การกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยใช้เกล็ดไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

นางสาวสุทธิ์ทิรา บัวนาค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-17-6178-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF CHROMIUM (HEXAVALENT), NICKEL AND LEAD IN INDUSTRIAL WASTEWATER BY CHITOSAN FLAKES FROM SHRIMP SHELL

Miss. Suttira Bounak

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fullfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-department)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-17-6178-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยใช้เกล็ดไคโตซานจากเปลือกกุ้ง
โดย	นางสาว สุทธิ์ทิรา บัวนาค
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุทธิ์ทิรา บัวนาค: การกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยใช้เกล็ดไคโตซานจากเปลือกกุ้ง REMOVAL OF CHROMIUM (HEXAVALENT), NICKEL AND LEAD IN INDUSTRIAL WASTEWATER BY CHITOSAN FLAKES FROM SHRIMP SHELL) อ.ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา อ.ที่ปรึกษาร่วม: รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์, 202 หน้า. ISBN 974-17-6178-3

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เกล็ดไคโตซานจากเปลือกกุ้งในการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรม ผลการสกัดได้สมบัติร้อยละการกำจัดหมู่แอซีทิลเท่ากับ 90.13±4.77 มวลโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 1.8×10^5 ดอลตัน โดยความเข้มข้นของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่วในน้ำเสียอุตสากรรมในช่วงระยะเวลาของการศึกษานี้เท่ากับ 50-80 มิลลิกรัม/ลิตร 30-50 มิลลิกรัม/ลิตร และ 1.5-3.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด คือ ปรับพีเอชของน้ำเสียให้เท่ากับ 4 ใช้เกล็ดไคโตซานขนาด 710-850 ไมโครเมตร ในปริมาณ 20 กรัม ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร กวนที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี โครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่วได้ร้อยละ 84.65±0.93, 85.45±10.85, 93.54±1.66 และ 94.32±4.72 แต่ความเข้มข้นของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) และนิกเกิล ยังไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม การบำบัดซ้ำอีก 1 ครั้ง ทำให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งอยู่ในเกณฑ์

การมีโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่ว อยู่ร่วมกันไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของไคโตซาน หมายความว่าโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ถูกดูดซับบนไคโตซานอย่างอิสระต่อกัน โดยไคโตซานมีความสามารถในการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุดเท่ากับ 1,451±10.5 มิลลิกรัมโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์)/กรัมไคโตซาน 1,154±1.1 มิลลิกรัมนิกเกิล/กรัมไคโตซาน และ 1,306.7±5.9 มิลลิกรัมตะกั่ว/กรัมไคโตซาน ตามลำดับ การอธิบายกลไกการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ด้วยสมการแลงเมียร์ให้ความสัมพันธ์ที่ดีกว่าสมการฟรุนดลิช

การบ่มตะกอนไคโตซานหลังการบำบัดที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการลดลงของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่ว ในเซลล์แบคทีเรียได้เท่ากับ 0.91, 0.85 และ 0.09 มิลลิกรัม/กรัมไคโตซาน-สัปดาห์ ตามลำดับ และพบแบคทีเรีย *Flavobacterium odoratum*, *Stenotrophomonas maltophilia* และ *Bacillus* spp. ในตะกอนไคโตซานหลังการบำบัด

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....สุทธิ์ทิรา บัวนาค.....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....ขันทอง สุนทราภา.....

ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์.....

4489113520 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: CHITOSAN FLAKES / CHROMIUM (HEXAVALENT), NICKEL AND LEAD / INDUSTRIAL WASTEWATER

SUTTIRA BOUNAK: REMOVAL OF CHROMIUM (HEXAVALENT), NICKEL AND LEAD IN INDUSTRIAL WASTEWATER BY CHITOSAN FLAKES FROM SHRIMP SHELL. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. KHANTONG SOONTARAPA, Ph.D., THESIS COADVISOR: ASSOC. PROF. SIRIRAT RENGPIPAT, Ph.D., 202 pp. ISBN 974-17-6178-3

The chitosan flakes prepared from shrimp shells were used to remove chromium (hexavalent), nickel and lead in industrial wastewater. The degree of deacetylation and average molecular weight were 90.13±4.77% and 1.8×10^5 Dalton, respectively. The concentrations of chromium (hexavalent), nickel and lead in real wastewater during the study period were 50-80 mg/l, 30-50 mg/l and 1.5-3.5 mg/l, respectively. The chitosan size was in the range of 710-850 μm. The optimum conditions were at pH 4, stirring 20 g/l of chitosan at 150 rpm for 3 hrs, and settling for 1 h. It was found that the removal efficiencies of COD, chromium (hexavalent), nickel and lead were 84.65±0.93, 85.45±10.85, 93.54±1.66 and 94.32±4.72%, respectively. However, the effluent concentrations of chromium (hexavalent) and nickel were still higher than the National Effluent Standard. The effluent quality became within the standard by a repetitive treatment.

The presence of chromium (hexavalent), nickel and lead had no any effects on each other, it meant that they could be adsorbed on chitosan independently. The maximum removal capacities in synthetic water were 1,451±10.5, 1,154±1.1 and 1,306.7±5.9 mg/g chitosan flakes of chromium (hexavalent), nickel and lead, respectively. The Langmuir isotherm provided better correlation than the Freundlich isotherm.

The reduction rate of chromium (hexavalent), nickel and lead from chitosan sludge after incubation at 37^oC in bacteria cells were 0.91, 0.85 and 0.09 mg/g chitosan-week, respectively. These bacteria were identified as *Flavobacterium odoratum*, *Stenotrophomonas maltophila* and *Bacillus* spp.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Inter-department Environmental Science Student's signature Suttira Bounak

Filed of study Environmental Science Advisor's signature Khantong Soontarapa

Academic year 2004 Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขันทอง สุนทราภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และชี้แนะแนวทางต่างๆ พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยโดยตลอด

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ประธานกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต และรองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ที่กรุณาตรวจทานและให้คำแนะนำ อีกทั้งสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียในงานวิจัยนี้ นางสาวพรรณทิพา กิจภักดีกุล เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สถาบันราชภัฏสวนดุสิต ที่เอื้อเฟื้อสารเคมีและสถานที่ในการทำการทดลอง ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ Scanning Electron Microscope (SEM) และ Energy Dispersive X-ray analysis (EDX) และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ Fourier Transform Infrared Spectroscope (FTIR)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค และเจ้าหน้าที่ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเสมอมา

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ห้อง 408 ภาควิชาจุลชีววิทยา ที่เป็นกำลังใจ คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาด้านการวิเคราะห์จุลินทรีย์ เพื่อนๆ ห้อง Non Waste สำหรับกำลังใจและกำลังกายที่มีให้กันเสมอมา และขอบคุณเพื่อนๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมทุกคนที่ดูแลและช่วยเหลือกันในทุกๆเรื่อง รวมทั้งขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่ช่วยให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องชาย ที่คอยให้กำลังใจ และคำปรึกษาที่ดีในทุกเรื่อง รวมทั้งสนับสนุนด้านการศึกษาตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ลักษณะทั่วไปของไคตินและไคโตซาน 4
2.2 กระบวนการเตรียมไคติน 5
2.3 กระบวนการเตรียมไคโตซาน 7
2.4 สมบัติของไคตินและไคโตซาน 7
2.5 การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน 10
2.6 การดูดซับ 11
2.7 การศึกษาขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา 15
2.8 สมดุลและไอโซเทิร์มของการดูดซับ 16
2.9 ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม 20
2.10โลหะหนัก 24
2.11จุลินทรีย์ที่ดูดซับโลหะหนัก 38
2.12งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 46
3.1 สารเคมี 46
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 47
3.3 วิธีการทดลอง 48

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 55
4.1 ผลการเตรียมไคโตซานจากเปลือกกุ้ง 55
4.2 สมบัติของน้ำเสียอุตสาหกรรมจากศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ 56
4.3 เวลาและอัตราเร็วในการกวนที่เหมาะสมที่สุด 58
4.4 พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียอุตสาหกรรม 58
4.5 ปริมาณเกล็ดไคโตซานที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียอุตสาหกรรม 59
4.6 ผลการศึกษาการลดค่า COD ในน้ำเสียอุตสาหกรรมหลังการบำบัดด้วยไคโตซาน 61
4.7 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ 62
4.8 ผลการศึกษากลไกในการกำจัดโลหะหนัก 76
4.9 ผลการศึกษาอัตราการลดลงของโลหะหนัก การคัดเลือก และพิสูจน์เอกลักษณ์แบคทีเรียในตะกอนไคโตซาน 78
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 85
5.1 สรุปผลการวิจัย 85
5.2 ข้อเสนอแนะ 86
รายการอ้างอิง 87
ภาคผนวก 92
ภาคผนวก ก: ผลการทดลอง 93
ภาคผนวก ข: การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 187
ภาคผนวก ค: มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง 217
ภาคผนวก ง: ผลการวิเคราะห์สมบัติของไคโตซาน 220
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 202

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 การละลายของไคโตซานในสารละลายกรดอินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ 8
2.2 การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน 10
2.3 ประสิทธิภาพการรีดิวซ์โครเมียม (+6) ของสารรีดิวซ์แต่ละชนิด 28
2.4 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดโครเมียม 1 mg/l 29
2.5 การเปรียบเทียบการใช้ปูนขาวกับปูนขาวผสมซัลเฟตในการตกตะกอนนิกเกิล ในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ 33
2.6 การกำจัดตะกั่วและประสิทธิภาพการกำจัด 36
3.1 สภาวะในการกำจัดโลหะหนัก 51
4.1 สมบัติของไคโตซาน 55
4.2 สมบัติของน้ำเสียอุตสาหกรรม 57
4.3 อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาในการดูดซับโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่ว ด้วยไคโตซาน 69
4.4 ผลการศึกษาไคโตซานด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรสโกป (Fourier Transform Infrared Spectroscope: FTIR) 75
4.5 ค่าคงที่ที่คำนวณได้จากสมการของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช ในการดูดซับโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่วด้วยไคโตซาน 78
ก.1 ผลการเตรียมไคโตซานจากเปลือกกุ้ง 93
ก.2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากน้ำเสียอุตสาหกรรมจากศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ 94
ก.3 ร้อยละการกำจัดหมู่แอซีทิล 95
ก.4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ด้วยเกล็ดไคโตซาน ณ สภาวะต่างๆ 96
ก.4.2 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างสภาวะต่างๆ ในการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ณ สภาวะต่างๆ 96
ก.4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลด้วยเกล็ดไคโตซาน ณ สภาวะต่างๆ 97
ก.4.4 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างสภาวะต่างๆ ในการกำจัดนิกเกิล ณ สภาวะต่างๆ 97
ก.4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วยเกล็ดไคโตซาน ณ สภาวะต่างๆ 98
ก.4.6 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างสภาวะต่างๆ ในการกำจัดตะกั่ว ณ สภาวะต่างๆ 98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ก.5.1 พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ในน้ำเสียอุตสาหกรรม....99
ก.5.2 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างสภาวะต่างๆ ในการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ณ พีเอชต่างๆ....99
ก.5.3 พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดนิกเกิลในน้ำเสียอุตสาหกรรม....100
ก.5.4 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างสภาวะต่างๆ ในการกำจัดนิกเกิล ณ พีเอชต่างๆ....100
ก.5.5 พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรม....101
ก.5.6 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างสภาวะต่างๆ ในการกำจัดตะกั่ว ณ พีเอชต่างๆ....101
ก.6.1 ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ในน้ำเสียอุตสาหกรรม....102
ก.6.2 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างสภาวะต่างๆ ในการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ณ ปริมาณเกล็ดไคโตซานต่างๆ....102
ก.6.3 ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมในการกำจัดนิกเกิลในน้ำเสียอุตสาหกรรม....103
ก.6.4 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างสภาวะต่างๆ ในการกำจัดนิกเกิล ณ ปริมาณเกล็ดไคโตซานต่างๆ....103
ก.6.5 ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรม....104
ก.6.6 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างสภาวะต่างๆ ในการกำจัดตะกั่ว ณ ปริมาณเกล็ดไคโตซานต่างๆ....104
ก.6.7 ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) และนิกเกิล ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียอุตสาหกรรม ในแต่ละรอบการกำจัด....105
ก.6.8 การลดลงของค่า COD ในน้ำเสียอุตสาหกรรม....105
ก.7.1 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 45.2680 mg/l)....106
ก.7.2 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 50.1355 mg/l)....107
ก.7.3 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 60.2337 mg/l)....108
ก.7.4 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณนิกเกิล เท่ากับ 44.9673 mg/l)....109
ก.7.5 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณนิกเกิล เท่ากับ 51.2432 mg/l)....110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ก.7.6 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณนิกเกิล เท่ากับ 36.1099 mg/l).....111
ก.7.7 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณตะกั่ว เท่ากับ 2.0064 mg/l).....112
ก.7.8 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณตะกั่ว เท่ากับ 3.1929 mg/l).....113
ก.7.9 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณตะกั่ว เท่ากับ 2.5351 mg/l).....114
ก.7.10 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 45.00 mg/l).....115
ก.7.11 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 50.00 mg/l).....116
ก.7.12 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 60.0000 mg/l).....117
ก.7.13 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 45.0000 mg/l).....118
ก.7.14 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 50.0000 mg/l).....119
ก.7.15 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 35.0000 mg/l).....120
ก.7.16 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 2.0000 mg/l).....121
ก.7.17 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 3.0000 mg/l).....122
ก.7.18 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 2.5000 mg/l).....123
ก.7.19 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 45.0000 mg/l).....124
ก.7.20 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 45.0000 mg/l).....125
ก.7.21 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 50.0000 mg/l).....126
ก.7.22 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 50.0000 mg/l).....127
ก.7.23 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 60.0000 mg/l).....128
ก.7.24 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 35.0000 mg/l).....129
ก.7.25 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 45.0000 mg/l).....130
ก.7.26 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 2.0000 mg/l).....131

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ก.7.27ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 50.0000 mg/l).....132
ก.7.28ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 3.0000 mg/l).....133
ก.7.29ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 60.0000 mg/l).....134
ก.7.30ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 2.5000 mg/l).....135
ก.7.31ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 45.0000 mg/l).....136
ก.7.32ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 2.0000 mg/l).....137
ก.7.33ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 50.0000 mg/l).....138
ก.7.34ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 3.0000 mg/l).....139
ก.7.35ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 35.0000 mg/l).....140
ก.7.36ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 2.5000 mg/l.....141
ก.7.37ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 45.0000 mg/l).....142
ก.7.38ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 45.0000 mg/l).....143
ก.7.39ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 2.0000 mg/l).....144
ก.7.40ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 50.0000 mg/l).....145
ก.7.41ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 50.0000 mg/l).....146
ก.7.42ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 3.0000 mg/l).....147
ก.7.43ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เท่ากับ 60.0000 mg/l).....148
ก.7.44ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของนิกเกิล เท่ากับ 35.0000 mg/l).....149
ก.7.45ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาต่างๆ (ปริมาณของตะกั่ว เท่ากับ 2.5000 mg/l.....150
ก.8.1 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ ความเข้มข้นโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เริ่มต้นต่างๆ กัน.....151
ก.8.2 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้นต่างๆ กัน.....151
ก.8.3 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นต่างๆ กัน.....152

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ก.8.4 ผลของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ต่อการกำจัดนิกเกิล 152
ก.8.5 ผลของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ต่อการกำจัดตะกั่ว 152
ก.8.6 ผลของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ต่อการกำจัดนิกเกิล และตะกั่ว 153
ก.8.7 ผลของโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ต่อการกำจัดนิกเกิล และตะกั่ว 153
ก.8.8 ผลของนิกเกิลต่อการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) 153
ก.8.9 ผลของนิกเกิลต่อการกำจัดตะกั่ว 154
ก.8.10 ผลของนิกเกิลต่อการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) และตะกั่ว 154
ก.8.11 ผลของนิกเกิลต่อการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) และตะกั่ว 154
ก.8.12 ผลของตะกั่วต่อการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) 155
ก.8.13 ผลของตะกั่วต่อการกำจัดนิกเกิล 155
ก.8.14 ผลของตะกั่วต่อการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) และนิกเกิล 155
ก.8.15 ผลของตะกั่วต่อการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) และนิกเกิล 156
ก.9.1 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ ความเข้มข้นโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) เริ่มต้นต่างๆ กัน 156
ก.9.2 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้นต่างๆ กัน 157
ก.9.3 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นต่างๆ กัน 157
ก.10.1 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ในเซลล์แบคทีเรีย 158
ก.10.2 ปริมาณนิกเกิลในเซลล์แบคทีเรีย 159
ก.10.3 ปริมาณตะกั่วในเซลล์แบคทีเรีย 159
ก.10.4 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ในเซลล์แบคทีเรีย 160
ก.10.5 ปริมาณนิกเกิลในเซลล์แบคทีเรีย 160
ก.10.6 ปริมาณตะกั่วในเซลล์แบคทีเรีย 161
ก.12.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา จำนวนเชื้อและรูปร่างเซลล์ในแต่ละสัปดาห์ 162
ก.12.2 รายละเอียดการตรวจวิเคราะห์เชื้อแบคทีเรีย *Flavobacterium odoratum* 183
ก.12.3 รายละเอียดการตรวจวิเคราะห์เชื้อแบคทีเรีย *Stenotrophomonas maltophilia* 185
ค.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) 191
ค.2 ความแรงของกรดและเบส 193

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไคตินและไคโตซาน 5
2.2 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคติน 6
2.3 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคโตซาน 7
2.4 กลไกการดูดซับ 12
2.5 รูปแบบของ Adsorption isotherm ต่างๆ 17
2.6 ลักษณะของ Langmuir adsorption isotherm ในรูปของกราฟเส้นตรง 19
2.7 ลักษณะของ Freundlich adsorption isotherm ในรูปของกราฟเส้นตรง 20
2.8 กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ 22
2.9 โครงสร้างของผนังเซลล์แบคทีเรีย 39
3.1 ขั้นตอนการเตรียมไคโตซานจากเปลือกกุ้ง 50
4.1 คุณภาพน้ำเสียอุตสาหกรรมจากศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ 57
4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่ว ด้วยเกล็ดไคโตซาน ณ สภาวะต่างๆ 58
4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่ว ด้วยเกล็ดไคโตซาน ณ สภาวะต่างๆ 59
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำเสียอุตสาหกรรมต่อปริมาณเกล็ดไคโตซาน ในการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่ว 60
4.5 ปริมาณกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) และนิกเกิล ในน้ำเสียอุตสาหกรรม ณ รอบการกำจัด 61
4.6 ประสิทธิภาพการลดค่า COD และปริมาณ COD ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียอุตสาหกรรม หลังการบำบัดด้วยเกล็ดไคโตซาน 61
4.7 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาในการกวนต่างๆ 64
4.8 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับ ณ เวลาในการกวนต่างๆ 66
4.9 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ ณ เวลาในการกวนต่างๆ 67
4.10 ภาพขยายพื้นผิวของไคโตซานเมื่อดูกล้อง SEM 72
4.11 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่ว ที่ถูกดูดซับด้วยไคโตซาน ณ ความเข้มข้นต่างๆ 73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.12 ธาตุที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง EDX ในไคโตซาน 74
4.13 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของไคโตซานเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR 75
4.14 สมการการดูดซับโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ด้วยไคโตซาน 77
4.15 สมการการดูดซับนิกเกิลด้วยไคโตซาน 77
4.16 สมการการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตซาน 77
4.17 ปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่ว ในเซลล์แบคทีเรีย
แต่ละสัปดาห์หลังการบ่ม เป็นเวลา 8 สัปดาห์ 79
4.18 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของปริมาณโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) ในเซลล์แบคทีเรียต่อเวลา 80
4.19 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของปริมาณนิกเกิลในเซลล์แบคทีเรียต่อเวลา 80
4.20 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของปริมาณตะกั่วในเซลล์แบคทีเรียต่อเวลา 80
4.21 ลักษณะตะกอนไคโตซานที่อุณหภูมิการบ่ม 37 องศาเซลเซียส ณ ระยะเวลาต่างๆ 81
4.22 ลักษณะตะกอนไคโตซานที่อุณหภูมิการบ่ม 55 องศาเซลเซียส ณ ระยะเวลาต่างๆ 82
4.23 ปริมาณแบคทีเรียในตะกอนไคโตซานหลังการบ่ม ณ เวลาต่างๆ 83
4.24 แบคทีเรียที่พบในตะกอนไคโตซาน 84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย