abstract

The textile and clothing industry is one of the important industries in Thailand, which the production process requires a lot of dye material, especially reactive dyes. Dumping wastewater contaminated dye into public water is ecological threat. This research had a concept to improve the efficiency of dye removal by using modified natural iron oxide, Hematite. The objectives of this study were to study the physical and chemical characteristics of PANI-Hematite, to RB5 adsorption effectiveness of PANI-Hematite, to investigate factors (dosage and pH) affecting adsorption efficiency and adsorption isotherm. The surface morphology of synthesized PANI-Hematite by the Scanning Electron Microscope (SEM) found that PANI-Hematite shape was rods like crystal and the rough surface area was not always smooth. The equilibrium time of 100 mg/L RB5 adsorbing on PANI-Hematite was 3 h. The optimum dosage and pH were 3% (w/v) and pH range 3-7 respectively. The adsorption behavior of RB5 on PANI-hematite was monolayer adsorption and fit with Langmuir isotherm ($R^2= 0.9918$). The highest RB5 adsorption of PANI-Hematite (q_m) was 4.3178 mg/g and the K_L value was 1.67 mg/L.

Keywords: Reactive black 5 dye, Adsorption isotherm, PANI-Hematite

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มในประเทศไทยเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ อุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้นต้องใช้วัตถุดิบที่เป็นน้ำ และสารเคมีจำนวนมาก โดยสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลาย ซึ่งสีย้อมอินทรีย์เป็นสารเคมีที่มีโครงสร้างซับซ้อน มีองค์ประกอบหลัก คือ โครโมฟอร์ (chromophore) มีอิเล็กตรอนอิสระ ภายในโครงสร้างมีพันธะคู่ ได้แก่ $-C=C-$, $-C=N-$, $-C=O-$, $-N=N-$ และ $-NO_2$ ซึ่งเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดสี ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงเกิดขึ้นจากการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมากในกระบวนการ เมื่อมีการปล่อยน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จะทำลายความสวยงาม และสมดุลทางธรรมชาติ และเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์สีที่อยู่ในน้ำจะบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงสู่ผิวน้ำ พืชที่อยู่ในน้ำจึงไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ทำให้กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำเกิดขึ้นได้น้อยลง

เทคนิคการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการดูดซับด้วยวัสดุดูดซับเป็นที่นิยมใช้เนื่องจากราคาถูก สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นำมาใช้งานง่าย วัสดุที่ใช้สำหรับการบำบัดสีย้อมมีหลายชนิด เช่น พลาสติกขนาดไมโคร



(Microplastics) (Velzeboer & Kwadijk and Koelmans, 2014) และ อนุภาคแม่เหล็กขนาดนาโนของเหล็กออกไซด์ (magnetic nanoparticle; MNPs) (Shuye et al., 2019) ในที่นี้จะเน้นที่การใช้วัสดุนาโนคอมโพสิต

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจใช้บำบัด RB5 ในน้ำ โดยการใช้วัสดุดูดซับ Hematite สังเคราะห์ร่วมกับ PANI ซึ่งมีราคาถูก นำไฟฟ้าได้ดี มีศักยภาพ และมีความเสถียรต่อสิ่งแวดล้อมสูง การสังเคราะห์วัสดุดูดซับร่วมกับ PANI ได้รับความสนใจมากเนื่องจากโครงสร้างของวัสดุดูดซับจะถูกเชื่อมต่อกับโครงสร้างของ PANI ทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น มีความสามารถในการดูดซับในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่กว้าง นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาในการดูดซับเข้าสู่จุดสมดุลได้อย่างรวดเร็ว และสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ (Shi & Zhao & Ji & Shi and Yang, 2020)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของ PANI-Hematite ที่สังเคราะห์ได้
2. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ PANI-Hematite กำจัด RB5 ในน้ำเสียสังเคราะห์ และศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ และ pH รวมทั้งการศึกษา ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (adsorption isotherm)

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และศึกษาประสิทธิภาพการใช้ Hematite ร่วมกับ PANI ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ สัณฐาน และลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ เวลาที่ตัวดูดซับสัมผัสของสารละลาย RB5 ปริมาณของตัวดูดซับ ค่า pH เริ่มต้นของสารละลาย RB5 และ ไอโซเทอมการดูดซับสารละลาย RB5 โดย ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ Hematite และ PANI-Hematite ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope; SEM เวลาดูดซับสารละลายได้แก่ 0 – 360 นาที ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ศึกษาคือ 1 – 5% ค่า pH เริ่มต้นของสารละลาย OTC ที่ทำการศึกษาคือ 3, 5, 7, 9 และ 11 ไอโซเทอมทำการศึกษาที่ความเข้มข้นของสารละลาย RB5 เท่ากับ 10, 20, 40, 65, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสังเคราะห์วัสดุดูดซับ PANI-Hematite

ทำการเติม Hematite 0.4 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร และนำไป sonicated เวลาประมาณ 10 นาที จากนั้นเติมอะนิลีน 0.098 มิลลิลิตร และปั่นกวนสารเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต 0.073 กรัม ที่ละลายในน้ำ 20 มิลลิลิตร ปั่นกวนต่ออีก 240 นาที นำตะกอนที่ได้ล้างด้วยน้ำและเอทานอล อบตะกอนข้ามคืนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Feizpoor & Habibi-Yangjeh and Yubuta, 2018)



2. การวิเคราะห์สัณฐาน และลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ PANI-Hematite

นำผงวัสดุดูดซับ PANI-Hematite ที่สังเคราะห์ขึ้น มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope; SEM โดยเครื่อง Scanning Electron Microscopy ยี่ห้อ Hitachi รุ่น SU8020 วิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

3. การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ PANI-Hematite กำจัดสีย้อม RB5 ในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลของปริมาณตัวดูดซับ และ pH และการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ (adsorption isotherm)

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับระหว่าง Hematite และ PANI-Hematite ที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับสารละลาย RB5 ทำโดยเตรียมสารละลาย RB5 ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมตัวดูดซับ 1% (w/v) เขย่าเป็นเวลา 180 นาที

การหาเวลาสมดุล (Equilibrium time) ของการดูดซับ ทำโดยเตรียมสารละลาย RB5 ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมตัวดูดซับ PANI-Hematite ปริมาณ 1% (w/v) เขย่าเป็นเวลา 180 นาที

การศึกษาอิทธิพลของปริมาณ PANI-Hematite ที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับสารละลาย RB5 ทำโดยเตรียมสารละลาย RB5 ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมตัวดูดซับ PANI-Hematite 1%, 2%, 3%, 4% และ 5% (w/v) เขย่าเป็นเวลา 180 นาที

การศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับสารละลาย RB5 ด้วย PANI-Hematite โดยเตรียมสารละลาย RB5 ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่า pH ของสารละลาย RB5 ให้ได้ค่า pH ได้แก่ 3, 5, 7, 9 และ 11 เติมตัวดูดซับ PANI-Hematite 3% (w/v) เขย่าเป็นเวลา 180 นาที

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลาย RB5 ทำโดยการเตรียมสารละลาย RB5 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 20, 40, 65, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมตัวดูดซับ PANI-Hematite ปริมาณ 1% (w/v) เขย่าเป็นเวลา 180 นาที

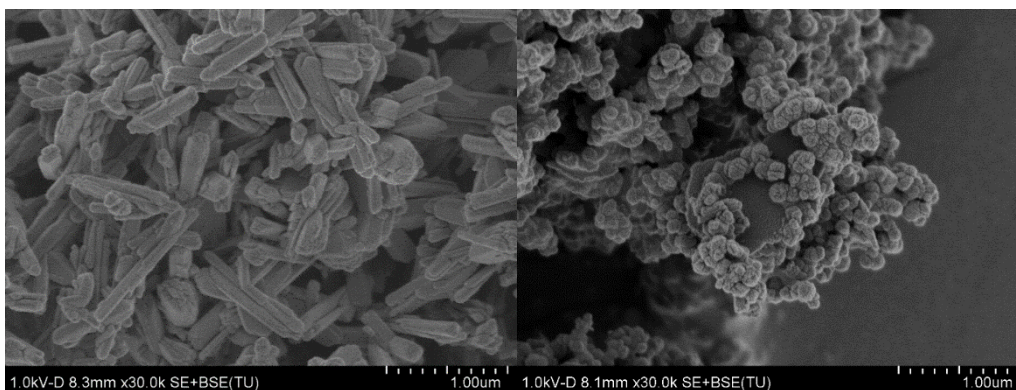
ตัวอย่างทั้งหมดถูกเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และ เก็บตัวอย่างนำไป centrifuge ที่ความเร็ว 13,500 rpm เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายส่วนที่เป็นของเหลวมาวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ยี่ห้อ Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis และเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นด้วยกราฟมาตรฐาน

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์สัณฐาน และลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ PANI-Hematite

จากผลการวิเคราะห์สัณฐาน และลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยเครื่อง ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope; SEM ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่า Hematite มีรูปร่างเป็นแท่ง

คล้ายผลึก บริเวณพื้นผิวค่อนข้างเรียบเสมอกัน และ PANI-Hematite มีรูปร่างเป็นแท่งคล้ายผลึก บริเวณพื้นผิวขรุขระไม่เรียบเนียนเสมอกัน



ภาพที่ 1 ผลการวิเคราะห์สัณฐาน และลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ Hematite (ภาพด้านซ้าย) และ PANI-Hematite (ภาพด้านขวา) ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า

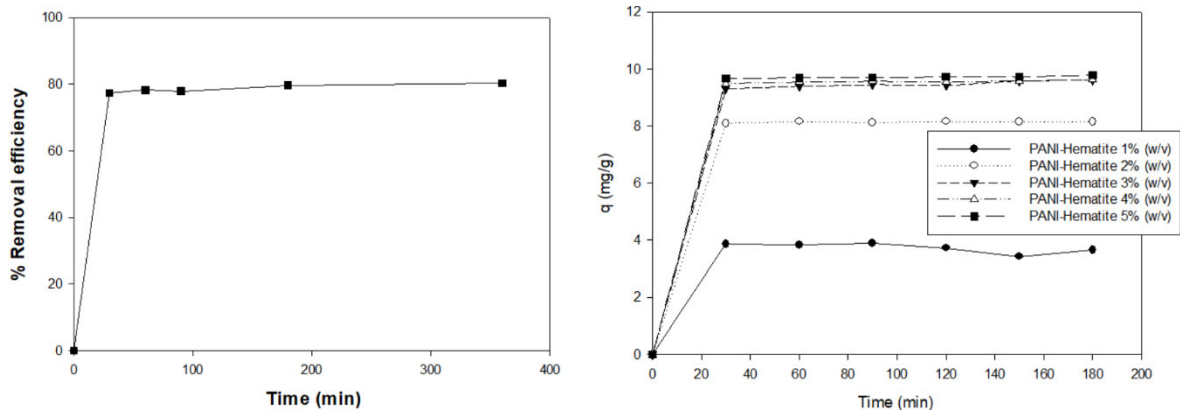
2. ประสิทธิภาพการดูดซับ RB5 ด้วย Hematite และ PANI-Hematite

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ RB5 ด้วย Hematite และ PANI-Hematite โดยในการทดสอบได้ใช้ Hematite และ PANI-Hematite ปริมาณ 1% (w/v) และความเข้มข้นสารละลาย RB5 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม RB5 ของ Hematite เท่ากับ 27.21% และของ PANI-Hematite เท่ากับ 83.57% ซึ่งให้ประสิทธิภาพมากกว่าถึง 3 เท่า

3. ผลการศึกษاثิพลที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ RB5

ผลการศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับด้วย PANI-Hematite พบว่าแนวโน้มของการดูดซับเริ่มคงที่ตั้งแต่ช่วง 30 – 180 นาที โดยเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของและ PANI-Hematite ที่เหลือหลังจากดูดซับจะลดลง ส่งผลให้การดูดซับ RB5 ที่เวลา 180 นาทีเหมาะสม มากที่สุดโดยมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม ณ เวลา 180 นาทีมีค่าเท่ากับ 79.69% ดังแสดงในภาพที่ 2 (ด้านซ้าย)

ผลการศึกษาธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ RB5 โดยทดลองการดูดซับ RB5 ในน้ำที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของ RB5 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1-5% (w/v) ดังภาพที่ 2 (ด้านขวา) พบว่าแนวโน้มของการดูดซับเริ่มคงที่ ตั้งแต่ช่วง 30 – 180 นาที โดยการใช้ตัวดูดซับปริมาณ 3% , 4% และ 5% ส่งผลให้เกิดการดูดซับ RB5 ได้สูงสุดที่เวลา 180 นาที โดยความสามารถในการดูดซับ RB5 มากกว่า 9.60 (มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังแสดงในภาพที่ 2 (ด้านขวา) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมากขึ้น พื้นผิวของตัวดูดซับจึงมีจำนวนเพิ่มขึ้นทำให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับ RB5 ได้มากขึ้น ดังนั้น ณ 180 นาที จึงเป็นเวลาที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล



ภาพที่ 2 ผลการศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ RB5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวดูดซับ PANI-Hematite ปริมาณ 1% (w/v) (ด้านซ้าย) และ ปริมาณ RB5 ในน้ำหลังการดูดซับด้วย PANI-Hematite ที่ปริมาณต่าง ๆ เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 30 – 180 นาที (ด้านขวา)

ผลการศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับสารละลาย RB5 ด้วย PANI-Hematite แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า pH ที่เหมาะสมที่สุดต่อการดูดซับ RB5 อยู่ในช่วง pH 3 ถึง 7 ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเท่ากับ 91.14 ถึง 89.32% ตามลำดับ เมื่อปรับ pH ในการละลาย RB5 สูงขึ้น ส่งผลให้การดูดซับ RB5 ลดลง

ตารางที่ 1 ปริมาณ RB5 ในน้ำหลังการดูดซับด้วย PANI-Hematite 3% (w/v) ในน้ำที่มีการปรับ pH เป็น 3, 5, 7, 9 และ 11 เป็นเวลา 180 นาที

pH	ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม
3	91.14%
5	89.96%
7	89.32%
9	85.01%
11	17.94%

ผลไอโซเทอมการดูดซับสารละลาย RB5 ด้วย PANI-Hematite

จากการศึกษา Adsorption Isotherm ของการดูดซับ RB5 ด้วยตัวดูดซับ PANI-Hematite ข้อมูลค่าคงที่และความถูกต้องของข้อมูล (R^2) ดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการดูดซับ RB5 ด้วย PANI-Hematite มีความสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนดลิช โดยเปรียบเทียบจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของสมการที่ได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ตามรูปแบบของสมการทั้งสองซึ่งสมการแลงเมียร์จะเป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/q$ กับ $1/C$ สามารถคำนวณหาค่าปริมาณการดูดซับ



RB5 สูงสุดของ Hematite และ PANI-Hematite (q_m) และค่า K_L ซึ่งเป็นค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างอัตราการดูดซับต่ออัตราการคายการดูดซับได้จากจุดตัดแกน y และค่าความชันของกราฟ สำหรับสมการของฟรอนด์ลิชจะเป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log q$ กับ $\log c$ สามารถหาค่าคงที่ของฟรอนด์ลิชซึ่งแสดงปริมาณการดูด RB5 ของ Hematite และ PANI-Hematite (K_F) และค่า Adsorption Intensity ($1/n$) ได้จากค่าจุดตัดแกน y และค่าความชันของกราฟ สรุปค่าปริมาณการดูดซับ RB5 สูงสุด (q_{max}) ค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว (K_L) ค่าปริมาณการดูดซับ (K_F) และค่า Adsorption Intensity ($1/n$) ของการดูดซับ RB5 ด้วย Hematite และ PANI-Hematite

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าคงที่และความถูกต้องของข้อมูลจากสมการแลงเมียร์ และฟรอนด์ลิชในการดูดซับ RB5 ด้วย Hematite และ PANI-Hematite

Adsorbent	Langmuir Adsorption Isotherm			Freundlich Adsorption Isotherm		
	q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_F $((\text{mg/g})(\text{L/mg})^{1/n})$	$1/n$	R^2
Hematite	2.7878	0.0292	0.9182	0.2074	0.5080	0.8298
PANI-Hematite	4.3178	0.5850	0.9918	1.5805	0.2651	0.8496

อภิปรายผล

การศึกษาสัณฐาน และลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ PANI-Hematite

จากผลการวิเคราะห์สัณฐาน และลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยเครื่อง ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope; SEM พบว่า Hematite มีรูปร่างเป็นแท่งคล้ายผลึก บริเวณพื้นผิวก่อนข้างเรียบเสมอกันเป็นชั้น ๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Han & Yin & Yao and Li, 2019) ที่กล่าวว่า พื้นผิวมีความเรียบสะอาด ไม่มีสิ่งปนเปื้อนเกาะบริเวณพื้นผิว ผลการวิเคราะห์ PANI-Hematite พบว่ามีรูปร่างเป็นแท่งคล้ายผลึก บริเวณพื้นผิวขรุขระไม่เรียบเนียนเสมอกันอาจเนื่องจาก PANI ที่เคลือบเป็นเม็ดอยู่ทั่วพื้นผิวผลึก Hematite

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ RB5 ด้วย PANI-Hematite

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ RB5 ด้วย Hematite และ PANI-Hematite โดยในการทดสอบได้ใช้ Hematite และ PANI-Hematite ปริมาณ 1% (w/v) และความเข้มข้นสารละลาย RB5 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับสีของ PANI-Hematite มากกว่า Hematite ที่ถึง 3 เท่า เพราะพอลิอะนิลีน ใน emeraldine stage บางส่วนมีประจุเป็นบวก จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ทำให้แร่เหล็กมีประจุบวกบนพื้นผิว ดังนั้นจึงเกิดการดึงดูดไฟฟ้าสถิตระหว่างกลุ่มประจุลบของสี RB5 และกลุ่มประจุบวกจากปรับสภาพพื้นผิว



จากการศึกษาเวลาที่จุดสมมูลการดูดซับ พบว่าระยะเวลา 3 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ RB5 เมื่อใช้เป็นตัวดูดซับ พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 180 นาที เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงที่สุด และหลังจากระยะเวลาที่ผ่านมาประสิทธิภาพในการดูดซับ RB5 ค่อนข้างคงที่ ดังนั้นการดูดซับด้วย PANI-Hematite เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จึงเป็นเวลาที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมมูล ซึ่งมากกว่างานวิจัยของ (Muhammad & Shah & Bilal and Rahman, 2019) ทำการดูดซับสีย้อม Basic Blue ด้วย PANI-Magnetite ซึ่งตัวดูดซับใช้เวลาดูดซับ 50 – 60 นาที

จากการศึกษาหาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับ RB5 ระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสมในการกำจัด RB5 พบว่าการใช้ PANI-Hematite ปริมาณ 3% (w/v) (ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม = 94.29%) เป็นตัวดูดซับ เหมาะสมต่อการถูกเลือกใช้เป็นปริมาณของตัวดูดซับที่เหมาะสม เนื่องจากใช้สารในปริมาณที่น้อยแต่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับ RB5 สูง ซึ่งในงานวิจัยของ (Deb & Debnath and Saha, 2019) ใช้ PANI-Hematite (nanocomposite) ปริมาณ 1 กรัมต่อลิตร ดูดซับ Methyl orange (MO) และ Eosin yellow (EY) ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมมากกว่า 98%

จากการศึกษาอิทธิพลของ pH เริ่มต้นของน้ำตัวอย่างที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ RB5 พบว่าเมื่อปรับ pH เริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 3 ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับ RB5 มีค่าสูงสุด เนื่องจาก RB5 เป็นสีย้อมที่มีประจุเป็นลบ การปรับ pH สารละลายให้เป็นกรด (pH ต่ำ) ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) บนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากตามคุณสมบัติของกรด – เบส ดังนั้นตัวดูดซับ สามารถดูดซับ RB5 ได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าศักย์ซีตา (Zeta Potential) มีค่าเป็นบวกมาก จึงดูดซับ RB5 ที่มีประจุเป็นลบได้ดี ส่งผลให้การดูดซับมีค่าสูง เป็นไปตามงานวิจัยของ (Yamada & Hayashi & Sasaki and Matijevic, 2001) กล่าวว่า Zeta potential ของ Hematite มีค่าเป็น 0 ที่ pH เท่ากับ 7.8 เป็นประจุบวกเมื่ออยู่ในสภาวะกรด และเป็นประจุลบเมื่ออยู่ในสภาวะเบส จากงานวิจัยของ (Luo & Jiang & Wu & Chen and Liu, 2012) นำ Graphene เคลือบด้วย PANI ซึ่งทำให้ค่า Zeta potential เปลี่ยนจาก -55mV เป็น -39mV

การศึกษาพฤติกรรมดูดซับ RB5 ด้วย PANI-Hematite

จากการทดลองเพื่อหาความสามารถในการดูดซับ RB5 ด้วยการใช้ PANI-Hematite เป็นตัวดูดซับ สมการไอโซเทอร์มถูกใช้เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ RB5 ที่เหลืออยู่ในสภาวะสมดุลกับความสามารถในการดูดซับ RB5 พบว่าเมื่อเขียนกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับตามสมการของฟรุนดิชและแลงเมียร์ แล้วพิจารณาค่า R^2 เข้าใกล้ 1 ที่สุดพบว่า การดูดซับ RB5 ด้วย PANI-Hematite สอดคล้องกับ Langmuir Isotherm ($R^2 = 0.9918$) มากกว่า Freundlich Isotherm ($R^2 = 0.8496$) โดยปริมาณการดูดซับ RB5 สูงสุดของ PANI-Hematite (q_m) มีค่า 4.3178 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า K_L ซึ่งเป็นค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียวมีค่า 1.67 ลิตรต่อมิลลิกรัม เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวดูดซับจะเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยโมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด



และถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มี การเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ จากงานวิจัยของของ (Deb & Debnath and Saha, 2019) พบว่า Hematite nanoparticles มีความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม เท่ากับ) 28.90 และ PANI-Hematite จากการดูดซับ Methyl orange มีความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม เท่ากับ) เท่ากับ 126.58

สรุปผลการวิจัย

การสังเคราะห์วัสดุดูดซับ PANI-Hematite จากการเติมอะมีนร่วมกับแอมโนเนียมเปอร์ซัลเฟต และ อดปข้ามคืนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และนำมาวิเคราะห์สัณฐานวิทยา ผลการศึกษาพบว่า PANI-Hematite ที่สังเคราะห์ได้ มีรูปร่างเป็นแท่งผลึก บริเวณผิวขรุขระไม่เรียบเนียน เมื่อนำ PANI-Hematite ที่สังเคราะห์ได้ (3% w/v) มาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ RB5 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าการใช้ Hematite อย่างเดียวที่ปริมาณเท่ากันถึง 3 เท่า เมื่อทดสอบปัจจัยทางปริมาณ และ pH ที่เหมาะสม พบว่า ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม คือ 3% (w/v) (ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม = 94.29%) pH เริ่มต้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3-7 และมีพฤติกรรมการดูดซับแบบขั้นเดียว ($R^2 = 0.9918$) โดย ปริมาณการดูดซับ RB5 สูงสุดของ PANI-Hematite (q_m) มีค่า 4.3178 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่า K_L ซึ่งเป็น ค่าคงที่การดูดซับแบบขั้นเดียวมีค่า 1.67 ลิตรต่อมิลลิกรัม

เอกสารอ้างอิง

- Shi, B., Zhao, C., Ji, Y., Shi, J., & Yang, H. (2020). Promotion effect of PANI on Fe-PANI/Zeolite as an active and recyclable Fenton-like catalyst under near-neutral condition. *Applied Surface Science*, 145298.
- Feizpoor, S., Habibi-Yangjeh, A., & Yubuta, K. (2018). Integration of carbon dots and polyaniline with TiO₂ nanoparticles: Substantially enhanced photocatalytic activity to removal various pollutants under visible light. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 367, 94–104.
- Guo, S., Huang, L., Li, W., Wang, Q., Wang, W., & Yang, Y. (2019). Willow tree-like functional groups modified magnetic nanoparticles for ultra-high capacity adsorption of dye. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*.
- Velzeboer, I., Kwadijk, C. J. A. F., & Koelmans, A. A. (2014). Strong Sorption of PCBs to Nanoplastics, Microplastics, Carbon Nanotubes, and Fullerenes. *Environmental Science & Technology*, 48(9), 4869–4876.



- Yamada, K., Hayashi, H., Sasaki, H., & Matijevic, E. (2001). *Solid-liquid separation and size classification of ultra-fine hematite particles using bubbles*. Proceedings of the International Conference on Colloid and Surface Science, 25th Anniversary of the Division of Colloid and Surface Chemistry. The Chemical Society of Japan, 395–398.
- Muhammad, A., Shah, A.-H. A., Bilal, S., & Rahman, G. (2019). Basic Blue Dye Adsorption from Water using Polyaniline/Magnetite(Fe₃O₄) Composites: Kinetic and Thermodynamic Aspects. *Materials*, 12(11), 1764.
- Luo, J., Jiang, S., Wu, Y., Chen, M., & Liu, X. (2012). Synthesis of stable aqueous dispersion of graphene/polyaniline composite mediated by polystyrene sulfonic acid. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 50(23), 4888–4894.
- Han, H., Yin, W., Yao, J., Li, D. (2019). Effect and mechanism of citric acid on flotation separation of siderite and hematite. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 311-323.
- Deb, A., Debnath, A., & Saha, B. (2019). *Ultrasound -aided rapid and enhanced adsorption of anionic dyes from binary dye matrix onto novel hematite/polyaniline nanocomposite: Response surface methodology optimization*. Applied Organometallic Chemistry.