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

ประวิทย์ เนื่องมัจฉา[1*] ปิยวรรณ เนื่องมัจฉา[2]
[1*]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
[2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, นครศรีธรรมราช 80280

Prawit Nuengmatcha[1*] Piyawan Nuengmatcha[2]
[1*]Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology,
[2]Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology,
Rajabhat Nakhon Si Thammarat University, Nakhon Si Thammarat 80280 Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสีย โดยใช้กากสาคูเป็นวัสดุดูดซับ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักได้แก่ ขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับ ระดับพีเอชของน้ำเสีย ระยะเวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล และอุณหภูมิของน้ำเสีย ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับลดลง ระดับพีเอชของน้ำเสีย ระยะเวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล และอุณหภูมิของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วด้วยกากสาคูคือ 4.0 (พีเอช) 24 (ชั่วโมง) และอุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส) ตามลำดับ สำหรับแคดเมียมคือ 6.0 (พีเอช) 12 (ชั่วโมง) และอุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส) ตามลำดับ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมจากการวิจัยมาหาค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่ว และแคดเมียมด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบต่อเนื่องโดยใช้สมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช พบว่ากากสาคูดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้สูงสุดเท่ากับ 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 plam (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 plam 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 โดยเฉพาะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีการทำอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี การทำเครื่องถม การถลุงแร่ การทำเหมืองแร่และกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการใช้สารเคมี จะมีโอกาสปล่อยโลหะหนักที่เป็นพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมมากกว่าแหล่งอื่น ๆ โดยเฉพาะตะกั่วและแคดเมียมพบว่ามีปริมาณมากและมีความเป็นพิษสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องมีการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการกำจัดอยู่หลายวิธีเช่น การทำให้ตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์และออกไซด์ การแยกโดยใช้ไฟฟ้า และการออสโมซิสผันกลับ (Saha และคณะ, 2002) รวมถึงวิธีการแลกเปลี่ยนอิออน (Deshkar และคณะ, 1990) แต่วิธีการเหล่านี้ต้องใช้ต้นทุนสูง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการกำจัดโลหะหนักโดยใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติซึ่งมีต้นทุนต่ำกว่า และมีรายงานการศึกษาการดูดซับโลหะหนักจากวัสดุธรรมชาติที่เหลือทิ้งจากการเกษตรหลายชนิดดังนี้ สุรินทร์ และคณะ (2543) ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วโดยใช้หญ้าสลาบหลวงและไส้สับปะรด โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วได้แก่ การศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับตะกั่ว (4.0–6.0) เวลาและอัตราการดูดซับตะกั่ว (0–120 นาที) และความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วที่มีผลต่อการดูดซับ (6.25–1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และยังมีการประยุกต์ใช้วัสดุที่หลากหลายในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสีย เช่น อัจฉรา (2545) ได้ศึกษาการกำจัดแคดเมียมและตะกั่วในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่ เพื่อศึกษาผลของพีเอชต่อการดูดซับ และประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่องด้วยตัวดูดติดผิวทรงกระบอก นอกจากนี้ อัจฉรา (2546) ยังได้ทำการศึกษาการกำจัดตะกั่วโดยใช้เถ้าแกลบดำ เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (1.0–7.0) และศึกษาประสิทธิภาพการ

กำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่องด้วยถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาข้างต้นสอดคล้องกับการศึกษาการดูดซับแคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้ปอกระเจา ขี้เลื่อย เปลือกถั่ว ใยมะพร้าว แกลบเผา ใยไหม ใยข้าวโพด และใยไม้ไผ่ของ รัตนา (2542) และ Shukla และคณะ (2005) ซึ่งผลการศึกษาพบว่าวัสดุกลุ่มที่มีเส้นใยสามารถกำจัดโลหะหนักได้ดี จากการศึกษาผลการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักนั้นได้ผลดี จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำสาคูซึ่งเป็นพืชที่มีเส้นใยสูง (กล้าณรงค์ และคณะ, 2542) มาใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

สาคูเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในตระกูลปาล์มและเป็นพืชท้องถิ่นในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบมากในเขตพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศไทยตามบริเวณที่ลุ่มริมฝั่งแม่น้ำลำคลอง หรือพื้นที่ที่มีการระบายน้ำได้ดี (ไพรัตน์, 2530) ประโยชน์ของต้นสาคูคือนำมาผลิตแป้ง ผลิตอาหารสัตว์ ใช้เลี้ยงด้วง และพบว่ากากสาคูที่เหลือจากการผลิตแป้งจะมีปริมาณเส้นใยสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกวัสดุธรรมชาติที่เหลือใช้และมีมากในท้องถิ่นมาทำการศึกษาได้แก่ สาคู โดยใช้ส่วนของกากสาคูที่เหลือจากการผลิตแป้งมาทำการดูดซับโลหะตะกั่ว และแคดเมียม โดยอาศัยความรู้พื้นฐานที่ว่าวัสดุที่มีรูพรุนและเส้นใยสูงจะมีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ดี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติและความสามารถในการดูดซับตะกั่ว และแคดเมียมของกากสาคู
2. เพื่อศึกษาขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับ ระยะเวลาในการดูดซับ พีเอช และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้กากสาคูเป็นวัสดุดูดซับด้วยวิธีการแบบถังแช่และแบบต่อเนื่อง

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมวัสดุดูดซับ นำกากสาคูมาทำการล้างด้วยน้ำปราศจากอิออน (Deionized water) นำไปต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำปราศจากอิออนอีกครั้งจนพีเอชของสารละลายเป็นกลาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำวัสดุที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะพื้นผิว โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM) ส่วนวัสดุที่เหลือเก็บในโถดูดความชื้นเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

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

1. การศึกษาขนาดอนุภาคของกากสาคูที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

ชั่งวัสดุกากสาคูที่ทำการแยกขนาดเป็น 16 32 42 60 และ 70 เมช ปริมาณ 0.2 กรัม ลงในสารละลายตะกั่วและแคดเมียมความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำสารละลายไปวัดหาปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และนำวัสดุกากสาคูที่มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสมไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเลคตรอนแบบสแกนเพื่อดูลักษณะพื้นผิว

2. การศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

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

3. การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

ชั่งกากสาคูที่มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสม (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. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

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

5. การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดของวัสดุกากสาคูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม แบบถังแช่ (Batch)

ชั่งวัสดุกากสาคูปริมาณ 0.2 กรัม ลงในสารละลายตะกั่วและแคดเมียม ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ความเข้มข้นในช่วง 25 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับพีเอชและอุณหภูมิที่เหมาะสม (จากข้อ 2 และ 4) ตั้งไว้จนการดูดซับเข้าสู่สมดุล แยกกากสาคูออกจากสารละลาย วัดปริมาณโลหะตะกั่วและแคดเมียมที่เหลือในสารละลาย และคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะตามวิธีของ Deshkar และคณะ (Deshkar และคณะ, 1990)

6. การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดของวัสดุกากสาคูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม แบบต่อเนื่อง (Column)

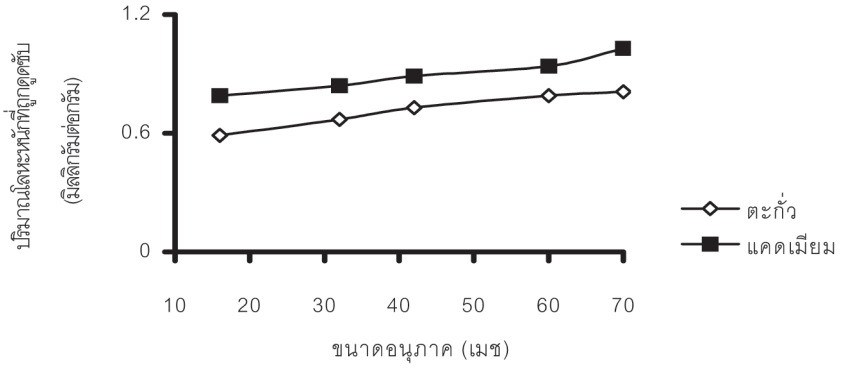
ผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกั่วและแคดเมียม ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ด้านบนของคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัสดุกากสาคู 1.0315 กรัม ความสูง 15 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 มิลลิเมตร ด้วยอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่ไหลผ่านคอลัมน์ครั้งละ 25 มิลลิลิตร วัดหาปริมาณโลหะจนกระทั่งความเข้มข้นของโลหะในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไหลผ่านคอลัมน์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

ผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้กากสาคูเป็นวัสดุดูดซับสามารถแสดงผลได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาขนาดอนุภาคของกากสาคูที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

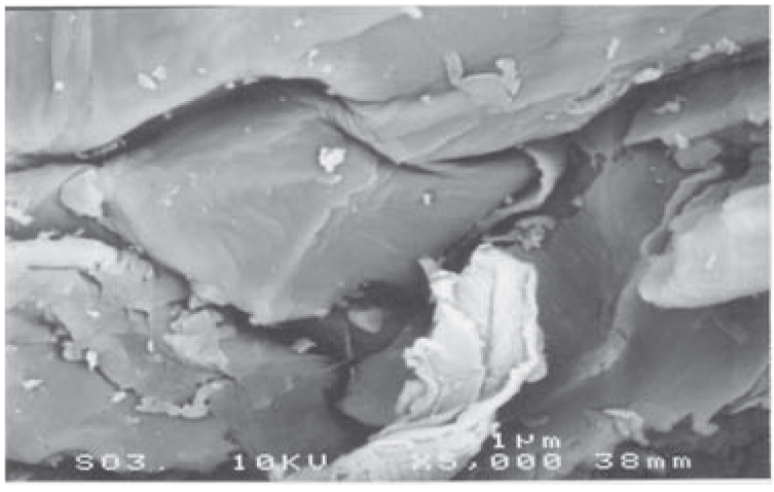
จากการศึกษาพบว่าปริมาณการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมแปรผกผันกับขนาดอนุภาคของกากสาคู นั่นคือขนาดอนุภาคของวัสดุเล็กลงปริมาณการดูดซับโลหะจะเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1) เนื่องจากวัสดุที่มีขนาด



ภาพที่ 1 ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับโดยกากสาคูที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน

อนุภาคเล็กพื้นที่ผิวในการดูดซับจะมากกว่าวัสดุที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ จึงทำให้ปริมาณการดูดซับโลหะเพิ่มขึ้นด้วย แต่การศึกษาครั้งนี้เลือกวัสดุที่มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 60 เมช เนื่องจากวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่านี้ ไม่เหมาะในการศึกษาด้วยวิธีการแบบคอลัมน์เพราะจะทำให้อัตราการไหลของสารละลายต่ำซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับผลการดูดซับโลหะหนักโดยใช้วัสดุชนิดอื่น เช่น ใยมะพร้าว ใยไหม และใยไม้ไผ่ (รัตนา, 2538)

เมื่อนำวัสดุที่มีขนาดอนุภาค 60 เมชมาถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนพบว่า พื้นผิวของวัสดุมีช่องว่างภายในและมีลักษณะการจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ (ภาพที่ 2) การจัดเรียงตัวในลักษณะดังกล่าวเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับของวัสดุให้มากขึ้น



ภาพที่ 2 ภาพถ่าย SEM ของกากสาคูที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

2. ผลการศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาที่ระดับพีเอช 1.0 ถึง 6.0 เท่านั้น เนื่องจากรายงานผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าที่ระดับพีเอชมากกว่า 6.0 จะทำให้โลหะตะกั่วและแคดเมียมตกตะกอน (อัจฉรา, 2545; Abollino และคณะ, 2000 อ้างถึงใน สุนีรัตน์, 2547) และจากผลการศึกษาพบว่าวัสดุกากสาคูสามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้สูงสุดที่ระดับพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4.0 และ 6.0 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) สำหรับแคดเมียมพบว่าปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับจะแปรผันตรงกับระดับพีเอช ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายที่มีพีเอชต่ำจะมีจำนวนไฮโดรเจนอิออนมาก ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่า H^+ จะเกิดการแข่งขันกับ Cd^{2+} ในการเข้าจับกับกากสาคู (Abollino และคณะ, 2000 อ้างถึงใน สุนีรัตน์, 2547) จึงทำให้ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับลดลง ส่วนตะกั่วพบว่าถูกดูดซับได้ดีที่พีเอช 4.0 แสดงว่าที่ระดับพีเอชดังกล่าวโลหะตะกั่วสามารถกระจายตัวในรูปของอิออนได้ดี จึงทำให้อิออนของโลหะมีโอกาสสัมผัสบนพื้นผิวและถูกดูดซับได้ดีด้วย นอกจากเหตุผลที่ยกมาอธิบายข้างต้นแล้วอาจมีอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการดูดซับของโลหะทั้งสองเช่น สภาพประจุบนพื้นผิวของวัสดุกากสาคู

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระดับพีเอชของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วด้วยกากสาคูมีค่าสูงกว่าวัสดุเถ้าแกลบดำซึ่งมีระดับพีเอชเท่ากับ 3.0 (อัจฉรา, 2545) และมีค่าต่ำกว่าเส้นผม ซึ่งมีระดับพีเอชระหว่าง 6.0–7.0 (นัยนา, 2536) และเปลือกไข่ซึ่งมีระดับพีเอชเท่ากับ 4.5 (ประสิทธิ์, 2542) ส่วนระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับแคดเมียมด้วยกากสาคูพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับเปลือกไข่ ซึ่งมีระดับพีเอชระหว่าง 5.0–6.0 (อัจฉรา, 2545)

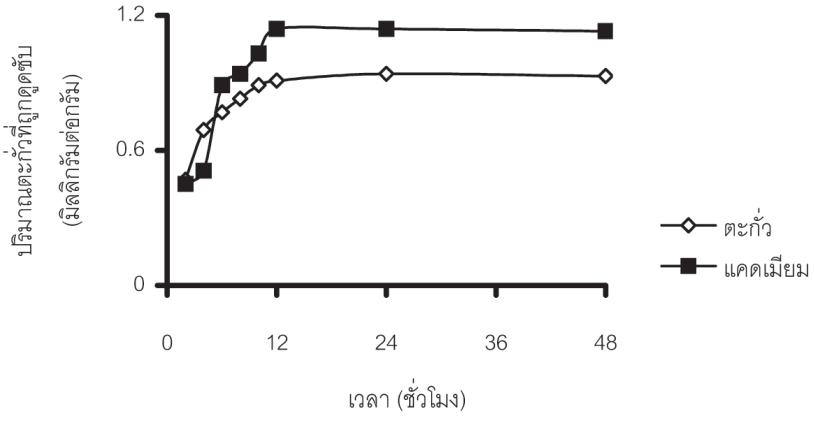
ตารางที่ 1 ความสามารถของกากสาคูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากสารละลายที่ระดับพีเอชแตกต่างกัน

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 กากสาคูสามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวของวัสดุยังว่างอยู่ จากนั้นพบว่าปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับเริ่มคงที่ นั่นคือการดูดซับเข้าสู่สมดุล แสดงว่าพื้นผิวของกากสาคูถูกปกคลุมด้วยอิออนของโลหะหนัก และยังคงมีการแลกเปลี่ยนอิออนของโลหะหนักระหว่างอิออนบนผิวกากสาคูกับอิออนในสารละลายอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการดูดซับตะกั่วเข้าสู่สมดุลที่ 24 ชั่วโมง และแคดเมียมที่ 12 ชั่วโมง หลังจากนี้ปริมาณโลหะหนักไม่เพิ่มขึ้นอีก (ภาพที่ 3) ผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระยะเวลาที่กากสาคูใช้ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจนถึงสมดุลช้ากว่าเปลือกไข่ และเกล็ดปลา ซึ่งใช้เวลาในการดูดซับเท่ากับ 80 นาที (ประสิทธิ์, 2542) และกะลามะคาเดเมียใช้เวลาในการดูดซับเท่ากับ 240 นาที (ขจรศักดิ์, 2546)

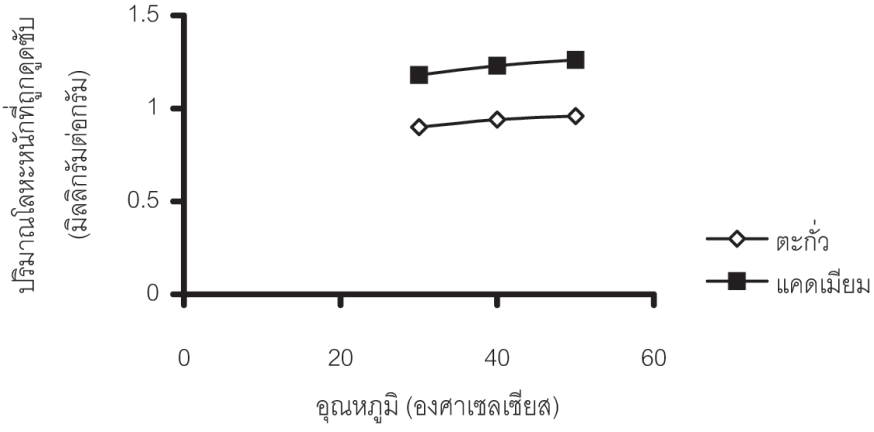


ภาพที่ 3 ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับโดยกากสาคูที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

4. ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับด้วยกากสาคูแปรผันตรงกับอุณหภูมิ นั่นคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย (ภาพที่ 4) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอิออนของโลหะจะได้รับพลังงานมากขึ้น ทำให้อิออนสามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้นด้วย ดังนั้นโอกาสที่อิออนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปสัมผัสพื้นผิวและถูกดูดซับบนกากสาคูก็มากด้วยเช่นกัน

การศึกษาครั้งนี้เลือกศึกษาที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิทำได้ง่ายและประหยัดกว่าที่อุณหภูมิสูง

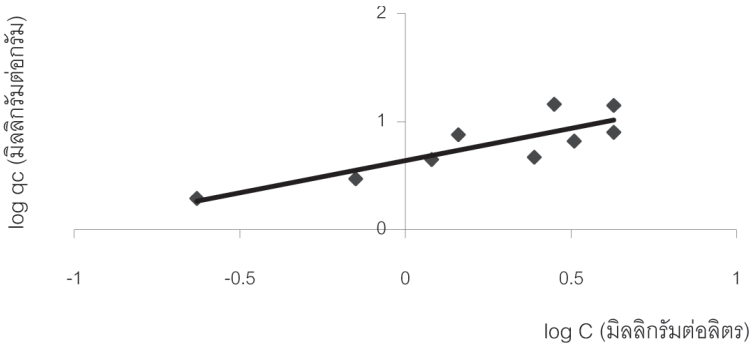


ภาพที่ 4 ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับโดยกากสาคูที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

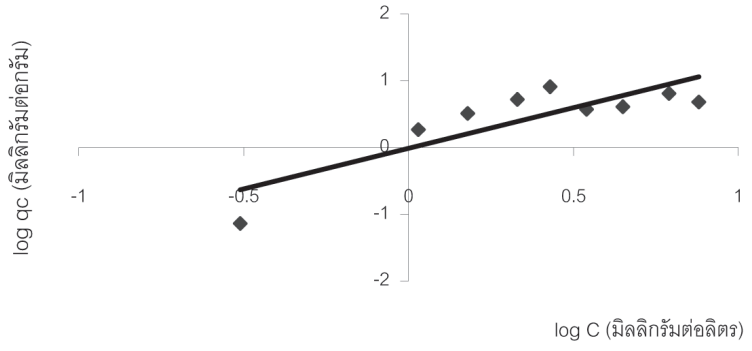
5. ผลการศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดของกากสาคูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม แบบถังแช่ (Batch)

การหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของกากสาคูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม อธิบายได้โดยไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดลิช (Freundlich Adsorption Isotherm) ในรูปลอกาลิทึม (Deshkar และคณะ, 1990) คือ $\ln q_c = \ln k_F + 1/n \ln C$ เมื่อ q_c คือปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับบนกากสาคู (มิลลิกรัมต่อกรัม) C คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายเมื่อการดูดซับเข้าสู่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) k_F คือค่าคงที่ในการดูดซับโลหะหนัก

ผลจากการศึกษาพบว่ากากสาคูสามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียมได้สูงสุดเท่ากับ 0.95 (R^2 = 0.7150) และ 1.36 (R^2 = 0.7313) มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 5 และ 6) ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อใช้สาหร่ายแพดินาไฮเทียนซิส *(Padina Haitiensis)* เป็นวัสดุดูดซับซึ่งมีค่าเท่ากับ 146-314 และ 13-175 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Wangkarn และคณะ, 2004) แต่การดูดซับตะกั่วมีค่าน้อยกว่าเถ้าแกลบซึ่งมีค่าการดูดซับเท่ากับ 7.87 มิลลิกรัมต่อกรัม (Mahachai และคณะ, 2003)



ภาพที่ 5 Freundlich Adsorption Isotherm ของกากสาคูในการดูดซับแคดเมียม

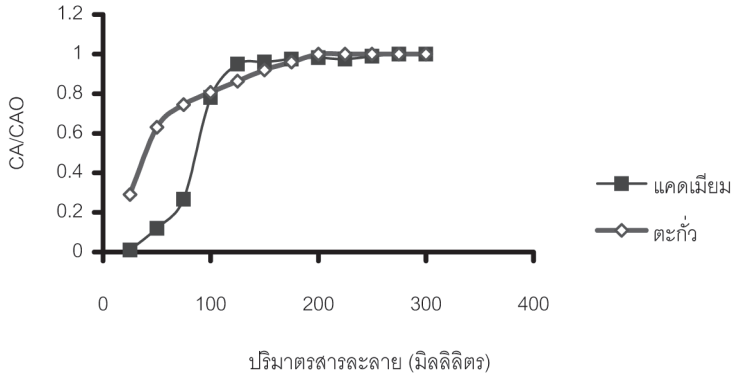


ภาพที่ 6 Freundlich Adsorption Isotherm ของกากสาคูในการดูดซับตะกั่ว

6. ผลการศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดของกากสาคูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม แบบต่อเนื่อง (Column)

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

ผลจากการศึกษาพบว่าปริมาตรของสารละลายตะกั่วและแคดเมียมที่ทำให้ค่า C_A/C_{AO} = 0.5 คือ 21 และ 72 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อคำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของกากสาคูเท่ากับ 1.92 และ 6.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่าการดูดซับโลหะหนักด้วยวิธีการแบบต่อเนื่องมีค่าความสามารถในการดูดซับมากกว่าแบบถังแช่ ทั้งนี้เนื่องจากการดูดซับด้วยวิธีการแบบต่อเนื่องอิออนของโลหะหนักมีโอกาสได้สัมผัสพื้นผิวของวัสดุดูดซับตลอดเวลา ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการดูดซับปรอทโดยใช้เปลือกของฮาร์ดวิเกียไบนาต้า *(Hardwikia Binata)* (Deshkar และคณะ, 1990) พบว่าการดูดซับแบบถังแช่และแบบต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 1.05 และ 21.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 7 Breakthrough ของกากสาคูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

สรุปผลการวิจัย

กากสาคูเป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม โดยขนาดอนุภาคของกากสาคูที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือ 60 เมช ระดับพีเอชของสารละลายที่ให้ค่าการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมสูงสุดคือ 4.0 และ 6.0 ตามลำดับ อุณหภูมิที่เหมาะต่อการดูดซับคือ อุณหภูมิห้อง และเวลาที่การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมเข้าสู่สมดุลคือ 24 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมด้วยวิธีแบบถังแช่มีค่าต่ำกว่าแบบต่อเนื่องคือ 0.95, 1.36, 1.92 และ 6.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกากสาคูกับวัสดุดูดซับชนิดอื่น ๆ พบว่ากากสาคูสามารถนำไปใช้ในการกำจัดโลหะหนักได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์และประหยัดค่าใช้จ่าย

เอกสารอ้างอิง

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

กล้าณรงค์ ศรีรอต, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, รังสิมา ชลคุป, สุนีย์ โชตินีรนาท, สุนีรัตน์ หทัยรักษ์ธรรม, สมยศ จรรยาวิลาศ, ธีระ ทองเผือก, สาลี่ บัวลำใย, ฉัตรชัย ปฏิยุทธ, Christopher G. Oates และ Alastair Hicks. (2542). *คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของสาคู.* กรุงเทพฯ:เท็กซ์ แอน เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด.

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

นัยนา หาญวโรดม. (2536). *การลดปริมาณสารละลายตะกั่วโดยใช้เส้นผม.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร - มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

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

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

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

สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. (2547). การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้ *Scenedesmus dimorphus* เป็นตัวดูดซับ. *วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง.* 12(1), 42-47.

สุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ และอรไท สุขเจริญ. (2543). การดูดซับตะกั่ว(+2) โดยใช้หญ้าสลาบหลวงและไส้สับปะรด. *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว.* 16(2), 91-98.

อัจฉรา ดวงเดือน. (2545). การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ. LAB.TODAY. 62-65.

อัจฉรา ดวงเดือน. (2546). การกำจัดตะกั่วโดยใช้เถ้าแกลบดำ. *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 ashs. *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.