



การกำจัดโลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซิลิโอฟอสเฟต
และโครสสลิง-แรนเทตที่ทำจากผักตบชวา



นางสาว นันทนา อธิธิพรโกวิท

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-241-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEAVY METAL REMOVAL BY SULPHOETHYL AND CROSSLINK-XANTHATE
ION EXCHANGE RESIN MADE FROM WATER HYACINTH



MISS. NUNTANA AITTHIPORNKOWIT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-631-241-3



หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกำจัดโลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทีลและ
ครอสลิง-แรนเทตที่ทำจากผักตบชวา

โดย

นางสาว นันทนา อธิธิพรโกวิท


ภาควิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

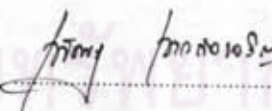
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

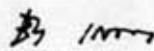
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

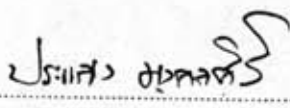
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสูรพน)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

 กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด)

 กรรมการและเลขานุการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประแสง มงคลศิริ)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

นันทนา อธิขิพรโกวิท : การกำจัดโลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิลและ
ครอสส์ลิงค์-แซนเทคที่ทำจากผักคตขั่ว (HEAVY METAL REMOVAL BY SULPHOETHYL
AND CROSSLINK-XANTHATE ION EXCHANGE RESIN MADE FROM WATER HYACINTH)

อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เขาวงกตเจริญ. 219 หน้า

ISBN 974-631-241-3

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถสูงสุดของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (ที่มีหมู่
ไอออน คือ หมู่ซัลโฟนิค) และครอสส์ลิงค์-แซนเทค (ที่มีหมู่ไอออน คือ หมู่แซนเทค) ที่ทำจากผักคตขั่ว
ชนิดของโลหะหนักที่ทำการศึกษาคือ ทองแดง นิกเกิลและสังกะสี การทดลองที่ใช้เป็นแบบคอลัมน์ที่มีชั้น
ความสูงของเรซิน 20 ซม. น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีค่าพีเอชประมาณ 5.0 และมีความเข้มข้นของ
โลหะหนัก 5, 10, 20, 50มก./ล. ไหลผ่านชั้นเรซินด้วยอัตราไหล 3 ปริมาตรเรซิน/ชั่วโมง ตัวแปร
ที่ศึกษา ได้แก่ กระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพผักคตขั่วและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย

จากผลการทดลอง พบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของซัลโฟเอทิล อยู่ในช่วง
0.233-0.503 meq/g และ 0.279-0.595 meq/g สำหรับครอสส์ลิงค์ แซนเทค นอกจากนี้พบว่า
การแลกเปลี่ยนไอออนกับสังกะสีมีค่าสูงกว่านิกเกิลและทองแดง สำหรับอิทธิพลของความเข้มข้นของ
โลหะหนักในน้ำเสีย พบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของ
โลหะหนักน้อย สำหรับการรีเจนเนอเรชันใช้สารรีเจนเนอเรนต์เข้มข้น 0.5N ประมาณ 2 ปริมาตรเรซิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสุขาภิบาล.....
ปีการศึกษา.....2537.....

ลายมือชื่อนิติกร..... นันทนา อธิขิพรโกวิท.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... เพชรพร เขาวงกตเจริญ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม.....

C517564 : MAJOR SANITARY ENGINEERING

KEY WORD: HEAVY METAL REMOVAL/ION EXCHANGE/ION EXCHANGE RESIN/
WATER HYACINTH

NUNTANA AITTHIPORNKOWIT : HEAVY METAL REMOVAL BY SULPHOETHYL AND
CROSSLINK-XANTHATE ION EXCHANGE RESIN MADE FROM WATER HYACINTH.
THESIS ADVISOR ; ASSO.PROF.DR. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D. 219 pp.
ISBN 974-631-241-3

This study investigated the total capacities of heavy metal removal of Sulphoethyl resin with sulphonic functional group and Crosslink-Xanthate resin with xanthate functional group made from Water Hyacinth. The heavy metals to be studied are copper, nickel and zinc. The experiment was carried out using column technique with 20 cm. height packed bed of resin. Synthetic wastewater, pH about 5.0, contained heavy metal about 5, 10, 20, 50 mg/l was percolated through the column with 3 bed volume/hr. The variable considered being in influence of chemical treatment and heavy metal concentration in wastewater.

The experimental results showed that the cation exchange capacities of Sulphoethyl were found to be 0.233-0.503 meq/g and 0.279-0.595 meq/g for Crosslink-Xanthate. The values of zinc exchange were always higher than nickel and copper. The dynamic capacities increased with the dilution of wastewater percolated. The regeneration were completed recovery of metals with 2 bed volumes of 0.5 N of each regenerant.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมสาขาบำบัด

ปีการศึกษา 2537

ลายมือชื่อนิสิต นันทนา อิตถิปORNKOWIT

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา พ.ศ. ๒๕๓๗

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เพ็ชรพร เขาวงกิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็น
อย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง
ไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ธีระ เกรอต รศ.ไพพรรณ พรประภาและผศ.ดร.ประแสง มงคลศิริ
ที่กรุณาให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณามอบเงินอุดหนุนในการทำวิจัย คุณวรรณภา พนมสุข
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องอะตอม
มิคแอนะซอร์พชั่นสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ ที่ได้อบรมสั่งสอนด้วยดีเสมอมา
และขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนทุกคนที่ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจมาตลอด

ศูนย์วิทยพัชร์พยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง



หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	๖
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๖
กิตติกรรมประกาศ.....	๗
สารบัญ.....	๗
สารบัญตาราง.....	๘
สารบัญรูป.....	๘
คำย่อและคำจำกัดความ.....	๙
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 3 การศึกษาด้านเอกสาร.....	3
โลหะหนัก.....	3
ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน.....	3
โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	8
การแบ่งเรซินตามลักษณะการใช้งานตาม Functional group.....	10
ลำดับความชอบในการเลือกจับไอออนของเรซิน.....	17
คุณสมบัติทั่วไปของเรซิน.....	17
ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน.....	21
สมดุลย์การพองตัว.....	24
สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	27
องค์ประกอบในเรซินฟีน.....	28
เรซินไอออน.....	28
เฮมิเรซินไอออน.....	31
ลิกนิน.....	32
องค์ประกอบของผักตบชวา.....	32
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา.....	32
องค์ประกอบของผักตบชวา.....	34
การศึกษาที่ผ่านมา.....	35

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทที่ 4 แผนการดำเนินการวิจัย.....	44
การเตรียมการทดลอง.....	44
การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	44
การเตรียมสารแลกเปลี่ยนไอออน.....	44
การหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน.....	47
ความสามารถทั้งหมด.....	47
ความสามารถใช้งาน.....	47
การฟื้นอำนาจของสารแลกเปลี่ยนไอออน.....	50
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้.....	50
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	51
การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ-เคมีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดต่างๆ.....	51
การเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนักชนิดต่างๆ.....	53
การเปรียบเทียบผลของกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพผักตบชวาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย.....	55
การเปรียบเทียบผลของการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่มีต่อชนิดของโลหะหนัก.....	57
การเปรียบเทียบผลของการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่มีต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย.....	76
ระดับพีเอชในน้ำทิ้งจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวา.....	76
ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของผักตบชวา.....	79
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	97
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม.....	99
เอกสารอ้างอิง.....	100
ภาคผนวก ก. การเตรียมสารเคมีและน้ำเสียสังเคราะห์.....	102
ภาคผนวก ข. ข้อมูลจากการทดลองศึกษาลักษณะทางกายภาพ-เคมีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน.....	107

สารบัญเรื่อง

	หน้า
ภาคผนวก ค. ข้อมูลและตัวอย่างการคำนวณขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน.....	111
ภาคผนวก ง. ข้อมูลจากการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ.....	113
ประวัติผู้ทำการวิจัย.....	219



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของทองแดง สังกะสีและนิกเกิล.....	4
ตารางที่ 3.2 ประโยชน์และความเป็นพิษของทองแดง สังกะสีและนิกเกิล.....	5
ตารางที่ 3.3 ลักษณะและปริมาณน้ำเสียของโรงชุบโลหะหนัก 20 โรง ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	6
ตารางที่ 3.4 หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่างๆ.....	12
ตารางที่ 3.5 ลำดับความชอบไอออนของเรซินในสารละลายน้ำ 1,000 มก./ล.....	18
ตารางที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ในการเลือกจับไอออนของ Sulphonic Acid Exchanger กับค่า Degree of Cross-linking	19
ตารางที่ 3.7 A.S.T.M Standard Sieves.....	22
ตารางที่ 3.8 British Standard Sieves.....	23
ตารางที่ 3.9 ชนิดของสารรีเจนเนอเรนต์ที่ใช้ในการฟื้นฟูอำนาจให้กับเรซิน.....	26
ตารางที่ 3.10 คุณสมบัติของ Serva Cellulose Ion Exchangers.....	29
ตารางที่ 3.11 องค์ประกอบในผักตบชวาแห้ง.....	35
ตารางที่ 3.12 ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของเรซินที่ทำจากเปลือกแดงโม.....	39
ตารางที่ 3.13 ซีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของกากแฉับเปลือก.....	41
ตารางที่ 3.14 ซีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของขานอ้อยและผักตบชวา.....	42
ตารางที่ 4.1 ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิจัย.....	48
ตารางที่ 5.1 ลักษณะทางกายภาพ-เคมีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน.....	52
ตารางที่ 5.2 ซีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยน ไอออนชนิดต่างๆ.....	54
ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชนิดครอสส์ ลิง-แซนเทต ที่ทำจากผักตบชวาที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ (กำหนดให้น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่มากกว่าในน้ำเสีย).....	68
ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชนิดซิลิเฟอเทิลที่ ทำจากผักตบชวาที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ (กำหนดให้น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่มากกว่าในน้ำเสีย).....	68

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.6	(กำหนดให้น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน)..... 69 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชนิดซัลไฟเอทีลที่ ทำจากผักตบชวาที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ (กำหนดให้น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน)..... 69
ตารางที่ 5.7	ค่าสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ชนิดครอสลิง-แซนเทตและซัลไฟเอทีล 70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1	รูปร่างของ Ion Exchanger ชนิดต่าง ๆ.....	7
รูปที่ 3.2	โครงร่างของเรซิน.....	11
รูปที่ 3.3	การแลกเปลี่ยน Na^+ ของเรซินแบบกรดแก่กับไอออนบวกทุกตัวในน้ำ.....	13
รูปที่ 3.4	แผนภาพแสดงการแยกองค์ประกอบในเซลล์พีซ.....	30
รูปที่ 3.5	ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส.....	30
รูปที่ 3.6	โครงสร้างของไซแลน.....	31
รูปที่ 3.7	องค์ประกอบต่าง ๆ ของฝักตบขวา.....	33
รูปที่ 4.1	ฝักตบขวาที่มี Effective Size 0.18 - 0.212 มม.....	46
รูปที่ 4.2	สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซิลิไฟเอทีลที่มี Effective size 0.18-212 มม.....	46
รูปที่ 4.3	สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดโครอสลิ่ง-แซนเทตที่มีขนาด 0.18-0.212 มม.....	46
รูปที่ 4.4	แบบจำลองของ Ion Exchange Column ที่ใช้ในการวิจัย.....	49
รูปที่ 5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำ จากฝักตบขวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนเมื่อน้ำเสียมี ปริมาณทองแดงประมาณ 5 มก/ล.....	56
รูปที่ 5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำ จากฝักตบขวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณทองแดงประมาณ 10 มก/ล.....	57
รูปที่ 5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำ จากฝักตบขวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน. เมื่อน้ำเสียมีปริมาณทองแดงประมาณ 20 มก/ล.....	58
รูปที่ 5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำ จากฝักตบขวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน. เมื่อน้ำเสียมีปริมาณทองแดงประมาณ 50 มก/ล.....	59
รูปที่ 5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำ จากฝักตบขวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน. เมื่อน้ำเสียมีปริมาณนิกเกิลประมาณ 5 มก/ล.....	60

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 5.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวา กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณนิคเกิลประมาณ 10 มก./ล.....	61
รูปที่ 5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวา กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณนิคเกิลประมาณ 20 มก./ล.....	62
รูปที่ 5.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวา กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณนิคเกิลประมาณ 50 มก./ล.....	63
รูปที่ 5.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวา กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณสังกะสีประมาณ 5 มก./ล.....	64
รูปที่ 5.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวา กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณสังกะสีประมาณ 10 มก./ล.....	65
รูปที่ 5.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวา กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณสังกะสีประมาณ 20 มก./ล.....	66
รูปที่ 5.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวา กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณสังกะสีประมาณ 50 มก./ล.....	67
รูปที่ 5.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 และ 10 มก./ล.....	72

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดโครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 และ 50 มก./ล.....	73
รูปที่ 5.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลไฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวาเมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 และ 10 มก./ล.....	74
รูปที่ 5.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลไฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวาเมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 และ 50 มก./ล.....	75
รูปที่ 5.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดโครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา.....	77
รูปที่ 5.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนชนิดซัลไฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา.....	78
รูปที่ 5.19	ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดโครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 มก./ล.....	81
รูปที่ 5.20	ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดโครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 มก./ล.....	82
รูปที่ 5.21	ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดโครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 มก./ล.....	83

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 5.22	ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 มก./ล.....	84
รูปที่ 5.23	ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 มก./ล.....	85
รูปที่ 5.24	ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 มก./ล.....	86
รูปที่ 5.25	ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 มก./ล.....	87
รูปที่ 5.26	ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 มก./ล.....	88
รูปที่ 5.27	ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 มก./ล.....	89
รูปที่ 5.28	ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 มก./ล.....	90
รูปที่ 5.29	ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสีย มีปริมาณโลหะหนัก 20 มก./ล.....	91
รูปที่ 5.30	ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสส์ลิง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 มก./ล.....	92

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 5.31	ระดับการรีเจนเนอเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลไฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 มก./ล.....	93
รูปที่ 5.32	ระดับการรีเจนเนอเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลไฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 มก./ล.....	94
รูปที่ 5.33	ระดับการรีเจนเนอเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลไฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 มก./ล.....	95
รูปที่ 3.34	ระดับการรีเจนเนอเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลไฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 มก./ล.....	96

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อและคำจำกัดความ

BV : Bed Volume

: ปริมาตรสารละลายที่ถูกกำหนดให้แทนเวลาที่ผ่านชั้นเรซินเทียบเท่าปริมาตรเรซิน

eq : Equivalent

: หน่วยมวลสมมูล หรือ อีควิวาเลนต์

meq : Milli-equivalent

: หน่วยมวลมิลลิลสมมูล หรือ มิลลิอีควิวาเลนต์

DVB : Divinylbenzene (A difunction monomer used to crosslink polymer)

True density : ความหนาแน่นจริง

: มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเรซิน(กรัม/มล.)

Apparent density : ความหนาแน่นปรากฏ

: มวลต่อหน่วยปริมาตรเรซินที่รวมความพรุนที่เกิดจากการซ้อนกันของเรซิน
(กรัม/มล.)

Moisture content : ความจุความชื้นของเรซิน

Swelling : ความบวมตัวของเรซิน (มล./กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย