Science and Technology
RMUTT Journal
Vol.9 No.2 (2019): 39-53
www.sci.rmutt.ac.th/stj
Online ISSN2229-1547

การกำจัดโลหะหนักและสีย้อมในน้ำเสียด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวง

Metal and dyes removal from waste water using lotus leaves adsorbent

อุษารัตน์ คำทับทิม[1*] และ รัฐพล หงส์เกรียงไกร [1]

[1]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

*E-mail: usarat.k@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดโลหะหนักและสีย้อมในน้ำเสียด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นโลหะและสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ น้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวง และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีย้อมคริสตัลไวโอเลตคือ ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8 ตัวดูดซับใบบัวหลวง 0.05 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมคริสตัลไวโอเลต 1400 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 นาที เมื่อทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสมพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมคริสตัลไวโอเลตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 214 มิลลิกรัมสีย้อมต่อกรัมตัวดูดซับ ส่วนสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์คือ ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5 ตัวดูดซับใบบัวหลวง 0.05 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ 1800 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 นาที เมื่อทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสมพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 76 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมตัวดูดซับ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ 2 แบบ ได้แก่ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอยด์ลิช จากผลการทดลองพบว่าลักษณะแนวโน้มเส้นกราฟที่ได้มีความสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอยด์ลิชมากกว่าไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะสเปกตรัมของตัวดูดซับใบบัวหลวงก่อนและหลังการดูดซับสีย้อมด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟรอมอินฟราเรดสเปคโทรมิเตอร์ พบว่าตัวดูดซับใบบัวหลวงหลังผ่านการดูด

Received: October 08, 2019
Revised: December 10, 2019
Accepted: December 29, 2019

ซับสีย้อมมีพีคที่เลขคลื่น 1577 1355 1170 และ 728 cm^{-1} ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมของสีย้อมคริสตัลไวโอเลต

คำสำคัญ: ใบบัวหลวง การกำจัดโลหะหนัก ตะกั่ว สีย้อมคริสตัลไวโอเลต การบำบัดน้ำเสีย

Abstract

This research aim to study metal and dyes removal from waste water using lotus leaves adsorbent. The parameters that effect on adsorption efficiency including initial pH solution, initial concentration of metal and dyes in waste water, weight of adsorbent and adsorption time were investigated. From the results, the optimum condition for crystal violet dyes removal was initial pH of solution at 8, 1400 milligrams per liter of crystal violet in waste water, 0.05 grams of adsorbent, adsorption time of 30 minutes. With optimum condition, the adsorption efficiency of crystal violet dyes was 214 milligrams dye per gram adsorbent. In a part of Pb removal, the condition that was maximum value of Pb removal from waste water was initial pH of solution at 5, 1800 milligrams per liter of Pb in wastewater, 0.2 grams of adsorbent, adsorption time of 30 minutes. The Pb removal efficiency with lotus leaves adsorbent was 76 milligrams per gram of adsorbent. The results shown the high value of metal adsorption efficiency and dyes adsorption efficiency indicated that lotus leaves adsorbent can be used as new adsorbent for Pb removal and crystal violet removal from waste water. Additionally, the adsorption isotherms that consist of Langmuir isotherm and Freundlich isotherm were conducted. The results shown that the trends of isotherm graph from this research was well agreement with Freundlich isotherm. The FT-IR spectra of adsorbents (before and after dyes adsorption) were different peaks at 1577, 1355, 1170 and 728 cm^{-1} that can be explain to the position of binding site between crystal violet dyes and adsorbent.

Keywords: lotus leaves, metal removal, lead, crystal violet dyes, water treatment

1. บทนำ

การปนเปื้อนของโลหะหนักและสีย้อมในน้ำทิ้ง นับเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากประเทศไทยมีการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรม ปิโตรเคมี อุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ อุตสาหกรรมแบตเตอร์รี่ อุตสาหกรรมสีย้อมและสิ่งทอ เป็นต้น โดยน้ำที่ผ่านกระบวนการต่างๆจากโรงงานอุตสาหกรรม จะมีการปนเปื้อนของโลหะหนักและสีย้อมบางชนิดเช่น ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม สีย้อมเมทิลีนบลู สีย้อมคริสตัลไวโอเลต สีย้อมวิคตอเรียบลู เป็นต้น โดยการปนเปื้อนของโลหะหนักและสีย้อมในแหล่งน้ำจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ [1] ซึ่งมีผลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการกำจัด

โลหะหนักและสีย้อมประเภทต่าง ๆให้น้ำทิ้งมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

วิธีการบำบัดน้ำเสียมีหลายวิธี เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน การตกตะกอนด้วยสารเคมี การใช้เทคโนโลยีเยื่อกรอง การใช้กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีและการดูดซับ โดยแต่ละวิธีการมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน สำหรับวิธีการดูดซับ นับเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ ขั้นตอนไม่ซับซ้อน วิธีการง่าย และราคาถูก ซึ่งงานวิจัยในปัจจุบันได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการใช้วัสดุทางชีวภาพและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อการกำจัดโลหะหนักและสีย้อมออกจากน้ำเสียเช่น เปลือกข้าวโพด ใบต้นสัก ใบยางพารา เปลือกถั่ว เปลือกส้ม เปลือกกล้วย ฟางชานอ้อย แก่นข้าวโพด ใบมันสำปะหลัง ใบชาและขี้เลื่อย [2] โดยมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการนำส่วนประกอบของพืชบางชนิดที่มีองค์ประกอบของแทนนิน มาใช้เป็นตัวดูดซับโดยตรง [3] หรือเตรียมตัวดูดซับจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแทนนินกับรีเอเจนต์บางชนิด [4] เนื่องจากแทนนินเป็นสารประเภทพอลิฟีนอล ซึ่งภายในโครงสร้างมีหมู่ฟังก์ชันฟีนอลิกไฮดรอกซิล (Phenolic hydroxyl) จำนวนมาก ทำให้มีคุณสมบัติการจับกับโลหะชนิดต่างๆได้ดี สำหรับรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดสีย้อมด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร โดยการนำส่วนต่างๆของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้เป็นตัวดูดซับทั้งในส่วนของใบพืช เมล็ดไฟเบอร์ และเปลือกผลไม้ เช่น เปลือกส้ม เปลือกกล้วย ใบสับปะรด ใบชา ใบปาล์มและใบฝรั่ง [5]

บัวหลวง เป็นพืชตระกูลบัวที่มีปลูกในหลายพื้นที่ของประเทศไทยเพื่อการค้าภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ เนื่องจากบัวหลวงเป็นพืชที่สามารถนำส่วนต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ได้ทั้งส่วนที่เป็นดอก เมล็ด และนิยมนำมาใช้เป็นไม้ประดับ สำหรับการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของบัวหลวงได้มีรายงานการวิจัยถึงปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดจากส่วนที่เป็นใบบัว ลำต้นของบัว และรากบัว เท่ากับ 165, 74 และ 30 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้งตามลำดับ [6] โดยส่วนที่เป็นใบบัวหลวงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำใบบัวหลวงมาใช้เป็นตัวดูดซับ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงสนใจศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักและสีย้อมด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวง โดยการใช้ใบบัวหลวงเป็นตัวดูดซับชนิดใหม่ นับเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรมาใช้ประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่มีโลหะและสีย้อมเจือปนเพื่อบำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพที่ดีก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

2.1.1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (รุ่น TB-214, บริษัท Denver Instrument)

2.1.2. เตาอบลมร้อน(รุ่น Venticell 222, บริษัท MMM Medcenter Einrichtungen GmbH)

2.1.3. โถดูดความชื้น

2.1.4. ขวดวัดปริมาตร

2.1.5. ตะแกรงร่อนคัดขนาด

2.1.6. เครื่องเขย่าสาร (รุ่น EyEla Bath 5B-24, บริษัท Tokyo Rikakikai)

2.1.7. เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น V-650, บริษัท Jasco)

2.1.8. เครื่องอะตอมมิกแอพซอปชันสเปกโตรมิเตอร์ (รุ่น PinAAcle 900T, บริษัท PerkinElmer)

2.1.9. เครื่องวัดสภาพความเป็นกรดเบส (รุ่น SP-2300, ยี่ห้อ Suntex)

2.1.10. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (รุ่น Nicolet 6700 ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific)

2.2.สารเคมี

2.2.1. กรดไนตริก (HNO_3, บริษัท Ajax Finechem)

2.2.2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, บริษัท Ajax Finechem)

2.2.3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl, บริษัท Ajax Finechem)

2.2.4. เมทิลีนบลู ($C_{16}H_{318}ClN_3S$, บริษัท Ajax Finechem)

2.2.5. คริสตัลไวโอเลต ($C_{25}H_{30}ClN_3$, บริษัท Ajax Finechem)

2.2.6. เลด(II)ไนเตรต ($Pb(NO_3)_2$, ACS certified grade, บริษัท Kemaus)

2.2.7. กลีซอลเรด ($C_{21}H_{17}NaO_5S$, บริษัท Ajax Finechem)

2.2.8. วิคตอเรียบลู ($C_{33}H_{32}ClN_3$, บริษัท Ajax Finechem)

2.2.9. สารมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์โลหะหนัก (Metal standards for AAS: Cu 1000 ppm, Cr 1000 ppm และ Pb 1000 ppm)

2.2.10. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

2.3.วิธีการทดลอง

2.3.1. การเตรียมตัวดูดซับใบบัวหลวงนำใบบัวหลวง (ใบแก่ที่โตเต็มวัย มีขนาดใหญ่พอสมควร) มาล้างน้ำให้สะอาด แล้วหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปตากแดดให้แห้ง หลังจากนั้นนำไปอบด้วยเตาอบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมโครเมตร หลังจากนั้นเก็บใบบัวหลวงบดละเอียดที่เตรียมได้ไว้ในขวดสีชาและเก็บไว้ในโถดูดความชื้น เพื่อใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

รูปที่ 1 ตัวดูดซับใบบัวหลวง

2.3.2. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียด้วยใบบัวหลวง

2.3.3.1 การเปรียบเทียบชนิดของสีย้อมและร้อยละการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียด้วยใบบัวหลวง

ชั่งตัวดูดซับใบบัวหลวง 1 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรแล้วเติมสารละลายสีย้อมที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (สีย้อมที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ เมทิลีนบลู วิคตอเรียบลู กลีซอลเรดและคริสตัลไวโอเลต) ปริมาตรสารละลายสีย้อม 25 มิลลิลิตร (แต่ละชุดการทดลองทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง, n=3) ใส่ในขวดรูปชมพู่แล้วนำขวดรูปชมพู่ ไปเขย่าบนเครื่องเขย่าสารด้วยความเร็ว 85 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องเมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำสารละลายไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกตัวดูด

ซับใบบัวหลวงและสารละลายออกจากกัน นำเฉพาะส่วนของสารละลาย ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นสีย้อมที่เหลือจากการดูดซับด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) แล้วคำนวณร้อยละการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ (% Dyes removal) และคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ (Adsorption efficiency) โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ร้อยละการกำจัดสีย้อม} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \qquad (1)$$

C_0 คือ ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น (mg/L)

C_e คือ ความเข้มข้นของสีย้อมหลังการดูดซับ (mg/L)

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม} = \frac{C_0 - C_e}{W} \times V \quad (2)$$

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (mg/L)

C_e คือ ความเข้มข้นของสีย้อมหลังการดูดซับ (mg/L)

V คือ ปริมาตรของสีย้อม (L)

W คือ น้ำหนักของใบบัวหลวง (g)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวงได้แก่ พีเอชเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม น้ำหนักตัวดูดซับ และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ รายละเอียดของแต่ละตัวแปรเป็นดังนี้

2.3.3.2 ค่าพีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการกำจัดสีย้อม

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองส่วนนี้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมคริสตัลไวโอเลตเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, และ 10 ในการทดลองชั่งตัวดูดซับใบบัวหลวงประมาณ 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่แล้วเติมสารละลายสีย้อมที่มีค่าพีเอชต่าง ๆ ลงไปในขวดรูปชมพู่ แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าสารที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง และนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตรด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (n=3) แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานแล้วคำนวณร้อยละการกำจัดสีย้อมและประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

2.3.3.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการกำจัดสีย้อม

ชั่งตัวดูดซับใบบัวหลวง 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมสารละลายสีย้อมคริสตัลไวโอเลตลงไปในขวดรูปชมพู่ (ความเข้มข้นของสีย้อมคริสตัลไวโอเลตที่ใช้ในงานวิจัยอยู่ในช่วง 100-1500 mg/L) แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าสารที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง และนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (n=3) สำหรับขั้นตอนการตรวจวัดค่าดูดกลืนแสง ในการปฏิบัติการทดลองได้มีการเจือจางความเข้มข้นของสีย้อมคริสตัลไวโอเลตให้เหมาะสมกับช่วงความเข้มข้นของกราฟมาตรฐาน (calibration curve)

2.3.3.4 น้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวง

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองส่วนนี้มีค่าพีเอชเริ่มต้นและความเข้มข้นของสีย้อมคริสตัลไวโอเลตเท่ากับค่าพีเอชและความเข้มข้นที่เหมาะสมตามผลการทดลองข้อ 2.3.3.2 -2.3.3.3 หลังจากนั้นชั่งตัวดูดซับใบบัวหลวง 0.05, 0.1, 0.15,

0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมน้ำเสียสังเคราะห์ลงไปในขวดรูปชมพู่ แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าสารที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง และนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (n=3)

2.3.3.5 เวลาที่ใช้ในการดูดซับสีย้อม

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองส่วนนี้ มีค่าพีเอชเริ่มต้นและความเข้มข้นของสีย้อมคริสตัลไวโอเลตเท่ากับค่าพีเอชและความเข้มข้นที่เหมาะสมตามผลการทดลองข้อ 2.3.3.2-2.3.3.3 โดยในการทดลองชั่งตัวดูดซับใบบัวหลวง 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมน้ำเสียสังเคราะห์ 25 มิลลิลิตร ลงไปในขวดรูปชมพู่ แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าสารที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 และ 180 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำไปกรองแยกด้วยกระดาษกรอง และนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (n=3)

2.3.3. การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของตัวดูดซับใบบัวหลวงด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR spectrometer)

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของตัวดูดซับใบบัวหลวงด้วยเครื่องฟูเรียร์-ทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์ โดยใช้สภาวะการทดลองเป็น Transmission mode ทำการสแกนในช่วงเลขคลื่น 400 - 4000 cm^{-1} ที่อุณหภูมิห้องความละเอียด (resolution) เท่ากับ 4 การเตรียมตัวอย่างเป็นแบบอัดเม็ดด้วยโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) โดยตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ตัวดูดซับใบบัวหลวงก่อนการดูดซับสีย้อม สารมาตรฐานกรดแทนนิค สารมาตรฐานสีย้อมคริสตัลไวโอเลต และตัวดูดซับใบบัวหลวงหลังการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลต

2.3.4. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวง

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อการกำจัดโลหะด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวง ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะในน้ำเสียสังเคราะห์ พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ น้ำหนักของตัวดูดซับ และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.4.1 ผลของพีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการดูดซับโลหะ

การทดลองส่วนนี้ใช้ความเข้มข้นของไอออนโลหะในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยมีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ให้เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก0.5 โมลต่อลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลต่อลิตร ในการทดลองชั่งตัวดูดซับ 0.25 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่แล้วเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอชต่าง ๆ 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำไปกรองแยกตัวดูดซับและสารละลายออกจากกันและนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอพซอพต์ชันสเปกโทร-มิเตอร์ (n=3)

2.3.4.2. ผลของความเข้มข้นโลหะเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการดูดซับโลหะ

ชั่งตัวดูดซับใบบัวหลวงประมาณ 0.25 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปรับพีเอชเริ่มต้นตามผลการทดลองข้อ 2.3.4.1 ช่วงความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ 100 –2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าสาร 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำไปกรองแยกตัวดูดซับและสารละลายออกจากกัน แล้วนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอพซอพต์ชันสเปกโทร-มิเตอร์ (n=3)

2.3.4.3. ผลของน้ำหนักตัวดูดซับต่อการกำจัดโลหะ

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองส่วนนี้มีความเข้มข้นและค่าพีเอชของสารละลายที่เหมาะสม (ตามผลการทดลองข้อ 2.3.4.1-2.3.4.2) โดยน้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงที่ใช้ในการทดลองในอยู่ช่วง 0.05 – 0.5 กรัม ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ 25 มิลลิลิตร เขย่าบนเครื่องเขย่าสาร 30 นาที เมื่อครบเวลา นำไปกรองแยกตัวดูดซับและสารละลายออกจากกันและนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอพซอพต์ชันสเปกโทรมิเตอร์ (n=3)

2.3.4.4. ผลของเวลาที่ใช้ต่อการดูดซับโลหะ

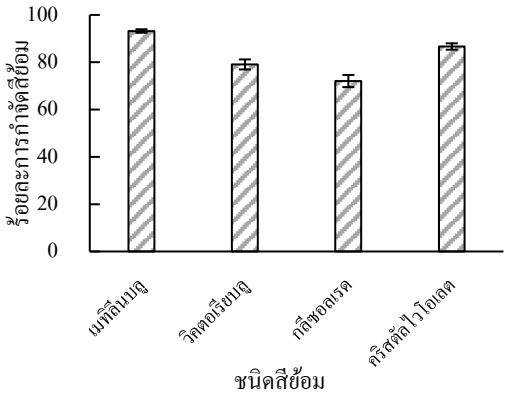
การทดลองส่วนนี้ ใช้สภาวะของการทดลองที่เหมาะสมตามผลการทดลองที่ได้จากข้อ 2.3.4.1-2.3.4.3 ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 25 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับเท่ากับ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120, 150 และ 180 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำไปกรองแยกตัวดูดซับและสารละลายออกจากกันและนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอพซอพต์ชันสเปกโทรมิเตอร์ (n=3)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีย้อมด้วยใบบัวหลวง

3.1.1. การเปรียบเทียบชนิดของสีย้อมและร้อยละการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียด้วยใบบัวหลวง

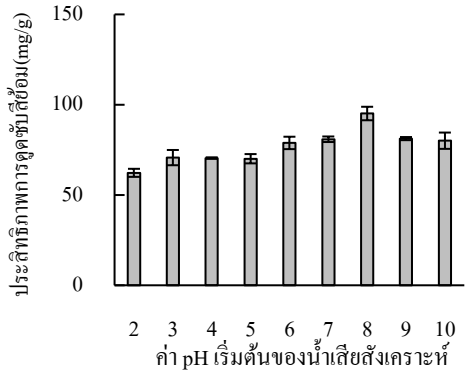
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม เมทิลีนบลู วิคตอเรียบลู กลีซอลเรดและคริสตัลไวโอเลตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวง จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูและคริสตัลไวโอเลตมีค่ามาก โดยการดูดซับระหว่างสีย้อมเมทิลีนบลูและคริสตัลไวโอเลตกับตัวดูดซับใบบัวหลวงสามารถเกิดขึ้นได้ดีเนื่องจากตัวดูดซับใบบัวหลวงมีองค์ประกอบเซลลูโลสและแทนนินที่สามารถยึดเกาะกับสีย้อมได้ดี [7] แต่เนื่องจากได้มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยตัวดูดซับหลายประเภทแล้ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีย้อมคริสตัลไวโอ-เลตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวง



รูปที่ 2 ร้อยละการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิดด้วยใบบัวหลวง

3.1.2. ค่าพีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการกำจัดสีย้อม

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์แตกต่างกัน มีผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลตด้วยใบบัวหลวงมีค่าแตกต่างกัน โดยมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมประเภทแคทไอออนิกว่าจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อค่าพีเอชของน้ำเสียมีสภาพเป็นเบส [8] ถ้าน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าพีเอชต่ำจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง เนื่องจากมีการแย่งกันเข้าไปดูดซับกับตัวดูดซับ (สีย้อมคริสตัลไวโอเลตมีประจุบวกกับไฮโดรเนียมไอออน, H_3O^+) แต่เมื่อค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าสูง (เป็นเบส) ปริมาณของไฮโดรเนียมไอออนจะมีปริมาณน้อยลงและปริมาณของไฮดรอกไซด์ (OH^-) จะเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นการลดผลของการเข้าดูดซับกับพื้นผิวตัวดูดซับ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลตเพิ่มขึ้น [8] จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์แตกต่างกัน ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมจะมีค่าแตกต่างกันด้วย โดยประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวเลตด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวงมีค่ามากที่สุดเมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 8 ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีย้อมคริสตัลไวโอเลตด้วยตัวดูดซับที่ทำมาจากเปลือกไม้แอปเปิล [9] และเปลือกข้าวดัดแปร [10] ซึ่งรายงานผลการวิจัยว่า ร้อยละการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลตมีค่าสูงสุดเมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 8

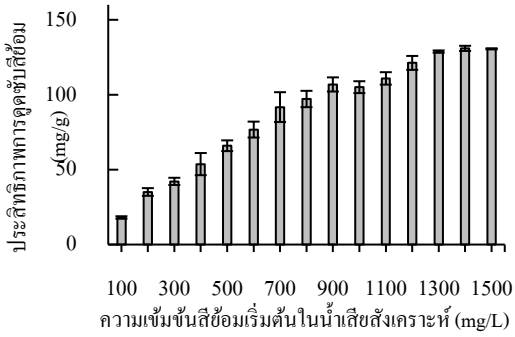


รูปที่ 3 ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม

3.1.3. ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการกำจัดสีย้อม

ในงานวิจัยส่วนนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของสีย้อมคริสตัลไวโอเลตที่อยู่ในช่วง 100-1500 mg/L น้ำหนักตัวดูดซับ 0.1 กรัม โดยน้ำเสียสังเคราะห์หลังจากผ่านการดูดซับแล้วได้มีการเจือจางความเข้มข้นของสีย้อมคริสตัลไวโอเลตให้เหมาะสมกับช่วงความเข้มข้นของกราฟมาตรฐาน (calibration curve) จากผลการทดลองดังรูปที่ 4 พบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมคริสตัลไวโอเลตในน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมจะเพิ่มมากขึ้น โดยช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมคริสตัลไวโอเลตตั้งแต่ 100-1100 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับสี

ย้อมคริสตัลไวโอเลตจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเท่ากับ 1300-1500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลตจะมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการอิ่มตัวของการดูดซับ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมคริสตัลไวโอเลตเท่ากับ 1400 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่เหมาะสมสำหรับการทดลองขั้นตอนต่อไป



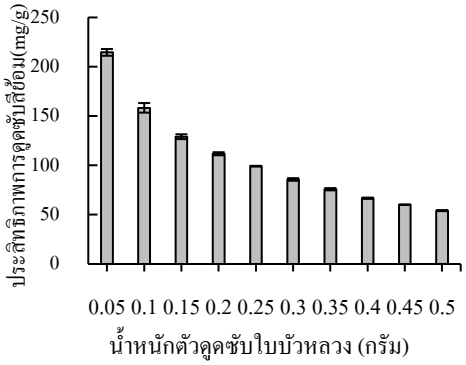
รูปที่ 4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมคริสตัลไวโอเลตต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

3.1.4. น้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงต่อการดูดซับ

ในการทดลองส่วนนี้ได้ใช้น้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงในช่วง 0.05-0.5 กรัม (ค่าพีเอชเริ่มต้นและความเข้มข้นสีย้อมคริสตัลไวโอเลตตามผลการทดลองข้อ 3.1.2. และข้อ 3.1.3) จากผลการทดลองพบว่าร้อยละการดูดซับสีย้อมจะมีแนวโน้มสูง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อน้ำหนักตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้นพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมากขึ้นส่งผลให้บริเวณที่เกิดการดูดซับ (Adsorption sites) มากขึ้น ทำให้สามารถเกิดการดูดซับได้มากขึ้น [8] นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมจากผลการทดลองพบว่าเมื่อน้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงมากขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากเกิดความอิ่มตัวของบริเวณที่เกิดการดูดซับ (Saturation of adsorption sites) [11] สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้ใช้น้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงที่เหมาะสมเท่ากับ 0.05 กรัม เนื่องจากมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลตมากที่สุด ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับสีย้อมด้วยวัสดุชีวภาพ [12]

3.1.5. เวลาที่ใช้ในการดูดซับสีย้อมต่อการดูดซับ

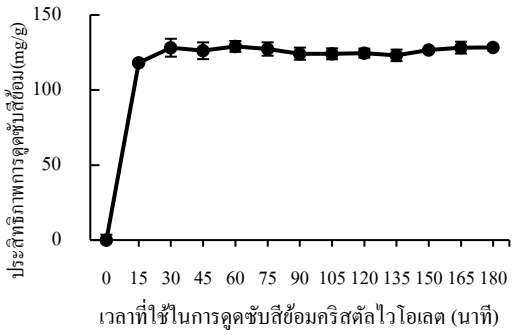
การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับต่อการกำจัดสีย้อมคริสตัลไวโอเลต โดยการทดลองใช้เวลาในการดูดซับสีย้อมเท่ากับ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 และ 180 นาที



รูปที่ 5 ผลของน้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลต

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 15 นาทีแรก และเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมออกจากน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกันดังรูปที่ 6 ซึ่งการเกิดการดูดซับสีย้อมอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจำนวนมากที่

สามารถเกิดการดูดซับได้ แต่เมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น อัตราเร็วในการดูดซับจะใกล้เคียงกัน เนื่องมากจากเกิดการเข้าสู่สมดุล (Equilibrium) [13] สำหรับงานวิจัยนี้เวลาที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมคริสตัลไวโอเลตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวงเท่ากับ 30 นาที โดยผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลตด้วยตัวดูดซับ Pinus bark powder [8]



รูปที่ 6 ผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม

3.1.6. ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อม

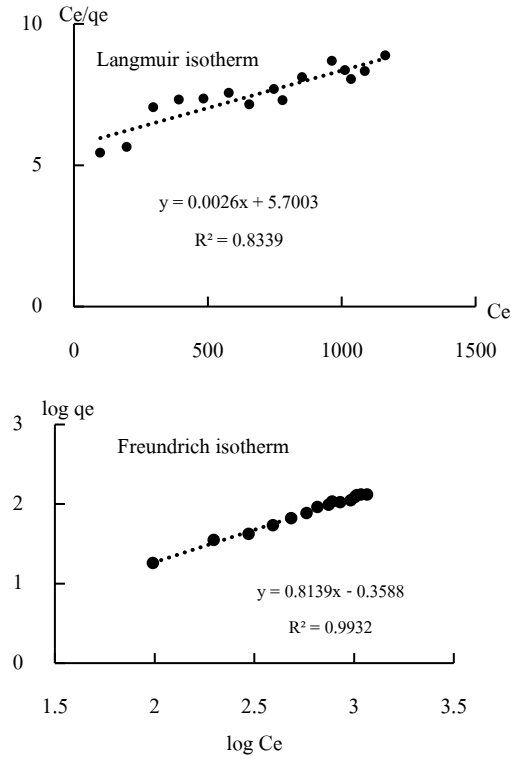
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ 2 แบบได้แก่ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Ce/qe กับ Ce และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอยด์ลิชโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง log qe กับ log Ce จากผลการทดลองพบว่าลักษณะแนวโน้มเส้นกราฟที่ได้มีความสอดคล้องกับไอโซ-เทอมการดูดซับแบบฟรอยด์ลิชมากกว่าไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (พิจารณาจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์) โดยการอธิบายไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอยด์ลิช มีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\log qe = \log KF + (1/n) \log Ce$$

โดยค่า KF (Freundlich constant) เป็นค่าบ่งบอกถึง Degree of adsorption ส่วนค่า n เป็น Empirical parameter ที่แปรตาม Degree of heterogeneity ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการกระจายของสีย้อมบนพื้นผิวของตัวดูดซับใบบัวหลวง ถ้า $1/n > 1$ จะบ่งบอกถึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับใบบัวหลวงมีปริมาณมากที่ใช้ในการดูดซับสีย้อม และถ้า $1/n < 1$ จะบ่งบอกถึงปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับใบบัวหลวงมีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับสีย้อม

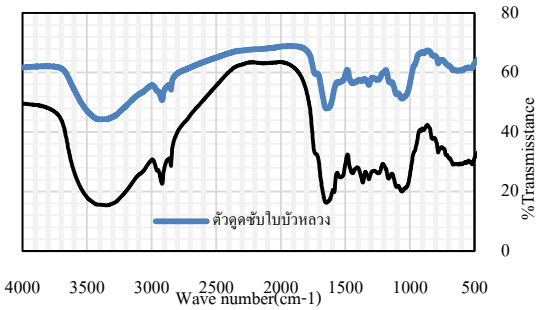
3.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของตัวดูดซับใบบัวหลวงก่อนและหลังการดูดซับสีย้อม

เมื่อเปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับใบบัวหลวงที่เตรียมได้ (ก่อนการดูดซับสีย้อม) กับสเปกตรัมอ้างอิงของสารมาตรฐานแทนนิค พบว่าตัวดูดซับใบบัวหลวงมีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญคือหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งมีลักษณะเป็นแถบสเปกตรัมที่กว้างและชัดเจนที่ช่วงเลขคลื่น (Wave number) ประมาณ 3000-3600 cm^{-1} และยังพบหมู่ฟังก์ชัน -C = O, -C = C- และ -CH ในช่วงเลขคลื่น 1000 – 1750, 1000 – 1700 และ 1000 – 1710 cm^{-1} ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนที่มีโครงสร้างแบบโซ่ตรง (Aliphatic) โครงสร้างแบบวง(Alicyclic) และโครงสร้างแบบวงแหวน (Aromatic) ที่เป็นแถบสเปกตรัมในช่วงเลขคลื่น 1047-1384 cm-1 โดยผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับใบบัวหลวงที่ได้จากงานวิจัยนี้ มีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารแทนนินที่พบในตัวอย่างพืช [14] เมื่อเปรียบเทียบลักษณะสเปกตรัมของตัวดูดซับใบบัวหลวงก่อนและหลังการดูดซับสีย้อมดังรูปที่ 8 พบว่าตัวดูดซับใบบัวหลวงหลังผ่านการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลตมีการเปลี่ยนแปลงของแถบสเปกตรัมโดยพบพีคที่เลขคลื่น1577, 1355, 1170 และ 728 cm^{-1} ตามลำดับ



รูปที่ 7 ไอโซเทอมการของดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลตด้วยใบบัวหลวง

โดยสเปกตรัมที่พบในช่วงเลขคลื่นนี้ มีความสอดคล้องกับสเปกตรัมของสารมาตรฐานสีย้อมคริสตัลไวโอเลต ซึ่งแสดงถึงการดูดซับระหว่างตัวดูดซับใบบัวหลวงและสีย้อมคริสตัลไวโอเลต นอกจากนี้เมื่อพิจารณาแถบสเปกตรัมของใบบัวหลวงหลังการดูดซับที่ช่วงเลขคลื่นประมาณ 3000-3600 cm^{-1} พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดการดูดซับระหว่างสีย้อมคริสตัลไวโอเลตซึ่งมีประจุบวก กับหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่มีประจุลบของแทนนินที่เป็นองค์ประกอบของใบบัวหลวง โดยผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่ศึกษาการกำจัดสีย้อมคริสตัลไวโอเลตด้วยใบ Calotropis procera ที่รายงานผลการวิจัยว่าการดูดซับเกิดขึ้นจาก Electrostatic attraction ระหว่างหมู่ฟังก์ชันทางเคมีในใบพืชกับโมเลกุลของสีย้อมคริสตัลไวโอเลต [15]



รูปที่ 8 IR Spectrum ของตัวดูดซับใบบัวหลวงก่อนและหลังการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลต

3.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยใบบัวหลวง

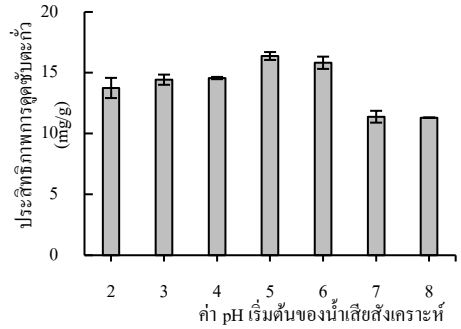
3.2.1 ผลของพีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียต่อการดูดซับโลหะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการดูดซับตะกั่ว (ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำหนักตัวดูดซับ 0.2 กรัม เวลาในการดูดซับ 30 นาที) โดยปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวงสามารถเกิดขึ้นได้ดีเมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์มีสภาพเป็นกรดซึ่งจากผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 เป็นค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสม โดยผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับตะกั่วด้วยแกนของต้นพืช P. sylvestris [16] และ

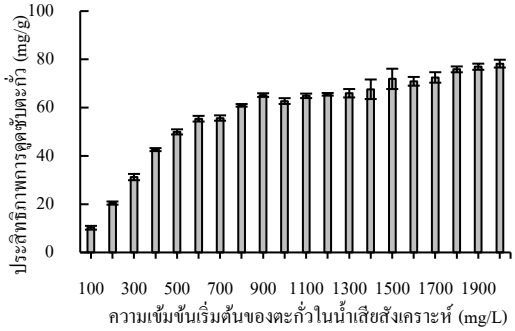
ขี้เถ้าดัดแปร [17] ซึ่งรายงานการวิจัยว่าค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสมเท่ากับ 5 โดยพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะ เพราะค่าพีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์จะส่งผลต่อความว่องไว (Activity) ของหมู่ฟังก์ชันและการแข่งขันกันของไอออนโลหะที่จะเกิดการดูดซับที่บริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับ(Active site) [4]

3.2.2 ผลของความเข้มข้นโลหะเริ่มต้นในน้ำเสียต่อการกำจัดโลหะ

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วและความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ดังรูปที่ 10 พบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์จะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ตั้งแต่ 100-900 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์อยู่ในช่วงที่มากกว่า 1000-2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยช่วงความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์ 1500-2000 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วไม่แตกต่างกันมากนักทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดความอิ่มตัว (Saturation) ที่บริเวณ Binding sites ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยเรื่องการกำจัดโลหะหนักโดยกระบวนการดูดซับด้วย Persimmon tannin activated carbon ซึ่งพบว่าเมื่อความเข้มข้นของโลหะเพิ่มมากขึ้น ตัวดูดซับจะสามารถดูดซับโลหะได้มากขึ้นจนถึงจุดสมดุล ซึ่งถ้าความเข้มข้นสูงกว่านี้โลหะจะไม่ถูกดูดซับมากขึ้น [4]



รูปที่ 9 ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพของการดูดซับตะกั่ว

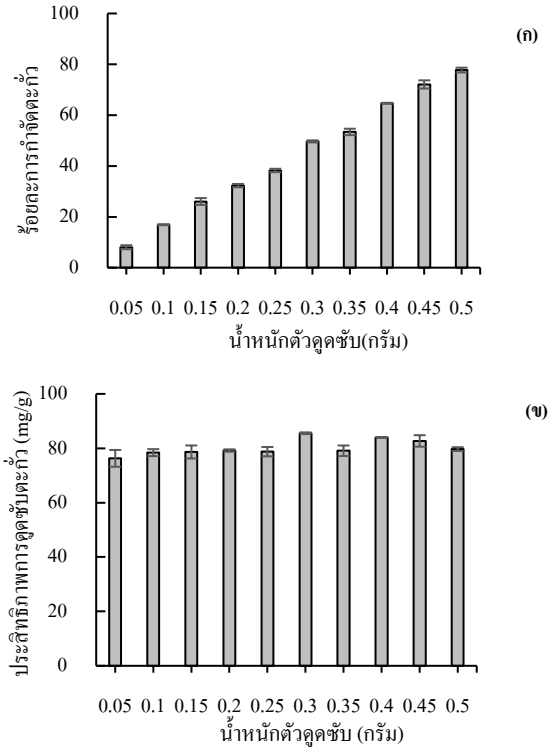


รูปที่ 10 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการดูดซับ

3.2.3 ผลของน้ำหนักตัวดูดซับต่อการกำจัดโลหะ

จากการทดลองพบว่า เมื่อพิจารณาร้อยละการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าเมื่อใช้น้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงเพิ่มขึ้น ร้อยละการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์จะมากขึ้น (รูปที่ 11ก) ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อน้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมากขึ้น ทำให้มีบริเวณที่เป็น Active site มากขึ้นจึงสามารถจับกับไอออนตะกั่วได้มากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วพบว่าเมื่อน้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงเพิ่มมากขึ้น

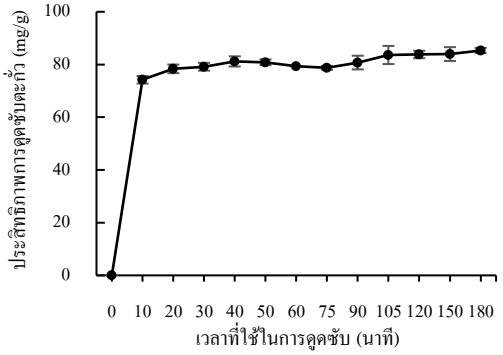
ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วจะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน (รูปที่ 11ข) ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงที่เหมาะสมเท่ากับ 0.05 กรัม เนื่องจากประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์มีค่ามากที่สุด



รูปที่ 11 ผลของน้ำหนักตัวดูดซับใบบัวหลวงต่อร้อยละการดูดซับ (ก) ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว(ข)

3.2.4 ผลของเวลาที่ใช้ต่อการกำจัดโลหะ

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วและเวลาที่ใช้ในการดูดซับดังรูปที่ 12 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ในช่วง 10 นาทีแรก และเมื่อเวลาที่ใช้ในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งการดูดซับโลหะที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเนื่องจากมีบริเวณพื้นผิวที่เป็น Active surface site อยู่เป็นจำนวนมาก แต่เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นบริเวณที่เป็น Active surface site ได้เกิดการดูดซับกับโลหะจนถึงจุดที่เป็น Adsorption equilibrium ทำให้เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับใบบัวหลวงในงานวิจัยนี้จึงใช้เวลาในการดูดซับเท่ากับ 30 นาที



รูปที่ 12 ผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว

4. สรุปผลการวิจัย

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีย้อมคริสตัลไวโอเลตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์คือ ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 8 ตัวดูดซับใบบัวหลวง 0.05 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมคริสตัลไวโอเลต 1400 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 นาที เมื่อทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสมพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมคริสตัลไวโอเลตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 214 มิลลิกรัมสีย้อมต่อกรัมตัวดูดซับ จากผลการทดลองพบว่ากลไกการดูดซับมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอยด์ลิช

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์คือ ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 ตัวดูดซับใบบัวหลวง 0.05 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ 1800 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 นาที เมื่อทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 76 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมตัวดูดซับ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย (งบรายได้ปี 2561) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการสนับสนุนด้านอุปกรณ์วิทยาศาสตร์และเครื่องมือในการวิเคราะห์จากสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] K. A. Adegoke and O. S. Bello, *Water Resources and Industry* 2015, *12*, 8-24.

[2] A. Demirbas, *Journal of Hazardous Materials* 2008, *157*, 220-229.

[3] A. Gundogdu, D. Ozdes, C. Duran, V. N. Bulut, M. Soylak and H. B. Senturk, *Chemical Engineering Journal* 2009, *153*, 62-69.

[4] Y. Wang, F. Z. Wang, T. Wan, S. L. Cheng, G. Q. Xu, R. Cao and M. Gao, *Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition* 2013, *28*, 650-657.

[5] G. Islamuddin, M. A. Khalid and S. A. Ahmad, *Ukrainian Journal of Ecology* 2019, *9*, 68-75.

[6] H.-Y. Choi, K.-h. Jung and H.-s. Shin, *Food Sci Biotechnol* 2009, *18*, 5.

[7] M. A. M. Salleh, D. K. Mahmoud, W. A. W. A. Karim and A. Idris, *Desalination* 2011, *280*, 1-13.

[8] R. Ahmad, *Journal of Hazardous Materials* 2009, *171*, 767-773.

[9] S. Jain and R. V. Jayaram, *Desalination* 2010, *250*, 921-927.

[10] S. Chakraborty, S. Chowdhury and P. Das Saha, *Carbohydrate Polymers* 2011, *86*, 1533-1541.

[11] A. Saeed, M. Sharif and M. Iqbal, *Journal of Hazardous Materials* 2010, *179*, 564-572.

[12] O. Aksakal and H. Ucun, *J Hazard Mater* 2010, *181*, 666-672.

[13] P. Saha, S. Chowdhury, S. Gupta and I. Kumar, *Chemical Engineering Journal* 2010, *165*, 874-882.

[14] T. Ogata and Y. Nakano, *Water Research* 2005, *39*, 4281-4286.

[15] Y. H. Lin, X. B. He, G. M. Han, Q. J. Tian and W. Y. Hu, *Journal of Environmental Sciences-China* 2011, *23*, 2055-2062.

[16] H. Ucun, Y. K. Bayhan, Y. Kaya, A. Cakici and O. F. Algur, *Desalination* 2003, *154*, 233-238.

[17] R. Ayyappan, A. C. Sophia, K. Swaminathan and S. Sandhya, *Process Biochemistry* 2005, *40*, 1293-1299.