

ประสิทธิภาพของผักตบชวาต่อการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสีย

จากกระบวนการผลิตปลาร้า

ปิยนุช ใจแก้ว¹, ชาญชัย คหาปนะ², ณภัทร โพธิ์วัน^{3*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

²ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

³คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Email: naphat@g.swu.ac.th

Received: Feb 04, 2022

Revised: Apr 29, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุดูดซับจากผักตบชวาสำหรับดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตปลาร้า โดยนำผักตบชวาที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรนำไปปรับสภาพด้วยการแช่ในสารละลาย NaOH ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้มีผลต่อค่าความจุในการดูดซับไอโอดีนและหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุและลักษณะทางสัณฐานวิทยา สำหรับร้อยละการดูดซับฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำเสียจากการผลิต ปลาร้าของวัสดุดูดซับพบว่า ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 โมลาร์ มีค่าร้อยละการดูดซับฟอสเฟต เท่ากับ 83.11 ในขณะที่ผลการศึกษาไอโซเทอร์มมีการดูดซับของวัสดุดูดซับที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและวัสดุดูดซับที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH พบว่า ไอโซเทอร์มมีการดูดซับฟอสเฟตของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH สอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ โดยมีค่าความจุในการดูดซับฟอสเฟตสูงสุดเท่ากับ 2.39 มิลลิกรัมต่อกรัม กล่าวได้ว่า ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายเบสมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตและมีความน่าสนใจสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่อไป

คำสำคัญ: การดูดซับ, ฟอสเฟต, ผักตบชวา, น้ำเสียจากกระบวนการผลิตปลาร้า

Efficacy of water hyacinth on phosphate absorption from Pla-ra production process

Piyanuch Jaikew¹, Chanchai Kahapana², Naphat Phowan^{3*}

¹ Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

² Material properties analysis and development centre, Ministry of Science and Technology

³ Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University

*Email: naphat@gs.wu.ac.th

Received: Feb 04, 2022

Revised: Apr 29, 2022

Accepted: Jun 14, 2022

Abstract

This article aims to study an adsorbent for phosphate adsorption in wastewater was prepared from water hyacinth from the Pla-Ra production process. The water hyacinth was blended and sieved to particle size of 2 mm was pretreated with NaOH. The results showed that concentration of NaOH affected the adsorption capacity of iodine in the pretreated water hyacinth as well as the functional groups and morphology present in the materials. The phosphate in wastewater adsorption efficiency of 0.7M NaOH pretreated adsorbent was 83.11%. The adsorption of phosphate by NaOH pretreated water hyacinth was best described by Langmuir isotherm with the maximum adsorption capacity of 2.39 mg/g of adsorbent. Taken all together, water hyacinth pretreated with based solution can be used to adsorb phosphate, they might be applied for wastewater treatment.

Keywords: Adsorption, Phosphate, Water hyacinth, Pla-Ra production process

บทนำ

เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโควิด-19 (Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)) ส่งผลให้การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว มีการพัฒนาแบบการตลาดที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในช่วงสถานการณ์ดังกล่าว ส่งผลให้เกิดอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนในรูปแบบการจัดจำหน่ายสินค้าแบบออนไลน์ เพิ่มช่องทางในการประกอบธุรกิจ อันส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาทิ ปัญหามลพิษทางน้ำ ที่เกิดจากอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประกอบกิจการนอมอาหารประเภท ผัก ผลไม้ สัตว์น้ำเค็มและสัตว์น้ำจืดด้วยวิธีหมักดอง เช่น โรงงานปลาจืด โรงงานผักและผลไม้ดอง ที่มีจำนวนมากพบว่ามีสารละลายน้ำเสียจากกระบวนการผลิตปลาจืดที่เป็นอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนมีค่าบีโอดี ซีโอดี และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเกินเกณฑ์มาตรฐาน [1] ประกอบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีวิธีการที่หลากหลายแต่อาจไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนในส่วนของการใช้จ่ายในการลงทุน อาทิ การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้และความชำนาญเป็นพิเศษ ดังนั้น วิธีการดูดซับ (Adsorption) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย เงินลงทุน และใช้สถานที่ในการดำเนินการน้อย มีงานวิจัยที่ผ่านมาที่แสดงให้เห็นว่าการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยผลพลอยได้ทางการเกษตร เช่น ขี้เลื่อยของต้นสนเยรูซาเลม (Aleppo pine)[2] ขุยมะพร้าว[3] สามารถทำให้ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด แต่ยังมีข้อจำกัด คือ ความจุในการดูดซับยังมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการปรับสภาพวัสดุ เช่น การลดขนาด การใช้สารเคมี การใช้ความร้อน ในการปรับปรุงโครงสร้างหรือสมบัติของวัสดุดูดซับ ดังนั้น งานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ชีวมวลที่สามารถ

ย่อยสลายได้ง่ายด้วยกระบวนการทางชีวภาพมาเป็นวัสดุดูดซับ โดยเลือกผักตบชวา (Water hyacinth) ซึ่งมีปริมาณมากในแต่ละปีมาใช้ประโยชน์ ด้วยการพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำเสียจากการผลิตปลาร้า เนื่องจากมีองค์ประกอบที่เป็นเส้นใย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลลูโลสในปริมาณสูง[4] ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาน้ำเสียและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุดังกล่าวให้สูงขึ้น ประกอบกับการตอบรับกับนโยบายรัฐบาลที่มีการผลักดันให้มีการกำจัด และนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับธาตุอาหารของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ เคมี ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตปลาร้า

ขั้นตอนการวิจัย

1) การเตรียมวัสดุดูดซับ นำต้นผักตบชวาที่เก็บจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก มาล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปา แล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ตากให้แห้ง จากนั้นบดให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องบดแบบโบริมิด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บในภาชนะที่แห้งและปิดสนิท

จากนั้นนำผักตบชวาที่เตรียมได้มาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 โมลาร์ [5] ที่อัตราส่วน 1:20 นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 และล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจนสารละลายมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำปราศจากไอออน นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) การศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุดูดซับ ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีโดย

ศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Micro-scope; SEM) โดยส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FT-IR)

3) การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ของวัสดุดูดซับการทดลองนี้เป็นการหาปริมาณการดูดซับของวัสดุดูดซับจากความสามารถในการดูดซับไอโอดีนบนพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ โดยนำวัสดุดูดซับที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 [6]

4) การเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา การศึกษาการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตปลาร้าของโรงงานปลาร้า ตำบลโพางามคำตัก อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท โดยเก็บใส่ขวดแก้วสีชา ขนาด 5 ลิตร ปิดฝาให้สนิท และรักษาความคงสภาพที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปศึกษาวิเคราะห์

5) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับฟอสเฟต

- ระยะเวลาในการดูดซับ โดยชั่งวัสดุดูดซับ ปริมาณ 0.2 กรัม เติมน้ำตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1, 2, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ทำการแยกวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสียด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต

- ปริมาณวัสดุดูดซับ โดยชั่งวัสดุดูดซับปริมาณ 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม เติมน้ำตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมจากการศึกษาระยะเวลาในการดูดซับ ทำการแยกวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสียด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต

6) การวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต

ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยวิธีแอสคอร์บิก (Ascorbic acid method) [7] โดยนำไปตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV - Visible Spectrophotometer) คำนวณร้อยละการดูดซับฟอสเฟตที่ถูกดูดซับ จากสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการดูดซับ} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอสเฟต (mg/L)

C_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของฟอสเฟต (mg/L)

7) การศึกษาไอโซเทอร์มมีการดูดซับ

การวิเคราะห์ไอโซเทอร์มเพื่อใช้อธิบายรูปแบบของการดูดซับฟอสเฟต ประกอบด้วยสมการของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm) และสมการของฟรุนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm) ดังสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

เมื่อ

q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ 1 กรัม (mg/g)

q_m คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับที่อิ่มตัวบนตัวดูดซับ 1 กรัม (mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (mg/L)

K_L คือ ค่าคงที่ของแลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่ง (L/mg)

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (3)$$

เมื่อ

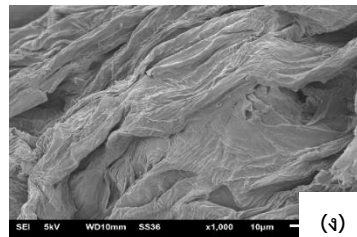
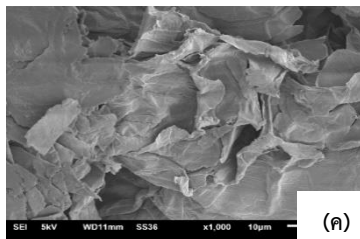
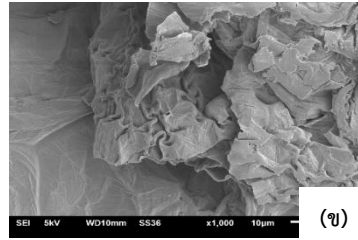
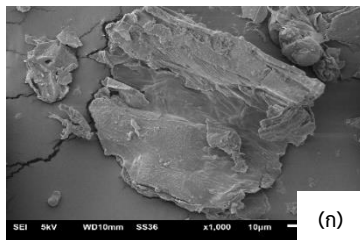
q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ 1 กรัม (mg/g)

n คือ ค่าคงที่แสดงถึงความแข็งแรงในการดูดซับ
 C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (mg/g)
 K_f คือ ค่าคงที่ของฟรันทซ์ลิชที่แสดงถึงความ สามารถในการดูดซับ (L/g)

ผลการวิจัย

1. ศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุดูดซับ ลักษณะพื้นผิวของผักตบชวาก่อนและหลังปรับสภาพด้วยสารละลาย NaOH โดยเครื่อง SEM ที่

กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่า ลักษณะพื้นผิวของ ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ (ไม่ผ่านการปรับสภาพ) แตกต่างจากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ โดย ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีลักษณะพื้นผิว ค่อนข้างเป็นแผ่นเรียบและซ้อนกันเป็นชั้นๆ ส่วน ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 โมลาร์ มีพื้นผิวขรุขระ มากขึ้น แสดงดังรูปที่ 1



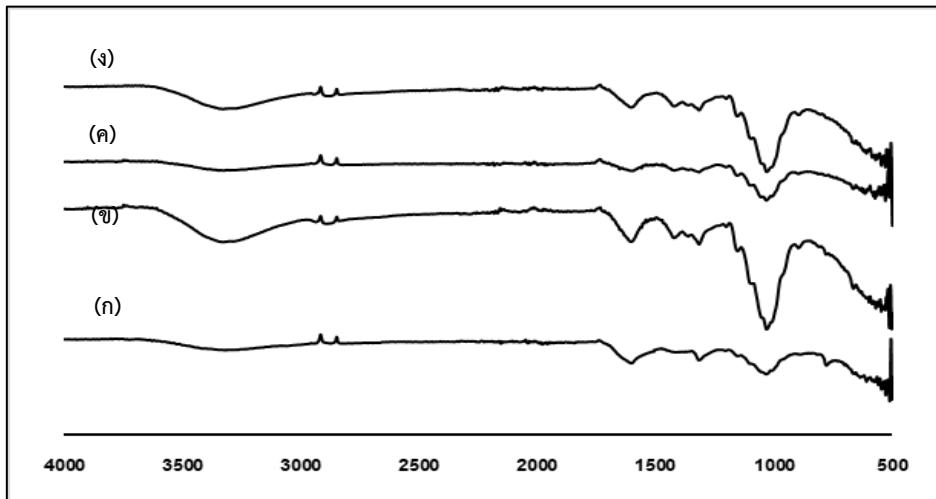
รูปที่ 1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ของ (ก) ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ข) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.3 M (ค) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.5 M และ (ง) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 M

สำหรับหมู่ฟังก์ชันของผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพโดยใช้เครื่อง FT-IR ที่เลขคลื่นในช่วง $500-4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่า สเปกตรัมผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพจะปรากฏแถบการดูดกลืนแสง (Adsorption band) ที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่ใกล้เคียงกับที่ปรากฏในผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ แต่มีความเข้มของพีคเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (OH) ที่เลขคลื่นระหว่าง $3200-3500\text{ cm}^{-1}$ และหมู่ฟังก์ชัน Carbonyl (C=O) จากกลุ่ม Carboxylate ที่เลขคลื่น

ระหว่าง $1600-1650\text{ cm}^{-1}$ รวมถึงมีการลดลงของ C=O stretching ของหมู่ Ester carbonyl ซึ่งสังเกตได้จากการลดลงของความเข้มพีคที่เลขคลื่น 1738 cm^{-1} นอกจากนี้ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพพบว่า พีคในช่วงเลขคลื่นประมาณ $1000-1150\text{ cm}^{-1}$ ปรากฏแถบการสั่นจาก C-O stretching ของกลุ่ม Alcohol ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพคตินที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของผักตบชวา ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การปรับสภาพ

ผักตบชวาด้วย NaOH ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชัน เกิดการทำลายโครงสร้างของเซลลูโลส เอมี

เซลลูโลสลิกนินและเพคติน ทำให้ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของวัสดุดูดซับ (ก) ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ข) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.3 M (ค) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.5 M และ (ง) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 M

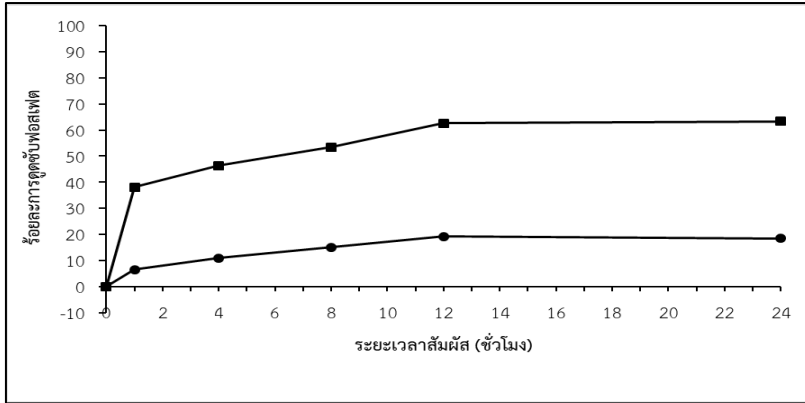
2. การดูดซับค่าไอโอดีนของวัสดุดูดซับ

การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เปรียบเทียบผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยการหาค่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number, I.N.) ได้ผลการทดลอง โดยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีค่า I.N. เท่ากับ 282.05 ± 4.15 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุดูดซับ ในขณะที่ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 โมลาร์ มีค่า I.N. เท่ากับ 401.50 ± 2.08 , 522.79 ± 4.16 และ 546.80 ± 7.21 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุดูดซับ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้ค่า I.N. ของผักตบชวาที่ปรับสภาพมีค่าสูงสุดคือ 546.80 ± 7.21 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุดูดซับ เมื่อปรับสภาพด้วย NaOH ความเข้มข้น 0.7 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ที่ความ

เข้มข้น 0.7 โมลาร์ มาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียต่อไป

3. ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับฟอสเฟต

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ คือ ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และผักตบชวาที่ผ่านปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 โมลาร์ ด้วยการเติมวัสดุดูดซับ 0.2 กรัม ในตัวอย่างน้ำเสียจากการผลิตปลาที่มามีปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น 13.69 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลาต่าง ๆ และทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตหลังการดูดซับที่เพื่อนำมาคำนวณหาร้อยละการดูดซับของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด ซึ่งพบว่า ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 โมลาร์ มีค่าร้อยละการดูดซับฟอสเฟตสูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และสภาวะสมดุลของการดูดซับคือ 12 ชั่วโมงแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียของวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาต่างกัน เมื่อ (●) คือ ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และ (■) คือ ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 M

4. ผลของปริมาณวัสดุและไอโซเทอร์มการดูดซับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำเสียของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด โดยเติมวัสดุดูดซับที่ต้องการทดสอบปริมาณ 0.2-2.0 กรัม ในตัวอย่างน้ำเสียจากการผลิตปลาไร้ที่มีปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น 12.48 ± 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตหลังการดูดซับเพื่อนำมาคำนวณหาร้อยละการดูดซับ ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับจาก 2 กรัมต่อลิตร เป็น 20 กรัมต่อลิตร ร้อยละการดูดซับของผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 15.52 เป็น 46.52 ในขณะที่ร้อยละการดูดซับของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 61.67 เป็น 83.11 โดยร้อยละการดูดซับฟอสเฟตสูงสุดของผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีค่า 46.52 และ 83.11 ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณ 20 กรัมต่อลิตรของวัสดุดูดซับ

สำหรับการศึกษาแบบจำลองการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 โมลาร์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ

ความจุในการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ (q_e) และความเข้มข้นของฟอสเฟตที่สภาวะสมดุล (C_e) อาศัยรูปแบบสมการของไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) และรูปแบบสมการของไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm) ผลการศึกษา พบว่า แบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์มีความเหมาะสมในการใช้อธิบายรูปแบบการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด มากกว่าแบบจำลองการดูดซับของฟรุนดลิช โดยเปรียบเทียบจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; R^2) ของสมการเข้าใกล้ 1 มากกว่า ที่ได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสมการทั้งสอง โดยรูปแบบสมการแบบแลงเมียร์จะเป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/q_e$ กับ $1/C_e$ สามารถคำนวณหาค่าปริมาณการดูดซับฟอสเฟตสูงสุดของวัสดุดูดซับ (q_m) และค่า K_L ซึ่งเป็นค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว และเป็นสัดส่วนระหว่างอัตราการดูดซับต่ออัตราการคายการดูดซับได้จากค่าจุดตัดแกน y และค่าความชันของกราฟ จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ ในขณะที่รูปแบบสมการแบบฟรุนดลิชจะเป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log q_e$ กับ $\log C_e$ สามารถหาค่าคงที่ของสมการแบบฟรุนดลิชที่แสดงปริมาณการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ (K_F) และค่า

Adsorption Intensity ($1/n$) ได้จากค่าจุดตัดแกน y และค่าความชันของกราฟ [8] จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ตามรูปแบบสมการแบบฟรอนดลิชได้ โดยผักตบชวาผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 โมลาร์ และผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีค่าความจุสูงสุดในการดูดซับ (q_m) เท่ากับ 2.39 และ 0.80 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และมีค่าคงที่ของแลงเมียร์ (K_L) เท่ากับ 0.055 และ 0.037 ลิตรต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีความจุในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพอย่างเห็นได้ชัดแสดงดังตารางที่ 1

ไอโซเทอร์ม แบบแลงเมียร์	ผักตบชวาที่ไม่ ผ่านการปรับ สภาพ	ผักตบชวาที่ ผ่านการปรับ สภาพ
R^2	0.8540	0.9630
q_m (mg/g)	0.08	2.39
K_L (L/g)	0.037	0.055
ไอโซเทอร์ม แบบฟรอนดลิช	ผักตบชวาที่ไม่ ผ่านการปรับ สภาพ	ผักตบชวาที่ ผ่านการปรับ สภาพ
R^2	0.8149	0.9147
K_F	0.009	2.852
$1/n$	1.725	0.2943

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ลักษณะพื้นผิวของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 โมลาร์ จะมีพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้นซึ่งอาจเป็นผลจากความสามารถของ NaOH ในการย่อยสลายองค์ประกอบจำพวกลิกนิน อีกทั้งยังสามารถทำลายความเป็นโครงสร้างแบบผลึกของเซลลูโลส (Cellulose crystalline) ส่งผลให้ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีความเป็นรูพรุนมากกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป เช่น หมู่ Ester จะถูกไฮโดรไลซ์ด้วย NaOH เกิดเป็นกลุ่ม Carboxylate และ Alcohol [9]

ในกรณีของค่า I.N. ที่พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามระดับความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่ใช้ปรับสภาพ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการที่ NaOH มีผลต่อพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับโดยเฉพาะส่วนที่เป็นเยื่อใย ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จะทำให้องค์ประกอบจำพวกเซลลูโลสเกิดการบวมตัวมากขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มการย่อยสลายลิกนินบนพื้นผิวของวัสดุ [10] ที่แสดงให้เห็นว่าเปลือกของลูกสนมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ปรับสภาพ และจากกราฟที่ 2 ยังเห็นพีดในช่วงเลขคลื่นประมาณ $1000-1150\text{ cm}^{-1}$ ปรากฏแถบการสั่นจาก C-O stretching ของกลุ่ม Alcohol ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชัน เกิดการทำลายโครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพคติน ทำให้ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุภาวดี [11] ที่พบว่า การปรับสภาพวัสดุดูดซับจะมีผลให้พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับเพิ่มขึ้น และสามารถดูดซับไอโอดีนได้มากกว่าวัสดุดูดซับที่ไม่ได้ปรับสภาพ และยังสอดคล้องกับลักษณะพื้นผิวจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งพบพื้นผิวของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH มีความขรุขระมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น พื้นผิวของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH สามารถดูดซับฟอสเฟตซึ่งเป็นไอออนลบ โดยร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงชั่วโมงแรก หลังจากนั้นร้อยละการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง และมีค่าคงที่จนถึง 24 ชั่วโมง นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับสามารถส่งผลต่อการดูดซับฟอสเฟต เนื่องจากการเพิ่มปริมาณวัสดุที่ใช้ในการดูดซับจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยา [12]

เมื่อพิจารณารูปแบบการดูดซับฟอสเฟตของการศึกษาครั้งนี้ สอดคล้องกับรูปแบบสมการของไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ซึ่งการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็น

การดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) ที่มีความสม่ำเสมอ (Homogenous) ที่อยู่บนพื้นที่ของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด มีตำแหน่งในการดูดซับมีปริมาตรที่แน่นอน [13] จากผลการศึกษาดังกล่าว สรุปได้ว่าเมื่อมีการปรับสภาพวัสดุดูดซับด้วยต่างทำให้สมบัติที่เปลี่ยนไป ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันและลักษณะทางสัณฐานวิทยา อีกทั้งสมบัติของวัสดุดูดซับมีความเหมาะสมในการดูดซับและเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตได้ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ คือระยะเวลาสัมผัสดำเนินการ 12 ชั่วโมง และที่ปริมาณวัสดุดูดซับ 20 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการดูดซับถึงร้อยละ 46.52 และ 83.11 ตามลำดับ โดยผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยต่างมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำเสียจากการผลิตปลาอย่างเห็นได้ชัด สำหรับการศึกษาการดูดซับฟอสเฟตด้วยไอโซเทอร์ม พบว่า แบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์มีความเหมาะสมในการใช้อธิบายถึงรูปแบบการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด ซึ่งอธิบายได้ว่า การดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว และพื้นที่ผิวของการดูดซับเป็นปัจจัยการดูดซับที่สำคัญ กล่าวได้ว่าผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยต่างมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตและมีความน่าสนใจสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการพัฒนาธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณโรงพยาบาลรำในพื้นที่ตำบลโพนางตาดอก อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำสำหรับการวิจัย และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของวัสดุ ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้

ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์

References

- [1] J. Ponlasan, T. Pattamapitoon, O. Phewnil, and K. Chunkao., "Wastewater Treatment from Pla Som Production Process through Constructed Wetland". In: Proceedings of the 13th KU-KPS Conference; 8-9 December 2016. Nakhon Pathom. pp. 1547-1553. 2016. (in Thai).
- [2] S. Benyoucef., and M Amrani., "Adsorption of phosphate ions onto low-cost Aleppo pine adsorbent Desalination", vol 275(1), pp.231-236. 2011.
- [3] K.Krishnan., and A .Haridas., "Removal of phosphate from aqueous solutions and sewage using natural and surface modified coir pith" *Journal of Hazardous Materials*, Vol .152, pp. 527-535. 2008.
- [4] P. Prasannam., "Removal of heavy metal ions from solution using ion exchangers based on hydroxyethyl cellulose". M.S. thesis, Dept. Eng., Silpakorn University. 2004. (in Thai).
- [5] D. Kolodynska., R.Wnetrzak, J.J. Leahy., and et al.. "Kinetic and Adsorptive Characterization of Biochar in Metal Ions Removal". *Chemical Engineering Journal*, Vol.197, pp. 295-305. 2012.
- [6] ASTM Committee on Standards. *Standard Test Method for Determination of Iodine number of Activated carbons*. In annual Book of ASTM Standards. pp. 112-125.

- [7] APHA-AWWA. *Standard methods for the examination of water and wastewater 4500 - P*. 22th Edition. Washington, DC: APHA-AWWA- WEF. 2012.
- [8] S. Waiyasusri., "Phosphate removal in wastewater by adsorption on calcium carbonate and calcium oxide from eggshell". *The Journal of KMUTNB*. Vol. 26(3), pp. 475-486. 2016. (in Thai).
- [9] S. Waiyasusri., "Phosphate removal in wastewater by adsorption on calcium carbonate and calcium oxide from eggshell". *The Journal of KMUTNB*. Vol. 26(3), pp. 475-486. 2016. (in Thai).
- [10] W Wan Ngah., and M. Hanafiah., "Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents". *Bioresource Technology*. Vol.99, pp.3935-3948. 2008.
- [11] A.E. Ofomaja., E.B. Naidoo., and S.J. Modise., "Removal of copper (II) from aqueous solution by pine and base modified pine cone powder as biosorbent". *Journal of Hazardous Materials*, Vol.168, pp. 909-917. 2009.
- [12] S. Pillai., D. Mullassery., B. Fernandez., and et al. "Biosorption of Cr (VI) from aqueous solution by chemically modified potato starch: Equilibrium and kinetic studies". *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.92, pp.199-205. 2013.
- [13] S. Polpasert., "Pretreatment of lignocellulose materials for ethanol production". *Journal of Science and Technology*. Vol. 5, pp. 641-649. 2014. (in Thai).
- [14] F. Nady.j E. Ola., and B. Laila., "Effectiveness of alkali-acid treatment in enhancement the adsorption capacity for rice straw: The removal of methylene blue dye". *Physical chemistry*. pp.1-15. 2013.