การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก ชานอ้อยและผักตบชวา

นางสาว เกศสุชา พูลคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-207-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16996744

HEAVY METAL REMOVAL BY ION EXCHANGE RESIN MADE FROM BAGASSE AND WATER HYACINTH

MISS KADESUCHA PULKHAM

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN 974-584-207-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา
โดย	นางสาว เกศสุชา พูลคำ
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. แสงสันต์ พานิช)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

เกศสุชา พูลคำ : การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา (Heavy Metal Removal by Ion Exchange Resin Made from Bagasse and Water Hyacinth) อ.ที่ปรึกษา : ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 310 หน้า

ISBN 974-584-207-9

ในการวิจัยนี้ ใช้ผักตบชวาและชานอ้อย เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออน องค์ประกอบในผักตบชวามีเซลลูโลส 43-44% ลิกนิน 12-15% แพนโตแซน 14-15% และสารอื่น ส่วนองค์ประกอบในชานอ้อยมีไซโลเซลลูโลส 82.52% แอลฟาเซลลูโลส 44% ลิกนิน 19.78% แพนโนแซน 27.21% และสารอื่นๆ โลหะหนักที่ทำการศึกษา ได้แก่ ทองแดง นิคเกล และสังกะสี ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ กระบวนการทางเคมีที่ใช้ปรับสภาพผักตบชวาและชานอ้อย ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย

จากผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ของผักตบชวาที่ไม่ปรับสภาพอยู่ในช่วง 0.686-0.809 meq/g และผักตบชวาที่ปรับสภาพ (carboxymethyl water hyacinth) อยู่ในช่วง 0.330-0.496 meq/g ส่วนชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนมีค่าอยู่ในช่วง 0.065-0.086 meq/g และชานอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl bagasse) มีค่าอยู่ในช่วง 0.052-0.069 meq/g นอกจากนี้พบว่าการแลกเปลี่ยนไอออนกับทองแดงมีค่าสูงกว่านิคเกลและสังกะสี สำหรับอิทธิพลของความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย พบว่า น้ำเสียที่มีโลหะหนักน้อยมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูง ปริมาณกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 0.5 N สำหรับการรีเจนเนเรชั่นใช้ประมาณ 3 bed volumes

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

##C416888 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD:
HEAVY METAL/ION EXCHANGE RESIN/BAGASSE/WATER/HYACINTH

KADESUCHA PULKHAM : HEAVY METAL REMOVAL BY ION EXCHANGE RESIN MADE FROM BAGASSE AND WATER HYACINTH. THESIS ADVISOR : PETCHPORN CHAWA-KITCHAREON, Ph.D. 310 pp. ISBN 974-584-207-9

Water-hyacinth and bagasse have been used as natural cation exchanger during this study. Water-hyacinth are compose of 43-44% cellulose, 12-13% lignin, 14-15% pentosans and various substances. Bagasse are composed of 82.52% holocellulose, 44% alphancellulose, 19.78% lignin, 27.21% pentosans and vavious substances. The remark recovery of copper, nickel and zinc ion in packed bed was studied, the variable considered being in influence of chemical treatment and metal cocentration in the solutions percolated. The experimental results the cation exchange capacity (CEG) of untreated water-hyacinth were found to be 0.686-0.809 meq/g and 0.330-0.496 meq/g for carboxymethyl water-hyacinth. The CEG Value was found to be 0.065-0.086 meq/g for untreated bagasse and 0.052- 0.069 meq/g for carboxymethyl bagasse. The values for copper exchange were always higher the those of nickel and zinc. The dynamic capacities increased with the dilution of solution percolated. The regeneration were completed recovery of metals with three bed volumes of 0.5 hydrochloric acid

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ อบรมสั่งสอนต่าง ๆ เพื่อให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดในการแก้ปัญหาต่าง ตามหลักวิชาการ ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณวรรณภา พนมสุข ที่ชี้แนะและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

ขอขอบคุณ คุณสาโรช บุญยกิจสมบัติ ที่ช่วยให้คำปรึกษา แนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดมา

อนึ่ง งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อันเป็นปัจจัยอันสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรูปเล่มออกมาได้ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ. ที่นี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ มารดา ครู อาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน และน้อง ที่คอยให้กำลังใจเสมอจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญรูป.....ฐ

บทที่ 1 บทนำ.....1

บทที่ 2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....3

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....3

2.2 ขอบเขตการวิจัย.....3

บทที่ 3 ทบทวนเอกสาร.....4

3.1 โลหะหนัก.....4

3.2 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน.....9

3.2.1 การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน.....10

3.2.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....11

3.2.3 โครงร่างของเรซิน.....16

3.2.4 การแบ่งเรซินตามลักษณะการใช้งานตาม Function Group.16

3.2.5 ลำดับความชอบในการเลือกจับไอออนของเรซิน.....22

3.2.6 คุณสมบัติทั่วไปของเรซิน.....25

3.2.6.1 ความชื้นของเรซิน.....25

3.2.6.2 ความหนาแน่นของเรซิน.....26

3.2.6.3 ขนาดของเม็ดเรซิน.....26

3.2.6.4 การบวมของเรซิน.....26

3.2.6.5 อัตราการแลกเปลี่ยนไอออน.....27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.6.6 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน.....27
3.2.7 การทำรีเจนเนอเรชั่นหรือการฟื้นอำนาจ.....29
3.3 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน.....31
3.4 องค์ประกอบในเซลล์พืช.....34
3.4.1 เซลลูโลส.....35
3.4.2 เฮมิเซลลูโลส.....36
3.4.3 ลิกนิน.....38
3.5 องค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....39
3.5.1 ผักตบชวา.....39
3.5.2 ชานอ้อย.....43
3.6 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดโลหะโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการ....45
เกษตร
บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย.....54
4.1 แผนการวิจัย.....54
4.1.1 ตัวแปรในการทดลอง.....54
4.1.2 ลำดับการทดลอง.....57
4.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย.....59
4.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....59
4.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....59
4.3.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียม CM-CELLULOSE.....61
4.3.3 สารรีเจนเนอแรนต์.....61
4.4 การเตรียมสารเคมี.....61
4.5 การดำเนินการวิจัย.....62
4.5.1 การเตรียมสารเซลลโลสแลกเปลี่ยนไอออน.....62

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.2 การทดลองหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของ..
สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน.....64
4.5.3 การเปรียบเทียบผลของการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแต่ละ.
ชนิดโดยการเปลี่ยนค่าตัวแปร.....65
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์.....66
5.1 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ-เคมีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยน.
ไอออนชนิดต่างๆ 66
5.2 การเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของ.....
สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนักชนิดต่างๆ.....68
5.3 การเปรียบเทียบผลของกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพ.....
ผักตบชวาและชานอ้อยที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก.....
ในน้ำเสีย.....70
5.4 การเปรียบเทียบผลของการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาและชานอ้อย
ที่มีต่อชนิดของโลหะหนัก.....71
5.5 การเปรียบเทียบผลของการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาและชานอ้อย
ที่มีต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย.....92
5.6 ระดับพีเอชในน้ำทิ้งจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวา
และชานอ้อย.....105
5.7 ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของผักตบชวาและชานอ้อย.....105
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....139
บทที่ 7 ข้อแนะนำในการวิจัยเพิ่มเติม.....141
เอกสารอ้างอิง.....142
ภาคผนวก ก. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 12 145

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดลองศึกษาลักษณะทางกายภาพ-เคมีของสารเซลลูโลสแลก...
เปลี่ยนไอออน.....150
ภาคผนวก ค. ข้อมูลและตัวอย่างการคำนวณขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน..154
ภาคผนวก ง. ข้อมูลจากการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ.....158
ประวัติผู้ทำการวิจัย.....310

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของทองแดง สังกะสี และนิคเกล.....5
ตารางที่ 3.2 ประโยชน์และความเป็นพิษของทองแดง สังกะสี และนิคเกล.....6
ตารางที่ 3.3 ลักษณะและปริมาณน้ำเสียของโรงชุบโลหะหนัก 20 โรงในเขต.....
กรุงเทพมหานคร.....7
ตารางที่ 3.4 เกณฑ์มาตรฐานของปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม..8
ตารางที่ 3.5 หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่างๆ.....17
ตารางที่ 3.6 ลำดับความชอบไอออนของเรซินในสารละลายน้ำ 1000 มก./ล. 23
ตารางที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of Crosslinking กับการเลือกจับ..
ไอออนของ Cation Exchange Resin.....24
ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติของ Serva Cellulose Ion Exchange.....33
ตารางที่ 3.9 องค์ประกอบของผักตบชวาแห้ง.....42
ตารางที่ 3.10 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย.....45
ตารางที่ 3.11 ผลการทดลองความสามารถในการกำจัดโครเมียมของพืชชนิดต่างๆ....49
ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....55
ตารางที่ 5.1 ลักษณะทางกายภาพ-เคมี ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน.....67
ตารางที่ 5.2 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยน.
ไอออนชนิดต่างๆ.....69
ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ...
(Untrated Water-Hyacinth) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ.
(น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐาน).....84
ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ...
(Untrated Water-Hyacinth) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ.
(กำหนดให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งต้องไม่มากกว่าในน้ำเสีย).....85

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ปรับสภาพ.....
(Carboxymethyl Water-Hyacinth) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้น
ต่างๆ (น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐาน).....86
ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ปรับสภาพ.....
(Carboxymethyl Water-Hyacinth) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้น
ต่างๆ (กำหนดให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งต้องไม่มากกว่าในน้ำเสีย)..87
ตารางที่ 5.7 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ....
(Untrated Bagasse) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ.....
(น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐาน).....88
ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ....
(Untrated Bagasse) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ.....
(กำหนดให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งต้องไม่มากกว่าในน้ำเสีย).....89
ตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ปรับสภาพ.....
(Carboxymethyl bagasse) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ...
(น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐาน).....90
ตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ปรับสภาพ.....
(Carboxymethyl Bagasse) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ...
(กำหนดให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งต้องไม่มากกว่าในน้ำเสีย).....91

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 คอลัมน์ที่ใช้ในการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ.....12
รูปที่ 3.2 รูปร่างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....13
รูปที่ 3.3 โครงร่างของเรซิน.....14
รูปที่ 3.4 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน.....29
รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงองค์ประกอบในเซลล์พืช.....34
รูปที่ 3.6 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส.....36
รูปที่ 3.7 โครงสร้างงของไซแลน.....37
รูปที่ 3.8 หน่วยย่อยในโครงสร้างลิกนิน.....38
รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบต่างๆ ของผักตบชวา.....40
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาและชานอ้อย.....60
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณทองแดงประมาณ 5 mg/l.....72
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณทองแดงประมาณ 10 mg/l.....73
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณทองแดงประมาณ 20 mg/l.....74
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณทองแดงประมาณ 50 mg/l.....75

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณนิคเกลประมาณ 5 mg/l.....76

รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณนิคเกลประมาณ 10 mg/l.....77

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณนิคเกลประมาณ 20 mg/l.....78

รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณนิคเกลประมาณ 50 mg/l.....79

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณสังกะสีประมาณ 5 mg/l.....80

รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณสังกะสีประมาณ 10 mg/l.....81

รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณสังกะสีประมาณ 20 mg/l.....82

รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา(Water Hyacinth)และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณสังกะสีประมาณ 50 mg/l.....83

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก ประมาณ 5 และ 10 mg/l.....93

รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก ประมาณ 20 และ 50 mg/l....94

รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 5 และ 10 mg/l.....95

รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 20 และ 50 mg/l.....96

รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ(Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก ประมาณ 5 และ 10 mg/l.....97

รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ(Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก ประมาณ 20 และ 50 mg/l.....98

รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ปรับสภาพ(Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 5 และ 10 mg/l.....99

รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ปรับสภาพ(Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 20 และ 50 mg/l.....100

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ(Untreated Water-Hyacinth).....101

รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ปรับสภาพ(Carboxymethyl Water-Hyacinth).....102

รูปที่ 5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ(Untreated Bagasse) 103

รูปที่ 5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ปรับสภาพ(Carboxymethyl Bagasse) 104

รูปที่ 5.25 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l.....106

รูปที่ 5.26 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l.....107

รูปที่ 5.27 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l.....108

รูปที่ 5.28 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l.....109

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.29 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l.....110
รูปที่ 5.30 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l.....111
รูปที่ 5.31 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l.....112
รูปที่ 5.32 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l.....113
รูปที่ 5.33 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l 114
รูปที่ 5.34 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l 115
รูปที่ 5.35 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l 116
รูปที่ 5.36 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l 117

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.37 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่....
ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ....
โลหะหนัก 5 mg/l.....118
รูปที่ 5.38 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่....
ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ....
โลหะหนัก 10 mg/l.....119
รูปที่ 5.39 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่....
ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ....
โลหะหนัก 20 mg/l.....120
รูปที่ 5.40 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่....
ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ....
โลหะหนัก 50 mg/l.....121
รูปที่ 5.41 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้
ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ(Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี
ปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l.....122
รูปที่ 5.42 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้
ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ(Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี
ปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l.....123
รูปที่ 5.43 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้
ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ(Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี
ปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l.....124
รูปที่ 5.44 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้
ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ(Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี
ปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l.....125

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.45 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ(Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l.....126
รูปที่ 5.46 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ(Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l.....126
รูปที่ 5.47 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ(Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l.....128
รูปที่ 5.48 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ(Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l.....129
รูปที่ 5.49 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l.....130
รูปที่ 5.50 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l.....131
รูปที่ 5.51 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l.....132
รูปที่ 5.52 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l.....133

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.53 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l.....134
รูปที่ 5.54 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l.....135
รูปที่ 5.55 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l.....136
รูปที่ 5.56 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l.....137