

การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส
ที่ทำจากซานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม



นางสาวลัดดา ยาวีร์ชน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544
ISBN 974-03-0249-1
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๕๒๑๕๑๖๔๕

16 ก.พ. 2549

COLOR REMOVAL BY QUARTERNIZED CROSSLINKED CELLULOSE ION
EXCHANGE RESIN MADE FROM BAGASSE WATER HYACINTH
& PALM OIL FIBER

Ladda Yavirach

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

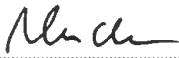
Chulalongkorn University

Academic Year 2001

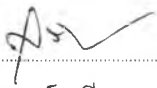
ISBN 974-03-0249-1

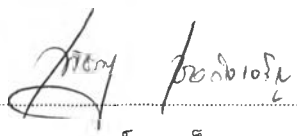
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์นารีในซ์โครอสส์ลิงก์
 เซลลูโลสที่ทำจากชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม
โดย นางสาวลัดดา ยาวีร์ชน์
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ

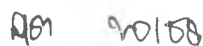
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... อนุมัติคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ชาวเอียง)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ)

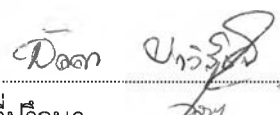
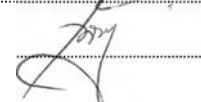

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุธา ชาวเอียง)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากกรกิจ)

ลัดดา ยาวีรวัชร : การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน ชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ เซลลูโลสที่ทำจากชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม (COLOR REMOVAL BY QUARTERNIZED CROSSLINKED CELLULOSE ION EXCHANGE RESIN MADE FROM BAGASSE WATER HYACINTH & PALM OIL FIBER) อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 192 หน้า. ISBN 974-03-0249-1.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม 2 ชนิดได้แก่ สีรีแอดคิฟ และสีไดเรกท์ และสีน้ำกากสาของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ชานอ้อย ผักตบชวาและเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ผ่าน และผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ โดยทำการทดลองแบบแบตช์ และแบบคอลัมน์ ผลการทดลองพบว่า วัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ จะมีลักษณะพื้นผิวขรุขระและมีร่องลึกต่างๆ มากกว่าวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพเล็กน้อย รวมทั้งมีค่าความหนาแน่น การบวม น้ำ พื้นที่ผิว และโครงสร้างหลักของวัสดุ ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล -OH, หมู่อัลคิล -CH และ -CH₂-O และหมู่อัลคีน C=C สูงกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมนั้นพบว่า ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอดคิฟ และสีไดเรกท์ เฉลี่ยเท่ากับ 6.02% ซึ่งจัดว่าต่ำกว่าวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์มาก โดยวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพ จะมีประสิทธิภาพ เฉลี่ยเท่ากับ 91.54% ซึ่งผลการศึกษาไอโซเทอมโดยใช้ชานอ้อย พบว่า ความสามารถในการดูดติดสี มีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงมัวร์ นอกจากนี้ผลจากการทดลองแบบคอลัมน์ สรุปได้ว่า ชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้มากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอดคิฟ รีมาโซล แบล็ค บี (Remazol Black B) รีมาโซล บริลเลียน บลู อาร์ (Remazol Brilliant Blue R) และ รีมาโซล บริลเลียน เรด 3บีเอส (Remazol Brilliant Red 3BS) และสีไดเรกท์ เบส ไดเรกท์ แบล็ค บี (Best Direct Black B) ซิเรียส บลู เคซีเอฟเอ็น (Sirius Blue KCFN) และ ซิเรียส รูไบน์ เคแซทบีแอล (Sirius Rubine KZBL) ได้ 141, 247, 247, 99, 211 และ 229 มิลลิกรัมต่อกรัมของชานอ้อย ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำ กากสานั้น จากการทดลองแบบแบตช์ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากสาของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.55% ซึ่งต่ำกว่าวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากสา เฉลี่ยเท่ากับ 75.26% และเมื่อทดลองผ่านคอลัมน์ พบว่าชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากสา เท่ากับ 457, 847 และ 43 มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุ ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

4170489021: MAJOR Environmental Engineering

KEYWORD: Ion Exchange / Cellulose / Quarternized / Crosslinked / Bagasse / Water Hyacinth / Palm Oil Fiber / Dye / Distillery

Ladda Yavirach: Color Removal by Quarternized Crosslinked Cellulose Ion Exchange Resin Made From Bagasse, Water Hyacinth & Palm Oil Fiber

THESIS ADVISOR: Assc. Prof. Petchporn Chawakitchareon, Ph.D., 192 pp.

ISBN 974-03-0249-1.

This study was conducted to determine the efficiency on color removal of bagasse, water hyacinth and palm oil fiber both before and after being treated by a quarternized crosslinked chemical substance. By performing batch and column experiments, two types of dyes namely reactive dyes and direct dyes and distillery wastewater were used as color sources. The experimental results showed that a physical property of bagasse, water hyacinth and palm oil fiber could be improve by the quarternized crosslinked ion-exchange process. As in the study, the quarternized crosslinked ion-exchange resin presented a greater number of roughness, channel, density, water fill up, surface area and functional group: hydroxyl group -OH, alkyl group -CH and -CH₂-O and alkene group C=C than untreated cellulose. The average reactive and direct dyes removal efficiency of untreated cellulose was 6.02%. This showed less efficiency than those of the quarternized crosslinked ion-exchange resin which was 91.54% average. The adsorption isotherm of Q-R bagasse was fitted in the Langmuir adsorption isotherm. As determined by the column experiments, it was found that Q-R bagasse is the most appropriate material to be used in color removal. The exchange capacity of reactive dyes (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R and Remazol Brilliant Red 3BS) and direct dyes (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN and Sirius Rubine KZBL) were 141, 247, 247, 99, 211 and 229 mg/g material, respectively. The average color removal efficiency of distillery wastewater by using batch experiment of untreated cellulose was 13.55%. It was less than those of the quarternized crosslinked ion-exchange resin, which was 75.26% in average. For the column experiments, Q-R bagasse, water hyacinth and palm oil fiber showed an exchange capacity of 457, 847 and 43 mg/g material, respectively.

Department Environmental Engineering
Field of study Environmental Engineering
Academic Year 2001

Student's signature

Advisor's signature

Ladda Yavirach
Petchporn Chawakitchareon

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เซาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
งานวิจัยนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ อย่างมากมาย จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอ
กราบขอบพระคุณในความเมตตากรุณาของอาจารย์มา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำต่าง ๆ แก่ผู้วิจัย และ ขอขอบพระคุณ ท่าน
อุดหนุนการวิจัยต่าง ๆ ได้แก่ ท่านวิจัยบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ท่านชิน
โสภณพนิช ประจำปี 2542 ท่านอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท ทบวง
มหาวิทยาลัย ประจำปี 2543 ที่ได้มอบเงินทุนอุดหนุนการวิจัยนี้ และ ขอขอบคุณ
รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เซาวกิจเจริญที่ได้มอบทุนส่วนตัวให้เข้าอบรมโครงการอบรมการ
เขียนภาษาอังกฤษ คิดให้เป็น ของคณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณโรงงานแสงโสม สำหรับน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยนี้ และขอขอบคุณ
สำหรับกำลังใจอันแสนอบอุ่น และความช่วยเหลือต่าง ๆ มากมาย ของพี่ๆ และเพื่อนรัก จาก
บริษัท S-T-S และรุ่นพี่ เพื่อนๆ และรุ่นน้องทุกคน ในภาควิชาฯ รวมทั้งน้องๆ จากสหสาขาฯ
ด้วย และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณอาจารย์เก่า ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูป..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย..... | 3 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... | 4 |
| 2.1.1 องค์ประกอบในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... | 4 |
| 2.1.2 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้ในงานวิจัยนี้..... | 6 |
| 2.2 สีย้อม..... | 9 |
| 2.2.1 การเกิดสีของสีย้อม..... | 10 |
| 2.2.2 การจำแนกสีย้อม..... | 11 |
| 2.2.3 ความเป็นพิษของสีย้อมและมลพิษของสีย้อม..... | 16 |
| 2.3 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม..... | 17 |
| 2.3.1 การเตรียมผ้าสำหรับการย้อม..... | 17 |
| 2.3.2 การย้อมสี..... | 19 |
| 2.4 ลักษณะและผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม..... | 22 |
| 2.5 การจัดการสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม..... | 23 |
| 2.5.1 การลดปริมาณของเสีย..... | 23 |
| 2.5.2 การบำบัดสีในน้ำทิ้ง..... | 24 |
| 2.6 การคัดเลือกและรายละเอียดสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลอง..... | 28 |
| 2.6.1 การคัดเลือกสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลอง..... | 28 |
| 2.6.2 รายละเอียดสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง..... | 29 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.7 กรรมวิธีการผลิตสุรา..... | 36 |
| 2.8 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา..... | 37 |
| 2.9 การจัดการน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา..... | 38 |
| 2.10 การแลกเปลี่ยนไอออน..... | 40 |
| 2.10.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน..... | 40 |
| 2.10.2 การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน..... | 40 |
| 2.10.3 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน..... | 41 |
| 2.10.4 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน..... | 42 |
| 2.11 สมดุลย์และไอโซเทอมของการดูดซับ..... | 42 |
| 2.11.1 รูปแบบของไอโซเทอมการดูดซับ..... | 43 |
| 2.11.2 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมการดูดซับ..... | 45 |
| 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 49 |
| บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย..... | 58 |
| 3.1 แผนการวิจัย..... | 58 |
| 3.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง..... | 58 |
| 3.1.2 ลำดับขั้นการทดลอง..... | 58 |
| 3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... | 60 |
| 3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... | 61 |
| 3.2 การดำเนินการวิจัย..... | 61 |
| 3.2.1 การเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนและน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง..... | 61 |
| 3.2.2 การศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ..... | 63 |
| 3.2.3 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ..... | 65 |
| 3.2.4 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของวัสดุ..... | 66 |
| 3.3 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ..... | 67 |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 68 |
| 4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ..... | 68 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุ..... | 68 |
| 4.1.2 ผลการศึกษาความหนาแน่นของวัสดุ..... | 80 |
| 4.1.3 ผลการศึกษาการบวมตัวของวัสดุ..... | 80 |
| 4.1.4 ผลการศึกษาพื้นที่ผิวของวัสดุ..... | 81 |
| 4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ..... | 81 |
| 4.2.1 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อม..... | 82 |
| 4.2.2 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีน้ำกาฬ..... | 106 |
| 4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างของวัสดุ..... | 112 |
| 4.4 พีเอช..... | 116 |
| 4.4.1 ค่าพีเอชของน้ำเสียสีย้อม..... | 116 |
| 4.4.2 ค่าพีเอชของน้ำกาฬ..... | 119 |
| 4.5 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดสีย้อม..... | 119 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... | 122 |
| บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ..... | 124 |
| รายการอ้างอิง..... | 125 |
| ภาคผนวก..... | 130 |
| ภาคผนวก ก. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมโดยการทดลองแบบแบตช์ | |
| ภาคผนวก ข. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมโดยการทดลองแบบ | |
| คอลัมน์..... | 134 |
| ภาคผนวก ค. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกาฬ..... | 155 |
| ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุ..... | 160 |
| ภาคผนวก จ. สูตรโครงสร้างทางเคมีของสี Remazol Black B และ Remazol | |
| Brilliant Blue R..... | 175 |
| ภาคผนวก ฉ. ผลการหาค่าความหนาแน่นและการบวมตัวของวัสดุ..... | 177 |
| ภาคผนวก ช. ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของวัสดุ..... | 181 |
| ภาคผนวก ซ. ผลการศึกษาไอโซเทอม..... | 187 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 192 |

สารบัญญัตราสาร

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 กลุ่มอะตอมออกซิโครม..... | 11 |
| ตารางที่ 2.2 การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี..... | 12 |
| ตารางที่ 2.3 ประเภทสีที่ใช้กับเส้นใยแต่ละชนิด..... | 19 |
| ตารางที่ 2.4 เปอร์เซนต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างของกลุ่มโครโมฟอร์ใน สีรีแอคทีฟ แบ่งตามโทนสีต่างๆ..... | 34 |
| ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของน้ำกาส่าที่ผ่านระบบบำบัดแล้วที่ใช้ในการทดลอง..... | 38 |
| ตารางที่ 2.6 แสดงผลของแพกเตอร์ของการแยกตัวจากลักษณะของรูปไอโซเทอม..... | 47 |
| ตารางที่ 2.7 แสดงความสามารถในการดูดซับสีของซีล้อยไม้เนื้อแข็ง..... | 50 |
| ตารางที่ 2.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของตัวดูดซับแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์..... | 52 |
| ตารางที่ 3.1 แสดงตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง..... | 59 |
| ตารางที่ 3.2 ตารางสรุปวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ..... | 67 |
| ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง..... | 80 |
| ตารางที่ 4.2 แสดงพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุนและขนาดของรูพรุนของชานอ้อย..... | 82 |
| ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของวัสดุต่างๆ โดยการทดลองแบบแบตช์..... | 83 |
| ตารางที่ 4.4 ความสามารถสูงสุดในการจับสีย้อมต่างๆ ของ Q-R ชานอ้อย..... | 88 |
| ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของวัสดุชนิดต่างๆ..... | 109 |
| ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกาส่าของวัสดุต่างๆ โดยการทดลอง แบบแบตช์..... | 109 |
| ตารางที่ 4.7 ตารางสรุปโครงสร้างหลักของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง..... | 115 |
| ตารางที่ 4.8 ค่าพีเอชของน้ำสีย้อมและน้ำกาส่า ก่อนและหลังการทดลองแบบแบตช์..... | 117 |
| ตารางที่ 4.9 ค่าพีเอชของน้ำสีย้อมและน้ำกาส่า ก่อนและหลังการทดลองแบบคอลัมน์..... | 118 |
| ตารางที่ 4.10 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสีจากน้ำเสียสีย้อมต่างๆ โดยชานอ้อยที่ ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 121 |

สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลส..... | 4 |
| รูปที่ 2.2 ก. Bundle ของ Parallel Fibrils | |
| ข. ภาพตัดด้านข้างของ 1 Fibril..... | 5 |
| รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลลูโลสที่พบในผนังเซลล์ของพืชทั่วไป..... | 5 |
| รูปที่ 2.4 แสดงน้ำตาลเพนโตส เฮกโตส และกรดยูโรนิก ที่เป็นองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลส..... | 7 |
| รูปที่ 2.5 แสดงหน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนิน..... | 8 |
| รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการเรียงตัวของเซลลูโลสภายในเส้นใย..... | 20 |
| รูปที่ 2.7 การกำจัดน้ำจากสากจากโรงงานสุราโดยวิธีเทคโนโลยีที่เหมาะสม..... | 39 |
| รูปที่ 2.8 รูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับ..... | 44 |
| รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับแบบ BET..... | 46 |
| รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับแบบ BET แบบเส้นตรง..... | 46 |
| รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับของแลงมัวร์..... | 47 |
| รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับของแลงมัวร์ แบบเส้นตรง..... | 47 |
| รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดริช..... | 48 |
| รูปที่ 2.14 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของตัวดูดซับชนิดต่างๆ โดยพิจารณาจากรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดริช..... | 49 |
| รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทดลอง..... | 58 |
| รูปที่ 4.1 ขานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง..... | 69 |
| รูปที่ 4.2 ผักตบชวาที่ใช้ในการทดลอง..... | 69 |
| รูปที่ 4.3 เส้นใยลูกปาล์มที่ใช้ในการทดลอง..... | 70 |
| รูปที่ 4.4 ขานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพและปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ โครสสลิงก์..... | 70 |
| รูปที่ 4.5 ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพและปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ ไนซ์โครสสลิงก์..... | 71 |
| รูปที่ 4.6 เส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพและปรับสภาพด้วยการทำควอร์ เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 71 |
| รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิวของขานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ..... | 72 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ ควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 73 |
| รูปที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวของผักตบชวาที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ..... | 74 |
| รูปที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ ควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 75 |
| รูปที่ 4.11 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ..... | 76 |
| รูปที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ ควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 77 |
| รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ ภายหลังจาก การกำจัดสี Remazol Black B..... | 78 |
| รูปที่ 4.14 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ ควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ ภายหลังจากกำจัดสี Remazol Black B..... | 79 |
| รูปที่ 4.15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของชานอ้อย..... | 84 |
| รูปที่ 4.16 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของผักตบชวา..... | 84 |
| รูปที่ 4.17 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของเส้นใยลูกปาล์ม..... | 85 |
| รูปที่ 4.18 สีรีแอกทีฟความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ก่อนและหลังการบำบัด ด้วย UNT และ Q-R ชานอ้อย..... | 85 |
| รูปที่ 4.19 Q-R ชานอ้อย ก่อนและหลังผ่านสี Remazol Black B..... | 86 |
| รูปที่ 4.20 Q-R ชานอ้อย ก่อนและหลังผ่านสี Remazol Brilliant Blue R..... | 86 |
| รูปที่ 4.21 Q-R ชานอ้อย ก่อนและหลังผ่านสี Remazol Brilliant Red 3BS..... | 87 |
| รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับสีรีแอกทีฟของ Q-R ชานอ้อย..... | 89 |
| รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับสีไดเรกต์ของ Q-R ชานอ้อย..... | 90 |
| รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ในหน่วย ลิตรกับร้อยละการกำจัดสี..... | 91 |
| รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ในหน่วย ปริมาตรเบดกับร้อยละการกำจัดสี..... | 91 |
| รูปที่ 4.26 แสดงความสามารถในการกำจัดสีที่ร้อยละ 90 ต่อกรัมของเรซิน ที่ความสูงของเรซินต่างๆ..... | 93 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|----|
| รูปที่ 4.27 แสดงความสามารถในการกำจัดสีที่ร้อยละ 50 ต่อกรัมของเรซิน ที่ความสูงของเรซินต่างๆ..... | 93 |
| รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสีย้อมRemazol Black B ที่ผ่านคอลัมน์ กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ.... | 94 |
| รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสีย้อมRemazol Black B ที่ผ่านคอลัมน์ กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ..... | 94 |
| รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสีย้อมRemazol Black B ที่ผ่านคอลัมน์ กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วย การทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 95 |
| รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสีย้อมRemazol Black B ที่ผ่านคอลัมน์ กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ ควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 95 |
| รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสีย้อมRemazol Brilliant Blue R ที่ผ่าน คอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการ ปรับสภาพ..... | 97 |
| รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสีย้อมRemazol Brilliant Blue R ที่ผ่าน คอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ..... | 97 |
| รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสีย้อมRemazol Brilliant Blue R ที่ผ่าน คอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ผ่านการปรับ สภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 98 |
| รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสีย้อมRemazol Brilliant Blue R ที่ผ่าน คอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วย การทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 98 |
| รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสีย้อมRemazol Brilliant Red 3BS ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่าน การปรับสภาพ..... | 99 |
| รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสีย้อมRemazol Brilliant Red 3BS ที่ผ่าน คอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ..... | 99 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|-----|
| รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมRemazol Brilliant Red 3BS ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ผ่าน การปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 100 |
| รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมRemazol Brilliant Red 3BS ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพ ด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 100 |
| รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมBest Direct Black B ที่ผ่าน คอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่าน การปรับสภาพ..... | 102 |
| รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมBest Direct Black B ที่ผ่าน คอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ..... | 102 |
| รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมBest Direct Black B ที่ผ่าน คอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ผ่านการปรับ สภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 103 |
| รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมBest Direct Black B ที่ผ่าน คอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วย การทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 103 |
| รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมSirius Blue KCFN ที่ผ่านคอลัมน์ กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ.... | 104 |
| รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมSirius Blue KCFN ที่ผ่านคอลัมน์ กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ..... | 104 |
| รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมSirius Blue KCFN ที่ผ่านคอลัมน์ กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วย การทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 105 |
| รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมSirius Blue KCFN ที่ผ่านคอลัมน์ กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ ควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์..... | 105 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมSirius Rubine KZBL ที่ผ่านคอลัมน์
กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ.....107

รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมSirius Rubine KZBL ที่ผ่านคอลัมน์
กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ.....107

รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมSirius Rubine KZBL ที่ผ่านคอลัมน์
กับสัดส่วนความเข้มข้นน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการ
ทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์.....108

รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อมSirius Rubine KZBL ที่ผ่านคอลัมน์
กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ
ควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์.....108

รูปที่ 4.52 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่าของชานอ้อย ผักตบชวา และ
เส้นใยลูกปาล์ม.....110

รูปที่ 4.53 สีน้ำกากส่า (1:80) ก่อนและหลังการบำบัดด้วย UNT และ Q-R ชานอ้อย.....111

รูปที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มข้นของ
น้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ.....113

รูปที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่ากับปริมาตรน้ำ
ที่ผ่านคอลัมน์ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ.....113

รูปที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มข้นของ
น้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์
โครอสส์ลิงก์.....114

รูปที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่ากับปริมาตรน้ำที่
ผ่านคอลัมน์ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ ควอร์เทอร์ไนซ์
โครอสส์ลิงก์.....114