การกำจัดไอออนของแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล จากสารละลาย ด้วยเรซินที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง

นางสาววิษา สอนใจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF CADMIUM CHROMIUM LEAD AND NICKEL IONS FROM AQUEOUS SOLUTION USING RESIN PREPARED FROM SOYBEAN HULLS

Miss. Wisa Sornjai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

492243

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดไอออนของแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล จากสารละลายด้วยเรซินที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง
โดย	นางสาววิษา สอนใจ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สมชาย ดารารัตน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. สมชาย ดารารัตน์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา เลิศปรัชญา)

วิษา สอนใจ: การกำจัดไอออนของแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล จากสารละลายด้วยเรซินที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง. (REMOVAL OF CADMIUM CHROMIUM LEAD AND NICKEL IONS FROM AQUEOUS SOLUTION USING RESIN PREPARED FROM SOYBEAN HULLS) อ.ที่ปรึกษา: รศ. ดร. สมใจ เพ็งปรีชา, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ดร.สมชาย ดารารัตน์, 117 หน้า

การวิจัยนี้ ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของแคดเมียม โครเมียม นิกเกิล และตะกั่วจากสารละลาย โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง โดยขอบเขตของงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมเปลือกถั่วเหลืองด้วยการปรับสภาพทางเคมี โดยใช้กรดซิตริกและโซเดียมซัลไฟต์ รวมทั้งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่เตรียมได้จากขั้นตอนการปรับสภาพ โดยทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง จากการศึกษาพบว่า วิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมเปลือกถั่วเหลืองก่อนการปรับสภาพทางเคมี คือ การล้างเปลือกถั่วเหลืองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกถั่วเหลืองทางเคมีด้วยกรดซิตริก คือ ใช้สารละลายกรดซิตริกที่มีความเข้มข้น 0.6โมลาร์ ทำการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 0.9 โมลาร์ ทำการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักคือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณเรซินเปลือกถั่วเหลือง 1 กรัม การกำจัดแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่วใช้พีเอชของสารละลาย เท่ากับ 4-6 ที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ การกำจัดโครเมียม ใช้พีเอชของสารละลาย เท่ากับ 4 ที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง

ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม โครเมียม นิกเกิล และตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก มีค่าเท่ากับ 96.94, 87.80, 90.80 และ 99.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม โครเมียม นิกเกิล และตะกั่วด้วยเรซินที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ มีค่าเท่ากับ 97.90, 90.60, 93.24 และ 99.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....วิษา สอนใจ.....

ปีการศึกษา.. .....2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4689207020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS: HEAVY METAL REMOVAL/ ION EXCHANGE RESIN/ SOYBEAN HULL

WISA SORNJAI: REMOVAL OF CADMIUM CHROMIUM LEAD AND NICKEL IONS FROM AQUEOUS SOLUTION USING RESIN PREPARED FROM SOYBEAN HULLS. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D., THESIS COADVISOR: SOMCHAI DARARAT, Ph.D., 117 pp.

This research investigates the efficiency of ion-exchange resin prepared from soybean hulls for removal of Cadmium, Chromium, Lead and Nickel ions from aqueous solution. Scope of this research included the study of the optimum method for preparing soybean hulls with and without chemical modification by using citric acid and sodium sulphite, as well as the optimum condition for removal of heavy metals using resin prepared from soybean hulls. The experiments were carried out by batch process. The result indicated that the optimum method for preparing soybean hulls before chemical modification was attained by treating with 0.1 M NaOH, the optimum condition for chemical modified soybean hulls was achieved by using 0.6 M citric acid for 90 minutes at 80°C and using 0.9 M sodium sulphite for 2 hours at 70°C. The further study showed that the optimum condition, for removal of heavy metals at the concentration of 5 milligrams per liter using 1 gram of adsorbent, was contact time 1 hour at pH 4-6 for Cadmium Nickel and Lead, and contact time 1 hour at pH 4 for Chromium.

The efficiency for removal of Cadmium, Chromium, Nickel and Lead ions was 96.94, 87.80, 90.80 and 99.06 percent for citric acid-treated resin. Similarly, 97.90, 90.60, 93.24 and 99.44 percent of Cadmium, Chromium, Nickel and Lead could be removed by sodium sulphite-treated resin.

Field of study....Environmental Science....Student's signature.....Wisa Sornjai.....
Academic year.....2006.....Advisor's signature.....Somchai Pengprecha.....
Co-advisor's signature.....S. Dr.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. สมชาย ดารารัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขปรับปรุงเนื้อหาหรือข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และ ผศ. ดร.ปรีชา เลิศปรัชญา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาช่วยให้คำแนะนำและปรับปรุงวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์งบประมาณสนับสนุนการวิจัย และสถานที่ในการทำวิจัย ตลอดจนบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัย สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวที่สนับสนุนการศึกษามาโดยตลอด และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 โลหะหนัก..... 4

2.1.1 แคดเมียม..... 4

2.1.2 ตะกั่ว..... 6

2.1.3 นิกเกิล..... 8

2.1.4 โครเมียม..... 9

2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนัก..... 11

2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน..... 13

2.3.1 ลักษณะทั่วไป..... 13

2.3.2 การจำแนกประเภทของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน..... 16

2.3.3 คุณสมบัติของเรซิน..... 18

2.4 องค์ประกอบในเซลล์พืช..... 22

2.4.1 เซลลูโลส..... 22

2.4.2 เฮมิเซลลูโลส..... 23

2.4.3 ลิกนิน..... 23

หน้า

2.5 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน..... 24
2.6 เปลือกถั่วเหลือง..... 24
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 26

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย..... 33
3.1 แผนการวิจัย..... 33
3.1.1 ลำดับขั้นตอนการวิจัย..... 33
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 33
3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย..... 34
3.2 การดำเนินการวิจัย..... 35
3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกถั่วเหลืองที่ใช้ในการวิจัย..... 36
3.2.2 การหาวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมเปลือกถั่วเหลืองก่อนทำการปรับสภาพทางเคมี..... 36
3.2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกถั่วเหลืองเพื่อใช้เป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออน..... 37
3.2.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลืองในการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง..... 41
3.2.5 การศึกษาคุณสมบัติของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง..... 42
3.2.6 การประเมินค่าใช้จ่ายในการเตรียมเรซินเปลือกถั่วเหลือง..... 42

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล..... 43
4.1 องค์ประกอบของเปลือกถั่วเหลือง..... 43
4.2 วิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมเปลือกถั่วเหลืองก่อนการปรับสภาพทางเคมี..... 44
4.2.1 การคัดแยกขนาดเปลือกถั่วเหลือง..... 44
4.2.2 การล้างเปลือกถั่วเหลือง..... 46
4.2.3 ผลการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมเปลือกถั่วเหลืองก่อนการปรับสภาพทางเคมี..... 47
4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกถั่วเหลืองด้วยกระบวนการทางเคมี..... 57

หน้า

4.3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกถั่วเหลืองด้วยกรดซิตริก..... 57
4.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกถั่วเหลืองด้วยโซเดียมซัลไฟต์..... 63
4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลืองในการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง..... 67
4.4.1 ผลการศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก..... 67
4.4.2 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก..... 69
4.4.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักที่เหมาะสม..... 70
4.5 คุณสมบัติของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง..... 72
4.6 การประเมินค่าใช้จ่ายในการเตรียมเรซินเปลือกถั่วเหลือง..... 73

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 74
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 74
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป..... 76

รายการอ้างอิง..... 77
ภาคผนวก..... 80
ภาคผนวก ก. มาตรฐานปริมาณโลหะหนักในคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม..... 81
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกถั่วเหลืองที่ใช้ในการวิจัย.... 82
ภาคผนวก ค. ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักเมื่อผ่านขั้นตอนการเตรียมที่แตกต่างกัน..... 83
ภาคผนวก ง. ความสามารถในการกำจัดไอออนของโลหะหนักเมื่อผ่านขั้นตอนการเตรียมที่แตกต่างกัน..... 87
ภาคผนวก จ. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกถั่วเหลืองเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้กรดซิตริก..... 91
ภาคผนวก ฉ. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกถั่วเหลืองเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้โซเดียมซัลไฟต์..... 97
ภาคผนวก ช. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก..... 103

หน้า

ภาคผนวก ซ. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์..... 109
ภาคผนวก ฌ. การประเมินค่าใช้จ่ายในการเตรียมเรซินเปลือกถั่วเหลือง..... 115

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ค่าสมดุลการแตกตัว (pK) ของเรซินแต่ละชนิด	19
4-1	องค์ประกอบของเปลือกถั่วเหลือง	43
4-2	เปลือกถั่วเหลืองที่นำไปใช้ในการทดสอบวิธีการเตรียมที่เหมาะสมก่อนการปรับสภาพเป็นเรซิน	47
4-3	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมโดยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน	48
4-4	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมโดยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน	49
4-5	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลโดยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน	50
4-6	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วโดยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน	51
4-7	ผลการทดสอบความสกปรกของน้ำล้างเรซินแต่ละชนิดในรูปของค่า COD	56
4-8	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน	57
4-9	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	59
4-10	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยอุณหภูมิแตกต่างกัน	61
4-11	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักที่ช่วงเวลาในการปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์แตกต่างกัน	63
4-12	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมซัลไฟต์แตกต่างกัน	65
4-13	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักเมื่อใช้อุณหภูมิในการปรับสภาพแตกต่างกัน	66
4-14	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก เมื่อเวลาสัมผัสระหว่างเรซินกับสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน	68
4-15	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก เมื่อค่าพีเอชของสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน	69

ตารางที่ หน้า

4-16 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน..... 71

ค-1 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมโดยใช้เรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน..... 83

ค-2 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมโดยใช้เรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน..... 84

ค-3 ประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลโดยใช้เรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน..... 85

ค-4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วโดยใช้เรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน..... 86

ง-1 ความสามารถในการกำจัดไอออนของแคดเมียมโดยใช้เรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน..... 87

ง-2 ความสามารถในการกำจัดไอออนของโครเมียมโดยใช้เรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน..... 88

ง-3 ความสามารถในการกำจัดไอออนของนิกเกิลโดยใช้เรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน..... 89

ง-4 ความสามารถในการกำจัดไอออนของตะกั่วโดยใช้เรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน..... 90

จ-1 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่เวลาแตกต่างกัน..... 91

จ-2 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่เวลาแตกต่างกัน..... 91

จ-3 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่เวลาแตกต่างกัน..... 92

จ-4 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่เวลาแตกต่างกัน..... 92

จ-5 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน..... 93

จ-6 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน..... 93

ตารางที่ หน้า

จ-7 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 94
จ-8 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 94
จ-9 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 95
จ-10 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 95
จ-11 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 96
จ-12 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 96
ฉ-1 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ที่เวลาแตกต่างกัน 97
ฉ-2 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ที่เวลาแตกต่างกัน 97
ฉ-3 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ที่เวลาแตกต่างกัน 98
ฉ-4 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ที่เวลาแตกต่างกัน 98
ฉ-5 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 99
ฉ-6 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 99
ฉ-7 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 100
ฉ-8 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 100
ฉ-9 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 101

ตารางที่ หน้า

ฉ-10 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 101
ฉ-11 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 102
ฉ-12 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 102
ช-1 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน 103
ช-2 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน 103
ช-3 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน 104
ช-4 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน 104
ช-5 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อค่า พีเอชของสารละลายโลหะหนักต่างกัน 105
ช-6 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อค่า พีเอชของสารละลายโลหะหนักต่างกัน 105
ช-7 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อค่าพีเอชของสารละลายโลหะหนักต่างกัน 106
ช-8 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อค่าพีเอชของสารละลายโลหะหนักต่างกัน 106
ช-9 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน 107
ช-10 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน 107
ช-11 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน 108
ช-12 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน 108

ตารางที่ หน้า

ซ-1 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟด์ เมื่อระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน..... 109

ซ-2 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟด์ เมื่อระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน..... 109

ซ-3 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟด์ เมื่อระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน..... 110

ซ-4 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟด์ เมื่อระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน..... 110

ซ-5 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ เมื่อค่าพีเอชของสารละลายโลหะหนักต่างกัน..... 111

ซ-6 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ เมื่อค่าพีเอชของสารละลายโลหะหนักต่างกัน..... 111

ซ-7 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ เมื่อค่าพีเอชของสารละลายโลหะหนักต่างกัน..... 112

ซ-8 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ เมื่อค่าพีเอชของสารละลายโลหะหนักต่างกัน..... 112

ซ-9 ผลการกำจัดแคดเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน..... 113

ซ-10 ผลการกำจัดโครเมียมด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน..... 113

ซ-11 ผลการกำจัดนิกเกิลด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน..... 114

ซ-12 ผลการกำจัดตะกั่วด้วยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักแตกต่างกัน..... 114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	โครงสร้างสารที่ได้จากการโพลิเมอไรซ์ระหว่างสไตรีนกับไดไวนิลเบนซีน	15
2-2	โครงสร้างของเรซินแบบ SBA type I และ type II	17
2-3	แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลส	22
3-1	แสดงขั้นตอนการทดลองโดยรวม	35
3-2	ขั้นตอนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเรซินเปลือกถั่วเหลืองด้วยกระบวนการทางเคมี 2 วิธี	38
4-1	สัดส่วนปริมาณโดยน้ำหนักของเปลือกถั่วเหลืองจากโรงงานที่นำมาคัดแยกขนาด	45
4-2	เปรียบเทียบเปลือกถั่วเหลืองทั้ง 3 ขนาดที่ผ่านการคัดแยกแล้ว	45
4-3	ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมโดยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่ต่างกัน	52
4-4	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมโดยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่ต่างกัน	52
4-5	ประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลโดยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่ต่างกัน	53
4-6	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วโดยเรซินเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่ต่างกัน	53
4-7	น้ำล้างเรซินเปลือกถั่วเหลืองซึ่งผ่านขั้นตอนการล้างที่แตกต่างกันก่อนที่จะนำมาปรับสภาพ	55
4-8	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก เมื่อช่วงเวลาแตกต่างกันในการปรับสภาพด้วยกรดซิตริก	58
4-9	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดซิตริกกับโครงสร้างของเซลลูโลส (CP) ในการปรับสภาพเปลือกถั่วเหลืองด้วยกรดซิตริก	59
4-10	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก โดยใช้ความเข้มข้นของกรดซิตริก ที่แตกต่างกันในการปรับสภาพ	60
4-11	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก โดยใช้อุณหภูมิในการปรับสภาพแตกต่างกัน	61
4-12	ปฏิกิริยาของกรดซิตริกกับโครงสร้างของเซลลูโลส (CP) ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น	62
4-13	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก โดยใช้เวลาแตกต่างกันในการปรับสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟต์	64

ภาพที่ หน้า

4-14 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก โดยใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน..... 65

4-15 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก โดยใช้อุณหภูมิในการปรับสภาพแตกต่างกัน..... 66

4-16 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่ผิวของเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับสภาพ..... 72