

การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้กากสาคุเป็นวัสดุดูดซับ

The Adsorption of Lead and Cadmium from Wastewater by Using Dregs of Sago Palm (*Metroxylon sago* Rottb) as Adsorbents

ประวิทย์ เนืองมัจฉา^{1*} ปิยวรรณ เนืองมัจฉา²

^{1*}ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, นครศรีธรรมราช 80280

Prawit Nuengmacha^{1*} Piyawan Nuengmacha²

^{1*}Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology,

²Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology,

Rajabhat Nakhon Si Thammarat University, Nakhon Si Thammarat 80280 Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสีย โดยใช้กากสาคุเป็นวัสดุดูดซับ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักได้แก่ ขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับ ระดับพีเอชของน้ำเสีย ระยะเวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล และอุณหภูมิของน้ำเสีย ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับลดลง ระดับพีเอชของน้ำเสีย ระยะเวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล และอุณหภูมิของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วด้วยกากสาคุคือ 4.0 (พีเอช) 24 (ชั่วโมง) และอุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส) ตามลำดับ สำหรับแคดเมียมคือ 6.0 (พีเอช) 12 (ชั่วโมง) และอุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส) ตามลำดับ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมจากการวิจัยมาหาค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่ว และแคดเมียมด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบต่อเนื่องโดยใช้สมการไอโซเทอรั่มของฟรุนดลิช พบว่ากากสาคุดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้สูงสุดเท่ากับ 0.95, 1.36, 1.92 และ 6.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: ตะกั่ว แคดเมียม การดูดซับ น้ำเสีย

* ผู้รับผิดชอบบทความ (corresponding author)

โทรศัพท์ 0-7537-7443 Email: prawitm@chaiyo.com

ABSTRACT

The objective of this research was to study the efficiency of lead and cadmium adsorption from wastewater by using dregs of sago plum (Metroxylon sagu Rottb). The effect of particle size of adsorbents, pH of wastewater, time required for equilibrium, temperature of wastewater were investigated. It was found that the adsorption capacity of adsorbents for the metal increased with decreasing particle size of adsorbents. The most suitable pH of wastewater, time required for equilibrium, and temperature of wastewater for lead were 4.0 (pH), 24 (hours) and roomtemperature, respectively. For cadmium, the results were 6.0 (pH), 12 (hours) and roomtemperature, respectively. After being applied the optimum condition found from the research to obtain the maximum adsorptive capacity of heavy metal from batch and column methods by using Freundlich adsorption isotherm, we found that dregs of sago plum had maximum adsorption of lead and cadmium at 0.95, 1.36, 1.92 and 6.98 mg/g for batch and column methods, respectively.

Keywords: Lead, Cadmium, Adsorption, Wastewater

บทนำ

ในปัจจุบันอัตราการขยายตัวของประชากร การเติบโตทางภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำซึ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีการทำอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ การทำเครื่องถม การถลุงแร่ การทำเหมืองแร่และกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการใช้สารเคมี จะมีโอกาสปล่อยโลหะหนักที่เป็นพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมมากกว่าแหล่งอื่น ๆ โดยเฉพาะตะกั่วและแคดเมียมพบว่ามีปริมาณมากและมีความเป็นพิษสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องมีการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการกำจัดอยู่หลายวิธีเช่น การทำให้ตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์และออกไซด์ การแยกโดยใช้ไฟฟ้า และการออสโมซิสผันกลับ (Saha และคณะ, 2002) รวมถึงวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Deshkar และคณะ, 1990) แต่วิธีการเหล่านี้ต้องใช้ต้นทุนสูง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการ

กำจัดโลหะหนักโดยใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติซึ่งมีต้นทุนต่ำกว่า และมีรายงานการศึกษาการดูดซับโลหะหนักจากวัสดุธรรมชาติที่เหลือทิ้งจากการเกษตรหลายชนิดดังนี้ สุรินทร์ และคณะ (2543) ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วโดยใช้หญ้าสลาบลวงและไส้ตับประรด โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วได้แก่ การศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับตะกั่ว (4.0-6.0) เวลาและอัตราการดูดซับตะกั่ว (0-120 นาที) และความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วที่มีผลต่อการดูดซับ (6.25-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และยังมีการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุที่หลากหลายในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสีย เช่น อัจฉรา (2545) ได้ศึกษาการกำจัดแคดเมียมและตะกั่วในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่ เพื่อศึกษาผลของพีเอชต่อการดูดซับ และประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่องด้วยตัวดูดติดผิวทรงกระบอก นอกจากนี้ อัจฉรา (2546) ยังได้ทำการศึกษาการกำจัดตะกั่วโดยใช้ถั่วแกลบดำ เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (1.0-7.0) และศึกษาประสิทธิภาพการ

กำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่องด้วยถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษารูปร่างต้นสอดคล้องกับการศึกษาการดูดซับแคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้ปอกระเจา ชี้เลื่อย เปลือกถั่ว ไยมะพร้าว แกลบเผา ไยไหม ไยข้าวโพด และใยไม้ไผ่ของ รัตนา (2542) และ Shukla และคณะ (2005) ซึ่งผลการศึกษาค้นพบว่าวัสดุกลุ่มที่มีเส้นใยสามารถกำจัดโลหะหนักได้ดี จากการศึกษาผลการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักนั้นได้ผลดี จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำสาหร่ายที่เป็นพืชที่มีเส้นใยสูง (กัลปังหรงค์ และคณะ, 2542) มาใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

สาหร่ายเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในตระกูลปาล์มและเป็นพืชท้องถิ่นในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบมากในเขตพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศไทยตามบริเวณที่ลุ่มริมฝั่งแม่น้ำลำคลอง หรือพื้นที่ที่มีการระบายน้ำได้ดี (ไพรัตน์, 2530) ประโยชน์ของต้นสาหร่ายคือนำมาผลิตแป้งผลิตอาหารสัตว์ ใช้เลี้ยงด้วง และพบว่ากากสาหร่ายที่เหลือจากการผลิตแป้งจะมีปริมาณเส้นใยสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกวัสดุธรรมชาติที่เหลือใช้และมีมากในท้องถิ่นมาทำการศึกษาค้นคว้าได้แก่ สาหร่าย โดยใช้ส่วนของกากสาหร่ายที่เหลือจากการผลิตแป้งมาทำการดูดซับโลหะตะกั่ว และแคดเมียม โดยอาศัยความรู้พื้นฐานที่ว่าวัสดุที่มีรูพรุนและเส้นใยสูงจะมีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ดี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติและความสามารถในการดูดซับตะกั่ว และแคดเมียมของกากสาหร่าย
2. เพื่อศึกษาขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับ ระยะเวลาในการดูดซับ พีเอช และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้กากสาหร่ายเป็นวัสดุดูดซับด้วยวิธีการแบบถังแช่และแบบต่อเนื่อง

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมวัสดุดูดซับ นำกากสาหร่ายมาทำการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) นำไปต้ม

ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนอีกครั้งจนพีเอชของสารละลายเป็นกลาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำวัสดุที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะพื้นผิว โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM) ส่วนวัสดุที่เหลือเก็บในโถดูดความชื้นเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

การเตรียมสารละลายโลหะตะกั่วและแคดเมียม ใช้ $Pb(NO_3)_2$ และ $Cd(NO_3)_2$ AR เกรดของบริษัท Merck ทำการเตรียมน้ำเสียของสารละลายโลหะทั้งสองแยกกัน โดยให้โลหะแต่ละชนิดมีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างด้วยเครื่องอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer; AAS) Shimadzu รุ่น AA6501 F

1. การศึกษาขนาดอนุภาคของกากสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

ซึ่งวัสดุกากสาหร่ายที่ทำการแยกขนาดเป็น 16 32 42 60 และ 70 เมช ปริมาณ 0.2 กรัม ลงในสารละลายตะกั่วและแคดเมียมความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำสารละลายไปวัดหาปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และนำวัสดุกากสาหร่ายที่มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสมไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสแกนเพื่อดูลักษณะพื้นผิว

2. การศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

ซึ่งวัสดุกากสาหร่ายที่มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสม (จากข้อ 1) ปริมาณ 0.2 กรัม ลงในสารละลายของโลหะตะกั่วและแคดเมียม ที่มีระดับพีเอช 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 และ 6.0 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง แยกกากสาหร่ายออกจากสารละลาย และวัดปริมาณโลหะหนักที่เหลือในสารละลาย

3. การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับ ตะกั่วและแคดเมียม

ซึ่งกากสาหร่ายที่มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสม (จากข้อ 1) ลงในสารละลายตะกั่วและแคดเมียม ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับพีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 2) วัดปริมาณโลหะตะกั่วและแคดเมียมที่เหลือในสารละลาย เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลา 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 24.0 และ 48.0 ชั่วโมง

4. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับ ตะกั่วและแคดเมียม

ซึ่งกากสาหร่ายที่มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสม (จากข้อ 1) ลงในสารละลายตะกั่วและแคดเมียม ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับพีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 2) บนอ่างให้ความร้อนอุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตั้งไว้จนการดูดซับเข้าสู่สมดุล (จากข้อ 3) วัดปริมาณโลหะตะกั่วและแคดเมียมที่เหลือในสารละลาย

5. การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดของวัสดุกากสาหร่ายในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม แบบถั่งแช่ (Batch)

ซึ่งวัสดุกากสาหร่ายปริมาณ 0.2 กรัม ลงในสารละลายตะกั่วและแคดเมียม ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ความเข้มข้นในช่วง 25 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับพีเอชและอุณหภูมิที่เหมาะสม (จากข้อ 2 และ 4) ตั้งไว้จนการดูดซับเข้าสู่สมดุล แยกกากสาหร่ายออกจากสารละลาย วัดปริมาณโลหะตะกั่วและแคดเมียมที่เหลือในสารละลาย และคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัด

โลหะตามวิธีของ Deshkar และคณะ (Deshkar และคณะ, 1990)

6. การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดของวัสดุกากสาหร่ายในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม แบบต่อเนื่อง (Column)

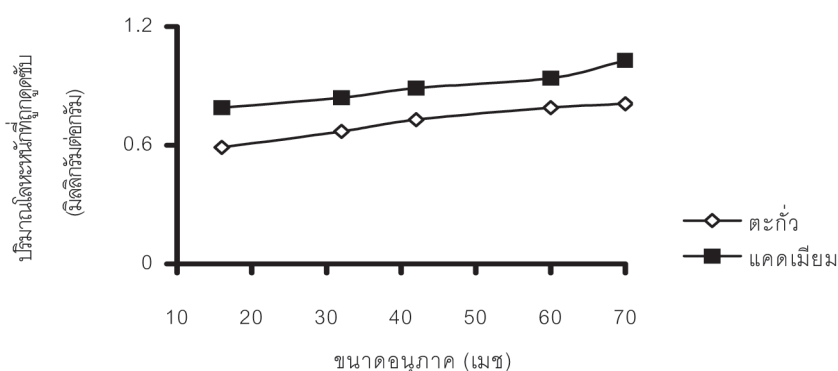
ผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกั่วและแคดเมียม ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ด้านบนของคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัสดุกากสาหร่าย 1.0315 กรัม ความสูง 15 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 มิลลิเมตร ด้วยอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่ไหลผ่านคอลัมน์ครั้งละ 25 มิลลิลิตร วัดหาปริมาณโลหะจนกระทั่งความเข้มข้นของโลหะในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไหลผ่านคอลัมน์มีค่าเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงยุติการทดลอง นำผลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะตามวิธีของ Deshkar และคณะ (Deshkar และคณะ, 1990)

ผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้กากสาหร่ายเป็นวัสดุดูดซับสามารถแสดงผลได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาขนาดอนุภาคของกากสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

จากการศึกษาพบว่าปริมาณการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมแปรผกผันกับขนาดอนุภาคของกากสาหร่าย นั่นคือขนาดอนุภาคของวัสดุเล็กลงปริมาณการดูดซับโลหะจะเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1) เนื่องจากวัสดุที่มีขนาด

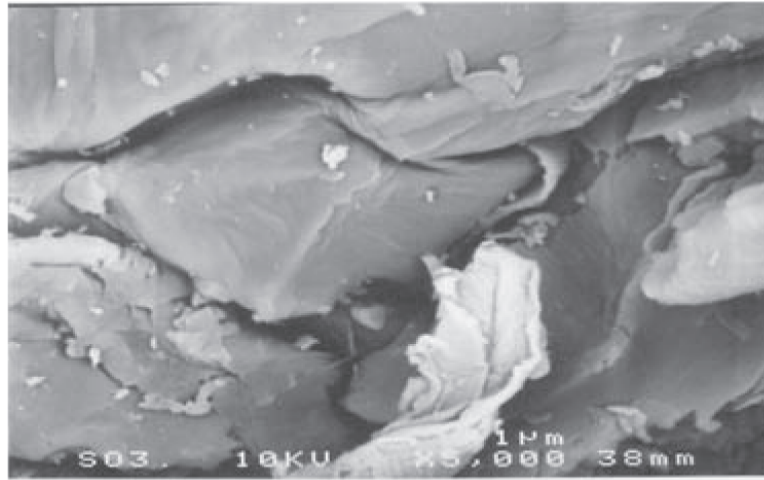


ภาพที่ 1 ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับโดยกากสาหร่ายที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน

อนุภาคเล็กพื้นที่ผิวในการดูดซับจะมากกว่าวัสดุที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ จึงทำให้ปริมาณการดูดซับโลหะเพิ่มขึ้นด้วย แต่การศึกษาครั้งนี้เลือกวัสดุที่มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 60 เมช เนื่องจากวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่านี้ ไม่เหมาะในการศึกษาด้วยวิธีการแบบคอลัมน์เพราะจะทำให้อัตราการไหลของสารละลายต่ำซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับผลการดูดซับโลหะหนัก

โดยใช้วัสดุชนิดอื่น เช่น โยมะพร้าว ไยไหม และใยไม้ไผ่ (รัตนา, 2538)

เมื่อนำวัสดุที่มีขนาดอนุภาค 60 เมชมาถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนพบว่า พื้นผิวของวัสดุมีช่องว่างภายในและมีลักษณะการจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ (ภาพที่ 2) การจัดเรียงตัวในลักษณะดังกล่าวเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับของวัสดุให้มากขึ้น



ภาพที่ 2 ภาพถ่าย SEM ของกากสาकुที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

2. ผลการศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาที่ระดับพีเอช 1.0 ถึง 6.0 เท่านั้น เนื่องจากรายงานผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าที่ระดับพีเอชมากกว่า 6.0 จะทำให้โลหะตะกั่วและแคดเมียมตกตะกอน (อัจฉรา, 2545; Abollino และคณะ, 2000 อ้างถึงใน สุรินทร์, 2547) และจากผลการศึกษาพบว่าวัสดุกากสาकुสามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้สูงสุดที่ระดับพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4.0 และ 6.0 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) สำหรับแคดเมียมพบว่าปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับจะแปรผันตรงกับระดับพีเอช ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายที่มีพีเอชต่ำจะมีจำนวนไฮโดรเจนไอออนมาก ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่า H^+ จะเกิดการแข่งขันกับ Cd^{2+} ในการเข้าจับกับกากสาकु (Abollino และคณะ, 2000 อ้างถึงใน สุรินทร์, 2547) จึงทำให้ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับลดลง ส่วนตะกั่ว

พบว่าถูกดูดซับได้ดีที่พีเอช 4.0 แสดงว่าที่ระดับพีเอชดังกล่าวโลหะตะกั่วสามารถกระจายตัวในรูปของไอออนได้ดี จึงทำให้ไอออนของโลหะมีโอกาสสัมผัสบนพื้นผิวและถูกดูดซับได้ดีด้วย นอกจากนี้เหตุผลที่ยกมาอธิบายข้างต้นแล้วอาจมีอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการดูดซับของโลหะทั้งสองเช่น สภาพประจุบนพื้นผิวของวัสดุกากสาकु

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระดับพีเอชของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วด้วยกากสาकुมีค่าสูงกว่าวัสดุถ่านแกลบดำซึ่งมีระดับพีเอชเท่ากับ 3.0 (อัจฉรา, 2545) และมีค่าต่ำกว่าเส้นผม ซึ่งมีระดับพีเอชระหว่าง 6.0-7.0 (นัยนา, 2536) และเปลือกไข่ซึ่งมีระดับพีเอชเท่ากับ 4.5 (ประสิทธิ์, 2542) ส่วนระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับแคดเมียมด้วยกากสาकुพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับเปลือกไข่ซึ่งมีระดับพีเอชระหว่าง 5.0-6.0 (อัจฉรา, 2545)

ตารางที่ 1 ความสามารถของกากสาคุในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากสารละลายที่ระดับพีเอชแตกต่างกัน

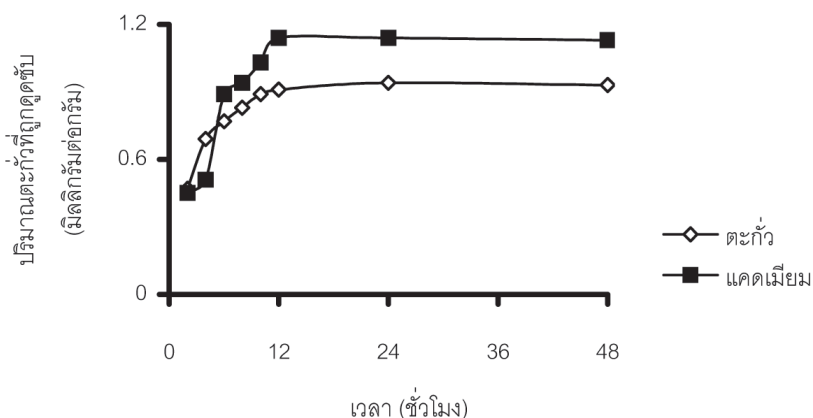
ระดับพีเอชของสารละลาย	ปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	
	ตะกั่ว	แคดเมียม
1	0.15 ± 0.01	0.22 ± 0.03
2	0.19 ± 0.03	0.27 ± 0.01
3	0.31 ± 0.06	0.60 ± 0.02
4	0.67 ± 0.03	0.77 ± 0.03
5	0.52 ± 0.01	0.86 ± 0.04
6	0.49 ± 0.03	0.93 ± 0.03

หมายเหตุ ทำการศึกษาที่ระดับพีเอช 1 ถึง 6 เท่านั้น เพื่อให้มั่นใจว่าโลหะหนักไม่ตกตะกอนไฮดรอกไซด์ และแสดงผล (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

3. ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

จากการศึกษาพบว่า ในช่วง 6 ชั่วโมงแรก กากสาคุสามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวของวัสดุยังว่างอยู่ จากนั้นพบว่าปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับเริ่มคงที่ นั่นคือ การดูดซับเข้าสู่สมดุล แสดงว่าพื้นผิวของกากสาคุถูกปกคลุมด้วยไอออนของโลหะหนัก และยังคงมีการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะหนักระหว่างไอออนบนพื้นผิวกากสาคุกับ

ไอออนในสารละลายอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการดูดซับตะกั่วเข้าสู่สมดุลที่ 24 ชั่วโมง และแคดเมียมที่ 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นปริมาณโลหะหนักไม่เพิ่มขึ้นอีก (ภาพที่ 3) ผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระยะเวลาที่กากสาคุใช้ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจนถึงสมดุลช้ากว่าเปลือกไข่ และเกล็ดปลา ซึ่งใช้เวลาในการดูดซับเท่ากับ 80 นาที (ประสิทธิ์, 2542) และกะลามะคาเดเมีย ใช้เวลาในการดูดซับเท่ากับ 240 นาที (ขจรศักดิ์, 2546)



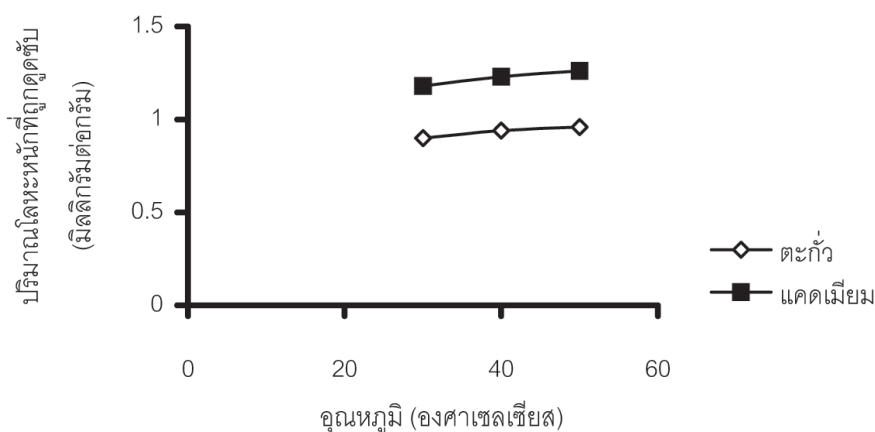
ภาพที่ 3 ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับโดยกากสาคุที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

4. ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับด้วยกากสาธูแปรผันตรงกับอุณหภูมิ นั่นคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย (ภาพที่ 4) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไอออนของโลหะจะได้รับพลังงานมากขึ้น ทำให้ไอออนสามารถ

เคลื่อนที่ได้มากขึ้นด้วย ดังนั้นโอกาสที่ไอออนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปสัมผัสพื้นผิวและถูกดูดซับบนกากสาธูก็มากด้วยเช่นกัน

การศึกษาครั้งนี้เลือกศึกษาที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิทำได้ง่ายและประหยัดกว่าที่อุณหภูมิสูง

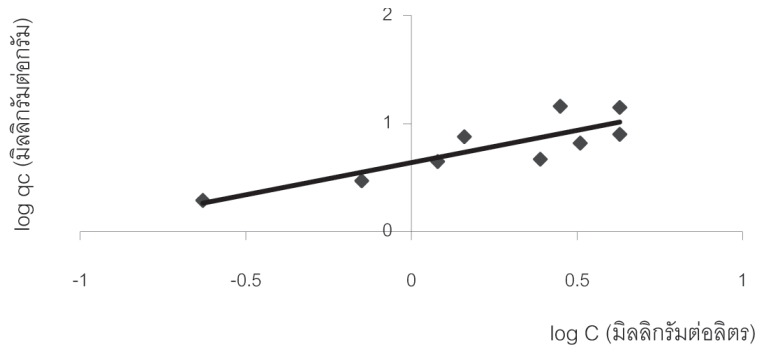


ภาพที่ 4 ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับโดยกากสาธูที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

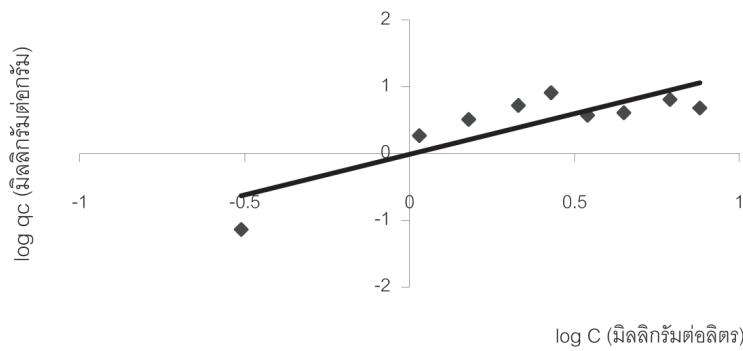
5. ผลการศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดของกากสาธูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม แบบถั่งแช่ (Batch)

การหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของกากสาธูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม อธิบายได้โดยไอโซเทอรั่มการดูดซับของฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm) ในรูปลอการิทึม (Deshkar และคณะ, 1990) คือ $\ln q_c = \ln k_F + 1/n \ln C$ เมื่อ q_c คือปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับบนกากสาธู (มิลลิกรัมต่อกรัม) C คือความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายเมื่อการดูดซับเข้าสู่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) k_F คือค่าคงที่ในการดูดซับโลหะหนัก

ผลจากการศึกษาพบว่ากากสาธูสามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียมได้สูงสุดเท่ากับ 0.95 ($R^2 = 0.7150$) และ 1.36 ($R^2 = 0.7313$) มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 5 และ 6) ซึ่งมีความมากกว่าเมื่อใช้สาหร่ายแพดดิनाไฮเทียนซิส (*Padina Haitiensis*) เป็นวัสดุดูดซับซึ่งมีค่าเท่ากับ 146–314 และ 13–175 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Wangkarn และคณะ, 2004) แต่การดูดซับตะกั่วมีค่าน้อยกว่าถ้ำแก่ลบซึ่งมีค่าการดูดซับเท่ากับ 7.87 มิลลิกรัมต่อกรัม (Mahachai และคณะ, 2003)



ภาพที่ 5 Freundlich Adsorption Isotherm ของกากสาकुในการดูดซับแคดเมียม

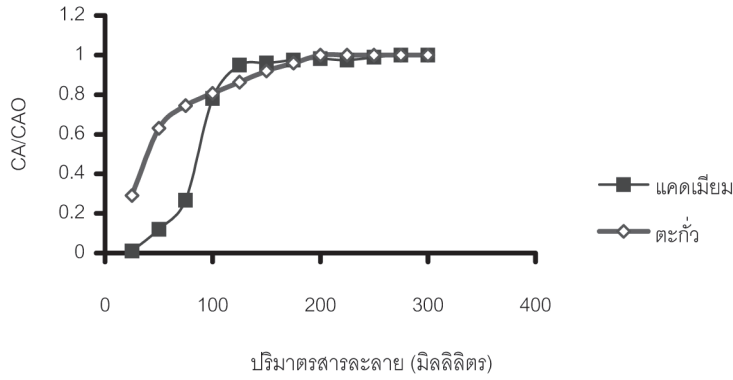


ภาพที่ 6 Freundlich Adsorption Isotherm ของกากสาकुในการดูดซับตะกั่ว

6. ผลการศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดของกากสาकुในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม แบบต่อเนื่อง (Column)

การหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของกากสาकुในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมแบบต่อเนื่องโดยใช้ break-through capacity (Deshkar และคณะ, 1990) โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_A/C_{AO} และปริมาตรของสารละลายที่ผ่านออกจากคอลัมน์ (มิลลิลิตร) เมื่อ C_A คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายหลังจากผ่านคอลัมน์ และ C_{AO} คือความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายก่อนผ่านคอลัมน์ ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของกากสาकुด้วยวิธีการดูดซับแบบต่อเนื่องหาได้จากปริมาตรของสารละลายที่ทำให้ค่า $C_A/C_{AO} = 0.5$ (ภาพที่ 7)

ผลจากการศึกษาพบว่าปริมาตรของสารละลายตะกั่วและแคดเมียมที่ทำให้ค่า $C_A/C_{AO} = 0.5$ คือ 21 และ 72 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อคำนวณหาความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของกากสาकुเท่ากับ 1.92 และ 6.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่า การดูดซับโลหะหนักด้วยวิธีการแบบต่อเนื่องมีค่าความสามารถในการดูดซับมากกว่าแบบถังแช่ ทั้งนี้ เนื่องจากการดูดซับด้วยวิธีการแบบต่อเนื่องอิออนของโลหะหนักมีโอกาสได้สัมผัสพื้นผิวของวัสดุดูดซับตลอดเวลา ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการดูดซับปรอทโดยใช้เปลือกของฮาร์ดวิกเกียไบนาต้า (*Hardwickia Binata*) (Deshkar และคณะ, 1990) พบว่าการดูดซับแบบถังแช่และแบบต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 1.05 และ 21.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 7 Breakthrough ของกากสาकुในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

สรุปผลการวิจัย

กากสาकुเป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม โดยขนาดอนุภาคของกากสาकुที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือ 60 เมช ระดับพีเอชของสารละลายที่ให้ค่าการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมสูงสุดคือ 4.0 และ 6.0 ตามลำดับ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือ อุณหภูมิห้อง และเวลาที่การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมเข้าสู่สมดุลคือ 24 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมด้วยวิธีแบบถั่งแช่มีค่าต่ำกว่าแบบต่อเนื่องคือ 0.95, 1.36, 1.92 และ 6.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกากสาकुกับวัสดุดูดซับชนิดอื่น ๆ พบว่ากากสาकुสามารถนำไปใช้ในการกำจัดโลหะหนักได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์และประหยัดค่าใช้จ่าย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2537). *แนวทางควบคุมปัญหาน้ำเสียสำหรับองค์กรบริหารท้องถิ่น*. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, รังสิมา ชลคุป, สุนีย์ โชตินิรนาท, สุนิรัตน์ หนัชรักษ์ธรรม, สมยศ จรรยาวิลาศ, ธีระ ทองเผือก, สาลี บัวลำไย, ฉัตรชัย ปฏิยุทธ์, Christopher G. Oates และ Alastair Hicks. (2542). *คุณสมบัติและการ*

ใช้ประโยชน์ของสาकु. กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอน เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด.

ขจรศักดิ์ โสภจรรย์ และวัชรพล มณีโชติ. (2546). การดูดซับตะกั่วและทองแดงในน้ำเสียที่มีองค์ประกอบชนิดเดียวและสองชนิดโดยถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่ทำจากกะลามะดาเดเมีย. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*. 11(1&2), 56-69.

นัยนา หาญโรดม. (2536). *การลดปริมาณสารละลายตะกั่วโดยใช้เส้นผม*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ - มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประสิทธิ์ แผ้วบาง และอรุไท สุขเจริญ. (2542). การเปรียบเทียบการดูดซับตะกั่ว(+2) โดยใช้เปลือกไข่และเกล็ดปลา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย)*. 7(2), 51-57.

ไพรัตน์ โสภณโณคร. (2530). การศึกษาการสกัดและการฟอกสีแป้งจากต้นสาकु. *วารสารสงขลานครินทร์*. 9(3), 393-396.

รัตนา มหาชัย. (2538). *งานวิจัยเรื่องการศึกษาการดูดซับโลหะหนักโดยใช้วัสดุดูดซับบางชนิด*. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

รัตนา มหาชัย. (2542). การศึกษาวัสดุธรรมชาติเพื่อดูดซับโลหะหนักที่มีพิษในน้ำเสีย. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 27(2), 143-152.

- สุนิรัตน์ เรืองสมบุญ. (2547). การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้ *Scenedesmus dimorphus* เป็นตัวดูดซับ. *วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง*. 12(1), 42-47.
- สุนิษฐ์ เหล่าพระจันทร์ และอรไท สุขเจริญ. (2543). การดูดซับตะกั่ว(+2) โดยใช้หญ้าสลาบลวงและไส้สับประรด. *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว*. 16(2), 91-98.
- อัจฉรา ดวงเดือน. (2545). การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่และถั่วแกลบดำ. *LAB.TODAY*. 62-65.
- อัจฉรา ดวงเดือน. (2546). การกำจัดตะกั่วโดยใช้ถั่วแกลบดำ. *วิศวกรรมสาร มก*. 16(48),10-17.
- Deshkar, A.M., Bokade, S.S. and Dara, S.S.. (1990). Modified *Hardwickia Binata* Bark for Adsorption of Mercury (II) from water. *Water Resource*. 24, 1011-1016.
- Mahachai, R. and Poovongpa, N. (2003). Cr(III) Pb(II) and Ag(I) Adsorption using rice husk ashes. *29th Congress on Science and Technology of Thailand*. Thailand, 29, 250.
- Saha, U.K., Taniguchi, S. and Sukuraj, K.. (2002). Simultaneous Adsorption of Cadmium, Zinc, and Lead on Hydroxyaluminum and Hydroxyaluminosilicate - Montmorillonite Complexes. *Soil Science Society of America Journal*. 66, 117-128.
- Shukla, SR. and Roshan S Pai. (2005). Removal of Pb(II) from Solution using cellulose - containing Materials. *Journal of chemical Technology & Biotechnology*. 80, 176-183.
- Wangkarn, S., Chanvaivit, S. and Mingmuang, A. (2004). A Study of Sorption of Heavy Metals using Padina Haitiensis Thivy. *30th Congress on Science and Technology of Thailand*. Thailand, 30, 211.