

การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก
ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน



นางสาวนิริชต์ สงวนเดือน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-170-957-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

120468908

18 ส.ย. 2546

HEAVY METAL REMOVAL BY ION EXCHANGE RESIN MADE FROM
CORN COB, SOYBEAN HULL AND SUNFLOWER STALKS

Miss Nitirach Sanguanduan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

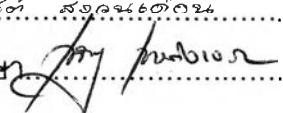
ISBN 974-170-957-9

นิริชต์ สงวนเดียน : การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก
 ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน. (HEAVY METAL REMOVAL BY
 ION EXCHANGE RESIN MADE FROM CORN COB, SOYBEAN HULL AND
 SUNFLOWER STALKS) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ,
 149 หน้า ISBN 974-170-957-9

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก โดยใช้
 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน ชนิดไม่ปรับ
 สภาพ ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก ปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ 5% และปรับสภาพด้วย
 ฟอร์มาลดีไฮด์ 37% ความเข้มข้นของโลหะหนัก (นิกเกิล ทองแดง และสังกะสี) ที่ทำการศึกษา
 ได้แก่ 5 10 20 และ 50 มก./ล. โดยทำการทดลองแบบแบตช์ จากการศึกษาประสิทธิภาพในการ
 กำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง
 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักมากที่สุด รองลงมาคือก้านดอกทานตะวัน และชังข้าวโพด
 ตามลำดับ ผลของการปรับสภาพทางเคมีไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักเพิ่มมากขึ้น
 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำการศึกษามีความสามารถกำจัดทองแดง ได้มากกว่า สังกะสี และนิกเกิล ตาม
 ลำดับ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักดีที่สุด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น
 ของโลหะหนักในน้ำเสีย 5 มก./ล. โดยเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัด
 โลหะหนักจะลดลง กลไกหลักในการกำจัดโลหะหนัก คือ การแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างเรซินแลกเปลี่ยน
 ไอออนกับไอออนของโลหะหนักในน้ำเสีย และอาจเกิดการดูดติดผิวประกอบด้วย โดยกลไก
 การดูดติดผิวเป็นไปตามสมการของแลงมัวร์

เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน ชนิดไม่ปรับ
 สภาพ มีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ทดแทนเรซินสังเคราะห์ได้ โดยมีความสามารถทั้งหมดในการ
 แลกเปลี่ยนไอออน เท่ากับ 5.4 และ 4.5 meq./g. ตามลำดับ

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
 สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
 ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิธิศ..... นิธิศต์ สงวนเดียน.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....


4370362021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : HEAVY METAL REMOVAL / ION EXCHANGE RESIN / CORN COB / SOYBEAN HULL / SUNFLOWER STALKS

NITIRACH SANGUANDUAN : HEAVY METAL REMOVAL BY ION EXCHANGE RESIN MADE FROM CORN COB, SOYBEAN HULL AND SUNFLOWER STALKS.

THESIS ADVISOR : Assoc. Prof. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D., 149 pp. ISBN 974-170-957-9.

This research investigated the efficiency of heavy metal removal by ion exchange resin made from corn cob, soybean hull and sunflower stalks which was both untreated and treated with hydrochloric, treated with formaldehyde 5% and treated with formaldehyde 37%. The concentration of heavy metals studied (nickel, copper and zinc) was varied at 5,10, 20 and 50 mg./l. by batch experiment. The efficiency of heavy metal removal in synthetic wastewater indicated that the highest efficiency was ion exchange resin made from soybean hull, sunflower stalks and corn cob, respectively. The result indicated that chemical treatment did not enhance the removal efficiency of heavy metal. The aforementioned ion exchange resin had higher efficiency of copper removal than the efficiencies of zinc and nickel, respectively. Ion exchange resin had the highest efficiency at an initial concentration: 5 mg./l. When the concentration of heavy metal in wastewater was increased, the efficiency of heavy metal was decreased. The major mechanism of heavy metal removal was ion exchange.

The ion exchange resin made from untreated soybean hull and untreated sunflower stalks has possible application for heavy metal removal. Ion exchange resin made from untreated soybean hulls and untreated sunflower stalks had total capacities of 5.4 and 4.5 meq/g., respectively.

Department Environmental Engineering
Field of study Environmental Engineering
Academic year 2002

Student's signature. *Nitirach Sanguanduan*
Advisor's signature. *Chawakitchareon P*

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความเมตตาของอาจารย์มา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำต่างๆ แก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณทุนวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนอุดหนุนส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท ในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ทบวงมหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2545 ที่เอื้อเพื่อทุนอุดหนุนในการทำวิจัยนี้ รวมถึงทุนสนับสนุนการเสนอผลงานจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณครูปฏิบัติกร และบุคลากรในภาควิชาฯ ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับการวิจัยนี้ และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาฯ สำหรับความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ ที่มีให้แก่ผู้วิจัย

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณทุกคนในครอบครัว ที่มอบกำลังใจ และความช่วยเหลือในทุกด้าน แก่ผู้วิจัยมาตลอด งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โลหะหนัก.....	4
2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนัก.....	7
2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน.....	9
2.3.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน.....	9
2.3.2 การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน.....	9
2.3.3 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	10
2.3.4 โครงร่างเรซิน.....	11
2.3.5 การจำแนกประเภทของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	12
2.3.6 ลำดับความชอบในการเลือกจับไอออนของเรซิน.....	15
2.3.7 คุณสมบัติทั่วไปของเรซิน.....	15
2.3.8 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน.....	15
2.3.9 สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	16
2.4 องค์ประกอบในเซลล์พืช.....	18
2.4.1 เซลลูโลส.....	18
2.4.2 เฮมิเซลลูโลส.....	19
2.4.3 ลิกนิน.....	20

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	20
2.5.1 ชั่งข้าวโพด.....	20
2.5.2 เปลือกถั่วเหลือง.....	22
2.5.3 ก้านดอกทานตะวัน.....	23
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 แผนการวิจัย.....	32
3.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย.....	32
3.1.2 ลำดับขั้นการวิจัย.....	33
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	34
3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	35
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	35
3.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	35
3.2.2 การเตรียมนเรนซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	35
3.2.3 การหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์.....	36
3.2.4 การหาความสามารถทั้งหมดในการแลกเปลี่ยนไอออน.....	37
3.2.5 การหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจริง.....	36
3.2.6 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	39
3.2.7 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	40
3.2.8 การศึกษาองค์ประกอบของชั่งข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และ ก้านดอกทานตะวัน.....	40
3.2.9 ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดโลหะหนัก.....	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	41
4.1 การศึกษาองค์ประกอบของชั่งข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน.....	41
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์.....	42
4.2.1 การศึกษาผลของชนิดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัดโลหะหนัก.....	43

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.2 การศึกษาผลของการปรับสภาพทางเคมีที่มีต่อประสิทธิภาพ	
ในการกำจัดโลหะหนัก.....	43
4.2.3 การศึกษาผลของชนิดโลหะหนักที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัด.....	50
4.2.4 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักที่มีต่อ	
ประสิทธิภาพในการกำจัด.....	50
4.2.5 การศึกษาพีเอชที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการกำจัด.....	58
4.2.6 การหาความสามารถสูงสุดในการกำจัดโลหะหนัก.....	58
4.3 การศึกษาความสามารถทั้งหมดในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน....	61
4.4 การศึกษาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	61
4.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจริง.....	63
4.6 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	67
4.6.1 ลักษณะพื้นที่ผิวของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	67
4.6.2 พื้นที่ผิวของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	67
4.6.3 ค่าความถ่วงจำเพาะของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	72
4.6.4 การบวมน้ำของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	72
4.6.5 ลักษณะโครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	73
4.7 การประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย.....	74
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	75
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ.....	77
รายการอ้างอิง.....	78
บรรณานุกรม.....	81
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก. มาตรฐานปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	83
ภาคผนวก ข. ภาพเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้ในการวิจัย.....	85
ภาคผนวก ค. ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์.....	89
ภาคผนวก ง. ผลการศึกษาความสามารถทั้งหมดในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง ชนิดไม่ปรับสภาพ และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากก้านดอกทานตะวัน ชนิดไม่ปรับสภาพ.....	111

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ. ผลการศึกษาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง ชนิดไม่ปรับสภาพ และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากก้านดอกทานตะวัน ชนิดไม่ปรับสภาพ.....	113
ภาคผนวก ฉ. ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจริง.....	117
ภาคผนวก ช. ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	121
ภาคผนวก ซ. การประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย.....	146
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	149

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบของซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน.....	1
ตารางที่ 21 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี.....	5
ตารางที่ 2.2 ประโยชน์และความเป็นพิษของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี.....	6
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของ Serva Cellulose Ion Exchangers.....	17
ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบโดยประมาณของถั่วเหลืองและส่วนของถั่วเหลือง.....	23
ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการวิจัย.....	32
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และ ก้านดอกทานตะวัน เปรียบเทียบกับผลการศึกษาที่ผ่านมา.....	42
ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์....	44
ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์....	45
ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์....	46
ตารางที่ 4.5 ความสามารถสูงสุดในการกำจัดโลหะหนัก.....	59
ตารางที่ 4.6 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก เปลือกถั่วเหลือง ชนิดไม่ปรับสภาพ และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก ก้านดอกทานตะวัน ชนิดไม่ปรับสภาพ และเรซินสังเคราะห์.....	62
ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสีย จากโรงงานชุบโลหะ	63
ตารางที่ 4.8 เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจริง.....	64
ตารางที่ 4.9 ปริมาณโลหะหนักที่เหลือในน้ำทิ้ง.....	64
ตารางที่ 4.10 ปริมาณพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดของรูพรุนของ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	71
ตารางที่ 4.11 ค่าความถ่วงจำเพาะ และการบวมน้ำของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	73
ตารางที่ 4.12 หมู่โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง.....	74
ตารางที่ ก.1 มาตรฐานปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	84
ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการหาประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์.....	90
ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการหาประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์.....	93
ตารางที่ ค.3 ข้อมูลการหาประสิทธิภาพในการกำจัดสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์.....	96
ตารางที่ ค.4 ข้อมูลการหาความสามารถสูงสุดในการกำจัดนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์.....	99
ตารางที่ ค.5 ข้อมูลการหาความสามารถสูงสุดในการกำจัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์.....	102

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค.6 ข้อมูลการหาความสามารถสูงสุดในการกำจัดสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์.....	105
ตารางที่ จ.1 ข้อมูลการหาขีดความสามารถในการกำจัดนิกเกิล.....	114
ตารางที่ จ.2 ข้อมูลการหาขีดความสามารถในการกำจัดทองแดง.....	115
ตารางที่ จ.3 ข้อมูลการหาขีดความสามารถในการกำจัดสังกะสี.....	116
ตารางที่ ฉ.1 ข้อมูลการหาประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลในน้ำเสียจริง.....	118
ตารางที่ ฉ.2 ข้อมูลการหาประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงในน้ำเสียจริง.....	119
ตารางที่ ฉ.3 ข้อมูลการหาประสิทธิภาพในการกำจัดสังกะสีในน้ำเสียจริง.....	120
ตารางที่ ช.1 แสดงพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	122
ตารางที่ ช.2 ข้อมูลการหาค่าความถ่วงจำเพาะ.....	135
ตารางที่ ช.3 ข้อมูลการหาค่าการบวมน้ำ.....	138

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการแยกองค์ประกอบของพีช.....	18
รูปที่ 2.2 แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลส.....	18
รูปที่ 3.1 แผนผังการแปรชนิดของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ชนิดการปรับสภาพ ชนิดโลหะหนัก และความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	38
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	47
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	48
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสังกะสี ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	49
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดโลหะหนัก ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	51
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงปริมาณนิกเกิลในน้ำเสียเคราะห์ที่ถูกกำจัด.....	52
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณทองแดงในน้ำเสียเคราะห์ที่ถูกกำจัด.....	53
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงปริมาณสังกะสีในน้ำเสียเคราะห์ที่ถูกกำจัด.....	54
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความเข้มข้นนิกเกิลภายหลังการกำจัดโลหะหนัก ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	55
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเข้มข้นทองแดงภายหลังการกำจัดโลหะหนัก ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	56
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเข้มข้นสังกะสีภายหลังการกำจัดโลหะหนัก ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	57
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสามารถสูงสุดในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์.....	60
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจริง.....	65
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงปริมาณโลหะหนักที่เหลือในน้ำทิ้ง.....	66
รูปที่ 4.14 ลักษณะพื้นที่ผิวของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง ชนิดไม่ปรับสภาพ ก่อนและหลังนำไปกำจัดนิกเกิล.....	68
รูปที่ 4.15 ลักษณะพื้นที่ผิวของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง ชนิดปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก ก่อนและหลังนำไปกำจัดนิกเกิล.....	69
รูปที่ 4.16 ลักษณะพื้นที่ผิวของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง ชนิดปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ 5% ก่อนและหลังนำไปกำจัดนิกเกิล.....	70
รูปที่ ข.1 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากขังข้าวโพด.....	86
รูปที่ ข.2 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง.....	87
รูปที่ ข.3 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากก้านดอกทานตะวัน.....	88
รูปที่ ค.1 กราฟแสดงไอโซเทอมการกำจัดนิกเกิล ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	108
รูปที่ ค.2 กราฟแสดงไอโซเทอมการกำจัดทองแดง ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	109

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ค.3 กราฟแสดงไอโซเทอมการกำจัดสังกะสี ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	110
รูปที่ ข.1 กราฟแสดงการวิเคราะห์โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก เปลือกถั่วเหลือง ชนิดไม่ปรับสภาพ.....	141
รูปที่ ข.2 กราฟแสดงการวิเคราะห์โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก เปลือกถั่วเหลือง ชนิดปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	142
รูปที่ ข.3 กราฟแสดงการวิเคราะห์โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก เปลือกถั่วเหลือง ชนิดปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 5%.....	143
รูปที่ ข.4 กราฟแสดงการวิเคราะห์โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก เปลือกถั่วเหลือง ชนิดปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 37%.....	144