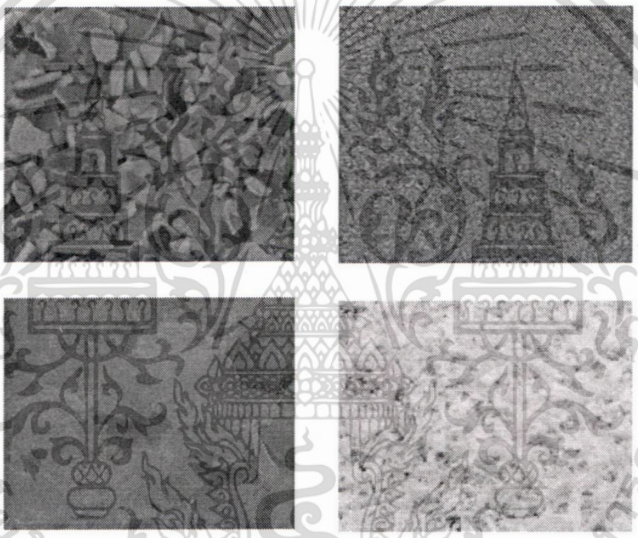
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2550

การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากสัตว์น้ำ (เปลือกกุ้ง เปลือกปู)

Removal of Heavy Metal from Wastewater through Treatment with Prawn Shell and Crab Shell



RCH
TD
۶58.5
.H43
ส 821 ก
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....79730
วัน,เดือน,ปี.....11 มี.ย. 2551

โดย
ผศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
ผศ. ดร. ปวีณา ทวีกิจการ
รศ. ศักดิ์ชัย ชูโชติ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b.....
i.....

รายงานการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2550

เรื่อง

การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากสัตว์น้ำ (เปลือกกุ้ง เปลือกปู)

Removal of Heavy Metal from Wastewater through Treatment with Prawn Shell and Crab Shell

โดย

ผศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

ผศ. ดร. ปวีณา ทวีกิจการ

รศ. ศักดิ์ชัย ชูโชติ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

กรุงเทพฯ 10520

พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่องานวิจัย

เรื่อง

การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากสัตว์น้ำ (เปลือกกุ้ง เปลือกปู)

การศึกษาการใช้เปลือกกุ้งและเปลือกปูในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการกำจัด พบว่าเปลือกกุ้งและเปลือกปูสามารถกำจัดตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระดับพีเอชของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสมต่อการดูดซับของเปลือกกุ้งและปูคือ 4 ส่วนพีเอชที่เหมาะสมสำหรับเปลือกกุ้งและเปลือกปูในการดูดซับแคดเมียมคือ 6 และ 7 ระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับตะกั่วของเปลือกกุ้งและเปลือกปูคือ 24 และ 48 ชั่วโมง ส่วนระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับแคดเมียมของเปลือกกุ้งและเปลือกปูคือ 24 และ 96 ชั่วโมง สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณของเปลือกกุ้งและเปลือกปูในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมพบว่าค่าการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมต่อกรัมของเปลือกกุ้งและเปลือกปูมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อปริมาณเปลือกกุ้งและเปลือกปูลดลง การทำนายค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับโลหะหนักโดยใช้สมการการดูดซับของ Langmuir พบว่าเปลือกกุ้งและเปลือกปูมีความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่วเท่ากับ 31.9 และ 102.0 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับแคดเมียมเท่ากับ 23.1 และ 43.2 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำเปลือกกุ้งและเปลือกปูซึ่งเป็นตัวดูดซับทางชีวภาพไปกำจัดตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียได้

คำสำคัญ: เปลือกกุ้ง, เปลือกปู, การบำบัดน้ำเสีย, โลหะหนัก, ตะกั่ว, แคดเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Removal of heavy metal from wastewater through treatment with prawn shell and crab shell

This research was reported on the study of lead (Pb) and cadmium (Cd) removal by Crab and Prawn shell in the laboratory. It also aimed to find out the optimum conditions for lead and cadmium removal. Crab and prawn shell showed the high efficient to remove lead and cadmium from wastewater. Crab and prawn shell showed the highest Pb removal ability under pH 4 of solution and showed the highest Cd removal ability under pH 7 and 6. The adsorption equilibrium of crab and prawn shell were attained within 48 and 24 h for Pb and within 96 min and 24 h for Cd. Further, in comparing biosorption by six concentrations of *crab and prawn shell*, adsorption capacities were compared by the metal biosorbed per mass adsorbent. The adsorption capacity of the crab and prawn shell for the metal tend to increased with decreasing crab and prawn shell concentration. The Langmuir adsorption isotherm showed that crab and prawn shell had maximum adsorption of lead of 102.0 and 31.9 mg/g, and maximum adsorption of cadmium of 43.2 and 23.1 mg/g respectively. It was concluded that biological treatment of heavy metal contaminated water by crab and prawn shell is possible.

Key words: prawn shell, crab shell, wastewater treatment, heavy metal, lead (Pb), cadmium (Cd)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากสัตว์น้ำ (เปลือกกุ้ง เปลือกปู)

Removal of heavy metal from wastewater through treatment with prawn shell and crab shell

คำนำ

ปัญหามลภาวะทางน้ำโดยเฉพาะการปนเปื้อนของโลหะหนัก เป็นปัญหาที่ทวีความรุนแรงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มของจำนวนประชากร ความต้องการใช้ทรัพยากรที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ปัญหามลพิษของแหล่งน้ำทวีความรุนแรงมากกว่าในอดีต โลหะหนักที่เข้าสู่แหล่งน้ำพบว่ามีที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นหลัก เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ตั้งอยู่ติดแหล่งน้ำสาธารณะ จึงมีการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง เพราะการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนด้วยวิธีดั้งเดิมต้องใช้ระยะเวลานาน มีค่าใช้จ่ายสูง และจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้คงที่ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากในการปฏิบัติ จึงได้มีการหลีกเลี่ยงในการบำบัดน้ำเสียให้เข้าสู่เกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ปัจจุบันวิธีชีวภาพบำบัด (biological treatment) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้ตัวบำบัดชีวภาพ เช่นการใช้สาหร่าย พืชน้ำ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยสามารถบำบัดได้ดีมีประสิทธิภาพสูง สามารถใช้สารเคมีล้างโลหะหนักเหล่านี้ออกมาใช้ใหม่ได้อีก และตัวดูดซับที่ถูกล้างเอาโลหะหนักออกแล้วยังสามารถนำกลับมาใช้บำบัดน้ำเสียได้ใหม่อีกด้วย จึงนับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก นอกจากนี้ยังประหยัดพื้นที่ ต้นทุน ระยะเวลา และยังสามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่ผันแปรสูง ทั้งอุณหภูมิ พีเอช หรือมีการปนเปื้อนของไอออนอื่น ๆ

ตัวดูดซับที่ได้รับความนิยมมากในการบำบัดโลหะหนักในปัจจุบันคือไคตินและไคโตซาน เนื่องจากเป็นตัวดูดซับที่สามารถกำจัดออกจากระบบบำบัดน้ำเสียได้ง่ายกว่าพวกสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก และมีความเป็นไปได้ในการทำเป็นการค้าเพราะวัตถุดิบมีอยู่จำนวนมาก ซึ่งพบว่าไคติน และไคโตซานมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนได้ดี ในธรรมชาติสามารถพบไคตินในเปลือกปู เปลือกกุ้ง เปลือกหอยต่าง ๆ ซึ่งเปลือกของสัตว์น้ำเหล่านี้เป็นวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นมากมายจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

ดังนั้นหากมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการใช้เปลือกกุ้ง และเปลือกปูในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสีย ศึกษากลไกการทำงานในการบำบัดโลหะหนัก จะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการใช้กำหนดแนวทางการนำไปใช้ได้จริงเพื่อลดต้นทุนและการจัดระบบการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่มากมายมาใช้ประโยชน์ และที่สำคัญคือไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เปลือกกุ้งและเปลือกปูกำจัดตะกั่วและแคดเมียม
2. ศึกษาประสิทธิภาพสูงสุด กลไกการดูดซับโลหะหนัก ของเปลือกปู และเปลือกกุ้ง ในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสีย
3. ศึกษาแนวทางการนำเปลือกกุ้งและเปลือกปูกลับมาใช้ดูดซับตะกั่วและแคดเมียมใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

ปัญหามลภาวะทางน้ำ

ปัญหามลภาวะทางน้ำเป็นปัญหาของประชากรโลก มีสาเหตุหลักมาจากน้ำทิ้งจากบ้านเรือน แหล่งเกษตรกรรม และโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้แหล่งน้ำได้รับผลกระทบจากความร้อน สารอินทรีย์ ยาฆ่าแมลง และ โลหะหนัก (Chiras, 1994) ในปัจจุบันปัญหาเหล่านี้ทวีความรุนแรงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มของจำนวนประชากร ความต้องการใช้ทรัพยากรที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ปัญหามลพิษของแหล่งน้ำทวีความรุนแรงมากกว่าในอดีต

ส่วนปัญหามลพิษทางน้ำจากโลหะหนักพบว่ามีแหล่งที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นหลัก โดยในน้ำทิ้งจะมีการปนเปื้อนของ ปรอท, ตะกั่ว, แคดเมียม, สังกะสี, ทองแดง (Jackson, 1996; Raven, 1993) ซึ่งมาตรฐานน้ำทิ้งกำหนดให้มีปริมาณไม่เกิน 0.0005, 0.05, 0.001, 0.1 และ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Sindermann, 1996) แต่เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ตั้งอยู่ติดแหล่งน้ำสาธารณะ จึงมีการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง ซึ่งพบว่าประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของโรงงานอุตสาหกรรมทิ้งน้ำทิ้งที่มีตะกั่วสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด (พรสวัสดิ์, 2529) ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ถูกดูดซับเข้าสู่สิ่งมีชีวิตในน้ำ และเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารซึ่งมีมนุษย์อยู่ขั้นบนสุด จึงมีความเสี่ยงในการได้รับพิษของโลหะหนักสูงมาก (Jackson, 1996) เช่นตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะสะสมจนถึงระดับหนึ่งและทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ไตพิการ เยื่อบุสมองอักเสบ (Jackson, 1996) หรือ แคดเมียมที่เป็นสารประกอบในการผลิตเครื่องไฟฟ้า ซึ่งมักปนมากับน้ำทิ้งและกากตะกอนจากบ่อบำบัดของโรงงาน ซึ่งกากตะกอนนี้เกษตรกรนิยมนำไปใช้แทนปุ๋ยในการปลูกพืชผักทำให้แคดเมียมสะสมอยู่ในพืชผักเหล่านี้เมื่อมนุษย์บริโภคพืชผักและสัตว์น้ำที่มีการสะสมแคดเมียมเข้าไปนาน ๆ จะก่อให้เกิดโรคไตร่วมกับโรคกระดูกเสื่อม (อิไต อิไต) (บุปผา, 2527) โดยในปี 2540 มีรายงานผู้ป่วยได้รับพิษโลหะหนัก 211 ราย เสียชีวิต 1 ราย (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

พิษของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม) ต่อสิ่งมีชีวิต

ตะกั่ว (Pb) : ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางอาหาร ทางการหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ส่วนใหญ่จะจับยึดอยู่กับเม็ดเลือดแดง หมุนเวียนไปกับกระแสเลือดกระจายไปทั่วร่างกายสู่เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆโดยสะสมมากที่สุดที่ไต โดยตะกั่วรวมตัวกับโปรตีนของเซลภายในไต ทำให้หลอดไตทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ ตะกั่วยังมีผลต่อตับ หัวใจและเส้นเลือด ภาวะเจริญพันธุ์ โครโมโซม และเป็นสารชักนำให้เกิดโรคมะเร็ง และความพิการแต่กำเนิดอีกด้วย

แคดเมียม (Cd) : แคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ อาหาร และในยาสูบเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมในกระเพาะอาหาร แล้วแพร่กระจายไปที่ตับ ม้ามและลำไส้ แม้ได้รับปริมาณน้อยแต่ต่อเนื่องแคดเมียมจะถูกสะสมไว้ที่ไต จากการให้หนูบริโภคอาหารที่มีแคดเมียมพบว่าหนูมีอาการ hyperglycemia คือภาวะที่มีระดับกลูโคสในโลหิตมากกว่าปกติ และลดระดับของอินซูลินในตับอ่อน ทำให้การทำงานของไตผิดปกติ กรณีของคนการบริโภคอาหารหรือฝุ่นที่ปนเปื้อนแคดเมียมปริมาณสูงจะทำให้หายใจติดขัด เยื่อปอดถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำลาย ถุงลมโป่งพอง คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลีย เจ็บหน้าอก โลหิตจางเรื้อรัง ไตพิการ ปวดกระดูกสันหลัง แขนขา อาจเสียชีวิตได้ โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิไต-อิไต (Itai Itai Disease) (www.dserver.org and www.fisheries.go.th)

การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน

ในอดีตที่ผ่านมาการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนมีหลายวิธีที่นำมาใช้เช่น การตกตะกอนทางเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน การสกัดด้วยตัวทำละลาย หรือการระเหย (Raven, 1993) ซึ่งพบว่ายังคงมีค่าใช้จ่ายที่สูง (Bailey *et al.*, 1999; Evans, 2002) น้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนเหล่านี้จะมีโลหะหนักในปริมาณต่ำอยู่ในมวลน้ำปริมาตรมาก ทำให้การรวบรวมโลหะหนักที่เจือจางในน้ำปริมาตรมากต้องใช้ระยะเวลานาน และจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้คงที่ มิฉะนั้นโลหะหนักจะไม่ถูกแยกออกจากน้ำเสีย นอกจากนี้ตะกอนของโลหะหนักที่เกิดขึ้นในบ่อบำบัดจะต้องรวบรวมไปกำจัดในที่ที่เฉพาะเจาะจง ไม่ให้เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมตามมา (Wilde, 1993) ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากในการปฏิบัติ

ปัจจุบันวิธีชีวภาพบำบัด (biological treatment) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้ตัวบำบัดชีวภาพ เช่น แบคทีเรีย (Shuttleworth, 1993), สาหร่าย (Fehrmann, 1993; Cho, 1994; Hammouda, 1995), yeast (Volesky, 1995), รากพืชและพืชน้ำ (Chen, 1996) แต่ถ้าใช้สิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมากในการกำจัดโลหะหนักจะพบปัญหาคือการแยกสิ่งมีชีวิตนั้นออกจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำการบำบัดแบบต่อเนื่องได้ยาก แม้จะมีการหาวัสดุให้สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นยึดเกาะ ก็จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ และตัวดูดซับประเภทนี้สามารถนำไปใช้จริงในทางการค้าได้ยาก (Kim, 2003)

จึงได้มีนักวิจัยพยามหาวิธีที่ประหยัด สามารถจัดทำเป็นระบบบำบัดน้ำเสียได้ง่าย โดยมีการหาวัสดุดูดซับที่มีราคาถูกกว่ามาใช้เช่นการใช้เปลือกสัตว์กลุ่มครัสตาเชียนที่เปลือกเป็นไคตินเป็นวัสดุดูดซับ พบว่าสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดี สามารถล้างนำกลับมาใช้ใหม่ได้และลดค่าใช้จ่ายลงได้มาก (Chui *et al.*, 1996) และยังพบว่าถ้ามีการเปลี่ยนไคตินให้เป็นไคโตซานจะเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักได้ดีขึ้น (Evan *et al.*, 2002)

ปัจจุบันไคตินและไคโตซาน เป็นตัวดูดซับที่นิยมนำมาใช้กำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษออกจากน้ำเสีย หรือใช้ดูดซับโลหะที่มีราคาแพงกลับมาใช้ใหม่ โดยสามารถช่วยลดต้นทุนได้ดีกว่าวิธีกำจัดโลหะหนักแบบเดิม (Evan *et al.*, 2002) โดยปกติแล้วไคตินที่พบในธรรมชาติจะพบทั่วไปเช่น เปลือกปู เปลือกกุ้ง เปลือกกั้ง เปลือกหอย ฯลฯ (Chui *et al.*, 1996) ไคตินและไคโตซานไม่มีความเป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ได้มีการทดลองนำไคตินและไคโตซานมาดูดซับ ตะกั่ว คอปเปอร์ โครเมียม นิกเกิล โมลิบดินัม อาร์เซนิก ทอง แคดเมียม วานาเดียม แมงกานีส สังกะสี โคบอลท์ พบว่าให้ผลการดูดซับที่ดี (Chui *et al.*, 1996; Guibal *et al*, 1999; Ngah *et al.*, 1999; An *et al.*, 2001; Chu, 2002; Evan *et al.*, 2002; Pradhan *et al.*, 2005; Vijayaraghavan *et al.*, 2005; Vijayaraghavan *et al.*, 2006;)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังพบว่าการใช้ไคตินหรือไคโตซานในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียยังมีข้อได้เปรียบเหนือการใช้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอื่น ๆ คือ การกำจัดไคตินและไคโตซานออกจากระบบบำบัดน้ำเสียสามารถทำได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ไคตินและไคโตซานยังมีความเป็นไปได้ที่จะจำหน่ายเป็นตัวดูดซับโลหะหนักทางการค้าได้มากกว่าสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอื่น ๆ ด้วย (Kim, 2003)

ในประเทศไทยพบว่ามีวัสดุเหลือใช้ที่เป็นเปลือกของสัตว์น้ำกลุ่มครัสตาเชียนจำนวนมากจากโรงงานแปรรูปอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ เช่นเปลือกกุ้ง เปลือกปู เปลือกหอย กระดองหมึก เปลือกสัตว์น้ำเหล่านี้ล้วนเป็นไคตินซึ่งมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักได้ดี หากมีการนำมาศึกษาให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก กลไกในการดูดซับโลหะหนัก จะทำให้สามารถวางแผนการนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถจัดระบบบำบัดน้ำเสียหรือปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการบำบัดน้ำเสียให้เหมาะสม ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการใช้กำหนดแนวทางการนำไปใช้ได้จริงเพื่อลดต้นทุนและการจัดระบบการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพและที่สำคัญคือไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

ไคตินและไคโตซาน

ไคติน หรือ Poly (N-acetylcosamine) สามารถแยกสกัดออกมาจากเปลือกของพวกสัตว์ที่มีปล้อง เช่น กุ้ง, ปู, เปลือกของตัวไหม แกนปลาหมึกและแมลง เป็นต้น ในเปลือกเหล่านี้จะมีปริมาณของไคตินต่ำตั้งแต่ 0.01% จนสูงถึง 40% ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ไคตินยังเป็นองค์ประกอบในแมลง, รา และยีสต์อีกด้วย โครงสร้างทางเคมีของไคตินมีความคล้ายคลึงกับเซลลูโลส ต่างกันแต่เพียงว่าหน่วยย่อยของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของไคตินเป็นอนุพันธ์ของกลูโคส คือ N-acetly-glucosamine

ไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่เกิดจากการกำจัดหมู่อะมิโนอิสระออกจากโครงสร้างของไคตินแล้ว ได้อนุพันธุ์ที่สามารถมีประจุบวกบนหมู่อะมิโนอิสระและสามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิดที่มีพีเอชน้อยกว่า 5.5 สารละลายไคโตซานมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่หลายประการ เช่น ก่อให้เกิดความคงตัวให้ความข้นหนืด และการเกิดแผ่นฟิล์ม นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนในน้ำเสีย การทำให้น้ำผลไม้ใส การกำจัดโลหะหนัก การตรึงเอนไซม์ แม้กระทั่งในอุตสาหกรรมการผลิตยาปฏิชีวนะด้วย

ไคโตซานได้จากปฏิกิริยา deacetylation ของไคติน ซึ่งก็คือพอลิเมอร์ (1-4)-2 amino-2 deoxy-Beta-D-glucan นั่นเอง หรือเรียกง่าย ๆ ว่า พอลิเมอร์ของ glucosamine การเกิดไคโตซานนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของการเกิด deacetylation ซึ่งวัดจากค่า degree of deacetylation คิดเป็นร้อยละ หรือ percent of deacetylation หรือกล่าวได้ว่า การลดหมู่ acetyl ลงจากไคติน ผลที่ได้คือ การเพิ่มหมู่ amine ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณสมบัติการเป็น polycationic activity บนพอลิเมอร์ทำให้เกิดสภาพของการเป็นไคโตซานเพิ่มขึ้น ฉะนั้นโครงสร้างของไคโตซานต่างจากไคตินตรงหน่วยย่อยที่เป็น glucoamine ในสายพอลิเมอร์เพิ่มมากเกินกว่า 50% ขึ้นไปนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไคโตซาน เป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง และเป็นพอลิเมอร์สายตรงที่เป็นของแข็งที่ไม่มีรูปร่างแน่นอน (amorphous solid) มีหมู่ อะมิโน ที่พร้อมจะละลายในกรดแร่เข้มข้น เช่น HCI เป็นต้น การละลายของไคโตซานมีคุณสมบัติหลายอย่าง เช่น ในรูป Free amine จะไม่ละลายน้ำที่ pH เป็นกลาง แต่ที่ pH เป็นของ free amine group ($-NH_2$) จะถูก protonated ได้เป็น cationic amine group ($-NH_3$) (ภาวดี, 2544)

การทำงานของไคตินและไคโตซาน

ไคตินและไคโตซานจะทำงานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน ตัวสร้างตะกอนจะกระตุ้นให้เศษของเสียที่แขวนลอยๆ ในน้ำเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ขึ้นๆ และพอใหญ่มากเกินก็ตกเป็นตะกอนลงมา ส่วนตัวตกตะกอนก็จะทำงานคล้ายๆกันคือจะไปจับกับสารแขวนลอยในน้ำแล้วตกตะกอนลงมาโดยไคโตซานจะทำหน้าที่ทั้งสองแบบ ซึ่งทำได้ดีเนื่องจากมีหมู่อะมิโนที่สามารถแตกตัวให้ประจุบวกมาก จึงทำให้พวกประจุลบอย่างโปรตีน สีย้อม กรดไขมันอิสระ และคอเลสเทอรอล (ในร่างกาย) ต้องเข้ามาเกาะกับประจุบวกของไคโตซาน ส่วนโลหะหนักซึ่งเป็นประจุบวกอยู่แล้ว จะจับกับอิเล็กตรอนจากไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานทำให้เกิดพันธะเคมีที่เรียกว่า พันธะเชิงซ้อนขึ้นมา และจากการทดลองพบว่าหมู่อะมิโนในไคโตซานจะสามารถจับกับโลหะหนักในน้ำได้ดีกว่าหมู่อะซิทิลในไคติน (www.se-ed.com)

ขั้นตอนการเตรียมไคติน-ไคโตซาน

เมื่อนำกระดองปู/เปลือกกุ้งไปบดแล้วทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

เปลือกปู/เปลือกกุ้ง

↓

กระบวนการแยกโปรตีน (Deproteination) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง

↓

กระบวนการแยกแร่ธาตุ (Decalcification) ด้วยสารละลายกรดเกลือเจือจาง

↓

ไคติน (Chitin)

↓

กระบวนการดึงหมู่อะซิทิล (Deacetylation) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

↓

ไคโตซาน (Chitosan)

ที่มา : ปราณี และคณะ (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำเปลือกกุ้งมาใช้ในการบำบัดแหล่งน้ำเสีย

การทดลองนำเกล็ดไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งมาใช้ในการกำจัดสารตะกั่วและปรอทในน้ำเสียจากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช ผลการสกัดได้ของไคโตซานร้อยละ 31.46 ของน้ำหนักเปลือกกุ้งแห้ง สำหรับน้ำเสียจากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช ในช่วงระยะเวลาของการศึกษา พบว่ามีการปนเปื้อนของตะกั่วและปรอทในช่วงความเข้มข้น 0.2-3.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2.7-88.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการกำจัดโลหะหนักด้วยเกล็ดไคโตซานขนาด 710-850 ไมโครเมตร พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด คือปรับพีเอชของน้ำเสียให้เท่ากับ 6 เกล็ดไมโตซานในปริมาณ 6 กรัม ต่อน้ำเสีย 300 มิลลิลิตร ที่ความเร็วเท่ากับ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถกำจัดตะกั่ว และปรอท ได้ร้อยละ 95-98 และ 95-98 ตามลำดับ (จารุรัตน์ และขันทอง, 2546)

คุณสมบัติของกระดองปูและกุ้ง

เนื่องจากกระดองปูและเปลือกกุ้งมีสารชนิดหนึ่งสะสมอยู่ในกระดองและเปลือกซึ่งเรียกสารนี้ว่าสารไคติน โดยสารไคตินได้มาจากการนำกระดองปูมาแยกโปรตีน และเกลือแร่ออก ซึ่งสารไคตินนี้เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าดีอะเซทิลเลชั่น ซึ่งเป็นการกำจัดกลุ่มของอะเซทิลออกจากไคติน และจะได้ไคโตซานออกมาเป็นสารธรรมชาติที่มีคุณสมบัติโดดเด่นทางเคมี เพราะเป็นสารที่มีประจุลบสูง มีโครงสร้างเหมือนตาข่ายหรือคล้ายฟองน้ำ ที่มีช่องว่างเล็กๆจึงสามารถดูดซับน้ำได้ (ปราณี และคณะ, 2002)

ความสามารถในการกำจัดโลหะหนักของกระดองปูและเปลือกกุ้ง

ความสามารถสูงสุดในการดูดซับโลหะหนักของกระดองปู (Q_{max}) : จากการศึกษาความสามารถสูงสุดในการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ของกระดองปูโดย Vijayaraghavan et al. (2006) พบว่าความสามารถในการดูดซับของกระดองปูที่ระดับ pH 3.5 - 6 และปริมาณความเข้มข้นของโลหะตั้งต้น 500 - 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร กระดองปูสามารถดูดซับ Cu และ Co ได้สูงที่สุดที่ระดับ pH 6 ซึ่งสามารถดูดซับ Cu และ Co ได้ถึง 243.9 และ 322.6 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

การทดลองใช้เหลือกกุ้งกำจัด Cu ที่ความเข้มข้นของ Cu 80 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าความสามารถในการดูดซับ Cu โดยเปลือกกุ้งได้ดีที่สุดอยู่ที่ 96.9% ส่วนการทดลองกำจัด Cr ที่ความเข้มข้นของ Cr 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความสามารถในการดูดซับ Cr ได้ดีที่สุด อยู่ที่ 99.1% ส่วนค่าความสามารถในการดูดซับ Ni ที่ความเข้มข้นของ Ni 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความสามารถในการดูดซับอยู่ที่ 69.6% (Chui et al. , 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของกระดองปู

ขนาดของกระดองปู : ในการศึกษาการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) จากแหล่งน้ำโดยใช้ขนาดของกระดองปูที่ต่างกัน 4 ขนาดคือ 0.456, 0.598, 0.767 และ1.117 มิลลิเมตร พบว่าให้ผลการดูดซับที่ต่างกันคือ ขนาดของกระดองที่มีขนาดเล็ก (0.456 – 0.767 มิลลิเมตร) สามารถดูดซับและมีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีกว่ากระดองปูขนาดใหญ่ (1.117 มิลลิเมตร) ทั้งทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) โดยที่กระดองปูขนาด 0.456 มิลลิเมตร ให้ผลการดูดซับที่ใกล้เคียงกับกระดองปูที่มีขนาด 0.598 และ 0.767 มิลลิเมตร (Vijayaraghavan et al., 2006)

ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ : ในการศึกษาการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co)โดยปริมาณการใช้กระดองปูในการดูดซับที่ต่างกันคือที่ 1, 2, 4, 5 และ 10 กรัม/ลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) จากสารละลายจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้กระดองปูในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เป็นเช่นนี้เพราะการเพิ่มปริมาณของกระดองปูจะไปช่วยเพิ่มขนาดพื้นที่ผิวให้มีประสิทธิภาพการดูดซับที่สูงขึ้น ส่วนการกำจัดออกนั้นในการใช้กระดองปูในปริมาณที่น้อยๆจะทำให้ปริมาณทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ที่ถูกดูดซับต่อ 1 กรัมของกระดองปูเพิ่มขึ้น (Vijayaraghavan et al., 2006)

ปริมาณความเข้มข้นของโลหะตั้งต้น: ปริมาณความเข้มข้นของทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ตั้งต้นในระดับที่ต่างกันนั้นคือที่ 500, 1000, 1500 และ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าทั้ง 4 ระดับความเข้มข้นจะถูกดูดซับแล้วอยู่ในระดับที่สมดุลในระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แต่เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับจะต่างกันคือ ที่ระดับความเข้มข้นของโลหะตั้งต้นสูงๆจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสูงขึ้นไปด้วย (Vijayaraghavan et al., 2006)

ค่า pH : ในการศึกษาการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ในระดับ pH ที่ต่างกันคือที่ระดับ 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 และ 6 โดยใช้กระดองปูขนาด 0.767 มิลลิเมตร และที่ปริมาณกระดองปู 5 กรัม/ลิตร พบว่าในระดับ pH 6 มีค่าการดูดซับดีที่สุด เป็นเช่นนี้เพราะเนื่องจากในระดับค่า pH ที่ต่ำๆจะมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนอยู่มาก ทำให้ไปขัดขวางยับยั้งการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) (Vijayaraghavan et al., 2006)

การนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่

จากการนำ Chitin ของเปลือกกุ้ง และ chitosan ของเปลือกปู ไปทำการทดลองดูดซับ Cu , Crและ Ni แล้วนำมาล้างด้วย EDTA เพื่อนำ Cu , Cr และ Ni ออกจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู เพื่อนำ Cu และ Ni กลับมาใช้ใหม่ พบว่า สามารถดึง Cu และ Ni ออกจากเปลือกกุ้งและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 80-100% แต่สำหรับ chitosan ของปู สามารถนำ Cu และ Ni กลับมาใช้ใหม่ได้ 66-100 % (Chui et al. , 1996)

การนำกระดองปูมาใช้ใหม่ : จากการศึกษาการนำกระดองปูกลับนำมาใช้ใหม่หลังจากดูดซับนิเกล (Ni) แล้ว พบว่าสามารถนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่ได้อีก 7 ครั้ง โดยแทบจะไม่มีความแตกต่างกันเลยใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านการดูดซับ โดยกระบวนการนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่จะกระทำโดยใช้ EDTA 0.01 M และปรับ pH ในสารละลาย ให้เท่ากับ 9.8 (Vijayaraghavan et al., 2005)

ส่วนการนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่หลังจากดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) แล้วพบว่าสามารถนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่ได้อีก 5 ครั้ง แต่ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) จะค่อยๆลดลงเมื่อนำกระดองกลับมาใช้ใหม่อีก โดยกระบวนการนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่จะกระทำโดยใช้ EDTA 0.01 M ในระดับ pH 3.5 ในสารละลาย HCl (Vijayaraghavan et al., 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

การใช้เปลือกกุ้งและเปลือกปู กำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์

1. การเตรียมเปลือกกุ้งและเปลือกปู

นำเปลือกกุ้งและปูมาล้างน้ำ และแกะเศษเนื้อที่ติดอยู่ออกให้หมด จากนั้นนำเปลือกมาตากให้แห้ง และนำไปผ่านขบวนการทางเคมีต่อไป

1.1 เตรียมเปลือกกุ้งและปูที่ผ่านขบวนการทางเคมี

1.1.1 แช่เปลือกกุ้งและปูใน 50% โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 คืน จากนั้นล้างออกด้วยน้ำ DI (Deionized water) 3 ครั้ง

1.1.2 นำเปลือกกุ้งและปูไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 3 วัน

1.1.3 นำเปลือกกุ้งและปู ไปแช่ใน 5% hydrochloric นาน 6 ชั่วโมง

1.1.4 ล้างด้วย น้ำ DI ซ้ำ 3 ครั้ง

1.1.5 นำเปลือกกุ้งและปูไปแช่ใน 50% โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง

1.1.6 ล้างด้วยน้ำ DI และปรับค่า pH ให้เท่ากับ 8 เมื่อ pH คงที่ให้เทน้ำ DI ทิ้ง จากนั้นนำเปลือกกุ้งและปูไปตากให้แห้ง เก็บใส่บีกเกอร์ เตรียมใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไป

1.2 เตรียมเปลือกกุ้งและปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี

1.2.1 นำเปลือกกุ้งและปูที่ตากแห้งมาอบที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน จากนั้นนำมาบด เตรียมใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไป

2. การเตรียมสารตะกั่วและแคดเมียม

เตรียมสารละลายตะกั่วและแคดเมียม โดยละลาย $Pb(NO_3)_2$ หรือ $Cd(NO_3)_2$ ในน้ำ Deionized water จากนั้นนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3. การหาค่าพีเอชที่เหมาะสม และเปรียบเทียบระหว่างเปลือกกุ้งเปลือกปูที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ กับผ่านการปรับสภาพ (deacetylation)

ทดสอบเปลือกกุ้งและปูที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ระดับ pH 3-7

เตรียมสารตะกั่ว/แคดเมียม ที่เข้มข้นสาร 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการปรับ pH สารตะกั่ว/แคดเมียม ที่ระดับ pH 3-7 ใส่เปลือกกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีปริมาณ 0.03 กรัม (เปลือกปู 0.01 กรัม) ใส่ในสารละลายตะกั่ว/แคดเมียมที่บรรจุในฟลาสก์พลาสติก ระดับ pH ละ 3 นำไปเขย่าด้วยเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองเอาเปลือกกุ้งออกด้วยผ้ากรอง จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าสารตะกั่ว/แคดเมียมที่เหลือจากการดูดซับของเปลือกกุ้งด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

4 การหาระยะเวลาที่เหมาะสม

ใส่เปลือกกุ้งปริมาณ 0.3 กรัม (เปลือกปู 0.01 กรัม) ในสารละลายตะกั่ว/แคดเมียมความเข้มข้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และเขย่าบนเครื่องเขย่า เก็บสารละลายที่ระยะเวลาต่าง ๆ คือ 0, 0.03, 0.06, 0.1, 0.13, 0.16 , 0.25 , 0.33 , 0.5 , 1 , 3, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120 ชั่วโมง และนำสารละลายไปวัดปริมาณตะกั่วที่เหลือจากการดูดซับ

5 ขนาดตัวดูดซับที่เหมาะสม

นำเปลือกกุ้งและปูที่อบแห้งมาบด ต่อจากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาดช่องตา 0.1 , 0.25 , 0.5 , 1 และ 2 มิลลิเมตร และนำเปลือกกุ้งและเปลือกปูแต่ละขนาดไปทดสอบความสามารถในการดูดซับตะกั่ว/แคดเมียมโดยใส่เปลือกกุ้งปริมาณ 0.3 กรัม เปลือกปู 0.01 กรัม ในสารละลายตะกั่วเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ทดลอง 3 ซ้ำ เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแยกตัวดูดซับออกจากสารละลาย และวัดปริมาณตะกั่วที่เหลือในสารละลาย

6 จำนวนตัวดูดซับที่เหมาะสม

ใส่เปลือกกุ้งและเปลือกปู ที่ปริมาณ 0.01 , 0.02 , 0.03 , 0.04 , และ 0.05 กรัม ในสารละลายตะกั่ว/แคดเมียม เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแยกตัวดูดซับออกจากสารละลาย และวัดปริมาณตะกั่ว/แคดเมียมที่เหลือในสารละลาย

7 หาความสามารถสูงสุดของเปลือกกุ้งและเปลือกปูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม (adsorption isotherm)

ใส่เปลือกกุ้งและเปลือกปู ในสารละลายตะกั่ว/แคดเมียมที่ความเข้มข้น 10, 20, 40, 80, 120, 160 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่าจนถึงจุดสมดุล แยกตัวดูดซับออกจากสารละลายและวัดปริมาณตะกั่วที่เหลือในสารละลาย

8 ศึกษากลไกในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของเปลือกกุ้งและเปลือกปู (kinetics)

ใส่เปลือกกุ้งและเปลือกปู ในสารละลายตะกั่ว/แคดเมียมที่ความเข้มข้น 10, 20, 40, 80, 120, 160 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บสารละลายที่ระยะเวลาต่าง ๆ คือ 0, 0.03, 0.06, 0.1, 0.13, 0.16 , 0.25 , 0.33 , 0.5 , 1 , 3, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120 ชั่วโมง วัดปริมาณตะกั่วที่เหลือในสารละลายที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 ทดสอบประสิทธิภาพในการนำเปลือกกุ้งและเปลือกปูที่ดูดซับตะกั่วและแคดเมียมแล้วกลับมาใช้ใหม่ (reuse)

ใส่เปลือกกุ้งและเปลือกปูในสารละลายตะกั่ว เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่าจนถึงจุดสมดุล แยกตัวดูดซับออกจากสารละลาย วัดปริมาณตะกั่วที่เหลือในสารละลาย และนำตัวดูดซับมาล้างตะกั่วโดยใช้สาร 1M EDTA, 1M NA_2HCO_3, 1M $NAHCO_3$, 1M H_2SO_4, DI Water ตัวอย่างละ 3 ซ้ำเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองเปลือกกุ้งออกด้วยผ้ากรอง วัดปริมาณตะกั่วที่ถูกล้างออกมา

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. คำนวณหาค่า เปอร์เซ็นการกำจัดสารตะกั่ว (แคดเมียม)

เปอร์เซ็นการกำจัดสารตะกั่ว (% Remove) = $(Co-Ceq) * 100/Co$

เมื่อค่า % Remove คือ ค่าเปอร์เซ็นการกำจัดสารตะกั่ว

Co คือ ค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วตั้งต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

Ceq คือ ค่าสารตะกั่วที่เหลือจากการดูดซับโดยตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2. คำนวนหาค่าความสามารถในการดูดซับสารตะกั่ว

ค่าความสามารถในการดูดซับ (q)= $(C0-Ceq)v/w$

เมื่อค่า q คือ ค่าความสามารถในการดูดซับสารตะกั่ว (mg/g dry wt.)

Co คือ ค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วตั้งต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

Ceq คือ ค่าสารตะกั่วที่เหลืออยู่จากการดูดซับโดยตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V คือ ค่าปริมาตรของสารตะกั่ว (มิลลิลตร)

W คือ ค่าของน้ำหนักตัวดูดซับ (g) x 1,000 wt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การใช้เปลือกกุ้งและเปลือกปู กำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์

ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ และเปรียบเทียบระหว่างเปลือกกุ้งเปลือกปูที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ กับผ่านการปรับสภาพ (deacetylation)

การปรับสภาพเปลือกกุ้งและเปลือกปูคือการเปลี่ยนเปลือกกุ้งเปลือกปูจากไคตินให้เป็นไคโตซาน ซึ่งจากการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ กับผ่านการปรับสภาพ ในแต่ละระดับ pH พบว่า เปลือกกุ้งที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับสภาพ มีค่าความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วสูงสุดที่ระดับ pH 4 เท่ากับ 16.87 $\pm$ 0.46 มิลลิกรัมต่อกรัม และที่ระดับ pH 6 เปลือกกุ้งที่ผ่านกระบวนการสกัดไคโตซาน มีค่าความสามารถการดูดซับสารตะกั่วสูงสุด (ตารางที่ 1) และที่พีเอช 6 เปลือกกุ้งสามารถให้ค่าการดูดซับแคดเมียมได้สูงสุดเช่นเดียวกันทั้งเปลือกกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี โดยมีค่าการดูดซับเท่ากับ 30.84$\pm$1.84 และ 28.22$\pm$0.09 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ความสามารถสูงสุดของเปลือกกุ้งที่ผ่านการสกัดไคโตซานและไม่ผ่านการสกัดไคโตซาน ในการดูดซับสารตะกั่วมีค่าไม่แตกต่างกันกันทางสถิติ ซึ่งให้ผลในทางเดียวกันกับการดูดซับแคดเมียม

ตารางที่ 1 การดูดซับสารตะกั่วของเปลือกกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีในระดับ pH ที่แตกต่างกัน

pH	เปลือกกุ้งที่ผ่านกระบวนการทางเคมี		เปลือกกุ้งที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี	
	การดูดซับ (%)	ปริมาณดูดซับ(mg/g)	การดูดซับ (%)	ปริมาณดูดซับ(mg/g)
pH 3	67.86 $\pm$ 4.42^{a}	13.38 $\pm$ 0.88^{a}	70.93$\pm$ 5.42^{ab}	13.39 $\pm$ 0.85^{a}
pH 4	85.47$\pm$ 2.29^{cd}	16.02 $\pm$ 0.44^{b}	86.90 $\pm$ 2.07^{cd}	16.87 $\pm$ 0.46^{b}
pH 5	81.21 $\pm$ 2.79^{cd}	15.72 $\pm$ 0.71^{b}	89.14 $\pm$ 2.19^{d}	16.77 $\pm$ 0.47^{b}
pH 6	82.80 $\pm$ 1.78^{cd}	16.17 $\pm$ 0.13^{b}	89.04 $\pm$ 0.76^{d}	16.17 $\pm$ 0.59^{b}
pH 7	79.60 $\pm$ 1.47^{bcd}	15.49 $\pm$ 0.17^{b}	79.06 $\pm$ 3.07^{bc}	15.45 $\pm$ 0.44^{b}

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
79730

ตารางที่ 2 การดูดซับแคดเมียมของเปลือกกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีในระดับ pH ที่แตกต่างกัน

pH	เปลือกกุ้งที่ผ่านกระบวนการทางเคมี		เปลือกกุ้งที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี	
	การดูดซับ (%)	ปริมาณดูดซับ(mg/g)	การดูดซับ (%)	ปริมาณดูดซับ(mg/g)
pH 3	82.1±0.4a	21.58±0.78a	97.8±0.4b	26.23±1.33ab
pH 4	90.6±3.3b	25.90±1.54b	93.4±0.2ab	26.74±0.59ab
pH 5	96.2±0.1c	25.33±0.73b	99.3±1.2b	25.54±0.24ab
pH 6	97.9±4.8cd	30.84±1.84c	94.8±0.1ab	28.22±0.09b
pH 7	98.6±1.4d	26.21±0.70b	86.6±0.1a	23.31±0.82a

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจะเลือกใช้เปลือกกุ้งที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี เนื่องจากเปลือกกุ้งที่นำมาผ่านกระบวนการทางเคมีนั้น พบว่าน้ำหนักเปลือกกุ้งหลังการสกัดลดลงเกินครึ่งหนึ่งของน้ำหนักตั้งต้น ซึ่งน้ำหนักที่หายไปเนื่องมาจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ,กรดไฮโดรคลอริก กำจัดสารอินทรีย์ ที่มีอยู่ในเปลือกกุ้งออกเพื่อให้ได้ไคโตซานบริสุทธิ์ จึงเป็นการสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้สกัด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ(Chui et al. , 1996)ที่ทดลองเปรียบเทียบการใช้ไคตินจากเปลือกกุ้งกับไคโตซานบริสุทธิ์ ดูดซับ Cu, Cr, Ni พบว่า ประสิทธิภาพของไคตินของเปลือกกุ้งจะดูดซับ Cu, Cr, Ni, ได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานบริสุทธิ์แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับใกล้เคียงมาก และระดับ pH ที่จะนำไปใช้ในการทดลองเรื่องปัจจัยอื่น คือ pH 4 เนื่องจากเป็นระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารตะกั่วและมีค่าความสามารถในการดูดซับที่สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับ Zhou et al. (2004) ที่ได้ทำการทดลองนำไคตินมาดูดซับ ตะกั่ว, แคดเมียมและทองแดง พบว่าที่ระดับ pH 4 มีค่าความสามารถในการดูดซับที่ดีที่สุด

สำหรับเปลือกปูที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีมาใช้ในการดูดซับตะกั่วที่ระดับ pH ต่างๆกันคือ 3, 4, 5, 6 และ 7 พบว่าที่ระดับ pH 4 เป็นระดับที่เปลือกปูทั้งสองแบบมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้สูงที่สุด โดยเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วมากที่สุดที่ 88.51± 0.65 มิลลิกรัมต่อกรัม และที่ระดับ pH 7 มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วน้อยที่สุดที่ 4.79±0.07 มิลลิกรัม/กรัม (ตารางที่ 3) ทั้งนี้เนื่องจาก ที่ระดับ pH สูงขึ้นจะมีไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) สูงขึ้น ซึ่งมีประจุลบ จึงไปแย่งเปลือกปูจับตะกั่วที่มีประจุบวกแล้วตกตะกอน ทำให้เปลือกปูสามารถดูดซับตะกั่วได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในการดูดซับแคดเมียมพบว่าเปลือกปูที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี มีค่าการดูดซับไม่แตกต่างกันมากนัก โดยพบว่าเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีมีค่าการดูดซับที่ดีกว่าเล็กน้อย โดยพีเอชที่ 3 มีการดูดซับได้สูงที่สุด รองลงมาคือ พีเอช 4, 6 และ 7 ซึ่งทั้งสามพีเอชนี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 การดูดซับสารตะกั่วของเปลือกปูที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีในระดับ pH ที่แตกต่างกัน

pH	เปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมี		เปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี	
	การดูดซับ (%)	ปริมาณดูดซับ(mg/g)	การดูดซับ (%)	ปริมาณดูดซับ(mg/g)
pH 3	99.61±0.09^{c}	84.49±1.79^{cd}	97.81±0.28^{b}	83.98±1.87^{cd}
pH 4	99.93±0.07^{c}	86.08±1.71^{ce}	97.70±0.28^{b}	88.51±0.65^{e}
pH 5	100.00±0.00^{c}	81.05±0.70^{bc}	98.02±0.16^{b}	78.19±1.12^{b}
pH 6	100.00±0.00^{c}	84.14±0.27^{cd}	98.43±0.12^{b}	83.09±0.39^{cd}
pH 7	100.00±0.00^{c}	5.77±0.11^{a}	83.20±1.10^{a}	4.79±0.06^{a}

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4 การดูดซับแคดเมียมของเปลือกปูที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีในระดับ pH ที่แตกต่างกัน

pH	เปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมี		เปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี	
	การดูดซับ (%)	ปริมาณดูดซับ(mg/g)	การดูดซับ (%)	ปริมาณดูดซับ(mg/g)
pH 3	93.4±0.3a	66.98±1.24c	95.7±1.1a	69.45±0.89c
pH 4	96.2±0.5b	58.27±1.06b	96.9±0.7ab	61.77±0.78b
pH 5	97.0±1.3bc	55.01±1.00a	97.9±0.4b	54.62±0.79a
pH 6	97.3±0.7bc	59.31±0.35b	98.2±0.3b	60.10±0.37b
pH 7	98.4±0.1c	59.65±1.13b	98.8±0.1b	59.83±0.36b

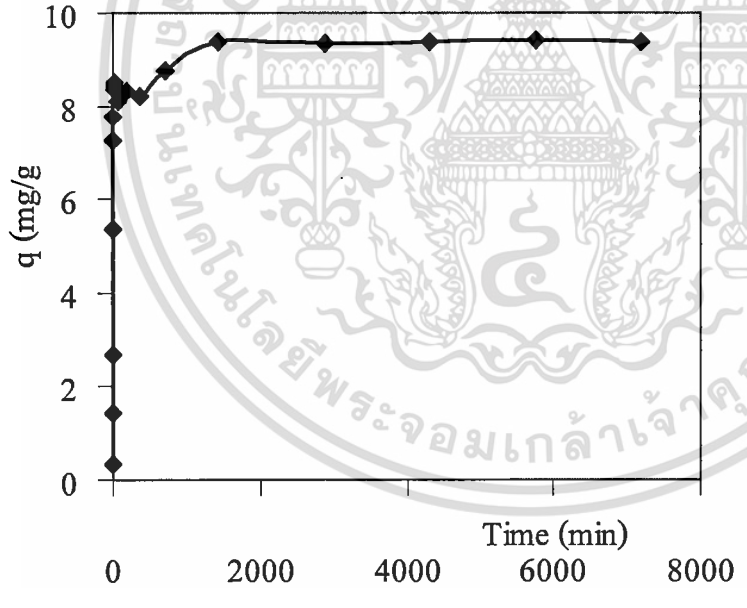
* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเปลือกปูพบว่าปูผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี สามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้ดี เหมือนกัน แต่เมื่อเทียบกับน้ำหนักก่อนและหลังผ่านกระบวนการทางเคมีแล้วพบว่า เปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีมีน้ำหนักที่มากกว่าเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมี คือก่อนผ่านกระบวนการมีกระบวนการทางเคมีมีน้ำหนักเริ่มต้นที่ 96.75 และหลังผ่านกระบวนการจะมีน้ำหนักเหลือ 35.36 กรัม ซึ่งน้ำหนักลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่ง ดังนั้นจึงนำเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีมาทดสอบในปัจจัยอื่นๆ ต่อไป

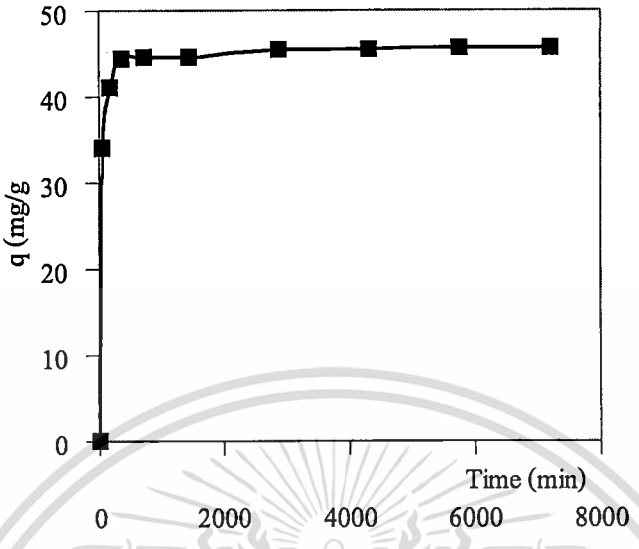
ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

สำหรับช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคือช่วงเวลาที่ถึงจุดสมดุลในการดูดซับ (Equilibrium time) เพราะหลังจากช่วงนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งจากการทดลองพบว่า การดูดซับตะกั่วโดยเปลือกกุ้งที่ระยะเวลา 1440 นาที หรือ 24 ชั่วโมง ค่าการดูดซับจะถึงจุดสมดุลโดยมีค่าความสารถในการดูดซับสูงที่สุด 9.36 มิลลิกรัมต่อกรัม (ภาพที่ 1) ส่วนการใช้เปลือกปูในการดูดซับ พบว่า มีระยะเวลาถึงจุดสมดุลอยู่ที่ 2880 นาที หรือ 48 ชั่วโมง (ภาพที่ 2)



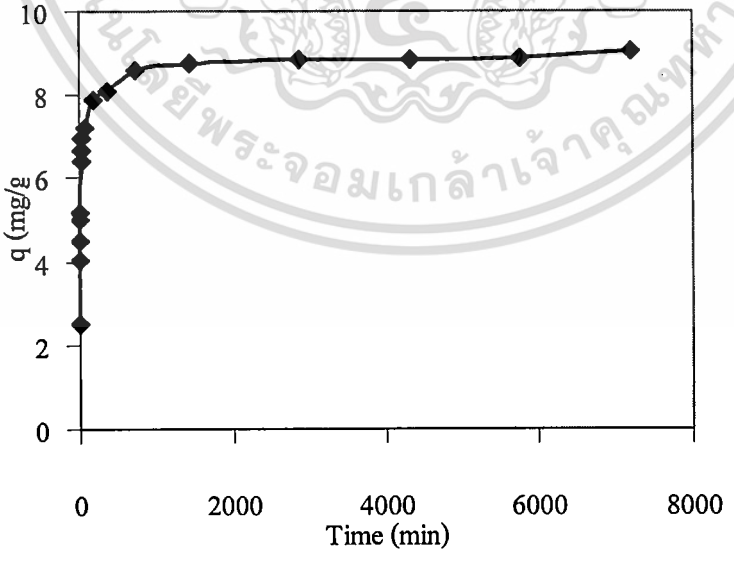
ภาพที่ 1 การดูดซับตะกั่วโดยเปลือกกุ้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



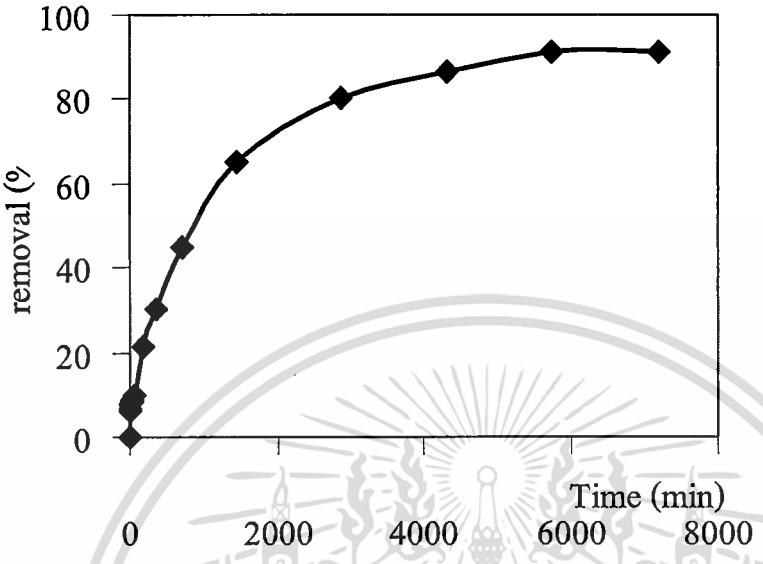
ภาพที่ 2 การดูดซับตะกั่วโดยเปลือกปูที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

การใช้เปลือกกุ้งและเปลือกปูในการดูดซับแคดเมียมพบว่า เปลือกกุ้งมีระยะเวลาถึงจุดสมดุลอยู่ที่ 1440 นาที หรือ 24 ชั่วโมง โดยดูดซับได้ 8.72 มิลลิกรัมต่อกรัม (ภาพที่ 3) ส่วนเปลือกปูมีระยะเวลาถึงจุดสมดุลอยู่ที่ 5760 นาที หรือ 96 ชั่วโมง โดยดูดซับได้ 98.2 มิลลิกรัมต่อกรัม (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 การดูดซับแคดเมียมโดยเปลือกกุ้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 การดูดซับแคดเมียมโดยเปลือกปูที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ขนาดของเปลือกกุ้งและเปลือกปูที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

การทดลองใช้เปลือกกุ้งและปูที่ขนาด 0.01-2 มิลลิเมตร ในการดูดซับสารตะกั่ว พบว่า ขนาดเปลือกกุ้ง 1 มิลลิเมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสารตะกั่วสูงสุด เท่ากับ 88.54± 1.43 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วสูงสุดเท่ากับ16.63± 0.27 มิลลิกรัมต่อกรัม เปลือกปูขนาดเล็ก 0.25 มิลลิเมตร สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุด 283.20±2.73 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางที่ 5) ส่วนการดูดซับแคดเมียมพบว่า ขนาดเปลือกกุ้งที่มีขนาด 2 มิลลิเมตร มีค่าการดูดซับสูงที่สุดคือ 43.68±1.16 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนาด 0.5 และ 1 มิลลิเมตร แต่ต่างจากขนาด 0.01 และ 0.25 มิลลิเมตร ส่วนเปลือกปูที่ขนาด0.25 และ 0.01 มิลลิเมตรมีค่าการดูดซับแคดเมียมได้สูงใกล้เคียงกัน และสูงกว่าขนาดอื่น ๆ โดยขนาด 0.25 มิลลิเมตร สามารถดูดซับแคดเมียมได้ 37.98±1.76 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางที่ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 การดูดซับตะกั่วโดยเปลือกกุ้งและปูที่มีขนาดต่างกัน

	เปลือกกุ้ง		เปลือกปู	
ขนาด (mm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด	ค่าการดูดซับ (mg/g)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด	ค่าการดูดซับ (mg/g)
0.01	84.44±1.71^{ab}	16.20±0.55^{ab}	99.95±0.05^{c}	277.66±3.02^{c}
0.25	76.23±4.08^{ab}	14.45±0.56^{ab}	99.66±0.22^{c}	283.20±2.72^{c}
0.50	70.81±7.16^{a}	13.70±1.28^{a}	100.00±0.00^{c}	281.40±1.02^{c}
1.00	88.54± 1.43^{b}	16.63± 0.27^{b}	69.55±5.36^{b}	195.61±17.96^{b}
2.00	80.64±3.86^{ab}	15.49±0.86^{ab}	26.87±9.38^{a}	77.26±26.28^{a}

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 6 การดูดซับแคดเมียมโดยเปลือกกุ้งและปูที่มีขนาดต่างกัน

	เปลือกกุ้ง		เปลือกปู	
ขนาด (mm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด	ค่าการดูดซับ (mg/g)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด	ค่าการดูดซับ (mg/g)
0.01	98.2±0.1a	38.03±1.27a	89.3±0.4d	36.09±1.14d
0.25	96.5±1.4a	39.46±1.95ab	89.0±0.4d	37.98±1.76d
0.50	97.6±1.1a	41.66±0.59abc	66.7±4.4c	29.69±1.83c
1.00	97.0±1.7a	42.68±0.78bc	29.8±2.1b	13.68±0.89b
2.00	97.6±0.9a	43.68±1.16c	1.5±0.8a	0.71±0.36a

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่แล้วตัวดูดซับขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากกว่าตัวดูดซับขนาดใหญ่ในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Vijayaraghavan et al. (2006) ที่สรุปว่ายิ่งขนาดเปลือกปูมีขนาดเล็ก ก็จะทำให้ยิ่งมีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น แต่พบว่าเปลือกกุ้งที่ขนาดเล็กมีแนวโน้มทำให้มีค่าการดูดซับต่ำ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเปลือกกุ้งที่ขนาดเล็กมาก อาจเกิดการเกาะรวมกันได้ง่าย จึงทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับลดลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนตัวดูดซับที่เหมาะสม

การใช้เปลือกกุ้งในปริมาณ 0.01-0.05 กรัม ดูดซับสารตะกั่ว พบว่า เปลือกกุ้งที่ปริมาณ 0.05 กรัม มีค่าเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสารตะกั่วมากที่สุดเท่ากับ 94.68 $\pm$ 0.30 ส่วนเปลือกกุ้งที่ระดับปริมาณ 0.02 กรัม มีค่าเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสารตะกั่วน้อยสุดที่ เท่ากับ 69.33 $\pm$ 0.15 ส่วนความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วของเปลือกกุ้ง ที่ระดับปริมาณ 0.01 กรัม มีค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่เท่ากับ 41.59 $\pm$ 4.56 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนเปลือกกุ้งที่ระดับปริมาณ 0.05 กรัม มีค่าความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วน้อยที่สุดที่เท่ากับ 11.27 $\pm$ 0.12 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 การดูดซับตะกั่วโดยเปลือกกุ้งที่ปริมาณแตกต่างกัน

นน.เปลือกกุ้ง (กรัมต่อ30 มิลลิลิตร)	% remove	ค่าการดูดซับ(mg/g)
0.01	78.12 ± 1.15^{bc}	41.59 ± 4.56^{c}
0.02	69.33 ± 0.15^{a}	21.05 ± 0.03^{b}
0.03	75.53 ± 0.73^{b}	14.67 ± 0.59^{ab}
0.04	81.56 ± 3.13^{c}	12.07 ± 0.40^{a}
0.05	94.68 ± 0.30^{d}	11.27 ± 0.12^{a}

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.05$)

ปริมาณเปลือกปูที่ต่ำ (0.0025 กรัม) มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุด (928.73±15.62 มิลลิกรัมต่อกรัม) และที่ปริมาณเปลือกปูสูง (0.02 กรัม) มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้น้อยที่สุด (134.81±1.78 มิลลิกรัมต่อกรัม) แต่มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด (99.83±0.09%) ที่ขนาดเปลือกปู 0.05 มิลลิเมตร เท่าๆกัน (ตารางที่ 8) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Vijayaraghavan et al. (2006) ที่ใช้เปลือกปูปริมาณ 1, 2, 4, 5 และ 10 กรัมในการดูดซับทองแดงและโคบอลต์ 1 ลิตร พบว่า ในปริมาณเปลือกปู 1 กรัม มีความสามารถในการดูดซับมากที่สุด และที่ 10 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 การดูดซับตะกั่วโดยเปลือกปูที่ปริมาณแตกต่างกัน

ปริมาณ (กรัม/50 มล.)	% remove	ค่าการดูดซับ(mg/g)
0.0025	85.96±0.40[a]	928.73±15.62[e]
0.005	95.06±0.22[b]	513.5±7.24[d]
0.01	99.06±0.83[c]	267.55±4.10[c]
0.015	99.58±0.09[c]	179.29±2.14[b]
0.02	99.83±0.09[c]	134.81±1.78[a]

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ส่วนการใช้เปลือกกุ้งและเปลือกปูในการดูดซับแคดเมียมนั้นพบว่าปริมาณเปลือกกุ้งที่ 0.0025 กรัม สามารถดูดซับแคดเมียมได้สูงที่สุดคือ 172.12±0.21 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณอื่น ๆ ส่วนเปลือกปูที่ปริมาณ 0.01 กรัม สามารถดูดซับแคดเมียมได้สูงที่สุดคือ 33.2±1.15c มิลลิกรัมต่อกรัม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณอื่น ๆ (ตารางที่ 9, 10)

ตารางที่ 9 การดูดซับแคดเมียมโดยเปลือกกุ้งที่ปริมาณแตกต่างกัน

ปริมาณ (กรัม/30 มล.)	% remove	ค่าการดูดซับ(mg/g)
0.0025	94.3±0.1a	172.12±0.21a
0.005	96.9±0.1c	88.40±0.05b
0.01	98.4±0.7d	44.89±0.31c
0.015	95.7±0.2b	29.10±0.06d
0.02	97.4±0.2cd	22.23±0.05e

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 10 การดูดซับแคดเมียมโดยเปลือกปูที่ปริมาณแตกต่างกัน

ปริมาณ (กรัม/30 มล.)	% remove	ค่าการดูดซับ(mg/g)
0.0025	2.9±0.3a	5.2±4.06a
0.005	24.3±4.5b	21.6±3.99b
0.01	74.8±2.6c	33.2±1.15c
0.015	81.8±5.1cd	24.2±1.51b
0.02	92.3±0.6d	20.5±0.13b

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

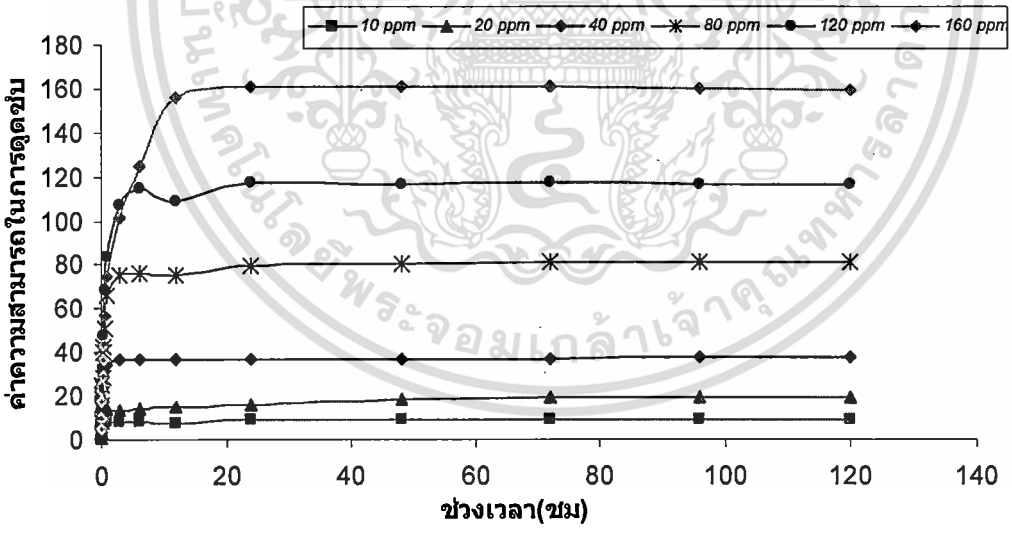
ความสามารถสูงสุดของเปลือกกุ้งและเปลือกปูในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม (adsorption isotherm)

จากการศึกษาหาความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่ว (Q_{max}) ของเปลือกกุ้งที่ระดับ 10 – 160 มิลลิกรัมต่อลิตร และเปลือกปูที่ระดับ 50 – 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่วตามสมการการดูดซับของ Langmuir ของเปลือกกุ้งคือ 31.95 มิลลิกรัมต่อกรัม ของเปลือกปูคือ 102.04 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับแคดเมียมของเปลือกกุ้งคือ 23.09 มิลลิกรัมต่อกรัม ของเปลือกปูคือ 43.19 มิลลิกรัมต่อกรัม

ศึกษากลไกในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของเปลือกกุ้งและเปลือกปู (kinetics)

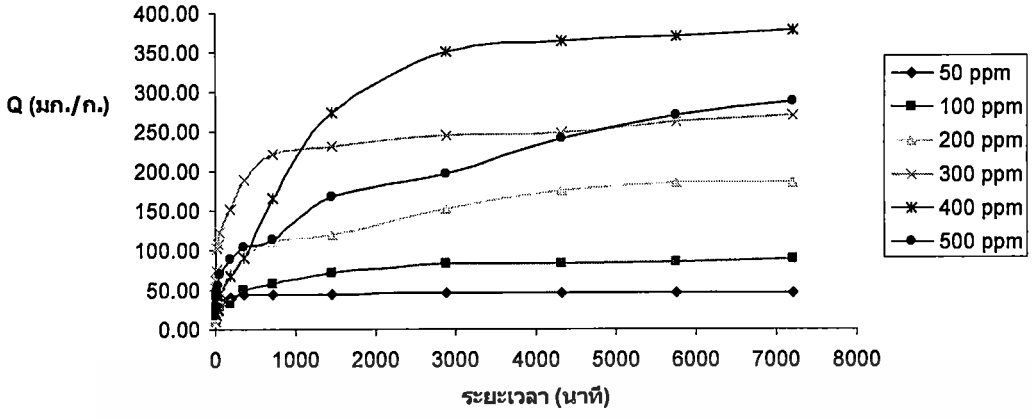
ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วและแคดเมียมในการดูดซับ

เมื่อความเข้มข้นสารตะกั่วและแคดเมียมเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วและแคดเมียมของเปลือกกุ้งและปู จะเพิ่มขึ้น การดูดซับจะเกิดได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากมีอิออนของ โลหะหนักปริมาณมากจึงเกิดแรงผลักตัวเข้าจับกับตัวดูดซับได้มากเพิ่มขึ้น (ภาพที่5, 6)



ภาพที่ 5 การดูดซับสารตะกั่วของเปลือกกุ้งที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 การดูดซับสารตะกั่วของเปลือกปูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

การล้างตะกั่วและแคดเมียมออกจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูที่ดูดซับตะกั่วและแคดเมียมแล้ว (Desorption)

จากการทดลองใช้เปลือกกุ้งและเปลือกปูดูดซับสารตะกั่วแล้วนำตัวดูดซับไปล้างตะกั่วออกด้วยสาร 1M EDTA , 1M $NaHCO_3$, 1M Na_2HCO_3 , 1M H_2SO_4 , DI Water พบว่า สาร EDTA ใช้ล้างสารตะกั่วออกจากเปลือกกุ้งได้ดีที่สุด เท่ากับ 50.08 เปอร์เซ็นต์ ล้างตะกั่วออกจากเปลือกปูได้ 34.18 เปอร์เซ็นต์ ของตะกั่วที่ถูกดูดซับไป (ตารางที่ 11) ซึ่ง EDTA แสดงความสามารถสูงสุดในการล้างแคดเมียมออกจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูเช่นกัน

ตารางที่ 11 แสดงปริมาณตะกั่วที่ถูกล้างด้วยสารชนิดต่างๆจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู

	%Desorption	
ชนิดสาร	เปลือกกุ้ง	เปลือกปู
(1M)EDTA	50.08	34.18
(1M)$NaHCO_3$	9.89	1.06
(1M)Na_2HCO_3	4.88	0.00
(1M)H_2SO_4	2.47	0.00
DI water	6.88	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

ระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วของเปลือกกุ้งและเปลือกปูคือ 4 และที่เหมาะสมต่อการดูดซับแคดเมียมคือพีเอช 6 และ 7 การดูดซับตะกั่วโดยเปลือกกุ้งและเปลือกปูใช้เวลาเข้าสู่สมดุลที่ 24 และ 48 ชั่วโมง ส่วนการดูดซับแคดเมียมโดยเปลือกกุ้งและเปลือกปูใช้เวลาเข้าสู่สมดุลที่ 24 และ 96 ชั่วโมง ปริมาณของเปลือกกุ้งและปูที่น้อยกว่ามีแนวโน้มทำให้ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งกรัมของตัวดูดซับมีปริมาณมากกว่า เปลือกกุ้งและเปลือกปูมีความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 31.9 และ 102.0 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีความสามารถสูงสุดในการดูดซับแคดเมียมเท่ากับ 23.0 และ 43.2 มิลลิกรัมต่อกรัม เปลือกกุ้งและเปลือกปูเมื่อใช้ดูดซับตะกั่วและแคดเมียมแล้วสามารถล้างตะกั่วและแคดเมียมออกจากเปลือกได้ดี โดยใช้ EDTA ดังนั้นเปลือกกุ้งและเปลือกปูจึงเป็นวัสดุดูดซับอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมากำจัดตะกั่วและแคดเมียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

An, H.K., Park, B.Y., and Kim, D.S. 2001. Crab shell for the removal of heavy metals from aqueous solution. Water Research. 35:3551-3556.

Bailey, S.E., Olin, T.J., Bricka, R.M. and Adrian, D.D. 1999. A reviews of potentially low cost sorbents for heavy metals. Water Research. 33:2469-2479.

Chen, J.P., Chen, W.R., and Hsu, R.C. 1996. Biosorption of copper from aqueous solution by plant root tissue. *J. Ferment. Bioeng.,* 81,458.

Chiras, D.D. 1994. Environmental Science, Action for a sustainable future. The Benjamin cummings Publishing Company, Inc., California. 611 pp.

Cho, D.U., Lee, S.T., Park, S.W., Chung, A.A. 1994. Studies on the biosorption of heavy metals onto "*Chlorella vulgaris. J. Environ. Sci. Health.* 29, 389.

Chu, K.H. 2002. Removal of copper from aqueous solution by chitosan in prawn shell: adsorption equilibrium and kinetics. Journal of Hazardous Materials. 90:77-95.

Chui, V.W.D., Mok, K.W., Ng, C.Y., Luong, B.P., and Ma, K.K. 1996. Removal and recovery of copper, chromium, and nickel from solutions using crude shrimp chitin packed in small columns. Environment International. 22:463-468.

Evans, J.R., Davids, W.G., MacRae, J.D. and Amirbahman, A. 2002. Kinetics of cadmium uptake by chitosan-based crab shells. Water Research. 36:3219-3226.

Fehrmann, C., Pohl, P. 1993. Cadmium adsorption by the non-living biomass of microalgae grown in axenic mass culture. *J.Appl. Phycol.* 5, 555.

Guibal, E., Milot, C., and Roussy, J. 1999. Molybdate sorption by cross-linked chitosan-beads: dynamic studies. Water Environmental Research. 71: 10-17.

Hammouda, O., Gaber, A. and Abdel, R.N. 1995. Microalgae and wastewater treatment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 31(1995):205-210.

Jackson A.R.W. and Julie M. Jackson. 1996. Environmental Science : The natural environment and human impact. Longman Singapore Publishers Ltd, Singapore. 370 pp.

Kim, D.S. 2003. The removal by crab shell of mixed heavy metal ions in aqueous solution. Bioresource Technology. 87:355-357.

Ngah, W.S.W, and Liang, K.H. 1999. Adsorption of gold ions onto chitosan and N-carboxymethyl chitosan:equilibrium studies. Engineering and Chemical Research. 38:1411-1414.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pradhan, S., Shukla, S.S., and Dorris, K.L. 2005. Removal of nickel from aqueous solutions using crab shells. Journal of Hazardous Materials. 125:201-204.

Raven, R.H., Berg, L.R. and Johnson, G.B. 1993. Environment. Saunders College Publishing, New York. 569 pp.

Shuttleworth, K.L., Unz, R.F. 1993. Sorption of heavy metals to the filamentous bacterium *Thiothrix* strain A1. *Appl. Environ. Microviol.* 59, 1274.

Sindermann, C.J. 1996. Ocean Pollution Effects on Living Resources and Humans. CRC. Press, London. 275 pp.

Vijayaraghavan, K., Palanivelu, K., and Velan, M. 2005. Crab shell-based biosorption technology for the treatment of nickel-bearing electroplating industrial effluents. Journal of Hazardous Materials. 119:251-254.

Vijayaraghavan, K., Palanivelu, K., and Velan, M. 2006. Biosorption of copper and cobalt from aqueous solutions by crab shell particles. Bioresource Technology. 97:1411-1419.

Volesky, B., May-Phillips, H.A. 1995. Biosorption of heavy metals *by Saccharomyces cerevisiae. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 42,797.

Wilde, E.W. ane Benemann, J.R. 1993. Bioremoval of heavy metals by the use of microalgae. *Biotech. Adv.* 11(1993):781-812.

www.dserver.org

www.fisheries.go.th

www.se-ed.com

กรมควบคุมมลพิษ. 2540. บันทึกสีน้ำตาล รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย. กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพ. หน้า 1-36.

จารุรัตน์ เชาว์เลิศ และขันทอง สุนทราภา. 2546. การกำจัดตะกั่ว และปรอทในน้ำเสียจากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุชด้วยเกล็ดไคโตซาน. เอกสารประกอบการประชุม ไคติน-ไคโตซานแห่งประเทศไทย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุ : 45-47.

บุปผา แช่มประเสริฐ. 2527. ผลกระทบของแคดเมียมในแอคติเวตเตดสลัดจ์ที่มีต่อพืชผักและธาตุอาหารพืชบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

ปราณี เลิศสุทธิวงษ์ และคณะ. Chitosan as a day strength agent for paper. Appita Journal. 55 (3) : 208-212.

พรสวัสดิ์ มหาโชคเลิศวัฒนา. 2529. การกำจัดตะกั่วในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่โดยวิธีตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาวดี เมธะดานนท์. 2544. ความรู้เกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน ศูนย์เทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ : 10 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้