

การศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับทางชีวภาพ

ต่อการดูดซับไอออนของตะกั่วจากตัวอย่างน้ำสังเคราะห์

Study of Biosorbent Efficiency for Lead Ion
Adsorption from Synthetic Water

กรรณิการ์ แก้วกิม

อัจฉนา ขำทิพย์

ศรমন สุทิน

มณฑลลี วีรธรรมาภักดิ์กุล

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ปีการศึกษา 2557

ชื่อเรื่อง	การศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับทางชีวภาพต่อการดูดซับไอออนของตะกั่วจากตัวอย่างน้ำสังเคราะห์
ผู้วิจัย	กรรณิการ์ แก้วกิม อัจฉนา ขำทิพย์ ศรมน สุทิน มณฑล ธีรอภิศักดิ์กุล
สถาบัน	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
ปีที่พิมพ์	2559
สถานที่พิมพ์	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
แหล่งที่เก็บรายงานฉบับสมบูรณ์	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
จำนวนหน้างานวิจัย	42 หน้า
คำสำคัญ	สารปนเปื้อน โลหะหนัก การดูดซับทางชีวภาพ มวลชีวภาพ
ลิขสิทธิ์	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับในการดูดซับ Pb^{2+} จากตัวอย่างน้ำสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับชีวภาพจำนวน 11 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย เปลือกไข่ไก่ เปลือกส้มโอ เปลือกกล้วย เปลือกสับปะรด เปลือกข้าวโพด หนวดข้าวโพด ผักตบชวา จอก แหน ว่านกาบหอย และใบสารภีทะเล ประสิทธิภาพในการดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบและสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุดของตัวดูดซับแต่ละชนิด ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ pH (2-7) ของน้ำสังเคราะห์ ปริมาณของตัวดูดซับ (12.5-150 มิลลิกรัม) และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (15-180 นาที) หลังจากนั้นได้ศึกษาจลศาสตร์ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด พบว่ากระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นกับตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิดนั้นสอดคล้องกับแบบจำลองของ Pseudo-second-order ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสามารถกำจัด Pb^{2+} จากน้ำสังเคราะห์ได้ดี ด้วยวัสดุชีวภาพ ที่มีราคาถูกและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Research Title Study of Biosorbent Efficiency for Lead Ion Adsorption from Synthetic Water

Researchers Kannika Keawkim
Achjana Khamthip
Soramon Sutin
MontaleeTheeraapisakkun

Institution Huachiew Chalermprakiet University

Year of Publisher 2016

Publisher Huachiew Chalermprakiet University

Sources Huachiew Chalermprakiet University

No. of Pages 42 pages

Keywords contaminants, metal, biosorption, biomass

Copyright Huachiew Chalermprakiet University

ABSTRACT

In this work, biosorbent efficiency for Pb^{2+} adsorption from synthetic water was studied. The adsorbent consists of 11 types including egg peel, pomelo peel, banana peel, pineapple peel, corn peel, corn silk, water hyacinth, water lettuce duckweed, oyster plant and Borneo mahogany leaves. The varied biosorbents revealed the different in adsorption efficiencies. Their adsorption efficiencies depended on the functional groups and the experimental conditions. To investigate the best adsorption for each adsorbent, pH (2-7), mass of adsorbent (12.5 - 150 mg) and contact time (15 - 180 min) were examined. Then, the kinetic studies for all biosorbents were evaluated. Their results were correlated with pseudo-second-order kinetic model. From this research, Pb^{2+} can be removed from synthetic water by the biosorbents which are cheap and environmentally friendly.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากหลายหน่วยงานในมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ จึงขอขอบคุณ คณะเภสัชศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์สำหรับการทำวิจัย นักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หลักสูตรจุลชีววิทยาอุตสาหกรรมที่สละเวลาเพื่อช่วยงานในการทำวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและจัดหาอุปกรณ์เครื่องแก้ว และขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะกรรมการวิชาการ และสำนักงานเลขานุการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่คอยอำนวยความสะดวกและอนุเคราะห์เวลาในการทำงานวิจัยภายนอกมหาวิทยาลัย นอกจากนี้ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ สำหรับการตรวจแก้โครงร่างงานวิจัย

ประโยชน์และคุณงามความดีที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้กับ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางวิชาการ และประสบการณ์ที่ดี จนทำให้เกิดงานวิจัยที่เป็นประโยชน์นี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมติฐานการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
นิยามศัพท์เฉพาะ	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย	6
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	8
3.1 อุปกรณ์	8
3.2 สารเคมี	8
3.3 การทดลอง	9
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการทดลอง	12
4.1 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด	12
4.2 ศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับ	13
4.3 ศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อการดูดซับ	17
4.4 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมและจลศาสตร์การดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ซ้ำตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด	22
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม	26
ภาคผนวก	
ก ตารางแสดงเวลาในการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด	29
ข กราฟแสดงจลนศาสตร์การดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด	35
ค รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่าง สถาบัน ครั้งที่ 3	39
ประวัติย่อผู้วิจัย	43

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ผลของการดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด ที่ pH ต่างๆ	14
2 ผลของการดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด ที่ปริมาณต่างๆ	17
3 ตัวบ่งชี้ที่ได้จากสมการ pseudo-first-order และ pseudo-second-order	21
4 ผลการวิเคราะห์ Pb^{2+} ที่เหลือ จากการวิเคราะห์น้ำที่ใช้ล้างตัวดูดซับ	22
5 แสดงผลการใช้ซ้ำของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด จำนวน 3 ครั้ง	23



สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แสดงผลของโครงสร้างบนพื้นผิวของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด	13
2 ผลของ pH ที่ใช้ดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด	14
3 ผลของเวลาที่ใช้ดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด	18



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การพัฒนาเทคโนโลยี การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมเกินขีดจำกัด ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา โดยในช่วงเดือนมีนาคมที่ผ่านมา ชาวบ้านได้ร้องเรียนว่าได้รับผลกระทบจากการลักลอบปล่อยน้ำเสียออกสู่พื้นที่ว่างเปล่าและคลองสาธารณะของโรงงานแยกสารทองแดง ขณะที่แพทย์ตรวจสอบสุขภาพชาวบ้านพบว่า มีสารตะกั่วในร่างกายในปริมาณสูง [1] ต่อมาในเดือนพฤษภาคม กระทรวงสาธารณสุขได้ติดตามเฝ้าระวังปัญหาด้านสุขภาพทั้งเด็กและผู้ใหญ่ที่ได้รับสารพิษตะกั่วจากการประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากพบปริมาณตะกั่วในเลือดสูงเกินค่ามาตรฐาน [2] จากข่าวที่ผ่านมาเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

ตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะหนักที่เป็นพิษมาก นิยมนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในหลายภาคส่วน เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานผลิตสี แบตเตอรี่ การชุบโลหะ โรงงานสิ่งทอ โรงงานทำกระดาษ หรือจากภาคการเกษตร ได้แก่ การใช้ยาปราบศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี เมื่อมนุษย์ได้รับสารตะกั่วเข้าไปในร่างกายทั้งจากการสูดดมหรือรับประทานอาหารที่มีตะกั่วปนเปื้อน หากได้รับต่อเนื่องเป็นเวลานานจะส่งผลต่อทั้งระบบย่อยอาหารและระบบประสาท เช่น ปวดท้อง น้ำหนักลด อาเจียน คลื่นไส้ ทรงตัวไม่อยู่ เกิดประสาทหลอน เป็นอัมพาต และอาจถึงขั้นเสียชีวิต [3]

น้ำทิ้งที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนของตะกั่วจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำรงชีวิต และทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในแหล่งน้ำนั้นจนเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ให้มีค่ามาตรฐานของตะกั่วไม่เกิน 0.2 mg dm^{-3} [4]

เพื่อลดการรั่วไหลของโลหะหนักลงสู่สิ่งแวดล้อม จึงต้องมีวิธีการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่ธรรมชาติได้แก่ วิธีออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis) [5] การกรองแยก

ด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis) [6] การกรอง (Filtration) [7] การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion-exchange) [8] และการตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมี (Chemical precipitation) [9] ซึ่งวิธีดังกล่าวมีข้อเสียคือใช้สารเคมีปริมาณมาก มีราคาแพง ไม่สามารถกำจัดโลหะหนักออกได้อย่างสมบูรณ์ เทคโนโลยีดูดซับทางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้มวลชีวภาพธรรมชาติในการดูดซับ เป็นวิธีการกำจัดโลหะหนักที่ประหยัด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำตัวดูดซับชีวภาพกลับมาใช้ใหม่ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาค่า pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) ของตัวดูดซับทางชีวภาพ 11 ชนิด ได้แก่ ตัวดูดซับจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 6 ชนิด ดังนี้ เปลือกไข่ไก่ เปลือกส้มโอ เปลือกกล้วย เปลือกสับปะรด เปลือกข้าวโพด และหนวดข้าวโพด จากวัชพืช 3 ชนิด ประกอบด้วย ผักตบชวา จอกแหน และจากพืช 2 ชนิด ได้แก่ ว่านกาบหอย และใบสารภีทะเล

2. เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของตัวดูดซับทางชีวภาพทั้ง 11 ชนิด ต่อการดูดซับ Pb^{2+}

สมมติฐานของการวิจัย

ตัวดูดซับซึ่งเตรียมจากมวลชีวภาพมีองค์ประกอบเป็น Polysaccharide จำพวก pectin, cellulose และ hemicellulose ที่มีหมู่ hydroxyl และหมู่ carboxyl เป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับไอออนของโลหะหนักบนพื้นผิวของตัวดูดซับได้ ปริมาณไอออนของตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำจึงลดลง

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับชีวภาพในการดูดซับปริมาณไอออนของตะกั่วจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และตรวจวัดปริมาณไอออนของตะกั่วที่เหลือจากการดูดซับด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy; AAS) และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับชีวภาพด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

นิยามศัพท์เฉพาะ

สารปนเปื้อน (contaminants) หมายถึง สารชีวภาพ สารเคมี หรือสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนที่อาจก่อให้เกิด ความไม่ปลอดภัย

โลหะหนัก คือ โลหะ (metal) ที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่าขึ้นไป ได้แก่ ดีบุก แคดเมียม สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว สารหนู ปะรอท มีอัตราการขยายตัวค่อนข้างช้า ทำให้สะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน เป็นมลพิษทางน้ำ มนุษย์รับโลหะหนักจากน้ำ พีชน้ำ และสัตว์น้ำ เข้าสู่ร่างกายจากการกินตามห่วงโซ่อาหาร

การดูดซับทางชีวภาพ (biosorption) หมายถึงการดูดซับโลหะหนักด้วยมวลชีวภาพ ซึ่งเป็นการกระทำทางเคมี ฟิสิกส์ ที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะหนัก/กลุ่มโลหะหนักที่มีประจุกับเซลล์จุลินทรีย์

มวลชีวภาพ (biomass) เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเกษตร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ด้วยตัวดูดซับที่เตรียมมาจากมวลชีวภาพ ซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่นและราคาถูก และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
2. สามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ได้

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การปนเปื้อนของโลหะในน้ำส่วนใหญ่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานผลิตสี แบตเตอรี่ การชุบโลหะ โรงงานสิ่งทอ โรงงานทำกระดาษ หรือจากการเกษตร ได้แก่ การใช้ยาปราบศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้ชุมชนและครัวเรือน ได้ปล่อยน้ำทิ้งและของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งนำไปสู่การสะสมของโลหะแคดเมียม และตะกั่ว ในดิน น้ำ และอากาศ ทำให้เข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต

วิธีการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ วิธีออสโมซิสย้อนกลับ [5] (Reverse osmosis) จากการศึกษาในปี 2552 โดย Bakalar และคณะ ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักของทองแดง นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้วิธี ออสโมซิสย้อนกลับซึ่งเป็นการแยกสารละลาย ที่ใช้ความดันเป็นแรงผลักดันให้สารละลายไหลผ่านเยื่อเลือกผ่าน polyamide ซึ่งตัวทำละลายบริสุทธิ์จะไหลผ่านไปอีกด้านหนึ่งของเยื่อเลือกผ่าน ส่วนตัวถูกละลายยังคงอยู่ด้านเดิม ทำให้สามารถแยกไอออนของโลหะได้

ต่อมา David และคณะ ได้นำเอาเทคนิคการกรองแยกไอออนด้วยไฟฟ้า [6] (Electrodialysis) มาใช้ในการกำจัดโลหะแคดเมียมออกจากน้ำ ซึ่งเป็นกระบวนการที่แยกไอออนด้วยไฟฟ้า ในระบบการแยกจะประกอบด้วยขั้วเซลล์ที่มีประจุบวก-ประจุลบ และเยื่อกรองแบบซึมผ่านได้โดยทำให้ไอออนเคลื่อนที่ผ่านเยื่อกรองไปยังขั้วไฟฟ้าตรงกันข้าม

Barakat ได้ใช้เทคนิคการกรอง [7] (Filtration) มาใช้กำจัดไอออนของโลหะหนักทองแดง นิกเกิลและโครเมียม ออกจากน้ำเสีย โดยทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะกับ carboxy methyl cellulose (CMC) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนโลหะ-CMC ที่มีขนาดใหญ่ เมื่อกรองผ่านเยื่อเลือกผ่านPolystersulfon น้ำบริสุทธิ์จะซึมผ่านแผ่นกรองไปได้ ส่วนสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนักจะติดอยู่ด้านบนของเยื่อเลือกผ่าน ทำให้สามารถแยกไอออนของโลหะออกจากน้ำเสียได้

การแลกเปลี่ยนประจุ [8] (Ion-exchange) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้กำจัดไอออนของโลหะ Muzenda E. ได้นำวิธีการนี้มาใช้ในการกำจัดไอออนของโลหะทองแดงออกจากน้ำเสีย โดยผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งเป็นการทำให้ตัวดูดซับกับไอออนในสารละลายเกิดการสัมผัสกัน แล้วไอออนจะไปเกาะติดอยู่บนผิวหน้าของตัวดูดซับมากขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าจะเข้าสู่สมดุล ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวดูดซับเป็น Clinoptilolite zeolite และใช้สารละลายไฮโดรคลอริก ในการปรับสภาพพื้นผิวของตัวดูดซับให้เหมาะสมในการดูดซับไอออนของโลหะ ทำให้ไอออนโลหะหนักในสารละลายเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบนพื้นผิวของตัวดูดซับได้ ไอออนของโลหะจึงแยกออกมาจากน้ำเสียได้

นอกเหนือจากวิธีที่กล่าวมา การตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมี [9] (Chemical precipitation) ก็เป็นอีกวิธีที่ได้นำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก โดยในปี พ.ศ. 2552 Pang M. F. และคณะ ได้ทำการบำบัดน้ำเสียด้วยการกำจัดไอออนของโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และเหล็ก โดยอาศัยการตกตะกอนผลึกเกิดเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ควบคู่กับกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation process) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายอย่างสมบูรณ์ ซึ่งมีการเติมสารเคมีลงไปในสารละลาย ได้แก่ สารอลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) และแมกนีเซียมคลอไรด์ ซึ่งทำให้อนุภาคของตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในสารละลาย เกิดการรวมตัวเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถแยกออกมาจากน้ำได้ง่าย

ซึ่งวิธีดังกล่าวมีข้อเสียคือใช้สารเคมีปริมาณมาก มีราคาแพง ไม่สามารถกำจัดโลหะหนักออกได้อย่างสมบูรณ์ เทคโนโลยีดูดซับทางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้มวลชีวภาพธรรมชาติในการดูดซับ เป็นวิธีการกำจัดโลหะหนักที่ประหยัด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำตัวดูดซับชีวภาพกลับมาใช้ใหม่ได้

การดูดซับโลหะหนักด้วยตัวดูดซับทางชีวภาพนั้นได้มีการศึกษากันมาพอสมควรซึ่งมีทั้งการใช้ตัวดูดซับที่เป็นวัสดุเหลือใช้และส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เปลือกแตงโม [10] ต้นผักโขม [11] เมล็ดมะละกอ [10, 11] เปลือกกล้วย [12, 15] เปลือกส้มโอ [13] เปลือกไข่ [14] กากมะพร้าว [17] กากอ้อย [18] และเมล็ดกาแฟ [19] เป็นต้น

ปีพ.ศ. 2549 Ibrahim และคณะ พบว่ากากอ้อยสามารถดูดซับไอออนของแคดเมียม ได้สูงที่สุดเมื่อเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 °C pH 5-7 เป็นเวลา 90 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) 6.79 mg/g [18]

ปีพ.ศ. 2554 Egila และคณะ ใช้ของเสียจากการเกษตรอย่างเช่น ลำต้นผักโขมแอฟริกันและเมล็ดมะละกอมาใช้เป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดไอออนของตะกั่วและแมงกานีสจากน้ำเสีย พบว่าตัวดูดซับทั้งสองชนิดสามารถกำจัดไอออนแมงกานีส ได้ดีกว่าไอออนตะกั่ว และเมล็ดมะละกอมีความสามารถในการดูดซับได้ดีกว่าลำต้นของผักโขมแอฟริกัน [11]

ในปีเดียวกัน Norhafizah และคณะ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับไอออนของทองแดงของเมล็ดมะละกอโดยใช้วิธีการกวน (stirring) พบว่าเมล็ดมะละกอสามารถดูดซับไอออนของทองแดงได้ดีที่ pH 6 และความเร็วในการกวนที่เหมาะสมคือ 350 รอบต่อนาที โดยมีความสามารถในการดูดซับ 212 mg/g [16]

ในปีพ.ศ. 2555 Banerjee และคณะได้ใช้เปลือกแตงโมเป็นตัวดูดซับเพื่อศึกษาผลของเวลา ปริมาณตัวดูดซับ อุณหภูมิ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก ขนาดอนุภาคตัวดูดซับ ความเร็วในการเขย่า และ pH ต่อการดูดซับไอออนของทองแดงพบว่าเมื่อลดความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักลง

เพิ่มอุณหภูมิและความเร็วในการเขย่ามากขึ้นใช้ตัวดูดซับที่มีอนุภาคเล็ก และเพิ่ม pH จนถึง 8 จะทำให้การดูดซับไอออนของทองแดงเพิ่มขึ้น [10]

ในปีพ.ศ. 2555 Veronica และคณะ ได้ทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนัก พบว่าเมล็ดมะรุมมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของโลหะหนักดังนี้ ตะกั่ว>ทองแดง>แคดเมียม>นิกเกิล>แมงกานีส และยังได้หาหมู่ฟังก์ชันของเมล็ดมะรุมโดยใช้เทคนิค FT-IR พบว่าเมล็ดมะรุมมีหมู่คาร์บอกซิลิก และแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เมล็ดมะรุมสามารถกำจัดไอออนของโลหะหนักได้ [21]

ในปีพ.ศ. 2556 Affonso และคณะ ได้ทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนักตะกั่วแคดเมียมและโครเมียม ด้วยเมล็ดมะรุม พบว่าสถานะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับคือ ใช้ตัวดูดซับ 0.3 g [20]

จากงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและส่วนต่างๆ ของพืชมาใช้เป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดไอออนของโลหะหนักเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ ประหยัด และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียได้

ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทางชีวภาพทั้ง 11 ชนิด คือ ตัวดูดซับจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 6 ชนิด ดังนี้ เปลือกไข่ไก่ เปลือกส้มโอ เปลือกกล้วย เปลือกสับปะรด เปลือกข้าวโพด และหนวดข้าวโพด จากวัชพืช 3 ชนิด ประกอบด้วย ผักตบชวา จอกแหน และจากพืช 2 ชนิด ได้แก่ ว่านกาบหอย และใบสารภีทะเล โดยศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับได้แก่ ค่า pH และปริมาณของตัวดูดซับ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การปนเปื้อนของโลหะหนัก จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการสะสมของตะกั่ว (Pb^{2+}) ในแหล่งน้ำ ดิน ตลอดจนสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมถึงมนุษย์ที่อาจจะได้รับโลหะหนักเหล่านี้ผ่านทางห่วงโซ่อาหาร การกำจัดโลหะหนักมีหลายวิธี แต่วิธีส่วนใหญ่จะค่อนข้างยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดที่สูง

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการเพาะปลูกพืชหลายชนิด และมีการบริโภคสินค้าทางการเกษตรมากมาย ดังนั้นจึงทำให้มีของเหลือใช้ทางการเกษตรเกิดขึ้น ของเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้ รวมถึง พืชและวัชพืชชนิดต่างๆ สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ โดยการนำมาใช้เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพเพื่อกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำทิ้งหรือ แหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อน

ดังนั้นกลุ่มผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะศึกษาตัวดูดซับทางชีวภาพเพื่อกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ โดยหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ กำหนดตัวแปรดังนี้

1. ตัวแปรต้นที่ศึกษา

- 1.1 ค่า pH ของสารละลาย
- 1.2 ชนิดของตัวดูดซับทางชีวภาพ 11 ชนิด
- 1.3 ปริมาณของตัวดูดซับ
- 1.4 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

2. ตัวแปรตาม

- 2.1 ปริมาณของ Pb^{2+} ที่เหลือในสารละลายภายหลังการดูดซับ
- 2.2 ประสิทธิภาพของการดูดซับ

3. ตัวแปรควบคุม

- 3.1 วิธีการเขย่าในอ่างน้ำร้อน (Shaking) ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 90 นาที
- 3.2 ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยในห้องทดลอง

3.1 อุปกรณ์

- เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (Flame Absorption Spectrometer; AAS)
- เครื่อง Spectrum 100 FT-IR spectrometer (Perkin Elmer)
- เครื่องเขย่าสารละลาย (Shaker)
- เครื่องปั่นละเอียด
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- ตะแกรงร่อน ขนาด 125 – 150 μL
- ไมโครปิเปตขนาด 1,000 μL
- ไมโครปิเปตขนาด 100 μL
- ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 cm^3
- ขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 125 cm^3
- บีกเกอร์ขนาด 100 cm^3
- บีกเกอร์ขนาด 250 cm^3
- กรวยกรอง
- กระดาษกรอง (Filter paper) เส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm เบอร์ 1
- ถังพลาสติกใส่ตัวดูดซับ
- ขวดพลาสติก
- ถังมือยาง
- ปากกาเคมี

3.2 สารเคมี

- สารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} (AAS grade, Merck) ปริมาตร 500 cm^3 เข้มข้น 1,000 mg dm^{-3}
- Hydrochloric Acid (HCl) (Merck) ปริมาตร 2.5 dm^3
- Sodium Hydroxide (NaOH) (Ajax) ปริมาตร 1,000 g
- Nitric Acid (HNO_3) (Merck) ปริมาตร 2.5 dm^3

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb^{2+})

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} ในช่วงความเข้มข้น $0 - 50 \text{ mg dm}^{-3}$ สำหรับการทำการกราฟมาตรฐาน และเตรียมสารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} เข้มข้น 50 mg dm^{-3} สำหรับใช้ในการทดลอง โดยเตรียมจากสารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} เข้มข้น 1000 mg dm^{-3} ปริมาณด้วยน้ำปราศจากไอออน สารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} ที่ใช้เตรียมจาก สารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} เข้มข้น 1000 mg dm^{-3} และปรับ pH ของสารละลายด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 mol dm^{-3} และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 mol dm^{-3}

3.3.2 การเตรียมตัวดูดซับ

ตัวดูดซับเตรียมจากมวลชีวภาพ 3 กลุ่ม ประกอบด้วย

ประเภทที่ 1 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกไข่ เปลือกส้มโอ เปลือกกล้วย เปลือกสับปะรด เปลือกข้าวโพด และหนวดข้าวโพด

ประเภทที่ 2 วัสดุพืช ได้แก่ จอก (ใช้ทุกส่วน) แหน (ใช้ทุกส่วน) และผักตบชวา (ใช้ทุกส่วน ยกเว้นราก)

ประเภทที่ 3 พืช ได้แก่ ว่านกาบหอยและใบสารภีทะเล (เก็บจากมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ)

เตรียมโดยนำตัวดูดซับชีวภาพข้างต้นมาทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน อบที่อุณหภูมิ $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวดูดซับที่แห้งบดด้วยเครื่องบดละเอียดจนเป็นผงสำหรับเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับ ล้างตัวดูดซับด้วยน้ำปราศจากไอออน เพื่อกำจัดเม็ดสี สารอินทรีย์ และสิ่งตกค้างออกจากพื้นผิวของตัวดูดซับ กรองตัวดูดซับด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 อบที่อุณหภูมิ $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ นำตัวดูดซับมาชั่งน้ำหนักทุก 12 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นคัดแยกขนาดของตัวดูดซับด้วยตะแกรงร่อนจนได้ขนาดระหว่าง $125 - 150 \text{ }\mu\text{m}$

3.3.3 ออกแบบการทดลอง

เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับไอออน Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด คือ ตัวดูดซับจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 6 ชนิด ดังนี้ เปลือกไข่ไก่ เปลือกส้มโอ เปลือกกล้วย เปลือกสับปะรด เปลือกข้าวโพด และหนวดข้าวโพด จากวัสดุพืช 3 ชนิด ประกอบด้วย ผักตบชวา จอก แหน และจากพืช 2 ชนิด ได้แก่ ว่านกาบหอย และใบสารภีทะเล

3.3.3.1 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด ด้วยเทคนิควิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

นำตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด ไปตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR โดยวิธี ATR Sampling ชนิด Diamond crystal โดยไม่ต้องเตรียมสารตัวอย่าง

3.3.3.2 ศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

ทำการทดลองโดยดัดแปลงวิธีการตามวิธีของ Ibrahim และคณะ (2006) [18] โดยเติมตัวดูดซับแต่ละชนิดปริมาณ 50 mg ลงในสารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} เข้มข้น 50 mg dm^{-3} ปริมาตร 50 cm^3 ที่ pH 2, 3, 4, 5, 6, และ 7 ตามลำดับ ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 cm^3 นำไปเขย่าเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิห้อง กรองแยกสารละลายและตัวดูดซับออกจากกันด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฟรมอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรสโกปี เพื่อหาปริมาณของ Pb^{2+} ที่เหลือจากการดูดซับ ซึ่งในแต่ละการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.3.3 ศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

ทำการทดลองโดย เติมตัวดูดซับแต่ละชนิดปริมาณ 12.5, 25, 50, 75, 100, 125 และ 150 mg ตามลำดับลงในสารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} เข้มข้น 50 mg dm^{-3} ปริมาตร 50 cm^3 ที่ pH ที่เหมาะสม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 cm^3 นำไปเขย่าเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิห้อง กรองแยกสารละลายและตัวดูดซับออกจากกันด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฟรมอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรสโกปี เพื่อหาปริมาณของ Pb^{2+} ที่เหลือจากการดูดซับ ซึ่งในแต่ละการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.3.4 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมและจลศาสตร์การดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด

เติมตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด ที่ปริมาณที่เหมาะสมลงในสารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} เข้มข้น 50 mg dm^{-3} ปริมาตร 50 dm^3 ที่ pH ที่เหมาะสม ในการดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 125 dm^3 นำไปเขย่าเป็นเวลาตั้งแต่ 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ที่อุณหภูมิห้อง กรองแยกสารละลายและตัวดูดซับออกจากกันด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฟรมอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (FAAS) เพื่อหาปริมาณของ Pb^{2+} ที่เหลือจากการดูดซับ ซึ่งในแต่ละการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.3.5 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด

นำตัวดูดซับที่ใช้แล้วทั้ง 11 ชนิด มาใช้ซ้ำ โดยใช้ตัวดูดซับแต่ละชนิด ปริมาณ 50 mg สารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} เข้มข้น 50 mg dm^{-3} ปริมาตร 50 dm^3 เป็นเวลา 90 นาที และ pH ที่เหมาะสมในการดูดซับของตัวดูดซับแต่ละชนิด (ที่ pH 3 คือ เปลือกไข่ เปลือกส้มโอ ว่างาบหอย แหน และจอก ที่ pH 4 คือหนวดข้าวโพด เปลือกกล้วย เปลือกสับปะรด เปลือกข้าวโพด ใบสาระภีทะเล และผักตบ) จากนั้นดูประสิทธิภาพของการดูดซับของแต่ละครั้งที่มีการใช้ซ้ำ เป็นจำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งก็นำตัวดูดซับมาใช้ซ้ำ ล้างด้วยกรด HNO_3 เข้มข้น 10% v/v ปริมาตร 10 cm^3 จำนวน 2 รอบและล้างด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 10 cm^3 อีกรอบ จากนั้นนำน้ำที่ได้จากการล้างในรอบที่ 3 มาตรวจวัดปริมาณ Pb^{2+} ว่ามีการตกค้างหรือไม่ ด้วยเครื่อง FAAS

3.3.4 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ

3.3.4.1 การหาปริมาณของ Pb^{2+} ที่ถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับทางชีวภาพ

$$q_t = \frac{(c_0 - c_t)V}{w} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(c_0 - c_e)V}{w} \quad (2)$$

เมื่อ C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้นของ Pb^{2+} (mg dm^{-3})

C_t คือความเข้มข้นของ Pb^{2+} (mg dm^{-3}) หลังถูกดูดซับที่เวลา (min)

C_e คือความเข้มข้นสมดุลของ Pb^{2+} (mg dm^{-3})

q_t คือปริมาณของโลหะไอออนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่เวลา (min) ใดๆ

q_e คือปริมาณของโลหะไอออนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่เวลา (min) ณ สมดุล

V คือปริมาตรน้ำสังเคราะห์ที่ใช้ (dm^3)

w คือน้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ (g)

3.3.4.2 การหาประสิทธิภาพของตัวดูดซับทางชีวภาพในการดูดซับ Pb^{2+}

$$R (\%) = \frac{(C_0 - C_f) \times 100}{C_0} \quad (3)$$

$R \%$ คือ อัตราส่วนความแตกต่างของความเข้มข้น Pb^{2+} ก่อนและหลังการดูดซับ

C_f คือ ความเข้มข้นที่เหลือของ Pb^{2+} (mg dm^{-3}) จากการดูดซับด้วยตัวดูดซับทางชีวภาพ

บทที่ 4

ผลและอภิปรายผลการทดลอง

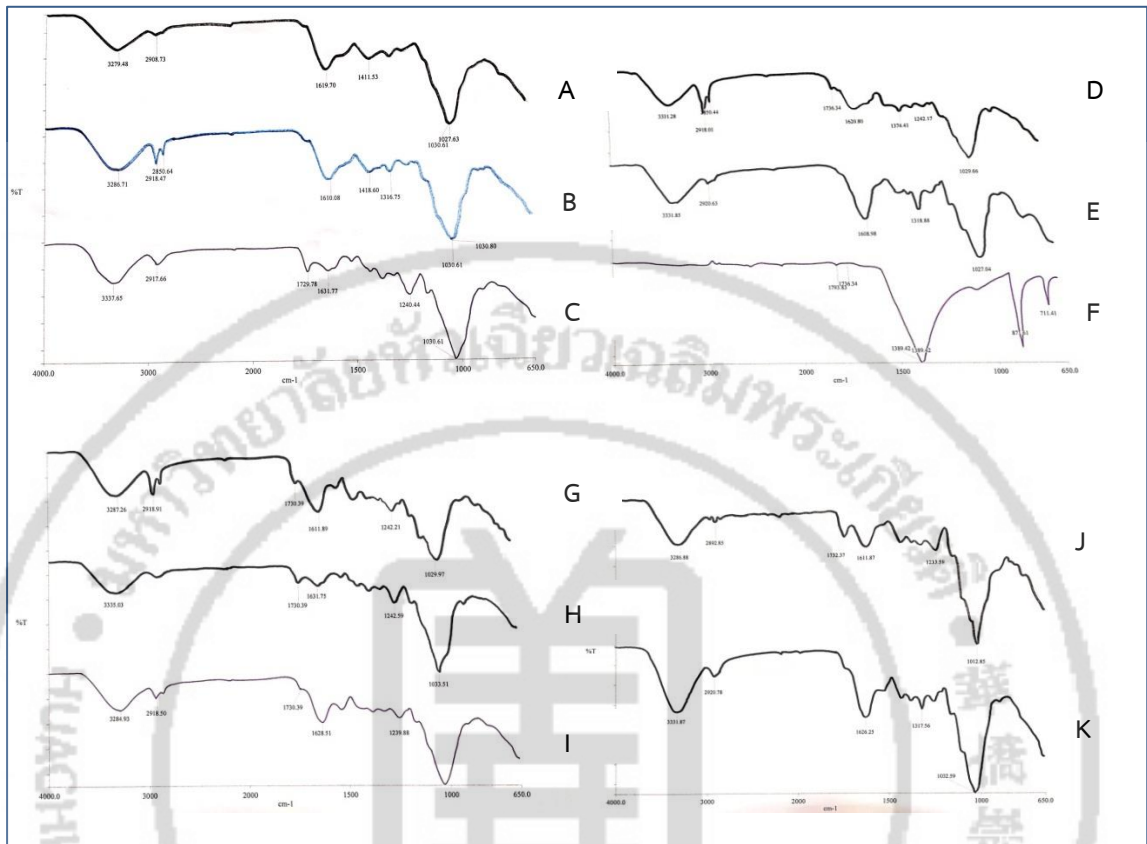
การดูดซับของตัวดูดซับแต่ละชนิด เมื่ออยู่ในสถานะที่แตกต่างกัน ประสิทธิภาพในการดูดซับก็จะแตกต่างกัน ในบทนี้จะศึกษาสถานะในการดูดซับที่ดีที่สุดของตัวดูดซับแต่ละชนิด โดยเบื้องต้นจะศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับแต่ละชนิด แล้วจึงจะศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการดูดซับเช่น pH ของน้ำสังเคราะห์ ปริมาณของตัวดูดซับ เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ รวมถึงศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ เพื่อให้ทราบถึงลักษณะกระบวนการของการดูดซับของตัวดูดซับแต่ละชนิด

4.1 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด

ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) โดยนำตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด ได้แก่ เปลือกไข่ เปลือกส้ม โอ เปลือกกล้วย เปลือกสับปะรด เปลือกข้าวโพด หนวดข้าวโพด ผักตบชวา จอก แหน ว่านกาบหอย และใบสารภีทะเล มาบดให้ละเอียด ที่มีขนาด 125-150 μm แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Infrared spectroscopy (IR) เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวของตัวดูดซับทางชีวภาพ

การศึกษาโครงสร้างของตัวดูดซับทางชีวภาพทำให้เข้าใจกลไกของกระบวนการดูดซับได้ดีขึ้น จากการวิเคราะห์ด้วย IR (ภาพที่ 1) พบว่าตัวดูดซับทางชีวภาพ 10 ชนิด มีองค์ประกอบหลักที่คล้ายกัน คือประกอบด้วย pectin, cellulose และ hemicellulose ที่มีหมู่ hydroxyl และหมู่ carboxyl เป็นจำนวนมากบนพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับไอออนของโลหะหนักได้ [22] ยกเว้นเปลือกไข่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น CaCO_3 ทำให้จับโลหะหนักไว้บนพื้นผิวได้ไม่ดี

จากการศึกษากลไกการดูดซับโดยดูจากหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวตัวดูดซับ อาจไม่ชัดเจนที่จะใช้อธิบายกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นได้ แต่อาจมีกลไกที่ซับซ้อน เช่น เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบนพื้นผิว (Ion-exchange) หรือเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) ซึ่งอาจเกิดพร้อมๆกัน



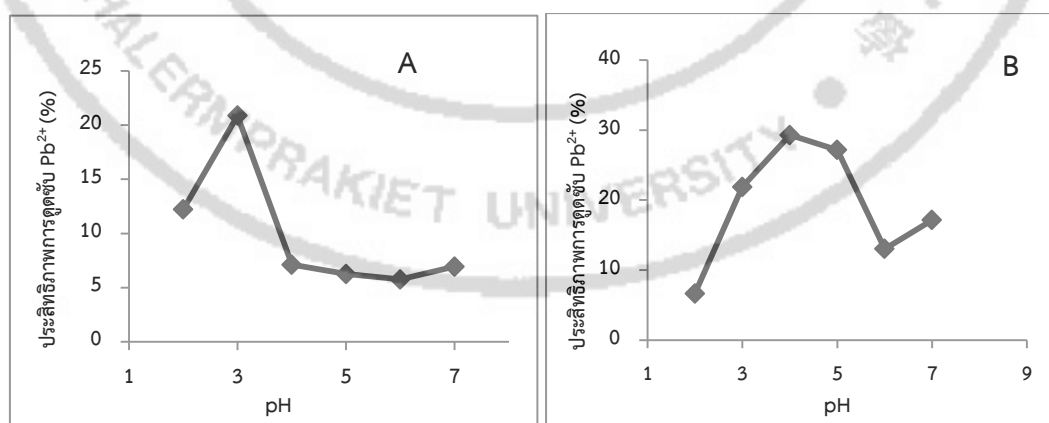
ภาพที่ 1 ผลของโครงสร้างบนพื้นผิวของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด (A = แหนม, B = ว่านกาบหอย, C = เปลือกสับปะรด, D = เปลือกกล้วย, E = ดอกจอก, F = เปลือกไข่, G = ใบสาระถิ, H = เปลือกข้าวโพด, I = หนวดข้าวโพด = เปลือกส้มโอ, K = ผักตบ)

4.2 ศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

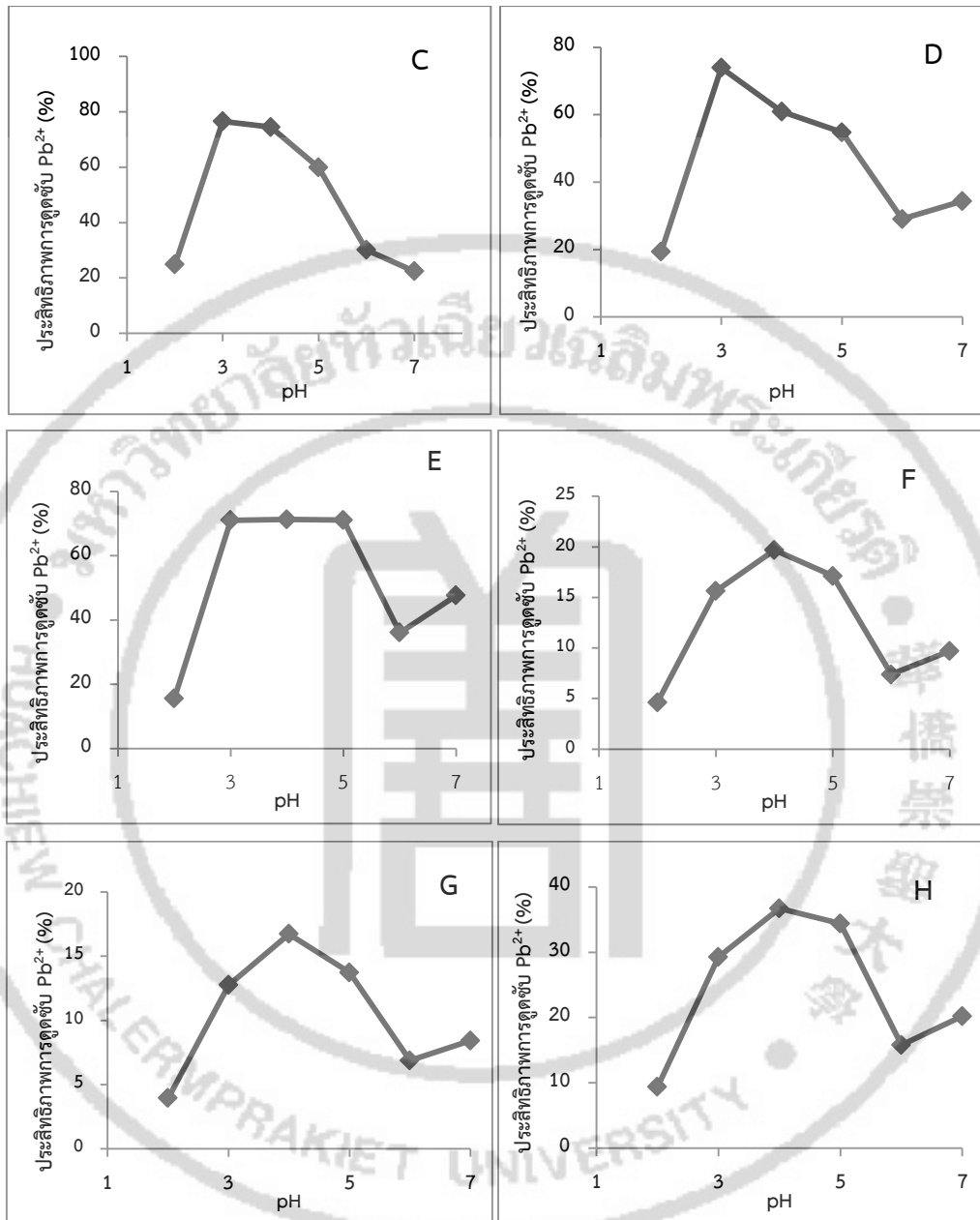
Thiago L. Marques และคณะ [23] รายงานว่า pH เป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการดูดซับ โดยส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับ Pb^{2+} กับหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่อยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งหากทำที่ค่า pH ต่ำๆ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่เกิดขึ้น จะเข้ามาแย่งจับที่บริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับ ทำให้ Pb^{2+} ถูกจับบนผิวหน้าของตัวดูดซับได้ลดลง และหากทำที่ pH สูงๆ ($pH \geq 8$) จะเกิดตะกอนไฮดรอกไซด์ของโลหะขึ้น ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของ pH ในช่วง 2 - 7 ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับทางชีวภาพ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของการดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด ที่ pH ต่างๆ

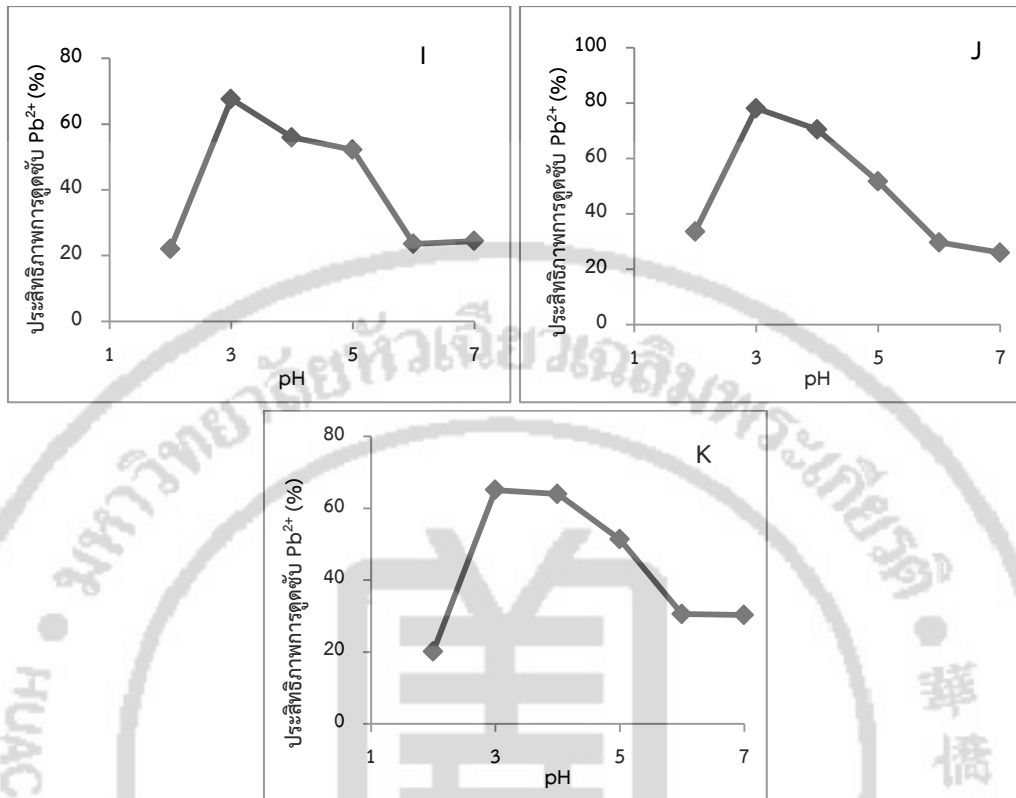
ชนิดตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับ Pb^{2+} (%)						
	pH	2	3	4	5	6	7
เปลือกไข่		12.23	20.86	7.12	6.25	5.75	6.93
หนวดข้าวโพด		6.66	21.87	29.27	27.17	13.05	17.16
เปลือกส้มโอ		24.88	76.57	74.53	59.88	30.15	22.40
ว่านกาบหอย		19.36	73.95	60.92	54.79	29.06	34.36
เปลือกกล้วย		15.57	71.02	71.25	71.07	36.03	47.59
เปลือกสับปะรด		4.64	15.65	19.69	17.13	7.40	9.71
เปลือกข้าวโพด		3.94	12.75	16.73	13.72	6.87	8.42
ใบสาระภีทะเล		9.35	29.25	36.71	34.38	15.78	20.19
แหวน		22.04	67.63	55.93	52.20	23.57	24.45
จอก		33.51	78.12	70.46	51.69	29.66	25.95
ผักตบ		20.13	63.93	65.07	51.34	30.55	30.29



ภาพที่ 2 ผลของ pH ที่ใช้ดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด (A= เปลือกไข่ B= หนวดข้าวโพด C= เปลือกส้มโอ D = ว่านกาบหอย E = เปลือกกล้วย F = เปลือกสับปะรด G = เปลือกข้าวโพด H = ใบสาระภีทะเล I = แหวน J = จอก K = ผักตบชวา) สารละลาย Pb^{2+} เข้มข้น 50 mg dm^{-3} ปริมาตรสารละลาย = 50 cm^3



ภาพที่ 2 (ต่อ) ผลของ pH ที่ใช้ดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด (A= เปลือกไข่ B= หนวดข้าวโพด C= เปลือกส้มโอ D = ว่านกาบหอย E = เปลือกกล้วย F = เปลือกสับปะรด G = เปลือกข้าวโพด H = ใบสาระภีทะเล I = แหน J = จอก K = ผักตบชวา) สารละลาย Pb^{2+} เข้มข้น 50 mg dm^{-3} ปริมาตรสารละลาย = 50 cm^3



ภาพที่ 2 (ต่อ) ผลของ pH ที่ใช้ดูดซับ Pb²⁺ ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด (A= เปลือกไข่ B= หนวดข้าวโพด C= เปลือกส้มโอ D= ว่านกาบหอย E= เปลือกกล้วย F= เปลือกสับปะรด G= เปลือกข้าวโพด H= ใบสาระภีทะเล I= แห้ว J= จอก K= ผักตบชวา) สารละลาย Pb²⁺ เข้มข้น 50 mg dm⁻³ ปริมาตรสารละลาย = 50 cm³

ผลการศึกษา เมื่อทำในสภาวะที่มีความเป็นกรดมาก (pH = 2) ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะ Pb²⁺ จะต่ำมาก ซึ่งเป็นผลมาจากมี H⁺ สูง และเมื่อเพิ่ม pH ของสารละลายประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้น แต่เมื่อ pH ของสารละลายสูงขึ้น (pH > 4) ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง จึงสรุปได้ว่าเปลือกไข่ เปลือกส้มโอ ว่านกาบหอย แห้ว และจอก จะดูดซับ Pb²⁺ ได้ดีที่ pH 3 ส่วน หนวดข้าวโพด เปลือกกล้วย เปลือกสับปะรด เปลือกข้าวโพด ใบสาระภีทะเล และผักตบ จะดูดซับ Pb²⁺ ได้ดีที่ pH 4

4.3 ศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

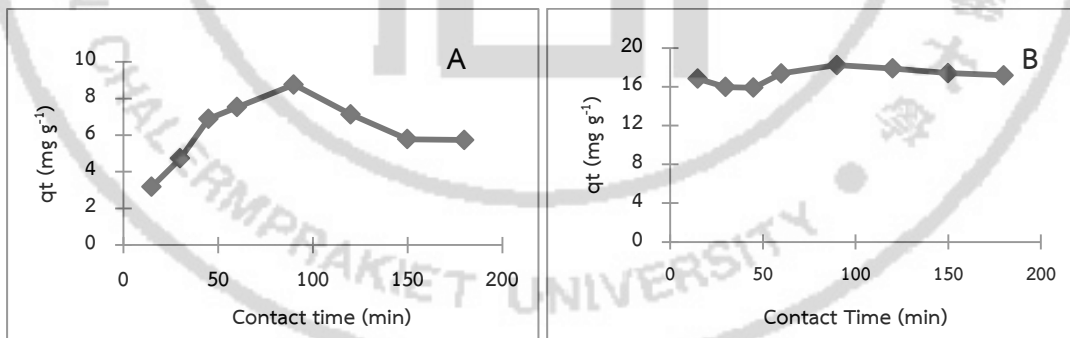
การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นการเพิ่มจำนวนของพื้นที่ผิวในการดูดซับ Pb^{2+} ทำให้สามารถดูดซับ Pb^{2+} ได้เพิ่มขึ้น ในการทดลองนี้ จึงศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับต่อการดูดซับ Pb^{2+} โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับแต่ละชนิดที่ปริมาณ 12.5, 20, 50, 75, 100, 125 และ 150 mg ซึ่งทำให้ pH ของน้ำสังเคราะห์ ที่เหมาะสมของตัวดูดซับแต่ละชนิด ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 จากผลการศึกษาเมื่อใช้ตัวดูดซับปริมาณน้อย (12.5 – 25 mg) เมื่อเพิ่มตัวดูดซับประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มตามอัตราส่วนของตัวดูดซับ เมื่อตัวดูดซับปริมาณมากขึ้นทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดกลไกที่ซับซ้อนบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับ จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับไม่เป็นไปตามอัตราส่วนของตัวดูดซับที่ใช้ ซึ่งเปลือกส้มโอ ว่านกาบหอย เปลือกกล้วย ใบสาระภี ทะเล แหน จอก และผักตบชวา มีประสิทธิภาพในการดูดซับ Pb^{2+} มากกว่า 90% ดังนั้นเพื่อให้ตัวดูดซับแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับ Pb^{2+} ได้สูงสุด จึงเลือกใช้ปริมาณตัวดูดซับที่ 150 mg สำหรับใช้ศึกษาต่อไป

ตารางที่ 2 ผลของการดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด ที่ปริมาณต่างๆ

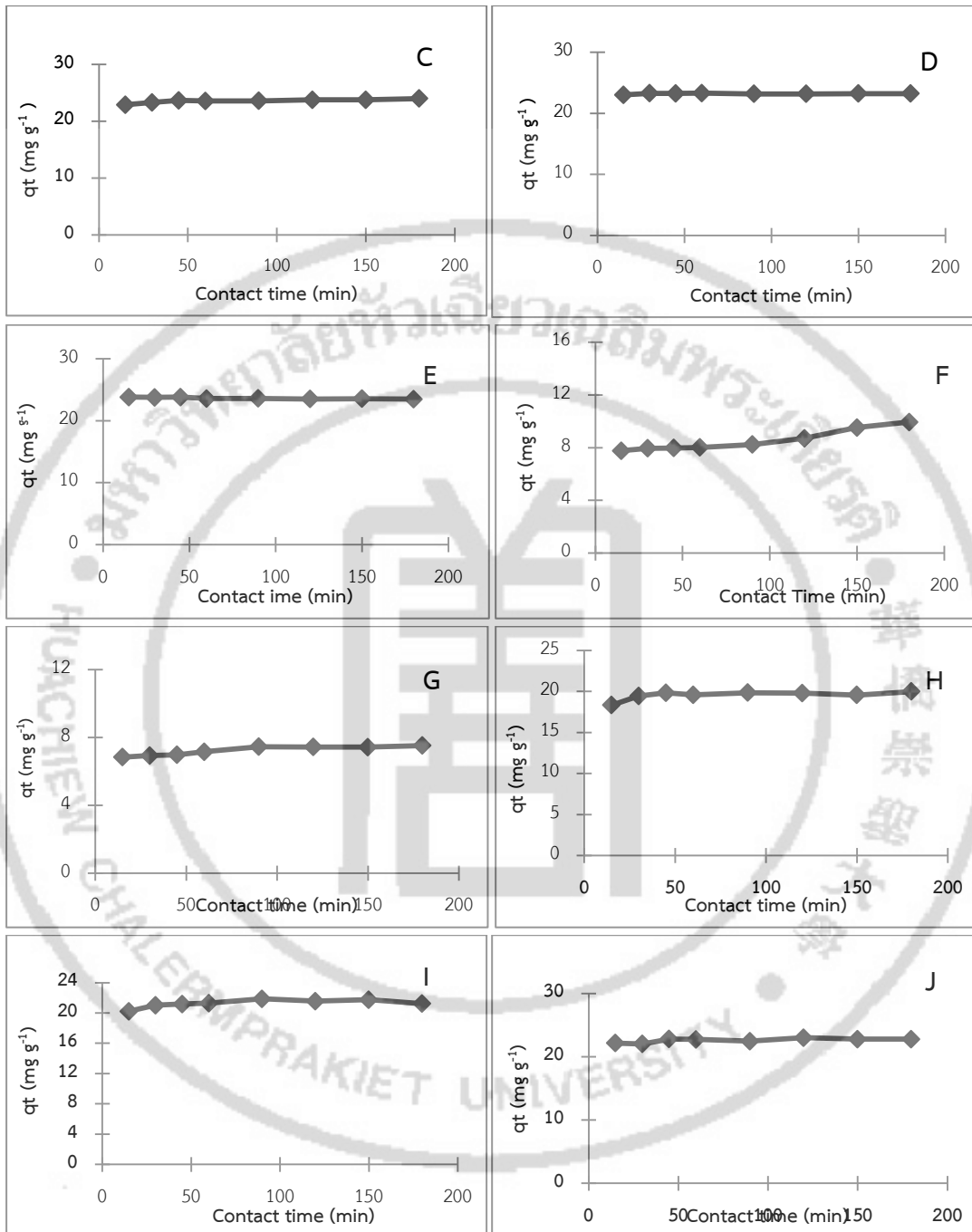
ชนิดตัวดูดซับ ปริมาณตัวดูดซับ (mg)	ประสิทธิภาพการดูดซับ Pb^{2+} (%)						
	12.5	25	50	75	100	125	150
เปลือกไข่	7.85	9.92	20.86	31.68	36.98	37.43	38.65
หนวดข้าวโพด	16.81	24.60	29.27	54.98	67.38	81.29	89.83
เปลือกส้มโอ	19.84	37.84	75.57	82.93	94.15	97.74	98.29
ว่านกาบหอย	18.83	26.01	73.95	81.53	92.95	94.19	95.33
เปลือกกล้วย	33.96	66.91	71.25	94.71	95.36	95.70	95.80
เปลือกสับปะรด	9.53	15.20	19.69	26.48	33.35	48.50	48.30
เปลือกข้าวโพด	8.87	12.58	16.73	25.92	29.61	32.35	41.25
ใบสาระภีทะเล	14.93	27.82	36.71	65.05	79.25	83.49	92.07
แหน	15.49	30.34	67.63	70.42	90.87	91.42	91.55
จอก	16.80	39.75	78.12	81.69	87.79	96.47	97.80
ผักตบชวา	25.05	48.24	63.93	89.71	94.47	94.81	95.59

4.4 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมและจลศาสตร์การดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด

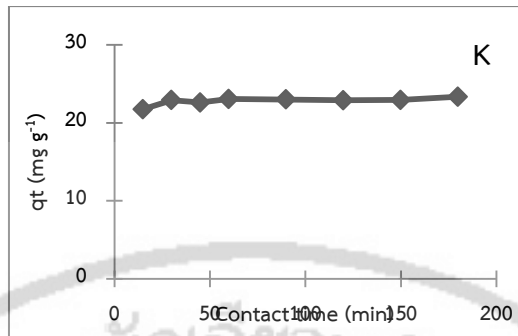
เวลาที่ใช้ในการดูดซับมีผลต่อประสิทธิภาพของตัวดูดซับ ซึ่งหากใช้เวลาที่เหมาะสมตัวดูดซับจะสามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักได้สูงสุด ซึ่งเวลาที่เหมาะสมของตัวดูดซับแต่ละชนิดอาจไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับสภาวะสมดุล (Equilibrium) ที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับปริมาณของไอออนของโลหะที่มีในสารละลาย หากตัวดูดซับใดมีภาวะสมดุลเกิดขึ้นเร็ว ก็จะใช้นเวลาน้อย แต่หากเกิดขึ้นช้า ก็จะใช้เวลานาน เห็นได้จากภาพที่ 3 เมื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (15-180 นาที) พบว่าตัวดูดซับที่ใช้เวลาในการดูดซับน้อยประมาณ 15 นาทีแรก และมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่า 90% คือ เปลือกส้มโอ ว่านกาบหอย และเปลือกกล้วย เป็น 91.54%, 92.07% และ 95.25% ตามลำดับ ผักตบ ใช้นเวลาประมาณ 30 นาที มีประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 91.63% จอก ใช้นเวลาประมาณ 45 นาที มีประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 91.23% และตัวดูดซับชนิดอื่นๆ ได้แก่ เปลือกไข่ หนวดข้าวโพด แหน ใบสารระกัทะเล เปลือกสับปะรด และเปลือกข้าวโพด มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 35.03%, 72.99%, 87.49%, 79.37%, 39.76% และ 30.11% ที่เวลา 15, 90, 90, 90, 150 และ 180 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ผลของเวลาที่ใช้ดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด (A= เปลือกไข่ B= หนวดข้าวโพด C= เปลือกส้มโอ D = ว่านกาบหอย E = เปลือกกล้วย F = เปลือกสับปะรด G = เปลือกข้าวโพด H = ใบสารระกัทะเล I = แหน J = จอก K = ผักตบชวา) สารละลาย Pb^{2+} เข้มข้น 50 mg dm^{-3} ปริมาตรสารละลาย = 50 cm^3



ภาพที่ 3 ผลของเวลาที่ใช้ดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด (A= เปลือกไข่ B= หนวดข้าวโพด C= เปลือกส้มโอ D = ว่านกาบหอย E = เปลือกกล้วย F = เปลือกสับปะรด G = เปลือกข้าวโพด H = ใบสารระกิติทะเล I = แहन J = จอก K = ผักตบชวา) สารละลาย Pb^{2+} เข้มข้น 50 mg dm^{-3} ปริมาตรสารละลาย = 50 cm^3



ภาพที่ 3 (ต่อ) ผลของเวลาที่ใช้ดูดซับ Pb^{2+} ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด (A= เปลือกไข่ B= หนวดข้าวโพด C= เปลือกส้มโอ D = ว่านกาบหอย E = เปลือกกล้วย F = เปลือกสับปะรด G = เปลือกข้าวโพด H = สารระพีทะเล I = แหน J = จอก K = ผักตบชวา) สารละลาย Pb^{2+} เข้มข้น 50 mg dm^{-3} ปริมาตรสารละลาย = 50 cm^3

ต่อมาเป็นการศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยา เพื่อการดูดซับ Pb^{2+} ที่เกิดขึ้นบนตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด โดยใช้แบบจำลอง Pseudo-first-order และ Pseudo-second-order ซึ่งผลที่ได้จากการใช้แบบจำลองเหล่านี้ แล้วยอมรับได้ว่าจะเป็นไปตามแบบจำลองใดนั้นจะต้องให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Regression coefficient) สูง และ ค่า q_e ที่คำนวณได้ ($q_e \text{ cal}$) จะต้องมามีค่าใกล้เคียงกับค่า q_e ที่ได้จากการทดลอง ($q_e \text{ exp}$)

สมการ Pseudo-first-order

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (4)$$

เมื่อ q_t และ $q_e \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$ คือปริมาณของโลหะไอออนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่เวลา (min) ใดๆ และที่เวลา (min) ณ สมดุล ตามลำดับ และ $K_1 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ คือค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยา ของกระบวนการดูดซับ แบบจำลองนี้ มีสมมติฐานว่าอัตราเร็วของการดูดซับจะขึ้นกับจำนวนตำแหน่ง (site) ที่ว่างอยู่ของตัวดูดซับ ซึ่งกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นบนตัวดูดซับจะเกิดแบบ 1 ต่อ 1 ระหว่างตำแหน่งที่ว่าง 1 ตำแหน่งกับ 1 ไอออน (one site per ion) [24] ซึ่งเมื่อพล็อตกราฟตามสมการที่ 4 โดย แกน y คือ $\log(q_e - q_t)$ และแกน x คือ t โดยคำนวณหาค่าความชัน ($\frac{K_1}{2.303}$) และจุดตัดแกน y ($\log q_e$) จะได้ค่า K_1 , $q_e \text{ cal}$ และ R^2 ดังตารางที่ 3

แบบจำลองแบบ Pseudo-second-order มีสมมติฐานว่าอัตราเร็วในการดูดซับถูกควบคุมโดยกลไกการดูดซับทางเคมี ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ไอเล็กตรอนร่วมกันหรือการส่งผ่านอิเล็กตรอนระหว่างตัวดูดซับกับตัวที่ถูกดูดซับ

สมการ Pseudo-second-order

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{(K_1 q_e^2)} + \frac{t}{q_e} \quad (5)$$

เมื่อ q_t และ q_e (mg g^{-1}) คือปริมาณของโลหะไอออนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่เวลา (min) ใดๆ และที่เวลา (min) ณ สมดุล ตามลำดับ และ K_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$) คือค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาของกระบวนการดูดซับ [25] ซึ่งเมื่อพล็อตกราฟตามสมการที่ 5 โดย แกน y คือ $\frac{t}{q_t}$ และแกน x คือ t โดยคำนวณหาค่าความชัน ($\frac{1}{q_e}$) และจุดตัดแกน y ($\frac{1}{(K_1 q_e^2)}$) จะได้ค่า K_2 , q_e cal และ r^2 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวบ่งชี้ที่ได้จากสมการ pseudo-first-order และ pseudo-second-order

ชนิดตัวดูดซับ	$q_{e\text{exp}}$ (mg g^{-1})	ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากสมการการดูดซับ					
		Pseudo-first-order			Pseudo-second-order		
		$q_{e\text{cal}}$	K_1	r^2	$q_{e\text{cal}}$	K_2	r^2
เปลือกไข่	9.66	3.44	0.001591	0.024	6.13	0.07271	0.937
หนวดข้าวโพด	22.46	5.94	0.001336	0.26	17.86	0.04295	0.997
เปลือกส้มโอ	24.57	1.45	0.004606	0.802	25	0.03902	0.999
ว่านกาบหอย	24.23	1.04	0.000318	0.051	23.26	0.20544	1.000
เปลือกกล้วย	23.93	0.17	0.004606	0.714	23.81	0.09800	1.000
เปลือกสับปะรด	12.13	5.00	0.002301	0.896	10.20	0.00819	0.988
เปลือกข้าวโพด	10.31	3.46	0.001370	0.851	7.63	0.04469	0.999
ใบสารภีทะเล	23.02	3.89	0.001426	0.385	20	0.05556	0.999
แหวน	22.89	2.01	0.002303	0.347	21.74	0.11136	0.999
จอก	24.45	2.15	0.001953	0.414	23.26	0.06848	0.999
ผักตบชวา	23.90	1.54	0.004606	0.555	23.81	0.03920	0.999

จากตารางที่ 3 เห็นได้ว่าจลนศาสตร์ของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด สอดคล้องกับแบบจำลองของ pseudo-second-order มากกว่า pseudo-first-order เนื่องจากมี R^2 เข้าใกล้ 1 และค่า $q_e \exp$ ที่ได้จากการทดลอง กับค่า $q_e \text{ cal}$ ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ pseudo-second-order มีค่าใกล้เคียง ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่า กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นบนตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด สอดคล้องกับแบบจำลอง pseudo-second-order

4.5 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้นำ้ตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด

จากการศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด พบว่าตัวดูดซับแต่ละชนิดต่างมีประสิทธิภาพในการดูดซับ Pb^{2+} ที่แตกต่างกัน และเพื่อดูการใช้น้ำได้ของตัวดูดซับแต่ละชนิด จึงได้นำตัวดูดซับมาใช้น้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งที่ใช้น้ำ จะล้างด้วยสารละลายกรด HNO_3 เข้มข้น 10% (v/v) ปริมาตร 10 cm^3 เป็นจำนวน 2 ครั้ง และสุดท้ายล้างด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 10 cm^3 และได้นำน้ำล้างที่ใช้น้ำล้างตัวดูดซับ ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS เพื่อตรวจสอบว่าสามารถล้าง Pb^{2+} ออกจากตัวดูดซับได้หมดหรือไม่ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ Pb^{2+} ที่เหลือ จากการวิเคราะห์น้ำที่ใช้น้ำล้างตัวดูดซับ

ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณ Pb^{2+} ที่เหลือ (mg dm^{-3})
เปลือกไข่	1.61
หนวดข้าวโพด	1.04
เปลือกส้มโอ	2.59
ว่านกาบหอย	1.19
เปลือกกล้วย	1.53
เปลือกสับปะรด	0.93
เปลือกข้าวโพด	1.29
ใบสาระพีทะเล	2.33
แหวน	1.11
จอก	4.15
ผักตบ	1.51

จากตารางเมื่อนำน้ำล้างสุดท้ายมาวิเคราะห์พบว่าวิธีที่ใช้ล้าง สามารถล้าง Pb^{2+} ออกจากตัวดูดซับได้เกือบหมด แต่อาจจะมีโลหะหนักบางส่วนเหลืออยู่ในตัวดูดซับ จากนั้นได้นำตัวดูดซับไปใช้ดูดซับ Pb^{2+} ซ้ำ และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการใช้ซ้ำของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด จำนวน 3 ครั้ง

ชนิดตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับ Pb^{2+} (%)			
	ครั้งที่ใช้ซ้ำ	1	2	3
เปลือกไข่		20.86	12.18	11.08
หนวดข้าวโพด		29.27	18.12	18.62
เปลือกส้มโอ		76.57	80.54	83.26
ว่านกาบหอย		73.95	23.38	23.44
เปลือกกล้วย		71.25	59.36	43.6
เปลือกสับปะรด		19.69	15.06	9.84
เปลือกข้าวโพด		12.75	6.98	6.06
ใบสาระพีทะเล		36.71	30.29	29.81
แหน		67.63	40.28	37.94
จอก		78.12	67.46	61.3
ผักตบ		65.07	69.54	66.92

จากตารางเห็นได้ว่าเมื่อนำตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิดมาใช้ซ้ำ พบว่าส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีโลหะหนักบางส่วนเหลืออยู่ในตัวดูดซับ ทำให้สูญเสียพื้นที่ผิวของตัวดูดซับบางส่วน ประสิทธิภาพของตัวดูดซับโลหะหนักลดลง

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

จากการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์เพื่อดูดซับไอออนของโลหะหนักนั้น พบว่าประสิทธิภาพของการดูดซับนั้นขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น pH ของน้ำสังเคราะห์ ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการดูดซับไอออน เพราะหากมีความเป็นกรดมาก อาจมีผลจาก H^+ มาแย่งตำแหน่งบนตัวดูดซับ ทำให้ไอออนของโลหะมาจับบนพื้นผิวตัวดูดซับได้น้อยลง หรือถ้าเป็นเบสก็อาจเกิดการตกตะกอนของไอออนโลหะ ซึ่ง pH ที่เหมาะสมกับตัวดูดซับที่ศึกษาคือ pH 3 และ 4 นอกจากนี้ยังมีปัจจัยมาจากปริมาณของตัวดูดซับ หากใช้ปริมาณตัวดูดซับมาก ก็เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวดูดซับให้สัมผัสกับไอออนในน้ำสังเคราะห์ได้มากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้น และอีกปัจจัยที่สำคัญ คือเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ซึ่งเป็นการหาเวลาที่เข้าสู่ของสมดุลระหว่าง Pb^{2+} กับตัวดูดซับ หากตัวดูดซับใดมีสมดุลเกิดขึ้นเร็วก็จะใช้เวลาในการดูดซับน้อย แต่หากมีสมดุลเกิดขึ้นช้าก็จะใช้เวลามาก

นอกจากศึกษาภาวะและปัจจัยที่เหมาะสม ผู้วิจัยยังได้ศึกษากลไกการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับ Pb^{2+} โดยได้ศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับแต่ละชนิด ทราบได้ว่าหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นหมู่ hydroxyl และหมู่ carboxyl เป็นจำนวนมากบนพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับไอออนของโลหะหนักได้ ยกเว้นเปลือกไขมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น $CaCO_3$ ทำให้จับโลหะหนักไว้บนพื้นผิวได้ไม่ดี แต่การศึกษาหมู่ฟังก์ชันยังไม่สามารถอธิบายกลไกการดูดซับได้ชัดเจน จึงได้นำแบบจำลองของ pseudo-first-order และ pseudo-second-order มาอธิบาย ซึ่งพบว่าการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด เป็นไปตามแบบจำลองของ pseudo-second-order มีสมมติฐานว่าอัตราเร็วในการดูดซับถูกควบคุมโดยกลไกการดูดซับทางเคมี ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ไอเล็กตรอนร่วมกันหรือการส่งผ่านอิเล็กตรอนระหว่างตัวดูดซับกับตัวที่ถูกดูดซับ

ตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิดที่นำมาศึกษานั้น พบว่ามี 5 ชนิดที่มีสามารถดูดซับ Pb^{2+} ได้ดี โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับเกิน 90% คือ เปลือกส้มโอ วานกาบหอย เปลือกกล้วย จอก และผักตบ ส่วนตัวดูดซับชนิดอื่น ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับไม่ดีมากนักเมื่อเทียบกับ 5 ชนิดที่กล่าวมา แต่อาจจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีกับไอออนของโลหะชนิดอื่น หรือ สารอื่นๆ ซึ่งอาจต้องมี

การศึกษาต่อไป ประโยชน์จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ Pb^{2+} ด้วยตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด นี้ นอกจากจะใช้กำจัดไอออนที่เป็นพิษออกจากสิ่งแวดล้อมแล้ว อาจใช้ประโยชน์ในการเพิ่มความเข้มข้นสาร (Preconcentration) ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น ซึ่งเป็นหัวข้อที่ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาต่อไป



บรรณานุกรม

1. ไทยรัฐออนไลน์. [หนังสือพิมพ์ออนไลน์]. 11 มีนาคม 2557 [เข้าถึงเมื่อ 11 มีนาคม 2557]; สาร
ตะกั่ว: สืบค้นจาก: <http://www.thairath.co.th/tags/สารตะกั่ว>
2. ไทยรัฐออนไลน์. [หนังสือพิมพ์ออนไลน์]. 23 พฤษภาคม 2557 (เข้าถึงเมื่อ 23 พฤษภาคม 2557);
สารตะกั่ว: สืบค้นจาก: www.thairath.co.th/tags/สารตะกั่ว
3. กุลธิดา ถาวรกิจการ และกิจชัย ศิริวัฒน์. ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา [โฮมเพจบนอินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี:
กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์; 2532 [19 กรกฎาคม 2556; เข้าถึงเมื่อ 22 กรกฎาคม 2556]; สืบค้น
จาก: http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=41
4. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [โฮมเพจบนอินเทอร์เน็ต].
กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ; 2547 [21 มีนาคม 2556; เข้าถึงเมื่อ 24 มีนาคม 2557];
สืบค้นจาก: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html
5. Bakalar T, Bugel M, Gajdosova L. Heavy metal removal using reverse osmosis.
Acta Montanica Slovaca. 2009; 14: 250-53.
6. Gering LK, Scamehorn FJ. Use of electro dialysis to removal heavy metals from
water. *Separation Science and Technology*. 1988; 23: 2231-267.
7. Barakat A M. Removal of Cu(II), Ni(II), and Cr(III) ions from wastewater using
complexation-ultrafiltration technique. In: Twelfth International Water
Technology Conference; 2008. pp. 1-6.
8. Muzenda E, Kabuba J, Ntuli F, Mollagee M, Mulaba AF. Cu(II) removal from
synthetic waste water by ion exchange process, In: Proceedings of the World
Congress on Engineering and Computer Science 2011; 2011. 2. pp. 1-5
9. Pang MF, Teng PS, Teng TT, Mohd Omar AK. Heavy metals removal by hydroxide
precipitation and coagulation-flocculation methods from aqueous solutions,
Water Qual. Res. J. Can. 2009; 44(2): 10-9

10. Koel Banerjee ST, Ramesh R, Gandhimathi PV, Nidheesh KS, Bharathi. A Novel Agricultural Waste Adsorbent, Watermelon Shell for the Removal of Copper from Aqueous Solutions. *Iranica Journal of Energy & Environment*. 2012; 3(2): 143-56.
11. Egila JN, Dauda BEN, Iyaka YA, Jimoh T. Agricultural waste as a low cost adsorbent for heavy metal removal from wastewater. *International Journal of the Physical Science*. 2011; 6(8): 2152-57.
12. Keawsarn P, Saikaew W, Wongcharee S. Dried Biosorbent Derived from Banana Peel: A Potential Biosorbent for Removal of Cadmium Ions from Aqueous Solution. In: *The 18th Thailand Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference*; 2008.
13. Saikaew W, Keawsarn P, Saikaew W. Pomelo Peel: Agricultural Waste for Biosorption of Cadmium Ions from Aqueous Solutions. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2009; 56: 287-91.
14. Arunlertaree C, Kaewsomboon W, Kumsopa A, Pokethitiyook P, Panyawathanakit P. Removal of lead from battery manufacturing wastewater by egg shell. *Songklanakarin Journal Science Technology*. 2007; 29: 857-68.
15. Ashraf MA, Mahmood K, Wajid A. Study of low cost biosorbent for biosorption of heavy metals. *International Conference on Food Engineering and Biotechnology*. 2011; 9: 60-8.
16. Norhafizahbinti AH, Nurul AR, Sien CW. Removal of Cu(II) from Water by Adsorption on Papaya Seed. *Asian Transactions on Engineering*. 2011; 01: 4221-67.
17. Augustine E, Ofomaja, Yuh-Shan H. Effect of pH on cadmium biosorption by coconut copra meal. *Journal of Hazardous Materials B*. 2007; 139: 356-62.

18. Ibrahim SC, Hanafiah MAKM, Yahya MZA. Removal of Cadmium from Aqueous Solution by Adsorption onto Susarcan Bagasse. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 2006; 1(3): 179-84.
19. Katsuya K, Hoak K, Sunada H, Prasad RD, Baba Y. Removal characteristics of metal ions: Adsorption equilibrium of cadmium(II). *Bioresour Technology.* 2007; 98: 2787-91.
20. Affonso C et al. Applicability of *Moringaoleifera* Lam. pie as an adsorbent for removal of heavy metals from waters. *EngenhariaAgricolae Ambiental.* 2013; 17: 94-9.
21. Obuseng V, Nareetsile F, Kwaambwa MH. A study of the removal of heavy metals from aqueous solutions by *Moringaoleifera* seeds and amine-based ligand 1,4bis[N,N-bis(2-picoyl)amino]butane. *Analytica Chemica Acta.* 2012; 730: 87-92.
22. Das N, Vimala R, Karthika P. Biosorption of heavy metals – An overview. *Indian Journal of Biotechnology.* 2008; 7: 159-69.
23. Thiago LM, Vanessa N, Luciana MC, Nivia MMC. Assessment of the use of *Moringaoleifera* seeds for removal of manganese ions from aqueous systems. *Bio Resource.* 2013; 8(2): 2738-51.
24. Lalhruaitluanga H, Jayaram K, Prasad MNV, Kumar KK. Lead(II) adsorption from aqueous solution by raw and activated charcoals of *Melocana baccifera* Roxburgh (bamboo) – A comparative study. *J. Hazard. Mater.* 2010; 175(1-3): 311-8.
25. Ding Y, Jing D, Gong H, Zhou L, Yang X. Biosorption of aquatic cadmium (II) by unmodified rice straw. *Bio Resource. Technol.* 2012; 114: 20-5.

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงเวลาในการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด

1. หน่วยข้าวโพด

เวลา (นาที)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซับ R (%)
15	15.66	16.64	16.71	16.34	0.59	67.33
30	18.24	17.91	17.99	18.05	0.17	63.91
45	18.02	18.36	18.18	18.19	0.17	63.63
60	15.26	15.2	15.23	15.23	0.03	69.54
90	13.51	13.52	13.49	13.51	0.02	72.99
120	14.17	14.14	14.31	14.21	0.09	71.59
150	15.03	15.07	15.36	15.15	0.18	69.69
180	15.69	15.55	15.62	15.62	0.07	68.76

2. เปลือกกล้วย

เวลา (นาที)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซับ R (%)
15	2.33	2.38	2.41	2.37	0.04	95.25
30	2.43	2.48	2.53	2.48	0.05	95.04
45	2.35	2.36	2.37	2.36	0.01	95.28
60	2.84	2.82	2.82	2.83	0.01	94.35
90	2.71	2.82	2.8	2.78	0.06	94.45
120	2.96	3.01	2.9	2.96	0.06	94.09
150	2.87	2.94	2.89	2.90	0.04	94.20
180	2.97	3.07	3.03	3.02	0.05	93.95

3. เปลือกไข่

เวลา (นาที)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซับ R (%)
15	43.41	43.88	43.63	43.64	0.24	12.72
30	40.11	40.86	40.66	40.54	0.39	18.91
45	36.27	36.3	36.1	36.22	0.11	27.55
60	34.85	34.84	35.17	34.95	0.19	30.09
90	32.4	32.26	32.79	32.48	0.27	35.03
120	35.23	35.79	36.19	35.74	0.48	28.53
150	38.01	38.84	38.5	38.45	0.42	23.10
180	38.88	38.81	37.91	38.53	0.54	22.93

4. แขน

เวลา (นาที)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซับ R (%)
15	9.48	9.56	9.6	9.55	0.06	80.91
30	7.88	8.01	7.94	7.94	0.07	84.11
45	7.56	7.65	7.68	7.63	0.06	84.74
60	7.44	7.57	7.23	7.41	0.17	85.17
90	6.31	6.28	6.17	6.25	0.07	87.49
120	6.72	6.92	6.98	6.87	0.14	86.25
150	6.34	6.57	6.56	6.49	0.13	87.02
180	7.43	7.52	7.65	7.53	0.11	84.93

5. เปลือกสับปรด

เวลา (นาทึ)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซึบ R (%)
15	34.32	34.33	34.74	34.46	0.24	31.07
30	36.34	36.44	36.59	36.46	0.13	27.09
45	34.12	34.16	33.88	34.05	0.15	31.89
60	35.91	35.5	35.6	35.67	0.21	28.66
90	33.52	33.42	33.67	33.54	0.13	32.93
120	36.47	36.51	36.72	36.57	0.13	26.87
150	30.98	31.01	30.89	30.96	0.06	38.08
180	35.96	35.71	35.55	35.74	0.21	28.52

6. เปลือกข้าวโพด

เวลา (นาทึ)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซึบ R (%)
15	32.52	33.01	33.33	32.95	0.41	34.09
30	34.94	34.52	34.73	34.73	0.21	30.54
45	35.97	36.21	35.92	36.03	0.16	27.93
60	38.14	38.02	37.88	38.01	0.13	23.97
90	35.16	34.95	35.14	35.08	0.12	29.83
120	35.24	35.65	35.86	35.58	0.32	28.83
150	34.31	34.16	34.23	34.23	0.08	31.53
180	34.73	34.87	35.24	34.95	0.26	30.11

7. เปลือกส้มโอ

เวลา (นาที)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซับ R(%)
15	4.18	4.21	4.3	4.23	0.06	91.54
30	3.22	3.59	3.33	3.38	0.19	93.24
45	2.53	2.82	2.69	2.68	0.15	94.64
60	2.85	2.86	2.93	2.88	0.04	94.24
90	2.84	2.86	2.79	2.83	0.04	94.34
120	2.48	2.46	2.44	2.46	0.02	95.08
150	2.46	2.48	2.48	2.47	0.01	95.05
180	1.97	2.06	2.06	2.03	0.05	95.94

8. ว่านกาบหอย

เวลา (นาที)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซับ R (%)
15	3.99	3.96	3.95	3.97	0.02	92.07
30	3.43	3.46	3.41	3.43	0.03	93.13
45	3.48	3.51	3.47	3.49	0.02	93.03
60	3.38	3.45	3.34	3.39	0.06	93.22
90	3.84	3.47	3.49	3.60	0.21	92.80
120	3.64	3.6	3.55	3.60	0.05	92.81
150	3.62	3.5	3.52	3.55	0.06	92.91
180	3.49	3.55	3.48	3.51	0.04	92.99

9. ไบสารกึ่งทะเล

เวลา (นาที)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซับ R (%)
15	13.29	13.4	13.35	13.35	0.06	73.31
30	11.12	11.11	11.16	11.13	0.03	77.74
45	10.24	10.29	10.47	10.33	0.12	79.33
60	10.8	10.88	10.87	10.85	0.04	78.30
90	10.12	10.41	10.42	10.32	0.17	79.37
120	12.3	12.16	12.15	12.20	0.08	75.59
150	10.9	10.93	10.81	10.88	0.06	78.24
180	15.12	15.2	15.21	15.18	0.05	69.65

10. จอก

เวลา (นาที)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซับ R (%)
15	5.64	5.66	5.71	5.67	0.04	88.66
30	5.84	5.98	5.9	5.91	0.07	88.19
45	4.39	4.4	4.37	4.39	0.02	91.23
60	4.55	4.48	4.45	4.49	0.05	91.01
90	5.14	4.99	5.07	5.07	0.08	89.87
120	4.07	3.94	3.88	3.96	0.10	92.07
150	4.45	4.39	4.38	4.41	0.04	91.19
180	4.38	4.45	4.45	4.43	0.04	91.15

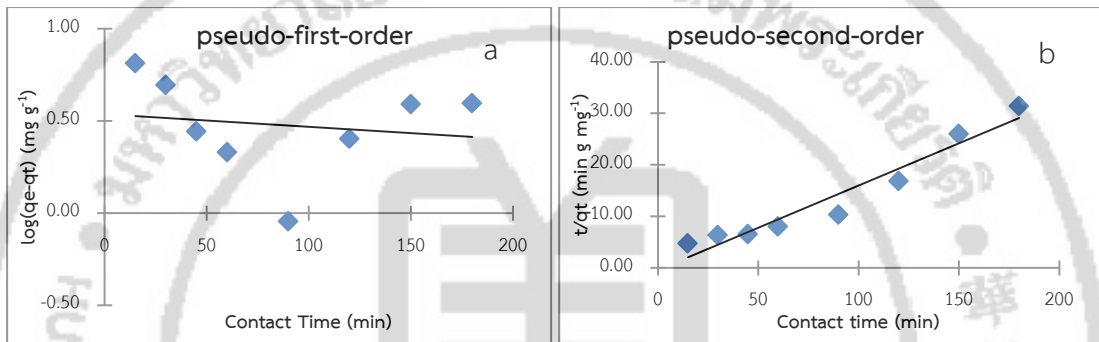
11. ผักตบชวา

เวลา (นาทีก)	1	2	3	av	sd	ค่าการดูดซับ R (%)
15	6.4	6.55	6.56	6.50	0.09	86.99
30	4.27	4.14	4.15	4.19	0.07	91.63
45	4.7	4.83	4.83	4.79	0.08	90.43
60	3.95	3.89	3.87	3.90	0.04	92.19
90	4.03	4.02	3.99	4.01	0.02	91.97
120	4.17	4.19	4.23	4.20	0.03	91.61
150	4.08	4.09	4.17	4.11	0.05	91.77
180	3.56	3.25	3.12	3.31	0.23	93.38

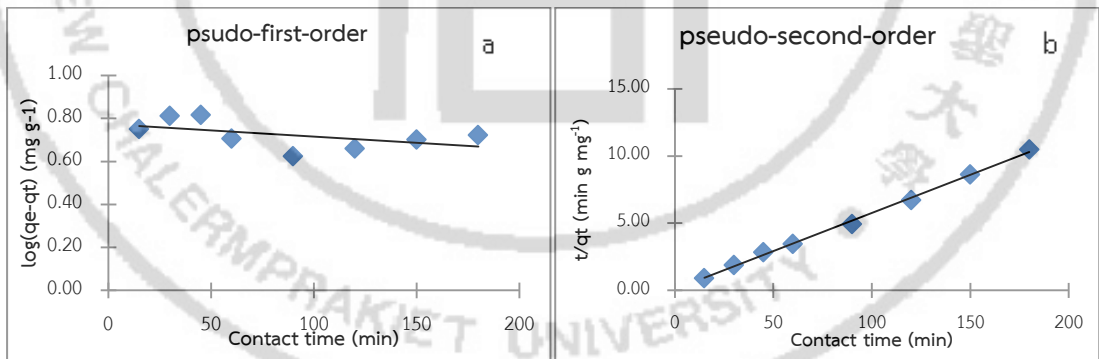
ภาคผนวก ข

กราฟแสดงจลนศาสตร์การดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 11 ชนิด Pseudo-first-order (a) และ Pseudo-second-order (b)

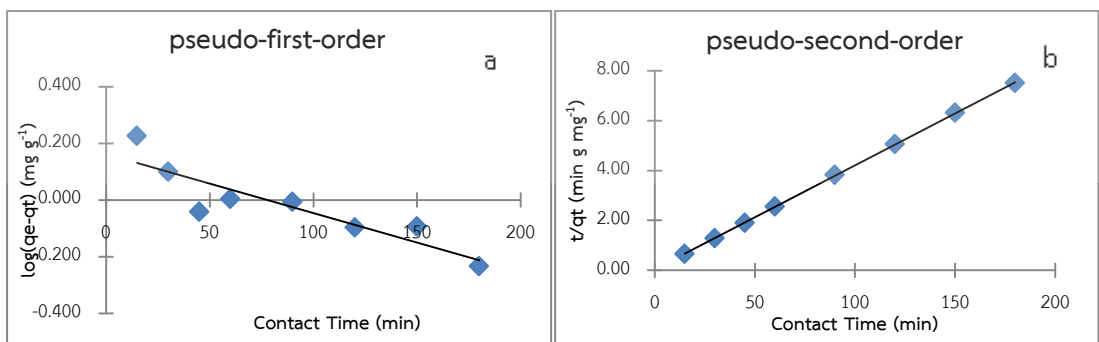
1. หนวดข้าวโพด



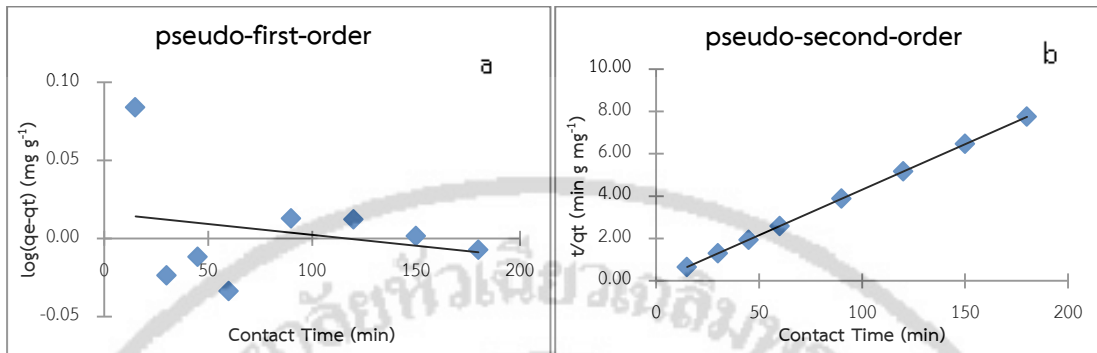
2. เปลือกกล้วย



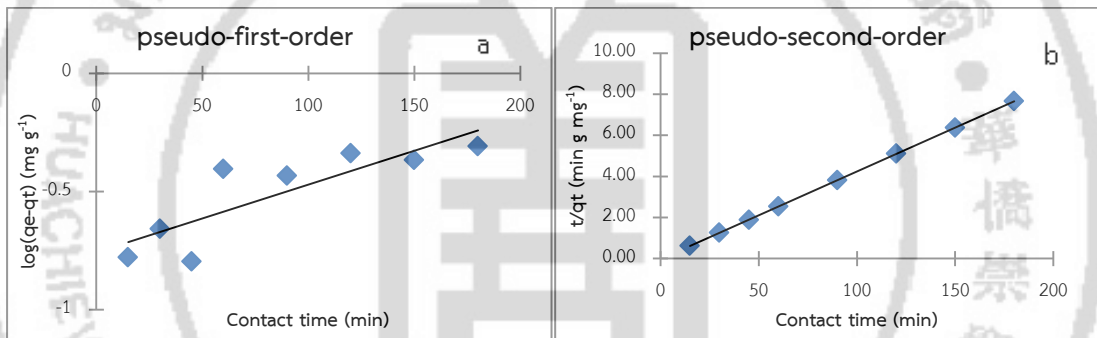
3. เปลือกไข่



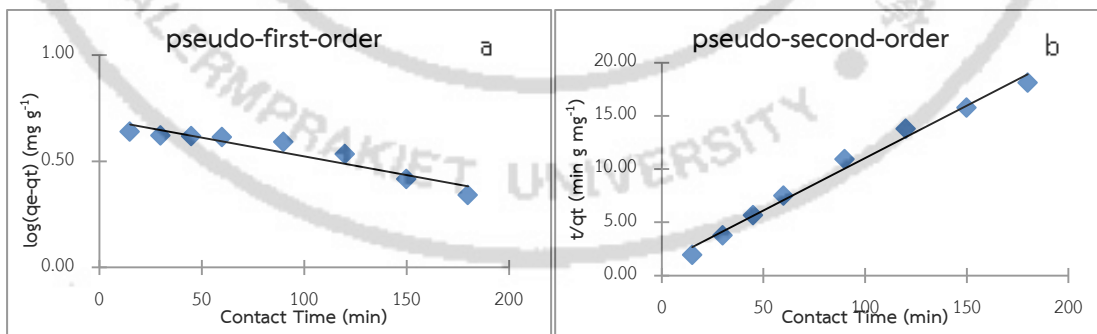
4. แหน่น



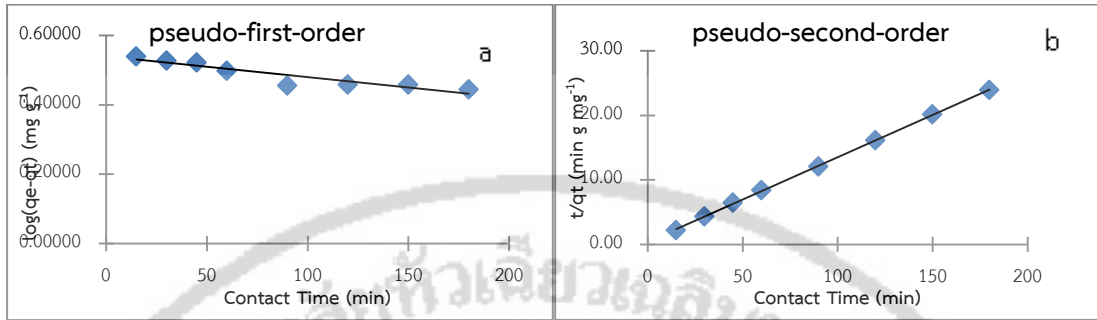
5. เปลือกสับปะรด



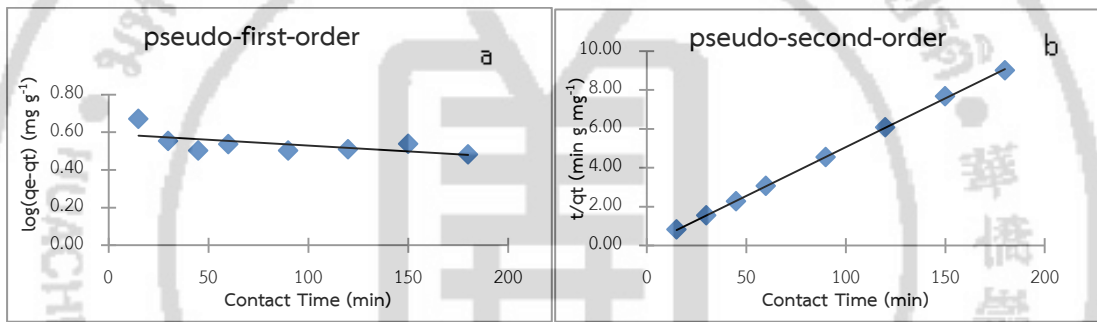
6. เปลือกข้าวโพด



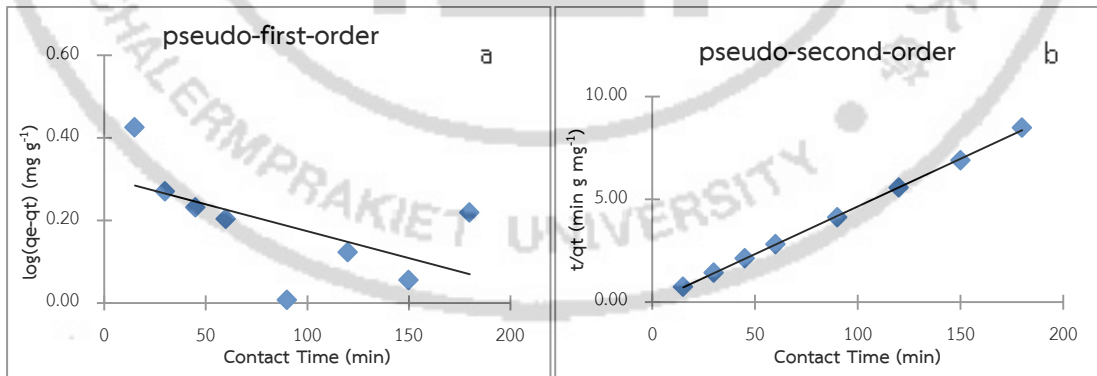
7. เปลือกส้มโอ



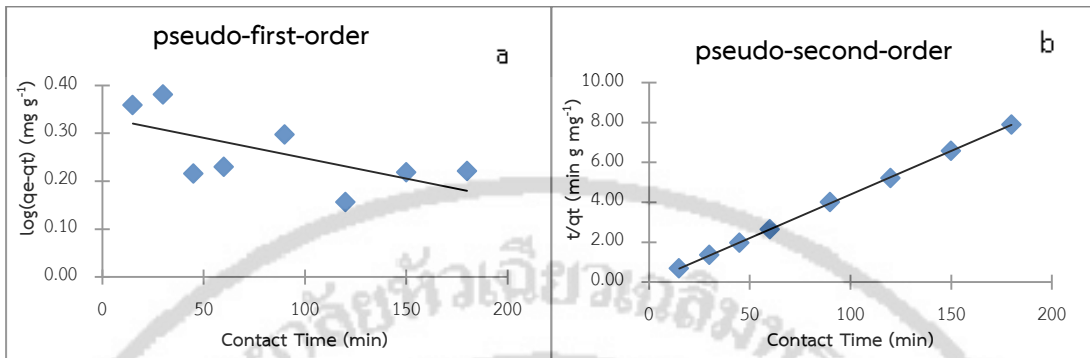
8. ว่านกาบหอย



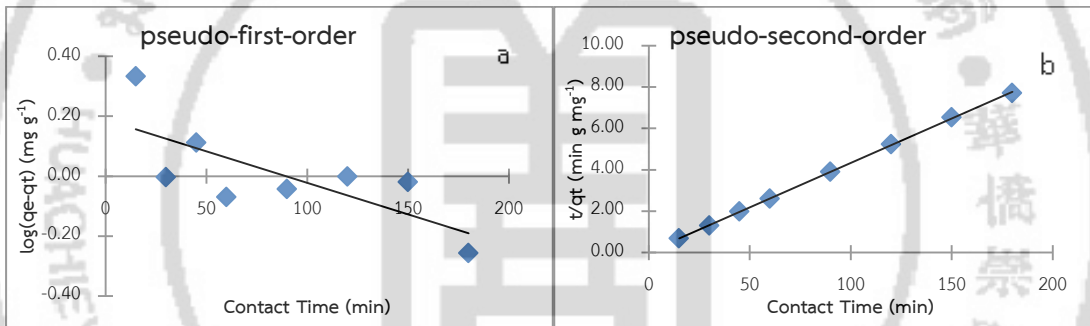
9. ใบสารภีทะเล



10. จอก



11. ผักตบชวา



ประวัติย่อผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-นามสกุล นางสาวกรรณิการ์ แก้วกัม

ประวัติการศึกษา วท.ม (เคมี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่ติดต่อ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โทรศัพท์ 0-2312-6300 ต่อ 1180

ผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล นางสาวอัจฉณา ขำทิพย์

ประวัติการศึกษา วท.ม (เคมีวิเคราะห์และเคมีอินทรีย์ประยุกต์) มหาวิทยาลัยมหิดล

สถานที่ติดต่อ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โทรศัพท์ 0-2312-6300 ต่อ 1180

ผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล นางศรมน สุทิน

ประวัติการศึกษา วท.ม.(เคมีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

สถานที่ติดต่อ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โทรศัพท์ 0-2312-6300 ต่อ 1180

ผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล มณฑลี ธีรอภิศักดิ์กุล

ประวัติการศึกษา วท.ด สาขาชีวเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่ติดต่อ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โทรศัพท์ 0-2312-6300 ต่อ 1180

