



พอลิเมอร์ชีวภาพจากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง

สำหรับการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

Biopolymer from shrimp shell and lotus leaves

for heavy metal removal in waste water

อุษารัตน์ คำทับทิม^{1*} และ รัฐพล หงส์เกรียงไกร¹

¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 12110

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ชีวภาพจากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวงสำหรับการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย และหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมตัวดูดซับได้แก่ อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานจากเปลือกกุ้ง แทนนินจากใบบัวหลวง และ กลูตารัลดีไฮด์ จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมของไคโตซานต่อแทนนินเท่ากับ 1 ต่อ 2 และความเข้มข้นของกลูตารัลดีไฮด์เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดโลหะพบว่าตัวดูดซับที่เตรียมได้มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมากที่สุด สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำเสียด้วยตัวดูดซับที่เตรียมในงานวิจัยนี้คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 175 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 6 น้ำหนักตัวดูดซับเท่ากับ 0.2 กรัม เวลาในการดูดซับ 30 นาที เมื่อทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสมพบว่าตัวดูดซับที่เตรียมด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพจากเปลือกกุ้งและสารสกัดใบบัวหลวงมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 16 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับโลหะวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูรีเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้

Received: April 06, 2018

Revised: June 03, 2018

Accepted: June 05, 2018

ตัวดูดซับชนิดใหม่ที่เตรียมจากพอลิเมอร์ชีวภาพเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง สามารถใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียได้

คำสำคัญ: เปลือกกุ้ง ใบบัวหลวง การกำจัดโลหะหนัก ตะกั่ว การบำบัดน้ำเสีย

Abstract

In this research project, the preparation of biopolymer from shrimp shell and lotus leaves for heavy metal removal in wastewater was studied. The optimum condition for metal removal was investigated. The parameters that effect on the preparation of adsorbent consists of the ratio between chitosan from shrimp, tannin from lotus leaves and glutaldehyde was conducted. The results shown the optimum ratio between weight of chitosan and tannin was 1:2 and the concentration of glutaldehyde was 5 percent. The metal adsorption efficiency of prepared adsorbent was tested. The maximum adsorption efficiency of lead (Pb) was found. The optimum condition for Pb removal was 175 milligram per liter of Pb in synthetic wastewater, initial pH of solution at 6, 0.2 gram of adsorbent, adsorption time of 30 minutes. With the optimum condition, the Pb removal efficiency from wastewater with biopolymer from shrimp and lotus leaves adsorbent as 16 milligram per gram of adsorbent. The FT-IR spectra of adsorbent that prepared from the reaction between biopolymer from shrimp and lotus leaves extract before and after metal adsorption were investigated to explore the position of functional groups available for the binding of metal onto adsorbent. From the results, a new adsorbent that prepared from biopolymer from shrimp shell and lotus leaves can used for Pb removal from waste water.

Keywords: shrimp shell, chitosan, lotus leaves, metal removal, lead, waste water treatment

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษและโลหะหนักในแหล่งน้ำนับเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่ง โดยโรงงานและนิคมอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ อาจก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อมได้เช่น แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม นิกเกิล ทองแดงและแมงกานีส ซึ่งโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำสามารถถ่ายทอดสู่มนุษย์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ทำให้เกิดอาการป่วยและโรคร้ายไข้เจ็บต่างๆ[1]ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดน้ำทิ้งหรือ

กำจัดโลหะหนักออกจากรน้ำทิ้งเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะเจือปนมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน และการดูดซับ ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน สำหรับวิธีการดูดซับโลหะหนักด้วยตัวดูดซับนั้น นับเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและราคาถูก ได้มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการใช้วัสดุชีวภาพและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดโลหะหนักออก

จากน้ำเสียเช่น เปลือกส้ม เปลือกกล้วย เปลือกขุ่น แกลบ และขังข้าวโพด [2] เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ไบโอพอลิเมอร์เช่น โคลดิน โคลโคซานและแป้ง ที่ผ่านการดัดแปรมาเป็นตัวดูดซับสำหรับการกำจัด โลหะหนักออกจากน้ำเสีย [3] แต่เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของโคลโคซานที่มีความถ่วงจำเพาะที่ต่ำ และมีความพองตัวในน้ำ (Swollen in water) ส่งผลให้เกิดปัญหาในการใช้โคลโคซานเป็นตัวดูดซับโดยตรง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาและดัดแปรโคลโคซาน ด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งาน [4] นอกจากนี้ได้มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการนำพืชบางชนิดที่มีองค์ประกอบของสารแทนนินมาใช้เป็นตัวดูดซับโดยตรง [5] หรือเตรียมตัวดูดซับจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารแทนนินกับรีเอเจนต์บางชนิด [6] และการปรับปรุงประสิทธิภาพในการดูดซับด้วยวิธีการตรึง (Immobilization) กับวัสดุบางชนิดเช่น ซิลิกา [7] และคอลลาเจน [8] เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงสนใจศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมตัวดูดซับพอลิเมอร์ชีวภาพจากเปลือกกุ้ง และใบบัวหลวงสำหรับการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับชนิดใหม่สำหรับการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย ซึ่งการใช้เปลือกกุ้งและใบบัวหลวงเป็นวัตถุดิบในการเตรียมตัวดูดซับ เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรมาใช้ประโยชน์และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

- 2.1.1 ขวดสามคอแก้วแบนและคอนเดนเซอร์
- 2.1.2 เตาให้ความร้อนและกวนสาร
- 2.1.3 เทอร์โมมิเตอร์

- 2.1.4 โถดูดความชื้น
- 2.1.5 ขวดวัดปริมาตร
- 2.1.6 ตะแกรงร่อนคัดขนาด
- 2.1.7 เครื่องเขย่าสาร
- 2.1.8 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2.1.9 เครื่องอะตอมมิกแฟลชออปชันสเปกโตรมิเตอร์ (Flame-AAS)
- 2.1.10 เครื่องวัดสภาพความเป็นกรดเบส (pH meter)
- 2.1.11 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR)

2.2. สารเคมี

- 2.2.1 กรดไนตริก (Nitric acid)
- 2.2.2 เอทานอล (Ethanol)
- 2.2.3 อะซิโตน (Acetone)
- 2.2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 2.2.5 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 2.2.6 กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaldehyde)
- 2.2.7 สารมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์โลหะหนัก (Metal standards for AAS: Cu 1000 ppm, Cr 1000 ppm และ Pb 1000 ppm)
- 2.2.8 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

2.3. วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมแทนนินจากใบบัวหลวง

ทำการสกัดสารแทนนินออกจากใบบัวหลวงที่ผ่านการอบแห้งและบดละเอียดด้วยวิธีการแช่ในตัวทำละลายผสม (อะซิโตน 60% และเอทานอล 80%) เวลาในการแช่ 7 วัน อัตราส่วนน้ำหนักใบบัวหลวงต่อปริมาตรตัวทำละลายเป็น 10 กรัมต่อ 400 มิลลิลิตร เมื่อครบระยะเวลา นำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไประเหยตัวทำละลายออกโดยใช้

เครื่องระเหยสูญญากาศ แล้ว เก็บสารสกัดใบบัวหลวงที่สกัดได้ในขวดสีชา

2.3.2 การเตรียมไคตินจากเปลือกกุ้ง

นำเปลือกกุ้งที่อบแห้งและบดละเอียดแล้วไปทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาตรกรด HCl เป็น 1 กรัมต่อ 20 มิลลิลิตร กวนผสมสารตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนสาร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นกรองเฉพาะกากเปลือกกุ้งออกมาแล้วล้างน้ำให้สะอาด หลังจากนั้นนำเปลือกกุ้งที่ได้มาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาตร NaOH เป็น 1 กรัมต่อ 20 มิลลิลิตร กวนผสมสารตลอดเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นกรองแยกส่วนเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็งมาล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดจะได้สารไคติน ซึ่งนำไปทำการทดลองขั้นตอนต่อไป

2.3.3 การเตรียมไคโตซาน

นำสารไคตินที่เตรียมในขั้นตอนแรกมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 50% w/w โดยใช้อัตราส่วน 1 กรัมต่อ 20 มิลลิลิตร กวนผสมสารตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องกวนสาร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไคโตซานที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่น จนน้ำที่ล้างมีสมบัติเป็นกลาง หลังจากนั้นกรองแยกไคโตซานออกจากสารละลายแล้วนำไปอบให้แห้ง

2.3.4 การเตรียมตัวดูดซับจากปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานจากเปลือกกุ้งและแทนนินจากใบบัวหลวง

2.3.4.1 ชั่งสารไคโตซานจากเปลือกกุ้งละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 300

มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมสารสกัดจากใบบัวหลวงลงไป (อัตราส่วนโดยน้ำหนักไคโตซานต่อสารสกัดใบบัวหลวงเป็น 1:0.5 1:1 1:2 และ 1:4) แล้วปรับค่า pH ของสารละลายให้เท่ากับ 7 ด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลต่อลิตร กวนผสมสารตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนสาร เป็นเวลา 8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วกรองตะกอน และล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น

2.3.4.2 นำตะกอนที่เตรียมได้ใส่

ในขวดสามคอแก้วแบนแล้วเติมสารละลายกลูตาดีไฮด์ 50 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 2.5, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) กวนผสมสารตลอดเวลา เป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาแล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส พร้อมกวนสารตลอดเวลา เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำสารที่ได้มากรองแยกตะกอนออก แล้วล้างตะกอนให้สะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออนและอบที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตะกอนที่ได้มาบดแล้วร่อนด้วยตะแกรกร่อนขนาด 100 ไมโครเมตร



รูปที่ 1 การจัดอุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวดูดซับ

2.3.5 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของตัวดูดซับที่เตรียมได้ก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับโลหะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารสกัดแทนนินจากใบบัวหลวง โคลโคซาน จากเปลือกกุ้ง ตัวดูดซับก่อนการดูดซับและตัวดูดซับหลังดูดซับโลหะด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (รุ่น Nicolet 6700 ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific) ที่ศูนย์นาโนเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ โดยใช้สภาวะการทดลอง เป็นโหมด Transmission mode (KBr) ตัวตรวจวัดที่ใช้เป็นแบบ DTGS KBr จำนวนของการสแกนเท่ากับ 64 ความละเอียด (resolution) เท่ากับ 4 สแกนในช่วงเลขคลื่น 4000-400 nm (ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง)

2.3.6 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียด้วยตัวดูดซับที่เตรียมจากพอลิเมอร์ชีวภาพเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อการกำจัด โลหะหนักโดยใช้ตัวดูดซับที่เตรียมจากพอลิเมอร์ชีวภาพเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะในน้ำเสียดังกล่าวที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียดังกล่าว น้ำหนักของตัวดูดซับ และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.5.1 ผลของพีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียดังกล่าวต่อการดูดซับโลหะ

ในการทดลองนี้ ได้ทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียดังกล่าวให้เท่ากับ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 หลังจากนั้น ซึ่งตัวดูดซับจากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวงที่เตรียมได้ 0.1 กรัม แล้วเติมน้ำเสีย

สังเคราะห์ที่มีพีเอชต่าง ๆ 40 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการเขย่าบนเครื่องเขย่าสาร (Shaker bath) ด้วยอัตราเร็ว 85 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา ทำการกรองแยกตัวดูดซับออกจากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซออปชันสเปกโตรมิเตอร์ (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง) แล้วนำผลการวิเคราะห์มาคำนวณหาร้อยละการกำจัดโลหะ (% Metal removal) และประสิทธิภาพการกำจัดโลหะ (Metal removal efficiency) โดยมีการคำนวณดังนี้

$$\% \text{Metal removal} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

C_0 คือ ความเข้มข้นของโลหะเริ่มต้น (mg/L)

C_1 คือ ความเข้มข้นของโลหะหลังการดูดซับ

(mg/L)

$$\text{Metal removal efficiency} = \frac{C_0 - C_1}{W} \times V$$

W คือ น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)

V คือ ปริมาตรของน้ำเสีย (ลิตร)

2.3.5.2. ผลของความเข้มข้นโลหะเริ่มต้นในน้ำเสียดังกล่าวต่อการดูดซับโลหะ

น้ำเสียดังกล่าวที่ใช้ในการทดลอง มีความเข้มข้นของโลหะอยู่ในช่วง 12.5-300 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำหนักตัวดูดซับ 0.1 กรัม น้ำเสียดังกล่าวที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ (ปรับค่าพีเอชที่เหมาะสมตามผลการทดลองข้อ 2.3.5.1) 40 มิลลิลิตร ทำการเขย่าบนเครื่องเขย่าสาร ด้วยอัตราเร็ว 85 รอบต่อนาที เวลาในการเขย่า 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองแยกตัวดูดซับออกด้วยกระดาษกรอง นำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซออปชันสเปกโตรมิเตอร์

2.3.5.3. ผลของน้ำหนักรีดตัวดูดซับต่อการกำจัดโลหะ

ในการทดลองใช้น้ำหนักของตัวดูดซับเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม (น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้เท่ากับค่าพีเอชที่เหมาะสมและความเข้มข้นโลหะเริ่มต้นที่เหมาะสม) ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ 40 มิลลิลิตร ทำการเขย่าบนเครื่องเขย่าสาร ด้วยอัตราเร็ว 85 รอบต่อนาที เวลาในการเขย่า 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองแยกตัวดูดซับออกด้วยกระดาษกรอง นำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอฟซออปชันสเปกโตรมิเตอร์

2.3.5.4. ผลของเวลาที่ใช้ต่อการดูดซับโลหะ

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองส่วนนี้มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นและความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสม และใช้น้ำหนักรีดตัวดูดซับที่เหมาะสมตามผลการทดลองข้อ 2.3.5.1-2.3.5.3 และเวลาที่ใช้ในการทดลองคือ 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแยกตัวดูดซับออกด้วยกระดาษกรองเบอร์แล้วนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอฟซออปชันสเปกโตรมิเตอร์

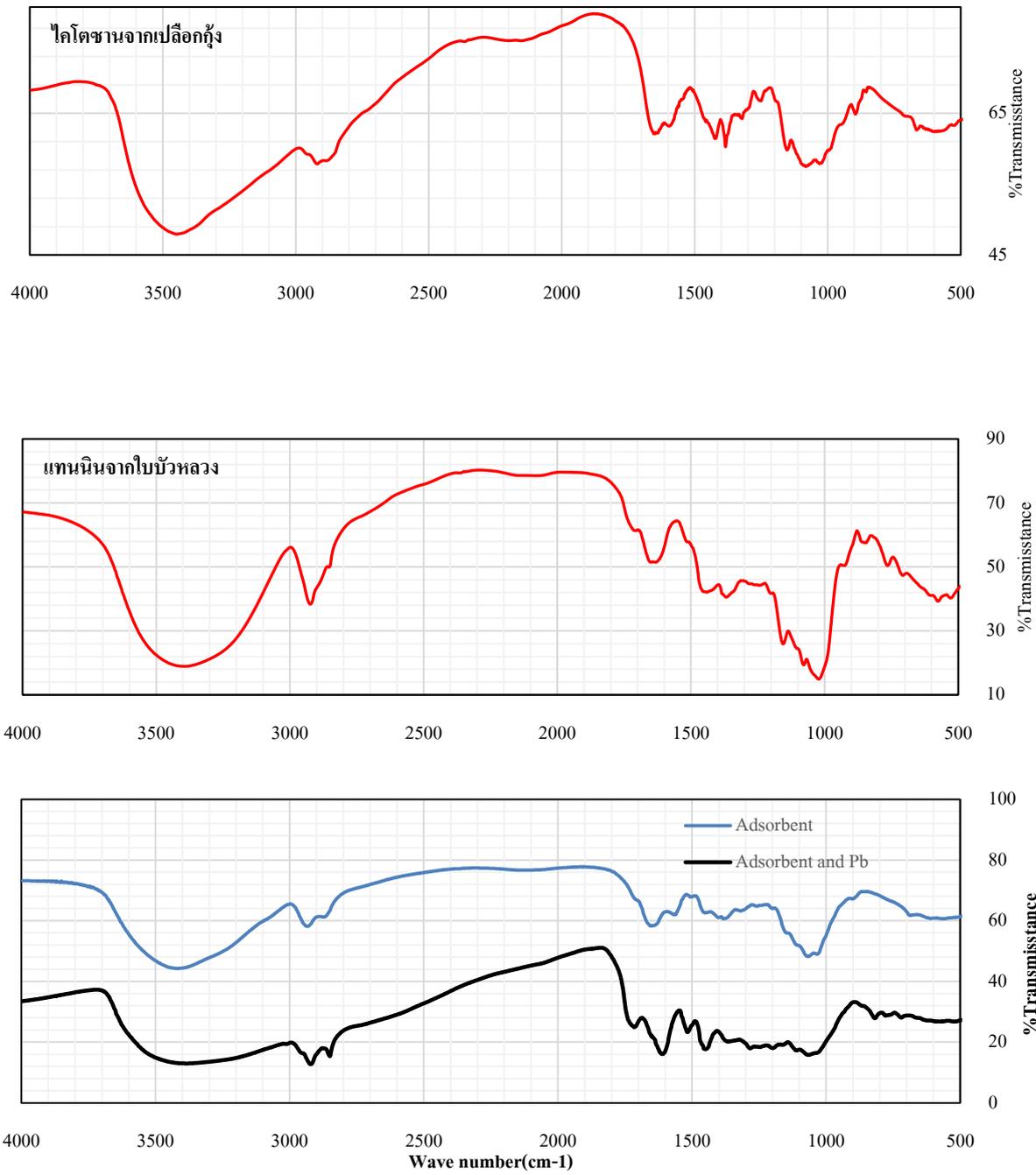
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวดูดซับจากพอลิเมอร์ชีวภาพเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง

เมื่อเตรียมตัวดูดซับพอลิเมอร์ชีวภาพจากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง โดยการทำให้ปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานจากเปลือกกุ้งและสารสกัดแทนนินจากใบบัวหลวงด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักไคโตซานต่อแทนนินเป็น 1:2 และใช้สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากการทดลองพบว่าตัวดูดซับที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีเหลืองอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวดูดซับพอลิเมอร์ชีวภาพจากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง



รูปที่ 3 IR Spectrum ของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง แทนนินจากใบบัวหลวง และตัวดูดซับที่เตรียมได้

3.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของตัวดูดซับพอลิเมอร์ชีวภาพจากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง

เมื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของตัวดูดซับด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์พบว่าตัวดูดซับที่เตรียมได้ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันฟีนอลิกไฮดรอกซิล (Phenolic O-H group) ซึ่งพบเป็นพีคกว้าง (Broad band) ที่ช่วงเลขคลื่น $3000-3600\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งมีความสอดคล้องกับพีคของหมู่ฟังก์ชันฟีนอลิกไฮดรอกซิลที่พบในสารสกัดแทนนินจากใบบัวหลวงและตัวดูดซับที่เตรียมได้ยังมีหมู่ฟังก์ชันของ N-H (1605 cm^{-1}) และ C-N (1110 cm^{-1}) ที่มีความสอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชันของไลโคซานจากเปลือกกุ้ง เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของตัวดูดซับเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสารสกัดแทนนินจากใบบัวหลวง พบว่าการลดลงของพีคช่วงเลขคลื่น $2900-3000\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคของหมู่ฟังก์ชัน aliphatic C-H groups ส่วนพีคในช่วง $1600-1650\text{ cm}^{-1}$ เป็นของหมู่ฟังก์ชัน aromatic C=C bond และพีคที่ประมาณ 1190 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ (C-O-C) โดยผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเรซินที่คัดแปรจาก quebracho tannin resin [9] นอกจากนี้ตัวดูดซับที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้ยังมีหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ เช่น C=O (1650 cm^{-1}) C-C (1444 cm^{-1}) และ OH (bending vibration 1350 cm^{-1}) เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะสเปกตรัมของตัวดูดซับก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับตะกั่วพบว่าตัวดูดซับที่เตรียมขึ้นมีลักษณะเฉพาะของพีคที่เด่น (strong peak) และเป็นแถบกว้างที่เลขคลื่น $3300-3400\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (OH) แต่เมื่อตัวดูดซับผ่านการดูดซับตะกั่ว

พบว่า absorption intensity ของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลจะมีค่าต่ำกว่าตัวดูดซับก่อนการดูดซับซึ่งแสดงถึงการมีหมู่ไฮดรอกซิลที่น้อยลงเมื่อตัวดูดซับผ่านการดูดซับตะกั่ว โดยเกิดการเชื่อมต่อ (binding) ขึ้นระหว่างตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชัน OH^- และตะกั่วไอออน (Pb^{2+}) ที่อยู่ในน้ำเสีย นอกจากนี้ตัวดูดซับหลังผ่านการดูดซับตะกั่วยังมีการเปลี่ยนแปลงของพีค (shift) ที่เลขคลื่น $1050-1100\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งอาจเกิดจากการเชื่อมต่อนระหว่างหมู่ฟังก์ชัน C-O กับ Pb^{2+} โดยมีรายงานการวิจัยที่นำเสนอว่ากระบวนการดูดซับโลหะด้วยตัวดูดซับที่เป็นวัสดุชีวภาพเกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อระหว่างไอออนของโลหะกับหมู่ฟังก์ชันทางเคมีหลายประเภท เช่น carboxyl, hydroxyl และ amide เป็นต้น ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จะเป็นบริเวณที่เกิดการเกาะจับกับโลหะ (active site) โดยประสิทธิภาพการดูดซับโลหะของตัวดูดซับขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น จำนวนของหมู่ฟังก์ชัน (abundance site) สถานะทางเคมี (chemical state) และค่าในการจับระหว่างโลหะและตัวดูดซับ (affinity) [10] สำหรับงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับตะกั่ว สามารถสรุปกระบวนการดูดซับระหว่าง Pb^{2+} และตัวดูดซับที่เตรียมขึ้นได้ว่าเป็นกระบวนการดูดซับทางเคมีที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชัน OH และ C-O ของตัวดูดซับกับไอออนของตะกั่ว Pb^{2+} ในน้ำเสีย

3.3 การเปรียบเทียบร้อยละการกำจัดโลหะในน้ำเสียโดยใช้ตัวดูดซับที่เตรียมจากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการกำจัดตะกั่วโดยใช้ตัวดูดซับที่เตรียมจากทำปฏิกิริยาด้วยอัตราส่วนไลโคซานต่อแทนนินที่แตกต่างกันดังรูป

ที่ 4 พบว่าตัวดูดซับพอลิเมอร์ชีวภาพจากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวงที่เตรียมด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 2 ให้ค่าร้อยละการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์มากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะ Cu Cr Pb Cd และ Zn ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ตัวดูดซับที่เตรียมได้จากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโลหะตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์มีค่ามากที่สุดดังรูปที่ 5 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการกำจัดโลหะตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับจากพอลิเมอร์ชีวภาพเปลือกกุ้งและสารสกัดจากใบบัวหลวงที่เตรียมด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 2 สำหรับผลของความเข้มข้นของสารละลายกลูตาไรต์ไฮด์ที่ใช้ในปฏิบัติการเตรียมตัวดูดซับ จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสารละลายกลูตาไรต์ไฮด์ที่เหมาะสมเท่ากับ 5.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เนื่องจากเมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกลูตาไรต์ไฮด์มากกว่า 5.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 6

3.4 การหาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัด

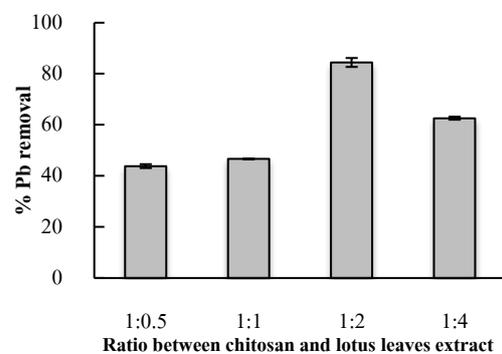
โลหะหนักออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

1. ผลของพีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียต่อการดูด

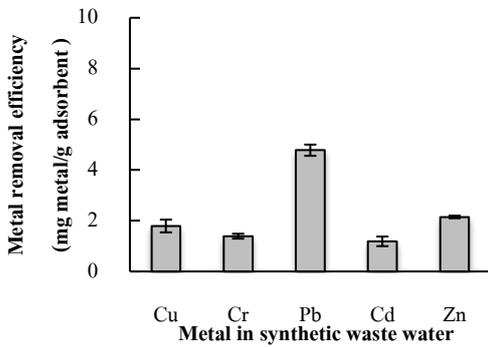
ซับโลหะ

การทดลองส่วนนี้ได้ใช้พีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 น้ำหนักตัวดูดซับ 0.1 กรัม ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาในการดูดซับ

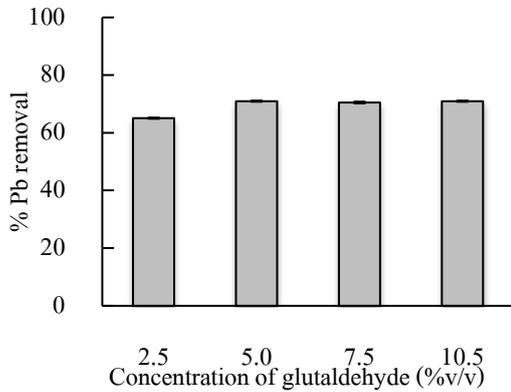
3 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าแตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วดังรูปที่ 7 ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมากที่สุดเมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 6 ดังนั้นพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้เท่ากับ 6 ซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับตะกั่วด้วย cone biomass ของ *P. sylvestris* [11] และ activated sawdust [12] พบว่าค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 โดยพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะ เพราะค่าพีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์จะส่งผลต่อความว่องไว (activity) ของหมู่ฟังก์ชันและการแข่งขันกันของไอออนโลหะที่จะเกิดการเกาะหรือดูดซับที่บริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับ (active site) [13]



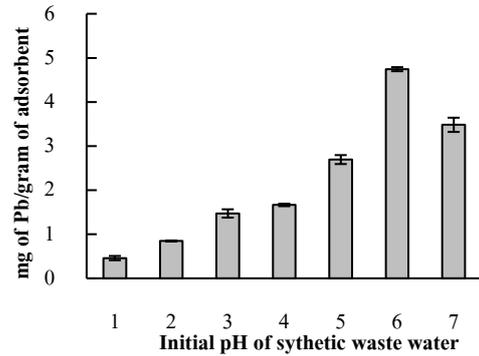
รูปที่ 4 ร้อยละการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับที่เตรียมจากอัตราส่วนการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับเมื่อใช้ตัวดูดซับที่เตรียมจากอัตราส่วนไคโดซานต่อแทนนินเท่ากับ 1 ต่อ 2



รูปที่ 6 ร้อยละการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับที่เตรียมจากการใช้กลูตารัลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นต่าง



รูปที่ 7 ผลของพีเอชเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์และประสิทธิภาพการกำจัดโลหะออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

2. ผลของความเข้มข้นโลหะเริ่มต้นในน้ำเสียต่อการกำจัดโลหะ

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 12.5, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับค่าพีเอชที่เหมาะสม ระยะเวลาในการดูดซับ 1 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำเสียด้วยตัวดูดซับพอลิเมอร์ชีวภาพเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วในน้ำเสียเท่ากับ 175 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเท่ากับ 16 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และเมื่อความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียมากกว่า 175 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดความอิ่มตัว (saturation) ที่บริเวณ binding sites ดังนั้นความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือ 175 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยเรื่องการกำจัดโลหะหนักโดยกระบวนการดูดซับด้วย persimmon tannin activated carbon [14] ซึ่งพบว่าเมื่อความเข้มข้นของโลหะเพิ่มมากขึ้น ตัวดูดซับจะสามารถดูดซับโลหะได้มากขึ้นจนถึงจุดสมดุล ซึ่งถ้าความเข้มข้นสูงกว่านี้โลหะจะไม่ถูกดูดซับมากขึ้น

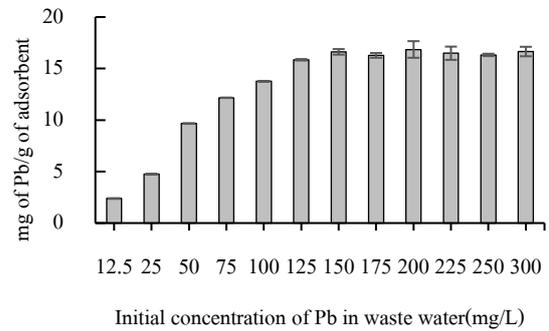
3. ผลของน้ำหนักร่างตัวดูดซับต่อการกำจัดโลหะ

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์มีค่ามากที่สุดเมื่อใช้น้ำหนักตัวดูดซับเท่ากับ 0.2 กรัม ทั้งนี้

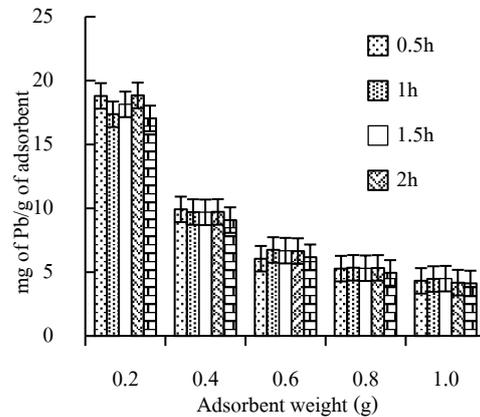
เนื่องจากปริมาณของตะกั่วเริ่มต้นในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเท่ากัน (ความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่วในน้ำเสียเท่ากับ 175 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 ปริมาตรที่ใช้ 40 มิลลิลิตร) แต่ในการทดลองใช้น้ำหนักของตัวดูดซับมากขึ้น (น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม) เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในหน่วยมิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมตัวดูดซับ จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีค่าน้อยลง เนื่องจากน้ำหนักตัวดูดซับที่ใช้เพิ่มมากขึ้น โดยในการทดลองนี้เมื่อใช้น้ำหนักตัวดูดซับ 0.2 กรัม พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเท่ากับ 16 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ ดังรูปที่ 9

4. ผลของเวลาที่ใช้ต่อการกำจัดโลหะ

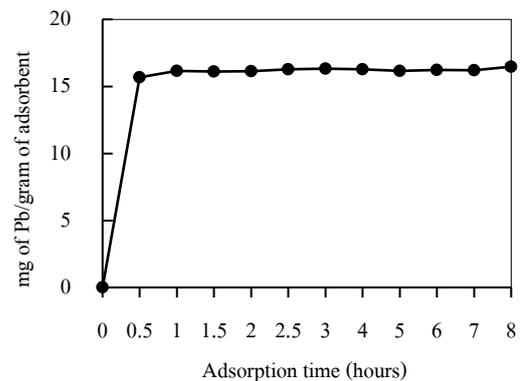
จากผลการทดลอง พบว่าร้อยละของการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก (0.5 ชั่วโมง) และค่อย ๆ ช้าลงจนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยเมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นพบว่า ร้อยละของการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 10) ซึ่งการดูดซับโลหะที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเนื่องจากมีบริเวณพื้นผิวที่เป็น active surface site อยู่เป็นจำนวนมาก แต่เมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น บริเวณที่เป็น macropore, micropore และ specific functional groups ได้เกิดการดูดซับกับโลหะจนถึงจุดที่เป็น adsorption equilibrium [14] ทำให้เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับพอลิเมอร์ชีวภาพจากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง ที่ได้จากการทดลองนี้เท่ากับ 0.5 ชั่วโมง (30 นาที)



รูปที่ 8 ผลของความเข้มข้นโลหะเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์และประสิทธิภาพการกำจัดโลหะออกจากน้ำเสียสังเคราะห์



รูปที่ 9 ผลของน้ำหนักตัวดูดซับและประสิทธิภาพการกำจัดโลหะออกจากน้ำเสียสังเคราะห์



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้และร้อยละของการกำจัดโลหะออกจากน้ำเสีย

4. สรุปผลการวิจัย

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวดูดซับพอลิเมอร์ชีวภาพจากเปลือกกุ้งและใบบัวหลวงสำหรับการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียคือการใช้อัตราส่วนในการทำปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานจากเปลือกกุ้งและสารสกัดแทนนินจากใบบัวหลวงเป็น 1 ต่อ 2 โดยน้ำหนักและความเข้มข้นสารละลายกลูตารัลดีไฮด์เป็น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับพอลิเมอร์ชีวภาพเปลือกกุ้งและใบบัวหลวงคือความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 175 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 6 น้ำหนักของตัวดูดซับ 0.2 กรัม และระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 นาที เมื่อทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 16 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ ตัวดูดซับชนิดใหม่ที่เตรียมจากพอลิเมอร์ชีวภาพเปลือกกุ้งและใบบัวหลวง สามารถใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียได้ ซึ่งการใช้เปลือกกุ้งและใบบัวหลวงเป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมตัวดูดซับชนิดใหม่สำหรับกำจัดโลหะออกจากน้ำเสีย นับเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรมาใช้ประโยชน์และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร อีกทั้งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียที่ได้จากงานวิจัยนี้ นับเป็นแนวทางและข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ ที่มีโลหะหนักเจือปน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย (งบรายได้ปี 2559) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการ

สนับสนุนด้านอุปกรณ์วิทยาศาสตร์และเครื่องมือในการวิเคราะห์จากสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Demirbas, *Journal of Hazardous Materials* 2008, 157, 220-229.
- [2] A. P. Lim and A. Z. Aris, *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology* 2014, 13, 163-181.
- [3] G. Crini, *Progress in Polymer Science* 2005, 30, 38-70.
- [4] K. Maculotti, I. Genta, P. Perugini, M. Imam, A. Bernkop-Schnurch and F. Pavanetto, *Journal of Microencapsulation* 2005, 22, 459-470.
- [5] J. Sanchez-Martin, J. Beltran-Heredia and P. Gibello-Perez, *Chemical Engineering Journal* 2011, 168, 1241-1247.
- [6] J. B. Heredia and J. S. Martin, *Journal of Hazardous Materials* 2009, 165, 1215-1218.
- [7] Y. Y. Shen, R. L. Yang, Y. Liao, J. Ma, H. Mao and S. L. Zhao, *Desalination and Water Treatment* 2016, 57, 18529-18536.
- [8] Y. S. Ho, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2004, 43, 6265-6265.
- [9] S. V. Shilova, K. A. Romanova, Y. G. Galyametdinov, A. Y. Tret'yakova and V. P. Barabanov, *Russian Journal of Physical Chemistry A* 2016, 90, 1181-1184.

- [10] J. Naser. and S. OrehZ.,
ScientificWorldJournal 2012, 2012, 793-606.
- [11] H. Uzun, Y. K. Bayhan, Y. Kaya, A. Cakici and O. F. Algur, *Desalination* 2003, 154, 233-238.
- [12] R. Ayyappan, A. C. Sophia, K. Swaminathan and S. Sandhya, *Process Biochemistry* 2005, 40, 1293-1299.
- [13] N. Friis and P. Myers-Keith, *Biotechnol Bioeng* 1986, 28, 21-28.
- [14] Y. Wang, F. Wang, T. Wan, S. Cheng, G. Xu, R. Cao and M. Gao, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 2013, 28, 650-657.