ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง การดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกปู

Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by crab shell; *Scylla serrata*

ชื่อนักศึกษา นายธีรวุฒิ วงศ์ทรัพย์ รหัส 46040757

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์)

ภาควิชารับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์ศักดิ์ชัย ซูโซติ)
หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
วันที่ 21 **เดือน** พ.ค. **พ.ศ.** 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร พระจอมเกล้าลาดกระบัง 23147

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกปู

Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by crab shell; *Scylla serrata*

T099175

โดย

นายธีรวุฒิ วงศ์ทรัพย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาษา ไทย
ระดับ ปริญญาตรี
ปี 2549

ลงทะเบียน 95275
วัน เดือน ปี 15 JUN 2009

b 11883157
i

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกปู

Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by crab shell; *Scylla serrata*

จากการทดลองนำเปลือกปูมาใช้ดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการการสกัดไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วได้ใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการการสกัดไคโตซาน โดยระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับอยู่ที่ระดับ pH 4 ซึ่งมีค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 88.51 ± 0.65 มิลลิกรัมต่อกรัม และขนาดเปลือกปูที่เหมาะสมในการดูดซับสารตะกั่ว คือ ขนาด 0.25 มิลลิเมตร มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 283.20 ± 2.72 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณเปลือกปูที่เหมาะสมในการดูดซับอยู่ที่ 0.01 กรัม มีค่าการดูดซับเท่ากับ 267.55 ± 4.10 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนความเข้มข้นของสารตะกั่ว 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อเปลือกปู 0.01 กรัม ในช่วงระยะเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 60 นาที , 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง, 2, 3, 4 และ 5 วัน พบว่าช่วงเวลาที่ 6 ชั่วโมง เปลือกปูจะถึงจุดสมดุลต่อการดูดซับหลังจากนั้นจะเริ่มคงที่ และสารตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยเปลือกปูสามารถล้างตะกั่วออกได้โดยใช้สาร EDTA ซึ่ง EDTA มีประสิทธิภาพในการล้างสารตะกั่วออกจากเปลือกปูได้ดีที่สุดคือที่ 34.18 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่อง การดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกปูครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือทุกๆด้านมาโดยตลอดจนเสร็จสิ้นการทดลอง

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกๆท่านที่ให้ความรู้ อบรมสั่งสอน และให้ข้อคิดเตือนสติต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกๆ คนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่คอยอบรมเลี้ยงดู และให้โอกาสจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

นายธีรวุฒิ วงศ์ทรัพย์

พฤษภาคม 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	III
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	17
ผลการทดลองและวิจารณ์	25
สรุป	31
เอกสารอ้างอิง	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงความสามารถในการดูดซับ (q) ของเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี (N) และเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมี (Y) ที่ระดับ pH ต่างกัน	25
2	แสดงความสามารถในการดูดซับ (q) ของเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ระดับ pH ต่างกัน	26
3	แสดงความสามารถในการดูดซับ (q) ของเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ขนาดต่างกันในปริมาณเปลือกปูที่ 0.01 กรัม	27
4	แสดงความสามารถในการดูดซับ (q) ของเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ปริมาณต่างกัน แต่ขนาดเท่ากันที่ 0.05 มิลลิเมตร	28
5	แสดงความสามารถในการล้างตะกั่วออกจากเปลือกปูของสารเคมีชนิดต่างๆ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงช่วงระยะเวลาในการดูดซับตะกั่วจากเริ่มต้นจนถึงจุดสมดุลระดับความเข้มข้นตะกั่วตั้งต้นที่ 50 ppm	28
2	แสดงระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วที่ต่างกันคือ 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 ppm จนถึงระดับสมดุล	29
3	แสดงสมการเส้นตรงจากผลของการดูดซับตะกั่วที่ระดับ 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 ppm	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ปัจจุบันโลกของเราพัฒนาไปไกลมากทำให้พื้นที่เกษตรส่วนใหญ่กลายเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมเพื่อให้ตอบสนองต่อการพัฒนาของโลก และสิ่งที่ตามมากับการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมก็คือ มลพิษทางน้ำ เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องทิ้งน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำบริเวณนั้นเกิดการเน่าเสียอีกทั้งยังมีโลหะหนักเจือปนลงสู่แหล่งน้ำด้วย ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้จะส่งผลเสียต่อพืช สัตว์ รวมทั้งมนุษย์ด้วย ด้วยเหตุนี้โรงงานอุตสาหกรรมจึงควรให้ความร่วมมือในการรักษาสิ่งแวดล้อมโดยการบำบัดน้ำก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีโลหะหนักเจือปนอยู่ในแหล่งน้ำอยู่ดี เราจึงควรศึกษาเพื่อกำจัดโลหะหนักในแหล่งน้ำ โดยการกำจัดโลหะหนักในแหล่งน้ำนั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การกรอง การใช้สารเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น แต่วิธีเหล่านี้มีต้นทุนที่แพง และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้ และเมื่อไม่นานมานี้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้สารไคโตซานในการกำจัดโลหะหนักซึ่งมีอยู่ในกระดองปู ด้วยเหตุนี้จึงนำกระดองปูมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก ซึ่งมีราคาที่ถูก อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย และยังเป็นการนำของเหลือใช้นำกลับมาใช้ใหม่อีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำกระดองเหลือใช้จากปูมาใช้ในการดูดซับโลหะหนัก
2. ช่วยลดต้นทุนการดูดซับโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งโลหะหนักในสัตว์น้ำเป็นสารปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมที่สัตว์น้ำอาศัยอยู่ ความเจริญของประเทศทำให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและการส่งเสริมอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกที่ขาดแผนรองรับเรื่องผลกระทบที่จะตามมา การพัฒนาทางด้านการเกษตร การปศุสัตว์และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ น้ำทิ้งจากชุมชนเมือง สิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ สิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้คือการปนเปื้อนของโลหะหนักซึ่งถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่นอุปกรณ์ผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย ทางด้านการเกษตร ใช้เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ย ทางด้านการแพทย์ใช้เป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์และเครื่องสำอาง โลหะหนักเป็นสารที่คงตัวไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ดังนั้นการปนเปื้อนของโลหะหนักในสัตว์น้ำจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อมนุษย์โดยโลหะหนักที่ร่างกายได้รับทางระบบต่างๆของร่างกายจะไปรบกวนการทำงานของระบบเอ็นไซม์ของเซล และจับยึดกับเยื่อหุ้มเซลทำให้การควบคุมการลำเลียงของสารต่างๆของเยื่อหุ้มเซลผิดปกติไป โลหะหนักบางชนิดมีผลต่อสมบัติทางด้านโครงสร้าง หรือเคมีไฟฟ้าของเซล ความเป็นพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีของสารประกอบของโลหะหนักแต่ละชนิด และเส้นทางที่ร่างกายได้รับเข้าไป เช่น ทางระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร และผิวหนัง เป็นต้น โดยผลของความเป็นพิษของโลหะหนักที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในกลไกระดับเซลมี 5 แบบคือ (1) ทำให้เซลตาย (2) เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซล (3) เป็นตัวการชักนำให้เกิดมะเร็ง (4) เป็นตัวการทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม (5) ทำความเสียหายต่อโครโมโซมซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม (www.material.chula.ac.th)

ผลของโลหะหนักชนิดต่าง ๆต่อสิ่งมีชีวิต

1. ทองแดง (Cu)

พิษของการมีทองแดงอยู่มากก็อาจปรากฏขึ้นได้ถ้าบริโภคมากกว่า 30 เท่าของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคเป็นระยะเวลานานและอาจพบได้ในโรค wilson's disease ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากพันธุกรรมซึ่งไม่ค่อยพบบ่อยนัก เนื่องจากความผิดปกติของทองแดงอยู่ในตับ สมอง และกระจกตามาก ซึ่งอาจวิเคราะห์ได้จากการมองวงแหวนเป็นสีน้ำตาลหรือสีเขียวที่กระจกตา สมองโตเป็นแผล ตับโต ทรงตัวไม่ได้ ควบคุมกล้ามเนื้อไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นิเกล (Ni)

เป็นสารก่อมะเร็ง เมื่อหายใจเข้าไปอาจทำให้เกิดอาการหอบหืด หลอดลมอักเสบ หายใจติดขัด และทำให้ผิวหนังอักเสบ ถ้ากลืนหรือกินเข้าไปอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ นอกจากนี้ยังทำให้โลหิตเป็นพิษในหญิงมีครรภ์

3. โครเมียม (Cr)

มะเร็งปอดถ้ามีการสะสมเป็นเวลานาน เกิดบาดแผลที่คล้ายถูกเจาะด้วยตะปู คันผิวหนังอักเสบ เยื่อกั้นจมูกทะลุได้ ในกรณีสูดดมเป็นจำนวนมาก

4. ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางอาหาร ทางการหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ส่วนใหญ่จะจับยึดอยู่กับเม็ดเลือดแดง หมุนเวียนไปกับกระแสเลือด กระจายไปทั่วร่างกายสู่เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆโดยสะสมมากที่สุดที่ไต โดยตะกั่วรวมตัวกับโปรตีนของเซลภายในไต ทำให้หลอดไตทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ ตะกั่วยังมีผลต่อตับ หัวใจและเส้นเลือด ภาวะเจริญพันธุ์ โครโมโซม และเป็นสารชักนำให้เกิดโรคมะเร็ง และความพิการแต่กำเนิดอีกด้วย

5. แคดเมียม (Cd)

แคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ อาหาร และในยาสูบเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมในกระเพาะอาหาร แล้วแพร่กระจายไปที่ตับ ม้ามและลำไส้ แม้ได้รับปริมาณน้อยแต่ต่อเนื่อง แคดเมียมจะถูกสะสมไว้ที่ไต จากการให้หนูบริโภคอาหารที่มีแคดเมียมพบว่าหนูมีอาการ hyperglycemia คือภาวะที่มีระดับกลูโคสในโลหิตมากกว่าปกติ และลดระดับของอินซูลินในตับอ่อน ทำให้การทำงานของไตผิดปกติ กรณีของคนการบริโภคอาหารหรือฝุ่นที่ปนเปื้อนแคดเมียมปริมาณสูงจะทำให้หายใจติดขัด เยื่อปอดถูกทำลาย ถุงลมโป่งพอง คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลีย เจ็บหน้าอก โลหิตจางเรื้อรัง ไตพิการ ปวดกระดูกสันหลัง แขนขา อาจเสียชีวิตได้ โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิไต-อิไต (Itai Itai Disease) (www.dserver.org and www.fisheries.go.th)

คุณสมบัติของกระดองปู

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของไคตินและไคโตซาน

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

การเตรียมกระดองปู

เมื่อนำกระดองปูไปบดแล้วทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนการผลิตไคติน - ไคโตซาน

เปลือกปู (Crab Biowaste)

↓

กระบวนการแยกโปรตีน (Deproteination)

ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง

↓

กระบวนการแยกแร่ธาตุ (Decalcification)

ด้วยสารละลายกรดเกลือเจือจาง

↓

ไคติน (Chitin)

↓

กระบวนการดึงหมู่อะซิทิล (Deacetylation)

ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

↓

ไคโตซาน (Chitosan)

ที่มา : ปราณี และคณะ (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์โดยเครื่องมือ Atomic absorption spectrophotometer (เครื่อง AAS)ใช้เทคนิคของ flame atomization

หลักการของวิธี Atomic absorption spectrophotometer

ใช้เทคนิคเกี่ยวกับอะตอมของสารดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ความยาวคลื่น (wavelength) เฉพาะของธาตุนั้น ๆ โดยที่อะตอมอยู่ที่ ground state (พลังงานต่ำ) ดูดกลืนคลื่นแสงเอาไว้แล้วเปลี่ยนเป็นงานที่ excited state (พลังงานสูง) มี hollow cathode lamp เป็นแหล่งของคลื่นแสง ความแตกต่างของระดับพลังงานที่ excited state กับ ground state วัดออกมาเป็นค่าของการดูดกลืนคลื่นแสง เรียกว่าค่า absorbance ปริมาณของแสงที่ถูกดูดจะแปรตามความเข้มข้นของอะตอมที่มีอยู่ในสารนั้น จากการวัดค่า absorbance ของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นหลายระดับ นำมา plot ค่า จะได้ calibration curve นำค่า absorbance ของสารตัวอย่างมาเปรียบเทียบ จะทำให้ทราบความเข้มข้นของแร่ธาตุในสารตัวอย่างได้ (www.acfs.go.th)

การปฏิบัติก่อนทดสอบด้วยเครื่อง AAS

นำกระดองปูใส่ลงใน Flask เติมสารละลายโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่จะศึกษาลงไป หรือแหล่งน้ำที่จะทดสอบลงไป จากนั้นเข้าเครื่องเขย่าโดยใช้อัตรา 150 รอบ/นาที นาน 24 ชม.ที่อุณหภูมิ 30องศาเซลเซียสจากนั้นเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงทันทีโดยใช้อัตรา 3000 รอบ/นาที นาน 10 นาที นำสารละลายส่วนที่อยู่ด้านบนนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ถูกกำจัดจาก (Vijiyaraghavan et al., 2004)

$$Q = (C_o - C_f) * V / M$$

Q คือ ปริมาณโลหะหนักที่ถูกกำจัด (mg/g)

C_o คือ ความเข้มข้นโลหะก่อนวิเคราะห์ (mg/l)

C_f คือ ความเข้มข้นโลหะหลังวิเคราะห์ (mg/l)

V คือ ปริมาณสารละลายที่ใส่ใน flask (l)

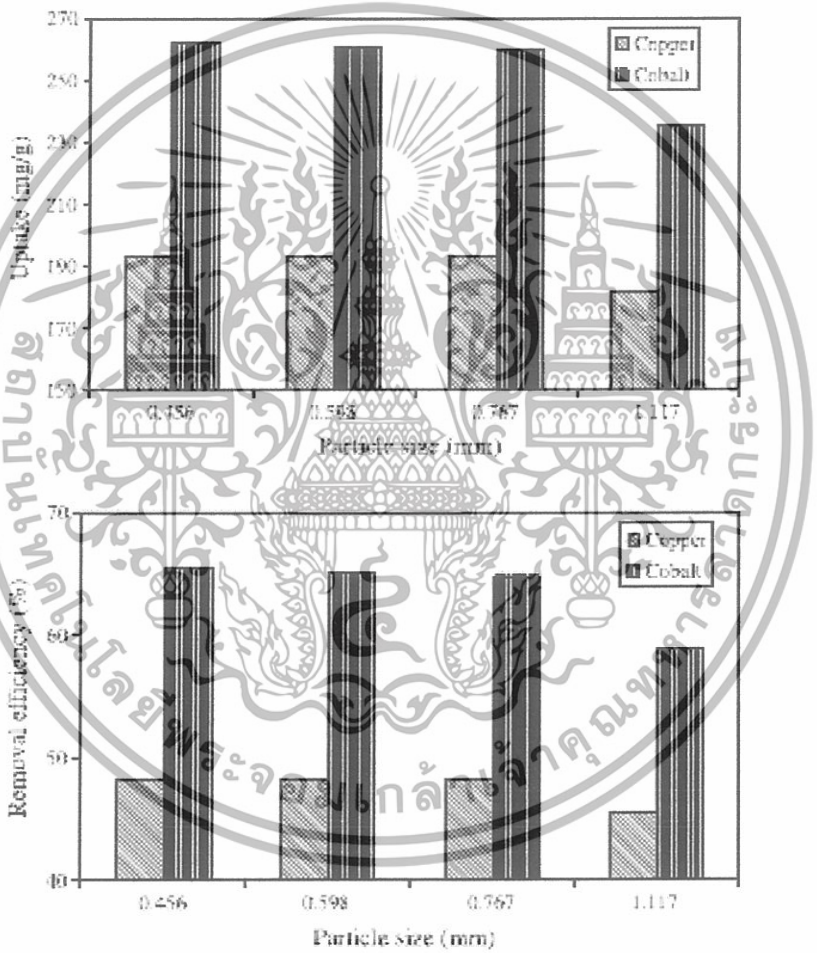
M คือ ปริมาณกระดองปูที่ใช้ (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของกระดองปู

1. 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 (ภาพที่ 1) (Vijayaraghavan et al., 2006)

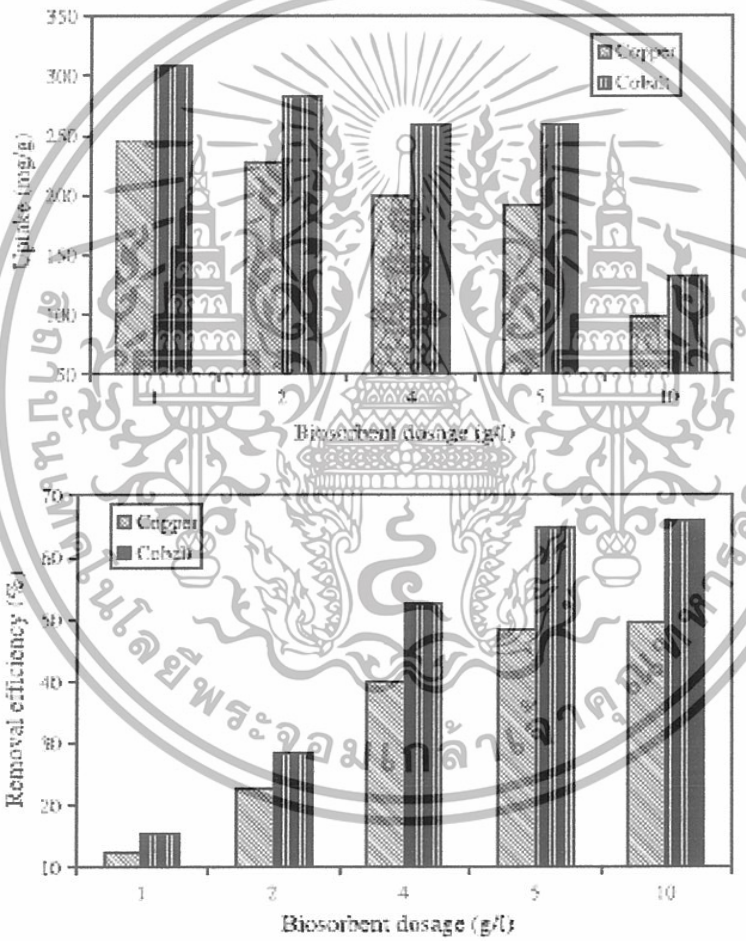


ภาพที่ 1 แสดงอิทธิพลของขนาดกระดองปูที่มีผลต่อการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ทุกขนาดต่างกันคือ 0.456, 0.598, 0.767 และ 1.117 มิลลิเมตร (ในปริมาณกระดองปู 5 กรัมลิตร; pH=6 และปริมาณความเข้มข้นของโลหะตั้งต้น = 2000 มิลลิกรัม/ลิตร ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง)
ที่มา : Vijayaraghavan et al. (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปริมาณที่ใช้

ในการศึกษาการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) จากแหล่งน้ำโดยให้ปริมาณการใช้กระดองปูในการดูดซับที่ต่างกันคือที่ 1, 2, 4, 5 และ 10 กรัม/ลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) จากสารละลายจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้กระดองปูในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เป็นเช่นนี้เพราะการเพิ่มปริมาณของกระดองปูจะไปช่วยเพิ่มขนาดพื้นที่ผิวให้มีประสิทธิภาพการดูดซับที่สูงขึ้น ส่วนการกำจัดออกนั้นในการใช้กระดองปูในปริมาณที่น้อยๆจะทำให้ปริมาณทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ที่ถูกดูดซับต่อ 1 กรัมของกระดองปูลดลง (ภาพที่ 2) (Vijayaraghavan et al., 2006)



ภาพที่ 2 แสดงอิทธิพลของปริมาณการใช้กระดองปูที่มีผลต่อการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์

(Co) ที่ปริมาณต่างๆคือ 1, 2, 4, 5 และ 10 กรัม/ลิตร (ที่ขนาดกระดองปู 0.767 มิลลิเมตร; pH=6 และ

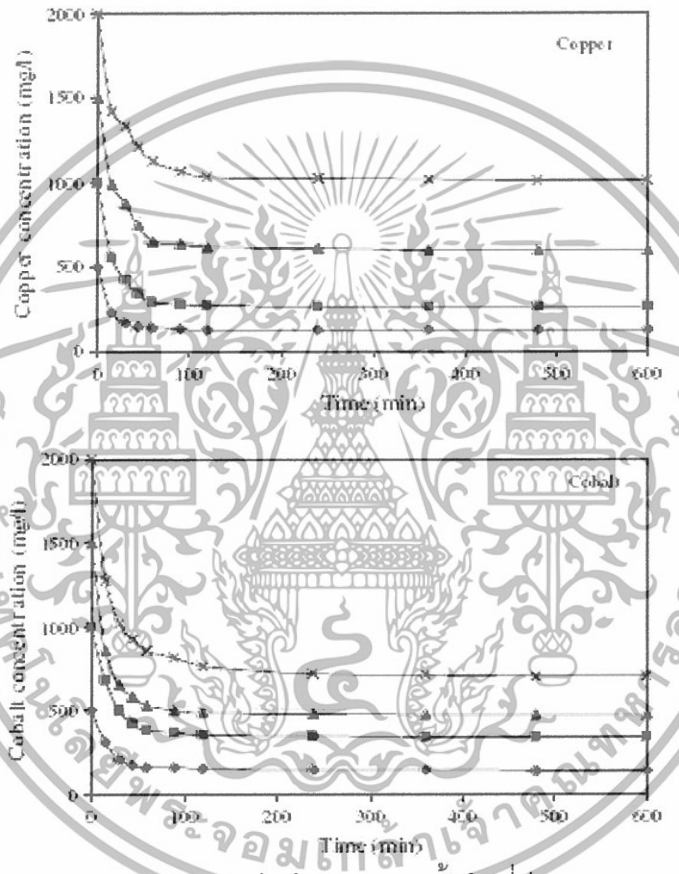
ปริมาณความเข้มข้นของโลหะตั้งต้น = 2000 มิลลิกรัม/ลิตร ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง)

ที่มา : Vijayaraghavan et al. (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปริมาณความเข้มข้นของโลหะตั้งต้น

จากการศึกษาของ Vijayaraghavan et al. (2006) พบว่าปริมาณความเข้มข้นของทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ตั้งต้นในระดับที่ต่างกันนั้นคือที่ 500, 1000, 1500 และ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าทั้ง 4 ระดับความเข้มข้นจะถูกดูดซับแล้วอยู่ในระดับที่สมดุลในระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แต่เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับจะต่างกันคือ ที่ระดับความเข้มข้นของโลหะตั้งต้นสูงๆจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสูงขึ้นไปด้วย (ภาพที่ 3) (Vijayaraghavan et al., 2006)



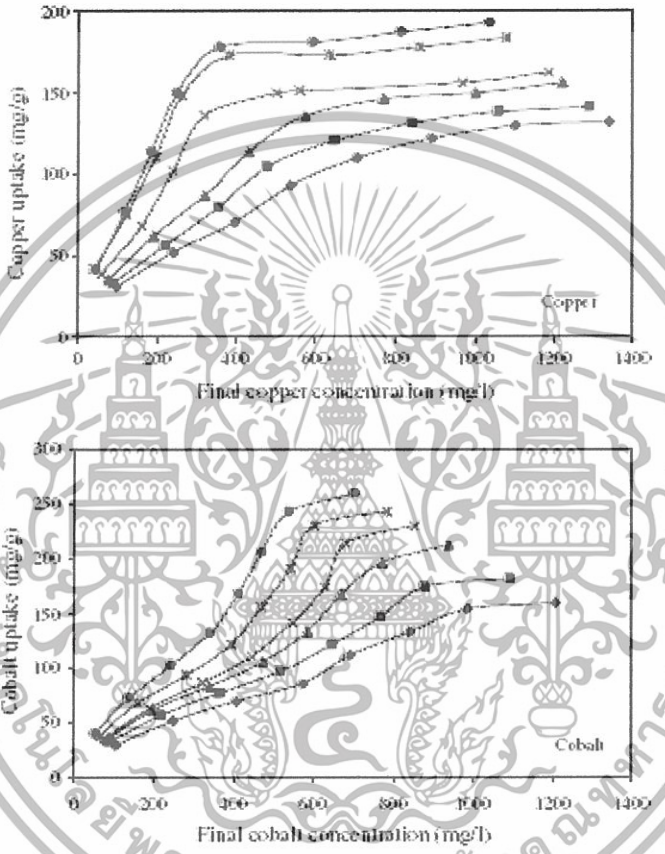
ภาพที่ 3 แสดงอิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของโลหะตั้งต้นที่มีผลต่อการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ที่ปริมาณความเข้มข้นต่างกันคือ 500, 1000, 1500 และ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร (ที่ขนาดกระดองปู 0.767 มิลลิเมตร; ปริมาณกระดองปู 5 กรัม/ลิตร ที่ระดับ pH=6)

ที่มา : Vijayaraghavan et al. (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. 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) (ภาพที่ 4) (Vijayaraghavan et al., 2006)



ภาพที่ 4 แสดงอิทธิพลของค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ที่ระดับต่างๆ

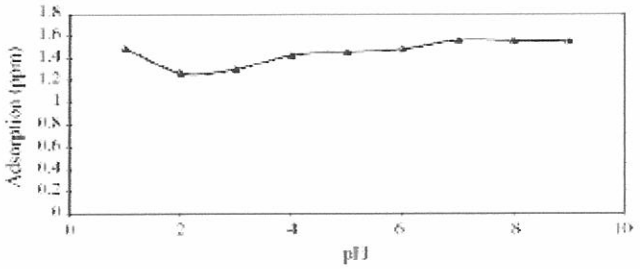
คือ ● pH = 6 ; * pH = 5.5; X pH = 5; ▲ pH = 4.5; ■ pH = 4; ♦ pH=3.5

(ที่ขนาดกระดองปู 0.767 มิลลิเมตรและปริมาณกระดองปู 5 กรัม/ลิตร)

ที่มา : Vijayaraghavan et al. (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการศึกษาการดูดซับนิเกล (Ni) นั้นค่า pH แทบจะไม่ส่งผลต่อการดูดซับนิเกล (Ni) เลยแต่ส่วนใหญ่แล้วจะใช้ค่า pH ที่เป็นกลางเนื่องจากค่า pH ขึ้นอยู่กับไฮโดรเจนไอออนซึ่งอาจจะไปส่งผลต่อการดูดซับโลหะหนักได้ (ภาพที่ 5) (Swapna et al., 2005)

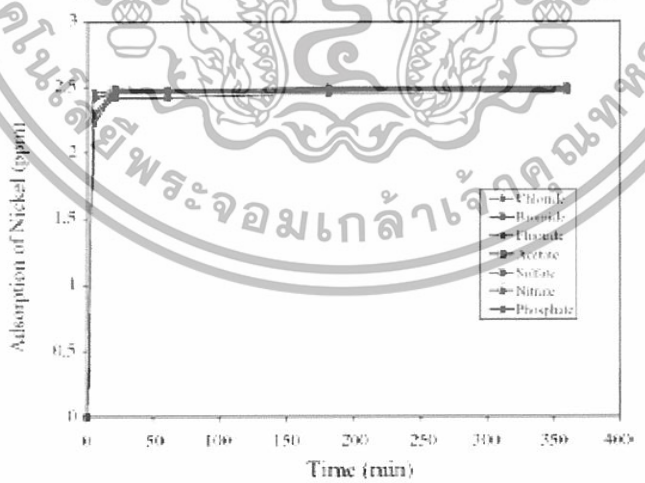


ภาพที่ 5 แสดงอิทธิพลของค่า pH ในระดับต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับนิเกล (Ni)

ที่มา : Swapna et al. (2005)

5. ผลของไอออนอื่น

ในการศึกษาการดูดซับนิเกล (Ni) โดยมีไอออนอื่นสะสมอยู่ด้วยทั้งคลอไรด์ (Cl^-), โบรไมด์ (Br^-), ฟลูออไรด์ (F^-), อะซิเตรท, ซัลเฟต (SO^{2-}_4), ไนเตรท (NO^-_3) และฟอสเฟต (PO^{3-}_4) พบว่าไอออนอื่นเหล่านี้จะส่งผลเพียงเล็กน้อยในการยับยั้งการดูดซับนิเกล (Ni) ซึ่งการศึกษาของ Swapna et al. (2005) พบว่าเมื่อเติมไอออนอื่นเหล่านี้ลงไป 1000 ppm สามารถดูดซับนิเกล (Ni) ได้เพียงประมาณ 2 – 2.5 ppm เท่านั้น (ภาพที่ 6) และการดูดซับนิเกล (Ni) จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วไม่ถึง 1 ชั่วโมงก่อนจะเข้าสู่ระดับสมดุล



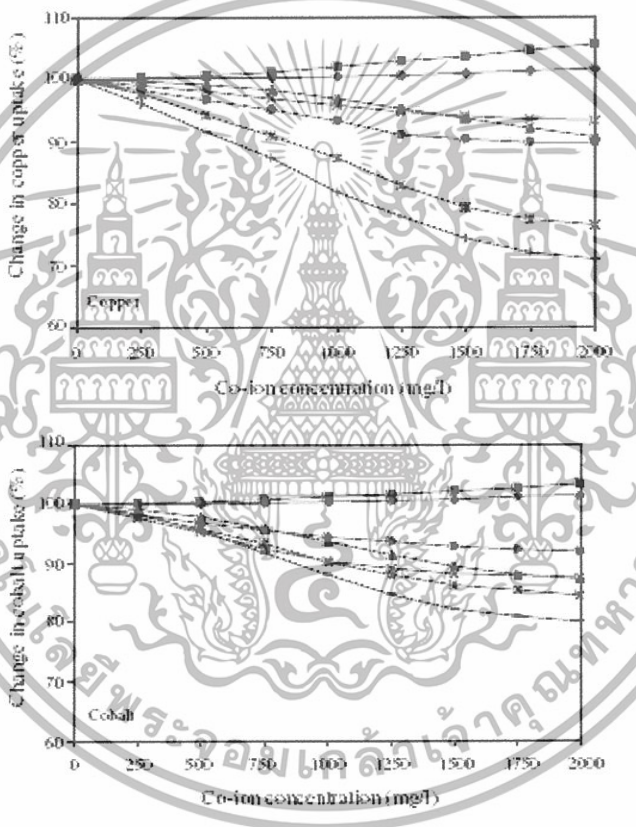
ภาพที่ 6 แสดงอิทธิพลของไอออนอื่นที่มีผลต่อการดูดซับนิเกล (Ni) ในปริมาณกระดองปู 25 กรัม/

ลิตร ที่ระดับความเข้มข้นไอออนอื่น 1000 ppm

ที่มา : Swapna et al. (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการศึกษาการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) โดยมีไอออนชนิดต่างๆสะสมอยู่ด้วยได้แก่โซเดียม (Na^+), โพแทสเซียม (K^+), แมกนีเซียม (Mg^{2+}), ทองแดง (Cu^{2+}), โคบอลต์ (Co), นิเกล (Ni), แคดเมียม (Cd^{2+}) และสังกะสี (Zn^{2+}) ซึ่งไอออนเหล่านี้สามารถพบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำต่างๆ โดยไอออนเหล่านี้จะส่งผลที่แตกต่างกันซึ่งโซเดียมกับโพแทสเซียมจะส่งผลดีต่อการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) เนื่องจากทั้งโซเดียมกับโพแทสเซียมจะไปรวมตัวกับคลอไรด์ที่มีสะสมอยู่ในกระดองปูแล้วทำให้เกิดการดูดซับที่ดีขึ้น ส่วนไอออนที่เหลือจะไปขัดขวางการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) เนื่องจากกระดองปูจะไปดูดซับไอออนเหล่านี้ด้วยทำให้เกิดการแข่งขันกัน แล้วทำให้การดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co)น้อยลง (ภาพที่ 7) (Vijayaraghavan et al., 2006)



ภาพที่ 7 แสดงอิทธิพลของไอออนต่างๆคือ ◆ = โซเดียม ; ■ = โพแทสเซียม ▲ = แมกนีเซียม;

— = ทองแดง ; + = โคบอลต์ ; * = นิเกล ; ● = แคดเมียม ; X = สังกะสี

ที่มีผลต่อการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) (ที่ขนาดกระดองปู 0.767 มิลลิเมตร; ปริมาณกระดองปู 5 กรัม/ลิตร; pH=6 และปริมาณของโลหะตั้งต้น = 2000 มิลลิกรัม/ลิตร)

ที่มา : Vijayaraghavan et al. (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การนำกระดองปูมาใช้ใหม่

จากการศึกษาการนำกระดองปูกลับนำมาใช้ใหม่หลังจากดูดซับนิเกล (Ni) แล้วจากทั้ง 2 แหล่งน้ำ พบว่าสามารถนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่ได้อีก 7 ครั้ง โดยแทบจะไม่มีความแตกต่างกันเลยในทางด้านการดูดซับ (ตารางที่ 1) โดยกระบวนการนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่จะกระทำโดยใช้ EDTA 0.01 M และปรับ pH ให้เท่ากับ 9.8 ในสารละลาย NH_3 แล้วปรับอัตราการไหลของน้ำให้มากขึ้นจาก 5 มิลลิลิตร/นาที เป็น 10 มิลลิลิตร/นาที (Vijayaraghavan et al., 2005)

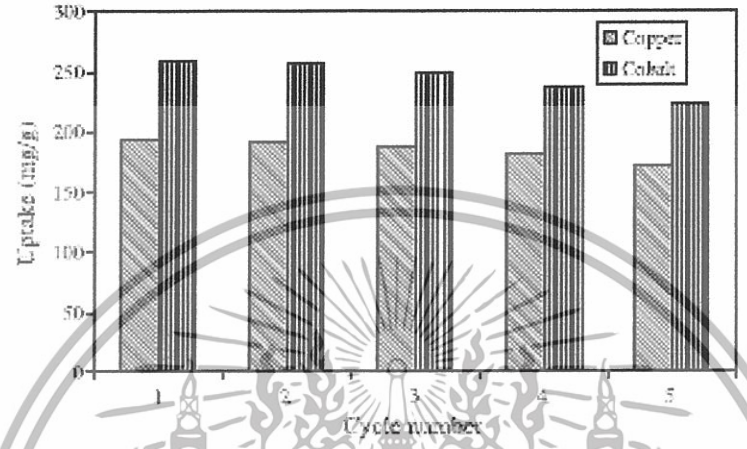
ตารางที่ 1 แสดงการนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่ใน 7 รอบของการดูดซับนิเกล (Ni) จาก 2 แหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ	จำนวนรอบ	ความสามารถในการดูดซับ (%)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
แหล่งน้ำที่ 1	1	99.85	99.6
	2	99.87	99.8
	3	99.91	99.5
	4	99.90	99.4
	5	99.91	98.9
	6	99.91	99.3
	7	99.81	99.1
แหล่งน้ำที่ 2	1	99.80	99.9
	2	99.75	99.4
	3	99.64	99.7
	4	99.83	99.6
	5	99.78	99.6
	6	99.84	99.7
	7	99.84	99.9

ที่มา : Vijayaraghavan et al. (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่หลังจากดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) แล้ว พบว่าสามารถนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่ได้อีก 5 ครั้ง แต่ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) จะค่อยๆลดลงเมื่อนำกระดองกลับมาใช้ใหม่อีก (ภาพที่ 8) โดยกระบวนการนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่จะกระทำโดยใช้ EDTA 0.01 M ในระดับ pH 3.5 ในสารละลาย HCl (Vijayaraghavan et al., 2006)



ภาพที่ 8 แสดงอิทธิพลของการนำกระดองปูกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ใน 5 รอบ

ที่มา : Vijayaraghavan et al. (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ความสามารถสูงสุดในการดูดซับโลหะหนักของกระดองปู (Q_{max})

จากการศึกษาความสามารถสูงสุดในการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ของกระดองปูโดย Vijayaraghavan et al. (2006) พบว่าความสามารถในการดูดซับของกระดองปูที่ระดับ pH 3.5 - 6 และปริมาณความเข้มข้นของโลหะตั้งต้น 500 - 2000 มิลลิกรัม/ลิตร กระดองปูสามารถดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ได้สูงที่สุดที่ระดับ pH 6 ซึ่งสามารถดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ได้ถึง 243.9 และ 322.6 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงความสามารถสูงสุดในการดูดซับทองแดง (Cu) และโคบอลต์ (Co) ที่ระดับ pH ต่างๆที่ปริมาณความเข้มข้นของโลหะตั้งต้น 500 – 2000 มิลลิกรัม/ลิตร

ชนิดโลหะหนัก	ระดับ pH	Q_{max} (มิลลิกรัม/กรัม)
ทองแดง	3.5	163.9
	4.0	188.7
	4.5	204.1
	5.0	208.3
	5.5	222.2
	6.0	243.9
โคบอลต์	3.5	212.8
	4.0	232.5
	4.5	270.3
	5.0	285.7
	5.5	303.0
	6.0	322.6

ที่มา : Vijayaraghavan et al. (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการศึกษาของ An et al. (2001) พบว่ากระดองปูสามารถดูดซับตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และโครเมียมได้สูงสุดในระดับสมดุลที่ระดับความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 mmol/l ต่างกัน คือที่ระดับความเข้มข้น 0.1 mmol/l ตะกั่วสามารถดูดซับได้สูงสุด 0.96 mmol/g แคดเมียมสามารถดูดซับได้สูงสุด 1.37 mmol/g ทองแดงสามารถดูดซับได้สูงสุด 0.88 mmol/g และโครเมียมสามารถดูดซับได้สูงสุด 0.95 mmol/g ที่ระดับสมดุล ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 1.0 mmol/l พบว่าตะกั่วสามารถดูดซับได้สูงสุด 1.29 mmol/g แคดเมียมสามารถดูดซับได้สูงสุด 1.77 mmol/g ทองแดงสามารถดูดซับได้สูงสุด 0.98 mmol/g และโครเมียมสามารถดูดซับได้สูงสุด 1.06 mmol/g ที่ระดับสมดุล (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 แสดงความสามารถสูงสุดที่ระดับสมดุลในการดูดซับตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และโครเมียมที่ความเข้มข้น 0.1 mmol/l และ 1.0 mmol/l

ชนิดโลหะหนัก	วัสดุดูดซับ	$q_{0.1}$ (mmol/g)	$q_{1.0}$ (mmol/g)
ตะกั่ว	กระดองปู	0.96	1.29
แคดเมียม	กระดองปู	1.37	1.77
ทองแดง	กระดองปู	0.88	0.98
โครเมียม	กระดองปู	0.95	1.06

ที่มา : An et al. (2001)

ประโยชน์ของไคโตซานในกระดองปูทางด้านอื่น ๆ

1. ด้านอาหาร

ไคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยมีกลไกคือ ไคโตซานมีประจุบวก สามารถจับกับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนไคตินและไคโตซานให้เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกัดบูด สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความข้น ใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปฟิล์มที่รับประทานได้ (edible film) สำหรับบรรจุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ด้านอาหารเสริม

มีรายงานว่าไคโตซานช่วยลดคอเลสเตอรอลและไขมันในเส้นเลือดได้โดยไคโตซานจะไปจับกับคอเลสเตอรอล ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้หรือดูดซึมได้น้อยลง จึงมีการโฆษณาเป็นผลิตภัณฑ์ลดน้ำหนัก ทั้งนี้ต้องใช้ด้วยความระมัดระวังเนื่องจากไคโตซานสามารถจับ วิตามินที่ละลายได้ดีในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี เค) อาจทำให้ขาดวิตามินเหล่านี้ได้ นอกจากนี้ทางการแพทย์มีรายงานการนำ N-acetyl-D-glucosamine ไปใช้รักษาไขข้อเสื่อม โดยอธิบายว่าข้อเสื่อมเกิดเนื่องจากการสึกกร่อนของเนื้อเยื่ออ่อนที่เคลือบอยู่ระหว่างข้อกระดูก ซึ่ง glucosamine เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ proteoglycan และ matrix ของกระดูกอ่อน จึงช่วยทำให้เยื่อหุ้มกระดูกอ่อนหนาขึ้น

3. ด้านการแพทย์

มีการวิจัยนำแผ่นไคโตซานมาใช้ปิดแผล ช่วยทำให้ไม่เป็นแผลเป็น โดยไคโตซานช่วยลดการ contraction ของ fibroblast ทำให้แผลเรียบ กระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมบาดแผลให้หายเร็วขึ้น

4. ด้านเภสัชกรรม

มีรายงานการใช้ไคโตซานเพื่อควบคุมการปลดปล่อยตัวยาสำคัญ

5. ด้านการเกษตร

เนื่องจากไคตินและไคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดินจึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืช และกระตุ้นการนำแร่ธาตุไปใช้ ผลคือสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการผลิตได้ ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนต่ำลง เนื่องจากลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง

6. ด้านการปศุสัตว์

ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และลดการติดเชื้อทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

7. ด้านสิ่งทอ

นำมาขึ้นรูปเป็นเส้นใย และใช้ในการทอร่วมหรือเคลือบกับเส้นใยอื่นๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติการต้านจุลชีพ ลดการเกิดกลิ่นอับชื้น (www.gpo.or.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

1. เปลือกปู
2. น้ำ DI (Deionized Water)
3. ตะกั่วสังเคราะห์ (Pb_2No_3)
4. เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer)

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. ปิเปต
3. กระบอกตวง
4. ลูกยางดูดสาร
5. หลอดหยด
6. ตะแกรงร่อน
7. เครื่อง Sharker
8. Manetic Stirrer
9. Tube พลาสติก
10. ผ้ากรองขาวบาง
11. กรวยพลาสติก
12. คีมคีบ
13. pH meter
14. ถาดอลูมิเนียม
16. ตะแกรงเหล็ก
17. นาฬิกาจับเวลา
18. Flask พลาสติก
19. กระดาษ Label
20. aluminum foil
21. น้ำกลั่น
22. ไมโครปิเปต
23. สำลี
24. ขวดน้ำเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25. ช้อนตักสาร
26. เครื่องชั่งสาร
27. ครก, สาก
28. ตู้อบ

สารเคมี

1. HCl 5 % (ไฮโดรคลอริก)
2. NaOH 1 % (โซเดียมไฮดรอกไซด์)
3. NaOH 50 %
4. EDTA
5. Na_2CO_3
6. $NaHCO_3$
7. H_2SO_4 (กรดซัลฟูริก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

แผนการทดลอง

ทำการทดลองประสิทธิภาพและปัจจัย ที่มีผลต่อการดูดซับสารตะกั่วของเปลือกปู โดยแบ่งการทดลองเป็น 5 การทดลองคือ 1. เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วของเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมีและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีในระดับ pH ที่ 3 – 7 2. ทดลองผลของช่วงเวลาและความเข้มข้นของสารตะกั่วที่มีผลต่อการดูดซับของเปลือกปู 3. ทดลองขนาดของเปลือกปูที่ขนาดแตกต่างกันที่มีผลต่อการดูดซับสารตะกั่ว 4. ทดลองผลของปริมาณของเปลือกปูที่มีผลต่อการดูดซับสารตะกั่ว 5. ทดลองการดึงสารตะกั่วออกจากสารเคมีที่ใช้ล้าง ผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดไปวัดค่าการดูดซับสารตะกั่วด้วยเครื่องเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณการกำจัดสารตะกั่วและนำมาวิเคราะห์ผลแบบ (CRD)

1. การเตรียมเปลือกกุ้ง

ขั้นแรกนำเปลือกปูมาล้างน้ำ และทำความสะอาดคราบที่ติดอยู่ออกให้หมด จากนั้นนำเปลือกปูมาตากให้แห้ง เพื่อนำไปใช้ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 เตรียมเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมี

1.1.1 แช่เปลือกปูใน 1 % โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในบีกเกอร์ 1,000 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 คืน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากนั้นล้างออกด้วยน้ำ DI (Deion Water) คนด้วยแท่งแก้ว แล้วเทน้ำ DI ทิ้ง ล้างซ้ำกันอย่างน้อย 3 ครั้ง

1.1.2 จากนั้นนำเปลือกปูไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 - 3 วัน

1.1.3 จากนั้นนำเปลือกปู ไปแช่ใน 5% ไฮโดรคลอริก (HCl) นาน 6 ชั่วโมง

1.1.4 จากนั้นล้างด้วย น้ำ DI แล้วเททิ้ง ทำซ้ำ 2 - 3 ครั้ง

1.1.5 จากนั้นนำเปลือกปูไปแช่ใน 50% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในบีกเกอร์ 1,000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง

1.1.6 จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำ DI 2 – 3 ครั้งและปรับค่า pH ให้เท่ากับ 8 เมื่อ pH คงที่ให้เทน้ำ DI ทิ้ง จากนั้นนำเปลือกปูไปตากให้แห้ง เก็บใส่บีกเกอร์ เตรียมใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไป

1.2 เตรียมเปลือกปูที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการทางเคมี

- นำเปลือกปูมาล้างทำความสะอาดแล้วตากให้แห้ง จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน แล้วนำเปลือกปูมาบด เพื่อเตรียมใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเตรียมสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

(ในการทดลองค่ามาตรฐานของ ตะกั่ว 0.3212 กรัม/น้ำ DI (Deion) 100 มิลิลิตร)

2.1 ทำการเติมชั่ง ตะกั่ว 0.3212 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร กวนสารโดยใช้ Manetic Stirrer จะได้ความเข้มข้นของสารตะกั่วสังเคราะห์ 2,000 ppm

3. เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วของเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมีและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีในระดับ pH ที่ 3 - 7

3.1 ทดสอบเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ระดับ pH 3 - 7

3.1.1 เตรียมปริมาตรสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ 500 มิลลิลิตร (ที่ความเข้มข้นสารละลาย 50 มิลลิกรัม/ลิตร)

3.1.2 นำสารละลายตะกั่วใส่บีกเกอร์ขนาด 500 ml ใส่บีกเกอร์ละ 100 ml จำนวน 5 ใบ

3.1.3 จากนั้นทำการปรับ pH สารตะกั่วที่ระดับ pH 3 – 7 อย่างละบีกเกอร์

3.1.4 เตรียมเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมีปริมาณ 0.01 กรัม ใส่ flask พลาสติก เตรียมเปลือกปูระดับ pH ละ 3 ซ้ำ

3.1.5 จากนั้นเติมสารตะกั่วที่ปรับ pH ไว้แล้วลงใน flask ที่มีเปลือกปูโดยเติม flask ละ 50 มิลลิลิตร

3.1.6 จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.1.7 นำมาวัดค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงทุก flask

3.1.8 ทำการกรองสารตะกั่วเอาเปลือกปูออกด้วยผ้ากรอง ใส่ขวดพลาสติกละ 12 มิลลิลิตร

3.1.9 แล้วนำไปหยดกรดไนตริก 2 หยด ปั่นเหวี่ยงด้วย วอเทกซ์

3.1.10 จากนั้นนำไปวัดค่าสารตะกั่วที่เหลือจากการดูดซับของเปลือกปูด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3.2 ทดลองเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ระดับ pH 3 - 7

3.2.1 ขั้นตอนในการทดสอบทำเหมือนกันกับการทดสอบเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมี (เพียงแต่เปลี่ยนเป็นเปลือกปูที่ไม่กระบวนการทางเคมี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทดลองผลของช่วงเวลาและความเข้มข้นของสารตะกั่วที่มีผลต่อการดูดซับของเปลือกปู

ในการทดลองจะใช้ความเข้มข้นของสารตะกั่วที่ 50, 100, 200, 300, 400 และ500 ppm และช่วงเวลาในการทดลองอยู่ที่นาทีที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 60, ชั่วโมงที่ 3, 6, 12, 24, วันที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

4.1 ทดลองสารตะกั่วที่ความเข้มข้น 50 ppm

4.1.1 เตรียมสารตะกั่วความเข้มข้นที่ 50 ppm ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

4.1.2 เติมสารตะกั่วที่เตรียมไว้ 300 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร 1 ใบ

4.1.3 ปั่นเหวี่ยงสารตะกั่วด้วย Manetic Stirrer และปรับค่า pH ให้เท่ากับ 4

4.1.4 ชั่งเปลือกปูปริมาณ 0.6 กรัม

4.1.5 ก่อนการทดลองให้ดูดสารตะกั่วเก็บใส่ tube 12 มิลลิลิตร 1 หลอด

4.1.6 จากนั้นใส่เปลือกปูลงในสารตะกั่วที่ปั่นด้วย Manetic Stirrer

4.1.7 ทำการจับเวลา เมื่อถึงช่วงเวลาที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลาให้วัดค่า pH แล้วบันทึกผลที่เปลี่ยนแปลงพร้อมกับดูดสารตะกั่วกรองเปลือกปูออก ใส่ลง tube ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ในช่วงเวลาละ 1 หลอด

4.1.8 ทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนครบช่วงเวลา

4.1.9 นำไปเก็บในตู้เย็น เพื่อรอนำไปวัดผลด้วยเครื่อง AAS

4.1.10 ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง เหมือนในซ้ำแรก

4.1.11 ในการทดลองผลของความเข้มข้นที่ระดับความเข้มข้นของสารตะกั่วในระดับที่ 100, 200, 300, 400 และ500 ppm ทุกความเข้มข้นจะทำการทดลองเหมือนกันทุกขั้นตอนที่กล่าวมา ตั้งแต่ ข้อ 4.1.1 - 2.1.11

5. ทดสอบขนาดและมวลของเปลือกปูที่มีผลต่อการดูดซับสารตะกั่ว

5.1 ทดสอบขนาดของเปลือกปู

5.1.1 นำเปลือกปูที่อบแห้งมาบด

5.1.2 ต่อจากนั้นนำเปลือกปูที่บดมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 0.1 ,0.25 ,0.5 , 1 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยร่อนผ่านตะแกรงขนาดใหญ่ก่อน

5.1.3 เตรียมสารตะกั่วในน้ำ DI ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (เตรียมไว้ 500 มิลลิลิตร) ปรับ pH เท่ากับ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 นำเปลือกปูที่ร่อนได้ขนาดต่างๆ มาแช่ในสารตะกั่วที่เตรียมไว้ โดยอัตราส่วนเปลือกปูต่อสารละลายตะกั่วเท่ากับ 0.01 กรัมต่อ 50 มิลลิลิตร ทดลองขนาดละ 3 ซ้ำ (เก็บสารตะกั่วตั้งต้นไว้ 3 ซ้ำ) ทำการเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5.1.5 วัดค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด (จดบันทึก) พร้อมกับเก็บตัวอย่างสารตะกั่วที่ได้จากการแช่เปลือกปูในแต่ละขนาดโดยการกรองผ่านผ้ากรองเก็บใส่ tube ตัวอย่างละ 12 มิลลิลิตร

5.1.6 นำไปวัดค่าการดูดซับสารตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

5.2 ทดสอบมวลของเปลือกปู

5.2.1 ชั่งเปลือกปูที่ปริมาณ 0.0025 ,0.005 ,0.01 ,0.015 และ 0.02 กรัม

5.2.2 เตรียมสารตะกั่วในน้ำ DI ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (เตรียมไว้ 500 มิลลิลิตร) ปรับ pH เท่ากับ 4

5.2.3 นำเปลือกปูแต่ละปริมาณมาแช่ในสารตะกั่วที่เตรียมไว้ โดยปริมาณเปลือกปูต่อสารละลายตะกั่ว ปริมาณละ 0.01 กรัมต่อ 50 มิลลิลิตร ทดลองปริมาณละ 3 ซ้ำ (เก็บน้ำตะกั่วตั้งต้นไว้ 3 ซ้ำ) ทำการเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5.2.4 วัดค่า pH ที่เปลี่ยนแปลง (จดบันทึก) พร้อมกับเก็บตัวอย่างสารตะกั่วที่ได้จากการแช่เปลือกปูในแต่ละปริมาณโดยการกรองผ่านผ้ากรอง เก็บสารละลายตะกั่วไว้ตัวอย่างละ 12 มิลลิลิตร

5.2.5 นำไปวัดค่าการดูดซับสารตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

6. การล้างสารตะกั่วออกจากเปลือกปู

6.1 เตรียมสารตั้งต้น EDTA, Na_2CO_3, $NaHCO_3$, H_2SO_4

6.2 เตรียมเปลือกปูต่อสารละลายตะกั่ว ในปริมาณเปลือกปูตัวอย่างละ 0.01 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 50 มิลลิลิตร (ตะกั่วเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร)

6.3 เตรียมเปลือกปูต่อสารละลายตะกั่ว 4 ตัวอย่าง ให้เท่ากับสารตั้งต้น ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

6.4 เตรียมสารละลายตะกั่ว ปริมาณ 400 มิลลิลิตร (ตะกั่วเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปรับ pH ให้เท่ากับ 4

6.5 เก็บสารละลายตะกั่วก่อนการทดลองไว้ 3 หลอดหลอดละ 12 มิลลิลิตร

6.6 นำเปลือกปูใส่ลงในสารละลายตะกั่ว เขย่า 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7 นำสารละลายตะกั่วที่แช่เปลือกปูมาวัดค่า pH

6.8 จากนั้นทำการกรองเปลือกปูออก เก็บสารละลายตะกั่วไว้ตัวอย่างละ 12 มิลลิลิตร นำไปแช่เย็นรอวัดผล จากนั้นนำเปลือกปูที่ติดอยู่บนผ้ากรอง นำมาแช่ในสาร ที่เตรียมไว้ข้างต้น คือ EDTA, Na_2CO_3, $NaHCO_3$, H_2SO_4 ตัวอย่างละ 3 ซ้ำเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6.9 จากนั้นทำการกรองเปลือกปูออกด้วยผ้ากรอง เก็บสารตะกั่วตัวอย่างๆละ 12 มิลลิลิตร

6.10 ทำการวัดค่าการดูดซับ สารละลายตะกั่วและสารตัวอย่างด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

การบันทึกข้อมูล

บันทึกค่า pH ก่อนและสุดท้ายทุกครั้งก่อนเก็บผลการทดลอง ทุกๆการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ

1. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารตะกั่ว

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกำจัดสารตะกั่ว (\% Remove)} = (C_i - C_{eq}) * 100/C_o$$

เมื่อค่า % Remove คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารตะกั่ว

C_i คือ ค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วตั้งต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_{eq} คือ ค่าสารตะกั่วที่เหลือจากการดูดซับโดยเปลือกปู (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2. คำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับสารตะกั่ว

$$\text{ค่าความสามารถในการดูดซับ (q)} = (C_i - C_{eq})\ v/w$$

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

C_i คือ ค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วตั้งต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_{eq} คือ ค่าสารตะกั่วที่เหลืออยู่จากการดูดซับโดยเปลือกปู (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V คือ ค่าปริมาตรของสารตะกั่ว (มิลลิลิตร)

W คือ ค่าของน้ำหนักเปลือกปู (g) x 1,000 dry wt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำค่า pH เริ่มต้นและ pH สุดท้าย, ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารตะกั่ว และค่าความสามารถในการดูดซับสารตะกั่ว มาหาค่าเฉลี่ย

4. นำผลของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารตะกั่ว และผลของค่าความสามารถในการดูดซับสารตะกั่ว ในแต่ละช่วงความเข้มข้นมาทำกราฟ

5. ส่วนข้อมูลผลค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารตะกั่ว และผลของค่าความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วในการทดลองทั้งหมดนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติหาค่าความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS

สถานที่ทำการทดลอง

ห้อง B130 ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาในการทดลอง

เดือนตุลาคม 2549 - เดือนเมษายน 2550

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาเรื่องการดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกปู โดยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับซึ่งประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ชนิดเปลือกปู

จากการศึกษาถึงชนิดของเปลือกปูโดยแบ่งออกเป็นเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี (ไคติน) และเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมี (ไคโตซาน) พบว่า เปลือกปูสามารถดูดซับตะกั่ว (q) ได้ดีที่สุดที่ระดับ pH 4 เหมือนกันที่เปลือกปูผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี (ตารางที่ 1) แต่เมื่อเทียบกับน้ำหนักก่อนและหลังผ่านกระบวนการทางเคมีแล้วพบว่า เปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีมีน้ำหนักที่มากกว่าเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมี คือที่ 96.75 และ 35.36 กรัม ตามลำดับ ที่น้ำหนักเริ่มต้นเท่ากันที่ 100 กรัม ดังนั้นจึงนำเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีมาทดสอบในปัจจัยอื่นๆต่อไป

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ An et al. (2001) ที่ใช้เปลือกปูไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีในการดูดซับตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม โครเมียม และทองแดง

ตารางที่ 1 แสดงความสามารถในการดูดซับ (q) ของเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี (N) และเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมี (Y) ที่ระดับ pH ต่างกัน

pH	%remove	q (มก./ก.)	pH_i	pH_{eq}
3N	97.81±0.28^{b}	83.98±1.87^{cd}	2.94±0.00	8.06±0.02^{a}
4N	97.70±0.28^{b}	88.51±0.65^{e}	4.01±0.00	9.09±0.21^{c}
5N	98.02±0.16^{b}	78.19±1.12^{b}	5.14±0.00	9.07±0.05^{c}
6N	98.43±0.12^{b}	83.09±0.39^{cd}	5.95±0.00	9.14±0.04^{c}
7N	83.20±1.10^{a}	4.79±0.06^{a}	6.92±0.00	8.95±0.08^{bc}
3Y	99.61±0.09^{c}	84.49±1.79^{cd}	2.94±0.00	7.81±0.13^{a}
4Y	99.93±0.07^{c}	86.08±1.71^{ce}	4.01±0.00	8.6±0.16^{b}
5Y	100.00±0.00^{c}	81.05±0.70^{bc}	5.14±0.00	8.81±0.12^{bc}
6Y	100.00±0.00^{c}	84.14±0.27^{cd}	5.95±0.00	8.63±0.12^{b}
7Y	100.00±0.00^{c}	5.77±0.11^{a}	6.92±0.00	8.64±0.03^{b}

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (N คือ เปลือกปูไม่ผ่านกระบวนการ, Y คือ เปลือกปูที่ผ่านกระบวนการ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระดับ pH

จากการทดสอบนำเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีมาใช้ในการดูดซับตะกั่วที่ระดับ pH ต่างๆกันคือ 3, 4, 5, 6 และ 7 พบว่าที่ระดับ pH 4 มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วมากที่สุด (q) ที่ 88.51± 0.65 มิลลิกรัม/กรัม และจะพบว่าที่ระดับ pH 7 จะมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วน้อยที่สุดที่ 4.79±0.07 มิลลิกรัม/กรัม (ตารางที่ 2) เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ที่ระดับ pH สูงขึ้นจะมีไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) สูงขึ้น ซึ่งมีประจุลบ จึงไปแย่งเปลือกปูจับตะกั่วที่มีประจุบวกแล้วตกตะกอน ทำให้เปลือกปูสามารถดูดซับตะกั่วได้น้อยลง

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Swapna et al. (2005) ที่ศึกษาใช้เปลือกปูในการดูดซับนิเกล ที่ระดับ pH 4.5 – 7

ตารางที่ 2 แสดงความสามารถในการดูดซับ (q) ของเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ระดับ pH ต่างกัน

pH	%remove	q (มก./ก.)	pH_i	pH_{eq}
3	97.81±0.28^{b}	83.98±1.87^{c}	2.94±0.00^{a}	8.06±0.03^{a}
4	97.70±0.28^{b}	88.51±0.65^{d}	4.01±0.00^{b}	9.09±0.21^{b}
5	98.02±0.16^{b}	78.19±1.12^{b}	5.14±0.00^{c}	9.07±0.05^{b}
6	98.20±0.12^{b}	83.09±0.39^{c}	5.95±0.00^{d}	9.14±0.04^{b}
7	83.20±1.10^{a}	4.79±0.07^{a}	6.92±0.00^{e}	8.95±0.08^{b}

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3. ขนาดเปลือกปู

จากการศึกษาขนาดของเปลือกปูต่อการดูดซับตะกั่ว ในปริมาณเปลือกปูที่เท่ากัน พบว่าที่เปลือกปูขนาดเล็ก (0.01, 0.25 และ 0.50 มิลลิเมตร) สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุด (277.66±3.02, 283.20±2.73 และ 281±1.02 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ) และพบว่าที่เปลือกปูขนาดใหญ่ (1.00 และ 2.00 มิลลิเมตร) สามารถดูดซับตะกั่วได้น้อย (195.61±17.96 และ 77.26±26.28 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 3) เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่เปลือกปูขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากกว่าเปลือกปูขนาดใหญ่ในปริมาณที่เท่ากัน และจากการทดลองพบว่าที่ขนาดเปลือกปู 0.01, 0.25 และ 0.50 มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองครั้งนี้ในการใช้ครกในการบดเปลือกปูพบว่า ครกสามารถบดเปลือกปูได้ขนาด 0.05 มิลลิเมตร ได้ง่ายและมากที่สุด จึงใช้เปลือกปูขนาด 0.05 มิลลิเมตร ในการทดลอง

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Vijayaraghavan et al. (2006) ที่สรุปว่ายิ่งขนาดเปลือกปูมีขนาดเล็ก ก็จะทำให้ยิ่งมีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงความสามารถในการดูดซับ (q) ของเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ขนาดต่างกัน ในปริมาณเปลือกปูที่ 0.01 กรัม

ขนาด (มม.)	%remove	q (มก./ก.)	pH_i	pH_{eq}
0.01	99.95±0.05^{c}	277.66±3.02^{c}	4.03±0.01^{a}	7.70±0.03^{ab}
0.25	99.66±0.22^{c}	283.20±2.72^{c}	4.03±0.01^{a}	7.61±0.03^{a}
0.50	100.00±0.00^{c}	281.40±1.02^{c}	4.03±0.01^{a}	7.81±0.02^{b}
1.00	69.55±5.36^{b}	195.61±17.96^{b}	4.03±0..01^{a}	7.82±0.07^{b}
2.00	26.87±9.38^{a}	77.26±26.28^{a}	4.03±0.01^{a}	7.68±0.03^{ab}

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4. ปริมาณเปลือกปู

จากการศึกษาผลของปริมาณเปลือกปูที่ใช้ในการดูดซับพบว่า ที่ปริมาณเปลือกปูน้อยๆ (0.0025 กรัม) มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุด (928.73±15.62 มิลลิกรัม/กรัม) และที่ปริมาณเปลือกปูมากๆ (0.02 กรัม) มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้น้อยที่สุด (134.81±1.78 มิลลิกรัม/กรัม) แต่มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด (99.83±0.09%) ที่ขนาดเปลือกปู 0.05 มิลลิเมตร เท่าๆกัน (ตารางที่ 4)

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 4 แสดงความสามารถในการดูดซับ (q) ของเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ปริมาณต่างกัน แต่ขนาดเท่ากันที่ 0.05 มิลลิเมตร

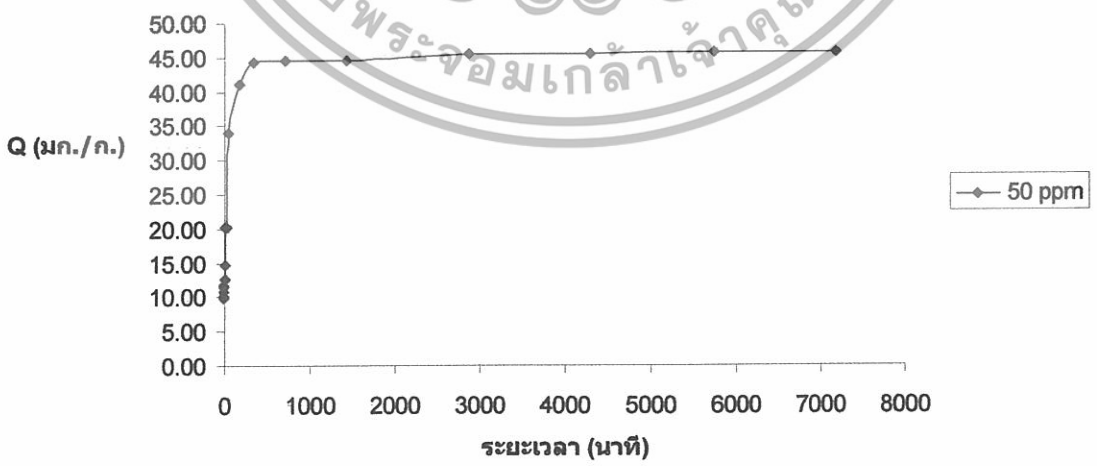
ปริมาณ (กรัม/50 มล.)	%remove	q (มก./ก.)	pH_i	pH_{eq}
0.0025	85.96±0.40[a]	928.73±15.62[e]	4.05±0.01[a]	6.44±0.01[a]
0.005	95.06±0.22[b]	513.5±7.24[d]	4.05±0.01[a]	6.46±0.01[a]
0.01	99.06±0.83[c]	267.55±4.10[c]	4.05±0.01[a]	6.68±0.07[b]
0.015	99.58±0.09[c]	179.29±2.14[b]	4.05±0.01[a]	6.78±0.03[b]
0.02	99.83±0.09[c]	134.81±1.78[a]	4.05±0.01[a]	7.00±0.04[c]

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

5. **ระยะเวลา** (Equilibrium time)

จากการทดลองหาช่วงระยะเวลาในการดูดซับตะกั่วจากเริ่มต้นจนถึงจุดสมดุล (Equilibrium point) ในการดูดซับพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นตะกั่วตั้งต้นที่ 50 ppm จะมีระยะเวลาถึงจุดสมดุลอยู่ที่ 6 ชั่วโมง (ภาพที่ 1)

โดยสอดคล้องและใกล้เคียงกับการทดลองของ Sudhir et al. (2007) ที่ระบุว่าจุดสมดุลในการดูดซับตะกั่วของเปลือกปูอยู่ที่ 4 ชั่วโมง ที่ปริมาณเปลือกปู 2.5 กรัม/ลิตร

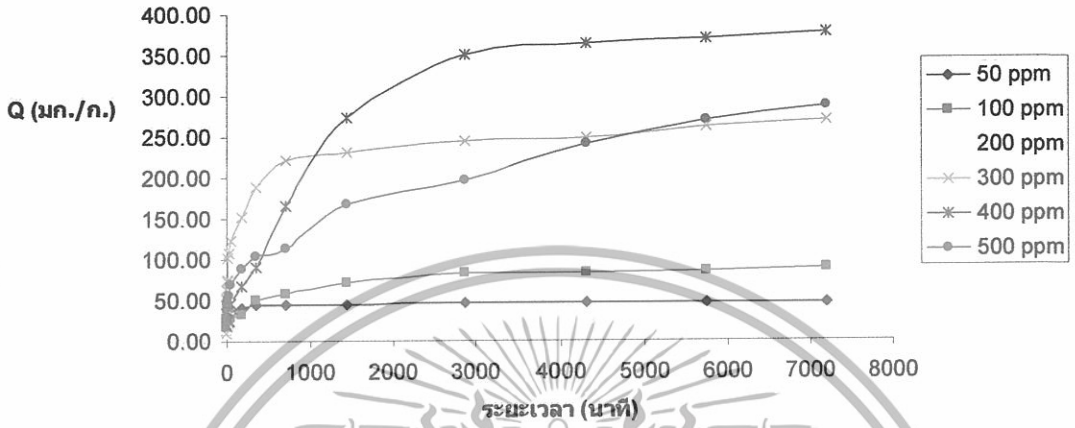


ภาพที่ 1 แสดงช่วงระยะเวลาในการดูดซับตะกั่วจากเริ่มต้นจนถึงจุดสมดุลระดับความเข้มข้นตะกั่วตั้งต้นที่ 50 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว

โดยศึกษาที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วที่ต่างกันคือ 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 ppm พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 50 ppm จะถึงจุดสมดุลเร็วที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ ที่สูงขึ้น (ภาพที่ 2)

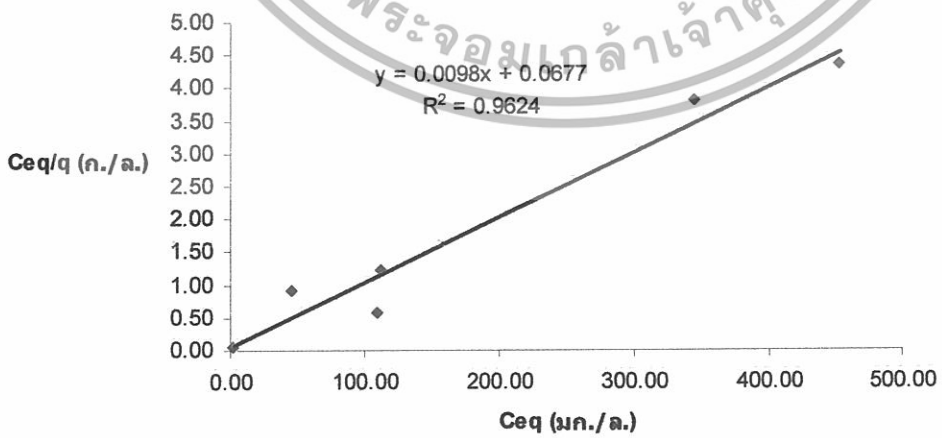


ภาพที่ 2 แสดงระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วที่ต่างกันคือ 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 ppm จนถึงระดับสมดุล

7. Absorption Isotherm (Q_{max})

จากการศึกษาหาความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่ว (Q_{max}) ของเปลือกปูที่ระดับ 50 – 500 ppm พบว่า ความสามารถสูงสุดในการดูดซับอยู่ที่ 102.04 มิลลิกรัม/กรัม ตามทฤษฎีของ Langmuir ที่ได้จาก $Q_{max} = 1/a$ (ภาพที่ 3)

Langmuir isotherm



ภาพที่ 3 แสดงสมการเส้นตรงจากผลของการดูดซับตะกั่วที่ระดับ 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การนำกลับมาใช้ใหม่ (Desorption)

จากการศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของเปลือกปูโดยใช้สารเคมีชนิดต่างกันล้างเปลือกปูก่อนนำกลับมาใช้ใหม่พบว่า EDTA มีประสิทธิภาพสูงสุดในการล้างตะกั่วออกจากเปลือกปูโดยสามารถนำออกมาได้ถึง 17.55 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งคิดเป็น 34.18 % ของตะกั่วที่ถูกดูดซับไป (ตารางที่ 5)

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Vijayaraghavan et al. (2005) ที่ใช้ EDTA ในการล้างเปลือกปูก่อนนำเปลือกปูมาใช้ใหม่

ตารางที่ 5 แสดงความสามารถในการล้างตะกั่วออกจากเปลือกปูของสารเคมีชนิดต่างๆ

สารเคมี	Ci (มก./ล.)	Ceq (มก./ล.)	% remove	Ci-Ceq (มล./ล.)	Ceq_d (มล./ล.)	% desorption
EDTA 0.1 M	53.95±0.62[a]	2.61±1.79[a]	95.14±3.32[a]	51.34	17.55	34.18
$NaHCO_3$ 0.1 M	53.95±0.62[a]	0.15±0.15[a]	99.72±0.28[a]	53.80	0.57	1.06
Na_2CO_3 0.1 M	53.95±0.62[a]	1.21±0.32[a]	97.76±0.57[a]	52.74	0.00	0.00
H_2SO_4 0.1 M	53.95±0.62[a]	3.50±2.13[a]	93.43±4.04[a]	50.45	0.00	0.00

* ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากการศึกษาการดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยเปลือกปู พบว่า ระดับ pH เริ่มต้น ขนาดเปลือกปู และปริมาณเปลือกปูล้วนแล้วแต่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสิ้น โดยระดับ pH เริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 4 โดยใช้เปลือกปูขนาดเล็ก ในปริมาณที่มากจะทำให้การดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยระยะเวลาในการดูดซับจะถึงจุดสมดุลที่ระยะเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง และใช้ EDTA ในการล้างเปลือกปูถ้าต้องการนำกลับมาใช้ใหม่ และควรใช้เปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีในการดูดซับ เนื่องจากเปลือกปูที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี จะให้ค่าการดูดซับที่ไม่ต่างจากเปลือกปูที่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนในการดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

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

An.H.K., B.Y.Park and D.S.Kim. 2001. Crab shell for the removal of heavy metals from aqueous solution. Department of Environmental Science. Catholic University of Daegu. Gyeongbuk. 3551–3556, South Korea.

Dong Seog Kim. 2003. The removal by crab shell of mixed heavy metal ions in aqueous solution. Department of Environmental Science. Catholic University of Daegu. Gyeongbuk. 712-702, South Korea.

Sudhir Dahiya, R.M. Tripathi and A.G. Hegde. 2007. Biosorption of lead and copper from aqueous solutions by pre-treated crab and arca shell biomass. Bioresource Technology. Environmental Studies Section, Health Physics Division, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Mumbai 400085, India. Environmental Assessment Division, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Mumbai 400085, India.

Swapna Pradhan, Shyam S. Shukla and Kenneth L. Dorris. 2005. Removal of nickel from aqueous solutions using crab shells. Journal of Hazardous Materials B125 Department of Chemistry. Lamar University. Beaumont. P.O. Box 10022, TX 77710, USA.

Vijayaraghavan.K, J. Jegan, K. Palanivelu and M. Velan. 2004. Removal of nickel(II) ions from aqueous solution using crab shell particles in a packed bed up-flow column. Journal of Hazardous Materials B113 223–230. Department of Chemical Engineering, Anna University, Chennai 600025, India. Centre for Environmental Studies, Anna University, Chennai 600025, India.

Vijayaraghavan.K, K. Palanivelu and M. Velan. 2005. Crab shell-based biosorption technology for the treatment of nickel-bearing electroplating industrial effluents. Journal of Hazardous Materials B119. Department of Chemical Engineering. Anna University. Chennai 600025. India.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vijayaraghavan.K, K. Palanivelu and M. Velan. 2006. Biosorption of copper(II) and cobalt(II) from aqueous solutions by crab shell particles. Bioresource Technology 97. Department of Chemical Engineering. Anna University. Chennai 600025. India.

www.acfs.go.th

www.dserver.org

www.fisheries.go.th

www.gpo.or.th

www.material.chula.ac.th

www.se-ed.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้