การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านดอกทานตะวัน

นาย บุณยฤทธิ์ ปัญญาภิญโญผล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543
ISBN 974-347-297-5
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COLOR REMOVAL BY QUATERNIZED CROSSLINKED CELLULOSE ION EXCHANGE RESIN MADE FROM CORN COB, SOYBEAN HULL AND SUNFLOWER STALKS

Mr. Bunyarit Panyapinyopol

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 2000

ISBN 974-347-297-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านดอกทานตะวัน
โดย	นาย บุณยฤทธิ์ ปัญญาภิญโญผล
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร)

บุณยฤทธิ์ ปัญญาภิญโญผล : การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านดอกทานตะวัน. (COLOR REMOVAL BY QUATERNIZED CROSSLINKED CELLULOSE ION EXCHANGE RESIN MADE FROM CORN COB, SOYBEAN HULL AND SUNFLOWER STALKS)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 170 หน้า. ISBN 974-347-297-5

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านดอกทานตะวัน การทดลองจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุทั้งสามชนิดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์และสารสร้างครอสลิงก์ และศึกษาลักษณะทางกายภาพ ค่าไอโซเทอมการดูดติดสี และโครงสร้างของวัสดุ โดยทำการทดลองกับสี 2 ชนิด คือสีไดเรกท์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) และสีรีแอคทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยวิธีจาร์เทสต์ ผลการทดลองพบว่า ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านดอกทานตะวันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำกว่าควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน โดยประสิทธิภาพของวัสดุทั้ง 3 ชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์และสีรีแอคทีฟต่ำกว่า 23.35 % และ 16.91 % ตามลำดับ ในขณะที่ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์ที่ทำจากทั้งสามวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์คือสี Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL และ Best Direct Black B 58.62 – 100 %, 64.27 – 100 % และ 30.74 – 79.79 % ตามลำดับ ส่วนสีรีแอคทีฟมีประสิทธิภาพ 97.31 - 100 % ความสามารถสูงสุดในการดูดติดผิวเฉลี่ยหาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ ของ Q-R ซังข้าวโพด Q-R เปลือกถั่วเหลือง และ Q-R ก้านดอกทานตะวันกับสีไดเรกท์มีค่าเฉลี่ย 697, 222 และ 268 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ สำหรับสีรีแอคทีฟมีค่าเฉลี่ย 1120, 661 และ 789มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต บุณยฤทธิ์ ปัญญาภิญโญผล
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4270399221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: QUATERNIZED / CROSSLINKED / CELLULOSE / ION EXCHANGE / CORN COB / SOYBEAN HULL / SUNFLOWER STALKS

BUNYARIT PANYAPINYOPOL : COLOR REMOVAL BY QUATERNIZED CROSSLINKED CELLULOSE ION EXCHANGE RESIN MADE FROM CORN COB, SOYBEAN HULL AND SUNFLOWER STALKS.

THESIS ADVISOR : Assc. Prof. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D., 170 pp. ISBN 974-347-297-5.

The purpose of this research is to study the efficiency of dyes removal by using quaternized crosslinked ion-exchange resin (Q-R) which is made from corn cob, soybean hull and sunflower stalks. This research was targeted to compare the efficiency of these three materials before and after being treated by a quaternize and crosslink chemical substant and study physical property, adsorption isotherm and functional group. The experiment use two types of dyes, namely Direct dyes (Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL and Best Direct Black B) and Reactive dyes (Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS and Remazol Black B). Using synthetic wastewater, which contained dyes of five difference concentrations : 50, 70, 90, 150 and 200 mg/l, the experiment was carried out by doing the Jar test. The experimental results found that the dyes removal efficiency of untreated cellulose was less than those of the quaternized crosslinked ion-exchange resin which is made from these three materials. The efficiency of these three untreated materials with Direct dyes and Reactive dyes are less than 23.35% and 16.91% respectively. In contrast, the efficiency of quaternized crosslinked ion-exchange resin of these three materials with Direct dyes: Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL and Best Direct Black B is 58.62-100%, 64.27-100% and 30.74-79.79% respectively and for Reactive dyes is 97.31-100%. Average maximum adsorption capacity (q_{max}), using Langmuir isotherm, of Q-R corn cob, Q-R soybean hull and Q-R sunflower stalks are 697, 222 and 268 mg/g respectively for Direct dyes and 1120, 661 and 789 mg/g respectively for Reactive dyes.

Department Environmental Engineering Student's signature บัญญาพิ ปัญญาภิญโญ

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature Chawakitchareon P.

Academic year 2543 Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

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

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย และ ขอขอบคุณกองทุน ดร. ธีระ พันธุมวนิช บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ทบวงมหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อทุนอุดหนุนส่วนหนึ่งในงานวิจัย

ขอขอบคุณนางสาวจิรภรณ์ อารยเมธาลิศ นางสาวอาสยา ปราชญาพร และพี่ๆ เพื่อนๆ ในภาควิชาที่ร่วมฝ่าฟัน และ ให้กำลังใจซึ่งกันและกันจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายที่สุด คุณค่าต่างๆที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ และ พี่ๆ ทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้าน และเป็นกำลังใจสำคัญให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญรูป..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
ความเป็นมา..... 1
วัตถุประสงค์..... 2
ขอบเขตของงานวิจัย..... 3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร..... 4
2.1 การมองเห็นสี..... 4
2.2 สีย้อม..... 4
2.2.1 การเกิดของสีย้อม..... 5
2.2.2 การจำแนกสีย้อม..... 6
2.2.3 สีย้อมรีแอคทีฟ..... 14
2.2.4 สีย้อมไดเรกท์..... 17
2.2.5 ลักษณะน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม..... 20
2.3 การจำแนกวิธีการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อม..... 21
2.3.1 การกำจัดสีโดยวิธีทางกายภาพ..... 21
2.3.2 กระบวนการทางเคมี..... 21
2.3.2.1 การออกซิเดชัน..... 21
2.3.2.2 การรีดักชัน..... 22
2.3.2.3 การดูดติดผิว..... 22
2.3.3 กระบวนการทางชีวภาพ..... 22
2.3.3.1 กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์..... 22
2.3.3.2 กระบวนการแอนแอโรบิก..... 23
2.3.4 กระบวนการอื่นๆ..... 23
2.4 การแลกเปลี่ยนไอออน..... 23
2.4.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน..... 23
2.4.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน..... 24
2.4.3 การจำแนกประเภทเรซินตามความเป็นกรดหรือด่าง..... 26
2.4.4 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน..... 29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 สมดุลการดูดติดผิว..... 29
2.6 ไอโซเทอมการดูดติดผิว. 30
2.6.1 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์..... 30
2.6.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดริช. 32
2.7 องค์ประกอบในเซลพืช. 33
2.7.1 เซลลูโลส..... 33
2.7.2 เฮมิเซลลูโลส..... 34
2.7.3 ลิกนิน..... 34
2.8 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลอง..... 35
2.8.1 ซังข้าวโพด. 35
2.8.2 เปลือกถั่วเหลือง..... 37
2.8.3 ก้านดอกทานตะวัน..... 38
บทที่ 3 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสีโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 41
บทที่ 4 แผนงานและการดำเนินการวิจัย..... 50
4.1 แผนการวิจัย..... 50
4.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง..... 50
4.1.2 ลำดับขั้นการทดลอง..... 52
4.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 52
4.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 52
4.2 การดำเนินการวิจัย..... 53
4.2.1 การเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนและ น้ำเสียสังเคราะห์..... 53
4.2.2 การหาประสิทธิภาพในการกำจัดสี..... 54
4.2.3 การทำไอโซเทอมเพื่อดูความสามารถในการกำจัดสีของแต่ละวัสดุ..... 55
4.2.4 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ..... 55
4.2.5 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของวัสดุ..... 57
4.3 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ..... 57
บทที่ 5 ผลการทดลอง และวิจารณ์..... 59
5.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ..... 59
5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุ..... 59
5.1.2 การศึกษาความสามารถสูงสุดในการกำจัดสี..... 61
5.2 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของวัสดุชนิดต่างๆ..... 65
5.2.1 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุแต่ละชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน
แบบสแกน..... 65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.2 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ. 78
5.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุเพื่อหาองค์ประกอบของวัสดุโดยใช้เครื่อง อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 78
5.4 การเปรียบเทียบผลของกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพ ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี..... 80
5.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของ ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน ทั้งชนิดไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ ครอสส์ลิงก์ที่มีต่อชนิดสี. 89
5.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุที่มีต่อความเข้มข้นสี..... 89
5.7 พีเอชของน้ำหลังผ่านการกำจัดสี..... 89
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง..... 97
บทที่ 7 การประยุกต์ผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้ในการกำจัดสีจากน้ำเสีย..... 99
บทที่ 8 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม..... 100
รายการอ้างอิง..... 101
บรรณานุกรม..... 105
ภาคผนวก..... 106
ภาคผนวก ก. รูปวัสดุที่ใช้ในการทดลอง..... 107
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดสี..... 110
ภาคผนวก ค. ข้อมูลการทำไอโซเทอม..... 123
ภาคผนวก ง. กราฟผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุด้วยเครื่องอินฟาเรด สเปกโตรมิเตอร์. 142
ภาคผนวก จ. สูตรโครงสร้างสี..... 162
ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลการหาความหนาแน่นวัสดุ..... 166
ภาคผนวก ช. การคำนวณค่าใช้จ่าย..... 168
ประวัติผู้เขียน..... 170

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านดอกทานตะวัน..... 2
ตาราง 2.1 การจำแนกสีตามโครงสร้างทางเคมี..... 8
ตาราง 2.2 การจำแนกสีตามลักษณะการใช้งาน..... 12
ตาราง 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยบางประเภทกับสีย้อมที่ใช้..... 14
ตาราง 2.4 ส่วนประกอบโดยประมาณของถั่วเหลืองและส่วนของถั่วเหลือง..... 38
ตาราง 3.1 ความสามารถในการดูดซับสีของขี้เลื่อยไม้เนื้อแข็ง..... 42
ตาราง 3.2 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของตัวดูดซับแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์..... 44
ตาราง 4.1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง..... 51
ตาราง 4.2 สรุปวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ..... 58
ตาราง 5.1 แสดงประสิทธิภาพของวัสดุแต่ละชนิดในการกำจัดสีย้อมไดเรกท์และรีแอคทีฟ..... 60
ตาราง 5.2 ความสามารถสูงสุดในการจับสีของแต่ละวัสดุกับสีต่างๆ..... 62
ตาราง 5.3 ความหนาแน่นและการบวมน้ำของวัสดุ..... 78
ตาราง 5.4 ค่าพีเอชของสารละลายสีหลังการกำจัดด้วยวัสดุที่ปรับสภาพและไม่ได้ปรับสภาพ..... 96
ตาราง ข1 สี Sirius Blue KCFN (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (UNT)..... 111
ตาราง ข2 สี Sirius Rubine KZBL (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (UNT)..... 111
ตาราง ข3 สี Best Direct Black B (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (UNT)..... 111
ตาราง ข4 สี Remazol Brilliant Blue R (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (UNT)..... 112
ตาราง ข5 สี Remazol Brilliant Red 3BS (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (UNT)..... 112
ตาราง ข6 สี Remazol Black B (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (UNT)..... 112
ตาราง ข7 สี Sirius Blue KCFN (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (UNT)..... 113
ตาราง ข8 สี Sirius Rubine KZBL (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (UNT)..... 113
ตาราง ข9 สี Best Direct Black B (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (UNT)..... 113
ตาราง ข10 สี Remazol Brilliant Blue R (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (UNT)..... 114
ตาราง ข11 สี Remazol Brilliant Red 3BS (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (UNT)..... 114
ตาราง ข12 สี Remazol Black B (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (UNT)..... 114
ตาราง ข13 สี Sirius Blue KCFN (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (UNT)..... 115
ตาราง ข14 สี Sirius Rubine KZBL (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (UNT)..... 115
ตาราง ข15 สี Best Direct Black B (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (UNT)..... 115
ตาราง ข16 สี Remazol Brilliant Blue R (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (UNT)... 116
ตาราง ข17 สี Remazol Brilliant Red 3BS (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (UNT).. 116
ตาราง ข18 สี Remazol Black B (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (UNT)..... 116
ตาราง ข19 สี Sirius Blue KCFN (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (Q-R)..... 117
ตาราง ข20 สี Sirius Rubine KZBL (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (Q-R)..... 117

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตาราง ข21 สี Best Direct Black B (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (Q-R)..... 117
ตาราง ข22 สี Remazol Brilliant Blue R (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (Q-R)..... 118
ตาราง ข23 สี Remazol Brilliant Red 3BS (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (Q-R)..... 118
ตาราง ข24 สี Remazol Black B (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ซังข้าวโพด (Q-R)..... 118
ตาราง ข25 สี Sirius Blue KCFN (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (Q-R)..... 119
ตาราง ข26 สี Sirius Rubine KZBL (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (Q-R)..... 119
ตาราง ข27 สี Best Direct Black B (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (Q-R)..... 119
ตาราง ข28 สี Remazol Brilliant Blue R (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (Q-R)..... 120
ตาราง ข29 สี Remazol Brilliant Red 3BS (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (Q-R)..... 120
ตาราง ข30 สี Remazol Black B (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง (Q-R)..... 120
ตาราง ข31 สี Sirius Blue KCFN (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (Q-R)..... 121
ตาราง ข32 สี Sirius Rubine KZBL (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (Q-R)..... 121
ตาราง ข33 สี Best Direct Black B (สีไดเรกท์) กำจัดโดยใก้านดอกทานตะวัน (Q-R)..... 121
ตาราง ข34 สี Remazol Brilliant Blue R (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (Q-R)..... 122
ตาราง ข35 สี Remazol Brilliant Red 3BS (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (Q-R).. 122
ตาราง ข36 สี Remazol Black B (สีรีแอคทีฟ) กำจัดโดยใช้ก้านดอกทานตะวัน (Q-R)..... 122
ตาราง ค1 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ก้านดอกทานตะวัน สี Sirius Blue KCFN..... 124
ตาราง ค2 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ก้านดอกทานตะวัน สี Sirius Rubine KZBL..... 125
ตาราง ค3 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ก้านดอกทานตะวัน สี Best Direct Black B..... 126
ตาราง ค4 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ก้านดอกทานตะวัน สี Remazol Brilliant Blue R..... 127
ตาราง ค5 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ก้านดอกทานตะวัน สี Remazol Brilliant Red 3BS..... 128
ตาราง ค6 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ก้านดอกทานตะวัน สี Remazol Black B..... 129
ตาราง ค7 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R เปลือกถั่วเหลือง สี Sirius Blue KCFN..... 130
ตาราง ค8 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R เปลือกถั่วเหลือง สี Sirius Rubine KZBL..... 131
ตาราง ค9 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R เปลือกถั่วเหลือง สี Best Direct Black B..... 132
ตาราง ค10 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R เปลือกถั่วเหลือง สี Remazol Brilliant Blue R..... 133
ตาราง ค11ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R เปลือกถั่วเหลือง สี Remazol Brilliant Red 3BS..... 134
ตาราง ค12 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R เปลือกถั่วเหลือง สี Remazol Black B..... 135
ตาราง ค13 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ซังข้าวโพด สี Sirius Blue KCFN..... 136
ตาราง ค14 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ซังข้าวโพด สี Sirius Rubine KZBL..... 137
ตาราง ค15 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ซังข้าวโพด สี Best Direct Black B..... 138
ตาราง ค16 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ซังข้าวโพด สี Remazol Brilliant Blue R..... 139
ตาราง ค17 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ซังข้าวโพด สี Remazol Brilliant Red 3BS..... 140

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตาราง ค18 ข้อมูลการทำไอโซเทอม Q-R ซังข้าวโพด สี Remazol Black B..... 141
ตาราง ฉ1 ข้อมูลการหา Specific density ของ UNT ซังข้าวโพด..... 166
ตาราง ฉ2 ข้อมูลการหา Specific density ของ UNT เปลือกถั่วเหลือง..... 166
ตาราง ฉ3 ข้อมูลการหา Specific density ของ UNT ก้านดอกทานตะวัน..... 166
ตาราง ฉ4 ข้อมูลการหา Specific density ของ Q-R ซังข้าวโพด..... 166
ตาราง ฉ5 ข้อมูลการหา Specific density ของ Q-R เปลือกถั่วเหลือง..... 167
ตาราง ฉ6 ข้อมูลการหา Specific density ของ Q-R ก้านดอกทานตะวัน..... 168

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการทำควอร์เทอร์ไนซ์..... 30
รูปที่ 2.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์..... 31
รูปที่ 2.3 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดริช..... 32
รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส..... 34
รูปที่ 2.5 หน่วยย่อยในโครงสร้างลิกนิน..... 35
รูปที่ 4.1 แผนผังการแปรชนิดของวัสดุ ชนิดสี และความเข้มข้นสีที่ใช้ในการทดลอง..... 56
รูปที่ 5.1 ไอโซเทอม Q-R ซังข้าวโพดของสีไดเรกท์ 3 สี และสีรีแอคทีฟ 3 สี..... 63
รูปที่ 5.2 ไอโซเทอม Q-R เปลือกถั่วเหลืองของสีไดเรกท์ 3 สี และสีรีแอคทีฟ 3 สี..... 63
รูปที่ 5.3 ไอโซเทอม Q-R ก้านดอกทานตะวันของสีไดเรกท์ 3 สี และสีรีแอคทีฟ 3 สี..... 64
รูปที่ 5.4 กราฟความสามารถสูงสุดในการจับสีของแต่ละวัสดุกับสีต่างๆ..... 64
รูปที่ 5.5 ลักษณะพื้นผิวของซังข้าวโพดที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์
อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)..... 66
รูปที่ 5.6 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์
อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)..... 67
รูปที่ 5.7 ลักษณะพื้นผิวของเปลือกถั่วเหลืองที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์
อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)..... 68
รูปที่ 5.8 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เปลือกถั่วเหลืองเมื่อดูด้วยกล้อง
จุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)..... 69
รูปที่ 5.9 ลักษณะพื้นผิวของก้านดอกทานตะวันที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์
อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)..... 70
รูปที่ 5.10 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านดอกทานตะวันเมื่อดูด้วยกล้อง
จุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)..... 71
รูปที่ 5.11 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Sirius
Blue KCFNเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก)
และ 1000 เท่า ข)..... 72
รูปที่ 5.12 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Sirius
Rubine KZBL เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก)
และ 1000 เท่า ข)..... 73
รูปที่ 5.13 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Best
Direct Black B เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก)
และ 1000 เท่า ข)..... 74

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.14 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)..... 75
รูปที่ 5.15 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)..... 76
รูปที่ 5.16 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Black B เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)..... 77
รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกท์ของซังข้าวโพดชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 81
รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอคทีฟของซังข้าวโพดชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 82
รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกท์ของเปลือกถั่วเหลืองชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงเปลือกถั่วเหลืองและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 83
รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอคทีฟของเปลือกถั่วเหลืองชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เปลือกถั่วเหลืองและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 84
รูปที่ 5.21 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกท์ของก้านดอกทานตะวันชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านดอกทานตะวันและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 85
รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอคทีฟของก้านดอกทานตะวันชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านดอกทานตะวันและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ..... 86
รูปที่ 5.23 สีก่อนกำจัดที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร เรียงจากซ้ายไปขวา Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL, Best Direct Black B, Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS และ Remazol Black B..... 87
รูปที่ 5.24 สีหลังกำจัดตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร ของวัสดุ Q-R ซังข้าวโพด..... 87
รูปที่ 5.25 สีหลังกำจัดตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตรของวัสดุ Q-R เปลือกถั่วเหลือง..... 88
รูปที่ 5.26 สีหลังกำจัดตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตรของวัสดุ Q-R ก้านดอกทานตะวัน..... 88
รูปที่ 5.27 สี Sirius Blue KCFN ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร..... 90

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.28 สี Sirius Rubine KZBL ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร..... 91
รูปที่ 5.29 สี Best Direct Black B ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร..... 92
รูปที่ 5.30 สี Remazol Brilliant Blue R ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร..... 93
รูปที่ 5.31 สี Remazol Brilliant Red 3BS ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร..... 94
รูปที่ 5.32 สี Remazol Black B ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร..... 95
รูปที่ ก1 ซังข้าวโพดก่อนบด และหลังบดและร่อนแล้ว..... 108
รูปที่ ก2 เปลือกถั่วเหลืองก่อนบด และหลังบดและร่อนแล้ว..... 108
รูปที่ ก3 ก้านดอกทานตะวันก่อนบด และหลังบดและร่อนแล้ว..... 109
รูปที่ ง1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างซังข้าวโพดที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 143
รูปที่ ง2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 144
รูปที่ ง3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างเปลือกถั่วเหลืองที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 145
รูปที่ ง4 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เปลือกถั่วเหลืองด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 146
รูปที่ ง5 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างก้านดอกทานตะวันที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 147
รูปที่ ง6 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก้านดอกทานตะวันด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 148
รูปที่ ง7 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดหลังกำจัดสี Sirius Blue KCFN ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 149
รูปที่ ง8 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดหลังกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 150
รูปที่ ง9 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดหลังกำจัดสี Best Direct Black B ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 151
รูปที่ ง10 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดหลังกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 152

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ ง11 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพด
หลังกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 153
รูปที่ ง12 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพด
หลังกำจัดสี Remazol Black B ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 154
รูปที่ ง13 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เปลือกถั่วเหลือง
หลังกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 155
รูปที่ ง14 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เปลือกถั่วเหลือง
หลังกำจัดสี Remazol Black B ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 156
รูปที่ ง15 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านดอกทานตะวัน
หลังกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 157
รูปที่ ง16 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านดอกทานตะวัน
หลังกำจัดสี Remazol Black B ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..... 158