การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

นางสาวจิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-441-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

28 ก.พ. 2545
I 19235562

COLOR REMOVAL BY QUARTERNIZED CROSSLINKED ION-EXCHANGE RESIN MADE FROM AGRICULTURAL WASTES

Miss. Jiraporn Arayamaythalert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environment Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-441-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
โดย	นางสาวจิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ไพพรรณ พรประภา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

.....กรรมการ

(อาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

จิรภรณ์ อารยเมธาลิศ : การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร(Color Removal by Quarternized Crosslinked Ion-Exchange Resin Made from Agricultural Wastes)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 113 หน้า, ISBN. 974-333-441-6

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร วัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม การทดลองจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุทั้งสามชนิดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ (Untreated cellulose) และ วัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์และสารสร้างครอสส์ลิงก์ (Quarternized crosslinked cellulose) โดยทำการทดลองกับสี 2 ชนิด คือสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Billiant Blue และ Remazol Red 3BS) และสีไดเร็กต์ (Best Direct Black B, Sirus Blue KCFN และ Sirys Rubine KZBL) ที่มีความเข้มข้น 10 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเครื่องจาร์เทสต์

ภายหลังการทดลองพบว่าชานอ้อย ผักตบชวา และ เส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำกว่าควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เรซินที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน โดยที่ประสิทธิภาพของวัสดุทั้ง 3 ชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีค่าต่ำกว่า 4 % (%การกำจัดต่อกรัมของวัสดุ) ในขณะที่ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสสลิงก์ชานอ้อย ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสสลิงก์ผักตบชวา และควอร์เทอร์ไนซ์ครอสสลลิงก์เส้นใยลูกปาล์ม มีประสิทธิภาพสูงถึง 95 – 99 %

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต จิรภรณ์ อารยเมธาลิศ
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ
ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

JIRAPORN ARAYAMAYTHALERT : Color Removal by Quarternized Crosslinked Ion-Exchange Resin Made from Agricultural Wastes
THESIS ADVICER : Asso. Prof. Petchporn Chawakitahareon. Ph. D. 113 pp.
ISBN 974-333-441-6

The purpose of this research is to study the efficiency of dye removal using a quarternized crosslinked ion-exchange resin made from agricultural waste. The bagasse. water hyacinth and palm oil fiber were used as natural ion-exchange resin in the study. This research is targeted to compare the efficiency between three agricultural waste before and after being treated by quarternized crosslinked chemical substance. Two types of dye namely. Reactive dye (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R and Remazol Brilliant Red 3BS) and Direct dye (Best Direct Black B, Sirus Blue KFCN and Sirus Rubine KZBL) were investigated using synthetic water, which contains these dyes at 10. 20. 30 mg/l. and the experiments were conducted by using the Jar test. After the experiments carried out. it was found that the removal efficency of untreated bagasse, untreated water hyacinth and untreated palm oil fiber was less than that of the quarternized crosslinked resin made from these three agricultural wastes. The efficiency of these three untreated agricultural wastes is less than 4% (% removal per g of material). In contrast, the efficiency of the quarternized crosslinked ion-exchange resin, Q-R bagasse, Q-R water hyacinth and Q-R palm oil fiber is around 95-99%.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต จิรภาภร์ อารยมยธาเลิศ
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ เริ่มต้นและสิ้นสุดอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยการแนะนำแนวทางวิจัยทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ ของ รศ. ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความเมตตาของอาจารย์มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย และ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มูลนิธิชิน โสภณพนิช ที่เอื้อเฟื้อทุนอุดหนุนส่วนหนึ่งในงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท สหยูเนียนจำกัด ที่อนุเคราะห์สีย้อมสำหรับการทดลอง คุณชาญวิทย์ อุริยะพงษ์สรรค์ และ คุณพิศิษฐ์ อังศรีสุรพร ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บและขนถ่ายวัสดุสำหรับงานวิจัยนี้ คุณศุภลักษณ์ กลับดี และ คุณธนินทร์ ปัญญาภิญโญผล สำหรับรูปประกอบที่งดงามในวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ในภาควิชาที่ร่วมฝ่าฟัน และ ให้กำลังใจซึ่งกันและกันจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายที่สุด คุณค่าต่างๆที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ๆ และหลานๆทุกคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือในทุกด้าน และเป็นกำลังใจสำคัญให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญรูป..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร..... 4
2.1 สีย้อม 4
2.1.1 การมองเห็นสี..... 4
2.1.2 การเกิดของสีย้อม..... 6
2.1.3 การจำแนกสีย้อม..... 6
2.1.4 สีย้อมรีแอคทีฟ..... 15
2.1.5 สีย้อมไดเร็กซ์..... 18
2.2 การแลกเปลี่ยนไอออน..... 21
2.2.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน..... 21
2.2.2 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน..... 22
2.3 องค์ประกอบในเซลพืช..... 23
2.3.1 เซลลูโลส..... 24
2.3.2 เฮมิเซลลูโลส..... 25
2.3.3 ลิกนิน..... 25
2.4 องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 ชานอ้อย..... 27
2.4.2 ผักตบชวา..... 28
2.4.3 เส้นใยลูกปาล์ม..... 30
2.5 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสีโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 31
บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินการวิจัย..... 37
3.1 แผนการทดลอง..... 37
3.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง..... 37
3.1.2 ลำดับขั้นการทดลอง..... 37
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 38
3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 41
3.2 การดำเนินการวิจัย..... 41
3.2.1 การเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนและ น้ำเสียสังเคราะห์..... 41
3.2.2 การศึกษาพื้นผิววัสดุ..... 43
3.2.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของวัสดุ..... 43
3.2.4 การหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ..... 43
3.2.5 การเปรียบเทียบผลของการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแต่ละชนิดโดย
การเปลี่ยนค่าตัวแปร..... 43
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์..... 45
4.1 การหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ..... 45
4.2 เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของวัสดุชนิดต่างๆ..... 45
4.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีของวัสดุแต่ละชนิด..... 57
4.4 การเปรียบเทียบผลของกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพ ชานอ้อย
ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี..... 57
4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของ ชานอ้อย ผักตบชวา และ เส้นใย
ลูกปาล์ม ทั้งชนิดไม่ได้ปรับสภาพ และ ชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลส.... 65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 การเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีของวัสดุที่มีต่อความเข้มข้นสี..... 65
4.7 ระดับพีเอช (pH) ของน้ำหลังผ่านการกำจัดสี..... 65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 73
บทที่ 6 การประยุกต์ผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้ในการกำจัดสีจากน้ำเสีย..... 74
บทที่7 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม..... 75
รายการอ้างอิง..... 76
บรรณานุกรม..... 78
ภาคผนวก..... 79
ภาคผนวก ก. วิธีและตัวอย่างของการวัดสีด้วยวิธี SU..... 80
ภาคผนวก ข. ข้อมูลแสดงขีดความสามารถในการกำจัดสีของวัสดุชนิดต่างๆ..... 83
ภาคผนวก ค. ข้อมูลจากการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุต่างๆ..... 87
ภาคผนวก ง. กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุด้วยเครื่องอินฟาเรด
สเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) 100
ภาคผนวก จ. การคำนวณค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัสดุชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์
เซลลูโลส.....111
ประวัติผู้เขียน..... 113

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม..... 2

ตาราง 2.1 ประเภทสีย้อมแบ่งตามความยาวคลื่น..... 5

ตาราง 2.2 การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี..... 9

ตาราง 2.3 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน..... 12

ตาราง 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยบางประเภทกับประเภทของสีย้อมที่ใช้..... 15

ตาราง 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย..... 28

ตาราง 2.6 องค์ประกอบในผักตบชวาแห้ง..... 30

ตาราง 2.7 องค์ประกอบของเส้นใยลูกปาล์ม..... 31

ตาราง 2.8 แสดงความสามารถในการดูดซับสีของขี้เลื่อยไม้เนื้อแข็ง..... 32

ตาราง 2.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของตัวดูดซับแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกำมันต์..... 33

ตาราง 3.1 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง..... 40

ตาราง 4.1 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุชนิดต่างๆ..... 58

ตาราง 4.2 แสดงค่า pH ของสารละลายสีที่วัดได้ภายหลังการกำจัดสีด้วยวัสดุทั้งสองประเภท..... 72

ตาราง ข1 แสดงผลการทดลองการกำจัดสี Remazol Black และ Best Direct Blackเมื่อใช้ชานอ้อยชนิดไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลส..... 84

ตาราง ข2 แสดงผลการทดลองการกำจัดสี Remazol Black และ Best Direct Blackเมื่อใช้ผักตบชวาชนิดไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลส..... 85

ตาราง ข3 แสดงผลการทดลองการกำจัดสี Remazol Black และ Best Direct Blackเมื่อใช้เส้นใยลูกปาล์มชนิดไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลส..... 86

ตาราง ค1 แสดงผลการทดลองการกำจัดสีของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 88

ตาราง ค2 แสดงผลการทดลองการกำจัดสีของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 90

ตาราง ค3 แสดงผลการทดลองการกำจัดสีของเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 92

ตาราง ค4 แสดงผลการทดลองการกำจัดสีของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อย..... 94

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง ค5 แสดงผลการทดลองการกำจัดสีของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ผักตบชวา..... 96
ตาราง ค6 แสดงผลการทดลองการกำจัดสีของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เส้นใยลูกปาล์ม..... 98

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส..... 24
2.2 ลักษณะโครงสร้างของไซแลน AC = Acetyl Group..... 25
2.3 หน่วยย่อยในโครงสร้างลิกนิน..... 26
2.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของผักตบชวา..... 29
3.1 วัสดุทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลองเมื่อยังไม่ได้ปรับสภาพก่อนบดและหลังบด (a) ชานอ้อย (b) ผักตบชวา และ (c) เส้นใยลูกปาล์ม..... 39
3.2 แสดงการแปรตัวแปรต่างๆ ในการทดลองของวัสดุทั้ง 3 ชนิด..... 44
4.1 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated bagasse) เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเลกตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 350 เท่า (a) และ 3,500เท่า (b)..... 47
4.2 ลักษณะพื้นผิวของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Waterhyacinth) เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเลกตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 350 เท่า (a) และ 3,500เท่า (b)..... 48
4.3 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพ(Untreated Palm Oil Fiber) เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเลกตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 350 เท่า (a) และ 3,500เท่า (b)..... 49
4.4 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อย เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเลกตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 350 เท่า (a) และ 3,500เท่า (b) 50
4.5 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ผักตบชวา เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเลกตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 350 เท่า (a) และ 3,500เท่า (b) 51
4.6 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์เส้นใยลูกปาล์ม เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเลกตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 350 เท่า (a) และ 3,500เท่า (b) 52
4.7 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพภายหลังผ่านการกำจัดสี Remazol Black เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเลกตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 350 เท่า (a) และ 3,500เท่า (b) 53

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.8 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพภายหลังผ่านการกำจัดสี Best Direct Black เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเลกตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 100 เท่า (a) และ 3,500เท่า (b) 54

4.9 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อยภายหลังผ่านการกำจัดสี Remazol Black เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเลกครอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 350 เท่า (a) และ 3,500เท่า (b) 55

4.10 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อยภายหลังผ่านการกำจัดสี Best Direct Black เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเลกครอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 100 เท่า (a) และ 3,500เท่า (b) 56

4.11 แสดงความสามารถในการกำจัดสีรีแอคทีฟของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ และ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อย..... 59

4.12 แสดงความสามารถในการกำจัดสีไดเร็กซ์ของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ และ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อย..... 60

4.13 แสดงความสามารถในการกำจัดสีรีแอคทีฟของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ และ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ผักตบชวา..... 61

4.14 แสดงความสามารถในการกำจัดสีไดเร็กซ์ของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ และ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ผักตบชวา..... 62

4.15 แสดงความสามารถในการกำจัดสีรีแอคทีฟของเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพ และ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เส้นใยลูกปาล์ม..... 63

4.16 แสดงความสามารถในการกำจัดสีไดเร็กซ์ของเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพ และ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เส้นใยลูกปาล์ม..... 64

4.17 สารละลายสีทั้ง 2 ชนิด(สีรีแอคทีฟและสีไดเร็กซ์) ก่อนทำการทดลองด้วย Jar Test..... 66

4.18 สารละลายสีทั้ง 2 ชนิด ที่ทำการทดลองด้วย Jar Test และทิ้งให้วัสดุดกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 66

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.19 สารละลายสีรีแอคทีฟ และ สีไดเร็กซ์ ก่อนและหลังผ่านการกำจัดสีด้วยชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ และ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อย..... 67

4.20 สารละลายสีรีแอคทีฟ และ สีไดเร็กซ์ ก่อนและหลังผ่านการกำจัดสีด้วยผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ และ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ผักตบชวา..... 68

4.21 สารละลายสีรีแอคทีฟ และ สีไดเร็กซ์ ก่อนและหลังผ่านการกำจัดสีด้วยเส้นใยลูกปาล์มไม่ได้ปรับสภาพ และ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เส้นใยลูกปาล์ม..... 69

4.22 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของชานอ้อย ผักตบชวา และ เส้นใยลูกปาล์มที่มีต่อความเข้มข้นสี..... 70

4.23 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อย ผักตบชวา และ เส้นใยลูกปาล์ม ที่มีต่อความเข้มข้นสี..... 71

ก1 ค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร..... 81

ค1 กราฟแสดงค่าสีก่อน และ หลังผ่านการกำจัดสีด้วยชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 89

ค2 กราฟแสดงค่าสีก่อน และ หลังผ่านการกำจัดสีด้วยผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 91

ค3 กราฟแสดงค่าสีก่อน และ หลังผ่านการกำจัดสีด้วยเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 93

ค4 กราฟแสดงค่าสีก่อน และ หลังผ่านการกำจัดสีด้วยควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อย... 95

ค5 กราฟแสดงค่าสีก่อน และ หลังผ่านการกำจัดสีด้วยควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ผักตบชวา..... 97

ค6 กราฟแสดงค่าสีก่อน และ หลังผ่านการกำจัดสีด้วยควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เส้นใยลูกปาล์ม..... 99

ง1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 101

ง2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อยด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 102

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

ง3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 103
ง4 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ผักตบชวาด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 104
ง5 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 105
ง6 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เส้นใยลูกปาล์มด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 106
ง7 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อผ่านการกำจัดสี Remazol Black ด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 107
ง8 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อยที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Black ด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 108
ง9 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อผ่านการกำจัดสี Best Direct Black ด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 109
ง10 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อยที่ผ่านการกำจัดสี Best Direct Black ด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 110